

Marko BREZNIK
upok.prof.dr., univ.dipl.inž.gradb., univ.dipl.inž.geol.
Univerza v Ljubljani, FGG, Hidrotehnična smer

NAŠI PREDORI V PERMOKARBONSKIH SLOJIH (drugič)

POVZETEK: V članku razpravljam o načinih gradnje z ozirom na sestav permokarbonskih slojev in trajnost predorov.

Permokarbonski sloji imajo facies glinastih skrilavcev z luskami grafita in tenkimi plastmi peščenjakov. V conah tektonsko spremenjenih skriljavcev so rešili težave z izgradnjo notranje nosilne obloge iz betona ali blokov granita. V faciesu peščenjakov ni bilo težav. Železniška predora Poganik in Karavnake ter cestni predor Ljubljanski grad imajo notranjo nosilno oblogo in po 150, 100 ter 50 letih v izkoriščanju ne potrebujejo večjih popravil.

Novi cestni predori so bili grajeni po Novi avstrijski tunelski metodi (NATM), kjer naj bi bila tudi hribina nosilni element. V odsekih tektonsko spremenjenih skriljavcev so imeli težave v predorih Karavanke, Trojane in Golovec. V odsekih s hribino slabih lastnosti predlagam izgradnjo notranje nosilne obloge.

V zunanjih in plitvih delih predorov je treba upoštevati potresno obremenitev po predpisih, ki je za Ljubljano 25% navpične obremenitve.

OUR TUNNELS IN PERMIAN-CARBONIFEROUS LAYERS (secondly)

SUMMARY: The article deals with the ways of tunnel construction with regard to the composition of Permian-Carboniferous layers and durability of tunnels.

The Permian-Carboniferous layers have the facies of clay slate with sheets of organic graphite and thin layers of sandstone. In the zones of tectonically altered clay slate the problems were solved by building the inner supporting lining made of concrete or blocks of granite. In the facies of sandstones there were no problems. In the railway tunnels of Poganik and Karavanke and the road tunnel of the Ljubljanski grad (Ljubljana Castle) the inner supporting lining was built, and as a result they have not required any major reparations after 150, 100 and 50 years, respectively.

The new road tunnels were built according to the new Austrian tunnel method of construction (NATM), where the weak rock mass also functions as the supporting element. In the sections of tectonically changed clay slate, problems occurred in the tunnels of Karavanke, Trojane and Golovec. In the weak rock mass with poorer characteristics the construction of the inner supporting lining is suggested by the author.

In the exterior and shallow parts of the tunnels, one needs to consider the seismic load according to regulations, which for the area of Ljubljana lay down the 25% vertical load.

GEOLOGIJA IN GEOTEHNIKA PERMOKARBONA

V predoru pod Ljubljanskim gradom, ki sem ga med gradnjo geološko kartiral, so permokarbonski sloji v dveh izrazito različnih faciesih. V severnem 200 m dolgem delu predora so glinasti skriljavci s tankimi vložki peščenjaka in v južnem delu kremenovi peščenjaki in delno konglomerati. Na meji med faciesoma je izrazit prelom, ki je v podaljšku jugovzhodnega roba Brezoviškega tektonskega jarka, globokega nad 100 m, ki se še ugreza, kar dokazuje potres v letu 2003. Podaljšek tega tektonskega jaška je globel med Rožnikom in Ljubljanskim gradom ter ugreznjem permokarbon med Jarškim Brodom, s 70 m proda v vodarni in Šentjakobom.

Geološke razmere hriba ljubljanskega gradu je opisal geolog Grimšičar: »... sestoji iz karbonskih peščenjakov, iz drobastih peščenjakov, ki vsebujejo glinence in iz glinastih skriljavcev, ki so jim primešane organske grafitaste luske ... na vzhodni strani so skriljavci z vložki peščenjakov... na zahodni strani so peščenjaki... tektonsko poškodovane hribine so se kemično razkrajale... glinasta maža tako med plastmi, kot v razpokah ob tektonskih drsah...« (Šuklje, Grimšičar 1954). Iz tolmača geološke karte lista Kranj (1976) citiram: »... Permokarbonski skladi so najstarejši na območju lista Kranj (in Ljubljana, op. Breznik). Sestojajo iz črnega glinastega skrilavca, kremenovega alevrolita, peščenjaka in konglomerata...«.

PREDORI Z NOSILNIM OBOKOM

Železniška predora Poganik in Karavanke

Železniška predora Poganik pri Litiji (1850) in Karavanke (1906) sta zgrajena po stari avstrijski metodi z lesenim oporjem in 1,0 do 1,5 m debelim nosilnim obokom iz blokov granita. Karavanški predor potrebuje manjše popravilo.

Cestni predor Ljubljanski grad

V glinastih skriljavcih v severnem delu cestnega predora Ljubljanski grad (1951-1955) je bil izkop izvršen po belgijski metodi z lesenim oporjem ter betoniran 70 in 100 cm debel nosilni obok. Pred izgradnjo talnega oboka so merili stiskanje predora (konvergenca), po spominu je bilo okrog 15 cm. Predor ne potrebuje popravila. Pol leta po začetku izkopa so se pojavile razpoke na gradu, škarpah poti, na hiši pri vhodu ter v prečnem rovu. Na grajskem poslopju so se razpoke razširile do 4 cm, na dvorišču je počila vodna cisterna, drsna ravnina je imela naklon 26°, razdalja do gradu je bila 160 m. Proti predoru je plazilo vse severno pobočje, razpoke so precizno merili, po izgradnji talnega oboka se je plazenje polagoma umirilo. Sodeloval sem v več komisijah za sanacijo predora in gradu. Pojav je obdelal prof. Šuklje (1954). V južnem 280 m dolgem delu predora v kremenovih peščenjakih so bile sicer tektonske drsne ploskve vendar opiranje ni bilo potrebno, izgrajen je bil izravnalni betonski obok, na površini ni bilo razpok. Tudi ta del predora ne potrebuje popravila.

PREDORI S SAMONOSILNO HRIBINO

Naši novi cestni predori Karavanke, V Zideh, Trojane, Golovec in Šentvid so grajeni po Novi avstrijski tunelski metodi (NATM), citiram: »... katere osnovni princip sloni na izrabi samonosilnih sposobnosti hribin kot inženirski material... da je predor končni proizvod iz tega materiala, da je hribina prav tako nosilen material, ki skupaj z drugimi podpornimi elementi predstavlja stabilno nosilno konstrukcijo...« (Bajželj, Likar 1996, 2).

Cestni predor Karavanke

Pri izkopu so prvi podporni elementi horizontalni koli, ki so ali injektirana hribina, ali jeklene cevi, kjer hribina ni injektibilna, brizgani beton 3 do 5 cm in jekleni loki. Glavni podporni elementi so 6 do 16 m dolga prednapeta jeklena sidra, jeklena armaturna mreža in 30 cm debel brizgani beton, ki ga sklenejo v obok šele po končanem stiskanju predora brez talnega oboka, ki je bilo v karavanškem cestnem predoru (1986-1991) v povprečju 50 in največ 150 cm. V tem predoru je pritisk hribine na sidrno glavo izrnil napenjalno glavo sider skozi betonsko oblogo predora. Ta del sidra so odrezali in izgubili napenjalno silo. Pozneje so uporabljali patentirane natezne glave sider, ki so ohranjale natezno silo pri izrivanju sidra za do 18 cm (Karawanken Strassentunnel 1991). Karavanški predor je bil predan prometu v letu 1991. V letih 1993 do

1995 so v odseku 2,53-2,63 km predora opazili razpoke in dvig cestišča za 17 cm. V tem odseku so permokarbonski skriljavci pregneteni in razmočeni na tektonskem stiku s triadno brečo in permokarbonskim apnencem. Za sanacijo je bilo vgrajenih po 9 prednapetih sider do 1000 kN, dolgih 18 m v razdalji po 4,5 m. Talni obtok debeline 30 cm so razbili in v 5 meterskih odsekih izgradili 1 m debelega MB 30. Takrat sem napisal: »... Očitno so tukaj hribinski pritiski zdrobili talni obtok. Obok v kaloti in bokih pa v razmehčani hribini ne more prevzeti celotnega hribinskega pritiska. Pričakujemo lahko nove težave v tem predoru...« (Breznik 1996). V letih 2003 in 2004 izvajajo nova obsežna sanacijska dela z izgradnjo prednapetih sider. Dela ovirajo promet. Podrobnosti niso objavljene.

Cestni predor V Zideh

Dvopasovni predor V Zideh pod trojanskim grebenom je dolg 247 m. Predor je v permokarbonskih slojih, pretežno v glinastih skriljavcih, ki jih projektant imenuje sedimentno glinasti skrilasti metameljevec, z dvema okrog 1 m debelima slojema peščenjaka in plastmi tektonske gline v prelomnicah. Predor se je dotaknil večjega področja kremenovega peščenjaka, ki ga projektant imenuje metapeščenjak (IRGO 1998). Predor so gradili po NATM z jeklenimi sulicami za varovanje stropa izkopa in s sidri za povečanje samonosilnosti hribine. V dveh kritičnih odsekih dolžine 15 in 24 m so povečali varovanje nad prvotno predvidenega. Izgradili so cevni dežnik (Pipe roof) z injektiranjem cementne malte v skoro vodoravne perforirane jeklene cevi dolžine 15 in 30 m (Ribarič 1997), zaradi zaščite vasi nad predorom. Dela so uspešno končali v letih 1997 in 1998.

Cestni predor Golovec

Razširjeni cevi predora Golovec so v permokarbonskih slojih v težkih razmerah zgradili po NATM v letih 1998 in 1999. Geotehnična spremljava gradnje je pokazala, citiram:«... intenzivno širjenje deformacijskih procesov... Deformacije betonske obloge pred izgradnjo talnega oboka so bile do 20 cm v mesecu in pol ... vzdolžne razpoke v betonskem stropu nastale zaradi stiskanja predora so sanirali z dodatnimi sidri in brizganim betonom... z izkopom in vgradnjo ojačanih podpornih elementov... Relativno toga primarna obloga in spremljajoči sidrni sistem kot sestavna dela primarnega podporja, sta na določenih mestih, kjer je prišlo do manjših prekoračitev nosilnih sposobnosti pokazala, da je prisotno ekstremno napetostno stanje v okoliški hribini in da vplivi gradnje segajo široko na površini nad predorom... Deformacijske spremembe na širšem območju in ugotovljeni vplivi gradnje predorskih cevi ena na drugo so pokazali, da so bili načrtovani podporni elementi kot tudi uporabljeni tehnološki postopki gradnje primerni za dane pogoje...« (Likar 2001). Med gradnjo je na cesti na Orle nastal ugrez globok nekaj decimetrov. Projektanti in graditelji zaslužijo pohvalo za hiter izkop dveh predorskih cevi v težkih geoloških razmerah. Dvomim pa v trajni učinek prednapetih sider zaradi korozije in zaradi konsolidacije hribine med sidrno in napejalno glavo sider, s posledico preobremenitve okrog 60 cm debelega betonskega oboka s cevnim ščitom. V uvoznih in izvoznih odsekih predora bo tudi velika potresna obremenitev.

Cestni predor Trojane

Cestni predor Trojane vrtajo po NATM tretje leto. Poškodbe na hlevu nad predorom so sanirali v zadnjem hipu. V marcu 2004 so prebili še drugo cev. Na parkirišču pod znano gostilno so v betonskih opornih zidovih številne razpoke z vsoto okrog 30 cm, ki dokazujejo plazenje hribine navzdol. Travniki pod parkirišči je pokrit s preluknjano plastično folijo. Gradnja predora je povzročila plazenje hribine proti predoru, ki je na površini vidno v razdalji 70 m od predora.

Cestni predor Šentvid

V letu 2004 so pričeli graditi severni portal predora Šentvid. Permokarbonske plasti so razdeljene po raziskavah iz let 1991 in 1999 ter njihovi klasifikaciji v muljevec in glinasti skriljavec (μ -glCP), v kremenov peščenjak in sljudnat meljevec z laminami glinovca (pemCP), ki imata dobre geotehnične lastnosti in v tektonsko glino s tektonskim zdrobom, ki imata slabe geotehnične lastnosti. Področje predora je v bližini narivne ploskve trnovskega pokrova na hruški pokrov (Fifer, Petkovšek, Petrica 2003). Predvidena je gradnja po NATM. V tektonskih conah predlagam izgradnjo notranjega nosilnega oboka.

Ocena nove avstrijske tunelske metode (NATM)

NATM omogoča lažji in hitrejši izkop, hitro vgradnjo podpornih elementov ter hitro končno izgradnjo predorov. Pomanjkljivosti NATM pa so:

- da se skrajša razdalja med sidrno in napenjalno glavo sider ter s tem zmanjša ali izgubi natezna sila sider v območjih kjer hribina plazi proti predoru.
- da morajo biti vnaprej poznani odseki predora s slabo hribino kjer je potrebna notranja nosilna obloga in zato večji profil izkopa. V izkopanem ter z betonsko oblogo in sidri podprto hribino je nemogoče povečati profil izkopa brez porušitve izgrajenih podpornih elementov.
- da lahko v odsekih predorov s poškodbami kot sanacijo predlaga samo nova daljša prednapeta sidra in odebelitev talnega oboka, za odebelitev zgornje in stranske obloge pa ni prostora. Tako so sanirali odsek 2,530-2,630 km karavanškega cestnega predora leta 1997.

ZAKLJUČNA OCENA IN PREDLOGI

Naše izkušnje

V permokarbonskih slojih so zgrajeni železniška predora Poganik in Karavnake ter cestni Ljubljanski grad, vsi z notranjim nosilnim obokom. Novejši cestni predori Karavanke, V Zideh, Golovec, Trojane in Šentvid so vsi grajeni po Novi avstrijski tunelski metodi (NATM), kjer naj bi s primarnim jeklenim oporjem, s prednapetimi sidri in tanko betonsko oblogo ustvarili samonosilnost hribine.

Ob gradnji naših predorov v permokarbonu smo opazovali naslednje pojave:

- plazenje hribine pod kotom 26° do razdalje 160 m in razpoke na Ljubljanskem gradu, škarpah poti, prečnem rovu in hiši
- dvig cestišča nad 17 cm, sanacijo s prednapetimi sidri in odebelitev talnega oboka v karavanškem cestnem predoru v letih 1993 do 1996
- ponovna dolgotrajna sanacijska dela v tem predoru v letih 2003 in 2004
- plazenje hribine v širšem območju predora Golovec, ugrez ceste na Orle 200 m od južnega portala
- poškodbe hleva, plazenje hribine na parkirišču gostilne in na travniku pod njim na razdalji nad 70 m od predora na Trojanah.

Pri vseh plazenjih hribine proti obstoječi togi notranji oblogi predora

- se zmanjša prednapeta sila zaradi skrajšanja razdalje med sidrno in napenjalno glavo sider
- poveča pritisk na notranjo togo oblogo predorov.

Tuje izkušnje

Postopno plazenje hribine in povečanje hribinskega pritiska na stabilno oviro je povzročilo katastrofo akumulacije Vaillont v Italiji. Večletno plazenje s hriba Toc je zaustavljalo dolomitni greben pred akumulacijo. Avstrijski strokovnjaki so izgradili opazovalne postaje, napisali več ekspertiz, niso pa predlagali delne ali popolne izpraznitve akumulacije. Leta 1963 je narasli pritisk plazu prerezal dolomitni greben, odplaknil vodo v 30 m visokem valu preko 160 m visoke pregrade in porušil polovico 5 km oddaljene vasi Longarone s 1000 žrtvami. Gradbišče pregrade sem si ogledal leta 1958, plazenje, prestrig dolomitnega grebena in nenaden plaz je geomehansko razložil zagrebški profesor Nonveiller, po naročilu občine Longarone.

Dotok 100 do 700 l/s vode v 1,5 km oddaljen in 400 m nižje ležeči raziskovalni rov cestnega predora je zmanjšal vzgon vode v hribini soteske, ki se je stisnila za 20 cm in poškodovala boke 140 m visoke ločne pregrade Zeuzier v Švici. Poškodbe pregrade so sanirali z betonom in smolami, gradnjo cestnega predora so opustili (Schneider 1982).

Novi in stari predlogi

V faciesu glinastih skriljavcev s tenkimi plastmi peščenjakov, ki ga sedaj imenujejo tudi glinovec, metameljevec, muljevec itd., je prednost NATM v izvedbi in času izkopa. V območjih plazenja skriljavcev in predvsem tektonskih glin ter zdroba pa ta metoda ne zagotavlja trajnosti predorske zgradbe. V teh območjih predlagam izgradnjo notranjega nosilnega oboka iz betona ali trajnejšega iz blokov tonalita. V

vrtnah pred čelom izkopa ali bolje v smernem rovu naj bi ugotovili geotehnične lastnosti hribine in področja z nosilnim obokom, kjer bo moral biti večji tudi profil izkopa.

V uvoznih in izvoznih ter plitvih delih naših predorov je treba upoštevati potresne sile. Idrijski potres je leta 1511 porušil rove idrijskega rudnika, ki niso bili globoki, ker so pričeli kopati pred 20 leti. V globini trboveljskega premogovnika niso zaznali ljubljanskega potresa leta 1895. Oboje je v skladu s teorijo širjenja potresnega vpliva, s kompresijo in dekompresijo slojev v globini in valovanjem površine do globine okrog 20 m z obremenitvijo objektov s potresno silo, ki je določena s predpisi.

Na našem področju v permokarbonu je življenska doba najstarejših stavb, cerkva in palač okrog Ljubljanskega gradu 200 do 300 let. Tudi naši podzemni objekti so stari, predor Poganik pri Litiji 150, predor Karavanke 100, predor Ljubljanski grad 50 ter oporni zidovi železnice med Poganikom in Zalogom 150 let. Novi cestni predori v permokarbonu naj bodo grajeni za življensko dobo nad 100 let in odplačani v 30 letih, da ne bomo preveč obremenili bodočih rodov.

V rudarstvu je življenska doba stalnih objektov 10 do 20 let, ker sledijo izkopu rudnega telesa v večjo globino. Pred 10 leti so v velenjskem premogovniku opustili staro črpališče vode v globini 300 m. Po NATM so v globini 500 m izgradili novega. Uporabili so sidra iz steklenih vlaken in poliesterske smole (Hudej in dr. 1996).

Trasa trojanske avtoceste je v 4 predorih skupne dolžine 5,4 km in v viaduktih podobne skupne dolžine, tipična visokogorska cesta z omejeno hitrostjo. Avtocesta se pa dvigne samo za 50 m na višino 450 m. Mnogi smo predlagali geološko in prometno enostavnejšo ter mnogo cenejšo traso s samo enim 4 km dolgim predorom in brez viaduktov, iz doline Koprivnice pri Blagovici v dolino Motnišnice (Kranjc, Zemljič, Gunde 1996).

LITERATURA

- (1) Bajželj, U., Likar, J. (1996,1). Various rock-support analysis in shallow tunnel. 3. Med. pos. o grad. pred. in podz. obj., 55-60.
- (2) Bajželj, U., Likar, J. (1996,2). Gradnja predorov in drugih podzemnih objektov v nizko nosilnih hribinah. 3. Slov. kong. o cest. in prom., 480-487.
- (3) Beguš, T., Fifer-Bizjak, K., Brenčič, M. (1996). Geološke raziskave v železniškem predoru skozi Karavanke. 3. Med. pos. o grad. pred. in podz. obj., Ljubljana, 24-33.
- (4) Breznik, M. (1996) Zablode našega cestnega prometa. Delo, Sob. pril. 2. marca 1996, str. 33, 9. marca 1996, str. 32-33 in 23. marca 1996, pp. 29
- (5) Breznik, M. (1996). Naši predori v permokarbonskih slojih. Raz. 2. pos. slov. geoteh. 2. knj., 81-88.
- (6) Breznik, M. (1997). Kvadratura kroga v trojanskem predoru. Delo, Sob. pril. 28. junija 1997, str. 33 in Delo, Sob. pril. 12. julija 1997, pp. 29, str. 39.
- (7) Breznik, M. (1997). Izognimo se predorom v permokarbonskih skrilavcih. Delo, pril. Znanost 17. decembra 1997, str. 11
- (8) Fifer Bizjak, K., Petkovšek, B., Petrica, R. (2003). Geološke in geomehanske raziskave predora Šentvid. Gradb. v. 15-21.
- (9) Gunde, A. (1996). Izbrana trasa avtoceste čez Trojane je draga, nevarna in dolgoročno škodljiva okolju. Delo Znanost 12. Jun. 1996.
- (10) Hudej, M., Pečovnik, I., Makovšek, B., Riček, F. (1996). Izdelava in sanacija zahtevnih podzemnih in površinskih objektov. 3. Med. pos. o grad. pred. in podz. obj. 169-177.
- (11) IRGO (1998). Predor v Zideh. Delo 19. feb. 1998, str. 3
- (12) Kranjc, M., Zemljič, V., Gunde, A. (1996). Avtoceste v Sloveniji, Ljubljana, 1-55.
- (13) Likar, J. (1997). Kvadratura kroga v trojanskem predoru. Delo, Sob. pril. 12. julija 1997, pp. 29, str. 39
- (14) Likar, J. (2001). Geotehnične in tehnološke posebnosti gradnje predora Golovec. Gradb. v. 57-68.
- (15) Petkovšek, B., Budkovič, T. (1996). Predor Trojane. Rezultati geološko geotehničnih raziskav. 3. Med. pos. o grad. pred. in podz. prost., Ljubljana, 160-167.
- (16) Petkovšek, B., Ločičnikar, A. (1996). Sanacija predora Karavanke na odseku dviganja cestišča v km 2.53-2.63. Raz. 2. pos. slov. geoteh., 1. knj. 119-127.
- (17) Ribarič, M. (1997). Cevni dežnik bo varoval predor v Zideh. Delo Znanost 19. nov. 1997.

- (18) Schneider, T. R. (1982). Geological aspects of the extraordinary behaviour of Zeuzier arch dam. Trans. 14 ICOLD, 2, 601-619.
- (19) Šuklje, L., Grimšičar, A. (1954). Drsljivost tektonsko poškodovanih hribin z glinastimi sestavinami. Gradb. v. 129-134.
- (20) Tauernautobahn, Republiška uprava za ceste (1991). Der Karawanken-Strassentunnel.