

(1) PRIMENA MEHANIKE STENA U PROJEKTOVANJU I GRAĐENJU PODZEMNIH OBJEKATA

Mehaničko ponašanje stenskih masa je veoma složeno.

Opisivanje mehaničkog ponašanja stenskih masa još uvek se u velikoj meri zasniva na teorijskim postavkama formulisanim za vestački materijal.

Međutim stena je izložena prirodnim uticajima; mehanički, termalni, hemijski.

Komad kompaktnog kamena (stenski monolit) - sam po sebi nehomogen i anizotropan, i što je najvažnije sadrži u sebi mikrooštećenja (povezane pore između zrnaca stene, razlovene župljine, mikrofisure).

Najvažnija razlika između vestačkog materijala i prirodne stene, je to što prirodna stena sadrži makrooštećenja = pukotine (fracture), i prsline (fisure), razni slojevitosti, rasedi).

- MAKROOŠTEĆENJA = DISKONTINUITETI

- STENSKI MONOLIT I DISKONTINUITETI ZAJEDNO ODREĐUJU SVOJSTVA SVEUKUPNE STENSKE MASE.

- DISKONTINUITETI DOMINANTNO UTICU NA MEHANIČKO PONAŠANJE STENSKE MASE, SMANJUJU KRUTOST I ČVRSTOĆU, I ODREĐUJU NELINEARNOST NAPONSKO-DEFORMACIONSKOG PONAŠANJE.

- Od površinskih objekata, sa stanovišta mehanike stena, najveći izazov predstavljaju visoke brane, naročito luvne (velika naprezanja u temeljima i oporcima usled dejstva vode i pritisk vode na stensku masu).

- Projektovanje kosina iskopa, za puteve, žel. pruge, kanale i cevovode zahteva ispitivanje i analizu naponsko-deformacijskog ponašanja stenske mase.

- Rudnici sa površinskom eksploatacijom \Rightarrow obimne studije da bi se odabrao ugao pod kojim će stajati stenska masa u površinskom kopu (ne mogu priustiti visoke faktore sigurnosti?).

- Rudnici sa podzemnom eksploatacijom \Rightarrow

1. jame džiho u otvorenom stanju \Rightarrow temeljno ispitivanje stenske mase.

2. jame dopustiti da se stena obnavlja \Rightarrow prognoziiranje deformisanja stenske mase.

- Izrada podzemnih prostora različit namene (tuneli, podzemne hidroelektrane, podzemne dvorane za čuvanje nafte i gasa, vojne podzemne prostorije...) zahteva poredano poznavanje naponsko-deformacijskog ponašanja stenske mase.

17. INFORMACIJE O STENSKOJ PLOČI I OSELOVU INŽENJERSKO-GEOLOŠKOG KARTIRANJA

* KARTIRANJE STENSKIH IZDANAKA:

Publikom kartiranja sledeće karakteristike treba da se zabeleže:

- vrste i granice stenskih formacija
- stanje stena (raspadnutost)
- prostorni položaj diskontinuiteta (azimut i padni ugao)
- ispunjena i obloga diskontinuiteta
- širina otvora ispunjenih i otvorenih diskontinuiteta
- lokacije gde procure voda
- pozicija i dužina izdanaka diskontinuiteta na površini terena
tj. preseka diskontinuiteta sa tačkom istraživanja
- pozicija i oblik vidljivih diskontinuiteta koji se podudaraju sa licem stenske mase u tački istraživanja

* KARTIRANJE ISTRAŽNIH BUŠOTINA:

Kada se jezgra stave u kutije za skladištenje, treba odmah da se fotografisaju. Kartiranje jezgra trebalo bi da se obavi na licu mesta.

Stepen razdvajanja jezgri se opisuje razvojem dužine razčića jezgra (5cm i ukupnog zbir dužina razčića jezgra u odnosu na ukupnu dužinu jezgra u procentima. Granica do koje se razčići jezgra unose je subjektivna. Jezgro mora biti orijentisano da bi bilo moguće otkriti orijentaciju diskontinuiteta koji preseca jezgro.

Jezgrovanje dozvoljava donošenje zaključaka u vezi sa kartiranim karakteristikama diskontinuiteta koji se opseg uadi.

* KARTIRANJE ISTRAŽNIH POTKOPA I OKANA:

Suprotno od jezgra bušotina, pruža podatke o prostiranju diskontinuiteta. Bi se dobilo što više informacija, bočni zidovi, krov i pod (gdje je moguće, potkopa, kartiraju se tokom probijanja. Korisno je i dnevno kartiranje površine (cena) na kojoj se trenutno radi.

2. DOMINANTNA SVOJSTVA STENA

U mikroskopskim razmerama, stena može da se sastoji od zrnaca različitih materijala koja imaju različita fizička svojstva.

DISKONTINUALNOST, HETEROGENOST, ANIZOTROPIJA I PRIRODNA NAPREŽENOST predstavljaju ~~osnovna fizičko-strukturna svojstva~~ stenskih masa.

Anizotropija je uobičajena pojava u mnogim stenama zato što zrnca minerala imaju neku ^{svu} ~~određenu~~ ^{preferiranu} orijentaciju, zbog napona koji su delovali u prošlosti.

Slojevitost i folijacija dovode do toga da su stene visoko anizotropne u pogledu deformabilnosti, čvrstoće i drugih oblika (sedimentne, metamorfne).

Diskontinuitet → pukotine → pukotinski sistemi izazivaju anizotropiju i nelinearnost meh. svojstava.

Samo jedna pukotina → njeni efekat će biti → zatezna čvrstoća u pravcu upravnom na ravan pukotine biće svedena gotovo na nulu, a čvrstoća na smicanje u pravcu paralelnom sa ravnju pukotine biće značajno smanjena.

Svake ispucala i prirodno napregnuta stenska masa biće anizotropna, zato što na njene karakteristike utiče stanje napona. (Zavisno da li su pukotine zatvorene ili otvorene, smanjene).

3. DISKONTINUALNOST = OSNOVNO STRUKTURNO SVOJSTVO STENSKIH MASA

Diskontinuitet → svaki mehanički prekid u stenskoj masi gde je ona razdvojena tako da je zatezna čvrstoća na tom mestu jednaka nuli ili veoma mala.

Diskontinualnost (ispucalost) bitno utiče na mehaničko ponašanje st. masa.

Pukotine, u stvari, predstavljaju lomove u stenskoj masi duž kojih je došlo do potpunog rasida međumolekularnih sila i do potpunog gubitka kohezije kada su naponi preko granice čvrstoće njene osnovne kamene supstance.

Lomovi koji predstavljaju površine duž kojih je došlo do potpunog gubitka kohezije, ali ograničenih dužina, koje se ne protežu kroz celo posmatrano područje, veće se ^{zabijavaju} ~~zabijavaju~~ u osnovnoj kamenoj supstanci, nazivaju prsline.

Ispucalost stenskih masa je vezano za njihovu geološku prošlost.

Geološki uzroci pojave pukotina su: tektonske sile, Δt → promena zapremine, gravitacione sile, dejstvo erozije...

Pukotine u stenskoj masi nisu haotično raspoređene, već u njihovom prostornom rasporedu postoji po pravilu odreden red.

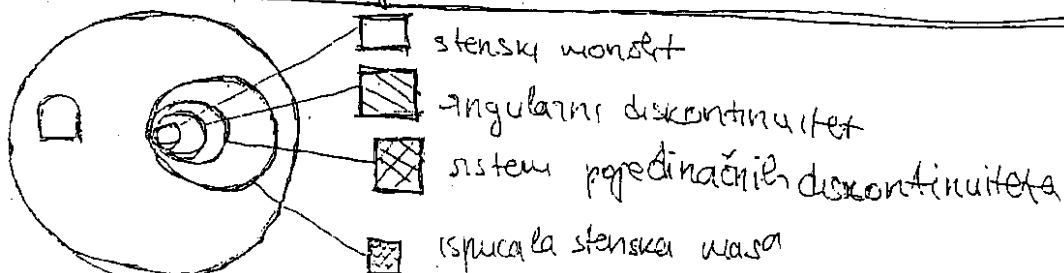
Familije pukotina = skupovi pukotina približno iste prostorne orijentacije i najčešće iste geneze.

Stenski monolit = predstavlja kamenu supstancu odvojenu sa svih strana pukotinama i može se izdvojiti iz stenske mase kao komad kamena.

4. UTICAJ DISKONTINUITETA NA MEHANIČKO PONAŠANJE STENSKE MASE

- **Diskontinuitet** → svaki mehanički prekid u stenskoj masi gde je ona razdvojena tako da je zatezna čvrstoća na tom mestu jednaka nuli ili veoma mala.
- **Diskontinuitet** → pukotine → pukotinski sistemi izazivaju anizotropiju i nelinearnost mehaničkih svojstava.
- **Diskontinuitet** bitno utiču na mehaničko ponašanje stenske mase smanjuju krutost i čvrstoću, i određuju nelinearnost naponsko-deformacijsko ponašanje.
- Eksperimenti su pokazali da mehanicke karakteristike određene na stenskom monolitu opadaju (postaju sve slabije) ukoliko raste veličina monolita koji se ispituje.
- Ukoliko je stenska masa izdelfena velikim brojem pukotinskih familija sa pukotinama na manjim međusobnim razdaljinama i sa lošijim svojstvima same pukotina, utoliko su mehanicka svojstva stenske mase u odnosu na stenski monolit slabija. ⇒ **EFEKAT RAZMERE** (uticaj diskontinuiteta na mehaničko ponašanje stene).
- **Velčina i broj oštećenja** ne raste kontinualno sa povećanjem posmatranog područja.

Zakonitost ⇒ ukoliko je veće posmatrano područje, utoliko na mehanicka svojstva utice više kinematičkih mehanizama, počev od pomeranja kristalne rešetke do pomeranja na razdaljama.



5. GENEZA I PARAMETRI OPISIVANJA PUKOTINA

- Utvrđivanje geneze pojedinih pukotina ili njihovih skupova ⇒
 1. geneza po pravilu predodređuje mnoge karakteristike pukotina (klimenzye, oblik zidova, ispunje i dr.) ⇒ predodređuje mehaničko ponašanje pojedinih pukotinskih familija ili sistema pri deformisanju i lomni stenske mase
- 2. genetska razvrstavanja omogućavaju primenu dobijenih podataka u istraživanju razvoja, na područja koja nisu bila dostupna za direktno istraživanje.
- Klasifikacija pukotina (diskontinuiteta) prema Kyundžiću (~~prema~~ genetska klasifikacija) ⇒
 - ✓ **DIJAKLAZE** - pukotine tektonskog porijekla; krti lom (bez procesa deformacije); žratno rapave i bez tragova trenja
 - ✓ **PUKOTINE SMICANJA** - često se javljaju u prirodi; krti lom; tragovi trenja; ravne i zakrivljene površine
 - **PUKOTINE KLIZANJA** - često se javljaju u prirodi; uočljive su brazde (struge) koje nastaju odmah pri nastojanju pukotina; nastaju sporim procesom deformacije bez promjene zapremine i bez potpunog gubitka kohezije
 - ✓ **MEĐUSLOJNE PUKOTINE** - mehanički diskontinuiteti u sedimentnim stenskim masama do kojih dolazi usled relativno niže otpornosti u međuslojnim površinama (posledica sleganja usled sušenja i pomicanja usled tektonskih procesa); odlikuju se velikim dužinama.
 - ✓ **CEPLJIVOST** - potencijalna isplucalost; ispoljava se u smanjenoj otpornosti na razderanje ili smicanje u pravcu jedne ili više ravni (sedimentne stene - mesta promene vrste materijala ili prekida procesa istalozavanja)
 - ✓ **PUKOTINE LUCENJA** - nastaju u magmatičkim stencima kao posledica hlađenja i grupisanja mineralnih sastojaka.
 - ✓ **PUKOTINE RASTERECENJA** - nastaju usjecanjem vodnog toka u stensku masu, kada dolazi u bokovima doline do relaksacije napona, i stvaranja pukotina paralelnih sa pravcem vodotoka.
 - ✓ **RASEDI** - veliki mehanički diskontinuiteti, kod kojih su ^{se} obe strane relativno kretale klizanjem, jedna u odnosu na drugu. Rasedne površine su često uglačane trenjem rasednih blokova i po njima se vide struge, koje pokazuju pravce različitih kretanja. Ktla raseda mogu biti priljubljena, razmaknuta ili u vidu smrvljenih zona. SMRVljENE ZONE se odlikuju velikim brojem lomova.
 - ✓ **VEŠTAČKE (ANTROPOGENE) PUKOTINE** - delo čoveka (eksplozije...)

PARAMETRI OPISIVANJA PUKOTINA \Rightarrow

(1.) PROSTORNA ORIJENTACIJA \Rightarrow

kumulativni, izvedeni pokazatelji \Rightarrow

(2.) RAZNAKovitOST

(8.) KOEF. ISPUCAOSTI

(3.) PROSTIRANJE

(9.) PUKOTINSKA POROZnost

(4.) VELICINA ZEVA

(10.) KOEF. OŠTEĐENOSTI

(5.) MORFOLOGIJA

(6.) EVRSTOĆA ZIDOVA

(7.) PUKOTINSKE ISPUKE

1.) PROSTORNA ORIJENTACIJA \Rightarrow AZIMUT I PADNI UGAO

AZIMUT = je ugao koji horizontalna projekcija padnog pravca (orijentacija na mze) zaklapa sa severom ($0^\circ \div 360^\circ$)

PADNI UGAO = je ugao koji padni pravac zaklapa sa horizontalnom ravni ($0^\circ \div 90^\circ$)

2.) RAZNAKovitOST \Rightarrow

RAZNAKovitOST = upravo razstavljanje između dva susjedna diskontinuiteta (obično se iskazuje kao prosečna raznakovitost u okviru jedne familije)

$$\frac{1}{\text{RAZNAKovitOST}} = \text{učestalost diskontinuiteta}$$

3.) PROSTIRANJE \Rightarrow meri se dužinom (meri se po pravcu pružanja), širinom (meri se po padnom pravcu)

Granice površine jednog diskontinuiteta su ili čvrsta stena ili neki drugi diskontinuitet.

Načrte je meri rasprostranjenost - dužina traga jednog diskontinuiteta koja se vidi na nekoj stenskoj površini koja je izložena pogledu.

4.) VELICINA ZEVA = međusobno razstavljanje zidova pukotine.

Velicina zeva uglavnom zavisi od načina nastanka pukotine.

5.) MORFOLOGIJA = RAVNOST I OBLIK ZIDOVA PUKOTINE - odstupanje od srednje ravni diskontinuiteta

RAVNOST \Rightarrow pukotine sa glatkim površinama; nejednake površinama i neravnošću

OBLIK ZIDOVA \Rightarrow pukotine sa ravnim površinama, sa krivim površinama i sa izbočenim površinama

6.) ČVRSTOTA ZIDOVA pukotina je pritisna čvrstota dva susedna stenska zida u jednom istom diskontinuitetu.

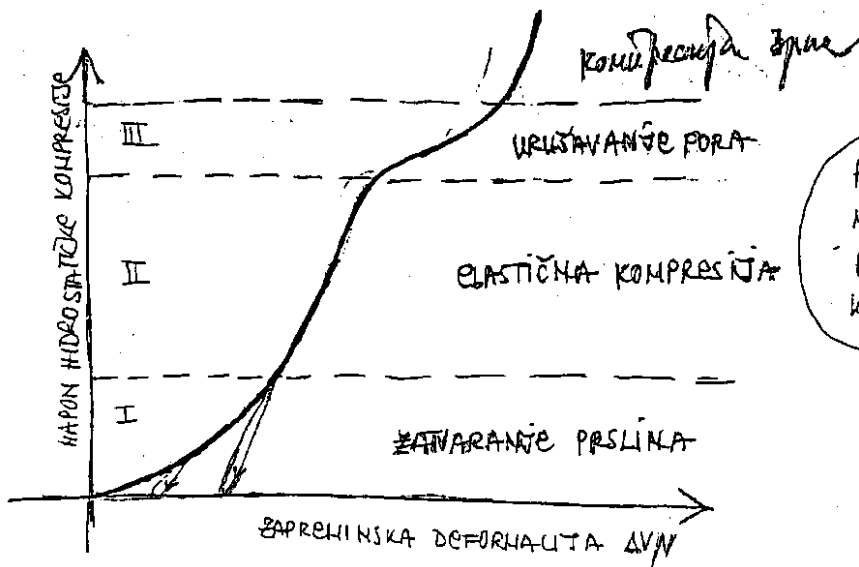
Ta čvrstota može biti manja od čvrstote stenskog monolita, zbog frakci-hemijskih promena kamena, mehanickih defstava pri njenom nastanku.

7.) PUKOTINSKE ISPUNE - su materijali kojima je pukotina potpuno ili delimično ispunjena i kojima su zidovi pukotina potpuno ili delimično obloženi.

- pukotine bez ispunje = otvorene
- pukotine sa tlošnom ispunjom
- pukotine sa glinenom ispunjom
- pukotine sa kristalizacionom ispunjom - zalećene

- poreklo materijala u pukotinama => donet podzemnom vodom; suvljen materijal stene nastao pri formiranju pukotine; materijal nastao kao iskristalisan iz rastvora u podzemnoj vodi

6. NAPONSKO-DEFORMACIONSKO PONAŠANJE STENSKOG MONOLITA PRI HIDROSTATIČKOJ KOMPRESIJI



PONAŠANJE STENSKOG MONOLITA PRI HIDROSTATIČKOJ KOMPRESIJI

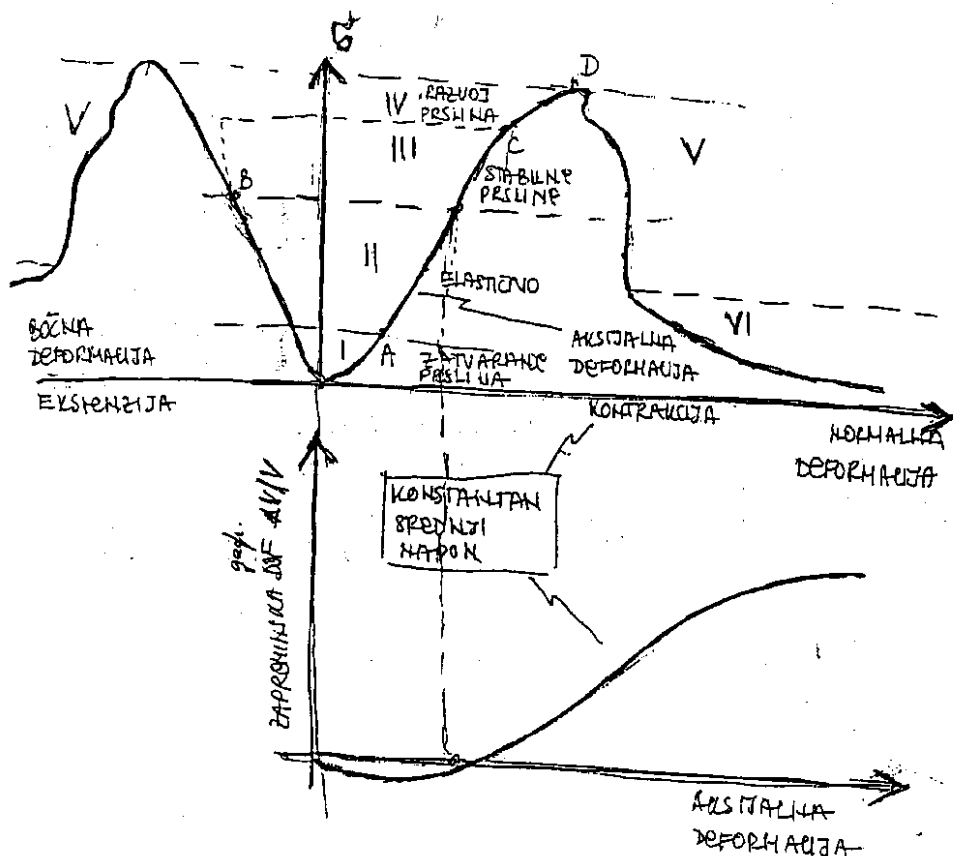
HIDROSTATIČKA KOMPRESIJA DOVODI DO SMATANJA ZAPREMINA, A POSLE NEKE GRANICE MENJA SE, TRAJNO, UNUTRAŠNJA STRUKTURA STENE, I TO ZATO ŠTO PORE BIVAJU ZATVARENE. Međutim time se ne postaje višnje opterećenje jer stena može uvek da prihvati još veće i veće opterećenje.

I zatvaranje prslina => kada se opterećenje ukloni većina ^{prslina} ostaje zatvorena => trajna deformacija

II većina prslina zatvorena => dalja kompresija dovodi do zbijanja same stene => tj. deformisanje pora i zbijanje ^{zrna} => napetost približno linearna.

- III - prazne stene \rightarrow pore počinju da se zatvaraju
- IV kada se pore zatvore jedini kompresibilni elementi su sama zrna

6) NAPONSKO-DEFORMACIJSKO PONAŠANJE STENSKOG MONOLITA PRI JEDNOAKSIJALNOJ KOMPRESIJI



- Na početku, prsline se zatvaraju \rightarrow nagore konvavan deo naponsko-deformacijske krive.

- Kod većine stena, posle ovoga nastupaju linearni odnosi između aksijalnog napona i aksijalne deformacije kao i između aksijalnog napona i bočne deformacije.

- Na tački B počinje bočne deformacije bočne deformacije počinje da se uvećava u odnosu na porast aksijalne deformacije. Zato što nastaju nove prsline, a stare se produžavaju.

- U regionu B-C \Rightarrow prsline su stabilne (a to bi značilo da se za svakog povećanja napona one prošire u jednoj ograničenoj meri, ali onda prestanu da rastu).
- Posle tačke C \Rightarrow nastaje sistem međusobno isukstanih prslina.
- Tačka D \Rightarrow višnje opterećenje \Rightarrow ublaženi kriterijum za slom.

* Pri naponu pri kome dolazi do formiranja prslina dolazi do povećanja zapremine. Na nivou (C) utovar može imati veću zapreminu nego na početku testa, ovo povećanje zapremine koje se u vezi sa nastankom prslina zove se DILATANCA.



7) 8. UTICAJ VODE NA MEHANIČKO PONAŠANJE STENSKOG MONOLITA

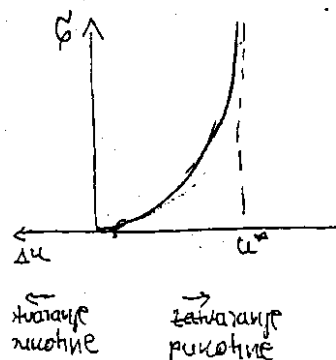
Nekim stenama se dodavanjem vode smanjuje čvrstoća i kutost (promena vezivne materije u steni), a na čvrstoći stene utiče uglavnom i pritisak vode u porama i prslinama (mehaničko delovanje vode).

travan pešcar - zasićen vodom - ~~45%~~ gubi 15% svoje čvrstoće
 kod nekih stena dodavanjem vode \rightarrow potpuna promena konzistencije.
 Mehaničko delovanje vode iskazuje se kroz uslove sloma definisanim preko efektivnih napona (Terzaghi - njegov zakon o efektivnom naponu).

8) 9. MEHANIČKO PONAŠANJE DISKONTINUITETA

Zatvaranje diskontinuiteta (normalno pomeranje) i pomeranje smicanjem, jesu dve glavne komponente deformabilnosti stenskih diskontinuiteta.

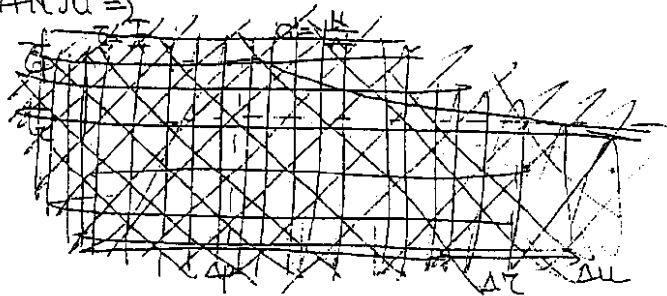
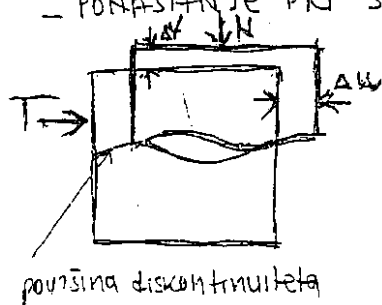
- PONAŠANJE PRI NORMALNOJ OPTEREĆENJU \Rightarrow



Block sa pukotinom opterećeno normalno na toj diskontinuitetu \rightarrow pukotina će se zatvarati. Otvor (zev) jedne pukotine koja je izložena kompresiji smanjuje se tokom vremena sa povećanjem napona (zavisno od nateganja površina bloka i od umrvljenja stene). Kompresiono ponašanje diskontinuiteta je izrazito nelinearno i postaje asimptotično kada se približne efektivnoj vrednosti početnog zeva pukotine.

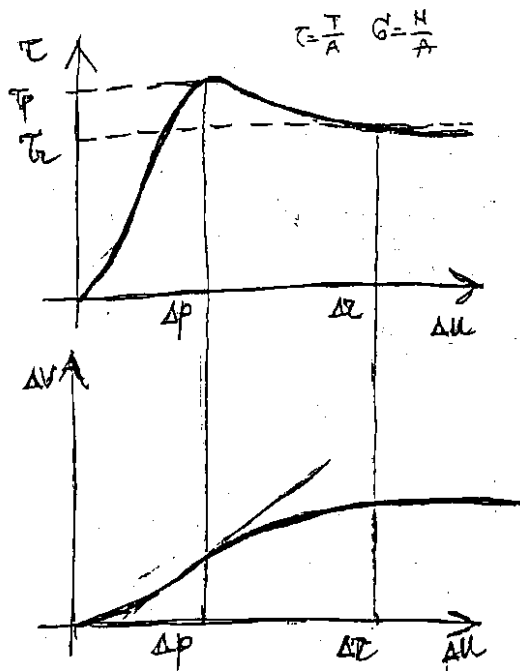
Tokom rasterećivanja ponašanje diskontinuiteta je izrazito histerezisno. Elastične deformacije su male. Posle nekog vremena pukotina će se najprostije otvoriti.

- PONAŠANJE PRI SMICANJU \Rightarrow



Smicanje pomeranje duž diskontinuiteta jeste razlika pomeranja gornjeg i donjeg bloka, merena paralelno sa srednjom ravni diskontinuiteta. Zbog toga što je površina diskontinuiteta zapravo i zatvarana diskontinuitet će imati sklonost da se još više rastiri tokom smicanja.

Razlika između veličine otvora pri i za male smicanje naziva se dilatacija.



Smicuci napon raste → period prilagođavanja
→ dilatacija još uata.

Čim toga dilatacija naglo raste,
Prizastaj tog povećanja je najveći kada
se dostigne visini smicuci napon.

Zatim smicuci napon opada sve do τ_e .
Koliko opada zavisi od 'zaparnosti'.

10. EFECT RAZMERE I TAPONSKO DEFORMACIJSKO PONASANJE STENA

Monolit stene je sastavljen od kristala, zrna i amorfne mase, utkanih u jedno tkivo, ali u kome ima pora i prslina.

Kada je monolit čvrste stene tako mali da u njemu postoji samo mali broj prslina, slom neizbežno znači dodatni rast prslina.

Slom veće zapreminske mase na terenu, može da se dogodi duž već postojećih ostataka.

Utjecaj veličine uzorka na merenu pritisnu čvrstoću je veliki. Razlika između čvrstoće laboratorijskih uzoraka i čvrstoće na terenu ponekad bude 10 ili čak i više.

Međutim postoji neka gornja granica veličine uzorka, nakon koje i ako povećavamo dimenzije monolita ne bi imali dalje smanjenje čvrstoće.

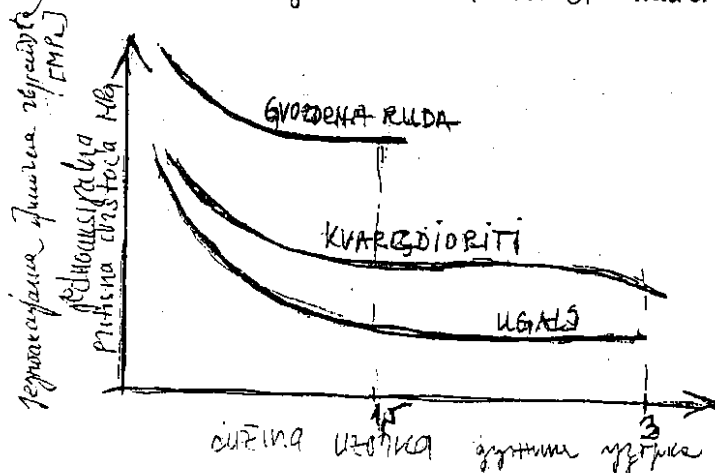


График
Смита по проф;
КРАВИНА
ФИННОГО

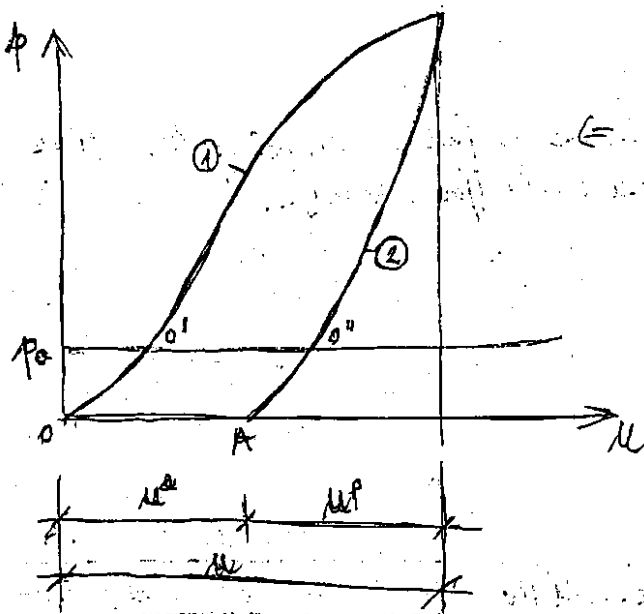
11. KARAKTERISTIKE MEHANIČKOG PONAŠANJA

(10)

STENSKE MASE

Utjecaj na mehaničko ponašanje stenske mase imaju svojstva monolita, pukotine, prsline, ravni slojevitosti, škriljavosti, deformacija pukotinskih ispuna i lokalni lomovi.

Testovi in situ → skupi, potreban veliki broj testova kako bi se rezultati mogli upoređivati.



TIPICAN DIJAGRAM POMERANJA
OPTEREĆENJE POVRŠINE STENSKE MASE
u FUNKCiji PRITISKA, ZA JEDAN
CIKLUS OPTEREĆENJA I RASTEREĆENJA,
u OPITU IN SITU.

u^e - pomatna pomeranja

u^p - trajna pomeranja

u - ukupna pomeranja

UKUPNA DEFORMACIJA STENSKE MASE = POVRATKA + TRAJNA

Na veličinu elastičnog dela deformacije utiču svojstva monolita.

Trajni deo je posledica pre svega zatvaranja pukotina, deformacija pukotinskih ispuna i lokalnih lomova.

do p_0 → početne deformacije → za jednake prirastaje napona prirastaji napona deformacije se smanjuju (konkavni oblik dijagrama) → posledica zatvaranja prslina i pukotina.

> p_0 → približno prava linija sve do p_k kada počinju lokalni lomovi

> p_k → deformacija biće rastu od prirastaja opterećenja krećući se ka lomu rasterećenje → dijagram je strm.

+ Čvrstoća ispune stenske mase je manja nego kod odgovarajuće intaktno stene, zbog deformabilnosti veća. Ispune stenske mase ponašaju se više plastično, a manje kao nego intaktni stenski materijal. Posle popuštanja nepovratne deformacije veće.

12. METODE ISTRAŽIVANJA STENSKIH MASA

11

Cilj istraživanja je da se odrede parametri koji opisuju mehanicko ponašanje stenske mase, da se odrede naponi i uslovi koji se tiču podzemnih voda.

Rekognosciranje vrste stene u oblasti izvođenja projekta, mora da se obavi u početnim fazama istraživanja.

Određuju se: tip stene, mineraloški sastav, struktura zrna i stepen raspadanja, otpornost stene na vodu i vazduh, slojevitost i sklizljivost stene, lučenje, zone rasada...

U rekognosciranju nam pomažu istražne jame, istražne bušotine, istražni potkopi i šaktovi, postojeća dokumentacija i znanje.

MORAJU SE PREUZNO ODREDITI LOKACIJE DISKONTINUITETA IZMEĐU KOJIH JE RASTOJANJE VELIKO U ODNOSU NA DIMENZIJE OBJEKTA (RASEDI).

Laboratorijski testovi u kojima se mogu opisivati samo pojedinačni uzorci ograničene veličine, imaju mali značaj u mehanici stena. (Npr. Pilikom njihovog op. ispitivanja mogu se dobiti čvrstoće koje se mnogo razlikuju od onih dobijenih na terenu). Laboratorijski uzorci služe samo da se odrede karakteristike stenskog monolita i u nekim slučajevima čvrstoća diskontinuiteta.

Velika važnost treba da se da terenskim ispitivanjima koja određuju čvrstoću diskontinuiteta i deformabilnost stenskih masa.

Nije uvek moguće odrediti sve parametre stenskih masa pre početka gradnje. Zato se velika pažnja posvećuje geološkom kartiranju u toku gradnje i merenju deformacija i naponskih promena zbog iskopavanja ili spoljašnjeg opterećenja stenske mase.

13. ISTRAŽNI OBJEKTI (BUŠOTINE, POTKOPI, OKNA, STENSKI IZDANCI)

Površina terena je često izmenjena pod uticajem atmosfere, pa stoga stene na površini ne predstavljaju neporemećeno stanje.

ISTRAŽNE JAME: pružaju pogodna sredstva za rekognosciranje kada nedostatak raspadnute stene nije suviše velik, a površina voda može da se drži pod kontrolom. Koristi se mehanicki ili pomoću eksploziva.

Dimenzije (min širina 1m i barem jedan zid mora da ima stepenice) moraju biti takve da omogućavaju nesmetani prolaz kartiranjima. Najbolje je da se kartiranje vrši čim se iskoпа istražni zid, da se zaštiti zid od a. uticaja.

ISTRAŽIVA POTKOPI I OKNA: Nužnu poznanje podatke o stanju po pitanju mehanike stena u oblasti potkopskih otvora, temelja i visokih padina, nego prirodni izdanci na površini, istražne jame ili bušenja.

Pred kantižanja, mehanizmo ponašanje stenske mase može biti ustanovljeno testovima i merenjima iz oblasti mehanike stena.

Za istražne otvore pogodni su nenasilni metodi iskopavanja kako, bi se izbeglo razlabljivanje, zato što ono čini kantižanje zidova otvora težim, otežava interpretaciju merenja napona i deformacije.

Zavisno od namene istraživanja, metode izrade i stanja stenske mase, zavisno i dimenzije pop. preseka otvora.

Istražni potkopi i okna treba da budu raspoređeni tako da mogu da budu upotrebljavani tokom izgradnje objekta, ili da budu ugrađeni u zavisne zidove na izgradnji objekta. Oni ne smeju negativno da utiču na nastupajuće zidove.

* Drugi istražni objekti su opisani u sledećim pitanjima =)

(14) ISTRAŽIVANJA NA POKRETNIM TERENIMA (STENSKI IZDANCI)

Postojeći izdanci stenske mase su tačke istraživanja na površini terena. To su npr. prirodne stenske padine, fragmenti iskopani tokom izvođenja zidova ili napušteni kamenolomni u oblasti izvođenja zidova. Treba napomenuti da je površina terena izmenjena pod dejstvom atmosfere.

(15) ISTRAŽIVANJA U ISTRAŽNIM BUŠOTINAMA

ISTRAŽNE BUŠOTINE:

Bušenje predstavlja najjednostavniji metod istraživanja u stenskoj masi. Dobijeni podaci su ograničeni jer opisuju samo mali deo stenske mase. Kada se u dovoljnom broju izvode uzorci bušenja (jezgra), one mogu da otkriju redosled slojeva kao i vrstu i strukturu stenskog masovita. Informacije koje pri tom dobijamo zavise od procedure bušenja i sposobnosti bušaća. (Spreman)

Bušenje sa jezgrovanjem \Rightarrow podaci o jezgri

Obična jezgra daju samo zaključke o podnim uslovima diskontinuiteta i njihovom rasporedu; orijentisana jezgra daju još i ugao pružanja i prema tome kompletnu orijentaciju diskontinuiteta koji treba da se izmere, mada je to moguće.

Za bi dobili pouzdane podatke, stabilnost pravca i kontrola busotina su od posebne važnosti.

Postoji i izvestan broj opta koji se mogu izvesti u busotini

+ Rotaciono busenje sa jezgrovanjem se obično primenjuje za izvođenje istražnog busenja u stenskoj masi. Rotiranjem alata postavljenog na dno busotine u stenskoj masi se napravi prstenasti otvor i tako se dobija jezgro.

Na taj način se napravi cilindričan uzorak jezgra iz okolne stenske mase i izradi naprave. Dužina jezgra je 1 ± 6 m.

Jezgro se u pravilnom položaju stavi u kutiju za čuvanje jezgra. Ako se pri vađenju jezgro prekine, u kutiju se uzorak postavlja u što pravilnijem položaju.

Na kutiji se zapisuje: pravac busenja, dubina sa koje je jezgro izvađeno, da li postoje supline u stenskoj masi, gde (to se može zaključiti na osnovu prodiranja i smanjenju opterećenja pri busenju) mesta sa kojih su uzeti uzorci za laboratorijske ogleda...

16. ISTRAŽIVANJA STRUKTURE STENSKE MASE 12. INŽENJERSKO-GEOLOKO KARTIRANJE

INŽENJERSKO-GEOLOKO KARTIRANJE \Rightarrow istraživanje strukture stenske mase

Standardna oprema za pripremu kartiranja \Rightarrow

- KARLOV KOMPAS \Rightarrow MERENJE ORIJENTACIJE DISKONTINUITETA
- MERNE TRAKE \Rightarrow ODREĐIVANJE DUŽINE TRAGA DISKONTINUITETA
- GEOLOKI ČEKI \Rightarrow

- da se otkuju diskontinuiteti koji su skriveni iza tanakog sloja raspadine usled uticaja atmosfere

- da se oslobode uzorci stenskog monolita (ručni uzorak)

• KNJIGA BREMSKIH IZVEŠTAJA \Rightarrow U KOJOJ SE SVACIMA TAČKA ISTRAŽIVANJA I UNOSE PODACI O KARTIRANJU

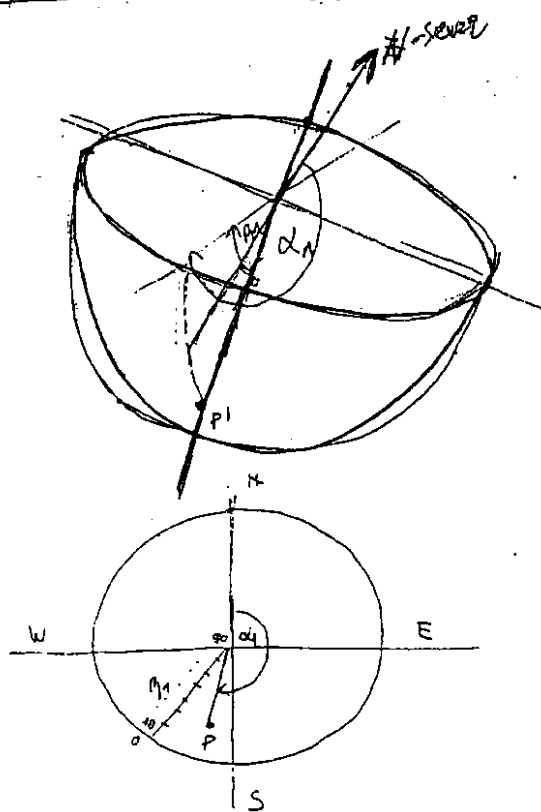
Rezultati kartiranja diskontinuiteta =>

- Orientacija diskontinuiteta:

Privođenje podataka o ispitanoj diskontinuitetu na referentnu sferu.

Orientacija diskontinuiteta, merena klinovima kompasom, je opisana pravcem nagiba α i uglom nagiba η .

Diskontinuitet preseca referentnu sferu duž velikog kruga pod nagibom η , prema horizontali. Orientacija prave linije definiše se uglom koji linija zatvara sa horizontalom (η_1) i uglom koji projekcija linije na horizontalu zatvara sa pravcem sever (α).



Da bi bilo moguće grupisati diskontinuitete kartirane tokom razpoznavanja u različite familije prema njihovoj orijentaciji, mereni uglovi pruzanja i pada nanose se na polarnu jednako-površinsku mrežu i konstruiše se Schmidt-ov konturni dijagram.

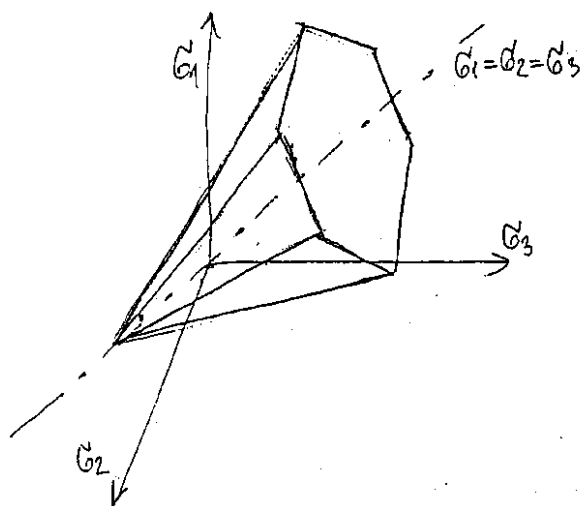
Iako prezentacija polnih gustina u Schmidt-ovim konturnim dijagramima omogućava da mereni diskontinuiteti budu raspoređeni po grupama, ona često ne pruža zaključke o raspisanoosti i srednjoj orijentaciji.

- Razmak između diskontinuiteta:

Razmak između diskontinuiteta iste orijentacije je definisan kao najmanje rastojanje između dva susedna diskontinuiteta.

ISRM preporučuje da se razmak između diskontinuiteta meri direktno pomoću trake. Postupak: traka se stavi na lice ogolele stenske mase upravno na diskontinuitetni ravan (površinski trag) poravnao uga trake da se meri; Meri se na očigledni razmak; najmanji uga razmak trake i posmatranog

Mohr-Coulomb-ov uslov tečenja:



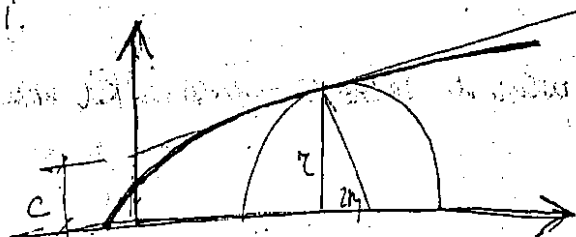
Sa eksperimentalne tačke gledista je tačni.

U naponskom prostoru ima oblik piramide sa nepravilnim šestougaonim poprečnim presekom.

Hoek-Brown-ov uslov lomna za stenske mase:

Određena iskustva mnogih eksperimentalnih istraživanja.

Hoek-Brown-ov uslov lomna je nelinearan, te je realističniji od Mohr-Coulomba uslova, ali imajući u vidu da zavisi samo od najvećeg i najmanjeg glavnog napona, takođe ima diskontinuitet sličan Mohr-Coulombovom uslovu.



19. MODEL STRUKTURNO-STENSKOG NASE

Rezultati raznošenja se predstavljaju pomoću strukturnog modela, gde se svi rezultati vrednovani pojedinačno sada zajednički interpretiraju.

Model treba da bude predstavljen u blok dijagramu koji sadrži što više parametara:

- parametri koji opisuju geometriju strukture
- srednje vrednosti merenih uglova pruzanja i pada
- razlici diskontinuiteta
- karakteristike pojedinačnih diskontinuiteta koji stvaraju familije
- da li su diskontinuiteti otvoreni ili zatvoreni, i da koje mere oni sadrže ispunje
- podatke o neravnomernosti, zračenosti i stanju raspadnutosti zida disk.

20. METODE ISPITIVANJA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA STENSKOG MONOLITA

Mehaničke karakteristike stenskog monolita, diskontinuiteta, kao i stenske mase in situ, ispituju se na uzorcima, po proceduri koja je definisana merovikama ISRM-A.

- OPIT JEDNOAKSIJALNE KOMPRESIJE
- OPIT TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE
- BRAZILSKI TEST

→ za stenski monolit

21. METODE ISPITIVANJA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA DISKONTINUITETA

- OPIT DIREKTNOG SMICANJA DUE DISKONTINUITETA (NA UZORCIMA)
- TORENSKI OPIT DIREKTNOG SMICANJA

22.

METODE ISPITIVANJA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA STENSKO MASE IN SITU

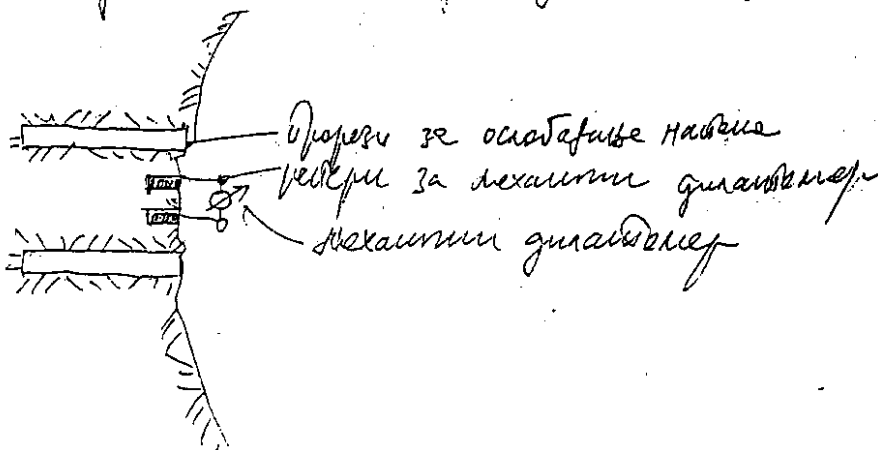
- OPIT DEFORMABILNOSTI U BUSOTIH
- OPIT DILATOMETROM U ISOTROPNOJ SREDINI
- OPIT DILATOMETROM U ANIZOTROPNOJ SREDINI
- OPIT HIDRAULIČKIM VASTUKOM

23. METODE ISPITIVANJA PRIRODNE

13. NARRECHUTOST

- MERENJE NAPONA PRIMEKOM TRIAKSIJALNE
CELJE

1) merenje napona naizmjeničnom



2) merenje napona naizmjeničnom triaksijskom

WAREHOUSE TYPE:		Without Preference		11070 NOVI BEOGRAD	
TARIFF NUMBER		Origin		InvoicenumbertEXP10060295	
3924901100		CN		Page: 1	
4202229090		CN			
7117199190		CN			
7117199990		CN			
8214180000		CN			
8214200000		CN			
9102110000		CN			
PRODUCTS TEMPERATURE:		Without Preference			
TOTAL:		19		21,15	
		0,8		0,9	

24) TOČUČNOST I OGRANIČENJA MEHANIČKOG MODELIRANJA

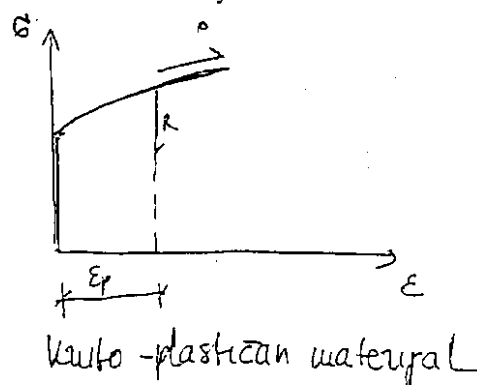
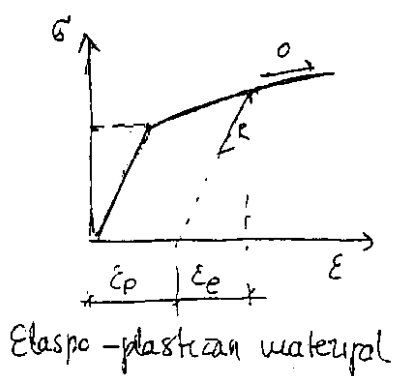
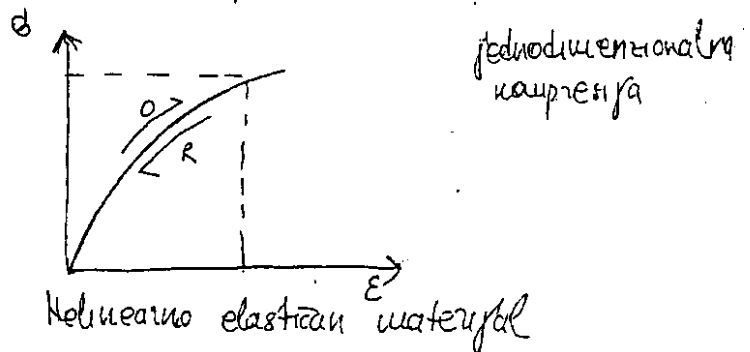
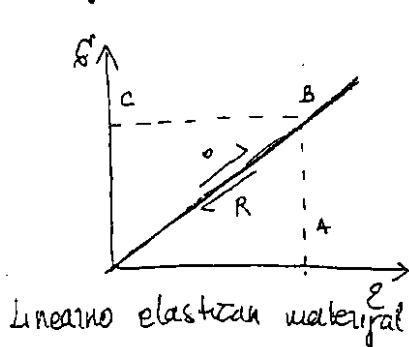
19) MEHANIČKOG PONAŠANJA STENA

* **KONSTITUTIVNA RELACIJA (ZAKON)** = skup jednačina koje dovode u vezu napon i deformaciju (i vreme ako ono utiče na brzinu promene stanja napona i deformacija). Adekvatan konstitutivni model bi trebalo da daje rezultate bliske onim eksperimentalno opaženim.

* Mehaničko ponašanje stena u jednom širokom području naponsko-deformacijskih procesa, može se opisati korišćenjem **ELASTOPLASTIČNOG MODELA MATERIJALA**, koji je osnova za razvoj konstitutivnih modela ispucale stenske mase.

* Povratno ili elastično ponašanje materijala = bez obzira kakve su bile karakteristike stanja i procesa opterećivanja, na kraju ciklusa opterećivanja - rasterećivanja materijal se vraća u svoje početno stanje napona i deformacija.

Ako se po završetku procesa opterećivanja - rasterećivanja zadržala trajna deformacija, ponašanje materijala je bespovratno ili plastično.



U mnogim slučajevima plastična deformacija se javlja samo kada je naponsko stanje dostiglo neki određeni prag.

Sveukupno ponašanje je elastoplastičnog tipa, ako su elastične deformacije do tog praga znatne.

Nasuprot tome, takozvani kruto-plastični model materijala je primenljiv ako su elastične deformacije male u poređenju sa plastičnim.

• iz suptje ako ločes tenzore napona i deformacije.

25) IZOTROPNA ELASTIČNOST KAO MODEL MEHANIČKOG POHAŠANJA STEHA

Elastično ponašanje \Rightarrow

IZOTROPNA ELASTIČNOST

Linearno elastičan izotropan materijal \Rightarrow svi elementi konstitutivne matrice zavise od dva parametra \Rightarrow E - Young-ov modul elastičnosti (uvek pozitivan)
 ν - Poisson-ov koef.

$$\epsilon = (C^e)^{-1} \cdot \sigma$$

$(C^e)^{-1}$ - matrica fleksibilnosti

$$(C^e)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & 1/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & -\nu/E & 1/E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$-1 < \nu < 0,5$$

da bi vrednosti koeficijenta bile konačne

Važna posledica pretpostavke o izotropiji linearno-elastičnih materijala je da se pravci glavnih napona i pravci deformacija poklapaju.

elast. pon. mat. C^e za izotropan elastičan materijal je simetrična i gvozd. na korp. simetrija.

21) 26) ORTOTROPNA ELASTIČNOST KAO MODEL MEHANIČKOG POHAŠANJA STEHA

Ako materijal nije izotropan, ali je i dalje elastičan, broj nezavisnih parametara raste.

Ako materijal poseduje tri ortogonalne ravni simetrije on je ortotropan.

Tada konstitutivna matrica ima oblik \Rightarrow

$$(C^e)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_a} & -\frac{\nu_{ba}}{E_b} & -\frac{\nu_{ca}}{E_c} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{ba}}{E_b} & \frac{1}{E_b} & -\frac{\nu_{cb}}{E_c} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{ca}}{E_c} & -\frac{\nu_{cb}}{E_c} & \frac{1}{E_c} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{ab}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{ac}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{bc}} \end{bmatrix}$$

3 ortogonalne ravni simetrije
 u kojima se izotropno ponašanje

G_{ab}
 G_{ac}
 G_{bc}

E_a, E_b, E_c - moduli elastičnosti za materijalne ose a, b i c

ν_{ij} ($i=a, b, c$ i $j=a, b, c$) - su poasonovi koef za materijalne ose a, b i c

Matrica fleksibilnosti je simetrična pošto je materijal hiperelastičan, međutim sledeće relacije moraju biti zadovoljene:

$$\frac{\nu_{ab}}{E_a} = \frac{\nu_{ba}}{E_b} \quad \frac{\nu_{ac}}{E_a} = \frac{\nu_{ca}}{E_c} \quad \frac{\nu_{bc}}{E_b} = \frac{\nu_{cb}}{E_c}$$

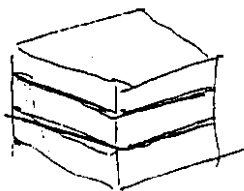
Kada se ove relacije ~~uзму~~ u obzir sledi da matrica fleksibilnosti sadrži devet nezavisnih materijalnih konstanti.

27. GRAĐA-STENSKO-HASE-L-ELASTIČNI-MODELI

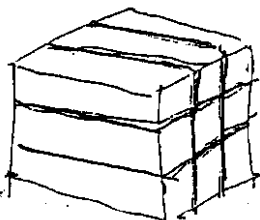
U zavisnosti od građe stenskog monolita (strukture) koja može biti zrnasta (peščar) ili ^{fabrikovana} ~~zrnasta~~ slojevitost i skrućavost, kao i građe (strukture) stenske mase koja može biti prožeta različitim sistemima pukotina, opredelimo se za izotropan, transverzalno ili ortotropno anizotropan model elastičnosti.

Transverzalanu anizotropiju karakterise izotropno ponašanje u jednoj, njenoj ravni pa se ovakav model često može koristiti za slojevite i uskriljene stenske mase.

Često je u stenskoj masi prisutan jedan dominantni sistem pukotina, koji značajno utiču na mehaničko ponašanje stenske mase. Za takav slučaj opet je dobro primeniti model transverzalne anizotropije, gde je ~~izotropna~~ ravan - ravan diskontinuiteta. Parametri elastičnosti stenske mase, u tom slučaju, zavise od parametara elastičnosti stenskog monolita i parametara elastičnosti ispunje diskontinuiteta.



transverzalno
||



ortotropno
⊥

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{E_a} & -\frac{\nu_{ab}}{E_b} & -\frac{\nu_{ac}}{E_c} \\ -\frac{\nu_{ba}}{E_b} & \frac{1}{E_b} & -\frac{\nu_{bc}}{E_c} \\ -\frac{\nu_{ca}}{E_c} & -\frac{\nu_{cb}}{E_c} & \frac{1}{E_c} \end{bmatrix}$$



28. Osnovni elasto-plastični koncepti kao modeli 23. mehanikog ponašanja steno

Osnovne jednačine teorije plastčnosti:

Osnovna karakteristika plastičnih deformacija je njihova trajna, bespovratna priroda. To znači da plastične deformacije, proizvedene tokom procesa opterećivanja, ne mogu se jednostavno poništiti rasterećenjem. Veza između elastičnih, trajnih i ukupnih deformacija \Rightarrow

$$d\epsilon = d\epsilon^e + d\epsilon^p$$

$$d\epsilon = d\epsilon^e + d\epsilon^p$$

ϵ^e - ukupne elastične deformacije

ϵ^p - ukupne plastične deformacije

Odgovarajući prirastaj napona može se odrediti na osnovu elastične, konstitutivne relacije

$$d\sigma = c^e d\epsilon^e = c^e (d\epsilon - d\epsilon^p)$$

c^e - elastična konstitutivna matrica

Elasto-plastični zakoni se zasnivaju na tri osnovne relacije: uslov tečenja, uslov opjačanja i zakon tečenja.

* Uslov tečenja predstavlja površ u naponskom prostoru, i definiše stanja napona u kojima je moguć razvoj plastičnih deformacija.

* Uslov tečenja definiše mogućnosti i način promene oblika, veličine i pozicije teč površi tečenja.

* Zakon tečenja određuje intenzitet i smer plastičnog deformisanja.

- Za nereverzibilni deo ponašanja materijala kaže se da je idealno plastično ako granica elastičnosti (uslov tečenja) ne zavisi od dotadašnje putanje napona i od ostvarene plastične deformacije. Za slučaj koji se može karakterisati povećanjem granice elastičnosti, dok se povećavaju plastične deformacije, kaže se da je to ponašanje sa opjačanjem materijala. Ako imamo slučaj koji možemo karakterisati redukcijom granice elastičnosti kažemo da je to ponašanje sa omekšavanjem materijala.

362013 10218

WAREHOUSE TYPE:		Returned Goods Tetrilari		Invoice Number: EXP20060294		Page: 4	
TARIFF NUMBER	Origin	Qty	VALUE in EUR	Net Weight	Gross Weight		
4509009000	CS	1.690	20.47	28.2	29.83		
6109100000	CS	1	0.00	0.1	0.11		
PRODUCTS Termek:		WAREHOUSE type:		Returned Goods Tetrilari			
TOTAL:		1.691	20.47	28.3	29.9		

$$F = F(\sigma, p(\epsilon^p)) = 0 \rightarrow \text{uslov tečenja}$$

$p(\epsilon^p)$ - vektor parametara optanja koji odražava promenu površi tečenja sa povećanjem plastičnih deformacija (uslov optanja)

$F < 0$ → naponsko stanje je reprezentovano tačkom u naponskom prostoru unutar površi tečenja → ponašanje materijala je čisto elastično

$F = 0$ → naponsko stanje zadovoljava uslov tečenja

$F > 0$ → nije moguće

PLASTIČNO DEFORMISANJE SE MOŽE RAZVITATI SAMO AKO NAPONSKO STANJE ZADOVOLJAVA USLOV TEČENJA TOKOM PRIRASTAJA DEFORMACIJA.

29. INKREMENTALNA ELASTO-PLASTIČNA KONSTITUTIVNA RELACIJA U MODELIRANJU NEHOMOGOG PONAŠANJA SIENA

$d\sigma = c^ep d\epsilon$ → elasto-plastično ponašanje u inkrementalnom obliku

$$d\epsilon = D^{ep} d\sigma$$

$$D^{ep} = (c^ep)^{-1} = (c^e)^{-1} + \frac{\left(\frac{d\sigma}{d\epsilon}\right) \left(\frac{dF}{d\sigma}\right)^T}{H^p} \quad c^ep - \text{elastoplastična matrica krutosti}$$

H^p - modul optanja

$H^p > 0$ - očvršćavanje

$H^p = 0$ - idealno plastično ponašanje

$H^p < 0$ - omekšavanje

30. USLOV TEČENJA (LOHA) ZA STISKE MASE I KONTINUALNO PLASTIČNO DEFORMISANJE

Uslov tečenja je osnovna relacija teorije plastičnosti.

Razlikuju se formulacije uslova tečenja za koncept elasto / idealno-plastičnog ponašanja materijala od formulacije uslova tečenja koji se koriste za modeliranje optanja i omekšavanja.

Granični uslov tečenja ili uslov Loua → granično stanje u naponskom prostoru izvan koga nisu moguća naponska stanja za posmatrani materijal (elasto-idealno plastični model)

18.)

WAREHOUSE TYPE:

With Preference

InvoiceNumber:EXP20060294

Page: Page: 3

11070 NOVI BEOGRAD

TARIFF NUMBER	Origin	Qty	VALUE In EUR	Net Weight	Gross Weight
33030001000	EU	499	1.401,66	100,7	106,41
3303009000	EU	1.188	2.129,89	222,3	234,96
3304100000	EU	3.937	2.390,97	56,1	59,24
3304200000	EU	2.634	2.067,27	53,9	56,99
3304300000	EU	780	548,47	56,0	59,22
3304910000	EU	160	192,15	9,6	10,15
3304990000	EU	16.707	12.141,69	2.791,3	2.949,82
3305100000	EU	3.033	1.897,48	935,8	988,93
3305300000	EU	3	3,19	0,5	0,55
3305901000	EU	698	417,39	151,2	159,78
3305909000	EU	1.184	816,21	241,1	254,75
3307100000	EU	302	247,69	47,1	49,76
3307200000	EU	3.873	2.227,82	421,7	445,61
3307300000	EU	345	329,74	355,4	375,54
3307490000	EU	49	34,95	5,3	5,64
3401209000	EU	479	327,20	151,0	159,61
3401300000	EU	77	54,22	27,0	28,55
3919106999	EU	2.604	1.904,45	1.032,3	1.090,87
3926909890	EU	18	11,34	1,1	1,17
4202921100	EU	5	3,18	0,3	0,30
4818201000	EU	40	166,28	5,2	5,54
4819200000	EU	4	2,79	0,9	0,93
4819400000	EU	1	0,05	0,0	0,01
4820101000	EU	135	27,87	5,4	5,71
4820409000	EU	15	1,29	0,2	0,21
4901100000	EU	34	9,39	1,0	1,06
4902909000	EU	73	1,89	1,0	1,07
4911101000	EU	1.034	96,57	38,8	40,98
4911109000	EU	20	6,41	3,6	3,80
4911109000	EU	23.301	2.307,15	1.060,0	1.120,14

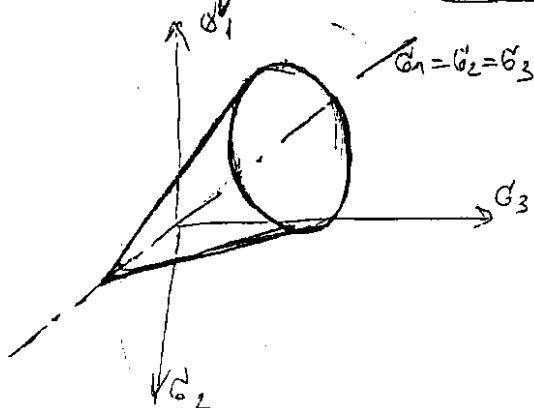
PRODUCTS Terms&K:

WAREHOUSE Type:

With Preference

TOTAL: 63.232 31.766,67 7.775,8 8.217,3

Drucker-Prager-ov uslov teretnja:



$$F = \alpha \cdot I_1 + \sqrt{I_2} - k = 0$$

I_1 - prva invarijanta tenzora napona

I_2 - druga invarijanta devijatora tenzora napona

α - reprezentuje funkciju, a parametar k - kohezionu komponentu smisla otpornosti.

Pogodan je za komercijalnu implementaciju zbog svoje jednostavnosti. Nana je sto je nezavisan od I_3 . Ne moze da napravi razliku rezultata dobijenih testovima tlačnja i ekstenzije.

27. 32. KLASIFIKACIJA STENSKOG MASE

Izgradnja podzemnih objekata u stenskom masivu je komplikovana i složena. Inženjeru projektantu i izvođaču potrebni su podaci o steni u kojoj se gradi. Oni moraju biti dovoljno opšti i sadržajni, a opet jednostavni za razumevanje.

U zavisnosti od istraživanja podaci koji se dobiju, za isti stenski masiv, mogu biti potpuno raznorodni, penosob tačni ali ipak neporedivi. Zahteva se međusobno poređenje i univerzalni kriterijum.

→ Danas se koriste dve novije klasifikacije (jednostavne su za upotrebu, opšte obuhvataju veliki broj relevantnih parametara, postoje relacije između njihovih koeficijenata):

- CSIR (COUNCIL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH) - BIENIAWSKI
- NGI (NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE) - BARTON, LUNDE, LIEN

27. 33. RMR - KLASIFIKACIJA STENSKOG MASE

CSIR KLASIFIKACIJA = KLASIFIKACIJA BIENIAWSKI-og = RMR KLASIFIKACIJA
čvrstoća mase
 RMR (ROCK MASS RATING)
[mks]

- ČVRSTOĆA NEISPUGAĆE, KOMPAKTNE STENE (STENSKOG MONOLITA)
- RQD - INDEKS KVALITETA JEZGRA
- RASPROSTRANJENOST PUKOTINA
- STANJE PUKOTINA
- UTICAJ PODZEMNIH VODA

• ČVRSTOĆA NEISPUGAĆE STENE

σ_p - jednoosijalna čvrstoća na pritisak neispugale stene

(za određivanje čvrstoće na pritisak može se koristiti i opit indeksa tlačastog opterećenja)

I_s - indeks tlačastog opterećenja praktičari (nije pouzdan za stene male čvrstoće)

$$I_s = P/D^2 \quad P - \text{sila lomna} \quad D - \text{prečnik jezgra}$$

$$\sigma_p = 24 I_s$$

- Veza između jednoosijalne čvrstoće σ_p i indeksa I_s za cilindar čiji je odnos prečnika i dužine jezgra 1:2 za prečnik od 50 mm

23 34

KLASIFIKACIJA STENSKE MASE

Klasifikacija se brojno predstavlja indeksom Q kvaliteta stenske mase.

$$Q = \left(\frac{RQD}{I_n} \right) \cdot \left(\frac{I_z}{I_a} \right) \cdot \left(\frac{I_w}{SRF} \right) \rightarrow \text{INDEX KVALITETA STENSKE MASE}$$

RQD - DEER-ov indeks kvaliteta jezgra (isto kao kod RME klasifikacije).

I_n - indeks broja pukotinskih sistema

I_z - indeks hrpavosti pukotina

I_a - indeks pukotinske ispunje

I_w - faktor redukcije zbog uticaja vode u pukotinama

SRF - faktor redukcije napona

Karton, Hen i Lund : dali su objašnjenje zašto su uzeli baš ove parametre =>

$\left(\frac{RQD}{I_n} \right)$ - predstavlja strukturu stenske mase sa dve ekstremne vrednosti $\left(\frac{100}{0,5} \right)$ i $\left(\frac{10}{20} \right)$

$\left(\frac{I_z}{I_a} \right)$ - predstavlja uticaj hrpavosti i sile trenja na zidovima pukotina u njihovoj ispunji. Ovaj činilac se upoređuje sa neizmijenjenim, hrpavim pukotinama, ali su zidovi u direktnom kontaktu.

(zidovi prekriveni tankim glinenim slojem -> nepovoljno (slabije se čvrstoća)
kada ne postoji kontakt između pukotinskih zidova -> nepovoljno sa stanovišta stabilnosti

$\left(\frac{I_w}{SRF} \right)$ - I_w - mera pritiska podzemne vode. On ima nepovoljan efekat na čvrstoću na smicanje pukotina, zbog prvenstveno zbog smanjenja efektivnog normalnog napona. Voda može dodatno, da izazove omeđanje i ispranje glinovitih ispunjenih pukotina.

SRF je merilo:

- brzo opterećenja u slučajevima iskopu kroz smaknute zone i glinovite stene
- napona u steni u čvrstim stenama
- opterećenje od pužanja u mekim, plastičnim stenskim masama

-> Grubo uzeto -> Q PREDSTAVLJA F-SU =>

VELIČINE BLOKA (RQD/I_n)

MEĐUBLOKOVSKA ČVRSTOĆA NA SMICANJE (I_z/I_a)

AKTIVNOG NAPONA (I_w/SRF)

3.1

(35)

KLASIFIKACIJE I PARAMETRI PONAŠANJA

(2)

STENSKA MASP

RHR - akcenat na orijentaciji i nagibu pukotina, a na uticaj naponu u steni
Q - istice se indeks hrpavosti i indeks pukotinske ispunje najnepovoljnijih sistema pukotina, a ne bavi se orijentacijom nepovoljnih pukotinskih sistema.

RHR klasifikacija nije pogodna za prikazivanje različitosti stena, koje su se formirale kao posledica skupljanja, bubrenja ili tečenja.

$$RHR = 9 \ln Q + 44 \rightarrow \text{VEZA IZMEĐU RHR I Q KLASIFIKACIJE}$$

Klasifikacije obuhvataju sva važna strukturna svojstva stenske mase koja uticu na njeno mehaničko ponašanje. Na osnovu tih pokazatelja može se doći i do određenih parametara mehaničkog ponašanja stenske mase.

$$E = 2RHR - 100 \quad (RHR > 58)$$

$$E = 10 \frac{RHR - 10}{10} \quad (\text{za mekše stene})$$

→ MODUL DEFORMACIJE STENE

(26.) KLASIFIKACIJE PODZEMNIH KONSTRUKCIJA

PREMA NAMENI

I RUDARSKI PODZEMNI OBYEKTI

II SAOBRAĆAJNI POD OBYEKTI

- tuneli za željezniču saobraćaj
- tuneli za drumski saobraćaj
- tuneli na plovnom kanalu
- tuneli za gradske željeznice
- tuneli za promet vozila

III HIDROELEKTRIČNI POD OBYEKTI

- podzemne hidroelektrane
- dovodni i odvodni tuneli hidroelek.

IV RAZNOVRANI POD OBYEKTI

- optični predvodi i ispušni kanali kod brana
- vodovodni tuneli
- tuneli za kanalizaciju
- tuneli za navodnjavanje i odvodnjavanje

V RAZNOVRNI OBYEKTI SPECIJALNE NAMENE

- hangari
- siladista
- silosništva
- industrijska postrojenja

PREMA DUBINI GRADENJA

I PLITKO POLOŽENI

II DUBOKO POLOŽENI

PREMA DULJINI

I VRLO KRATKI DO 50m

II KRATKI 50 ÷ 400m

III SREDNJIH DULJINA 500 ÷ 2000m

IV DUGAČKI 2000 ÷ 4000m

V VRLO DUGAČKI > 4000m

PREMA VEĆIČINI POPREČNOG PROFILA

§ ISKOP

I TUNELSKA CEVI DO 5m²

II TUNELSKI POTKOPI 5 ÷ 12m²

III MALI PROFILI 12 ÷ 25m²

IV SREDNJI PROFILI 25 ÷ 50m²

V VELIKI PROFILI PREKO 50m²

PO TEŽINI GRADENJA - U ODNOSU NA INŽENJERSKO-GEOL. USLOVE

I TUNELI IMAJU ZA GRADENJE

grade se izlož. stenske mase velike čvrstoće: bazalt, dijabaz, granit, kvarc...

II SREDNJE TEŠKI ZA GRADENJE

grade se izlož. mase stenske mase vrlo male čvrstoće: vapenci, gлина, les, tuf, vapori

III TEŠKI ZA GRADENJE

grade se izlož. stenske mase u zasnadanju: gips, skalya, flint, zadržane stene

IV VEOMA TEŠKI ZA GRADENJE

grade se u veoma mekim i plastičnim stenskim masama: ožiljiti, pesak, prozet vodom, mješavito lo, glinovite naslage.

PREMA VRSTI KONSTRUKCIJE

I TUNELI BEZ KONSTRUKCIJE

II SA KONSTRUKCIJOM OD DRVEĆA (KLASIČNA - RUDARSKA PODGRADA)

III SA KONSTRUKCIJOM OD ČELIČNIH PROFILA

IV - II - SIDAHA I PRISILNOG BETONA

V - II - MONOLITNOG BETONA

VI - II - MONTAŽNIH ELEMANATA

VII - II - PREDNAPREGNUTOG BETONA

(29)

34.

SPECIFIČNOSTI PODZEMNIH OBJEKATA

različite namene

Podzemni objekti su građevinski objekti ^{načini} ispod površine terena koji obezbeđuju prostor za izgradnja se obavlja po dosta specifičnim i određenim uslovima, kao što su =)

- Grade se u prirodnoj sredini koju treba istražiti i kojoj se treba prilagoditi. Mora se brižljivo proučavati tehnološki proces gradnje, prilagođavati se stvarnim uslovima stenske mase koje ne možemo potpuno poznavati pre izgradnje, pravilno izabrati sistem konstrukcije u skladu sa adekvatnim uslovima...
- Ograničenost prostora → metode gradnje su postupne, sve radne pozicije su istog znaka; dobra organizovanost rada.
- Otvorjenje podzemne vode (u fazi gradnje; i da se spreči rasipavanje stenske mase; gravitacione ili pumpanjem)
- određeni geodetski radovi (obeležavanja i merenja su određeni zbog neprekidnog rada)
- neprekidni rad sistema za ventilaciju
- vertikalno osvetljavanje radnih mesta
- moguća pojava štetljivih gasova i povećanje toplote zbog dubina na kojima se tuneli grade.

(30)

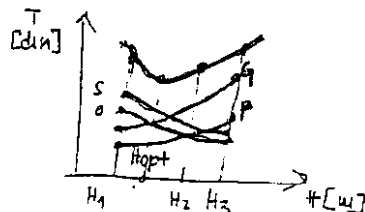
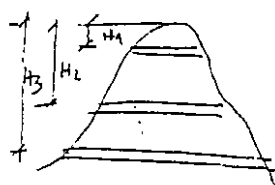
38.

PRINCIPA SAOBRAĆAJNIH TUNELA

Tuneli su podzemni objekti koji obezbeđuju prostor za različite namene, a jednim ili sa oba kraja izlaze na površinu terena.

Gradnjom tunela ispod vododelnice, stvara se trasa saobraćajnice i ublažavaju usponi, smanjuju troškovi gradnje, eksploatacije i održavanja.

Tunel blizu vlinu vododelnice = vršni tunel, a pri dnu borskog masiva = bazisni tunel.



G - TROŠKOVI GRADNJE

P - TROŠKOVI POSLOVANJA

O - TROŠKOVI ODRŽAVANJA

S - TROŠKOVI SAOBRAĆAJA

Saobraćajni tuneli se mogu primeniti i za presecanje oštih rečne krivine, na mestima koja su ugrožena kamenim osulinama ili snežnim lavinama, radi izbegavanja aktivnih klizišta, radi savladivanja visinske razlike (helioidni tuneli) kada se izbegava eksproprijacija zemljišta ili rušenje objekata na zemlji; a za gradnju saobraćaj.

5.)

59. PRIMERNA HIDROTEHNIČKI TUNELI

Razlikujemo tri vrste hidrotehničkih tunela:

- "suvi" tuneli (kroz koje prolazi vodovodna cev)
- gravitacioni hidrotehnički tuneli (bez pritiska)
- tuneli pod pritiskom

• "suvi" tuneli \Rightarrow tuneli za vodovod i kanalizaciju su podvodni ("suvi") tuneli manjeg preseka u kojima se posle izgradnje montiraju vodovodne i kanalizacione cevi. Za ove tunele primenjuju se svi principi projektovanja kao i kod saobraćajnih tunela.

• gravitacioni \Rightarrow u kojima voda stoji ili teče slobodnim padom bez pritiska. Otopni i prelivni tuneli kod brana su gravitacioni tuneli. Uglavnom se i za njih primenjuju isti principi kao i za saobraćajne tunele. Primaran je pritisak od stenske mase. Dodatno: potrebno je sprovesti mere da se gubici vode smanje; kvaliteta i pravilna ugradnja betona su bitni kako bi se sprečilo raspadanje betona.

• tuneli pod pritiskom \Rightarrow mogu biti vodovodni, kanalizacioni, ventilacioni, ali se najčešće primenjuju kod hidrotehničkih postrojenja (dovodni i odvodni). Primarno opterećenje je unutrašnji pritisak vode za koji se određuju dimenzije tunelske konstrukcije, a zavisi od svojstava stenskih masa.

trasa tunela - prava linija od ulaznog do izlaznog portala kada su povoljni topografski i inženjersko-geološki uslovi

48. SLOBODNI PROFIL ZA ŽELEZNICE TUNELI

svetli otvor = pop. presek?

Velicina i oblik pop. preseka zavise od potrebnog slobodnog profila (svetlog otvora), vrste i dimenzija tunelske konstrukcije u zavisnosti od svojstava stenskih masa i velicine svetlog otvora, tehnologije gradnje.

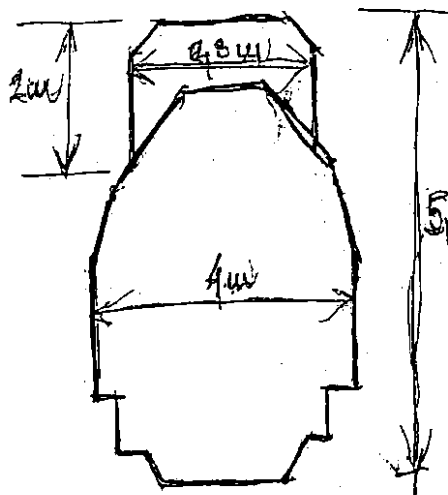
Velicina i oblik slobodnog profila zavise od namene tunela.

\rightarrow Velicina i oblik slobodnog profila tunela za železničku saobraćaj zavise od:

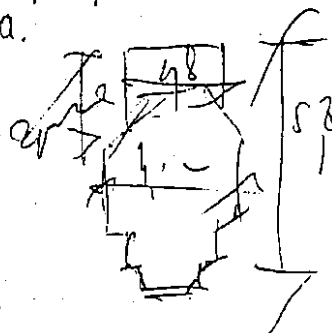
- dimenzija prevoznih sredstava
- širine i broja koloseka
- načina vuče
- najmanjeg radijusa krivine

Slobodan profil prevoznog sredstva (gabarit) je ograničen prostor u poprečnom preseku upravnom na sredinu koloseka. Osovina slobodnog profila voza stoji upravno na pravu koja dodiruje gornje ivice voznih šina i prolazi kroz sredinu koloseka. U prostor slobodnog profila ne smeju ulaziti delovi: postrojenja, oznaka, i slično... Dimenzije gabarita se moraju odrediti u fazi izgradnje i eksploatacije.

Potrebni su još i prostori sa strane za stubove, signale, napojnike...



slobodni profil prevoznog sredstva (gabarit)
za pruge normalnog koloseka i za kolosek 4
krivinama poluprečnika $R \geq 250m$ bez
nadvisenja.



Poprečni profil unutrašnje konture tunela za jedan kolosek je usvojen (propisan)
i važi za Jugoslovenske Železnice. Ovaj pop. profil za jedan kolosek projektovan
je bez potrebe naknadnog proširenja ili nadvisenja u krivinama.

Unutrašnja kontura može teorijski da dodruže gabarit, ali se u praksi ostavlja
izvesna rezerva i to od:

0,4 m - jednokolosečni

0,3 m - dvokolosečni

Ova rezerva se ostavlja iz razloga: u toku gradnje mogu nastati greške; u toku
saobraćaja kolovoz se može deformisati; zbog transporta tereta koji izlazi
iz gabarita prevoznog sredstva.

Primena metoda čeličnog štita kod železničkih tunela: kada treba tunel graditi
ispod gusto naseljenih područja a da su ispunjeni i geotehnički uslovi stenske
mase. Ovakva metoda uslovljava i primenu kružnog oblika.



SLOBODNI PROFIL ZA TUNELE GRADSKOG ŽELEZNIČKOG

SAOBRAĆAJA - METROA

Izbor vozila zavisi od: tehničke opremljenosti metroa, plana trase svih linija,
usvojenih metro sistema.

* Gradski metro (kaca međustanična zastojanja, velika izmena putnika) → kraca
i dinamičnija vozila sa mogućnošću brže promene voznog sastava.

* Regionalni metro (vela međustanična zastojanja) → obično statični i kinematični
gabariti za regionalni metro zadovoljavaju uslove železničkih propisa →
iz ovog tipa vozila vodi se računa o komforu i konstruktivnim standardima
Železnice.

G.)

- * Poprečni profil konstruše se na taj način što se jednom ili više kružnih krivina opisuje obvojnica oko gabarita prevoznog sredstva, a zavisi od namene i uslova sigurnosti.
- * Oblik pop. preseka zavisi od inženjersko-geoloških, hidroloških uslova, visine nadstropa iznad tunnelske konstrukcije, vrste materijala, tehnologije gradjenja.
 - pravougaoni (najčešće za plitvo položene tunele koji se grade u otvorenom iskopu)
 - zasvedeni } uglavnom za duboko položene tunele
 - kružni
- * Velicina poprečnog profila zavisi od broja koloseka (obično jedan ili dva)

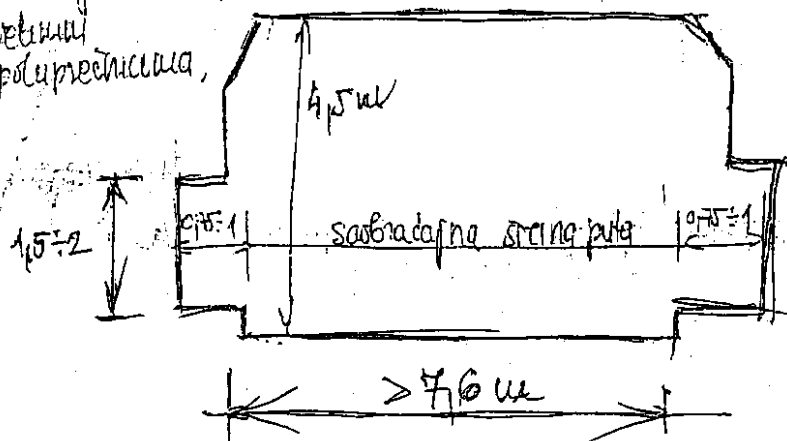
~~42~~ SLOBODNI PROFIL ZA TUNELE ZA PROLAZ PEŠAKA

- * Objeht ispod površine terena koji služe isključivo za prolaz pešaka.
- * Oblik poprečnog profila: zasveden, kružni, pravougaoni.
- * Grad → gušt saobraćaj → brže odvijanje saobraćaja umotno su pešaci prelazi ispod površine.
- * Velicina slobodnog profila zavisi od propusne moći.
 - * Ovi objekti obično ispod ploče imaju prostor za smeštaj komunalnih instalacija → najmanje 3m širine, a visina ispod 2,5m.
 - * Obavezna veštačka osvetljenost.
 - * Vidna površina tako obradena da se može lako održavati čistota.
 - * Potrebno je predvideti i kanal za sakupljanje vode koja se sliva iz zidove tunela

~~43~~ SLOBODNI PROFIL ZA PUTNE TUNELE

- * Slobodan profil putnih tunela zavisi od građevinskih, eksploatacionih, ekonomskih uslova i gabarita vozila.
- * Tehničkim propisima utvrđen je slobodni profil prevoznog sredstva – tovarni gabarit za projektovanje svetlog profila putnih tunela (kao i za železničke tunele).
- * Saobraćajna stina u kolovozu u tunelu za dvosmerni saobraćaj mora da iznosi $\geq 6m$. Ova stina se sastoji od stine dve saobraćajne trake $2 \times 3,5m$ i stine dve ivične trake $2 \times 0,3m$.

Ako je tunel u pravcu, ili ako se nalazi u krivini sa velikim poluprečnicima,



* Visina gagarita konsta. (kolovozne) je min 4,5 m.

* Širina staze za prolaz zapadrenog osebjca $0,75 \div 1$ m, a visina $1,5 \div 2$ m.

(43)

* Poprečni nagib kolovoza u tunelu je jednostupan i ne može biti manji od 15% za tunele u pravcu, a ne treba biti veći od 5%.

* Ukoliko se tunel radi u krivini \Rightarrow visi se proširenje kolovozne trake sa jedne strane u zavisnosti od vrste vozila koja se mimoilaze, poluprečnika krivine.

* $L \geq 1500$ m \Rightarrow dvosmerni saobraćaj \rightarrow proširenje za uklanjanje neispravnih vozila i to posebno za svaku saobraćajnu traku. Proširenja širine 3 m, dužine 40 m, na svakih 700 ÷ 900 m.

* U tunelima većih dužina predviđaju se i proširenja za okretanje vozila.

* $L \geq 1500$ m \Rightarrow dva paralelna tunela \rightarrow na svakih 500 m pomećne veze.

* Proširenja za smeštaj opreme, instalacije ... \Rightarrow boćeno izvan slobodnog profila tunela.

* Velicina pomećnog profila putnog tunela \Rightarrow zavisi od saobraćajne širine tunela, gagarita i potrebnog prostora za pomećni i podužni sistem ventilacije.

* Oblik poprećnog profila putnog tunela \rightarrow zavisi od inženjersko-geoloških, geomehantičkih karakteristika, tehnologije gradjenja, statičnog sistema konstrukcije.

• zasvedeni oblik (unutrašnja kontura konstruisana sa jednim ili više poluprećnika krivina)

• krućnog oblika

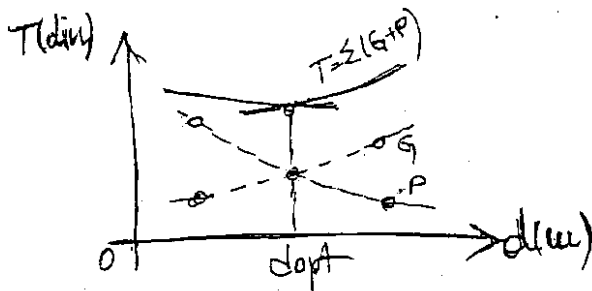
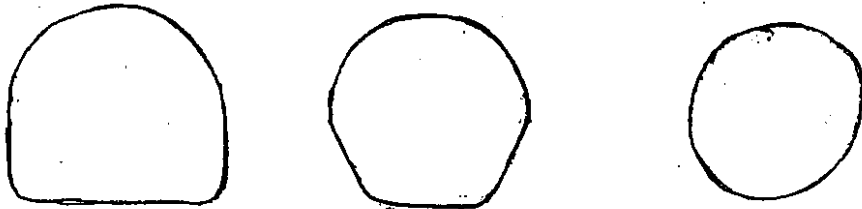


Diagrama veličine preseka i ukupnih troškova

- * poprečni presjek tunela treba da obezbedi najveću propusnu moć pri datom padu i najmanjoj površini pop. preseka, \rightarrow važi i za gravitacione i pod pritiskom
- * bez pritiska ili sa malim pritiskom mogu se projektovati i sa potkovicastim profilom, a pri većem pritisku sa kružnim ili sa najveću propusnu moć (najpovoljniji)
- * pod pritiskom \rightarrow ispitivanje stabilnosti za dve vrste opterećenja \rightarrow u fazi gradnje od opterećenja stenske mase i u fazi eksploatacije od dejstva unutrašnjeg pritiska vode.



38) 46) SLOBODNI PROFIL TUNELSKA KONSTRUKCIJA

\rightarrow Veličina i oblik poprečnog preseka zavisi od:

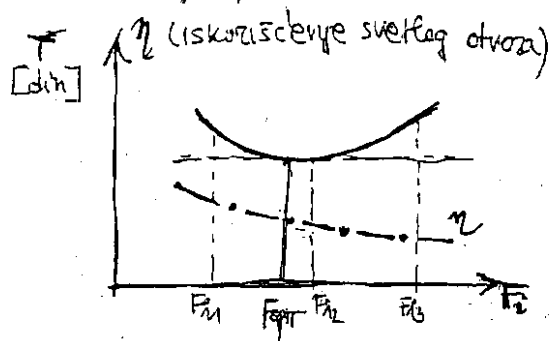
- potrebnog slobodnog profila (svetlog otvora)
(veličina i oblik slobodnog profila zavise prvenstveno od namene tunela)
- vrste i dimenzija tunnelske konstrukcije u zavisnosti od svojstava stenskih masa i veličine svetlog otvora

(ako se tunnelska konstrukcija gradi u čvrstoj steni, bez izrazitih pukotina (granit, porfirit, bazalt, sedimentne i kristalne stene) tunelu se može dati najekonomičniji oblik, a osiguranje iskopane konture se sastoji u tome što će se izvesti samo zaštita stenske mase i to uglavnom priskalnim betonom; a ako se tunel gradi u mekim i nekoherentnim stenama ^{potrebno} osiguranje iskopane konture mora se ugraditi tunnelska konstrukcija od betona, AB ili prefabrikovanih elemenata)

- statičkog sistema konstrukcije
- tehnologije gradnje
- dubine podzemnog objekta od površine terena

\rightarrow Najpovoljniji oblik statičke tunnelske konstrukcije često ne možemo uskladiti sa namenskim profilom. Na osnovu ekonomske analize utvrdjujemo najpovoljniji oblik (ispunjeni i uslovi stabilnosti i minimalni troškovi gradnje).

* Određivanje optimalne površine pop. preseka tunela



Posmatramo više različitih slučajeva sa različitim površinama iskopa F_i i debljinama tunelske konstrukcije, tj. sa različitim površinama betonskih preseka (F_k) u poprečnom preseku tunelskog profila.

$$T = F_i \cdot C_i + F_k \cdot C_k$$

↑
ukupni troškovi na
iskopu i ugrađivanju
konstrukcije

C_i - jedinična cena iskopa tunelskog profila

C_k - jedinična cena betona za konstrukciju

39

47. TUNELSKJE KONSTRUKCIJE OD MONOLITNOG BETONA Ili ŽELEZNICE TUNELI

⊕ Uslon stenske mase se menja ⇒ intenzitet podzemnih pritiskava nije isti po celoj dužini tunela ⇒ bilo bi potrebno da se često menja oblik tunelskog profila i jačina njegove konstrukcije ⇒ ta. promena bi izazvala velike teškoće ugrađivanju ⇒ PRABRANI OBLIK SLOBODNOG PROFILA SE PRAKTIČNO NE MENJA, ON JE ISTI ZA CELU DUŽINU TUNELA, A SAGLASNO VELIČINI PODZEMNIH PRITISAKA MENJA SE SAMO DEBLJINA TUNELSKJE KONSTRUKCIJE.

- u čvrstih stenama ⇒ tunelska konstrukcija od betona, jednake, minimalne debljine i u oporcima i u gornjem svodu ⇒ uloga mu je da zaštiti stenu od atmosferskih uticaja i vode.
- stenske mase sa nižim parametrima otpornosti i deformabilnosti ⇒ debljina gornjeg svoda se postepeno povećava, naročito u oporcima sve do temelja ⇒ nije potrebno graditi podnožni svod
- stenske mase sa nepovoljnijim geotehničkim karakteristikama dužine gornjeg svoda i oporca su povećane, a gradi se i podnožni svod (ova kruta konstrukcija sprečava povećanje stenske mase i priima podzemne pritiske).

⊕ Železnička uprava ⇒ tipski projekti (kako tunele treba graditi)

⊗ Tipski projekat ima šest IVANSKIH PROVA I + VI (tip III ima tu varijaciju, a tip IV dve)

⊗ (I) Ne ugrađuje se obloga od betona ⇒ ali se izliva veli profil od slobodnog za 0,34 da bi se ona mogla eventualno naknadno ugraditi. ⇒ čvrste stene (bazalt, dijabaz, granit, jedn. krečnjaci...)

II Tunnel se projektuje za Q3m kao i u tipu I, ali se odmah radi dogoga radi zaštite od vlage i spoljnih uticaja.

III Varijacija III \Rightarrow debljina svoda 0,45m i ona ostaje konstantna u svim presecima \Rightarrow srednje čvrstine stene: krečnjak, andezit, konglomerat, dolomit...

Varijacija IIIa \Rightarrow debljina svoda 0,45m; debljina u oporcima na horizontalnoj osovini je 0,75m; nema podnožnog svoda već samo razmnoženi sloj debljine 0,1m u nagibu 2% prema kanalu. \Rightarrow trane stene koje nisu tektonske izložene kada nema vode

Varijacija IIIb \Rightarrow isto kao IIIa ali imaju i podnožni svod zbog pojave bočnih putisauna \Rightarrow trane stene sa manjim lakovima i manjom pojavom vode.

IV Varijacija IVa \Rightarrow u temenu 0,6m; u horizontalnoj osovini 0,9m; bez podnožnog svoda \Rightarrow stene kao za III sa srednjom lakovitošću i pojavom srednje količine vode.

Varijacija IVb \Rightarrow iste dimenzije kao IVa ali sa podnožnim svodom \Rightarrow jako ispucale i trane stenske mase.

V u temenu 0,75m; u horizontalnoj osovini 1,05m; a debljina podnožnog svoda je 0,6m \Rightarrow jako ispucale i trane stene sa jakim puticajem vode; kompaktna gлина sa malom pojavom vode; raspadnute stene sa malom pojavom vode; stene sa slabom kohezijom ali bez vode. (sljunač, pesak, les)...

VI u temenu 0,9m; u horizontalnoj osovini 1,2m; podnožni svod 0,75m \Rightarrow u stenskim masama koje budu (lapori, gлина, škrilci, anhidrit) gde je pac mliv vode; u suvom žilovom pesku bez vode; u rastresitoj zemlji; slabo vezanom sljuni sa pacu mlivom vode.

* U još nepovoljnijim stenskim masama primenice se i tip VII \Rightarrow u temenu 1,05m; u horizontalnoj osovini 1,35m; podnožni svod 0,9m \Rightarrow živi pesak sa velikom količinom vode; glinovite partije sa "sočivima" ispunjenim nestabilnim rekoim i vodom...

OD MONOLITNOG BETONA

40) 4. TUNELSKA KONSTRUKCIJA ZA PUTNE TUNELE

Poprečni presezi putnih tunela su uglavnom različit, za razliku od železničkih profila gde je slobodan profil strogo definisan.

Putni tuneli se projektuju posebno, za konkretne saobraćajne uslove.

Dimenzije tunelske konstrukcije zavise od saobraćajne širine kolovoza, kategorije puta, specifični uslovi ventilacije i signalno-sigurnosni inetaq, odgovarajućeg statičkog sistema, stenskih karakteristika...

⊗ Dva osnovna oblika montažnih elemenata -)

- Tunelska konstrukcija je završena završenim procesom montaže i kontaktiraju injekcijom. U ovom slučaju je konstrukcija u stanju da primi podzemne pritiske.

- Primarna konstrukcija (podgrada) koja prima podzemne pritiske i omogućava izradu druge unutrašnje obloge. Na ovaj način se postiže kvalitetna izrada, vodonepropustljivost, glatke površine, izrada III je moguća.

⊗ Montažni elementi mogu biti ->

- od livenog gvožđa

- od čelika

- od AB

(Isprobaju se i novi materijali kao
npr. polimer betoni)

42. 50. MONTAŽNI ELEMENTI OD LIVENOG GVOŽĐA ZA KONSTRUKCIJE SA OBRADAŽNIM TUNELIMA

- Montažni elementi od livenog gvožđa su oblika kasete.

- Konstrukcija tunela predstavlja cilindar sastavljen od niza prstenova istog tipa i veličine.

- Tunelski prsten se gradi od n elemenata koji su u podužnom pravcu i poprečnom preseku povezani međusobno zavrtanjem.

- Razlikujemo segmente:

- tipa A - standardnog oblika sa spojnicama radijalnog pravca

- tipa B - nalaze se sa obe strane ključnog = završnog elementa \Rightarrow na jednom kraju je radijalni pravac spojnice, a na drugom kraju odstupa od radijalnog pravca za ugao δ .

- tipa C - završni element koji se postavlja u gornjem delu prstena \Rightarrow spojnice na oba kraja neradijalnog pravca i omogućavaju zatvaranje prstena.

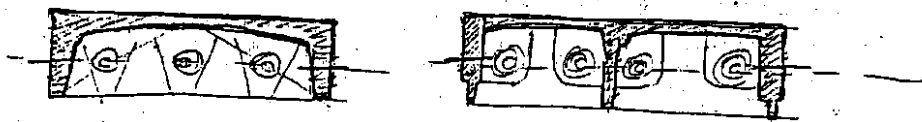
- Završni element se uvek postavlja u gornjem delu prstena zato što se pri montaži usled sopstvene težine prste elementi odstupaju od kružnog preseka.

- Raspored kasetiranih elemenata je - Raspored zavrtanja je uvek na istom razmaku radi spajanja susjednih elemenata prstenova na u koji uređuju odnosu se oni nalaze.

- Svaki montažni element osim završca, ima otvor koji služi za ubacivanje injezione mase. Spojnice se zatvaraju posle drugog injektiranja, odnosno posle deformacije tunela.

10.1

- Ukupna visina montažnog elementa d zavisi, pored ostalih uticaja, i od veličine prečnika D slobodnog profila: $d = 0,033D$
- U zavisnosti od podzemnih pritiska montažni elementi mogu biti različitog oblika i dimenzija.



- Montažni elementi su nepropustljivi za vodu.
- Redosled ugrađivanja montažnih elemenata

A	A	B	C	B	A	A
	A	B	C	B	A	A
A	B	C	B	A		
	A	B	C	B	A	

Pomeranjem završnog elementa dobija se da poduzne spajnice leže po istoj ravnici, već su elementi povezani po principu "PREVEZAN" \Rightarrow tako se poduznom vezom ostvaruje ravna kruta konstrukcija u tom pravcu.

- Elementi od livenog gvožđa su skupi i neophodna je zaštita od korozije.

43) 51. MONTAŽNI ELEMENTI OD AB ZA KONSTRUKCIJE SPROBAČNIH TUNELA

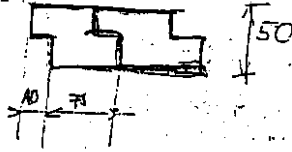
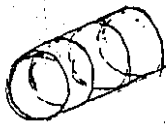
- usleda u materijala
- brzo građenje
- industrijski način rada
- bolji i ujednačen kvalitet

* Svi AB elementi mogu se klasifikovati u dve osnovne grupe \Rightarrow

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - prema tipu veze 1.) montažni elementi sa zglobnom vezom (ne prima savijanje) 2.) montažni elementi povezani zavrtanjem, kruta | <ul style="list-style-type: none"> - prema konstruktivnom rešenju elementa 1.) blok elementi (pun presek) 2.) rebrasti sa pločom |
|---|---|

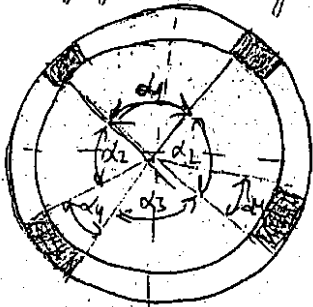
MONTAŽNI AB ELEMENTI SA ZGLOBNOM VEZOM KOJA NE PRIMA MOMENTE SAVIJANJA

Montažni elementi su na krajevima stepenasto zasjeceni tako da se ostvari je nateganje sledećeg prstena. Prstenovi se ugrađuju bez povezivanja sa susjednim.

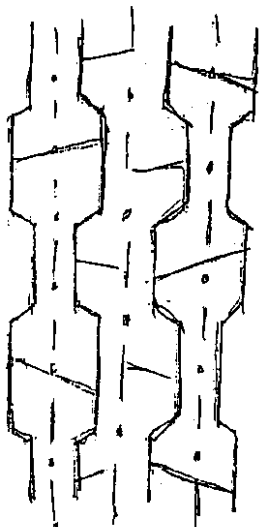


Prsten \Rightarrow podeljen na blokove = elemente. Zavisno od veličine pop. preseka broj montažnih elemenata je $3+1$, $5+1$ i $7+1$ u jednom prstenu.

Gornji element ima najveći ugao α_1 i najduži je i on se prvo postavlja. Zatim se postavlja bočni elemen sa centralnim uglom α_2 ($\alpha_2 < \alpha_1$). Na kraju se postavlja donji element sa centralnim uglom α_3 ($\alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_1$). Između podnožnog elementa i bočnih ostaje prostor pod uglom α_4 koji se popunjava betonom, a veza između njega i bočnog elementa ostvaruje se pomoću armature (zavrtanje).



Međusobna veza elemenata može se ostvariti njihovim posebnim oblicima tako da se priklonom montažom celog prstena obavi prstena veza. \Rightarrow Hpr.

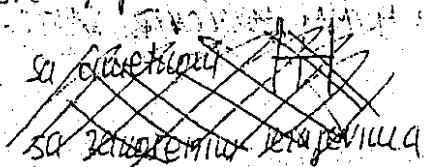


"osmice" sa nešto zakusjenim ivicama

\Downarrow
element dva susjedna prstena
u istoj stoji prostornim delovima
u odgovarajućim udubljenja drugog
elementa

Montažni elementi (AB) sa zglobovima vezom \rightarrow neznatni ekscentricitet montažnih sila u zglobovima i manje momente u elementima između zglobova \Rightarrow manje debljine elemenata.

- Vrstje spojeva AB blok elementata



čvrst

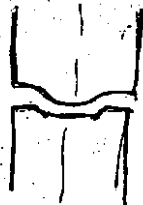
sa zadrževanji krajema

sa umetnoui

sa valjkastim umetnoui



spojnica cilindričnog oblika



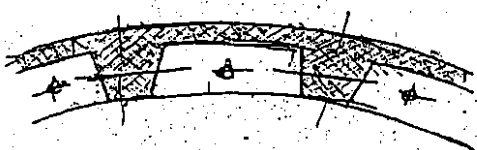
pločama



⊗ MONTAŽNI AB ELEMENTI MEDUSOBNO POVEZANI ZAVRTNJEVIMA ⇒

Slične su konstrukcija od livenog gvožđa. I ovdje razlikujemo elemente tipa A, B i C.

Zavrtnjevi ovih tunelskih konstrukcija od AB elementa rebrastog preseka povezuju elemente u poprečnom i podužnom pravcu, čime se postize čvrstost montaže.



- Medusobno povezivanje se vrši sa 3-4 zavrtnjima u dva pravca

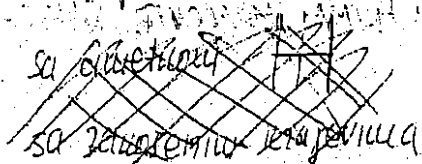
- Otvori za zavrtnjeve su zaštićeni čeličnim cevima preko kojih dolazi podložna pločica

* Rebrasti presek ima sledeće karakteristice: smanjuje se težina betona, lakši transport i montaža, tačna montaža jer su elementi povezani u dva pravca, zavrtnji element se postavlja kada i svi u sistemu pa se smanjuje dužina cimetaca štita.

* Nedostaci rebrastog preseka: povećana težina armature u odnosu na blok element, veća vodopropustljivost, povećanje otpora strujanju vazduha pri ventilaciji, nagležnost čelika rebra priklonu montaže.

⊗ KOREKCIONI MONTAŽNI ELEMENT ⇒ primenjuju se kada je osovina tunela od krivina ili kada čelični štiti odstupa od projektovanog pravca. Za njih se rade posebni kalupi koji su dosta skupi. Svi su elementi po trapezastog oblika.

- Vrste spojeva AB blok elemenata



razvan



sa zaustavljenim krajevima



sa valjkastim umetkom



spojnica cilindričnog oblika



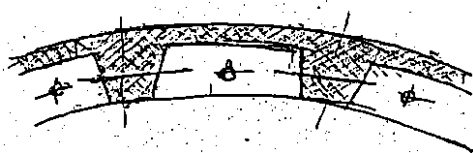
pločama



⊗ MONTAŽNI AB ELEMENTI MEĐUSOBNO POVEZANI ZAVRTNJEVIMA ⇒

Slične su konstrukcija od livenog gvožđa. I ovde razlikujemo elemente tipa A, B i C.

Zavrtanje ovih tunnelskih konstrukcija od AB elemenata rebrastog preseka povezuju elemente u poprečnom i podužnom pravcu, čime se postize čvrstost montaže.



- Međusobno povezivanje se vrši sa 3-4 zavrtanja u oba pravca

- Otvori za zavrtanje su zaštićeni čeličnim cevima preko kojih dolazi podložna pločica

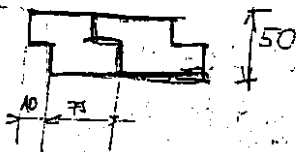
* Rebrasti presek ima sledeće karakteristike: smanjuje se količina betona, lakši transport, montaža, čvrsta montaža jer su elementi povezani u dva pravca, zavrtani element se postavlja kada i svi u postenu pa se smanjuje dužina osovina štita.

* Nedostaci rebrastog preseka: povećana količina armature u odnosu na blok element, veća vodopropustljivost, povećanje otpora strujanja vazduha pri ventilaciji, uslovnost loma rebrastog preseka pri velikim montazama.

⊗ KOREKCIONI MONTAŽNI ELEMENTI ⇒ Primenjivi se kada je osovina tunela od krivina ili kada čeloni štiti odstupa od projektovanog pravca, za njih se rade posebni kalupi koji su dosta skupi. Svaki element je trapezastog oblika.

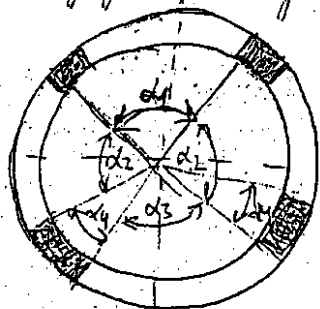
Montažni AB elementi sa zglobnom vezom koja ne prima momente savijanja

Montažni elementi su na krajevima stepenasto zasječeni tako da se ostvari položaj sledećeg prstena. Prstenovi se ugrađuju bez povezivanja sa susjednim.

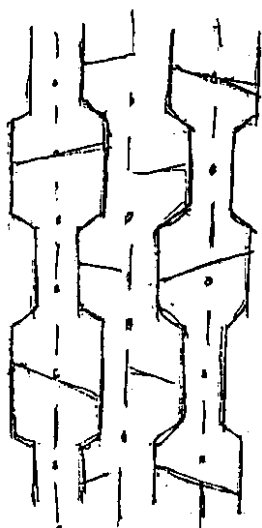


Prsten \Rightarrow podeljen na blokov = elemente. Zavisno od veličine pop. preseka broj montažnih elemenata je 3+1, 5+1 i 7+1 u jednom prstenu.

Glavni element ima najveći ugao i najduži je i on se prvo postavlja. Zatim se postavlja bočni elemen sa centralnim uglom α_2 ($\alpha_2 < \alpha_1$). Na kraju se postavlja podnožni element sa centralnim uglom α_3 ($\alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_1$). Između podnožnog elementa i bočnih ostaje prostor pod uglom α_4 koji se popunjava betonom, a veza između njega i bočnog elementa ostvaruje se pomoću armature (zavrtanje).



Međusobna veza elemenata može se ostvariti njihovim posebnim oblicima tako da se priklonom montažom celog prstena obrazuje prostorna veza. \Rightarrow Hpr.

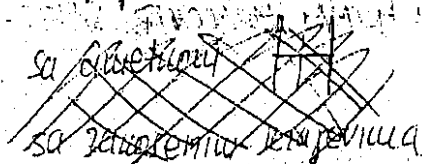


"osvice" sa nesto zakosjenim ivicama

\downarrow
elementi dva susjedna prstena
ulaze svojim pojačanim delovima
u odgovarajuća udubljenja drugog
elementa

Montažni elementi (AB) sa zglobnom vezom \rightarrow neznatan ekscentricitet montažnih steza u zglobovima i manje momente u elementima između zglobova \Rightarrow manje debljine elementata.

- Vrste spojeva AB blok elemenata



čvrst

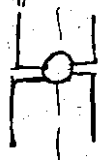


sa umetkom

sa zategnutim krpjenima



sa valjkastim umetkom



spojnica cilindričnog oblika



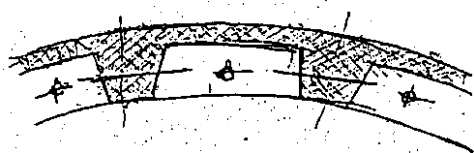
pločasta



⊗ MONTAŽNI AB ELEMENTI MEĐUSOBNO POVEZANI ZAVRTNJEVIMA ⇒

Slične su konstrukcija od livenog gvožđa. I ovde razlikujemo elemente tipa A, B i C.

Zavrtjevi ovih tunnelskih konstrukcija od AB elemenata rebrastog preseka povezuju elemente u poprečnom i podužnom pravcu, čime se postiže tačnost montaže.



Medusobno povezivanje se vrši sa 3-4 zavrtinja u oba pravca

Otvori za zavrtjeve su zaštićeni čeličnim cevima preko kojih dolazi podložna pločica

* Rebrasti presek ima sledeće karakteristike: smanjuje se težina betona, lakši transport, montaža, tačna montaža jer su elementi povezani u dva pravca, zavrtjni element se postavlja kada i svi u prostoru pa se smanjuje dužina ometaca štita.

* Nedostaci rebrastog preseka: povećana težina armature u odnosu na blok element, veća vodopropustljivost, povećanje otpora strujanja vazduha pri ventilaciji, mogućnost loma rebra pri velikom opterećenju.

⊗ KOREKCIONI MONTAŽNI ELEMENTI ⇒ Primenjuju se kada je osovina tunela od krivina ili kada čelični štiti od preklapanog pravca. Za njih se rade posebni kalupi koji su dosta skupi. Svaki element je trapezastog oblika.

- Pod oblogom hidrotehničkog tunela pod pritiskom podrazumeva se integralna ponosna celina koju sačinjavaju: betonska ili AB konstrukcija, odelna stenska masa i sve tehničke mere primenjene u cilju obezbeđivanja vododrživosti i stabilnosti.
- Osnovna fra. obloge \Rightarrow obezbeđenje protoka odredene količine vode pod uslovima eksploatacije \Rightarrow a za ispunjenje uslova je neophodna vododrživost, stabilnost tunela i propisana zapornost okvašene površine.
- Ukoliko je stenska masa tunela vododrživa \Rightarrow betonska obloga mora da ispunji hidrauličke uslove i stabilnost.
- Ukoliko je stenska masa vodopropusljiva \Rightarrow betonska obloga mora da ispunji hidrauličke uslove i stabilnost uz dodatne tehničke mere za obezbeđenje vodonepropusnosti.
- Tehničko rešenje zat. obloge zavisi od tehnologije gradjenja.
- Nove metode \Rightarrow postize se bolje sadejstvo betonske obloge i stenske mase, uz eventualne dodatne mere.
- Konstrukcije hidrotehničkih tunela mogu biti nearmirane, armirane, zat. i obloge sa slojem armiranog ili nearmiranog torzeta, betonske obloge sa specijalnim izolacijama.
- Ete. Obloge se dimenzionisu (uzimajući u obzir sadejstvo betona i stenskih masa) tako da se ne dozvoljava pojava prsline ni pri najnepovoljnijoj kombinaciji opterećenja (unutrašnji pritisak vode, skupljanje betona i temperaturna promena).
- Obloga mora biti proverena na opterećenja od podzemnog pritiska i spoljnog pritiska vode kada je tunel razan i u fazama gradjenja.
- Mora se proveriti i vododrživost.

* Neobloženi tuneli pod pritiskom:

Letac se izvede. Uslov: čvrsta i kompaktna stenska masa, poznavanje njenih mehaničkih karakteristika, stepena ispucalosti i provera vododrživosti (tunel ili deo tunela se ispunji zatvori, ispunji vodom i pod odgovarajućim pritiskom meri gubitak vode).

* NEARMIRANE JEDNOSLOJNE BETONSKJE OBLUGE:

Ove obloge se isvajaju za tunele kod kojih ^{su} naponi zatezanja u betonu ~~u~~ u granicama dozvoljenih $\sigma_{\text{bet}} \leq 1000 \text{ kN/m}^2$ (nebet).
 Primenjuju se u čistim stenskim masama u kojima se može formirati i kružni oblik tunela projektovanih dimenzija. (12.)

Min dimenzije obloge = min debljina betona koja se može izvesti oplatom u
uslovima gradnje = 25 ili 30 cm.

* ARMIRANE JEDNOSLOJNE BETONSKE OBLOGE:

$G_b \leq 2000 \text{ kN/m}^2$ (stenske mase nizih deformacionih karakteristika)

Izvojnija je sa gledišta statiko-konstruktivnih zahteva \Rightarrow njenom primenom se
povećavaju svojstva betona pri zatezanju, otvori postaju su manji, bolja
vodootpornost.

Izve uohtiranje i veći cema.

* DVOSLOJNA BETONSKA OBLOGA:

Primarna - spoljna obloga prima opterećenje od spoljnih pritiska, omogućuje je
izvjetnu izadu sekundarne - unutrasnje obloge.

Spoljna obloga se po pravilu radi od betona čvrstog na lici mesta, dok je drugi
od AB ili nearmiranog betona, ili sa armiranim torzitetu.

Skuplje, gradnje faze duže i primenjuje se samo na određenim
deonicama sa nerovnomernim svojstvima stenskih maza.

(45) 53. KONSTRUKCIJE OD NEOBLOŽENOG BODNA- GRAVITACIONI-HIDROTEHNIČKI TUNELI

Može se uspostaviti analogija između gravitacionih hidrotehničkih uslova tunela
sa tunelima za potrebe saobraćaja. Međutim mogu se sprovesti mere za povećanje
vodonepropustljivosti, kao što su: izbor optimalnog granulometrijskog zastava, čvrste
Proizvodnje cementa, povećanje učestća aritira, injektiranjem...

* NEOBLOŽENI GRAVITACIONI TUNELI:

Važe potpuno isti uslovi kao za neobložene hidrotehničke tunele pod pritiskom.
Posebnu grupu tehničkih rešenja predstavljaju tuneli koji se grade u čvrstim stenskim
masama. Moguće je betoniranje samo donje ploče debljine 25 cm, ili ako je
potrebno osigurati konturu gornju gradi se samo gornji svod, a bočne strane
oblažu se betonom debljine 20 cm ili mskanim betonom po potrebi.

* NEARMIRANE I ARMIRANE JEDNOSLOJNE OBLOGE

Nearmirane jednoslojne obloge se obično rade u čvrstim stenskim masama i uslovi
u hidrotehničkim uslovi ispunjeni najbolje je da unutrasnje konture oporaca budu
vertikalne. Super bi bilo i da spoljna kontura oporaca bude vertikalna i
oporaci imaju konstantnu debljinu.

Ukoliko se tunel gradi u meklim stenama unutrasnja kontura treba oporaca
treba da se određena poluprečnikom krivine vodeći računa o hidrotehničkim uslovima.

Debljina svoda u temenu $d_0 \geq 25 \text{ cm}$, a u horizontalnoj osnovini $d_1 = d_0 + AC$
 AC - vrednost pomeranja horizontalne osnovine odnosno centra.
 Na taj način se dobija postupno povećanje obloge.

④ Gravitacioni tuneli ako to zahtevaju uslovi sredine, hidroličke, tehnologije gradnje zide se kaučnog preseka.

46) 54) KONSTRUKCIJE HIDROTEHNIČKIH TUNELA POD UNUTRAŠNIM PRITISKOM PRIMEKOM MEHANIČKIH SISTEMA PREDNAPREZANJA

Kod konstrukcija sa unutrasnjim pritiskom usled dejstva hidrauličkog pritiska, merodavni su naponi zatezanja. Beton ima relativno malu čvrstoću na zatezanje, a visoku čvrstoću na pritisak. Da bi se ta čvrstoća na pritisak iskoristila, raznim metodama betonska obloga se methodno (me punjenja) dovede u stanje pritiska. To se postiže na dva načina:

1.) metode gde se prednaprezanje postiže mehaničkim pritis sredstvima

- sistem kunc
- sistem Wayss i Freytag
- sistem Dyckerhoff i Widmann
- sistem prednapregnutih prefabrikovanih elemenata

2.) metode gde se prednaprezanje postiže injektiranjem

- sistem Kieser - Berger
- sistem sa direktnim injektiranjem zone stenske mase oko tuneleskog otvora sa visokim injektorim pritiscima

④ PREDNAPREZANJE MEHANIČKIM SREDSTVIMA:

1) SISTEM KUNC \Rightarrow

Polazi se od toga da se u stenskoj masi posle iskopa kaučnog preseka pojavljuju naponi zatezanja u temenu i podnožnom svodu. U nearmiranoj betonskoj oblogi u temenu svoda i podnožnom svodu izazivaju se naponi pritiska putem pritisnih jastuka. Jastuci su međusobno povezani tankim cevima, što omogućuje istovremeno prednaprezanje tuneleske obloge na većoj dužini. Debljina obloge na mestima postavljanja jastuka je veća.

2) SISTEM WAYSS I FREYTAG \Rightarrow

Prednaprezanje se vrši svežnjemivim celocilindričnim žicama, raspoređenim po polovinama ili po trećinama kruga i tako da su krajevi povigneni prema svetlom profilu tunela. Na mestima preklapanja svežnjeva tuneleska konstrukcija se graniči.

3. SISTEM DYCKERHOFF I WIDMANN =>

Elementi za prednaprezanje se sastoje od čeličnih šipki koje se uvlače u obvojne cevi po celom obimu ili po delovima prstena. Hidrauličnim ^{stisakom} mehanizacijom se vrši zatezanje čeličnih šipki. Mesta gde se postavljaju 2. preseke se posle sidrenja šipke, očišćavanja betonske obloge i posle injektiranja obvojnih cevi, ispunjavaju cementnom malterom.

47. 55. SISTEM I PREDNAPREŽANJE PREDFABRIKOVANIM ELEMENTIMA

Sistem mehaničkog prednaprezanja...

Prednaprezanje se vrši van tunela na prefabrizovanim elementima obloge i vrši se čeličnim žicama. Prednost: prednaprezanje pouzdano i kvalitetno, a nedostatak je u težini pojedinih komada i njihovom transportu i ugrađivanju. Ovaj metod nije našao široku primenu.

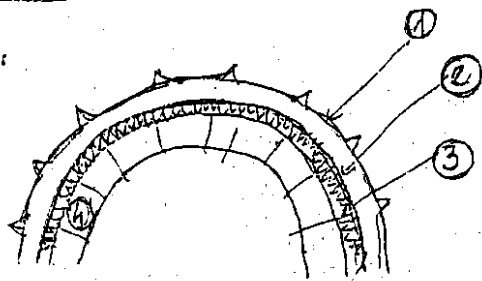
48. 56. KONSTRUKCIJE HIDROTEHNIČKIH TUNELA POD UNUTRAŠNjim PRITISKOM PRIMENOM PREDNAPREŽANJA OBLOGE INTERGRANDEM

1. SISTEM KIESER-BERGER:

U prvof fazi se izradi betonski prsten u koji se postize pravilan vanjski presek i osiguruje prijem podzemnih pritiska. Pod zaštitom izradenog prstena ostavlja se prostor između već izradene betonske obloge i unutrašnjeg prstena. Unutrašnji prsten se dovodi u stanje prednaprezanja injektiranjem prostora između dve obloge. (npr. prazan prostor se može postići upotrebom prefabrizovanih elemenata sa radnim šankom)

Prednaprezanje se izvodi u pet radnih faza:

- 1.) ubrizgavanje vode samo radi kvašenja međuprostora
- 2.) injektiranje grubim malterom pod malim pritiskom do potpunog zatvaranja prostora između dve obloge.
- 3.) injektiranje cementne suspenzije sa postupnim povećanjem pritiska do predviđene zavisne vrednosti
- 4.) uključivanje dovoda sa vodom pod istim pritiskom
- 5.) naknadno injektiranje cementnom suspenzijom pod visokim pritiskom radi popunjavanja eventualnih suplina u međuprostoru.



- ① - stenska masa
- ② - bet. izravnavni prsten
- ③ - prazen prostor "zazor" za injektiranje
- ④ - unutrašnji prsten

Ova metoda je često preskupa.

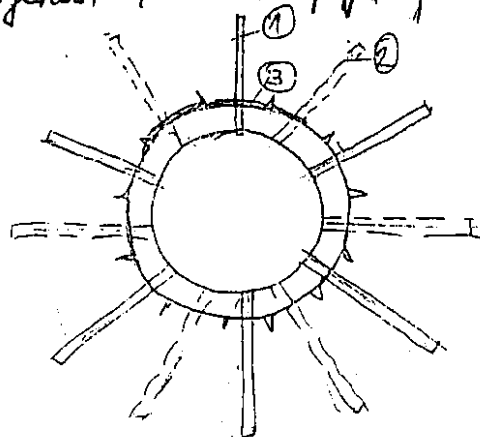
2. SISTEM PREDNAPREZANJA TUNELSKJE OBLUGE INJEKCIJOM STENSKE MASE VISOKIM PRITISCIMA

Prednaprezanje tunnelske obloge visokim injekcijskim pritiscima se postize kada se u injektiranoj zoni razovu naponi željene velicine koji se prenose po dubini stenske mase, uz istovremeno dovođenje betonske obloge u stanje pritiska.

Pre početka naponskog injektiranja neophodno je uraditi kontaktno injektiranje kojim se popunjavaju sve šupljine između stenske mase i oblog, i obezbjeđuje njihov neposredni kontakt.

Naponskim prednaprežanjem se oko tunela stvara zona sa povećanim naponima pritiska (i radialnim i tangencijalnim). Ti naponi pritiska se prenose sa stenske mase na tunnelsku oblogu razvijajući u njoj napone pritiska. Pri tome stenska masa trpi deformacije \Rightarrow dolazi do povećanja zela pukotina u kojima se nalazi injekciona masa pod pritiskom. Kada se injektiranje završi, injekciona masa ostaje kruta i suprotstavlja se smanjenju velicine pukotina.

duž naponskim injektiranjem pored prednaprežanja tunnelske obloge postize se i: stenska masa se konsoliduje, povećava joj se krutost, smanjuje se heterogenost i anizotropija, smanjuje se vodopropustljivost.



③ - kontaktno injektiranje

\leftarrow razpored injekcionih bušotina za naponsko injektiranje

49) (57.) KONSTRUKCIJE HIDROTEHNIČKIH TUNELA OD MONTAŽNIH ELEMENTA

- Montažni elementi se primenjuju za hidrotehničke tunele sa unutrašnjim pritiskom i gravitacione.
- Načinom iskop \Rightarrow ugrađivanje montažnih elemenata pod zaštitom celanog osovotaca.
- Između razor između iskopane konture i konstrukcije (obloge) tunela.
- Velicina tog razora zavisi od debljine celanog osovotaca.
- Razor se odmah posle ugrađivanja svih elemenata popunjava šljunkom.
- Injektiranje se obavlja kasnije nezavisno od procesa iskopavanja, ili se injektiranje vrši odmah posle montažiranja celokupnog tuneleskog preseka.
- Od načina zaptivanja razora zavisi i delovanje podzemnog pritiska.
- Krute, malo deformabilne stene \Rightarrow u periodu ugrađivanja jednog od šljunka do injektiranja proces konvergencije se potpuno obavi (delovanje podzemnog pritiska) \Rightarrow obloga ne prima opterećenje od podzemnog pritiska već služi kao dopunska sigurnost.

⊕ Za hidrotehničke tunele sa unutrašnjim pritiskom bitan element je stvaranje spojnica. Razlikuju se dva osnovna slučaja:

a) Iskop tunela u vododrživim sredinama uz oblaganje montažnim elementima (stvaranje spojnica radi izjednačavanja spoljašnjeg i unutrašnjeg pritiska).

đ) Iskop tunela u vodopropusnim stenskim masama, a obloga je od montažnih elemenata.

(betonska obloga mora da prevaziđe funkciju vododrživosti. Kod montažne obloge problem se svodi na obezbeđivanje vodonepropusnosti spojnica između elemenata.

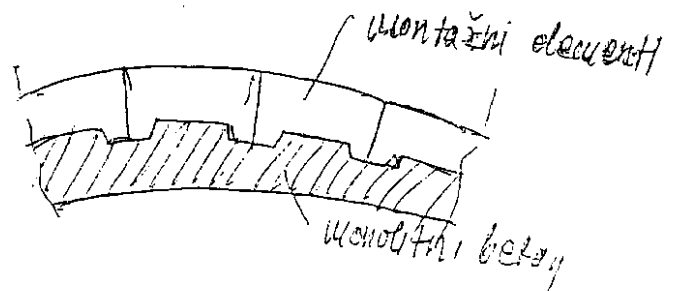
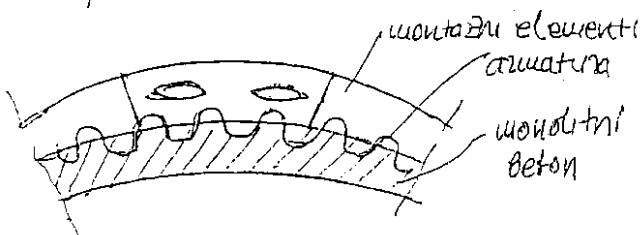
Spojnice \Rightarrow radijalne (upravne na osu tunela) i podužne (paralelne sa osom tunela).

Otvoranje radijalnih spojnica \Rightarrow kada se u montažnim elementima, usled delovanja unutrašnjeg pritiska vode i usled smanjenja temperature obloge, javi naponi zatezanja. Usled unutrašnjeg sedajstva pritiska vode znatno se odvajaju samo podužne spojnice.

⊗ Građenje hidrotehničkih tunela \Rightarrow dosadašnja tehnika vezenja su od dvoslojne obloge:

1) primarna \Rightarrow AB montažni elementi

2) sekundarna \Rightarrow monolitni beton



50 58. TUNELSKI PORTALI

- ulazni i izlazni delovi tunela počinju i završavaju se posebnim objektima koji su na granici između tunelske cevi i međuseka. = PORTALI.
- Sastavni deo portalnog zida je tunelska konstrukcija dužine 2-4m. Taj deo tunelske konstrukcije koji je u sklopu portalnog zida zove se portalni prsten. Dimenzije portalnog prstena su veće od početne tunelske konstrukcije.
- Ako se tuneli grade u čvrstim stencima koje nisu podložne raspadanju tunelski portalni zid može izostati, ali se zato izvlači samo tunelski prsten.
- Meke stene \Rightarrow mora se uraditi potporni zid - portal.

Gornji sved u portalnom zidu prstenu leži na lice portala pod pravim uglom. Iz tog razloga na tom delu portalnog prstenu tunel ima promenljiv mek sa postepenim prelazom od normalnog slobodnog profila ka većem profilu na portalu.

Na portalnom zidu istice se portalni venac konstantne širine (obično 60 cm) po celom obimu tunelskog otvora, i leži u ravni zida za 10 cm.

Viš venca se završavaju takozvanim završecima, koji je 10-15 cm viši nego sam venac.

- Oskovna fja portala je da u fazi eksploatacije obezbedi stabilnost ulaznih i izlaznih deonica, kao i zaštitu ovih delova od eventualnih odrona. U fazi gradjenja \Rightarrow naročito u mekim stencima \Rightarrow bezbedniji ulazak u brdski masiv.

59 PRIMENA KLASIČNIH METODA RUDARSKIH TEHNIKE GRADENJA PODZEMNIH OBJEKATA

- ① Rudarske metode gradjenja pripadaju ranijem periodu razvoja tunelogradnje, i na iskustvima tih metoda razvijali su se novi ispunjeniji načini gradjenja tunela.
- ② Za njih je karakteristična primena potkopa, sukcesivni postupak iskopa i betoniranja pojedinih delova tunelskog sistema. Redosled tih postupaka je različit, u zavisnosti od primenjene metode gradjenja.
- ③ Sve klasične metode gradjenja mogu se podeliti u dve grupe:
 - 1) metode čijom primenom se sukcesivno otvaraju tunelski profili, a odmah zatim betoniraju pojedini konstruktivni elementi, dok se ceo profil u jednom prstenu ne završi. (belgijska, nemačka i italijanska metoda)
 - 2) metode kojima se najpre sukcesivnim postupkom uradi iskop celog sistema u jednom profilu i odmah zatim se vrši betoniranje tog sistema.

(Klasirana austrijska / engleska metoda gradjenja)

⊗ Nedostaci klasičnih rudarskih metoda:

+ sporo napredovanje radova

+ ne može se postići sadržajstvo tunelske konstrukcije i stenske mase (osiguravanje iskopane konture se vrši drvenom podgradnjom)

+ šuma

+ teska

51. 60. TUNELSKI POTKOP, NJIHOV OBLIK, MESTO I VELIČINA U TUNELSKOM PROFILU

* Klasirana metoda gradjenja tunela uvek počinje izradom potkopa.

* Za vreme rada to je jedna od faza sukcesivnog otvaranja tunelskog profila.

• služi za transport materijala i prikupljanje i odvođenje podzemne vode pripremanim kanalima

• kroz potkop se postavljaju ventilacione cevi, električni vod za osvetljavanje tunela

• služi za obeležavanje tunelske ose i kao istražna galerija

* Poprečni presek potkopa:

1.) pravougaoni (čvrsta ili trošna stena)

2.) trapezni (stenske mase sa nepovoljnim parametrima otpornosti i deformabilnosti; povoljniji je gde imamo veće podzemne pritiske jer je kavanfaza manjeg raspona)

* Veličina potkopa mora zadovoljiti uslove transporta (veličine transportnih sredstava) i bezbednog prolaska radnika.

* Položaj potkopa:

1.) donji potkop \Rightarrow u tunelskoj osi, u donjem delu tunelskog profila, u nivou tunela

2.) gornji potkop \Rightarrow u tunelskoj osi, ali iznad debljine tavanog svoda

3.) van tunelske ose, postavljen levo ili desno na mestu oporuka (hemiradna metoda)

4.) centralni potkop \Rightarrow u sredini tunelskog profila (neke američke metode)

* donji potkop \Rightarrow veličina pop. preseka $6 \div 8 \text{ m}^2$

gornji potkop \Rightarrow veličina pop. preseka $4 \div 6 \text{ m}^2$

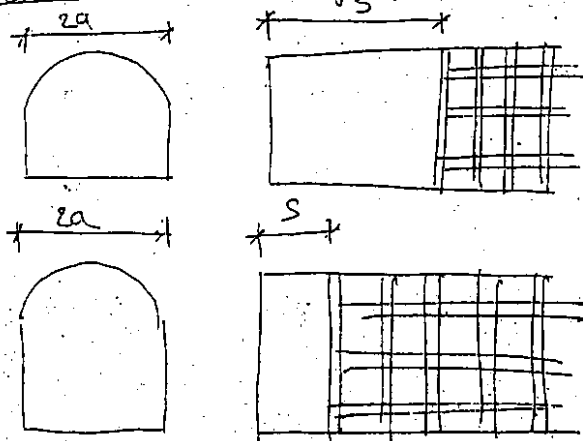
* Iako je potkop prva faza klasičnog načina gradjenja, on se u izvesnim slučajevima ne može postaviti i u današnjim uslovima gradjenja tunela.

61. PRINCIP NOVE AUSTRIJSKE METODE

"NATM" - NOVA AUSTRIJSKA TUNELSKA METODA

- * Preduslov za primenu ove metode je da stenska masa bude stabilna posle iskopa u neimenovanoj razmaku ~~da se zado~~ potrebnoj da se zado osiguranja izvrše.
- * Osnovna karakteristika primene ove metode je upotreba torzeta i prskanog betona, a u određenim slučajevima i ojačanje konture ugrađivanjem ankera i rešenata.

* U zavisnosti od svojstva stenskih masa osiguranje tunelskog profila može da sledi na većem ili kraćem rastojanju S od čela iskopa.



$S > 2a$ stene sa većim parametrima stabilnosti i otpornosti

$S < 2a$ stene sa nižim parametrima stabilnosti i otpornosti

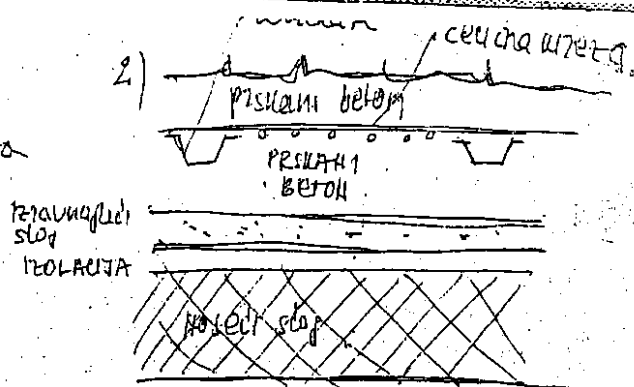
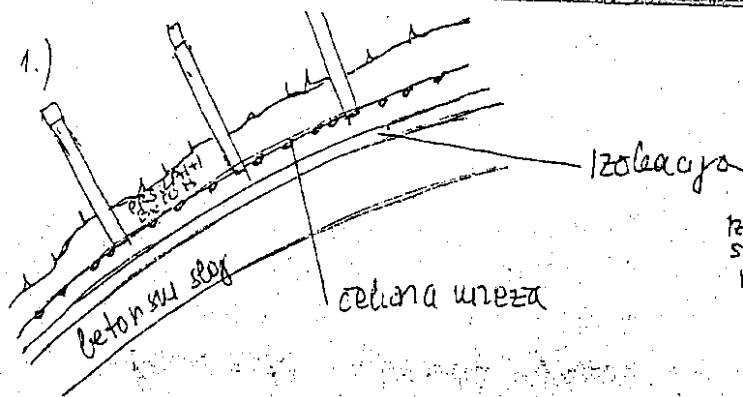
* U zavisnosti od pravca pužanja stenskih masa u odnosu na tunelski profil ankeri mogu imati različite pravce i položaje. Velicina površine čupanja zavisi od položaja pravca ankera u odnosu na slojevitost. Najveća sila čupanja se javlja ako su sidra upravna na pravac pužanja slojeva. Mora se voditi računa, bilo da se ankeri postavljaju u nižu ili narušeniju, o njihovom međusobnom razmaku da ne bi došlo do presecanja površina čupanja.

* Posle izvršenog iskopa u stenskoj masi nastaje novo naponsko stanje, a ravnoteža se postiže ugrađivanjem obloge (stenska masa slabijih fizičkih osobina) ili bez tunelske obloge (čvrste, stabilne stene).

* Dva različita slučaja osiguranja iskopane konture po NATM:

- 1) kada stena ima veći stepen stabilnosti primenjuje se prskani beton sa uvezastom armaturom i osiguranje ankerima
- 2) kada stena ima niže parametre otpornosti, prvo se nanese sloj prskanog betona, pa se postave rešenata (čelični lučni nosači) na rastojanju $1 \div 1,3 m$, pa uvezasta armatura i drugi sloj prskanog betona. Tada je potreba, neophodan i podnožni svod i deo opreka od čvrstog betona određene MB.

* Uvek je potrebno uradi se i HI.



53) 62. GRADENJE TUNELA U PUNOM PROFILU PRIMENOM NATM (SA ČELA)

* Ovakav način gradnje primenjuje se u čvrstim, kompaktnim i postojanim stenskim masama, kada nije potrebno osiguranje konture iskopa. Stenska masa se razara miniranjem.

* Kada se rade tuneli u punom profilu, razlikujemo dve tehnološke sece:

1.) kada je osiguranje tunela na većem rastopanju od čela iskopa

2.) tunnelska konstrukcija se radi uporedo sa iskopom, kada se pred kutne zone nastavlja se po seci 1.)

* Radovi se sastoje iz bušenja minskih bušotina, punjenja i aktiviranja eksploziva, utovara i transporta, i betoniranja.

* Betoniranje se vrši pomoću teleskopske oplata određene dužine. Bilo se betonizuju temelji i oslonci za oplatu. Montaža i demontaža oplata je pomoću hidrauličkih presa. Transport betona pumpama, ugrađivanje pomoću vibratora. Dužina pristena do 10 m.

* U stenskim masama srednje čvrstoće i sa malim diskontinuitetom, može se piment iskop tunela u punom profilu sa čela, a osiguranje iskopane konture u tom slučaju se vrši ankerima ili rešetkama.

* U čvrstim stenama iako nije potrebno raditi tunnelsku konstrukciju od livenog betona, ona se često primenjuje kada treba zadovoljiti uslove hidroizolacije, osvetljenja, ventilacije i estetike.

54) 63. GRADENJE TUNELA SA DVA RADNA ČELA PRIMENOM NATM

* primena ove metode gradnje zavisi od inženjersko-geološkog sastava, dužine tunela, veličine pop. preseka i mehanizacije.

* Po ovoj metodi napredovanje gornjeg dela punog profila ide unew ispred napredovanja donjeg dela, tako da se između čela gornjeg i donjeg dela oblikuje radna platforma.

Obično visina gornjeg dela tunnelskog profila iznosi $3,5 \div 4,5$ m.

* U zavisnosti od dužine zadne platforme razlikujemo dve tehnološke sece:

1.) Dužina zadne platforme je obično $1,5 \div 2$ dužine napredovanja. Bušenje i miniranje vrše se istovremeno na oba radna čela. Nedostatak: zahteva se

određeni stepen mehanizovanosti na oba zadna mesta (u suprotnom zastoj i uganj učinci) gurnu

2.) Razmak gornjeg dela tunelskog profila je $30 \div 50$ m od donjeg. Nezavisan rad na oba čela iskopa. Primjenjuje se u slabim i srednje čvrstim stenskim masama i pogodan je za kratke tunele. Kod kratkih tunela \rightarrow u prvoj fazi se izvrši iskop na celoj dužini gornjeg dela sa eventualnim osiguranjem ankerima, a zatim iskop donjeg dela tunelskog profila. Bitna karakteristika za iskop donjeg dela jeste što položaj vinskih bušotina može biti i horizontalan i vertikalni.
* Postupak betoniranja je nezavisan u oba slučaja i izvodi se u punom profilu.

55) (24) METODE GRADENJA HIDRAULICNO POKRETNIM ČELIČNIM TALPAMA

\rightarrow Za ovu metodu karakteristična je primena čeličnih poprečnih ramova preko kojih se hidrauličnu putem potiskuju čelične talpe specijalnog oblika, a ugrađivanje betona tunelske konstrukcije obavlja se pod zaštitom ovih talpi.

\rightarrow Postoje različiti sistemi \Rightarrow Bernold, Walbroehl...

\rightarrow Oslanjane talpi može se izvršiti na dva načina: preko tri čelična luka nosača (remenata), ili preko četiri luka nosača (pomoću specijalnih pokretnih ramova).

\rightarrow U fazi iskopa postavljaju se tri vodeća čelična rama, koji su statički dimenzionisani za opterećenja od očekivanih podzemnih pritiska. Oni se međusobno povezuju i učvršćuju. Na vanjske vodeće lukove prvo se postavljaju u temelju osnovna talpa, a na nju se dalje levo i desno postavljaju čelične talpe po obodu profila. Talpama ulogu podgrade između tri vodeća luka i istovremeno ulogu spoljne oplata betonskog prstena.

\rightarrow Svaka talpa se sastoji iz tri dela:

- 1.) "noz" - na vrhu talpe od specijalnog čelika
- 2.) nosači deo sandučastog preseka koji se oslanjaju na čelične remenata i na kome se nalaze oslonci za hidraulične prese
- 3.) deo talpe gdje se izvrši betoniranje tunelske konstrukcije (spoljna oplata)

\rightarrow Među talpi omogućavaju pojedinačno horizontalno i relativno malo bočno pomeranje. Horizontalno pomeranje talpi može se izvršiti pomoću preseka za svaku talpu pojedinačno ili pomoću jedne prese koja pomeri sve talpe.

\rightarrow Ima veliku primenu u gradnji podzemnih objekata u gradskim uslovima jer se ne dobijaju značajna sleganja na površini terena, i u većini slučajeva kada je potrebno razmak između čela skopa i tunelske konstrukcije na najmanju moguću meru.

- Prednosti:
- može se dobiti velika dužina betonskog prstena
 - jednostavna za rad
 - prilikom betoniranja nije potrebno sačekati vreme očvršćavanja pošto se za pomeranje telpi ne koristi završena tunelska konstrukcija
 - injektiranjem se dobija neposredan kontakt između stenske mase i tunelske konst.

- Nedostaci:
- sistemi zamova i telpi su inostrane proizvodnje
 - držanje čela iskopa je otežano zbog stalnog pomeranja zamova
 - veli broj hidrauličnih presa riskuje veće materijalne troškove

56) (65.) OSNOVNE DIMENZIJE I KONSTRUKCIJA ČELIČNOG ŠTITA

Čelični štit se uobičajno pomerza napred i pod njegovom zaštitom se obavljaju operacije: iskop, transport i ugrađivanje montažnih elemenata, i injektiranje.

Metod čeličnog štita => definitivna tunelska konstrukcija je od montažnih elemenata (od livenog gvožđa, čelika i AB)

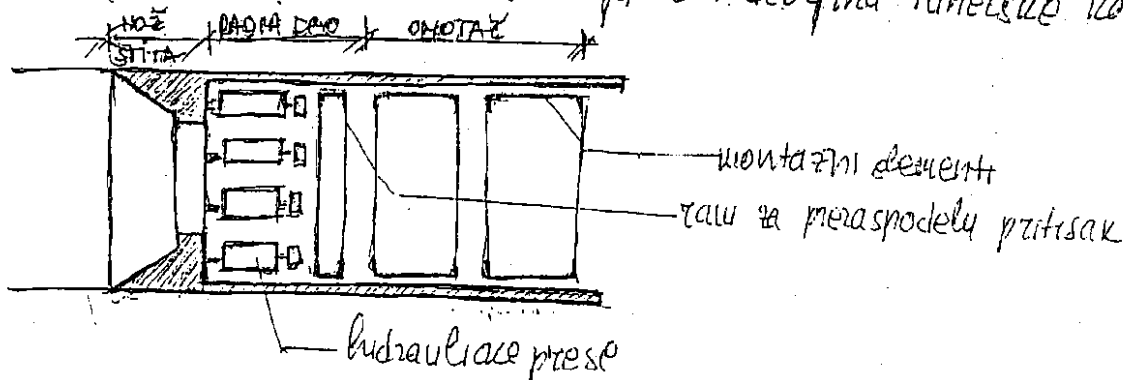
Širina prstenova uslovljava se hodom štita i kreće se u granicama od $0,75 \div 1,0 \text{ m}$. Prečnik tunela zavisi od namene tunela (prvenstveno), a prečnik spoljne konture prstena određuje prečnik čeličnog omotača štita.

Pri daljem napredovanju štit se povlači napred, tako da između tunelske konstrukcije i stenske mase ostaje razor koji se injektira (kontaktno injektiranje)

Na celoj dužini ili pojedinih delovima tunelske konstrukcije montažni elementi imaju iste poprečne preseke.

Ako su montažni elementi od AB, tada se za pojedine odseke uenja procenat armiranja.

Obično se za celu dužinu tunela usvaja ista debljina tunelske konstrukcije.



Osnovni elementi: noževi, potporni prsten, omotač, pregrade i hidraulične prese.

⊗ PREČNIK ŠTITA:

$$D_s = D + 2x(d_k + d_s + z)$$

D_s - spoljni prečnik osovata štita (zavisi od prečnika svetlog otvora tunela, debljine montažnih elemenata i debljine čeličnog zazoru)

D - prečnik svetlog otvora

d_k - prečnik konstrukcije

d_s - prečnik štita

z - zazor

⊗ DUŽINA ŠTITA:

$$L_s = L_n + L_p + L_{os}$$

L_n - dužina noža ($1 \div 1,2m$ - u stabilnoj sredini)

L_p - cilindar prese $L_p = 2 \cdot b$ ($b = 1 \div 1,2m$ - širina montažnog elementa)

L_{os} - dužina osovata štita u koje se vrši montaža elemenata

$$L_{os} = L_1 + L_2 + L_3$$

$L_1 = (1,2 \div 1,4) \cdot b$ - dužina na delu montažnih elemenata

$L_2 = 0,15 \div 0,24$ - dužina slobodnog prostora

$L_3 = 0,6 \div 0,74$ - dopunska dužina (povećava sigurnost)

⊗ POTREBNA SILA HIDRAULIČKIH PRESA:

$$P = F_s \cdot (W_1 + W_2 + W_3)$$

W_1 - sila trenja između štita i stenske mase

W_2 - sila trenja između osovata štita i tunelske konstrukcije

W_3 - otpor stenske mase usled prodizanja noža

⊗ ŠTIT SA ROTACIONIM NOŽEVIMA ZA RAZARANJE KONTAKTNE STENSKE MASE U PUNOM PROFILU

Prednosti gradnje tunela mehanizovanim štitom su sledeće:

- manje razaranje stenske mase oko konture iskopa (manje narušavanje primarnog naponskog stanja)

- potpuno mehanizovan rad (od iskopa do postavljanja montažnih elemenata)

Od svojstva stenskih masa, inženjersko-geološkog sastava terena, parametara otpornosti i deformabilnosti zavisi izbor mašine.

Bitan je izbor reznog alata što zavisi od stepena čvrstoće i tvrdoće stene. Tvrdoća predstavlja otpor stene protiv mehaničkog dejstva reznog alata.

Čvrsta stena, homogena duž trase tunela \Rightarrow gradnje mašinama

ne predstavlja problem. Primarni je analiza utiska reznog alata, princip rada i dnevni učinak.

Kada se tunel gradi u elasto-plastičnim i plastičnim sredinama \Rightarrow potpuno mehanizovani štit sa noževima koji približno rezanja opisuju jednu prostu krivenu ili složenu putanju.

(67.) ŠTIT ZA RAD U MEKIM STENSKIM MASAMA

⊕ Čvrste gline \Rightarrow potpuno mehanizovani štit \Rightarrow rezni alat je na krstastom nosaču u obliku šiljka a na vrhu ima ojačanje od tvrdog čelika \Rightarrow rezni alat opisuje koncentrične krugove.

⊕ Stenske mase čije čelo iskopa nije stabilno ili se nalazi u stanju granicne ravnoteže \Rightarrow potpuno mehanizovani štit (čelični) sa specifičnom konstrukcijom "otkopno-potpone glave" \Rightarrow konstrukcija rezne glave specifična je po tome što se preko ploče vrši aktivan pritisak na čelo iskopa, a istovremeno se obavlja rad na daljem napredovanju.

(68.) MEHANIZOVANI ŠTIT ZA RAD U NEKOHERENTNIM MATERIJALIMA

⊕ Materijali izrazito znaste strukture (pesak i šljunak) \Rightarrow vodi se računa da ne dođe do osipanja nekoherentnog materijala \Rightarrow malo učesće mehanizacije i potrebna kvalifikovana radna snaga.

⊕ Kada se između zrna nalazi glina građevje je dosta složeno, jer se u samom štitu neposredno na platforme nalazi vertikalna podgrada koja omogućava da se na prostoru između nje i čela ubaci vazduh pod pritiskom. \Rightarrow građevje pomoću specijalizovanog mehanizovanog štita.

⊕ Zrnasta struktura i prirodno vlažni \Rightarrow štit sa aktivnim horizontalnim pregradama (stabilne i pokretne) \Rightarrow građevje: hidrauličkim presa ma štit se utiskuje u materijal za dužinu pregrade (oko 1m). Materijal koji se nalazi na površini, približno daljeg kretanja štita se potiskuje, pada na transportni trasei, a na njegovo mesto dolaze nove kolone. Obično se ubacuju vibrator koji doprinose većem kretanju materijala sa podgrada. Pregrade se podržavaju dok njihov broj i raspored osiguraju držanje čela iskopa, a njihove dužine se određuju iz uslova kretanja materijala i veličine podizanja štita napred.

⊕ Kada su podgrade pokretne mogu se vrši njihovo utiskivanje, a čelični se pomeri okolo štita. Na taj način se postiže stabilnost čela iskopa pre kretanja čeličnog oklopa napred.

⊕ Kada se gradi u zasićenim peskovima primenjuje se štít koji ima hermetički zatvorenu vert. pregradu koja sprečava priliv u unutrašnjost.

58 (69) ŠTIT SA VAZDUHOM POD PRITISKOM

⊕ Ova metoda se primenjuje u vodov. zasićenim peskovima, vodonosnim nestabilnim sredinama, velikom gradenju tunela ispod rečnog korita, kada tunel prolazi ispod temelja objekta...

⊕ Vazduh pod pritiskom kao način sprečavanja prolaska vode i obezbeđivanje stabilnosti stenske mase na čelu iskopa, primenjuje se kao krajnja mera i samo u uslovima ako druge metode nisu pogode i ne mogu se uspešno primeniti.

⊕ Primenom kesonske metode, pomoću pritiska vazduha, sprečava se prodor vode u tunel. Pritisak sabijenog vazduha treba da je veći od pritiska vode u stenskoj masi. Pritisak sabijenog vazduha zavisi od hidrostatskog pritiska, visine nivoa podzemne vode i veličine tunelskog profila.

⊕ Podgrada u ovoj metodi ima ulogu da odvoji zonu vazduha pod pritiskom od zone atmosferskog pritiska, i kroz nju treba da se spровode celokupna instalacija.

59 (70) ŠTIT ZA RAD U VODI ZASIĆENOJ MATERIJALU „HYDROŠTIT“

⊕ Primenom hidroštita rešava se: problem sprečavanja prodora vode, držanje čela iskopa i uopšte stvaranje optimalnog sistema za gradnju u vodov. zasićenom materijalu.

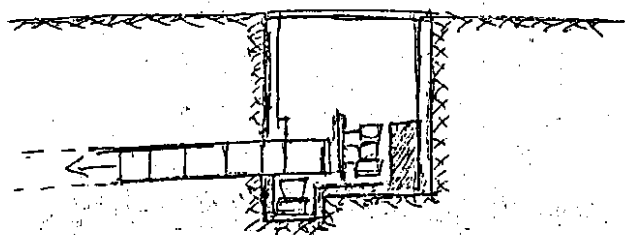
⊕ Iskop tunela po ovoj metodi se vrši takođe mehanizovanim štítom u punom profilu. Na otvorne glave nalazi se željezna pregrada, tako da se voda i vazduh pod pritiskom i betonit dovode u gornji deo pregrade na delu razvrtu čela i pregrade. Na tom delu se stvara vazdušni pritisak koji deluje na betonit emulziju. Tako ostvaren pritisak deluje na celo iskopa i sa njim se može pouzdano računati. Potrebno je održavati željeni pritisak na čelu iskopa.

⊕ Rad se vrši ostvaren po principu stvaranja pritiska razmerjavanjem ispuštane i uvedene količine tečnosti u jedinici vremena.

⊕ Iskapan materijal se ispušćava i vrši se odvajanje tečne faze od stene. Suspenzija se osvežava i vraća u rezervoar za emulziju.

(71.) METODA UTISKIVANJA PUNOG PROFILA (60.) KRUŽNOG PRESEKA

- Razenjuje se za vale preseke tunela (kružni, pravougaoni, zasvedeni), kada oni prolaze ispod magistralnih puteva, železničkih pruga, linija elektra (na taj način se ne izaziva prekid saobraćaja).
- Neupotrebljavaju se nekoherentni materijali; mala visina nadstolja
- Metoda analogna metodi utiskivanja željeznog štita.



Može
biti od više elemenata
hidrauličke prese
ploče za upodnavanje pritiska
komora za upodnavanje pritiska se
hidraulički povezuje

- Potiskujuća sila od hidrauličkih presa se kreće u granicama $2500 - 48000 \text{ kN}$
- Ako su tunnelske cevi veće dužina \Rightarrow utiskivanje znatno teže \Rightarrow primena više relefnih postrojenja \Rightarrow tu karakteristične etape u postupku:
 - 1.) u komori se montira relefnih postrojenja \Rightarrow imaju ^{relefnih} hidrauličke prese i osnovne hidrauličke prese \Rightarrow hidrauličke prese se jednim krajem oslanjaju na već utisnut element a drugim krajem na osnovne hidrauličke prese.
 - 2.) posle prodiranja relefnih h. presa napred \Rightarrow razrežu se ubacuju nova sekција razrežu reletne i osnovne h. prese.
 - 3.) rezultat utiskivanja više sekција razrežu reletne i osnovne h. prese \Rightarrow reletne hidrauličke prese se sukcesivno pomeraju po dužini tunela sa hodovima ostalih sekција.
- u zavisnosti od dužine tunnelske cevi i otpora utiskivanja postavljaju se dva ili više relefnih postrojenja.

(61.) (72.) GRAĐENJE TUNELA POD VODOM

→ kada je trasa tunela za bilo koju namenu, osim hidrotehničkih tunela pod atmosferskim pritiskom.

→ Postoje dva načina gradjenja:

- 1.) gradjenje tunela pomoću kesona
- 2.) gradjenje tunela pomoću potapanja elemenata

1) građenje tunela pomoću kesona:

- Primenjuje se kada su tuneli pod vodom, ako se nalaze u podzemnoj vodi, ili u slabim materijalima prožetih vodom (živi pesak, mulj, treset...)
- Bitno je da se radi potapajući element → tunel se deli na više deonica 15-40m sa razmakom 1-1,5m.
- Za svaku deonicu se radi kesonska zadnja komora zajedno sa tunnelskom konstrukcijom.
- Krajevi svake deonice keson-tunela moraju se zatvoriti pre spuštanja kroz vodu.
- ~~Posle toga~~ spuštanje se do projektovane vode ⇒ otkopavanjem u zadnoj komori (kao pri radu pneumatskog funkcioniranja)
- Po završetku zadavima komora kesona se ispunjava betonom HB 10
- Problem spajanje deonica → problem manjih kesona i tonilačkog zvuca.

2) građenje tunela pomoću potapanja elemenata:

- Primenjuje se gde je moguće da se prethodno iskopava za tunel sa bagerima na mestu budućeg objekta u profilu rečnog korita.
- Elementi tunela (hermetički zatvoreni sa obe strane) se pune vodom i spuštaju u pripremljeno duo.
- Zatim se vrši spajanje elemenata gumom.
- Naзад se konstrukcija sa strane i odogovara zaštitu peskom, glinom ili kamenom.
- neophodna je vrsta zaštitne

62) 73. METODE GRAĐENJA PLITKO POLOŽENIH TUNELA

- Plitko položeni tuneli obično se grade sa površine terena, *plaziraju po rečnom koritu*
- Ovakav način građenja iako od svih jednostavan ne može se uvek primeniti. Njegova primena zavisi od svojstva stenske mase, drugih objekata, i da li se radi o urbanizovanoj sredini.
- Specifičnost građenja i po redosledu radova i po primenjenoj mehanizaciji.
- Radi se u otvorenom usloju koji mora imati stabilne kosine. A posle izvođenja hidroizolacije tunnelska cev se pokriva zemljom, a površina terena dovodi u približni ili projektovani nivo.

→ Berlinska metoda

• Primena AB dijafraagma

(dijafraagma, šipovi, Larsen talpe)

63) 44. BERLINSKA METODA GRADENJA TUNELA

→ Ukoliko je moguće u prvoj fazi se vrši iskop u otvorenom, odnosno iskop gotovog dela bez podgrade.

→ U fazi 2 rade se busotine sa zaštitnom kolonom. (One se izvede ili sa površine terena ili sa koje na kojoj je zavisena faza 1)

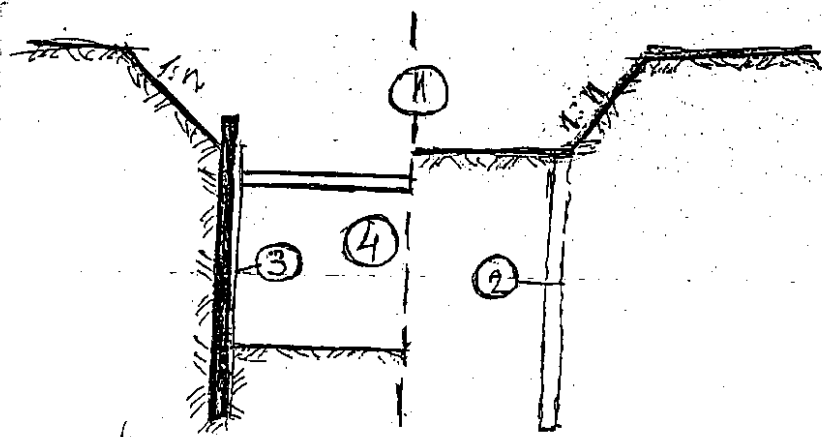
→ Faza 3: u busotine se postavljaju čelični profili, da ne dođe do obustavljanja busotine, posle izvlačenja zaštitne kolone, vrši se ispunjavanje busotine suvim peskom, i to posle ugrađivanja nosača. Nosači se postavljaju po konturu iskopa na rastojanju $1 \div 1,5m$.

→ Faza 4: iskop između nosača → potpuno mehanizovano

→ Kada se iskop izvede do dubine $0,5 \div 1m$ između čeličnih nosača se postavljaju drvene ili AB talpe koje se zatim uklanjaju.

Zaštita iskopane konture može se vršiti čeličnim nosačima, urezom u i prislanjanjem betonom, umesto drvenim i AB talpama.

→ Kada se uradi faza 4 pristupa se izradi tunnelske konstrukcije zasedenog oblika ili zavolske konstrukcija.



Prednosti:

- brz, siguran, veoma mehanizovan rad
- jaka i solidna izrada tunnelske konstrukcije
- niska cena

Mane:

- ograničena dubina izvođenja $max = 15m$
- smeštanje komunalnih instalacija
- buka
- ograničen vremenski period gradnje (u vremenu zimskog perioda)

64) 45. PRIMENA AB-DIFRAGMI U GRADENJU TUNELA

→ Betonska kontinualna difragma = betonski zid, armiran ili nearmiran (iskopani sa površine terena)

→ kada → iskop
iznad
spuštanje armiranog nosa
betoniranje

→ Pre početka iskopa urade se tzv. "uvodnice" koje služe za zaštitu radnika i za držanje pravca budućeg zida - difragme (od betona na licu mesta i/

montažne od željeza)

- Iskop se vrši u lamelama od $2 \div 10$ m. pod zaštitom isplake.
- Isplaka osigurava presjek u toku iskopavanja i betoniranja.
- Isplaka se spravlja od betonita, visokovalitetnih glina, a može i razređivanjem prirodnih gлина.
- Kada se armirani koš spusti u iskopani presjek sa isplakom počinje betoniranje.
- Betoniranje se vrši kontrakcijskom metodom, bez pumpa.
- Ugrađivanje betona je takođe pod isplakom, bez vibriranja.
- Pošto je betoniranje odloženo, posle završetka izvođenja dyafrazgama, gornji sloj ^{betona} se odstranjuje jer je bio u neposrednom kontaktu sa isplakom.
- Kada se uradi jedna lamela isplake se regenerise za upotrebu kod druge lamele.

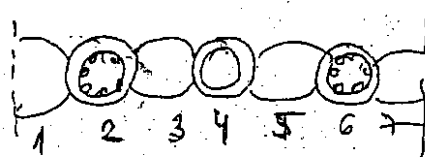
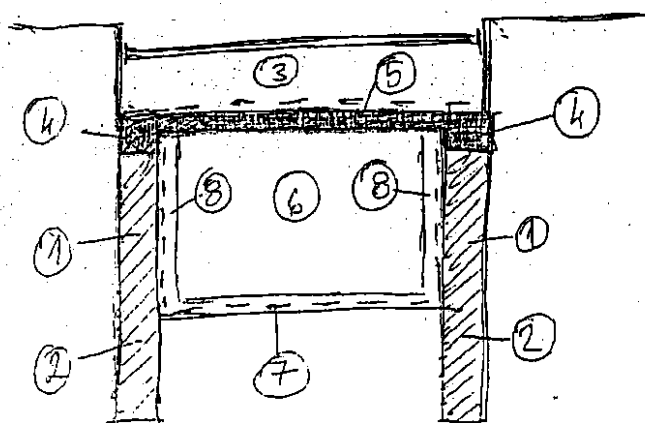
Šipovi

Alternativno rešenje kontinualnog dyafrazgama su šipovi.

Približno njihove izrade zahteva se velika preciznost.

Prednost: rad se može organizovati na više napadnih mesta i potpuno mehanizovano.

Prečnici šipova: $0,8 \div 1,5$ m.

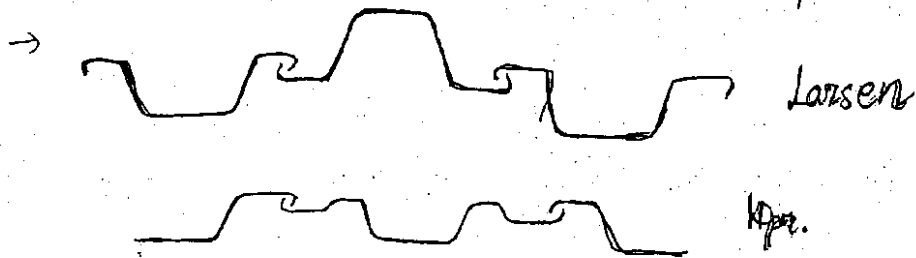


Šipovi se ugrađuju na taj način što se prvo uradi neposredno od nearmiranog betona (faza B) a zatim parni od AB (faza A). Kod izrade šipova faze A, šipovi faze B se zasecaju \Rightarrow postaje se kontinuitet zida.

- ① - iskop
- ② - betoniranje šipova
- ③ - iskop uz eventualno zatvaranje
- ④ - betoniranje obodne grede "poklapače".
- ⑤ betoniranje poprečnih nosača sa pločom (bivši na licu mesta ili nosači od prethodno napregnutog betona)
- ⑥ materijal zemljanog materijala i dovodjenje terena na prvobitni ili propisani nivo.
- ⑦ zidovi HT
- ⑧ zidovi obloženi zidova i drugi zidovi } kombinovano sa ⑥

* Čelične talpe i Larsen talpe

- Za osiguranje iskopane konture kod gradjenja na otvorenom često se koriste čelične talpe.
- imaju primenu kod izrade čeličnog ribarja.
- lakše pobijanje, mogu se više puta upotrebiti, obezbjeđuju potpunu vodonepropusnost.
- optimalna dubina je 10 m iskopu, ali se mogu primeniti i za veće iskope.
- kod nas su najčešće u upotrebi Larsen talpe.



- Posle faze ⑤ larsen talpe se razlače i ponovo upotrebljavaju.

⑥. GRADENJE VERTIKALNIH OKANA ILI ŠAHTOVA

⑦. ODORZO NAVIŠE I SA PODRSTINE TERENA

- OKNA = VERTIKALNE ILI ^{koše} PODZEMNE GRAĐEVINE KOJE SLUŽE ZA OTVARANJE NOVIH NAPADNIH MESTA KOD GRADENJA TUNELA VEĆIH DUŽINA, ZA VETAŽNO PROVETrAVANJE, ZA EVAKUACIJU VODA (ŠAHTI PRELIVI), ZA PRISTUP PODZEMNIM OBJEKTIMA U FAZI EKSPLOATACIJE I ZA INŽENJERSKO-GEOLOGIA ISTRAŽIVANJA.
- Najpovoljniji presek za vertikalno okno je kružni.

- Osiguranje iskopane konture se može vršiti sidrama, prskanjem betonom ili se radi betonski prsten za kliznu oplateu.
- Razlikujemo način gradjenja u čvrstim i mekim stenama.

1.) Izrada okana u čvrstim stenama odorzo naviše:

ALIMACOVA

U čvrstim stenama se primenjuje Alimacova metoda (kao lift) za prevoz ljudi i materijala. Platforma pogodna za teške uslove rada su koje se vrši bušenje uinske bušotine, pumpanje eksploziva, i uklanjaju nestabilnih komada stena. Oprema se izvede na već upravljenom ~~na~~ mono-vodici, gde su istovremeno ugrađene cevi za komprimovani vazduh i vodu.

Posle napredovanja za određenu dužinu vrši se ugrađivanje ankeri za koji se prihvataju mono-vodica sa dovodima za vazduh i vodu. Ovakva oprema na pogon komprimovanim vazduhom ili na elektranu pogon je ekonomična za izradu okana manjih preseka i za veće visine.

Osiguđeno je izgradnja vertikalnog okna iz izgrađenog tunela.

→ Ako su okna većā preseka razlikujemo sledeći postupak:

Prvo se kroz sredinu preseka uradi "plitvo okno" do površine terena vanjskog preseka. Materijal pada u tunel i transportuje se. Kada se izradi takvo okno moći će se tako što se urade horizontalne minske busotine i posle punjenja eksplozivom, demontiraju se segmenti mono-vodice i dovodi se komprimovani vazduh i voda. Zatim se razara stena eksplozivom i ona pada u tunel i odavde se transportuje. Ovakav postupak se sukcesivno ponavlja na celoj visini okna.

2) gradnja okna sa površine terena

primenjuje se ako ne postoji već izgrađeni tunel. Skuplja i sporija metoda. Osiguravaju se vrši sidrenja i iskanjima betonom, ili se postupno u određenim dužinama radi betonski prsten.

3) Izrada okna u mekim stenama

za manje visine i preseke izrada okna se može vršiti klasičnim načinom sa drvenom podgradom i oplatom. Zbog načina podgrađivanja najpovoljniji je kvadratni oblik pop. preseka.

Rad se obavlja kao kod izrade potkopa.

Okno se može graditi od montažnog elementa, kao prilikom spuštanja bunara, ali prvi element mora da ima deo u vidu noža.

→ u slučaju gradnje okna u vodonošnim slojevima pogodna je primena zatvaranja ka i formiranja smršnute zone u vidu narednog sloja koji sprečava kretanje vode.

(78) BUSENJE MINSKIH BUSOTINA

→ Opšte o primeni miniranja ⇒ Gradnja tunela u stenama različitih čvrstoća zahteva primenu odgovarajuće tehnike miniranja. Treba postići:

- što pravilniji kontur u odnosu na teorijski profil
- što manje zastresanje stenske mase
- optimalno iskorišćenje busotina i utroška eksploziva
- odlaivanje materijala u željeni pravac i do određene udaljenosti
- poželjnu veličinu usetrenih komada

Osnovni elementi dispozicije miniranja su:

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| • prečnik busotina | • vrsta eksploziva |
| • broj i raspored busotina | • način i stepen punjenja |
| • dubina busenja | |

Za svaki presek tunnelskog profila se detaljno radi seba miniranja sa optimalnim zastor-
lom i brojem minskih bušotina i nazad odgovarajućim načinom i stepenom punjenja
svake pojedinačne bušotine.

BUŠENJE MINSKIH BUŠOTINA

Za razornje stenske mase u fazi gradjenja potrebno je po određenoj sebi izbušiti minske
bušotine određenoj mećniku i dužine za postavljanje eksploziva.

Minske bušotine se izvede pomoću:

- ručnih bušedih čekića sa i bez takozvane potporne noge (do 30 kg težine))
- bušedih čekića na posebnim posteljama (i preko 30 kg)

Ulog bušedih čekića je komprimovan vazduh ili hidraulika.

Bušedi čekići, na kojima se priključuju svrdla, udarimo rotacionim delovanjem razaraju stenu.

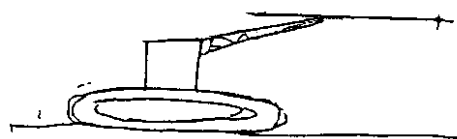
Izbor opreme pre svega zavisi od oblika i veličine tunnelskog profila, dužine tunela
dinamičnog gradjenja, inženjersko-geološkog sastava terena, hidrogeoloških uslova i tehnološkog
og procesa gradjenja.

→ Ručni bušedi čekić se upotrebljava u tunelima manjeg profila.

→ Za tunele sa srednjim i velikim profilima bušedi čekići su montirani na pokretnoj
sukli.

→ Umesto teške ocele može da se primeni lakši sikel na samohodnom vozilu →
manji mećnik profila.

→ Bušeda kola = samohodni uređaji za bušenje na kojima su bušedi čekići montirani
na posteljama (lafetima) koji imaju uređaje za pokretavanje



← BUŠEDA KOLA

Dva ili više laveta montiranih na takvom uređaju nazivamo "Džumbo".

61 (79) UPOTREBA EKSPLOZIVA I TEŠKA MINIRANJA

U momentu eksplozije iz eksploziva se razvijaju velike količine gasova, koje svojim
snagom pritiskuju stenu u okolni minski bušotine. Vibracije stenske mase izazvane
ovim pritiskom stvaraju velika naprezanja, usled kojih dolazi do pucanja i razaranja
stenske mase.

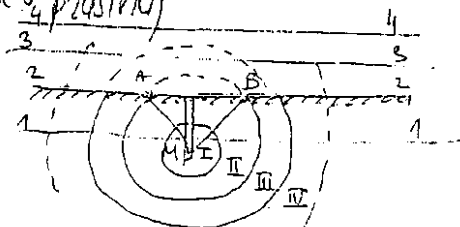
Usled eksplozije javljaju se naprezanja u steni koja se šire od centra eksplozije u
obliku sfernih zona. Naprezanja i vibracije se smanjuju sa udaljenošću od centra
eksplozije. U toku eksplozije u steni se formiraju 4 zone.

1.) zona razaranja i odbacivanja (stena se usitnjava u prasinu)

2.) zona zaštitavanja i rušenja

3.) zona potresa sa pucanjem stene

4.) zona potresa bez pucanja u stenskoj masi



80. VRSTE I KOLIČINA EKSPLOZIVA U ISKOPU PRIMENOM MIKURANJA

→ Eksplozivi su jedinjenja koja naglo prelaze iz čvrstog u gasovito stanje usled mehaniznog ili toplotnog dejstva. Velika količina zagrejanih izaziva pritiske i vibracije, usled kojih se javljaju velika naprezanja koja dovode do pojave pukotina, razaranja stenske mase.

→ Postoje različite vrste eksplozivnih materija.

→ Za tehničku primenu najvažnija je podela eksploziva prema osobinama i brzini detonacije:

1.) **DEFLAGIRANTNI** (sporodefstrujući) → to spada cini barut (danas se ne upotrebljava za podzemne radove zbog velike količine dima i gasova štetnih)

2.) **BRIZANTNI** (brzodefstrujući)

- prosti eksplozivi (nitroglicerini)

- složeni eksplozivi (dinamiti i eksplozivi na bazi amonijevog salitra)

(osetljivi na sunčevu svetlost i udar)

(osetljivi na vlagu)

3.) **INICIJALNI** (za punjenje kapišta i za aktiviranje brzantnih eksploziva)

→ KOLIČINA EKSPLOZIVA

specifična potrošnja zavisi od: vrsta stenske mase, površine preseka tunela, broja slobodnih površina, vrste eksploziva, potrebne količine drućalog materijala.

Postoje različiti postupci za određivanje količine eksploziva $Q [kg]$ za razaranje stenske mase zapremine V . Hpr ⇒

$$Q = q \cdot V = q \cdot F \cdot L = q \cdot F \cdot k_i \cdot l_b$$

q - specifična potrošnja eksploziva

F - površina preseka razbijanja

L - efektivno napredovanje

k_i - koef. korekcije

l_b - dubina mine bušotine

Postoji tabeli niz empirijskih formula za određivanje specifične potrošnje eksploziva q . Vrednosti dobijene empirijskim obrascima treba smatrati orijentacionim, a proveravaju se eksperimentalno u toku gradjenja.

68) 61) DISPOZICJE MINIRANJA

→ DUBINA BUŠENJA = udaljenost od dna bušotine do ravni čela iskopa.

→ Na dubinu bušenja utiču: svojstva stenske mase, oblik i površina pop. preseka tunela, karakteristika opreme kojom se izvode radovi, organizacija gradjenja.

→ Od dubine bušenja zavisi brzina gradjenja i izvršenja svih osnovnih operacija u jednom ciklusu.

→ Kada je samo jedna slobodna površina retko se dešava da mina postavljena upravo na čelo iskopa daje dužinu odlamanja jednaku dubini minske bušotine. Obično ostaje 30÷50 cm nerazorano.

Smatra se da je tehnika miniranja zadovoljavajuća ako je $\ell' = 0,8\ell$
(ℓ' - dubina napredovanja ℓ - dubina minske bušotine)

→ Pri izboru određivanja optimalne dubine bušenja potrebno je voditi računa o:

- odnosu dubine bušenja i mehanika bušotine
- broju bušotina
- brzini bušenja
- kapacitetu opreme za utovar
- načinu i vremenu izvoza iskopanog materijala

→ Vreme aktiviranja eksploziva, provetranje i uklanjanje nestabilnih delova stene ne zavise od dubine bušenja.

→ Poželjno je da se odredi takva dubina bušenja da jedna mina završi sve faze rada jednog ciklusa.

→ Pretnik minske bušotine zavisi od pretnika patrona eksploziva.

$\phi 30 \quad \phi 32 \quad \phi 36 \text{ mm}$; za savremeniju opremu $\phi 44 \div \phi 75 \text{ mm}$

→ Broj minske bušotine zavisi od pretnika patrona, vrste eksploziva, svojstva stenske mase, površine pop. preseka tunela, pretnika i dubine bušotine.

→ Za izbor same miniranja težimo da se maksimalni uticaj eksploziva i optimalni broj minske bušotine postigne najveći efekat miniranja.

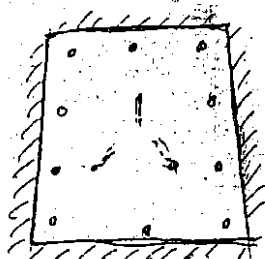
→ Savremen način rada \Rightarrow dobar efekat otpucavanja \Rightarrow upotreba početnih - zalovnih udarnih mina čime se potpomaže dejstvo ostalih pomoćnih i perifernih.

→ Početne - zalovne mine delimo na tri osnovne grupe:

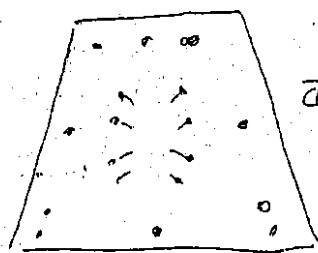
- 1.) kosi zalovi (bušotine zatvaraju izvestan ugao sa površinom čela iskopa)
- 2.) paralelni zalovne bušotine paralelne sa osom pravca tunela
- 3.) kombinovani

• Kosi zalovi mogu biti pravidačni, klinasti, leprzasti i u kombinacijama.

→ Prizmatični zalovi ⇒ čvrste, homogene stene ⇒ minske busotine se usmeravaju u obliku trostrane, četvorostane i višestane prizamide postavljene u sredini profila. Busotine su na razmaku $0,2 \div 0,4 w$ i dublje za $0,2w$ od pomoćnih i perifernih.

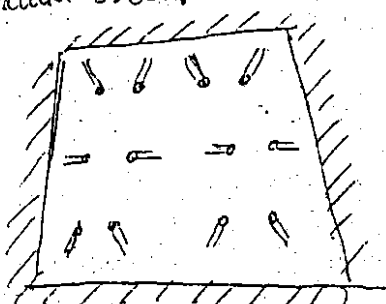


trostrani

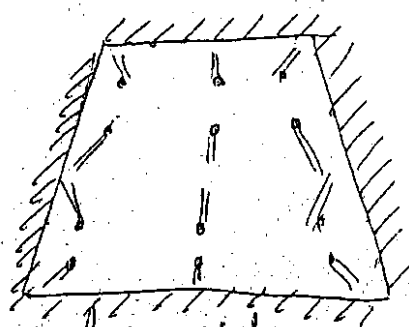


četvorostani

→ klinasti zalovi ⇒ parovi minskih busotina se postavljaju na razmaku $1,1w$ i uperene jedna prema drugoj u obliku klina pod uglom 30° . ⇒ efikasno i stencima srednje čvrstoće.



vertikalni



horizontalni

→ u zavisnosti od pravca slojeva stenske mase razlikujemo:

- 1.) krovni zalovi (slojevi imaju pravac pužanja od vrha podzemnog iskopa prema pravcu napredovanja)
- 2.) podni zalovi (od dna podzemne prostorije prema pravcu napredovanja)
- 3.) bočni zalovi (kada su slojevi stenske mase lično postavljeni prema osovini)
 - levi
 - desni

→ lepezasti zalovi imaju busotine u jednoj ravni pod različitim uglovima prema osi iskopa. Svaka busotina je razmakta pod uglom 45° .

82) KONTURNO MINIRANJE

- konturne ili perifernе mine se prve aktiviraju ⇒ miniranje sa prethodnim odvajanjem stenske mase ⇒ pogodno za spoljne zadatke
- konturno miniranje ⇒ na kraju se obavi miniranje mina na periferiji (konturi iskopa) ⇒ pogodan za gađenje podzemnih objekata

- Princip kontinuiranog miniranja ⇒ odvajanje steno od masiva po projektovanoj kontinuiranoj sušenju debljini oslobođene energije na okolnu stensku masu.
- * Sta utice na rezultate kontinuiranog miniranja: razmak, stepen punjenja bušotine, vrsta eksploziva, redosled aktiviranja
- Razmak konturnih bušotina je manji od razmaka koji se primenjuje kod običnog miniranja

$$E_s = (12 \div 15) d_{w1} \rightarrow \text{medusobno razdvojanje vinskih bušotina}$$

$$d_{w1} - \text{prečnik vinskih bušotina}$$

$$d_{w1} = (2 \div 2,5) d_p$$

$$d_p - \text{prečnik pationa eksploziva}$$

- * Bitan je bitan je i način punjenja kontinuirne mine eksplozivom.
- Treba se ispoštovati ravnomernost raspodela energije eksploziva po dužini bušotine.
- U donjem delu bušotine postavljaju se jedna ili dve patione snažnijeg eksploziva.
- Najbolje je da se izvrši trenutno aktiviranje svih konturnih mina.

(69) TUNELSKA MASINE ZA ISKOP PROFILA ZASVEDENOS OBILICA

Mogu da vize iskop u punom profilu (zavisi od prečnika tj. veličine pop. preseka tunela) ili sukcesivno po fazama sa čela iskopa.

Iskop se vrši reznim alatom ⇒ vanprofilskog iskopa praktično i neka, i manja je destrukcija stenske mase.

Lako se demonstrira i prenosi na drugi objekat, jednostavna je za rad, male visine pa se može primeniti i u teškim uslovima gradnje.

Moguće raditi iskop do 3,5 m^{visine} a širine do 4,5 m.

Moguća primena i u završnim stenama uz upotrebu stalnu kontrolu utiska reznog alata.

* Glavni elementi masine su (učiti po želji):

- otkopna glava
- otkopna glava se nalazi na otkopnom kraku
- uređaji za utovar iskopane stenske mase
- lančani transporter (niti se iskopana masa doprema do transportnih sredstava)
- ram koji nosi navedene elemente, zatim hidraulične i elektromotore, mehanizam za hvatanje ("gusenice") i upravljačku kabinu

70) (84) TUNELSKE MAŠINE ZA ISKOP KRUŽNIH PRESEKA U PUNOM PROFILU U ČVRSTIM STENSKIM MASEMA

→ Operacije: iskop punog profila, utovar i transport iskopanog materijala do transportnog sredstva.

→ Stenska masa oko iskopanog tunelskog profila nije oštećena, pa je osiguravanje iskopane konture neznatno i svodi se uglavnom na sidrenje.

→ Radi na principu kružnih rezaca sa reznim alatima.

→ U zavisnosti od čvrstoće stene i veličine tunelskog profila razlikujemo ^{primenju} dva tipa ovih mašina koji imaju različit princip rada alata za rezanje.

1.) jedan rotor, jedna otulopna glava (prečnik otulopne glave odgovara punom tunelskom profilu)

2.) više rotora, jedna zapadnička glava veličine prečnika tunela

svaki ima svoju sopstvenu rotacionu putanju.

→ Otulopna glava mora da bude snažno pričvršćena uz čelo iskopa tunela radi savladavanja otpora stene, i drugo da u toku rada ima potpunu stabilnost.

→ Oba methodna uslova su zadovoljena ako se primeni jedan od sledećih sistema:

1.) odupiranje mašine sa strane

2.) povlačenje mašine napred pomoću sidra (prvo se uradi vodeća busotina u koju se ubaci sidro)

3.) odupiranje sa mašine (koristi se već izgrađena tunelska konstrukcija ili privremena podgrada)

→ Ove mašine su prilagođene i konstruisane prema stepenu čvrstoće materijala u kome se grade

1.) mašine za rad u veoma čvrstim stenama ($\sigma \leq 180\ 000$)

2.) čvrstim stenama ($\sigma = 40\ 000 - 100\ 000$)

3.) slabim stenama ($\sigma < 40\ 000\ \text{kg/cm}^2$)

→ Rezni alati se prema načinu rada dele na:

1.) alate koji razaraju stenu upravno na pravac tunela

2.) paralelno pravcu građenja tunela

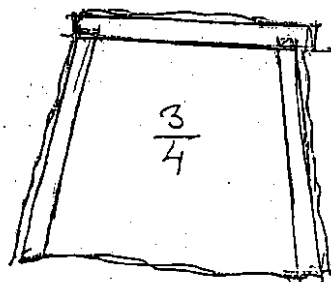
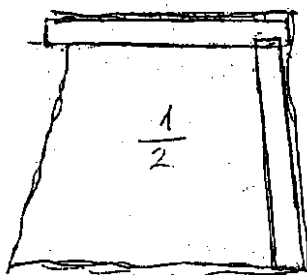
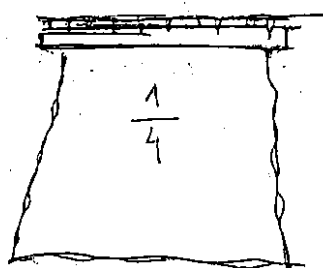
→ Potrebno je ispitati opravdanost primene zbog utroška reznog alata u veoma čvrstim stenama.

(85) PRIMEHA DRVENE PODGRADNE

→ Samo u kompaktnim, masivnim i otpornim stenama može se raditi potkopi bez osiguranja.

Ako i ove stenske mase imaju slojeve ili su ispucale u poprečnim pravcima i potrebno je takve, od masiva odvojene blokove, dobro osigurati.

→ U kompaktnim stenama zbog bezbednosti radnika zaštita je u potkopu laganu podgradu.
→ Radi osiguranja gornje površine potkopa postavljaju se nosači = **TAVANJACE** koji imaju oslonce u čvrstoj steni. (da bi se ovi nosači postavili upravo na osovini potkopa, moraju se obraditi ležišta u boku potkopa) Na ove nosače paralelno osovini se postavljaju, jedna do druge ili razmaknute (u zavisnosti od stepena čvrstoće i ispucalosti), drvene talpe, ovako postavljenu podgradu zovemo **OSIGURANJE JEDNOM ČETVRTINOM RAMA**.



Kada slojevi stenske mase imaju nagib pod nekim uglom u odnosu na potkop, tada na toj strani ne smeemo da vršimo zasjecanje stene i onda se kraj tavanjace mora prihvatiti stubom ⇒ **OSIGURANJE SA POLOVINOM RAMA**

Trasne i meke stene ⇒ osiguranje sa ramom koji sačinjavaju tavanjaca i stubovi u krajevima ⇒ **OSIGURANJE SA TRI ČETVRTINE RAMA**.

→ Podgrada potkopa sastoji se iz ramova koji se postavljaju na određenoj razmaku, a između njih se po celom obimu ili delimično nalaze talpe - **tunelska oplata**.

→ Čvrste stene ⇒ kontura potkopa se drži skoro meću bez osiguranja tako da se ram i tunelska oplata mogu bez teškoća postaviti ⇒ potkop je sa takozvanom "postavljenošću" ili običnom tunelskom oplatom. ⇒ razmak poprečnih ramova kada se primenjuje obična tunelska oplata iznosi ~~1,2 ÷ 1,6 m~~ **1,2 ÷ 1,6 m**

→ U ispucaлим stenama ⇒ osiguranje potkopa je ~~razmak~~ **1,2 ÷ 1,6 m** gornje tunelske oplatom iznad tavanjace, a stubovi se povezuju poprečnim pragom = "bankinom". Razmak poprečnih ramova **0,8 ÷ 1,2 m**

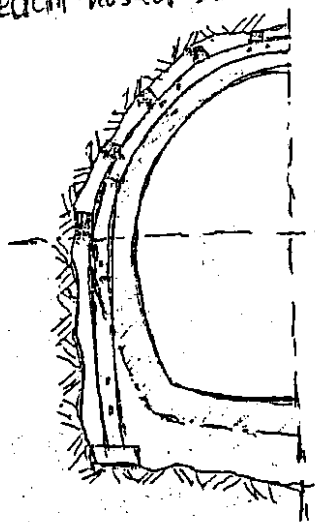
→ Podgrada u tunelu je uvek primenjena i sastoji se iz oplata, glavnih nosača i stubova.

→ Nedostaci: povećava se iskop za debljinu elemenata podgrade a samim tim i količina opterećenja sadržanja između tunela i stene, podgrada od drvene grane umanjuje bezbednost.

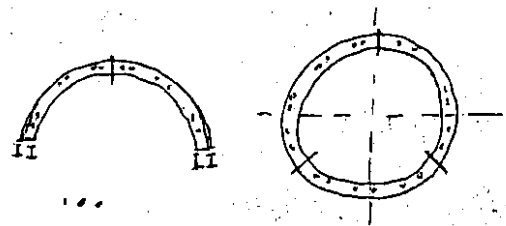
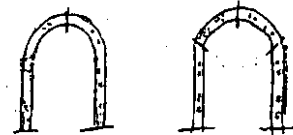
86. PRIMENA PODGRADE OD ČELIČNIH PROFILA

Sistem osiguravanja drvenom građovom zamjenjuje čelični elementi. Oni su od profilisanog, valjanog čelika različitih presjeka: **NPI**, **NPC** ili u kombinaciji više profila.

Montura iskopa nije ravna \Rightarrow između čeličnog nosača i stenske mase postavlja se drveni klinovi, koji praktično ulaze "bidsku remenatu", ona tek tada sodeptuje sa stenskom masom. Čelični nosači su međusobno povezani čeličnim zategama i drvenim razupračama, a preko čelične ploče se oslanjaju na podmetace od tvrdog drveta.



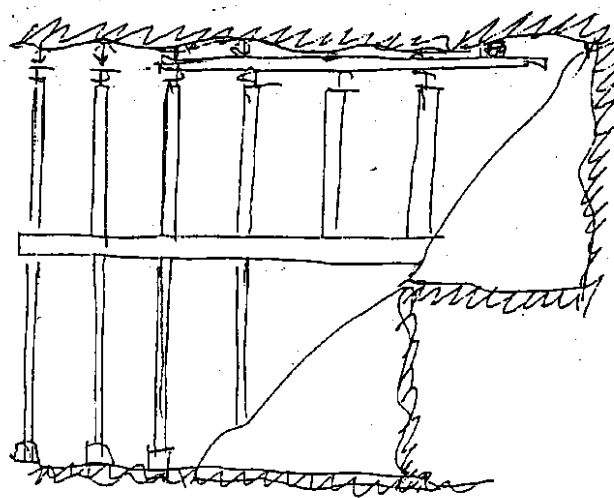
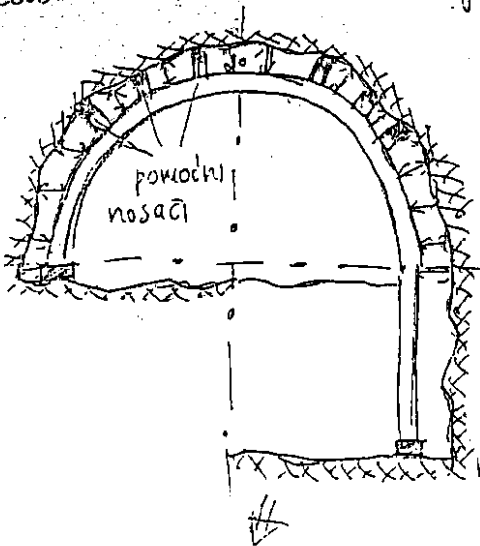
OSIGURANJE ČELIČNIH NOSAČA



RAZLIČITI OBLICI ČELIČNIH REMENATA

Potpuna mehanizovanost rada.

Nedostatak \Rightarrow čelični elementi ostaju izbetonirani u tunelskoj konstrukciji.



čelični elementi - remenatae kao osiguranje ako se iskop tunela obavlja na dva radna čela koja su na međusobnom razstojanju. Zastila gornjeg dela iskopanog tunelskog profila ostvaruje se preko pomoćnih nosača koji se oslanjaju na čelične remenatae.

Čelični elementi - remenatae \Rightarrow primenu tako u zgradnji novih objekata, tako i u toku rekonstrukcije i sanacije.

(87.) PRIMENA PRISKANOG BETONA

(71)

- Prvi put je primenjen 1912. god. u Pensilvaniji (američka država).
- U Evropi se prvi put primenjuje u Nemačkoj posle prvog svetskog rata kao "torcret".
- Imena je dobio prema firmama koje su proizvodile mašine za njegovo ugrađivanje.
- Kod nas 50-tih godina pod nazivom "torcret".

U početku njegova primena je bila prvenstveno kod hidrotehničkih tunela sa unutrašnjim pritiskom i to kao armirani i nearmirani, torcret.

Danas \Rightarrow ako je njegova debljina $\leq 5\text{ cm}$ u praksi se naziva "torcret"
ako je $> 5\text{ cm} \Rightarrow$ "prskani beton" odnosno "ulazni beton"

(88.) POSTUPCI UGRADIVANJA PRISKANOG BETONA

Postupci:

1. SUVI 2. MOKRI

SUVI \Rightarrow omogućava ugradnju čak i sa manjim vodom cementnim faktorom; duži transport; zahteva bolju obučenost radnika.

MOKRI \Rightarrow voda se tačnije dozira; smeša je bolje izmешana.

SUVI \Rightarrow prvo se mešaju cement i agregat \Rightarrow transportuju vazduhom pod pritiskom i tek pri izlazu kroz ulaznicu mešaju sa vodom.

MOKRI \Rightarrow prvo se mešaju i agregat i cement i voda \Rightarrow pod pritiskom transportuju do ulaznice \Rightarrow na ulaznici se zatim dodaje vazduh pod pritiskom \Rightarrow mešavina se iz ulaznice izbacuje velikom brzinom na pripremljenu površinu.

(89.) OSNOVNA SVAJSTVA I SASTAV PRISKANOG BETONA

- Ima veliku moć prijanjanja za beton, kamen, opeku i čelik (omogućava njihovo zajedničko sodelovanje).
- Ima veću otpornost protiv dejstva mraza i toplotne, i veći stepen vodonepropusnosti.
- Pneumatskim načinom ugrađivanja postize se velika vrednost čvrstoće na pritisak i zatezanje (20-40% više nego primenom običnog betona istog osnovnog sastava).
- Primenuje se kod građenja novih objekata, kod sanacija, kao i za osiguravanje iskopanog tunelskog profila (da stabilizuje ili poruči stene i zatvori pukotine; elastična nosiva obloga).

Uслови za primenu prskanog betona:

- rad se vrši mašinskim putem ili tehnikom kontinuiranog umiranja
- re ugradnje se na površine koje su suve, čiste, porozne i raskvašene
- pre ugradivanja podloga mora biti nakvašena
- ako se pojavi voda vrši se drenaža tih površina (drenaže se zatvaraju kada prskani beton postigne $\frac{2}{3}$ tražene mčke)
- savocije \Rightarrow potrebno je odstraniti sav materijal dok se ne dotje do dnove podloge

Sastav prskanog betona

CEMENT ; VODA ; AGREGAT ; DODACI

• **CEMENT** Upotrebljava se fino mleveni portland cement. Čistota na putu sakreba da nosi min MB-30 za torčet i min MB-40 za prskani beton. Cement se dobireva u vrećama ili cistinama i mora biti propisno uskladišten (sitosi). Neophodna je kontrola konzistencije, vremena vezivanja, postojanosti zapremane, finoca uliva... Izbor vrste cementa zavisi od tražene mčke prskanog betona i ugradivanja optimalne količine cementa po m^3 agregata.

• **AGREGAT** Mineralni agregat koji u svemu mora da odgovara propisanim standardima. Primenu se agregat određene granulacije, zrna ispod 0,075 ne smeju biti zastupljeni u količini većoj od 2%. Bez štetnih sastojaka, maksimalne vlažnosti 5% od suve težine agregata da bi se sprečilo vezivanje sa cementom. Za agregat treba imati akte o poreklu, kvalitetu i mineraloško-petrografskom sastavu nalazišta.

Neophodna istraživanja: granulometrijski sastav, sadržaj prašinskih i glinovitih čestica, težina zrna, zapreminski maza i upijanje vode.

Kontrola u toku izvođenja: granulometrijski sastav, vlažnost, sadržaj glinovitih i prašinskih čestica.

• **VODA** Ne smeju se vrši se hemijsko ispitivanje vode sa izvorista radi utvrdjavanja njenog kvaliteta, uticaja na beton. Uvek se pojavi podzemna voda neophodno se ispitati njenu agresivnost na beton.

• **DODACI** Primenu se za poboljšanje adhezionih i adhezionih svojstava, za brže postizanje čvrstoće i za poboljšanje vodonepropustljivosti, ubrzanje vezivanja... Sadržaj vezivanja ne sme da bude veći od 10 mm, a kraj vezivanja oko 1,5 cm. - potrebni početni i kraj vezivanja mešavine sa dodatkom aditiva za lepljenje - beton koji vlada u tunelu. - Uvek se deo maza tako da delovanje ne potigne pre završetka mešavine i završetka.

90. TEHNIKA IZVOĐENJA PRISKANOSTI BETONA

- Slojevi se nanose čineći više prelaza ulaznicom preko radne površine.
- ⇒ Najbolji efekat se dobija kada je ulaznica udaljena od podloge oko 1m. Ispravan položaj ulaznice jeste upravan na podlogu (pod malim uglom kada se ispunjava prostor za armature).

Smesa treba da izlazi iz ulaznice u pravilnom obliku i neprekidnom toku.

→ **ODSKOK** = deo smese koji se odbija od radne površine. Što je manji procenat odsuoka to je primera priskanog betona efikasnija i ekonomičnija. Odskok se sastoji pretežno od krupnijeg agregata sa malo cementa i vode. Postanak odskoka zavisi od: spratnosti ulaznice, tipa ulaznice, sastava smese, vazdušnog pritiska, stepena armiranja i debljine sloja.

→ **KONTROLA DEBLJINE SLOJEVA** = pomoću tankeg šila (umetana na kojima nije postignuta željena debljina treba obeležiti i izvršiti dodatno nabacivanje).

→ Za ugrađivanje priskanog betona potrebno je imati kompresor dovoljnog kapaciteta ta proizvedena količina vazduha pod pritiskom može da potisne smesu ugrađivanu kroz cevi od pumpe do ulaznice i da smesavina pri izlazu dobije dovoljnu brzinu da se pod pritiskom lepi za podlogu.

91. ISPITIVANJE KVALITETA PRISKANOSTI BETONA

Glj ⇒ pravilan izbor materijala za spravljanje priskanog betona i održavanje konstantnog kvaliteta.

⊗ **PRETHODNA ISPITIVANJA** (ispitivanje sveže smesavine za razne sastave i smerove formiranja ispitivanje očvrstlog priskanog betona)

- prethodno ispitivanje svih komponenta betona
- probno ugrađivanje priskanog betona (dokaz predviđenih svojstava p. betona, ispravnosti opreme, uvećanosti efike koja će vršiti radove)

⊗ **KONTROLA ISPITIVANJA** (kontrolnim ispitivanjem treba obuhvatiti predviđena svojstva priskanog betona u svežem i očvrstlom stanju)

• za svežu masu ⇒ ispitivanje vlažnosti i zapreminske mase sveže smesavine; analiza svežeg priskanog betona; kontrola količine odskoka; usklađivanje planirane i osnovne smesavine; kontrola temperature smesavine i vazduha.

- za očvrslu masu: ispitivanje čvrstoće na pritisak posle 12h, 24h, 3 i 7 dana; ispitivanje čvrstoće na pritisak i na zatezanje posle 28 dana.

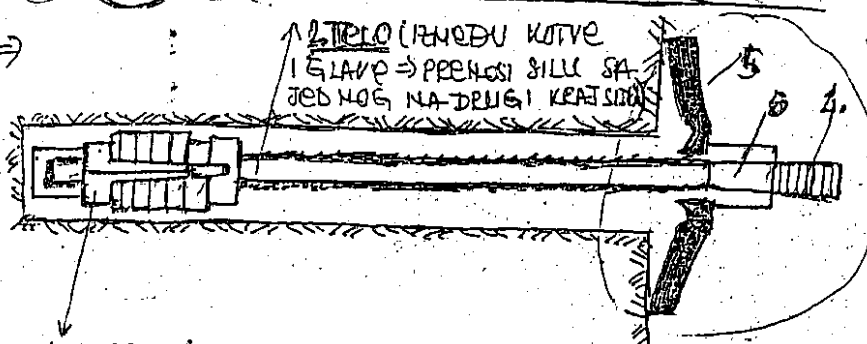
→ Prskani beton mora biti armiran ako je njegova debljina $d_p \geq 5\text{ cm}$. Armira se pomoću gotovih završenih ureza (okrugle šipke glavne i pomoćne armature). Dobro je ugraditi jer se eliminišu sekundarni uticaji p. betona, uticaji t°C i zatezanja.

72. PRIMENA SIDRENJA

- * Sidrenje stenske mase \Rightarrow poboljšanje mehaničkih karakteristika stenskih masa.
- * Poboljšanje karakteristika stenskih masa \Rightarrow stabilizacija skopa; poboljšanje naponskog stanja u terenu; poboljšanje svojstava stenske mase
- * Sidrenje \Rightarrow kao mera dohvata i predizbena projektora, kao i mera u cilju saniranja i sprečavanja rušenja (ofata se stenska masa kako u fazi gradnje tako i za definitivno izvedenu podzemnu konstrukciju).
- * stenske mase koje pokazuju elastična svojstva \Rightarrow efikasna primena sidra
- plastične mase \Rightarrow manje efikasna mera

73. NAČIN DEJSTVA I DELOVI SIDRA

DELOVI \Rightarrow



3. GLAVA (PREKO NJE SIDRO
NALEŽE NA SLOBODNU
POVRŠTU STENSKE MASE \Rightarrow
članovoj spodložna ploča,
članica za prednaprezanje

1. KOTVA (OSTVARUJE SE NEPOSREDNA VEZA IZMEĐU SIDRA I STENSKE MASE)

U prethodno izvedene bušotine ubacuju se sidra. Da bi sidro moglo da primi određenu silu potrebno je ukotvljenje sidra u dubinu stenske mase.

• OBIČNI ILI PASIVNI ANKERI \Rightarrow aktiviraju se pri deformaciji u terenu i koriste se pusto da pridržavaju stenski blok i spreče njegovo ispadanje. Ne zahteva se početno naprezanje sidra \Rightarrow javljaju se zatezanja sidra \Rightarrow sidra se dimenzionisu da mogu da izdrže težinu bloka.

• AKTIVNI ANKERI \Rightarrow dejstvo \Rightarrow unošenje normalnih napona na zidove podzemne konstrukcije usled čega se u određenoj zoni oko konture obrazuje prednapnjeni prsten ili deo prstena, tj. formira se novo naponsko stanje u terenu.

OSNOVNI ELEMENTI SIDRENJA \Rightarrow

- optimalni položaj u prostoru (pravac i dužina sidra)
- raspored i gustina sidra (optimalni zatvarak)
- način prenošenja sile na slobodnu površinu
- sila u sidru optimalno: ista nosivost u telu sidra, u kotvi, na osloncu
- dužina usidrenja (kotva)

• Sila ukotvljenja može se postići adhezijom i ekspanzijom \Rightarrow ekspanziona sidra i adheziona sidra

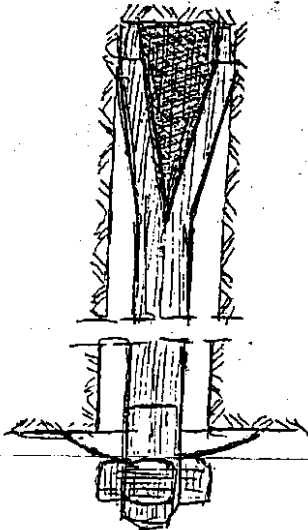
74' 94' EKSPANZIONA SIDRA

Sila kotvljenja može se postići na dva načina: *adhezijom* i *ekspanzijom*.
Na osnovu toga imamo podelu na: *adheziona* i *ekspanziona sidra*.

⊗ EKSPANZIONA SIDRA ⇒ neposredno nakon ugradivanja sidra se mogu dovesti u neposredan kontakt sa zidom bušotine. Ne mogu se primenjavati u stenama sa lošim *mek. karakteristikama*, nosivost zidala (velika sila ukotvljenja), dužina sidra mala zbog *mehanizma aktiviranja ukotvljenja*.

- sidra čija se kotva formira pomoću klina i zasepke
 - sidra sa kotvom od ekspanzione čaurice
- Sidra sa kotvom od klina i zasepke ⇒

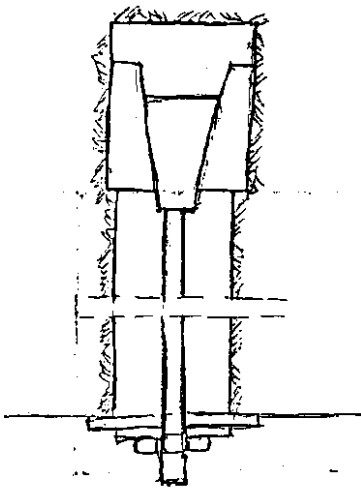
laka i brza proizvodnja, laka ~~montaža~~ i brza i jednostavna montaža, mala cena.
Primena je jedino moguća ako stenska masa ima dobre mehanicke karakteristike.
Dubina bušotine treba tačno da odgovara dužini tela ankera.



Sastoji se od okrugle šipke, koja je na kraju na kome se nalazi kotva zasečena 2-3mm, a na drugoj strani je glava ankera.
Na delu na kome je šipka zasečena nalazi se prizmatičan klin iste dužine kao zasek.

Klin se postavlja na dno bušotine i pod dejstvom sile se uvlači u zasek i štiri okrugli čelični šipovi koji se utiskuju u stensku masu.

- Sidra sa ekspanzionom čauricom ⇒



Sastoji se iz konusnog jezgra unutar čaure. Čaura je sa unutrašnje strane obrađena konusno, a sa spoljašnje ima sposobnost širenja. Jezgro je povezano sa telom ankera.

Zajednički sastavne elemente čine:

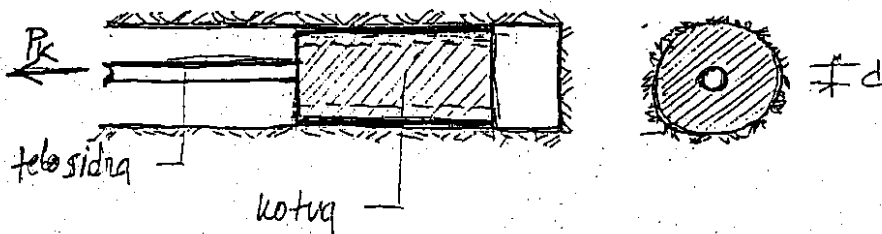
- He u konusni element (npr. hex-keg)
- Hrabričasti je mater (efektivna površina)
- Dugina čaura je mala

(75) 95) ATHEZIONA SIDA

Princip \Rightarrow ATHEZIONA \Rightarrow sidro-walter i walter-sitenska masa

<ul style="list-style-type: none"> walter se ubacuje u bušotinu posle sidra sidro se ugrađuje u bušotinu posle waltera 	<ul style="list-style-type: none"> walter sa ekspanzivnim cementima poliesterske smole 	<ul style="list-style-type: none"> sidro od punog okruglog ili ropavog čeličnog profila sidro od spleta čeličnih žica ili čeličnih užadi
--	--	--

- primenjuje se u svim vrstama stenskih masa, izuzev glinovitih materijala
- dužina sidra prema potrebi (od 3 do više desetina metara)
- sila prednaprezanja može biti od 100 kN do 3÷4000 kN



⊗ U zavisnosti od vrste veziva i načina na koji se vezivo ubacuje u bušotinu razlikujemo: (u zagradi može biti i ne mora da učini \Rightarrow)

SN-ankeri \Rightarrow prečnik bušotine je od 42÷46 mm
 telo ankera od čelika okruglog sa narezanim navojem
 bušotina se ispunjava masom od cementa, peska i vode, sa dodatkom
 aditiva za brže postizanje čvrstoće
 potrebno je da anker ima nosivost ≥ 10 MP kroz 6 časova

KOMPRESION ANKERI \Rightarrow Složeni proces izrade i ugrađivanja
 telo ankera sa navojem
 u bušotinu se ubacuju još dve cevi manjeg prečnika za
 istiskivanje vazduha, odnosno za ubacivanje cementne mase

ANKERI TIPA PERFO \Rightarrow U bušotinu se prvo ubacuje ^{perforirana} cev sastavljena od dva
 polucilindrična dela ispunjena walterom. Zatim se u
 tako pripremljen deo uvlači telo ankera i istiskuje
 walter u bušotinu. Tako se izgrađuju. Nedostatak je
 što se kotvljenje ostvaruje sa relativno malom količinom
 waltera.

ANKERI SA SINTETIČKIM SMOLAMA \Rightarrow u bušotinu se spuštaju patroni slični cevima kod
 perfo ankera koji su ispunjeni nezačešanim ocvršćivačem i osnovnim mastiksom.
 onda se unacrtuje telo ankera ta dva sastojka se mešaju i brzo stvrdnjavaju i izlaže

an patione. Na taj način izmestu tela ankera i zida busotine nalazi se potkopska staza. Sintetičke suve su dosta otporne na uticaj agresivnih voda; patione se proizvode industrijski; brzi i jednostavan postupak sidrenja; nosivost ankera postize se za minimalno vreme; potrebna dobra stručna snaga; naknadne intervencije su gotovo nemoguće; dosta su skupi.

(76) 96. DUGAŽICA-PREDNAPREGNUTA SIDRA

Konstrukcija od kablova ili užadi od visokomodnog čelika. Tehnologija prednaprezanja slična tehnologiji prednaprezanja betonskih konstrukcija. primenjuje se za podršku konstrukcije velikih raspona ili za osiguranje kosina portala u nestabilnom terenu.

- primenjuje se u svim terenima
- velike dužine
- velika sigurnost i efikasnost kotvljenja
- velike sile prednaprezanja

(77) 97. DIMENZIJE I RASTOJANJA SIDARA

Potrebno je odrediti tri veličine: dužinu, prečnik i rastojanje.

$$l_a = l_k + l_t + l_n \rightarrow \text{ukupna dužina ankera}$$

l_k - dužina kotve (dužina sidrenja u neporemećenoj zoni stenske mase)

l_t - dužina tela ankera

l_n - dužina navoja na sidru, koji izlazi van konture profila i iznosi 10-15 cm

Uслови za pravilno određivanje dimenzija ankera:

a) sila zatezanja ne sme da pređe dozvoljenu čvrstoću na zatezanje samog ankera
 b) nosivost sidrenja treba biti \geq sila zatezanja u sidru uvećana za koef. sigurnosti

c) Dužinu sidrenja određujemo na osnovu uslova da je sila čupanja \geq sila zatezanja u ankeru.

$$N_{st} = l_k^2 \pi \sqrt{2} \tau_{st} \geq N_{za} = F_a \cdot G_{az} \Rightarrow l_k = \sqrt{\frac{0,225 \cdot F_a \cdot G_{az}}{\tau_{st}}} \rightarrow \text{ekspanzioni ankri}$$

$$\pi \cdot D_B \cdot \tau_{st} \cdot l_k \geq N_a \Rightarrow l_k \geq \frac{N_a}{\pi \cdot D_B \cdot \tau_{st}} \rightarrow \text{adhezioni ankri}$$

F_a - površina pop. preseka ankera

T_{st} - napon slivanja stenske mase

σ_{at} - dozvoljeni napon zatezanja u celiku (naponi zatezanja na kontaktu stenske mase i waltera za adhezionu)

D_b - prečnik bušotine

N_a - dopustena nosivost ankera

T_a - napon slivanja na kontaktu celika i waltera

d - prečnik tela ankera

adhezioni ankeri \Rightarrow proveru $C_k = \frac{N_a}{\pi d T_a}$

$$e = \sqrt{\frac{s}{n \cdot p \cdot r \cdot t}} \quad \text{- razmak ankera}$$

78. 98. PRIMENA INJEKCIJANJA U PODZEMNIM KONSTRUKCIJAMA

INJEKCIJANJE = utiskivanje infekcione smese (suspenzije cementa sa dodatcima) u zazor (meduprostor obloge i stenske mase) i u šupljine stenske mase

Postiže se:

- ispunjavanje šupljina
- povezivanje i homogenizacija stenske mase
- povećanje čvrstoće i kvaliteta stenske mase
- prednaprezanje stenske mase i obloge

99. TEHNOLOŠKI POSTUPCI INJEKCIJANJA

INJEKCIJANJE = utiskivanje infekcione smese u zazor i u šupljine stenske mase

INJEKCIJONNA SMESA = cement, voda, aktivni dodaci (poboljšanje svojstava),
inertni dodaci (dodaci za povećanje otpornosti i usporavanje vezivanja)
betonit, gips, aditiv, regulatori i usporivači vezivanja

Operacije: bušenje; ispiranje vodom i vazduhom pod pritiskom; testiranje vodopropustljivosti elaze; priprema infekcione smese; utiskivanje pod pritiskom u elazu; održavanje pritiska od stvrdnjavanja.

Postupci ~~injekcije~~ injektiranja:

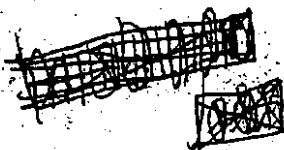
1. PROSTO - CELE BUŠOTINE SA BRIVOM U OBLOZI

2. U STAZAMA - SA BRIVOM (PARKER-ON) U BUŠOTINI

100.

VRSTE INJEKCIJ

1. KONTAKTNO INJEKCIJE
2. VEZNO INJEKCIJE
3. KONSOLIDACIONO INJEKCIJE
4. NAPONSKO INJEKCIJE



1. KONTAKTNO INJEKCIJE \Rightarrow ispunjavanje injeksionom masom šupljine na spoju betona i stenske mase; pritisk 3-4 bara; profili na 2-4 m; čistoća mase 1-1,5 MPa
 2. VEZNO INJEKCIJE \Rightarrow povezivanje u konstruktivni celina obloge i stenske mase (sadržstvo); pritisk < 0,5 bar; zadatani raspored bušotina
 3. KONSOLIDACIONO INJEKCIJE \Rightarrow postizanje potrebnog stepena deformabilnosti stenske mase; pritisk < 1-3 MPa; potrebna čistoća 1,5-2 MPa; može se ostvariti u stenskim masama V, VI, VII kategorije
 4. NAPONSKO INJEKCIJE \Rightarrow postizanje prednaprezanja betonske obloge; pritisk > 3 MPa; potrebna čistoća 5 MPa; bušotine radikalne - simetrično raspoređene
- 79 (101) GEOTEHNIČKE MELORACIJE U TUNELGRADNJI
- POBOLJŠANJE KVALITETA TERENA -

INJEKCIJE;

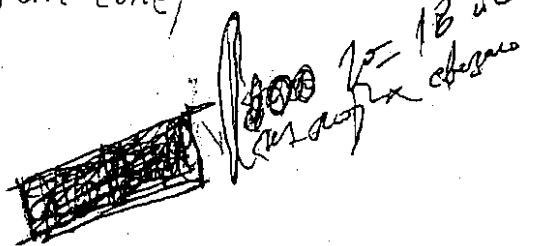
- za duboko položene tunele: bušenje + injektiranje ispred tela ugrađenog tunela
- za plitko položene tunele: sa površine terena

Neto" utrošak injeksione mase 30-50% od šupljina (pora, pukotina)
 Bruto" utrošak 2-3 puta veći (van željene zone)

ZAHRAZAVANJE: ΔT 30° do -40 °C

Koristi se:

- amonijak (stari način)
- tečni azot (savremen način)



Kod zaletivanja stvaraju se sočiva leda i povećava zapremina na cca 3%
 Zona zaletivanja zavisi od ΔT i od indeksa mraza

→ vidi ova pitanja i iz druge sk.

✓ 80. 02. MERETNA DEFORMACIJA U ST. MASI I KONSTRUKCIJI ✓

✓ 81. 03. MERETNA NAPREZANJA U ST. MASI I KONSTRUKCIJI ✓

81. cilj: da se dobiju podaci koji doprinose ispravnim dimenzioniranjima
→ sistema origina i slovanog profila i uenočne tnel/ske konstrukcije
koristi se na nekoliko: 1. → meretna konvergencije
2. → meretna promene obina
3. → meretna deformacije po dubini
4. → meretna naprežanja u konstrukciji
5. → meretna stanja naprežanja

82. 04. MERETNA KONVERGENCIJE ①

To je odrednica priklone rastojanja između više različitih repora ugrađenih na konturi tunelskog profila (u st. masi, prilikom bet. rešenja i na tnel/sku konstrukciju).

→ meretna se odnosi na velicine pomeranja prema tnel/skom otvoru !



- svaki repor ima 2 nepovratne kalip. pozicije
- svako merenje priklone rastojanja između 2 repora je 1 jedinica
- N-br repora → potrebno je min 2N-3 uernih
- raspored uernih pravaca pri merenju treba da ima najmanje 1 Δ uernih pravaca

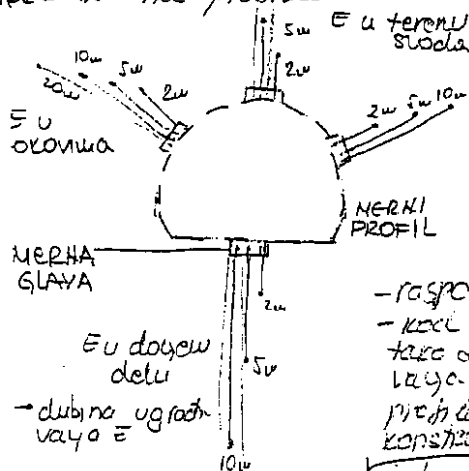
za merenje se koriste → TELESKOPSKA CILJ
→ MERNA TRAKA (ili MERNA ŽICA)
→ UREĐAJ ZA ZATEZANJE (tež ili opruga) ← mehanizam

83. 05. MERETNA PROMENE OBINA TNEL/SKOG OTVORA ②

✓ Po konturi tnel/skog otvora ugrađuju se repori. Na reporu su: izmerište u tački prema kojoj je zategnuta merina traka ili merina žica. Merina traka se pričvršćuje na pojedinačne repore, a na završnom se pričvršćuje pomoću opruge koja se izlazi uređaji za čitanje.

84. 06. MERETNA DEFORMACIJE PO DUBINI STENSKE MASE ③

✓ To je meretna relativnih pomeranja pojedinih tačaka u st. masi. Radi se na probnim destrukcijama i u kontrolnim profilima.



- pomoću žice ili šipke zategnute u bušotinu meri se relativno prema jedne tačke (tačka fiksirana žice) u odnosu na 2. tačku - ugrađivanje
- VIŠESTRUKI EKSTENZIOMETAR - u 1 bušotinu se ugrađuju više žica ili šipki čiji su krajevi fiksirani na raznim dubinama
- pomeranja se očitavaju na ugrađenoj glavi

- raspored bušotina je najčešće radijalni
- kod putova podzemnih tunela: višestruki E se postavljaju tako da je ugrađena kontrolna pozicija st. mase u tzv. približno. kraju tunela, kao i - posle predavanja - faze iskopavanja tnel/skog profila kroz ugrađeni profil se čitaju razlike tnel/ske konstrukcije. bitno je da se na pojedinim mestima ugrađuju repori.

relativne pomeranja u odnosu na površinu terena i obimne

extenziometar

85 ✓ METODE NERENJE NAPONA U OBLICI I NA KONTAKTU TUNELSKJE KONSTRUKC. I ST. MAS.

Metode neposrednog merenja se zasnivaju na: na spoljnoj konstrukciji tunela se postavljaju razliciti instrumenti koji registruju velicine nila uspe deluju na konstrukciju.

Koriste se DINAMOMETRI

→ RAZNE CELIJE (DOZNE)

→ AKEUSTICNA METODA

→ METODA NA BAZI PROMENE OTTORA

Direktnim merenjem poddeluju pritiska, pravilnije se znaju uticaji mehanickih i strukturnih karakt. st. mas. na raspored i intenzitet opt. na tunnelsku konstrukciju.

Upr. spoljne merenje tunela postaje se fleksibilne celije od drva, koje postavljaju podgrade ili pre betoniraju. Pritiske celije imaju prirubice sa manometrima. Tako se pritisci na oblogu mere pomocu zatvorenog hidraulickog sistema s celija - cel - manometar. Uredaj je spojen sa priklucnim intenzitet opt. i omogućava da se opazuje LASE na tunnelskoj oblozi.

NERNA SIDRA

5

Merenja nila u tlu vrse omogućavaju analizu ponašanja celog sistema, sigurnosti i zone st. mase oko tunnelskog otvora.

Merenja se obavljaju na specijalnim sondama (NERNA SIDRA) koje su opremljene tenzometarskim instrumentima kojima se odredjuje deformacija tla pod dejstvom sile.

NERNA SIDRA:

TENZOMETARSKI INSTRUMENTI



DEF. SIDRA USLED SILE

PODZEMNI PRITISCI

- stenske mase se u prirodi nalaze u PRIMARNOJ NAPONSKOJ STANJU. One nije postojala i fiksna
- kad se u st. mase grade i izgrade podzemni objekti, stvara se novi nap. stanje → SEKUNDARNO NAPONSKO STANJE
- preraspodela primarnog nap. stanja se ispoljava nakon iskopa, podzemne proširuje. U zoni oko podzemne konstrukc. dolazi do novog stanja napona. Ako su mehanicke otpornosti st. mase u odnosu na veličinu mase mala → dolazi do velike deformacije. oblika. Tada postoji samo hitno preuzimanje stanja nap. u zoni oko T. objekta
- male → nastaju velike deformacije → st. mase tež. da ispun. T. prostor. Kada se suprotstavljaju podzemnom, sprečene su dalje deformacije, a posledica toga su podzemni pritisci NA PODGRADU. Podzem. prit. zoni su od otpornosti podgrade, koja se suprotstavlja pomeranju st. mase.

APROKSIMACIJE NAP.-DEFORM. PROCESA PRI STAT. ANALIZAMA PODZEM. OBJ.

Nap.-deform. problem se definiše kao: problem u kome se u prirodi napregnutoj st. sredini stvara odnos određenog oblika i ugrađene konstrukcije određenih karakt., i gde je pri tom stenski masi izložen opt. usled

- sopstv. težine
- temp. promena
- spolj. sila
- dinamičnu opterećenja
- pritisku vode

a. ali je i naci poja. pomeraja, deformacija i napona u st. masi i konstrukc.

Postavljanje nap.-deform. problema → prevođenje realnog fizičkog problema u matematički jezik i svodi se na postavljanje uslova (jedroćna) u koje uorazi da zadatke rešenja problema (poja. pom. deform. i nap.). Rešavanje problema se vrši primenom → analitičkih metoda (samo u jednostavnim slučajevima) i numeričkih metoda.

Osnovna aproksimacija u postavljanju matematičkog problema je završena kadne diskretne, diskontinualne stenske strukture kontinuiranom. Pretp. je napravljena kada su odnose koje podzemnog obj. ima od rastojanja između objekata u st. masi.

Nap.-deform. problem u matem. formi je granu problem čija rešenja uorazi da zadatke sist. jed. → uslove kompatibilnosti i uslove ravnoteže → nap.-deform. relacije st. mase i konturne uslove po povr. i silama

Postavljanje problema je definisanje stat. sist., opt. i uvođenje uslova rešenja

STAT. SISTEMI U ANALIZI PODZEMNIH OBJ.

To je sist. uslova u kome se nalazi st. masa sa podgradom i koje uvođe u prou. propisati za poja. deform. i sile u određivanom prostoru. Stat. sist. se uvođa u funkciji napredovanja gradnje.

87 ✓

109. STATIČKI SISTEM U ANALIZI PODZEMNIH OBJEKATA

Statički sistem je sistem uslova u kojima se nalazi stenska masa sa podgrađom i konstrukcijom, i koje možemo opisati za pomeranje, deformaciju i analizu sila.

Statički sistem se generalno menja u f-ji napredovanja gradnje, u postavljanju statičkog sistema za analizu osnovno je određivanje da dvodimenzionalni ili tri-dimenzionalni sistemi.

dvodimenzionalni sistem - tuneli.

110. MODELIRANJE PONAŠANJA MATERIJALA U STATIČKIM PRORAČUNIMA PODZEMNIH OBJEKATA

Cilj naponsko deformacionog problema: naći polja pomeranja, deformacija i napona u stenskoj masi i konstrukciji.

Rešavanje problema se svodi na prevođenje realnog fizičkog problema na matematički jezik → matematički model.

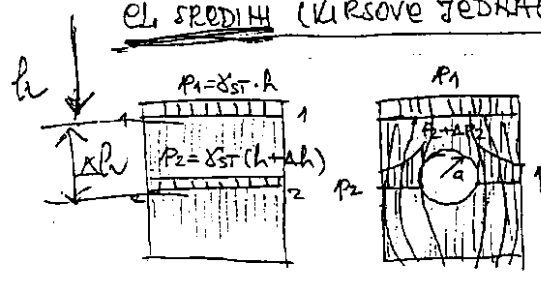
Postavljanje problema je definisanje: statičkog sistema, opterećenja i modela materijala.

Definisati model materijala znači: za svaku kvazihomogenu zonu stenske mase u okviru statičkog sistema odabrati reprezentativni tip veze između napona i deformacija (konstitutivna relacija) i potom odrediti parametre usvojenih konstitutivnih relacija.

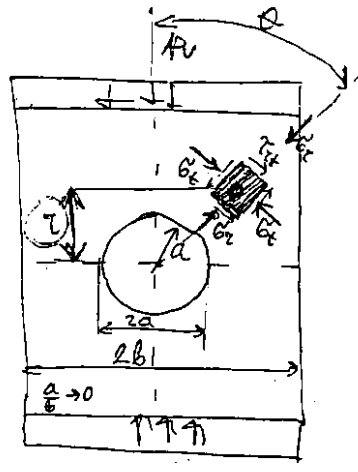
Definisanje diskontinuiteta se radi za svaki slučaj posebno, a treba voditi računa o efektu razmere.

89

111. NAPONSKO-DEFORMACIJSKO STANJE OKO KRUGLOG, PODZEMNOG, OTVORA U EL. SREDINI (KRŠOVE JEDNAČINE). veza napon-def → HUKOV ZAKON



- primarno i sekundarno nap.st. - pritisak raste sa dubinom
 - koncentracija napona oko kruglog otvora
 - trapezovite napona oko kruglog otvora
- Analičko određivanje napona - Kršove jednačine - materijal je elastičan, homogen, izotropan (idealizacija)



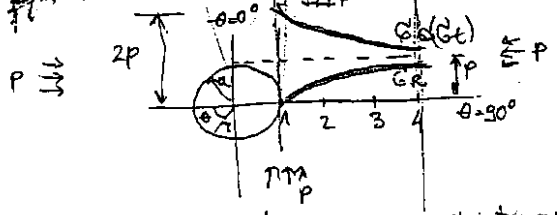
$$G_r = \frac{p}{2} \left((1+\lambda) \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + (1-\lambda) \left(1 + 3 \frac{a^4}{r^4} - 4 \frac{a^2}{r^2}\right) \cos 2\theta \right)$$

$$G_t = \frac{p}{2} \left((1+\lambda) \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) - (1-\lambda) \left(1 + 3 \frac{a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta \right)$$

$$\tau_{rt} = -\frac{p}{2} \left((1-\lambda) \left(1 - 3 \frac{a^4}{r^4} + 2 \frac{a^2}{r^2}\right) \sin 2\theta \right) \quad \lambda \neq 1$$

- p - vert. pritisak
- h - visina nadstoga (pritisak raste sa dubinom)
- θ - centralni ugao
- $\lambda = \frac{p_v}{p_h}$
- G_r - radijalni - za konturu uvek jednak nuli $r=a$, $\tau_{rt}=0$

✓ Za elastičnu sredinu izloženu hidrostatičkom pritisku $\Rightarrow \lambda = \frac{p_v}{p_h} = 1$

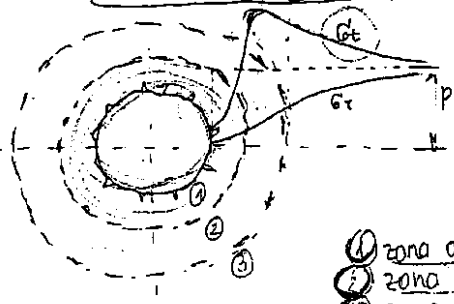


$$G_r = p \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \quad \text{za } \frac{r}{a} = 4 \text{ - potrošena zona}$$

$$G_t = p \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) \quad \text{(zona potrošenih napona)}$$

- * Primena teorije elastičnosti za određivanje sekundarnih napona u st. masi je opravdana samo kada se podzemne konstrukcije grade u čvrstom, neispucanom i homogenom st. masu
 - * max i min vrednosti tang. napona na konturi kruglog otvora zavise od θ je $\cos 2\theta$ i $\sin 2\theta$.
 - * $(r=a) \rightarrow$ za $\theta=0^\circ \rightarrow \min G_t = -p(1-3\lambda)$
 - za $\theta=90^\circ \rightarrow \max G_t = p(3-\lambda)$
- TANGETNI NAPON (Gt)

112. NAPONSKO DEFORMACIJSKA STANJA OKO KRUGLOG, PODZEMNOG OTVORA U ELASTO-PLASTIČNOJ SREDINI (KASTNER-OVO REŠENJE)



skop $\Rightarrow G_r$ teži nuli, a G_t može dostići max vrednost

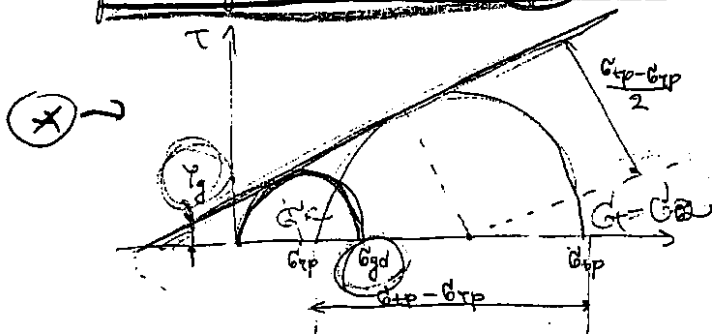
Kada vrednost G_t prekorači otpornost stenske mase javlja se velika koncentracija napona i može doći do loma (with low). Taj lom može biti trenutan.

- 1) zona oslobođeni prirodni napona
- 2) zona velikih pritiska ili zona nosećeg pritiska
- 3) zona prirodnih napona ili nepotrošena zona

Dubina zone oslobođenih prirodni napona zavisi od prirodnih hidričkih pritiska, veličine i oblika profila, vise stene i tehnologije gradnje.

* Za elastično područje veza napon-deformacija data je Hookeovim zakonom, $\epsilon - \sigma$.

Za plastično područje uslov je da krugovi napona dodiruju graničnu liniju. Nije konstruktivna obojnica obojnica treba da obuhvata graničnu liniju, data je jednoosni čvrstoći σ_{gd} na pritisak i uglove unutarnjeg trena.

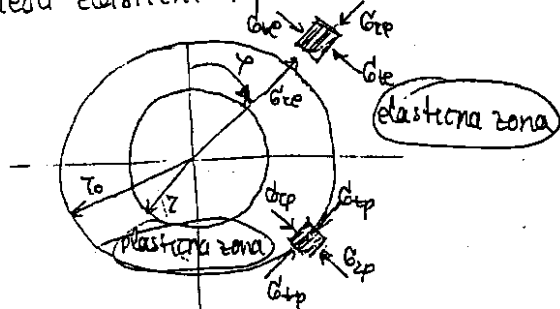


$$\xi = \frac{1 + \sin \varphi_g}{1 - \sin \varphi_g}$$

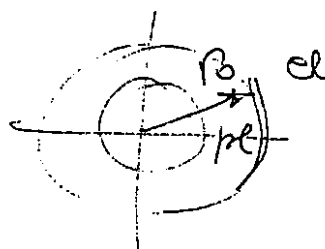
USLOV PLASTIČNOSTI

$$\sigma_{gp} - \xi \sigma_{gp} - \sigma_{gd} = 0$$

Za rešavanje jednatine uslova plastičnosti, se postavljaju uslovi koji važe ~~kao za~~ za elastično i za plastično područje. Izjednačavanje tih uslova se vrši na granici između elastične i plastične zone.



r_0 - granica elastične i plastične zone.



113. KLASIČNE METODE STATIČKOG PRORAČUNA TUNEL. KONSTR.

1. METODA SILA
2. METODA DEFORMACIJA

114. DEFINISANJE OPTEREĆENJA NA TUNELSKU KONSTRUKC. PRIMENOM TEORIJE PROTOKALONOVA

Primenuje se za duboko položene podzemne konstrukcije. Zasniiva se na pretpostavci formiranja paraboličnog rastegnutog svoda.

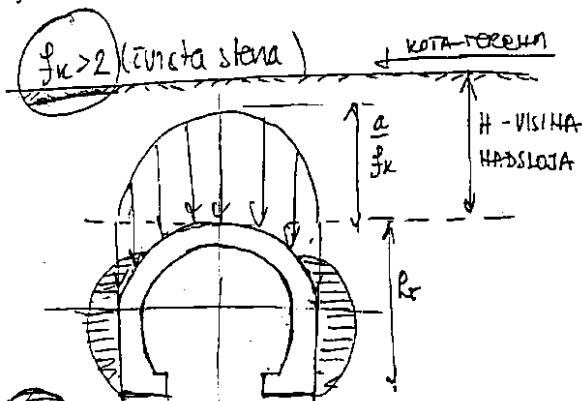
φ_k koef čvrstoće (zavisi od svojstva stenske mase i razbit je za koherentne, nekoherentne i čvrste stene) \Rightarrow posledica da teorija može da se primeni na sve kategorije stenske mase.

$$\varphi_k \frac{\sigma_c}{\sigma_0} \geq 2$$

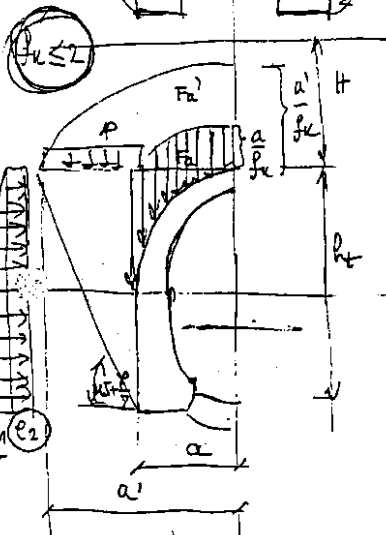
$$\frac{\sigma_c}{\sigma_0} > 2 \quad \varphi_k = \frac{\sigma_c}{\sigma_0}$$

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_0} \geq 2 \quad \varphi_k = \frac{\sigma_c}{\sigma_0}$$

$$H \geq 15m$$



uzima se samo vert. opterećenje p
(težina st. mase ograničena parabolom)
- usled vertikalnog opt. pojavlju se
reaktivno opterećenje sa strane.



e_1 - usled opterećenja zbog ulazne zavni
 e_2 - od opterećenja p

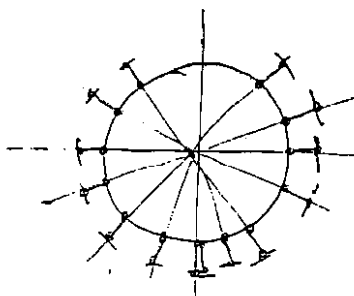
Bočni pritisak je oblika trapeza i veličina
zavisi od ugla unutrašnjeg trenja
i visine tunnelske konstrukcije

$$p_v = \gamma \cdot H$$

115. STATIČKI PRORAČUN TUNELSKO KONSTRUKCIJE PRIMENOM METODE SILA

„Izvanjsi presek obloge se pretvara u pravilan upisani mnogougao. Čvorovi tog mnogougaoika (sredina) zamenjuju se ekvivalentnim elastičnim osloncima → u statičkom smislu osnovni sistem je lanac sa zglobovima na mestu elastičnih oslonaca (i u temenu se unesu zglobovi).“

Broj elastičnih oslonaca zavisi od uzajamnog odnosa preseka tunela i debljine obloge, i od odnosa vertikalnog i horizontalnog opterećenja.
~~Stenska masa se zamenjuje pro~~ elastični oslonci = prosti stupovi



Za simetrično opterećenje i simetričnu konstrukciju oslonac u osovini simetrije se zamenjuje sa dva elastična stupa sa karakteristikama $D/2$.
Pomeranja i obitanja u zglobovima su nepoznate.

93. 116. STATIČKI PRORAČUN TUNELSKO KONSTRUKCIJE PRIMENOM METODE DEFORMACIJE

Tunelska konstrukcija i stenska masa se zamenjuju ekvivalentnim sistemom stupova. Unutrašnje sile i momenti su funkcije pomeranja i opterećenja. Njihova ravnoteža dobija se iz jednačine za svaki čvor cijele matrice natičimo = MATRICA KRUTOSTI.

ukupna matrica krutosti = ^{SISTEMA} matrica krutosti tunnelske konstr. + matrica krutosti stenske mase.

$$\{ [K] + [K_T] \} \cdot \bar{x} = \bar{R} \rightarrow \text{cene}$$

↓
mat. krutosti

94. 117. INTERAKCIJA KONSTRUKCIJE I STENSKO MASE U STATIČKOM PRORAČUNU TUNELSKO KONSTRUKCIJE PRIMENOM METODE DEFORMACIJE

Konstrukcija svojim opteređenjem deluje na stensku masu i izaziva pomeranje δ . Stensku masu zamenjuje fiktnim stupovima. Treba da odredimo dimenzije tih fiktnih oslonaca. Dimenzije fiktnih oslonaca moraju biti takve da uz istu reakciju daju iste deformacije. Potrebno je izjednačiti deformacije stupa koji zamenjuje stenu sa deformacijom na površini A_0 (kontaktna površina ~~na~~ konstrukcije i stene). Naprezanja na zatezanje fiktnih stupova nisu moguća. Ako se dobije sila zatezanja stup treba izostaviti iz proračuna.

95. 118. OSNOVNE POSTAVKE I SPECIFIČNOSTI PRIMENE MKE U ANALIZI PODZEMNIH PROSTORIJA

MKE - numerička metoda. Zasniva se na diskretizaciji odabranog objekta za analizu, na individualne elemente konačne veličine.

Osnovne pretpostavke metode su:

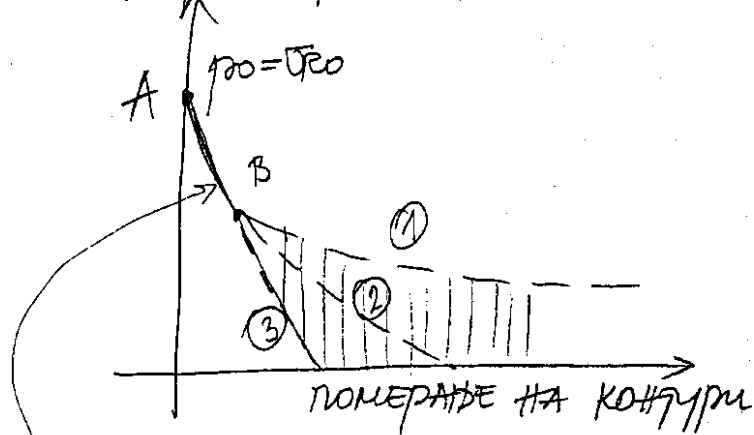
- elementi su međusobno povezani čvorovima čime se obezbeđuje kontinuitet
- stanje u svakom elementu (pomeranje, deformacija, temperatura i sl.) se može opisati pomoću interpolacionih f-ja i konačnog broja parametara ψ čvorovima (to su osnovne nepoznate veličine u MKE).

Razmatrani doimen sa mnogo stepeni slobode zamenjuje se sistemom konačnih elemenata sa konačnim brojem stepeni slobode.

Na osnovu početnog stanja traži se novo ravnotežno stanje, putem linearizacije osnovnih jednačina odu poslednjem poznatom stanju i formiranjem iterativnog smera.

96) Analiza napona i def. procesa po stat. analizama podzemnih obj. primenom varijaci. metoda

• АНАЛИЗА НАП.-ДЕФ. ПРОЦЕСА ПРИ АНАЛИЗАНА
ОБЈЕКТА ПРИМЕТНОМ КАРАКТЕРИСТ. ЛИНИЈА
ОПОР ПОСТРАДЕ

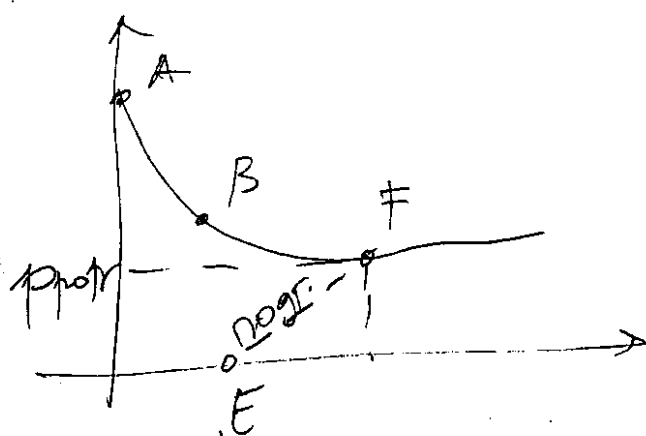


- ① крто
- ② критично смањење
чврстоће
- ③ скоро потпуно

еластично деформисање до тачке В

- ① крТА СТЕНА МОРА ОНАХ ДА СЕ ПОСТРАДИ
БРЗО РАСТУ И НАПРЕДУЈУ
- ② ПОЛАТАНО СМАЊЕЊЕ ЧВРСТОЋЕ
(СТ. МАСА ЈЕ ЧЗВЕЧНО ВРЕМЕ СТАБИЛНА, У СТА
НОЈ ЈЕ ДА БЕЗ ДОДАТНЕ ПОСТРАДЕ УСПО-
СТАВИ НОВО НАП. СТАЊЕ)

* ВЕЛ. ПОТРЕБНОГ ОТПОРА ПОСТРАДЕ СЕ ГО-
ДИЈА ЧЗ КАР. ЛИНИЈА СТ. МАСЕ И ЧЗ АБРАНЕ
ПОСТРАДЕ



ВЕЛ. ПОМЕРАЊА ЧЗВРЋЕТА ПРЕ
ПОСТАВЉАЊА ПОСТРАДЕ!!