

CESTOVNE VEZE

Dalmacija – Zagreb

Ibrahim Jašarević¹, Željko Lebo²

UDK 624.137:625.711.3

GABIONSKI ZIDOVI PRI SANIRANJU ODRONA UZ PROMETNICE

SAŽETAK

U članku je prikazana analiza i sinteza više primjera racionalne sanacije relativno plitkih klizišta nastalih u glinama visoke plastičnosti.

Analizirana su pored ostalih klizišta i posebno obrađeni odroni značajni za prometnu infrastrukturu. Odroni se karakteriziraju s $B > L$ gdje je B širina, a L duljina klizišta. Zahvaćena površina i volumen pokrenutih masa relativno su mali.

U članku je prikazana metodologija sanacije odrona primjenom drenažnog sustava i gabionskih zidova.

Troškovi sanacije odrona C_u [DEM/m²] povećani su u odnosu na ostala klizišta čime je istaknut značaj proučavanja ove problematike.

SUMMARY

The analysis and synthesis of several methods for rational improvement of relatively shallow landslides occurring in high plasticity clay formations is presented.

In addition to other landslides types, a separate account is given of landfalls significant for transportation infrastructure. Landfalls are characterized with $B > L$ where B is the width while L is the length of the landslide. The area and volume of masses moved are relatively small.

The paper presents a landfall improvement methodology featuring a drainage system and gabions.

The cost of landfall improvement C_u [DEM/m²] is higher when compared to other landslide types, which points to the pressing need for further analysis of this issues.

¹ Prof.dr.sc. Ibrahim Jašarević dipl.ing.građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb

² Željko Lebo dipl.ing.građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb

1. UVOD

Ceste su najznačajniji infrastrukturni objekt i predstavljaju za svaku društvenu zajednicu ključni element razvoja određenog kraja.

Gospodarenje cestovnom infrastrukturom zahtijeva dobro organizirane i efikasne službe koje trebaju inicirati i realizirati zahvate na održavanju prometnica u svim vremenskim prilikama.

Klizišta su ta koja najdirektnije ukazuju na dobro ili loše održavanje prometnica, s time, da neka trajno egzistiraju s prihvatljivim posljedicama, a neka dovode do prekida prometa.

Osnovni uzroci klizanja su:

- Neriješena odvodnja otpadnih voda iz stambenih i gospodarskih objekata;
- Neadekvatna površinska odvodnja s kolničke konstrukcije;
- Neodgovarajuće održavanje rigola i propusta za zahvatanje i provođenje površinskih voda.

Pouzdana inženjerskogeološke i geotehničke podloge, koje podrazumijevaju, prije svega i poznavanje rasporeda slojeva, osnovne geotehničke karakteristike slojeva i poznavanje dubina podzemne vode (maksimalne i minimalne u vijeku eksploatacije; vjerojatne u vrijeme izvedbe objekta), osnovne su premise racionalnog projekta sanacije klizišta.

Bez dobrih geotehničkih podloga, projektant je primoran polaziti od najgoreg mogućeg stanja (konzervativno rješenje) kako za projektno rješenje tako i za tehnologiju izvedbe. To, pak vodi neracionalnim i nerazmjernim financijskim ulaganjima u sanacijske radove [Jašarević, Ortolan, 1999].

2. ANALIZA MJERA ZA SANACIJU KLIZIŠTA

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

Za izradu prijedloga mjera za sanaciju klizišta nužno je prikupiti i analizirati inženjerskogeološke, hidrogeološke i geotehničke podatke istraživanja sa sljedećih aspekata:

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

Na osnovi analize i sinteze baze podataka o projektiranim i saniranim klizištima, gdje se pojavljuju prašinasto – glinovita tla (CH), prevladava primjena sljedećih zahvata:

- kontrolirano odvođenje površinskih i dreniranje podzemnih voda;

- stabiliziranje nožice kao i zone uz glavu (čelo) klizišta primjenom gabionskih konstrukcija;
- kombinacijom ovih dviju sanacijskih mjera.

Vodeći računa o konfiguraciji terena na području klizišta (morfologiji), postojećim građevinskim objektima kao 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 drevovima smanjuju se porni tlakovi i povećavaju efektivni naponi (σ') na plohi sloma.

S obzirom na povoljnost gabionskih konstrukcija (armiranje, fleksibilnost, dreniranje, jednostavnost i brzina ugradnje, ekonomičnost, trajnost, ekološki zahtjevi te funkcioniranje s trenutkom ugradnje) u svijetu se uvelike primjenjuju gabionske konstrukcije. Vlastita povoljna iskustva (više od trideset godina) u primjeni gabionskih zidova pri sanaciji klizišta usmjerena su u sljedećim projektima sanacije klizišta na primjenu dviju sanacijskih mjera (dreniranje, gabionski zidovi), što je omogućilo formiranje baze podataka saniranih klizišta (odrona) (tablica 1).

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 instrumentiranog klizišta odnosno odrona (monitoring) [Hudec, Jašarević, 1999].

3. POSTUPAK RACIONALNE SANACIJE KLIZIŠTA

Prethodno provedeni klasifikacijski postupak ima za cilj utvrditi koliko analizirani odnos, koji se namjerava sanirati, odgovara “modelskom”, dobivenom na osnovi analize i sinteze baze podataka saniranih klizišta u glinama (CH). 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.

1. **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 odgovarajućeg inženjerskogeološkog i geotehničkog modela. Posebna pažnja posvećuje se bilježenju deformacija uočenih na terenu i objektima, kao i mjerenju dubina razina podzemnih voda u postojećim bunarima i vjerojatno sondažnim jamama iskopanima 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 utvrde dubina i oblik klizne plohe. Na osnovi

snimljenih tragova klizanja ucrtta 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 (vododerine, udubine, potoci zatrpani dugogodišnjom obradom zemljišta i sl.). Pri prikupljanju podataka u sklopu prethodnih istraživanja klizišta s ciljem utvrđivanja položaja, oblika i dubine kliznih ploha te geotehničkih svojstava materijala na kliznoj plohi potrebno je orijentacijski utvrditi položaj i visinu budućih gabionskih zidova koji su nužni u koncepciji rješenja sanacije klizišta (na čelu, nožici ili na dijelu uz vlačne tangencijalne pukotine) i koji štite određene građevinske objekte niskogradnje ili visokogradnje. Također se trebaju predvidjeti položaj i dubine rovova budućega drenažnog sustava.

2. korak. Analiziraju se i sintetiziraju prikupljeni terenski podaci te odabiru dužina i dubina drenažnih kolektora kao i dužina i visina gabionskih zidova. Određuju se normalizirani koeficijenti tehničkih rješenja prema slici 1, gdje je h_d^i – prosječna visina, a l_d^i – dužina pojedinog drenažnog kolektora, a h_{gz}^i – prosječna visina, a l_{gz}^i – dužina pojedinog gabionskog zida.

Normalizirani koeficijenti tehničkih rješenja:

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^n l_d^i \cdot h_d^i}{F_k} [\%] - \text{normalizirani utjecajni koeficijent drenažnog sustava} \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{\sum_{i=1}^n l_{gz}^i \cdot h_{gz}^i}{F_k} [\%] - \text{normalizirani utjecajni koeficijent gabionskih zidova} \quad (2)$$

gdje je $F_k \equiv$ površina zahvaćena klizanjem odnosno odronom.

Za izračunatu vrijednost F_k pročitaju se s dijagrama (sl.4 i 5) normalizirani utjecajni koeficijenti drenažnog sustava k_1 i gabionskih zidova k_2 .

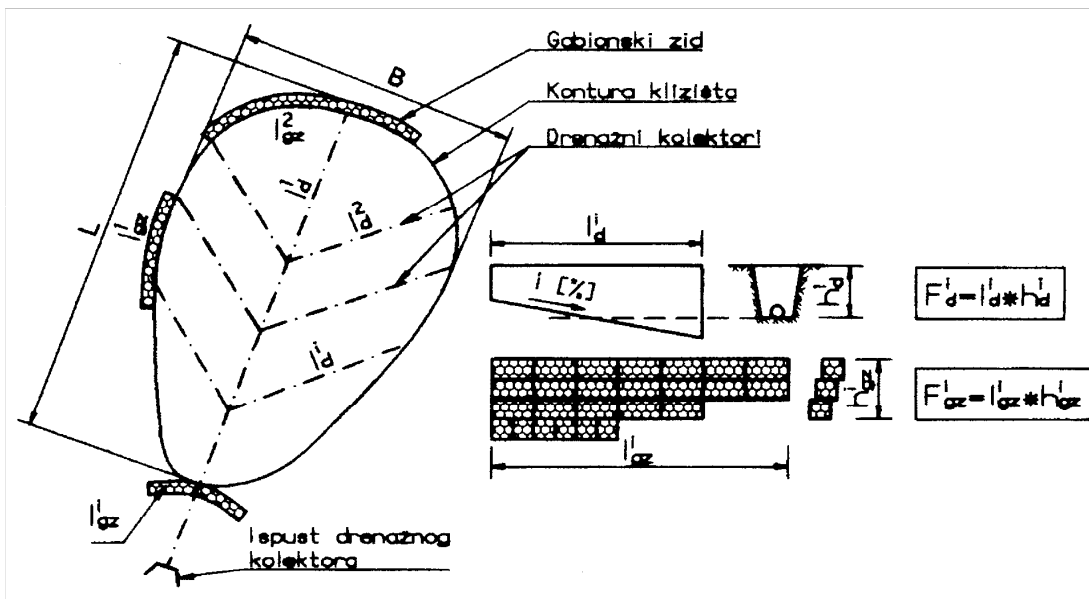
Sveukupna cijena sanacije klizišta – odrona:

$$C_s^u = C_u \cdot F_k \quad (3)$$

gdje C_u – predstavlja jedinične troškove sanacije klizišta – odrona.

3. korak. Za utvrđeni drenažni sustav kao i za odabrane gabionske zidove i s time postignute učinke sanacije (sniženje razine podzemne vode, preuzimanje dijela aktivnog tlaka gabionskim zidovima) obave se odgovarajuće analize stabilnosti metodom graničnog stanja ravnoteže za najnepovoljnije profile. Rezultat je zadovoljavajući ako je utvrđeni $F_s \geq 1,35$. U slučaju postignutog $F_s < 1,35$, proračun treba ponoviti za iste analizirane profile, ali uz promijenjene utjecajne koeficijente tehničkih rješenja (na primjer povećanje dužine i /ili dubine, drenažnih kolektora odnosno povećanje visine i/ili dužine gabionskih zidova).

Vidi se da je predloženi postupak racionalne sanacije klizišta iterativan i provodi se u dvije ili tri iteracije dok se ne dobije najmanja cijena sanacije klizišta (C_s^u) uz uvjet da su postignuti faktori stabilnosti $F_s \geq 1,35$ za iste analizirane profile.



Sl. 1 Shematski prikaz tehničkih rješenja sanacije klizišta

4. ANALIZA I SINTEZA BAZE PODATAKA ODRONA

4.1. Stvaranje baze podataka

Za sanaciju klizišta u području Zapadne Bosne (Unsko – Sanski Kanton), nakon postupka klasificiranja, odabrano je osam, od kojih su tri sanirana 98/99 godine, četiri su sanirana prije jesenjih kiša 2000. godine a jedno je u projektnoj fazi (Tablica1).

Djelomični rezultati prikazani su tablično, gdje su izdvojene osim karakteristika klizišta – odrona, elementi projektnih rješenja i troškovi sanacije na osnovi provedenih licitacija za ustupanje radova na izvedbi (tablica 1).

Na fotografiji (sl.2) prikazan je već formirani odron, stariji po vremenu nastanka i novi koji se tek nedavno formirao. U sklopu fotografije (sl.3) prikazan je karakterističan izgled odrona (BUK-2) koji je već saniran.

Tablica 1: Popis elemenata tehničkih rješenja i cijena koštanja sanacije klizišta – odrona uz ceste na području Bihaća.

Redni broj-oznaka	Naziv klizišta [cestovni pravac]	Površina klizišta F_k [m ²]	Projektno rješenje		Cijena koštanja C_u [DEM/m ²]	Opaska
			Drenažni sustav k_1 [%]	Gabionski zid k_2 [%]		
Š-1	ŠTURLIĆ –1 [Bihać-Cazin]	480	57	22.5	135	Sanirano 98/99
G-1	GATA –1 [Bihać-Cazin]	340 min	30	15 min	132 min	Sanirano 98/99
G-2	GATA –2 [Bihać-Cazin]	512	18.8 min	21.1	138	Sanirano 98/99
B-1	BUK – 1 [Bihać-Kulen Vakuf]	702	45	24	182	Sanirano 2000.
B-2	BUK –2 [Bihać Kulen Vakuf]	540	34	49 max	248 max	Sanirano 2000.
Lj-2	LJUSINA – 2 [Kladuša-Bos. Krupa]	656	68 max	22	152	Sanirano 2000.
GB-1	GORNJI BRIGOVI [Bužim-G. Brigovi-Gnjilavac]	520	67	23	173	Sanirano 2000.
B-3	BUK – 3 [Bihać-Kulen Vakuf]	336	44	32	201	U projektu 2000.
PROSJEK		510	45	26	170	



Sl. 2 Odron na cesti

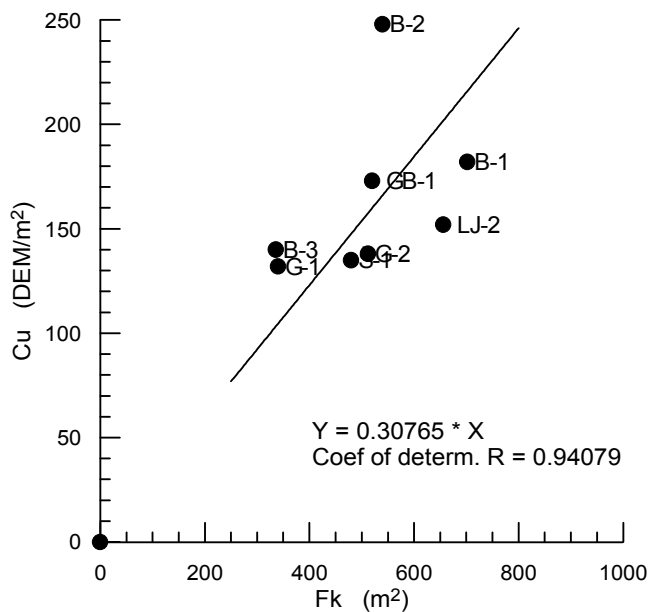


Sl.3 Karakterističan odron (BUK-2)

4.2. Statistička obrada s analizom i sintezom rezultata baze podataka

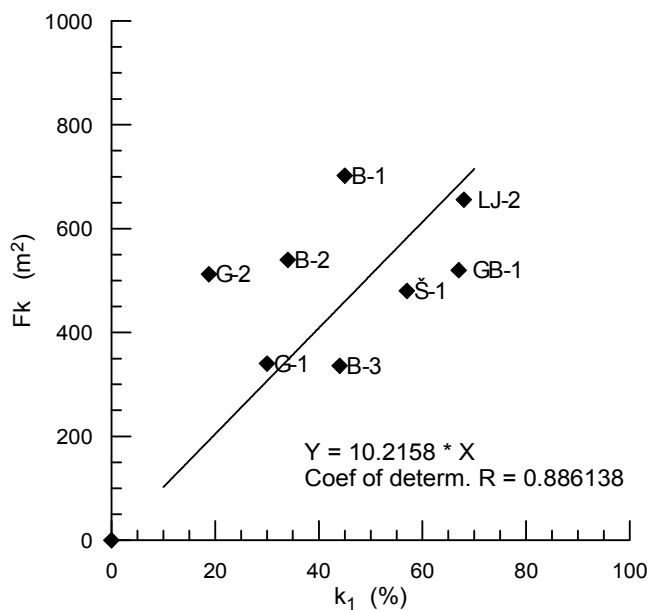
Provedena je iscrpna statistička obrada rezultata baze podataka te urađena njihova potanka analiza i sinteza o čemu će biti riječi u nastavku.

Za sve analizirane podatke o odronima utvrđena je korelacijska ovisnost ukupnih troškova sanacije odrona u funkciji površine zahvaćene klizanjem (sl. 4). Utvrđeni koeficijent korelacije je zadovoljavajući s obzirom na relativno malu bazu podataka.



Sl.4 Ukupni troškovi sanacije klizišta–odrona (C_u) u funkciji površine zahvaćene klizanjem (F_k).

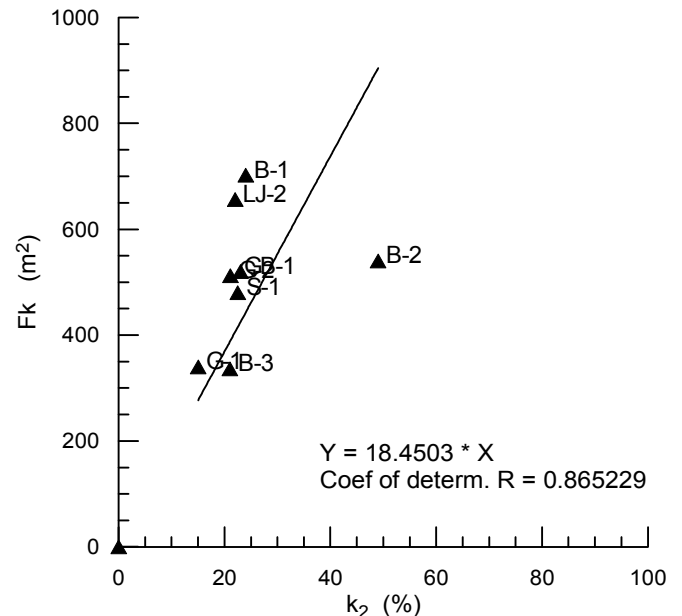
Na slici 5 prikazana je korelacijska ovisnost između normaliziranog utjecajnog koeficijenta drenážnog sustava (k_1) u funkciji površine odrona (F_k) s veoma velikim koeficijentom korelacije.



Sl. 5 Normalizirani utjecajni koeficijent drenážnog sustava (k_1) u funkciji površine odrona (F_k).

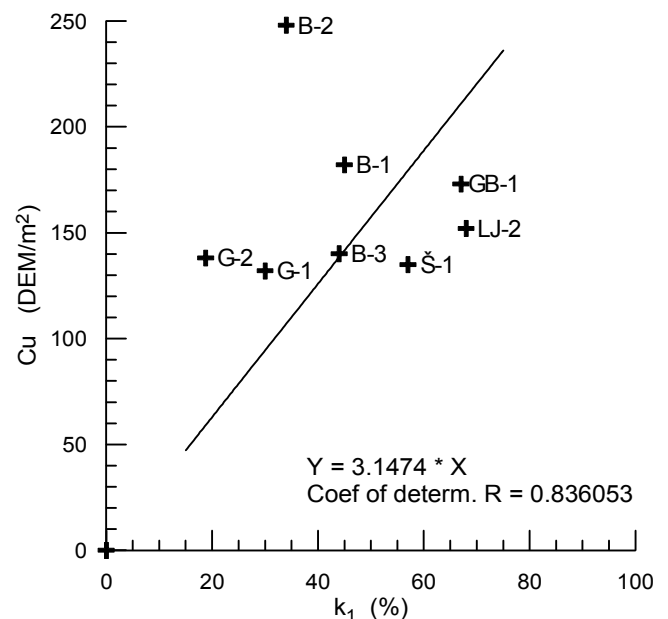
Na slici 6 prikazana je korelacijska ovisnost između normaliziranog utjecajnog koeficijenta gabionskih zidova (k_2) u funkciji površine odrona (F_k).

Sa dijagrama (sl. 5 i sl. 6) može se konstatirati vrlo visoka korelacijska ovisnost normaliziranih utjecajnih koeficijenata " k_1 " i " k_2 " u ovisnosti od površine zahvaćene odronom.

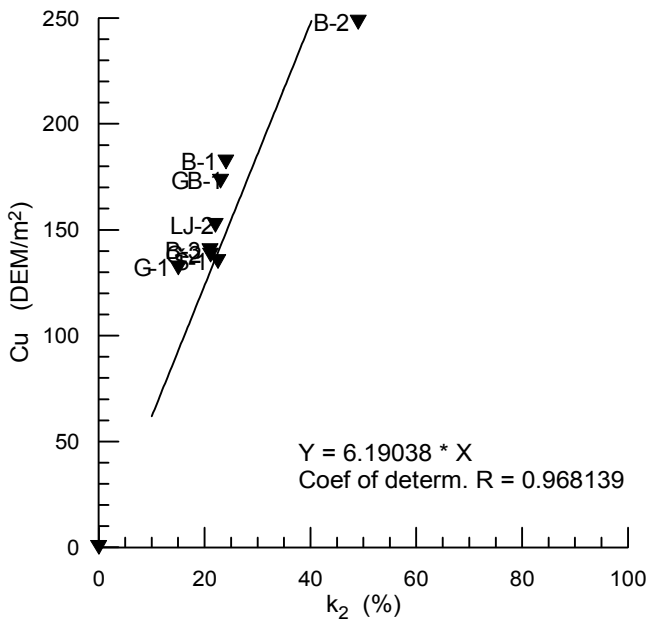


Sl. 6 Normalizirani utjecajni koeficijent gabionskih zidova (k_2) u funkciji površine odrona (F_k).

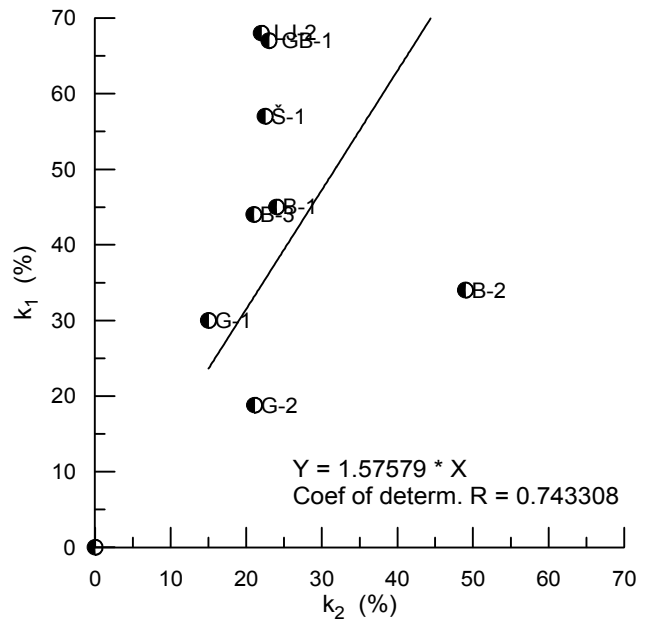
Uspoređujući dijagrame (sl.7 i sl.8) može se uočiti značajniji porast ukupne cijene (C_u) s porastom normaliziranog koeficijenta k_2 .



Sl. 7 Ukupni troškovi (C_u) u funkciji normaliziranog koeficijenta k_1



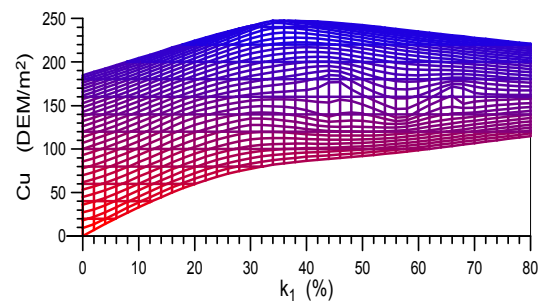
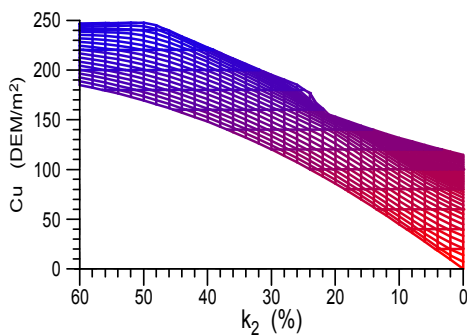
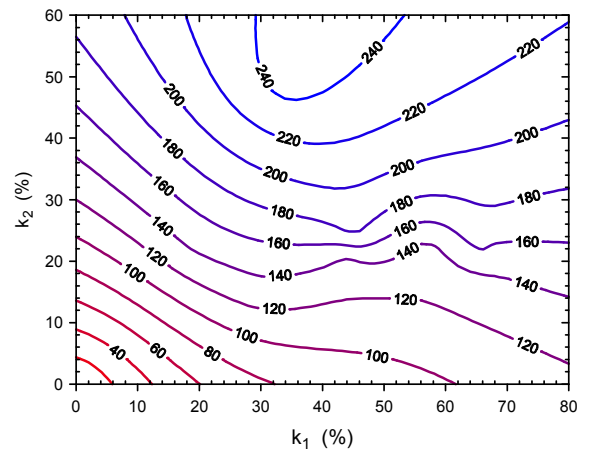
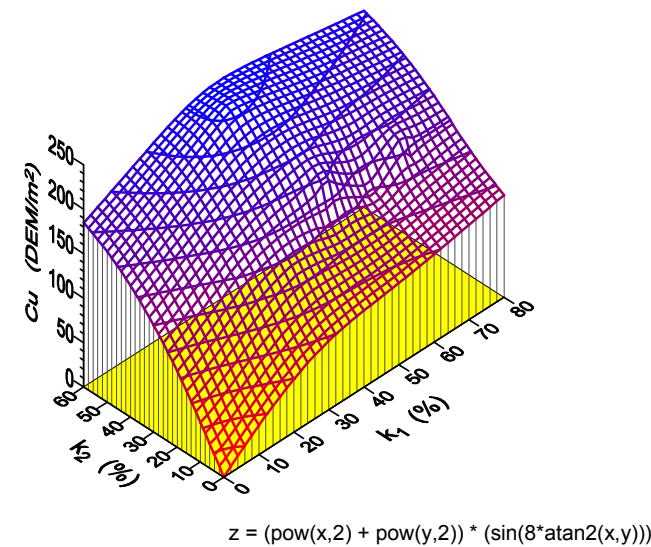
Sl. 8 Ukupni troškovi (C_u) u funkciji normaliziranog koeficijenta k_2



Sl. 9 Korelacijska ovisnost između normaliziranih koeficijenata k_1 i k_2

Na slici 9 je prikazan međusobna ovisnost između normaliziranih koeficijenata " k_1 " i " k_2 ", koja omogućava projektantima olakšani izbor rješenja.

Za analizirane podatke (skupni podaci iz tablice 1) prikazan je prostorni dijagram troškova sanacije klizišta – odrona (C_u) u funkciji normaliziranih utjecajnih koeficijenata tehničkih rješenja (k_1 i k_2) (slika 10).



Sl. 10 Prostorni dijagram troškova sanacije klizišta – odrona (C_u) u funkciji normaliziranih utjecajnih koeficijenata tehničkih rješenja (k_1) i (k_2) i spektar vrijednosti ukupnih troškova sanacije odrona (C_u) u funkciji normaliziranih koeficijenata (k_1) i (k_2).

Na istoj slici prikazana je promjena (C_u) u funkciji (k_1) i (k_2). Uočljiv je gotovo konstantan prirast cijene (C_u) s porastom (k_1) i (k_2) u analiziranim granicama baze podataka (sl. 10).

5. PRIMJERI SANACIJE ODRONA

Pri sanaciji klizišta i nestabilnih padina, gabionski sanduci imaju dvostruku funkciju. Kao element potpornog zida preuzimaju aktivni tlak materijala iza zida, ali ujedno djeluju kao učinkovita drenaža, jer su ti zidovi potpuno propusni. Sanacije klizišta u tlima naročito su uspješne ako se gabionski zidovi kombiniraju s drenažnim sustavom vezanim na gabionske zidove.

Gabionske strukture gotovo su nezamjenjive u slučajevima iznenadnih opasnosti i potreba brzih i jednostavnih intervencija. Gabioni kao konstrukcijski elementi mogu u mnogim slučajevima potpuno i uspješno zamijeniti masivne betonske građevine (sl.11).

Njihov izgled i podatljivost, a posebno mogućnost ozelenjavanja gabionima pokrivenih površina, čini ih nezamjenjivim svuda gdje se želi sačuvati okoliš od grubih inženjerskih intervencija (sl. 11 i sl. 12)

Gabionske konstrukcije doslovce urastaju u okoliš i s vremenom nestaju kao umjetno izgrađeni objekt.

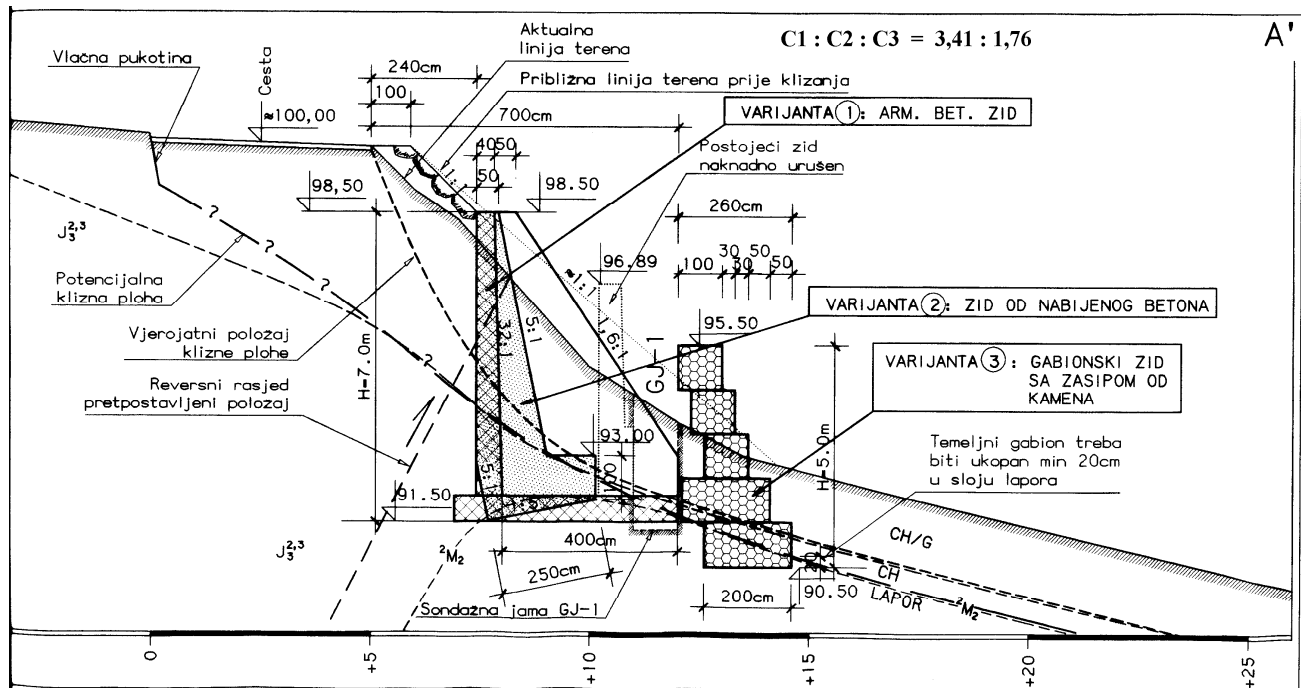
Na klasičnom odronu Gata – I na cesti Bihać – Cazin predloženom metodologijom utvrđeno je najracionalnije rješenje s $k_1=30\%$ i $k_2=15\%$. Za konkretni slučaj urađene su na nivou glavnih projekata tri varijante koje su dijelom prikazane na slici 13.



Sl. 11 Gabionski zid u fazi završnih radova



Sl. 12 Izgled saniranog odrona koji omogućava prirodno ozelenjavanje i pošumljavanje



Sl. 13 Reprezentativni prognozni geotehnički profil s ucrtanim položajem potpornih zidova (varijante 1, 2 i 3) kojim se stabilizira odron uz cestu Bihać-Cazin

Količine osnovnih radova za ove varijante i odgovarajuće cijene postignute na licitaciji iznose:

Varijanta 1: Armiranobetonski zid s kontraforima

$$V_{\text{betona}}=154 \text{ m}^3 \text{ (MB20)}$$

$$T_{\text{čelika}}=25.485 \text{ kg}$$

$$\text{Ukupna cijena sanacije: } C_1=154.385 \text{ DEM}$$

Varijanta 2: Zid od nabijenog betona

$$V_{\text{betona}}=208 \text{ m}^3 \text{ (MB15)}$$

$$\text{Ukupna cijena sanacije: } C_2=79.829 \text{ DEM}$$

Varijanta 3: Gabionski zid s kamenim zasipom

$$V_{\text{gab.zida}}=51 \text{ gabion (2*1*1 m)}$$

$$V_{\text{zasipa lomlj. kamenom}}=311 \text{ m}^3$$

$$\text{Ukupna cijena sanacije: } C_3=45.268 \text{ DEM}$$

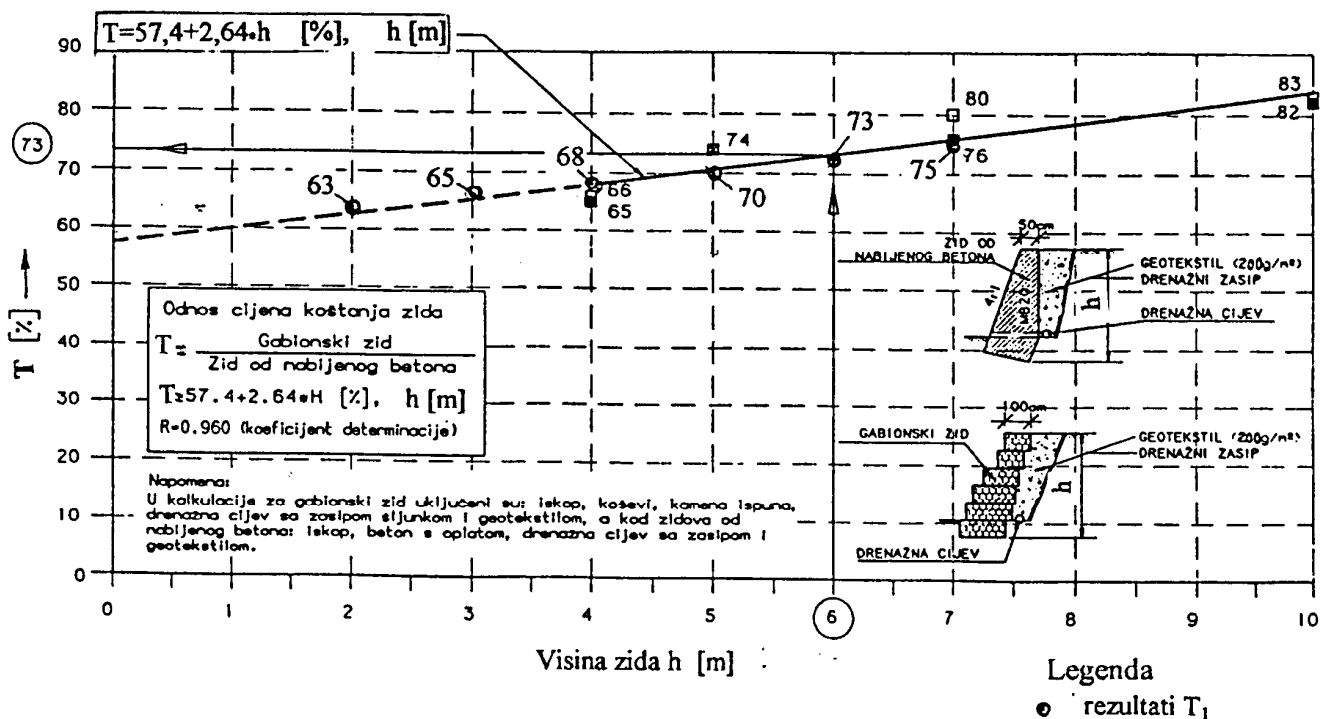
$$\text{Odnos cijena } C_1 : C_2 : C_3=3,41 : 1,76 : 1$$

Naručitelj se nakon razmatranja odlučio za realizaciju varijante 3 (gabionski zid). (sl. 13). [Jašarević, Ortolan, 1999]

Povremenim istraživanjima više autora (Hudec, Jašarević, 1999) i (Čačković, 2000) utvrđen je odnos troškova gabionskog i beronskog zida (sl.14). Ova istraživanja provedena su na tridesetak saniranih klizišta.

6. ZAKLJUČAK

- Troškovi sanacije klizišta – odrona C_u [DEM/m²] imaju skoro linearan porast s površinom zahvaćenom odronom (F_k) (sl.4).
Prognoza troškova (C_u) je relativno vrlo pouzdana u zoni F_k do 800 m² (sl. 4).
- Ovisnost utjecajnog koeficijenta tehničkog rješenja drenažnog sustava (k_1) u funkciji površine (F_k) ukazuje da povećanjem površine raste vrijednost (k_1), (sl. 5).
- Isto tako, utjecajni koeficijent gabionskih zidova (k_2) raste sa povećanjem površine odrona (F_k) (sl.6).
- Prostorni dijagram troškova sanacije (C_u) ukazuje na izuzetniji porast s prirastom vrijednosti (k_2) (sl. 10).
- Spektar vrijednosti ukupnih troškova (sl.10) ukazuje na lagani prirast C_u [DEM/m²] s porastom utjecajnog koeficijenta (k_1) i izuzetno veliki s porastom (k_2) [Hudec, Jašarević, 1999].
- Optimalna vrijednost troškova sanacije odrona (C_u) jest ona vrijednost koja uključuje realne terenske prilike iskazane minimalnim veličinama normaliziranih utjecajnih koeficijenata drenažnog sustava (k_1) i gabionskih zidova (k_2) [Hudec, Jašarević, 1999].
- Ranijim istraživanjima te vlastitim, kako je prikazano i u ovom radu, dokazana je racionalnost gabionskih zidova u odnosu na sve ostale vrste potpornih konstrukcija.



Sl. 14 Odnos troškova gabionskog i betonskog zida u funkciji visine zida h (m)

Gabionski zidovi su minimum za jednu trećinu jeftiniji u odnosu na betonske zidove.

Gabionski zidovi imaju izuzetna drenažna svojstva, estetski i ekološki su povoljniji od ostalih vrsta zidova. Za njihovu izgradnju nije neophodna visoko kvalificirana radna snaga.

5. LITERATURA

- [1] Babić, B. (1987): Primjena geotekstila u cestogradnji, Građevinski kalendar, Savez građevinskih inženjera i tehničara Jugoslavije.
- [2] Babić, B. (1995): Geosintetici u prometnicama, Građevinski godišnjak '95, Zagreb.
- [3] Babić, B., Jašarević, I. (1994): Primjena geotekstila "Varnet" u graditeljstvu, Zagreb – Varaždin.
- [4] Babić, B., Jašarević, I. (1995): Geosintetici u graditeljstvu, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb.
- [5] Batellino, D. (1987): Gabionske potporne konstrukcije, Analit., Osijek.
- [6] Čačković I. (2000): Racionalna sanacija plitkih klizišta primjenom drenažnog sustava i gabionskih zidova, Doktorska disertacija, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski fakultet, Tuzla.

- [7] Hudec, M., Jašarević, I. (1999): Gabionske konstrukcije, Građevinski godišnjak, '99, Zagreb.
- [8] Hudec, M., Jašarević, I. (1999): Primjena gabionskih konstrukcija, "Graditelj", 5/99, Zagreb.
- [9] Jašarević, I., Ortolan, Ž. (1999): Sanacija klizišta uz prometnice na području Bihaća, Scientific Symposium, pp 101 – 108, Zagreb.
- [10] Jašarević, I., Čačković, I., Lebo, Ž. (2000): Saniranje klizišta-odrona uz prometnice promjenom drenažnog sustava i gabionskih zidova, Međunarodni simpozij: "Istraživanje i sanacija klizišta", Tuzla
- [11] Mišćević, P., T. R. Bonacci (1999): Sanacija odrona na padini kod Živogošća, Scientific Symposium, pp 95 – 99, Zagreb.

DOKUMENTACIJA

- [1] Glavni projekti klizišta na Unsko – Sankom Kantonu (Šturlić 1, Gata 1 i 2, Ljusina 1 i 2, Gornji Brigovi), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- [2] Prospekti tvrtke Maccaferri, Bologna.