
DGKS

**DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA SRBIJE**

14. KONGRES

NOVI SAD
24-26. SEPTEMBAR

2014.

14

K

O

N

G

R

E

S

2014

U SARADNJI SA:



**GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**MINISTARSTVOM PROSVETE,
NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
REPUBLIKE SRBIJE**



**INŽENJERSKOM KOMOROM
SRBIJE**

**ZBORNİK
RADOVA**



**CHINA ROAD AND BRIDGE
CORPORATION SERBIA BRANCH**

Izdavač: **Društvo građevinskih konstruktora Srbije**
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1

Urednici: prof. dr **Miloš Lazović**
prof. dr **Boško Stevanović**

Tehnička
priprema: **Saška - Stoja Todorović**

Priprema za
štampu: **Nebojša Ćosić**

Štampa: **DC Grafički centar**

Tiraž: **150 primeraka**

Beograd, septembar 2014.

ORGANIZACIONI ODBOR

PREDSEDNIŠTVO DGKS

Prof. dr Miloš LAZOVIĆ, dipl.inž.grad., predsednik
Aleksandar BOJOVIĆ, dipl.inž.grad., potpredsednik
Prof. dr Boško STEVANOVIĆ, dipl.inž.grad., sekretar
Prof. dr Đorđe VUKSANOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Mihajlo ĐURĐEVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Dragoslav STOJIC, dipl.inž.grad.
Prof. dr Đorđe LAĐINOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Snežana MARINKOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Aleksandar RISTOVSKI, dipl.inž.grad.
Doc. dr Bratislav STIPANIĆ, dipl.inž.grad.
Dr Zoran FLORIĆ, dipl.inž.grad.
Mr Slobodan GRKOVIĆ, dipl.inž.grad.
Branko KNEŽEVIĆ, dipl.inž.grad.
Gojko GRBIĆ, dipl.inž.grad.
Goran VUKOBRATOVIĆ, dipl.inž.grad.
Đorđe PAVKOV, dipl.inž.grad.
Svetislav SIMOVIĆ, dipl.inž.grad.

ČLANOVI ORGANIZACIONOG ODBORA IZVAN PREDSEDNIŠTVA

Prof. dr Zlatko MARKOVIĆ, dipl.inž. grad.
Miroslav MIHAJLOVIĆ, dipl.inž.grad.
Aleksandar TRAJKOVIĆ, dipl.inž.grad.

NAUČNO-STRUČNI ODBOR

1. Prof. dr Radenko Pejović, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
2. Prof. dr Duško Lučić, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
3. Prof. dr Goran Markovski, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
4. Prof. dr Meri Cvetkovska, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
5. Prof. dr Tatjana Isaković, Univerzitet u Ljubljani Fakultet građevinarstva i geodezije, Ljubljana, Slovenija
6. Prof. dr Viktor Markelj, Ponting d.o.o., Maribor, Slovenija
7. Prof. dr Zlatko Šavor, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zavod za konstrukcije, Katedra za mostove, Zagreb, Hrvatska
8. Prof. dr Radu Bancila, University "POLYTEHNICA", Temišvar, Rumunija
9. Mr Predrag Popović, Čikago, SAD
10. Prof. dr Kostadin Topurov, Sofija, Bugarska
11. Prof. dr Dušan Najdanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
12. Prof. dr Miloš Lazović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
13. Prof. dr Đorđe Vuksanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
14. Prof. dr Dejan Bajić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
15. Prof. dr Đorđe Lađinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
16. Prof. dr Dragoslav Stojić, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Niš, Srbija
17. Doc. dr Bratislav Stipanić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija

14. KONGRES JE ORGANIZOVAN U SARADNJI SA:

GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM UNIVERZITETA U
BEOGRADU

MINISTARSTVOM PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA REPUBLIKE SRBIJE

INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE, Beograd

DONATORI SIMPOZIJUMA:

DIJAMANTSKI

CHINA ROAD & BRIDGE CORPORATION, SERBIA BRANCH,
Belgrade

SREBRNI

SIKA d.o.o., Novi Sad

BRONZANI

"POTISJE KANJIŽA" AD, Kanjiža

Veljko Pujević¹, Miloš Lazović², Mirjana Vukićević³

SOIL-NAILING - TEHNIKA STABILIZACIJE ZEMLJANIH MASA

Rezime:

Soil-nailing tehnika se već dugi niz godina u svetu uspešno koristi za stabilizaciju i ojačenje zemljanih masa. U nizu geoloških formacija soil-nailing potpornim konstrukcijama se daje prednost u odnosu na tradicionalne metode podgrađivanja. Nažalost u našoj zemlji potencijal ove metode do sada nije potpuno iskorišćen. Ideja autora ovog preglednog rada bila je da inženjere i projektante građevinske struke bliže upozna sa mogućnostima koje ova inovativna tehnologija pruža. U radu su sažeto prikazane osnovne karakteristike, istorijat razvoja, tehnički aspekti, oblasti primene i prednosti i ograničenja sistema soil-nailing.

Ključne reči: soil-nailing, stabilizacija, pasivni ankeri, top-down gradnja

SOIL-NAILING - TECHNIQUE OF SOIL REINFORCEMENT

Summary:

Soil nailing is being successfully used for many years all over the world to improve stability of excavated vertical cuts and existing slopes. In a wide variety of ground conditions soil nail walls present advantages over traditional retaining structures. Unfortunately in our country the potential benefits of this method have not been fully exploited. This review is intended to introduce practitioners to the possibilities that this innovative technology can offer. The paper summarizes the major features, history and development, technical aspects, application fields and benefits and limitations of soil nailing.

Key words: soil nailing, soil reinforcement, passive anchors, top-down construction

¹ Asistent, dipl. inž. Grad., Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

² Profesor dr, dipl. inž. Grad., Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

³ Docent dr, dipl. inž. Grad., Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

1 UVOD

Soil-Nailing je in-situ tehnika stabilizacije zemljanih masa koja se sa uspehom primenjuje u Evropi, Severnoj Americi i Aziji poslednjih 40 godina. Tehnika pribadanja tla se razvila na temeljima Nove austrijske tunelske metode. Postupak gradnje NATM sastoji se u ugrađivanju pasivnih (bez sile prednaprezanja) čeličnih šipki u stensku masu praćenim nanošenjem mlaznog betona. Mehanizam podgrađivanja bazira se na mobilizaciji zatezne čvrstoće čeličnih ankeri pri relativno malim deformacijama stenske mase.

Počeci primene vezuju se za Francusku(1972) i projekat proširenja železničke pruge u blizini Versaja. Projektom je bila predviđena promena geometrije preseka 18m visoke kosine, a inženjeri su se odlučili da dodatnu otpornost obezbede velikim brojem armaturnih šipki dužine 6m i Ø10mm, postavljenih u prethodno izbušene rupe koje su naknadno injektirane cementnom masom. U Nemačkoj je prvi potporni zid sistema soil-nailing projektovan 1975(Stocker), dok je prema zvaničnim podacima prvi uspešno izveden projekat u Severnoj Americi realizovan 1976. U pitanju je bilo obezbeđenje temeljne jame jedne bolnice u Portlandu-Oregon. Tom prilikom zabeleženo je da su radovi završeni za dvostruko manje vremena u odnosu na konvencionalne metode osiguranja temeljnih jama, dok je ušteda u vrednosti investicije iznosila približno 20%.

Paralelno sa počecima primene, pokreću se i prvi istraživački projekti čiji je cilj bio da obezbede bolje razumevanje ponašanja, sticanje dubljeg uvida u mehanizam stabilizacije i pre svega da predlože adekvatne metode proračuna i analize potpornih konstrukcija sistema soil-nailing. Programi ispitivanja obuhvatali su modelska ispitivanja u centrifugalnim aparatima, ispitivanja prototipova u punoj razmeri i mnogobrojne numeričke simulacije.

Zbog niza povoljnosti koje pruža, soil-nailing tehnologija se u poslednjih nekoliko godina nametnula kao prvi izbor projektanata i izvođača u obezbeđenju zemljanih masa od pojava nestabilnosti. Brzina, jednostavnost i ekonomičnost izvođenja kao i mnoštvo uspešno izvedenih primera u najrazličitijim geomehaničkim uslovima dokaz su efikasnosti i sigurnosti metode i osnovni razlog zašto tehnika soil-nailing sve više zamenjuje konvencionalne tipove potpornih konstrukcija.

Koncept soil-nailing sistema je inovativan i vrlo praktičan, a sastoji se u mikroarmiranju postojeće mase tla pasivnim ankerima, koji zajedno sa oblogom od mlaznog betona formiraju jednu moćnu kompozitnu celinu koja podupire nearmirani deo tla u zaleđu. Ideja je dakle da se prirodno tlo prethodno opisanim merama transformiše u gravitacionu potpurnu konstrukciju. Strategija soil-nailinga zasniva se na "top-down" postupku gradnje, koji podrazumeva faznu izradu iskopa i podgrade, postupno napredujući sa površine terena do projektom predviđene dubine.

2 TEHNIČKI ASPEKTI SISTEMA SOIL-NAILING

Soil-nailing je tehnika podgrađivanja kojom se, ugradnjom elemenata koji rade na zatezanje, povećava ukupna smičuća otpornost prirodnog tla ili postojećeg refuliranog materijala. Ovi pasivni noseći elementi za razliku od klasičnih geotehničkih ankeri se ne prednaprežu nakon montaže. Naponi zatezanja u pasivnim ankerima javljaju se kao odgovor na lateralne deformacije poduprte mase tla, uzrokovane postupnim napredovanjem iskopa.

U praksi su prisutne različite modifikacije potpornih zidova sistema soil-nailing koje se međusobno razlikuju prvenstveno u načinu ugradnje pasivnih ankeri.

Dva najzastupljenija sistema u praksi su:

- Injektirani ankeri (Grouted nails) – Najpre se na bočnim stranama iskopa mašinskim bušenjem formiraju bušotine nešto većih dimenzija od prečnika predviđenog ankeri. Nakon toga se u tako formiran prostor postavljaju ankeri sa distancerima. Konačno, preostali prostor se ispunjava injekcionom masom,

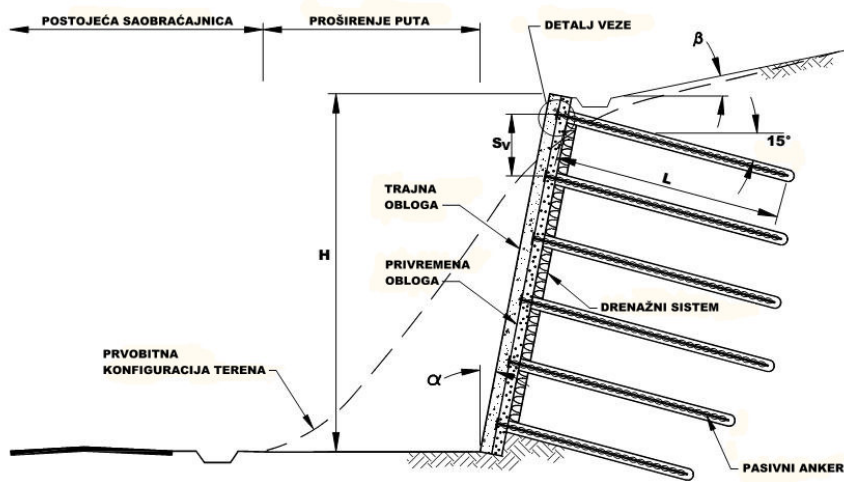
- Utiskivani ankeri (Driven nails)– Kod ovog tipa potpornih zidova ankeri se hidrauličnim presama utiskuju u lice iskopa. Glavna prednost ove tehnike je velika brzina ugradnje ankeri, dok se osnovni nedostatak ogleda u slaboj korozionoju zaštiti. Najčešće se primenjuje kod potpornih zidova privremenog tipa

Kontinuiran razvoj na polju građevinske mehanizacije, rezultirao je pojavom novih, efikasnijih sistema kao što su:

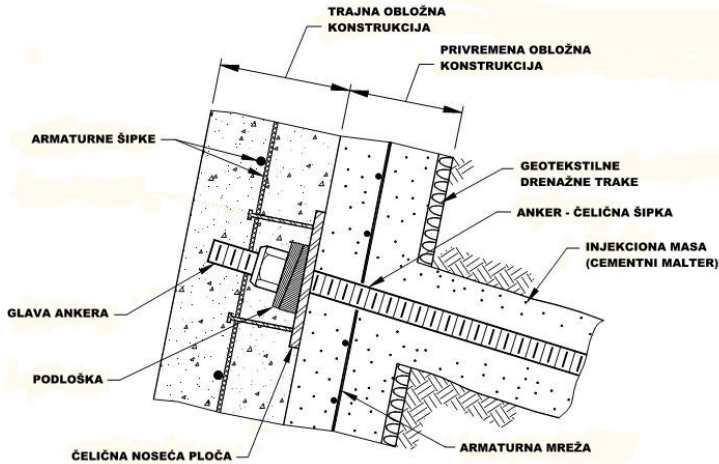
- Self drilling soil nail
- Jet-grouted soil nail
- Launched soil nail

2.1 OSNOVNI ELEMENTI POTPORNOG ZIDA IZRAĐENOG PRIMENOM SOIL-NAILING SISTEMA

Glavne komponente potpornog zida sistema soil-nailing su prikazane na slikama 1 i 2 i detaljno objašnjene u nastavku.



Slika 1 – Karakterističan poprečni presek potpornog zida sistema soil-nailing



Slika 2 – Karakterističan detalj veze ankera za oblogu lica zida

Pasivni Ankeri – Puno šipke ili šuplje cevi izrađene uobičajeno od čelika, a u poslednje vreme i od polimernih materijala, su osnovni noseći element sistema soil-nailing. Postavljaju se relativno gusto, na međusobnom rastojanju 1.0-2.0m i blago nagnuti u odnosu na horizontalu 10-20°. Ovako orjentisane bušotine obezbeđuju formiranje kvalitetnijeg spoja šipki i inekcione mase i veću adheziju kontakta inekcione mase i okolnog tla,

Distanceri – montiraju se na ankere i obezbeđuju centričan položaj ankera duž čitave bušotine,

Injekciona masa – Za ispunjavanje slobodnog prostora između šipki i okolnog tla prvenstveno se koristi cementni malter. Primarna funkcija inekcione mase je da smicanjem aktivira pasivne ankere. Takođe, bitnu ulogu ima i u obezbeđenju korozione zaštite,

Glava ankera – deo ankera sa navojem koji viri iz zida,

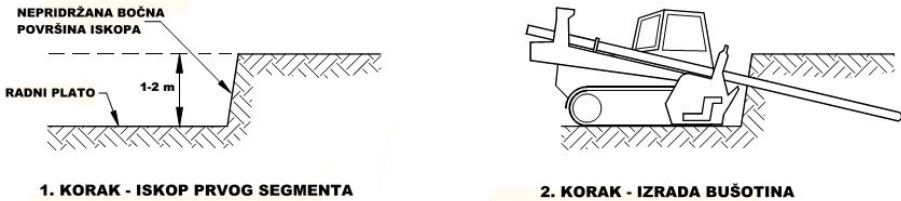
Matica, podloška, noseća čelična ploča – ove komponente preko navoja povezuju anker sa oblogom,

Privremena i trajna obložna konstrukcija – Privremena obloga od prskanog betona ojačanog armaturnom mrežom izrađuje se za svaki segment iskopa. Osnovna ideja je da se ovom relativno tankom i fleksibilnom obložnom konstrukcijom obezbedi lice iskopa od lokalne nestabilnosti – erozija, razrahljivanje. Trajna obloga se, ukoliko je to projektom predviđeno, formira preko privremene nakon što se montiraju ankere. Među inženjerima sveprisutno je pogrešno uverenje da obloga čini primarni noseći element sistema soil-nailing,

Drenažni sistem – Geotekstilne drenažne trake postavljaju se na lice iskopa pre nanošenja privremene obložne konstrukcije. Funkcija drenažnih mera ogleda se u kontrolisanom prikupljanju i odvođenju podzemnih voda, koje pored pritiscima smanjuju čvrstoću tla, te predstavljaju jedan od glavnih uzroka nestabilnosti.

2.2 FAZE I REDOSLED IZVOĐENJA RADOVA

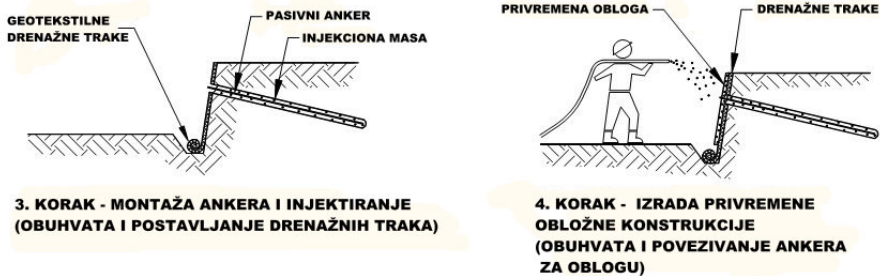
Metoda soil-nailing spada u fazne tehnike građenja, gde se ponavljanjem istog skupa operacija postupno napreduje. U nastavku je šematski ilustrovan i detaljno opisan redosled izvođenja radova.



Slika 3 – Etape 1&2 izvođenja potporne konstrukcije sistema soil-nailnig

1. Iskop – Iskop se izvodi u segmentima, visine u intervalu 1-2m. Ključni preduslov uspešne primene tehnologije soil-nailing sastoji se u sposobnosti nepridržane mase tla da se održi u ravnoteži (bez pojava nestabilnosti) za period 24-48h. Širina segmenta iskopa se propisuje u skladu sa gabaritima opreme za bušenje i operativnim kapacitetima izvođača radova,

2. Izrada bušotina – Prostor u tlu za ugradnju ankera se formira primenom različitih tipova garnitura za bušenje. Zavisno od sastava i pružanja slojeva mase tla, bušotine se predviđaju na horizontalnim i vertikalnim rastojanjima 1-3m i prečnicima 100-250mm,

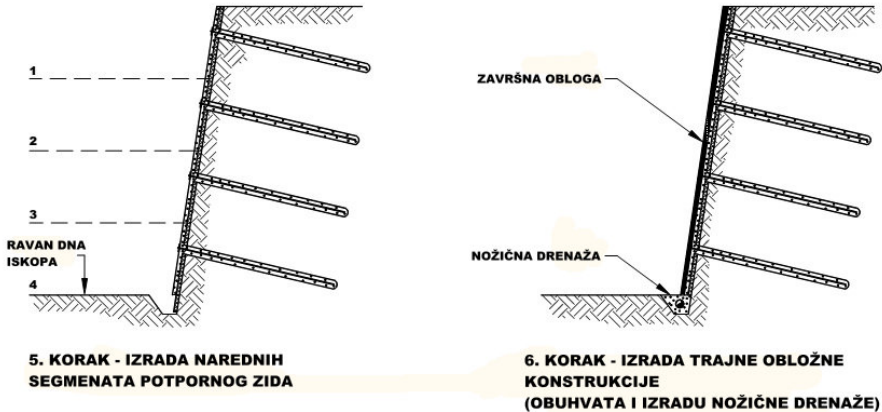


Slika 4 – Etape 3&4 izvođenja potporne konstrukcije sistema soil-nailnig

3. Montaža ankera i injektiranje – Dimenzije ankera rezultat su detaljnih proračuna, ali opšte je pravilo da su dužine ankera približno 0.6-1.0 od ukupne visine podgradne konstrukcije. Prečnici ankera su tipično 15-45mm. Injekciona masa se uvek predviđa čitavom dužinom ankera,

4. Izrada privremene obložne konstrukcije – Pre daljeg napredovanja iskopa bočne površine se lokalno stabilizuju prskanim betonom debljine, najčešće 100mm. Za ojačanje obloge koriste se armaturne mreže, a od skoro i sve aktuelnija čelična vlakna. Neposredno

nakon apliciranja torkreta, ankeri se preko noseće ploče i navrtke povezuju za konstrukciju obloge,



Slika 5 – Etape 5&6 izvođenja potporne konstrukcije sistema soil-nailnig

5. Izrada narednih segmenata potpornog zida – Tri dana nakon postavljanja privremene obloge (minimalno vreme negovanja betona) proces građenja se nastavlja, sukcesivnim ponavljanjem prva četiri koraka,

6. Izrada trajne obložne konstrukcije – U slučaju da se potporna konstrukcija predviđa kao trajno rešenje stabilizacije propisuje se izrada trajne obloge. Ovaj završni sloj izrađuje se od livenog betona, mlaznog betona ili prefabrikovanih panela.

3 OBLASTI PRIMENE

Mogućnosti implementacije tehnike soil-nailing su velike i najbolje se ogledaju kroz brojne uspešno realizovane projekte ojačanja potencijalno nestabilnih zemljanih masa. Soil-nailing sistemi predstavljaju naročito podesnu meru stabilizacije u slučaju vertikalnih i jako strmih iskopa.

Tehnologija soil-nailinga predstavlja efikasno rešenje kako za izradu novih tako i za sanaciju i ojačanje postojećih potpornih konstrukcija. Najveću primenu u praksi metoda nalazi u okviru oblasti putne infrastrukture, za građenje novih i proširenje postojećih putnih i železničkih pravaca:

- stabilizacija useka i nasipa,
- stabilizacija klizišta,
- izrada tunelskih portala,
- ojačanje oporaca mostova prilikom proširenja podvožnjaka
- rekonstrukcija oštećenih i nebezbednih potpornih zidova različitih sistema,

Veliki potencijal tehnike soil-nailinga leži u izradi dubokih iskopa u urbanim sredinama:

- obezbeđenje temeljnih jama građevinskih objekata,
- izgradnja podzemnih garaža,
- izgradnja tunela metodom isecanja i natkrivanja

4 PREDNOSTI I OGRANIČENJA SISTEMA SOIL-NAILING

Prednosti tehnike soil-nailing u odnosu na druge oblike sidrenih potpornih konstrukcija i metoda podgrađivanja rezimirane su u nastavku:

- manje remete normalno funkcionisanje saobraćaja,
- manje su štetne za životnu sredinu,
- obezbeđuju više slobodnog prostora unutar temeljnih jama u poređenju sa tehnikama razupiranja,
- potporni zidovi sistema soil-nailing izvode se relativno brzo i uz generalno manji utrošak materijala,
- zbog manjih gabarita opreme soil-nailing predstavlja optimalno rešenje u nepristupačnim terenima,
- mogućnost jednostavnog podešavanja nagiba i promene položaja ankera osigurava lako i brzo zaobilazanje eventualnih prepreka u masi tla – različite instalacije, šipovi, krupnije kamenje,
- primena velikog broja kratkih pasivnih ankera, omogućava korekcije projektnog rasporeda šipki bez ugrožavanja sigurnosti i narušavanja stabilnosti,
- u poređenju sa metodama kod kojih se elementi potporne konstrukcije ugrađuju sa površine terena soil-nailing je u prednosti, jer se može uspešno primeniti i u uslovima ograničenog vertikalnog prostora – ispod mostova,
- merena pomeranja izvedenih soil-nailing potpornih zidova su u prihvatljivim granicama,
- soil-nailing zidovi su racionalno rešenje za stabilizaciju zemljanih masa u seizmički aktivnim oblastima. U Kaliforniji i Japanu zabeleženo je neočekivano dobro ponašanje postojećih soil-nailing potpornih zidova za vreme jakih seizmičkih potresa,
- soil-nailing sistemi predstavljaju ekonomičnije rešenje u poređenju sa konvencionalnim gravitacionim potpornim zidovima. Ukupna cena radova je ekvivalentna drugim tipovima sidrenih potpornih konstrukcija.

Neдостaci i ograničenja upotrebe soil-nailing zidova nevedeni su u nastavku:

- soil-nailing metoda nije podesna u slučajevima strogih deformacijskih kriterijuma zbog činjenice da su bočna pomeranja pridržane mase tla neophodna da bi se mobilisala zatezna čvrstoća ankera, odnosno da bi sistem proradio,
- soil-nailing metoda nije pogodna u geotehničkim uslovima za koje se predviđa znatna infiltracija podzemne vode, jer to može izazvati kolaps bočnih strana iskopa,
- u gradskim uslovima, prisustvo fundamenata susednih objekata, vodovodnih i kanalizacionih cevi i kablova može prouzrokovati komplikacije prilikom ugrađivanja viših redova ankera,
- u krupnozrnim nekoherentnim materijalima postoji problem urušavanja bušotina koji je međutim moguće rešiti zacevljenjem

5 ZAKLJUČAK

Imajući u vidu aktuelne ekonomske trendove u našoj zemlji, pretpostavlja se da bi soil-nailing tehnologija najveću primenu mogla da nađe u rekonstrukciji postojećih dotrajalih potpornih konstrukcija. Autori takođe smatraju da bi prikazana metoda mogla da bude interesantna alternativa za osiguranje temeljnih jama.

Cilj budućih radova baziraće se na detaljnijem prikazu reprezentativnih primera izvedenih potpornih konstrukcija sistema soil-nailing i objašnjenju proračunskih metoda.

LITERATURA

- [1] D.A.Bruce, R.A.Jewell: *Soil Nailing Application and Practice-part1* (1986)
- [2] D.A.Bruce, R.A.Jewell: *Soil Nailing Application and Practice-part2* (1987)
- [3] G.Gassler: *In-situ Techniques of Reinforced Soil* (Glasgow1990)
- [4] M.Vucetic, M.R.Tufenkjian, G.Y.Felio: *Analysis of Soil-Nailed Excavations Stability during the 1989 Loma Prieta earthquake* (1998)
- [5] C.A.Lazarte, V.Elias, R.D.Espinoza, P.J.Sabatini: *Geotechnical Engineering Circular no. 7 - Soil Nail Walls* (2003)
- [6] Thomas J. Tuozzolo: *Soil Nailing: Where When and Why - Practical guide* (2003)
- [7] Grupa autora: *Guide to Soil Nail Design and Construction* (2008)
- [8] G.L.Sivakumar Babu: *Case Studies in Soil Nailing* (2009)
- [9] A.Prashant, M.Mukherjee: *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes near Railway Tracks* (2010)
- [10] S.N.L.Taib: *A Review of Soil Nailing Design Approaches* (2010)
- [11] A.Phear: *Soil nails & cutting slopes: Design to EC7 & BS 8006-2* (2013)