

# Utjecaj nagiba pasivnih štapnih sidara na stabilnost zaštitne konstrukcije

---

Horvat, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:672494>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij rudarstva

**UTJECAJ NAGIBA PASIVNIH ŠTAPNIH SIDARA NA STABILNOST ZAŠTITNE  
KONSTRUKCIJE**

Diplomski rad

Ana Horvat

R315

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/203  
URBROJ: 251-70-11-23-2  
U Zagrebu, 13.11.2023.

Ana Horvat, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/203, URBROJ: 251-70-11-23-1 od 9.11.2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### UTJECAJ NAGIBA PASIVNIH ŠTAPNIH SIDARA NA STABILNOST ZAŠTITNE KONSTRUKCIJE

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv.prof.dr.sc. Dubravko Domitrović nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditeljicu Dr.sc. Karolina Herceg.

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

Dr.sc. Karolina Herceg

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomске ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

## UTJECAJ NAGIBA PASIVNIH ŠTAPNIH SIDARA NA STABILNOST ZAŠTITNE KONSTRUKCIJE

Ana Horvat

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Cilj ovog rada bila je analiza i usporedba utjecaja nagiba štapnih sidara na stabilnost zaštitne konstrukcije. Analiza rezultata napravljena je programskom paketu Plaxis, a proučavana su tri slučaja različitih nagiba sidra. U slučaju A pasivna sidra su duljine 6 m pod nagibom od 35°, u slučaju B pasivna sidra su duljine 6 m pod nagibom od 25° te u slučaju C pasivna su sidra duljine 6 m pod nagibom od 15°. Prikazane su teorijske osnove i vrste potpornih i zaštitnih konstrukcija, detaljnije su opisane zaštitne konstrukcije koje su bile tema ovog rada (sidra i mikropiloti), opisana je lokacija stambene zgrade koja služi kao podloga za analizu utjecaja nagiba sidra, prikazani su geotehnički istražni radovi i laboratorijska ispitivanja. Analizirani i uspoređivani su utjecaji nagiba sidra na dobivene vrijednosti horizontalnih pomaka pilota zaštitne konstrukcije, na vrijednosti momenata savijanja pilota zaštitne konstrukcije, na vrijednosti uzdužnih pomaka sidara te na vrijednosti uzdužne sile u sidrima. Analizom rezultata dobivenih za sva tri slučaja zaključeno je kako se najveća odstupanja javljaju u slučaju B, a u slučaju A i C rezultati su vrlo sličnih vrijednosti.

Ključne riječi: štapno sidro, Plaxis, potporna konstrukcija, mikropiloti, stabilnost

Diplomski rad sadrži: 40 stranica, 8 tablica, 37 slika, 0 priloga, i 21 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr.sc. Dubravko Domitrović, izvanredni profesor RGNF

Komentorica: Dr.sc. Karolina Herceg, poslijedoktorandica RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Dubravko Domitrović, izvanredni profesor RGNF

Dr.sc. Helena Vučenović, docentica RGNF

Dr.sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF

THE INFLUENCE OF THE INCLINATION OF PASSIVE GROUND ANCHORS ON THE STABILITY  
OF THE PROTECTIVE STRUCTURE  
Ana Horvat

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining Engineering and Geotechnics  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The aim of this study was to analyze and compare the influence of the inclination of passive ground anchors on the stability of the protective structure. The results were analyzed using the Plaxis software package and three cases of different anchor inclinations were studied. In case A, the passive anchors are 6 m long at an inclination the 35°, in case B, the passive anchors are 6 m long at an inclination of 25° and in case C, the passive anchors are long 6 m at an inclination of 15°. The theoretical background and the types of supporting and protective structures are presented. The protective structures that were the subject of this study (anchors and micropiles) are described. The location of the residential building is described to serve as a basis for the analysis along with the presentation of influence of the anchor's inclination, geotechnical investigation works and laboratory tests. The primary analysis and comparison was between the influence of the anchor's inclination on the obtained values of the horizontal displacements of the piles of the protective structure, on the values of the bending moments of the piles of the protective structure, on the values of the longitudinal displacement of the anchors and on the values of the longitudinal force in the anchors. When analyzing the results for all three cases it was found that the largest deviations occur in case B while in cases A and C the results are of very similar.

Keywords: ground anchor, Plaxis, supporting structure, micropiles, stability

Thesis contains: 40 pages, 8 tables, 37 figures, 0 appendixes, i 21 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Associate Professor Dubravko Domitrović, Ph.D. RGNF

Cosupervisor: Karolina Herceg, Ph.D, RGNF

Reviewers: Associate Professor Dubravko Domitrović, Ph.D.  
Assistant Professor, Helena Vučenović, Ph.D.  
Associate Professor, Mario Klanfar, Ph.D

Defence date: November 17, 2023, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ZAŠTITNE I POTPORNE KONSTRUKCIJE .....</b>	<b>3</b>
2.1. Zaštitne i potporne konstrukcije .....	3
2.2. Vrste zaštitnih i potpornih konstrukcija .....	4
2.3. Sidrene konstrukcije i sidra .....	5
2.4. Piloti .....	8
2.4.1. Mikropiloti .....	9
<b>3. OPIS ZAŠTITNE I POTPORNE KONSTRUKCIJE.....</b>	<b>11</b>
3.1. Stambena zgrada s jednom stambenom jedinicom .....	11
3.2. Zaštitna i potporna konstrukcija stambene zgrade.....	12
3.3. Mogućnost primjene različitih nagiba štapnih pasivnih sidra .....	14
<b>4. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI .....</b>	<b>17</b>
4.1. Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi.....	17
4.1.1. Geološka građa područja .....	17
4.1.2. Seizmičke karakteristike .....	19
4.2. Terenski istražni radovi .....	20
4.3. Laboratorijska ispitivanja .....	21
<b>5. REZULTATI I ANALIZA .....</b>	<b>23</b>
5.1. Model tla i proračun .....	23
5.2. Rezultati proračuna.....	28
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>37</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>39</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Vrste potpornih zidova s preliminarnim proračunskim dimenzijama (Szavits-Nossan, 2012).....	4
<b>Slika 2-2.</b> Vrste zagatnih stijena (Kvasička i Domitrović, 2007) .....	5
<b>Slika 2-3.</b> Sidrena greda (Roje-Bonacci, 2005) .....	6
<b>Slika 2-4.</b> Aktivno i pasivno sidro (Vrkljan, 2013).....	6
<b>Slika 2-5.</b> Skica dijelova sidra injektiranog na jednom dijelu (Roje-Bonacci, 2005).....	7
<b>Slika 2-6.</b> Izvedba štapnog sidra (Ivšić, 2012).....	8
<b>Slika 2-7.</b> Vrste pilota i prijenosa sile u tlo (Nonveiller, 1979).....	9
<b>Slika 2-8.</b> Proces izrade mikropilota (izvor: civilmint.com).....	10
<b>Slika 3-1.</b> Lokacija objekta (izvor: oss.uredjenazemlja.hr).....	11
<b>Slika 3-2.</b> Štapno sidro SAS 950/1050 (izvor: sas-950-1050-katalog.pdf ).....	12
<b>Slika 3-3.</b> Shematski prikaz presjeka 2-2 potporne konstrukcije sa ucrtanim položajima istražnih bušotina i geotehničkim sredinama (modificirano prema Martomis projekt, 2023) .....	14
<b>Slika 3-4.</b> Detalj koji prikazuje pasivno štapno sidro pod kutom od 35° (slučaj A) (Martomis projekt, 2023) .....	15
<b>Slika 3-5.</b> Detalj koji prikazuje pasivno štapno sidro pod kutom od 25° (slučaj B).....	15
<b>Slika 3-6.</b> Detalj koji prikazuje pasivno štapno sidro pod kutom od 15° (slučaj C).....	16
<b>Slika 4-1.</b> Slika lokacije: JZ ugao parcele (Martomis projekt, 2022) .....	17
<b>Slika 4-2.</b> Geološka karta predmetne lokacije – OGK Ivanić – grad (M 1:100 000) .....	18
<b>Slika 4-3.</b> Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnošću promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR}=475$ godina (izvor: seizkarta.gfz.hr). 19	
<b>Slika 4-4.</b> Pozicije istražnih bušotina u tlocrtu (Martomis projekt, 2022).....	20
<b>Slika 5-1.</b> Ulazni model za slučaj A.....	25
<b>Slika 5-2.</b> Ulazni model za slučaj B .....	25
<b>Slika 5-3.</b> Ulazni model za slučaj C .....	26
<b>Slika 5-4.</b> Konačan izgled zaštitne i potporne konstrukcije nakon iskopa i izrade nasipa za slučaj A.....	26
<b>Slika 5-5.</b> Konačan izgled zaštitne i potporne konstrukcije nakon iskopa i izrade nasipa za slučaj B .....	27
<b>Slika 5-6.</b> Konačan izgled zaštitne i potporne konstrukcije nakon iskopa i izrade nasipa za slučaj C .....	27

<b>Slika 5-7.</b> Deformirana mreža konačnih elemenata za slučaj C.....	28
<b>Slika 5-8.</b> Horizontalni pomak pilota zaštitne konstrukcije za slučaj A .....	29
<b>Slika 5-9.</b> Horizontalni pomak pilota zaštitne konstrukcije za slučaj B .....	30
<b>Slika 5-10.</b> Horizontalni pomak pilota zaštitne konstrukcije za slučaj C .....	30
<b>Slika 5-11.</b> Anvelopa momenta savijanja pilota zaštitne konstrukcije za slučaj A.....	31
<b>Slika 5-12.</b> Anvelopa momenta savijanja pilota zaštitne konstrukcije za slučaj B.....	31
<b>Slika 5-13.</b> Anvelopa momenta savijanja pilota konstrukcije za slučaj C .....	32
<b>Slika 5-14.</b> Uzdužni pomaci u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj A .....	33
<b>Slika 5-15.</b> Uzdužni pomaci u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj B.....	33
<b>Slika 5-16.</b> Uzdužni pomaci u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj C.....	34
<b>Slika 5-17.</b> Uzdužne sile u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj A.....	35
<b>Slika 5-18.</b> Uzdužne sile u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj B .....	35
<b>Slika 5-19.</b> Uzdužne sile u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj C .....	36



## POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Pozicije istražnih bušotina u prostoru (Martomis projekt, 2022).....	20
Tablica 4-2. Bušotina B-1.....	21
Tablica 4-3. Bušotina B-2.....	21
Tablica 4-4. Usvojene karakteristične vrijednosti parametara tla (Martomis projekt, 2022) .....	22
Tablica 5-1. Usvojene projektne vrijednosti parametri tla (Martomis projekt, 2022).....	23
Tablica 5-2. Parametri pasivnih štapnih sidra .....	24
Tablica 5-3. Parametri mikropilota i potpornog zida .....	24
Tablica 5-4. Sumarni prikaz rezultata analiza .....	36

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$c$	$\text{kN/m}^2$	kohezija
$c_{ref}$	$\text{kN/m}^2$	referantna vrijednost kohezije
$d$	cm	debljina
$E$	$\text{kN/m}^2$	modul stišljivosti
$E_{50}^{ref}$	$\text{kN/m}^3$	referantna vrijednost modula opterećenja pri dreniranim uvjetima
$EA_I$	$\text{kN/m}'$	aksijalna krutost
$E_{oed}^{ref}$	$\text{kN/m}^3$	referantna vrijednost Edometarskog modula stišljivosti
$E_{ur}^{ref}$	$\text{kN/m}^3$	referantna vrijednost elastičnog modula stišljivosti
$g$	$\text{m/s}^2$	gravitacijsko ubrzanje
$I_c$	%	indeks konzistencije
$L$	m	duljina
$L_f$	m	duljina slobodne dionice
$L_s$	m	duljina sidrišne dionice
$N_{p,l}$	$\text{kN/m}'$	maksimalna jednodimenzionalna sila
$\emptyset$	mm	promjer
$\nu$	-	poissonov koeficijent
$\Delta$	m	razmak
$w_0$	%	prirodna vlažnost
$w_L$	%	granica tečenja
$w_P$	%	granica plastičnosti
$\gamma$	$\text{kN/m}^3$	jedinična težina
$\gamma_{sat}$	$\text{kN/m}^3$	saturirana jedinična težina
$\gamma_{unsat}$	$\text{kN/m}^3$	nesaturirana jedinična težina
$\nu_{ur}$	-	elastičan Poissonov koeficijent
$\varphi$	°	kut unutarnjeg trenja
$w$	$\text{kN/m/m}$	težina

## 1. UVOD

Potporne i zaštitne konstrukcije imaju vrlo važnu ulogu kod građevinskih radova koji se izvode u nestabilnim uvjetima na terenu. Ključna uloga potpornih konstrukcija je stabilizacija terena i osiguranje sigurnosti građevinskih objekata. U potporne i zaštitne konstrukcije mogu se navesti masivni potporni zidovi, zidovi od armiranog tla, zagatne stijene, sidrene konstrukcije te njihove kombinacije. Za ovaj slučaj je kao temeljno rješenje zaštitne i potporne konstrukcije stambene zgrade opisana građevna jama i potporna konstrukcija koja se sastoji od armiranobetonskih mikropilota po obodu građevine i štapna pasivna sidra. Građevna jama osigurava prostor siguran za rad, sprječava dotok vode te štiti od urušavanja tla pri iskopu. Sidra se koriste za stabilizaciju i povećanje čvrstoće tla, a najvažnije svojstvo je pridržavanje mase tla. Dije se na aktivna i pasivna sidra. Pasivno, odnosno štapno sidro je neprednapregnuto sidro, dok je aktivno sidro prednapregnuto. Mikropiloti su piloti s promjerom manjim od 30 cm. Karakteriziraju ih visoka nosivost, izdržljivost na vlačne, tlačne i lateralne sile te se mogu koristiti u različitim vrstama tla kod kojih poboljšavaju zbijenost, a jeftiniji su od drugih vrsta pilota.

Zadatak ovog diplomskog rada je analiza utjecaja nagiba štapnih sidara na stabilnost zaštitne konstrukcije stambene zgrade s jednom stambenom jedinicom. Analiza rezultata napravljena je programskom paketu Plaxis, a proučavana su tri slučaja: slučaj A (pasivna sidra duljine 6 m smještena pod nagibom od  $35^\circ$ ), slučaj B (pasivna sidra duljine 6 m smještena pod nagibom od  $25^\circ$ ), slučaj C (pasivna sidra duljine 6 m smještena pod nagibom od  $15^\circ$ ). Analizirani i uspoređivani su utjecaji nagiba sidra na dobivene vrijednosti horizontalnih pomaka pilota zaštitne konstrukcije, na vrijednosti momenata savijanja pilota zaštitne konstrukcije, na vrijednosti uzdužnih pomaka sidara te na vrijednosti uzdužne sile u sidrima.

U radu su prikazane teorijske osnove, praktični dio s analizom te interpretacija rezultata i rasprava. U drugom poglavlju prikazane su teorijske osnove i vrste potpornih i zaštitnih konstrukcija te opisi potpornih i zaštitnih konstrukcija koje su najznačajnije za izradu ovog rada. Treće poglavlje opisuje stambenu zgradu s jednom stambenom jedinicom koja služi primjer terena na kojem se analizira utjecaj nagiba štapnih sidara. U četvrtom poglavlju dan je prikaz provedenih geotehničkih istražnih radova koji uključuju terenske i laboratorijske istražne radove te glavnih geoloških značajki predmetne lokacije. Na temelju provedenih istražnih radova utvrđeni su parametri tla koji su korišteni u numeričkim analizama. Peto

poglavlje obuhvaća proračun napravljen u programskom paketu Plaxis, ulazne i završne modele za navedene slučajeve te rezultate i analizu proračuna.

Obzirom da se analiza utjecaja nagiba štapnih sidra na stabilnosti zaštitne konstrukcije radi na tri različita slučaja očekuju se i različiti rezultati ovisno o nagibu štapnog sidra.

## **2. ZAŠTITNE I POTPORNE KONSTRUKCIJE**

Zaštitne i potporne konstrukcije su ključni elementi koji osiguravaju sigurnost ljudi, imovine i okoline te su iz tog razloga projektirane kako bi smanjile rizik od nesreća i oštećenja.

### **2.1. Zaštitne i potporne konstrukcije**

Zaštitne i potporne konstrukcije osiguravaju stabilnost tla u iskopenim dijelovima terena kod kojeg je nagib površine terena strmiji od stabilnog nagiba koji može stajati bez podgrade. Može se navesti da je to svaki građevinski zahvat koji osigurava sigurno i stabilno vanjsko lice tla, nagnuto pod strmijim nagibom od onog, koji je moguć bez tog zahvata (Roje-Bonacci, 2005). Odnosno, to su građevinske konstrukcije koje podupiru tlo, stijene ili vodu, a mogu biti prirodne (prirodni pokos, stijene) ili umjetne i trajne ili privremene. Pod umjetne zaštitne i potporne konstrukcije spadaju konstrukcije koje su posljedica iskopa za građevnu jamu ili iskop proširenja korisne površine i sl. Privremene zaštitne i potporne konstrukcije najčešće se susreću pri izgradnji velikih građevnih jama, a za trajno rješenje mora postojati neka druga građevina koja će preuzeti pritiske dijela tla koji je nestabilan.

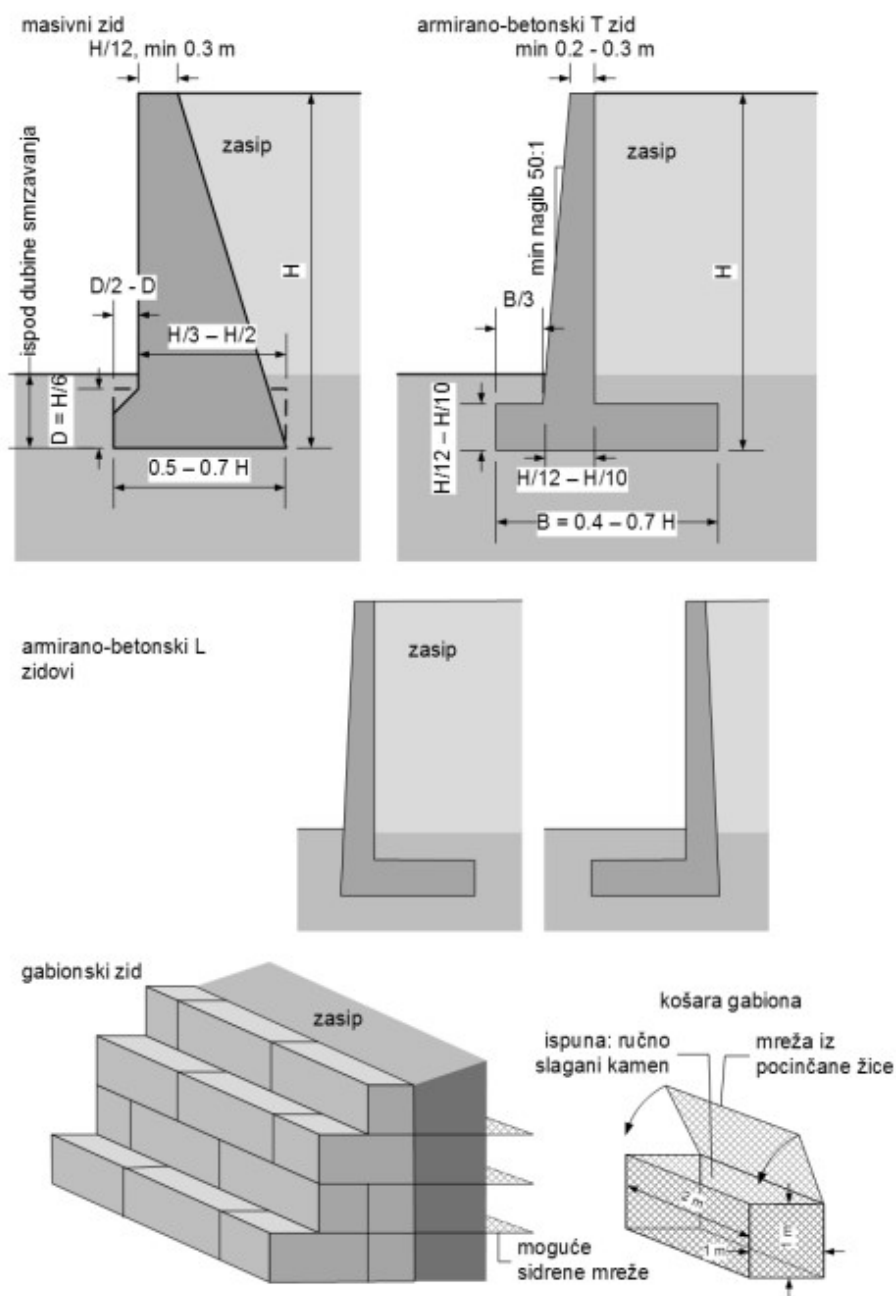
Izvedba i izgradnja zaštitnih i potpornih konstrukcija obično je značajno skuplja od izvedbe stabilne i samostojeće kosine u tlu te iz tog razloga se one grade u mjestima gdje postoji nedostatak prostora, kao što je slučaj pri izgradnji građevnih jama pored postojećih građevina. Također se izvode ako postoji potreba štednje na količini iskopa ili nasipa pri izvedbi usjeka, zasjeka i nasipa na padinama, smanjenja raspona skupih nadvožnjaka, kod građevina kao što su obalne konstrukcije u lukama ili gdje je potrebno uređenje obala, kao i drugi razlozi koje nameću posebne okolnosti prisutne pri izgradnji pojedinih građevina, kao što su primjerice konfiguracija terena, namjena građevina te transportni i tehnološki zahtjevi (Szavits-Nossan, 2012).

Zaštitne i potporne konstrukcije sastavni su dio gotovo svake građevine. Primjer su potporni zidovi na cestama, pristani u lukama, upornjaci mostova, osiguranja predusjeka tunela, dijelovi skladišta za rasute materijale i sl. (Roje-Bonacci, 2005). U gusto izgrađenim gradskim jezgrama kao zaštitne i potporne konstrukcije koriste se najčešće građevne jame kod kojih se javlja potreba za potpornom konstrukcijom koja može biti privremena, a može se i uklopiti u buduću građevinu.

## 2.2. Vrste zaštitnih i potpornih konstrukcija

Vrsta i dimenzija zaštitnih i potpornih konstrukcija ovisi o njenoj namjeni i o načinu izgradnje. Prema načinu oblikovanja i prijenosu sila u tlo razlikuje se nekoliko vrsta zaštitnih i potpornih konstrukcija: masivni potporni zid, zid od armiranog tla, zagatna stijena, sidrena konstrukcija, zagat i njihova kombinacija (Roje-Bonacci, 2005).

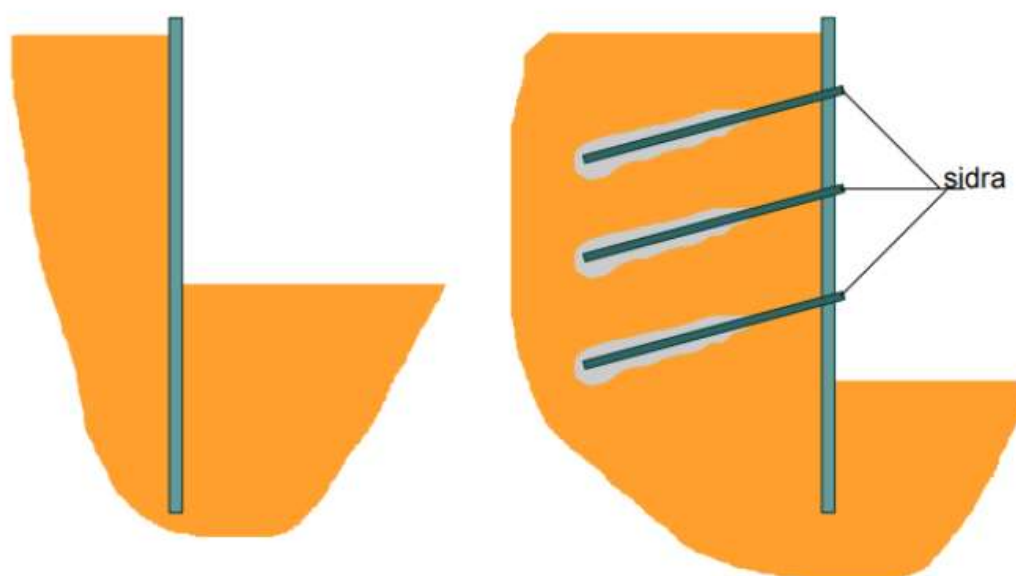
Na slici 2-1 prikazane su neke vrste potpornih zidova u koje spadaju: gravitacijski masivni betonski zid, armirano – betonski T zid, armirano – betonski L zid i gabionski zid.



Slika 2-1. Vrste potpornih zidova s preliminarnim proračunskim dimenzijama (Szavits-Nossan, 2012)

Gravitacijski masivni zid je najjednostavnija vrsta zida, a najčešće se izvodi od nearmiranog betona, a sile preuzima svojom masom. Armirano-betonski L i T zidovi stabilnost postižu oblikovanjem zida i težinom tla koja pritišće stopu u pozadini. Gabionski zid izgrađuje se slaganjem gabiona koji predstavljaju kvadarske košare izrađene od pletene pocinčane mreže punjenje odgovarajućim kamenom.

Zagatna stijena je vertikalna konstrukcija zabijena u tlo i direktno rađena u tlu, a preuzima pritisak i osigurava stabilnost vertikalne stijene, a može služiti i kao zaštita od podzemne vode. Radi se od različitih materijala, a može biti slobodno stojeća ili usidrena (slika 2-2).

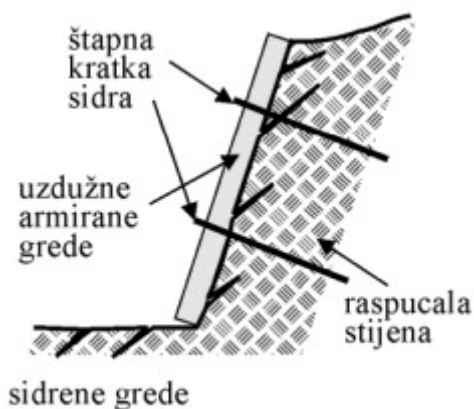


Slika 2-2. Vrste zagatnih stijena (Kvasička i Domitrović, 2007)

### 2.3. Sidrene konstrukcije i sidra

Sidrena konstrukcija omogućava fazni iskop, a postavlja se nakon svake faze iskopa pri kojem sidrena konstrukcija omogućava preuzimanje opterećenja nestabilne mase te stabilizira lica kosina podložnih trošenju, usjeka građevnih jama neposredno uz postojeću građevinu i slično. Sidra su glavni elementi sidrene konstrukcije koji se koriste za stabilizaciju i povećanje čvrstoće tla ili stijene, a izgrađene su kao metalne šipke, kablovi ili žice. Svrha sidra je da preuzmu sile koje djeluju na tlo i spriječe urušavanje, klizanje i sl. te da te površinske pritiske prenesu u duboke i stabilne slojeve tla. Uz sidra može na površini postojati nosiva građevina koja se može sastojati od pojedinačnih blokova, greda, ploča i

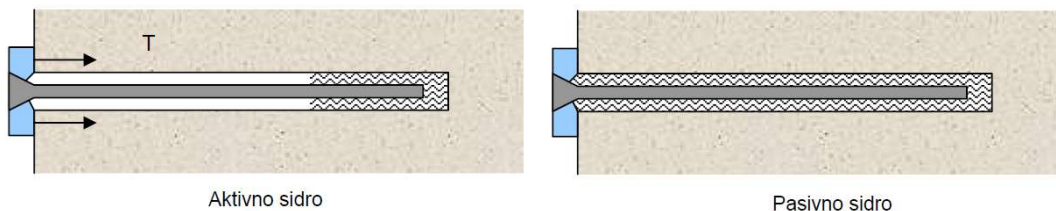
ljusaka (Roje-Bonacci, 2005). Na slici 2-3 prikazana je sidrena greda sa štapnim kratkim sidrima.



**Slika 2-3.** Sidrena greda (Roje-Bonacci, 2005)

Sidro funkcionira kao element koji pridrži masu tla iznad sebe, a može se ugrađivati u gotovo svaku vrstu tla u bilo kojem smjeru. Nosivost i djelovanje sidara ovisi o vrsti temeljnog tla u koji se ugrađuje, postupcima ugradnje te o kvaliteti izrade koja se može postići na terenu. U visokoplastičnoj glini, zbijenim prahovima, pijesku i šljunku nosivost je vrlo dobra.

Sidra se dijele (slika 2-4) na aktivna (prednapregnuta) i pasivna (neprednapregnuta), a razlika je u tome ako se sidro nakon ugradnje prednapinje. Po postojanosti dijelimo sidra na sidra za privremene građevine i na sidra za stalne svrhe. Sidra se prema vrsti usidrenja dijele na sidra s mehaničkim usidrenjem kraja zatege, sidra s usidrenjem adhezijom i kombinirana, s mehaničkim usidrenjem i adhezijom.

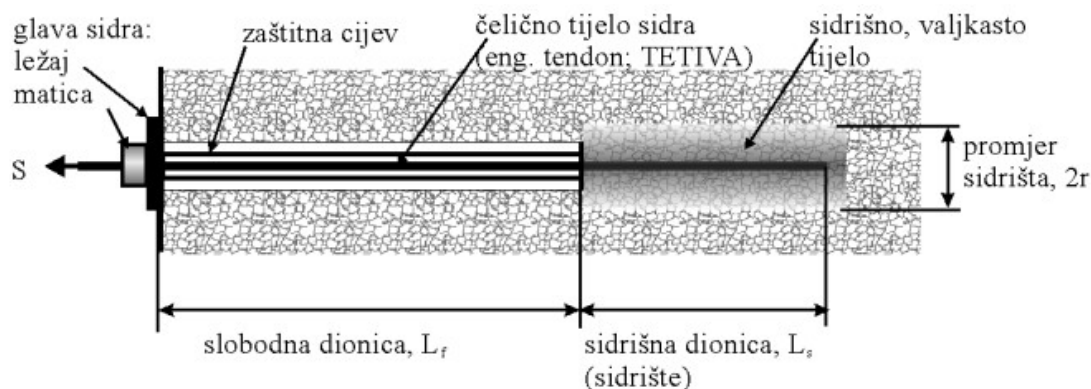


**Slika 2-4.** Aktivno i pasivno sidro (Vrkljan, 2013)



Geotehničko, odnosno aktivno sidro (slika 2-5) je konstruirano od 3 glavna elementa:

- Sidrišne dionice, duljine  $L_s$ ,
- Slobodne dionice, duljine  $L_f$ ,
- Glave sidra.



**Slika 2-5.** Skica dijelova sidra injektiranog na jednom dijelu (Roje-Bonacci, 2005)

Slobodna dionica geotehničkog sidra se nalazi između sidrene konstrukcije i tla. Funkcija slobodne dionice je prijenos sile u dublje zone kako bi se došlo do stabilnijih dijelova tla te da se izbjegne povratni refleks opterećenja iz sidrišne zone u sidreni objekt i osigurava elastičnu fleksibilnost sidra kako bi pad sile prednaprezanja bio minimalan i omogućava se prilagodba na pomake koji se dešavaju unutar sidrene građevine. EN 1997-1, 2004 predlaže minimalnu duljinu slobodne dionice 5 m.

Sidrišna dionica je dio sidra koji se postavlja na dno bušotine kod geotehničkih sidara, a predstavlja duljinu preko koje se ostvaruje veza s okolnim tlom te ona prenosi silu sa sidra u tlo. Sila se prenosi preko kontaktnih naprezanja između sidra, injekcijske smjese i tla, dok nosivost ovisi o vrsti tla u koji se sidro ugrađuje i o tlaku prilikom injektiranja.

Prema Općim tehničkim uvjetima (OTU, 2022) izvedba geotehničkog sidra kreće od bušenja. Promjer bušotine kreće se između 150 i 200 mm. Bušenje se izvodi rotacionom ili rotaciono – udarnom bušilicom. Za kvalitetnu bušotinu treba održavat točan smjer, nagib i promjer bušotine, a bušaći stroj prije bušenja mora biti pravilno postavljen i usmjeren. Idući korak je umetanje vlačnog elementa koji se postavlja u prethodno izrađenu bušotinu. Prije injektiranja potrebno je ugraditi brtvu koja označava granicu između sidrišne i slobodne dionice. Injektiranje sidrišne dionice se izvodi kako bi se na kontaktu sidra i tla povećala čvrstoća i smanjila propusnost materijala tla u sidrišnoj dionici. Kvaliteta injektiranja ovisi o kvaliteti smjese za injektiranje, tlaku injektiranja i brzini i vremenu injektiranja injekcijske

smjese. Kvaliteta sidara najviše ovisi o izvedbi injekcijskih radova te je iz tog razloga potreban stalni nadzor. Zadnji korak je prednapinjanje sidra. Sidra se prednapinju kada je injekcijska smjesa dosegla 60% svoje čvrstoće. Prednapinjanjem sidra dolazi do trenutnog aktiviranja sidra i posredno se kontrolira uspješnost izvedbe. Oprema za prednapinjanje se sastoji od specijalne hidrauličke preše, hidrauličke crpke, mjernih instrumenata i mikroure (OTU, 2022).

Štapna sidra se također ugrađuju u bušotine. Jedan od načina izvedbe je da se bušotina ispunji injekcijskom smjesom te se štapno sidro ugrađuje u zapunjenu bušotinu (slika 2-6). Štapno sidro se zatim priteže na minimalnu silu (Roje-Bonacci, 2005).



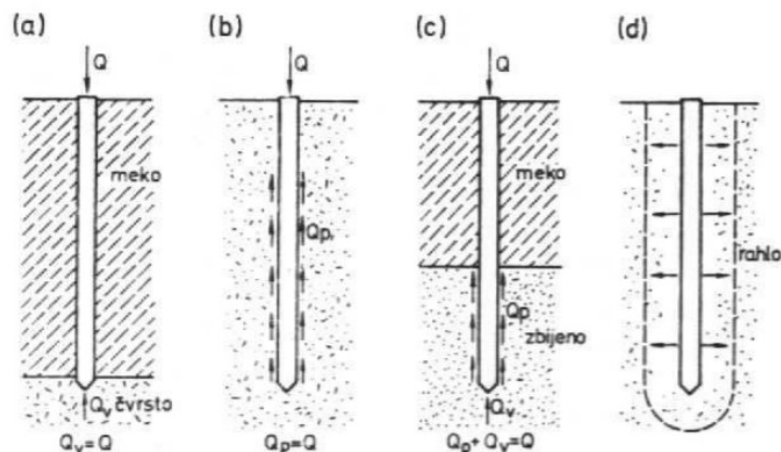
Slika 2-6. Izvedba štapnog sidra (Ivšić, 2012)

#### 2.4. Piloti

Piloti su stupovi od čvrstog materijala koji prenose sile građevine u dublje slojeve ili imaju funkciju zagate stijene (Nonveiller, 1979). Grade se kada prirodno tlo nije povoljno za plitko temeljenje što je najčešće u urbanim sredinama.

Silu u tlo piloti mogu prenositi na sljedeće načine (slika 2-7):

- a) Stojeći pilot – preko vrha (kao stupovi) kada je dobro nosivo tlo za pilote u dohvatljivoj dubini,
- b) Lebdeći pilot – trenjem preko plašta stupa i vrha, kada je tlo jednolično do većih dubina,
- c) Kombinirano – preko vrha i trenjem na plaštu,
- d) Zbijanje tla oko pilota.



**Slika 2-7.** Vrste pilota i prijenosa sile u tlo (Nonveiller, 1979)

Pravilna izvedba pilota je vrlo važna komponentna njegove nosivosti te se iz tog razloga tehnologija izvedbe pilota određuje ovisno o načinu prijenosa sile i vrsti tla. Dubina pilota treba biti u skladu sa širinom građevine. Temeljenje na pilotima smanjuje slijeganje građevine ako piloti prenose naprezanja u dublje slojeve manje stišljivosti tla.

Piloti se ugrađuju zabijanjem, utiskivanjem, uvrtnjem ili bušenjem s injektiranjem ili bez njega. Koristi se velik broj različitih tipova pilota, a načelno se razlikuju: piloti koji ne razmiču tlo tijekom izvedbe (npr. bušeni piloti) i piloti koji razmiču tlo tijekom izvedbe (npr. zabijani piloti).

Tehnička svojstva i drugi zahtjevi za projektiranje i izvedbu pilota propisani su hrvatskom normom HRN EN 1997-1.

#### 2.4.1. Mikropiloti

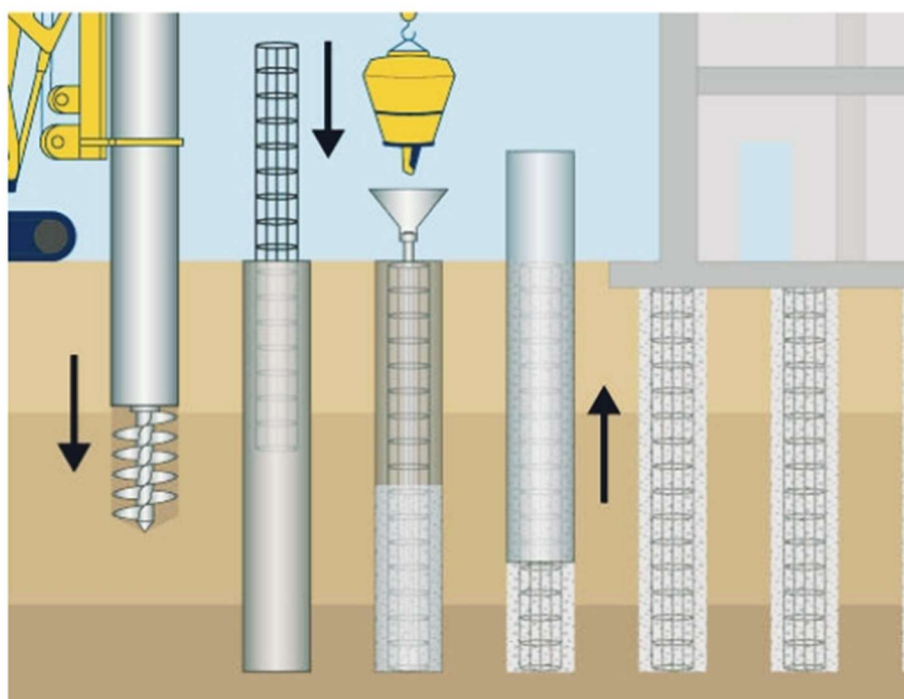
Pod pojmom mikropilota smatraju se piloti s promjerom manjim od 30 cm, a često znaju biti manji od 25 cm. Koriste se kao potporna građevinama blizu podzemnih iskopa, stabilizaciju pokosa i formiranje potpornih zidova i zagatih stijena. Mikropiloti su se razvili zbog mjesta gdje je ograničena dostupnost mehanizacije za izvođenja radova, a koriste se za temeljenje obiteljskih kuća i drugih manjih građevina kod kojih metoda plitkog temeljenja ne bi zadovoljila granično stanje uporabivosti objekta. Mikropiloti se koriste i pri stabilizaciji kosina, kako bi se stvorio ojačani blok tla, za ojačanje postojećih zaštitnih i potpornih konstrukcija i kao zid od mikropilota.

Mikropiloti se u tlo ugrađuju pod raznim kutovima, a služe za ojačanje tla. Primjenjuju se kao tlačni elementi i služe za poboljšanje nosivosti te podnose posmična naprezanja i u

ograničenom opsegu savijanja, također u nekim uvjetima mogu se primijeniti i kao vlačni elementi. Ugrađuju se do dubine od 30 m i više.

Prema izvedbi mikropiloti se dijele na bušene mikropilote koji imaju promjer do 300 mm i na zabijene mikropilote vanjskog promjera do 150 mm (EN 14199, 2015). Ugradnja mikropilota kreće od bušenja, postavljanje armaturnog koša u središte bušotine i injektiranje.

Tehnika izrade bušotine za mikropilot ovisi o vrsti tla i o uvjetima na terenu. Tlo se buši posebnim strojevima koji su namijenjeni za rad na mjestima s ograničenim pristupom. Za izgradnju mikropilota tlo se buši do određene dubine i obično se postavlja privremena zaštitna cijev, nakon čega se postavlja armaturni koš i kreće injektiranje betona pod pritiskom počevši od dna bušotine prema gore. Zadnji korak je izvlačenje privremene zaštitne cijevi. Proces izrade mikropilota prikazan je na slici 2-8.



**Slika 2-8.** Proces izrade mikropilota (izvor: civilmint.com)

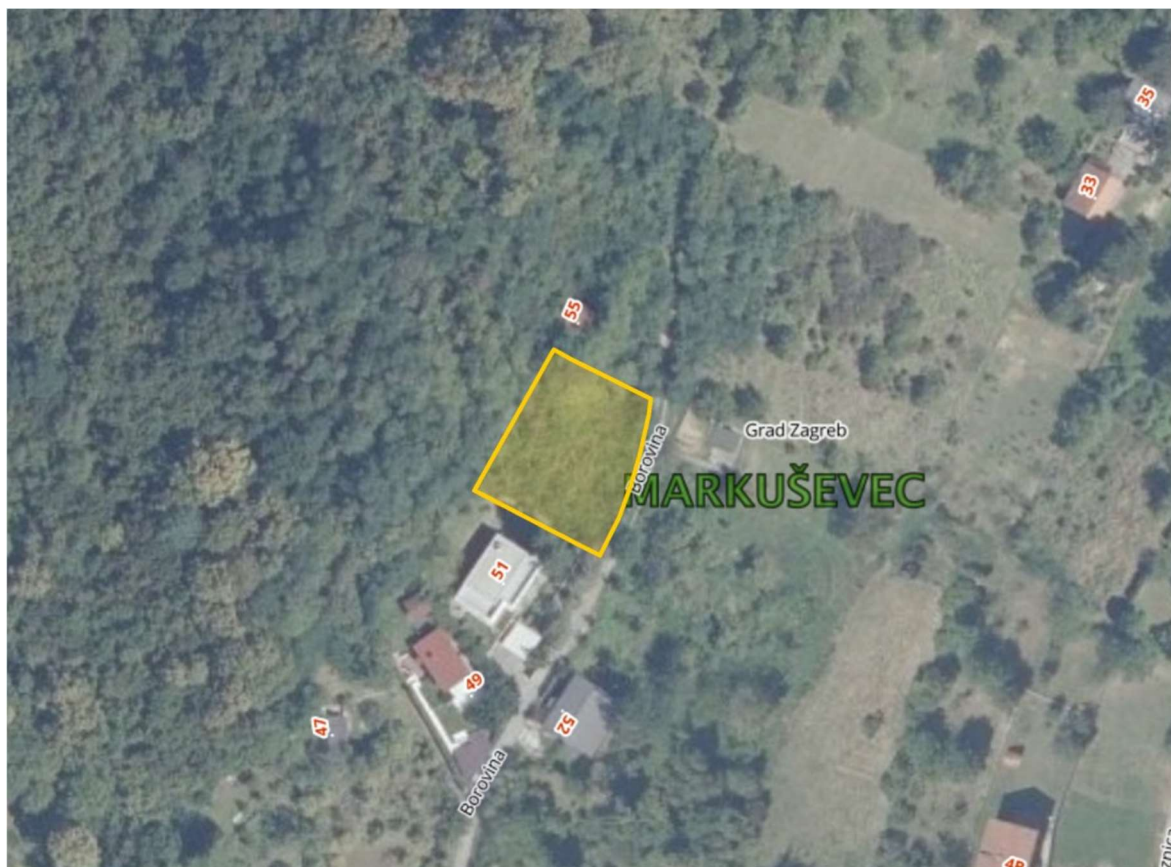
Mikropiloti imaju relativno visoku nosivost i mogu izdržati vlačne, tlačne i bočne sile. Još neke od prednosti korištenja mikropilota su: mogu se koristiti u različitim vrstama tla te poboljšavaju zbijenost, manjih su dimenzija te su jeftiniji i s obzirom na druge vrste pilota, prilikom izrade i/ili ugradnje mikropilota dolazi do manjim vibracija i buke i mogu se postavljati u blizini postojećih građevina jer nema ometanja okolnih struktura.

### 3. OPIS ZAŠTITNE I POTPORNE KONSTRUKCIJE

Primjer zaštitne i potporne konstrukcije na kojoj će biti analiziran utjecaj nagiba štapnih pasivnih sidara je zaštitna i potporna konstrukcija stambene zgrade s jednom stambenom jedinicom.

#### 3.1. Stambena zgrada s jednom stambenom jedinicom

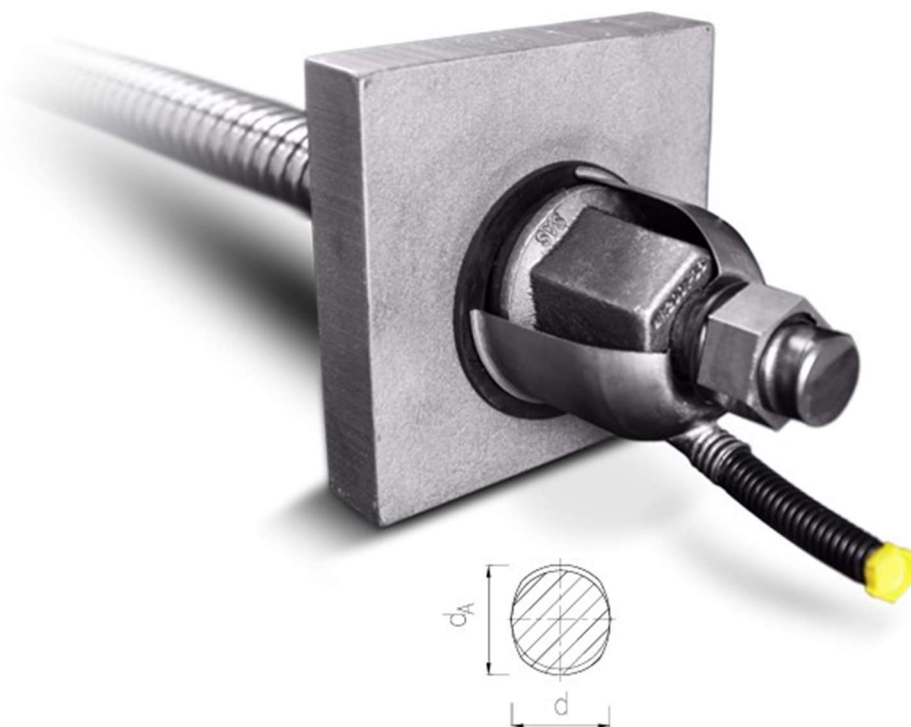
Na slici 3-1 prikazana je lokacija objekta u Markuševcu na kojoj se gradi stambena zgrada s jednom stambenom jedinicom i pomoćni objekt. Stambena zgrada bit će namijenjena kao obiteljska kuća. Obiteljska kuća sastoji se od podruma, prizemlja i uvučenog kata, a pomoćni objekt se sastoji od prizemlja. Objekt se radi na strmom terenu nagiba cca 25° u smjeru SZ - JI. Udaljenost obiteljske kuće od susjednih čestica na jugoistočnoj strani je 10,27 m (7,63 m od pravca na kojem će se proširiti cesta), na sjeveroistočnoj strani najkraća udaljenost je 3,0 m, na sjeverozapadnoj strani od terase do susjedne čestice iznosi 15,81 m, dok je udaljenost objekta 19,17 m. Pomoćna zgrada je od susjednih čestica na jugoistočnoj strani udaljena 22,1 m (19,35 m od pravca proširenja ceste), sjeverozapadno 3,0 m te jugozapadno je najkraća udaljenost 3,0 m. Dimenzije obiteljske kuće su 10,47 m x 7,84 m s dvije terase, odnosno ukupna tlocrtna površina iznosi 110,41 m<sup>2</sup>.



Slika 3-1. Lokacija objekta (izvor: oss.uredjenazemlja.hr)

### 3.2. Zaštitna i potporna konstrukcija stambene zgrade

Rješenje zaštitne i potporne konstrukcije objekta sastoji se od zaštitne građevne jame i potporne konstrukcije. Glavni elementi zaštitne građevne jame obuhvaćaju armiranobetonski mikropiloti po obodu građevine dimenzija  $\varnothing = 300,0$  mm, duljine  $L = 5,0$  m,  $L = 6,0$  m,  $L = 8,0$  m i  $L = 9,0$  m, na razmaku  $\Lambda = 1,0$  m; armiranobetonska naglavna/sidrena grede dimenzija 40 cm x 40 cm i 45 cm x 40 cm; štapna pasivna sidra dimenzija  $L = 6,0$  m,  $\varnothing = 26,50$  mm, SAS 950/1050 (slika 3-2); obložni zid,  $d = 10,0$  cm i mlazni beton,  $d = 5,0 - 7,0$  cm.



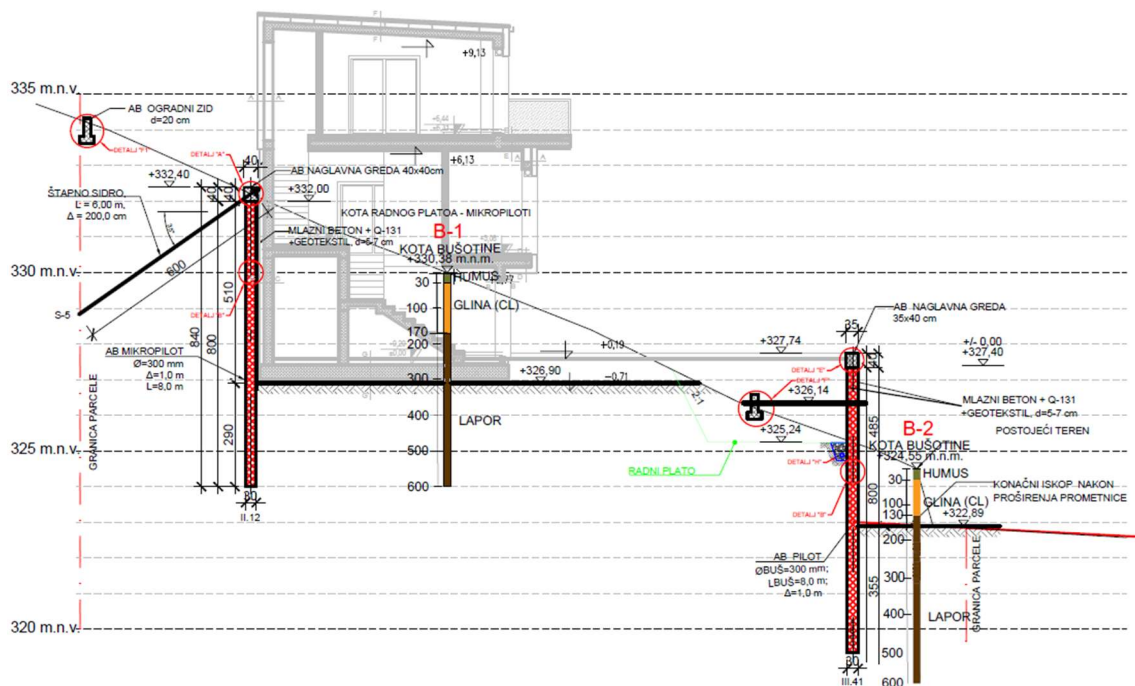
Slika 3-2. Štapno sidro SAS 950/1050 (izvor: sas-950-1050-katalog.pdf)

Uz zaštitnu građevnu jamu projektirana je i potporna konstrukcija sa armiranobetonskim mikropilotima dimenzija  $\varnothing = 300,0$  mm, duljine  $L = 3,0$  m,  $L = 4,0$  m,  $L = 5,0$  m,  $L = 6,0$  m,  $L = 8,0$  m i  $L = 9,0$  m, na razmaku  $\Lambda = 1,0$  m; armiranobetonska naglavna/sidrena greda dimenzija 40 cm x 40 cm i 45 cm x 40 cm; zatega dimenzija  $L = 3,0$  m,  $\varnothing = 18,00$  mm, SAS 670/800, mlazni beton,  $d = 5,0 - 7,0$  cm. Uporabni vijek za navedene konstrukcije iznosi 50 godina. Zaštitna građevna jama osigurava najveću denivelaciju terena od 5,70 m, a potporna konstrukcija od 4,85 m. Kanal smješten po obodu građevne jame osigurat će odvodnju oborinskih voda. Izvedba zaštitne i potporne konstrukcije definirana je sa osam presjeka (Martomis projekt, 2023). Presjeci 1-1 i 2-2 imaju najveću denivelaciju terena pa je presjek 2-2 odabran za numeričke analize utjecaja nagiba sidra na pomake konstrukcije.



Zaštitna i potporna konstrukcija u sklopu presjeka 2-2 izvodi se u dvije faze. U prvoj fazi predviđeno je formiranje rampe do pozicije izvedbe zaštitne konstrukcije stambenog objekta nakon čega slijedi iskop i formiranje do kote u kojoj će se izvoditi armiranobetonski pilot. Slijede radovi na vertikalnim mikropilotima dimenzija  $\varnothing = 30,0$  cm, duljine  $L = 8,0$  m na razmaku  $\Lambda = 1,0$  m te ugradnja armaturnog koša (8  $\varnothing 16$ ,  $\varnothing 8/15$  (B500)) i zasipavanje sitnozrnim betonom. Radit će se armiranobetonska naglavna greda  $b \times h = 40$  cm  $\times$  40 cm pilota kao dio konstrukcije pilota i kao sidrena greda koja će biti armirana s 4  $\varnothing 16$  u 2 zone,  $\varnothing 10/20$  (B500). Kroz uvodno kućište naglavne grede postavljat će se pasivna štapna sidra dimenzija  $\varnothing = 26,50$  mm, duljine  $L_{uk} = 6,0$  m ( $L_s = 6,0$  m,  $L_f = 0,0$ ), na razmaku od  $\Lambda = 2,0$  m pod kutom od  $\leq 35^\circ$  te će sidra dosegat vlačnu silu od  $F = 20$  kN. Na kraju će se izvesti konačni iskop i izvedba kanala za odvodnju po obodu jame. Armaturna mreža Q 131 i ugradnja mlaznog betona postepeno će se postavljati na lice pilota.

U drugoj fazi formira se radni plato izradom nasipa za izvedbu potporne konstrukcije prednjeg zida pristupne ceste za izvedbu armiranobetonskog pilota. Rade se vertikalni mikropiloti dimenzija  $\varnothing = 30,0$  cm, duljine  $L = 8,0$  m na razmaku  $\Lambda = 1,0$  m te ugradnja armaturnog koša (8  $\varnothing 16$ ,  $\varnothing 8/15$  (B500)) i zasipavanje sitnozrnim betonom. Radit će se armiranobetonska naglavna greda  $b \times h = 35$  cm  $\times$  40 cm pilota kao dio konstrukcije pilota i kao sidrena greda koja će biti armirana s 4  $\varnothing 16$  u 2 zone,  $\varnothing 10/20$  (B500) (4 šipke promjera 16 mm postavljene u gornjoj i donjoj zoni grede obavijene armaturnom vilicom promjera 10 mm postavljene na razmaku od 20 cm, armirano čelikom klase B500). Postavljanje sidrenog bloka i zatega  $\varnothing = 26,50$  mm, duljine  $L = 3,0$  m na razmaku od  $\Lambda = 1,0$  m. Na kraju će se izvesti konačni iskop i proširenje prometnice do regulacijske linije. Armaturna mreža Q 131 i geotekstil postepeno će se postavljati na lice pilota. Na slici 3-3 je shematski prikaz presjeka 2-2 potporne konstrukcije.

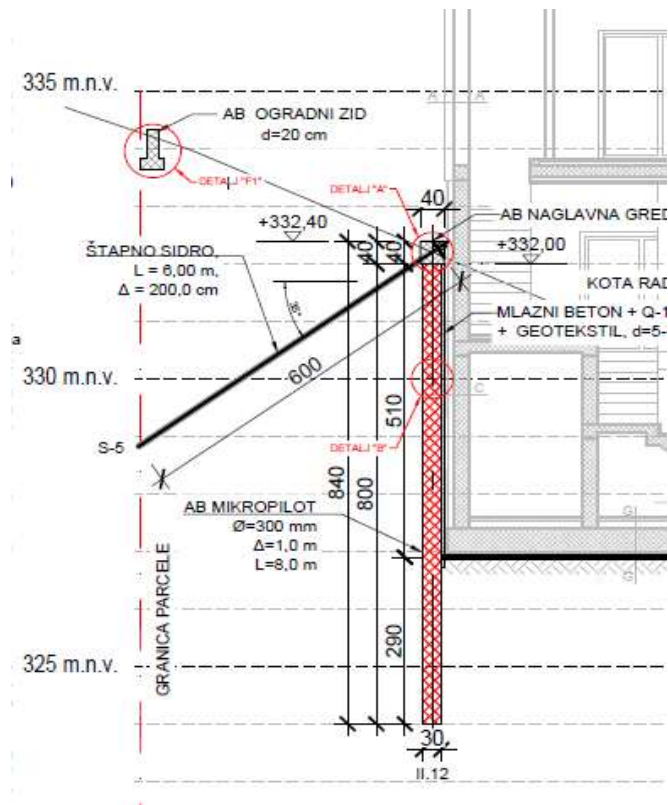


**Slika 3-3.** Shematski prikaz presjeka 2-2 potporne konstrukcije sa ucrtanim položajima istražnih bušotina i geotehničkim sredinama (modificirano prema Martomis projekt, 2023)

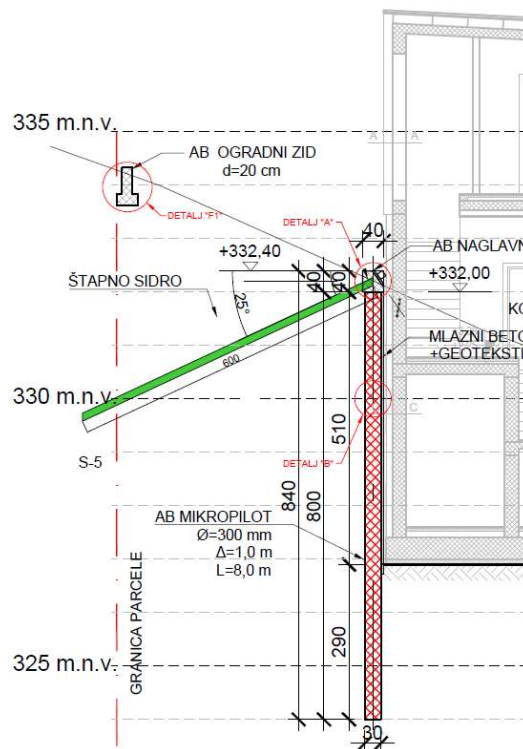
### 3.3. Mogućnost primjene različitih nagiba štapnih pasivnih sidra

Zaštitna konstrukcija građevnom jamom nalazi na horizontalnoj udaljenosti od 4,87 m od susjedne parcele. U ovom radu razmatra se mogućnost primjene različitih nagiba štapnih pasivnih sidara na stabilnost zaštitne konstrukcije. Pri tome su u analizama korištena štapna pasivna sidra duljine 6 m smještena pod nagibom od 35° (dalje slučaj A) (slika 3-4) zatim štapna pasivna sidra duljine 6 m smještena pod nagibom od 25° (dalje slučaj B) (slika 3-5) i štapna pasivna sidra duljine 6 m smještena pod nagibom od 15° (dalje slučaj C) (slika 3-6).

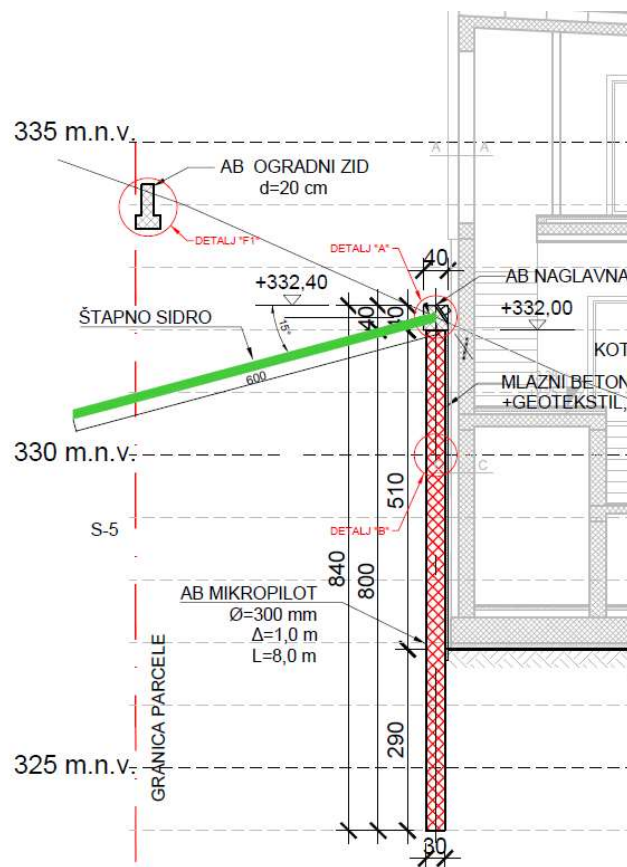




Slika 3-4. Detalj koji prikazuje pasivno štapno sidro pod kutom od  $35^\circ$  (slučaj A) (Martomis projekt, 2023)



Slika 3-5. Detalj koji prikazuje pasivno štapno sidro pod kutom od  $25^\circ$  (slučaj B)



Slika 3-6. Detalj koji prikazuje pasivno štapno sidro pod kutom od 15° (slučaj C)

## 4. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI

Na slici 4-1 prikazana je lokacija istražnih radova koji su bili podloga za određivanje geotehničkih uvjeta izgradnje i planiranje odnosno projektiranje sigurnog prijenosa opterećenja budućeg objekta na temeljno tlo.

### 4.1. Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi

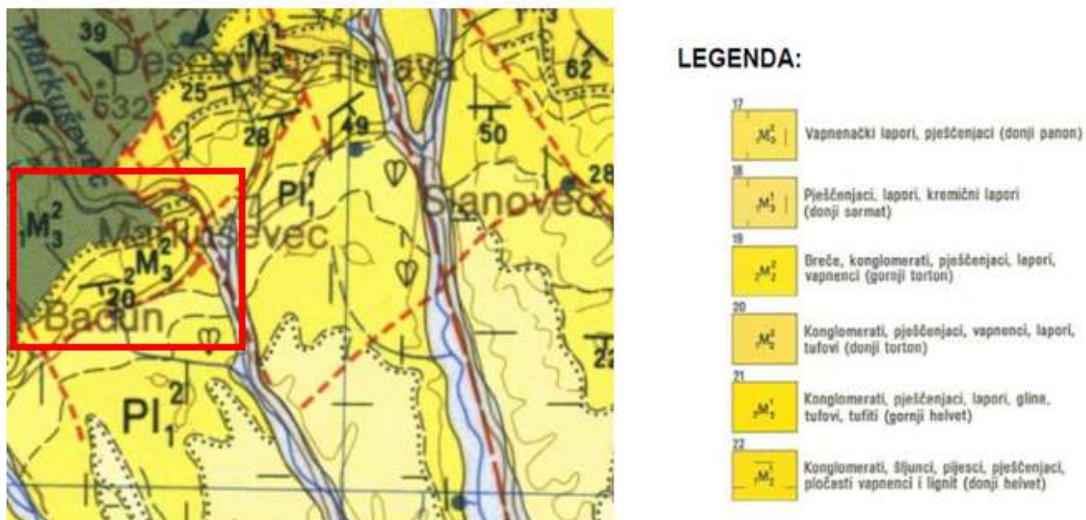
Lokacija istraživanog područja smještena je u Podsljemenskoj zoni. Teren je pozicioniran na nadmorskoj visini od 332 m.n.m. pod nagibom do 25° u smjeru SZ – JI. Na slici 4-1 prikazana je lokacija istražnih radova.



Slika 4-1. Slika lokacije: JZ ugao parcele (Martomis projekt, 2022)

#### 4.1.1. Geološka građa područja

Uvidom u Osnovnu geološku kartu (OGK) M 1:100 000, list Ivanić grad (Basch, 1980) broj lista L 33-81 utvrđeno je kako se predmetna lokacija nalazi na području miocenskih naslaga koje se pretežito sastoje od vapnenačkih lapora i pješčenjaka. Na slici 4-2 prikaz je isječka OGK šireg područja lokacije istraživanog područja s naznačenom istraživanom lokacijom.



Slika 4-2. Geološka karta predmetne lokacije – OGK Ivanić – grad (M 1:100 000)

Vapnenački lapori i pješčenjaci – Donji Panon (oznaka  $1M^2_3$ ) nalaze se u relativno uskom pojasu donjopanonskih, brakičnih sedimenata koji se protežu jugoistočnim obroncima Medvednice. Donjopanonski sedimenti razvijeni su u facijesu croatica naslaga te se kontinuirano nalaze na donjosarmatskim sedimentima gdje se često javlja i ingresivno zalijeganje zbog čega leže diskordantno na pretercijarnim stijenama. Sastava su vapnenačkog lapora koji s povećanjem karbonatnih čestica prelazi u laporovite vapnence koji su svjetlosive, žućkastosive i smeđesive boje, uslojeni su centimetarski (rjeđe decimetarski) u kojima prevladavaju sitnozrne stijene neravnih površina. Determinirane su kao kalcilutiti u kojima se količina karbonatne komponentne kreće 68 – 95 %, a mogu sadržavati i manje količine terigenog detritusa. Unutar navedenih naslaga kao rijetki i tanki proslojci javljaju se organoklastični vapnenački pješčenjaci koji su determinirani kao biokalkareniti s vezivom od mikrokristalastog kalcita. Na dijelovima terena gdje naslage ležu diskordantno na pretercijarnim stijenama vapnenački pješčenjaci postaju krupnozrniji i sadrže nezaobljene ili slabozaobljene fragmente neposredne podloge. Debljina donjopanonskih sedimenata proteže se do 170 m (Basch, 1980).

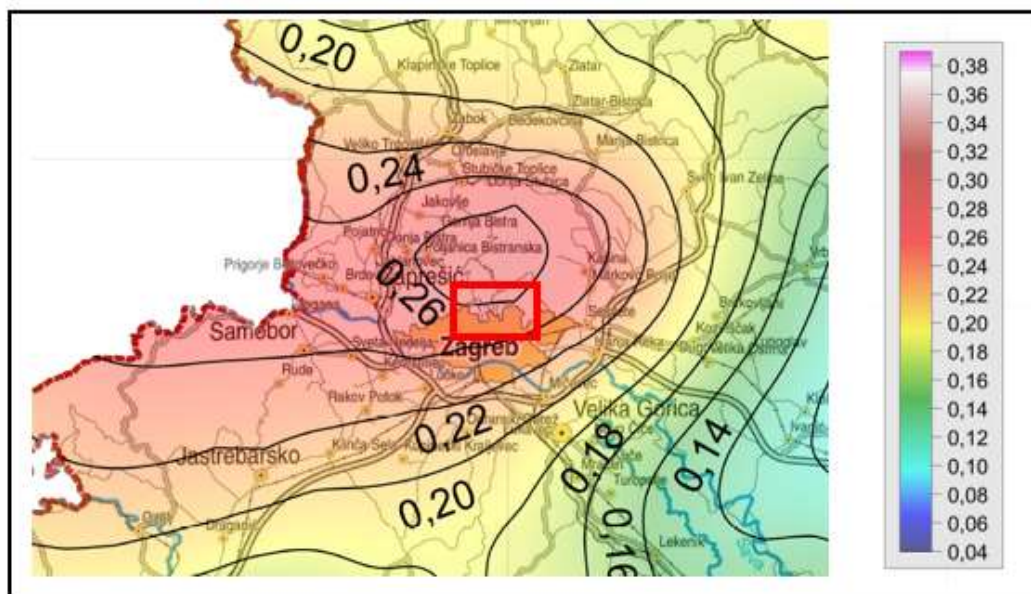
Lapori i pješčenjaci – Gornji Panon (oznaka  $2M^2_3$ ) nalaze se na jugoistočnim padinama Medvenice te se protežu do Bačuna prema istoku. Litološkim i paleontološkim karakteristikama kaspibraktični sedimenti gornjeg panona odgovaraju facijesu tzv. banatica naslaga. Konkordantno su taloženi preko donjopanonskih sedimenata. Vapnenački lapori s količinom karbonatne komponente i do 70 % nalaze se u bazalnom dijelu naslaga. Karakteristike tih naslaga su: čvrste, žućkaste, žućkastosive ili sive stijene koje su u nižim dijelovima centimetarski uslojene. Sadržaj karbonatne komponente mjestimično pada i ispod



20 % krećući se prema gore, time lapori postaju mekši, glinoviti i često siltozni ili pjeskoviti. Na jugoistočnim obroncima Medvednice, u okolici Bačuna, nalaze se rijetki proslojci smeđih i smeđesivih, uslojenih, vapnenačkih pješčenjaka koji su determinirani kao kalkareniti. U sastavu terigenog detritusa ima slabozaobljenih fragmenata paleozojskih stijena iz neposredne podloge, koji su vezani karbonatnim vezivom. Maksimalna debljina gornjopanonskih sedimenata iznosi 200 m (Basch, 1980).

#### 4.1.2. Seizmičke karakteristike

Seizmička aktivnost usko je povezana sa strukturno-tektonskim odnosima i kretanjima pojedinih tektonskih cjelina. Na slici 4-3 prikazana je karta potresnih područja Republike Hrvatske na kojoj je označeno uže područje predmetne lokacije za povratno razdoblje od 475 godina. Prikazano je vršno ubrzanje tla tipa A (osnovna stijena) s vjerojatnosti premašaja od 10 % u 10 godina, a akceleracije su prikazane u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).



**Slika 4-3.** Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnošću promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje  $T_{NCR}=475$  godina (izvor: seizkarta.gfz.hr)

Vrijednost projektnog ubrzanja određuje se na temelju faktora važnost građevine, prema Eurokodu 8 (HRN EN 1998-1, 2011) i na temelju poredbenog ubrzanja tla u razredu A. U normi su dane vrijednosti od 1,40 za građevine čija je uporabljivost od velike važnost za javnost (vatrogasna postaja, bolnice i slično) do vrijednosti 0,80 za građevine koje nemaju veliki utjecaj na javnost. Kao faktor važnosti građevine odabrana je vrijednost 0,80, a na temelju karte prikazane na slici 4-3 očitana vrijednost poredbenog ubrzanja iznosi  $0,25 \cdot g$  te

se određuje vrijednost projektnog ubrzanja za povratno razdoblje od 475 godina u iznosu od 0,2·g.

#### 4.2. Terenski istražni radovi

Terenski istražni radovi provedeni su metodom istražnog bušenja ručnom rotacionom bušilicom uz kontinuirano jezgrovanje. Radovi su obuhvatili bušenje dvije sondažne bušotine dubine 6 m te ispitivanje relativne zbijenosti tla metodom standardnog penetracijskog pokusa (SPP). Na izbušenoj jezgri provedena je terenska klasifikacija. Odabrani reprezentativni neporemećeni i poremećeni uzorci dostavljeni su u laboratorij za provedbu laboratorijskih ispitivanja. Tijekom bušenja bilježena je pojava podzemne vode. U tablici 4-1 i na slici 4-4 dane su pozicije istražnih bušotina u prostoru.

**Tablica 4-1.** Pozicije istražnih bušotina u prostoru (Martomis projekt, 2022)

OZNAKA BUŠOTINE	DUBINA BUŠOTINE z (m)	KOORDINATE	
		E (m)	N (m)
B-1	6,0	461541	5081765
B-2	6,0	461555	5071760



**Slika 4-4.** Pozicije istražnih bušotina u tlocrtu (Martomis projekt, 2022)

### 4.3. Laboratorijska ispitivanja

U sklopu laboratorijskih geomehaničkih ispitivanja provedeno je ispitivanje prirodnog sadržaja vlage i indeksa konzistencija ( $w_0$ ,  $I_c$ ), Atterbergovih granica plastičnosti ( $w_L$ ,  $w_P$ ), prirodne vlažne i suhe jedinične težina tla ( $\gamma$ ,  $\gamma_d$ ) te je određena posmična čvrstoća izravnim smicanjem ( $\phi$ ,  $c$ ). U nastavku u tablicama 4-2 i 4-3 dani su karakteristični slojevi tla i opis fizikalnih osobina za bušotinu B-1 i B-2.

**Tablica 4-2.** Bušotina B-1

<b>BUŠOTINA B-1</b>	
DUBINA (m)	MATERIJAL
0,0 – 0,2	HUMUS
0,2 – 1,7	GLINA (CL), anorganska, srednje plastičnosti, krute konzistencije, žuto – sive boje
1,7 – 6,0	LAPOR, čvrste konzistencije, pločasto uslojen, žuto-sive boje
Podzemna voda nije zabilježena.	

**Tablica 4-3.** Bušotina B-2

<b>BUŠOTINA B-2</b>	
DUBINA (m)	MATERIJAL
0,0 – 0,3	HUMUS
0,3 – 0,6	GLINA (CL), anorganska, krute konzistencije, smeđe boje
0,6 – 1,3	GLINA (CL), laporovita s mjestimičnim uslojenim pločama lapora, žuto - sive boje
1,3 – 6,0	LAPOR, čvrste konzistencije, žuto-sive boje
Podzemna voda nije zabilježena.	

Na temelju istražnih radova definirane su tri geotehničke sredine na predmetnoj lokaciji:

- 1) HUMUS – nalazi se u rasponu od 0 m do najviše 0,3 m.
- 2) GLINA (CL) – srednjeplastična, anorganska, žuto-sive do smeđe boje, krute konzistencije, mjestimično laporovita. Dubine od 0,3 do 1,3 m, najviše do 1,7 m.
- 3) LAPOR – čvrste konzistencije, uslojena pločasto, žuto – sive boje.  $N_{SPP} = 42$ . Dubine od 1,7 m do 6 m.

Usvojene karakteristične vrijednosti parametara tla prikazane su sumarno u tablici 4-4.

**Tablica 4-4.** Usvojene karakteristične vrijednosti parametara tla (Martomis projekt, 2022)

<b>DUBINA (m)</b>	<b>VRSTA MATERIJALA</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>E (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\nu</math></b>	<b><math>\varphi</math> (°)</b>	<b>c (kN/m<sup>2</sup>)</b>
0,0 – 0,3	Humus	-	-	-	-	-
0,3 – 1,7	Glina (CL)	18,5	8000	0,25	22,5	5,0
1,7 – 6,0	Lapor	22,0	25000	0,25	26,0	42,0



## 5. REZULTATI I ANALIZA

Numerička analiza utjecaja nagiba sidra na stabilnost zaštitne konstrukcije napravljena je u programskom paketu Plaxis. Plaxis je jedan od najraširenijih softvera korišten u geotehnici. Jednostavan je za upotrebu i dovoljno precizan kako bi omogućio efikasno optimiziranje problema. Inačica Plaxis 2D koristi se za analizu deformacija i stabilnosti, a temelji se na analizi konačnih elemenata. Analize su provedene korištenjem Hardening soil modela za modeliranje ponašanja tla.

### 5.1. Model tla i proračun

Model tla napravljen je na temelju geometrije kosine i planiranih zahvata za izgradnju stambenog objekta. Uslojenost tla definirana je na temelju rezultata istražnih radova te na istom temelju su usvojeni parametri materijala. Model tla sastoji se od dvije vrste materijala, srednjeplastične gline i lapora. Parametri materijala koji su korišteni za izradu modela prikazani su tablicom 5-1.

**Tablica 5-1.** Usvojene projektne vrijednosti parametri tla (Martomis projekt, 2023)

Opis tla	Glina	Lapor	Nasip
Oznaka tla	CL	-	-
Vrsta tla	Drenirano	Drenirano	Drenirano
$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,5	22,0	20,0
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,5	22,0	20,0
$E_{50}^{\text{ref}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	8000	25 000	50 000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	8000	25 000	50 000
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	24 000	75 000	150 000
$c_{\text{ref}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	4	33,0	0,001
$\phi$ (°)	18,3	21,0	33,0
$\nu_{\text{ur}}$	0,2	0,2	0,2

Radni plato se formira do kote 332,00 m.n.m gdje se izvode armiranobetonski mikropiloti i naglavna greda, te se postavljaju pasivna štapna sidra, za slučaj A pod kutom od 35°, za slučaj B pod kutom od 25° i za slučaj C pod kutom od 15°. Duljina sidara iznosila je 6 m. Horizontalni razmak sidara iznosio je 2 m. Sidra su dotezana silom od 15 kN. Tablica 5-2 prikazuje svojstva i vrstu materijala kojom su dimenzionirana sidra.

**Tablica 5-2.** Parametri pasivnih štapnih sidra

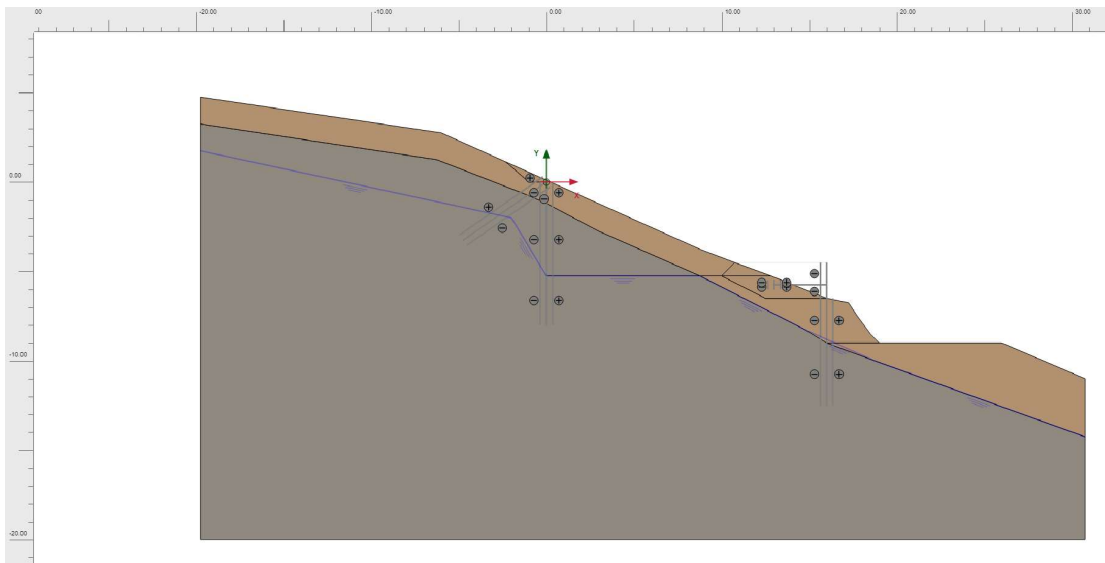
<b>Tip elementa</b>	<b>Štapno pasivno sidro „geogrid“</b>
<b>Vrsta materijala</b>	Elastoplastičan
<b>Ponašanje</b>	Izotropno
<b>EA<sub>1</sub> (kN/m')</b>	39 250
<b>N<sub>p,1</sub> (kN/m')</b>	10e6

Potporni zid i potporna konstrukcija od mikropilota modelirani su kao element *Plate*. Duljina mikropilota iznosila je 8 m, a promjer je 300 mm te su postavljeni na razmaku od 1,0 m, dok je zid debljine 25,0 cm i duljine 9 m. Usvojeni proračunski parametri dani su u tablici 5-3.

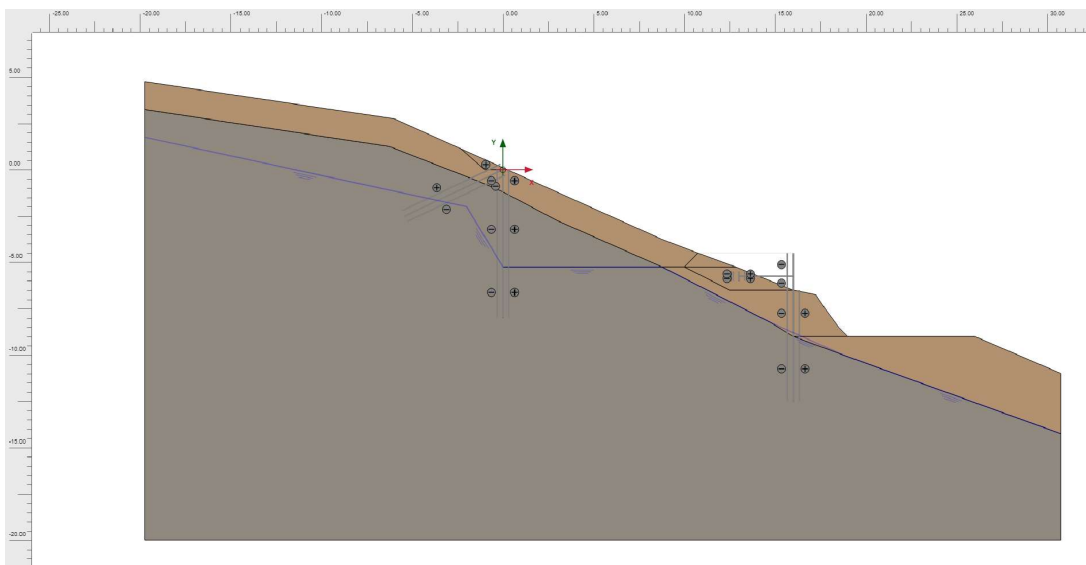
**Tablica 5-3.** Parametri mikropilota i potpornog zida

<b>Tip elementa</b>	<b>Mikropilot „Plate“</b>	<b>Potporni zid „Plate“</b>
<b>Vrsta materijala</b>	Elastoplastičan	Elastoplastičan
<b>Ponašanje</b>	Izotropno	Izotropno
<b>EA<sub>1</sub> (kN/m')</b>	2,120e6	7,500e6
<b>EI (kNm<sup>2</sup>/m)</b>	12,00e3	39,10e3
<b>w (kN/m/m)</b>	3,600	6,250
<b><math>\nu</math></b>	0,2	0,2

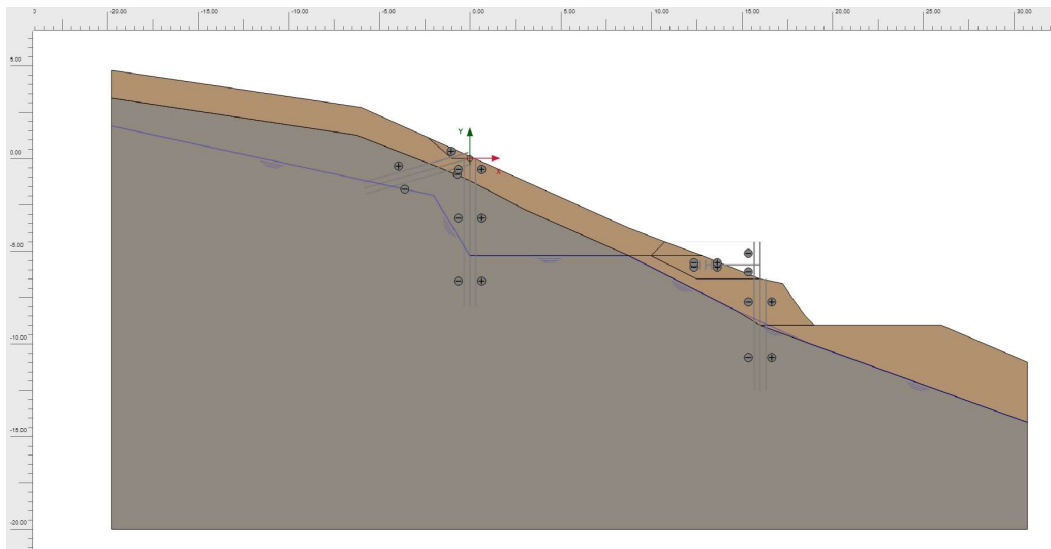
Prema navedenim podacima napravljen je model koji je prikazan na slikama 5-1, 5-2, 5-3 za slučajeve A, B i C.



**Slika 5-1.** Ulazni model za slučaj A



**Slika 5-2.** Ulazni model za slučaj B

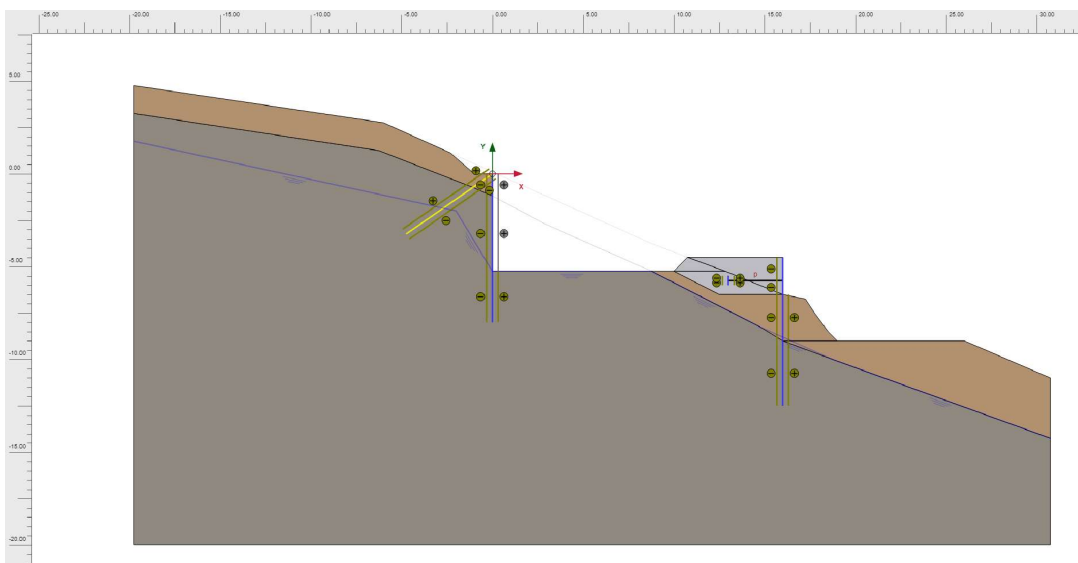


**Slika 5-3.** Ulazni model za slučaj C

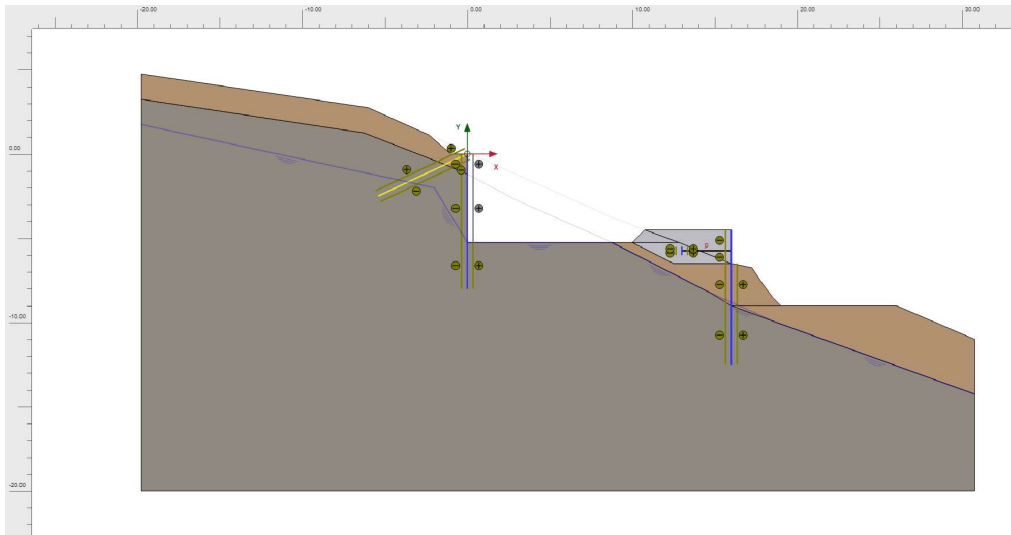
Analiza je napravljena u fazama pri čemu je najprije proračunato početno stanje naprezanja u tlu primjenom tzv. *gravity loadinga*. Nakon toga uslijedile su plastične analize koje su simulirale faze izgradnje zaštitne i potporne konstrukcije:

1. Faza – pripremni radovi na platou zaštitne konstrukcije,
2. Faza – ugradnja pilota i štapnih sidara zaštitne konstrukcije te iskop,
3. Faza – ugradnja pilota i zatega potpornog zida te izrada nasipa.

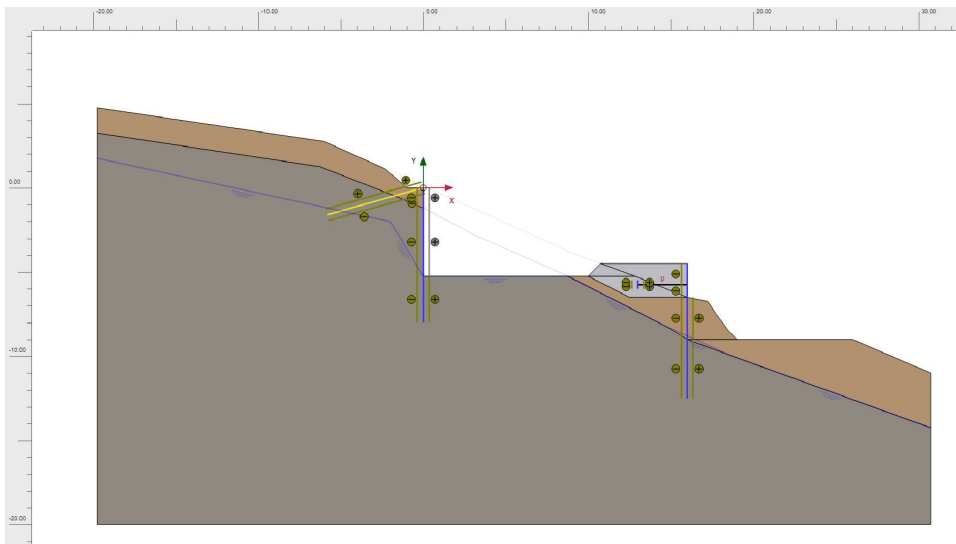
Od faza izgradnje najznačajnija je druga faza gdje se postavljaju armiranobetonski piloti zaštitne konstrukcije i štapna sidra. Konačan izgled zaštitne i potporne konstrukcije nakon iskopa i izrade nasipa za slučaj A, B i C prikazane su na slikama 5-4, 5-5 i 5-6.



**Slika 5-4.** Konačan izgled zaštitne i potporne konstrukcije nakon iskopa i izrade nasipa za slučaj A



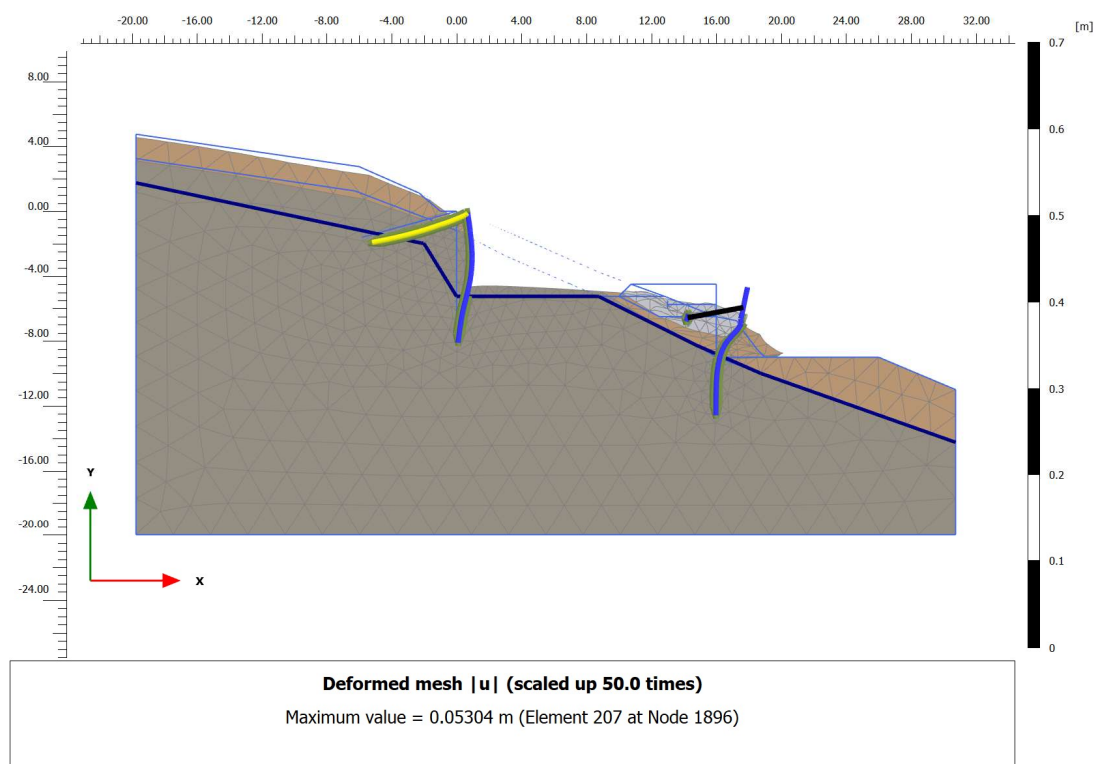
**Slika 5-5.** Konačan izgled zaštitne i potporne konstrukcije nakon iskopa i izrade nasipa za slučaj B



**Slika 5-6.** Konačan izgled zaštitne i potporne konstrukcije nakon iskopa i izrade nasipa za slučaj C

## 5.2. Rezultati proračuna

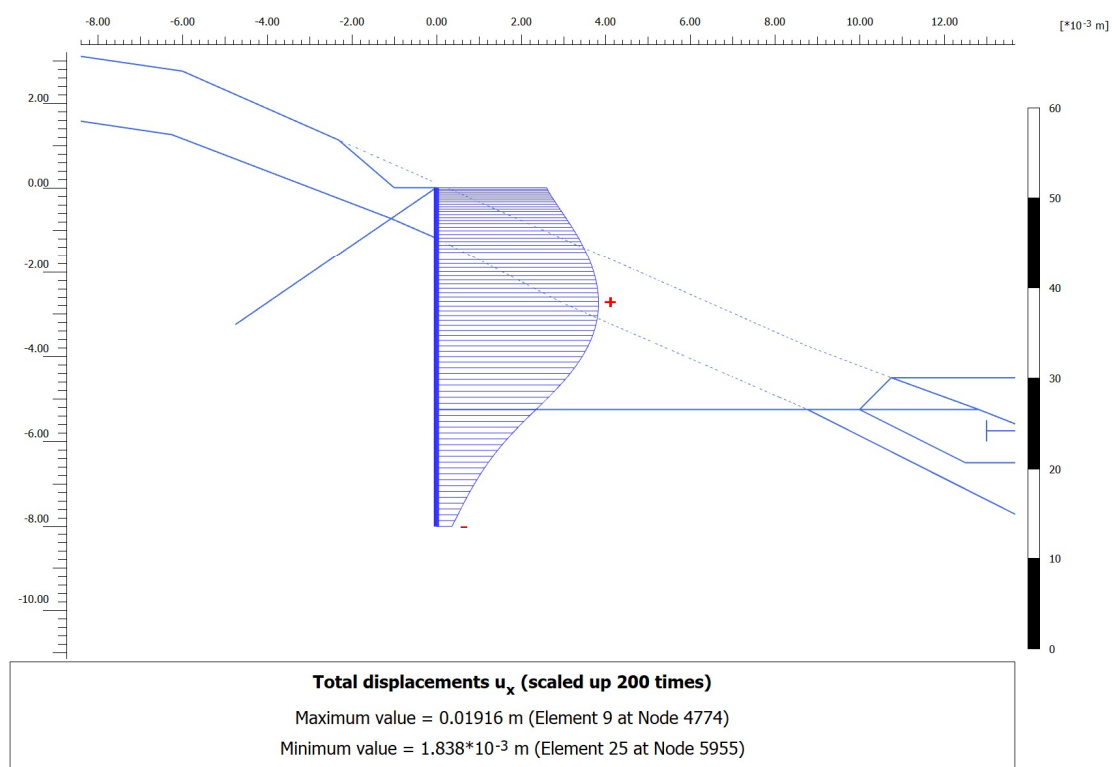
Prvi podatak koji je moguće vidjeti nakon proračuna zaštitne i potporne konstrukcije u programskom paketu Plaxis 2D je deformirana mreža konačnih elemenata. Navedeno prikazuje vrijednost maksimalnih ukupnih pomaka na modelu. U ovom slučaju najveći ukupni pomaci ostvareni su u dijelu potporne konstrukcije koji primarno nije dio analize ovog rada pa je na slici 5-7 prikazana kao primjer deformirana mreža konačnih elemenata za slučaj C, kada je nagib pasivnih štapnih sidara iznosio  $15^\circ$ .



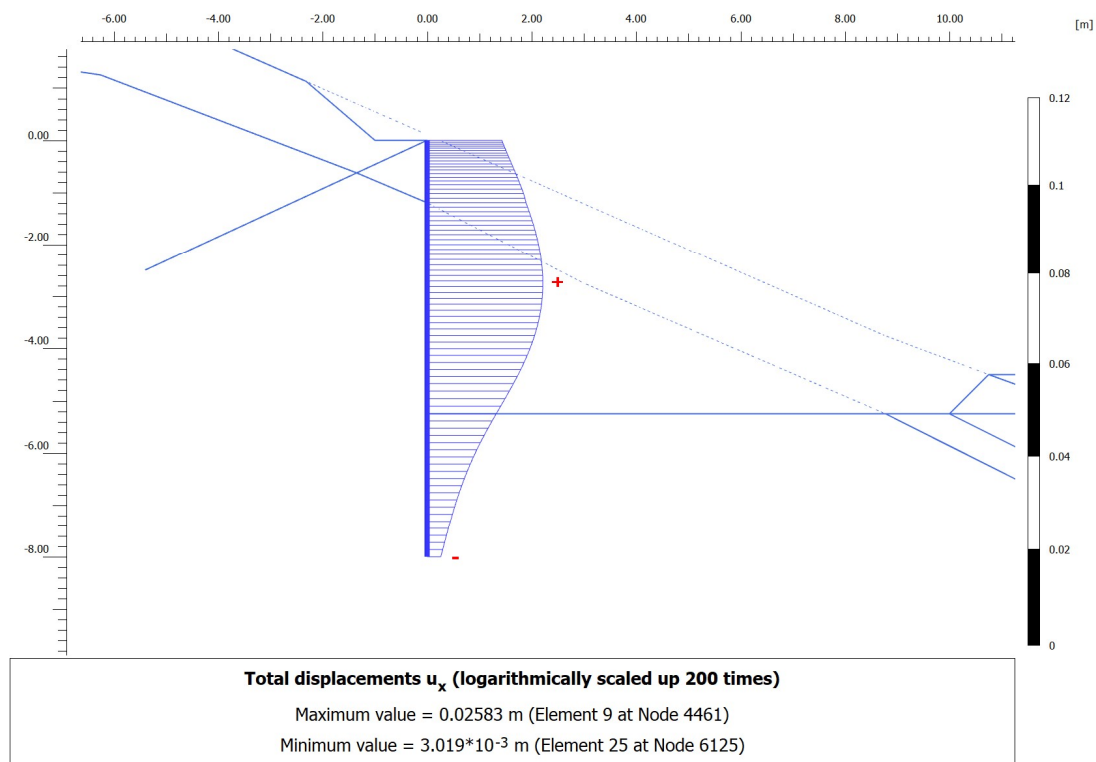
Slika 5-7. Deformirana mreža konačnih elemenata za slučaj C

U radu se analizirao utjecaja nagiba štapnih sidara na stabilnost zaštitne konstrukcije. Obzirom na navedeno u narednom dijelu rada prikazani su utjecaji nagiba štapnih sidara na ostvarene vrijednosti horizontalnih pomaka zaštitne konstrukcije, utjecaji nagiba štapnih sidara na ostvarene vrijednosti momenata savijanja zaštitne konstrukcije, utjecaji nagiba štapnih sidara na ostvarene vrijednosti njihovih uzdužnih pomaka te utjecaji nagiba štapnih sidara na ostvarene vrijednosti uzdužne sile u njima.

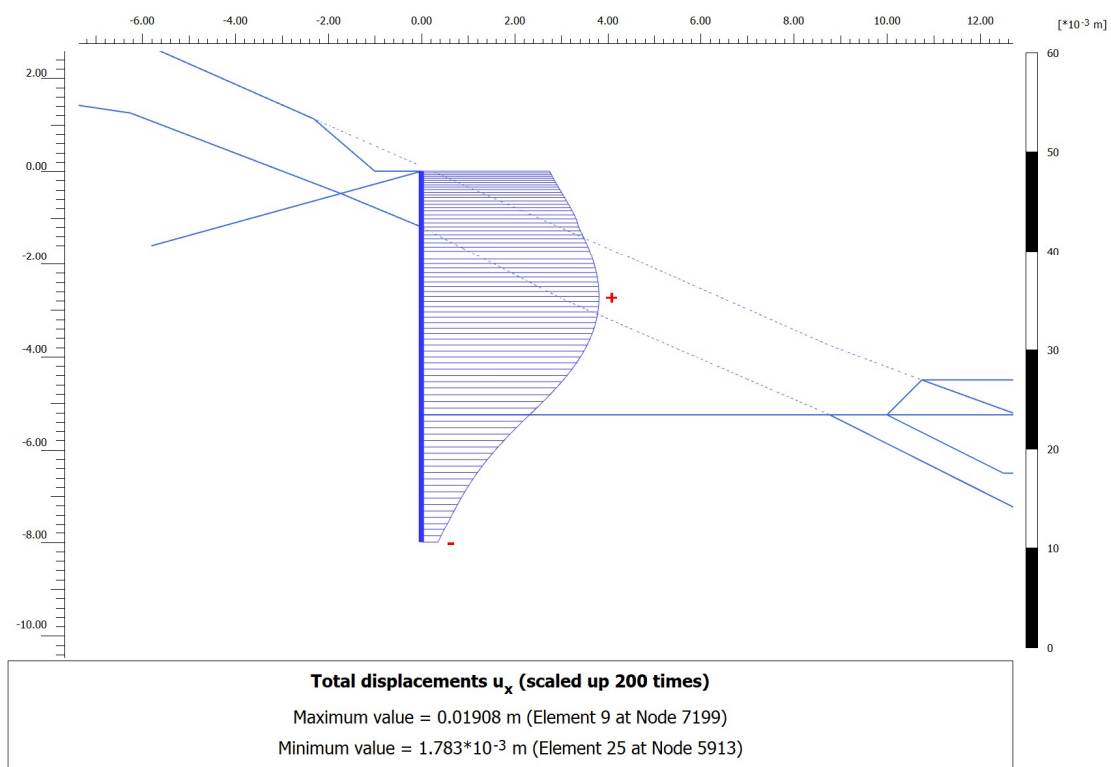
Na slikama 5-8, 5-9 i 5-10 prikazani su dijagrami horizontalnih pomaka zaštitne konstrukcije za slučajeve A, B i C. Maksimalna vrijednost horizontalnog pomaka zaštitne konstrukcije za slučaj A iznosila je 1,916 cm, 2,583 cm za slučaj B i 1,908 cm za slučaj C.



Slika 5-8. Horizontalni pomak pilota zaštitne konstrukcije za slučaj A



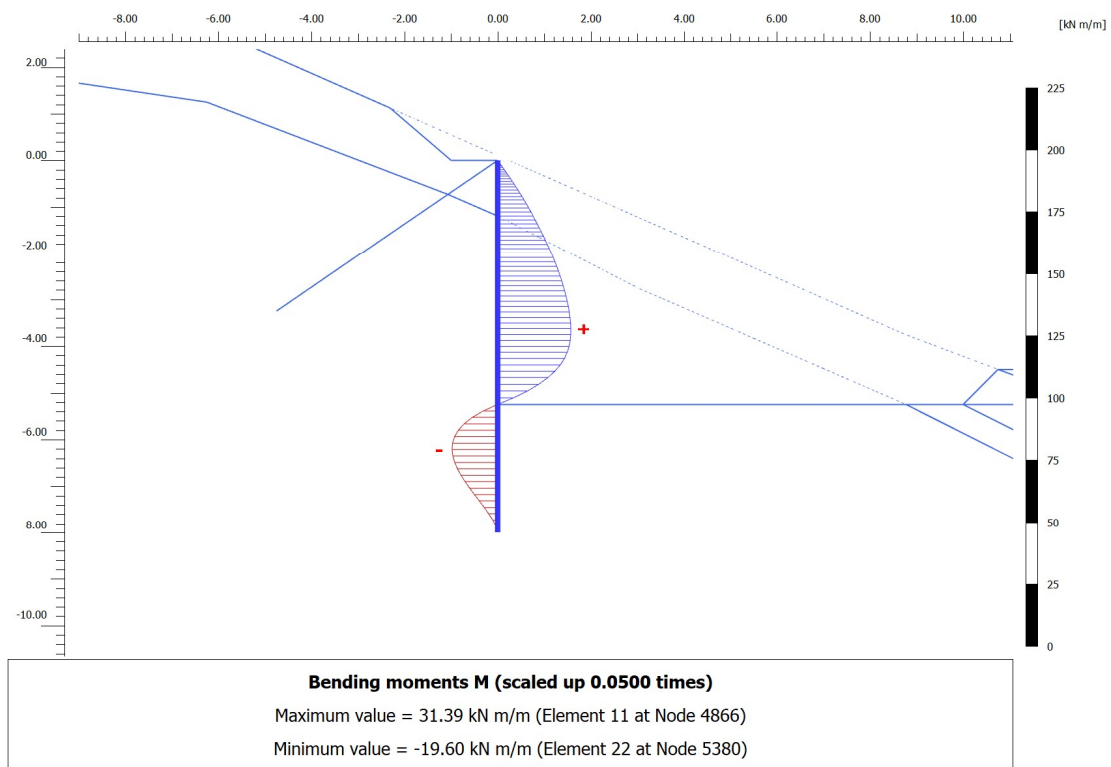
Slika 5-9. Horizontalni pomak pilota zaštitne konstrukcije za slučaj B



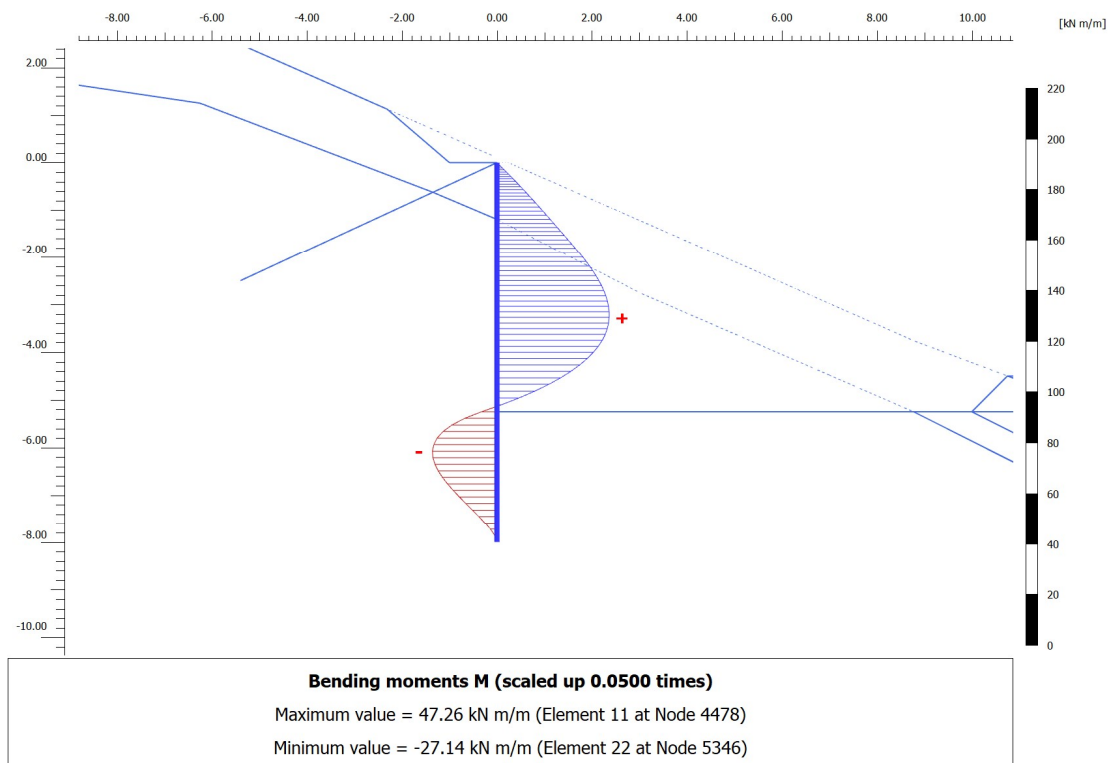
Slika 5-10. Horizontalni pomak pilota zaštitne konstrukcije za slučaj C

Slike 5-11, 5-12 i 5-13 prikazuju dijagrame momenata savijanja zaštitne konstrukcije za slučajeve A, B i C. Maksimalna vrijednost momenata savijanja zaštitne konstrukcije za slučaj A iznosila je 31,39 kNm/m', za slučaj B 47,26 kNm/m' i za slučaj C 31,09 kNm/m'.

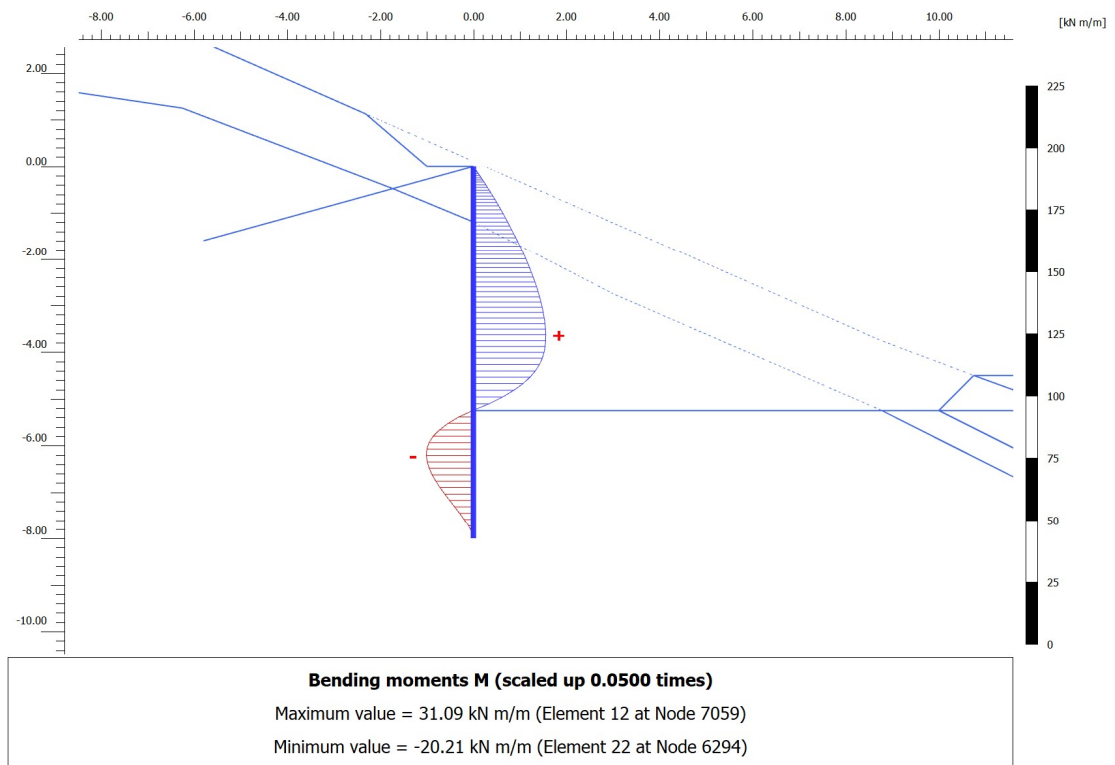




Slika 5-11. Anvelopa momenta savijanja pilota zaštitne konstrukcije za slučaj A

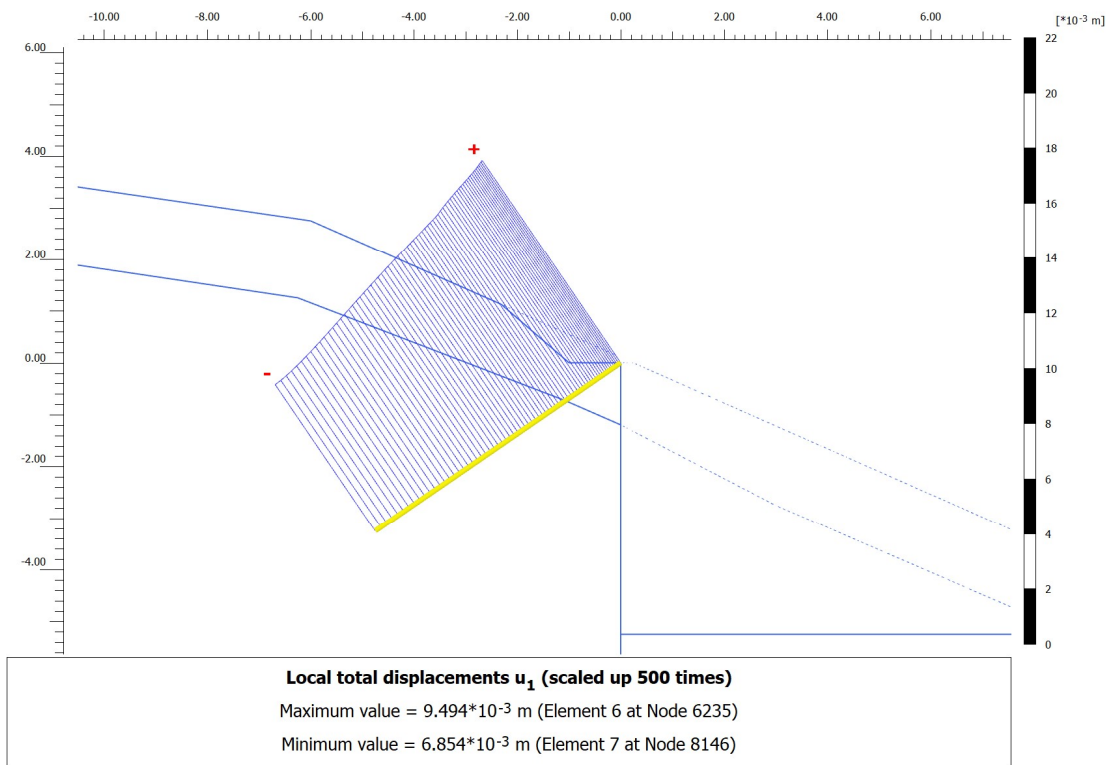


Slika 5-12. Anvelopa momenta savijanja pilota zaštitne konstrukcije za slučaj B

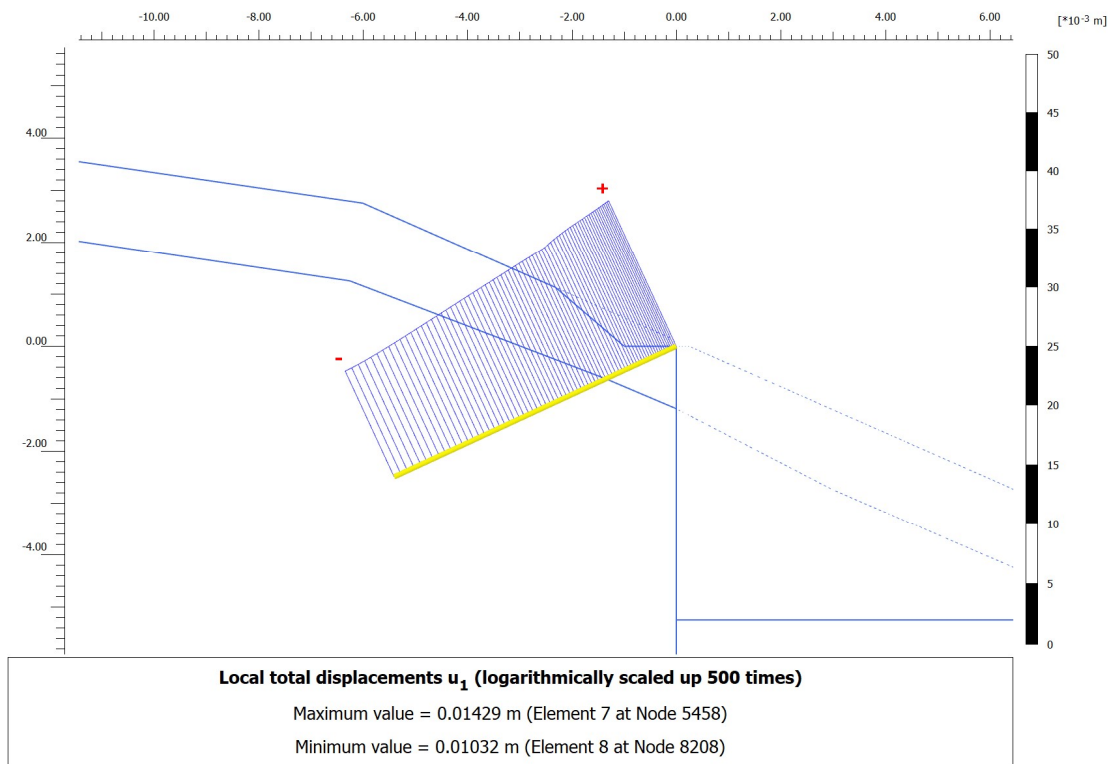


**Slika 5-13.** Anvelopa momenta savijanja pilota konstrukcije za slučaj C

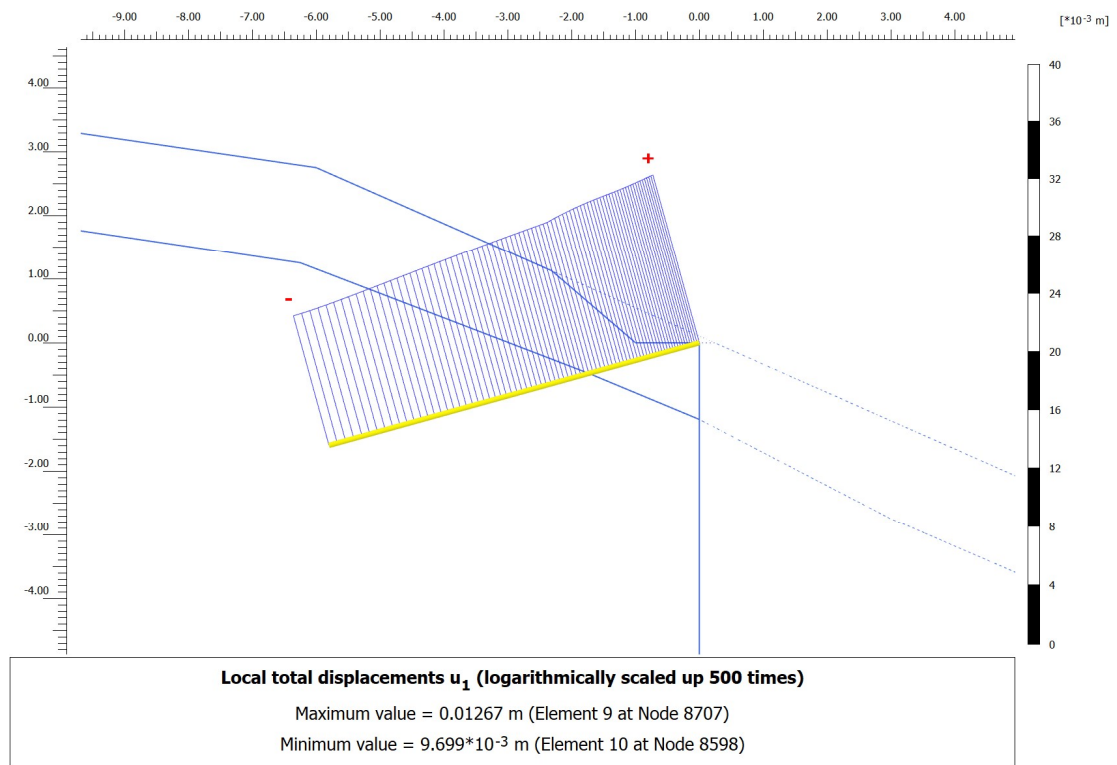
Dijagrami uzdužnih pomaka u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučajeve A, B i C prikazani su na slikama 5-14, 5-15 i 5-16. Maksimalna vrijednost uzdužnih pomaka u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj A iznosila je 0,9494 cm, za slučaj B 1,429 cm i 1,267 cm.



Slika 5-14. Uzdužni pomaci u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj A

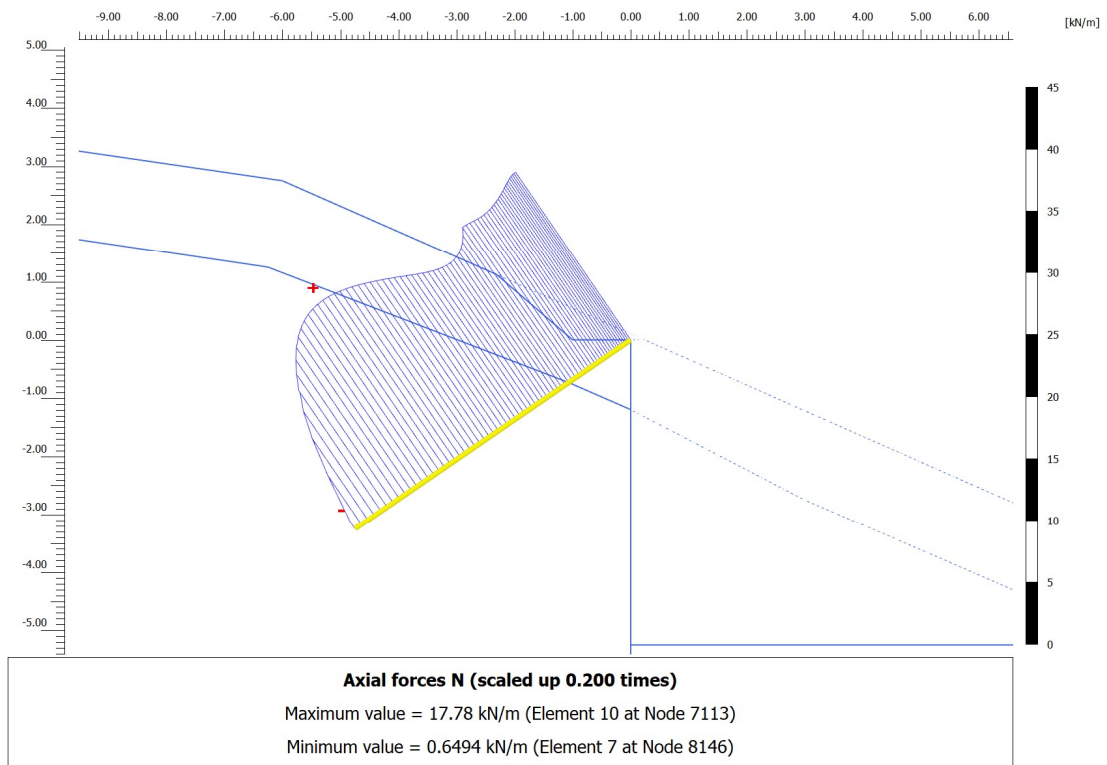


Slika 5-15. Uzdužni pomaci u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj B

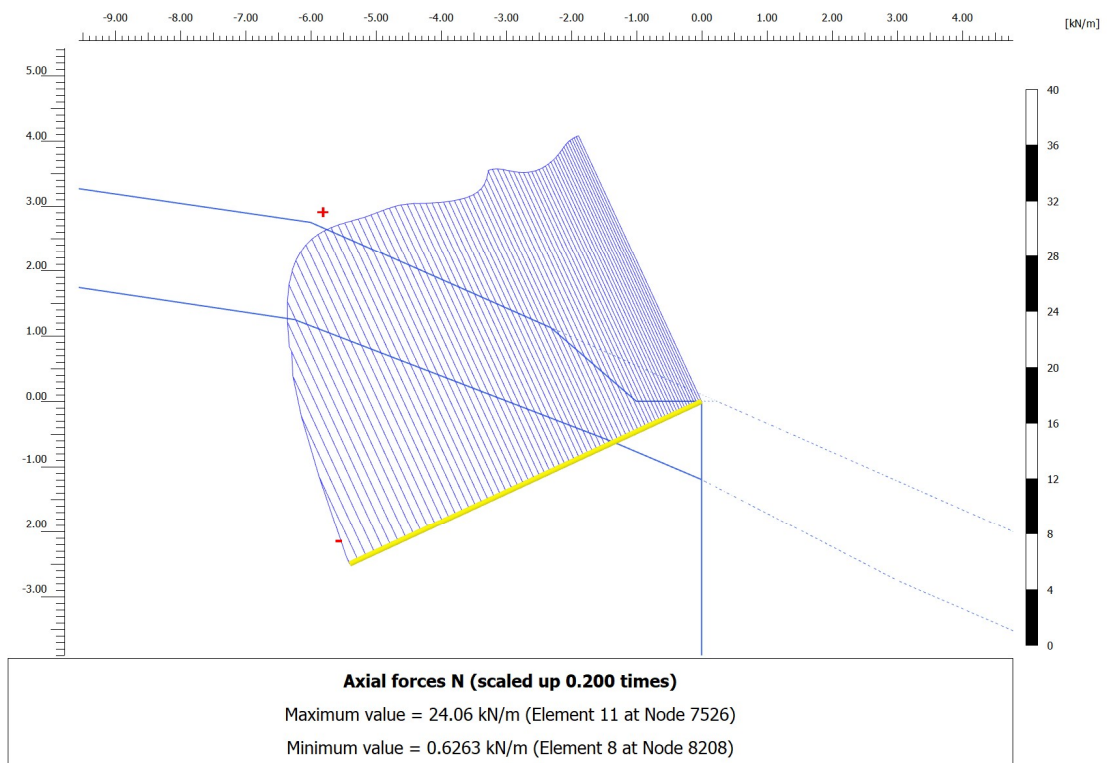


**Slika 5-16.** Uzdužni pomaci u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj C

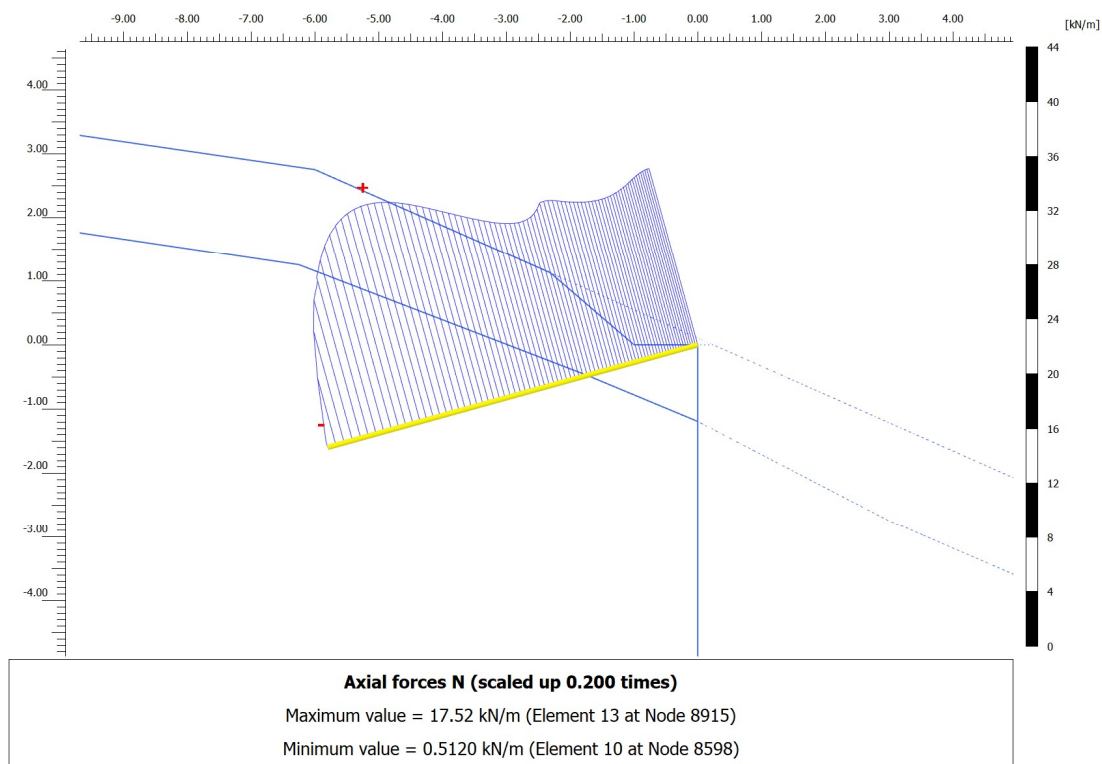
Dijagrami uzdužnih sila u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučajeve A, B i C prikazani su na slikama 5-17, 5-18 i 5-19. Maksimalna vrijednost uzdužnih sila u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj A iznosila je 17,78 kN/m', 24,06 kN/m' za slučaj B i 17,52 kN/m' za slučaj C.



Slika 5-17. Uzdužne sile u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj A



Slika 5-18. Uzdužne sile u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj B



**Slika 5-19.** Uzdužne sile u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj C

U tablici 5-4 sumarno su prikazani rezultati analiza. Rezultati analiza generalno prikazuju da u slučaju A i C gdje su štapna sidra ugrađena pod kutovima  $35^\circ$  i  $15^\circ$  dobivene su slične vrijednosti pomaka, momenata i sila. Slučaj B, gdje su štapna sidra izvedena pod kutom od  $25^\circ$ , u analizama se pokazao kao najnepovoljniji. Naime, u tom slučaju analize su pokazale da se javljaju najveće vrijednosti maksimalnih momenata savijanja u pilotima zaštitne konstrukcije,  $47,3 \text{ kNm/m'}$  u odnosu na  $31,4 \text{ kNm/m'}$  (slučaj A) i  $31,1 \text{ kNm/m'}$  (slučaj C). U slučaju B dobivene su i najveće vrijednosti maksimalnih uzdužnih sila u štapnim sidrima zaštitne potporne konstrukcije,  $24,1 \text{ kN/m'}$  u odnosu na  $17,8 \text{ kN/m'}$  (slučaj A) i  $17,5 \text{ kN/m'}$  (slučaj C) kao i najveće vrijednosti horizontalnih pomaka pilota zaštitne konstrukcije,  $2,58 \text{ cm}$  u odnosu na  $1,92 \text{ cm}$  (slučaj A) i  $1,91 \text{ cm}$  (slučaj C).

**Tablica 5-4.** Sumarni prikaz rezultata analiza

Veličina	Slučaj A	Slučaj B	Slučaj C
Max. horizontalan pomak pilota (cm)	1,92	2,58	1,91
Max. moment savijanja pilota (kNm/m')	31,4	47,3	31,1
Max. uzdužni pomaci u štapnom sidru (cm)	0,95	1,43	1,27
Max. uzdužna sila u štapnom sidru (kN/m')	17,8	24,1	17,5

## 6. ZAKLJUČAK

Potporne i zaštitne konstrukcije su ključni elementi koji osiguravaju stabilnost tla, ljudi i opreme u nestabilnim uvjetima. Broj, vrsta i primjena zaštitnih i potpornih konstrukcija je velik, a u konačnici one su najvažnije za održavanje stabilnosti na terenu i zaštitu građevinskih objekata. Ovisno o namjeni objekta, o vrsti tla i uvjetima na terenu odlučuje se koja će vrsta potporne i zaštitne konstrukcije najbolje odgovarati specifičnim uvjetima na terenu.

Stambeni objekt sastoji se od jedne stambene jedinice i pomoćnog objekta. Teren buduće građevine je pod strmim nagibom od cca 25°. Predviđena zaštitna i potporna konstrukcija sastoji se od zaštitne građevne jame i potporne konstrukcije koja obuhvaća armiranobetonske mikropilote po obodu građevine, naglavnu/sidrenu gredu i štapna pasivna sidra duljine 6 m. Predviđeni uporabni vijek građevine je 50 godina. Zaštitna građevna jama osigurava najveću denivelaciju terena od 5,70 m, a potporna konstrukcija od 4,85 m. Izvedba zaštitne i potporne konstrukcije definirana je sa osam presjeka. Presjek 2-2 ima najveću denivelaciju terena pa je presjek 2-2 odabran za analizu utjecaja različitih nagiba štapnih pasivnih sidara na stabilnost zaštitne konstrukcije.

Lokacija istraživanog područja smještena je u Podsljemenskoj zoni koju karakterizira područje miocenskih naslaga koje se pretežito sastoje od vapnenačkih lapora i pješčenjaka. Terenskim istražnim radovima napravljene su dvije bušotine koje su dale neporemećene i poremećene uzorke za provedbu laboratorijskih ispitivanja. Od laboratorijskih ispitivanja napravljeno je ispitivanje prirodnog sadržaja vlage i indeksa konzistencija ( $w_0$ ,  $I_c$ ), Atterbergovih granica plastičnosti ( $w_L$ ,  $w_P$ ), prirodne vlažne i suhe jedinične težina tla ( $\gamma$ ,  $\gamma_d$ ) te je određena posmična čvrstoća izravnim smicanjem ( $\phi$ ,  $c$ ). Na temelju dobivenih rezultata određene su tri geotehničke sredine: Humus (0,0 – 0,3 m), Glina (Cl) (0,3 – 1,3 m, najviše 1,7 m) i Lapor (1,7 – 6 m).

Analiza utjecaja nagiba sidra na deformacije potporne konstrukcije napravljena je u programskom paketu Plaxis. Model tla napravljen je na temelju geometrije kosine i planiranih zahvata, a uslojenost tla je definira na temelju istražnih radova. Model se sastoji od dvije vrste materijala, srednjeplastične gline i lapora. Na radnom platou izvedeni su armiranobetonski mikropiloti i naglavna greda te su postavljana štapna sidra za slučaj A pod kutom od 35°, za slučaj B pod kutom od 25° i za slučaj C pod kutom od 15°. Duljina sidra je 6 m. Analizom utjecaja nagiba štapnih sidara na stabilnost zaštitne konstrukcije dobiveno je da je maksimalna vrijednost horizontalnog pomaka zaštitne konstrukcije za slučaj A, 1,916 cm za slučaj B 2,583 cm i za slučaj C 1,908 cm. Idući parametar koji je analiziran je

maksimalna vrijednost momenata savijanja pilota zaštitne konstrukcije, a dobiveni rezultati su slijedeći: za slučaj A je 31,39 kNm/m', za slučaj B 47,26 kNm/m' i za slučaj C 31,09 kNm/m'. Zatim je određena maksimalna vrijednost uzdužnih pomaka u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije koja iznosi: za slučaj A 0,9494 cm, za slučaj B 1,429 cm i za slučaj C 1,267 cm. Maksimalna vrijednost uzdužnih sila u štapnim sidrima zaštitne konstrukcije za slučaj A je 17,78 kN/m', za slučaj B 24,06 kN/m' i za slučaj C 17,52 kN/m'.

Uspoređujući dobivene rezultate dolazi se do zaključka da u slučaju A i C gdje su štapna sidra pod nagibom od 35° i 15° rezultati prikazuju relativno slične vrijednosti horizontalnih pomaka, momenata savijanja i uzdužnih sila. Slučaj B gdje su štapna sidra pod nagibom od 25° pokazao se kao najnepovoljniji. Analize su pokazale da su u ovom slučaju najveće vrijednosti maksimalnih momenata savijanja u pilotima zaštitne konstrukcije, 47,3 kNm/m' u odnosu na 31,4 kNm/m' (slučaj A) i 31,1 kNm/m' (slučaj C). Ostali rezultati za slučaj B također prikazuju najveća odskakanja s obzirom na rezultate u slučaju A i C. Pa je tako i vrijednost maksimalne uzdužne sile u štapnim sidrima zaštitne potporne konstrukcije, 24,1 kN/m' dok za slučaj A iznosi 17,8 kN/m', a za slučaj B iznosi 17,5 kN/m' isto je i kod maksimalne vrijednosti horizontalnih pomaka pilota zaštitne konstrukcije, 2,58 cm u odnosu na 1,92 cm (slučaj A) i 1,91 cm (slučaj C).

Analizirajući dobivene rezultate zaključuje se kako je slučaj B, gdje su štapna sidra pod nagibom od 25°, najnepovoljniji slučaj s obzirom na vrstu tla, poziciju i nagib terena u koji se sidro ugrađuje. Slučaj A (štapna sidra pod nagibom od 35°) i slučaj C (štapna sidra pod nagibom od 15°) su povoljniji slučajevi za postavljanje sidra te gledajući uvjete terena ta dva slučaja daju stabilniju zaštitnu konstrukciju.



## 7. LITERATURA

BASCH, O., 1980. *Osnovna geološka karta SFRJ, list Ivanić grad, L 33-81, M 1:100 000.*  
Zagreb: Geološki zavod

CIVILMINT., 2023. *Micropile: Instalation, Types, Uses and Applicaations*  
URL: <https://civilmint.com/micropile/> (15.10.2023.)

GEOSPAR. 2023. *Micropile – Application, Process, Dvanteges ad Capabilities*  
URL: <https://www.spargrp.com/allaboutmicropile/> (15.10.2023.)

HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT., 2023. *Osnovna geološka karta Ivanić-grad*  
URL: <https://www.hgi-cgs.hr/shematski-prikaz-ogk/> (21.09.2023.)

HRVATSKI ZAVOD ZA NORME. 2011. HRN EN 1998-1:2011: *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1.dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila izgradnje*, Hrvatski zavod za norme, Zagreb

HRVATSKI ZAVOD ZA NORME. 2012. HRN EN 1997-1:2012: *Eurokod 7: Geotehničko projektiranje—1.dio: Opća pravila*. Hrvatski zavod za norme, Zagreb

HRVATSKI ZAVOD ZA NORME. 2015. HRN EN 14199:2015: *Izvedba posebnih geotehničkih radova – Mikropiloti*. Hrvatski zavod za norme, Zagreb

KARTA POTRESNI PODRUČJA REPUBLIKE HRVATSKE, 2023.  
URL: <http://seizkarta.gfz.hr/> (09.09.2023.)

KATASTAR, 2023. URL: <https://oss.uredjenazemlja.hr/> (30.07.2023.)

KVASNIČKA P., DOMITROVIĆ D., 2007. *Mehanika tla: interna skripta*. Zagreb: Rudarsko-gološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

MARTOMIS PROJEKT., 2022. *Geomehanički elaborat, obiteljska kuća*. Rakitje: Martomis projekt, 027/2022.

MARTOMIS PROJEKT., 2023. *Projekt potporne konstrukcije*. Rakitje: Martomis projekt, 003/2023.

NONVEILLER, E., 1979. *Mehanika tla i temeljenje građevina*. Zagreb: Školska knjiga.

OTU: Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. *Poglavlje 12: Geotehnički radovi*, 2022. Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb

PEVEC, I., 2003. *Geotehnički elaborat*. Zagreb: Geo-Lab d.o.o., 29/2003

ROJE-BONACCI, T., 2005. *Potporne građevine i građevne jame*. Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

ROJE-BONACCI, T., 2008. *Duboko temeljenje i poboljšanje temeljnog tla*. Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

SAH. n.d., *Katalog: SAS SYSTEMS*

URL: [sas-950-1050-katalog.pdf \(stressteel.com\)](https://www.stressteel.com/files/sas-950-1050-katalog.pdf) (7.10.2023.)

SZAVITS-NOSSAN, V., 2012. *Mehanika tla i stijena, Potporne konstrukcije*. Predavanje. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

VRKLJAN, I., 2013. *Podzemne građevine i tuneli*. Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

XANTHAKOS, P.P., 1991. *Ground anchors and anchored structures*, Lybrary of Congress Cataloging in Publication Data, Canada