

## Geološka spremljava izgradnje predora Stanjevci

### Geology control at excavation of the Stanjevci tunnel

Tomaž BEGUŠ<sup>1</sup>, Klemen SOTLAR<sup>1</sup>, Robert HOBLAJ<sup>1</sup> & Mihael BRENČIČ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geoinženiring d.o.o., Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup> Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

*Ključne besede:* predor, nevezani sedimenti, inženirsko geološka spremljava, Slovenija, Prekmurje

*Key words:* tunnel, soil, engineering geology control, Slovenia, Prekmurje

#### Kratka vsebina

Izkop železniškega predora Stanjevci je potekal po nevezanih srednje pliocenskih sedimentih: prodih s peski, meljih in glinah. Plasti v predoru potekajo skoraj vodoravno. Zaradi primernih podpornih ukrepov je izkop potekal brez večjih težav. Omenimo pa naj pojave nestabilnosti v obliki praznjenj z vodo zasičenega peska, na južnem pokritem vkopu, v začetni fazi gradnje predora in težave zaradi naleganja podporja na slabo nosilno razmočeno plast gline, ki je kulminiralo z rušenjem stopa kalote do površine. Konvergence so v normalnih razmerah, v povprečju, dosegale velikostni red 50 mm, le v območju zruška smo beležili deformacije do 784 mm.

Avtorji članka smo vseskozi sodelovali pri raziskavah in spremljavi izkopa predora Stanjevci, zato smo primerjali prognozne parametre s tistimi, ki smo jih pridobili s spremljavo. Predvideni in dejansko opazovani zemljinski razliki in njihove lastnosti se med seboj dobro ujemajo. Glavna razlika je opazna pri interpretaciji vpada plastovitosti. Razlika je nastala zaradi značilnega razvoja procesa preperevanja in s tem povezane spremembe barve gline s sive v rjavo, kakor tudi zaradi lateralnih sprememb vzdolž posameznih plasti.

#### Abstract

Railway tunnel Stanjevci between Murska Sobota and Hodoš in northeastern part of Slovenia passed Pleistocene soil layers: sand with gravel, silt and clay in subhorizontal orientation. The construction problems in tunnel arised due to some parts of liquid sands and low bearing capacity of saturated contact between clay and sand layers. In article we compare geological cross-section from investigation phase with cross-section after contruction phase. We found greatest difference in orientation of layers because of discoloured weathered clay layers.

#### Uvod

Pedor Stanjevci na železniški progi med Mursko Soboto in Hodošem je bil zgrajen v prvi polovici leta 2000. Pedor je dvotirni železniški predor med Puconci in Hodošem. V začetni fazi je bil zgrajen en železniški tir.

Pedor seka hrib Majorec, severno od Mačkovcev, poteka pa v smeri jugozahod (smer Mačkovci) – severovzhod (smer Hodoš). Pred predorom sta dva pokrita vkopa v dveh pilotnih galerijah. Izkop predora se je izvajal po novi avstrijski metodi in je potekal v več stopnjah: najprej kalota, izdelava začasnega

talnega oboka, nato stopnici in talni obok. Predor je dolg 320 metrov, površina prečnega prereza znaša 110 m<sup>2</sup>. Višina nadkритja je največ 28 metrov. Začetek izkopa je bil 31.1.2000. Preboj kalote je bil na st. 55+507 dne 28.5.2000 ob 20<sup>00</sup>. Zaključek stopnice je bil dne 6.7.2000.

### Splošna geološka slika območja Goričkega

Površje Goričkega prekrivajo v glavnem mladoterciarni sedimenti. Med Kučnico in Lendavo prevladujejo sedimenti miocenske starosti, medtem ko nastopajo v osrednjem in vzhodnem delu sedimenti pliocena, tako morskega in brakičnega, kakor tudi rečnega in jezerskega izvora. Izjema v tem prostoru so metamorfozirani, filitom podobni paleozojski skrilavci, ki izdajajo na skrajnem severozahodnem delu Goričkega v okolici Sotine in bazaltni tufi v okolici Grada, ki so v povezavi z najmlajšim vulkanskim delovanjem v Sloveniji in pripadajo spodnjemu in srednjemu pliocenu.

Srednje pliocenski sedimenti so se usedali v rečnem, močvirskem in jezerskem okolju. Prevladujejo peski in prodi, pri katerih opazujemo neenakomerno velikost zrn, proces sortiranja pa je relativno slabo razvit. Kričulja koeficientov asimetrije in granulometrije kaže na neenakomerno dinamiko usedanja, kjer se je odlaganje vršilo s hitrim in neenakomernim transportom v plitvi obrežni sredini, kjer je dotok rečnega materiala velik.

Ti mladi klastični sedimenti povečini še niso sprijeti in jih opazujemo v različno debelih plasteh, ki se med seboj ločijo po granulometrijski sestavi. Spremembe v granulometriji sedimenta lahko v tem prostoru pripišemo spremembam transportne moči voda, ki so bile transportno sredstvo klastičnim delcem.

Granulacijski različki so sedimentirani normalno, torej debelina zrn po stolpcu z višino upada. V prodno peščenih plasteh smo večinoma opazovali navzkrižno plastovitost (slika 1), vzrok temu pa so spremembe smeri rečnega toka.

Na stiku med spodaj ležečo glino in zgornjo prodno peščeno plastjo, ali v prodno peščeni plasti, smo pogostokrat opazovali limonitne oziroma manganske skorje, ki so verjetno nastale zaradi prekinitev sedimentacije.



Slika 1: Navzkrižna plastovitost, stacionaža 55+270 v galeriji levo

Ob takih prekinitev površina plasti korodira in jo poselijo sesilni organizmi. Nastanek limonitne skorje na zgornjem kontaktu neprepustne gline je lahko vezan tudi na migracijo talne vode, ki na svoji poti navzdol po prodno peščenih plasteh raztaplja železove minerale, na glinasti barieri pa se zaradi prenasajenja oziroma zastajanja vode ti minerali izločajo na zrna prodnikov in tako tvorijo tudi do 5 cm debele skorje.

### Geološka spremljava predora

Geološka spremljava izkopa predora je potekala ves čas izgradnje. Poleg spremljave v predoru je obsegala občasne preglede nekaterih pojavov na površini, ki so bili v neposredni povezavi z dogajanjem v predoru. Delo je bilo usmerjeno na zagotavljanje čim bolj kvalitetnih podatkov izvajalcu, verifikiranju prognoziranih razmer, izdelavi geološkega profila in prognozi razmer pred posameznimi izkopnimi fazami. Spremljavo med izkopom je izvajal geolog v dnevni iz-



meni, občasno tudi v nočni izmeni. Delo je obsegalo naslednje tematske sklope:

- o pregled geoloških značilnosti izkopnega čela trenutno aktivnega delovišča. Popis se izvaja na delovni list, glavne značilnosti se vpišejo v knjigo geološke spremljave, ki jo na vsakodnevni operativni sestanki pregleda odgovorni vodja del in nadzor. Na teh sestankih smo podali pregled geologije, in prognozo razmer na trasi.

- o fotodokumentacijo izkopnih čel;

- o rezultati tedenskega pregleda razmer so bili podani v tedenskih geoloških poročilih, kjer so bile podane glavne geološke, hidrogeološke in geotehnične značilnosti dogajanja v predoru. V tlorisne in prerezne karte smo vnašali napredke in geološke značilnosti sproti napredujočega predora;

- o za vsak konvergenčni merski profil smo predstavili tudi geološko sliko območja, prikaz teh prereзов je podan v sliki št.5.;

- o hidrogeološka spremljava je obsegala tedenski pregled vseh vodnih pojavov v predoru, meritve pretokov in vzorčevanja vode;

- o na površini smo večkrat spremljali nekatere parametre (širjenje razpok na plazu nad južnim delom predora, ...);

- o v primeru izrednih dogodkov smo se vključili v proces izdelave projektnih rešitev.

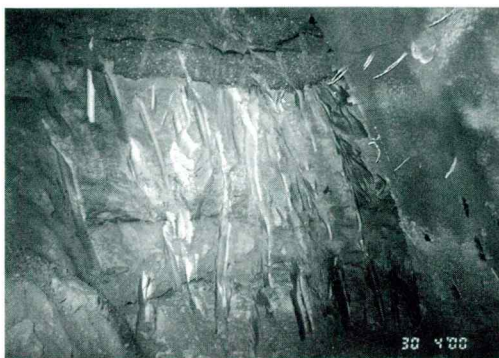
### Opis kartiranih enot

Obravnavano območje predora gradijo klastični nevezani sedimenti srednjega pliocena, ki smo jih že v fazi raziskav glede na prevladujočo granulometrično sestavo razdelili v tri vrste: v prode s peski, melje in gline.

### Prodi in peski

V plasti prodov in peskov nastopajo drobno, srednje in grobozrnati kremenovi peski. Srednja vrednost premera zrn je 0,51 mm, velikost zrn pa variira od 0,02 do 5,1 mm. Maksimalna velikost premera proda znaša 15 mm. V teh plasteh je lepo izražena navzkrižna plastovitost. Pesek je po večini gost in zbit.

Plasti proda in peska zaradi svojih hidroloških lastnosti predstavljajo vodonosne horizonte v predoru. Zasičenje plasti z vodo je večinoma segalo od 0,3 do 0,5 m visoko od kontakta z neprepustno glino. Zaradi niz-



Slika 2: Značilna opazovana litološka sekvenca v predoru Stanjevci. V spodnjem delu kalote siva glina, nad njo približno 3m debela plast melja rjave barve, nad njim pa prod rjave barve z limonitno skorjo. Kalota jug st. 55+593.

kega gradienta so bili iztoki vode večinoma v obliki solzenja, le redko se je voda pojavljala v obliki tečenja. Prisotnost vode je bila zelo moteča predvsem v smislu mehčanja tal kalote, kot podlage na katero je nalegalo primarno podporje. Vtoki vode reda velikosti do 0,5 l/min so se pojavljali predvsem pri napredovanju na začetnih delih predora. Do hipnega praznjenja z vodo zasičenih delov zemljine – nastanka tekočih peskov, kateri so bili prognozirani, je prišlo samo enkrat, v kasnejših primerih smo strop kalote ščitili z zabitimi jeklenimi deskami. Taki nenadni dotoki vode so se hitro umirili. Za vodo je značilna nizka mineralizacija in prisotnost agresivne ogljikove kisline. V območjih intenzivnega delovanja pretakanja vode se izloča limonit.

Pliocenski peski in prodi vsebujejo minerale magmatskega izvora, metamorfnih in sedimentnih kamnin. O magmatskem izvoru pričajo zrna kremenca, glinencev, magnetita, ilmenita, cirkona in rutila. Zrna, ki izvirajo iz metamorfnih kamnin predstavljajo granati, staurolit in muskovit, medtem ko iz starejših sedimentnih kamnin izvirajo zrna cirkona, rutila, turmalina, mikrokristalnega kremenca in drobcji roženca.

### Melji

Prodi in peski prehajajo v granulacijsko bolj drobne zemljine: meljaste peske, melje in meljne gline (ML-MI). Zaradi delovanja

vode so ti zemljinski različki bolj ali manj oksidirani in zato značilne rjave in rumeno rjave barve. Zemljina je zbita. Te bolj pestre granulacijske različke smo imenovali melji.

Značilno za melje je, da so bili prehodi v glino ali pesek postopni in so vedno nastopali kot vmesni člen med skrajnima granulacijskima različkoma. Postopni prehodi pričajo o neprekinjeni sedimentaciji. Pojavljanje stikov med glino in prodno peščeno plastjo kaže na to, da je bila sedimentacija za določen čas prekinjena in hkrati spremenjeno okolje sedimentacije oziroma energijski režim vode. Melji so slabo vodoprepustni, vendar smo jih pogostokrat opazovali in opisovali kot vlažno zemljino.

### Gline

Melji navzgor prehajajo v zadnji granulacijski različek v sekvenci, v glino (CI-CH trdne konsistence). Prehod je postopen. Glina je sive ali rjave barve, kar je odvisno od granulacijske sestave, oziroma odstotka vsebnosti meljne ali peščene komponente, ki je bolj dovzetna do procesov preperevanja. Prevladovala je meljna glina.

### Inženirsko geološka slika predora

Začetek izkopa predora je potekal z južne strani od stacionaže 55 + 305 z dnem 31.01.2000. Začetek izkopa stopnice na tej stacionaži je 02.05.2000.

V stropu kalote smo ob izkopu opazovali sivo glino, ki je navzdol postopno prehajala v glinene in kasneje v peščene melje. Debelina meljne plasti je bila ugotovljena na 2,0 m. Navzdol je nastopala prodno peščena past z izrazito navzkrižno plastovitostjo, debeline skoraj 3,0 m in je segala skoraj do tal kalote. V levem boku je bil kontakt s spodaj ležečo, zaporno, plastjo sive gline na višini 0,6 m, medtem ko je bil v desnem boku isti kontakt na 0,3 m višine od tal kalote. Ob kontaktu se je pojavljala limonitna skorja. Voda se je ob kontaktu izcejala predvsem v levem boku, kar je potrjevalo napovedi o hidrogeoloških razmerah v predoru iz leta 1998. Zaradi razmakanja sive glinene plasti v tleh kalote je dne 13.2.2000 prišlo do hipnih posedanj podporja in posledično rušenja kalote na stacionaži 55 + 329.

V nadaljnjih izkopih kalote smo dobili grobo oceno o prostorski usmerjenosti plasti, ki so za razliko od napovedanih vpadale pod zelo majhnimi naklonskimi koti proti severovzhodu. V začetnem delu do stacionaže 55 + 351 je bil položaj plasti v kaloti praktično enak vendar s še vedno izraženim naklonom proti severovzhodu, kar je pomenilo, da s predorom napredujemo vzporedno s smeritvijo plastovitosti.

Od stacionaže 55+351, kjer smo dne 5.3.2000, v stropu prvič predrli glineno plast in opazovali razmočeno plast peskov in prodov v krovnini, smo na st. 55+356,5 doživeli praznjenje horizonta v obliki tekočih peskov.

Med stacionažo 55+364 in 55+370 se je kontakt v stropu nekoliko dvignil, vendar od tu naprej jasno opazujemo spuščanje kontaktov v stropu kakor tudi v tleh kalote, kar smo potrdili tudi z izkopom stopnice v nadaljevanju, kjer so se peski in prodi najprej pojavljali v desnem boku, kot pač vpadajo plasti.

Od stacionaže 55+370 naprej, lahko govorimo o jasnem poteku kontakta, ki smo ga opisovali v stropu, proti niveleti tal kalote na koncu predora (stacionaža 55+625). To pomeni, da se je kontakt med zgoraj ležečo prodno peščeno plastjo in spodnjo glineno, oziroma meljno glineno plastjo (zaradi lateralnih sprememb) na razdalji 255 m spustil za približno 5 m.

Hkrati z zgornjim kontaktom, ki smo ga opisovali od st. 55+351, se je spodnji kontakt med zgoraj ležečo prodno peščeno plastjo in spodnjo sivo glino, katerega smo opazovali v višini tal kalote (v prvem izkopnem profilu), prav tako pojavljal do st. 55+370 v tej višini z posameznimi oscilacijami, ki niso presegle 0,5 m. Od st. 55+370 naprej se je kontakt med granulacijskima različkoma postopoma spuščal proti spodnji niveleti izkopa predora, in jo dosegel na st. 55+613, t.j. 12 m pred koncem tunela. Zato je v območju pojavljanja spodnje glinene plasti v izkopu za talni obok prihajalo do razmeroma velikih iztokov vode. Največji iztoki so se pojavljali med stacionažama 55+550 in 55+590, kjer smo zabeležili izdatnost velikosti nekaj l/s.

Opazovanje dveh – zgoraj opisanih kontaktov, ki sta bila zaradi kontrastnosti različkov, v času izkopa predora, orientirni točki, je odločilno pripomoglo k jasnejšemu vpogledu v vzdolžni prerez izkopa predora. Kontrastnost teh kontaktov, je posledica spre-



njenih geoloških pogojev v času intenzivnega zapolnjevanja umikajočega Panonskega bazena.

Voda, ki se je vseskozi pojavljala v območju kontaktov med neprepustno glino ali meljem in vodonsnimi horizonti peskov in prodov, je povzročala obilico težav, ki pa so bile zaradi doslednosti izvajalca vedno obvladljive.

Plasti v predoru na območju južnega portala predora vpadajo proti jugozahodu, medtem, ko so v predoru vpadale proti severovzhodu pod zelo blagim ( $3\text{--}5^\circ$ ) kotom. Tako smo v predoru sledili med napredkom rahel vpad od levega dela (gledanje po stacionaži) proti desnemu. Tako je bil tudi dotok vode usmerjen v tej smeri. Na območju pred pokritim vkopom na severni strani smo opazovali vpad plasti proti severu pod blagim kotom,  $80/10$ .

### Hidrogeološke razmere v predoru

Predor je zgrajen nad regionalno gladino podzemne vode. Voda se pojavlja nad zapornima plastema gline v produ in pesku. Največji dotoki vode so se pojavili na območju zadnjih metrov izkopa talnega oboka na st. 55+570, zaradi edine proste poti za vodo, ki jo je izkop pred betonažo še nudil. Stacionarni pretok vode v predoru ne doseže  $0,5\text{ l/s}$ . Voda škodljivo vpliva na beton.

### Zruški

Čeprav je zaradi sprotih primernih podpornih ukrepov izkop potekal brez večjih težav, pa velja omeniti pojave nestabilnosti v obliki praznjenj z vodo zasičenega peska na južnem pokritem vkopu in v začetni fazi gradnje predora, ki je kulminiralo z rušenjem stopa kalote do površine.

Med izkopom za kaloto jug je v jutranji izmeni 13.2.2000 na st. 55+329 prišlo do močnega povečanja konvergenč, ki je kulminiralo z rušenjem in zapolnitvijo čela kalote z zemljino in lijakom porušitve do površine. Lijak neposredne porušitve je znašal na površini približno  $6 \times 9$  metrov. Hkrati z lijakom so bile lepo opazne tudi razpoke na površini, ki segajo do približne stac. 55+310. V smeri napredovanja ne sledimo stopenj, ki bi kazale na širjenje rušenja pred



Slika 3: Zrušek na st. 55+329 v fazi sipanja največje količine materiala 13.2.2000 ob 8uri 42 minut. Lepo vidna razpoka v primarni oblogi (levo).

čelom. Material zruška predstavlja višjeležeča zemljina: peščen melj in droben enakomeren pesek.

### Rezultati meritev 3D premikov v primarni oblogi in na površini

Iz rezultatov meritev je razvidno, da so se med gradnjo predora najbolj razvijali premiki v vertikalni smeri. Nekoliko manjši premiki so registrirani v horizontalni smeri, najmanjši pa v vzdolžni smeri. V splošnem so se maksimalni premiki pojavili neposredno po izkopu kalote. Stabilizacija premikov je praviloma nastopila z odklikom čela kalote ter izdelavo začasnega talnega oboka. Iz diagramov je razvidno, da je do "umiritve" prišlo v povprečju v 10-tih dneh (minimalno v 5-tih, maksimalno v 15-tih dneh). Ponovno večanje premikov je registrirano pri izkopu stopnice na območju merskih profilov, vendar so bili ti premiki bistveno nižjega velikostnega reda. Do ponovne stabilizacije je prišlo v treh do petih dneh z odklikom čela stopnice ter izdelavo talnega oboka. Pregled maksimalnih vertikalnih premikov na posameznih profilih podajamo v razpredelnici.

- v osi predora na profilu P2 – 421mm
- na levi strani predora na profilu P4 – 784mm

Primerjava prognoziranih parametrov in dejanskega stanja v predoru

Ker smo avtorji članka vseskozi sodelovali pri raziskavah in izkopu predora Stanjevci, podajamo pregled prognoziiranega in dejanskega stanja geologije. Primerjava je poučna za nadaljnje delo pri podobni problematiki.

RAZPREDELNICA : Pregled geoloških parametrov s prognoze in dejansko stanje.

| Parameter   | Prognoza (1996)                       | Dejansko stanje (2000)      | opomba                                                                   |
|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| litologija  | prod, melj, glina                     | prod, melj, glina           | se ujema                                                                 |
| vpad plasti | proti jugovzhodu                      | proti severovzhodu          | se ne ujema                                                              |
| voda        | dve plasti, z več vode, prognoza l/s, | dve plasti v območju izkopa | dobro ujemanje, pojavi vode pa so bili napovedani na podlagi litologije; |

Glavna razlika je opazna pri interpretaciji vpada plastovitosti. Razlika je nastala zaradi značilnega razvoja procesa preperevanja in s tem povezani spremembi barve gline s sive v rjavo, kakor tudi zaradi lateralnih sprememb vzdolž posameznih plasti. Podatek je pomemben pri nadaljnjih delih v podobnih razmerah.

Razlika v interpretaciji plastovitosti vodi tudi v potrebo po prostorski (z razliko od linijske) postavitvi raziskovalnih vrtin v plastnatih medijih (zemljine, sedimentne kamnine).

### Zaključki

V sklopu geološke in geotehnične spremeljave smo pridobili nekatere izkušnje, ki so pomembne z vidika ocene vpliva geoloških dejavnikov na predor:

- v predoru Stanjevci smo sledili tri glavne zemljinske razlike: prode s peski, melje in gline;
- plasti so bile jasno vidne in lepo sledljive;
- plasti so skoraj vodoravne, rahlo vpadajo proti severovzhodu;

- preperevanje gline zaradi delovanja vode se najbolj očitno kaže v spremembi barve. Globina spremembe je odvisna od deleža meljaste komponente v glini. Debelina spremembe je neenakomerna.

- čeprav je bilo vode malo (0,5 l/s v celotnem predoru), pa je bila vloga vode velikega pomena pri stabilnosti predora;

- težave pri obvladovanju stabilnosti so nastopale v veliki meri zaradi prisotnosti vode;

- konvergence so v normalnih razmerah v povprečju dosegale velikostni red 50 mm;

- v območju zruška do st.55+321 smo beležili deformacije do 784 mm;

### Literatura

Beguš, T. & Brenčič, M. 1998: Geološke raziskave predora Stanjevci na železniški progi Puconci – Hodoš, Zbornik 4. posvetovanja o gradnji predorov in podzemnih prostorov, Ljubljana.

Franc, D. 2000: Gradnja železniškega predora Stanjevci na progi Puconci – Hodoš – državna meja z Madžarsko, Tehnični informator SCT, Ljubljana.

Pleničar, M. 1963: OGK 1:100.000 – List Goričko, Karta in tolmač, Geološki zavod Ljubljana.