

6. TEHNOLOŠKI PROCES PODZEMNE EKSPLOATACIJE

Osnovni tehnološki radovi u otkopu

- izrada podzemnih prostorija i dobivanje mineralnih sirovina
- utovar i transport mineralne sirovine i jalovine
- podgrađivanje-osiguravanje podzemnih prostorija i otkopa
- provjetravanje i odvodnja

6.1. IZRADA PODZEMNIH PROSTORIJA I DOBIVANJE MINERALNIH SIROVINA

Radovi na dobijanju m.s. i pratećih stijena izvode se:

- miniranjem
- pneumatskim alatom
- podsijecanjem i zasijecanjem (rezanjem)
- strugovima
- skreperima
- kompleksnom opremom za dobivanje.

6.1.1. Miniranje

Osnovni utjecaj na tehnološku shemu miniranja imaju:

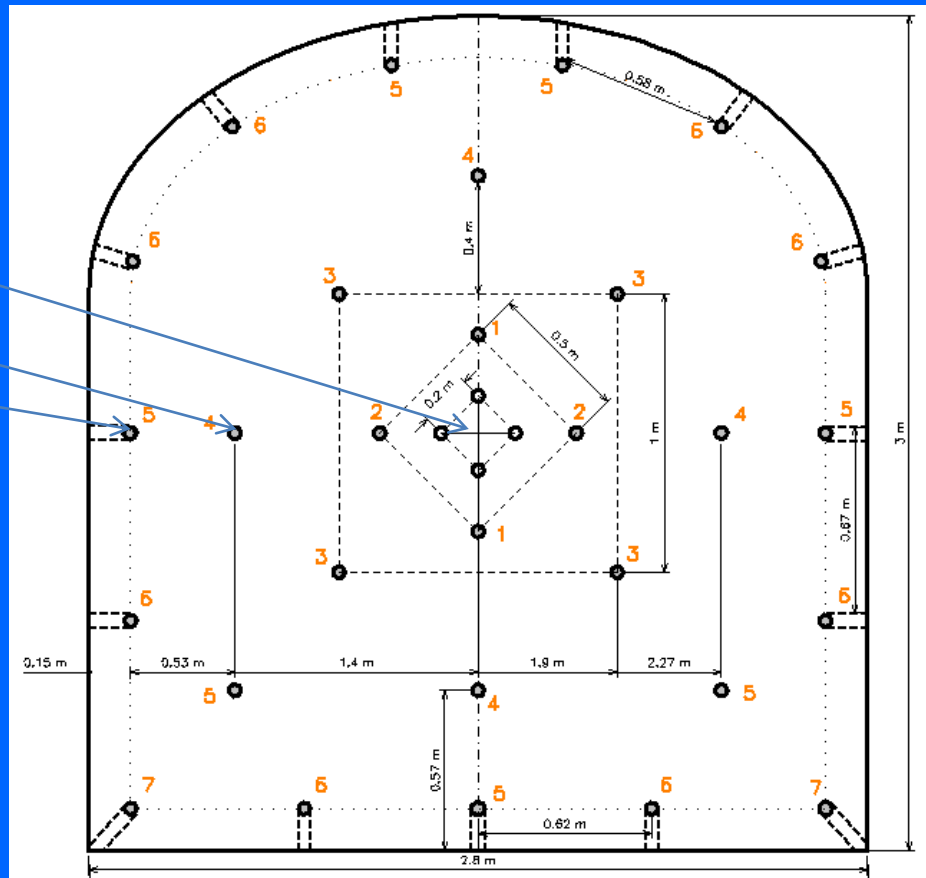
- uvjeti radne sredine
- vrste primijenjenih strojeva
- zahtjev za granulacijom.

Miniranje izvodimo pri podzemnom otkopavanju:

- minskim bušotinama ($d=36...75$ mm) iznimno ($d=75...300$ mm)
- komorama.

Minske bušotine se rade kao:

- zalomne
- pomoćne
- odbojne (konturne)



Slika 6.0 Minske bušotine na čelu izvoznog hodnika

Prema dužini, razlikuju se slijedeće minske bušotine:

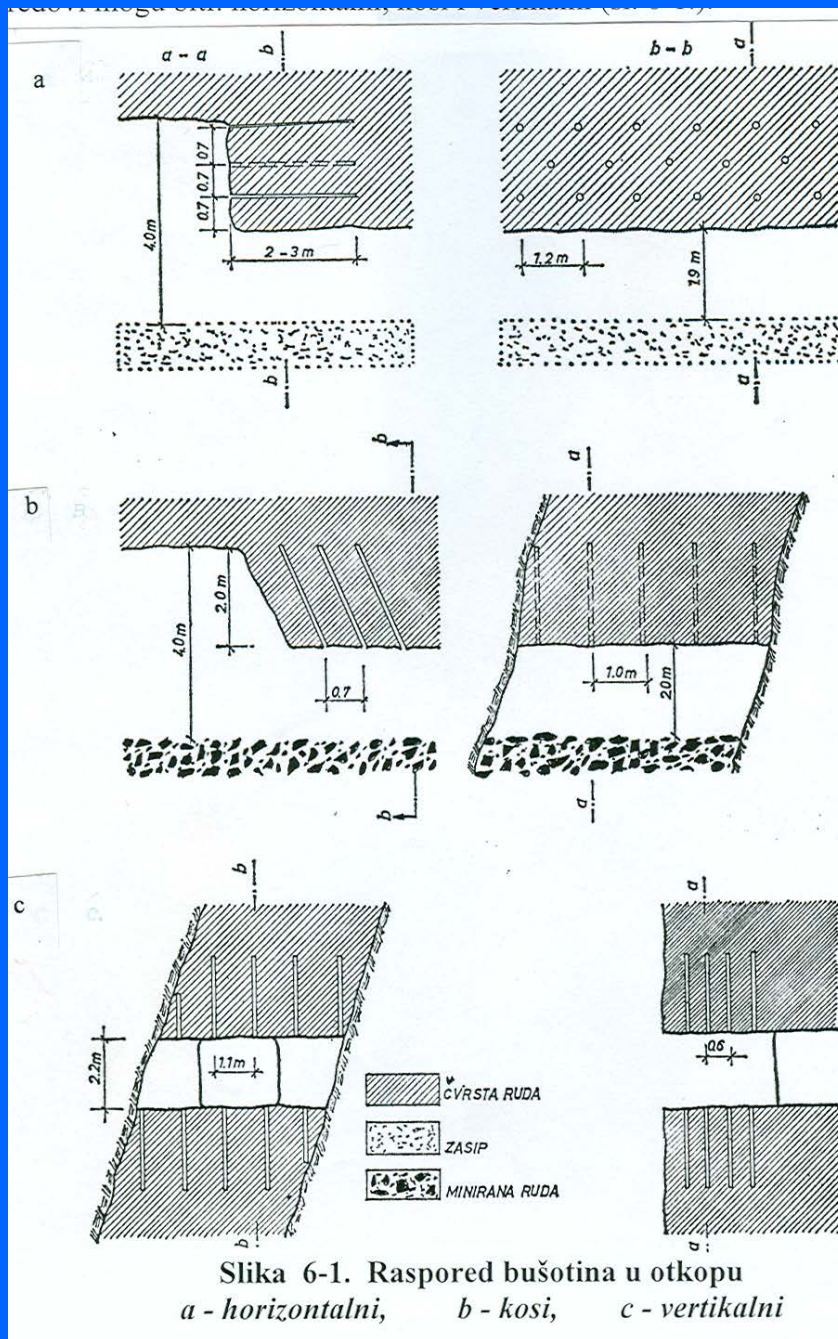
- kratke: 1 do 2 metra
- srednje: 2 do 5 metara
- duge: 5 do 20 metara.

Prema položaju u prostoru, minske bušotine se razvrstavaju u:

- paralelne i
- lepezaste redove.

Paralelni redovi mogu biti:

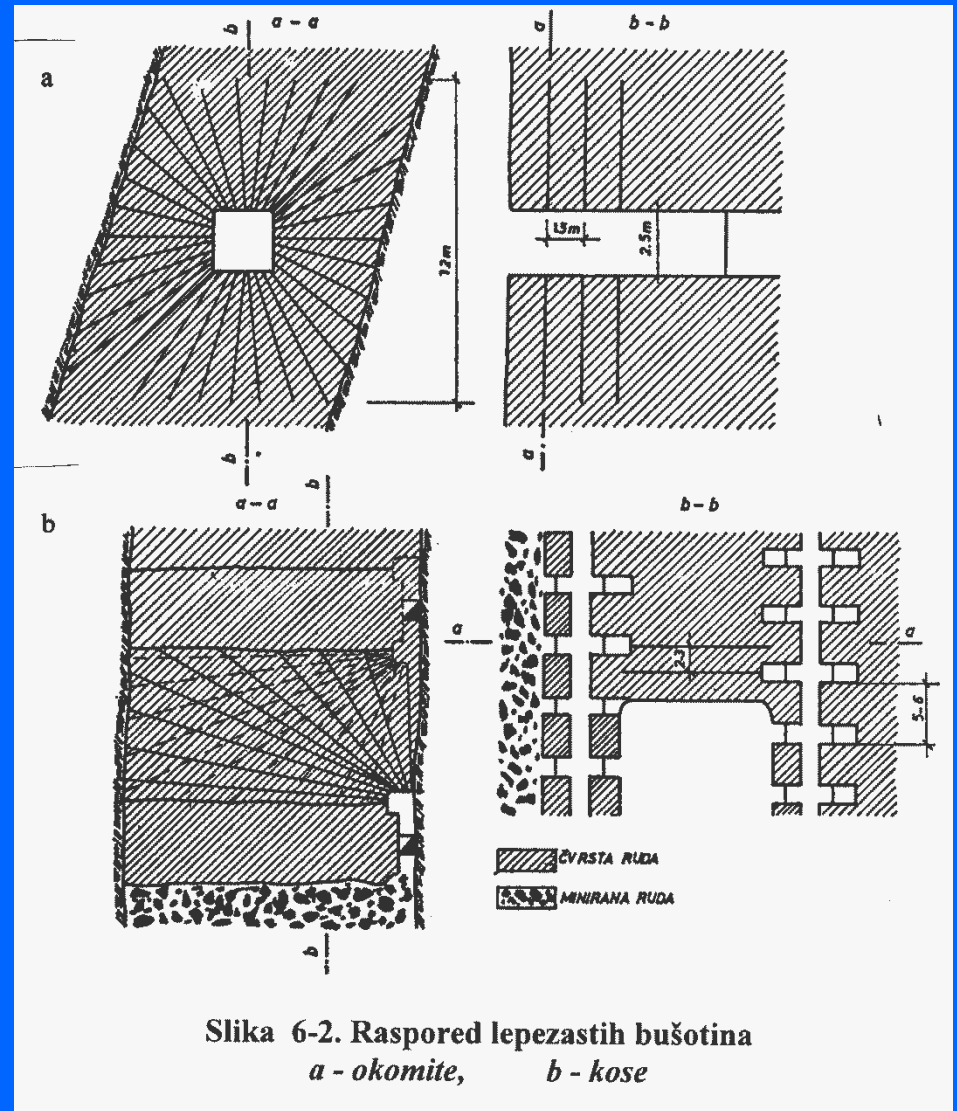
- horizontalni,
- kosi i
- vertikalni (sl. 6-1.).

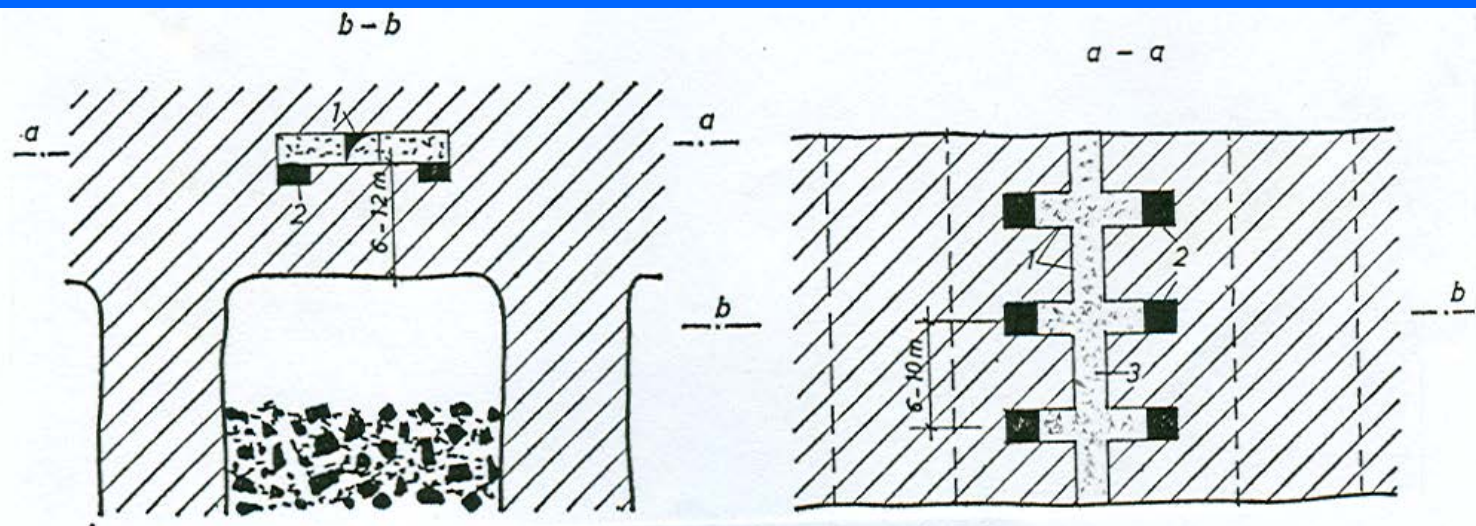


Slika 6-1. Raspored bušotina u otkopu
a - horizontalni, b - kosi, c - vertikalni

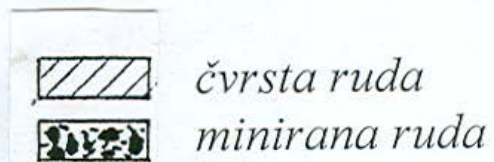
Ravnina lepeze može biti:

- okomita i
- kosa (sl. 6-2.)





- 1 - minski hodnici
- 2 - minsko punjenje
- 3 - ispuna



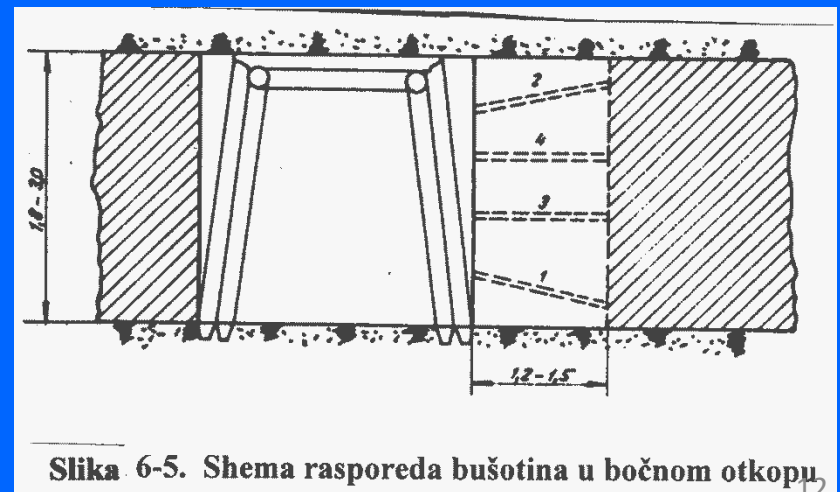
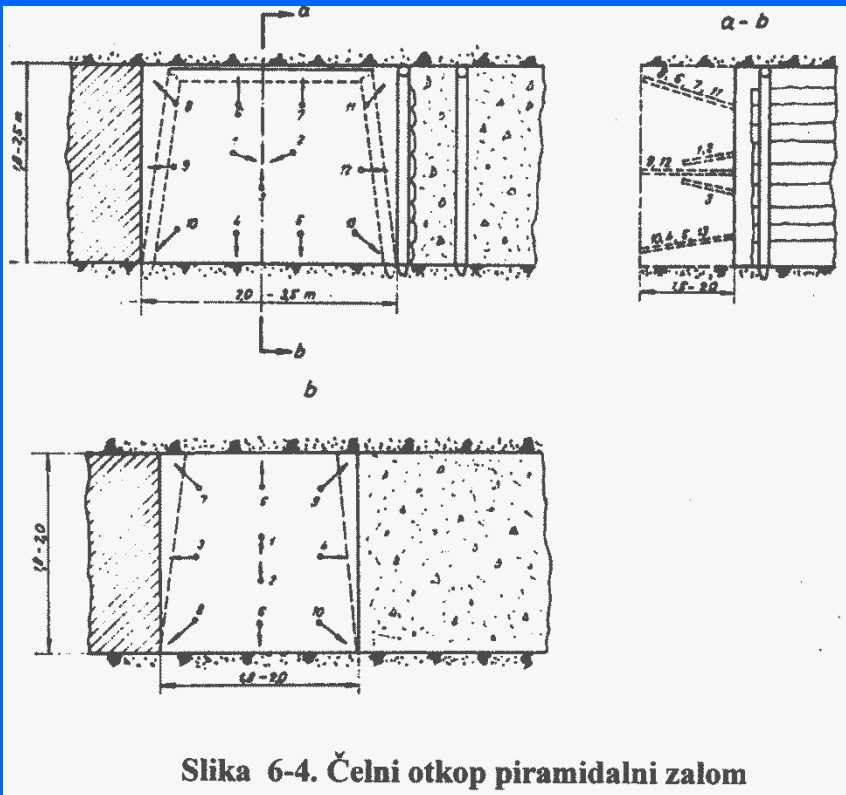
Slika 6-3. Minske komore

Sekundarno miniranje

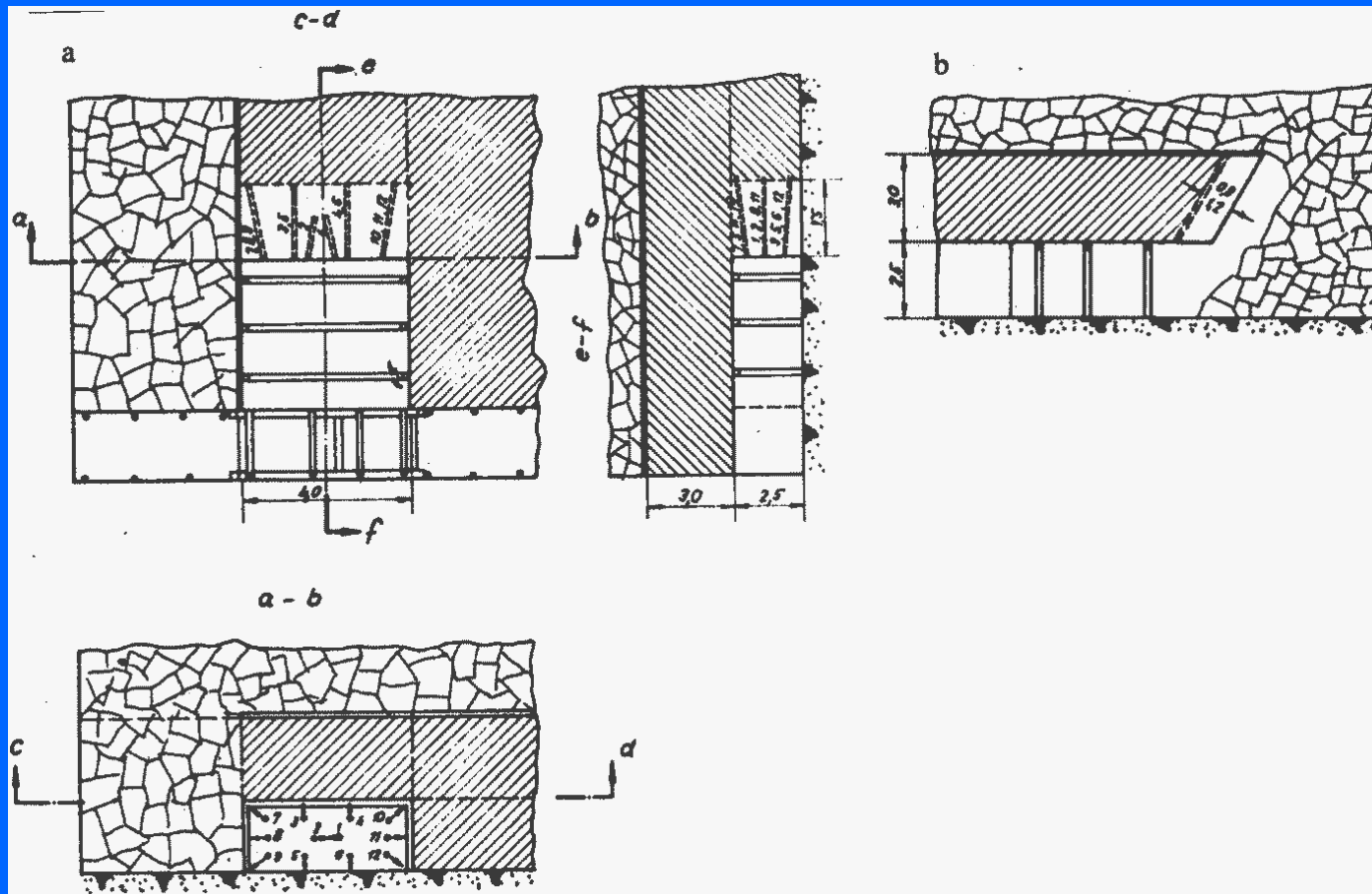
Kad se pri miniranju dobiju izvangabaritni komadi (>1000 mm), pristupa se sekundarnom miniranju.

Izvodi se naljepnim minama, ili bušenjem plitkih bušotina.

Miniranje na otkopima

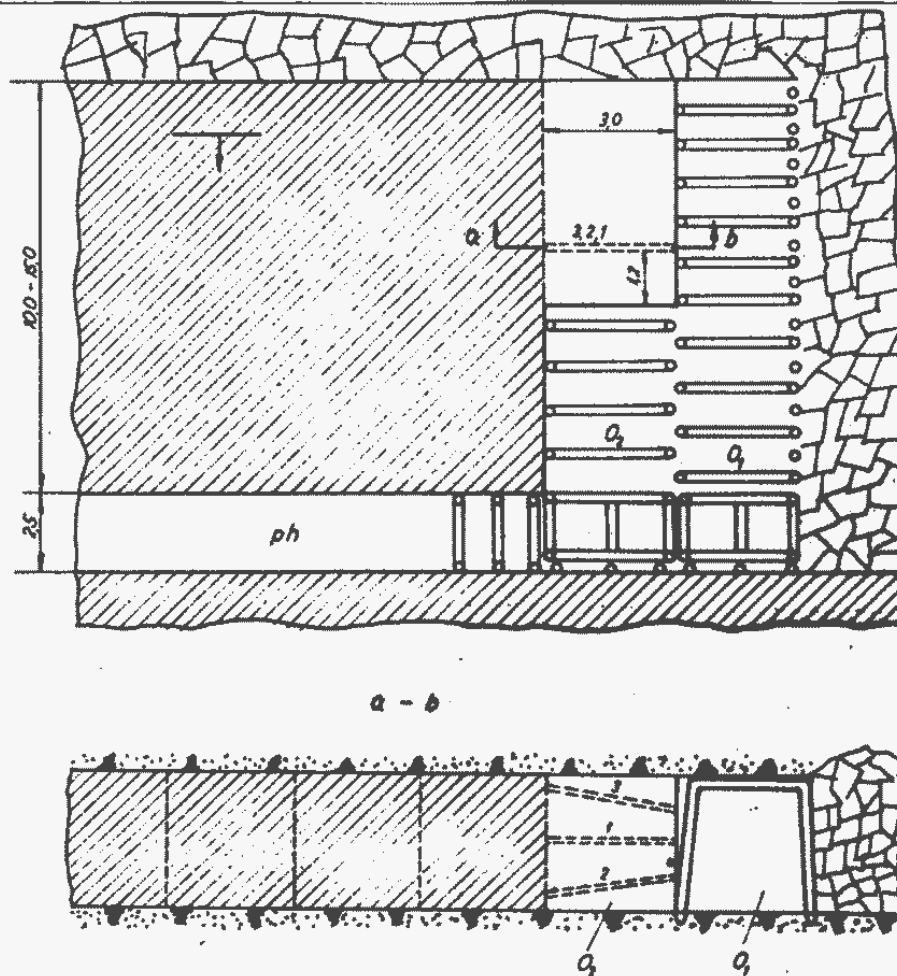


Miniranje na otkopima



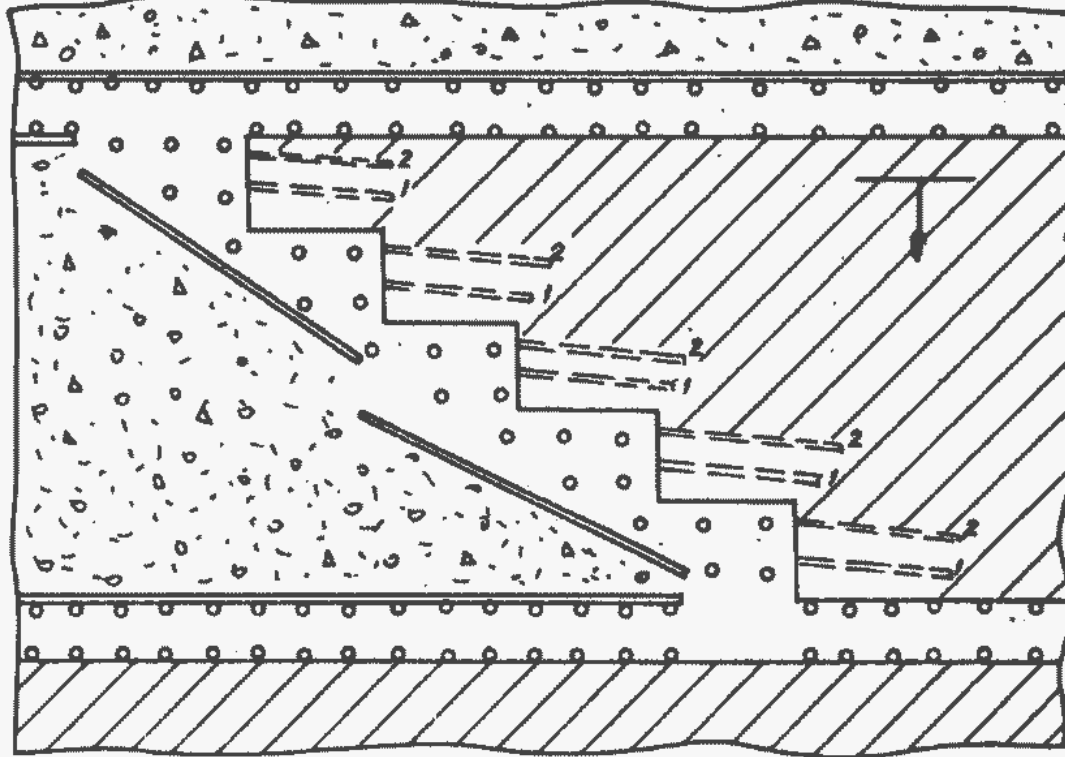
Slika 6-6. Shema miniranja u poprečnom hodniku s miniranjem u krovu
a) miniranje do visine otkopa b) miniranje u krovu

Miniranje na otkopima



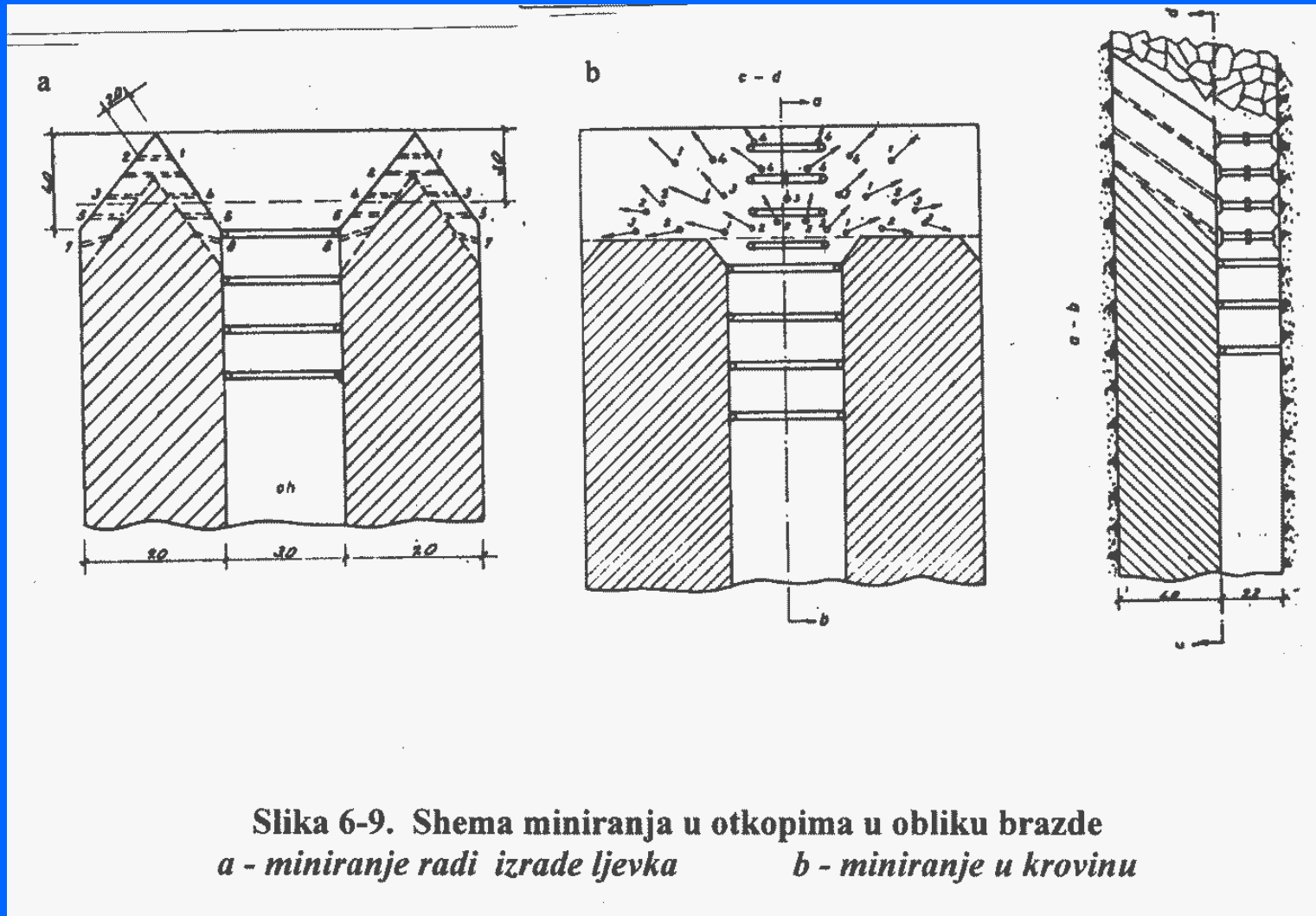
Slika 6-7. Shema miniranja u stupnom otkopu.

Miniranje na otkopima

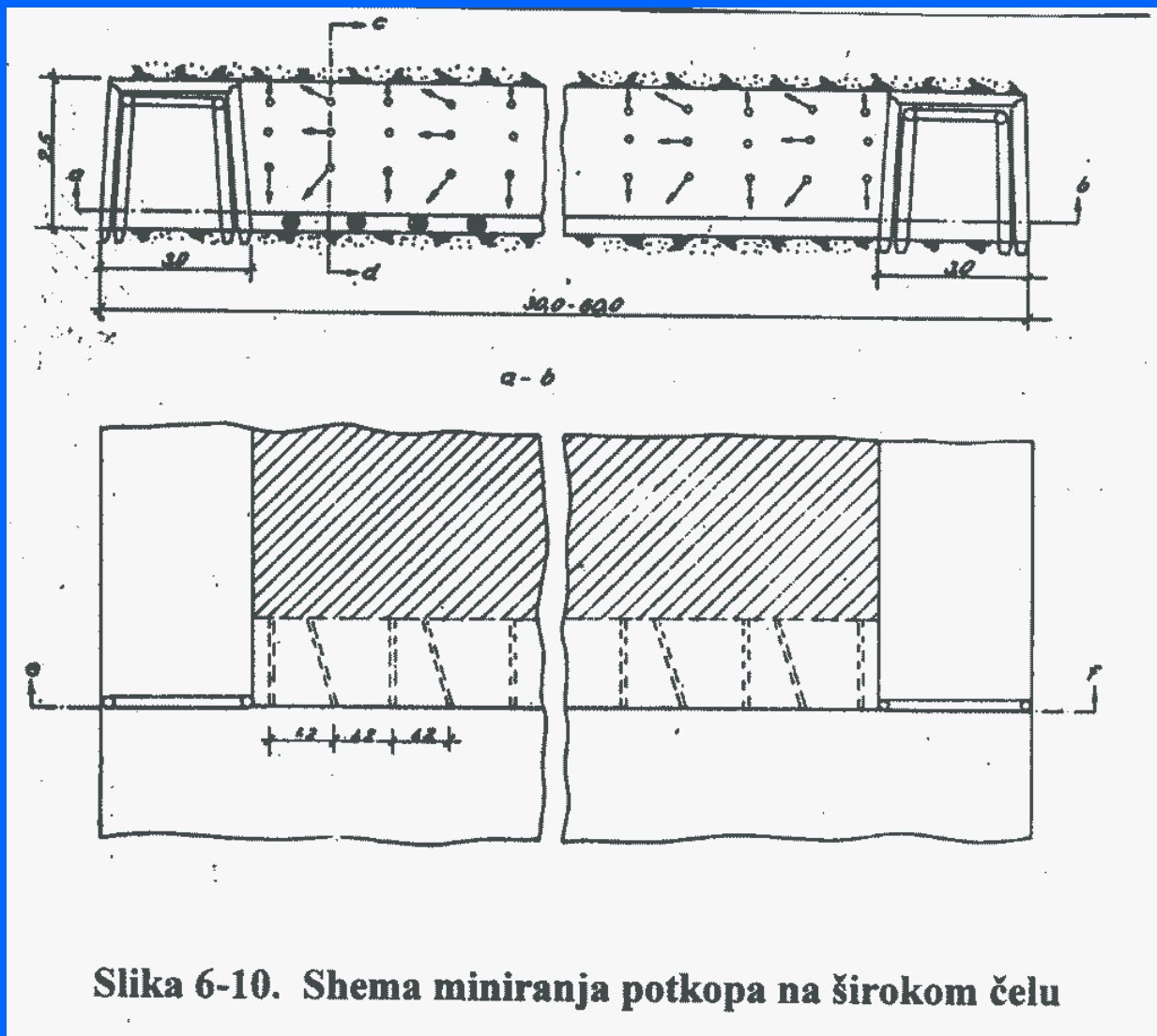


Slika 6-8. Shema miniranja na pravokutnom stubastom otkopu

Miniranje na otkopima

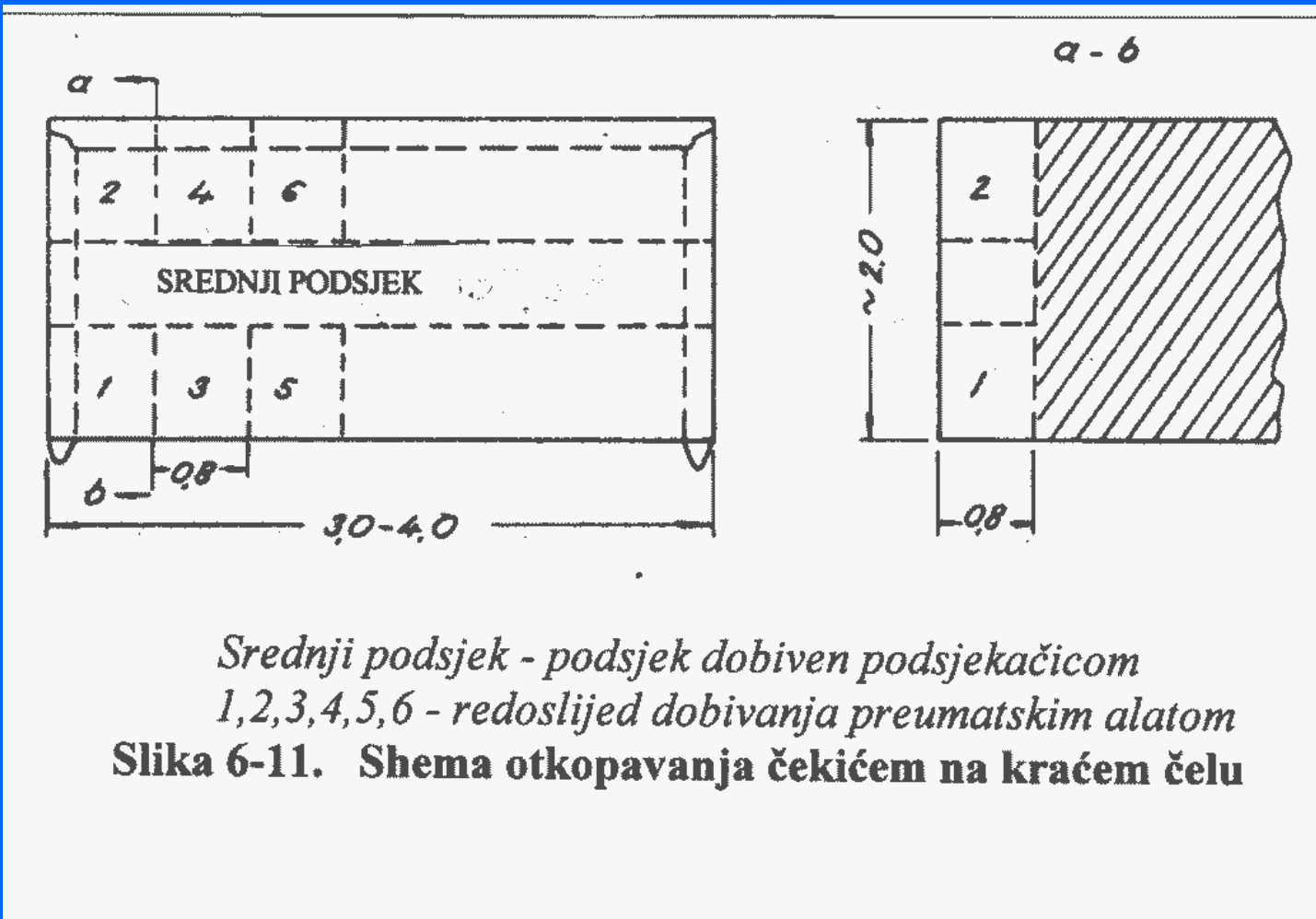


Miniranje na otkopima



Slika 6-10. Shema miniranja potkopa na širokom čelu

6.1.2. Tehnologija otkopavanja pneumatskim alatom



6.1.3. Tehnologija otkopavanja strojnim dobivanjem rezanjem LS



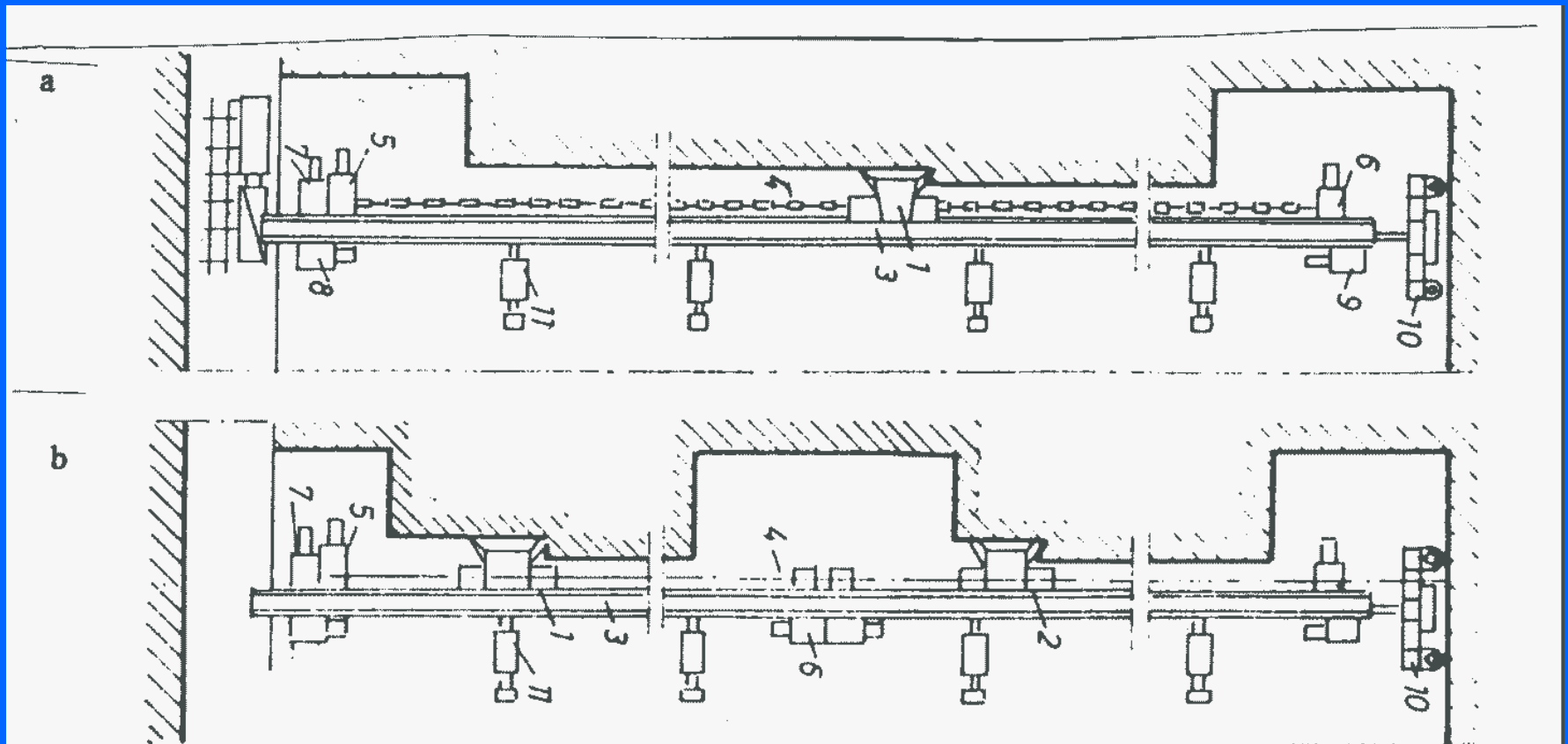
Slika 6.12

6.1.4. Tehnologija otkopavanja strojnim dobivanjem rezanjem džp

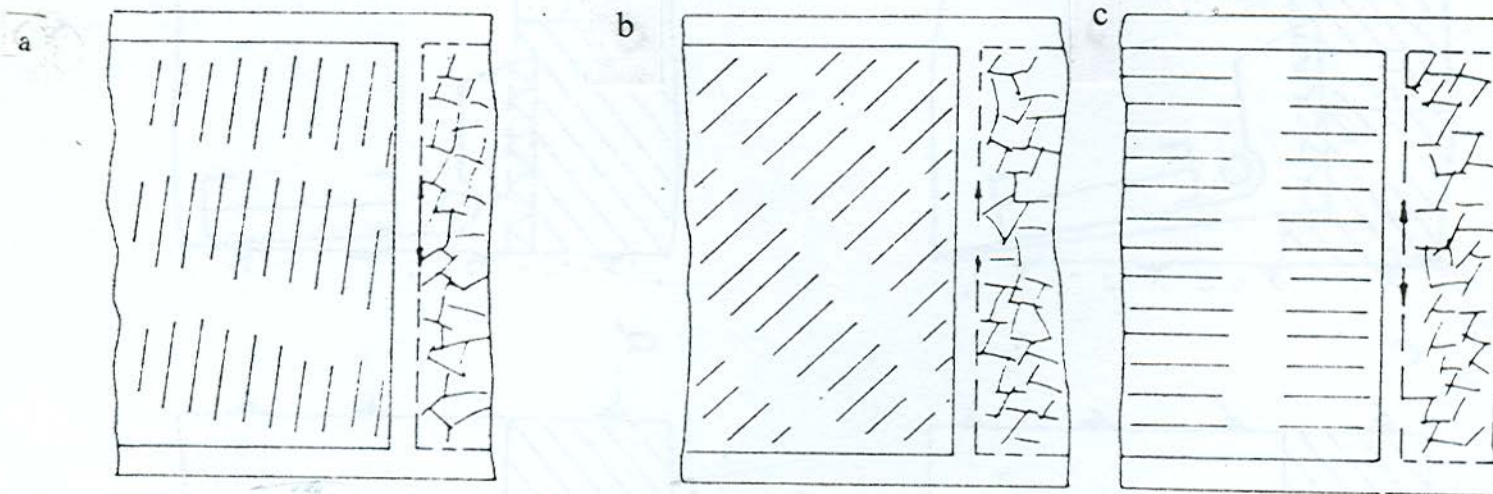


Slika 6.13

6.1.5. Tehnologija otkopavanja strojnim dobivanjem otkopavanje strugovima



Slika 6.14 Shema otkopa sa strugom u horizontalno ili blago nagnutom sloju
a - jedan strug b - dva struga



Slika 6.15 Odnos smjera struganja i smjera prslina
a - povoljno b i c - nepovoljno

Podjela strugova

1-Prema načinu prenošenja sile:

- **statički strugovi** - sila se prenosi na zube preko zateznog užeta ili lanca - najšira primjena u mekim i srednje čvrstim ugljenima horizontalnih i blago nagnutih slojeva
- **dinamički strugovi** - udar ili vibracija prenosi se na radni organ.

Dinamički strugovi odlamaju ugljen periodičnim udarima pri kretanju duž otkopa. Dijelev se u dvije vrste:

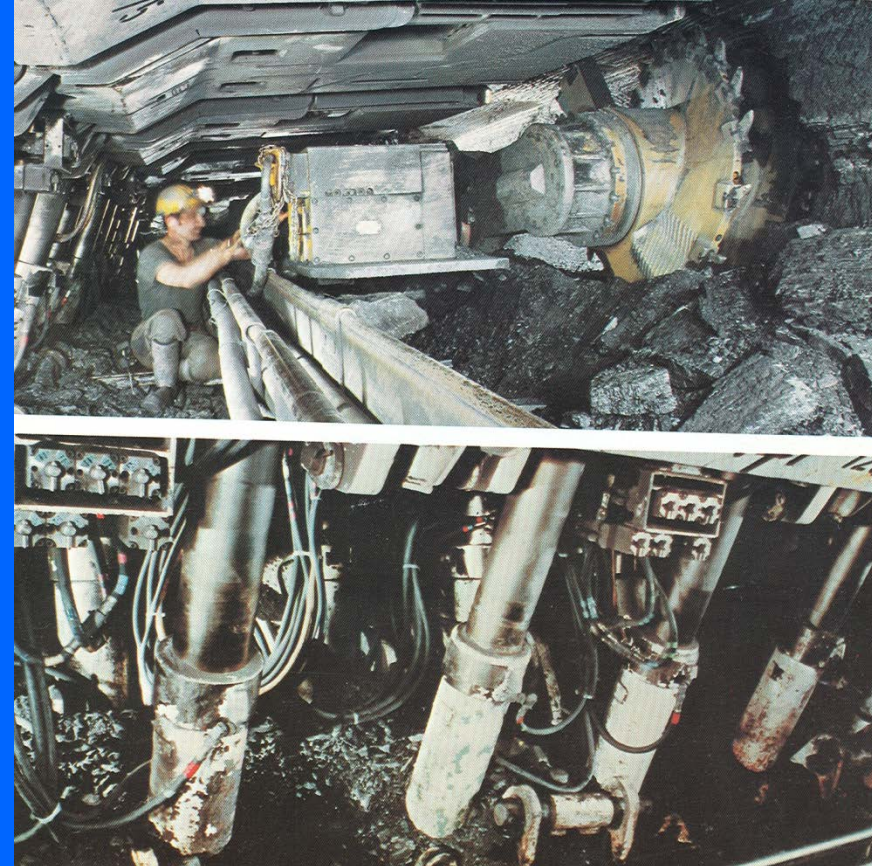
- *udarni* - radni alat nalazi se u stalnom kontaktu s čelom otkopa. Pogon je pneumatski ili elektropneumatski
- *vibracijski* - vibrirajući radni organ je periodično u kontaktu s čelom otkopa. Vibrirati može cijelo tijelo struga ili samo radni organ.

Posebna podgrupa su *skreper-strugovi* koji i otpremaju ugljen do utovarnog mjesta (u mekim ugljenima).

2-Prema brzini kretanja duž otkopa:

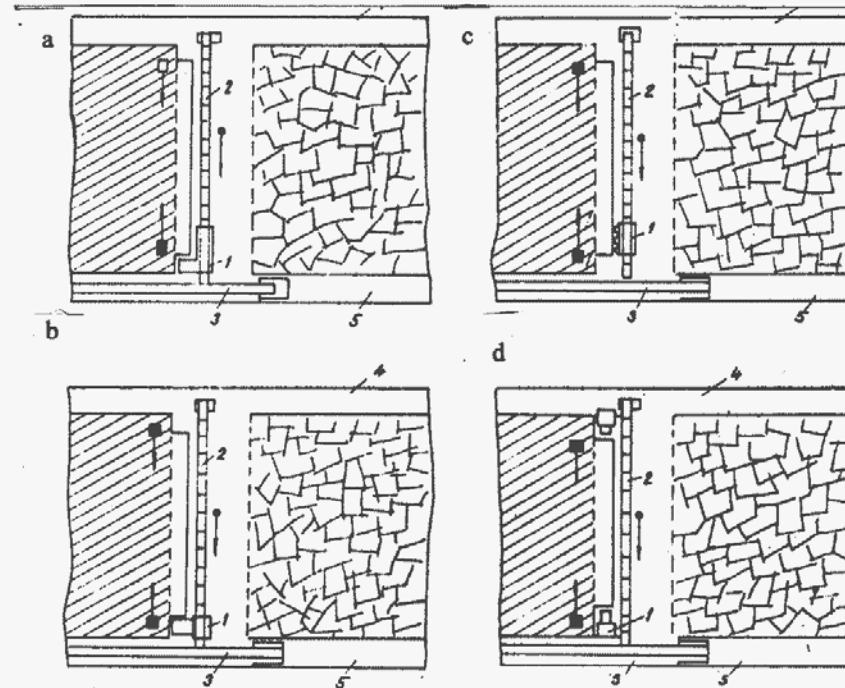
- **sporohodni** - brzine 5–20 m/min, dubine zahvata 150–300 mm,
- **brzohodni** - brzine 20–60 m/min, dubine zahvata 50–150 m/min.

6.1.6. Kompleksna oprema za dobivanje, podgrađivanje, utovar i odvoz (široka čela)



Slika 6.16

Shema rada na širokom čelu



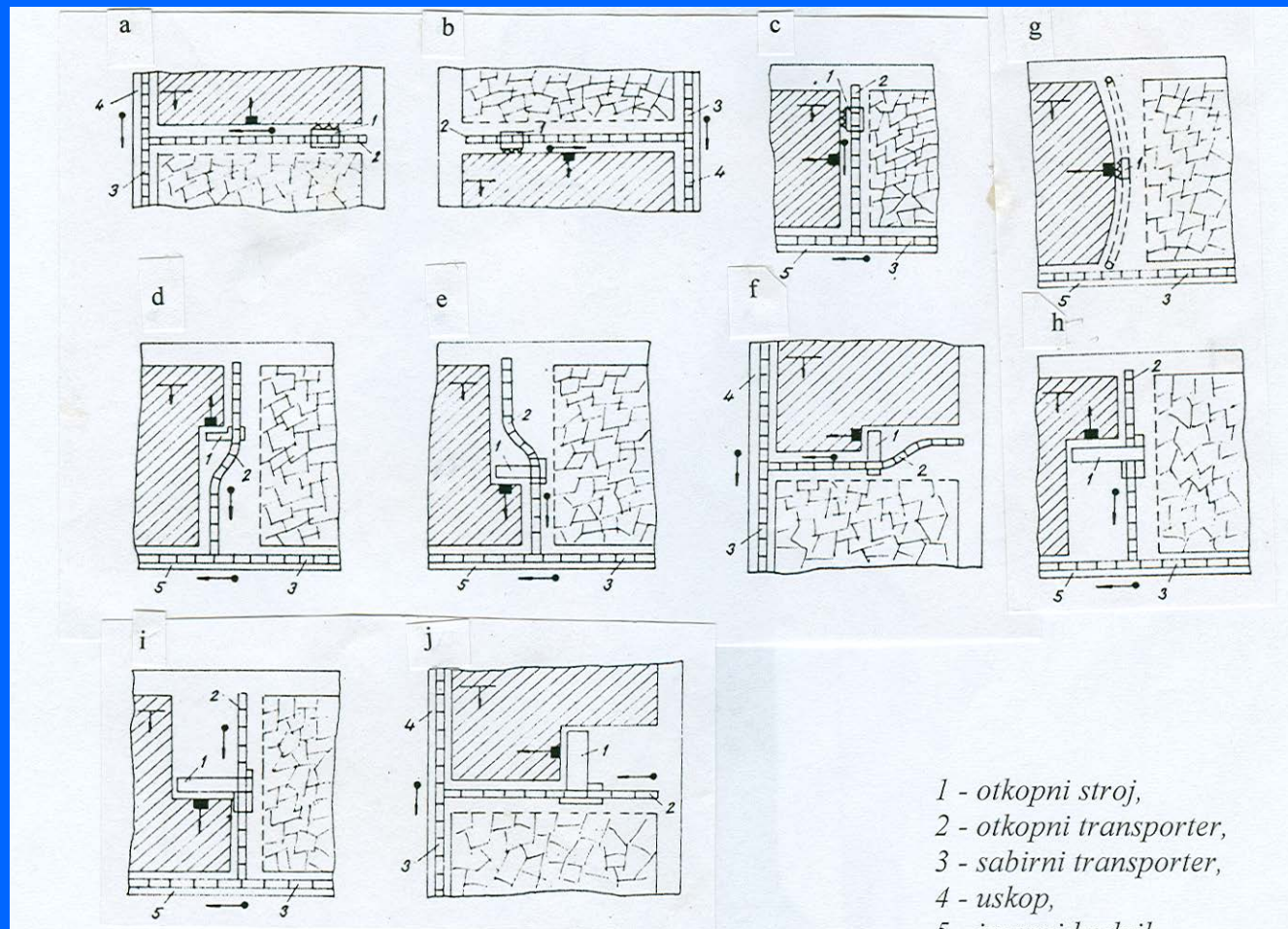
1 - otkopni stroj
2 - otkopni transporter
3 - sabirni transporter

4 - ventilacijski hodnik
5 - izvozni hodnik

▣→ smjer otkopavanja
□← povratni hod stroja
◆→ smjer odvoza

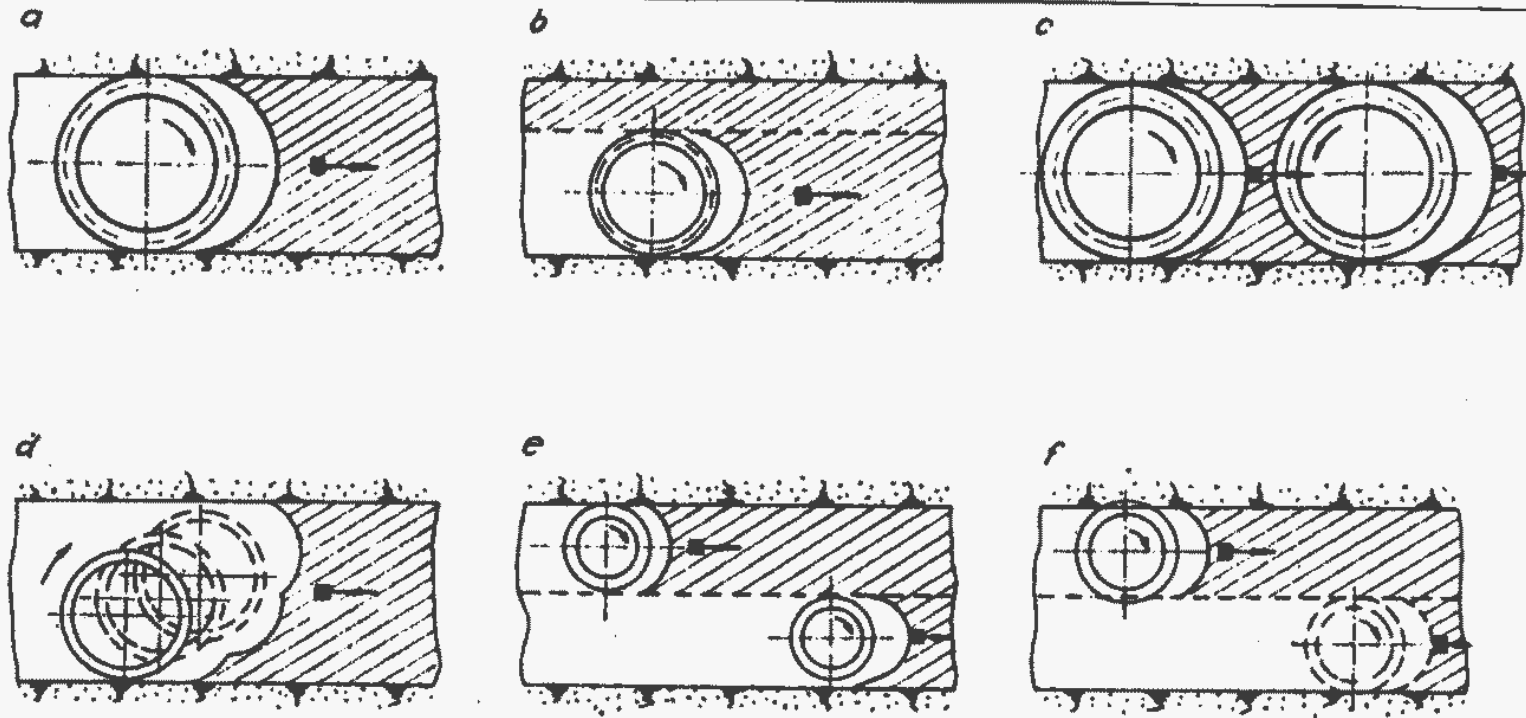
Slika 6.17 Tehnološka shema rada otkopnog stroja na širokom čelu
a - otkopni stroj otkopava u jednom smjeru i ima prazan povratni hod
b - otkopni stroj otkopava u oba smjera promjenom smjera otkopavanja mehanizma za rezanje
c - otkopni stroj ima čelni zahvat i otkopava u oba smjera
d - otkopni stroj otkopava u oba smjera, okrećući se u završnoj komori.

Shema pomicanja transportera na širokom čelu



Slika 6.18 Shema otkopavanja i pomicanja transportera s uskozahvatnim i širokozahvatnim otkopnim strojevima

Shema rada kombajna na širokom čelu



Slika 6.19 Shema rada mehanizma za rezanje na širokom čelu

Kombajni se mogu razvrstati prema nekoliko kriterija

Uvjeti zalijeganja ležišta i vrsta čela:

- široko čelo u horizontalnim i blago nagnutim ležištima
- usko čelo i komorno otkopavanje u horizontalnim i blago nagnutim ležištima
- strmi slojevi.

Radni organ:

- bubnjasti (cilindrični) rotirajući mehanizam za rezanje
- kombinirani s bubnjem i lančanim mehanizmom za rezanje
- disk mehanizam sa zubima po periferiji ($\phi 500\text{--}800$ mm, $v = 3\text{--}6$ m/s)
- rezne glave - čelno otkopavanje slojeva male debljine
- glave za bušenje (slojevi do 1,5 m, 1 do 3 glave).

Utovar rude:

- plugom
- kratkim jednostrukim ili dvostrukim grabuljarom
- ekscentričnim zahvatačima (rukama)
- pužom.

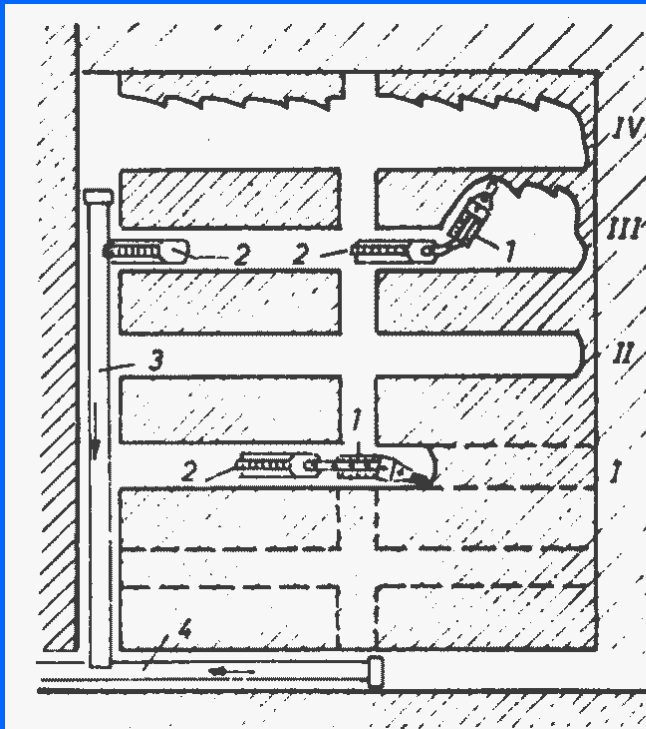
Kretanje duž otkopa:

- vlastiti pogon po tračnicama ili gusjenicama (obično na kratkim čelima)
- vučom pomoću čeličnog užeta ili lanca po otkopnom transporteru (široko čelo)
- nazubljenom motkom Eickotrack.

Pogon:

- komprimirani zrak
- električna energija (najčešće) - elektrohidraulični pogon pojedinih radnih funkcija.

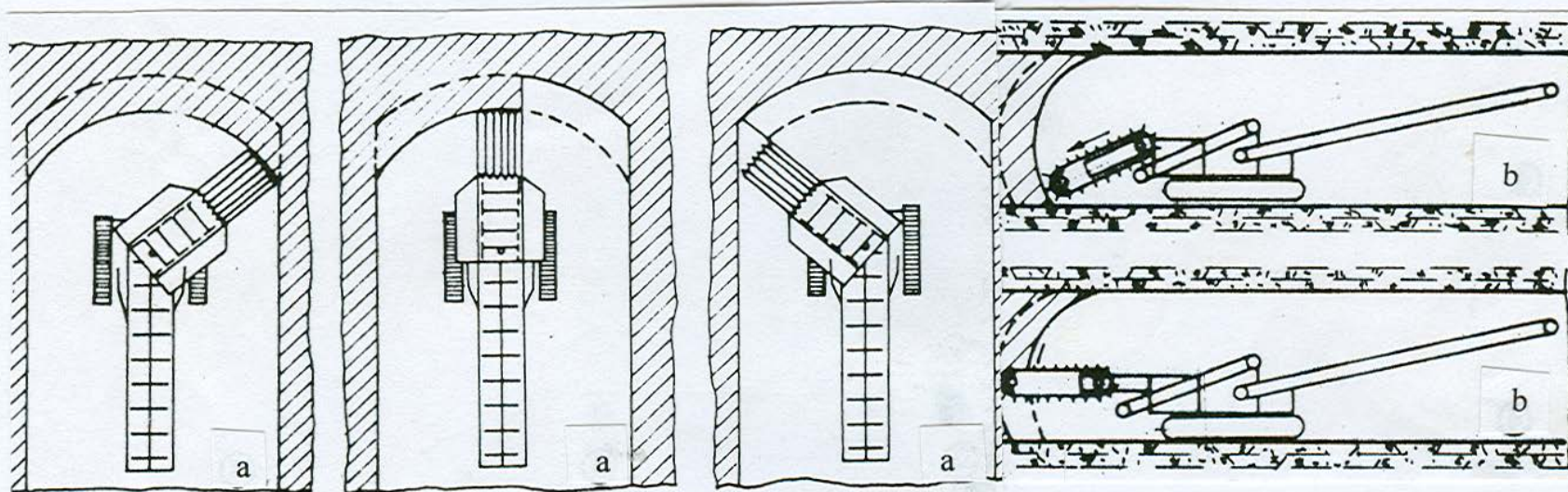
6.1. 7. Otkopavanje sa strojevima (kombajnima) u komorama



- 1 - kombajn Continuous Miner
- 2 - samohodni vagoni
- 3 - otkopni transporter
- 4 - glavni izvozni transporter
- I, II, III, IV - blokovi za otkopavanje

Slika 6.20 Otkopavanje u komorama kontinuiranim strojevima i diskontinuiranim transportom (kombinirano)

Tehnologija rada stroja *Continuous Miner* vidljiva je na sl. 6-16.



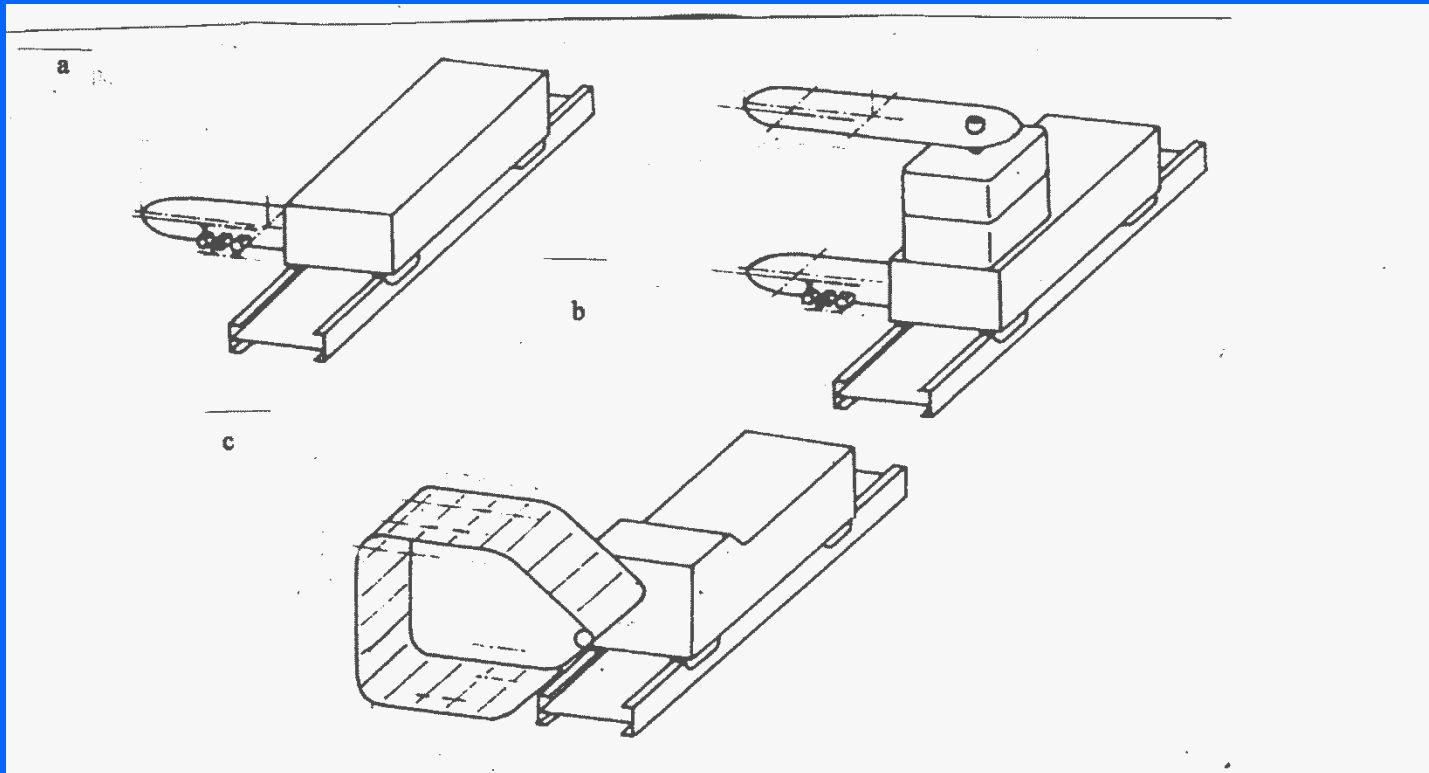
Slika 6.21 Otkopavanje komore strojem u horizontalnim (a) i vertikalnim(b) rezovima
(Stroj tipa *Continuous Miner*)

6.1.8. Otkopni strojevi za rezanje ugljena- Podsječačice (sječačice)

Tehnološke faze pri podsijecanju su:

- podsijecanje
- bušenje i miniranje
- utovar i transport
- podgrađivanje
- upravljanje krovinom.

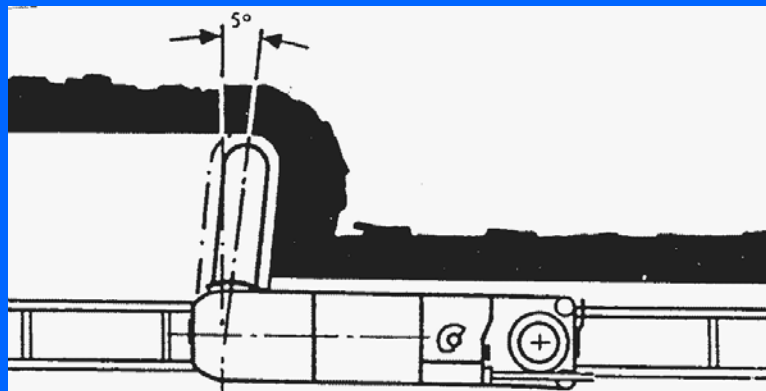
OTKOPNI STROJEVI ZA REZANJE UGLJENA- PODSJEKAČICE (SJEKAČICE)



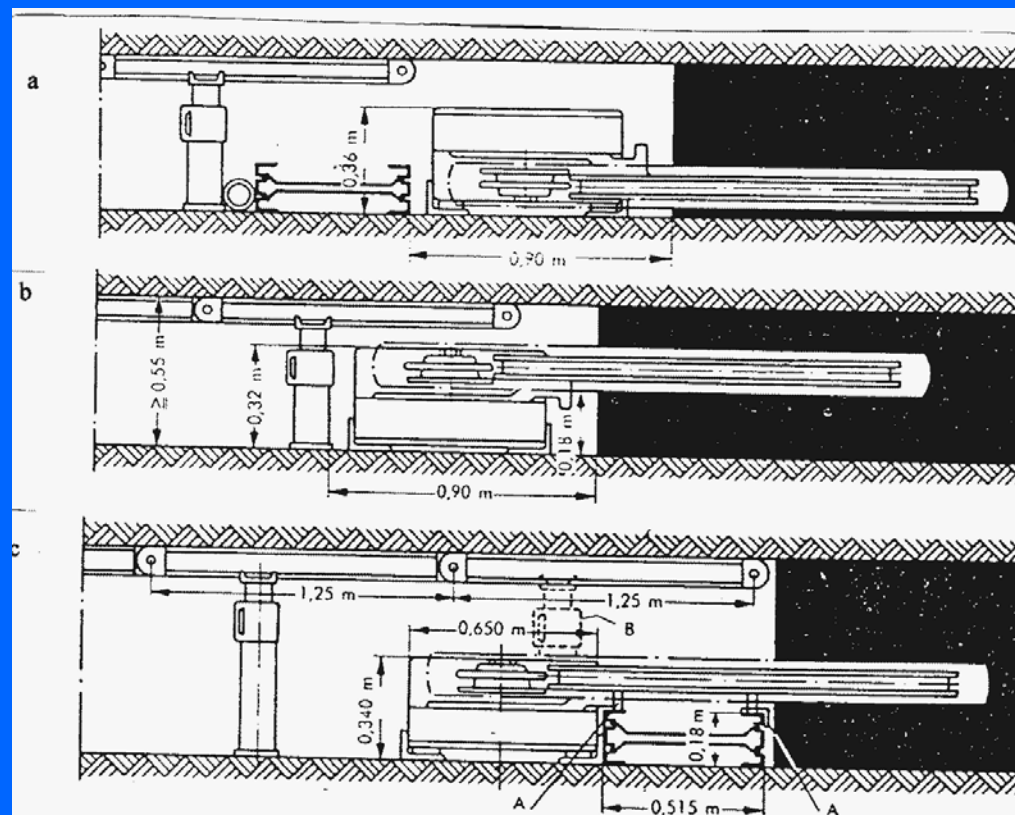
Slika 6.22 Oblici mehanizma za rezanje

a - ravni jednostruki b - ravni višestruki c - zakrivljeni-zatvoreni

6.1.8. Otkopni strojevi za rezanje ugljena-podsječačice



Slika 6.23 Poprečni položaj podsječačice na otkopu



A - otkopni transporter B - stojka

Slika 6.24 Položaj podsječačice na otkopu

6.1.9. Kapacitet otkopnih strojeva

Teorijski kapacitet (Q_t) je otkopana masa u jedinici vremena koja bi se dobila neprestanim radom bez utjecaja radne sredine

Tehnički kapacitet (Q_{th}) je maksimalno moguća proizvodnja u stvarnim radnim uvjetima otkopa

Otkopni kapacitet (Q_{ot}) je maksimalno moguća proizvodnja u stvarnim radnim uvjetima otkopa i mogućnostima stroja

Eksploatacijski kapacitet (Q_{eks}) je otkopana masa u jedinici vremena, uzimajući u obzir zastoje zbog nepodudaranja tehnoloških faza (transport, podgrađivanje, upravljanje krovinom).

6.2. UTOVAR I TRANSPORT MINERALNE SIROVINE I JALOVINE

UTOVAR

- ručni utovar (u vagonete, na transportne trake, na grabuljaste transportere)
- gravitacijski utovar (iz sipke u/na transportno sredstvo)
- strojni utovar
 - a) strojevi s kontinuiranim radom: utovar s polugama, utovar s bubnjem, pužni dodavač, grabuljari;
 - b) strojevi s diskontinuiranim radom: skreperi, utovarivači na dizel, električni i/ili pogon na komprimirani zrak

TRANSPORT

- Kontinuirani transport: grabuljasti transporteri, trakasti (gumeni) transporteri
- Diskontinuirani transport: gravitacijski transport sipkama, utovarivači sa ili bez koša (sanduka), kamioni, lokomotiva s vagonetima, vitlo s vagonetom, izvozno postrojenje sa skipom-vagonetom (vertikalnim i kosim oknima)

6.3. OSIGURAVANJE PODZEMNIH PROSTORIJA I OTKOPA

- Primarna i sekundarna naprezanja (jamski tlakovi)
- Postupanje s otkopanim podzemnim prostorom (osiguravanje podzemnih prostorija mjerama tehničke zaštite)

6.3.1. Primarna i sekundarna naprezanja (jamski tlakovi)

Primarna naprezanja: naprezanja u stijeni (prirodnom stanju) prije izvođenja rudarskih radova.

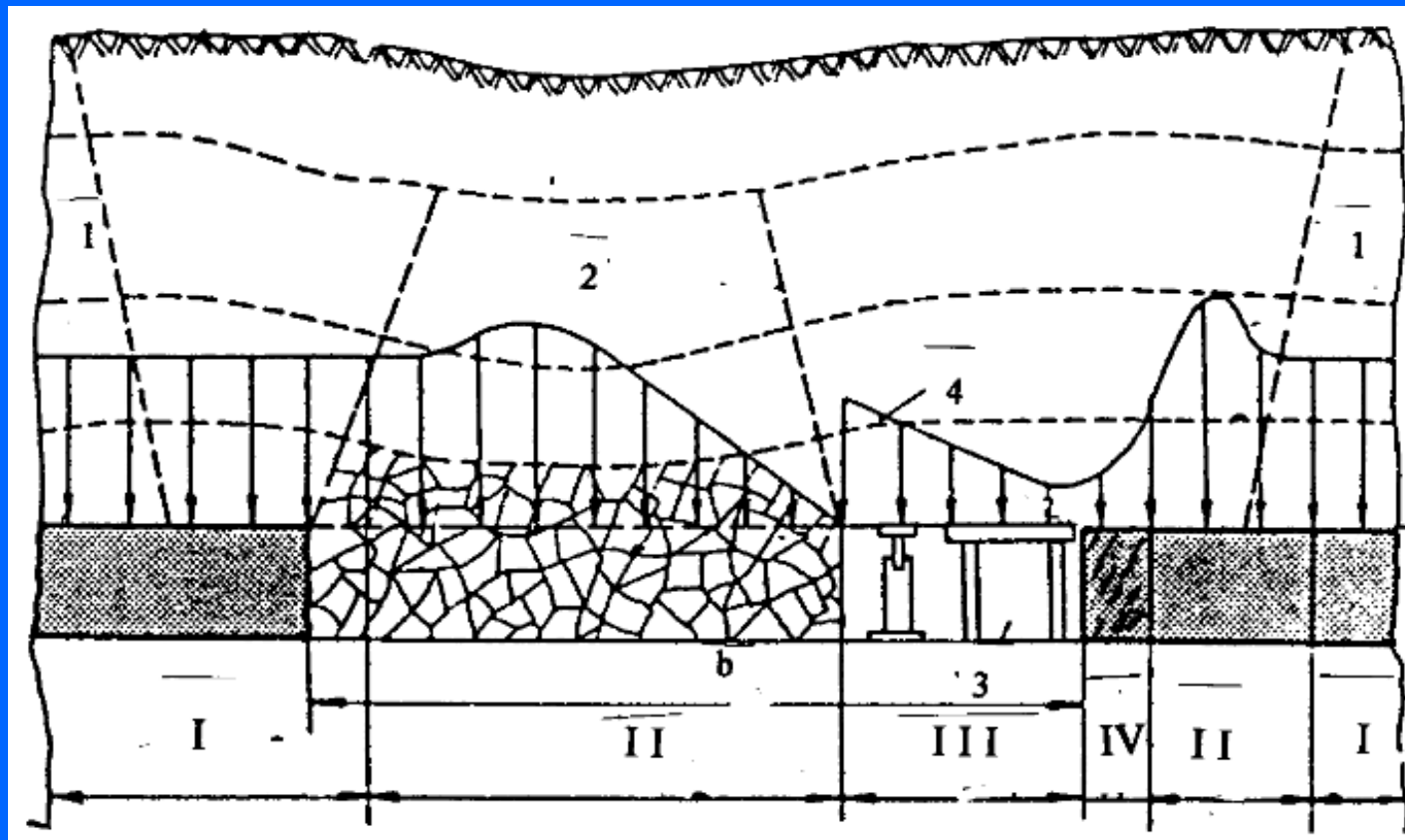
- Tlačna naprezanja (uključujući vertikalna i horizontalna ili bočna naprezanja)
- Porni tlak

Sekundarna naprezanja: naprezanja u stijeni i po obodu prostorije nakon izvođenja rudarskih radova.

- Tlačna naprezanja (horizontalna i vertikalna naprezanja): iznad stropa i u stupovima, u svim smjerovima
- Vlačna naprezanja: po obodu prostorije i stupova, okomito na smjer tlačnih naprezanja
- Posmična naprezanja: po obodu prostorije i stupova, u smjeru djelovanja tlačnih naprezanja
- Porni tlak (bujanje gline), po obodu pora, u svim smjerovima

6.3.1.1. Teorija svoda

Osloni jamski tlak: stanje ravnoteže koje nastupa kada se vertikalni tlak pri zarušavanju preraspodjeli na bokove prostorije (teorija svoda).

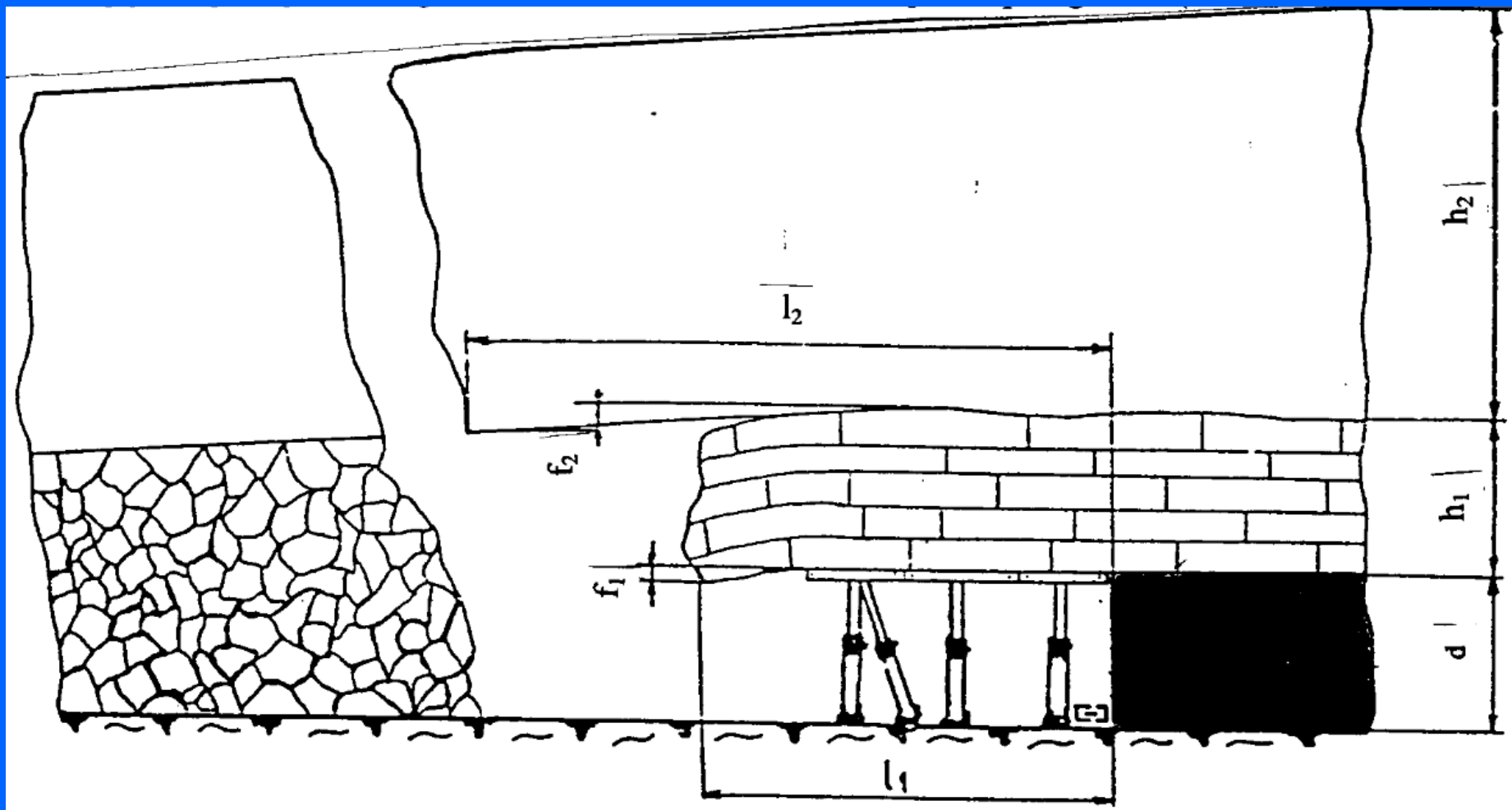


1 - neporemećeni masiv 2 - zona zarušavanja 3 - otkop 4 - dijagram tlaka

*b - širina otkopa I - zona primarnog tlaka u masivu (neporemećena zona)
II - zona oslonog tlaka III - zona smanjenog tlaka u blizini čela otkopa
iza otkopa i ispred otkopa IV - zona zdrobljenog ugljena ispred čela*

Slika 6.25 Zone različitog tlaka na otkopu

6.3.1.2. Teorija grede



Slika 6.26 Otkopni tlakovi prema teoriji grede

6.3.1.3. Teorija ploče

Ploča se iznad otkopa savija u obliku tanjura.

Sama periferija ploče, odnosno kutovi ploče, izvijaju se na suprotnu stranu.

Tlak se koncentrira na osloncima ploče i manifestira se kod otkopa na čelima i bokovima - pristupnim prostorijama.

Kod ploča kružnog oblika tlak je ravnomjieran na rubovima.

Kod ploča četvrtastog oblika najveći tlak je u sredini, a prema krajevima se smanjuje, te kod tvrdih ploča dobiva suprotni predznak.

Kod otkopa kvadratnog oblika tlak na svim stranama razvija se po krivulji sličnoj sinusoidi.

Mjere za snižavanje tlaka u blizini otkopa mogu se svesti na slijedeće:

- zapunjavanje otkopanog prostora čvrstim, nosivim, nepopustljivim zasipom ravnomjerne gustoće i rasporeda
- što manji razmak čela i starog rada
- povećanje brzine napredovanja otkopa
- sniženje visine otkopnog pojasa
- zarušavanje starog otkopa prije započinjanja novog
- izbjegavanje ostavljanja zaštitnih stupova u starom radu.

6.3.1.4. Kritična naprežanja

Kritična naprežanja: naprežanja koja su izjednačena s čvrstoćom stijena (tlačna čvrstoća stijene u suhom, vodom zasićenom i zaleđenom stanju; vlačna čvrstoća, posmična čvrstoća, čvrstoća na savijanje).

6.3.1.5. Gorski udar

Gorski udar: naglo oslobađanje nagomilane (akumulirane) energije (naprezanja) u stropu i u bokovima zaštitnih stupova i rezultira nekontroliranim zarušavanjem stijena u otvorenim podzemnim prostorima, s intenzivnim zvučnim efektom.

Elastične deformacije prelaze u plastične.

Gorski udari su specifična manifestacija jamskih tlakova koji se javljaju uslijed niza geoloških i rudarsko-tehničkih uzroka:

- povećane dubine eksploatacije
- veće debljine i površine otvorene krovine, sastavljene od kompaktnih stijena , uslijed čega se na ugljeni sloj i stupove prenose veći osloni tlakovi
- veće otpornosti i elastičnih svojstava ugljenog sloja
- ostavljanja zaštitnih stupova u kojima se koncentrira naprezanje.

Osnovne preventivne mjere za sprječavanje pojave gorskih udara su:

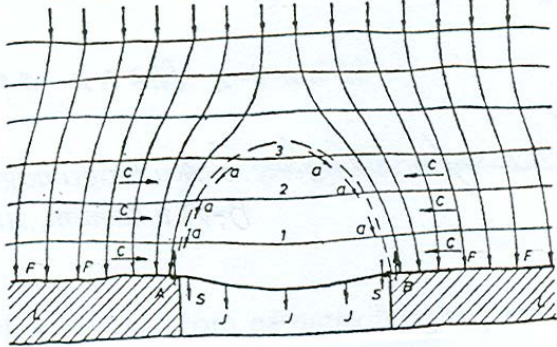
- izbjegavanje ostavljanja stupova u starom radu
- otkopavanje prvo viših slojeva u ležištima s više slojeva
- zapunjavanje otkopanih prostora pokazalo se učinkovito, poglavito u tankim slojevima
- podziđivanje otkopa jalovinom dobivenom na otkopu
- usporavanje brzine napredovanja otkopne fronte, čime se otvara mogućnost uravnoteženja tlaka
- otkopavanje tankog sloja u krovini glavnog sloja, čime se smanjuju tlakovi
- ograničavanje velikih slobodnih površina krovine i njihovo pravovremeno zarušavanje
- izbjegavanje lociranja jamskih prostorija u zonama oslonog tlaka.

6.3.2. Postupanje s otkopanim podzemnim prostorom

Osiguravanje podzemnih prostorija provodi se određenim mjerama tehničke zaštite:

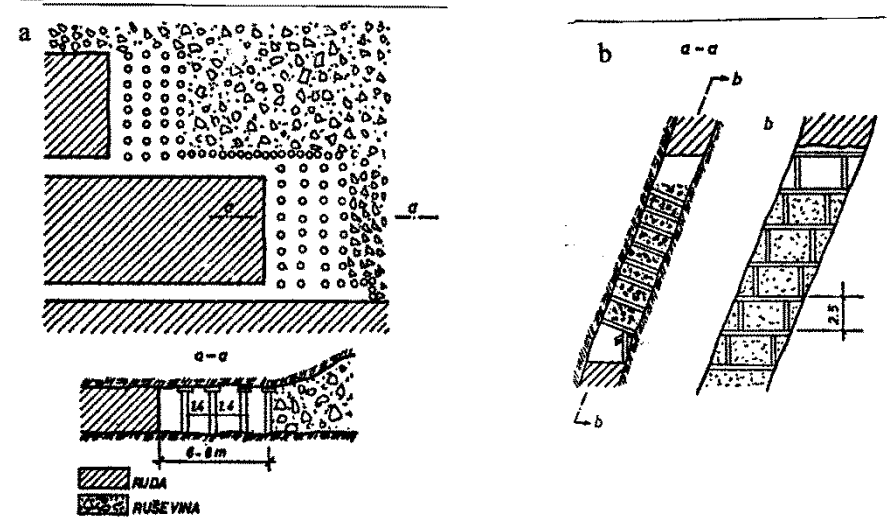
- Podgrađivanjem podzemnih prostorija (svodova)
- Zasipanjem-zapunjavanjem otkopanog prostora inertnim materijalom (jalovinom)
- Zarušavanjem krovine otkopanog prostora (stanje ravnoteže-osloni tlakovi)

6.3.2.1. Podgrađivanje podzemnih prostorija (svodova)



*J - sile na savijanje
S - sile na smicanje
1,2,3 - krovinske stijene*

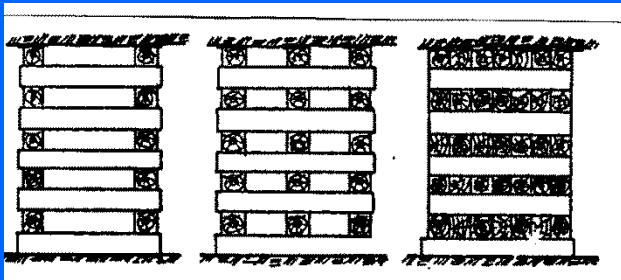
*F - sile vertikalnog tlaka
C - sile bočnog tlaka
L - mineralna sirovina*



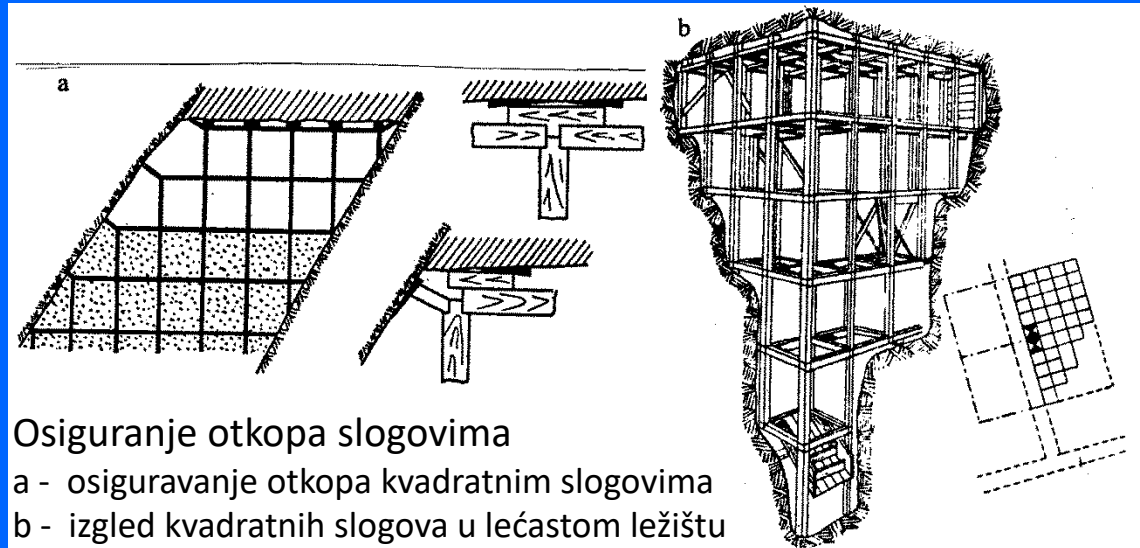
a - u blago nagnutim ležištima, b - u strmim, žilnim ležištima.

Raspored sila iznad prostorije većeg raspona

Schema drvene podgrade i frikcionih stupaca



Oblici osiguranja (podgrade) s unakrsno složenim gredama.

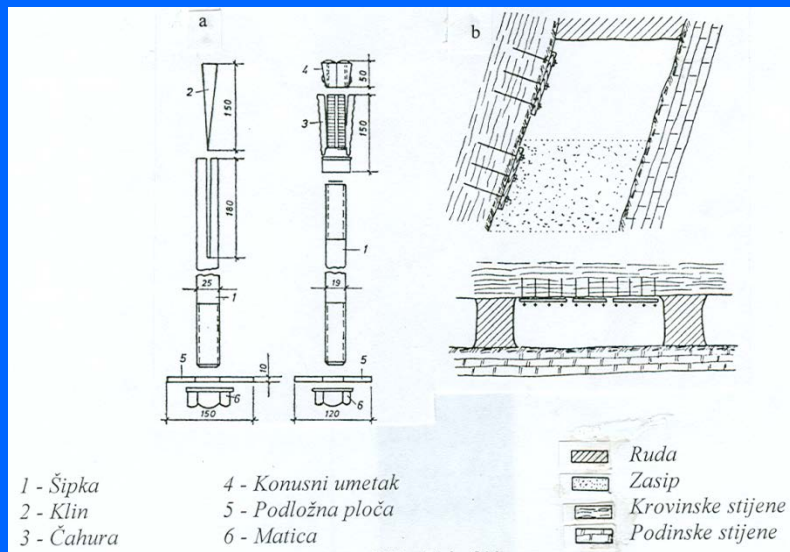


Osiguranje otkopa slogovima

a - osiguravanje otkopa kvadratnim slogovima

b - izgled kvadratnih slogova u lećastom ležištu

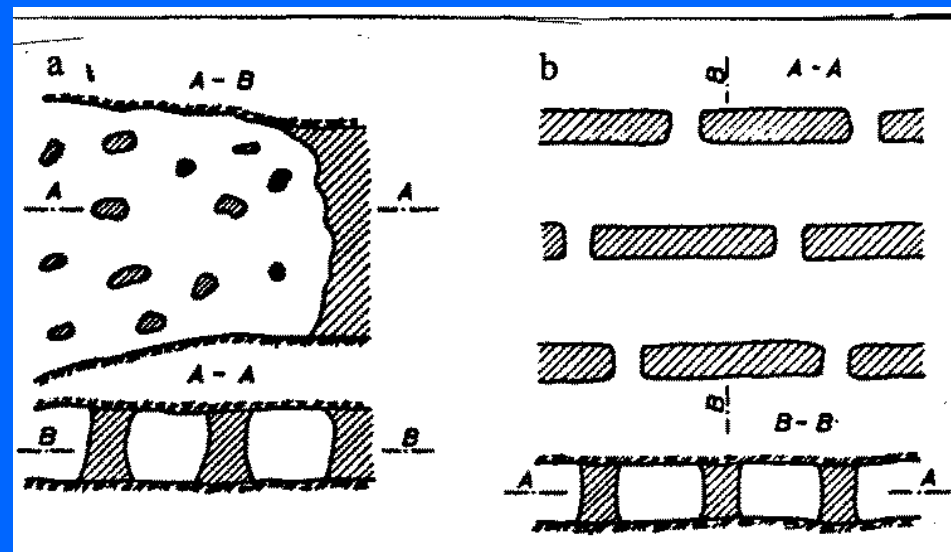
Slika 6.27



Osiguranje otkopa sidrima

a - oblici sidra

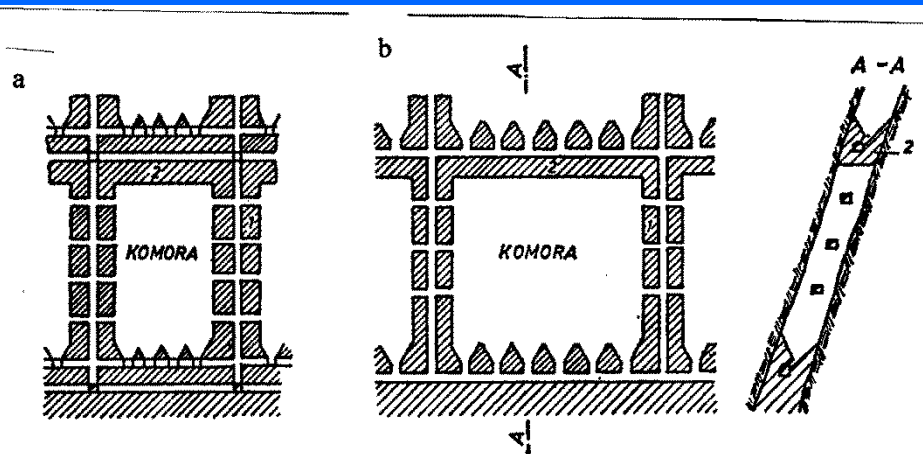
b - osiguranje otkopa



Slika Osiguravanje otkopa sigurnosnim stupovima

a - nesustavno raspoređenim stupovima

b - raspored stupova u trakastom obliku



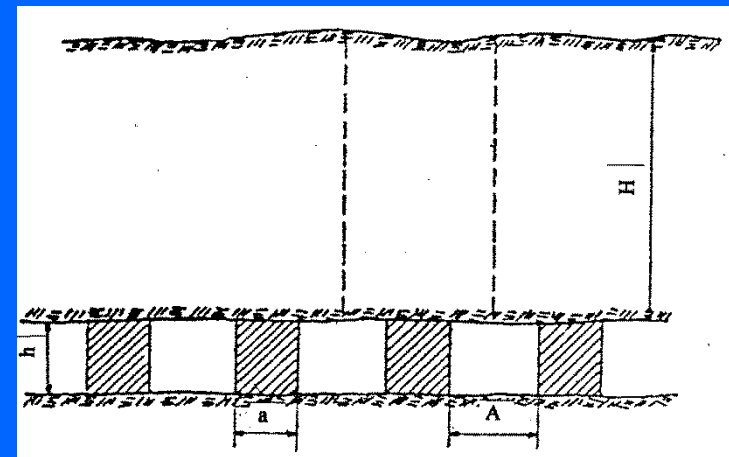
1 - Međukomorni zaštitni stupovi 2 - Međuhor-sigurnosne ploče

a - između komora

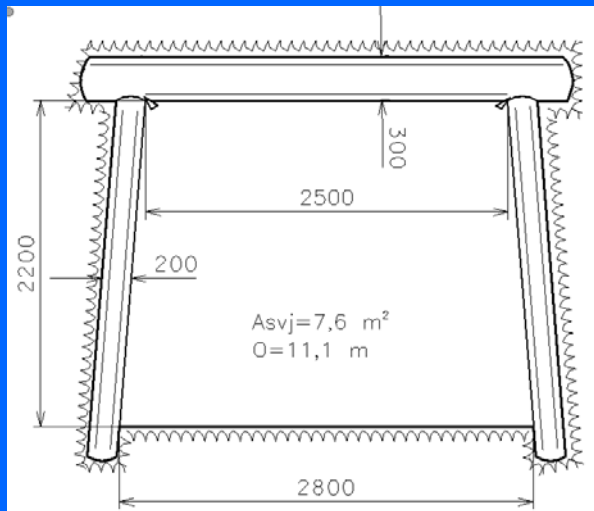
b - između horizontalata

Sigurnosni stupovi i ploče u strmim ležištima

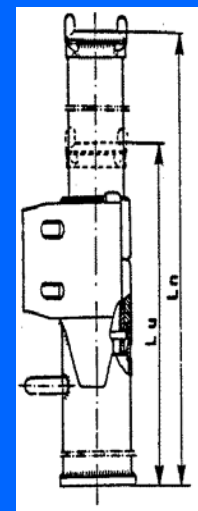
Slika 6.28



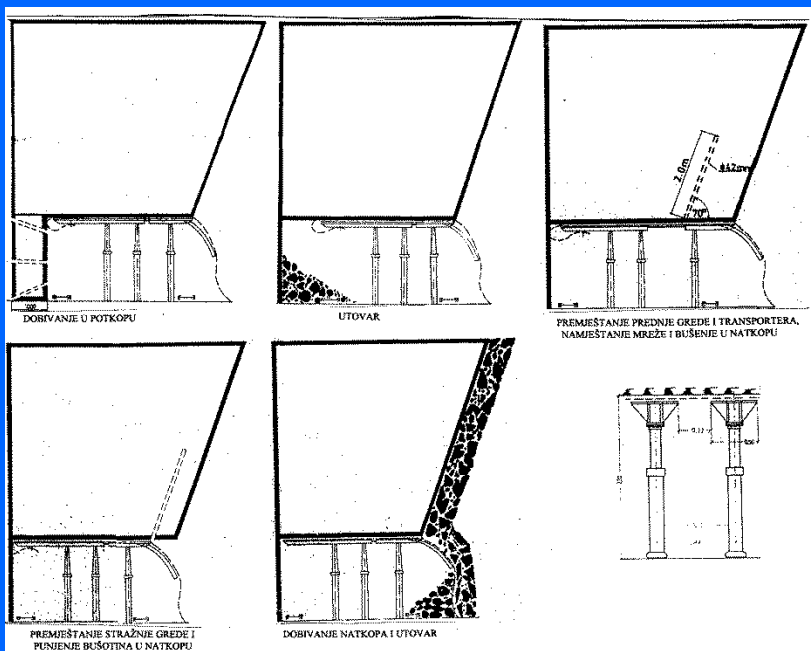
Shematski prikaz opterećenja stupova



Osiguranje otkopa drvenom podgradom



Osiguranje otkopa frikcijskim stupcima

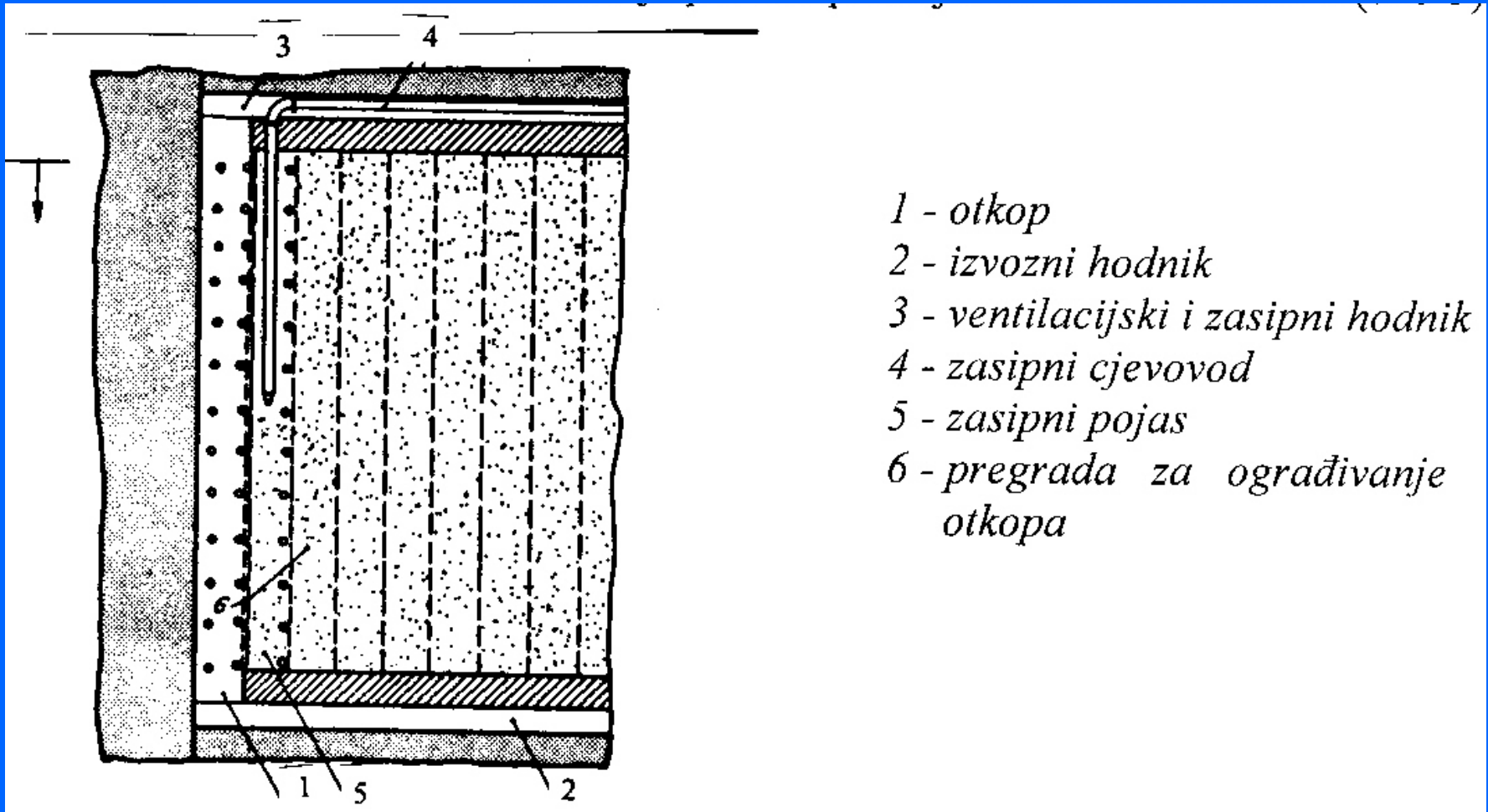


Osiguranje otkopa klasičnom hidrauličkom (Salzinger) podgradom



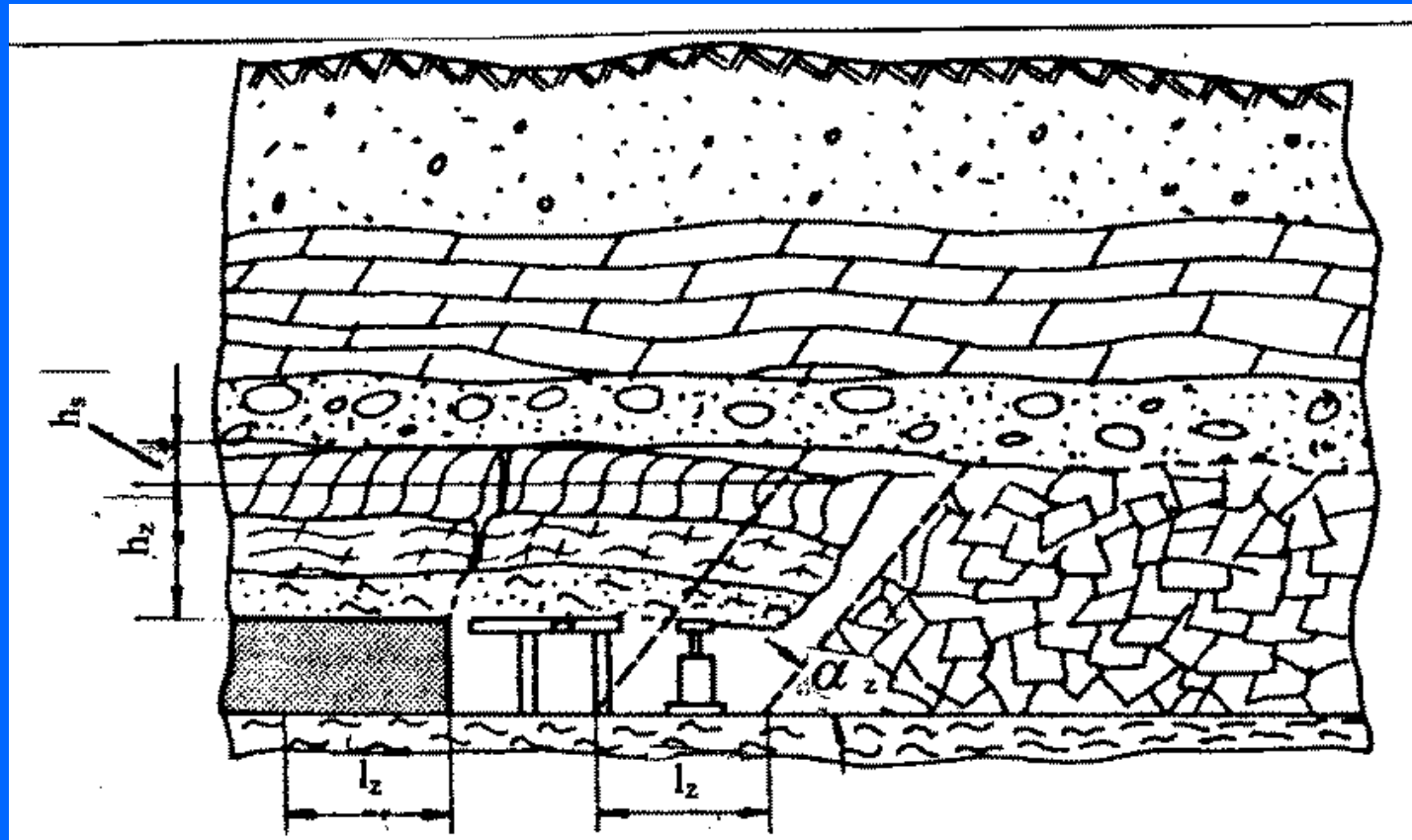
Osiguranje otkopa kompleksnom hidrauličnom podgradom

6.3.2.2. Zasipanje-zapunjavanje otkopanog prostora inertnim materijalom (jalovinom)



Shema potpunog zasipa otkopa

6.3.2.3. Stabilizacija otkopanog prostora zarušavanjem krovine (stanje ravnoteže-osloni tlakovi)



h_z -visina savijanja
 h_s -visina zarušavanja
 L_z – korak zarušavanja
 α_z – kut zarušavanja

Schema osnovnih parametara zarušavanja krovine

Slika 6.31

6.4. PROVJETRAVANJE I ODVODNJA PODZEMNIH PROSTORIJA I OTKOPA

6.4.1. Provjetravanje podzemnih prostorija i otkopa

Prema vrsti-načinu stvaranja depresije:

- Prirodno provjetavanje (razlika tlakova $=p_1-p_2$, Pa)
- Umjetno (prisilno) provjetavanje (vjetreno postrojenje)

Prema načinu rada ventilatora:

- Kompresijsko provjetavanje (upuhivanje svježeg zraka)
- Depresijsko provjetavanje (usisavanje onečišćenog zraka)

Prema protoku zraka:

- protočno provjetavanje (ulaz zraka na jedan a izlaz na drugi otvor jame)
- separarno provjetavanje (jedan ulaz i izlaz separatne prostorije)

6.4.2. Odvodnja podzemnih prostorija i otkopa

Nagib hodnika (odvodnog kanala) s padom prema glavnim prostorijama izvoza, od 0,2 do 0,4%.

Prikupljanje ocijeđene vode, u dubinskim rudnicima ispod razine okolnog terena, na najnižem mjestu glavne izvozne prostorije, u vodosabirnicima.

Vodosabirnici moraju biti dimenzionirani tako da se može prihvatiti najveća očekivana količina vode koja se može javiti u određenom vremenu (24 sata).

Vodosabirnici moraju biti opremljeni potopnim crpkama koje mogu izbaciti najveću količinu očekivane vode u kraćem roku od vremena punjenja vodosabirnika.