

Racionalna sanacija plitkih klizišta u glinama visoke plastičnosti

Ibrahim Jašarević, Željko Lebo

Ključne riječi

odron, klizište, sanacija, baza, utjecajni koeficijent, gabion, drenaža

Key words

rockfall, landslide, improvement, data base, coefficient of influence, gabion, drainage

Mots clés

éboulement, glissement, stabilisation, coefficient d'impact, gabion, drainage

Ключевые слова

обвал, оползень, санирование, база, коэффициент влияния, gabion, дренаж

Schlüsselworte:

Einsturz, Rutschung, Sanierung, Databasis, Einflussbeiwert, Gabbion, Dränung

I. Jašarević, Ž. Lebo

Prethodno priopćenje

Racionalna sanacija plitkih klizišta u glinama visoke plastičnosti

Prikazana je analiza baze podataka plitkih klizišta nastalih u glinama visoke plastičnosti i metodologija njihove sanacije primjenom drenažnog sustava i gabionskih zidova. Prema površini klizanja te odnosu širine i duljine klizne plohe analizirana klizišta mogu biti "odroni" ili "klizišta" s jednom međuzonom. Statističkom obradom i analizom troškova sanacije opravdava se prethodna podjela. Primijenjeni pristup omogućava odabir racionalnih rješenja sanacije klizišta i odrona.

I. Jašarević, Ž. Lebo

Preliminary note

Rational improvement of shallow landslides in high plasticity clay formations

The analysis of the data base consisting of shallow landslides formed in high plasticity clay formations is presented, and the methodology of their remedy by means of drainage systems and gabion walls is described. Taking into account the area affected by landslide and considering the width to length relationship of the slip plane, the analyzed landslides can be classified as "rockfalls" or "landslides", with one intermediary zone. The above classification is based on statistical processing and analysis of landslide improvement costs. This approach enables selection of rational solutions on the rockfall and landslide improvement projects.

I. Jašarević, Ž. Lebo

Note préliminaire

Une méthode rationnelle de stabilisation des glissements peu profonds dans des argiles à haute plasticité

L'article présente une analyse de la base de données des glissements peu profonds créés dans des argiles à haute plasticité, ainsi que la méthodologie de leur stabilisation par un système de drainage et de murs en gabion. En fonction de la surface de glissement et du rapport entre la largeur et la longueur du plan de glissement, il peut s'agir soit d'éboulements soit de glissements avec une zone intermédiaire. Un dépouillement statistique et une analyse des frais de stabilisation justifient bien une telle division. L'approche retenue permet le choix des solutions rationnelles pour la stabilisation des glissements et des éboulements.

И. Яшаревич, Ж. Лебо

Предварительное сообщение

Рациональное санирование мелких оползней в глинах высокой пластичности

В работе показан анализ базы данных мелких оползней, возникших в глинах высокой пластичности, и методология их санирования применением дренажной системы и gabionовых стенок. Согласно величине площади оползания и отношению ширине к длине оползневой поверхности, анализированные оползни могут быть "обвалы" или "оползни" с одной междузонай. Статистической обработкой и анализом расходов по санированию оправдывается предыдущее разделение. Принципиальный подход обеспечивает возможность выбора рациональных решений санирования оползней и обвалов.

I. Jašarević, Ž. Lebo

Vorherige Mitteilung

Rationelle Sanierung flacher Rutschungen im hochplastischem Ton

Dargestellt ist die Analyse einer Databasis für flache Rutschungen die im hochplastischen Ton entstanden waren und die Methodologie deren Sanierung durch Anwendung eines Dränungssystems mit Gabbionwänden. Je nach der Rutschungsfläche und dem Verhältnis der Breite und Länge der Rutschfläche können die analysierten Rutschungen "Einstürze" oder "Rutschungen" sein, mit einer Zwischenzone. Statistische Bearbeitung und Kostenanalyse rechtfertigen die angeführte Teilung. Der angewendete Zutritt ermöglicht die Auswahl rationeller Lösungen für die Sanierung von Rutschungen und Einstürzen.

Autori: Prof. dr sc. **Ibrahim Jašarević**, dipl. ing. građ.; mr. sc. **Željko Lebo**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26

1 Uvod

S obzirom na velike štete od klizišta, pri UNESCO-u je oformljena radna skupina za izradu svjetskog katastra klizišta (WP/WLI) radi pomoći pri stvaranju nacionalnih katastarsa klizišta.

Na razini bivše Jugoslavije, Komitet za hidrogeologiju i inženjersku geologiju osnovao je komisiju za izradu uputa za registriranje i istraživanje nestabilnih padina i klizišta [10] čije su smjernice iskorištene pri formiranju baze podataka klizišta i odrona [1].

2 Analiza mjera za sanaciju klizišta

Učinci sanacijskih mjera na stabilnost padina mogu se procijeniti samo nakon brižljivo izvedenih inženjersko-geoloških i geotehničkih istražnih radova i odgovarajućih analiza stabilnosti nesaniranog i saniranog stanja.

Za izradu prijedloga mjera za sanaciju klizišta nužno je prikupiti i analizirati inženjersko-geološke, hidrogeološke i geotehničke podatke istraživanja kako slijedi:

- odrediti raspored slojeva (tlocrtno i visinski) s njihovim fizičko – mehaničkim svojstvima;
- odrediti dubinu klizne plohe i konturu kliznog tijela;
- odrediti piezometarsku razinu vode na raznim točkama kliznog tijela;
- odrediti u pokrenutoj zoni, a osobito duž plohe sloma, smjer, intenzitet i brzinu pomaka.

Na osnovi analize baze podataka o projektiranim i saniranim klizištima, gdje se pojavljuju glinovita tla, prevladava primjena sljedećih zahvata:

- kontrolirano odvođenje površinskih i dreniranje podzemnih voda;
- stabiliziranje nožice i zone uz glavu (čelo) klizišta primjenom gabionskih konstrukcija;
- kombinacija navedenih dviju sanacijskih mjera.

Vodeći računa o konfiguraciji terena na području klizišta, postojećim građevinskim objektima i površinskim vodnim tokovima koji se stvaraju za kišnog razdoblja, recipijentu ili izgrađenim objektima u blizini klizišta kojim se odvođe prikupljene vode, predviđa se rješenje zahvata i odvodnje oborinskih i podzemnih voda.

Snižavanjem razine podzemne vode i promjenom smjera filtracijskih sila od onih prirodnih uzduž padine prema drenovima, smanjuju se porni tlakovi i povećavaju efektivna naprežanja (σ') na plohi sloma. Vlastita iskustva u sanaciji klizišta, prikazana u tablici 1., upućivala su na primjenu dviju sanacijskih mjera (dreniranjem i gabionski zidovi), što je omogućilo formiranje baze podataka projektiranih i saniranih klizišta (odrona). S obzirom na

povoljnost gabionskih konstrukcija njihova primjena pri sanaciji klizišta odnosno odrona u svijetu je sve češća.

Učinci sanacijskih mjera na stabilnost padine odnosno prometnice mogu se procijeniti samo nakon brižljivo izvedenih istražnih radova i odgovarajućih analiza stabilnosti nesaniranog i saniranog stanja te provedbom i analizom rezultata mjerenja (monitoring) na klizištu odnosno odronu [2].

3 Formiranje baze podataka

Primjenom navedenih uputa na području Tuzlanskog i Unsko-sanskog kantona, u sklopu izrade doktorske disertacije [1] prikupljeni su podaci od kojih je formirana baza od 100 klizišta (iz više od 300 registriranih). Ustanovljena je materijalna šteta (srušene kuće, oštećenja prometnica i poljoprivrednog zemljišta) od oko 22 000 000 EUR-a u posljednje 3 godine. Nepovoljni hidrogeološki uvjeti, razdoblja s dugotrajnim oborinama (tijekom zime 1999./2000. godine u Tuzlanskom kantonu proglašena je elementarna nepogoda) povećavaju intenzitet kretanja tla i dovode do generiranja novih i aktiviranja starih klizišta.

Od ukupno analiziranih stotinu klizišta, uočavaju se tri podjele s obzirom na površinu klizanja, i to: mala - s površinom ispod 400 m² (34%), srednja - s površinom do 4500 m² (46%) i velika - do 35000 m² (18%).

Geometrijski elementi, odnosno dimenzije klizišta s obzirom na duljinu (L), širinu (B) i dubinu (D) kao postotak pojave iz baze podataka su:

- $L < 100$ m	73 %
- $100 < L < 300$ m	8 %
- $B < 100$ m	82 %
- $100 < B < 200$ m	15 %
- $1 \text{ m} < D < 5$ m	74 %
- $L > B$	74 %
- $L < B$	26 %

Nagibi padina (β) na kojima su formirana klizišta:

- $\beta < 5^\circ$	7 %
- $5^\circ < \beta < 12^\circ$	41 %
- $12^\circ < \beta < 32^\circ$	45 %

Kinematika klizišta:

- rotacijska	45 %
- translacijska	40 %
- složena	15 %

Brzina pokreta:

- trenutačno	3 %
- brzo	14 %
- polagano	77 %

Tablica 1. Popis klizišta s karakteristikama i projektnim rješenjima

	oznaka	Naziv klizišta [cestovni pravac]	Uk. površ. kliz. F_k [m ²]	Projektno rješenje				Cijena koštanja [EUR/m ²]			Opaska
				Površ. drenaže F_d [m ²]	Površ. gab.zid F_{gz} [m ²]	Koef. drenaž k_1 [%]	Koef. gab.zid k_2 [%]	Dre C_d	Gab C_{gz}	Ukup. C_d+C_{gz} C_u	
«ODRONI»	Š-1	ŠTURLIĆ –1	480	274	108	57	22,5	30	38	68	Sanirano
	B-1	BUK – 1	702	316	168	45	24	28	64	92	Sanirano
	B-2	BUK –2	540	184	173	34	32	35	65	100	Sanirano
	VL-2	VELAGIĆI –2 [Bihać-Sanski Most]	840	605	378	72	45	50	80	130	Projektira no 2001.
	B-3	BUK – 3	390	157	114	41	30	36	59	95	Projektira no
	GB-1	GORNJI BRIGOVI	520	348	120	67	23	40	47	87	Sanirano
PRIJ. ZONA	G-1	GATA –1	340	102	51	30	15	28	39	67	Sanirano
	G-2	GATA –2	512	96	108	18,8	21	22	48	70	Sanirano
«KLIZIŠTA»	LJ-1	LJUSINA – 1	2800	1064	255	38	9,1	24	13	37	Sanirano
	LJ-2	LJUSINA – 2	1700	442	145	26	8,5	20	12	32	Sanirano
	Š-2	ŠTURLIĆ – 2	3200	768	0	24	0	20	0	20	Sanirano
	Š-3	ŠTURLIĆ – 3	1188	380	121	32	10,2	20	14	34	Sanirano 98/99.
		JOHOVICA	3604	2739	0	76	0	40	0	40	Projektira no 00/01.
	V-1	VRSTA - 1	4500	2160	171	48	3,8	30	10	40	Projektira no 98/99.
	V-2	VRSTA - 2	3300	1898	238	57,5	7,2	34	11	45	Projektira no 98/99.
	V-3	VRSTA - 3	5280	1429	164	27	3	23	8	31	Sanirano 2001.
	M	MORANJCI	2500	280	0	11,2	0	19	0	19	Sanirano
H	HAZNA	3000	465	123	15,5	4,1	18	10	28	Sanirano 1984.	

Na osnovi dugogodišnjeg istraživanja pojave klizišta s lokaliteta sjeverne Bosne (Tuzlanski kanton) i terena za padne Bosne (Unsko-sanski kanton), pri nagibu prirodnih padina prevladavaju relativno tanki slojevi deluvijalnoga mlađega kvartalnog pokrova, neogenetski sedimenti prekonsolidirane ispucane ili relativno intaktne gline visoke plastičnosti. U dubljem dijelu one prelaze u jako glinaste lapore, laporovite vapnence, a katkad sa slojevima pjeskovitih naslaga ili ugljevitih glina miocenske starosti. Također strukturno tektonski odnosi nisu složeni, a slojne su plohe najvećim dijelom s međuslojnim ravninama s niskim parametrima posmične čvrstoće. Te su međuslojne ravnine općenito subparalelne s površi-

nom terena i potencijalno su klizne plohe. Na osnovi inženjerskogeološkog kartiranja na terenu, mjerenja atmosferskih padalina, mjerenja oscilacija podzemnih voda u piezometrima i bunarima te analizama utvrđenih koeficijenata vodopropusnosti, stvorena je geološka slika klizišta iz koje se mogu izdvojiti inženjerskogeološki i geotehnički modeli (na osnovi baze podataka za klizišta u glinama visoke plastičnosti). Iz rezultata laboratorijskih ispitivanja glina visoke plastičnosti mogu se izdvojiti granične vrijednosti pokazatelja kao što su:

- $\gamma = 18 - 19 \text{ kN/m}^3$
- $w = 55 - 85\%$
- $I_p = 25 - 50\%$

- $c = 10 - 40 \text{ kN/m}^2$
- $\varphi = 10 - 25^\circ$
- $k_v = 10^{-8} - 10^{-9} \text{ cm/s}$

4 Postupak racionalne sanacije klizišta

Cilj je klasifikacijskog postupka ustanoviti koliko analizirano klizište odnosno odron, koje se namjerava sanirati, odgovara "modelskom", dobivenom na osnovi analize i sinteze baze podataka saniranih klizišta u glinama visoke plastičnosti. Ako je postignuta zadovoljavajuća usklađenost između analiziranog klizišta u usporedbi s "modelskim", onda se može primijeniti postupak racionalne sanacije klizišta koji se provodi u nekoliko koraka

4.1 Prvi korak

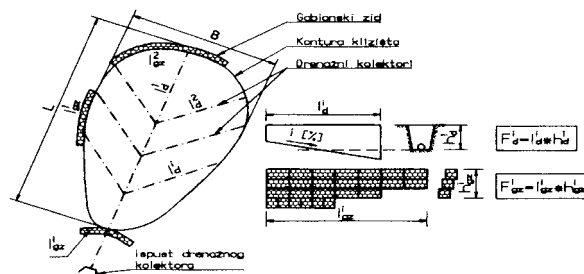
Na geodetskoj podlozi (najpovoljnije mjerilo 1:200, a eventualno 1:500) provodi se detaljno inženjerskogeološko kartiranje svih relevantnih pojedinosti, na užem istraživanom području, koje je potrebno za izradu odgovarajućega inženjerskogeološkog i geotehničkog modela. Posebna pažnja posvećuje se bilježenju deformacija uočeni na terenu i objektima, mjerenju dubina razina podzemnih voda u istražnim bušotinama, postojećim bunarima, te sondažnim jamama iskopanama za potrebe utvrđivanja ploha sloma te za uzimanje uzoraka za laboratorijska geotehnička ispitivanja. Nužno je provesti i istražna bušenja te eventualno odgovarajuća geofizička istraživanja s osnovnim ciljem da se ustanove dubina i oblik klizne plohe. Na osnovi snimljenih tragova klizanja ucrtava se kontura klizišta i izračuna površina zahvaćena klizanjem (F_k). Na terenu se također utvrde morfološki oblici, i to na padini, koji su povoljni za odvodnju površinskih i podzemnih voda. Pri prikupljanju podataka u sklopu prethodnih istraživanja klizišta radi utvrđivanja položaja, oblika i dubine kliznih ploha te geotehničkih svojstava materijala na kliznoj plohi, potrebno je orijentacijski odrediti položaj i visinu budućih gabionskih zidova koji su nužni u koncepciji rješenja sanacije klizišta (na čelu, nožici ili na dijelu uz vlačne tangencijalne pukotine), a štite određene građevinske objekte niskogradnje ili visokogradnje. Također se trebaju predvidjeti položaj i dubine rovova budućega drenažnog sustava.

4.2 Drugi korak

Za utvrđenu vrijednost površine zahvaćene klizanjem (F_k) koja se odredi s geodetske situacije gdje su registrirani tragovi klizanja ili pak uvidom na terenu, analiziraju se i sintetiziraju prikupljeni terenski podaci, odabiru (procjenjuju) duljina i dubina drenažnih kolektora te duljina i visina gabionskih zidova. Na taj se način dobivaju vrijednosti F_{gz} i F_d na osnovi kojih se, s pomoću izraza

(1) i (2), izračunaju vrijednosti normaliziranih utjecajnih koeficijenata k_1 i k_2 (slika 1.)

Definiranje normaliziranih utjecajnih koeficijenata tehničkih rješenja:



Slika 1. Shematski prikaz tehničkog rješenja sanacije klizišta

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^n l_d^i \cdot h_d^i}{F_k} [\%] \quad (1)$$

normalizirani utjecajni koeficijent drenažnog sustava

$$k_2 = \frac{\sum_{i=1}^n l_{gz}^i \cdot h_{gz}^i}{F_k} [\%] \quad (2)$$

normalizirani utjecajni koeficijent gabionskih zidova gdje su:

h_d^i – prosječna visina drenažnog kolektora,

l_d^i – duljina pojedinog drenažnog kolektora,

h_{gz}^i – prosječna visina gabionskog zida,

l_{gz}^i – duljina pojedinog gabionskog zida.

F_k : ukupna površina zahvaćena klizanjem (odronom)

F_{gz} : ukupna površina gabionskih zidova

F_d : ukupna površina drenažnog sustava

4.3 Treći korak

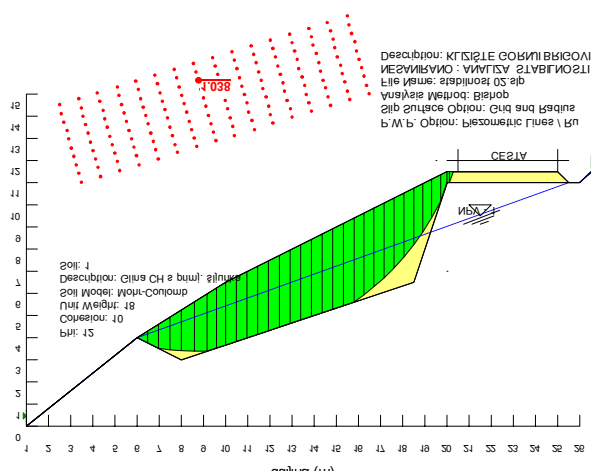
Za utvrđeni drenažni sustav i za odabrane gabionske zidove, obave se odgovarajuće analize stabilnosti (metodom graničnog stanja ravnoteže ili metodom konačnih elemenata) za najnepovoljnije profile.

Rezultat je zadovoljavajući ako je utvrđeni faktor sigurnosti $F_s \geq 1,20$. Međutim u slučaju da je postignut faktor sigurnosti $F_s < 1,20$ potrebno je ponoviti proračun za iste analizirane profile naravno uz promijenjene utjecajne koeficijente tehničkih rješenja (na primjer povećanje dužine i/ili dubine drenažnih kolektora odnosno povećanje visine i/ili dužine gabionskih zidova).

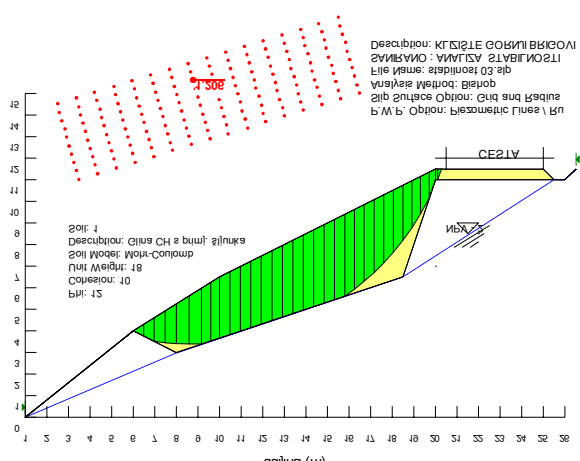
Jedino je prihvatljivo rješenje sanacije klizišta ili odrona ako usvojeni model zadovoljava osnovne uvjete stabilnosti kosina.

Dalje se za odabrani model provjerava ukupna jedinična cijena koštanja sanacije klizišta (C_u) za prethodno usvojen model za koji je dobiven zadovoljavajući faktor sigurnosti. Ako je dobivena cijena znatno veća u odnosu na dijagrame (slike 11. do 15.) potrebno je korigirati model radi optimizacije troškova. Prihvatljiv je, dakako onaj model za koji se dobije najmanja ukupna jedinična cijena sanacije uz zadovoljavajući faktor sigurnosti.

Vidi se da je predloženi postupak racionalne sanacije klizišta iterativan i provodi se u dvije ili više iteracija dok se ne dobije najmanja ukupna jedinična cijena sanacije klizišta (C_u), uz uvjet da su postignuti faktori stabilnosti $F_s \geq 1,20$ za usvojene analizirane profile.



Slika 2. Primjer analize stabilnosti nesaniranog stanja odrona-klizišta



Slika 3. Primjer analize stabilnosti saniranog stanja odrona-klizišta

Baza podataka (tablica 1.) dobivena je iz radova više autora [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Odrone bi predstavljao odnos gdje je B -širina zahvaćena klizanjem veća od L -duljine zahvaćene klizanjem ($B > L$) i gdje je površina zahvaćena klizanjem relativno mala ($F_k < 1000 \text{ m}^2$). Tipičan odron tijekom sanacije prikazan je na slici 4. Međutim ako je $B < L$, a površina zahvaćena klizanjem relativno velika ($F_k > 1000 \text{ m}^2$), tada bi takvo klizanje tla smatrali klizištem. Površina zahvaćena klizanjem koja je granica između odrona i klizišta ($F_k = 1000 \text{ m}^2$) nije strogo definirana, što će se pokazati u daljnim analizama troškova sanacije (točka 5.2.), gdje će se kao rezultat formirati tzv. *prijelazna zona*.



Slika 4. Karakterističan odron uz prometnicu u fazi sanacije

U tablici 1. da se uočiti da vrijednost k_2 može biti nula, što znači da je cijeli sanacijski zahvat projektiran i rješavan samo na principu drenažnog sustava.

5 Analiza i sinteza baze podataka

5.1 Statistička analiza elemenata, tehničkih rješenja u funkciji površine klizišta

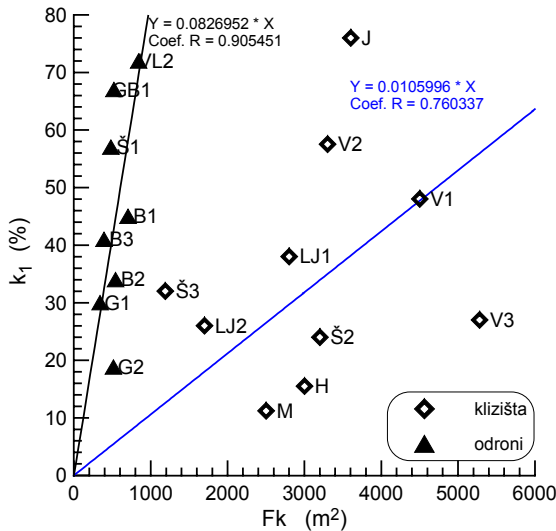
Rezultati geometrijskih elemenata s cijenama koštanja projektiranih i saniranih klizišta prikazani su u tablici 1.

Provedana je statistička obrada rezultata baze podataka koji se odnose na geometrijske elemente i tehnička rješenja projekata sanacije. Rezultati ove analize prikazani su na dijagramima slike 5., 6., 7., 8. i 9.

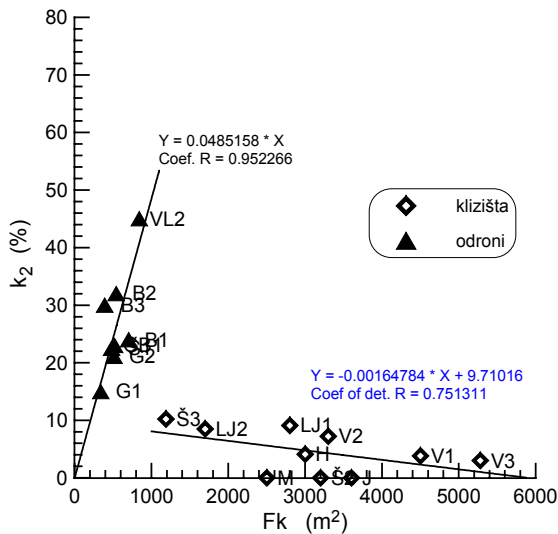
Zajedničko za sve dijagrame jest činjenica da se odvojeno grupiraju rezultati odrona od klizišta. To potvrđuje

opravdanost izdvajanja odrona od klizišta koja se potvrđuje i kroz troškove sanacije (točka 5.2).

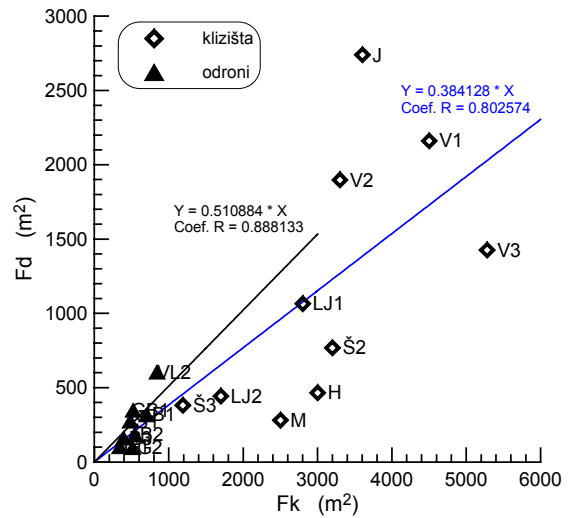
Na slici 7. uočava se velika linearna ovisnost odrona dok se to s istom pouzdanošću ne može reći za klizišta. Na slici 6. uočava se da s porastom površine zahvaćene



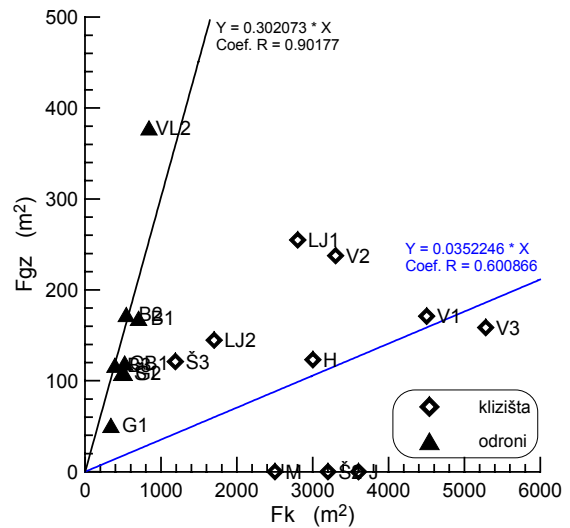
Slika 5. Odnos F_k i k_1



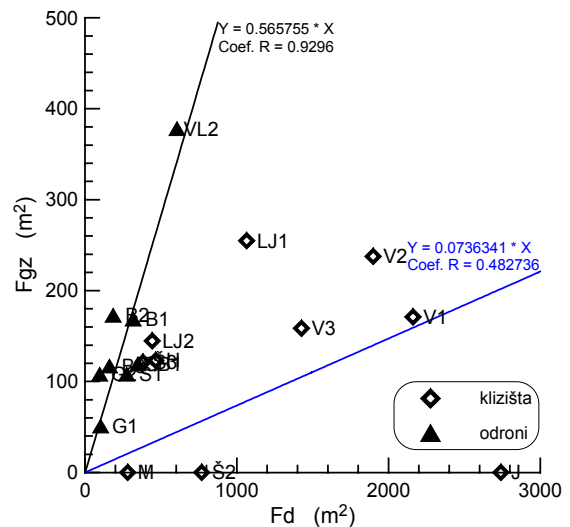
Slika 6. Odnos F_k i k_2



Slika 7. Odnos F_k i F_d



Slika 8. Odnos F_k i F_{gz}



Slika 9. Odnos F_d i F_{gz}

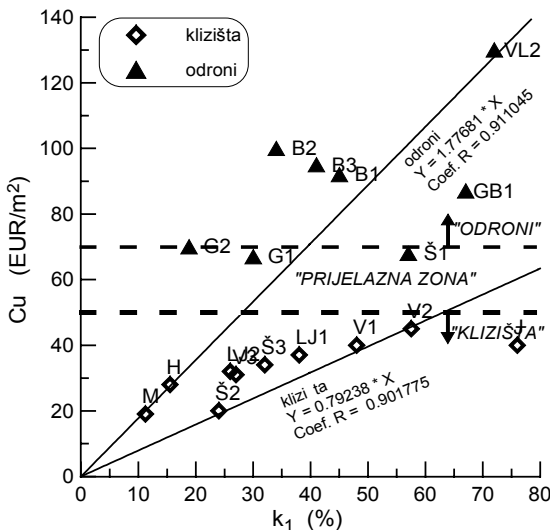
klizanjem F_k opada vrijednost normaliziranog utjecajnog koeficijenta k_2 . Kod površine zahvaćene klizanjem, $F_k \approx 1000 \text{ m}^2$ dolazi do bitne promjene vrijednosti normaliziranoga utjecajnog koeficijenta k_2 za odrone i za klizišta. Ovdje se može raspravljati o tome koliko je ta granica fleksibilna, odnosno je li ta granica upravo 1000 m^2 ili pak nešto manja ili veća. Precizniji odgovor na to pitanje dala bi analiza s većim brojem podataka. Međutim evidentno je da ta granica postoji i da se može pretpostaviti u funkciji površine klizanja. Stoga se odnos površine klizanja (F_k) i normaliziranog utjecajnog koeficijenta tehničkih rješenja k_2 može odrediti bilinearnim zakonom.

5.2 Statistička analiza troškova sanacije klizišta u funkciji odnosa k_1 i k_2

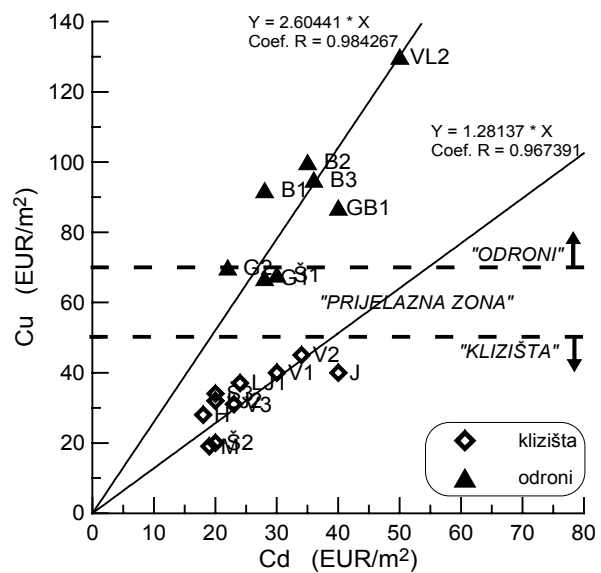
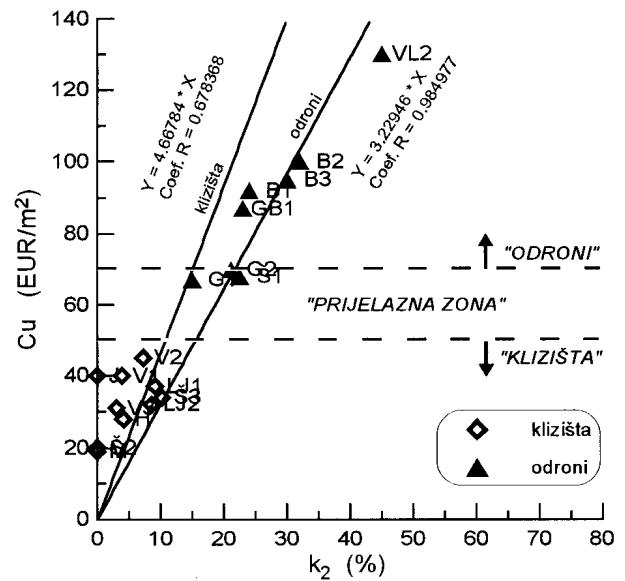
Provedena je statistička obrada podataka troškova sanacije klizišta (C_u, C_{gz}, C_d) u funkciji normaliziranih utjecajnih koeficijenata tehničkih rješenja k_1 i k_2 i prikazana na slikama 10., 11., 12., 13. i 14., gdje su:

- C_d : jedinična cijena koštanja drenažnog sustava
- C_{gz} : jedinična cijena koštanja gabionske konstrukcije
- $C_u = C_d + C_{gz}$: ukupna jedinična cijena koštanja troškova sanacije.

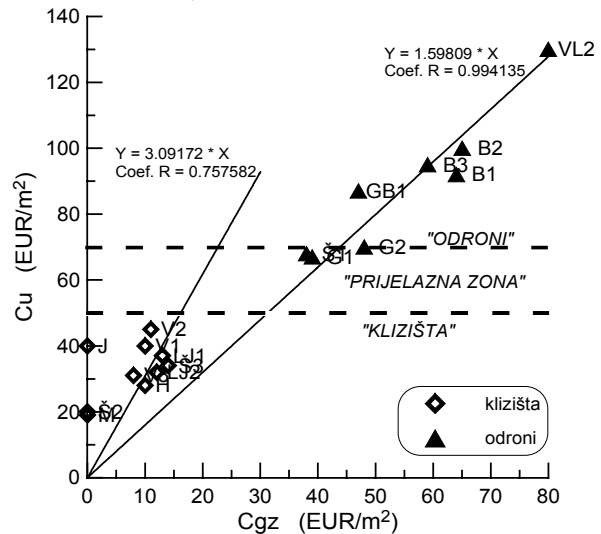
Za slučajeve gdje su vrijednosti k_2 jednake nuli ($k_2 = 0$), značilo bi da je i jedinična cijena koštanja gabionske konstrukcije jednaka nuli ($C_{gz} = 0$), odnosno da je ukupna cijena troškova sanacije ovisna samo o cijeni utjecajnog koeficijenta k_1 , odnosno samo o cijeni drenažnog sustava ($C_u = C_d$).



Slika 10. Odnos C_u i k_1



Slika 11. Odnos C_u i k_2



Slika 12. Odnos C_u i C_d

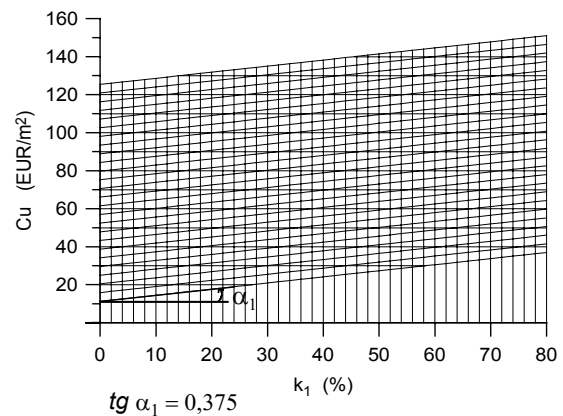
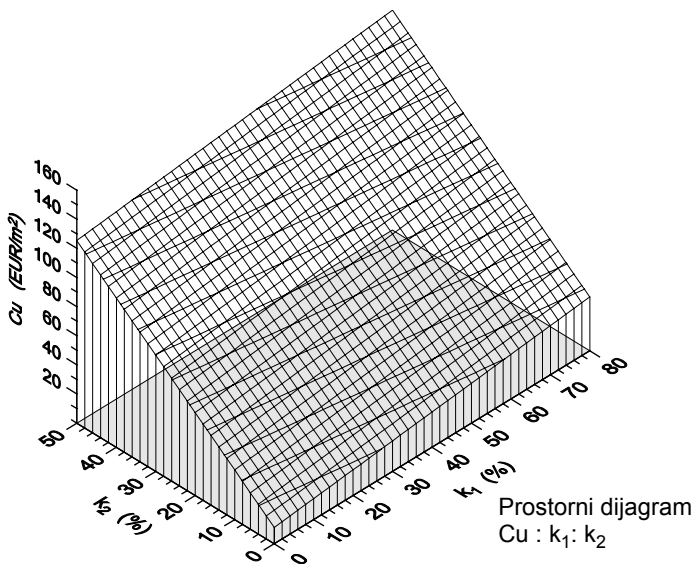
Slika 13. Odnos C_u i C_{gz}

Na temelju provedenih analiza općenito se može zaključiti na svim dijagramima odvojeno grupiranje odrona od klizišta. Kako smo u prethodnom poglavlju 5.1. opravdali postupak podjele odrona od klizišta na osnovi površine zahvaćene klizanjem (F_k), te odredili površinu koja ih dijeli ($F_k \approx 1000 \text{ m}^2$), tako se u ovim prethodnim dijagramima (slike 10, 11, 12 i 13) u pogledu analize troškova sanacije klizišta odnosno odrona može odrediti granica između odrona i klizišta u funkciji ukupne jedinične cijene koštanja (C_u). Ukupna jedinična cijena koštanja koja razdvaja odrone od klizišta nije fiksna, već predstavlja jedno šire područje koje se proglašava tzv. prijelaznom zonom i ukupna jedinična cijena koštanja $C_u = 50 \div 70 \text{ EUR/m}^2$.

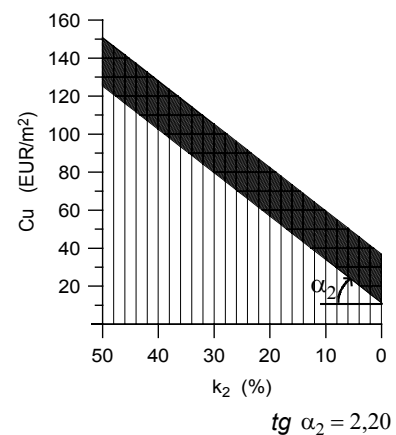
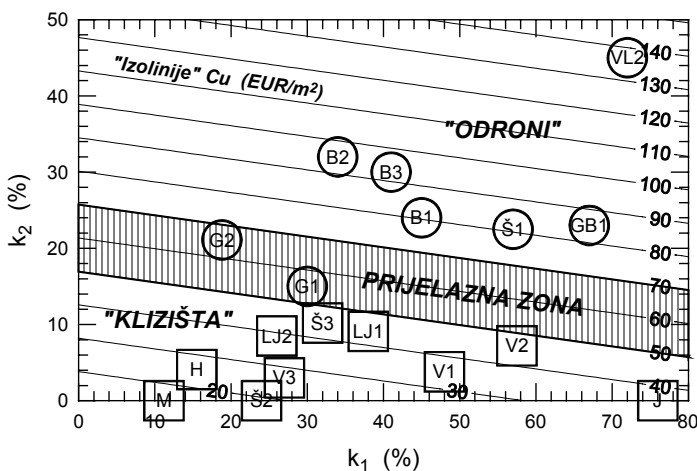
Za preglednije prikazivanje prethodnih analiza urađena je i tzv. 3D analiza. Za ovu analizu iskorištena je interpolacijska ploha paraboloida. Naravno da pri interpretaciji rezultata iz 3D dijagrama stalno moramo voditi računa o grešci koju ne možemo izbjeći i koja se pojavljuje pri interpolaciji rezultata.

Na prostornom dijagramu troškova sanacije klizišta (slika 14.) u funkciji normaliziranih utjecajnih koeficijenata k_1 i k_2 , uočavaju se odvojene zone:

- zona smanjenih troškova koja odgovara klizištima
- zona povećanih troškova sanacije klizišta koja odgovara odronima
- prijelazna zona između ovih dvaju, po bitnim tehničkim i ekonomskim pokazateljima različitih područja.



Spektar vrijednosti za k_1 i k_2



Slika 14. Prostorni dijagram troškova sanacije klizišta (C_u) u funkciji normaliziranih utjecajnih koeficijenata tehničkih rješenja (k_1) i (k_2) i njihov spektar

Dopuštena nesigurnost procjene troškova (C_u) za iskazane zone opravdana je iz općeg razloga, jer se radi o interpolaciji plohom složenoga matematičkog oblika. Iako je odabir te interpolacijske plohe proizvoljan, ovdje smo se odlučili za paraboloid, jer smatramo da najbolje aproksimira vrijednosti dane u 3D dijagramu, a nadovezuje se na slikama 10. i 11. gdje se vidi linearna ovisnost ukupnih troškova sanacije i normaliziranih koeficijenata k_1 i k_2 . Izbor interpolacione plohe vezan je za bazu podataka koja je relativno mala prema promatranom području normaliziranih utjecajnih koeficijenata k_1 i k_2 . Na istoj je slici (slika 14.) mapa tzv. izolinja cijena ukupnih jediničnih troškova sanacije C_u , za međuovisnosti normaliziranih utjecajnih koeficijenata k_1 i k_2 .

Ova dopuštena nesigurnost procjene troškova za iskazane zone umanjila bi se s povećanjem baze podataka za cjelokupno promatrano područje. Napominjemo da je stvaranje ove baze podataka (tablica 1.) započelo tek prije desetak godina.

6 Zaključak

- S obzirom na štete nastale od klizanja terena koje donose gospodarstvu pojedinih teritorijalnih zajednica odnosno regiona pristupilo se nakon analize i sinteze dogođenih klizanja definiranju metodologije racionalne sanacije plitkih klizišta u visokoplastičnim glinama koja je dijelom prikazana i u ovom članku.
- Uspostavljene su korelacijske ovisnosti ekonomskih pokazatelja troškova sanacije u funkciji normaliziranih koeficijenata tehničkih rješenja. Utvrđeno je bitno različito ponašanje tzv. odrona od klizišta u svim korelacijskim ovisnostima. Iz svega prethodnog se može zaključiti da se klizanje tla može prepoznati i definirati kao odron ili klizište i to ne samo po geometriji, odnosno površini zahvaćenoj klizanjem F_k , odnosom širine i duljine klizišta ($B:L$), već i po ukupnoj jediničnoj cijeni koštanja sanacije C_u (EUR/m²).
- U ovim analizama odroni imaju prosječnu površinu zahvaćenu klizanjem od $F_k^{prosj} = 540$ m², a klizišta površinu od $F_k^{prosj} = 3107$ m².

Prosječna vrijednost koeficijenata korelacije razmatranih varijabli geometrijskih elemenata za odrone iznosi $R = 0,88$, a za klizišta $R = 0,70$.

Prosječna vrijednost koeficijenata korelacije za varijable koje uključuju troškove saniranja za odrone iznosi $R = 0,96$, a za klizišta $R = 0,80$. Ovi koeficijenti korelacije dobiveni su po poznatoj metodi tzv.

sumi najmanjih kvadrata i ukazuju na relativno visoku povezanost razmatranih varijabli.

- Prosječne vrijednosti normaliziranih utjecajnih koeficijenta tehničkih rješenja k_1 i k_2 :

Za odrone: $k_1^{prosj} = 55\%$; $k_2^{prosj} = 27\%$,

Za klizišta: $k_1^{prosj} = 36\%$; $k_2^{prosj} = 5\%$,

Prosječne vrijednosti troškova sanacije:

Za odrone: $C_d^{prosj} = 38\%C_u$; $C_{gz}^{prosj} = 62\%C_u$,
odnosno $C_u^{prosj} = 88,6$ EUR/m²

Za klizišta: $C_d^{prosj} = 76\%C_u$; $C_{gz}^{prosj} = 24\%C_u$,
odnosno $C_u^{prosj} = 32,6$ EUR/m²

- Uočljiv je bitniji porast troškova sanacije klizišta s porastom normaliziranog utjecajnog koeficijenta tehničkih rješenja (k_2) u odnosu na normalizirani utjecajni koeficijent tehničkih rješenja (k_1). To se vidi iz prirista ukupne cijene C_u kroz prosječan nagib α_1 i α_2 (slika 14. spektar vrijednosti k_1 i k_2), odnosno iz njihovog međusobnog odnosa

$$\frac{tg\alpha_2}{tg\alpha_1} = \frac{2,20}{0,375} = 5,87$$

Drugim riječima to bi značilo da su prosječni jedinični troškovi gabionskog zida (C_{gz}) daleko veći od prosječnih jediničnih troškova drenažnog sustava (C_d) i to u odnosu od oko 5,8 : 1.

- S obzirom na dugogodišnje iskustvo u primjeni metodologije racionalne sanacije klizišta utvrđena je potreba proširenja, odnosno nadopuna ove baze podataka (tablica 1.) kako bi se umanjile greške ili pak potvrdile eventualne promjene utvrđenih korelacijskih ovisnosti. Ovo se prvenstveno odnosi na vrijednosti koje su slabo "pokrivene" u područjima s vrlo malim ili pak vrlo velikim vrijednostima k_1 i k_2 (slika 14.).
- Tijekom 2001. godine urađena su još četiri projekta sanacije klizišta od čega dva klizišta i dva odrona. Rezultati tehničkih i ekonomskih pokazatelja novoprojektiranih sanacija klizišta vrlo dobro se uklapaju u ranije uspostavljene korelacijske ovisnosti.
- O uspjehu sanacije odrona ili klizišta može se govoriti tek nakon provedenog sustava opažanja (monitoringa), odnosno geodetskog mjerenja pomaka stabiliziranih točaka po profilima u periodu vremena od najmanje dvije hidrološke godine.

IZVORI

- [1] Čačković, I.: *Racionalna sanacija plitkih klizišta primjenom drenažnog sustava i gabionskih zidova*, Disertacija, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerzitet u Tuzl, 152. str., Tuzla 2000.
- [2] Hudec, M.; Jašarević, I.: *Gabionske konstrukcije*, Građevni godišnjak '99, Zagreb, 1999. str. 220-296.
- [3] Jašarević, I.; Redžepagić, M.: *Program i rezultati istraživanja kao osnova za izradu sanacije klizišta u ulici Muharema Merdžića u Tuzli*, Zbornik radova 2. Jugoslavenskog Simpozija o hidrologiji i inženjerskoj geologiji, Sarajevo, 1972., str. 101.-115.
- [4] Jašarević, I.: *Istraživanje, projektiranje, izvedba i kontrola asanacije jednog kompleksnog klizanja*, Zbornik radova 2. Jugoslavenskog simpozija: Istraživanje i sanacija klizišta, Bled, 1981. str. 261.-276.
- [5] Jašarević, I.; Ortolan, Ž. (1998): Izvještaj o stanju klizišta u ulici Husinskih rudara, Građevinski fakultet, Zagreb
- [6] Jašarević, I.; Ortolan, Ž.: *Sanacija klizišta uz prometnice na području Bihaća*. Scientific Symposium Rock Mechanics and Tunnelling, proceedings, vol.1, Zagreb, 1999., pp. 101.-108.
- [7] Jašarević, I.; Lebo, Ž.: *Possibilities of improving large retrogressive landslides-mud flows*, CALAR Coference, Living with natural hazards, Vienna, 2000.
- [8] Jašarević, I.; Čačković, I.; Lebo, Ž.: *Saniranje klizišta-odrona uz prometnice primjenom drenažnog sustava i gabionskih zidova*, Istraživanje i sanacija klizišta –multidisciplinarni pristup, Naučno stručno savjetovanje, str.134-146, Tuzla 2000.
- [9] Jašarević, I.; Lebo, Ž.: *Gabionski zidovi pri saniranju odrona uz prometnice*, Interdisciplinarno znanstveno stručno savjetovanje "Cestovne veze dalmacija-Zagreb", Hrvatski inženjerski savez, str.157-165, Plitvice, 2000.
- [10] Tonejec, M.;T., Jurak, V., Kanajet, B: *Prijedlog uputa za registriranje i straživanje nestabilnih padina i klizišta SFRJ*, Zbornik referata VIII.jugosl.simp. o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, knj. 2., Budva, 1984.