

Magda ČARMAN

Mag., univ.dipl.inž. geologije, Geološki Zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1001 Ljubljana

PRIMERJAVA PROGNOZIRANIH IN DEJANSKIH GEOLOŠKO – GEOMEHANSKIH RAZMER V NEKATERIH AVTOCESTNIH PREDORIH

POVZETEK

Geološke razmere imajo prevladujoč vpliv na mnogo odločitev pri projektiranju in gradnji predorov. Na osnovi predhodnih raziskav prognoziramo geološke razmere in obnašanje hribine na območju predora, kar je podlaga za način gradnje in podpiranja predora ter oceno stroškov.

V prispevku je podan sistematičen pregled geoloških raziskav in spremljave gradnje nekaterih avtocestnih predorov. Statistično obdelani in analizirani so bili podatki iz predorov Pletovarje in Golo rebro na AC Celje-Maribor, Tabor na AC Razdrto-Fernetiči in predora V Zideh, ki je priključek iz Zasavja na AC Vrasko-Blagovica. Namens obdelave je bil primerjava prognoziranega stanja z dejanskim stanjem v času izkopa, ko poteka redna geološka in geotehnična spremjava (monitoring). Izkazalo se je, da bo potrebno na področju geološko-geotehničnih raziskav marsikaj izboljšati in posodobiti.

COMPARISON BETWEEN PREDICTED AND REAL GEOLOGICAL – GEOMECHANICAL CONDITIONS IN SOME HIGHWAY TUNNELS

SUMMARY

Geology plays a dominant role in many major decisions made in designing and constructing a tunnel. Every geotechnical program must predict ground behavior so that it can be translated into the selection of construction methods and support systems and the estimation of costs. When the excavation is going on, we can compare predicted ground behavior with real behavior which is made by mapping and doing geotechnical measurements to monitor and control tunnel construction. The methodology of geological researches and monitoring during construction of tunnels were systematically examined. Data from various tunnels were used, compared and statistically analysed. These tunnels are Pletovarje and Golo Rebro on highway Celje-Maribor, Tabor on highway Razdrto-Fernetiči and V Zideh, which is the connection from Zasavje to highway Vrasko-Blagovica. The predicted behavior and real conditions which showed up during excavation were compared. In the field of geological and geotechnical investigations and designing too there is still a lot to be improved upon and updated.

UVOD

V Sloveniji v zadnjih letih pospešeno poteka gradnja avtocest. V okviru nacionalnega avtocestnega programa RS bo zgrajenih približno za 15 km novih predorov. Od pričetka nacionalnega avtocestnega programa RS leta 1993 do sedaj so bili zgrajeni predori Pletovarje, Golo Rebro, Tabor, V Zideh in Golovec. Izvršena je bila sanacija starih cevi predorov Pletovarje in Golo Rebro.

V prispevku, ki je kratek povzetek magistrskega dela avtorice, so obdelani podatki iz predorov Pletovarje in Golo Rebro na AC Celje-Maribor, Tabor na AC Razdrto-Fernetiči, V Zideh, ki je priključek iz Zasavja na AC Vrantsko-Blagovica ter del dostopnih podatkov iz predora Debeli hrib, ki leži na AC Ljubljana-Novo mesto. Predori potekajo skozi območja z zelo različno geološko zgradbo. Pri gradnji predorov se je v Sloveniji uveljavila nova avstrijska metoda gradnje - NATM. Skupaj z metodo NATM se uporablja avstrijska klasifikacija hribin. Z ustreznimi raziskavami si moramo zagotoviti zadostno poznavanje in razumevanje regionalne geologije in hidrogeologije. Raziskave za podzemne prostore se bistveno razlikujejo od raziskav za objekte na površini zato, ker so pogoji pod površjem neznani. Poleg tega na inženirskogeološke oz. geotehnične lastnosti hribin in zemljin vplivajo različni faktorji, ki se spreminja v odvisnosti od časa, letne dobe, po velikosti in smeri obtežbe ter od drugih zunanjih pogojev.

Namen raziskav je pridobiti čim bolj popolno sliko razmer pod površino za tehnološko in ekonomsko ovrednotenje projekta. Z njimi določimo geomehanske značilnosti zemljin in hribin ter napovemo njihovo obnašanje pri različnih izkopnih metodah in metodah podpiranja. Na osnovi predhodnih raziskav in laboratorijskih preiskav hribine uvrstimo v različne kategorije. Za vsako hribinsko kategorijo so določeni standardni podporni ukrepi, ki se v času izkopa prilagajajo dejanskemu stanju, če je to potrebno.

GEOLOŠKE RAZMERE NA OBMOČJU PREDOROV

Vsi obravnavani predori so zgrajeni po metodi NATM. To so dvopasovni predori širine 10 m. Izkop predorov je potekal z miniranjem, v predoru V Zideh pa večinoma strojno. Podatki so zbrani iz dnevnih popisov čela in vgrajenih podpornih ukrepov, podatkov geotehničnih in hidrogeoloških preiskav ter delnih in zaključnih poročil za dane predore.

Predor Pletovarje

Predor Pletovarje je zgrajen na AC Celje-Maribor. Dolžina vzhodne cevi znaša 705,5 m, dolžina zahodne cevi pa 709 m. Najvišje nadkritje nad predorom znaša 138 m. V letih 1974-75 so zgradili zahodno cev v celoti ter severni in južni portal s portalnim delom cevi vzhodne cevi. To je bil prvi predor v Sloveniji, ki je bil zgrajen po metodi NATM.

Ozemlje grebena Pletovarje pripada tektonski enoti Južnih Karavank. Severna polovica predora poteka skozi donačko prelomno cono, ki predstavlja diskontinuiteto prvega reda (Budkovič, Čarman in sod., 1995). V prelomni coni z generalno smerjo vzhod-zahod so vkleščene tektonske leče kamnin zelo pestre litološke in starostne sestave. Prvih 185 m predora poteka po najbolj heterogeno zgrajenem notranjem delu prelomne cone. V donački prelomni coni so vkleščene tektonske leče pestre litološke (peščenjak, dolomit, laporovec, keratofir, apnenec) in starostne sestave (karbon, perm, sp. trias). Naslednji odsek v dolžini okoli 150 m poteka skozi tektonsko močno porušen dolomit spodnjetrijasne starosti. Preostali del predora do južnega portala poteka po sivem peščenjaku, laporovcu in tufu zelenkaste barve oligocenske starosti.

Vode je bilo veliko manj kot pred 25-imi leti, ko so gradili zahodno cev. V tem času je zahodna cev dobro zdrenirala pletovarski greben. Pri gradnji vzhodne cevi se je večja količina vode pojavila le v dolomitni breči na tretjini predora. Izmerjena količina vode je znašala 2 l/s. V dolomitnem masivu se je voda pojavljala le lokalno v obliki močil.

Del predora, ki poteka skozi donačko prelomno cono, je zgrajen pretežno v V. in IV. hribinski kategoriji. Ostali del predora je zgrajen v IV. in III. hribinski kategoriji.

Geomehanske meritve so obsegale meritve konvergenc, meritve z ekstenziometri in dinamometri za merjenje sil na sidrni glavi ter merilna sidra. Vgrajenih je bilo 26 konvergenčnih merskih profilov

(Petkovšek, 1996a). Naječji posedki in konvergencije v vzhodni cevi so bili izmerjeni na območju donačke prelomne cone. Rezultati meritve z ekstenziometri so pokazali minimalen vpliv izkopa na okolno hribino. Vsi dinamometri so pokazali zanemarljivo majhne sile. Ravno tako so bile sile v sidrih minimalne.

Predor Golo Rebro

Predor Golo Rebro je zgrajen na AC Celje-Maribor. Dolžina vzhodne cevi znaša 733 m, dolžina zahodne pa 722 m. Najvišje nadkritje nad predorom znaša 154 m. Zahodna predorska cev ter severni in južni portal s portalnim delom cevi vzhodne cevi so bili zgrajeni pred približno 25-imi leti.

Ozemlje Golega Rebra pripada tektonski enoti Južne Karavanke. Na jugu je omejeno z donačko, na severnem delu pa z labotsko prelomno cono (Budkovič, Čarman in sod., 1996). Klastične in karbonatne kamnine srednjjetriaspne starosti je tektonika preoblikovala v ozke pasove. Večja karbonatna telesa so spremenjena v milonit in tektonsko brečo ali pa so v obliki leč vkleščena v pregnetene drobnozrnate klastite.

Zaradi drenažnega vpliva prve cevi pri gradnji druge cevi ni bilo težav z vodo. Voda se je v predoru pojavljala v obliki vlažnih območij ali kapljanja le ob nalivih ali po daljšem deževju. Meteorna voda je odtekala skozi pretrto kamnino po razpokah in kanalih kraškega porekla v globino. Več vlažnih območij je bilo na območju prelomnih con, ki so se pojavljale na območjih z nizkim nadkritjem.

Večina predora je zgrajena v III. in IV. kategoriji. Del predora je zgrajen v V. kategoriji.

Geomehanske meritve so obsegale meritve konvergenc. V predoru so izmerjene zelo nizke vrednosti konvergenc in posedkov – okoli 0,5 cm (Petkovšek, 1996b).

Predor Tabor

Predor Tabor je zgrajen na AC Razdrto-Fernetiči. Hkrati je potekala gradnja obeh cevi. Osi predora sta v medsebojnem razmaku 45 m. Dolžina leve predorske cevi znaša 207 m, desne predorske cevi pa 199 m. Največja debelina nadkritja nad levo cevjo znaša 38 m in nad desno cevjo 36 m.

Širša okolica predora pripada jugozahodnemu delu tržaško komenske planote, ki jo sestavljajo karbonatne kamnine kredne starosti (Beguš in sod., 1996). Tržaško komenska planota je ravničasta kraška ravan s kopastimi vrhovi, majhnimi vzpetinami, kraškimi goličavami, vrtačami in jamami. Predor Tabor poteka po spodnjem delu formacije repenski apnenec. V tektonskem smislu pripada ozemlje reškemu sinklinoriju oz. lipiški sinklinali. V času izkopa so se pojavljala le vlažna območja na območjih močno razpokane hribine. Kapljanje vode se je pojavljalo le na območjih kavern. V obeh cevih nastopajo močno zakrastele razpoke in kaverne. Velikost kavern je odvisna od lokalne geološke zgodovine. Kaverne so odprte ali zatrpane z glino, vodo, gruščem in včasih tudi s smetmi.

Obe cevi sta zgrajeni v III. in IV. hribinski kategoriji.

Geomehanske meritve so obsegale le meritve konvergenc. V vsaki od cevi so bili vgrajeni po štirje merski profili, skupno torej osem (Beguš in sod., 1996). Vrednosti največje konvergencije in posedkov so bile minimalne.

Predor V Zideh

Predor predstavlja priključek iz Zasavja na AC Vransko-Blagovica. Dolžina predora znaša 257 m, najvišje nadkritje pa 54 m.

Obravnavani prostor spada v južna obrobja kozjaškega nariva, ki tu tvori antiklinalno obliko in je pogledal izpod erodiranega in razkosanega trojanskega nariva (Špacapan, 1995). Generalna smer narivanja je bila sever-jug. Masa kozjaškega nariva slemenje v smeri vzhod-zahod. V predelu Trojan ga gradijo izključno permokarbonske kamnine. Prevladujejo skrilavci in meljevci nad peščenjaki. Generalni vpad nagubanih plasti je proti severu. Pobočja so prekrita z nekaj metrov debelo preperino, ki je ponekod zelo labilna ali že splazela.

Na območju predora nastopa glinast in bituminozen skrilavec s polami meljevca in redkeje peščenjaka (Likar in sod., 1997). Trojanski greben seče več različno usmerjenih prelomov.

Predor poteka skozi slabo prepustne permokarbonske klastite. Mestoma je bila v lečah peščenjaka prisotna ujeta voda, drugače pa je bila kamnina le vlažna. V kategoriji PC je zgrajenih 69 m predora, v kategoriji C3 24 m, v kategoriji C2 49,5 m in v kategoriji B2C2 15 m. Izkop v teh kategorijah je potekal strojno. Izkop v kategoriji B2 v dolžini 99,5 m je bil izveden s pomočjo miniranja. V vseh kategorijah so z izkopom napredovali pod vgrajeno strešno cevno zaporo, razen v kategoriji B2. Število in dolžina uvrtnih kolov sta bila odvisna od dane situacije. V slabih pogojih je bilo potrebno vgrajevati še dodatna sidra, sulice in puščati podporno oz. varovalno jedro.

V tem predoru so se izvajale absolutne meritve konvergenc z optičnimi trigonometričnimi inštrumenti na 24 merskih profilih ter meritve relativnih pomikov z merskim trakom na treh merskih profilih. V predoru so se izvajale tudi meritve z ekstenziometri, ki so bili vgrajeni v treh merskih profilih (Likar in sod., 1998). Rezultati meritev so kazali na asimetrično napetostno deformacijsko polje. V merskih profilih so bile vgrajene tudi Glötzlove celice in merska sidra. Do časovnega umirjanja deformacij je prišlo po končanih sanacijskih delih v predoru. Izvajale so se tudi meritve osnih sil v geotehničnih sidrih na južnem in severnem portalu. Spremembe praktično konstantnih vrednosti sil so bile posledica rednih ali sanacijskih del v predoru (Likar in sod., 1998). Meritve na površini so obsegale meritve z inklinometri in geodetske meritve na poseljenem območju. Izmerjeni pomiki so pokazali majhen vpliv izkopa predorske cevi na površje, saj so posedki znašali le do 2 cm.

Predor Debeli hrib

Predor Debeli hrib je zgrajen na AC Ljubljana – Novo mesto na odseku Malence – Šmarje. Sestavlja ga dve ločeni cevi, ki potekata v medosni razdalji od 41 m do 46 m. Dolžina leve cevi znaša 340 m, dolžina desne cevi pa 314 m. Največje nadkritje znaša nad levo cevjo 60 m, nad desno pa 48 m. Predor poteka skozi permokarbonske klastite, v katerih prevladuje skrilavec nad meljevcem, najmanj pa je peščenjaka, ki se pojavlja v neenekomerno razporejenih lečah (Petkovšek, 1992).

Z gradnjo leve cevi so pričeli januarja 1990 in jo zaključili novembra 1991. Z gradnjo desne cevi so pričeli avgusta 1990 in takoj se je pokazal vpliv izkopa te cevi na levo cev. Val povečanih konvergenc se je širil 30-40 m pred čelom desne cevi. Potrebna je bilo sanacija leve cevi. Zaradi težav pri gradnji leve cevi je bil spremenjen prvični način podpiranja v desni cevi z dodatnimi sidri. Podatki o prognoziranih in dejansko izvedenih kategorijah izkopa niso bili dosegljivi. Geomehanske meritve so obsegale meritve konvergenc na 21 profilih v levi cevi ter na 15 profilih v desni cevi. V obeh ceveh je bil vgrajen tudi ekstenziometer. Meritve z ekstenziometri so v obeh ceveh kazale na nesimetrično napetostno polje. Poleg tega so se v levi cevi izvajale še meritve z merskimi sidri in celicami za merjenje deformacij na sidrnih glavah ter merilniki tangencialnih napetosti (Petkovšek, 1992).

Meritve na površini so obsegale meritve z inklinometri in geodetske meritve. Največji posedek nad levo cevjo je znašal 6,3 cm, horizontalni pomik proti desni cevi pa 4,1 cm. Največji posedek nad desno cevjo pa je znašal 2,4 cm in horizontalni pomik 2,7 cm. Izmerjeni pomiki so kazali na majhen vpliv izkopa predorskih cevi na površje.

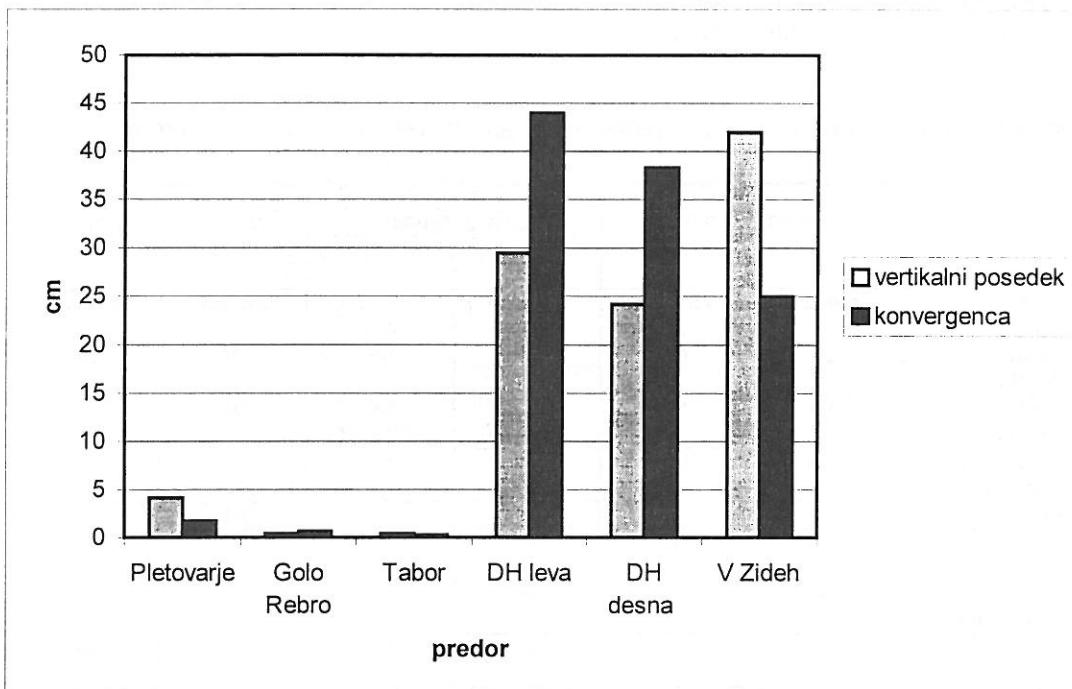
PRIMERJAVA IZMERJENIH VREDNOSTI

V prvi preglednici in sliku so prikazane največje vrednosti vertikalnih posedkov temenskih točk ter konvergenc za posamezne predore. Z vidika končne stabilnosti predora bi lahko v predorih Pletovarje, Golo Rebro in Tabor privzeli lažje podporne ukrepe, saj so rezultati geotehničnih meritev pokazali minimalen vpliv izkopa na okolno hribino. Povsem drugače pa je pri gradnji v slabih hribinah, kjer je delež raziskav mnogo večji. Z obsežnimi raziskavami sicer zagotovimo dovolj podatkov za projektiranje, vendar je gradnja kljub temu zelo zahtevna in draga. Predora Debeli hrib in V Zideh sta tipična primera, ko predor z nizkim nadkritjem poteka skozi polhribino oz. hribino, ki se plastično obnaša. Izmerjene vrednosti na merskih profilih so bile najmanj za dekado večje od vrednosti, ki so bile izmerjene v predorih v karbonatnih (togi) hribinah. V predoru Debeli hrib so bile vrednosti konvergenc višje od vrednosti posedkov zato, ker je izkop desne cevi povzročil še dodatno rahljanje hribine v okolici leve cevi.

Preglednica 1. Največje vrednosti vertikalnih posedkov ter konvergenc za posamezne predore

Predor	Največja izmerjena konvergenca	Največji izmerjeni posedek
Pletovarje	1,7 cm	4,1 cm
Golo Rebro	0,6 cm	0,4 cm
Tabor	0,2 cm	0,4 cm
Debeli hrib – leva cev	44 cm	29,5 cm
Debeli hrib – desna cev	38,3 cm	24,2 cm
V Zideh	25 cm	42 cm

Slika 1. Največje vrednosti vertikalnih posedkov temenskih točk ter konvergenc za posamezne predore



PRIMERJAVA RAZISKAV

Za zahodni cevi predorov Pletovarje in Golo Rebro je bilo izvedeno detajlno geološko, inženirskogeološko in hidrogeološko kartiranje, kopanje razkopov in vrtanje vertikalnih vrtin, vrtanje dveh daljših horizontalnih vrtin ter ene poševne za natančnejše določevanje zgradbe masiva (Ogrin, 1973). Večin geoloških podatkov ni bilo dostopnih pred pričetkom izkopa vzhodne cevi. Ti podatki bi bili zelo koristni pred pričetkom gradnje in v času gradnje vzhodne cevi za natančnejše napovedovanje geoloških razmer. Geotehnična spremjava je v času gradnje obsegala meritve konvergenc, meritve z ekstenziometri in meritve deformacij. Dostopni so bili le podatki iz predora Pletovarje.

Za vzhodni cevi Pletovarje in Golo Rebro ni bilo narejenih nobenih dodatnih raziskav. V času izkopa se je v obeh cevih na mestih pred prognoziranimi tektonskimi conami izvajalo predvrtavanje za ugotavljanje dejanskega stanja. Geotehnična spremjava je obsegala meritve konvergenc, meritve z ekstenziometri ter meritve specifičnih deformacij betona in meritve sidrnih sil.

Za projektiranje za predor Tabor je zaradi enostavne geološke zgradbe in nizkega nadkritja zadostovalo geološko, inženirskogeološko in hidrogeološko kartiranje. Tudi pri sami gradnji predora ni bilo večjih težav. Pri geotehnični spremjavi so zadostovale meritve konvergenc in posedkov stropa. Pojavlji se vprašanje ali so takšne meritve smiselne v tako stabilni hribini s tako majhnimi deformacijami, kljub temu da so meritve sestavni del NATM.

Povsem drugače pa je pri gradnji v slabih hribinah, kjer je delež raziskav mnogo večji. Z obsežnimi raziskavami je sicer zagotovljeno dovolj podatkov za projektiranje vendar je gradnja kljub temu zelo zahtevna in draga. Delež raziskav za predora Debela hrib in V Zideh je bil precej večji kot pri prej omenjenih predorih. Pri gradnji obeh predorov se je pokazala vsa zahtevnost in težavnost gradnje v tektonsko poškodovanih permokarbonskih klastitih.

Tomšič (1992) je dokazal, da prihaja do predimenzionirnosti podpornih ukrepov zaradi preslabega poznavanja geotehničnih parametrov hribin. Do slabega poznavanja parametrov prihaja zaradi dragih raziskav parametrov; običajno se izvedejo le najnujnejše raziskave. Tudi za predore v togih hribinah kot so vzhodni cevi Pletovarje in Golo Rebro, še zlasti pa Tabor so glede na izmerjene zelo nizke vrednosti posedkov in konvergenc podporni ukrepi predimenzionirani. S stališča dolgoročne stabilnosti in obstojnosti objekta ni to nič narobe (slabo), še zlasti za predora Pletovarje in Golo Rebro, ki potekata skozi močni prelomni coni. Slabo je v smislu stroškov oz. cene izdelave predora.

V drugi preglednici so zaradi lažje medsebojne primerjave prikazane izvedene raziskave in geotehnična spremjava za vse obravnavane predore.

Preglednica 2. Predhodne raziskave in geotehnična spremjava za obravnavane predore

PREDOR	PLETOVARJE		GOLO REBRO		TABOR	V ZIDEH	DEBELI HRIB
IZVEDENE . RAZISKAVE	zahodna cev	vzhodna cev	zahodna cev	vzhodna cev	obe cevi	ena cev	obe cevi
Geološko kartiranje	DA	NE	DA	NE	DA	DA	DA
Inženirske geološko kartiranje	DA	NE	DA	NE	DA	DA	DA
Hidrogeološko kartiranje	DA	NE	DA	NE	DA	DA	NE
Vrtanje in razkopi	DA	NE	DA	NE	NE	DA	DA
Geofizikalne raziskave	NE	NE	NE	NE	DA	DA	DA
Meritve s presiometrom	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE
Hidrogeološke meritve	DA	NE	DA	NE	NE	DA	NE
Laboratorijske preiskave	DA	NE	DA	NE	NE	DA	DA
GEOTEHNIČNA SPREMLJAVA							
Geološka spremjava izkopa	DA*	DA	DA*	DA	DA	DA	DA*
Meritve konvergenc	DA	DA	NE?	DA	DA	DA	DA
Meritve z ekstenziometri	DA	DA	NE?	NE	NE	DA	DA
Vzorčevanje vode	DA	DA	DA	DA	NE	DA	NE
Druge geotehnične meritve	DA	DA	DA	DA	NE	DA	DA
Geodetske meritve na površini	NE	NE	NE	NE	NE	DA	DA
Inklinometrske meritve	DA	NE	DA	NE	NE	DA	DA
Hidrogeološke meritve v vrtinah	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE

* podatki niso bili dostopni

V tretji preglednici so zbrani podatki o skupni dolžini vrtin za posamezen predor, vzpostavljenih merskih profilih in razdalji med njimi ter podatki o zruških.

Preglednica 3. Podatki o vrtinah in merskih profilih za posamezne predore

Predor	Cev	Dolžina cevi	Vrtine in razkopi	Merski profili kon. ekst.	Razdalja med profili	Večji zruški
Pletovarje	zahodna	709 m	1 horizontalna (350 m) 9 vertikalnih (199 m) 5 razkopov	8 6*	1 70-164 m	10-332 m najmanj eden
	vzhodna	705,5 m	/	26	2 7-40,5 m l=23,75 m	2
Golo Rebro	zahodna	722 m	1 horizontalna (410 m) 1 pošechna (45°)(30 m) 4 vertikalne (82 m)	? 4*	? 110-170 m	?
	vzhodna	732 m	/	25	/ 7-39 m l=23 m	3
Tabor	desna	199 m	/	4	/ 38-46 m l=42 m	/ (kaverne)
	leva	207m	/	4	/ 25-49 m l=37 m	
V Zideh	ena	257m	7 vertikalnih (151m)	24	3 4-33 m l=14,5 m	2
Debeli hrib	leva	340 m	6 vertikalnih (210 m) 9 razkopov	21	1 5,5-22 m l=15,67 m	?
	desna	314 m	4 vertikalne (72 m) 5 razkopov	15	1 10,5-29,5 m l=20,2 m	?

* merski profili vzpostavljeni zaradi preverjanja vpliva gradnje vzhodne cevi na zahodno cev

? ni podatkov

Skupna dolžina vrtin za posamezen predor nikjer ne zadosti pogoju USNC/TT (USNC/TT, 1984), da naj le-ta znaša 1,5 krat več od dolžine predora. Vrtanje horizontalnih vrtin v nivoju trase se je izkazalo kot zelo dobra metoda, saj s tem dobimo zvezen interval podatkov.

Število vgrajenih merskih profilov je odvisno od razmer v predoru. S težavnostjo razmer se manjša razdalja med merskimi profili. Zato je bila najkrajša povprečna razdalja l med dvema merskima profiloma v predoru V Zideh, kjer je znašala 14,5 m.

V povprečju so se v času gradnje zgodili od enega do trije večji zruški na predor (prostornina zruška je znašala več kot 10 m³), ne glede na dolžino cevi. Do dveh velikih zruškov je prišlo v zahodni cevi predora Pletovarje in v predoru V Zideh. Geološke razmere, ki so botrovale zrušku, so bile v obeh primerih podobne: močno tektonsko poškodovana hribina v prelomni coni s prisotno vodo.

RAZLIKE MED HRIBINSKIMI KATEGORIJAMI

V predoru Pletovarje naj bi po geološki prognozi znašala dolžina predora v KGH IIIa 225 m (32,6 %), v KGH IV 315 m (45,7 %), v KGH V 115 m (16,7 %) in v KGH VI 35 m (5 %). Dejanske dolžine pa so v KGH IIIa za 99 m in KGH V za 40 m daljše od prognoziranih ter krajše za 124 m v KGH IV in 26 m v KGH VI.

V predoru Golo Rebro naj bi po geološki prognozi znašala dolžina predora v KGH III 175 m (24,3 %), v KGH IIIa 316 m (43,7 %), v KGH IV 124 m (17,2 %) in v KGH V 107 m (14,8 %). Za izvedbo KGH III ni bilo ustreznih pogojev. Dejanske dolžine pa so v KGH IIIa za 212 m daljše od prognoziranih ter krajše za 2 m v KGH IV in 67 m v KGH VI.

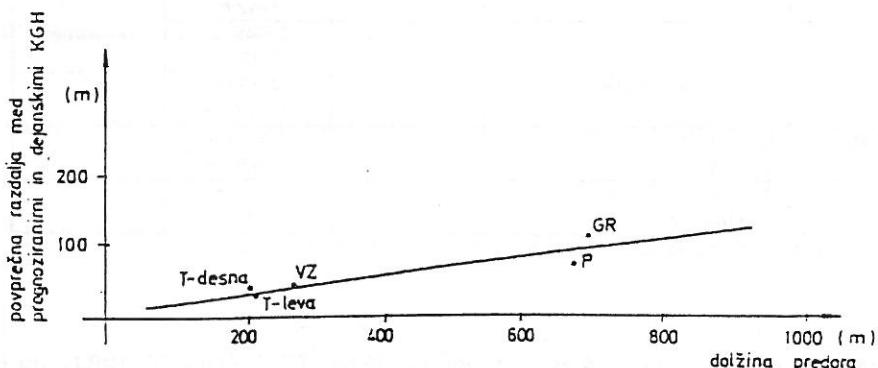
V predoru Tabor je bilo za levo cev prognoziranih 188 m (78,3 %) izkopa v KGH III in 52 m (21,7 %) v KGH IV. Dejanski izkop je bil v KGH III krajši za 52 m ter 19 m daljši v KGH IV. Podobno velja tudi za desno cev. V KGH III je bilo prognoziranih 185 m, dejansko izvedenih pa 126 m. V KGH IV je bilo prognoziranih 50 m, dejansko izvedenih pa 73 m.

V predoru V Zideh naj bi po prognozi v kategoriji PC izkopali 20 m, C2B2 225 m in sicer 160 m v C2 (70 %) ter 65 m v B2 (30 %). Dejanski izkop se je precej razlikoval od prognoze. V kategoriji PC je bilo izkopanih 49 m več, v C2 111 m manj in v B2 35 m več od predvidenih.

Poleg tega pa je bilo še 25 m izkopa v kategoriji C3 ter 14 m v B2C2, kar v prognozi ni bilo predvideno.

Razlika med prognoziranimi in dejanskimi hribinskimi kategorijami znaša za vse predore skupaj od 11 do 21 % dolžine predorske cevi; v povprečju skoraj 18 %. Povprečna dolžina odseka spremenjene kategorije znaša malo več kot 70 m. Do sprememb hribinskih kategorij prihaja najpogosteje na portalnih delih cevi ter v centralnem delu. Na portalnih in začetnih delih cevi so kategorije višje za en do dva razreda (strožji podporni ukrepi), v centralnem delu pa praviloma za en razred nižje (blažji podporni ukrepi). Z naraščanjem dolžine predora se počasi veča povprečna dolžina razlike med predvidenimi in dejansko izvedenimi hribinskimi kategorijami, kar je razvidno iz spodnje slike.

Slika 2. Povprečna dolžina razlike med prognoziranimi in dejanskimi KGH



STATISTIČNA OBDELAVA

Podatki za statistično obdelavo so bili zbrani iz dnevnih popisov čel, vgrajenih podpornih ukrepov, podatkov geotehničnih in hidrogeoloških raziskav ter delnih in zaključnih poročil. Z obdelavo sem želela ugotoviti kateri od izbranih faktorjev najbolj vplivajo na vrednosti izmerjenih konvergenc (KONV) in posedkov stropa (STROP) za katere v predorogradnji želimo, da so čimmanjši. Ti faktorji so višina nadkritja (NAD), trdnost (Q1, Q2) in razpokanost hribine (RQD1, RQD2), prisotnost tektonske cone (TC), orientacija plasti in diskontinuitet (UGPL), stanje diskontinuitet (RAZ), pojavljanje vode v predoru (VODA) in izbrana hribinska kategorija (KAT). Na podlagi dobljenih rezultatov so podane smernice za detajnejše raziskave teh faktorjev. Za skupaj 418 izbranih profilov iz štirih predorov so bili določeni vsi našteti parametri. Zbrani podatki so bili obdelani z metodo korelacije za ugotavljanje linearne povezanosti med dvema spremenljivkama. Stopnja povezanosti je podana s koeficientom korelacije r . Koreacijski koeficienti r , ki kažejo dobro ali visoko povezanost med izbranimi faktorji, so v matriki - preglednica 4 - podprtani.

Preglednica 4. Matrika koreacijskih koeficientov za predore (n=418)

	NAD	Q1	RQD1	Q2	RQD2	TC	UGPL	RAZ	VODA	KAT	KONV	STROP
NAD	1.00											
Q1	.44	1.00										
RQD1	.21	.70	1.00									
Q2	.34	.81	.55	1.00								
RQD2	.10	.47	.73	.41	1.00							
TC	-.08	.15	.30	.03	.45	1.00						
UGPL	.13	-.17	-.00	-.20	.02	.25	1.00					
RAZ	-.15	-.24	.08	-.36	.22	.37	.20	1.00				
VODA	.32	.61	.41	.53	.34	.07	.01	-.18	1.00			
KAT	.54	.55	.60	.38	.43	.31	.30	.12	.44	1.00		
KONV	.21	.59	.81	.43	.58	.22	.07	.05	.50	.41	1.00	
STROP	.19	.66	.80	.52	.54	.09	.07	-.07	.45	.43	.81	1.00

Iz matrike je razvidna znatna povezanost med vrednostjo konvergencije in posedko stropa s trdnostjo hribin. Trdnost hribine je odvisna od njene litološke sestave. Hribina, ki sestavlja večino izbranega profila ima večji vpliv kot pa hribina, ki je na čelu manj.

Vendar pa ima trdnost hribine večji vpliv na posedek stropa kot pa na velikost konvergencije.

Največji vpliv od vseh faktorjev na velikost konvergencije in posedek stropa ima faktor RQD1. RQD1 predstavlja razpokanost hribine, ki zavzema večji del profila in ima večji vpliv na vrednost konvergencije kot pa na posedek stropa. Isto velja za RQD2; to je razpokanost hribine, ki zavzema manjši del profila. Obnašanje hribin je torej bolj odvisno od razpokanosti in značaja razpok kot od njenih geomehanskih lastnosti.

Eden od bolj neugodnih faktorjev pri predorogradnji je tudi prisotnost vode. Kljub temu, da v obravnavanih predorih niso bile prisotne večje količine vode, se je ta faktor izkazal za dobro koreliranega s trdnostjo hribin in izbrano hribinsko kategorijo. Prisotnost vode vedno znižuje trdnostne lastnosti hribin. Prisotnost vode bolj vpliva na posedke stropa kot pa na velikost konvergencije.

Presenetljiva je ugotovitev, da ima pojavljanje tektonske cone zelo majhno korelacijo z vsemi faktorji. Vendar je potrebno upoštevati, da se za območja prognoziranih in tudi dejanskih prelomnih con vedno privzamejo strožji podporni ukrepi, da se zmanjša nevarnost zruškov.

Hribinska kategorija je zelo dobro korelirana z višino nadkritja in trdnostjo ter stanjem hribine, ki sestavlja večino izkopnega profila. Povezana je tudi s hribino, ki sestavlja manjši del izkopnega profila in s pojavljanjem vode.

Nastopa tudi dobra korelacija med izbrano kategorijo in vrednostmi konvergencije in posedkov stropa. Na portalnih delih z nizkim nadkritjem je hribina pogosto preperela in manj stabilna, zato projektant predviđa višjo kategorijo. Izbrana kategorija in s tem podporni ukrepi imajo prevladujoč vpliv na velikost deformacij.

ZAKLJUČKI IN PREDLOGI

Geologija oz. "težke in nepričakovane geološke razmere" so vse prepogosto izgovor za številne podražitve pri gradnji avtocest. Na področju geološko geotehničnih raziskav in tudi projektive bo potrebno še marsikaj izboljšati, predvsem pa posodobiti. Predvsem pa bi se morali že v fazi izbiranja trase izogniti težavnim območjem (npr. Trojane). V tej fazi bi morali bolj upoštevati mnenja geologov in drugih strokovnjakov o utemeljenosti poteka trase. Pogosto se dogaja, da je trasa zaradi časovnih rokov in premajhnih finančnih sredstev obdelana po selektivni metodi. Podrobnejša obdelava zavzema le "kritične" odseke, študij alternativnih variant pa je nezadosten. Zato za nekatere izbrane variente tras ne moremo trditi, da so ekonomsko najbolj utemeljene.

Zaključki in predlogi, ki so izšli iz primerjalnih in statističnih obdelav, kažejo zanimive in uporabne rezultate. Ti rezultati bi, če bi se upoštevali v bodoče, povečali kvaliteto raziskav in geološko-geotehnične spremljave gradnje predorov. Vplivali bi na boljšo prilagoditev postopkov gradnje (podporni ukrepi) dejanskim geološkim razmeram, kar bi v končni fazi prineslo tudi velike finančne prihranke. Glede na velik vpliv geološke razmere na ceno in časovni potek gradnje predorov, predlagam razširitev programa predhodnih raziskav za predore.

Poveča naj se delež terenskih raziskav in sicer raziskav za določevanje geomehanskih lastnosti hribin in primarne napetosti ter geofizikalnih raziskav. Te raziskave se lahko izvajajo tudi v horizontalnih vrtinah. Z geofizikalnimi raziskavami preiskujemo predvsem portalna območja, smiselne pa bi bile preiskave vzdolž trase celotnega predora. Pri geomehanskih laboratorijskih raziskavah naj se poveča delež preiskav anizotropije hribin in preiskav razpok. Zveča naj se delež mineraloško petrografskeih ter mikroskopskeih in rentgenskih preiskav. Poudarek pri teh raziskavah naj bo na inženirske geološkeih lastnostih hribin in zemljin. Zato moramo z raziskavami čim bolj natančno določiti litološko sestavo in geomehanske lastnosti hribin in zemljin. Pridobiti moramo čim več podatkov za izdelavo najustreznejšega geološkega modela območja predora. Na osnovi geološkega modela je izdelan geotehnični model, ki predstavlja osnovo za klasifikacijo hribin in načrtovanje geotehničnih postopkov.

VIRI

- Beguš, T., Petkovšek, B. in sodelavci (1996). Geološka in geotehnična spremjava predora Tabor pri Sežani, 18 str. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Budkovič, T., Čarman, M. in sodelavci (1995). Geološko geotehnična spremjava predora Pletovarje - leva (vzhodna) cev, 14 str. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Budkovič, T., Čarman, M. in sodelavci (1996). Geološka spremjava predora Golo Rebro - leva (vzhodna) cev, 11 str. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Čarman, M. (1998). Metodologija inženirskogeoloških raziskav in spremljave za gradnjo predorov. Magistrsko delo, 127 str. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Likar, J., in sodelavci (1997). Zaključno geološko-geotehnično poročilo za izdelavo projekta PGD-PZI predora V Zideh na AC Vransko-Blagovica, 19 str. Arhiv IRGO, Ljubljana.
- Likar, J. in sodelavci (1997-98). Geotehnična spremjava gradnje predora V Zideh. Delna poročila: št. 41-14.5.1998, št. 35-18.3.1998, št. 37-8.4.1998, št. 24-24.12.1997, št. 19-12.11.1997, št. 9-3.9.1997. Arhiv IRGO, Ljubljana.
- Ogrin, F. (1973). Inženirskogeološki pogoji za gradnjo AC med Žičami in Dramljami. Diplomsko delo, 99 str. Knjižnica odseka za geologijo NTF, Ljubljana.
- Petkovšek, B. (1992). Geomehanske meritve v predoru Debeli hrib in spremjava gradnje, 22 str. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Petkovšek, B. (1996a). Geomehanske meritve v predoru Pletovarje, 10 str. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Petkovšek, B. (1996b). Geomehanske meritve v predoru Golo Rebro, 9 str. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Projekt PGD, PZI za predor Pletovarje na AC Celje-Maribor. Arhiv SCT, Ljubljana.
- Projekt PGD, PZI za predor Golo Rebro na AC Celje-Maribor. Arhiv SCT, Ljubljana.
- Projekt PGD, PZI za predor Tabor na AC Dane-Fernetiči. Arhiv DDC, Ljubljana.
- Špacapan, I. in sodelavci (1995). Geološko geotehnično poročilo za idejni projekt predora "V Zideh" na prestaviti regionalne ceste R336A Izlake - Trojane (prikluček na AC Vransko - Blagovica), 12 str. Arhiv ZRMK, Ljubljana.
- Tomšič, M. (1992). Tehnologija podgrajevanja predora Markovec (verifikacija obstoječe podgradnje glede na dane geotehnološke pogoje). Diplomsko delo, 62 str. Knjižnica NTF, Ljubljana.
- USNC/TT (1984). Geotechnical Site Investigations for Underground Projects. Vol I, 171 p., Washington.