



Projektiranje dubokog iskopa u stijenskoj masi metodom opažanja

Design of deep excavation in rock mass by monitoring method

Miljenko ŠPIRANEC¹, Stjepan STRELEC², Radoslav MARKIĆ³, Predrag MIŠČEVIĆ⁴, Kristijan GRABAR⁵

Sažetak

Optimizacija projektnog rješenja zaštite dubokog iskopa u stijeni visine 25 m provedena je metodom opažanja. Metoda se sastojala od inženjersko-geološkog kartiranja stijenske mase in-situ nakon svake faze iskopa. Inicijalni projektni model baziran je na podacima iz prethodnih istražnih radova koji su provedeni geofizičkim ispitivanjima. Upotreba podataka dobivenih za vrijeme iskopa dovela je do korekcije konačnog projektnog rješenja. U članku je prikazana uspješnost optimizacije projektnog rješenja dubokog iskopa u stijenskoj masi primjenom metode opažanja pri čemu se daju prednosti i nedostaci geofizičkih metoda u ispitivanju stijenske mase.

Ključne riječi: metoda opažanja, duboki iskop, inženjersko-geološko kartiranje

Abstract

The optimization of the deep excavation project in a 25 m height rock mass was conducted by monitoring method. The method consisted of engineering-geological mapping of the rock mass in situ after each excavation phase. Initial project model is based on data from previous investigations carried out by geophysical surveys. The use of data obtained during excavation phase led to correction of the final design solution. The paper presents the success of optimization of the deep excavation project in the rock mass using the monitoring method, giving advantages and disadvantages of geophysical methods in the rock mass exploration.

Keywords: monitoring, deep excavation, engineering-geological mapping

¹ SPP d.o.o., Varaždin, spiranec@spp.hr

² Geotehnički fakultet u Varaždinu, stjepan.strelec@gmail.com

³ Metrion Projekt d.o.o., Zagreb, radoslav.markic@metrion.hr

⁴ Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, predrag.miscevic@gradst.hr

⁵ SPP do.o., Varaždin, k.grabar@spp.hr

Uvod

Za potrebe izgradnje Centra zdravstvenog turizma-wellness, spa i poliklinika u Segetu Donjem bilo je potrebno izvesti zasjek u vapnenačkoj stijenskoj masi maksimalne dubine 25 m. Preliminarni istražni radovi provedeni su samo geofizičkim metodama (geoelektrična tomografija, seizmička ispitivanja). Na osnovi tih rezultata izrađen je geotehnički profil tla te je odabrano projektno rješenje koje osigurava maksimalnu sigurnost obzirom na nedostatke geofizičkih ispitivanja (ocjena veličina blokova, diskontinuiteta i parametara stijenske mase). U projektu je definirano da će se tokom izvođenja vršiti kontrola i korekcija projektiranog rješenja pomoću metode opažanja. Metoda opažanja je primjenjiva kada je predviđanje geotehničkog ponašanja teško (HRN EN 1997-1:2012), a sastojati će se od inženjersko-geološkog kartiranja i inklino-metarskog mjerenja za svaku fazu iskopa.

Prethodni istražni radovi i inicijalno projektno rješenje

Prethodni istražni radovi provedeni su geofizičkim metodama. Izvedena su tri profila geoelektrične tomografije (ERT), tri seizmička profila metodom višekanalne analize površinskih valova (MASW) i četiri georadarska profila (Jug, 2017). Na osnovi dobivenih rezultata usvojen je projektni geotehnički profil koji se sastojao od tri dominantne zone (slika 1.).

U tablici 1. dan je prikaz dobivenih rezultata na osnovi geofizičkih ispitivanja. Dominantne su geotehničke zone 2, 3, 4 i 5, a ostale geotehničke zone se lokalno pojavljuju unutar zone 2. Jednoosna tlačna čvrstoća ocjenjena je na osnovi odskoka Schmidtova čekića na površinskim uzorcima te na osnovi električne otpornosti pomoću korelacija iz literature (Katz&all,2000; Kahraman&all,2010; Nazir&all, 2013). Geofizičke metode ne daju precizne podatke o diskontinuitetima, veličini pojedinih blokova te parametrima stijenske mase. Seizmička

ispitivanja (MASW) daju dosta precizne podatke o kakvoći stijenske mase na osnovi brzine posmičnih valova (okvirni raspon: $v_s=800$ m/s-trošna stijena; $v_s=1500$ m/s – kompaktna blokovita stijena).

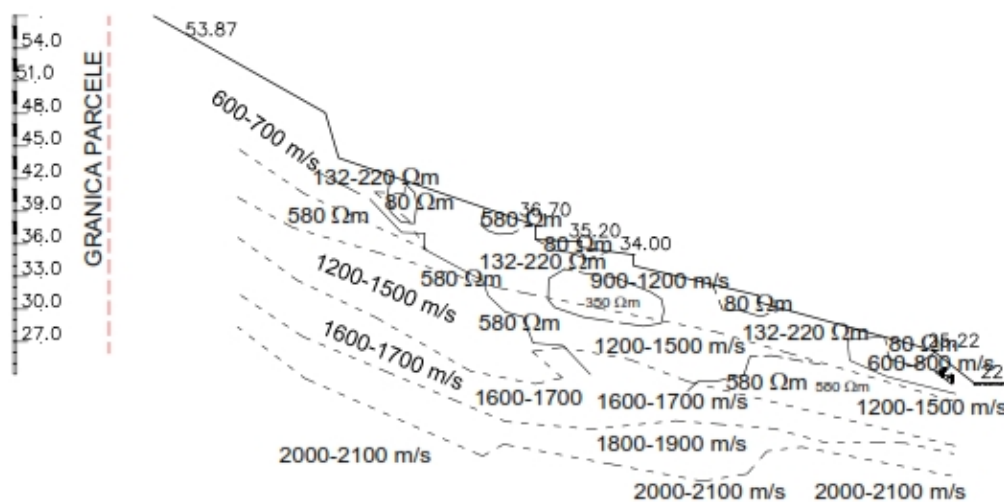
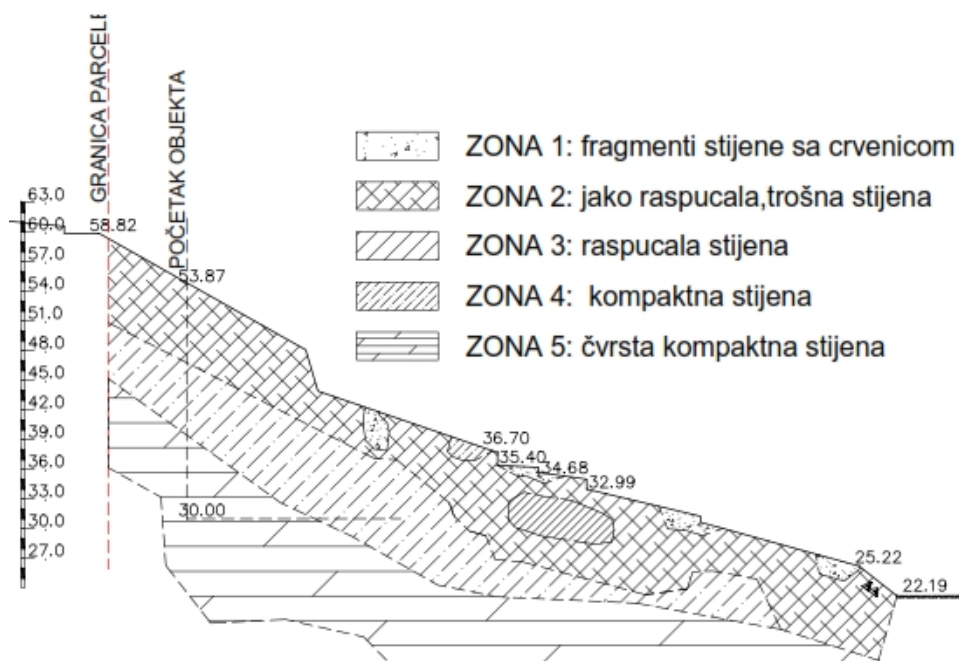
Tablica 1. Karakteristični parametri stijenske mase dobiveni preliminarnim istražnim radovima.

Zona	Elektrika	Seizmika	Čvrstoća
	$[\Omega m]$	v_s [m/s]	σ_c [MPa]
1	<80	600-800	60
2	130-200	800-100	70
3	200-350	1000-1200	85
4	350-600	1200-1500	100
5	>600	>1500	130

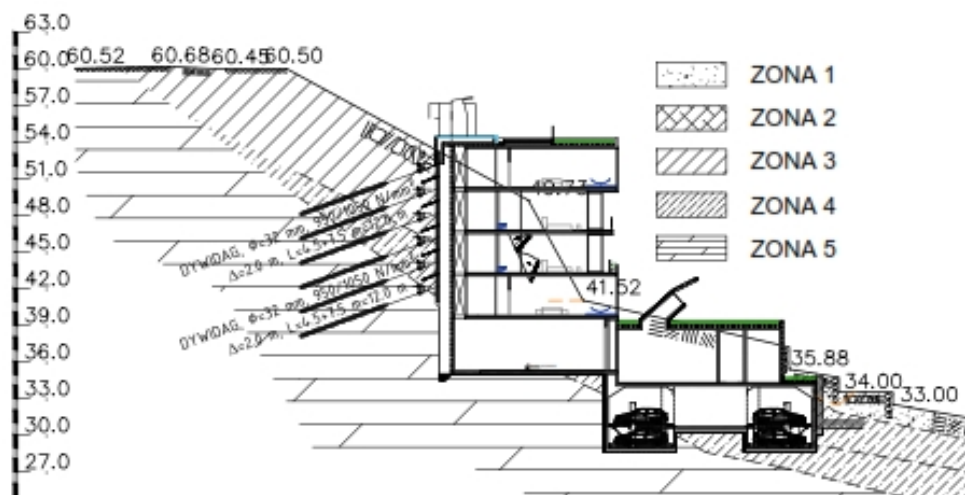
Geoelektrična tomografija (ERT) daje preciznu ocjenu promjene karakteristika unutar stijenske mase ali nije jednoznačna obzirom da električna otpornost može značajno varirati za istu kvalitete stijenske mase. Iz tih razloga potrebno je kombinirati više geofizičkih metoda da bi se mogla ocijeniti uspješno kvaliteta stijenske mase.

Na osnovi prethodnih istražnih radova definirano je projektno rješenje zaštite iskopa na način da se osigura maksimalna stabilnost uključujući nepovoljan oblik nagiba diskontinuiteta. Rješenje se zasnivalo na izvedbi sidara sa mlaznim betonom u gornjoj zoni iskopa (do cca 13 m), a donji dio iskopa vrši se bez sidrenja (slika 2). Obzirom na promjenu i nagib geotehničkih zona utvrđeno je najnepovoljnije moguće pružanje diskontinuiteta na kontaktu geotehničkih zona 3, 4 i 5, te je to bio dominantni uvjet kod definiranja broja sidara i duljine sidrenja.

Predviđena je bila izvedba sidara na rasteru 2x2 m, a duljina sidara iznosila bi od 10-12 m. Ukupno je bilo predviđeno 215 sidara ukupne duljine 2730 m.



Slika 1. Prikaz geotehničkog profila i rezultati geotehničkih ispitivanja.



Slika 2. Prikaz inicijalnog projektnog rješenja.

Metoda opažanja

Obzirom na nedostatak geofizičkih metoda u projektu je definirano da će se tokom izvođenja vršiti metoda opažanja in situ u cilju kontrole i ocjene kvalitete stijenske mase u odnosu na geotehnički profil definiran prethodnim istražnim radovima. Metoda opažanja se sastojala od inženjersko-geološkog kartiranja in situ nakon svake faze iskopa (visina iskopa pojedine faze je iznosila 4 m, a izvodilo se miniranjem sa predsplitingom) uz kontrolu pomaka inklinometarskim mjerenjima. Prilikom izvođenja inklinometra, bušotina je izvedena kao istražna te su određeni parametri stijenske mase (RQD, RMR, $I_{s(50)}$).

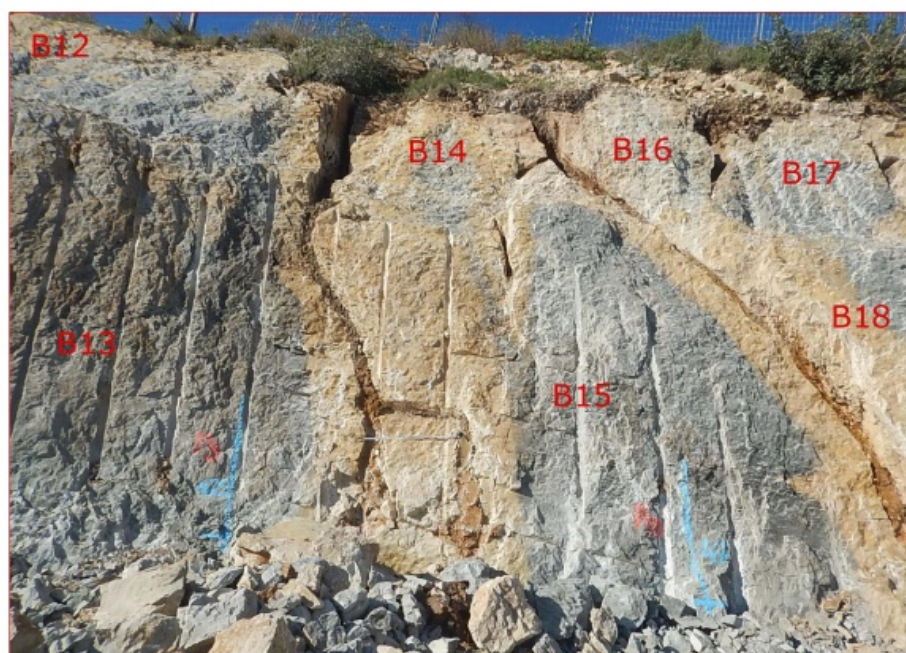
Tablica 2. Dobiveni rezultati stijenske mase na osnovi istražnog bušenja (prilikom izvedbe inklinometra).

Zona	RQD	RMR	$I_{s(50)}$	σ_c
	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]
1	50-75	40	2 - 4	40-80
2	75-90	49	3 - 6	60-120

1-Jako blokovita, 2- Blokovita stijenska masa

Inženjersko-geološkim kartiranjem se utvrđivao nagib i smjer pružanja diskontinuiteta te se ocjenjivala veličina pojedinih blokova. Na osnovi tih podataka definirani su potencijalno nestabilni blokovi koji su se osiguravali štapnim sidrima potrebne duljine (7 do 10 m). Ukupno je izvedeno 74 sidara ukupne duljine 636 m, a što je značajna optimizacija u odnosu na inicijalno projektno rješenje.

Veličina blokova se kretala u rasponu od minimalno 1.5 x 1 x 1 m pa do maksimalno 7x6x4 m. Inklinometarska mjerenja su provedena kontinuirano sa svakom fazom iskopa, a maksimalni pomak je iznosio 1.5 mm što je bilo u skladu sa numeričkim modelom (slika 3.).



Slika 3. Prikaz blokova i njihovo sidrenje.

Zaključak

Geofizičke metode dale su zadovoljavajuću procjenu geotehničkog profila (ocjenu kvalitete stijenske mase i tlačnu čvrstoću) ali imaju nedostatak kvalitetnog i jednoznačnog definiranja parametara diskontinuiteta (parametre ispune, pružanje i veličinu pojedinih blokova). Također potrebno je provoditi više geofizičkih metoda te je potrebno veliko iskustvo u interpretaciji dobivenih rezultata ispitivanja da bi se uspješno predvidio geotehnički profil.

Obzirom na nedostatke geofizičkih metoda korekcija pomoću metode opažanja tokom izvedbe iskopa stijenske mase pokazala se kao optimalno rješenje u cilju optimizacije projektnog rješenja.

Primjerom iz prakse pokazala se primjenjivost geofizičkih ispitivanja uz nadopunu metodom opažanja kao vrlo primjenjiv i ekonomski prihvatljiv način projektiranja iskopa u stijenskim masama.

Reference

- HRN EN 1997-1:2012. Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1 dio – Opća pravila (EN1997-1:2004+AC:2009)
- Jug J., Špiranec M., Strelec S., 2017. Analiza stabilnosti sidrenih stijenskih kosina prema Eurokodu 7, Inženjerstvo okoliša, Volume 4, No.1
- Katz O., Reches Z., Roegiers J.C., 2000. Evolution of mechanical rock properties using Schmidt hammer. International of rock mechanics and mining science. 37, pp 723-728
- Kahraman S., Yeken T., 2010. Electrical resistivity measurement to predict uniaxial compressive and tensile strength of igneous rocks. Bull.Mater.Sci, Vol. 33., No.6., pp 731-735
- Nazir R., Momeni E., Armaghani D.J., Amini M.F.M., 2013. Prediction of unconfined compressive strength of limestone rock samples using L-type Schmidt hammer. EJGE, vol. 18