

UDK 624.153./156

Primljeno 8. 5. 2003.

# Izvedba građevne jame "Zagrad" u Rijeci

Željko Arbanas

## Ključne riječi

građevna jama,  
ojačanja stijenske mase,  
štapna sidra,  
povratne analize,  
aktivno projektiranje

## Key words

foundation pit,  
rock mass strengthening,  
rock bolts,  
back analyses,  
active design

## Mots clés

fouille,  
renforcement du massif  
rocheux,  
boulons d'ancrage,  
analyses de retour,  
études actives

## Ключевые слова

строительный  
котлован,  
укрепление горной  
породы,  
стержневые якоря,  
возвратные анализы,  
активное  
проектирование

## Schlüsselworte:

Baugrube,  
Verstärkung der  
felsigen Masse,  
Stabanker,  
rückbezügliche Analysen,  
aktives Entwerfen

Ž. Arbanas

Stručni rad

## Izvedba građevne jame "Zagrad" u Rijeci

Prikazana je gradnja građevne jame kompleksa "Zagrad" u Rijeci. Iskop građevne jame u stijenskoj masi proveden je osiguranjem zasljeska štapnim sidrima i odgovarajućim podgradnim sustavima. Zbog složenih geotehničkih uvjeta na lokaciji neposredno okruženoj postojećim građevinama, bilo je nužno pomno kontrolirati izvođenje radova. Uspostavljenim sustavom promatranja i mjerenja podgradnih sustava osigurano je provođenje naknadnih analiza i potprojektiranja tijekom izvedbe radova.

Ž. Arbanas

Professional paper

## Construction of Zagrad foundation pit in Rijeka

The foundation pit construction for the Zagrad complex in Rijeka is presented. The excavation of the foundation pit in the rock mass was conducted by protecting the side hill cut with rock bolts and appropriate support systems. The realization of this work had to be strictly supervised due to complex geotechnical conditions at this construction site closely surrounded by existing structures. Early establishment of an appropriate system for the support system monitoring and checking enabled subsequent analyses and design during realization of the work.

Ž. Arbanas

Ouvrage professionnel

## Creusement de la fouille « Zagrad » à Rijeka

L'article présente le creusement de la fouille du complexe « Zagrad » à Rijeka. Lors de l'exécution de la fouille dans le massif rocheux, les parois de l'excavation ont été stabilisées par boulons d'ancrage et par soutènements appropriés. En raison des conditions géotechniques complexes sur le site, entouré de près de bâtiments existants, il était indispensable de contrôler soigneusement le déroulement des travaux. La mise en place d'un système d'observation et de mesures des systèmes de soutènement a permis des analyses ultérieures et des mises à jour des études au cours de l'exécution des travaux.

Ж. Арбанас

Отраслевая работа

## Сооружение строительного котлована "Заград" в Риеке

В работе описано сооружение строительного котлована комплекса "Заград" в Риеке. Выемка строительного котлована в горной породе проведена обеспечением врубки стержневыми якорями и соответствующими крепительными системами. Из-за сложных геотехнических условий на месте строительства, непосредственно окружённом существующими объектами, было необходимо внимательно контролировать выполнение работ. Благодаря установленной системе наблюдения и измерения крепительных систем обеспечено проведение дополнительных анализов и допроектирования в течение выполнения работ.

Ž. Arbanas

Fachbericht

## Bau der Baugrube "Zagrad" in Rijeka

Dargestellt ist der Bau der Baugrube des Komplexes "Zagrad" in Rijeka. Der Aushub der Baugrube in felsiger Masse erfolgte unter Sicherung des Einschnitts mit Stabankern und entsprechenden Stützsystemen. Wegen der komplizierten bodentechnischen Umstände des Standortes, unmittelbar von bestehenden Bauwerken umfasst, war es notwendig die Bauausführung sorgfältig zu kontrollieren. Durch das gebildete System der Beobachtung und Messung der Stützsysteme ermöglichte man die Durchführung nachträglicher Analysen und Entwurfseinzelheiten während der Ausführung des Bauwerks.

Autor: Mr. sc. **Željko Arbanas**, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Rijeka, Vukovarska 10a, Rijeka

## 1 Uvod

Na lokaciji Zagrad u Rijeci, u neposrednoj blizini samoga gradskog središta Rijeke, u tijeku je izgradnja garažno–stambeno–poslovnog kompleksa. U rujnu 2003. godine otvoren je za korisnike garažni dio kompleksa kao najveća garaža u Hrvatskoj s ukupno 857 parkirnih mjesta. Gradnja stambenog kompleksa povrh garaže tek predstoji. Lokacija gradnje neposredno je okružena postojećim stambenim građevinama i prometnicama: ulicom Pomerio na sjeveru i željezničkom prugom Rijeka–Zagreb na jugu. U prvoj fazi izgradnje kompleksa izvedena je građevna jama neposredno uz postojeće građevine u najsjevernijem dijelu četiri etaže ispod postojećeg terena. Geološka građa lokacije izuzetno je složena: vapnenačka stijenska masa prisutna je na bokovima, dok središnji dio lokacije presijeca jaruga s debelim glinovitim naslagama. U sjevernom dijelu lokacije, s najvišim zasjecanjima postojećeg terena, kontakt je vapnenaca i flišnih naslaga.

Iskop građevne jame izveden je u fazama uz ojačanje stijenske mase štapnim sidrima i odgovarajućim podgradnim sklopom: roštiljnom konstrukcijom u neposrednoj blizini građevina ili višeslojnim armiranim mlaznim betonom. Tijekom izvođenja radova uspostavljen je sustav mjerenja, promatranja i praćenja ponašanja podgradnih sustava, ugradnjom vertikalnih inklinometara i horizontalnih deformetara te geodetskih točaka i provedenim mjerenjima po pojedinim fazama iskopa. Uspostavljena je procedura *aktivnog projektiranja* koja je omogućila potrebne promjene u zahvatima ojačanja stijenske mase u zasjecima.

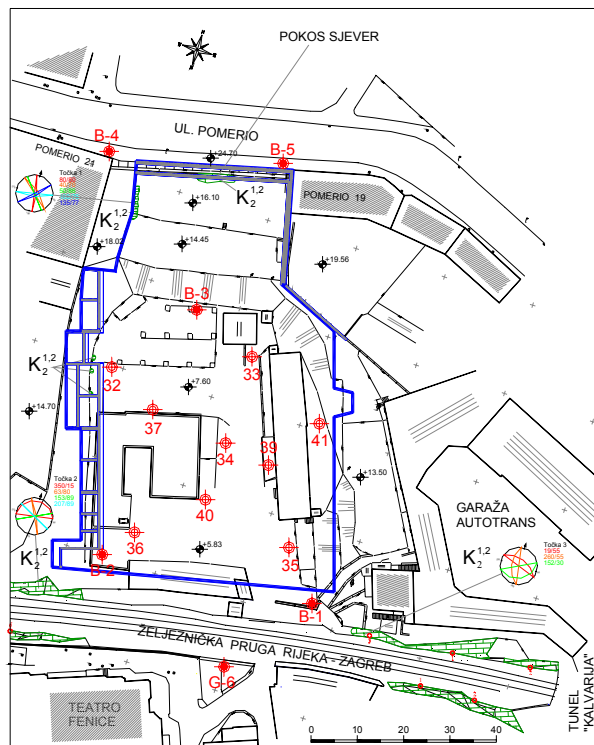
## 2 Geotehničke značajke lokacije

Prostornom dokumentacijom na lokaciji Zagrad u Rijeci predviđena je izgradnja garažno–stambeno–poslovnog kompleksa koji u svom podzemnom dijelu predviđa izgradnju javne garaže, a u nadzemnom dijelu stambeno–poslovnih građevina. Predmetna lokacija približnih je dimenzija 90 × 60 m, (slika 1.).

Geotehničkim istražnim radovima utvrđena je građa tla na lokaciji buduće građevne jame i kompleksa građevina [1, 2]. Iskorišteni su i rezultati istražnih radova na predmetnoj lokaciji iz katastra geotehničkih istraživanja provedenih 1963. godine.

Istražena lokacija ima oblik depresije nagnutu smjeru pružanja JZ-SI. Prirodni reljef terena bio je znatno izmijenjen nasipavanjem i zasijecanjem tijekom stoljetnje gradnje u Rijeci. Zbog zasijecanja, a pogotovo nasipavanja, teren ima kaskadni izgled. Nadmorska je visina u depresiji od 6,0 do 17,5 m, a na cesti iznad oko 24 m. Izdanci osnovne stijene bili su vidljivi samo mjesti-

mično. Ustanovljeno je da se teren sastoji od pokrivača: nabačaja (AF), crvenice (ts) i karbonatne stijenske podloge, koju sačinjavaju dolomitni vapnenci cenomanskoturanskog doba gornje krede (K<sub>2</sub><sup>1,2</sup>).



Slika 1. Inženjersko-geološka karta lokacije kompleksa “Zagrad” [1, 2]

Nabačaj (AF) se sastoji od mješavine kamenih odlomaka i smeđe pjeskovite gline u različitim omjerima (0-90%). Mjestimično su vidljivi ostaci cigle i organskih primjesa. U nižem dijelu terena istražene lokacije debljina nabačaja ne prelazi 2 m, dok je uza zid koji dijeli vrtove od ceste ustanovljena debljina nabačaja 6,8 do 7,0 m.

Crvenica (ts) je po sastavu smeđecrvena prašnasta glina čvrste konzistencije. Sadrži odlomke podrijetlom iz osnovne stijene. Crvenica je ustanovljena bušenjem samo mjestimično iznad osnovne stijene te u središnjem dijelu lokacije značajne debljine.

Osnovnu stijenu izgrađuju dolomitni vapnenci (K<sub>2</sub><sup>1,2</sup>). Njihova je struktura kristalasta, boja sivosmeđa. Stijenska masa ima izraženu slojevitost. Slojevi su generalno nagnuti prema sjeverozapadu. Stijenska masa pripada skupini čvrstih, dobro okamenjenih, karbonatnih stijena sedimentnog podrijetla. Zbog pretežite pokrivenosti terena, kakvoća stijenske mase, odnosno stupanj okršenosti i raspucanosti mogao se procijeniti na temelju mjerenja rijetkih dovoljno otkrivenih zasjeka, a djelomično i na temelju klasifikacije izbušene jezgre. Izmjereni *Rock Quality Designation*, kao indikator stupnja raspucalost-

ti, u cijelosti je nizak. Izmjereni su rasponi vrijednosti 0-16%. U zasjecima uz željezničku prugu izmjeren je RQD = 50 - 75%.

Geomehanička ili RMR klasifikacija [3] izrađena je za dvije mikrolokacije: jače zasijecanje uz Ulicu Pomerio, te zaravnjeni dio terena uz prugu i za dva tipa karbonatne stijenske mase - prosječno raspucanu i okršenu stijenu te ekstremno raspucanu do zdrobljenu i izrazito okršenu stijenu. Za odabir ulaznih podataka za RMR klasifikaciju odabrani su podaci mjerenja na izdanku na sjeverozapadnom dijelu lokacije i podaci iz bušotina [4].

U zapadnom dijelu s obzirom na izvedenu bušotinu te provedena geofizička mjerenja očekivane su naslage fliša [5].

### 3 Zahvati osiguranja zasjeka u stijenskoj masi

Na osnovi rezultata geotehničkih istražnih radova pristupilo se izradi projekta izvedbe građevne jame [6, 7] i kao najzahtjevnijeg dijela osiguranja pokosa "Sjever" ispod Ulice Pomerio.

Na većem dijelu lokacije bio je predviđen iskop na kotu +2,80 odnosno +3,20 m n.m. S obzirom na morfologiju lokacije najviši iskopi stoga su se morali ostvariti po bokovima i u sjevernom dijelu građevne jame, a najmanji u sredini građevne jame. Najzahtjevniji zahvati u izvedbi građevne jame odvijali su se u sjevernom dijelu građevne jame gdje je projektom bilo potrebno riješiti zasijecanje ispod postojeće prometnice Ulice Pomerio (pokos "Sjever") i neposredno uz postojeću građevinu k. br. Pomerio 19 (pokos "Istok").

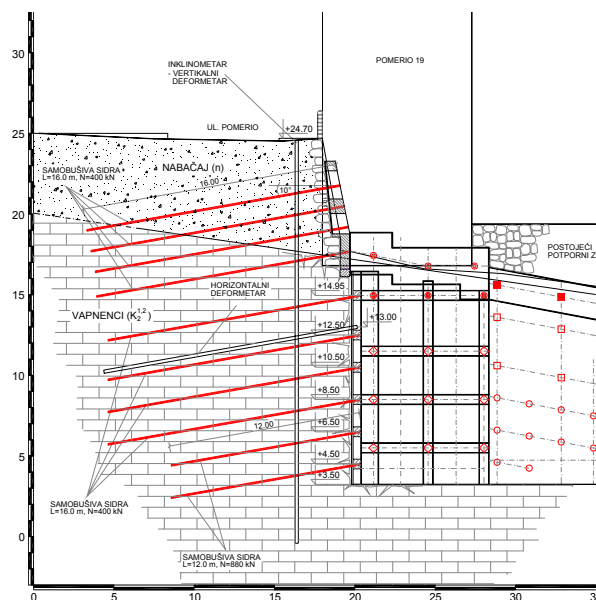
Na pokosu "Sjever" kota postojeće prometnice na Ulici Pomerio je +24,00 m n.m. Južni dio prometnice osiguran je kamenim potpornim zidom visine do 7,0 m temeljenim na terasi na koti +17,00 m n.m.

Sličan je problem na sjevernom dijelu pokosa "Istok". Postojeća stambena građevina P + 5 na koti je terase +17,00 m n.m uz koju je neposredno bio predviđen iskop na koti +3,20 m n.m. U ostalim dijelovima građevine s obzirom na niže visine zasjeka i veću udaljenost građevina od ruba iskopa, projektna rješenja bila su manje zahtjevna.

Ukupna visina zasjeka pokosa "Sjever" prema Ulici Pomerio je 21 m. Geotehnički profil izgrađen je od nasipa ceste u gornjem dijelu i stijenske mase u podlozi. Čvrstoća stijenske mase određena je u skladu s empirijskim zakonom čvrstoće za stijensku masu [8, 9] s RMR = 34 do dubine iskopa 9,00 m (kota + 6,50 m n.m.), a dublje s RMR = 56. Dubine rasprostiranja pojedinih zona trošnosti stijenske mase određene su iz rezultata geofizičkih ispitivanja. Parametri čvrstoće nasipa prometnice usvojeni

su kao prosječni za nasipni materijal  $c = 0 \text{ kN/m}^2$  i  $\phi = 35^\circ$ . Analizirani su odvojeno gornji i donji dio pokosa, a za donji dio dokazana je i ukupna stabilnost pokosa.

Za gornji dio pokosa "Sjever" razmatrala se mogućnost klizanja kroz nasip. Postojeći potporni zid od suho zidanog kamena nije zadovoljavao traženu sigurnost te je bilo potrebno provesti njegovo ojačanje. Postojeći potporni zid ojačan je štapnim samobušivim sidrima nazivne nosivosti 500 kN, računске nosivosti  $100 \text{ kN/m}^2$ , dužine 16,0 m na razmaku 4,00 m u 4 reda. Prenošenje opterećenja sidara na širu površinu predviđeno je izvođenjem mlaznog betona u sloju debljine 5 cm armiranog armaturnom mrežom Q-131 te roštiljnom konstrukcijom dimenzija  $0,60 \times 0,60 \text{ m}$ . Roštiljna konstrukcija temeljena je na stijenskoj podlozi u nožici postojećeg potpornog zida (slika 2.). Radovi su izvedeni na postojećem potpornom zidu, a prije početka iskopa.



Slika 2. Poprečni presjek pokosa "Sjever" na računskom i mjerenom profilu [6, 7]

Provedenim analizama stabilnosti za cjelokupnu visinu pokosa, a radi postizanja potrebne istim sidrima kao za dio pokosa "Sjever" ali u 8 redova te štapnim samobušivim sidrima nazivne nosivosti 880 kN, računске nosivosti  $180 \text{ kN/m}^2$ , dužine 12 m na razmaku 4,00 m u 2 reda. Prenošenje opterećenja sidara na širu površinu predviđeno je izvođenjem mlaznog betona u dva sloja debljine 5 cm armiranog armaturnom mrežom Q-131 te odgovarajućom roštiljnom konstrukcijom (slika 2.).

Analize su provedene za lom kroz stijensku masu i kružnu kliznu plohu metodama granične analize prema Spenceru [10] i Bishopu [11] programskim paketom *Slope/W*, *GEO-Slope* [12]. Za kritičnu kliznu plohu i ukupnu visi-

nu pokosa uz unošenje računskih sila djelovanja štapnih sidara, dobiven je faktor sigurnosti  $F_s = 1,525$ .

Za usvojenu geometriju ojačanja izvršene su naponsko-deformacijske analize programskim paketima *Sigma/W*, *GEO-Slope* [13] metodom konačnih elemenata i *FLAC* [14] metodom konačnih razlika. U provedenim naponsko-deformacijskim analizama za stijensku masu primijenjen je elastoplastični model ponašanja stijenske mase. Za analize su upotrijebljene vrijednosti modula elastičnosti dobivene na osnovi korelacija s RMR klasifikacijom stijenske mase [15, 16], te ekvivalentne vrijednosti parametara Mohr–Coulombova zakona čvrstoće [17]. Analiziran je iskop u šest faza po dubini s ugradnjom štapnih sidara nakon završetka pojedine faze iskopavanja postizanja konačne kote projektiranog iskopa. Naponsko-deformacijskim analizama određene su očekivane vrijednosti pomaka na osnovi procijenjenih parametara čvrstoće i deformabilnosti stijenske mase.

U ostalom su se dijelu građevne jame također rješavale složeni zahtjevi osiguranja stijenskih pokosa, naročito u iskopu ispod građevine Pomerio 19, (slike 3. i 4.). U južnom dijelu građevne jame s nižom visinom stijenskih pokosa, primijenjene su uobičajene metode ojačanja stijenske mase štapnim sidrima i višeslojnim armiranim mlaznim betonom.

#### 4 Izvođenje radova

Radovi na predmetnoj lokaciji, izvodi ih Strabag d.o.o. Hrvatska, a započeli u veljači 2001. Glavni projekt građevne jame izrađen je u Institutu građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Rijeka [7]. Investitor je Austrograd d.o.o. Rijeka.

U tijeku izvođenja radova na iskopu i osiguranju stabilnosti zidova građevne jame, uz geotehnički i projektantski nadzor, primijenjen je pristup *aktivnog projektiranja*. Uspostavljen je sustav mjerenja, promatranja i praćenja ponašanja podgradnih sustava, čime su osigurani podaci



Slika 3. Pokos "Sjever" i "Istok" u fazi iskopavanja na koti +5.00



Slika 4. Pokos "Sjever" i "Istok" u fazi iskopavanja na koti dna građevne jame

za provođenje povratnih naponsko-deformacijskih analiza za stvarno ponašanje stijenske mase u iskopu i sustava ojačanja. Uspostavljenom procedurom aktivnog projektiranja omogućene su promjene u zahvatima ojačanja stijenske mase u zasjecima. Pri tom se uglavnom primjenjivao projektirani primarni sustav ojačanja stijenske mase [18]. Veće promjene u podgradnom sustavu izvedene su na pokosu "Zapad" gdje je zbog nepravodobne ugradnje podgradnog sustava i neadekvatne odvodnje oborinskih voda došlo do pojave neprihvatljivo velikih deformacija [19]. Projektirani podgradni sustav dodatno je ojačan samobušivim štapnim sidrima veće dužine i nosivosti.

Glavnim projektom osiguranja građevne jame [7] određeni su tehnički uvjeti izvođenja radova popraćeni odgovarajućim geotehničkim nadzorom, odgovarajućim programom opažanja i promatranja te kontrolnim mjerenjima nosivosti ugrađenih sidara [20, 21, 22, 23]. Program opažanja i promatranja obuhvatio je geodetsko opažanje mreže repnih točaka postavljenih sukcesivno s izvođenjem radova na ukupno osam kontrolnih geodetskih profila [24], te kontrolna mjerenja pomaka sa dva vertikalna inklinometra–ekstenzometra (deformetra) i tri horizontalna ekstenzometra (deformetra) postavljena na lokacijama koje omogućuju odgovarajuće praćenje ponašanja zasljeva tijekom odvijanja radova [25]. Kontrolna geodetska opažanja i mjerenja pomaka inklinometrima i ekstenzometrima provodila su se u fazama u skladu s izvršenim iskopima po pojedinim etažama – proračunskim fazama iskopa. Iz iskopanog materijala uzeti su uzorci stijenske mase po pojedinim fazama iskopa na kojima je provedeno ispitivanje čvrstoće [26, 27].

Izvođenje radova na pokosu "Sjever", kao najzahtjevnijem geotehničkom zahvatu građevne jame, provedeno je iskopom u fazama u uzdužnim etažama visine 2,0 m i sukcesivnom izvođenju roštiljnoga podgradnog sustava ojačanog samobušivim štapnim sidrima od vrha prema dnu iskopa. Provođenjem povratnih naponko-deforma-

cijskih analiza na osnovi izmjerenih deformacija i provedenih ispitivanja testova nosivosti štapnih sidara omogućeno je praćenje i prognoziranje ponašanja stijenske mase u zasjeku u idućim fazama iskopa.



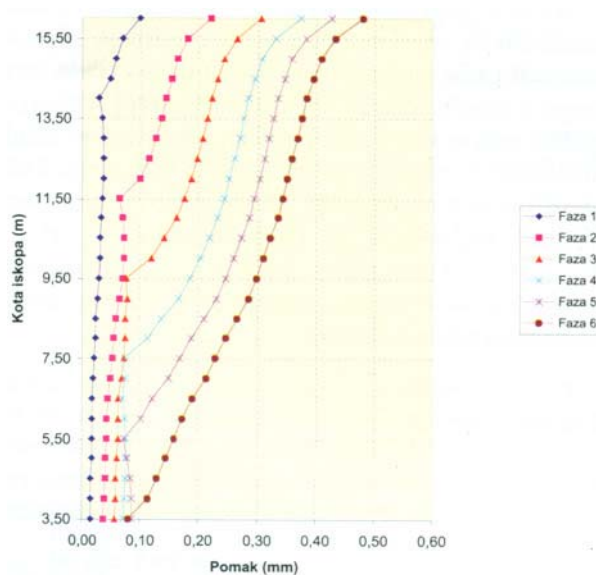
Slika 5. Pogled na građenu jamu tijekom izvedbe

Radovi na pokosu "Sjever" provedeni su uz manje intervencije sekundarnim i tercijarnim ojačanjima u podgrađnom sustavu u okviru projektiranih mjera ojačanja stijenske mase do projektirane kote iskopa, (slika 5.) Primarno ojačanje udvostručeno je u području fliša. U tako izvedenoj građevnoj jami izgrađena je konstrukcija druge faze kompleksa - podzemne garaže kapaciteta 857 parkirnih mjesta.

### 5 Rezultati provedenih povratnih analiza

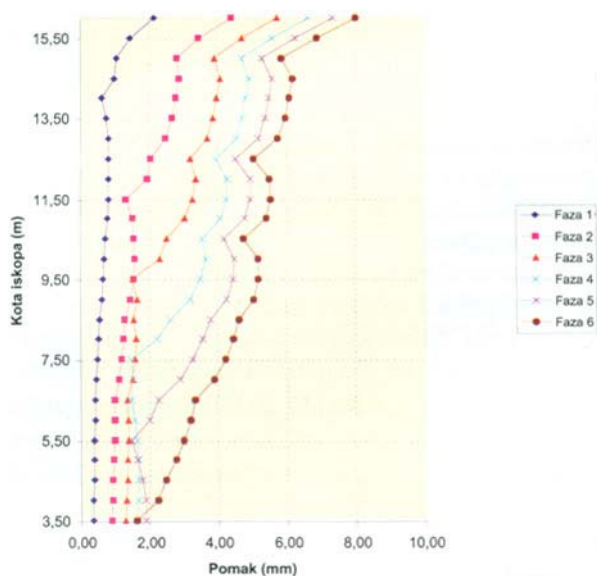
Provođenje povratnih analiza ukazalo je na određena odstupanja projektiranog osiguranja stijenskih zasjeka ojačanih štapnim sidrima od stvarnog ponašanja *in situ* izvednih konstrukcija. U prvom redu to se odnosi na veličinu ostvarenih deformacija u vapnenačkim stijenskim masama u odnosu na vrijednosti izračunane na osnovi preporučenih vrijednosti deformacijskih značajki temeljenih na korelaciji s vrijednostima klasifikacijama stijenske mase [15, 16, 28]. Svi predloženi izrazi daju znatno veće vrijednosti modula deformabilnosti stijenske mase u odnosu prema izmjerenim vrijednostima pri izvedbi iskopa pokosa "Sjever" [29].

Za mjerni i računski profil na pokosu "Sjever" provedene su naponsko-deformacijske analize za iskop u fazama i ugradnju štapnih sidara nakon izvedbe svake faze iskopa. Deformacijske značajke stijenske mase određene su za svaku etažu iskopa na osnovi korelacije s RMR klasifikacijom stijenske mase pojedine etaže [16]. Čvrstoća stijenske mase određena je laboratorijskim ispitivanjem uzoraka stijene iz predmetne etaže. Računske deformacije dobivene naponsko-deformacijskim analizama dosežu maksimalne vrijednosti od 0,50 mm (slika 6.) [29].



Slika 6. Dijagram računskih horizontalnih pomaka na pokosu "Sjever" na osnovi rezultata provedenih naponsko - deformacijskih analiza u fazi projektiranja [28]

Izmjerene vrijednosti stvarnih pomaka znatno su veće od proračunskih veličina. Na osnovi izmjerenih veličina pomaka na horizontalnom deformetru na pokosu "Sjever" provedene su povratne naponsko-deformacijske analize, kojim su utvrđene prosječne vrijednosti deformacijskih značajki stijenske mase po pojedinim etažama [29]. Maksimalni izmjereni pomaci na deformetru dosežu 6,0 mm, a najveći pomaci na vrhu pokosa reda su veličine 8,0 mm, (slika 7.).



Slika 7. Dijagram horizontalnih pomaka na pokosu "Sjever" na mjernom profilu dobivenih povratnim naponsko - deformacijskim analizama na osnovi rezultata *in situ* mjerenja na ugrađenoj mjernoj opremi [28]

Provedene povratne naponsko-deformacijske analize rezultirale su vrijednostima modula elastičnosti stijenske mase 20 i više puta manjim od onih dobivenih iz korelacija s klasifikacijama stijenske mase [16]. Dobivene razlike najvjerojatnije su posljedica nedovoljno točnih korelacijskih odnosa u području nižih vrijednosti RMR klasifikacije stijenske mase, a zbog relativno male baze mjerenih podataka u tom području. Drugi je razlog u primijenjenom numeričkom modelu koji relativno slabo omogućuje modeliranje ponašanja stijenske mase ojačane štapnim sidrima [13,29].

Ostvareni maksimalni pomaci, iako višestruko veći od prognoziranih naponsko-deformacijskim analizama, još uvijek u ugrađenim štapnim sidrima zbog pomaka aktiviraju sile znatno manje od računskih, te nije postojala potreba za dodanim ojačanjem primarnoga podgradnog sustava.

Značajan je problem pitanje uporabivosti metoda granične ravnoteže pri analizama stabilnosti stijenskih zasjeka ojačanih štapnim sidrima. Postavlja se pitanje veličine unesenih sila u štapna sidra u računске modele, s obzirom na to da veličina sile u štapnom sidru uglavnom ovisi o ostvarenoj deformaciji stijenske mase, koju modeli graničnih analiza ne uzimaju u obzir. Faktor sigurnosti kritične klizne plohe dobiven jednom od metoda granične ravnoteže stoga ne predstavlja realan faktor sigurnosti stijenskog zasjeka ojačanog štapnim sidrima. Primjena metoda granične analize stabilnosti stijenskih zasjeka ojačanih štapnim sidrima zahtijeva i paralelno provođenje naponsko-deformacijskih analiza koje će preko veličina izmjerenih deformacija omogućiti spoznaje o veličini ostvarenih sila u štapnim sidrima. Takav pristup omogućuje ekonomičnije projektiranje potrebnih štapnih sidara za osiguranje stabilnosti stijenskih zasjeka.

Pritom se pojavljuje i problem raspodjele opterećenja prenesenog sa štapnog sidra na okolnu stijensku masu. Modeli ponašanja štapnih sidara i stijenske mase u okolišu sidra uglavnom opisuju ponašanje čupanja štapnog sidra numeričkim ili analitičkim modelima. U literaturi su brojni prikazi analiza ponašanja štapnih sidara u stijenskoj masi. Numeričke metode opisuju ponašanje sidra u stijenskoj masi diskretizacijom prostora primjenom metode konačnih razlika [30, 31] ili metodom konačnih elemenata [30, 32]. Analitičke metode opisuju ponašanje interakcije štapnog sidra i stijenske mase [33 do 37].

Pritom se ne analizira samo ponašanje sidra u skladu s testom čupanja, već i s uniformnim ponašanjem stijenske mase i u slučaju otvaranja pukotine u stijenskoj masi [35, 37, 38, 39]. Postavlja se zahtjev daljnjeg istraživanja koje će omogućiti točnije opisivanje ponašanja prijenosa opterećenja sa štapnog sidra na stijensku masu na osnovi rezultata mjerenja *in situ*.

## 6 Zaključak

Na lokaciji Zagrad u Rijeci, u središtu urbanog prostora, gradi se garažno-stambeno-poslovni kompleks "Zagrad". Kao prva faza izgradnje izvedeni su radovi na iskopu i osiguranju građevne jame.

Građevna jama izvedena je u složenim geotehničkim uvjetima, neposredno uz postojeće prometne i stambene građevine. Za potrebe osiguranja zasjeka u stijenskoj masi primijenjen je pristup ojačanje stijenske mase štapnim sidrima i odgovarajućim podgradnim sustavima. Tijekom izvođenja radova geotehničkim je nadzorom primijenjen pristup *aktivnog projektiranja*.

Provedene analize ukazale su na potrebu promjena u pristupu projektiranju stijenskih zasjeka ojačanih štapnim sidrima. Pri tome se kao značajan problem javlja odabir korelacijskih odnosa između klasifikacija stijenske mase i deformacijskih značajki, koje mjerenjem pokazuju stvarne znatno niže vrijednosti. Drugi, značajniji problem jest primjena metoda granične ravnoteže stabilnosti stijenskih zasjeka ojačanih štapnim sidrima. Uobičajeni postupci usvajaju modele u kojima se štapna sidra zamjenjuju silama u veličini nazivnih nosivosti sidara. U stvarnosti, u štapnim se sidrima realiziraju sile proporcionalne ostvarenim deformacijama i krutosti pojedinih sidara, koje su redovito mnogo manje, daleko manja od računskih sila. Iz toga slijedi da su faktori sigurnosti dobiveni metodama granične analize na modelima u koje je unesena nazivna vrijednost sile u sidrima znatno različiti od stvarnog faktora sigurnosti zasjeka ojačanog štapnim sidrima. Primjena metoda granične analize stabilnosti stijenskih zasjeka ojačanih štapnim sidrima zahtijeva i paralelno provođenje naponsko-deformacijskih analiza koje će preko veličina izmjerenih deformacija omogućiti spoznaje o veličini ostvarenih sila u štapnim sidrima.

Prethodni zaključci ukazuju na potrebe daljnjih istraživanja koja će omogućiti kvalitetnije iskorištavanje štapnih sidara pri ojačanju stijenske mase.

## IZVORI

[1] Arbanas, Ž., Benac, Č.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, Geotehnički izvještaj, Idejni projekt, Knjiga 7*, Institut građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Rijeka, El. br. 5500-1-516017, Rijeka, 2000.

[2] Arbanas, Ž., Benac, Č.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, I faza-Geotehnički izvještaj, Glavni projekt, Knjiga 9*, Institut građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Rijeka, El. br. 5400-1-516017, Rijeka, 2000.

- [3] Bieniawski, Z.T.: *Engineering Rock Mass Classification*, John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [4] ISRM, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test: *ISRM Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*, Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15 (1978) 6, 319-368.
- [5] Marinos, P., Hoek, E.: *Estimating the Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses Such as Flysch*, Bull. Eng. Geol. Env. (2001) 60, 85-92.
- [6] Arbanas, Ž.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, Projekt građevne jame, Idejni projekt, Knjiga 8*, Institut građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Rijeka, El. br. 5500-1-514732, Rijeka, 2000.
- [7] Arbanas, Ž.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, I faza-Projekt građevne jame, Glavni projekt, Knjiga 10*, Institut građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Rijeka, El. br. 5500-1-514732, Rijeka, 2000.
- [8] Hoek, E.: *Strenght of Rock and Rock Masses*, ISRM News Journal 2 (1994) 2, 4-16.
- [9] Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F.: *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, A.A. Balkema, Rotterdam, 1995.
- [10] Spencer, E.: *A Method of Analysis of the Stability of the Embankments Assuming Parallel Interslice Forces*, Geotechnique 17 (1967) 1, 11-26.
- [11] Bishop, A.W.: *The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*, Geotechnique 5 (1955) 1, 7-17.
- [12] GEO-Slope Int. Ltd.: *User's Guide Slope/W for Slope Stability Analysis, Version 4*, GEO-Slope Int. Ltd., Calgary, 1998.
- [13] GEO-Slope Int. Ltd.: *User's Guide Sigma/W for Finite Element / Deformation Analysis, Version 4*, GEO-Slope Int. Ltd., Calgary, 1998.
- [14] Itasca Consulting Group: *FLAC, Fast Lagrangian Analysis of Continua, Version 3.3. Manual*, Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis, 1995.
- [15] Serafim, J.L., Pereira, J.P.: *Consideration of the Geomechanical Classification of Bieniawski*, Proc. Int. Symp. on engineering Geology and Underground Construction, Lisbon, (1983) 1, II.33-II.42.
- [16] Hoek, E., Brown, E.T.: *Practical Estimates of Rock Strenght*, Int. Jour. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts 34 (1997) 8, 1165-1187.
- [17] Hoek, E., Brown, E.T.: *Underground Excavations in Rock*, Istitution of Mining and Metallurgy, London, 1980.
- [18] Windsor, C.R.: *Rock Reinforcement Systems, 1996 Schlumberger Award-Special Lecture*, Proceeding of EUROCK '96, Special Papers Volume, Torino, 1996.
- [19] Arbanas, Ž., Kovačević, M.S., Jardas, B.: *Reinforcement Systems in Construction of Open Pit Zagrad in Rijeka, Croatia*, Proc. XIII European Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng. Geotechnical Problems with Man-made and Man Influenced Grounds, Prague, (2003), 2., 23-28.
- [20] ISRM, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test: *ISRM Suggested Methods for Determining Point Load Strenght*, Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 22 (1985) 2, 51-60.
- [21] Kovačević, M.S.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, Test nosivosti samobušivih štapnih sidara, Kontrolna ispitivanja na sjevernom pokosu-redovi 1 do 5*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [22] Kovačević, M.S.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, Test nosivosti samobušivih štapnih sidara, Kontrolna ispitivanja na sjevernom pokosu-redovi 6 do 8, Kontrolna ispitivanja na istočnom pokosu-redovi 1 do 3*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [23] Kovačević, M.S.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, Kontrolna ispitivanja štapnih sidara*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [24] Šimunović, S.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, Geodetski izvještaj opažanja repera građevinske jame Zagrad*, Reper d.o.o., Zagreb, 2001.
- [25] Kovačević, M.S.: *Garažno-stambeno-poslovni kompleks Zagrad, Kontrolna geotehnička mjerenja*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
- [26] ISRM, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test: *ISRM Suggested Methods for Rockbolt Testing*, Pergamon Press, pp. 161-168, Oxford, 1981.
- [27] ISRM, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test: *ISRM Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strenght and Deformability of Rock Materials*, Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 16 (1979) 2, 135-144.
- [28] Bieniawski, Z.T.: (1979), *The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications*, Proc. 4<sup>th</sup> Congr. Int. Soc. Rock Mech., Montreux, (1979) 2, 41-48.
- [29] Arbanas, Ž.: *Utjecaj štapnih sidara na ponašanje stijenske mase pri izvedbi visokih zaszeka, Magistarski rad*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
- [30] Gerrard, C.M., Pande, G.N.: *Numerical modelling of Reinforced Jointed Rock Masses – I. Theory*, Computers and Geotechnics (1985) 1, 293-318.
- [31] Brady, B., Loring, L.: *Analysis of Rock Reinforcement Using Finite Difference Methods*, Computers and Geotechnics (1988) 5, 123-149.
- [32] Marenče, M.: *Numeričko modeliranje sidra u stijenskoj masi*, Građevinar 46 (1994) 6, 325-332.
- [33] Farmer, I.W.: *Stress Distribution along a Resin Grouted Rock Anchor*, Int. Jour. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts 12 (1975), 347-351.
- [34] Indraratna, B., Kaiser, P.K.: *Analytical Model for The Design of Grouted Rock Bolts*, Int. J. for Num. and Analyt. Meth. in Geomechanics (1990) 14, 227-251.
- [35] Spang, K., Egger, P.: *Action of Fully-Grouted Bolts in Jointed Rock and Factors of Influence*, Rock Mechanics and Rock Engineering (1990) 23, 201-229.
- [36] Hyett, A.J., Mossavi, M., Bawden, W.F.: *Load Distribution along Fully Grouted Rock Bolts with Emphasis on Cable Bolt Reinforcement*, Int. J. for Num. and Analyt. Meth. in Geomechanics (1996) 20, 517-544.
- [37] Li, C., Stillborg, B.: *Analytical Model for Rock Bolts*, Int. Jour. Rock Mech. & Mining Sci., 36 (1999), 1013-1029.
- [38] Bjurström, S., (1974), *Shear Strenght of Hard Rock Joints Reinforced by Grouted Untensioned Bolts*, Proc. 3<sup>th</sup> Congr. ISRM, Denver, (1974) 2, Part B, 1194-1199.
- [39] Ferrero, A.M.: *The Shear Strenght of Reinforced Rock Joints*, Int. Jour. Rock Mech. & Mining Sci. 32, (1995) 6, 595-605.