

ГЕОСТАТИЧКИ ПРОРАЧУНИ КОД САНАЦИЈЕ КЛИЗИШТА МИКРОШИПОВИМА

GEOTECHNICS CALCULATIONS FOR LANDSLIDE STABILIZATIONS BY MICROPILES

Проф. др Слободан Ђорић, дипл. инж. грађ.

Проф. др Драгослав Ракић, дипл. инж. геол.

Проф. др Станко Ђорић, дипл. инж. грађ.

Прегледни рад

10.5937/IASPN25050D

Апстракт: Примена микрошипова у геотехници представља један савремени начин изградње и санације темеља/објеката, али и повећања стабилности клизишта/косина. Када се вертикални микрошипови користе за санацију клизишта, они су тада оптерећени хоризонталним (бочним) силама. Бочни притисци тла који делују на микрошипове могу да се одреде методом Ито-Матсуиа. Ова метода узима у обзир тродимензионалне услове у тлу и претпоставља да се око микрошипова формирају пластичне зоне које задовољавају Кулон-Моров услов течења тла. Санација клизишта вертикалним микрошиповима представља сложен проблем, који зависи од интеракције клизишта и микрошипова. Стога је у поступку прорачуна потребно да се симултано врши: анализа стабилности клизишта и анализа стабилности микрошипова.

Кључне речи: микрошипови, санација клизишта, бочна носивост тла и микрошипова

Abstract: The application of micropiles in geotechnics is a modern method for constructing and rebuilding foundations/structures and increasing stability of landslides /slopes too. In a case when vertical micropiles are used, for landslide stabilization, they are loaded by horizontal (lateral) forces. The lateral pressures of soil which act on micropiles may be determined by Ito-Matsui method. This method takes account three-dimesional effects of surrounding soil and it is assumed that plastic state satisfying the Mohr-Coulomb's failure criterion occurs around the micropiles. Landslide stabilization by vertical micropiles is a very complex task and is based on the interaction between landslide and stabilizing micropiles. In accordance to that, it includes simulatneous stability analyses of landslide and micropiles.

Key Words: micropiles, landslide stabilization, lateral capacity of soil and micropiles.

УВОД

Микрошипови су прво почели да се примењују у Италији, 1952. године, за санирање античких и средњовековних грађевина оштећених током времена и, још више, разарањима у Другом светском рату. Десетак година касније њихова примена почиње и у другим земљама, и то у Великој Британији 1962, у Немачкој 1965, САД 1973. године итд. [1]. У Србији су микрошипови први пут примењени 2005. године. [2].

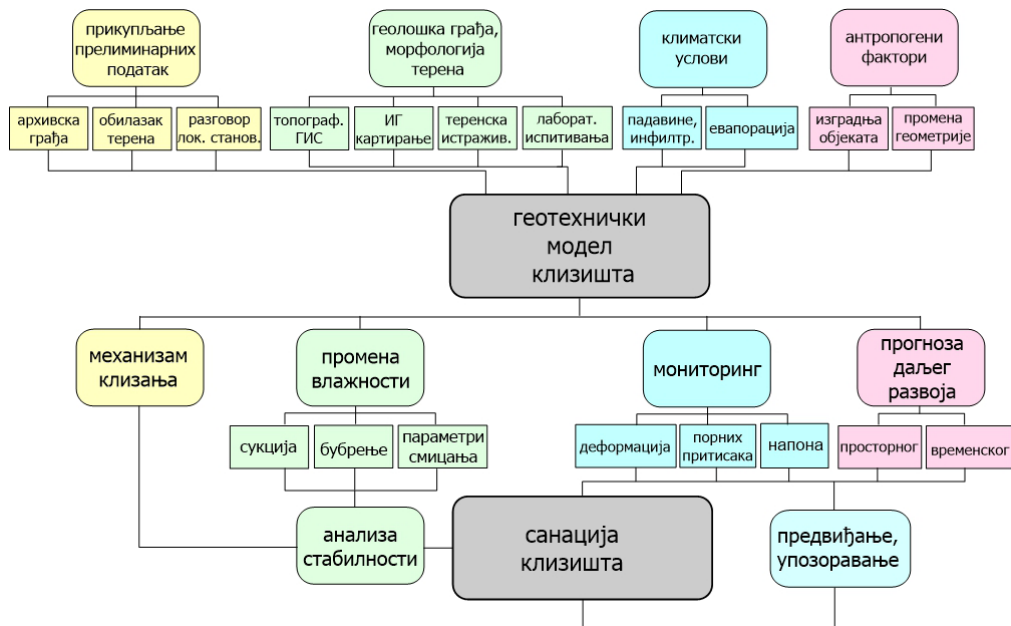
ОПШТИ ПОСТУПАК ИСТРАЖИВАЊА КЛИЗИШТА

Један од најчешћих геолошких хазарда у свету су клизишта, па њихова санација заокупља пажњу великог броја инжењера и истраживача различитих струка. Најчешћи узроци појаве клизишта везани су за узајамно дејство унутрашњих (природних) и спољашњих (најчешће антропогенних) фактора. Основни природни фактор је геолошка грађа терена која обухвата међусобне односе различитих геолошких средина, старост, генезу, структурно-текстурна својства, минералошко-петролошки састав као и физичко-механичке карактеристике. Спољашњи фактори су углавном везани за изградњу бројних инфраструктурних објеката, а најчешће се односе на промену напонских стања због промене геометрије терена или због различитих видова оптерећења. Задњих година су изражене и честе промене климатских услова у смислу повећања падавина и брзине инфилтрације површинских вода, што доводи до наглих промена режима подземних вода у терену и представља један од најчешћих начина активирања клизишта [3]. Због тога свако клизиште има своје специфичности, које морају да се одреде геотехничким истраживањима (Слика 1). Истраживање клизишта ради се систематски, нарочито понашање и механизам клизања.

Методолошки приступ истраживања клизишта базира се на следећа три чиниоца:

- тла/стенске масе по правилу су хетерогене и анизотропне по свом саставу, структури, степену дијагенезе и физичким својствима из чега произлази и њихова хетерогеност и анизотропија у погледу механичких својстава, а посебно отпорности на смицање,
- површине дуж којих долази до смицања при клизању у највећем броју случајева су предиспониране геолошком грађом терена у којој се процес догађа,
- по правилу су то стара умирена клизишта која се повремено активирају (нека у периоду од неколико година, а поједина у периоду од више

десетина година). При активирању се процес клизања обавља најчешће смицањем по некој од раније формираних клизних површина.



Слика 1: Општи модел истраживања клизишта [3]

У циљу поуздане анализе стабилности и пројектовања оптималног санационог решења, геотехничким истраживањима треба утврдити:

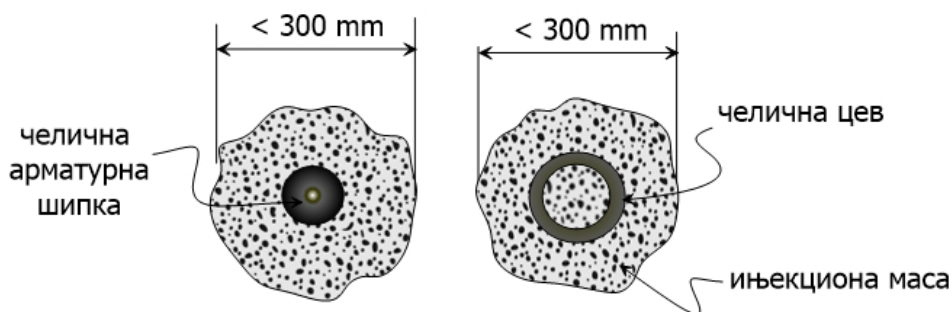
- положај и облик клизне површине, њена отпорна својства и порни притисак који у њој влада,
- физичко-механичка својства тла и стање подземних вода у телу и подлози клизишта.

Генерално се може рећи да се истраживања клизишта обављају у фазама почев од теренских осматрања, преко моделских испитивања и на крају вршења нумеричке анализе. Почетак истраживања везан је за прикупљање прелиминарних података који се односе на: проучавање архивске грађе, обилазак терена, обављање разговора с локалним становништвом. Након тога се обављају геотехничка истраживања која подразумевају: инжењерско-геолошко картирање терена, извођење теренских и лабораторијских истражних радова (истражно бушење, истражне јаме, истражна окна, извођење *in situ* опита, геофизичка испитивања, узорковање тла, лабораторијска испитивања). На основу добијених резултата формирају се геотехнички модели клизишта, који се користе

за анализе стабилности, али и за дефинисање програма осматрања клизишта који обухвата: праћење деформација, осматрање нивоа подземне воде, анализу напонског стања и сл. Овако добијени подаци омогућују дефинисање просторне прогнозе даљег развоја клизишта, механизма клизања и прогнозе временског развоја (Слика 1). Циљ ових истраживања јесте утврђивање оптималног начина санације клизишта.

КОНСТРУКЦИЈА МИКРОШИПОВА И ЊИХОВА ПРИМЕНА

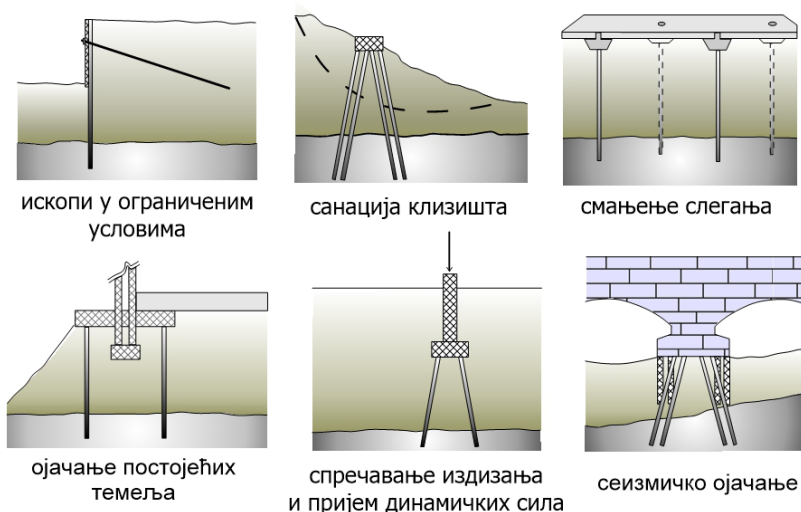
Микрошипови су шипови малог пречника који се граде тако што се у тлу специјалним поступком формира бушотина, одговарајућег пречника и дужине, која се затим армира и инјектира, с тим што је инјекциони притисак најчешће од 1.0–5.0 МПа (Слика 2) [2].



Слика 2: Појречни пресек микрошипова [2]

Инјекциону масу чини мешавина цемента и воде, с тим што је водоцементни фактор 0.4–0.5. Притискујућа чврстоћа инјекционе масе после 28 дана је између 28 и 35 МПа. Као арматура се користи глатка, ребраста или цеваста арматура. Пречник микрошипова је најчешће 150–300 mm, а њихова дужина може да буде и више десетина метара.

Микрошипови могу да буду вертикални или коси и могу да се изводе у свим врстама тла. Методе њиховог грађења су такве да изазивају минималне поремећаје околног тла и суседних објеката, а поступак извођења не прате вибрације, а ни бука. Микрошипови се користе, пре свега, за пријем аксијалног оптерећења и могу да се примењују уместо конвенционалних шипова. Међутим, по потреби, могу да се користе и за пријем бочног оптерећења нпр. код санације клизишта (Слика 3) и тај аспект њихове примене биће приказан у овом раду.



Слика 3: Примери примене микрошпилова у геотехници [2]

ОДРЕЂИВАЊЕ БОЧНЕ НОСИВОСТИ ТЛА МЕТОДОМ ИТО-MATSUIA

Када се микрошпилови користе код санације клизишта, они тада прихватају бочне притиске од клизног тела. У вези с тим треба знати да је одређивање бочне носивости тла око вертикалног микрошпила, оптерећеног хоризонталном силом, сложен инжењерски проблем, који је последица интеракције микрошпила и околног тла. Он зависи од чврстоће околног тла, крутости микрошпила, начина ослањања његове главе као и од растојања између микрошпилова [4]. Приликом одређивања бочне отпорности тла око микрошпилова, по правилу се чине одређена упрошћавања како би се добило решење прихватљиво за геотехничку праксу. То може да се уради на више начина, а у овом раду ми ћемо приказати методу Ito-Matsui [5]. Ову методу су они проширили 1981. године, укључивши и Won Pyo Honga [6]. Ito и Matsui (1975) су предложили методу за одређивање бочне отпорности тла у случају вертикалних микрошпилова постављених у једном реду. Аутори сматрају да се око микрошпилова формирају пластичне зоне које задовољавају Кулон-Моров услов течења (Слика 4).

Величина бочних притисака p_L која узима у обзир тродимензионалне услове у којима се микрошпилови налазе, и која представља разлику између бочних притисака испред и иза микрошпилова, одређује се из следеће једначине

$$p_L = A \cdot c \left(\frac{1}{N_\phi \tan \phi} \cdot \{B - (2E - 1)\} + F \right) - c \cdot (D_1 \cdot F - 2D_2 \cdot N_\phi^{-1/2}) + \frac{\gamma \cdot Z}{N_\phi} \cdot \{(A \cdot B) - D_2\}$$

где је:

c – кохезија тла

ϕ – угао унутрашњег трења тла

γ – запреминска тежина тла

z – дубина испод површине терена

D_1 – размак између центара суседних микрошипова

D_2 – чист размак између суседних микрошипова

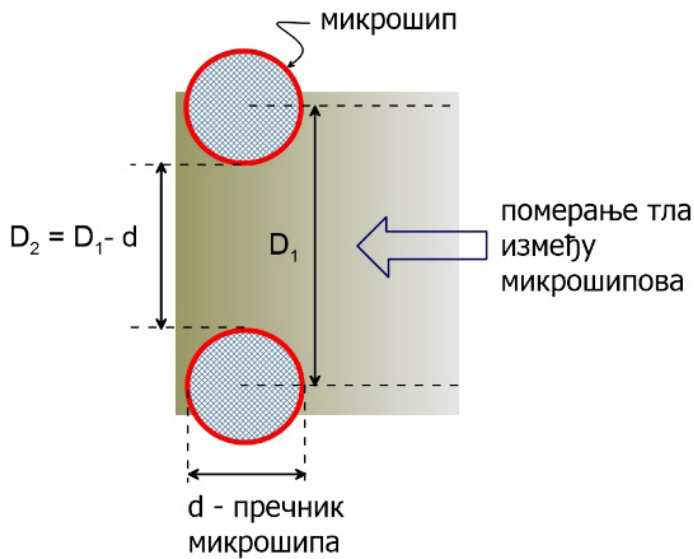
$$N_{\phi} = \operatorname{tg}^2[(\pi / 4) + \phi / 2]$$

$$A = D_1 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right) [N_{\phi}^{1/2} \cdot \tan \phi + N_{\phi} - 1]$$

$$B = \exp \left[\frac{D_1 - D_2}{D_2} \cdot N_{\phi} \cdot \tan \phi \cdot \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\pi}{4} \right) \right]$$

$$E = N_{\phi}^{1/2} \cdot \tan \phi$$

$$F = \frac{2 \cdot \tan \phi + 2 \cdot N_{\phi}^{1/2} + N_{\phi}^{-1/2}}{E + N_{\phi} - 1}$$



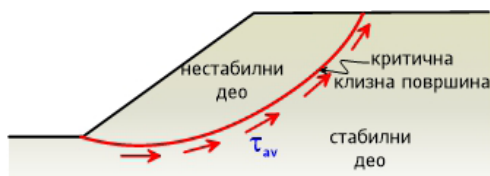
Слика 4: Пластично деформисање тла између два суседна микрошипа [5]

АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ КЛИЗИШТА И САНАЦИОНИХ МИКРОШИПОВА

Клизишта су, као и друге појаве нестабилности терена, повезана са својствима геолошке средине у којој се јављају. С тим у вези од посебног је значаја, за избор оптималног начина санације, то што су положај и облик површине смицања по правилу предиспонирани ослабљеним зонама које представљају механичке дисконтинуитете геолошке средине. И они се морају геотехничким истраживањима на терену открити. Овим истраживањима се, заправо, утврђују најбитнији параметри за анализу стабилности и избор санације клизишта, а пре свега положај клизне површине, њена чврстоћа смицања и стање подземних вода [7]. Стабилизација клизишта микрошиповима, у принципу може да се врши применом: појединачних микрошипова или групе микрошипова. При томе се санација клизишта појединачним микрошиповима знатно више примењује [1]. Зато ћемо, у овом раду, приказати методологију санације клизишта појединачним вертикалним микрошиповима. У вези с тим полазимо од услова да су геотехничким истраживањима одређени сви параметри који су потребни за пројектовање санационих мера. Санација клизишта микрошиповима представља врло сложен проблем, који је тродимензионалан и зависи како од клизишта тако и од микрошипова, односно од њихове интеракције. Зато његово решавање укључује: анализу стабилности клизишта и анализу стабилности микрошипова.

Провера стабилности клизишта и одређивање чврстоће смицања дуж клизне површине

Анализа стабилности клизишта, и косина уопште, ради се најчешће методама граничне равнотеже и на основу тога се одређује фактор сигурности F_s . У тренутку клизања, косина/клизиште се налази у стању граничне равнотеже а фактор сигурности је једнак јединици. Полазећи од тога, повратном анализом може да се одреди просечна чврстоћа смицања дуж клизне површине t_{av} (Слика 5), а у случају реактивираних старих клизишта на овај начин се одређује резидуални угао унутрашњег трења [8]. Чврстоћа смицања може да се одреди и у лабораторији: из опита директног смицања и/или ротационог смицања.



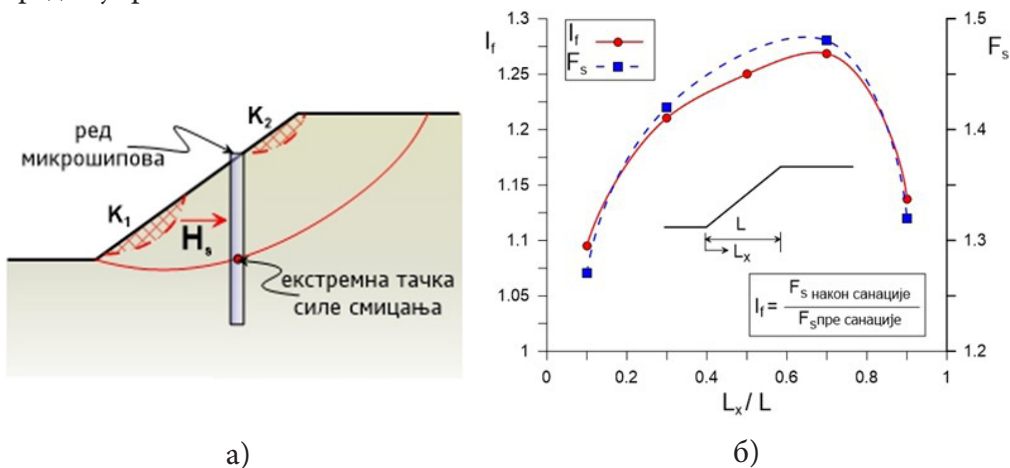
Слика 5: Површина анализа

Одређивање силе која обезбеђује захтевани фактор сигурности клизишта

У поступку санације клизишта/косине потребно је одредити величину силе H_s која обезбеђује захтевани фактор сигурности F_s и с тим у вези и положај микрошипова који ову силу реализују (Слика 6а). Интензитет ове силе одређује се анализом стабилности. У нашој геотехничкој пракси минималне вредности фактора сигурности за статичке услове најчешће су биле у границама 1.2–1.4. У вези с тим треба рећи да је у Србији однедавно на снази нови „Правилник за грађевинске конструкције“, који је у складу са ЕС 7 нормама и стандардом SRPS EN 1997-1/NA, тако да се стабилност косина/клизишта одређује на основу пројектног приступа DA-3, тј. комбинацијом следећих скупова парцијалних коефицијената сигурности “A2”+“M2”+“R3”. При томе су вредности парцијалних коефицијената сигурности за параметре чврстоће тла (γ_M)

- у дренираним условима за ефективни угао унутрашњег трења и кохезију g_ϕ и $g_c = 1.25$
- у недренираним условима за недренирану кохезију $g_{cu} = 1.4$.

Приликом одређивања положаја микрошипова треба проверити да ли се у клизном телу не појављују неке нове клизне површине, испред или иза микрошипова (K_1 и K_2 на Слици 6а), које имају недовољне факторе сигурности. С тим у вези положај микрошипа на косини/клизишту је веома важан и анализиран је од стране неколико аутора [9], [10], [11], који су дошли до сличног закључка да ће се највећа вредност фактора сигурности добити када се микрошипови изведу у средњем делу косине (Слика 6б). Из тих разлога се у геотехничкој пракси микрошипови најчешће постављају у средњој трећини клизишта.



Слика 6: а) Положај стабилизирајућих микрошипова, б) утицај положаја микрошипа на стабилност косине

Одређивање бочне носивости микрошипова

Величину хоризонталне силе H_p коју микрошип може да прихвати одређујемо сумирањем бочних отпора p_L , по висини клизног тела, за усвојени пречник микрошипа и растојање између њих (Слика 7). На овај начин је одређена геотехничка носивост микрошипова. Она је последица бочног отпора које околно тло пружа хоризонталном померању микрошипова. У вези с тим FHWA препоручује да се не врши уклањање тла испред микрошипова и да се на тај начин обезбеди рационално санационо решење [1].



Слика 7: Прорачун геотехничке носивости микрошипова

Што се тиче конструктивне носивости микрошипова, да би се она обезбедила потребно је да се, за овако одређену силу H_p , одреде пресечне силе у микрошпиу (М, Т), а затим да се изврши димензионисање микрошипа. У вези с тим треба рећи да уколико је конструктивна носивост микрошипа мања од његове геотехничке носивости, онда је она меродавна за одређивање интензитета хоризонталне силе коју микрошип може да прихвати. И то је код микрошипова, због малих димензија попречног пресека, врло чест случај.

У поступку прорачуна, на делу испод клизне површине, тло око микрошипова може да се апроксимира серијом опруга код којих се зависност између бочних притисака и хоризонталног померања дефинише коефицијентом хоризонталне крутости K_h (Винклеров модел тла). За овај прорачун се у Србији често користи полуемпиријски програм TOWER. У нашој геотехничкој пракси коефицијент хоризонталне крутости тла често се одређује помоћу следеће једначине [12]

$$K_h = 0.65 \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot d^4}{E_p \cdot I_p}} \cdot \frac{E_s}{d \cdot (1 - \nu^2)}$$

где је:

E_s – модул еластичности тла

E_p – модул еластичности микрошипа

ν – Поасонов коефицијент тла

d – пречник микрошипа

I_p – моменат инерције микрошипа

Напомињемо да се због знатног отпора смицања, између микрошипа и околног тла, овако добијена вредност K_h може дуплирати [4].

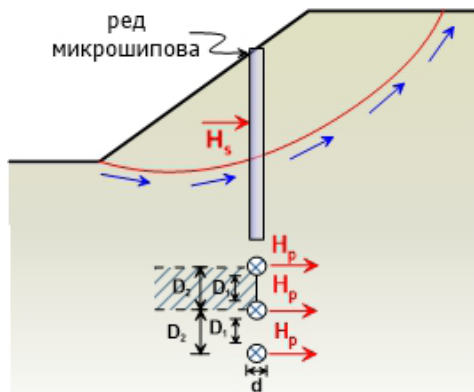
Одређивање силе којом се микрошип одупиरे клизању

Уколико је бочна носивост једног микрошипа H_p , а осовинско растојање између микрошипова $D_2 = D_1 + d$ (Слика 7), онда се отпорна сила H_s по m' клизишта добија из следеће једначине

$$H_s = H_p \cdot \frac{1.0}{D_1 + d}$$

Провера стабилности санираног клизишта

Када проверавамо стабилност клизишта санираног микрошиповима (Слика 8) полазимо од услова да се суперпонирају отпори тла дуж клизне површине и отпори који су последица интеракције микрошипова и околног тла.



Слика 8: Стабилност клизишта санираног вертикалним микрошиповима

Тако да се фактор сигурности санираног клизишта F_s одређује из следеће једначине

$$F_s = \frac{R_s + H_s}{D_s}$$

где је:

R_s – отпорна сила у клизишту

H_s – отпорна сила од микрошипова

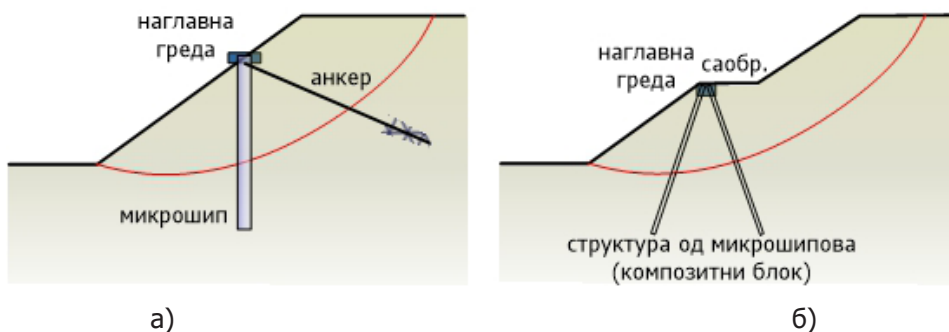
D_s – гурајућа сила у клизишту

Уколико овако добијени фактор сигурности F_s није задовољавајући, онда треба поновити прорачун с другим вредностима пречника/растојања микрошипова.

Анализа стабилности клизишта се, по правилу, врши методама граничне равнотеже. У геотехничкој пракси код нас се за сложене клизне површине често користе методе Јанбуа и Моргенстер-Прајса. А у случају кружних клизних површина користи се метода Бишопа, и тада се у једначини којом се одређује фактор сигурности санираног клизишта F_s уместо сила јављају моменти [8].

Коментар

Вертикални микрошипови, са слободно ослоњеном главом, примењују се код плићких клизишта [1]. Уколико је дебљина клизног тела већа, онда се решење може потражити у ојачању микрошипова анкерима (Слика 9а) или извођењем косих микрошипова (Слика 9б).



Слика 9: а) Ојачање вертикалних микрошипова анкерима, б) примена косих микрошипова

ЗАКЉУЧАК

Санацији клизишта треба да претходе геотехничка истраживања којима се одређују најбитнији параметри за анализу стабилности и санацију клизишта, а пре свега положај клизне површине, њена чврстоћа смицања и стање подземних вода. Санација клизишта вертикалним микрошиповима

последица је интеракције микрошипова и околног тла. Стога је, у поступку пројектовања санационих мера, потребно да се изврши симултана анализа стабилности клизишта и стабилизирајућих микрошипова. Анализе стабилности клизишта врше се одговарајућим методама граничне равнотеже. При томе, полази се од тога да отпорности клизне површине и микрошипова здружено доприносе повећању стабилности клизишта. Да би се ово реализовало, треба да се правилно одреди положај стабилизирајућих микрошипова у клизишту. Одређивање бочне геотехничке носивости вертикалних микрошипова, постављених у низу у једном реду тродимензионалан је проблем и може успешно да се реши применом методе Ito-Matsuia. Аутори сматрају да се око микрошипова формирају пластичне зоне које задовољавају Кулон-Моров услов течења, а да величина бочних притисака, који делују на микрошипове, представља разлику између бочних притисака испред и иза њих. У раду су приказани сви елементи који предложено методологију прорачуна санирања клизишта вертикалним микрошиповима чине целовитом. У вези с тим треба рећи да приказана методологија прорачуна подразумева правилно инжењерско расуђивање у свим фазама пројектовања санационог решења.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Federal Highway Administration (FHWA): „Micropile design and construction reference Manual“, Publication No. FHWA NHI-05-039. United States Dept. of Transportation, Course No. 132078. pp. 456 (2005)
- [2] Ćorić, S., Rakić, D.: „Primena mikrošipova u geotecnici“, Građevinski kalendar, Savez građevinskih inženjera Srbije, Vol. 48 (2016), str. 133–162.
- [3] Ćorić, S., Rakić, D., Ćorić, St., Berisavljević, D.: „Metodologija proračuna sanacije klizišta šipovima“, Fifth Symposium of the Macedonian Association for Geotechnics (V simpozijum društva za Geotecniku R. Severne Makedonije), ISRM Specialized Conference, Ohrid, Makedonija, 2021, pp. 612–620.
- [4] Ćorić, S., Rakić, D., Ćorić, St., Basarić, I.: „Bočna nosivost i pomeranja vertikalnih šipova opterećenih horizontalnim silama“ (Lateral capacity and deformations of vertical piles loaded by horizontal forces), Časopis „Građevinski materijali i konstrukcije“ (Building Materials and structures), br. 61 (2018) 1, pp. 111–127.
- [5] Ito, T., Matsui T.: „Methods to estimate lateral force acting and stabilizing piles“, Soil and Foundation. Japanes society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 15. No. 4. (1975). pp. 43–59.

- [6] Ito, T., Matsui T., Hong, W. P.: „Design method for stabilizing piles against landslide – one row of piles“, Soil and Foundation. Japanes society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 21. No. 1. (1981). pp. 21–37.
- [7] Lokin, P, Ćorić, S.: „Metodologija istraživanja klizišta“. Rudarstvo, Broj 17-18, 2000, Tuzla.
- [8] Ćorić, S.: „Geostatički proračuni“ – IV izdanje, Časopis Izgradnja i Srpsko društvo za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo, Beograd, 2017. str. 460.
- [9] Smith, T. D.: „Fact or Friction: A Review of Soil Response to a Laterally Moving Pile“, Part of: Foundation Engineering: Current Principles and Practices, F. H. Kulhawy editor, American society of civil engineers, ASCE, New York, Vol. 1., 1989, pp. 588–598.
- [10] W. B. Wei and Y. M. Cheng: „Strength reduction analysis for slope reinforced with one row of piles“, Computers and Geotechnics, vol. 36, no. 7, 2009, pp. 1176–1185.
- [11] F. Cai and K. Ugai: “Numerical analysis of the stability of a slope reinforced with piles”, Soils and Foundations, vol. 40, no. 1, 2000. pp. 73–84.
- [12] Vesić, A. B.: „Bending of Beams Resting on Isotropic Elastic Solid“, Journal of the Engineering Mechanics Division, Vol. 87, Issue 2, 1961, pp. 35–54.

Рад број 4, категорија Прегледни рад

Слободан Ћорић,
 Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет,
 Београд, Ђушина 7
 sloba.coric@gmail.com, стр. 50

Драгослав Ракић,
 Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет,
 Београд, Ђушина 7,
 dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs,
 ORCID 0000-0001-5375-3506, стр. 50

Станко Ћорић,
 Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
 Београд, Булевар краља Александра 73,
 cstanko@grf.bg.ac.rs,
 ORCID 0000-0002-7383-6154, стр. 50