

## PRIJEDLOG ZA IZGRADNJU STALNE PODGRADE U UVJETIMA VELIKIH JAMSKIH PRITISAKA

Sabahudin FILIPOVIĆ<sup>1</sup> i Darko VRKLJAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geološki zavod, TOZD-2, Letališka cesta 27, YU — 61000 Ljubljana

<sup>2</sup>Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierotijeva 6, YU — 41000 Zagreb

**Ključne riječi:** Izrada podzemnih prostorija; Jamski pritisci; Podgrađivanje hodnika.

**Key-words:** Drive of Underground Rooms; Underground Pressures; Drift Support

Prilikom izrade hodnika u rudniku lignita Titovo Velenje, u uvjetima velikih jamskih pritisaka, primjenjeno je 12 različitih tehnologija. Prostorija prolazi uglavnom kroz laporovite gline i tufove s ulošcima pješčenjaka. Većina primjenjenih tehnologija izrade, naročito u područjima izrazitih pritisaka, nije dala zadovoljavajuće rezultate u pogledu ostvarene dinamike radova, održavanja stabilnosti i projektiranog svijetlog profila prostorije. Analizom provedenih tehnologija izrade i jamskih pritisaka daje se podloga za izgradnju stalne podgrade koja se principijelno razlikuje od klasičnih jakih nepopustljivih podgrada. Karakteristike zamišljene podgrade, u uvjetima velikih jamskih pritisaka, omogućuju izgradnju prostorije u punom profilu, održavanje planirane dinamike radova, stabilnost i sigurnost prostorije, te se smanjuje cijena koštanja izgrađenog metra prostorije.

In the conditions of considerable underground pressures 12 different technologies were applied during the drift driving in the lignite mine »Titovo Velenje«. The drift is driven largely through marly clays and tuffs with sandstone. The most of applied technologies of performance, especially in the areas with considerable pressures, have not given satisfactory results in view considering the realized dynamics of works, stability maintenance and the cross-section clearance diagram of the drift. The analysis of the used driving technologies and underground pressures serves for the construction of permanent support, differing basically from standing rigid classical supports. The characteristics of a conceived support, in conditions of considerable underground pressures, enable the construction of a drift with the complete profile, the maintenance of planned working dynamics, the stability and safety of the drift which decreases the cost price for the built meter of the drift.

### Uvod

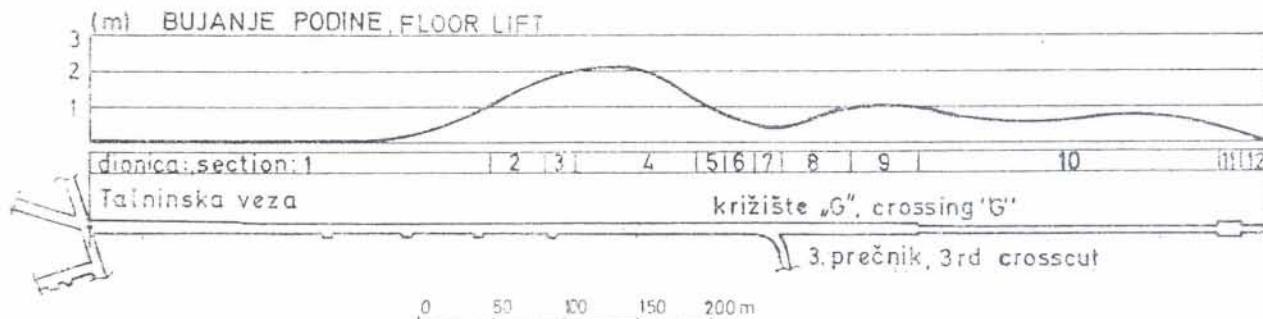
Talbinska veza je rudarska prostorija koja služi za glavni transport ljudstva i materijala (doprema). Nalazi se u južnom krilu jame Preloge u rudniku lignita Titovo Velenje. Ujedno služi i za otvaranje jame Šoštanj. Prostorija je izgrađena u podini ugljenog sloja na koti —40.0 m s prosječnim padom od 3.5 ‰ i dubini od 350 m. Prostorija je izgrađena u punom ili pilotskom profilu. Površina izbijanja punog profila je 15 m<sup>2</sup> a površina izbijanja pilotskog profila 10 m<sup>2</sup>.

Napredovano je kroz tamnosive laporovite gline s ulošcima pješčenjaka i jalovog ugljena, te kroz tufove koji su prelazili u tufitični pješčenjak i tufitične gline s različitim postotkom vlažnosti. Gline su vršile izvanredno velike pritiske na primjenjene podgrade (sl. 1).

Ovom analizom opisane su tehnologije napredovanja i permanizacije profila prostorije, te svrsishodnost ovakvih tehnologija. Pokušano je odrediti mjesta pojavljivanja maksimalnih jamskih pritisaka u odnosu na čelo radilišta. Razmatranja su proizašla prilikom izvo-

đenja radova i pokušaja projektanta i izvođača da se što bolje prilagode jamskim pritiscima i iznađu takva tehnološka rješenja izrade koja će omogućiti održanje planirane dinamike radova i ispunjenje postavljenih normi. Članak nije proizvod planiranog znanstveno-istraživačkog rada, nego pokušaj sistematizacije opažanja iz rudarske prakse, stoga su i podaci o geološko-petrografskim i fizičko mehaničkim osobinama stijene šturi. Podataka o veličini jamskih pritisaka također nema, jer mjerenja istih, prilikom izvođenja radova nisu ni planirana. Međutim spomenuti podaci za izvođenje iznijetih zaključaka, nisu neophodni.

Analiza ukazuje da se u sličnim uvjetima velikih jamskih pritisaka trebaju izbjeći tehnologije izrade koje nisu postigle očekivane rezultate (klasična jaka nepopustljiva podgrada, pilotski profili i sl.). Predlaže se drugačiji pristup rješavanju problema permanizacije prostorija izloženih velikim jamskim pritiscima, čime bi se ostvarili pozitivni efekti u dinamici izrade, sigurnosti na radu i cijeni koštanja metra izgrađene prostorije.



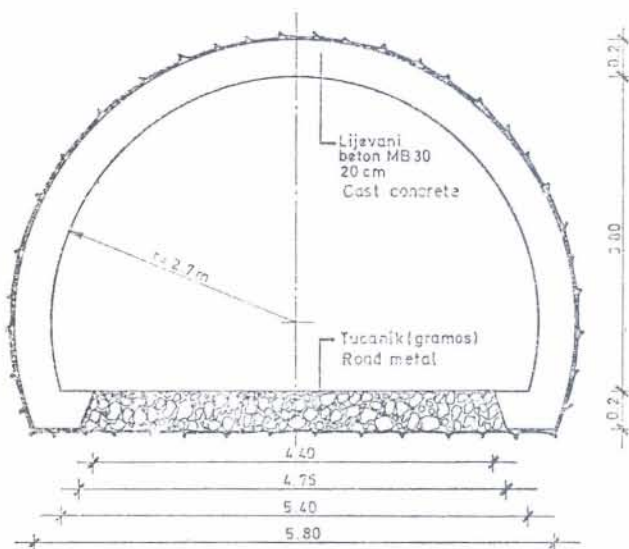
Sl. 1 Tlocrt »Talninske veze« s dijagramom bujanja podine  
 Fig. 1 Ground-plan of the »Talninska veza« with the floor lift diagram

**Tehnologija izrade Talninske veze**

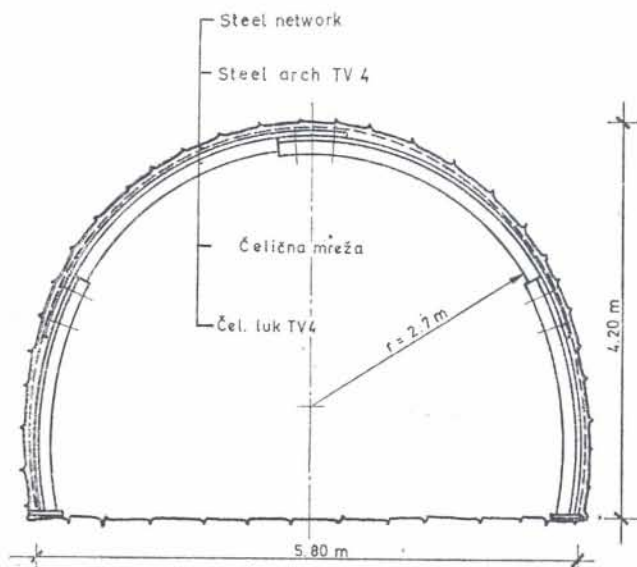
Pri izradi Talninske veze primjenjeno je 12 različitih tehnologija na približno 800 m dužine izrađene prostorije. Tehnologije su prikazane redom kako su primjenjivane i uz svaku je dat komentar i mišljenje o njenoj uspješnosti odnosno neuspješnosti. Svaka tehnologija izrade ilustrirana je slikama (sl. 2.—14.). Projektirani svijetli profil izvučen je tankom a deformirani profil debelom linijom. Promjena tehnologije diktirana je jamskim pritiscima koji su se javljali prilikom izrade.

**Tehnologija izrade 1. dionice**

Izrađeno je 260 m prostorije, pretežno u kompaktnim stijenama; izmjene andenzitskog tufa, tufitičnog pješčenjaka i tufitične gline. Napredovano je strojem Alpina AM-100 u punom profilu. Povremeno u čvršćim partijama napredovalo se bušenjem i miniranjem minskih



Sl. 3 Permanizirana 1. dionica  
 Fig. 3 1st section permanently supported



Sl. 2 Podgrađena 1. dionica  
 Fig. 2 1st section, temporary supported

bušotina. Materijal se otpremao grabuljastim transporterom i transportnom trakom. Čelo radilišta se po potrebi osiguravalo drvenim sidrima.

Prostorija je podgrađivana lukovima TV-4 na razmaku 0.75—1.0 m. Iza lukova postavljena je vanjska čelična mreža  $\phi$  6.0 mm s otvorima  $100 \times 100$  mm (sl. 2).

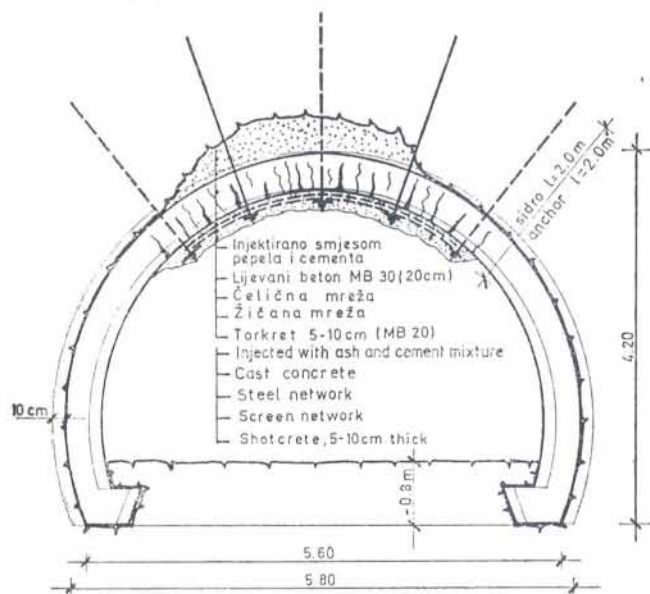
Definitivna podgrada izvedena je u lijevanom betonu debljine 20 cm (sl. 3). Utrošak betona bio je dvostruko veći od projektiranog zbog neizbježnog natprofila. Stijenski pritisci nisu bili izraziti, podgrada se dobro održala, pa u ovoj dionici nije bilo potrebe za izmjenom tehnologije izrade i za sanacijom prostorije. Također nije bilo teškoća u održavanju transportnih puteva, otpreme i dopreme materijala. Postignuti su relativno, u odnosu na ostale dionice, vrlo dobri učinci. Primjenjena tehnologija izrade, za date stijenske uvjete, pokazala se prikladno odabranom. Primjenom drve-

nihih sidara na čelu radilišta spriječeno je ispadanje većih komada stijene, čime je znatno povećana sigurnost rada.

### Tehnologija izrade 2. dionice

Prostorija je izrađena u dužini cca 40 m, u laporovitim glinama s ulošcima pješčenjaka, tako da nije bilo potrebe za dopunskim miniranjem, već je napredovano u punom profilu strojem AM-100.

Prostorija je podgrađena lukovima TV-4 na razmaku 0.75 m, koji su založeni čeličnom mrežom  $\phi$  6.0 mm (otvori  $100 \times 100$  mm). Lukovi su neznatno deformirani, međutim to nije utjecalo na projektirani gabarit prostorije, tako da se betonaža (bez armature) mogla izvesti u projektiranoj debljini. Prije betonaže nabujala podina pouzeta je u visini cca 0.5 m. Permanizacija lijevanim betonom rađena je 20 m iza čela radilišta u sekcijama (kampadama) od 4.0 m. Nakon izvršene permanizacije bokovi su se pomakli u svijetli profil za cca 20 cm i strop je popucao u gotovo cijeloj dužini dionice. Prilikom napredovanja u 3. dionici podina je ponovno nabujala za cca 80 cm (sl. 4).



Sl. 4 Permanizirana i sanirana 2. i 5. dionica

Fig. 4 2nd and 5th section, both permanently supported and repaired

Strop je saniran u dvije faze:

#### 1. faza

— postavljena su 2.0 m duga čelična sidra i čelična mreža  $\phi$  6.0 mm, zatim žičana mreža i 5–10 cm torkreta.

#### 2. faza

— injektirana je neposredna krovina smjesom pepela i cementa (70 % + 30 %),

pod pritiskom od 4 bara. Time se pokušao postići ravnomjerniji prijenos stijenskog pritiska na podgradu od lijevanog betona.

Održavanje transportnih puteva i mehanizacije u velikoj mjeri je bilo otežano bujanjem podine. Potrošnja drvenih sidara na čelu radilišta povećana je zbog održanja sigurnosti rada. Učinci su smanjeni radi sanacije profila prostorije i održavanja transportnih veza. Provedena tehnologija izrade i podgrađivanja 2. dionice pokazala se neuspješnom. Izražena je tendencija povećanja jamskog pritiska, što izvedena podgrada u lijevanom betonu nije podnijela, te se moralo pristupiti sanaciji prostorije.

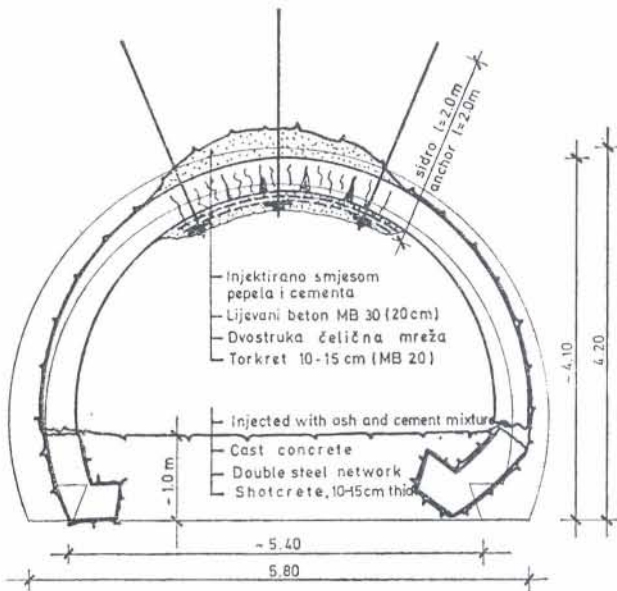
### Tehnologija izrade 3. dionice

U drugoj dionici uvidjelo se da se narasli stijenski pritisci (u geološkom pogledu stijena je zadržala iste osobine kao u 2. dionici) nemogu efikasno svladati primjenjenom tehnologijom izrade. Budući se očekivala daljnja tendencija povećanja jamskog pritiska pokušalo se na to reagirati promjenom tehnologije izrade, a na taj način da se otvorena prostorija što prije permanizira. Druga dionica je stoga dokraja permanizirana lijevanim betonom. Zatim je otvoreno dva metra prostorije i postavljeni su lukovi TV-4 (na razmaku 0.5 m), založeni čeličnom mrežom  $\phi$  6.0 mm. Odmah je ta sekcija permanizirana lijevanim betonom.

Izraženi su bočni i podinski pritisci, temelji lijevanog betona su izdignuti i slomljeni a strop je popucao. Osjetno je smanjen projektirani svijetli profil. Prostorija je sanirana 2.0 m dugim čeličnim sidrima, dvostrukom čeličnom mrežom i 10–15 cm debelim torkretom (sl. 5.). Podina je pouzimana u više navrata. U dva navrata bujanje je bilo izrazitije (cca 1.0 m). Održavanje odvozne mehanizacije i pruge za dopremu materijala znatno je otežano, što je bitno utjecalo na dinamiku radova. Deformacije profila prostorije povećavane su prilikom napredovanja u narednoj dionici.

Promjena tehnologije izrade u ovoj dionici, u odnosu na prethodnu, nije dala zadovoljavajuće rezultate, jer je bila potrebna sanacija (u konačnoj fazi i potpuna izmjena podgrade). Učinci su ograničeni stalnim intervencijama na održavanju transportne veze. Daljnji slabi momenti kod ovakve tehnologije su:

- lijevani beton je izložen naprezanjima prije postizanja pune nosivosti
- profil je potkovičastog oblika pa je lijevani beton u stropu izložen vlačnim naprezanjima, što uzrokuje pucanje betona u svodu profila i sužavanje svijetlog profila prostorije kod izraženijih bočnih pritiska

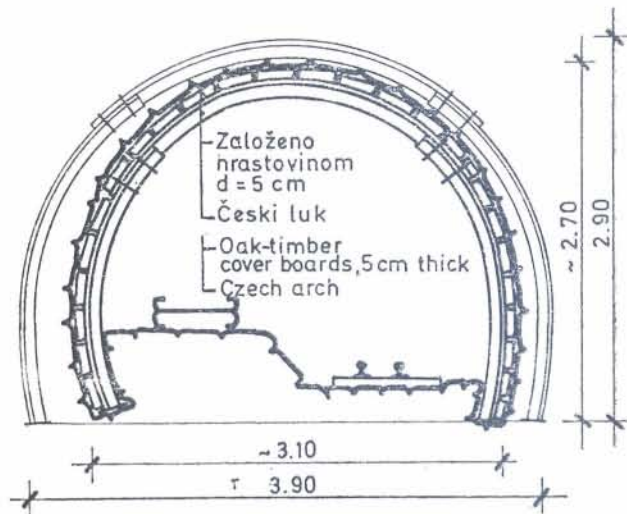


Sl. 5 Permanizirana i sanirana 3. dionica  
Fig. 5 3rd section, permanently supported and repaired

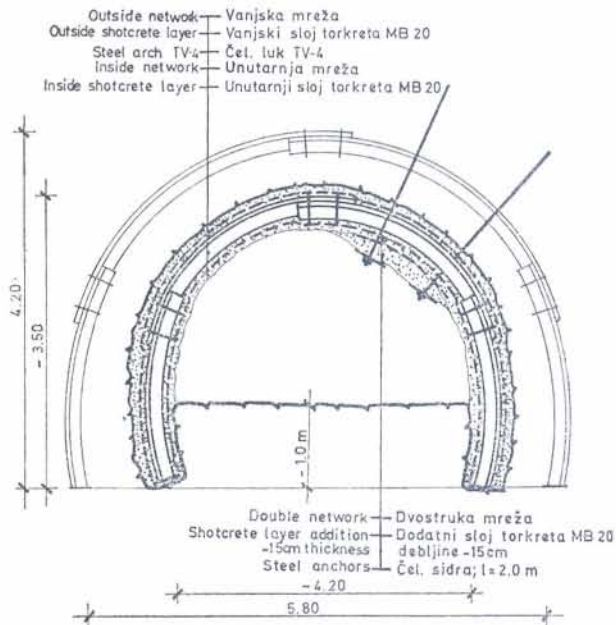
— prilikom napredovanja u narednoj dionici povećane su deformacije profila prostorije, iz čega se može zaključiti da je permanizacija treće dionice bila preurnjena, tj. podgrada je preuzela maksimalna naprezanja. Ova maksimalna naprezanja treba izbjeći i ugraditi lijevani beton po njihovom rasterećenju.

#### Tehnologija izrade 4. dionice

U prethodne dvije dionice otklonjene su dileme da se pritisci mogu svladati lijevanim betonom. U ovoj dionici pokušalo se rasteretiti jamske pritiske manjim profilom (stijena je ista kao u prethodne dvije dionice). Napredovano je strojem AM-100, u pilotskom profilu, podgrađivanom češkim lukovima na razmaku 33—50 cm, koji su založeni hrastovinom debljine 5 cm. Profil je potkovičast bez kontraluka (sl. 6.). Dinamika napredovanja pilotskog profila bila je dobra, ali se bitno smanjivala s dužinom, radi otežanog transporta iskopa i dopreme materijala. U ovoj dionici, dužine cca 85 m, u odnosu na ostale dionice pritisci su najviše izraženi. Pilotski profil bio bi potpuno zatvoren da podina nije redovito pouzimana. Bočni pritisci su toliko izraženi da mjestimično sužavaju pilotski profil na polovinu. Pilotski profil je naknadno proširen na puni profil i podgrađen lukovima TV-4, koji su založeni čeličnom mrežom i pokriveni 5—10 cm debelim slojem torkreta. Zatim je postavljena unutarnja čelična mreža na koju je nabačen završni sloj torkreta debljine 15 cm. Ni ovako permanizirani profil nije se održao. Profil je u bo-



Sl. 6 Projektirani i deformirani pilotski hodnik 4. dionice  
Fig. 6 4th section's pilot drift planned and deformed



Sl. 7 Projektirana i deformirana 4. dionica  
Fig. 7 4th section, planned and deformed

kovima sužen na dijelovima i preko 1.0 m, a podina je ponovo nabujala za cca 1.0 m (sl. 7.).

Na primjenjenu tehnologiju izrade u 4. dionici mogu se iznijeti slijedeće primjedbe:

- pilotski rov je rasteretio jamske pritiske, ali je negativno utjecao na dinamiku rada (uglavnom zbog teškoća u održavanju otpreme i dopreme materijala)
- pilotskim rovom jamski pritisci su rasterećeni, ali ne u potpunosti, pa je deformiran permanizirani puni profil

- s aspekta sigurnosti, provedenom sanacijom postignuta je zadovoljavajuća stabilnost prostorije
- glavna je zamjerka primjenjenoj tehnologiji što nije predvidjela izradu većeg profila od konačnog svijetlog, za prognozirani deformaciju.

### Tehnologija izrade 5. dionice

Dionica je izgrađena u dužini cca 20 m u laporovitoj glini, mjestimično pomiješanoj s pijescima. Napredovano je strojem AM-100 u pilotskom profilu, koji je proširen na puni profil. Profil je podgrađen lukovima TV-4 i založen čeličnom mrežom. Pritisaci su smanjeni u odnosu na prethodnu dionicu pa je ova dionica permanizirana lijevanim betonom. Podina je nabujala za cca 0.5 m. Profil se relativno dobro održao. Ispucali strop saniran je sidrima i dvostrukom čeličnom mrežom. Permanizacija i sanacija profila su kao u drugoj dionici (sl. 4).

U uvjetima smanjenih jamskih pritisaka primjenjena tehnologija izrade se pokazala zadovoljavajućom.

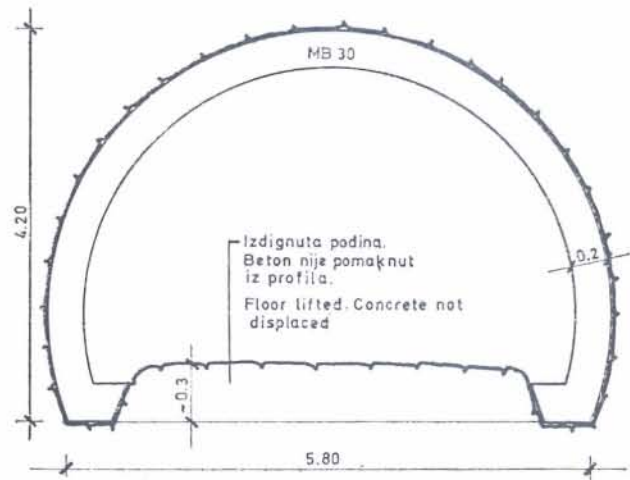
### Tehnologija izrade 6. dionice

Izrađeno je cca 20 m dionice, u laporovitoj glini s ulošcima pješčenjaka i jalovog ugljena, napredovanjem strojem AM-100. Budući je u prethodnoj dionici primjećen trend pada pritiska napredovano je punim profilom. Podina je nabujala oko 0.5 m, ali profil nije deformiran ni u temeljima, niti u ostalim dijelovima (sl. 8.). Važno je uočiti da je profil izveden bez punog kontraluka inače bi bio slomljen. Profil izveden bez punih kontralukova omogućava rasterećenje pritiska bujanjem podine, a sa druge strane bokovi profila su dovoljno jako izvedeni da ih pritisak ne lomi. Povoljna okolnost je što se ovom dionicom hodnik približio već izvedenoj prostoriji (3. prečnik) tako da se dio stijenskog pritiska već ranije rasteretio.

### Tehnologija izrade 7. dionice

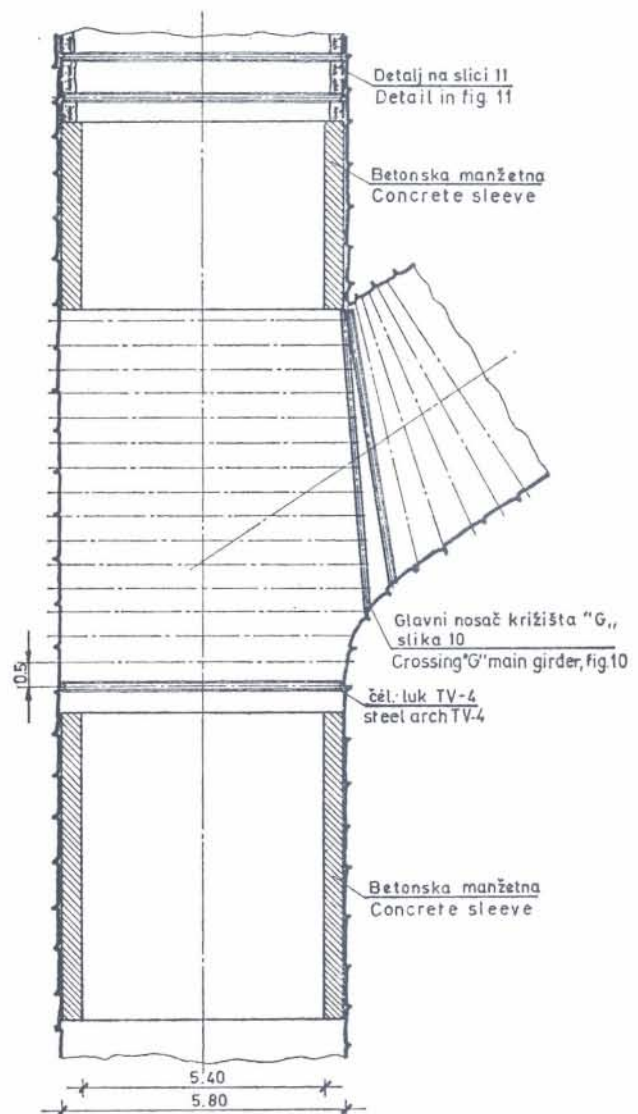
Dionica obuhvaća križište »G« s 3. prečnikom. Stijena prelazi u tufove i tufitični pješčenjak s ulošcima gline. Probijena je pilotskim profilom koji je podgrađivan češkim lukovima, a zatim je betonirana manžetna ispred i iza križišta. Nakon proširenja puni profil je podgrađen lukovima TV-4 i založen čeličnom mrežom. Na vanjsku mrežu nabačen je prvi sloj tonkreta, postavljena unutarnja čelična mreža i nabačen drugi sloj tonkreta (sl. 9.).

Križište je izvedeno tek pošto je ispred križišta napravljeno 30 m hodnika u lukovima TV-4. Glavni nosač križišta izrađen je od »I« profila (sl. 10.). Podina je nabujala 0.5 do 1.0 m i pouzimana je u više navrata.



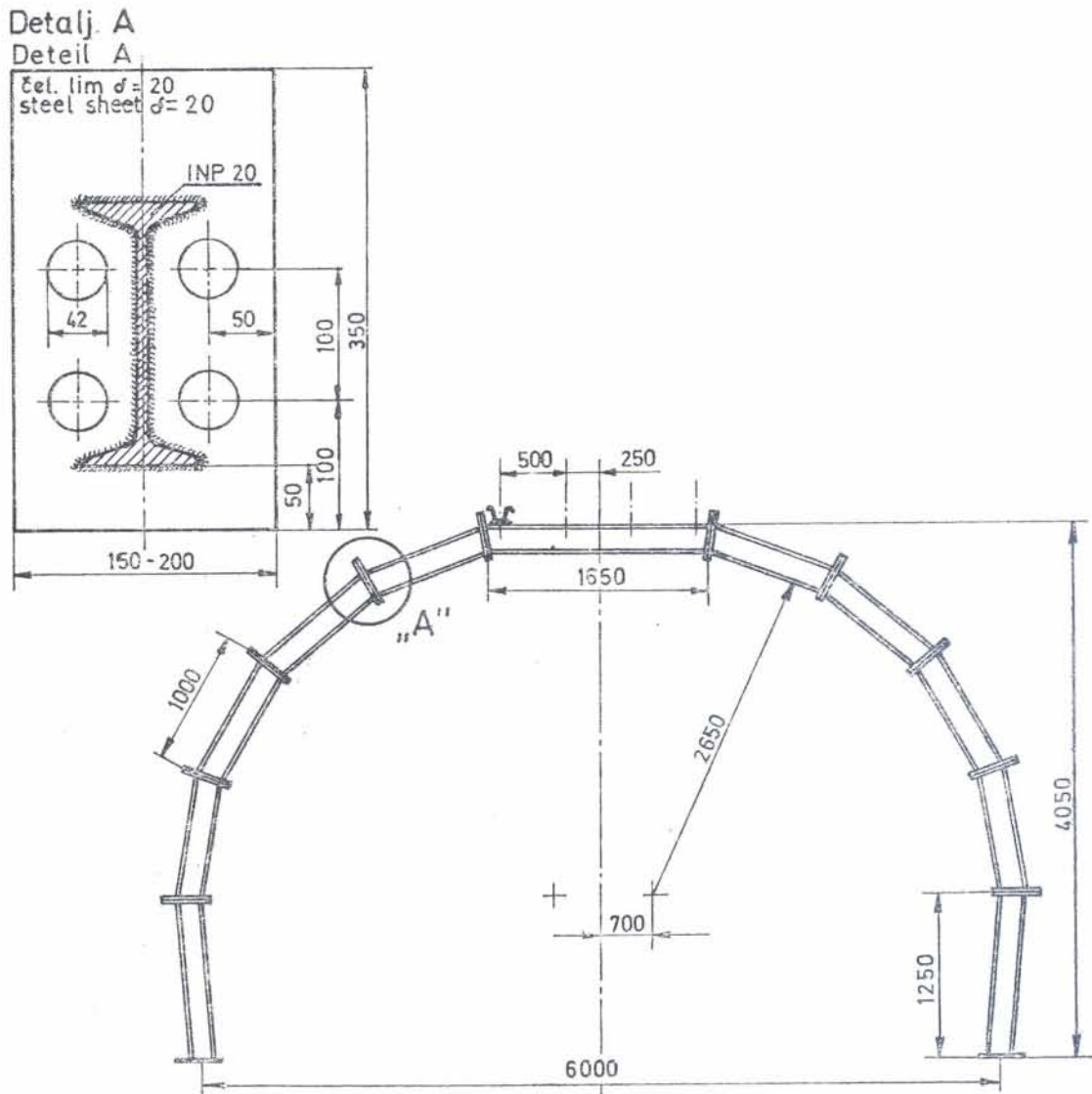
Sl. 8 Permanizirana 6. dionica

Fig. 8 6th section, permanently supported



Sl. 9 Tlocrt križišta »G«

Fig. 9 Ground plan of the crossing »G«



Sl. 10 Glavni nosač križišta »G«  
Fig. 10 The crossing »G« main girder

Križište se izvrsno održalo i nije bila potrebna nikakva sanacija. Jedan od razloga za to leži u tome, što je do rasterećenja dijela stijenskog pritiska došlo prilikom izgradnje prethodno već izgrađene prostorije (3. prečnik). Također, kroz veliku tlocrtnu površinu podine križišta omogućen je veći stupanj rasterećenja stijenskog pritiska.

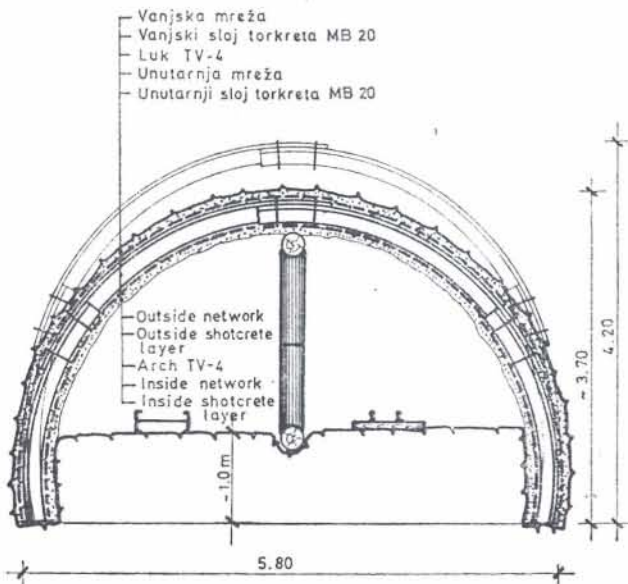
#### Tehnologija izrade 8. dionice

Napredovanje na dionici dužine cca 45 m, kroz tufove s ulošcima tufitične gline, rađeno je strojem AM-100 u punom profilu. Podgrađivanje je izvedeno lukovima TV-4 zalaganim čeličnom mrežom. Neposredno iza čela radilišta nabacivan je na vanjsku mrežu prvi sloj torkreta. Izraženi su krovinski i podinski pritisci. Kružni dio TV-4 luka u stropu je uslijed priti-

ska spljošten (spušten). Pokušalo se pritisak neutralizirati drvenim stupcima i podvlakom, ali bez rezultata, izuzev što je povećan osjećaj sigurnosti. Konačno, pritisak je oblikovao ravan strop, te je postavljena unutarnja čelična mreža i nabačen drugi sloj torkreta (sl. 11.). Torkret, zbog prodora stijene između lukova, nije bio svugdje iste debljine. Podina je nabujala cca 1.0 m. Nakon pouzimanja, stavljena je čelična mreža na stupce lukova koji su bili u nabujaloj podini, te je nabačen torkret i betoniran temelj. Profil se naknadno nije deformirao.

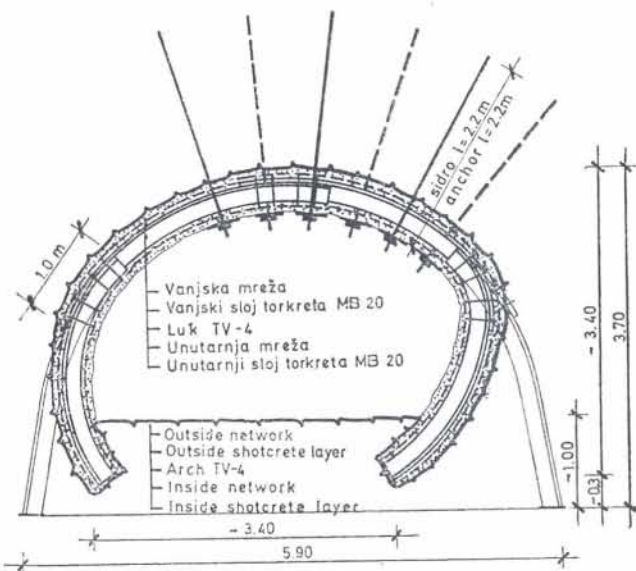
#### Tehnologija izrade 9. dionice

Stijena prelazi u tamnozeleno pješčane gline s ulošcima tufitičnog pijeska. Promjena tehnologije izrade u odnosu na prethodnu dionicu



Sl. 11 Projektirana i deformirana 8. dionica  
Fig. 11 8th section, planned and deformed

je u tome što se pokušalo većim preklapanjem TV-4 lukova (1.0 m umjesto 0.4 m) dobiti niži profil u stropu a širi u podini, tako da su stupci lukova nagnuti prema van u odnosu na uzdužnu os prostorije. Time je povećana površina za rasterećenje pritiska. U ovoj dionici pritisci su veći nego u prethodnoj, što se naročito odnosi na bočne pritiske. Bočni pritisci su na kraju 8. dionice tako djelovali na oblikovanje profila da se doimao kružnim iako su stupci lukova postavljeni ravni (sl. 12.).

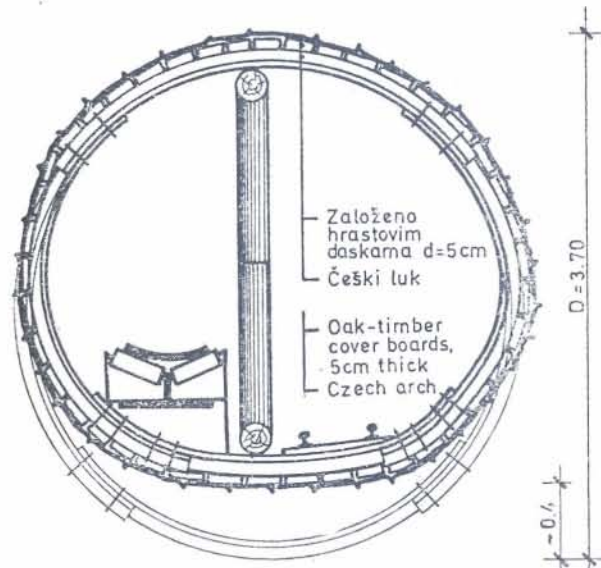


Sl. 12 Projektirani i deformirani kraj 8. i početak 9. dionice  
Fig. 12 8th section's end and 9th section's beginning, both planned and deformed

Podgrađivanje i permanizacija su odgovarali onom na 8. dionici. Profil se neznatno deformirao ali u takvim granicama da je održan projektirani svijetli profil. Pokušalo se 2.2 m dugim čeličnim sidrima zaustaviti kretanje stijene, ali nije se uspjelo iako su sidra bila čvrsto zategnuta. Napredovanjem slijedeće dionice zadnjih 25 m 9. dionice podrobljeno je u krovinskom dijelu.

### Tehnologija izrade 10. dionice

Dionica u dužini približno 200 m osvajana je strojem AM-100 u pilotskom profilu. Prevladava tamnosiva glina. Profil je podgrađivan češkim lukovima s kontralukom (koji je ugrađivan 20 m od čela radilišta), te je zalagan 5 cm debelom hrastovinom po cijelom obimu (sl. 13.). Drvenim stupcima i podvlakom profil je ojačan. Izraženiji su podinski pritisci i prije ugrađnje kontralukova pouzimana je nabujala podina za 0.6 do 0.8 m.



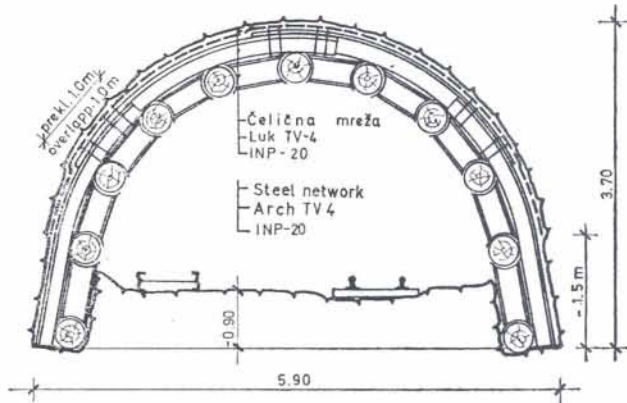
Sl. 13 Projektirani i deformirani pilotski hodnik 10. i 12. dionice  
Fig. 13 10th and 12th section's pilot drift, planned and deformed

Podina je bujala i nakon postavljanja kontralukova. Otežano je održavanje transportnog puta pa je dolazilo i do potpunog prekida transporta. Učinci su iz navedenih razloga drastično smanjivani s dužinom izrađene dionice.

### Tehnologija izrade 11. dionice

Dionica je osvajana i podgrađivana kao i prethodna, strojem u pilotskom profilu, pa je naknadno proširena i podgrađena lukovima TV-4. Stijena je ista kao u prethodnoj dionici. Profil je proširivan da bi se zamijenila mjesta stroja AM-100 i utovarne lopate EIMCO kojom je

pouzimana podina iza čela radilišta. Planirano je da se naredna dionica izrađuje miniranjem i utovarnom lopatom. TV-4 lukovi su zbog velikih pritisaka ojačani mol-podgradom i založeni jednostrukom čeličnom mrežom. Bokovi do visine 1.5 do 2.5 m nisu zalagani da bi se ostavio prostor za prolaz stijene između lukova (sl. 14.). Nabujala podina je pouzeta u visini 1.0 m.



Sl. 14 Projektirana i deformirana 11. dionica  
Fig. 14 11th section, planned and deformed

Profil je dobro održan jedino su segmenti lukova neznatno navučeni jedan preko drugog pa je njihovo preklapanje bilo veće od projektiranog (1.0 m).

#### Tehnologija izrade 12. dionice

Posljednja dionica u dužini cca 20 m osvaja se miniranjem i utovarnom lopatom EIMCO u pilotskom profilu. Profil je podgrađen okruglim češkim lukovima koji su zalagani 5 cm debelom hrastovinom (sl. 13.). Profil se dobro održao u bokovima i krovini. Drugi put nabujala podina deformirala je podinske segmente na početku dionice.

#### Analiza provedenih tehnologija izrade

Talninska veza u dužini približno 800 m izrađena je u punom ili u pilotskom profilu. U uvjetima velikih jamskih pritisaka projektanti i izvođač bili su prisiljeni na stalno iznalaženje najpovoljnije tehnologije izrade. Prostorija je permanizirana uglavnom klasičnom jakom nepopustljivom podgradom, izuzev u dionicama 10, 11 i 12. Provedene tehnologije izrade dale su zadovoljavajuće rezultate samo na dionicama gdje su jamski pritisci bili smanjeni. Pojačani jamski pritisci bitno umanjuju učinke i dinamiku radova. Ugrožena je stabilnost i projektirani svijetli profil prostorije. Permaniziranu prostoriju, naročito kad se profil potpuno zatvara ne dopuštajući oslobađanje jamskog pri-

tiska (lijevani beton), potrebno je sanirati i u krajnjoj konzekvenci ponovo prezidati. Jasno, time se višestruko povećava cijena koštanja metra izgrađene prostorije.

**Jamski pritisci.** Veličina jamskih pritisaka zavisi o dubini i vrsti stijene u kojoj se izrađuje podzemna prostorija. U glinovitim stijenama stupanj vlažnosti ima znatan utjecaj na intenzitet jamskih pritisaka. Najizrazitiji pritisci u glinovitim stijenama dolaze iz pravca podine i bokova. Maksimalni pritisci pojavljuju se na određenoj udaljenosti od čela radilišta, a ta udaljenost je u zavisnosti od površine otvaranja, odnosno širine poprečnog profila prostorije (sl. 15.). Primjerice, mjesta pojave maksimalnih pritisaka su udaljena od čela radilišta 20–30 m za profil izbivanja površine 15 m<sup>2</sup> i širinu profila 5.4 m, odnosno 15–20 m kada je površina profila izbivanja 10 m<sup>2</sup> i širina 3.6 m (ista relacija vrijedi i za okrugli profil promjera 3.2 m).

Pitanje je na koji način rasteretiti pritiske, a da to nema za posljedicu deformiranje i uništenje ugrađene podgrade, te suženje projektiranog svijetlog profila prostorije. Pilotskim profilom, u zonama izraženih pritisaka, isti se tek djelomično oslobađaju. Proširenjem na puni profil ponovno se intenziviraju, tako da je potrebna sanacija i konačno prezidavanje već izgrađene prostorije. Ista konstatacija vrijedi i za prostorije osvajane punim profilom i permanizirane lijevanim betonom. Kada je pilotski rov podgrađivan popustljivim lukovima isti su ojačavani drvenim stupcima i podvlakom, mol-podgradom i sl., tako da se pritisak nije mogao u potpunosti oslobađati. Kod potkovičaste podgrade, jaki bočni pritisci ugrožavaju stabilnost podgrade. Pritisci se u izvjesnoj mjeri oslobađaju na slobodnoj nepodgrađenoj podini, samo je kod toga potrebno osigurati bokove podgrade. Pritisci se prenose na u blizini izgrađene jamske prostorije stoga je neophodno imati plan otvaranja i permanizacije prostorija kako nebi došlo do drobljenja već ugrađene stalne podgrade.

#### Zaključak

Analiza tehnologija izrade Talninske veze pokazuje da primjenjene jake stalne podgrade nemogu podnijeti veće jamske pritiske. Podgrada se deformira i smanjuje projektirani svijetli profil, te je ugrožena stabilnost i sigurnost prostorije. Kada se pritisci smire i stabiliziraju takva podgrada nema pravu svrhu jer nema što nositi i bilo bi dovoljno da je prostorija permanizirana »lakšom« podgradom. Poželjno bi prema tome bilo, odmah po napredovanju ugraditi stalnu podgradu u punom profilu, koja dozvoljava višekratno oslobađanje jamskih pritisaka, a da time nije ugrožena stabilnost podgrade. Na taj način izbjegava se

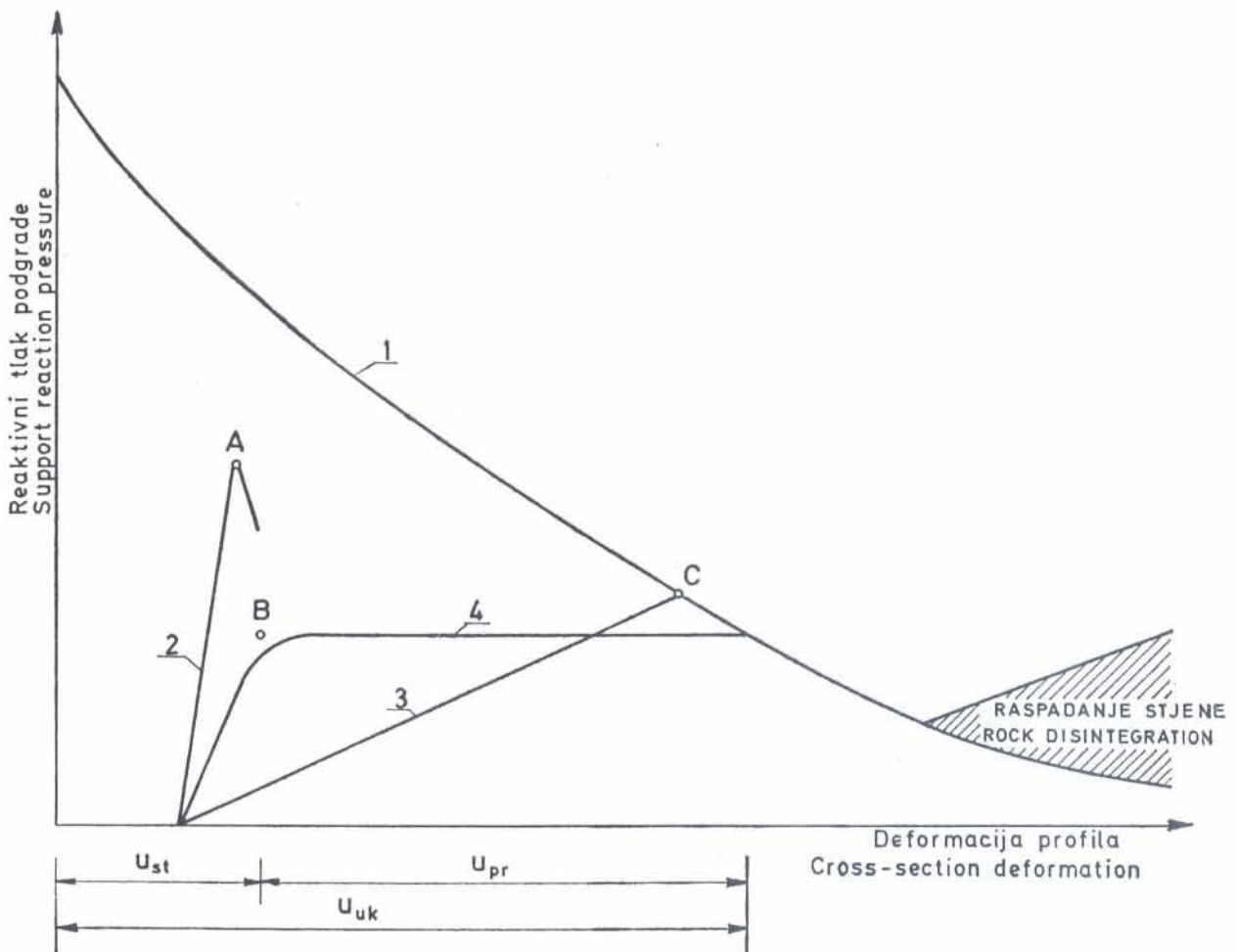
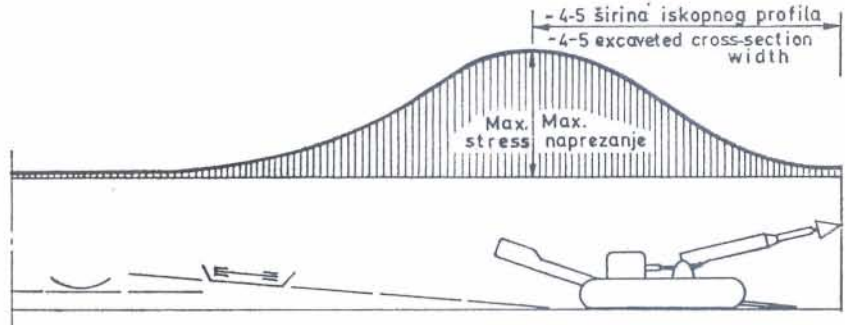


Sl. 15

Mjesto pojavljivanja maksimalnog jamskog pritiska u odnosu na čelo radilišta

Fig. 15

Maximum underground pressure occurrence in relation to working face



Sl. 16 Dijagram međusobne reakcije stijene i podgrade

1 — naprezanje stijene, 2 — reaktivni tlak primjenjene krute podgrade, 3 — reaktivni tlak po novoj austrijskoj metodi (mlazni beton + lukovi), 4 — reaktivni tlak propustljive krute podgrade, A — nosivost krute podgrade, B — nosivost propustljive krute podgrade, C — uravnoteženje naprezanja u stijeni i reaktivnog tlaka podgrade,  $u_{uk}$  — ukupna konvergencija,  $u_{st}$  — stvarna konvergencija,  $u_{pr}$  — prividna konvergencija

Fig. 16 Rock and support interaction diagram

1 — rock stress, 2 — reaction pressure of applied rigid support, 3 — reaction pressure of new austrian method support (shotcrete + arches), 4 — reaction pressure of permeable rigid support, A — load-bearing capacity of rigid support, B — load-bearing capacity of permeable rigid support,  $u_{uk}$  — total convergence,  $u_{st}$  — real convergence,  $u_{pr}$  — fictitious convergence

izrada pilotskog profila, proširivanje na puni profil, sanacija i prezidavanje prostorije.

Uvažavajući izneseno, stalna podgrada treba ispuniti slijedeće uvjete:

1. Da bude dovoljno otvorena, tj. da ima malu dodirnu površinu sa stijenom. Otvorenost podgrade dopušta prolaz stijene kroz podgradu i rasterećenje jamskog pritiska. Mala dodirna površina kojom podgrada komunicira sa stijenom ne dopušta da podgrada preuzme veća naprezanja na sebe.

2. Podgrada mora imati samo toliku nosivost da se ne deformira dok se na njenim otvorima ne podrobi stijena. U pravilu podgrada je izrađena od materijala koji ima veću čvrstoću od stijene u kojoj se izgrađuje jamska prostorija. Ako to nije slučaj, stijene su samonosive (izuzev zdrobljenih stijena), pa podgrada nije ni potrebna.

3. Podgrada mora biti tako dimenzionirana da podnosi najveće očekivane pritiske iz pravca podine i bokova. Konstatacija vrijedi samo u slučajevima kada su pravci najvećih jamskih pritisaka odgovarajući onima u primjeru Talninske veze.

4. Podgradu treba izvesti kao krutu. Na taj način održava se projektirani svijetli profil. Propuštena stijena se pokuplja. Zavisnost deformacije stijene i reaktivnog tlaka u podgradi prikazana je slikom 16. Primjenjena kruta podgrada kod izgradnje »Talninske veze« drobi se i nakon drobljenja ima znatno manju nosivost, a da pri tome nije utjecala na zaustavljanje procesa deformacije stijene. Iskazana je izrazito velika deformacija profila prostorije, pa ukoliko bi se primjenilo podgrađivanje u skladu s teoretskom osnovom nove austrijske metode, projektom bi trebalo predvidjeti izbijanje znatno većeg natprofila prostorije, da se osigura dovoljno veliki kapacitet deformiranja stijene. Naprezanje na krutoj propustljivoj podgradi je ograničeno. Podgrada može imati

nosivost kao i primjenjena kruta, ali nije izložena tolikim naprezanjima, jer se veliki dio pritiska oslobodi na otvorima podgrade. Karakteristika propustljive krute podgrade odgovara karakteristici frikcijske podgrade s ograničenom nosivošću i neograničenom deformacijom. Ukupna konvergencija stijene sastoji se od stvarne (vidljive) konvergencije i prividne (nevidljive) konvergencije. Prividna konvergencija izražena je relacijom:

$$u_{pr} = V/A$$

gdje su:

- V — volumen pouzete stijene na 1 m  
A — oplošje prostorije.

5. Elemente podgrade treba oblikovati tako da prostorija nije ugrožena od padanja komada stijene iz stropa.

Problem ovakve podgrade (kao i drugih) ostaje vrijeme njene ugradnje. Povoljno bi bilo ugraditi podgradu u mirno područje (gdje su jamski pritisci rasterećeni) i kada se stabilizira režim voda odnosno vlažnost stijene (uključujući i okolne stijene). Jasno ovi zahtjevi su u kontradikciji, jer bi se predviđena podgrada ugrađivala kao stalna, odmah po izvršenom napredovanju čela radilišta.

Prednosti podgrade koja bi ispunila navedene zahtjeve su očite. Prostorija se otvara i odmah ugrađuje stalna podgrada u punom profilu. Uštede su dvojake. Jedne proizlaze iz vremenskog aspekta jer se omogućuje postizanje planirane dinamike radova i ne gubi vrijeme na sanaciju i prezidavanje prostorije. Druga proizlazi iz aspekta materijala, jer je potrebno volumenski više materijala ugraditi u klasičnu jaku podgradu (lijevani beton). Dodatni su troškovi materijala ugrađenog u sanacione zahvate i prezidavanje prostorije. Krajnji rezultat je manja cijena koštanja izgrađenog metra prostorije i puno veći stupanj sigurnosti na radu.

Primljeno: 9. I. 1989.

Prihvaćeno: 6. III. 1989.

#### LITERATURA

Hudec, M. (1983): Statika obloge podzemnih prostorija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Onika, D. (1972): Excavation of Mine Openings, Mir Publishers, Moskva.

## A Suggestion for the Permanent Support Drive in Conditions of Considerable Underground Pressures

S. Filipović and D. Vrkljan

In the lignite mine »Titovo Velenje« the drift has been driven along the coal bed floor, through marly clays and tuff sandstones of different varieties and moisture contents. The drift of total length 800 m was driven at the depth of 350 m from the surface, by the machine AM-100. Clays acted considerable pressures to the installed supports both temporary and permanent ones, especially directed from the road-way sides and the floor. Technologies of the drift performance had been changed depending on the intensity of underground pressure, thus there were 12 different technologies applied during the drive. The finished cross-section was driven in full cross-section of 15 m<sup>2</sup> or in pilot cross-section of 10 m<sup>2</sup>. The floor lift was clearly expressed and repeated for several times. In most sections the planned cross-section clearance diagram of the drift could not be kept. Permanent supporting of the drift by the cast concrete (20 cm thick) proved well only in the sections with underground pressures of small intensity. In other sections the concrete in roof cracked and the concrete fundamentals were lifted and broken, so that the planned cross-section clearance diagram was not followed and there was a need for sanation. The drift was in its full cross-section supported by steel arches of the TV-4 type (at distances 0.5—1.0 m) lagged by the steel network. The inside steel network and the 5—10 cm thick shotcrete layer were put on the arches. In some sections the support was reinforced with wooden columns and mole-support. In the pilot cross-

-section the arches TV-4 or the Czech arches (at distances 33—50 cm) with oak-wooden planks were used in supporting. The roof was regularly injected with the mixture of ash and cement to achieve the uniform pressure transmission to the support. None of the applied technologies in the areas with increased underground pressure proved fully satisfying due to the dangerous drift stability and decreased the planned cross-section of the drift, particularly in the floor and the road-way sides. The reduction of the planned cross-section clearance has considerably influenced the dynamics of works, so that more time has been spent for the drift cross-section maintenance than for the drive and support themselves. The drift roof was improved by 2.0 m long steel anchors (at distances 0.5 m) by steel network and a shotcrete layer addition. Some sections were rebuilt. The analysis of technologies applied to the drift drive and underground pressures has resulted in the suggestion for the performance of a permanent support whose properties would correspond to the conditions adequate to those in the »Talninska veza«. The support properties would enable to install the support immediately as permanent, allowing a multiple reduction of underground pressures without any damage of the support itself. In this way the sanation actions would be avoided and the planned dynamics of the drift drive would be maintained, decreasing the costs for an excavated meter of the drift.