

# Smanjenje sleganja plitkih temelja primenom mikrošipova; Settlement reduction of shallow foundations with the use of micropiles

Slobodan Ćorić, Dragoslav Rakić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Smanjenje sleganja plitkih temelja primenom mikrošipova; Settlement reduction of shallow foundations with the use of micropiles | Slobodan Ćorić, Dragoslav Rakić | Zbornik radova međunarodno naučno-stručnog savetovanja Zemljotresno inženjerstvo i geotehnički aspekti građevinarstva, Vrnjačka banja, 3-5. novembar 2021. | 2021 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008623>

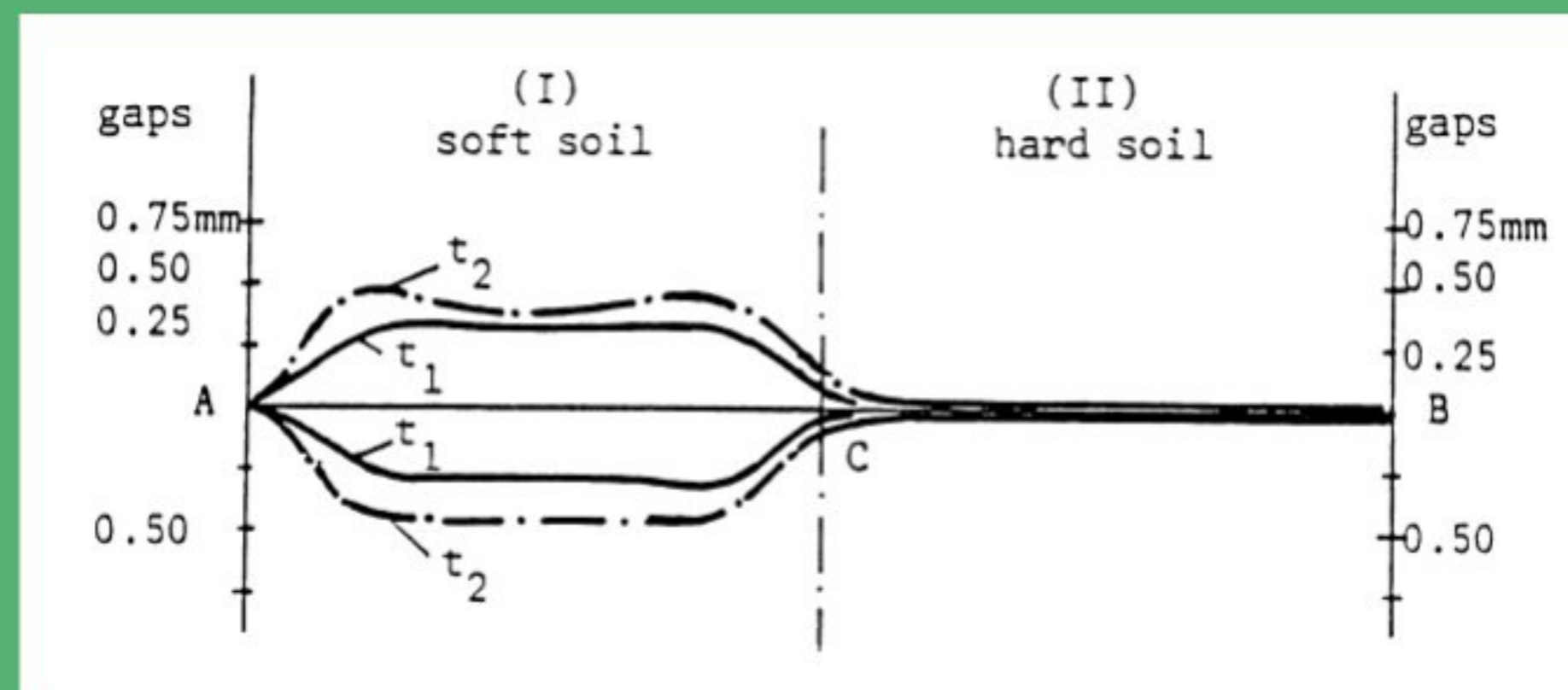


**SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE**  
*UNION OF ENGINEERS AND TECHNICIANS OF SERBIA*

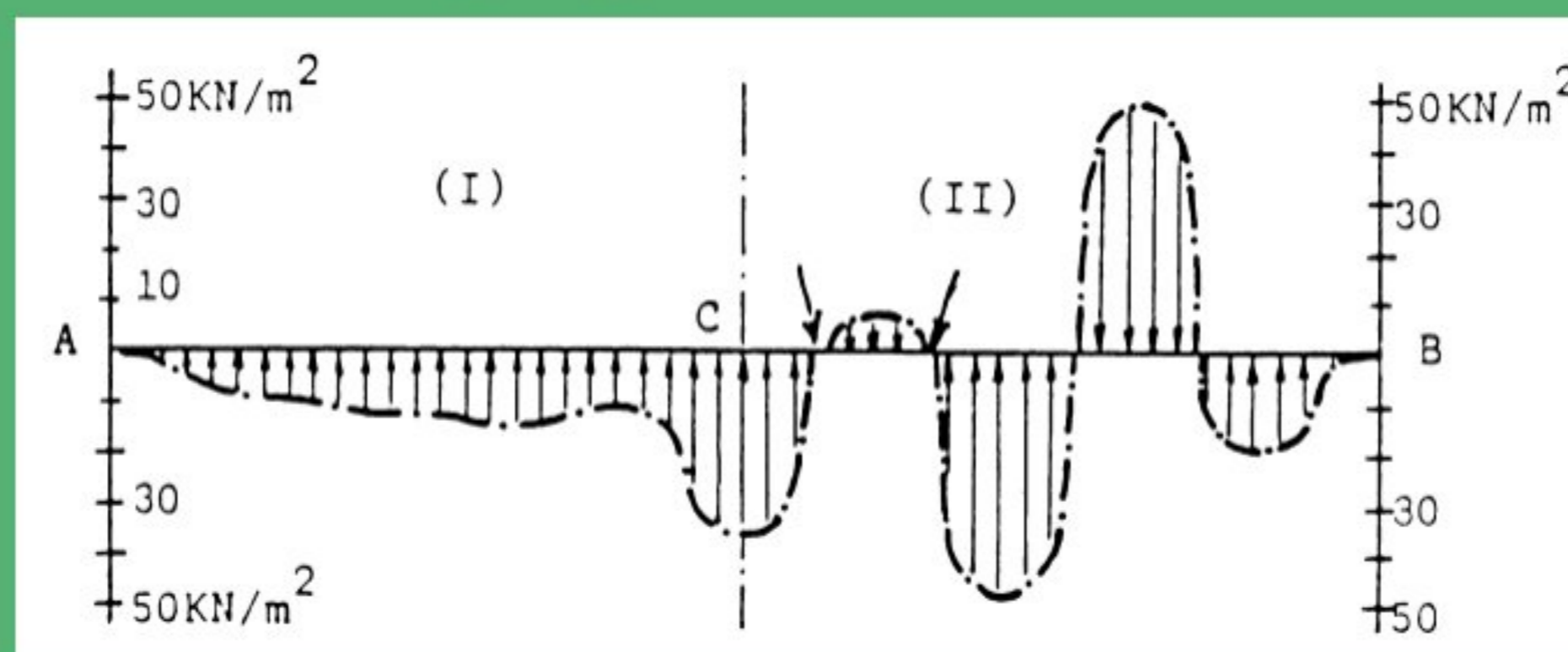
**ZBORNİK RADOVA**  
MEĐUNARODNO NAUČNO-STRUČNOG SAVETOVANJA  
**PROCEEDINGS**  
*INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE*

**ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO I**  
**GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA**  
***EARTHQUAKE ENGINEERING AND***  
***GEOTECHNICAL ASPECTS OF CIVIL ENGINEERING***

Editor: Prof. emeritus dr Radomir Folić



*Gaps mean values along the pipeline at times  $t_1 = 0.6$  sec and  $t_2 = 2.1$  sec*



*Soil-pressure distribution mean values along the pipeline at the time  $t_1 = 0.6$  sec*

Vrnjačka Banja, 03. - 05. novembar 2021.

---

27. Slobodan Ćorić, Dragoslav Rakić (Srbija) SMANJENJE SLEGANJA PLITKIH TEMELJA PRIMENOM MIKROŠIPOVA .....	300
28. Mladen Ćosić, Nikola Božović, Marija Krstić (Srbija) ANALYSIS OF REDISTRIBUTION OF THE PILE SHAFT-BASE LOAD USING THE DYNAMIC LOAD TEST (DLT) .....	308
29. Mladen Ćosić, Nenad Šušić, Marko Prica (Srbija) SOME ASPECTS OF PILE TESTING USING STATIC LOAD TEST (SLT)..	317
30. Aleksandra Bogdanovic, Julijana Bojadjieva, Kemal Edip and Vlatko Sheshov (Severna Makedonija) МАТЕРИЈАЛНИ УЧИНЦИ НА СИМУЛАЦИЈУ ПРОБЛЕМА ИНТЕРАКЦИЈЕ СТРУКТУРЕ ТЈА.....	328
31. Miodrag Bujšić, Slobodan Živaljević, Zvonko Tomanović (Crna Gora) ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA DISKONTINUITETA NA UZORCIMA MEKE STIJENSKE MASE POD DEJSTVOM KRATKOTRAJNOG OPTEREĆENJA .....	335
32. Dušan Berisavljević, Zoran Berisavljević, Svetlana Melentijević, Željko Žugić (Srbija, Španija) UTICAJ STRUKTURE NA MEHANIČKO PONAŠANJE LESA.....	345
33. Nemanja Marinković, Nebojša Davidović, Branimir Stanković, Elefterija Zlatanović, Zoran Bonić Romić Nikola (Srbija) COMPARATIVE ANALYSIS OF PLASTIC LIMIT OF FINE-GRAINED SOIL DETERMINED BY VARIOUS METHODS .....	354
34. Snežana Maraš-Dragojević (Srbija) PRIMENA NUMERIČKIH METODA I EVROKODA 7 U PROJEKTOVANJU TUNELA .....	362
35. Nikola Čadenović, Ivan Maretić (Crna Gora) IZGRADNJA TUNELA ISPOD BOKOKOTOR-SKOG ZALIVA KLASIČNOM METODOM.....	372
36. Marija Krstić, Nikola Božović, Stefan Mitrović (Srbija) KOMPARACIJA REZULTATA DOBIJENIH ISPITIVANJEM ŠIPOVA KOJI SU IZVEDENI RAZLIČITIM TEHNOLOGIJAMA U ISTIM GEOLOŠKIM USLOVIMA .....	385

## SMANJENJE SLEGANJA PLITKIH TEMELJA PRIMENOM MIKROŠIPOVA

Slobodan Ćorić\*, Dragoslav Rakić\*

\* *Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Dušina 7,  
[sloba.coric@gmail.com](mailto:sloba.coric@gmail.com); [dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs)*

### REZIME

Mikrošipovi su šipovi malog prečnika koji se grade tako što se u tlu specijalni postupkom formira bušotina koja se zatim armira i injektira. Njihov prečnik je najčešće 150 – 300 mm, a dužina može da bude i više desetina metara. Mikrošipovi mogu da se grade u svim vrstama tla i mogu da budu vertikalni i kosi. Oni se, stoga, koriste kao zamena za konvencionalne šipove i ankere. Primena mikrošipova u fundiranju predstavlja jedan savremeni način izgradnje i sanacije temelja/objekata. Metode njihovog građenja su takve da izazivaju minimalne poremećaje okolnog tla i susednih objekata a postupak izvođenja nije praćen ni vibracijama a ni bukom. Zato su oni pogodni za primenu u urbanim sredinama. U radu su prikazani konstrukcija mikrošipova kao i njihova primena u cilju smanjenja sleganja plitkih temelja.

KLJUČNE REČI: mikrošipovi, sleganje plitkih temelja i mikrošipova, krutost tla i mikrošipova

## SETTLEMENT REDUCTION OF SHALLOW FOUNDATIONS WITH THE USE OF MICROPILES

### ABSTRACT

Micropiles are small diameter piles which are constructed by driving a borehole, placing reinforcement and grouting the hole. A micropile diameter is mostly between 150 – 300 mm and its length can be several tenth meters. Micropiles can be installed in almost all types of soils. They can be vertical or inclined and may be considered as a substitute for conventional piles and anchors. The application of micropiles in foundation engineering is a contemporary method for constructing and rebuilding foundations/structures. They are installed by techniques that cause minimal disturbance to surrounding soil and adjacent structures. In addition, the installation procedure causes minimal vibration and noise. Because of that they are very suitable for application in urban areas. In the paper are presented micropile construction and procedure for settlement reducing of shallow foundations.

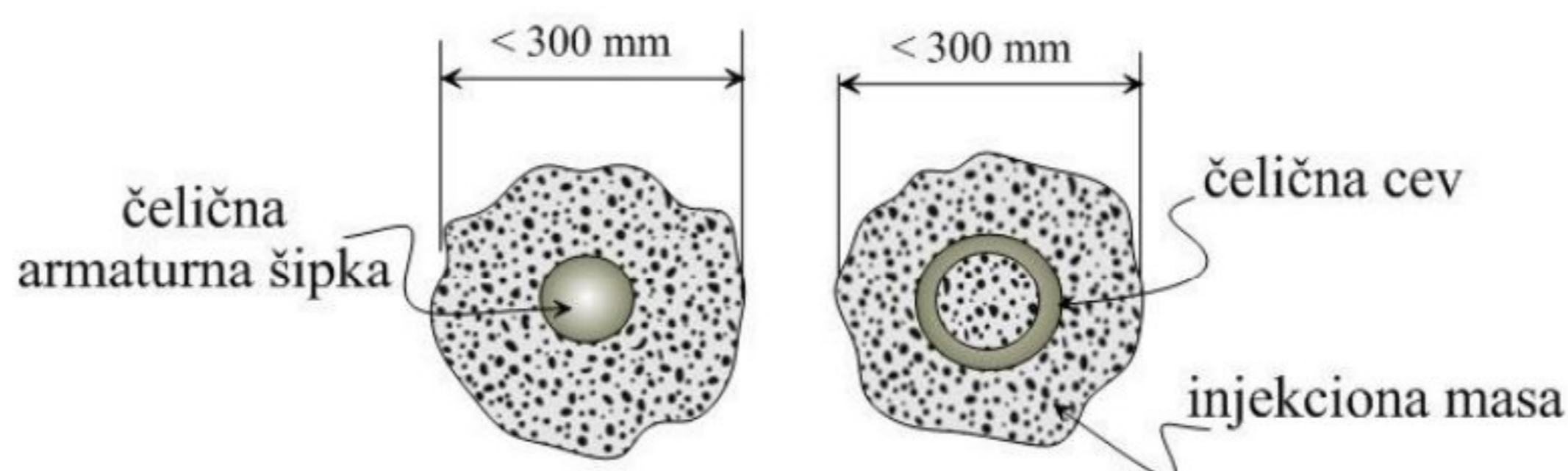
KEY WORDS: micropiles, settlement of shallow foundations and micropiles, stiffness of soil and micropiles

## UVOD

Mikrošipovi su prvo počeli da se primenjuju u Italiji 1952 god. za saniranje antičkih i srednjevekovnih građevina oštećenih tokom vremena i, još više, razaranjima u Drugom svetskom ratu. Desetak godina kasnije, do njihove primene dolazi i u drugim zemljama i to u Velikoj Britaniji – 1962 god., Nemačkoj – 1965 god., SAD – 1973 god. U Srbiji su mikrošipovi prvi put primenjeni 2005 god.

## KONSTRUKCIJA MIKROŠIPOVA

Mikrošipovi su šipovi malog prečnika, najčešće manjeg od 300 mm, koji se grade tako što se u tlu specijalnim postupkom formira bušotina, odgovarajućeg prečnika i dužine, koja se zatim armira i injektira, s tim što je injekcioni pritisak najčešće od 1.0 – 5.0 MPa (Slika 1). Pri tome postupak injektiranja može da bude u jednom ili više koraka.



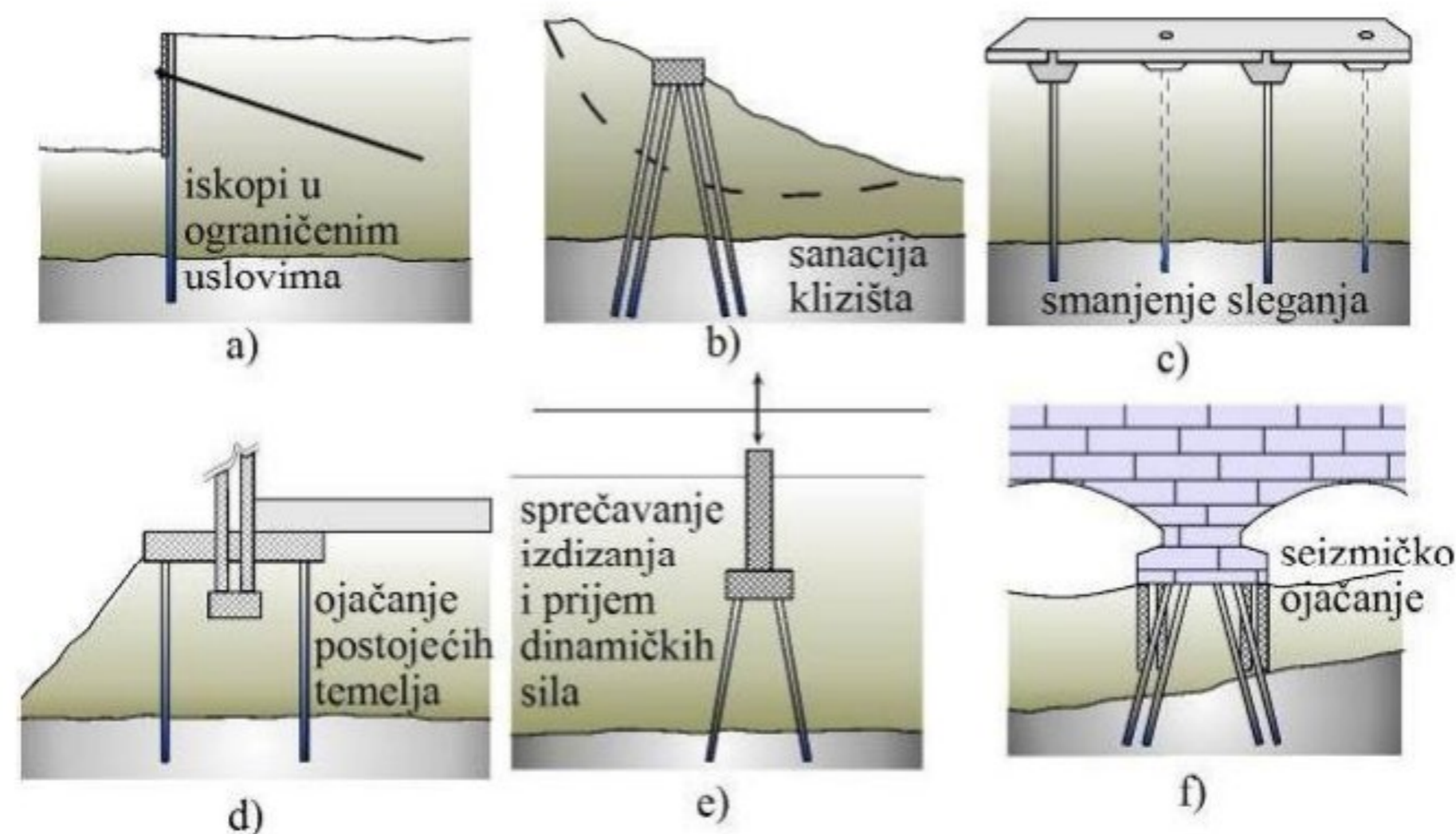
Slika 1. Poprečni presek mikrošipova  
Figure 1. Cross section of micropiles

Prečnik mikrošipova je najčešće 150 – 300 mm, a njihova dužina može da bude i više desetina metara. U Srbiji su najčešće građeni mikrošipovi dužine do 15 m.

Injekcionu masu čini mešavina cementa i vode, s tim što je vodocementni faktor 0.4 – 0.5. Pritiskajuća čvrstoća injekcione mase posle 28 dana je između 28 i 35 MPa. Kao armatura koristi se glatka, rebrasta ili cevasta armatura.

Mikrošipovi mogu da se grade u svim vrstama tla i mogu da budu vertikalni ili kosi. Metode njihovog građenja su takve da izazivaju minimalne poremećaje okolnog tla i susednih objekata, a postupak izvođenja ne prate vibracije, a ni buka. Zato su oni posebno pogodni za primenu u urbanim sredinama. Osim toga, zbog činjenice da oprema za njihovo izvođenje nije teška a ni glomazna, oni mogu da se koriste i za ojačanja postojećih temelja unutar samih objekata. Neke mogućnosti primene mikrošipova prikazane su na Slici 2.

Posebno naglašavamo da se ista oprema, koja se koristi za građenje mikrošipova, koristi i za formiranje ankera.

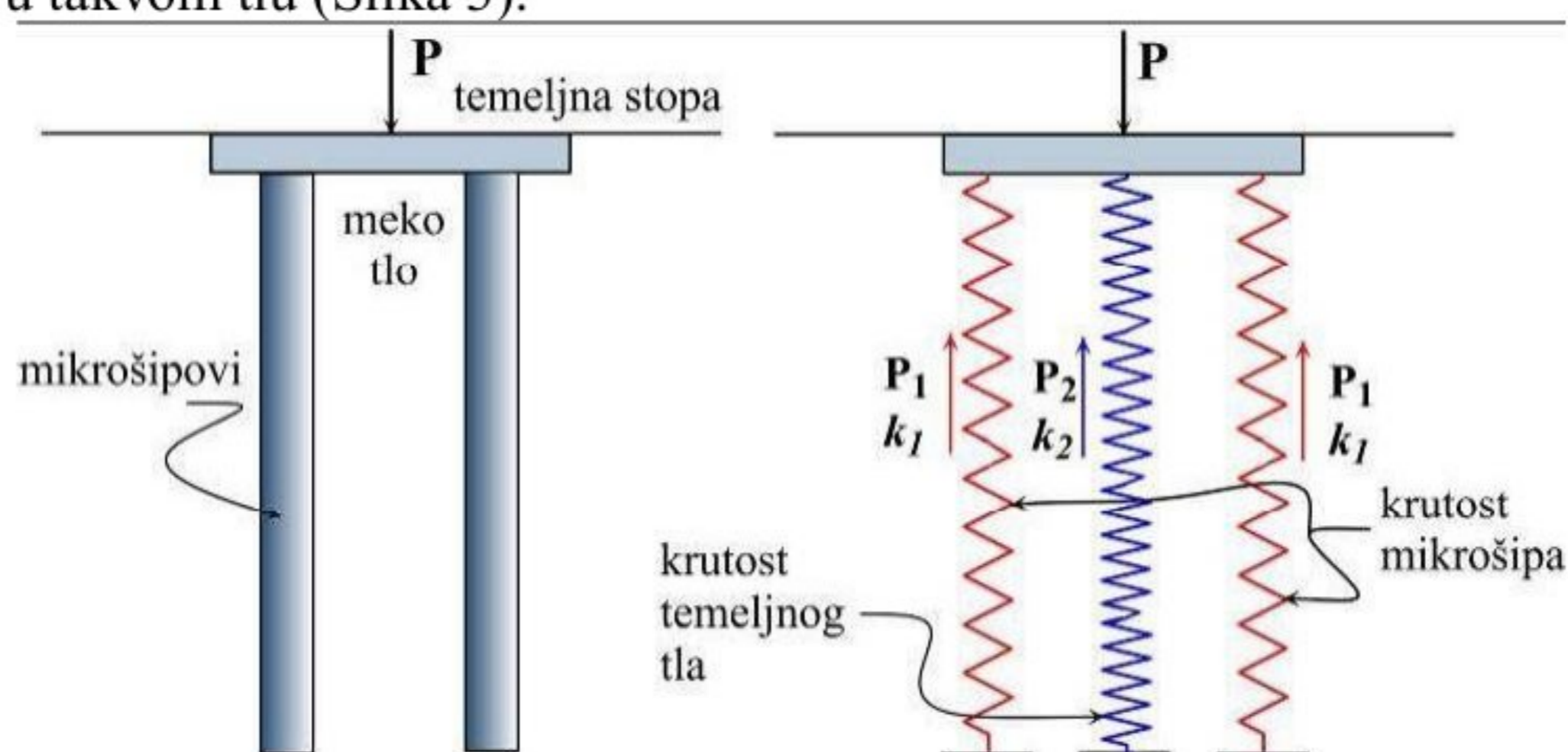


Slika 2. Primeri primene mikrošipova u geotehnici  
Figure 2. Examples of micropiles application in geotechnics

Mikrošipovi se koriste, pre svega, za prijem aksijalnih sila i mogu da se primenjuju umesto konvencionalnih šipova i ankeri. Njihova nosivost/granično opterećenje može da iznosi i 3000 – 4000 kN, a u Srbiji su građeni mikrošipovi nosivosti do 1200 kN. Specijalne metode bušenja i injektiranja, koje se koriste kod građenja mikrošipova, omogućavaju formiranje čvrste veze na kontaktu injektione mase i tla. Pri tome, injektiona masa trenjem prenosi opterećenje sa mikrošipova na tlo – na isti način kao što se to dešava i kod ankeri.

### SLEGANJE PLITKIH TEMELJA SA MIKROŠIPOVIMA

Kada je temeljno tlo meko i/ili rastresito, može da se projektuje kombinovano fundiranje - plitka temeljna stopa i mikrošipovi. Na taj način može da se dođe do racionalnog rešenja za fundiranje i u takvom tlu (Slika 3).



Slika 3. Kombinovani temelj – plitko fundirana stopa i mikrošipovi  
Figure 3. Combined foundation - shallow foundation and micropiles

Da bi se definisalo međusobno dejstvo temeljne stope i mikrošipa ispod nje, potrebno je pre svega definisati krutost mikrošipa i temeljnog tla. Krutost mikrošipa  $k_1$  definiše se na sledeći način

$$k_1 = \frac{P}{s_1} \quad (1)$$

gde je:  $s_1$  – vertikalno pomeranje glave mikrošipova pod dejstvom sile  $P$ .

Pomeranje  $s_1$  sadrži dve komponente tj.  $s_1 = s_{11} + s_{12}$ . Prva je posledica skraćanja mikrošipa  $s_{11}$  (elastično sleganje), a druga je posledica sleganja baze mikrošipa  $s_{12}$ .

Elastično sleganje mikrošipa  $s_{11}$  može da se odredi iz jednačine

$$s_{11} = \frac{P \cdot L}{E_p \cdot A_p} \quad (2)$$

gde je:

$P$  - aksijalno opterećenje mikrošipa

$L$  – dužina na kojoj se mikrošip elastično deformiše

$E_p A_p$  – aksijalna krutost poprečnog preseka mikrošipa

Posebno naglašavamo da, kod određivanja elastičnog sleganja, treba voditi računa o tome kako se opterećenje sa mikrošipa prenosi na okolno tlo.

Sleganje baze šipa  $s_{12}$ , usled opterećenja koje se sa mikrošipa prenosi na okolno tlo, može da se odredi kao kod pojedinačnih vertikalnih šipova i zavisi od veličine opterećenja i deformabilnosti, odnosno krutosti okolnog tla.

Krutost temeljnog tla,  $k_2$  ispod temeljne stope, definiše se kao

$$k_2 = \frac{P}{s_2} \quad (3)$$

gde je:  $s_2$  – sleganje temeljne stope pod dejstvom sile  $P$ .

Sleganje temeljne stope, pod dejstvom sile  $P$ , određuje se saglasno odgovarajućoj metodi iz geostatičkih proračuna.

Kada se na ovaj način odrede sleganja  $s_1$  i  $s_2$ , onda se iz uslova jednakosti sleganja  $s_1$  i  $s_2$  određuju komponente sile  $P$  tj.  $P_1$  i  $P_2$  koje se prenose preko mikrošipa i preko temeljne stope. Tako da je

$$P = P_1 + P_2 \quad (4)$$

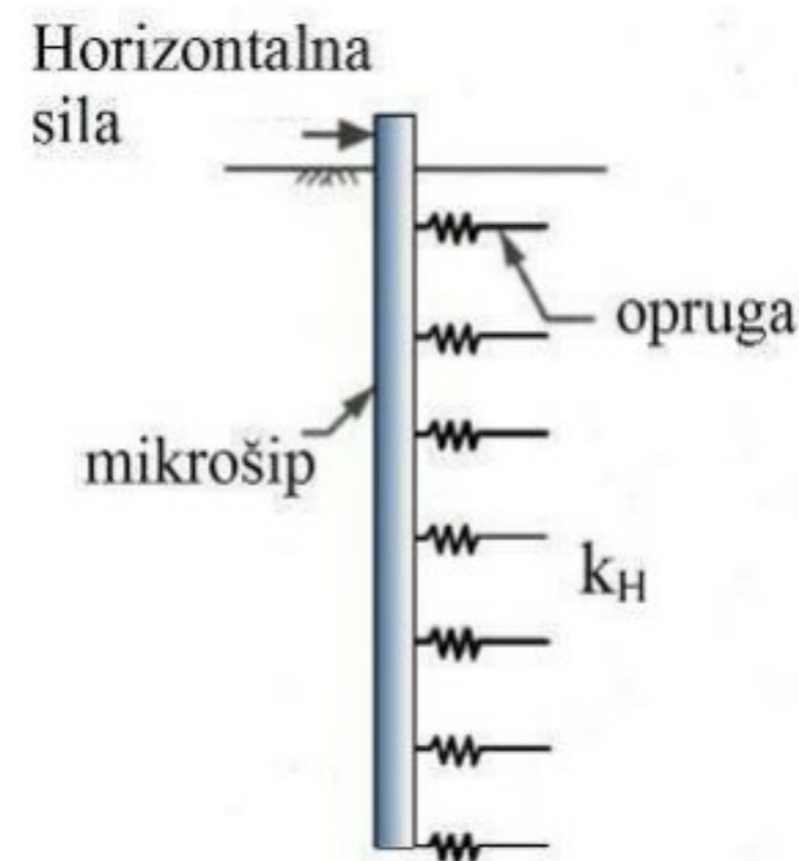
$$\frac{P_1}{k_1} = \frac{P_2}{k_2} \quad (5)$$

$$P_1 = \frac{1}{1 + \frac{k_2}{k_1}} \cdot P \quad (6)$$

$$P_2 = \frac{I}{I + \frac{k_1}{k_2}} \cdot P \quad (7)$$

### Komentar

Temeljna konstrukcija, koju čine temeljna stopa i mikrošipovi, najčešće je opterećena vertikalnim opterećenjem. Međutim, zbog ugrađenih mikrošipova ona može, ako treba, da primi i određeno horizontalno opterećenje. Prilikom određivanja horizontalne sile, koju može da primi mikrošip, okolno tlo se zamenjuje serijom linearno-elastičnih opruga, s tim što se krutost svake opruge izražava koeficijentom horizontalne krutosti tla. Navedeni postupak proračuna u Srbiji se koristi u kompjuterskom programu TOWER.



Slika 4. Mikrošip opterećen horizontalnom silom  
Figure 4. Micropile loaded with horizontal force

U našoj geotehničkoj praksi, koeficijent horizontalne krutosti  $k_H$  se često određuje pomoću sledeće jednačine (Vesić, 1961)

$$k_H = 0.65 \cdot 12 \sqrt{\frac{E_s \cdot D^4}{E_p \cdot I_p}} \cdot \frac{E_s}{D \cdot (1 - \nu^2)} \quad (8)$$

gde je:

- $E_s$  – modul elastičnosti tla
- $E_p$  – modul elastičnosti mikrošipa
- $\nu$  – Poasonov koeficijent tla
- $D$  – prečnik mikrošipa
- $I_p$  – momenat inercije mikrošipa

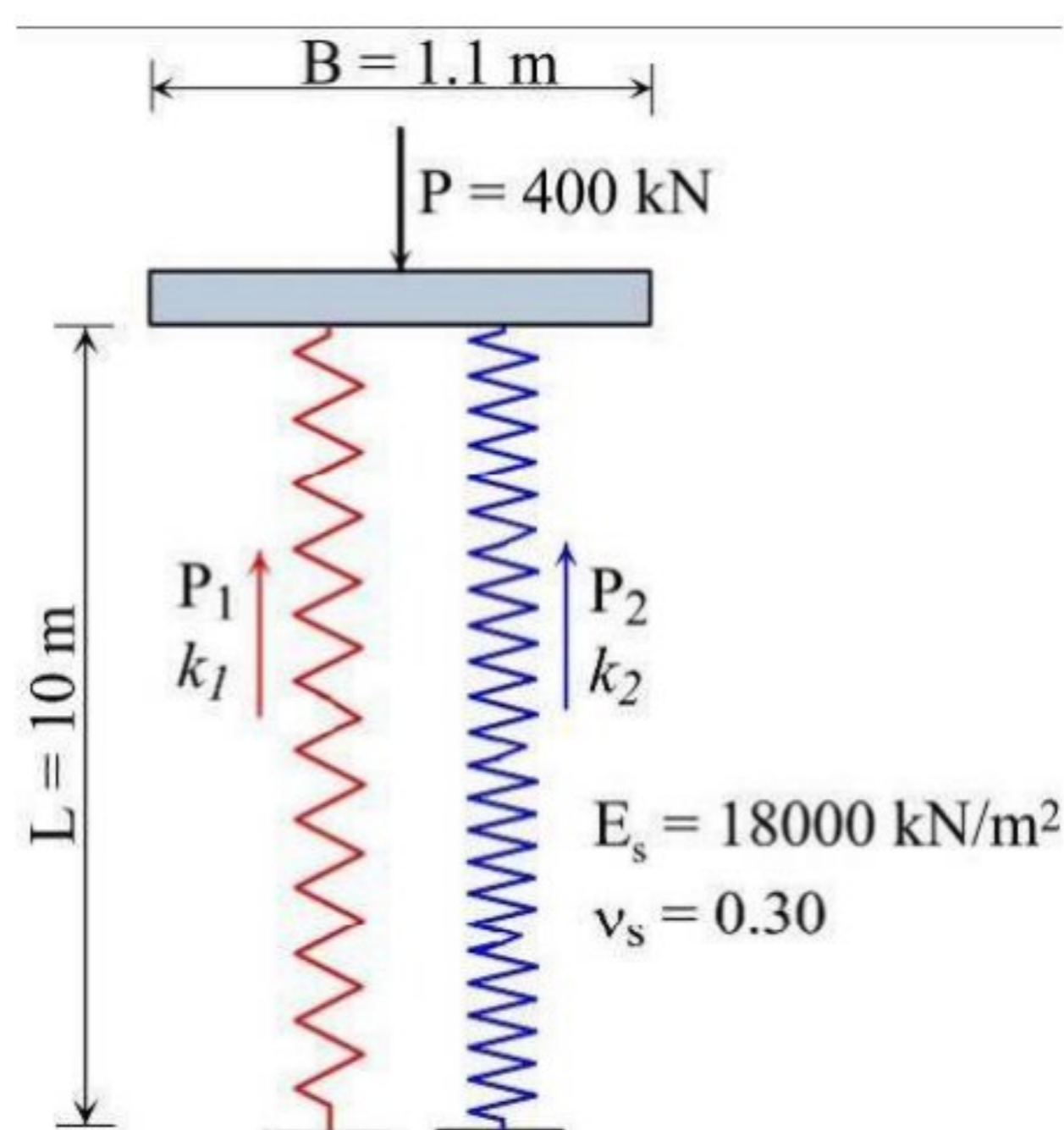
Ova jednačina može da se koristi za određivanje  $k_H$  i kod koherentnog i kod nekoherentnog tla.



## NUMERIČKI PRIMER

Vertikalna sila  $P = 400$  kN deluje centrično na kombinovani temelj koji čine betonska stopa dimenzije  $B \times B = 1.1$  m  $\times$  1.1 m i mikrošip prečnika  $D = 0.2$  m u koji je ugrađen čelični profil MAIR 51N tj. čelična cev spoljašnjeg prečnika 51 mm i površine poprečnog preseka  $12.17$  cm<sup>2</sup>. Modul elastičnosti cementne emulzije iznosi  $2.5 \times 10^4$  MPa, a modul elastičnosti čelika  $2.1 \times 10^5$  MPa. Dužina mikrošipa je  $L = 10$  m.

Odrediti komponente sile  $P$  koje se prenose preko mikrošipa i temeljne stope na temeljno peskovito tlo koje ima modul elastičnosti  $E_s = 18000$  kN/m<sup>2</sup> i Poasonov koeficijent  $\nu_s = 0.30$  (Slika 5).



Slika 5. Kombinovani temelj – šematski prikaz  
Figure 5. Combined foundation - schematic representation

Sleganje  $s_{11}$

$$s_{11} = \frac{(P \cdot L) / 2}{E_p \cdot A_p}$$

gde je

$$E_p \cdot A_p = 2.1 \cdot 10^5 \cdot 0.001217 + 2.5 \cdot 10^4 \cdot \left( \frac{0.2^2 \cdot 3.14}{4} - 0.001217 \right) = 1011 MN$$

$$s_{11} = \frac{(400 \cdot 10) / 2}{1011000} = 0.00198 m \approx 2 mm$$

Sleganje  $s_{12}$

$$s_{12} = \frac{(1 - \nu_s^2)}{E_s} \cdot p_s \cdot D \cdot I_s$$

gde je

$$P_s = \frac{P}{D \cdot \pi \cdot L} = \frac{400}{0.2 \cdot 3.14 \cdot 10} = 63.7 \text{ kN}$$

$$I_s = \left( 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) = \left( 2 + 0.35 \sqrt{\frac{10}{0.2}} \right) = 4.48$$

$$s_{I2} = \frac{(1 - 0.3^2)}{18000} \cdot 63.7 \cdot 0.2 \cdot 4.48 = 0.00288 \text{ mm} \approx 2.9 \text{ mm}$$

Ukupno sleganje mikrošipa  $s_I = s_{I1} + s_{I2} = 4.9 \text{ mm}$

$$k_I = \frac{400}{4.9} = 81.6 \text{ kN / mm}$$

Sleganje temeljne stope  $s_2$

$$s_2 = \frac{(1 - \nu_s^2)}{E_s} \cdot I \cdot \frac{P}{B \cdot B} \cdot B$$

$$s_2 = \frac{(1 - 0.3^2)}{18000} \cdot 0.82 \cdot \frac{400}{1.21} \cdot 1.1 = 0.015 \text{ m} = 15 \text{ mm}$$

$$k_2 = \frac{400}{15} = 26.7 \text{ kN / mm}$$

Tako da je

$$\frac{P_1}{P} = \frac{1}{1 + \frac{26.7}{81.6}} = 0.075 = 7.5\% \quad P_1 = 300 \text{ kN}$$

$$\frac{P_2}{P} = \frac{1}{1 + \frac{81.6}{26.7}} = 0.025 = 2.5\% \quad P_2 = 100 \text{ kN}$$

Sleganje temeljne konstrukcije iznosi 3.7 mm.

Naravno da, u postupku proračuna, treba proveriti i da li je opterećenje temeljne konstrukcije manje od dozvoljenog opterećenja.

## ZAKLJUČAK

Primena mikrošipova u fundiranju predstavlja jedan savremeni način izgradnje i sanacije temelja/objekata. Oni su počeli da se, pre sedamdeset godina, primenjuju kao zamena za konvencionalne šipove i ankere. Pri tome su metode njihovog građenja takve da izazivaju minimalne poremećaje okolnog tla i susednih objekata, a postupak izvođenja nije praćen ni vibracijama a ni bukom. Zato su oni posebno pogodni za primenu u urbanim sredinama.

U radu je prikazano kako se primenom kombinovanog fundiranja tj. plitkih temelja i mikrošipova može da smanji sleganje temeljne konstrukcije, a u isto vreme da se prihvati i horizontalno opterećenje. Na taj način može da se dobije racionalna temeljna konstrukcija.

## LITERATURA

- Bowles, J.E.: *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill, New York, 4th Edition (1988), pp. 1024.
- Bruce, D.A., Cadden, A.W., Sabatini, P.J.: *Practical Advice for Foundation Design – Micropiles for Structural Support*, Geo-Frontiers Congrees (2005), pp. 1-25.
- Ćorić, S., Mandić, D., Rakić, D.: „Glavni projekat izmene fundiranja objekta zgrade televizije rtv Pančevo sa geotehničkim izveštajem“, Dokumentacija rudarsko-geološkog fakulteta, Departmana za geotehniku (2008).
- Ćorić, S., Rakić, D.: Sanacija objekata i terena mikrošipovima, XV Simpozijum iz inženjerske geologije i geotehnike, Društvo geoloških inženjera i tehničara Srbije, Beograd, (2016). str. 463-473.
- Ćorić, S., Rakić, D.: Primena mikrošipova u geotehnici, *Gradjevinski kalendar*, Savez gradjevinskih inženjera Srbije, Vol. 48, (2016). str. 133-162.
- Ćorić, S.: Geostatički proračuni (IV izdanje), *Časopis Izgradnja i Srpsko društvo za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo*, Beograd, (2017). str. 460.
- Ćorić, S., Rakić, D., Ćorić, St., Basarić, I.: Bočna nosivost i pomeranja vertikalnih šipova opterećenih horizontalnim silama, *Časopis „Građevinski materijali i konstrukcije“*, Vol. 61, br. 1, (2018), pp. 111-127.
- Das, B.M.: *Principles of Foundation Engineering*, Sixth Edition, Thomson (2007), pp. 771.
- Federal Highway Administration (FHWA): „Micropile design and construction reference manual“, Publication no. FHWA NHI-05-039. United States Dept. of Transportation, Course no. 132078. (2005). pp. 456.
- Ischebech, E.F.: *Contribution Spread Footing with Micropiles as Foundation for Wind Turbines Using Titan Injection Bore Anchors in Accordance with DIN 4128*, Geosupport Systems, Technical Information Ichebeck Titan.
- Liew, S. S., Fong, C.C.: „Design & construction of micropiles“, *Geotechnical Course for Pile Foundation Design & Construction*, Ipoh. (2003).
- Tonon, F., Mammino, A.: Reliability – based design and construction issues for a micropile foundation in Costa Rica, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, ASCE, vol. 9. no. 4. (2004).
- Vesić, A.B.: Bending of Beams Resting on Isotropic Elastic Solid, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, Vol. 87, Issue 2, (1961).
- Vujović, I.: Glavni projekat sanacije temelja stambenog objekta – lamela 3 na kp. 1049/1, Veliki Mokri Lug, Dokumentacija saobraćajnog instituta CIP (2013).