

INFORMACIJE B
BROJ 28



Dipl. ing. MURIS OSMANAGIĆ

**IZBOR PROFILA, KVALITETA ČELIKA I OBЛИKA ČELIČNIH LUKOVA
ZA PODZEMNE HODNIKE U ZAVISNOSTI OD SLOJNIH
PRILIKE U RUDNICIMA UGLJA**

RUDARSKI INSTITUT BEOGRAD 1964.

**Izdavač
RUDARSKI INSTITUT — BEOGRAD**

**Glavni urednik
Dipl. ing. MOCO SUMBULOVIC**

R e d a k c i o n i o d b o r

Blažek ing. Aleksandar, Čepejković ing. Miodrag,
Dular ing Slavko, Đorđević ing. Kirilo, Filipovski
ing. Blagoje, Gluščević prof. ing. Branko, Jovanović
dipl. hem. Nićifor, Kovačević ing. Vjekoslav, Le-
šić prof. dr ing. Đura, Malić prof. dr ing. Dragomir
Marinović ing. Ivo, Mihajlović ing. Jovan, Misita
ing Risto, Novaković ing. Ljubomir, Odić ing.
Tvrtko, Perišić dr ing. Mirko, Petrović prof. ing. Mi-
lorađ, Popović ing. Božidar, Slokan prof. dr ing.
Karel, Spasojević ing. Borislav.

BROJ 28

Dipl. ing. MURIS OSMANAGIĆ

**IZBOR PROFILA, KVALITETA ČELIKA I OBLIKA ČELIČNIH LUKOVA
ZA PODZEMNE HODNIKE U ZAVISNOSTI OD SLOJNIH
PRILIKA U RUDNICIMA UGLJA**

BEOGRAD, 1964.

S A D R Ž A J

| | |
|---------------------------------------|----|
| Uvod | 3 |
| Djelovanje jamskog pritiska | 3 |
| Izbor profila | 7 |
| Izbor kvaliteta čelika | 12 |
| Izbor oblika čeličnog luka | 14 |
| Zaključak | 22 |
| Literatura | 23 |

U V O D

Upotrebljeni materijal za podgradu, kao i način podgrađivanja, predstavljaju jedan od osnovnih faktora sigurosti rada u rudnicima uglja. Jamska podgrada čini istovremeno i jednu od najvećih stavki u troškovima proizvodnje uglja. Time je dovoljno određen stepen važnosti koji oblici podgrade u cjelini imaju u rudarskoj praksi.

Prelazom na masovnu primjenu čeličnih stupaca i greda na širokim čelima riješen je u osnovi problem podgrađivanja na modernom otkopnom frontu. Postojeće konstrukcije čeličnih stupaca, koje su kod nas i u inostranstvu u upotrebi, manje ili više odgovaraju svojoj nameni.

I za prilazne hodnike širokih čela, kao i za ostale saobraćajnice u jami, postoje dobre konstrukcije raznih tipova čelične podgrade. Međutim, njihova primjena među pojedinim zemljama i unutar samih zemalja, po pojedinim rudnicima, je neravnomerna. To dolazi, u prvom rеду, od različitih slojnih prilika i shvatanja rudarskih stručnjaka u pogledu racionalnosti upotrebe čeličnih lukova, izbora njihovih oblika, profila i kvaliteta čelika.

Nagli razvoj širokih čela i povećanje njihovih dužina ima za posledicu smanjenje velikog broja hodnika i potrebu da se transportni i zračni putevi izrađuju u velikom profilu i otpornoj podgradi. Oko širokih čela, sa njihovim napredovanjem, stvaraju se velike koncentracije jamskog pritiska, promjenljive sa mjestom i vremenom, kojima teško može da odoli drvena podgrada.

Sa neprekidnim spuštanjem u dubinu jamskih radova, pored povećanja dejstva jamskog pritiska, moraju stalno da se povećavaju i profili jamskih

prostorija radi dovođenja većih količina svježeg zraka.

Podgrađivanjem velikih profila hodnika kod jačih pritisaka moguće je samo betonom ili čelikom. Pored ostalih prednosti čelik se mnogo lakše prilagođava kretanjima naslaga nego beton i zato treba prvenstveno primjenjivati podgradu iz tog materijala.

Ali koliko će upotreba čelika biti racionalna u podgradi hodnika zavisi od izabranog profila, kvaliteta čelika, oblika čeličnog luka i njegove konstrukcije. Za pravilan izbor čeličnih lukova treba, takođe, razumevanje djelovanja jamskog pritiska u raznim slojnim prilikama.

Djelovanje jamskog pritiska

Sa izradom jamskih hodnika unutar netaknutog masiva remeti se raspodjela napetosti koja je, ranije, dejstvom sile teže i orogenetskih ostataka napona postojala kao stanje ravnoteže. U tom neuравnotežnom stanju nastaju nove snage, koje se nazivaju **jamskim pritiskom**. One teže uspostavljanju ponovnog stanja ravnoteže. Tako nastaju **jamski pokreti**, kao rezultat preoblikovanja i premještaja naslaga u masivu. Čim je ravnoteža ponovo postignuta prestaju i ti pokreti.

Jamska podgrada ima cilj da pomogne uspostavljanju stanja ravnoteže u masivu, a da se pri tome oblik za prostorije sačuva u vidu, koji je još uvijek odgovoran tehnološkom procesu i zahtjevima sigurnosti rada.

U netaknutom masivu postoje dvije glavne linije napona: glavni vertikalni naponi i glavni ho-

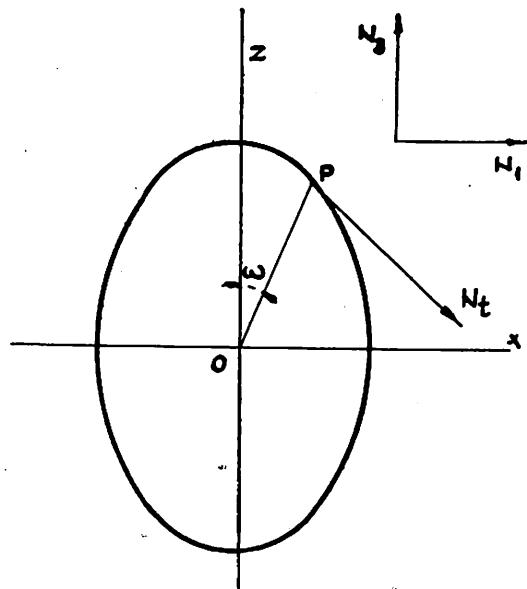
rzontalni naponi. Kod pojave jamskog pritiska ovi naponi idu u pravcu jamske prostorije ili je obilaze.

Matematski proračuni naponskog stanja oko jamske prostorije pretpostavljaju jednorodan masiv, koji se ne mijenja. U praksi mi imamo posla sa nejednorodnim masivom, koji se tokom vremena mijenja.

Zato matematska istraživanja kao i rad sa modelima daju samo saznanja o kvalitetnoj strani jamskog pritiska.

Jamski pritisak u saznanju rudara i naponsko stanje oko jamske prostorije su dvije različite stvari.

Ako se stijene ne deformišu, i ako postoji jaka koncentracija napona, rudar kaže da nema pritiska. To se dešava kod stijena jako otpornih na istezanje i smicanje kod kojih se ravnoteža uspostavlja bez većih deformacija.



Sl. 1 — Napetosti u homogenoj stijeni oko eliptičnog hodnika (prema Timošenkou).

N_1 — N_2 horizontalni glavni naponi u netaknutom masivu;

N_3 — vertikalni glavni napon u netaknutom masivu; T_2 — dejstvo smicanja u ravnim xoz;

N_1 — tangencijalni napon na bok hodnika;

p — vertikalna poluosa elipse;

q — horizontalna poluosa elipse;

ω — ugao između vektora op i oz.

Formula po Timošenkou:

$$\begin{aligned} & (P^2 \sin^2 \omega + q^2 \cos^2 \omega) N_1 = (N_1 + N_3) \\ & (P^2 \sin^2 \omega + q^2 \cos^2 \omega) - T_2 (P + q^2) \sin^2 \omega \\ & \underline{(P^2 - q^2)(N_1 + N_3) - (P + q^2)(N_3 + N_1)} = \\ & = (P \sin^2 \omega - q \cos^2 \omega) \end{aligned}$$

Kod manje postojanih stijena veća je masa razrušenog materijala, koja opterećuje podgradu. Rudar govori o znatnom pritisku i ako nastupaju neznatne napetosti.

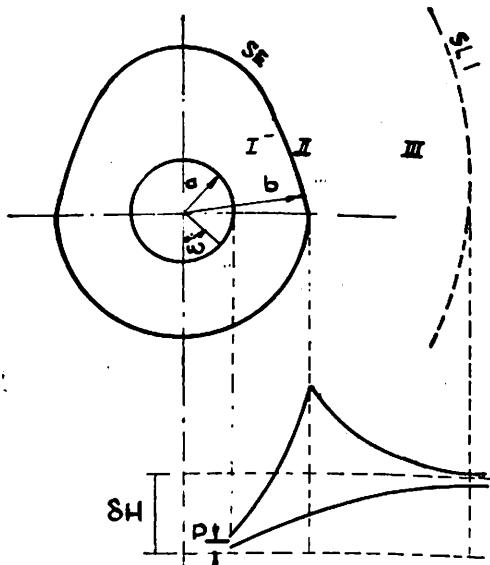
Matematski proračun napona oko pojedinačnog hodnika koji ima svojstvo elastičnog tijela dali su F e n e r, T i m o š e n k o i drugi.

Postavka elastičnog tijela uslovjava da na svim okružujućim tačkama hodnika stijena ima napon daleko ispod granice rušenja i da hodnik može stajati bez podgrade. To je pojava koja se javlja u metalnim rudnicima, nekim američkim rudnicima i slično.

Napetosti u homogenoj stijeni oko eliptičnog hodnika prema Timošenkou datti su na sl. 1. Svojstva elastičnog tijela određena su modulom elastičnosti i koeficijentom Puasona. U formuli Timošenka pretpostavka je da nema tektonskih napetosti i da nema reakcije podgrade. Najveći napon izaziva vertikalni pritisak (P) koji iznosi:

$$P = 0,25 H$$

gdje je (H) dubina hodnika, a specifična težina masiva je u prosjeku 2,5. Najbolja elipsa dobija se



Sl. 2. — Raspodjela napetosti oko jamskog hodnika (prema H. Labasse-u).

I — zona niskog pritiska rasterećenog masiva;

II — zona visokog pritiska;

III — zona jamskih pokreta ili uticajna zona;

SE — granica zone rasterećenja;

SLI — granica zone uticaja jamskog rada;

δH — pritisak netaknutog masiva.

u slučaju kada je tangencijalni napon po čitavom obimu ravnomjeren.

Već je i formula Timošenko za idealan slučaj čvrste homogene stijene dovoljno složena. Uz obične uslove nehomogenih jamskih naslaga mora se uzeti u obzir toliko faktora da eksaktni matematski proračuni postaju nemogući. Zato se pribjegava eksperimentalnim formulama izvedenim iz prakse i pomoću eksperimenta.

Jedna od takvih eksperimentalnih formula je i dobro poznata formula Protodjakonova. Ona ne daje napetosti oko jamske prostorije već opterećenje na podgradu po dužnom metru jamske prostorije. Ta formula ima oblik:

$$P = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f}$$

gdje je

P = opterećenje na podgradu

f = koeficijent unutrašnjeg trenja za mekane stijene, odnosno koeficijent čvrstoće po klasifikaciji Protodjakonova za čvrste stijene

γ = srednja zapreminska težina više ležećih naslaga

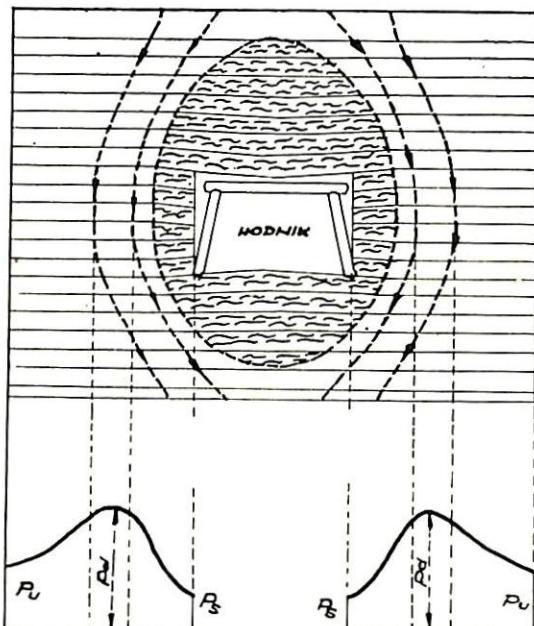
a = polovina širine svoda.

Prema toj teoriji opterećenje na podgradu horizontalnih prostorija računa se na bazi svoda prirodne ravnoteže, koji se obrazuje iznad jamske prostorije usled dejstva težine viših ležećih naslaga.

Stijene se ne smatraju elastičnim tijelima, jer mnoštvo prslina od mikroskopskih do velikih razmjera, cijepa stijene na pojedine komade i komadiće. Kod takvog masiva, koji je do izvjesnog stepena nepovezan, mogu se primjenjivati zakonitosti slijekih tijela, ukoliko se uzme korekcija za sile vezivanja. Te sile ulaze u račun putem koeficijenata čvrstoće Protodjakonova.

Na sl. 3. prikazane su glavne linije napona oko jamske prostorije i dijagrami jamskog pritisaka prema R. D. Caudle-u i Q. B. Clark-u. Pritisak na podgradu je samo jedan dio koncentrišanog jamskog pritisaka koji okružuje izgrađenu prostoriju u stijeni. Pretežni dio jamskog pritisaka preuzimaju bokovi hodnika. U poremećenom stanju ravnoteže, prilikom izrade hodnika, nastaje kretanje naslaga i njihovo prilagođavanje, dok se ne uspostavi novo stanje ravnoteže.

Što su manji jamski pokreti, manje je odvajanje naslaga u dubini masiva, a samim tim i manji pritisak na podgradu.



Sl. 3. — Napetosti oko jamskih otkopa (prema R. D. Caudle i G. B. Clark).

P_u — pritisak neporemećenog masiva;

P_s — pritisak na podgradu hodnika;

P_d — pritisak na bokove hodnika.

Sa tog aspekta jamska podgrada treba da bude što jača i otpornija. Sa druge strane podgrada hodnika ne može biti toliko jaka da zadrži pokrete masiva, ona treba tim pokretima da se prilagođava i da poslije završetka pokreta masiva sačuva svoju punu nosivost.

Zato jamska podgrada, na mjestima gdje dolazi do izvjesnih pokreta masiva oko jamske prostorije u fazi izrade hodnika, treba da bude u određenoj mjeri popustljiva.

La b a s s e, naslanjajući se na teoriju Fenera i na osnovu fizičkih i matematičkih istraživanja, dolazi do zaključaka da je svaki hodnik u pravcu spoljnog zida, opkoljen sa tri zone:

— zonom niskog pritisaka rasterećenog masiva u kojoj su prateće naslage dislocirane i zato jako sposobne za preoblikovanje,

— zonom visokog pritisaka duž ravni rasterećenja SE, u kojoj je napetost osobito jaka i neujednačena. Zato u toj zoni naslage prskaju i kratko se lome,

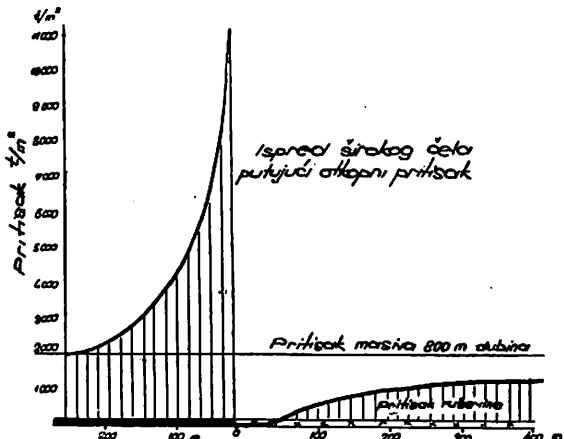
— zonom izjednačenog pritisaka u kojoj su napetosti poremećene, ali bez pojave razrušavanja.

Prirodni plasticitet masiva dopušta kretanje materije. Ovo je zona uticaja rudarskih radova odakle počinje kretanje naslaga.

Dijagramske prikaze raspodjele napetosti oko jamskog hodnika, prema L a b a s s e-u dat je na sl. 2. U okolini širokog čela raspodjeljuje se jamski pritisak na isti način kao u okolini hodnika, jer široko čelo nije ništa drugo do hodnika koji se dnevno pomiče paralelno svojoj osi.

Na sl. 4. prikazana je raspodjela pritiska u zoni širokog čela prema J a c o b i-u. Pod uticajem otkopavanja ispod širokog čela javlja se otkopni pritisak, koji putuje zajedno sa napredovanjem širokog čela. Ovaj pritisak se proteže do 200 metara ispred širokog čela i dopunski opterećuje podgradu prilaznih hodnika.

Prema nekim autorima otkopni pritisak u svom maksimumu, nekoliko metara ispred širokog čela, dostiže dvostruku vrijednost pritiska neporemećenog masiva na datoј dubini, a u specijalnim slučajevima, kada se široko čelo približava starom radu, taj pritisak može da dostigne višestruku vrijednost pritiska u neporemećenom masivu.

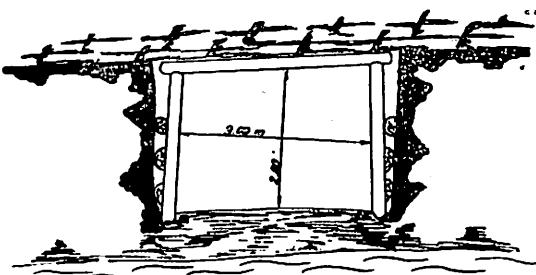


Sl. 4 — Raspodjela pritiska u zoni širokog čela (prema O. Jacobi-u).

Otkopni pritisak, na jednoj te istoj tački, u prilaznom hodniku sa vremenom oscilira u zavisnosti od rastojanja do širokog čela i proizvodnog procesa na širokom čelu. Neposredno do širokog čela otkopni pritisak nestaje i postepeno se javlja i raste kao pritisak ruševine u starom radu. U starom radu blizu širokog čela napetosti srušenih naslaga su neznatne, ali su jamski pokreti najveći, što predstavlja posebne zahtjeve za jamsku podgradu.

Zato jamska podgrada, ispred i iza širokog čela, podliježe specijalnim zahtjevima u pogledu pustljivosti, otpornosti i oblika kako bi mogla uspešno da prihvata promenljiva opterećenja i promjene u nagomilavanju jamskog pritiska.

Takov zadatak može da ispunjava jedino uspešno metalna podgrada. Drvena podgrada, za nuždu upotrebljena ili u okviru ranijeg sistema pripreme otkopnog polja, pod dejstvom promjenljivog



Sl. 5. — Izgled tek izrađenog zračnog hodnika za široko čelo (Stara jama — rudnik Kakanj).



Sl. 6. — Isti zračni hodnik poslije dejstva otkopnog pritiska, na 30 m ispred širokog čela.

pritiska, lomi se, lome se takođe i prateće naslage, što sve dovodi do visokih troškova održavanja, kako bi prilazni putevi ostali prolažni. Jedan takav primer iz rudnika Kakanj dat je na sl. 6.

Široko čelo, dugačko 230 m, na dubini cca 400 m pripremljeno je za hodnike u drvenoj podgradi profila $3,00 \times 2,80$ m. Iako je neposredna krovina hodnika vrlo čvrsta, sastavljena od krečnjačkog i pješčanog laporja, pod dejstvom otkopnog pritiska pucaju bokovi i podina, ugajlji i prateće naslage pomiču se u pravcu jamske prostorije i smanjuju prolaz za ljude i zrak.

Novi tipovi čelične podgrade, uz pravilan izbor njenog oblika, mogu se suprostaviti takvom štetnom djelovanju jamskog pritiska i obezbjediti, pored po-

većane sigurnosti rada, pojeftinjenje troškova podgrađivanja.

Izbor profila

U nastavku članka je dat pregled najvažnijih profila za podgradu podzemnih hodnika sa njihovim osnovnim karakteristikama. U prvom periodu uvođenja čelične podgrade u podzemnim hodnicima dominirale su stare šine. Zatim se prešlo na uvođenje bokalnih profila i najzad na konstrukciju rudarskih i žlijebastih profila. U najnovije vrijeme šire se zvonasti profili i osobito zavareni profili od duplih normalnih profila. Svaki od prikazanih profila ima svoje prednosti i nedostatke. Koji od njih izabrati za jedne te iste slojne prilike?

Najvažniji tehnički kriterij za izbor čelične podgrade je njena nosivost. Uglavnom se još i danas nosivost čelične podgrade za hodnike procjenjuje njenom nosivošću u oblasti elastične deformacije, tj. po veličini otpornog momenta (W_x) i granici razvlačenja (S_i).

Formula za izračunavanje momenta savijanja (M) u presjeku profila je:

$$M = S_i \cdot W_x$$

Uvezši za poređenje profile istog kvaliteta čelična onda je najekonomičniji taj profil, koji kod dovoljno velikog otpornog momenta ima najmanju težinu. Prema H a c k-u otporni momenat (W_x) dijelimo sa težinom (G) po dužnom metru i dobijamo stepen efekta (E_x) nekog profila za napone savijanja, koji djeluju okomito na x-osovinu, ukoliko ostaju ispod granice razvlačenja.

$$E_x = \frac{W_x}{G} \quad \frac{\text{cm}^3 \cdot \text{m}}{\text{kg}}$$

Prema ovom mjerilu najbolji bi bio profil I—16 koji prema Din 1025, (njemačke industrijske norme) ima:

$$E_x = 6,53$$

Ali u rudarskoj praksi profili se opterećuju daleko preko granice razvlačenja. Zato se u najnovije vrijeme vrijednost profila počinje da mjeri i njihovom nosivošću u oblasti plastične deformacije. Taj uslov praksa je odavno istakla pa se nije uzeo u obzir profil I-16, jer ima nepovoljno ponašanje kod plastične deformacije. Izabiru se jamski profili sa

nepovoljnijim (E), ali otporniji u plastičnoj deformaciji.

Raspodjela napona u savijenom nosaču iza granice elastičnosti tj. istezanja bez povećanja opterećenja je neravnomjerna i više osovinska. Dobija se jedno mješovito elastično i plastično napregnuto stanje koje se ne može tačno odrediti, ali su ipak poznata približna rješenja. Utvrđivanje maksimalnog momenta savijanja kod simetričnog profila vrši se prema formuli:

$$M_{\max} = S_i \times W_x (m + \frac{S_i - S_l}{S_l})$$

gdje je

S_i = napon na granici razvlačenja

S_l = napon kod max. opterećenja

W_x = otporni momenat presjeka po x—osi
 m = faktor savijanja.

Faktor savijanja (m) prikazuje koliko jedan nosač iz idealno plastičnog materijala može stvarno više da nosi kod savijanja od onoga što se može očekivati po uobičajenom statičkom računu. Ta je veličina ravnna:

$$\text{Faktor savijanja (m)} = \frac{\text{otpor savijanja (T)}}{\text{otporni momenat (W)}}$$

Otpor savijanja (T) je neka veličina presjeka u cm^3 , koja odgovara momentu otpora, a može se primjeniti u području plastične deformacije.

Za pravougaoni presjek ona je ravnna:

$$T = \frac{bh^2}{4}$$

gdje je

b = širina presjeka

h = visina presjeka.

Prema Schäfer-u faktor savijanja (m) po „x“ osi za pojedine profile je slijedeći:

| | |
|--------------------------------|------------|
| P — 6 stara šina | $m = 1,27$ |
| F bokalni profil | $m = 1,25$ |
| GI 120 rudarski profil | $m = 1,22$ |
| B 12 profil sa širokom flanšom | $m = 1,15$ |
| TH 29 žlijebasti profil | $m = 1,38$ |

Putem pokusa utvrđeno je da se nosivost u području plastične deformacije nalazi za 15% do 40%

više nego što daje formula iz nauke o čvrstoći materijala. Upravo to izražava faktor savijanja (m). Zato i nosivost profila čeličnih lukova za podzemne hodnike kod jednakog materijala tj. jednakog dozvoljenog napona (S_i), prosuđujemo po umnošku:

$$m \times W_x = T$$

Prilikom savijanja jako savijenih nosaća raspodjela napona u nosaču je neravnomjerna i ona zavisi od omjera radiusa zavoja i visine profila. Prema B l e i c h-u u flanšama savijenih nosaća djeluju takozvane otisne sile, koje već u području elastične deformacije izazivaju poprečna pomicanja i savijanje flanši.

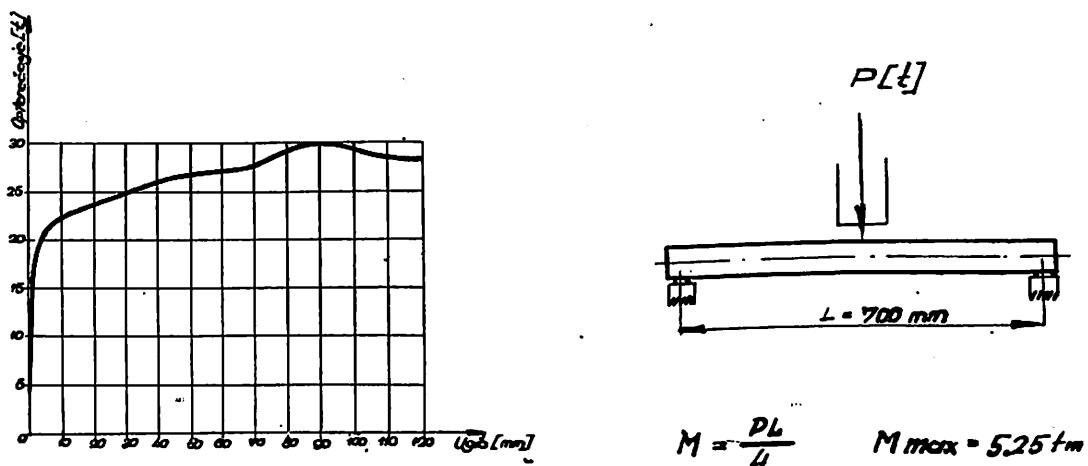
Zato oblik i izrada flanše imaju veliki uticaj na ponašanje profila prilikom opterećenja na sa-

ga može podnijeti ravni nosač profila GI 110, prosječno je za 34% veći od onoga što ga podnosi savijeni luk istoga profila.

Kod savijanja sa prekoračenjem granice elastičnosti dejstvujuće sile pomiču se iz flanši u nogu profila pa se još više smanjuje aktivna noseća širina profila sa flanšama. Iz tog razloga daju se pojačanja flanši za povećanje nosivosti profila.

Uzimajući u obzir te činjenice stvoren je ne-simetrični bokalni profil za lučnu podgradu, a također su ta razmatranja našla svoje mjesto i kod konstrukcije simetričnog rudarskog GI profila. Za isti kvalitet materijala praksa je pokazala da poslednji profil ni malo ne zaostaje od specijalnog bokalnog profila u pogledu nosivosti lučne podgrade.

U jami za nosivost lučne podgrade nisu mijerodovna samo naprezanja na savijanje okomito na po-



Sl. 7. — Ispitivanje nosača 2] NP 10 na savijanje.
a. ravni nosač (materijal nosača bio je č. 37.11)

vijanje, a sarmim tim i na nosivost profila. Krajevi flanši ne nose i njihova težina predstavlja mrtvi, neiskorišteni materijal profila.

To se odražava, na primjer, kod profila sa širokim flanšama, a također i kod starog TH profila.

Savijeni nosači manje nose nego ravni nosači. Tako, na primjer, najveći momenat savijanja, što

vršinu nosača. Veoma česti su ekscentrični pritisci sa raznih strana i torziono naprezanje. Zato nosač mora da ima određenu površinu presjeka i stanovačiti momenat otpora protiv torzije. Većina nosača kao normalni GI-profil, žlijebasti i zvonasti profil osjetljivi su na torziju. Nove konstrukcije iz zavarenih duplih I nosača daleko su otpornije na

takva naprezaanja i potiskuju druge profile kod težih jamskih prilika.

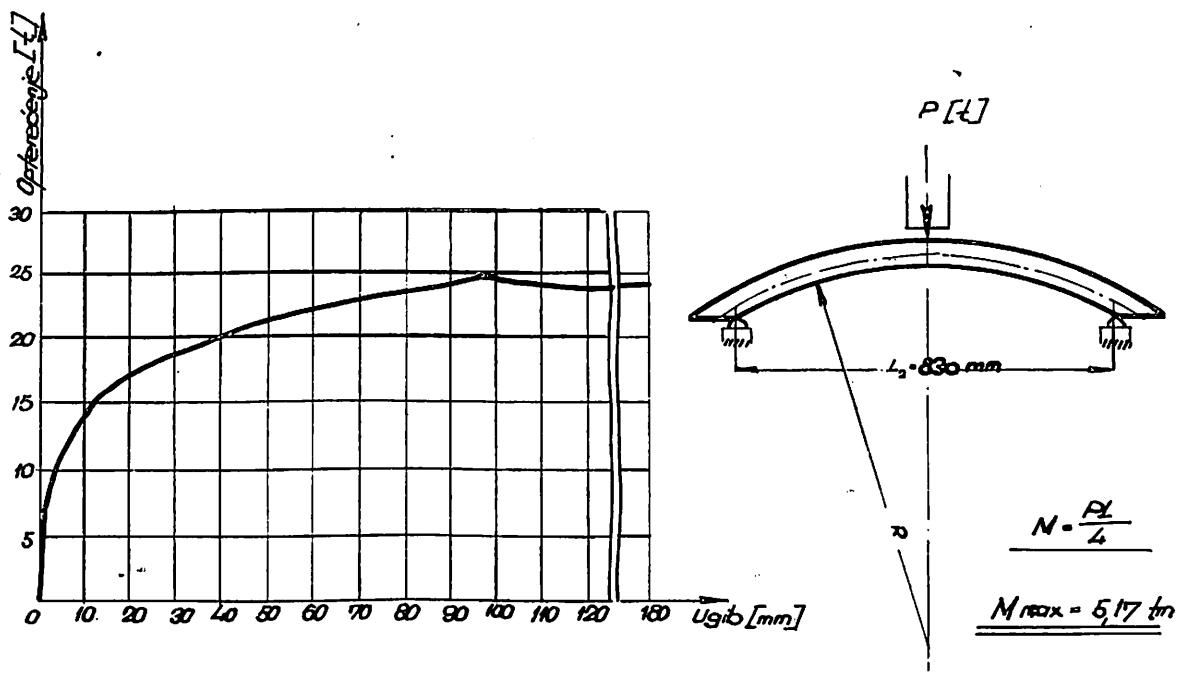
Kao novi profil za jamsku lučnu podgradu autor ovog članka je razradio i uveo u konstrukcije čeličnih lukova za podzemne hodnike zavareni profil iz duplog JNP profila. Njegova ispitivanja pokazala su da je iskorišćenje materijala kod ovog profila puno bolje od ostalih jamskih profila i da raspolaže sa visokom otpornošću presjeka na torziju.

Laboratorijska ispitivanja zavarenog 2 JNP 10 profila vršena su na hidrauličnoj 60-tonskoj presi, a klip opterećenja imao je pravougaoni presjek sa

rišta od $L = 700$ mm kod ravnih nosača u pojedinih profilima je slijedeća:

| | |
|--|-------------------------|
| GI 110 sa č 37,11 | i 24,5 kg/m Pmax = 26 t |
| GI 110 sa č 54,11 | i 24,5 kg/m Pmax = 38 t |
| GI 120 sa č 61,6 kg/mm ² i 29,5 kg/m Pmax = 47,7 t | |
| IINP 14 sa č 60,2 kg/mm ² i 28,8 kg/m Pmax = 58,9 t | |
| TH 29 sa č 61 kg/mm ² i 29,0 kg/m Pmax = 34,1 t | |
| Zvon 26 sa č 25,5 kg/mm ² i 26,0 kg/m Pmax = t | |

Prema ispitivanjima H ü n l i c h-a, ako označimo faktorom 1 nosivost ravnih nosača na sa-



Sl. 8. — Ispitivanje nosača 2 JNP 10 na savijanje.

b. savijeni nosač (materijal nosača bio je č. 37,11)

dužinom osnove od 200 mm. Primjenjena su slobodna uporišta nosača na oba kraja čiji je razmak bio:

$$L_1 = 700 \text{ mm za ravn nosač}$$

$$L_2 = 830 \text{ mm za savijeni nosač.}$$

Kao što se vidi iz dijagrama na sl. 7 i sl. 8 maksimalno opterećenje ravnog nosača bilo je 30 tona, a savijenog nosača 25 tona.

Prema podacima S ch u l t e — S te inberg-a maksimalna nosivost na savijanje, pri razmaku upo-

vijanje iz č 37,11, onda tu nosivost iz č 42,11 možemo označiti faktorom 1,21 a iz č 50,11 faktorom 1,53. To znači, da isti nosač iz č 50,11 ima veću nosivost na savijanje za 53% od nosača iz č 37,11.

Iz dijagrama nosivosti na savijanje profila 2 JNP 10 datog na sl. 7 i sl. 8 vidimo da je:

Maksimalni momenat ravnog nosača bio $M_{max} = 5,25 \text{ tm}$

Maksimalni momenat savijenog nosača bio $M_{max} = 5,17 \text{ tm}$

Ovde izlazi važan zaključak:

Maksimalna nosivost na savijanje ravnog i sa-

vijenog nosača iz profila 2 JNP 10 približno je jednaka za oba nosača. Ona se razlikuje za svega 1,5% u prilog ravnog nosača.

Inače, maksimalna nosivost na savijanje savijenog nosača kod ostalih profila, kao što je već naglašeno, manja je za 20% do 40% nego kod ravnog nosača. Ova činjenica je veoma važna pošto za čelične lukove dolaze u obzir samo savijeni nosači.

macije. Povećanje nosivosti savijenog nosača iz 2 JNP 10 profila u oblasti plastične deformacije rezultata je u prvom redu primjenjenog tehnološkog postupka savijanja i zavarivanja profila, kao i položaja varu u odnosu na neutralnu osu presjeka profila. Sa odgovarajućim rešenjem popustljivih splojeva čelični lukovi iz ovog profila pokazali su veliku otpornost na ekscentrične pritiske, posebno kod kružnih čeličnih lukova, koji se primjenjuju kod

Pregled najvažnijih profila za podgradu podzemnih hodnika

Tablica 1

| Oblik profila | Naziv profila | G | W _x | W _y | μ _x | μ _y |
|---------------|---------------------------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | PG šina stara | 31,1 | 138,0 | 27,2 | 4,14 | 0,87 |
| | F bokalni profil | 28,3 | 113,0 | 33,2 | 4,00 | 1,17 |
| | Gl 120 rudaski profil | 29,5 | 136,0 | 32,6 | 4,61 | 1,10 |
| | B 12 profil sa širokim flanšama | 30,1 | 149,3 | 46,0 | 4,96 | 1,52 |
| | 2 I NP 14 normalni profil | 30,7 | 168,2 | 74,8 | 5,48 | 2,43 |
| | TM 29 žljebasti profil | 29,0 | 99,6 | 107,0 | 3,42 | 3,69 |
| | Bergbaustahl 26 zvonasti profil | 26,0 | 69,0 | 52,4 | 2,66 | 2,40 |
| | Alpine 27 žljebasti profil | 26,5 | 72,3 | 75,3 | 2,72 | 2,84 |
| | 2 J NP 10 normalni profil | 21,2 | 76 | 82 | 3,58 | 3,88 |

Oznake: G — težina profila po dužnom metru [kg/m]; W_x — otporni momenat profila po „x“ osi [cm³]; W_y — otporni momenat profila po „y“ osi [cm³]; μ_x — stepen efekta profila po „x“ osi [$\frac{cm^3 \cdot m}{kg}$]; μ_y — stepen efekta profila po „y“ osi [$\frac{cm^3 \cdot m}{kg}$].

Iz dijagrama opterećenja savijenog nosača 2 JNP 10 može se, dalje, uočiti činjenica da on zadržava svoju punu nosivost kod vrlo velikih ugiba.

To znači, da ovaj savijeni nosač u najvećoj mjeri zadržava svoju nosivost u širokom domenu plastične deformacije, pa je i u tom najvažnijem domenu za čelične lukove još znatno povećava. U odnosu na oblast elastične deformacije nosivost ovega nosača je za 50% veća u oblasti plastične defor-

macija. Povećanje nosivosti savijenog nosača iz 2 JNP 10 profila u oblasti plastične deformacije rezultata je u prvom redu primjenjenog tehnološkog postupka savijanja i zavarivanja profila, kao i položaja varu u odnosu na neutralnu osu presjeka profila. Sa odgovarajućim rešenjem popustljivih splojeva čelični lukovi iz ovog profila pokazali su veliku otpornost na ekscentrične pritiske, posebno kod kružnih čeličnih lukova, koji se primjenjuju kod

jakih koncentracija jamskog pritiska iz krovine, bojkova i podine hodnika, kao i kod iznenadne promjene opterećenja (gorski udari).

Sa rudarskim profilom RI 110 omogućena je racionalna konstrukcija čeličnih lukova za manje jamske pritiske i za slučajeve gdje je krovina hodnika čvrsta pa bi je bilo štetno prosjecati. (mogućnost primjene trapeznog oblika čeličnih lukova).

Maximalna nosivost na savijanja ravnog nosača

| Materijal | Momenat |
|-----------|---------|
| č.37,11 | 5,25 tm |
| č.52,11 | 7,87 tm |

Karakteristike profila

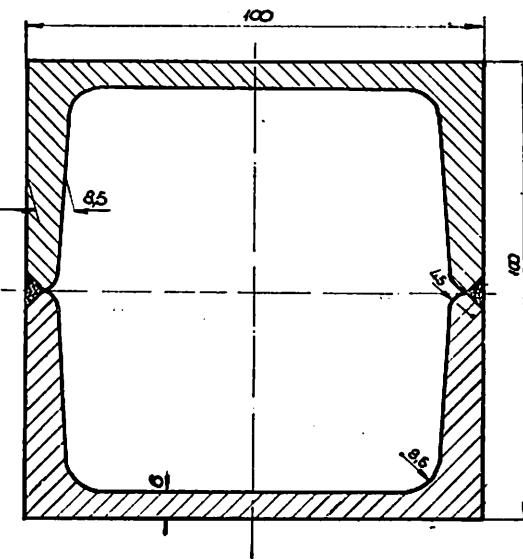
| | | |
|----|------|-----------------|
| G | 21,2 | kg/m |
| F | 27 | cm ² |
| Wx | 76 | cm ³ |
| Wy | 82 | cm ³ |

Maximalna nosivost na savijanja ravnog nosača

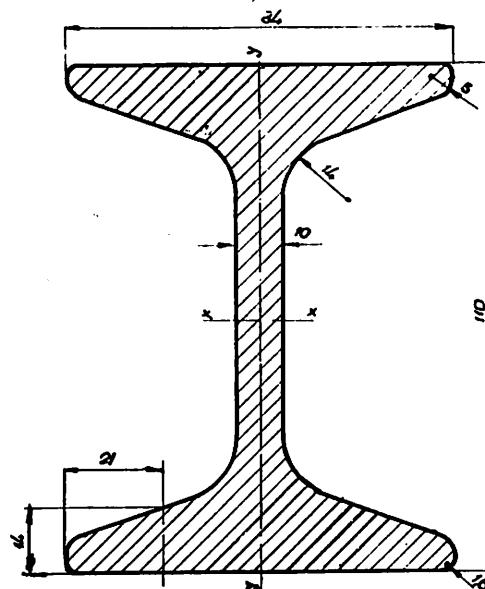
| Materijal | Momenat |
|-----------|---------|
| č.37,11 | 4,55 tm |
| č.54,11 | 6,65 tm |

Karakteristike profila

| | | |
|----|------|-----------------|
| G | 24,5 | kg/m |
| F | 31,1 | cm ² |
| Wx | 103 | cm ³ |
| Wy | 24,5 | cm ³ |



Sl. 9. — Profil iz 2 J NP 10. Maximalna nosivost na savijanje nosača 2 J NP 10 je manja za 1,5% nego kod ravnog nosača. Maximalna nosivost na savijanje savijenog nosača GI 110 je manja za 34% nego kod ravnog nosača.



Sl. 10 — Rudarski profil RI 110 Din 21.541. — Maximalna nosivost na savijanje savijenog nosača 2 J NP 10 je manja za 1,5% nego kod ravnog nosača. Maximalna nosivost na savijanje savijenog nosača GI 110 je manja za 34% nego kod ravnog nosača.

Zljebasti čelični lukovi su u dosadašnjem periodu razvoja čelične podgrade za hodnike u evropskim rudnicima uglja odigrali važnu ulogu. Nove konstrukcije čeličnih lukova iz normalnih profila sada počinju da ih potiskuju. Zato se i mi možemo smjelo orijentisati na čelične lukove iz zavarenih JNP profila.

Prema tome, za različite konstrukcije čeličnih lukova u rudnicima uglja kod nas, možemo se zadovoljiti sa dva profila:

sa duplim JNP profilom i
sa rudarskim profilom RI

Osnovne karakteristike tih profila za visinu profila od 100 i 110 mm date su na sl. 9 i 10.

Izbor kvaliteta čelika

Kao osnova za ocjenu kvaliteta čelika služe slijedeće najvažnije ispitne karakteristike:

- čvrstoća na istezanje δ kg/mm²
- granica razvlačenja (Si) kg/mm²
- istezanje $(\delta) \%$
- sužavanje $\varphi \%$
- udarna žilavost na rez (a_k) m kg/cm²

Čvrstoća na istezanje δ označava se kao najveći napon u odnosu na provbitan presjek, koji je materijal prije loma izdržao, kod normalnih čeličnih prvi broj u njegovoj oznaci daje donju granicu čvrstoće čelika u kg/mm².

Granica razvlačenja (Si) označava se napon kojim čelična šipka za ispitivanje na istezanje doživljjava izduženje bez porasta opterećenja. Ukoliko se to izduženje ne vidi, uzima se napon kod kojega čelična šipka za ispitivanje ostavlja trajnu deformaciju od 0,2% dužine šipke.

Kod uglijeničnih čelika za jamsku podgradu (kako Thomas tako i Siemens kvaliteta) stoji granica razvlačenja u određenom odnosu (cca 55%) prema čvrstoći na lom. Poslije kaljenja čelika ovaj odnos iznosi 80—90%.

Kada se granica razvlačenja čelika pomnoži otpornim momentom upotrebljenog profila dobija se čvrstoća na savijanje.

Između opterećenja razvlačenja i opterećenja loma čvrstoća čelika se povećava. Ova pojava se označava kao hladno učvršćivanje materijala i ona ima veliki značaj kod podgrade hodnika, jer se deformacije čeličnih lukova obično vrše u tom domenu.

Istezanjem ili istezanjem na lom (δ) naziva se srednje istezanje dužine čelične šipke kod ispitivanja do loma i poređenja sa prvobitnom dužinom.

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{10} \cdot 100 = \frac{1}{10} \cdot 100$$

1. — razvučena dužina l_0 — prvobitna dužina

Ukoliko čelik nije osjetljiv na krtost dovoljno je istezanje (δ) = 14%.

Sužavanje predstavlja smanjenje presjeka na mjestu loma u stotim dijelovima prvobitnog presjeka.

Istezanje i sužavanje predstavljaju mjerilo za sposobnost preoblikovanja materijala. Ali ta sposobnost ne zavisi samo od navedena dva faktora. Odlučujući faktor u ocjeni sposobnosti preoblikovanja materijala jeste žilavost na rez. Krt čelik kod preopterećenja lomi se iznenada, a to je opasno za jamsku podgradu. Kao karakteristika za osjetljivost materijala na krtost kod loma postoji tzv. udarana žilavost na rez. Probe za određivanje te karakteristike vrše se prema DIN 50115, pri čemu se mjeri udarni rad (m kg/cm²), koji je potreban da zarezana ispitna šipka dođe do loma.

$$a_k = \frac{A}{b \cdot h} \left(\frac{\text{mkg}}{\text{cm}^2} \right)$$

gdje je

A = udarni rad na 1 cm² presjeka.

Proba se obično vrši na temperaturi od 20°, s tim da se materijal prethodno umori tj. ostari. Uticaj temperature je pri tome vrlo značajan.

Ocjena rezultata DVM — proba na udarnu žilavost, prema podacima firme GHH — Oberhausen, uzima se kako slijedi:

Udarna žilavost na rez do 1 mkg/cm² —
— čelik je krto lomljiv

Udarna žilavost na rez do 2 mkg/cm² —
— čelik je krto lomljiv
kod površinskih oštećenja

Udarna žilavost na rez 2—4 mkg/cm² —
— djelimično lomljiv

Udarna žilavost preko 4 mkg/cm² —
— nije krto lomljiv.

Podaci se odnose na čelik koji je vještački pret-hodno ostario. U novije vrijeme ističe se sve veći značaj ove karakteristike za jamsku podgradu. Kod čelika, koji ima granicu razvlačenja veću od 40 kg/mm^2 , za orijentaciju uzima se da udarna žila-vost na rez prethodno umorenog čelika treba da bude kao minimum 2 mkg/cm^2 .

Za podgradu hodnika koriste se u prvom redu nelegirani čelici. Osim ugljika oni sadrže joć sili-cija i mangana kao i male količine sumpora, fos-fora, dušika i kisika. Visina učešća ovih elemenata koleba se u slijedećim granicama:

| | |
|---------|-----------------------|
| Ugljik | (C) 0,1% do 0,6% |
| Silicij | (Si) tragovi do 0,45% |
| Mangan | (Mn) 0,2% do 0,8% |
| Fosfor | (P) 0,01% do 0,1% |
| Sumpor | (S) 0,01% do 0,06% |

Legirani čelici su previše skupi za podgradu jamskih hodnika.

Sa povećanjem sadržaja ugljika u čeliku ras-te čvrstoća na istezanje i granica razvlačenja, a opada istezanje i sužavanje čelika.

Uticaj silicija na svojstva čvrstoće čelika sa učešćem do 0,25% praktično je bez značaja. Kod većeg učešća silicija prvo raste čvrstoća na istezanje i osobito granica razvlačenja, a istezanje nije u velikom padu.

Mangan povećava čvrstoću na istezanje i gra-nicu razvlačenja.

Kod uobičajenih količina fosfor ne utiče štet-no. Većim učešćem povećava se čvrstoća i krtost čelika."

Uticaj sumpora u normalnim količinama bez štetnog je dejstva na podgradu hodnika.

Dušik povećava krtost čelika.

I tehnološki postupak ima uticaja na svojstva čelika.

Za podgradu hodnika dolaze u obzir samo Thomas i Siemens — Martin čelik.

Thomas postupak je mnogo produktivniji i eko-nomičniji, ali kvalitet konačnog produkta je slabiji. Novim poboljašnjem tog postupka skoro su potpuno odstranjeni raniji nedostaci Thomas—čelika i on se jako približio po kvalitetu Siemens-Martin čeliku.

U Zapadnoj Nemačkoj za podgradu hodnika dolazi skoro isključivo Thomas-čelik kao jeftiniji. U našoj zemlji za istu svrhu dolazi isključivo u obzir Siemens-Martin-čelik, koji je bolji ali je skuplji. To diktira proizvodni program jugoslovenskih želje-zara.

U tablici 1 dat je pregled najvažnijih čelika za podgradu hodnika. Do 1950. godine u pretežnoj upotrebi za lučnu podgradu bio je čelik kvaliteta č 37. Zato su i profili bili vrlo teški. U prosjeku za nje-mačke rudnike uglja primjenjivali su se profili teški preko 30 kg/m . Otada počinje jača upotreba boljih čelika i prosječna težina profila opada.

Prema Schäfer-u za jednog velikog proiz-vodača jamskih profila u Njemačkoj bila je ka-rakteristična slijedeća prosječna težina proizvedenih rudarskih profila:

| | |
|------------|-------------|
| 1951. god. | — 33,0 kg/m |
| 1952. god. | — 30,8 kg/m |
| 1953. god. | — 28,8 kg/m |
| 1954. god. | — 27,0 kg/m |
| 1955. god. | — 24,6 kg/m |

Od tada prosječna težina ponovo raste, tako da se u 1957. godini ustalila na 25 kg/m . Zajedno sa tim ustalili su se i čelici boljeg kvaliteta i to normalizovani čelik sa granicom razvlačenja od 35 kg/mm^2 i poboljšani čelik sa granicom razvlače-nja od 45 kg/mm^2 .

Opšta nosivost jamskih profila u prosjeku se nije smanjila već ima tendenciju laganog porasta. A prosječna nosivost upotrebljivanih jamskih pro-fila u Zapadnoj Njemačkoj je vrlo velika.

Primjena vrlo lakih profila od jako kvalitetnog čelika ograničava se opasnošću od torzije i lomova, kojima su oni podložni u težim jamskim prilikama.

Kod težih profila materijal se bolje iskorišćuje. Tako, na primjer, ako se neki profil poveća u svim dimenzijama 2:1 to se njegova težina povećava u drugom stepenu, tj. $2^2 = 4$ puta, a njegov otporni momenat u trećem stepenu tj. $2^3 = 8$ puta.

Iako su u jugoslovenskim rudnicima uglja jams-ke prilike u većini slučajeva nešto lakše nego u njemačkim, a takođe je manji prosječan profil hod-nika, ne bi odgovarao u praksi izbor suviše lakih profila (ispod 20 kg/m).

U našim uslovima, za profile RI 110 i 2 JNP 10, biće dovoljno da se orijentišemo na dvije vrste kva-liteta čelika i to:

č.37,11 i č.52,11

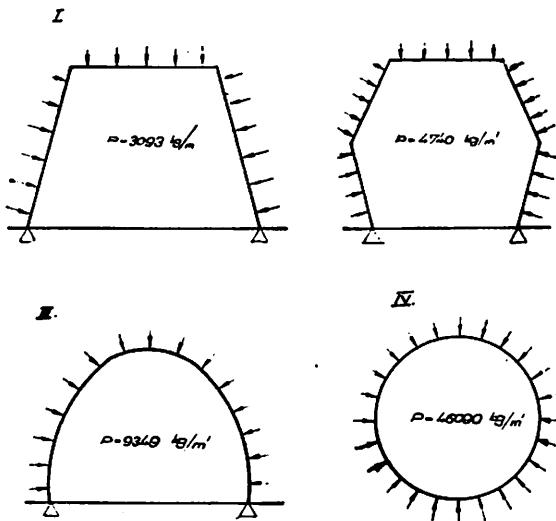
Slabiji čelik č 37,11 sa malom čvrstoćom i ma-lom žilavošću (svega 1 m kg/cm^2) dolazi u obzir za lakše jamske prilike. Bolji čelik č 52,11 ima garan-tovanu žilavost od 5 kgm/cm^2 i dolazi u obzir za te-ske jamske prilike u podgradi hodnika i za pro-mjenljiva opterećenja jamskog pritiska.

Izbor oblika čeličnog luka

Pravac i veličina sila jamskog pritiska kod uspostavljanja ravnoteže u masivu i kasnije, ne može se još uviyek računski odrediti i tu su praktična posmatranja i poređenja odlučujuća.

Prilikom ocjene pojedinačnih profila, tipova i oblika čeličnih lukova mora se poređenje vršiti potpuno pod istim uslovima podgradivanja.

Od vrste oblika čeličnih lukova zavisi u velikoj mjeri i njegova nosivost.



Sl. 11. — Proračun nosivosti različitih oblika podgrade iz profila RI 120 za ravnomjerno raspodjeljeno opterećenje (prema Schaefer-u).

Profil: RI 120 $I_x = 816 \text{ cm}^4$, $W = 136 \text{ cm}^3$, $\Sigma = 2700 \text{ kg/cm}^2$, $G = 29,5 \text{ kg/m}^3$.

Prema ispitivanjima Schäfer-a čelični luk od rudarskog profila GI 120 sa granicom razvlačenja od 2700 kg/cm^2 i metričkom težinom $29,5 \text{ kg/m}$ za različite oblike podgrade ima slijedeću nosivost (sl. 11):

| | |
|--------------------|---------------------------|
| trapezni oblik | $P = 3.093 \text{ kg/m}$ |
| šestougaoni oblik | $P = 4.740 \text{ kg/m}$ |
| potkovičasti oblik | $P = 9.349 \text{ kg/m}$ |
| kružni oblik | $P = 46.090 \text{ kg/m}$ |

Uzet je idealan slučaj koncentričnog i ravnomjernog opterećenja. Taj nam primjer pokazuje da kružni oblik ima najveću nosivost. Potkovičasti oblik nosi tri puta više od trapeznog oblika pod-

grade, a kružni oblik nosi preko 15 puta više od trapeznog oblika kod istog profila i kvaliteta čelika.

Neravnomjerno opterećenje ima bitan uticaj na nosivost čeličnog luka. Ispitivanja Jacobia na modelima pokazuju razlike u nosivosti jednog te istog luka opterećenog na razne načine. Za ispitivanje je bio uzet čelični luk od RI 110 profila sa metričkom težinom od $24,5 \text{ kg/m}$ i granicom razvlačenja od 34 kg/mm^2 . Kod jednostranog bočnog opterećenja čelični luk se počeo deformisati kod sile $3,2 \text{ t}$, kod ravnomjerno raspodjeljenog opterećenja čelični luk je po obimu izdržao koncentrično opterećenje od $48,6 \text{ t/m}$, a na temenu jednostrano opterećenje od $69,5 \text{ t}$.

Navedeni proračuni nosivosti Schäfer-a i Jacobia, za potkovičasti oblik čeličnog luka kod koncentričnog opterećenja, bitno se međusobno kvantitativno razlikuju, možda zbog različitih metoda proračuna. Ali u kvalitetnom pogledu imaju veliku praktičnu vrijednost.

Ispitivanja Jacobia (sl. 12) prikazuju koliko je važno da kod podgradivanja jamskog hodnika čelični luk po čitavom obimu bude dobro zašložen i to čvrstim materijalom. To potvrđuju i naša praktična iskustva.

Ovo zlaganje ima cilj da „otpornu liniju“ opterećenja jamskog pritiska izjednači sa „neutralnom linijom“ čeličnog luka. Kada se to postigne nestaju naprezanja na savijanje i čelični luk postiže svoju maksimalnu nosivost.

To je, istovremeno, odlučujući faktor u smanjenju deformacija čeličnih lukova.

Kod preopterećenja kruti čelični luk obično se postepeno deformiše prilagodavajući svoju neutralnu liniju opterećenju. Važno je da se to prilagodavanje izvrši sa što manje deformacija na čeličnom luku. Zato su stvorenii posebni mehanizmi za popuštanje čeličnih lukova.

Prema tome, da li su čelični lukovi snabdjeveni posebnim mehanizmom popuštanja ili ne, razlikujemo popustljive i nepopustljive čelične lukove.

Naziv „nepopustljivi“ čelični luk nije sasvim adekvatan pošto i on ima izvjesnu popustljivost. Ta se popustljivost postiže ubacivanjem praga od tvrdog drveta pod stope čeličnog luka na njegova dva oslonca. Ova mala popustljivost dovoljna je za neutralizaciju početnog dinamičkog pritiska kod izrade jamskih prostorija van zone otkopnog polja, ukoliko prateće naslage ne poseduju jače izraženo svojstvo pseudoplasticiteta.

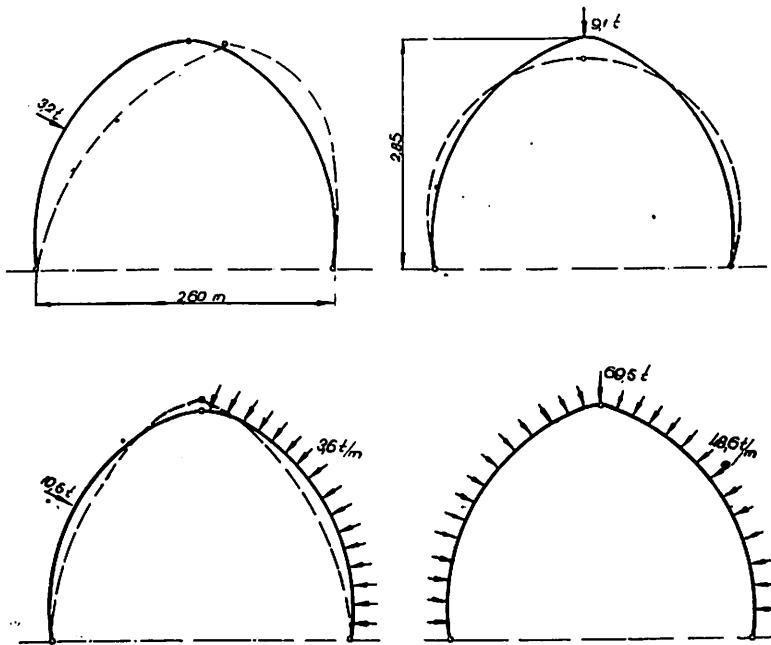
Ti lukovi mogu se racionalno primjenjivati na investicione radove u kamenu i u uglju van zone

jačih dinamičkih pritisaka. Oni su podesni tamo gdje podina buja.

Popustljivi čelični lukovi upotrebljavaju se u težim jamskim prilikama, u pripremnim radovima sa jakim dinamičkim pritiskom ili u zoni otkopnih polja. U takvim zonama uspostavljena ravnotočna sila oko hodnika ponovo se remeti sa napredovanjem širokog čela. Ispred i pozadi širokog čela stvara se vanredna koncentracija pritiska. Ova koncentracija jamskog pritiska premješta se zajedno sa napredovanjem širokog čela. To je posledica opštег kretanja masiva, koje se osjeća i u hodnicima u vidu znatnog spuštanja krovine, izdizanja podine i nadiranja uglja iz bokova. Da se prilagodi ovako značajnom kretanju masiva, a da se puno ne de-

štanje se vrši po obimu čeličnog luka i od velikog je značaja da sila jamskog pritiska djeluje u istom pravcu u kome djeluje i pravac popuštanja čeličnog luka. Pošto se to u praksi rijetko poklapa, понekad dolazi do neravnomjernog popuštanja i do krivljenja čeličnog luka. Kod jakih pritisaka strane žljeba se razvraćaju i onemogućuju popuštanje.

U novije vrijeme pojavilo se više raznih sistema popuštanja za čelične lukove od normalnih profila. Najpoznatiji od njih je proizvod firme Usspurwies. Kod ovih sistema mehanizmi za popuštanje (sl. 14) se nalaze ugrađeni na obe stope čeličnog luka. Iako se time konstrukcija čeličnog luka više komplikuje, postiže se sigurnije i ravnomernije popuštanje čitavog čeličnog luka.



Sl. 12. — Propracunata opterecenja deformacija kod čeličnih lukova sa zglobovinama za razne vidove opterecenja.

Uzet je čelični luk sa profilom slijedećih karakteristika: RI 110

$$G = 24,5 \text{ kg/m}^3 \quad Wx = 103 \text{ cm}^3$$

$$F = 31,1 \text{ cm}^2 \quad \xi_i = 34 \text{ kg/cm}^2$$

formiše, podgrada hodnika mora da ima znatnu popustljivost.

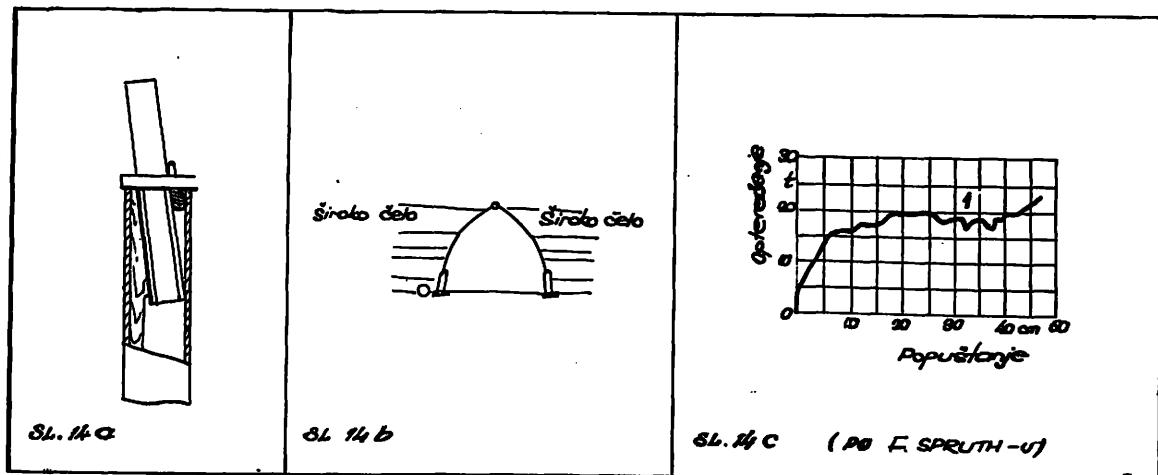
Postoje različiti mehanizmi za popuštanje čeličnih lukova. Kao prvi i najpoznatiji mehanizam za popuštanje čeličnih lukova je proizvod njemačke firme Tousant Heintzmann (sl. 13), koji se sastoji od žljebastih spojeva, obično razmještenih na dvije bočne strane čeličnog luka. Kod ovog sistema popu-

Na sl. 16 i sl. 17 pokazana su dva slučaja popuštanja u praksi, pod opterećenjem jamskog pritiska, čeličnih lukova iz žljebastih profila, sa bočnim pravcem spuštanja i normalnih JNP profila, sa vertikalnim pravcem popuštanja. Mjerenja opterećenja i deformacija vršio je Weber. Iz tih slika jasno se vidi da su poslednji lukovi mnogo bolje odigrali svoju ulogu od lukova iz žljebastog

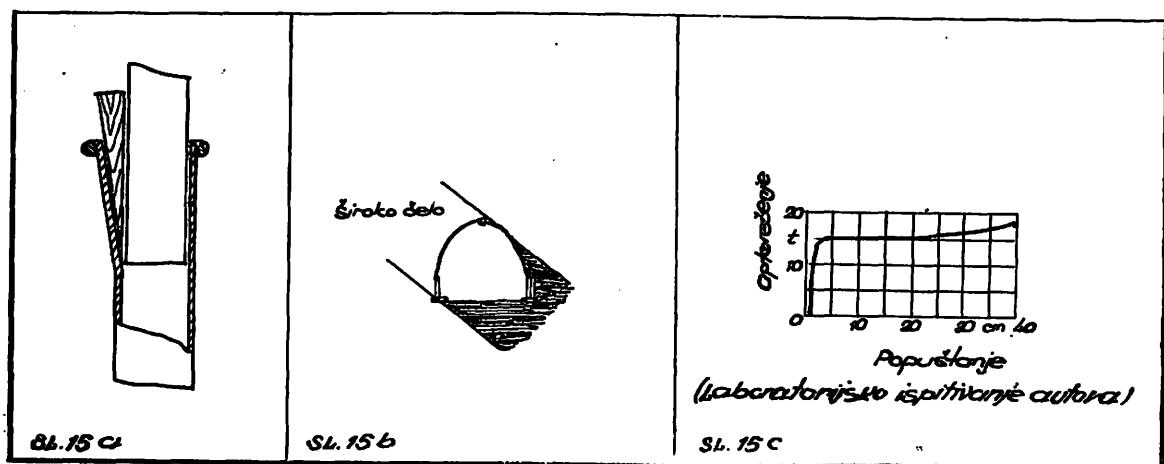
Razni sistemi popuštanja čeličnih lukova

| Mehanizam popuštanja | Standardni oblik čeličnog luka | Dijagram popustljivosti |
|----------------------|---|------------------------------|
| Sl. 13a | Sl. 13b Široko debljina Zidane kule | Sl. 13c (po F. SPRUTH-U) |

Sl. 13. — C. L. Tousant-Hemitzman.



Sl. 14. — C. L. Usspurwies.



Sl. 15. — C. L. „Metalno“ — Zenica.

Tablica 2

Pregled najvažnijih čelika za rudarsku podgradu

| VRSTA ČELIKA | Sadržaj C% | U prosjeku | Granica | Cvrstoća | Istezanje | Žilovast |
|--------------------------------------|---------------|------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------|----------|
| | | Mn % | razvlačenja kg/mm ² | na istez. kg/mm ² | δ u prosjeku | % |
| St. 37,11 | 0,10 | 0,30 | 24 | 42 | 30 | 1 |
| St. 42,11 | 0,22 | 0,40 | 26 | 46 | 30 | 1 |
| St. 50,11 | 0,32 | 0,50 | 30 | 55 | 27 | 1 |
| Tračnice | 0,40 | 0,70 | 40 | 70 | 15 | 1 |
| St. 54,11 | 0,35 | 0,50 | 33 | 60 | 25 | 1,30 |
| Poboljšani čelici dobijeni iz St. 54 | 0,32 | 0,70 | 52 | 75 | 19 | 4 |
| Novi ugljenični čelici | | | | | | |
| hladno savitljivi | 0,30 | 0,65 | 40 | 60 | 24 | 1,5-3 |
| Manganski čelici | | | | | | |
| a) u valjanom stanju | 0,20 | 1,00 | 36 | 55 | 25 | 3 |
| | | 0,30 | 1,50 | 42 | 70 | 18 |
| b) normalizirani | 0,35 | 1,20 | 46 | 70 | 25 | 1 |
| c) kaljeni | 0,15 | 1,20 | 47 | 75 | 22 | 4 |
| d) poboljšani | 0,35 | 1,20 | 60 | 90 | 18 | 5 |

Napomena: Proba na žilavost se vrši uz prethodno vještačko starenje uzorka.

TH profila. Poređenje nije sasvim adekvatno, jer se radi o različitim rudarskim uslovima primjene, ali ipak može da nam pruži sliku o njihovom međusobnom ponašanju.

Kod ocjene popuštanja čeličnih lukova dvije su najvažnije karakteristike:

- ravnomjernost popuštanja i
- opterećenje popuštanja.

Sudeći po iskustvu, opterećenje popuštanja ne smije da bude ni suviše veliko ni suviše malo. Ono treba da se kreće između 10 i 20 t. Suviše mala početna nosivost djeluje negativno na uspostavljanje ravnoteže masiva oko hodnika, a suviše velika početna nosivost dovodi do deformacije čeličnog luka prije nego što počne da popušta. Prema sl. 13 mehanizam popuštanja žljebastih TH lukova ima malu početnu nosivost i popuštanje je skokovito. Mehanizam popuštanja čeličnih lukova iz normalnih profila firme Usspurwies (sl. 14) daje znatno veću početnu nosivost i ravnomjerno popuštanje.

Prema ispitivanjima autora mehanizam popuštanja čeličnog luka iz normalnog 2 JNP profila preduzeća „Metalno“ na sl. 15 daje povoljnu početnu nosivost i ravnomjerno popuštanje.

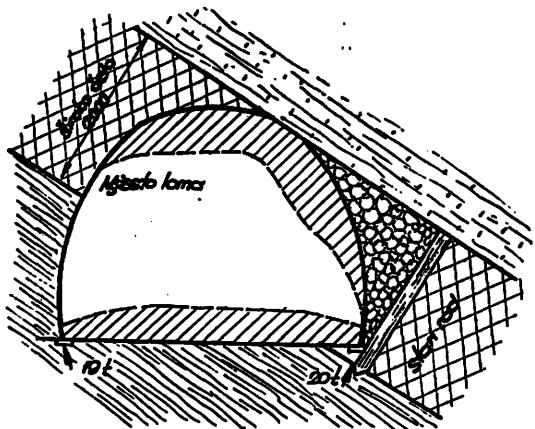
Veliku praktičnu vrijednost pokazali su, takođe, čelični lukovi iz normalnog 2 JNP profila sa spojevima

vima preduzeća „Metalno“, prikazani na sl. 18 i sl. 19. Spojevi na ovim lukovima imaju pravougaone vodice, koje ne dozvoljavaju iskretanje klizajućih elemenata ni pod najvećim pritiscima.

Spojevi su podjednako otporni u svim pravcima u odnosu na „x“ i „y“ osu. Zato izdržavaju ekscentrične pritiske i gorske udare. Zahvaljujući ovim spojevima kod kružnih i eliptičnih čeličnih lukova otklonjene su ranije slabe strane, koje su se uočavale kod TH i drugih spojeva, stvarajući nepovjerenje u celishodnost primjene kružnih i eliptičnih lukova u jamskoj praksi.

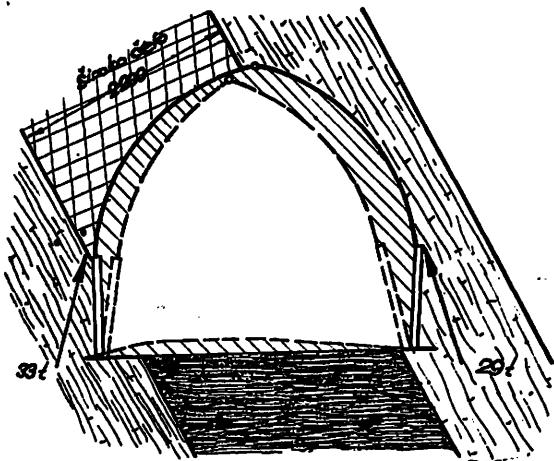
U rudniku Zenica bio je najteži problem kako održati prilazne hodnike širokog čela u zoni gorskih udara. Gorski udari su povremeno razrušavali ne samo hodnike izradivane u ugljenom stubu, već takođe i hodnike uz stari rad. Na sl. 20 prikazan je izgled gornjeg zračnog hodnika u drvenoj podgradi u povlačnom sloju Stare jame rudnika Zenica, razrušenog gorskim udarima.

Ugradnjem specijalnih čeličnih kružnih lukova sa spojevima datim na sl. 19 problem sigurnosti od gorskih udara u prilaznim putevima širokih čela je za uslove rudnika Zenica u cijelini riješen. Na sl. 21 prikazan je izgled istog zračnog hodnika u čeličnim kružnim lukovima preduzeća „Metalno“



Sl. 16. — Rezultati mjerjenja opterećenja i deformacije čeličnih luka (po Weber-u).

A — Popustljivi čelični luk iz žljebastog profila (sa rastućim padom pravac kretanja masiva i raspodjela pritiska je sve nepravilnija. Mjerenje daje samo jednu od raznih mogućnosti. Popustljiva podgrada iz žljebastog profila deformisala se već prije i za vrijeme popuštanja i bila je uništena). — — linija koja obilježava položaj luka poslije prihvatanja opterećenja jamskog pritiska.



Sl. 17. — Rezultati mjerjenja opterećenja i deformacije čeličnih luka (po Weber-u).

B — Popustljivi čelični luk iz duplog I NP profila (uslijed jakog bočnog pritiska iz krovine kruti polulukovi su jako utisnuti u stopala za popuštanje. Profil hodnika je još uvijek zadovoljavajući. Uprkos visokog opterećenja i mada pravac popuštanja nije bio u istoj liniji sa pravcem dejstva jamskog pritiska, popustljivi lukovi su odigrali svoju ulogu a da se nisu deformisali).

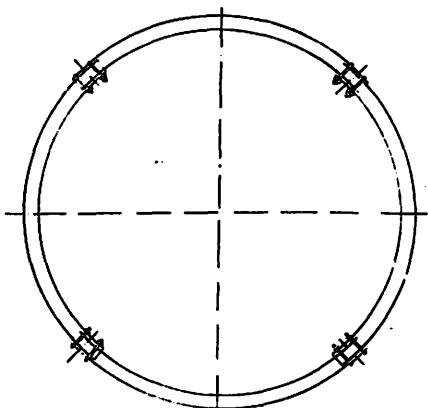
— — linija koja obilježava položaj luka poslije prihvatanja opterećenja jamskog pritiska.

koji su izdržali razorno dejstvo nekoliko gorskih udara.

Gorski udari su najteži ispit za čeličnu podgradu. Ako ta podgrada izdrži dejstvo gorskih udara onda će biti sposobna da se odupre dejstvu i ostalih vidova ispoljavanja jamskog pritiska. Ukoliko nema gorskih udara i podina ne buja, za prilazne hodnike širokog čela potpuno zadovoljava čelični luk potkovičastog oblika, kao što je prikazan na sl. 22. Dva bočna popustljiva spoja na stranama čeličnog luka omogućuju potrebljeno popuštanje pod dejstvom preopterećenja jamskog pritiska, a isto tako laku montažu i demontažu čeličnog luka.

Ako je krovina hodnika dovoljno čvrsta i podina ne buja, može se primjeniti trapezni oblik podgrade iz RI 110 profila prikazan na sl. 23 i 24. U otkopnom polju dolazi u obzir popustljivi trapezni okvir, a van zone dejstva otkopnog pritiska za iste uslove zadovoljiće i nepopustljivi trapezni okvir.

Pošto je nabavna vrijednost čelične podgrade za jamske hodnike deset i više puta veća od drvene podgrade, to se može za početak ona ugraditi samo na određenom rastojanju ispred širokog čela, u zoni gdje djeluje otkopni pritisak. Sa napredovanjem širokog čela koje je „u povlačenju”, podgrada se vadi iz njega i prenosi naprijed zamjenjujući drvenu podgradu. Na taj način sekcija od 100 m čelične podgrade, u stalnom premještanju ispred širokog čela, može da obezbijedi jeftino savlađivanje razornog dejstva otkopnog pritiska. Takav slučaj primjene čeličnih luka bio je u jami Kamenice rudnika Breza kod dvoetažnog otkopavanja širokog čela. Potkovičasti čelični luki ugrađeni su u

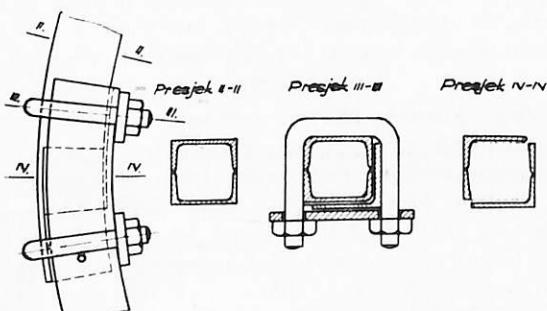


Sl. 18 — Kružni čelični dopustljivi luk preduzeća „Metalno”.

zračnom hodniku širokog čela donje etaže, koji je bio zasebno voden. Međutim, podina sloja je bila meka i pod dejstvom otkopnog pritiska kretala se u pravcu zračnog hodnika i punila ga. Na momente profil hodnika postajao je teško prolazan (sl. 25) i trošilo se dosta radne snage za njegovo održavanje. Umjesto toga bilo bi pravilnije da su se ugradili čelični lukovi kružnog oblika.

U novom otkopnom polju za dvoetažno široko čelo u reviru Ahmetovica istog rudnika nije izrađen poseban zračni hodnik ispred širokog čela za donju etažu, nego se održava samo zračni kanal između širokih čela obe etaže. Ovaj zračni kanal vodi se ispod ruševine širokog čela gornje etaže i podgradije se u čeličnim lukovima potkovičastog oblika, kao što pokazuje sl. 26. Iako je podina sloja meka, ona u ovom zračnom hodniku ne buja, jer se hodnik nalazi u rasterećenoj zoni od otkopnog pritiska. U ovakvoj zoni zadovoljava i potkovičasti oblik čeličnog luka, ukoliko donja etaža nije suviše udaljena od gornje etaže. Kod njihovog većeg razmaka bolje će odgovarati kružni popustljivi luk. To su dva primjera, koji očigledno pokazuju koliko je važno poznavanje zakonitosti jamskog pritiska i pravilan izbor oblika čeličnog luka.

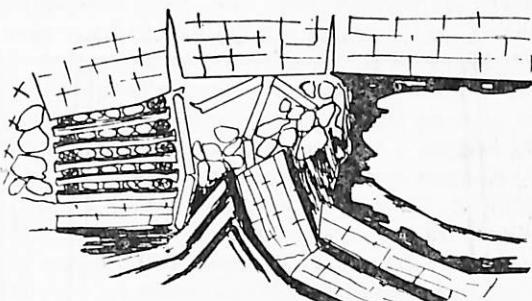
Na kraju je potrebno pomenuti i veliku važnost pravilnog postavljanja i razmještanja raspona među čeličnim lukovima. Rasponi imaju zadatak da povežu sve čelične lukove, dajući im potrebnu stabilnost i međusobnu ravnomerniju raspodjelu opterećenja jamskog pritiska. Bez raspona čelični lukovi nisu u stanju da se odupru jačim ekscentričnim pritiscima po svom obimu. Bez njih se lukovi izokreću i lakše se deformišu.



Sl. 19 — Specijalni spojevi za čelične lukove preduzeća „Metalno”.

Prema tome, čitav niz faktora utiče na nosivost čeličnih lukova u podzemnim hodnicima i potrebno ih je potpuno sagledati kako bi se izvršio pravilan izbor čeličnih lukova i isti najracionalnije primjenili.

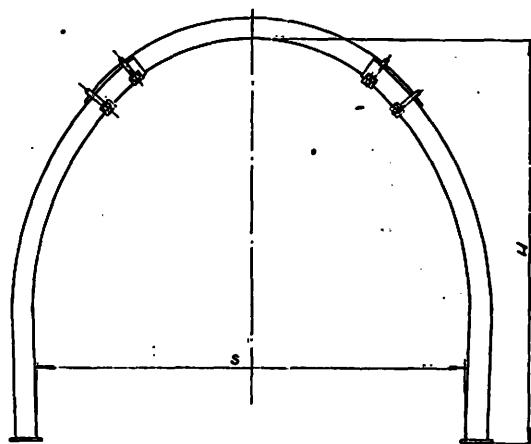
Rasponi, među čeličnim lukovima, stavljuju se obično po jedan na svaki metar obima čeličnog luka i treba da se nalaze na istim paralelnim linijama duž hodnika. Za čelične lukove iz normalnih profila, uključujući i čelične lukove preduzeća „Metalnc” rasponi se koriste iz drvenih vrhača, dok su za čelične lukove iz žljebastih profila potrebne specijalne metalne veze umjesto drvenih raspona.



Sl. 20. — Izgled gornjeg zračnog hodnika širokog čela u drvenoj podradi u povlatnom sloju Stare jame rudnika Zenica poslije dejstva gorskih udara.

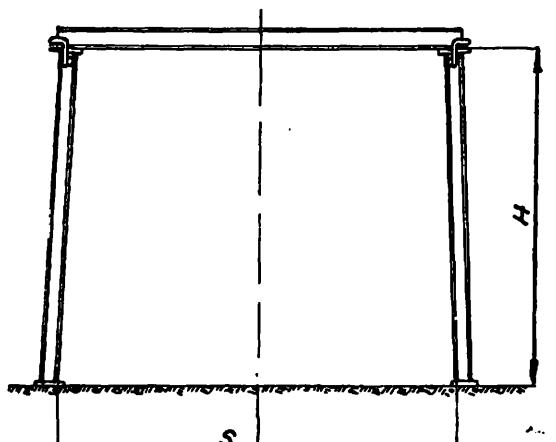


Sl. 21. — Gornji zračni hodnik širokog čela u povlatnom sloju Stare jame rudnika Zenica u zoni gorskih udara, podgrađen čeličnim lukovima tip E-III preduzeća „Metalno”.



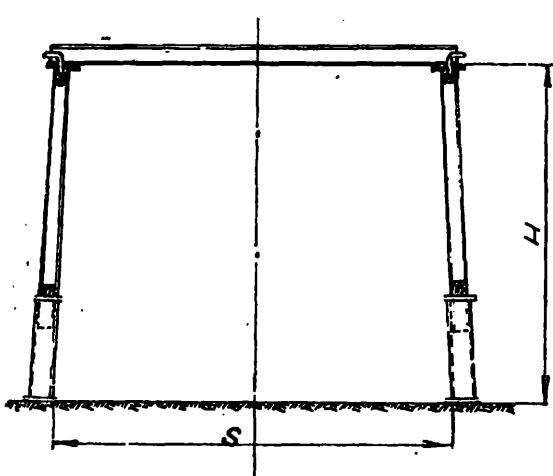
Sl. 22 — Potkovičasti popustljivi luk preduzeća „Metalno”.

| Izvedba | S | H | Težina | Površina |
|---------|------|------|--------|----------------|
| | mm | | kg | m ² |
| B — II | 2500 | 2300 | 143 | 4,93 |
| B — III | 2700 | 2500 | 159 | 6,00 |
| B — IV | 3000 | 2700 | 170 | 6,87 |
| B — V | 3300 | 3000 | 187 | 8,48 |



Sl. 23 — Trapezni nepopustljivi okvir preduzeća „Metalno”.

| Tip | S | H | Težina | Površina |
|---------|------|------|--------|------------------------|
| | mm | | kg | hodnika m ² |
| I — I | 2200 | 2000 | 172 | 4,20 |
| I — II | 2500 | 2300 | 182 | 5,40 |
| I — III | 2700 | 2500 | 196 | 5,62 |
| I — IV | 3000 | 2700 | 214 | 7,69 |

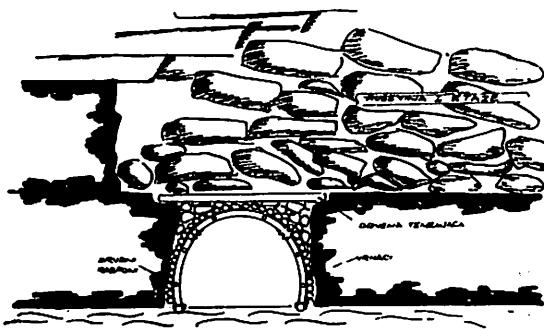


Sl. 24 — Trapezni popustljivi okvir preduzeća „Metalno”.

| Tip | S | H | Težina | Površina |
|---------|------|------|--------|----------------|
| | mm | | kg | m ² |
| J — II | 2500 | 2300 | 216 | 5,40 |
| J — III | 2700 | 2500 | 230 | 5,62 |
| J — IV | 300 | 2700 | 248 | 7,69 |



Sl. 25. — Čelični popustljivi lukovi ugrađeni u zračni hodnik širokog čela za donju etažu u jami Grabovik rudnika Breza (izgled - 15 m ispred širokog čela).



Sl. 26. — Čelični popustljivi lukovi ugrađeni u zračni hodnik širokog čela za donju etažu ispod ruševine I etaže u rev. Ahmetovica rudnika Breza.

Zaključak

Čelična podgrada za podzemne hodnike postala je sastavni dio moderne tehnologije proizvodnje uglja za evropske sisteme eksploracije. Od njene pravilne primjene zavise u velikom stepenu troškovi podgrađivanja i sigurnost rada.

Još uvijek postoje različita gledanja i koncepte u primjeni čelične podgrade za podgrađivanje jamskih prostorija. Neraščićeni pojmovi usporavaju razvoj čelične lučne podgrade. Tamo gdje se jedanput pređe na njenu upotrebu i osjetete prednosti čelične podgrade, rudarski stručnjaci u praksi više ne mogu bez nje, ukoliko razvijaju modernu tehnologiju proizvodnje uglja.

U početnoj fazi razvoja upotrebe čelične podgrade u hodnicima mnogo se forsirala upotreba starih šina. U prelaznom periodu stare šine, dobro termički obrađene, mogu korisno da posluže za podgradu kod određenih slojnih prilika i to van zone otkopnih polja. Kao trajno rješenje, podgrada

od starih šina tehnički i ekonomski ne odgovara zahtjevima rudarske prakse.

Z racionalan izbor čelične lučne podgrade nužno je dublje poznavanje ispoljavanja i djelovanja jamskog pritiska. Osobito oštri zahtjevi za podgradu postavljaju se u neuravnoteženom masivu oko podzemnih prostorija, gdje jamski pokreti teže ponovnom uspostavljanju stanja ravnoteže i deformišu jamsku prostoriju. U takvom slučaju podgrada treba da se prilagodava opštem kretanju masiva zadržavajući takav oblik koji još uvijek odgovara zahtjevima tehnološkog procesa i sigurnosti rada. Od svih građevinskih materijala čelik ima najveću sposobnost prilagođavanja.

Izbor profila čeličnog luka ne zavisi samo od njegove nosivosti u domenu elastične deformacije. Osobit značaj za jamsku podgradu ima njegovo ponašanje u domenu plastične deformacije, ier se savijanje čeličnog luka, pod dejstvom preopterećenja jamskog pritiska, vrši upravo u tom domenu.

Novi profil za čelične lukove od zavarenog duplog JNP profila, prema ispitivanjima autora, dalje maksimalnu otpornost na ekscentrični pritisak, torziju i bitno povećava svoju nosivost u domenu plastične deformacije. Osim toga, odnos nosivosti savijenog i ravnog nosača u tom profilu je mnogo povoljniji nego kod ostalih profila. Sa tim svojstvima ovaj profil se pokazuje kao povoljan za čelične lukove u najtežim jamskim prilikama, kao što su plastične naslage i gorski udari.

Za uslove u jugoslovenskim rudnicima uglja dovoljna je orijentacija na dva profila za čelične lukove: rudarski RI 110 profil i duplo zavareni JNP profil. Sa njima se mogu praviti kombinacije u konstrukciji za najrazličitije oblike čeličnih lukova.

Svojstva i kvalitet čelika igraju presudnu ulogu u nosivosti jednog te određenog tipa i oblika čeličnog luka. U Zapadnoj Njemačkoj, uglavnom, se upotrebljava Thomas čelik, kao jeftiniji, ali slabiji u kvalitetu. U Jugoslaviji za čelične lukove dolazi u obzir Siemens-čelik kao skuplji ali kvalitetniji, što diktira i tehnološki proces u proizvodnji željezara.

U novije vrijeme opšta je orijentacija u proizvodnji čeličnih lukova na bolji kvalitet čelika, kako bi se povećala nosivost, a smanjila njihova težina.

Različiti oblici čeličnog luka za jedne te isti profil, konstrukciju i kvalitet čelika, imaju različitu, nosivost. Potkovičasti oblik tri puta više nosi od trapeznog oblika, a kružni oblik petnaest puta više od trapeznog oblika, ukoliko je opterećenje koncentrič-

no i ravnomjerno raspodjeljeno po obimu čeličnog luka. Pogrešan izbor oblika čeličnog luka, u određenim slojnim prilikama, može dovesti do velikog oštećivanja čeličnih lukova ili da oni ne odgovore uopšte svojoj namjeni.

Način opterećenja čeličnog luka, takođe, bitno utiče na njegovu nosivost. Potkovičasti čelični luk može izdržati petnaest puta veće opterećenje, ukoliko je ono koncentrično i ravnomjerno raspoređeno nego kada je obično i jednostavno. Zato je potrebno čelične lukove kod ugradnje dobro i čvrstim materijalom zalažati po čitavom obimu.

Razlikuju se nepopustljivi i popustljivi čelični lukovi. Ovi poslednji služe za najteže jamske pri-

like u zoni otkopnih polja, kao i na mjestima gdje su prisutni jači dinamički pritisci. Mechanizam za popuštanje treba da ima nosivost između 10 i 20 t, i da pod preopterećenjem ravnomjerno popušta.

Da se čelični lukovi sačuvaju od štetnog dejstva ekscentričnog pritiska potrebno je ugrađivanje raspona među njima. Rasponi se ugrađuju na određenom razmaku po obimu čeličnog luka u paralelnim linijama duž podzemnog hodnika.

Njima se povećava ukupna stabilnost čelične podgrade u hodniku.

Ukoliko uzmemo u obzir sve izložene faktore i pravilno ugradimo čelične lukove, oni će donijeti velike prednosti rudnicima uglja.

L i t e r a t u r a

- Bleich, H., 1933: Die Spannungsverteilung in den Gurtungen gekrümter Stabe mit I und T-förmigen Querschnitt. — „Stahlbau“ H. 1. S.3/6.
- Caudle, R. D., Clark, Q. B., 1956: Stresses around mine openings. — „Colliery engineering“.
- Fennner, 1938: Untersuchungen zur Erkenntnis des Gebirgsdruck. — „Glückauf“ S. 681.
- Hack, W., 1931: Eine neue Profilform für den eisernen Streckenausbau. — „Glückauf“ 67, S. 817/22.
- Hülich, R., 1952: Einflüsse des Werkstoffes und der Profilgrösse auf die Tragfähigkeit von Streckenbögen. — „Glückauf“, 88, S. 1259/63.
- Jacob, O., 1952: Die Tragfähigkeit verschiedener Streckenausbauten im Plastolin — Modellsversuch. — Bergbauarchiv 13, Heft 3/45.35.
- Jacob, O., 1956: Druck auf Flöz und Versatz. — Internationale Tagung über Gebirgsdruckforschung, Essen, 17. und 18. Oktober 1956. Steinkohlenbergbauverein, Essen.
- Labasse, H., 1951: Gebrigsdruck und Getirgsbewegungen. — Internationale Tagung über Gebirgsdruck und Ausbau am Abbaustosse. Deutscher Text. Liège, du 24 au 28 april 1951. — „Anales des Mines de Belgique“.
- Osthof, H., 1954: Erste Relation des Bergreferendars. Eingereicht beim Oberbergamt Dortmund.
- Schäfer, W., 1957: Die Tragfähigkeit der Stahlprofile und ihr wirtschaftlicher Einsatz bei Streckenausbau. — „Glückauf“, Heft 29/30.
- Spruth, F., 1951: Die Druckverteilung vor und im Strebraum. Internationale Tagung über Gebirgsdruck und Ausbau am Abbaustosse. Deutscher Text. Liège, du 24 au 28 april 1951. — „Anales des Mines de Belgique“.
- Spruth, F., 1955: Streckenausbau in Stahl. — Verlag „Glückauf“, Essen.
- Spruth, O., 1952: Zur Materialfrage im Streckenausbau. — „Schlägel und Eisen“, S.279
- Schulte — Steinberg, D., 1954: Beitrag zur Beurteilung von Grubenausbauprofilen auf Grund von Biegeversuchen. — „Glückauf“ 90, S.216/35.
- Weber, H., 1954: Last und Verformungsmessungen am Abbaustreckenausbau. Ein Beitrag zur Gebirgsdruck-und Ausbaufrage. — „Glückauf“ 90, S.189.
- Gorne delo: Enciklopedičeskij spravočnik, tom 4. — Ugletehizdat, Moskva 1958.

