

Projekt »Unapređenje metoda eksploatacije boksita i njihova aplikacija« financiran od Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike Republike Hrvatske

## PODGRADIVANJE KRIŽIŠTA SMJERNOG I OTKOPNIH HODNIKA PRI PODETAŽNOM OTKOPAVANJU BOKSITA

Srećko MAJIĆ

Rudnici boksita Posušje, 88240 Posušje, Bosna i Hercegovina

**Ključne riječi:** Boksit, Podzemna eksploatacija, Podupiruća podgrada, Sidra, Podgrađivanje sidrenjem

U članku je prikazana otkopna metoda podzemne eksploatacije boksita u Rudniku boksita Posušje i dosadašnja iskustva na podgrađivanju križišta smjernih i otkopnih hodnika gdje je u oko 6% slučajeva dolazilo do loma podupiruće podgrade i urušenja stropa križišta. Na temelju najvećeg urušenja proveden je proračun i dimenzioniranje kritičnih elemenata podgrade (podvlake i grede). Razrađena je mogućnost podgrađivanja sidrenjem i čeličnom mrežom. Centralni dio križišta podgrađuje se sidrima učvršćenim u podu hodnika gornje etaže, a ostali dio sa sidrima s ekspanzijskom čahurom. Pokazalo se da podgrada sidrima ima tehničku, sigurnosnu i gospodarsku prednost.

**Key-words:** Bauxite, Underground exploitation, Frame support, Rock bolt support

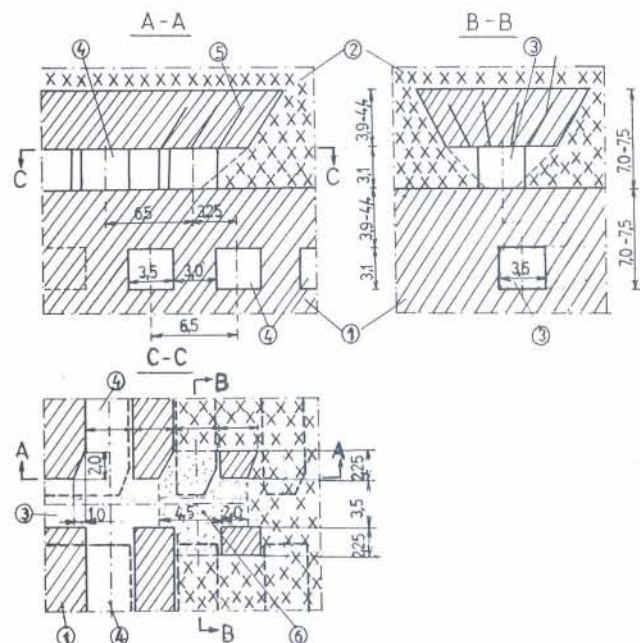
The report discusses the excavation method in underground bauxite exploitation of the Bauxite Mine Posušje, as well as the experiences in crossing support of drifts and crosscuts till now, where it came in about 6% cases to the breakage of the frame support and to crossing ceiling caving. On the basis of such biggest caving, the estimate and dimensioning of critical support elements (runner and bar) were performed. The possibility of supporting by bolting and steel plate was also considered. For the central part of the crosscut the use of bolts was assumed, which are fixed in the up-face, and for the rest of crossing the expansion shell anchors. For the latter, the estimate for anchoring elements was elaborated. Technical, safety and economic advantage of the bolts support is proved when compared with the frame support.

### Uvod

Podetažno otkopavanje sa zarušavanjem krovine je učestala metoda u podzemnoj eksploataciji boksita u Europi. U Republici Hrvatskoj i u Republici Bosni i Hercegovini to je osnovna a u brojnim rudnicima i jedina otkopna metoda. Parametri koji definiraju ovu otkopnu metodu jesu: visina podetaža, razmak između otkopnih hodnika i dimenzije izboja hodnika. Dimenzije izboja hodnika određuju način podgrađivanja i mehanizacija koja se koristi kod njegove izrade i kod otkopavanja. Veća produktivnost nameće potrebu uvođenja mehanizacije većih kapaciteta, što iziskuje povećanje profila hodnika. Time se multiplicira problem podgrađivanja, što naročito dolazi do izražaja kod primjene podupiruće podgrade kada utrošak građe za podgradu stropa raste s četvrtom potencijom širine hodnika. U rudnicima boksita Hrvatske i Bosne i Hercegovine do sada se za podupiruću podgradu koristilo drvo ili čelik, ili kombinacija drva i čelika. Takav način podgrađivanja je skup zbog relativno velikog utroška podgradnog materijala i anagažiranja radne snage na ugradnji, kao i na održavanju.

Poseban problem predstavlja podgrađivanje križišta (sl. 1 i 2), i to iz slijedećih razloga:

- povećanje pritiska na podgradu u centralnom dijelu križišta je do 2,5 puta veće od pritiska na podgradu u hodnicima u pravcu,
- podvlaka na skretnoj strani križišta (ulaz mehanizacije iz smjernog u otkopni hodnik) je za 42%

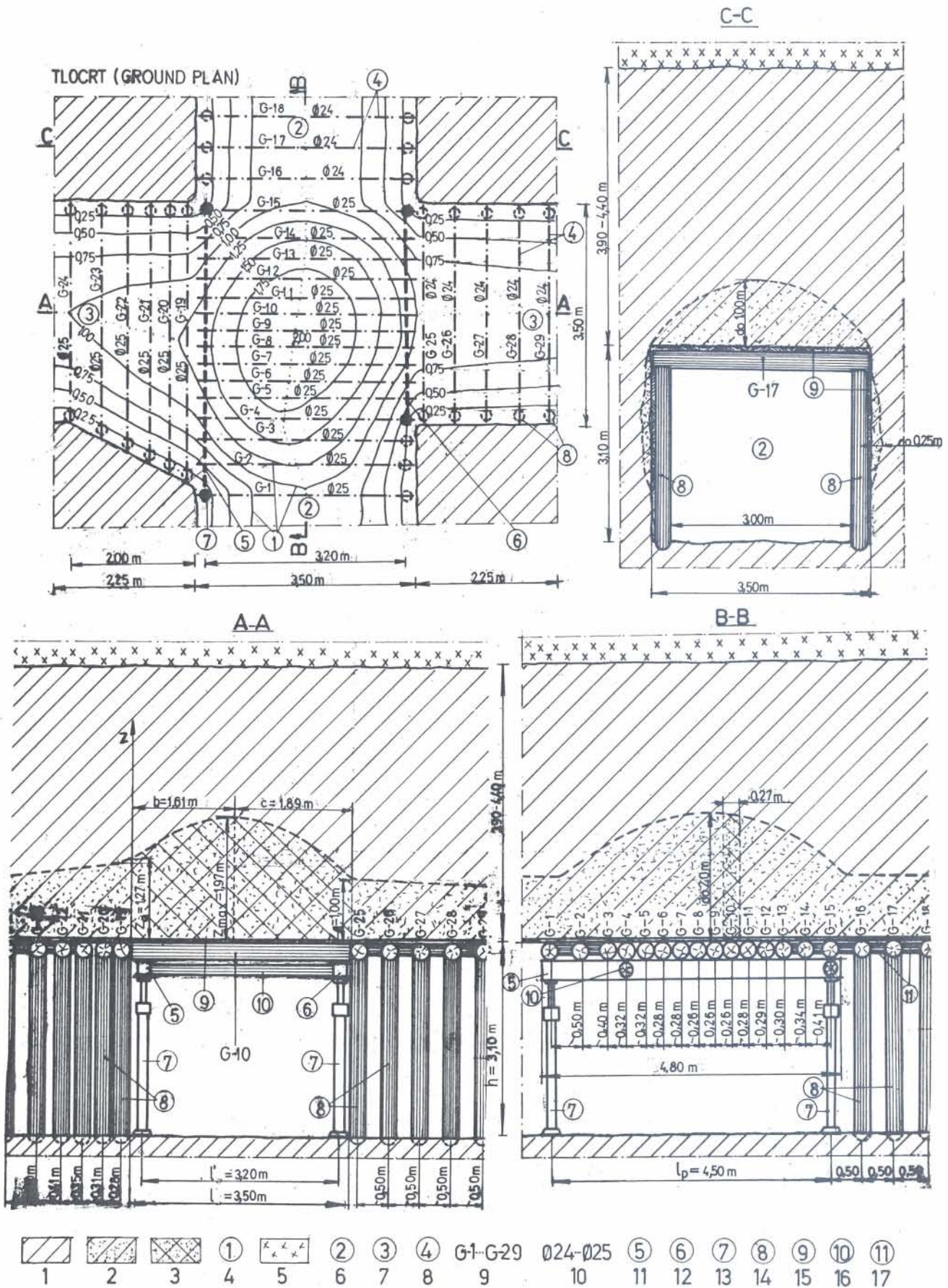


Sl. 1 Podetažna otkopna metoda otkopavanja boksita sa zarušavanjem krovine u Rudniku boksita Posušje

Fig. 1 Sublevel caving method in the Bauxite Mine Posušje

Legenda - Legend

- 1 boksit - Bauxite
- 2 zarušena krovina - Caving waste
- 3 smjerni hodnik - Drift
- 4 poprečni hodnik - Crosscut
- 5 minska bušotina - Blasthole
- 6 križište - Crossing



Sl. 2 Podgrađivanje križišta hodnika u boksitu podupirućom podgradom

Fig. 2 Crossing supporting of the drifts and crosscuts by frame support

Legenda - Legend  
 1 boksit - Bauxite  
 2 razrušeni boksit - Loose bauxite

Tablica 1 Fizičko-mehanička svojstva boksita i pratećih naslaga u jami Trobukva  
 Table 1 Physical-mechanical properties of bauxite and companied layers in the Trobukva mine

Ispitani parametri (Examined parameters)	Ledinica mjere (Unit of measure)	Vapnenac (Limestone)	Boksit (Bauxite)	Lapor (Marl)
$\sigma_t$ – jednoosna čvrstoća (uniaxial compressive strength)	kN/m <sup>2</sup>	30400	21270	19490
$\sigma_v$ – vlačna čvrstoća (tensile strength)	kN/m <sup>2</sup>	14710	3860	4860
$\sigma_s$ – čvrstoća na savijanje (bending strength)	kN/m <sup>2</sup>	8830	1830	
$\varphi$ – kut unutrašnjeg trenja (angle of internal friction)	°	44,00	44,91	44,44
c – kohezija (cohesion)	kN/m <sup>2</sup>	18840	4040	4280
$E_e$ – modul elastičnosti (modulus of elasticity)	kN/m <sup>2</sup>		26140	22530
$E_d$ – modul deformacije (modulus of deformation)	kN/m <sup>2</sup>		15460	16570
$\nu$ – Poissonov koeficijent (Poisson's ratio)			0,30	0,23
$\rho$ – volumna masa (bulk density)	t/m <sup>3</sup>	2,60	2,50	2,33

- duža od greda na hodnicima a od njih je opterećenija oko 11 puta,
- podgrada na križištu izložena je povećanoj mogućnosti oštećenja kod manevara mehanizacije,
  - kod eventualnog urušenja podgrade popravak je vrlo težak i opasan,
  - prilikom otkopavanja križišta podgradni materijal se ili uništi ili je nemoguće do njega doći, pa je mogućnost reaktiviranja podgradnog materijala svedena na minimum.

U ovom radu obrađen je način podgrađivanja i proračun podupiruće podgrade na primjerima najvećih urušenja u stropu križišta uočenih tijekom osmogodišnje eksploatacije boksita u Rudniku boksita Posušje, jame Trobukva i Baturinka. Podgrađivanje hodnika sidrenjem na nivou teorijskih razmatranja objavili su Majić (1988) te Majić i Vujeć (1990). Bitne postavke iz ovog rada potvrdile su se kasnije eksperimentalnim istraživanjima koja će biti prezentirana u ovom radu.

### Geološke i geotehničke karakteristike boksita i pratećih naslaga

U rudnicima boksita Posušja podzemna eksploatacija obavlja se u jamama Trobukva i Baturinka. U

- 3 razrušeni boksit koji opterećuje gredu G-10 – *Loose bauxite which is straining at the bar G-10*
- 4 izohipse kontakta razrušenog i čvrstog boksita – *Contour lines between loose and competent bauxite*
- 5 zarušena krovina – *Caving waste*
- 6 smjerni hodnik – *Drift*
- 7 poprečni hodnik – *Crosscut*
- 8 os drvene grede – *Axis of wooden bar*
- 9 oznaka grede – *Designation of wooden bar*
- 10 promjer grede cm – *Diameter of wooden bar, cm*
- 11 čelična podvlaka (profil 2 INP 30) – *Steel runner (profile 2 INP 30)*
- 12 čelična podvlaka (profil 2 INP 24) – *Steel runner (profile 2 INP 24)*
- 13 čelični frikcionni stupac Valent 40OR – *Steel friction prop Valent 400 R*
- 14 drveni stupac Ø 22 cm – *Wooden prop Ø 22 cm*
- 15 zalag od okoraka ili daske 2,5 cm debljine – *Logging of planks 2,5 cm thick*
- 16 drveni razuporanj Ø 18 cm – *Wooden strut Ø 18 cm*
- 17 drveni razuporanj Ø 16 cm – *Wooden strut Ø 16 cm*

području Studenih vrela otvorena je i jama Okrugli Brijeg, a prema dosadašnjim istraživanjima postoji mogućnost otvaranja još četiri jame. Sva ležišta nalaze se na okršenim vapnencima gornje krede, a u krovini su Promina-naslage koje konkordantno leže na boksitu.

Područje Studenih vrela tektonski je veoma poremećeno, a glavno ubiranje naslaga nastalo je nakon taloženja boksita i krovine. Vapnenci su tijekom predrudne i postrudne faze pretrpjeli značajne promjene s izraženim sustavima pukotina uz rasjede te sustavima tenzijskih pukotina. U fizičko-mehaničkom pogledu vapnenci imaju stabilne karakteristike (tablica 1). U vapnencima je do sada izrađeno oko 4500 m prostorija profila 12 m<sup>2</sup>, i veći broj križišta, praktično bez podgrade. Zajedno sa sedimentima podine i krovine boksit je također pretrpio strukturne promjene. U ležištima su najizraženije pukotine smicanja. Duž njih dolazi do odlamanja i zarušavanja materijala u slobodne prostore. Fizičko-mehaničke karakteristike boksita (tablica 1) pokazuju da se radi o mekoj rudi. Sve prostorije koje se u njemu izvode se podgrađuju. Neposrednu krovinu čine lapori debljine od 10 do 60 m. Kontakt boksita i lapora je pod nagibom od 0 do 50°. Fizičko-mehanička svojstva lapora (tablica 1) ukazuju da se radi o mekoj stijeni.

### Otkopna metoda

U rudnicima boksita Posušja primjenjuje se podetažno prečno otkopavanje sa zarušavanjem krovine (sl. 1). Visina etaža iznosi od 7 do 7,5 m. Smjerni hodnici izrađuju se duž pružanja rudnog tijela po sredini etaže. Otkopni hodnici izrađuju se okomito na smjerne, na međusobnom razmaku 6,5 m i u šahovskom rasporedu prema hodnicima susjednih etaža. Dimenzije hodnika prilagođene su veličinama jamskih utovarivača na dizel pogon zapremine kašike od 2 m<sup>3</sup> i jamskih bušilica s jednom granom dužine lafete do 3 m. Širina izboja hodnika je 3,5 m osim u dijelu skretnog otkopnog hodnika (otkopni hodnik u koji može ulaziti mehanizacija iz smjernog hodni-

ka), čija širina na početku iznosi 4,5 m i postepeno se do udaljenosti od 2 m smanjuje na širinu od 3,5 m.

Prema tome mijenja se i širina zaštitnog stupa između otkopnih hodnika od 2 do 3 m. Visina izboja hodnika je 3,1 m. Širina svijetlog profila hodnika je od 3 do 4 m, a visina 2,82 m.

Bušenje i miniranje lepeza izvodi se u stropu i stupu prema starom radu s ostavljanjem zavjese u stropu i boku debljine oko 1 m. Linija najmanjeg otpora iznosi od 1,5 do 2 m. Bušotine su nagnute prema starom radu pod kutom 60°. Miniranje lepeze izvodi se iz pogradenog hodnika, pri čemu se dobar dio podgrade uništi ili ostane zatrpan. Miniranje lepeza na križistu mora se izvoditi odjednom, što izaziva oštećenje ili zatrpanje skoro sve podgrade na križistu.

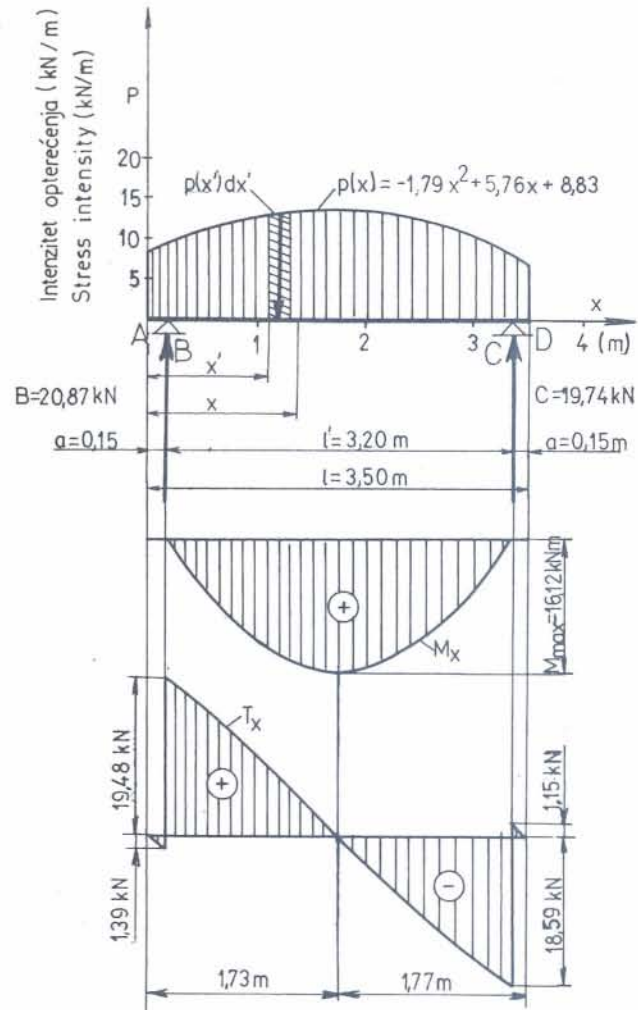
### Podgrađivanje križišta podupirućom podgradom

Križište je dio smjernog hodnika dužine 6,5 m što odgovara širini skretnog otkopnog hodnika 4,5 m i zaštitnog stupa 2 m te dijelova otkopnih hodnika od bokova smjernog hodnika dužina po 2,25 m (sl. 1. i 2.). Strop navedenih prostorija podgrađuje se jelovim gredama  $\varnothing 0,24$  m na razmaku 0,5 m. Dužina greda jednaka je širini prostorije. Na udaljenosti 0,15 m od krajeva grede se oslanjaju na drvene stupce  $\varnothing 0,22$  m, odnosno na podvlake koje su izrađene od čeličnih profila 2 INP 16. Podvlake se oslanjaju na čelične frikione stupce Valent 400 R. Razmak između stupaca na skretnoj strani križišta je 4,5 m, a na drugoj strani križišta iznosi 3,2 m. Pozicija podvlake i Valent stupaca identična je poziciji prikazanoj na sl. 2. Strop a po potrebi i bokovi zalažu se jelovim daskama debljine 2,5 cm ili okorcima.

U praksi se potvrdilo da opisani način podgrađivanja potpuno zadovoljava na dionici gdje smjerni hodnik prolazi kroz zaštitni stup (grede G-16 do G-18) i na dijelu otkopnog hodnika širine 3,5 m (sl. 2). Na drvenim i na Valent stupcima nisu uočene deformacije. Međutim, dosta česte deformacije uočavane su prvenstveno na dužoj i na kraćoj podvlaci, kao i na gredama dužim od 3,5 m koje se oslanjaju na podvlake. Podgrada na ovom dijelu križišta urušila se u pet slučajeva (6% izrađenih križišta), pri čemu je došlo do urušenja stropa s granicama urušenja konkavnog oblika. Visina urušenja za pojedine slučajeve iznosila je od 1,4 do 2 m. Oblik i veličine jednog od najvećih urušenja prikazan je na sl. 2.

Na toj slici prikazan je i način podgrađivanja križišta podupirućom podgradom koja je dimenzionirana prema navedenom najvećem urušenju stropa. Predimenzioniranje podgrade je izvršeno samo za podvlaku i podgradne elemente koji nisu zadovoljavali kod najvećih opterećenja i to greda koje se oslanjaju na podvlake ili greda dužih od 3,5 m. Linija urušenja iznad osi pojedinih greda ima paraboličan oblik, pa se one mogu aproksimirati parabolom.

Intenzitet opterećenja i statički proračun pojedine grede na križistu prikazuju se na primjeru grede G-10 (sl. 2. i 3). Intenzitet opterećenja grede  $p(x)$  dobije se po formuli:



Sl. 3 Drvena greda G-10

Fig. 3 Wooden bar G-10

$$p(x) = 0,5\gamma(S_1 + S_d) \left[ \frac{1}{b^2} (Z_{\max} - Z_a)(2b \cdot x - x^2) + Z_a \right] + q \quad (1)$$

gdje su:

$\gamma$	= 24,52 kN/m <sup>3</sup>	– prostorna masa boksita
$S_1$	= 0,26 m	– udaljenost od lijeve grede
$S_d$	= 0,28 m	– udaljenost od desne grede
$b$	= 1,61 m	– udaljenost od početka grede (točka A) do najvećeg urušenja iznad osovine grede
$Z_{\max}$	= 1,97 m	– najveće urušenje iznad osovine grede
$Z_a$	= 1,27 m	– urušenje iznad grede u točki A
$q$	= 0,42 kN/m	– težina hrastove grede $\varnothing 0,25$ m po metru dužine.

Uvrštavanjem navedenih veličina u formulu (1) dobije se intenzitet opterećenja za greda G-10:

$$p(x) = -1,79x^2 + 5,76x + 8,83 \text{ (kN/m)} \quad (2)$$

Grede se računaju kao proste grede s propustima, opterećene kontinuiranim opterećenjem, čiji intenzitet je određen funkcijom  $p(x)$ . Za greda G-10 dobivaju se uz numeričke podatke na sl. 3, ove veličine:

$$M_{\max} = 16,12 \text{ kNm}$$

$$T_{\max} = 19,58 \text{ kN}$$

Za odabrani promjer grede  $\varnothing 0,25$  m dobivaju se maksimalna naprezanja na savijanje i smicanje:

$$\sigma_{\max} = 10900 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_{\max} = 530 \text{ kN/m}^2.$$

Dobivena naprezanja manja su od odgovarajućih:

$$\sigma_d = 11000 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_d = 3200 \text{ kN/m}^2.$$

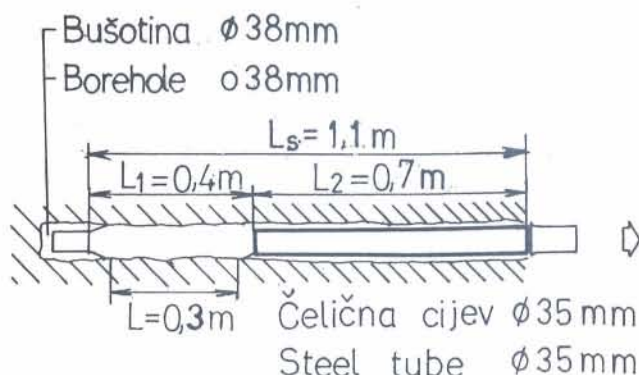
Lijeva podvlaka (sl. 2) opterećena je lijevim reakcijama greda od G-1 do G-15 čije veličine iznose od 16,01 kN do 23,36 kN. Reakcije u stupcima koji nose podvlaku su 144,40 kN i 158,51 kN, a  $M_{\max} = 179,63$  kN i  $T_{\max} = 139,89$  kN. Desna podvlaka opterećena je desnim reakcijama greda od G-4 do G-15, čije veličine iznose od 16,50 kN do 20,46 kN. Reakcije u stupcima koji nose podvlaku su 109,44 kN i 119,73 kN, a  $M_{\max} = 88,50$  kN i  $T_{\max} = 101,72$  kN. Odabrani čelični profili lijeve podvlake 2 INP 30 i desne podvlake 2 INP 24 zadovoljavaju uvjete dozvoljenih naprezanja i progiba, a čelični stupci Valent 400R zadovoljavaju navedenim reakcijama u osloncima podvlake.

Otkopavanjem uništi se sva drvena građa i prosječno 75% čeličnih stupaca i podvlaka. Troškovi podgrađivanja križišta iznose 5 203 000 HRD (studeni 1992), od čega na troškove materijala otpada 54,4%, a na ugradnju 45,6%, (tablica 2).

### Podgrađivanje sidrima

Teorijski je dokazano da primjena sidara kod podgrađivanja podetažnih hodnika u boksitu ima tehničku, ekonomsku i sigurnosnu opravdanost (M a -

jić, 1988; Majić i Vujeć, 1990). Na temelju tih radova ispitivanje mogućnosti primjene sidara u boksitima Rudnik boksita Posušje počeo je 1990. godine. U smjernim i prečnim hodnicima u jami Baturinka testirana su na izvlačenje iz bušotine Swellex sidra i sidra s ekspanzijskom čahuricom. Testiranje na otpor izvlačenju Swellex sidara izveden, je po preporuci proizvođača (firma Atlas Copco iz Švedske). Ovo testiranje urađeno je na sidrima dužine  $L_s = 1,1$  m (sl. 4). Dio sidra u dužini  $L_s = 0,7$  m blokira se s cijevi  $\varnothing 35 \times 1,5$  mm, tako da ostane neblokiran dio sidra u dužini  $L_1 = 0,4$  m. Pumpanjem vode pod pritiskom od 30 MPa u sidro, dolazi do ekspanzije njegovog neblokiranog dijela. Time se ostvaruje efektivno usidrenje u stijenci bušotine u dužini  $L = 0,3$  m. Hidrauličnim uređajem obavlja se postupno opterećenje sidra dok sidro ne počne klizati. Ovaj test urađen je za svako sidro po tri puta, a testirano je ukupno 5 sidara (tablica 3). Otpor izvlačenju dobije se prema formuli:



Sl. 4 Testiranje Swellex sidra na otpor izvlačenju  
Fig. 4 Pull-out resistance testing Swellex bolts

Tablica 2 Pregled troškova podgrađivanja križišta podupirućom podgradom

Table 2 Scale of costs for crossing support by frame

Podgradni materijal (Supporting material)	Jedinica mjere (Unit of measure)	Količina (Quantity)		Cijena u (000) HRD Cost in (000) HRD		
		ugrađena (Built in)	utrošena (Used)	materijal (Material)	ugradnja (Labour)	ukupno (Total)
obla hrastovina (Oak round-wood) $\varnothing 22-25$ cm	m <sup>3</sup>	8,68	8,68	1128	1663	2701
obla hrastovina (Oak round-wood) $\varnothing 16-18$ cm	m <sup>3</sup>	0,27	0,27	28	43	71
zalog od daske (Logging planks)	m <sup>2</sup>	60	60	202	116	298
	m <sup>3</sup>	1,50	1,50			
Ukupno – drvo – A (Total wood)	m <sup>3</sup>	10,60	10,60	1358	1822	3180
Valent stupac 400-R (Valent prop 400-R)	kom (piece) kg	4 360	3 180	678	56	734
čelična podvlaka (Steel runner)	kom (piece)	1	0,75	507	340	847
2 IPN 30, l = 4,8 m	kg	520	520			
čelična podvlaka (Steel runner)	kom (piece)	1	0,75	260	182	442
2 IPN 24, l = 3,5 m	kg	267	267			
Ukupno čelik – B (Total steel)	kg	1147	967	1445	578	2023
Ukupno za križište (A+B) (Total for crossing) (A+B)				2803 (53,9%)	2400 (46,1%)	5203 (100%)

$$p = \frac{F}{L} \text{ (kN/m)} \quad (3)$$

gdje su:

F = sila postignuta kad sidro počne kliziti, kN (tablica 3)

L = 0,3 m – efektivna dužina sidra.

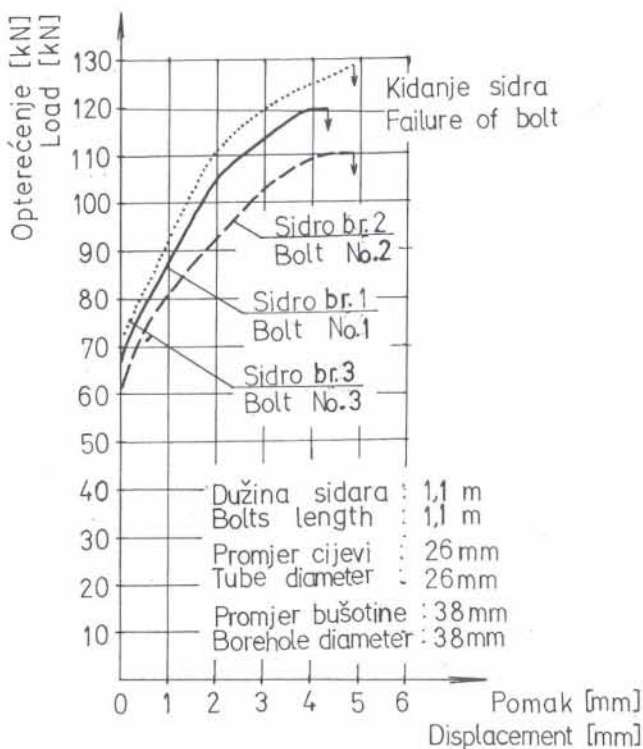
Tablica 3 Rezultati testiranja Swellex sidara na otpor izvlačenju  
Table 3 Results from pull-out resistance testing of the Swellex bolts

Sidro broj (Bolt no.)	Sila postignuta kad sidro počne kliziti, kN (Force reached when the bolt slips, kN)			Otpor izvlačenju, kN/m (Pull-out resistance, kN/m)		
	Test broj (Testing no.)	Test broj (Testing no.)	Test broj (Testing no.)	Test broj (Testing no.)	Test broj (Testing no.)	Test broj (Testing no.)
1	1	2	3	1	2	3
1	42	37	39	140	123	130
2	45	50	44	150	167	147
3	59	54	57	197	180	190
4	43	45	40	143	150	133
5	51	50	52	170	167	173

Otpor izvlačenju kreće se od 123 do 197 kN/m (tablica 3), a srednji je 157 kN/m.

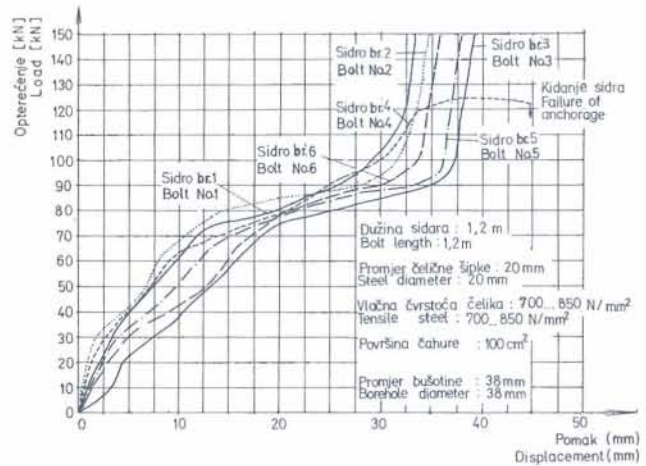
Tri Swellex sidra dužine 1,1 m testirana su na izvlačenje do kidanja. Sila kidanja pojedinog sidra bila je od 110 do 128 kN (sl. 5). Također, testirano je na izvlačenje 6 sidara s ekspanzijskom čahurom slijedećih tehničkih karakteristika:

- dužina sidra 1,2 m
- čelična šipka  $\varnothing$  20 mm
- vlačna čvrstoća čelika 700–850 N/mm<sup>2</sup>
- površina ekspanzijske čahure 100 cm<sup>2</sup>
- bušotina  $\varnothing$  38 mm.



Sl. 5 Testiranje Swellex sidara na izvlačenje do sloma

Fig. 5 Destructive pull testing Swellex bolts



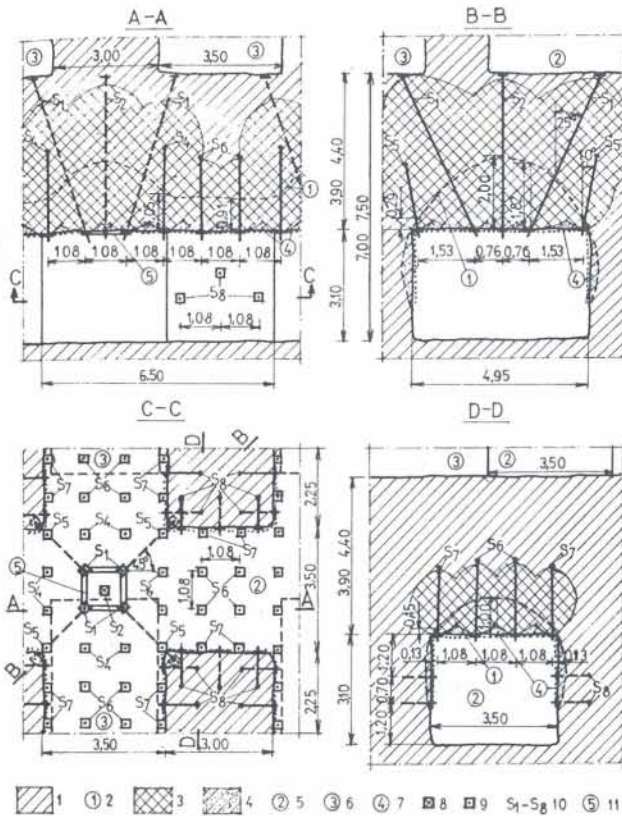
Sl. 6 Testiranje sidra s ekspanzijskom čahurom na izvlačenje

Fig. 6 Pull-out test on expansion shell anchor

Odnos između opterećenja sidra i pomaka glave sidra prikazan je na sl. 6. Sidro broj 4 puklo je na navoju glave pri opterećenju 123 kN i pomaka glave od 44 mm. Ostala sidra testirana su do opterećenja 150 kN (krajnji kapacitet uređaja za izvlačenje), pri čemu su pomaci glava sidara iznosili od 33 do 39 mm. Obavljena testiranja pokazuju da se Swellex sidra i sidra s ekspanzijskom čahurom mogu efikasno učvrstiti u bušotini u boksitu. Time je ispunjen jedan od bitnih preduvjeta njihove uporabe za podgrađivanje jamskih prostorija u boksitu.

### Podgrađivanje križišta smjernog i otkopnih hodnika u boksitu sidrima i čeličnom mrežom

Na sl. 7. prikazan je jedan od mogućih načina podgrađivanja križišta sa sidrima i čeličnom mrežom. Sidra su označena sa S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>...S<sub>7</sub>. Sidra S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub> postavljaju se u centralni dio križišta gdje je mogućnost urušavanja boksita u stropu najveća i može doseći visinu do 2 m. Sidro S<sub>2</sub> postavlja se u sredini križišta vertikalno. Sidro S<sub>2</sub> može se primijeniti u slučajevima kad smjerni hodnici etaža po horizontali nemaju odstupanja veća od 1,5 m jer se ovo sidro učvršćuje s čeličnom pločom u podu smjernog hodnika gornje etaže. U ostalim slučajevima umjesto sidra S<sub>2</sub> postavlja se sidro S<sub>3</sub> koje se učvršćuje u bušotini s ekspanzijskom čahurom. Sidro S<sub>1</sub> postavlja se dijagonalno od centra križišta na udaljenosti od 0,76 m. Postavlja se pod nagibom od 65° prema osi smjernog hodnika a učvršćuje se čeličnom pločom u podu smjernog ili otkopnog hodnika gornje etaže. Sidra S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> i S<sub>3</sub> izrađuju se od dvije šipke koje se pri ugradnji međusobno savijaju spojnicama jer im je dužina veća od visine hodnika. Učvršćivanje sidara S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub> na čelične ploče može biti zavarivanjem ili osiguranjem maticom. Drugi način je pogodniji, jer se tada sidra mogu prenapregnuti i u podu gornjeg hodnika. Gornji dijelovi sidara S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub> ne smiju biti iznad razine poda hodnika, a po ugradnji ih treba zabetonirati, kako bi se zaštitilo od eventualnog oštećenja. Donji dijelovi sidara S<sub>1</sub> spajaju se međusobno preko čeličnih ploča i čeličnih traka. Sidra S<sub>4</sub> do S<sub>8</sub> učvršćuju se na kraju bušotine ekspanzijskom čahurom. Prenaprezanje sidara obavlja se



Sl. 7 Podgrađivanje križišta u boksitu sidrima i čeličnom žičanom mrežom

Fig. 7 Crossing support in bauxite by bolts and steel-wire mesh

Legenda – Legend

- 1 boksit – Bauxite
- 2 granica mogućih urušenja – Boundary of possible rock fall
- 3 ojačan boksit – Reinforced bauxite
- 4 razrušeni boksit – Loose bauxite
- 5 smjerni hodnik – Drift
- 6 poprečni hodnik – Crosscut
- 7 čelična žičana mreža 4×4 cm – Steel-wire mesh 4×4 cm
- 8 sidra koje se učvršćuju čeličnom pločom u podu hodnika gornje etaže – Bolts which are fixed with steel plate in upper level drift or crosscut
- 9 sidra s ekspanzijskom čahuricom – Expansion shell anchor
- 10 sidra određenih tehničkih karakteristika (tablica 4) – Technical characteristics of bolts (table 4)
- 11 čelična traka – Steel belt

matricom preko podlošnih čeličnih ploča površine 125 × 125 mm i debljine: za sidra  $S_1$  10 mm, za sidra od  $S_2$  do  $S_4$  8 mm, za sidra od  $S_5$  do  $S_7$  7 mm i za sidra  $S_8$  5 mm. Kod sidara pod nagibnom na ove čelične ploče postavljaju se dodatne kutne ploče (sl. 8). Ostale tehničke karakteristike za sidra od  $S_1$  do  $S_8$  (vlačna čvrstoća čelika, promjer, krajnja nosivost, dozvoljena opterećenja, dužina sidara, ukupna težina sidra s podlošnim pločama i matricom, promjer bušotine, opterećenje od urušenog boksita za sidra u stropu i sila prenaprezanja sidara) prikazane su u tablici 4.

U početnoj (probnoj) fazi podgrađivanja križišta sa sidrima izrađivat će se smjerni i otkopni hodnici na obje strane križišta, do dužine 2,25 m, dimenzija 3,5 × 3,1 m (sl. 7). Takav oblik i dimenzije hodnika omogućuju da se križište može podgraditi i poduprućom podgradom, uz proširenje jednog od otkopnih hodnika (sl. 2), a u slučaju neuspjeha podgrade sa sidrima.

Proračun sidara učinjen je na temelju njihovog opterećenja izazvanog mogućim urušenjem boksita u stropu križišta. Visina i oblik urušenja uzeti su prema do sada nastalom najvećem urušenju stropa križišta (sl. 2). Opterećenje sidara od  $S_1$  do  $S_7$  s oznakama od  $F_1$  do  $F_7$  dobiju se prema izrazima:

$$F_1 = \frac{7 \gamma \cdot a^2 \cdot z_1}{8 \cos \alpha_1} = \frac{7 \cdot 24,52 \cdot 1,08^2 \cdot 1,82}{8 \cos 25^\circ} = 50 \text{ kN} \quad (4)$$

$$F_2 = F_3 = 0,5 \gamma \cdot a^2 \cdot z_2 = 0,5 \cdot 24,52 \cdot 1,08^2 \cdot 2 = 29 \text{ kN} \quad (5)$$

$$F_4 = 1,1 \gamma \cdot a^2 \cdot z_4 = 1,1 \cdot 24,52 \cdot 1,08^2 \cdot 1,05 = 33 \text{ kN} \quad (6)$$

$$F_5 = \frac{2 \gamma \cdot a^2 \cdot z_5}{\cos \alpha_5} = \frac{2 \cdot 24,52 \cdot 1,08^2 \cdot 0,29}{\cos 10^\circ} = 17 \text{ kN} \quad (7)$$

$$F_6 = \gamma \cdot a^2 \cdot z_6 = 24,52 \cdot 1,08^2 \cdot 0,91 = 26 \text{ kN} \quad (8)$$

$$F_7 = 2 \gamma \cdot a^2 \cdot z_7 = 2 \cdot 24,52 \cdot 1,08^2 \cdot 0,14 = 8 \text{ kN} \quad (9)$$

gdje su:

$\gamma = 24,5 \text{ kN/m}^3$  – prostorna masa boksita

$a = 1,08 \text{ m}$  – usvojeni kvadratni razmak između sidara  $z_1$  do  $z_7$  – moguća visina urušenja iznad kraja pojedinog sidra (iznad ušća bušotine), (sl. 7)

$\alpha_1 = 25^\circ$  – kut nagiba sidra  $S_1$

$\alpha_5 = 10^\circ$  – kut nagiba sidra  $S_5$

Dužine sidara  $S_1$  i  $S_2$ , dobiju se prema izrazima (10) i (11):

$$l_1 = 0,1 + (H-h) / \cos \alpha_1 \text{ (m)} = 4,40 \text{ do } 4,95 \text{ m} \quad (10)$$

$$l_2 = 0,05 + (H-h) \text{ (m)} = 3,95 \text{ do } 4,45 \text{ m} \quad (11)$$

gdje su:

$H = 7-7,5 \text{ m}$  – visina etaže

$h = 3,1 \text{ m}$  – visina hodnika.

Dužina sidra  $l_n$  za sidro  $S_n$ , za  $n=3$  do 7, određuje se po slijedećoj formuli:

$$l_n = v + z_n + u_n \quad (12)$$

uz uvjet da je  $l_n \geq v + a + u_n$

gdje su:

$v = 0,1 \text{ m}$  – dužina navojnog dijela sidra koji vire iz bušotine,

$z_n$  – moguća visina urušenja iznad kraja pojedinog sidra  $S_n$  za  $n=3$  do 7 (sl. 7)

$a = 1,08 \text{ m}$  – razmak između sidara

$u_n$  – potrebna dužina usidrenja u čvrstom boksitu, m

Dužina sidrenja u čvrstom boksitu dobije se iz slijedeće formule:

$$u_n = 0,4 \sqrt{\frac{d_n^2 \cdot \sigma_n}{k_v}} \quad (13)$$

gdje su:

$d_n$  – promjer šipke pojedinog sidra  $S_n$  za  $n = 3$  do 7 (tablica 4), mm

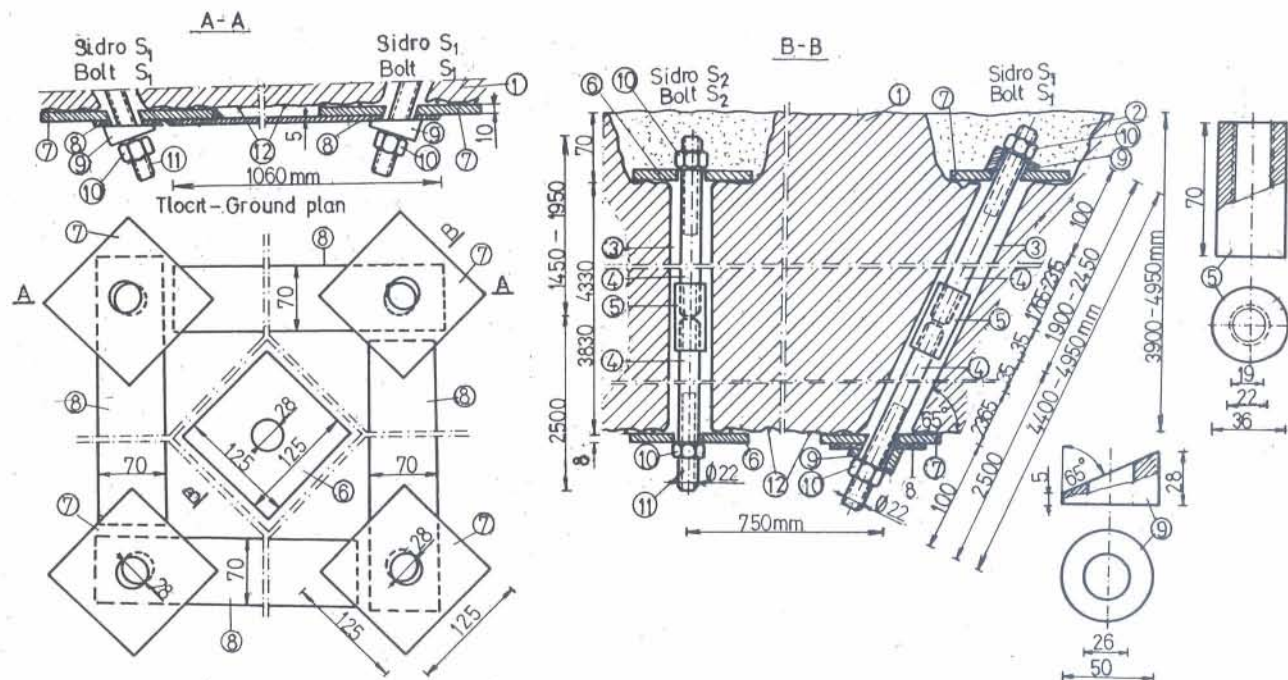
$\sigma_n$  – vlačna čvrstoća čelika pojedinog sidra  $S_n$  za  $n = 3$  do 7 (tablica 4), mm

$k_v$  – 0,1 N/mm<sup>2</sup> – dozvoljena vlačna čvrstoća boksita.

Prema formuli (13) dobiju se potrebne dužine usidrenja od  $u_3$  do  $u_7$  za sidra od  $S_3$  do  $S_7$  kako

Tablica 4 Tehničke karakteristike sidara  
Table 4 Technical characteristics of bolts

Tehničke karakteristike sidra (Technical characteristics of bolt)	Jedinica mjere (Unit of measure)	Oznaka sidra (Designation of bolt)							
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
Vlačna čvrstoća čelika (Tensile strength of steel)	N/mm <sup>2</sup>	750	370	520	600	520	520	520	370
Promjer sidra (Diameter of bolt)	mm	22	20	22	20	18	20	16	16
Krajnja nosivost (Ultimate load)	kN	212	104	117	135	91	117	75	53
Dozvoljeno opterećenje (Yield load)	kN	70	39	40	47	32	40	26	20
Dužina sidra (Length of bolt)	m	4,4–5	3,9–4,4	3,4	2,5	2,1	2,2	2,0	1,0
Ukupna težina sidra (Total weight of bolt)	kg	16,6–18,4	15–16,5	10,5	7,9	5,8	7,0	7,4	2,9
Promjer bušotine (Borehole diameter)	mm	42	42	38	38	38	38	38	38
Opterećenje sidra od urušenog boksita iz stropa (Bolt loading due to weak bauxite zone in the roof)	kN	50	29	29	33	17	26	8	
Sila naprezanja sidra (Prestressed bolt force)	kN	66	37	37	44	30	37	24	



Sl. 8 Sidra koja se učvršćuju čeličnom pločom u podu gornje etaže

Fig. 8 Bolts which are fixed with steel plate in upper level drift or crosscut

Legenda – Legend

1 boksit – Bauxite

2 beton – Concrete

3 bušotina  $\varnothing$  42 mm – Borehole  $\varnothing$  42 mm

4 ravna šipka  $\varnothing$  22 mm – Smooth bar  $\varnothing$  22 mm

5 spojnica – Cuppling sleeve

6 podložna čelična ploča za sidro S<sub>1</sub> – Steel-bed-plate for bolt S<sub>1</sub>

7 podložna čelična ploča za sidro S<sub>2</sub> – Steel-bed-plate for bolt S<sub>2</sub>

8 čelična traka – Steel belt

9 kutna podložna ploča – Angle bed-plate

10 matica – Nut

11 navojni dio čelične šipke M22 – Threaded part of steel rod (M22)

12 čelična žičana mreža 4×4 cm – Steel-wire mesh 4×4 cm

slijedi:  $u_3 = 0,58$  m;  $u_4 = 0,62$  m;  $u_5 = 0,52$  m,  $u_6 = 0,58$  m i  $u_7 = 0,39$  m, a prema izrazu (12) dobiju se potrebne dužine pojedinih sidara kako slijedi:  $l_3 = 2,68$  m;  $l_4 = 1,8$  m;  $l_5 = 1,7$  m;  $l_6 = 1,76$  m;  $l_7 = 1,57$  m. Usvojene dužine sidara veće su od ovih dužina za 0,4 do 0,7 m (tablica 4).

Opterećenja sidara S<sub>1</sub> izazivaju u čeličnim trakama koje ih povezuju sile reakcije koje su zbog simetričnosti u svim trakama iste, a dobiju se po formuli:

$$T = F_1 \cdot \sin \alpha_1 \sin \beta = 50 \cdot \sin 25^\circ \cdot \sin 135^\circ = 15 \text{ kN}, \quad (14)$$



gdje su:

$F_1 = 50 \text{ kN}$  – opterećenje sidra  $S_1$

$\alpha_1 = 25^\circ$  – kut nagiba sidra  $S_1$

$\beta = 45^\circ (135^\circ)$  – kut u horizontalnoj projekciji kojega zatvara sidro  $S_1$  s trakama.

Dozvoljeno opterećenje čelične trake jest:

$$T_{\text{doz}} = A \cdot \sigma_{\text{doz}} = 220 \cdot 0,14 = 31 \text{ kN},$$

gdje su:

$A = 220 \text{ mm}^2$  – najmanja površina presjeka čelične trake

$\sigma_{\text{doz}} = 0,14 \text{ kN/mm}^2$  – dozvoljeno vlačno opterećenje čelične trake.

Sva sidra u stropu križišta prednaprežu se silama čija veličine je određena relacijom:

$$1,3 F_n < P_n < 0,95 D_n,$$

gdje su:

$n = 1$  do  $7$  – indeks sidra i sile u sidru

$F_n$  – opterećenje pojedinog sidra od urušenog bok-sita, kN (tablica 4)

$P_n$  – sila prednaprežanja pojedinog sidra, kN (ta-blica 4)

$D_n$  – dozvoljeno opterećenje pojedinog sidra, kN (tablica 4)

Tablica 5 Pregled troškova podgrađivanja križišta sidrima i čeličnom žičanom mrežom

Table 5 Scale of costs for crossing support by bolts and steel-wire mesh

Podgradni materijal (Supporting material)	Jedinica mjere (Unit of measure)	Količina (Quantity)	Cijena u (000) HRD Cost in (000) HRD		
			Materijal (Material)	Ugradnja (Labour)	Ukupno (Total)
Sidro $S_1$ (Bolt $S_1$ )	komad (piece) kg	4 70	193	160	353
Sidro $S_2$ (Bolt $S_2$ )	komad (piece) kg	1 15,8	34	32	66
Sidro $S_4$ (Bolt $S_4$ )	komad (piece) kg	8 63,2	190	170	360
Sidro $S_5$ (Bolt $S_5$ )	komad (piece) kg	4 23,2	70	68	138
Sidro $S_6$ (Bolt $S_6$ )	komad (piece) kg	12 84	252	196	448
Sidro $S_7$ (Bolt $S_7$ )	komad (piece) kg	12 56,4	180	181	361
Sidro $S_8$ (Bolt $S_8$ )	komad (piece) kg	14 40,6	121	108	229
Žičana mreža (Wire mesh)	$\text{m}^2$ kg	60 177,6	255	120	375
Čelična traka (Steel-belt)	m kg	4,24 11,7	17	10	27
Ukupno za križište (Total for crossing)	kg	542,5	1312 (55,7%)	1045 (44,3%)	2357 (100%)

Prednaprežanjem ovih sidara unose se normalna naprežanja u stropu križišta te tako u stropu nastaje prenapregnuta zona nosivosti (sl. 7). Da bi ovo sidrenje bilo efikasno mora se obaviti odmah nakon izbijanja prostorije. Time se priječi prekoračenje čvrstoće boksita odnosno njegovo slamanje i urušavanje.

Prije ugradnje sidara u stropu i na oko 2/3 visine bokova prostorija postavlja se žičana čelična mreža otvora 4x4 cm. Ova se mreža u stropu pričvršćuje sidrima od  $S_1$  do  $S_7$  preko podložnih pločica na razmaku 1,08 m a u bokovima se pričvršćuje sidrima  $S_8$  na razmaku od 1,5 do 2 m, ovisno o stanju bokova prostorije (sl. 7).

U tablici 5 prikazan je pregled troškova podgrađivanja križišta. Pretpostavljeno je, da će se kod otkopavanja sav ugrađeni podgradni materijal uništiti, iako postoji mogućnost da se dio podgradnog materijala može spasiti, kao npr. dio mreže i sidara s bokova prostorija, pojedini dijelovi sidara, podložne pločice, matice, čahure, a možda i poneko kompletno sidro.

### Zaključak

Podzemna se eksploatacija boksita u Rudniku Posušje u potpunosti izvodi mehaniziranim utovarom transportom i bušenjem minskih bušotina. To u odnosu na manualni rad iziskuje povećanje profila jamskih prostorija i preko dva puta. Time se povećava pritisak na podgradu, što se posebno očituje na križištima smjernog i otkopnih hodnika gdje je potrebno izraditi i dodatna proširenja za manevar strojeva (sl. 1 i 2). Podgrađivanje navedenih prostorija obavlja se isključivo podupirućom podgradom nemehanizirano. Zbog neodgovarajućih dimenzija podvlaka dolazilo je do rušenja podgrade na križištu i drvenih greda na njegovom centralnom dijelu. Uz način podgrađivanja i proračun elemenata podupiruće podgrade (podvlake i grede) prema najvećem urušenju boksita u stropu križišta (sl. 2) razrađena je mogućnost podgrađivanja križišta sa sidrima i čeličnom mrežom (sl. 7). Središnji dio križišta, gdje je moguće najveće urušenje stropa, podgrađuje se sidrima učvršćenim u podu hodnika gornje etaže s čeličnim pločama (sl. 8). Takav način učvršćivanja sidara smatra se daleko sigurnijim od ostalih, a moguća su i vizuelna promatranja pronašanja korijena sidara kod naprežanja pa sve do otkopavanja gornje etaže. Ostala sidra na križištu su s ekspanzijskom čahurom čija je efikasnost učvršćivanja u bušotinama boksita neosporno utvrđena (sl. 6).

Predloženi način podgrađivanja križišta sa sidrima i čeličnom mrežom ima ove tehničke i sigurnosne prednosti pred podupirućom podgradom:

- omogućuje direktni promet strojeva između smjernog i oba otkopna hodnika, čime se povećava brzina i sigurnost kretanja,
- mala je mogućnost oštećenja podgrade strojevima, što kod podupiruće podgrade može imati katastrofalne posljedice jer rušenje jednog stupca ispod jedne od podvlaka može prouzročiti rušenje cijelog centralnog dijela križišta,
- mala je mogućnost oštećenja podgrade miniranjem,

Tablica 6 Usporedni pregled troškova podgrađivanja križišta podupirućom podgradom i sidrima s čeličnom žičanom mrežom

Table 6 Comparison of costs for crossing support by frames and by bolts with steel-wire mesh

Način podgrađivanja (Support system)		Utrošeni materijal (Used material)		Cijena u (000) HRD (Cost in (000) HRD)		Ukupno (Total)
		Drvo (Wood) m <sup>3</sup>	Čelik (Steel) kg	Materijal (Material)	Ugradnja (Labour)	
Podupiruća podgrada (Support system)	A	10,6	967	2803	2400	5203
Sidra + čelična mreža (Bolts + wire mesh)	B		542	1312	1045	2357
Razlika (Difference)	A-B	10,6	425 (44,0%)	1491 (53,2%)	1355 (56,6%)	2846 (54,7%)

- mase podgradnih elemenata daleko su manje što omogućuje lakše rukovanje i bržu ugradnju,
- ugradnja sidara moguća je primjenom strojeva,
- trajnost podgrade sa sidrima i čeličnom mrežom daleko je veća od trajnosti drvenih elemenata podupiruće podgrade.

Osim navedenih tehničkih i sigurnosnih prednosti podgrađivanja križišta sa sidrima i čeličnom mrežom pred podupirućom podgradom, ta prednost ogleda se i u troškovima podgrađivanja koji su za 54,7% manji (tablica 6).

Primljeno: 22. II. 1993.

Prihvaćeno: 27. V. 1993.

#### LITERATURA

- Majić, S. (1988): »Podgrađivanje jamskih prostorija pri pode-  
tažnom otkopavanju boksita.« Magistarski rad, Rudarsko-geo-  
loško-naftni fakultet Zagreb.
- Majić, S. & Vujec, S. (1990): »Rockbolst support of the  
drifts and crosscuts in bauxite«. *Rud.-geol.-naft. zb.* 2, 105-  
111, Zagreb.

### Crossing Support of the Drift and Crosscuts in Sublevel Bauxite Mining

S. Majić

The paper deals with the support of drift and crosscuts in sublevel cross mining with roof caving. This method is used in underground exploitation of the most bauxite mines in the Republic Croatia and the Republic Bosnia and Herzegovina, and drift and crosscuts are supported only unmechanized, by the frame support.

The basic geological characteristics referring to the bauxite and accompanied beds in the mine Trobukva, which is the most representative one for this group of deposits. The mining method applied in the mines of the Bauxite Mine Posušje is briefly described as well (fig. 1).

In fig. 2 the maximum height of bauxite caving in the crossing roof is shown, which occurred in this mine (taken as competent for defining the load in the estimate of crossing support) and the type of supporting by frame support. In case of the frame support the way of defining the load (strain) and the methodology of estimating the wooden bars (fig. 3) is treated and supporting (Table 2), are presented.

The way of testing tensile resistance (pulling out resistance) is illustrated in fig. 4. and the test results obtained in the bauxite mine Baturinka of the Bauxite Mine Posušje are shown in Table 3, while the results from testing these bolts for destructive tensile strength (pulling out) are presented in fig. 5. In the same surroundings, the tensile strength test (pulling out test) of the expansion shell anchor (fig. 6) is carried out.

The type of crossing support with bolts and steel grid is presented in fig. 7 and in fig. 8 detailed in-building of bolts which are fixed in the up-face drift is shown. The estimate of the bolts with typic load (strain) is also elaborated and in Table 4 technical characteristics of individual appropriate bolt type are given. Costs in such type of supporting are illustrated in Table 5.

Technical, safety and economic advantage is proved for the crossing support of the drift and crosscuts in bauxite with bolts and steel grid when compared with the frame support. Since initial tests of the expansion shell anchors and the Swellex anchors have given excellent results, and since there is objectively no reason to doubt in the efficiency of applying.