

Elvir MUHIĆ

IRGO - Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana
e-naslov: elvir.muhic@irgo.si

Boštjan VOLK

IRGO Consulting d.o.o., Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana
e-naslov: bostjan.volk@irgo.si

Saša GALUF

IRGO Consulting d.o.o., Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana
e-naslov: sasa.galuf@irgo.si

Marko KOSOVEL

ACMA d.o.o., Tovarniška cesta 4c, 5270 Ajdovščina
e-naslov: marko.kosovel@acma.si

Boštjan FURLAN

ACMA d.o.o., Tovarniška cesta 4c, 5270 Ajdovščina
e-naslov: bostjan.furlan@acma.si

Vojkan JOVIČIĆ

IRGO - Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana
e-naslov: vojkan.jovicic@irgo.si

VARIANTNE REŠITVE ZA TUNEL IN GALERIJO MACELJČICA NA AC DRAŽENCI-GRUŠKOVJE

POVZETEK: Trasa AC Draženci – Gruškovje na območju predora Maceljčica poteka po gričevnatem terenu, ki se nahaja tik pred mednarodnim prehodom Gruškovje na meji s Hrvaško. Značilnost tega območja je razgiban relief, zato je potek trase predviden večinoma v globokih vkopih ali preko premostitvenih objektov. Na trasi je predviden samo en predor, ki je z dolžino 153,70m najkrajši predor na slovenskem avtocestnem križu. Ne glede na dolžino pa predor predstavlja zahteven objekt, predvsem zaradi specifičnosti pogojev. Zaradi majhne dolžine predora se potek robnih oz. odstavnih pasov na trasi ne spreminja, tako da je skupna širina cestišča v predoru 10,50m in ne običajnih 7,70m. Drugi razlog je razgibana morfologija terena, za katero so značilni visoki predvkopi, ki na severni strani merijo v višino do 27m, na južni strani pa preko 36m. V geološkem smislu območje gradi slabo plastovit in tektonsko nepoškodovan miocenski peščenjak, ki je v zgornjem delu preperel generalno 2m, lokalno pa tudi do 10m globoko. Med plastmi peščenjaka se pojavljajo tanjši vložki peščenega laporja, ki pa je močno podrejen. Kamninsko podlago prekriva od 1,5 do 5 m debela plast deluvija, ki ga tvorijo glina, melj in zaglinjen grušč.

Rudarski del predora dolžine 105m je zasnovan kot dvocevni predor z vmesnim stebrom. Maksimalna višina nadkritja predora znaša cca. 30m. V članku sta prikazani dve rešitvi končne ureditve predora, ki se razlikujeta glede na izbiro podpornih ukrepov za stalno varovanje useka pred in za predorom. Varianta 1 predvideva izgradnjo galerije, katero se po izgradnji delno zasuje in na ta način stabilizira brežine useka. Varianta 2 predvideva izgradnjo trajne oporne konstrukcije (opornega zidu), ki je lahko izvedena v obliki sidranih AB slopov s kamnitim ali betonskimi polnili. Variante rešitve so bile izdelane na nivoju idejnega projekta za potrebe končne izdelave projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja.

ABSTRACT: The layout of motorway Draženci – Gruškovje in the area of tunnel Maceljčica is located in hilly terrain, which is positioned just in front of the Gruškovje border crossing with Croatia. The hilly terrain dictates the layout of the motorway as to cross deep valleys or to pass through deeper cuts in the landscape. The tunnel Maceljčica is the only tunnel on this motorway section and with the length of 153,70m is the shortest tunnel in the Slovenian motorway network.

Regardless of the length, the tunnel is a complex structure, mainly due to the difficult conditions of construction. Due to the short length, the shoulder pass of motorway continues through the tunnel so that the total width of the pavement is 10,50m and not the usual 7,70m. The second reason is the morphology of the terrain, which dictates the use of very large cuts of up to the 27m in height on the north side and above 30m on the south side.

In geological sense the terrain is made of poorly layered and tectonically undamaged sandstone of miocen age, which is weathered from 2m up to 10m depth. In between the layers of sandstone there are thinner inner layers of sandy marl, which is fully under-presented relative to sandstone. The base rock is covered with 1,5m to 5m thick layer of diluvium, which is made of clay, silt and some clayey gravel.

The mined part of the tunnel, which is some 105m long, is designed as the twin tunnel with the inner column. The maximum height of the overburden is some 30m. Two different solutions of the final arrangements for the tunnel layout, which differ in the approach of permanent design solution for the cuts in front of the tunnel are presented in the paper. The first variant involves a gallery, which is built as an cut and cover structure. The second variant involves a permanent retaining structure, which is constructed as a system of the anchored reinforced concrete slopes with the concrete or stone filling. The variant solutions are part of the scheme design stage, which is going to be used for the final design.

UVOD

Predvidena trasa avtoceste na odseku Draženci - Gruškovje poteka po terenu, za katerega je značilen razgiban relief. Potek avtoceste je zaradi tega predviden večinoma v globokih vkopih ali preko premostitvenih objektov. Na delu tik pred mednarodnim mejnim preходом Gruškovje je trasa speljana po dolini potoka Maceljčica v razmeroma zoženem geografskem prostoru. Med stacionažama km 12+574,00 in km 12+727,70 se nahaja edini predor na odseku bodoče avtocestne povezave Slivnica – Draženci – Gruškovje. Dolžina predora je 153,7m, kar ga označuje za najkrajši avtocestni predor v Sloveniji.

Del predora, ki bo izveden v raščenem terenu, je z vidika vizualne bremenitve okolja neproblematičen. Za območja zasnove vhodnih portalov pa je vprašljiv način sanacije in stabilizacije ostanka odkopane brežine, ki je v območju ob portalih meri v višino okoli 30 metrov, kar je možno stabilizirati le z obsežnimi gradbenimi ukrepi. Preboj ceste skozi vznožje raščenege terena hribine je izrazito tangencialnega značaja, kar ima za posledico dolg prehodni del, preden lahko predorska cev doseže stabilen raščen teren. Prehodni del se mora zaradi tehnologije izvedbe odstraniti, kar povzroči grob poseg v naravno okolje. Ker je poseg trajen, obstaja nevarnost, da spremeni naravno okolje v umetno izdelan gradbeni kompleks. Zato je bilo potrebno najti predvsem primeren način izvedbe in končne oblike portalov ter območja ob vhodu v predor, upošteva tudi ekonomski in ekološki vidik.

V fazi idejnega projekta se je preučilo več variant izvedbe predora. Izmed njih sta se izbrali dve varianti, ki sta temeljili na dveh popolnoma različnih gradbenih konceptih. Obe varianti sta se nadaljnjo obdelali, da sta omogočili medsebojno primerjavo, ki je med drugim zajemala velikost in zahtevnost posega v okolje, vizualni vidik končne ureditve ter zahtevnost vzdrževanja. Pri obeh variantah se je na osnovi rekapitulacije investicijskih stroškov izdelala tudi cenovna primerjava. V članku so podane pojasnitve glede izbire variantnih rešitev za podane geološke in geomorfološke pogoje ter osnovni elementi izbrane rešitve, vključno z dokazilom o statični presoji. Pri načrtovanju je bil poseben poudarek na vizualnem zgledu portalnih območjih predora, glede na to, da je to prvi večji objekt na avtocesti, ki ga popotnik sreča po vstopu v Republiko Slovenijo na MMP Gruškovje.

GEOLOŠKO-GEOMEHANSKI POGOJI

Po podatkih iz predhodno izvedenih vrtin (1990-91) in na osnovi pregleda razmer (2008) ter dodatnih geološko-geomehanskih raziskav, ki so bile narejene v obdobju od novembra 2011 do maja 2012, se lahko zaključi, da je strmo pobočje v obeh grapah potoka Maceljčica ter na odprtem vkopu nad dolino prekrito s povprečno 1,0 – 2,0m debelim pokrovom težko gnetnega in

gruščnatega glinastega melja. Globlje je 3 – 5m debela cona delno do izrazito preperele ter razrahljane hribine. Glavno maso pobočja izpolnjuje pretežno fino do grobo zrnat peščenjak, ki v obliki tanjših plasti in leč prehaja v skrilave, peščene in bituminozne laporovce. Prevladujoče dobro vezana hribina nosi lokalno ime Maceljski peščenjak. Podzemne vode v trdnih klastitih ni, računa se le z možnostjo prisotnosti omejenih količin pobočne vode, ki se pretaka skozi razpokane peščenjake. Na odprtem vkopu in na izdankih v grapah so vidni vpadi plasti proti severozahodu pod koti 20 - 40°.

Za potrebe idejnega projekta so povzeti podatki, ki so pridobljeni iz predhodnih raziskav. Na osnovi geoloških razmer smo ločili tri značilne plasti: deluvij, preperel peščenjak in nepreperel peščenjak. Geomehanski parametri so podani v Pregl. 1. Za grušč so ocenjeni na podlagi rezultatov raziskav 2008 v bližnji okolici. Za peščenjak so ocenjeni na podlagi rezultatov laboratorijskih preiskav (1991) ter z uporabo programa RocLab (višina brežine 20m, m_i 17). Osnovna klasifikacija hribinske mase je bila narejena na osnovi GSI indeksa v skladu z metodo, ki sta jo predlagala Hoek in Brown (Hoek in Brown, 1980) oz. Marinos in Hoek (Hoek in Marinos, 2001).

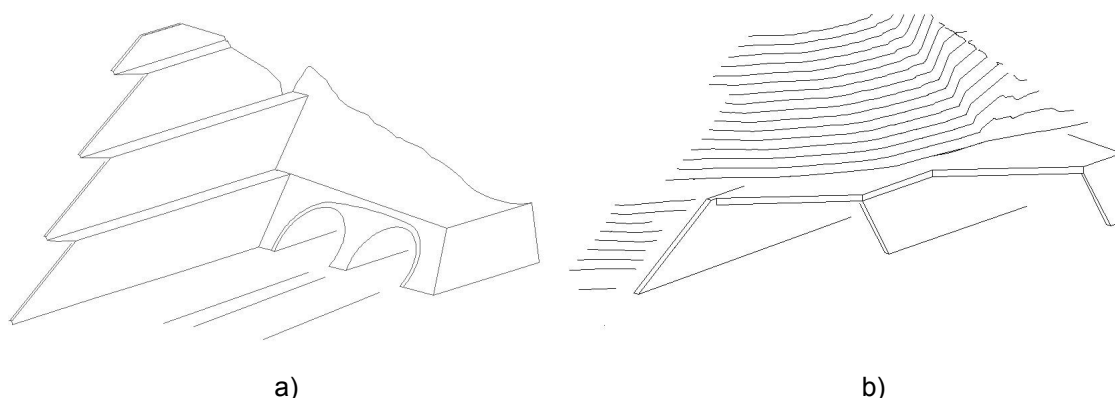
Preglednica 1. Mehanski parametri .

Plast	Material	γ [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [°]	σ_c [MPa]	GSI
1	deluvij	21	0-10	28		
2	preperel peščenjak	26	80	32	15	40
3	peščenjak	26	180	46	30	55

VARIANTNE REŠITVE ZA PORTALNA OBMOČJA

V okviru projektne rešitve je bilo potrebno najti primeren način izvedbe in končne oblike portala predora Maceljčica. Posebna pozornost je bila namenjena območju ob vhodu v predor, upošteva je tudi ekonomski, ekološki in trajnostni vidik projektne rešitve. Predvsem južni portal ima še posebno težo, ker bo igral vlogo vhoda v Republiko Slovenijo.

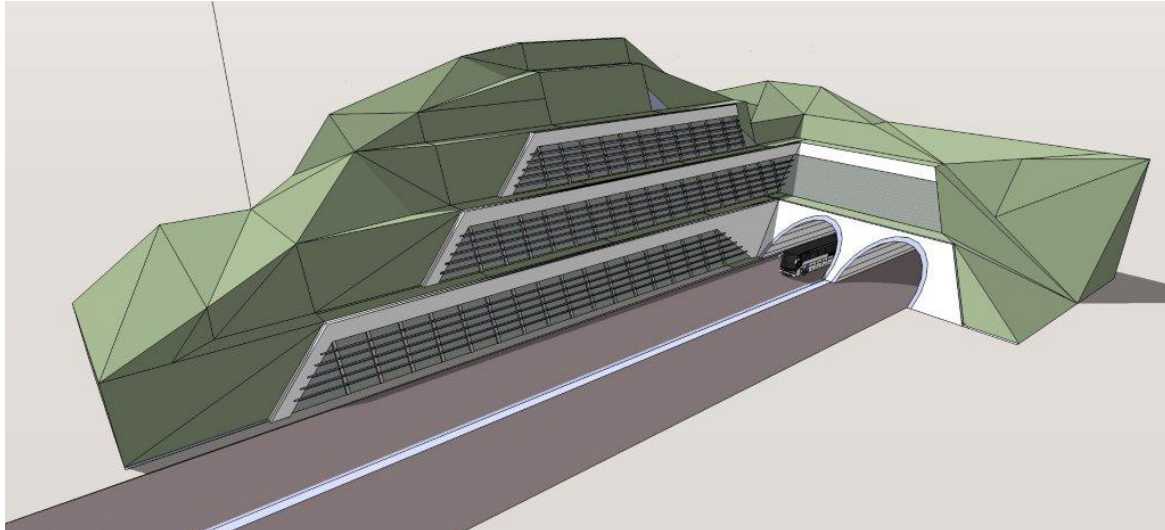
Za območja zasnove vhodnih portalov je vprašljiv način sanacije in stabilizacije ostanka odkopane brežine, ki v območju ob portalu meri v višino okoli 30 metrov. Načina izvedbe portalov sta v splošnem dva, ki sta enaka za oba portala (severni in južni). V dani situaciji sta možni dve različici izvedbe vhoda v predor: a) klasična rešitev, kjer imamo dva elementa, in sicer podporni zid in cevni portal ter b) rešitev dostopa do cevi s preходом v obliki galerije. Oba pristopa sta shematsko prikazana na Sl. 1.



Slika 1. Shematski prikaz mogočih rešitev portalnega območja, in sicer: a) klasična rešitev in b) galerija.

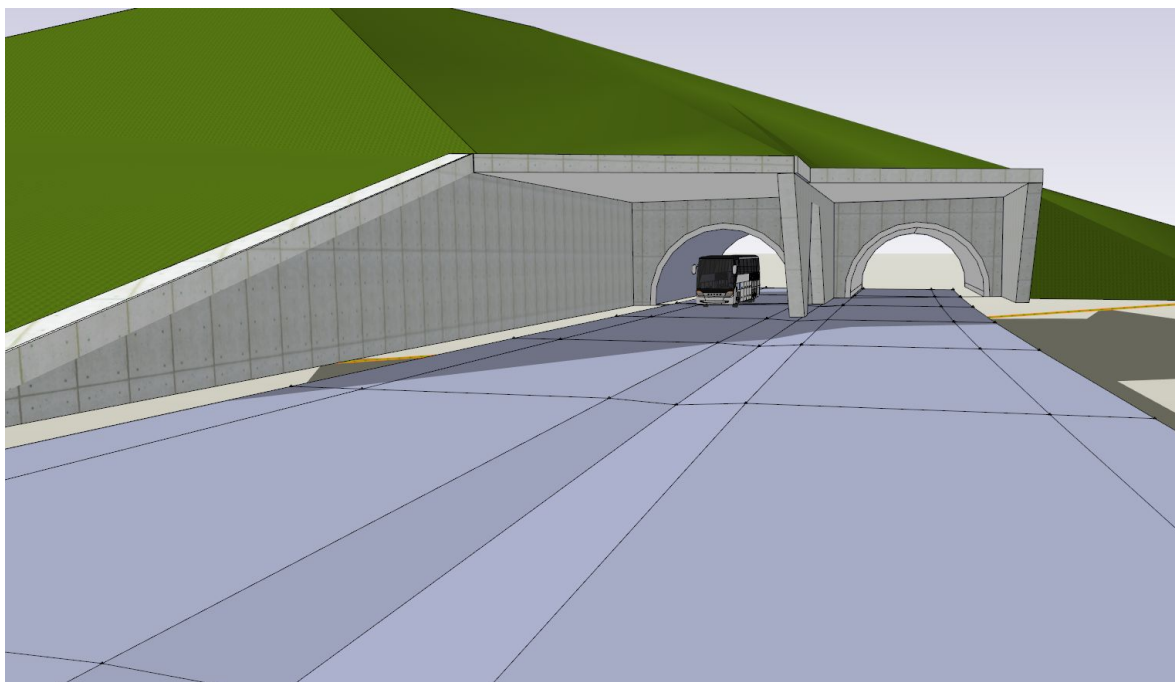
Klasična rešitev je zasnovana na način, da predvideva izgradnjo trajne oporne konstrukcije (opornega zidu), ki je lahko izvedena na dva različna načina in sicer v obliki sidrane AB branaste konstrukcije s kamnitim polnilom ali v obliki sidranih AB slopov z betonskimi polnili (AB plošče).

Stabilnost končnih brežin v danem primeru prevzame oporna konstrukcija, katere jedro predstavlja branasta konstrukcija, sestavljena iz vertikalnih stebrov in horizontalnih gred, ki so s pomočjo geotehničnih sider sidrani v nosilno hribino. Višina opornega zidu na severni strani znaša cca. 28m na južni strani pa cca. 36m. Skupna dolžina podpornih zidov znaša na severu 147,10m, na jugu 169,00m. Oblika portala predora v začasnem predvokpu je v danem primeru izvedena kot klasični cevni portal. Vizualna predstavitev klasične rešitve je prikazana na Sl. 2.



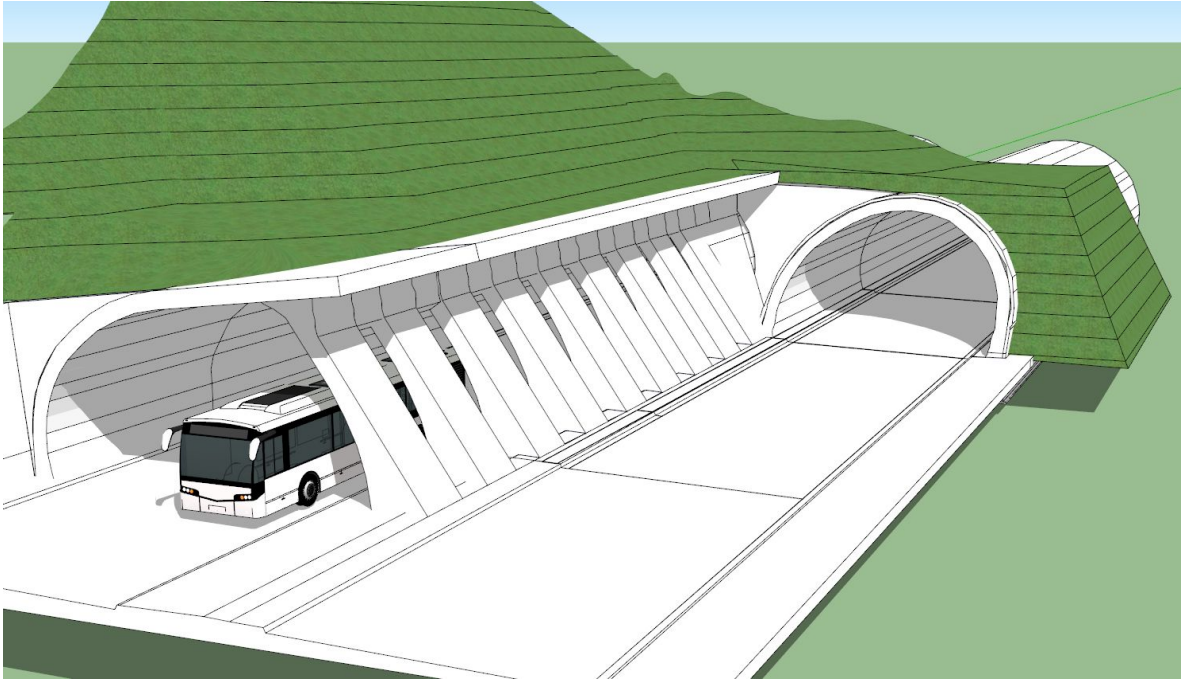
Slika 2. Vizualna predstavitev klasične rešitve.

Druga rešitev predvideva izgradnjo galerije, ki je armiranobetonski podaljšek predora na vstopni in izstopni strani. Galerija se po izgradnji delno zasuje in na ta način stabilizira brežine useka. Njena glavna funkcija je izvedba zasia konstrukcije in s tem izkopa hribinskega useka, izvedenega za čas gradnje predora, s čimer je zagotovljena dolgoročna stabilnost končnih brežin. Možne so različne oblike galerije, na primer škatlaste, ali pa takšna, da deloma ali popolnoma sledi ovalnemu profilu predora. Dolžina galerije (krovne plošče) na vstopni (severni) strani znaša 62,00m, na izstopni (južni) strani pa 75,60m.



Slika 3. Vizualna predstavitev galerije škatlaste oblike.

Na Sl. 3 je prikazana galerija kot poševno prirezana škatlasta konstrukcija, sestavljena iz talne plošče, nosilnih sten in krovne plošče. Predvidena debelina sten znaša 70cm, temeljne in stropne plošče pa 80cm. Na Sl. 4 je prikazana galerija, ki delno sledi obliki tunela in ima v vmesnem delu kolonado, ki daje portalnemu območju posebno vizualno kvaliteto.



Slika 4. Vizualna predstavitev galerije ovalne oblike s kolonado.

Bistvena razlika med konceptoma glede vizualizacije prostora je ta, da z galerijo dosežemo v končni obliki manjši poseg v prostoru, ker galerija s svojo dolžino zakrije oster prehod iz horizontale v vertikalo terena. Istočasno nam galerija rešuje stabilizacijo bočne hribine, ki jo moramo v primeru klasične izvedbe podpirati s kaskadnimi podpornimi zidovi ter utrjevati z geosidri. Pri takšni višini useka je problematično tudi odvodnjevanje meteornih in zalednih voda, ki ga v primeru galerije lažje rešujemo in s tem zagotavljamo večjo varnost prometa ter dolgoročno tudi manjše stroške vzdrževanja brežin. Iz navedenih razlogov je bila galerija izbrana kot rešitev, ki je primerna za obdelavo v naslednjih fazah projekta. Od dveh različic galerije je prednost pri izbiri dobila galerija ovalne oblike z vmesno kolonado, ker izraža manj vsiljen vizualni vpliv na okolje.

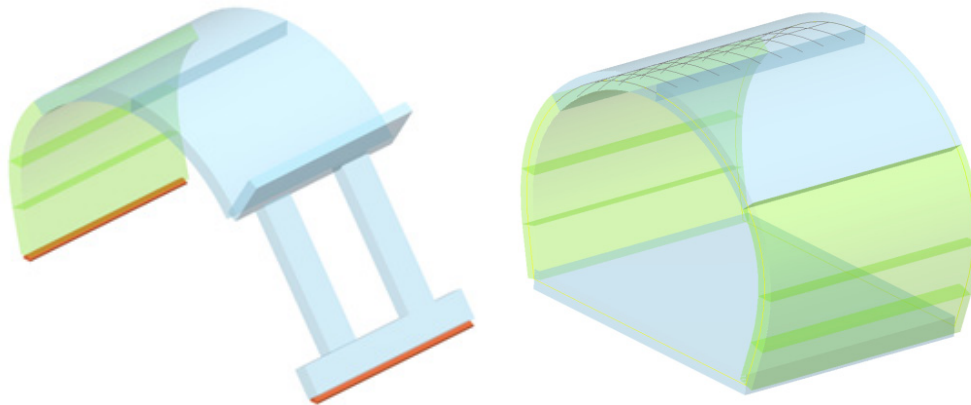
STATIČNA ANALIZA GALERIJ

V okviru idejnega projekta smo izdelali statične analize za dve varianti portalnih konstrukcij. Prva je klasična cevna oblika portalne konstrukcije, druga pa je oblika škatlaste konstrukcije. Med revizijsko obravnavo sta se omenjeni varianti nadomestili z novo različico, ki je kombinacija cevne portala, konstrukcije cevne galerije s kolonado in podpornega zidu.

Analize statične presoje smo opravili s programskim orodjem Tower3D, ki računa po metodi končnih elementov. Računski modeli so bili izdelani kot ravninska ter prostorska modela za cevni portal in cevno galerijo, kot je to prikazano na Sl. 5. Dimenzioniranje in določevanje armature smo ravno tako opravili v programu Tower3D, modul: Dimenzioniranje plošč in gred. Določitev vplivov v konstrukciji in izračun armature je bil opravljen v skladu s standardi SIST EN 1990:2002, SIST EN 1991-1-1:2004 in SIST EN 1992-1-1:2005.

Portalna konstrukcija je zasnovana kot armiranobetonska konstrukcija, kjer so elementi togo povezani. Konstrukcija na severnem portalu je skupne dolžine 62m (od tega 25m cevne portala, 22m galerije in 15m podpornega zidu), na južnem portalu pa 75m (cevne portala 20m, galerije 30m in podpornega zidu 25m). Konstrukcija cevne portala se izvede v omenjeni dolžini na levi in

desni cevi, galerija in podporni zid se izvedeta na desni (notranji) cevi v smeri trase. Cevni portal je širok 14,0m in visok 9,9m. Stenska konstrukcija sledi obliki predora in je temeljena na temeljni plošči. Debelina stene je 40cm, temeljne plošče pa 80cm. Cevna galerija ravno tako sledi obliki predora, le da je na zunanji strani konstrukcije podprta z armiranobetonskimi stebri. Temeljni konstrukcije galerije so pasovni. Debelina stene je 70cm, dimenzija stebrov 150×70cm, razporejeni pa so na medosni razdalji 4,5m. Podporni zid je klasične oblike in spremenljive višine. Naklon zunanje površine zidu je 10:1, širina krone na vrhu je 50cm.



Slika 5. Prostorska modela konstrukcije cevne galerije in cevnega portala.

V statičnih analizah smo privzeli računske predpostavke za linearno plastično obnašanje betonskih elementov ter nelinearno elastično obnašanje zemljine. Iz geološko-geomehanskega pogojev je razvidno, da je konstrukcija na severnem portalu v celoti temeljena na peščenjaku, na južnem portalu pa je delno temeljena tudi na preperem peščenjaku. Za določitev modula reakcije tal smo upoštevali rezultate stabilnostnih analiz, iz katerih je določeno, da za peščenjak znaša $kV = 25000\text{kN/m}^3$ in preperel peščenjak $kV = 8000\text{kN/m}^3$.

Obtežbe, ki smo jih upoštevali v izračunu so: lastna in stalna obtežba, nadomestna temperaturna obtežba zaradi krčenja, promet in zasip. Stalna obtežba je obremenitev polnilnega betona in voziščne konstrukcije nad temeljno ploščo ($42,5\text{kN/m}^2$) in zaščitna plast hidroizolacije na zunanji strani stene ($2,5\text{kN/m}^2$). Obtežba prometa je podana kot površinska obtežba na temeljno ploščo (20kN/m^2) oziroma kot točkovna sila naleta vozila v steber galerije (800kN na višini 2,0m). Krčenje je modelirano z nadomestno spremembo temperature ($-9,3^\circ\text{C}$). Obtežba zasipa je podana z lastnostmi zemljine ($\gamma=22\text{kN/m}^3$, $\varphi=35^\circ$ in $c=0\text{kPa}$). Zasip je enosno simetrična obtežba.

Vplivi v stenah konstrukcije cevnega portala so $M_{\text{max,d}}=1990\text{kNm}$, $N_{\text{max,d}}=-2712\text{kN}$, izbrana glavna armatura na tekoči meter je $10\phi 32$ na zunanji strani in $10\phi 20$ na notranji strani (faktor armiranja znaša $\mu=1,60\%$), v temeljni plošči pa $M_{\text{max,d}}=2130\text{kNm}$, $N_{\text{max,d}}=-622\text{kN}$, izbrana glavna armatura je $10\phi 32$ na zgornji strani in $10\phi 20$ na spodnji strani (faktor armiranja znaša $\mu=1,40\%$). Strižna nosilnost betonskega prereza je zadostna.

POVZETEK IN ZAKLJUČEK

Predvidena trasa avtoceste na odseku Draženci - Gruškovje poteka po terenu, za katerega je značilen razgiban relief, tako da so vstopni in izstopni predvskopi za tunel Maceljčica visoki cca 30m. V okviru idejnega projekta je bilo potrebno za končno ureditev portalnih območij natančno obdelati dve varianti in sicer a) klasično rešitev, kjer imamo dva elementa, in sicer podporni zid ter cevni portal in b) rešitev dostopa do cevi s prehodom v obliki galerije.

Glavna razlika med obema variantama je izbira podpornih ukrepov za stalno varovanje useka pred in za predorom. Izpostavimo lahko naslednje glavne razlike. Pri klasični rešitvi je za zelo razgiban teren, ki ga srečamo pri tunelu Maceljčica, osnovna pomanjkljivost v tem, da zahteva velik poseg v

prostor, ki vizualno ne sovпада dobro z obstoječim terenom. Predvsem motijo trajni podporni ukrepi izkopa. Klasična rešitev dopušča možnost nepredvidenih problemov, povezanih z zagotavljanjem trajne stabilnosti podpornega zidu, pri čemer je potrebno upoštevati, da bo vzdrževanje zaradi tega zahtevnejše in dražje.

Prednosti rešitve z galerijo so v tem, da povzroča manjši poseg v prostor (obseg izkopa je manjši) ter da se vizualno podaljšuje predor, zaradi česar se poseg bolj naravno vključuje v obstoječi teren. Rešitev z galerijo ne zahteva izvedbe večjega stalnega podpiranja izkopa, kar pomeni da je vzdrževanje lažje in cenejše. Statična presoja je pokazala, da je galerija ovalne oblike s kolonado vmesnih stebrov primerna rešitev glede stabilnosti. Zaradi manjšega vizualnega vpliva na okolje je ta tip galerije dobil prednost v odnosu na galerijo v obliki škatlaste konstrukcije, zato bo natančno obdelan v naslednjih fazah izdelave projektne dokumentacije.

LITERATURA

- Hoek, E., Brown, E.T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106(GT9), 1013-1035.
- Jovičić, V., Kosovel, M., Furlan, B., Vesel, G., Muhić, E., Galuf, S., Volk, B., Okorn, M., 2011. Načrt predora 0094-1,081 v km 12+650 (AC), ic 427/11, IRGO Consulting d.o.o.
- Marinos, P., Hoek, E. 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of the Engineering Geology & the Environment (IAEG), 60, 85-92

Elvir Muhić s soavtorji:

Variantne rešitve za tunel in galerijo Maceljčica na AC Draženci - Gruškovje
