

# Geologija avtocestnega predora Pletovarje

## Geology of Pletovarje motorway tunnel (Slovenia)

Tomaz BUDKOVIČ<sup>1</sup>, Magda ČARMAN<sup>1</sup> & Borut PETKOVŠEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
e-mail: tomaz.budkovic@geo-zs.si; magda.carman@geo-zs.si

<sup>2</sup>Zavod za gradbeništvo, Dimičeva ul. 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
e-mail: borut.petkovsek@zag.si

Prejeto / Received 14. 1. 2009; Sprejeto / Accepted 25. 3. 2009

*Ključne besede:* avtocestni predor, greben Pletovarje, Južne Karavanke, Donačka prelomna cona, triasni dolomit, smrekovška serija, tektonika, Slovenija

*Key words:* motorway tunnel, Pletovarje ridge, Southern Karavanke, Donat fault zone, triassic dolomite, Smrekovec serie, tectonics, Slovenia

### Izvleček

Štajerska avtocesta prečka greben Pletovarje skozi istoimenski predor. Seka najvzhodnejši del tektonske enote Južnih Karavank. Glede na kamnine, ki jih je presekal predor, ločimo tri značilne odseke: ožje območje Donačke prelomne cone, sestavljeno iz tektonskih leč različnih litostratigrafskih enot (paleozojske, triasne in terciarne starosti), neplastnat spodnjetriasni dolomit ter na smrekovško serijo oligocenske starosti. Prelomi so večinoma usmerjeni v smeri vzhod-zahod in so subvertikalni.

### Abstract

Styrian motorway crosses the Pletovarje ridge through the tunnel having the same name. It intersects the most eastern extension of the Southern Karavanke tectonic unit. Considering geological conditions, the tunnel could be divided into three sections: the inner Donat / Donačka fault zone composed of tectonic lenses of different lithostratigraphic units (of paleozoic, triassic and tertiary age), massive dolomite (lower triassic) and Smrekovec series of oligocene age. Main faults have east – west direction and are subvertical.

### Uvod

Dvocevni avtocestni predor Pletovarje je del Štajerske avtoceste med Celjem in Mariborom (sl. 1). Vzhodna cev se nahaja med cestnima stacionažama 29 791 m in 30 515 m. Dolga je 724 metrov, najvišje nadkritje nad cevjo pa znaša 138 m. Gradilo jo je podjetje SCT leta 1995. Zahodno cev, dolgo 722 metrov, so leta 1974 in 1975 gradili Italijani. Takrat so izkopali tudi portalni del vzhodne cevi in zaščitili oba portala. Na območju Donačke prelomne cone se je izvajalcu zgodil zrušek do površine.

Geološka zgradba območja predora je zelo peštra, saj ta poteka skozi najbolj vzhodni del tektonske enote Južnih Karavank. Predor seka Donačko prelomno cono, ki ima na listu Celje smer vzhod-zahod oz. je rahlo odklonjena proti severozahodu. Seka tudi pletovarsko antiklinalo, ki jo sestavljajo oligocenske in miocenske plasti.

Prvotna antiklinala (južno krilo) je ohranjena le še na skrajnem zahodnem delu te strukture, med-

tem, ko je proti vzhodu severno krilo odrezano ob Donačkem prelomu (BUSER, 1979).

### Pregled geoloških raziskav območja predora

#### Regionalne geološke raziskave

Podatki starejših geoloških raziskav, ki obravnavajo širše območje, so povzeti iz OGK karte in Tolmača za list Celje (BUSER, 1979).























V drugi polovici 19. stoletja, v obdobju Avstro-Ogrske, so obravnavano ozemlje prvi geološko preučevali Zollikofer, Stur, Hoernes, Teller in Dreger. Takrat je bilo območje zanimivo zaradi rudnikov rjavega premoga (Zreče, Makole), ki so delovali v bližini.

V času Kraljevine Jugoslavije sta nastali razpravi avstrijskih geologov Kieslingerja o Labotski prelomni coni in Winklerja o zgradbi vzhodnega dela Južnoapneniških Alp.



Sl. 1. Dejanski osni prerez in tloris vzhodne cevi predora Pletovarje

Fig. 1. Axial cross-section and ground plan of the Pletovarje tunnel east tube

STAROST AGE	SYMBOL AND LITOLOGIC DESCRIPTION	LITOSTRATIGRAFSKA ENOTA LITOSTRATHIGRAPHIC UNIT	Legenda Legend
KVARTAR QATERNARY	 melišče scree  zaglinjena preperina clayey soil		 30° normalna plastovitost z vpadom normal bedding with dip  50°/30° poševen prelom inclined fault  50°/90° subvertikalen prelom subvertical fault  x x x x porušena hribina tectonised rock  vlažna območja wet areas  ♀ izvir spring  7 solzaj very thin permanent spring  odsek, ki se ruši rock failure zone  x posamezen zrušek single rock failure
MIOCEN MIOCENE	 siv do temno siv, občasno sijudni lapor Grey to dark grey, occasionally mica marl	DOBRNSKI LAPOR DOBRNA MARL	
OLIGOCEN OLIGOCENE	 temno siv lapor Dark grey marl  temno siv drobnoznat peščenjak Dark grey fine grained sandstone  siv in zelen tuf Grey and green tuff	SMREKOVŠKA SERIJA SMREKOVEC SERIES	
TRIAS (?) TRIASSIC (?)	 temno siv, močno skrjav lapor z lečami črnega apnenca Dark grey, fissile marl with black limestone lenses		
	 siv, rumeno in rjavo siv masiven dolomit Grey, yellow to brown grey massive dolomite		
SPODNJI TRIAS LOWER TRIASSIC	 siv plastnat dolomit in apnenec (na površini) Grey, bedded dolomite and limestone (on the surface)  Rdeč glinavec s sadro Red claystone with gypsum	WERFENSKE PLASTI WERFEN BEDS	
SPODNJI PERM LOWER PERMIAN	 temno siv do črn apnenec Dark grey to black limestone  temno siv kremenov peščenjak Dark grey quartz sandstone	ROTNOVEŠKE PLASTI RATTENDORF BEDS	
ZGORNJI KARBON UPPER CARBONIFEROUS	 črn glinast skrllavec Black shale	JAVORNIŠKE PLASTI AUERNIG BEDS	

Obširnejše regionalne geološke raziskave so se pričele po drugi svetovni vojni. Predterciarne kamnine na Konjiški gori je pregledno kartiral A. Ramovš leta 1954. Med leti 1957 in 1960 je Geološki zavod Ljubljana pod vodstvom M. Hamrle raziskoval Mislinjsko-Dravinjsko premogovno območje. V letih 1960 in 1961 so A. Hinterlechner, M. Pleničar, A. Ramovš in Lj. Šribar podrobno kartirali Dravinjske gorice, Vzhodne Karavanke in severovzhodni del Celjske kotline. Karta, ki je prinesla številne nove ugotovitve, je ostala v rokopisni obliki v merilu 1 : 25 000.

V letih 1970 in 1971 je ekipa Geološkega zavoda Ljubljana pod vodstvom S. Buserja kartirala isto območje za Osnovno geološko karto SFRJ 1 : 100.000 – list Celje in v glavnem potrdila rezultate iz leta 1961.

#### Podrobne geološke raziskave za predor

Podrobne geološke raziskave za predor so potekale leta 1969 in 1970 (OGRIN, 1973). Obsegale so geološko, hidrogeološko in inženirskogeološko kartiranje v merilu 1 : 1000 približno 100 metrov širokega pasu nad predorom, izdelavo razkopov in vrtanje geomehanskih ter strukturnih vrtin. Na območju severnega portala zahodne cevi so izdelali štiri razkope in izvrtali šest navpičnih vrtin do nivelete predora, predvsem zaradi večkratnega prestavljanja trase predora. Na južnem portalu so naredili razkop in vertikalno vrtino. Z južnega portala so izvrtali 350 metrov dolgo vodoravno vrtino po osi predora, ki je dala orientacijske podatke o geološki zgradbi.

Geološki prognozni profil je izdelal F. Ogrin leta 1973. Razmere v zahodni cevi predora so napoved v celoti potrdile, zato lahko štejemo to študijo kot eno najboljših pri dosedanji predorogradnji v Sloveniji. Predvidene meje posameznih kamninskih

enot je pri nadkritju 130 m predvidel skoraj na meter natančno.

Za vzhodno predorsko cev ni bilo izvedenih dodatnih geoloških raziskav. Žal nismo mogli dobiti nikakršnih geoloških podatkov spremljave zahodne cevi, ki bi nam bili pri napovedi geoloških razmer v vzhodni cevi v veliko pomoč. Ravno tako nismo mogli dobiti fotografij čel, ki so bila fotografirana po vsakih štirih metrih napredka (STANKOVSKI, ustna informacija).

#### Metodologija geološke spremljave izkopa vzhodne cevi

Geološka spremljava izkopa vzhodne cevi je potekala po vzoru karavanškega cestnega predora (BUDKOVIČ, 1999). Obsegala je litološko, tektonsko, inženirskogeološko in hidrogeološko kartiranje vsakega odstrela na poseben obrazec merila 1 : 100, fotografiranje čela kalote in stopnice, odvzem vzorcev kamnin, beleženje in opredeljevanje zruškov ter izdelavo osnega prereza in tlorisa predora v merilu 1 : 100. Podatki o vseh teh značilnostih, ki jih podajamo v nadaljevanju, so zbrani v neobjavljenem poročilu »Geološka spremljava predora Pletovarje – vzhodna cev«, ki sta ga izdelala T. Budkovič in M. Čarman leta 1996.

Na podlagi podatkov iz predora in s površine smo izdelali dejanski geološki osni prerez in tloris vzhodne cevi v merilu 1 : 1000, ki sta v pomanjšanem merilu prikazana na sliki 1. V kolonah pod osnim prerezom so podani podatki o kategoriji hribine, litoloških značilnostih, litostratigrafski enoti in starosti, strukturnih značilnostih, hidrogeoloških pojavih in geološko pogojenih zruških. Na sliki so z rdečo barvo poudarjene le najmočnejše prelomne cone, ostalih tektonskih elementov z rdečo barvo nismo označili, ker bi sicer slika izgubila preglednost.

## Litološke in tektonske značilnosti posameznih odsekov v predoru

**Tektonsko močno porušene kamnine različnih starosti v ožjem območju Donačke prelomne cone** (stacionaža od 29 791 do 29 975 metrov)

Od severnega vhoda do stacionaže 29 816 imamo podatke samo iz površinskih vrtin, saj je bil portalni del zabetoniran že ob izdelavi zahodne cevi.

Ožje območje Donačke prelomne cone, ki jo predor preči v dolžini okoli 200 m, sestavljajo subvertikalno ležeče leče različnih klastičnih in karbonatnih kamnin, ki starostno segajo od paleozoika do terciarja.

**Kamnine paleozojske starosti** so črn glinast skrilavec, temno siv kremenov peščenjak ter temno siv do črn apnenec. Za opredelitev starosti teh plasti nimamo neposrednih fosilnih dokazov, ampak samo litološko sličnost z onimi z območja zahodnega dela Karavank (OGORELEC et al., 1999). Tam pripadajo **javorniškim in rotnoveškim plastem** zgornje karbonske in spodnje permske starosti. V predoru se pojavijo v nekaj metrov širokih lečah na naslednjih stacionažah:

- od 29 854 do 29 862 kot temno siva tektonska glina iz močno pregnetenih klastičnih kamnin, ki vsebuje dva metra debelo lečo kremenov-sljudnega peščenjaka;
- od 29 868 do 29 882 kot siva tektonska glina z do dva metra debelimi lečami rdečega glinavca, temnosivega laporja in temnosivega kremenovo-sljudnega peščenjaka. Lapor in rdeč glinavec najverjetneje pripadata werfenskim plastem oz. spodnjemu triasu.
- od 29 894 do 29 901 kot močno pregneten črn glinast skrilavec ter tektonske leče svetlo in temnosivega masivnega apnenca.

V manjših, nekaj metrov debelih, tektonskih lečah se omenjene plasti pojavljajo še med stacionažama 29 889 do 29 944 m.

Na površini nad severnim portalom predora se pojavljajo bloki **trbiške breče** spodnje permske starosti, ki nastopa kot tektonski vklešček.

**Werfenske plasti** (spodnji trias) so zastopane z rdečim glinavcem s sadro, sivim plastnatim dolomitom in apnencem (samo na površini) in masivnim dolomitom sive, rumene in rjave barve. Najdemo jih na naslednjih stacionažah:

- od 29 882 do 29 889 kot rdeč skrilav glinavec, vgnete manjše leče svetlo sivega apnenca in črnega glinastega skrilavca (sl. 2);
- od 29 944 do 29 965 kot masiven dolomit svetlo sive, sive, sivo rumene in sivo rjave barve. Dolomit je pretrt in mestoma zdrobljen, s pogostimi tektonskimi drsami.

V obliki manjših tektonskih leč werfenske plasti najdemo še med stacionažama 29 868 in 29 882 ter 29 901 in 29 944.

Med stacionažama 29 925 in 29 940 predor poteka skozi temno siv, močno skrilav lapor z lečami

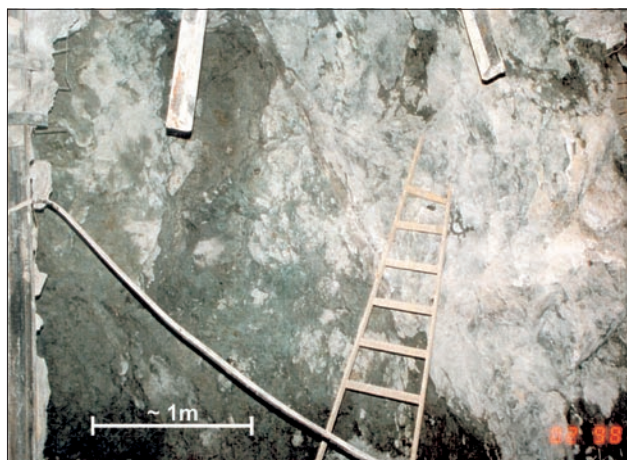


Sl. 2. Subvertikalni tektonski vkleščki werfenskih in karbonsko-permskih plasti v Donački prelomni coni, kalota na stacionaži 29 885 m

Fi. 2. Subvertical tectonical lenses of werfen and carboniferous-permian beds inside the Donat fault zone, head at chainage 29 885 m

črnega apnenca, rdeč keratofir z rdečim in zelenim keratofirskim tufom (verjetno iz srednjega ali zgornjega triasa, med 29 964 do 29 975 pa skozi črn skrilav lapor z do meter velikimi lečami črnega plastnatega apnenca.

Siv in zelen tuf **Smrekovške serije** (oligocen) nastopa v ožjem območju Donačke prelomne cone med stacionažama 29 820 in 29 841 (sl. 3).



Sl. 3. Tektonska leča tufa iz Smrekovške serije v Donački prelomni coni, stopnica na stacionaži 29 823m

Fig. 3. Tectonical tuff lense, Smrekovec series in Donačka fault zone, bench at chainage 29 823m

**Dobrnski lapor** miocenske starosti (siv do črn, občasno sljudnat laporovec z vložki peščenjaka) se pojavlja na več mestih v ožjem območju Donačke prelomne cone. Debelejše tektonske leče teh kamnin najdemo na naslednjih stacionažah:

- od 29 841 do 29 854 temno siv sljudni laporovec, močno skrilav, z lečami meljevca;
- od 29 862 do 29 868 temno siv do črn, skrilav do pregneten sljudni laporovec;
- od 29 901 do 29 915 temno siv skrilav sljudni laporovec z vgnetenimi lečami peščenjaka in dolomita.

**Spodnjetriasni dolomit**  
(stacionaža od 29 975 do 30 123 metrov)

Ta dolomit ni tipičen za werfenske plasti, zato smo ga izdvojili kot posebno litostratigrafsko enoto. Je neplastnat, temno sive, rjavo sive, rumeno sive in svetlo sive barve (sl. 4). Dolomit je zdrobljen ter delno spremenjen v milonitno moko. Milonitizirane cone so široke od nekaj decimetrov do nekaj metrov. Med stacionažama 30 110 do 30 125, kjer je dolomit plastnat, smo ugotovili prevrnjeno sinklinalo, katere osna ravnina vpada na sever.

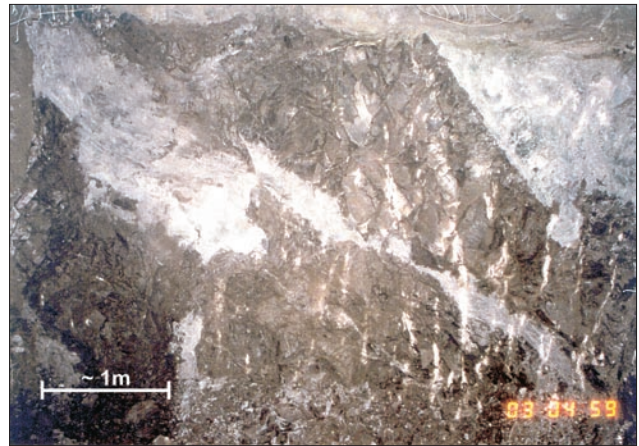


Sl. 4. Zdrobljen dolomit (spodnji trias), kalota na stacionaži 30 065 m

Fig. 4. Crushed dolomite (lower trias), head at chainage 30 065 m

**Smrekovska serija** (oligocen)  
(stacionaža od 30 123 do 30 497 metra)

Omenjeno litostratigrafsko enoto gradijo temno siv laporovec in glinavec, temno siv sljudnat in drobnozrnat peščenjak ter sivozelen tuf (sl. 5). Med stacionažama 30 123 in 30 164 m poteka predor skozi temno siv masivni glinavec in laporovec. Do stacionaže 30 213 sledita siv in zelen tuf ter temno siv laporovec. Plasti vpadajo proti jugovzhodu in severovzhodu. Med stacionažo 30 213 in 30 292 se menjavajo več kot meter debele plasti temno sivega laporovca, temno sivega peščenjaka ter sivega in zelenega tufa, ki vpadajo strmo na sever. Do že leta 1975 zabetoniranega južnega portala na stacionaži 30 496 prevladuje temno siv, večinoma



Sl. 5. Vložki svetlo sivega tufa v drobnozrnatem peščenjaku, stopnica na stacionaži 30 459 m

Fig. 5. The light grey tuff inclusions in sandstone, bench at chainage 30 459 m

drobnozrnat peščenjak, brez izrazite plastnatosti, z več kot meter debelimi lečami sivega in sivozelenega tufa. Laporovec praktično izgine. Leče tufa vpadajo strmo na sever ali jug, oziroma so subvertikalne, od stacionaže 30 460 naprej pa vpadajo na jugozahod.

### Hidrogeološke razmere v predoru

Hidrogeološke razmere pred gradnjo je podal OGRIN leta 1973. Glavni vodonosnik je dolomit pletovarskega grebena, ki pa so ga odvodnili z gradnjo zahodne cevi. Hidrogeoloških opazovanj iz časa gradnje zahodne cevi nismo uspeli izslediti.

Največji vodni dotok v vzhodni cevi se je pojavil iz izolirane dolomitne leče, ki je tektonsko vkleščena v Donački prelomni coni na stacionaži 29 925 m. Dotok je znašal 2 l/s. Na odseku skozi glavni dolomitni masiv se v vzhodni cevi pojavljajo le močila. V vodi nismo ugotovili snovi, ki bi bile agresivne na beton.

### Stabilnost predora

Gradnja predora je potekala po novi avstrijski metodi gradnje predorov (NATM). Ta metoda vključuje opazovanje stabilnosti predora s pomočjo meritev premikov, ki so v vzhodni cevi potekale v 26 merskih profilih. Največje vrednosti konvergenč so se pojavljale v ožjem območju Donačke prelomne cone na odseku, ki ga gradijo paleozojske klastične kamnine. Na tem odseku so bili vgrajeni trije merski profili, kjer so izmerili največje vrednosti konvergenč 1,7 cm (PETKOVŠEK, 1996; PETKOVŠEK & BUDKOVIČ, 1996). Tudi največji posedki stropa so se pojavili v tem delu. Posedek je malenkostno presegel vrednost 4 cm. Zaradi izdatnih podpornih ukrepov v tem delu predora ni prišlo do podobnih zruškov, kot pred 35 leti pri gradnji zahodne cevi, kjer je največji zrušek segal do površine (SOVINC, 1978).

Zaradi ocenjevanja vpliva izkopa vzhodne cevi je bilo v zahodni cevi vgrajenih šest merskih pro-

filov. Izkazalo se je, da gradnja vzhodne cevi ni vplivala na že obstoječo cev.

### Zaključki

Predor Pletovarje je del Štajerske avtoceste. Geološke raziskave pred gradnjo zahodne cevi so obsegale podrobno geološko kartiranje, izdelavo razkopov, vrtnanje nekaj plitvih vrtin na portalih ter 350 m dolgo vodoravno vrtino, izvrtano po osi predora. Pred izkopom vzhodne cevi dvajset let kasneje ni bilo dodatnih raziskav. Geološka spremljava vzhodne cevi je potekala neprekinjeno. Po podatkih spremljave smo izdelali dejanski geološki prerez in tloris vzhodne cevi.

Predor seka najvzhodnejši del tektonske enote Južnih Karavank. Poteka skozi Donačko prelomno cono in Pletovarsko antiklinalo. Od severa proti jugu prečka tri različne odseke:

- a) notranji del Donačke prelomne cone, ki je kompleksno sestavljen iz tankih subvertikalnih tektonskih leč karbonskih, permskih, triasnih in terciarnih kamnin, v dolžini 184 m;
- b) spodnjetriasni dolomit v dolžini 148 m;
- c) Smrekovško serijo oligocenske starosti (lapor, peščenjak, tuf) v dolžini 374 m.

V predoru prevladujejo strmi prelomi smeri vzhod–zahod. Izjemna tektonska porušena kamnin je posledica premikov ob Donački prelomni coni.

Vodni dotoki v vzhodni cevi so bili majhni, saj so dolomitni masiv pletovarskega grebena odvodnili že z izgradnjo zahodne cevi. Edini izvir z izdatnostjo 2 l/s se je pojavil ob prebitju karbonatne tektonske leče v notranjem delu Donačke prelomne cone.

Glede stabilnosti predora je najbolj kritičen odsek pri gradnji predora predstavljal izkop skozi notranji del Donačke prelomne cone. Pri gradnji zahodne cevi pred skoraj 35 leti je v tem območju nastal velik zrušek vse do površine. Tudi v vzhodni

cevi so se v tem delu pojavili večji posedki stropa, ki pa se zaradi takojšnjega ojačanega podpiranja niso razvili v večje zruške.

### Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo tehnični sodelavki Vidi Pavlici za pripravo prečnega in vzdolžnega profila predora Pletovarje za tisk.

### Literatura

- BUDKOVIČ, T. 1999: Geology of the Slovene Part of the Karavanke Road Tunnel. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt (Wien)* 56/2: 35–48.
- BUDKOVIČ, T. & ČARMAN, M. 1996: Geološko geotehnična spremljava predora Pletovarje, leva – (vzhodna) cev. *Geologija*. Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana (neobjavljeno).
- BUSER, S. 1979: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, Tolmač za list Celje. Zvezni geološki zavod Beograd, 1–62.
- OGORELEC, B., OREHEK, S. & BUDKOVIČ, T. 1999: Lithostratigraphy of the Slovenian Part of the Karavanke Road Tunnel. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt (Wien)* 56/2: 99–112.
- OGRIN, F. 1973: Inženirsko geološki pogoji za gradnjo avtoceste med Žičami in Dramljami. Diplomsko delo. Knjižnica odseka za geologijo NTF, Ljubljana.
- PETKOVŠEK, B. 1996: Geomehanske meritve v predoru Golo rebro. Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana (neobjavljeno).
- PETKOVŠEK, B. & BUDKOVIČ, T. 1996: Underground crossing of one of the strongest fault zones in Slovenia. 3. mednarodno posvetovanje o gradnji predorov in podzemnih prostorov, 26.–28. 9. 1996, 117–125, Ljubljana.
- SOVINC, I. 1978: Geomehanske meritve pri gradnji predora Pletovarje v oligocenskih laporjih. *Gradbeni vestnik*, 27/ 6: 114–119, Ljubljana.