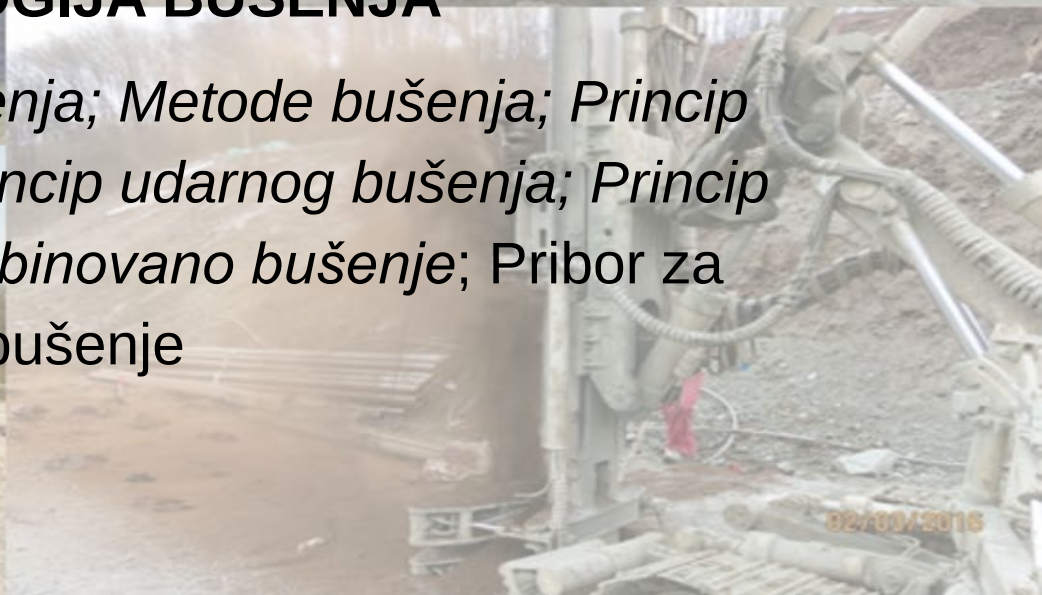


Nedelja 2,3

TEHNOLOGIJA BUŠENJA

Tehnički postupci bušenja; Metode bušenja; Princip rotacionog bušenja; Princip udarnog bušenja; Princip ručnog bušenja; Kombinovano bušenje; Pribor za bušenje



Sadržaj:

Nedelja 1. OPŠTE O ISTRAŽNOM BUŠENJU - Kratak istorijat istražnog bušenja; Istražno bušenje i pojam istražne bušotine, nove tehnologije, karakter bušača

Nedelja 2, 3. TEHNOLOGIJA BUŠENJA - Tehnički postupci bušenja; Principi mehaničkog bušenja; Princip rotacionog bušenja; Princip udarnog bušenja; Princip ručnog bušenja; Kombinovano bušenje; Pribor za bušenje

Nedelja 4. UPOTREBA RADNIH FLUIDA PRI BUŠENJU - Bušenje čistom vodom; Upotreba glinenih isplaka; Svojstva isplake; Isplaka na bazi nafte; Polimerne isplake; Upotreba komprimovanog vazduha; Upotreba hemijskih preparata - pena; Dodaci isplaci za brže bušenje; Pumpa za isplaku

Nedelja 5. USMERENO BUŠENJE i KRIVLJENJE BUŠOTINE (DEVIJACIJA) - Uzroci krivljena bušotine; Merenje iskrivljenosti bušotine

Nedelja 6. TAMPONIRANJE i CEMENTACIJA ISTRAŽNIH BUŠOTINA i ZAGLAVE i HAVARIJA U TOKU BUŠENJA - Spašavanje zaglavljenog bušačkog pribora; Otklanjanje havarija u bušotini

Nedelja 7. UZORKOVANJE IZ ISTRAŽNIH BUŠOTINA i ISPITIVANJA NA JEZGRU i U ISTRAŽNIM BUŠOTINAMA - Ispitivanja na jezgru istražnih bušotina; Osmatranja merenja i ispitivanja u bušotinama; Praćenje osnovnih parametara bušenja; Hidrogeološka osmatranja i merenja u bušotinama; Geofizička merenja u bušotinama; Geotehnička osmatranja i ispitivanja u bušotinama

Nedelja 8. SPECIFIČNOSTI BUŠENJA U RAZLIČITIM GEOLOŠKIM SREDINAMA - Svojstva stenskih masa; Bušivost stena; Stabilnost zidova bušotine; Izbor opreme i režima bušenja; Izbor opreme; Izbor režima bušenja

Nedelja 9. OSTALE PRIMENE BUŠENJA U GEOTEHNICI - Priprema uzoraka i mernih mesta za "in situ" ispitivanja; Iskop čvrstih stenskih masa miniranjem; Izrada bušenih šipova; Poboljšanje svojstava stenskih masa; Bušotine specijalnih namena

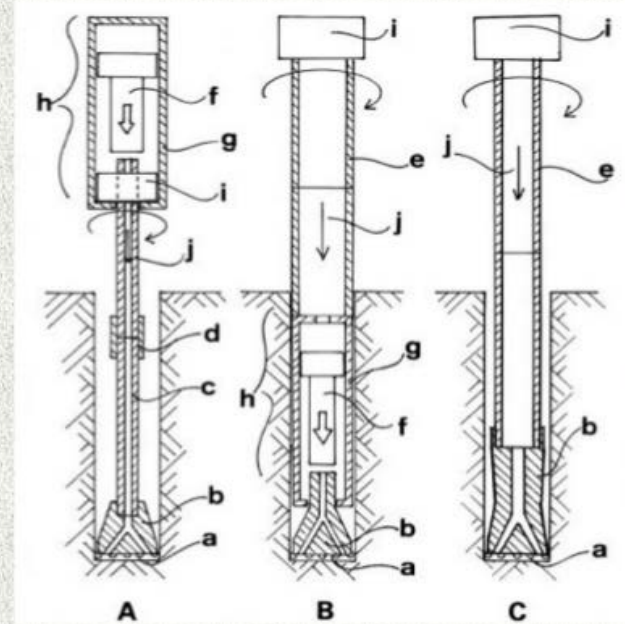
Nedelja 10. ISTRAŽNI ISKOPI i IN SITU OPITI - Plitki istražni iskopi; Istražne jame; Istražni rovovi; Istražne raskrivke; Duboki istražni iskopi; Istražna okna, šahte; Istražne galerije, potkopi; in situ opiti (opit krilnom sondom, DMT, SPT, CPT, opit pločom)

Nedelja 11. PRAKTIČNA NASTAVA - Obilazak gradilišta gde se vrši istražno bušenje i upoznavanje sa osnovnim elementima bušačkog pribora i tehnologijom bušenja; Kartiranje i izrada profila istražne bušotine u AutoCad-u

TEHNIČKI POSTUPCI BUŠENJA

Najširu primenu imaju **mehanički postupci bušenja**. Oni se zasnivaju na **rezanju i razaranju stene** na dnu bušotine pomoću **struganja, drobljenja, trenja** i sl., pomoću specijalnih alata, **svrdla, dleta, kruna**. Ovo se postiže **stalnim kontaktom alata sa stenom** na dnu bušotine, odnosno **rotacijom uz delovanje osovinskog pritiska ili udarima alata**. U zavisnosti od načina rada alata na dnu bušotine, odnosno načina razaranja stene, možemo razlikovati:

- **obrtno ili rotaciono bušenje,**
- **udarno ili perkusiono, i**
- **udarno-rotaciono ili kombinovano bušenje.**



Schematic drawings of three types of drill

A) top hammer, B) DTH, C) simple rotary drill

a) tip, b) bit, c) rod, d) sleeve, e) drill pipe, f) piston, g) cylinder, h) percussion mechanism, i) rotation mechanism, j) flushing

METODE BUŠENJA

Da bi istražno bušenje bilo uspešno i efikasno izvedeno, pre njegovog početka, potrebno je preduzeti niz tehničkih pripremni radnji i tehnoloških operacija. Pre svega, potrebno je:

- **izraditi odgovarajući projekat (program) istraživanja,**
- **izvršiti pripremu lokacije,**
- **montirati garnituru i opremu,**
- **ugradnjom uvodne kolone započeti bušenje.**

U projektu se, na bazi **prognoznog geološkog modela terena**, kao i problema koji treba rešiti, definiše konstrukcija bušotine:

- dubina bušotine,
- početni i završni prečnici,
- prečnici po pojedinim intervalima,
- intervali i prečnici zacevljenja
- ostali elementi bušotine.

METODE BUŠENJA

Zatim se na osnovu prognoznog modela terena i konstrukcije bušotine vrši izbor:

- metode bušenja,
- tipa garniture,
- vrste bušaćeg pribora,
- vrste isplake i
- režima ispiranja.

Posebna pažnja se poklanja **pripremnoj fazi za bušenje** tj. **proveri tehničke ispravnosti:**

- garniture za bušenje,
- pumpe,
- bušaćeg pribora i
- ostale opreme.

Takođe u ovoj fazi, pored pomenute provere ispravnosti, potrebno je obezbediti u dovoljnim količinama **potrošni materijal i pripremiti lokaciju za bušenje.**

METODE BUŠENJA

Po lociranju bušotine na terenu, pristupa se **izradi pristupnih puteva i uređenju lokacije**. Pristupni putevi se prosecaju, ili se popravljaju već postojeći, za nesmetan transport garniture i opreme.

Na lokaciji za bušenje potrebno je urediti prostor, dovoljno velik za smeštaj celokupne opreme, pribora i potrošnog materijala, pri čemu treba vodi računa o pričinjavanju što manjih šteta na okolnom zemljištu. **Lokacija bušotine mora biti propisno udaljena, minimum dve dužine tornja, od električnih vodova, zgrada i drugih objekata.**

U urbanim sredinama **mikrolokacija bušotine** se definiše nakon uvida u **katastar tehničke infrastrukture** - kanalizacione, vodovodne, toplovodne, elektro, ptt i dr.

Radilište se ograđuje ili obezbeđuje na drugi način. Postolje za postavljanje garniture treba urediti tako da bude ravno, horizontalno i na čvrstoj stabilnoj podlozi.

Lokacija se snabdeva dovoljnim količinama vode za bušenje ili spravljenje isplake. Za **čišćenje isplake** od nabušenih čestica izrađuje se **sistem kanala i taložnika**. Na radilište se dovodi **struja** ili se obezbeđuje odgovarajući agregat.

METODE BUŠENJA

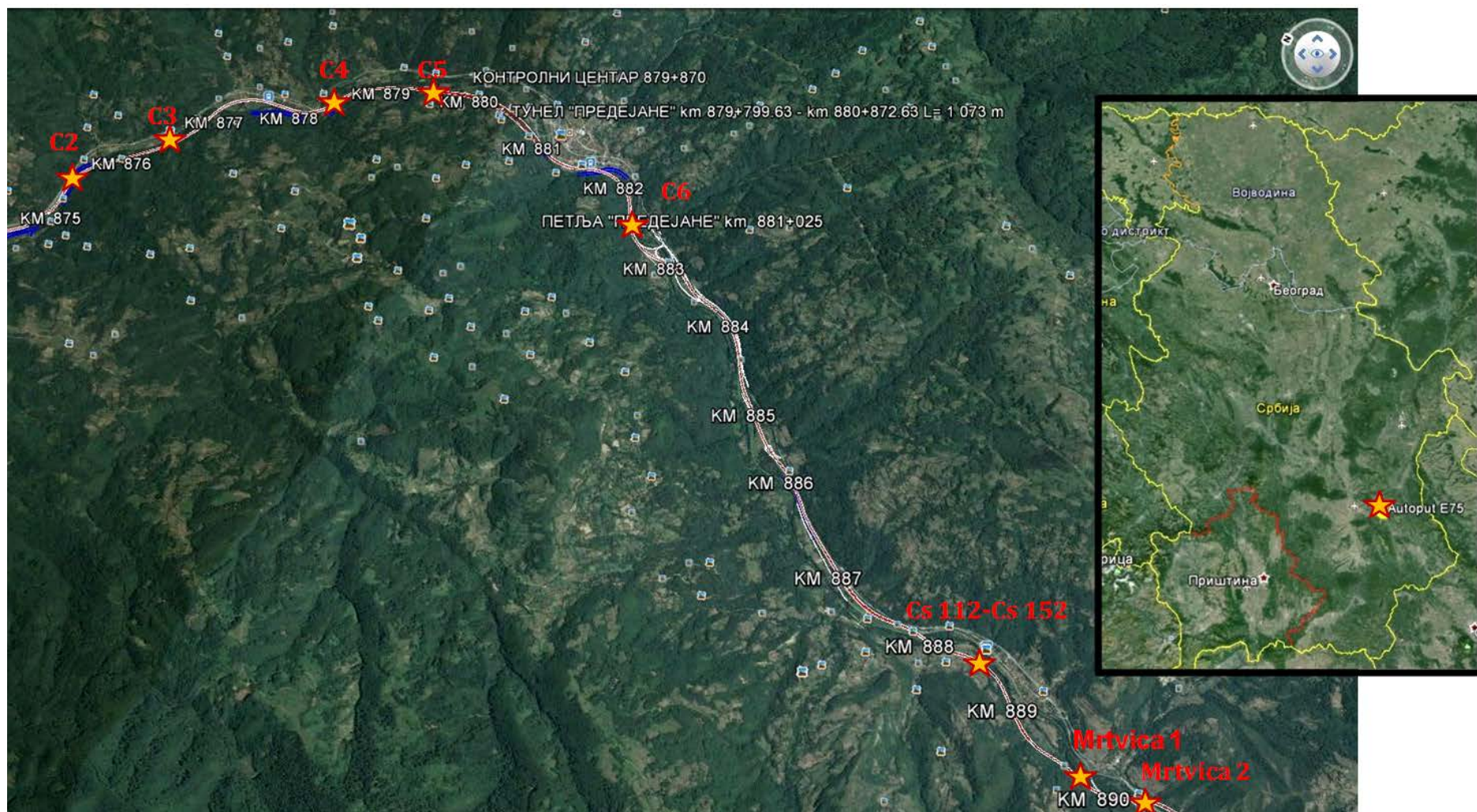
Kada je pripremljena lokacija, dopremljena garnitura, pribor i ostala oprema, **pristupa se montaži**. Garnitura se postavlja u **strogo horizontalan položaj**, i vrši se njeno **uzemljenje** od eventualnog udara groma.

Posebna pažnja posvećuje se **stabilnosti tornja**, koji je neophodno montirati na čvrstoj podlozi. Zbog eventualnih **udara vetra**, ukoliko je potrebno, sidri se čeličnim užadima. **Bušaće šipke, obložne kolone, ostali pribor i potrošni materijal postavljaju se na odgovarajuće mesto.**

Nakon izvedenih pripremnih radnji počinje se sa bušenjem za uvodnu kolonu.

Bušenje kroz površinski, humusni ili neki drugi rastresiti sloj započinje se sa kratkim jednostrukim jezgrenim cevima (0,5 m), dok se ne izbuši za **jezgrene cevi standardne dužine (3 m)**. Kada se prođe kroz rastresiti površinski sloj postavlja se uvodna kolona. Uvodna kolona se spušta do dna bušotine a iznad usta bušotine viša je za oko 0,2 m. Zatim se centrira i učvršćuje drvenim klinovima. Međuprostor se zapunjava priručnim materijalom, ili se cementira, da se isplaka sa nabušnim česticama ne bi vraćala u bušotinu. Po ugradnji uvodne kolone nastavlja se proces bušenja po unapred predviđenom planu.

METODE BUŠENJA



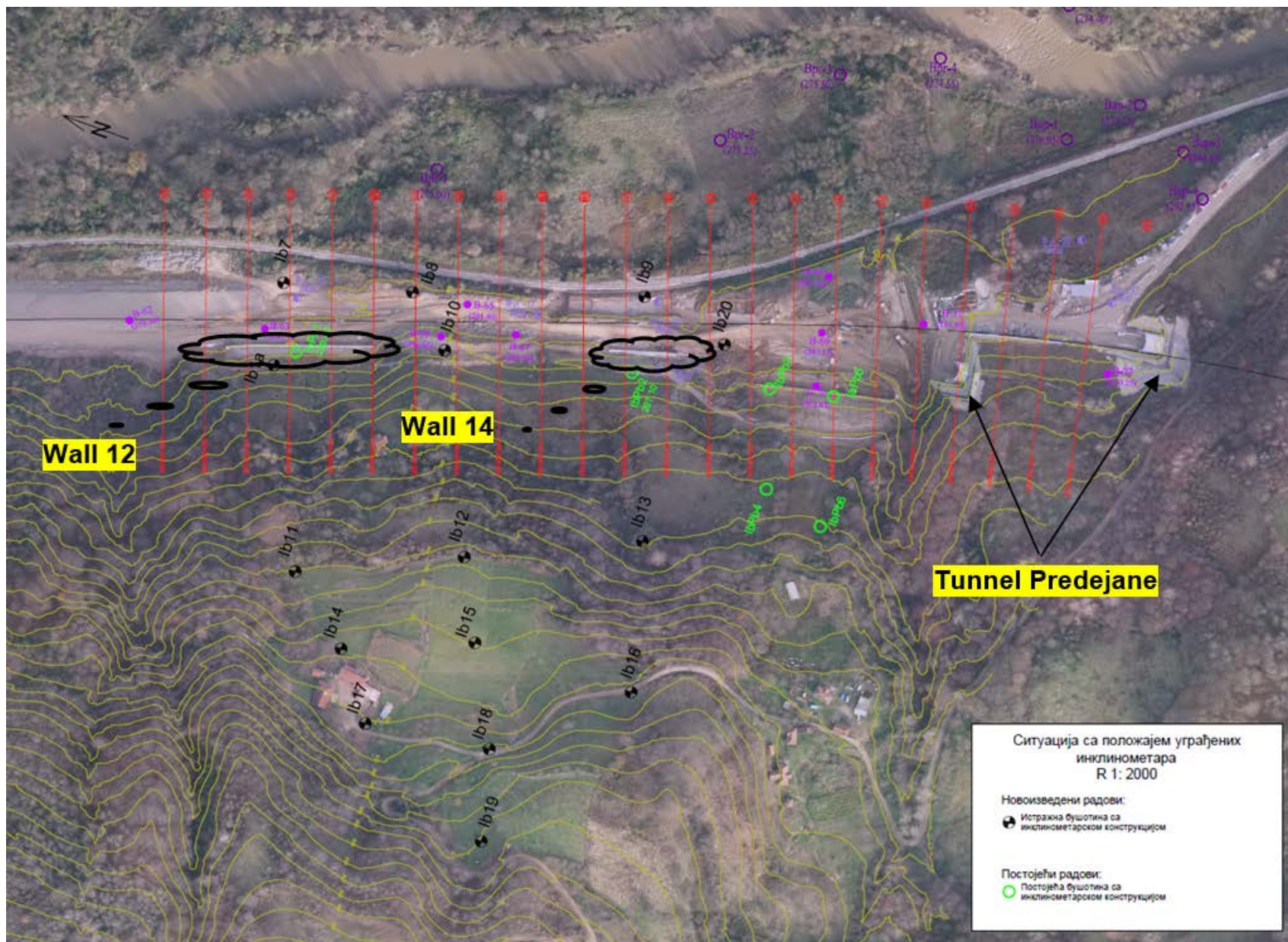
METODE BUŠENJA



METODE BUŠENJA



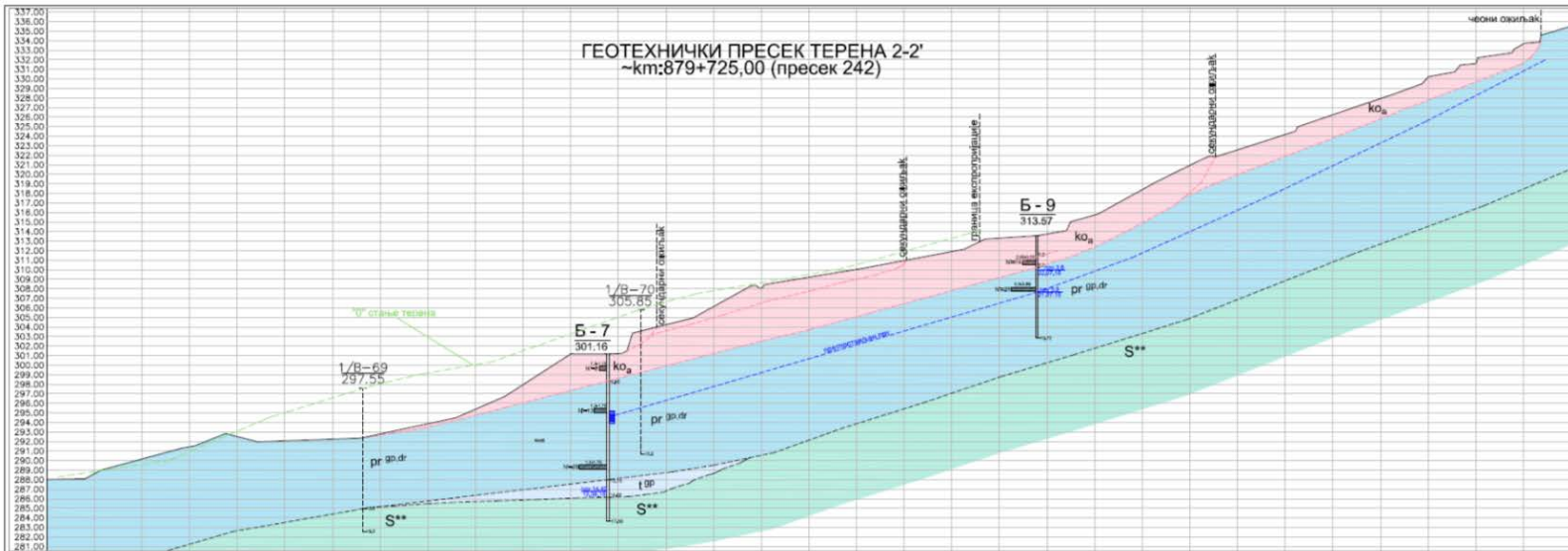
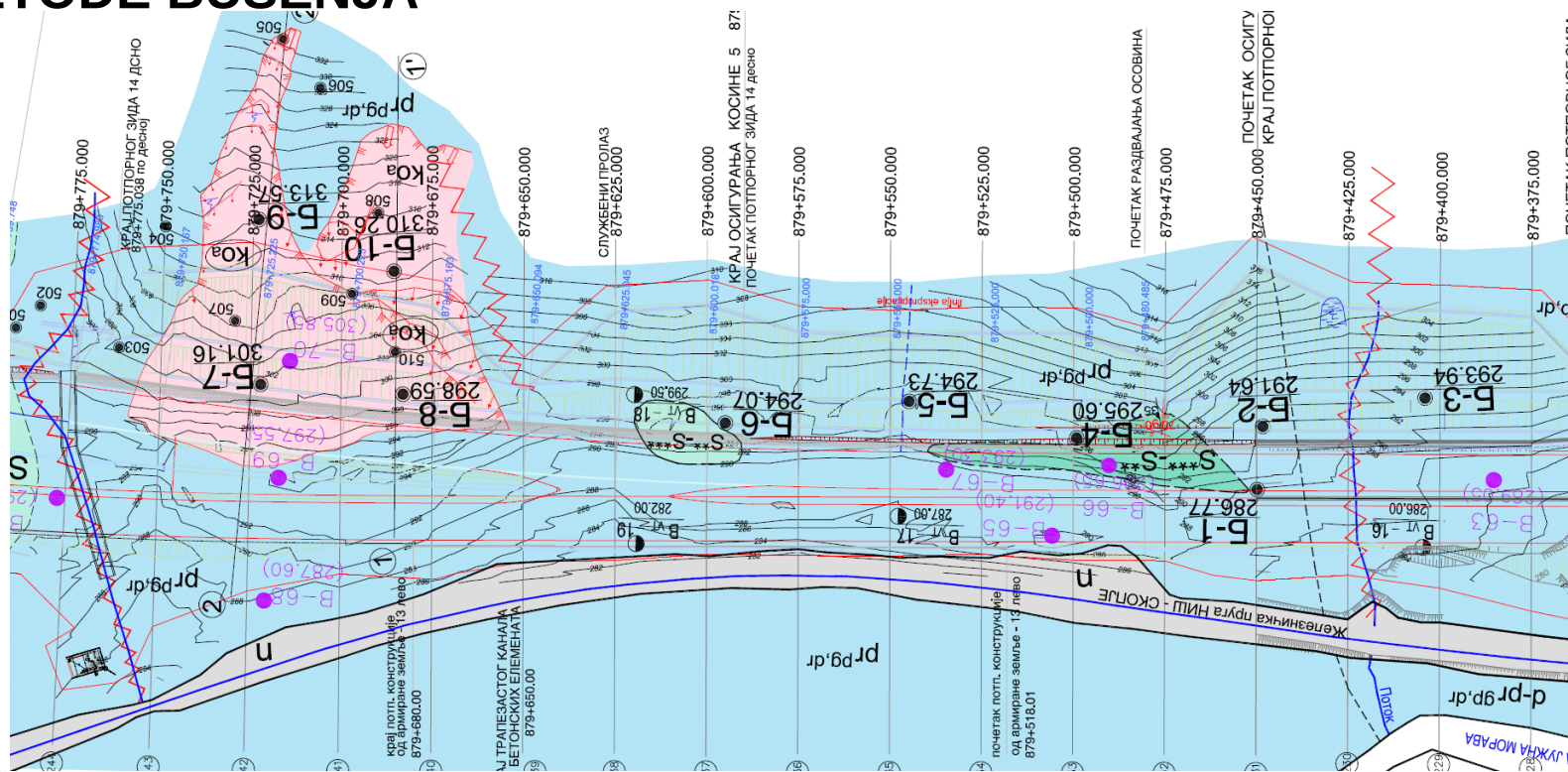
METODE BUŠENJA



METODE BUŠENJA



METODE BUŠENJA



[illegible]

TEHNIČKI POSTUPCI BUŠENJA

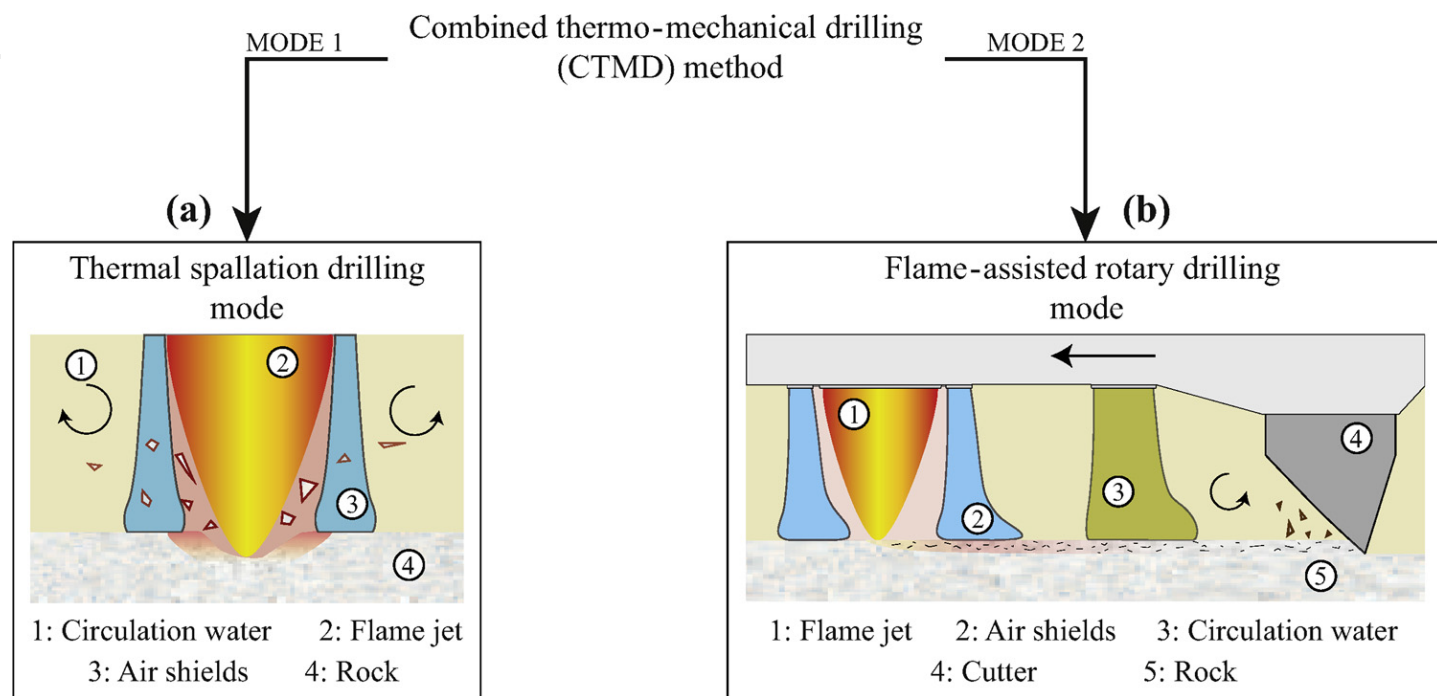
U novije vreme sve se više istražuju i razrađuju **novi postupci razaranja stena** na dnu bušotine, a koji su zasnovani na dostignućima iz oblasti **rezanja i obrade tvrdih metala**. Trenutno su u fazi eksperimentalnog ispitivanja, a u dogledno vreme treba očekivati njihovu širu primenu. To su sledeći postupci:

- **Termički, elektrotermički i termo-mehanički** - Kod ovih postupaka izrada bušotine vrši se pomoću visokih temperatura, dobijenih sagorevanjem mešavina gasova i tečnosti, električnog varničenja na principu električnog luka i sl. Za sada se izvode plitke bušotine za miniranje na površinskim kopovima;
- **Hidraulički** - Bušenje se ostvaruje pod dejstvom tankog mlaza vode sa velikom brzinom. Ovim postupkom izvode se bušotine u mekim stenama.
- **Ultrazvučni** - bušenje se izvodi razaranjem stena na dnu bušotine uz pomoć kratkotalasnih vibracija.

TEHNIČKI POSTUPCI BUŠENJA

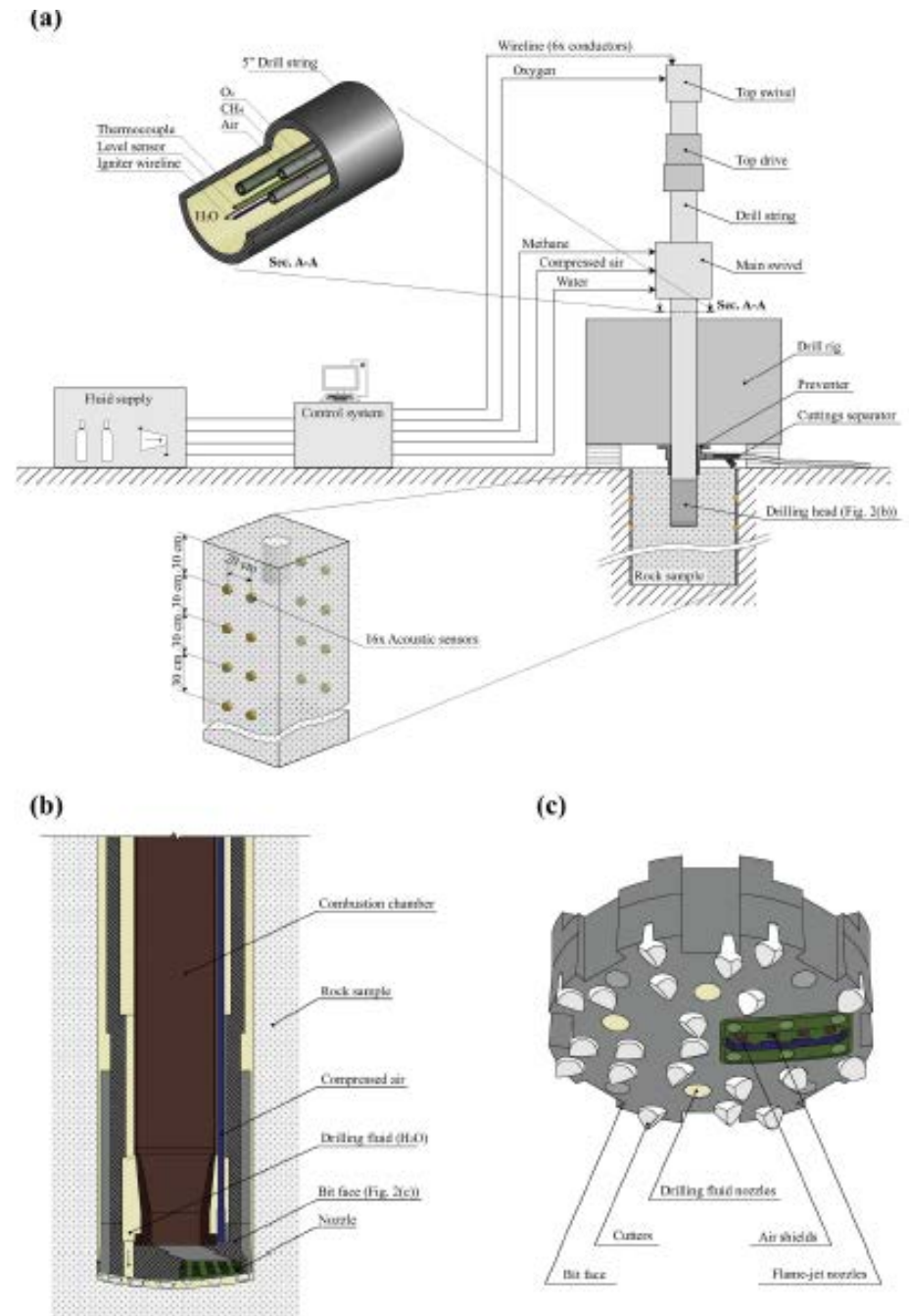
Termičko razdvajanje (thermal spallation) predstavlja postupak kod koga se primenom visokih temperatura indukuju **termalni naponi** u steni, što dovodi do njenog **razdvajanja**. Usled izlaganja čvrste stenske mase dejstvu visokih temperatura, a usled njene male **termalne provodljivosti** dolazi do pojave **visokih termalnih gradijenata**, te stvaranja visokih napona u zoni **postojećih prslina**, što za posledicu ima njihovo širenje i sjedinjavanje i na kraju **odlamanja fragmenata stene**. Ovaj postupak se može kombinovati sa klasičnim postupkom rotacionog bušenja, kada se naziva **termo-mehanički (CTMD)**.

Rossi i dr., 2020



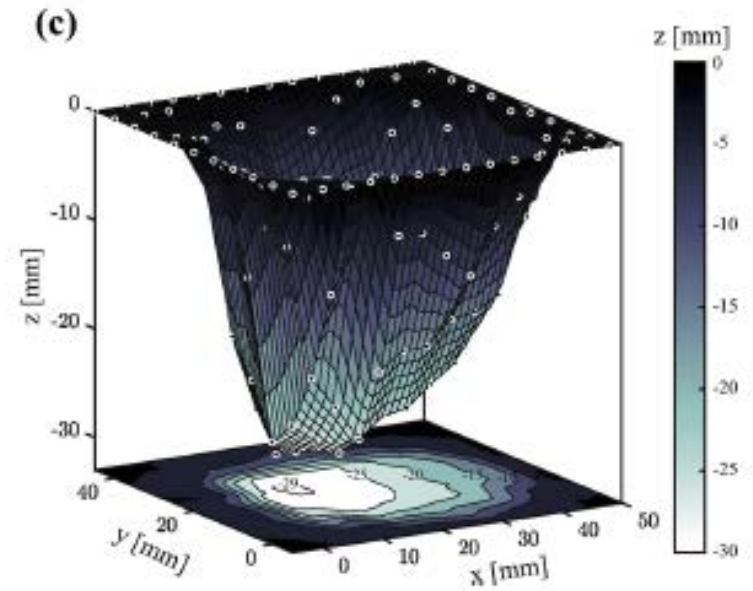
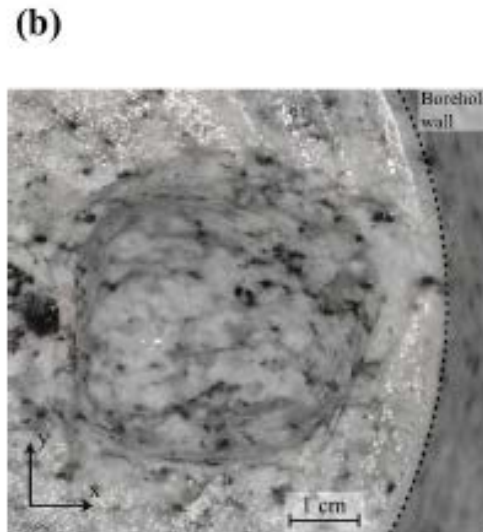
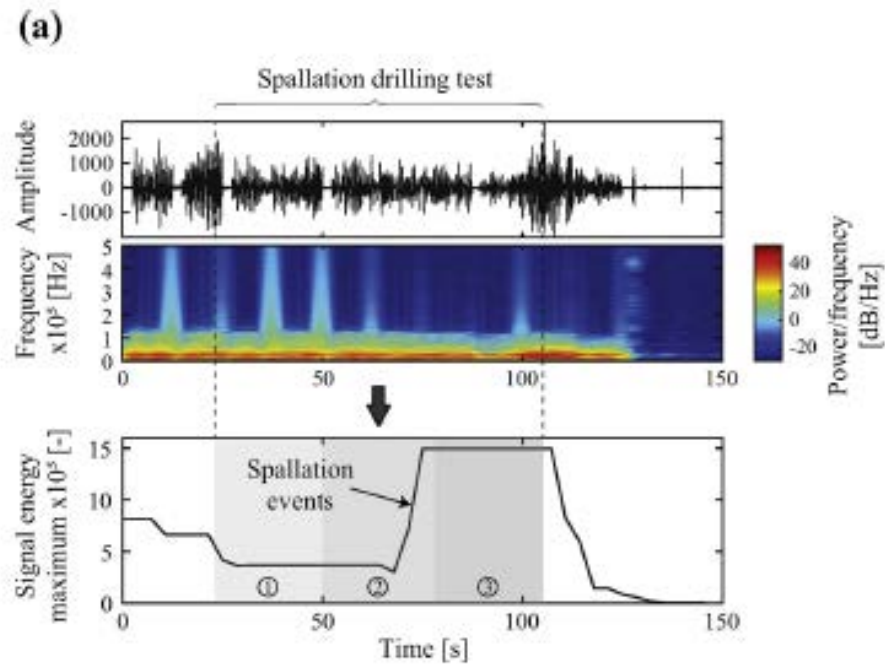
TEHNIČKI POSTUPCI BUŠENJA

The complete experimental setup used during the test is shown in (a). Its main components are the fluid supply, the control and data acquisition system and the drilling system. A section of the drill string is displayed in the enlarged view in the top left corner of (a), where the three gas hoses and the electrical wireline are shown. The bottom hole assembly, composed of the combustion chamber and the bit face, is illustrated in (b). In (c), the bit face is shown, where cutters (white), drilling fluid nozzles (yellow), flame nozzles (red) and air shielding slots (blue) are indicated (Rossi i dr., 2020)



TEHNIČKI POSTUPCI BUŠENJA

During the thermal spallation drilling test, acoustic emissions are measured to monitor the thermal spallation onset on the rock. The raw acoustic signal and the spectrogram are shown in (a), together with the resulting post-processed data. The post-processed data shows the onset of thermal spallation during the drilling test. The outcome of the thermal spallation test, optically imaged by a camera, is shown in (b). The quantitative evaluation of the crater shape is presented in (c).

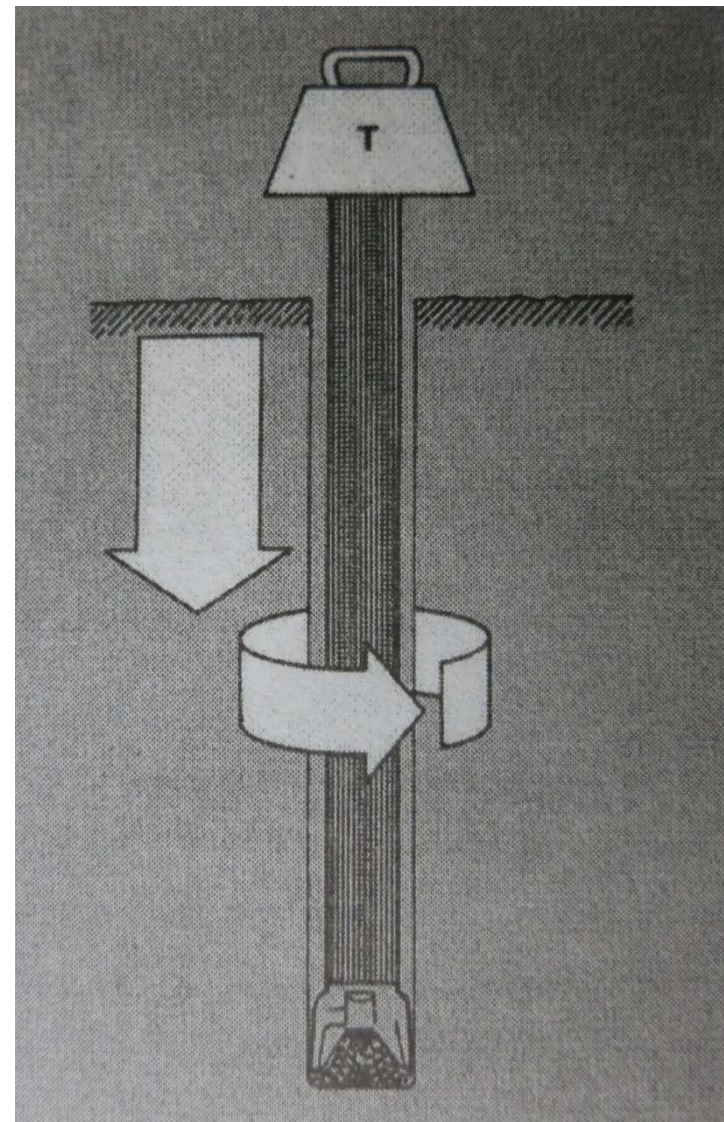


PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Izrada bušotine, rotacionom metodom, **zasniva se na mehaničkom razaranju stene usled delovanja površine krune na dnu bušotine**. Kruna je sve vreme **pritisnuta na dno** bušotine **osovinskim pritiskom**, i **istovremeno rotira pod dejstvom obrtnog momenta**, koji se prenosi preko bušačeg pribora. Pri tome dolazi do razaranja stene koje može biti **površinsko, zapreminsko i usled zamaranja stene**.

Do **površinskog razaranja** stene dolazi kada je **osovinski pritisak manji od čvrstoće stene**, kada se zupci ili zrna krune ne utiskuju u stenu. **Površinsko razaranje nastaje kao rezultat trenja krune o stenu, zbog malog osovinskog pritiska**. Ovaj način razaranja stena je **neefikasan, a habanje krune je ubrzano**.

Razaranje stena putem zamaranja nastaje u sličnim uslovima kao i površinsko razaranje. **Trenjem krune o stenu i povremenim porastom pritiska, usled hrapavosti površine ispod krune, nastaju sistemi prslina, a samo povremeno se stvaraju uslovi za zapreminsko razaranje stena**. I ovaj način razaranja stene je neefikasan, a pritom izraženo je ubrzano **tupljenje zubaca** ili **poliranje dijamantskih zrna krune**.



Šematski prikaz rotacionog bušenja

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Zapreminsko razaranje stena nastaje kada je **osovinski pritisak krune** na dnu bušotine **veći od čvrstoće stene**. Tada dolazi do **prodiranja reznih zubaca u stenu** (slika pod a), **pod dejstvom osovinskog pritiska, dok do rezanja ili otkidanja stene dolazi usled obrtnog momenta** (slika pod b). Na osnovu iznetog može se zaključiti da do zapreminskog razaranja odnosno, bušenja stene dolazi kada je ispunjen uslov:

$$\frac{C}{F} > \sigma_s$$

Gde je,

C - osovinski pritisak na krunu, (MN)

F - površina kontakata zubaca krune sa stenom, (m²) i

σ_s - čvrstoća stene na pritisak (MPa)

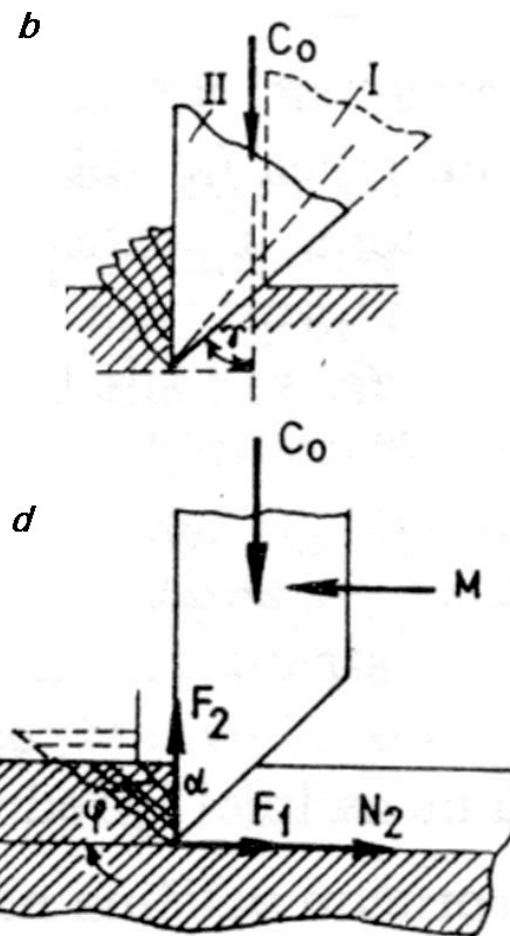
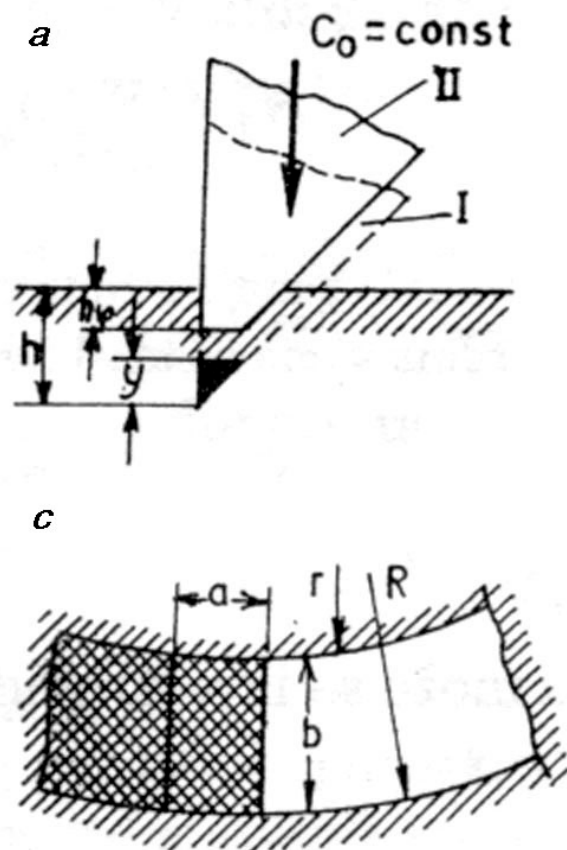
Kontaktna površina krune (F) predstavlja ukupnu površinu svih zubaca odnosno, može se napisati kao:

$$F = n \times s$$

Gde je,

n - broj zubaca krune; s - kontaktna površina jednog zuba

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA



Šematski prikaz zubaca krune pri rotacionom postupku bušenja

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Kontaktna površina pojedinačnog zubca (F_o) sa stenom zavisi od **ugla oštrenja zuba** (α), **dubine prodiranja** (h) i **debljine krune** ($R - r$) (slika pod c), a može se izračunati iz sledeće jednačine:

$$F_o = (R - r) \cdot h \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

U trenutku usecanja zubaca osovinski pritisak je jednak čvrstoći stene odnosno, važi relacija:

$$\frac{C}{F} = \sigma_s \quad \text{ili} \quad \frac{C_o}{F_o} = \sigma_s$$

Gde je, C_o - osovinski pritisak koji deluje na jedan zubac, odnosno,

$$C = C_o \cdot n$$

Kombinujući gore navedene izraze dolazimo do relacije:

$$\frac{C_o}{(R - r) \cdot h_o \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \sigma_s$$

Iz prethodne relacije možemo sračunati **dubinu usecanja jednog zuba krune** (h_o):

$$h_o = \frac{C_o}{\sigma_s \cdot (R - r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Zbog **zatupljivanja zubaca** u toku bušenja, Volkov i dr., predlažu uvođenje **korekcionog faktora** ($\eta = 0,85$) i tada izraz za sračunavanje **efikasnosti rada zubaca** postaje:

$$h_o = \frac{C_o \cdot \eta}{\sigma_s \cdot (R - r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

Iz gornjeg izraza se može zaključiti da će **dubina usecanja zubca** biti veća ukoliko je **osovinski pritisak veći**, a **čvrstoća stene i kontaktna površina zubca što manji**.

Drugim rečima, na dubinu utiskivanja zubaca utiče debljina krune i ugao zaoštrenosti zubaca. Svi idealno zaoštreni zubci krune (n) u toku jednog obrtaja izvršiće usecanje u stenu za visinu (H), koja je jednaka zbiru pojedinačnih usecanja svih zubaca, odnosno:

$$H = h_o \cdot n$$

Brzina bušenja krune (bušivost) u jedinici vremena može se izračunati prema obrascu:

$$v = h_o \cdot n \cdot m$$

Gde je,

v - brzina bušenja krune u jedinici vremena (m/h); n - broj zubaca na kruni; m - broj obrtaja krune u jedinici vremena ($obrt/h$)

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Ako h_0 zamenimo sa vrednošću iz prethodnog izraza dobija se:

$$v = \frac{C_o \cdot \eta \cdot n \cdot m}{\sigma_s \cdot (R - r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

Na osnovu gornjeg izraza sledi da **brzina bušenja zavisi od dubine utiskivanja zubaca u stenu, broja zubaca u kruni i brzine rotacije krune**. Pomenuti izraz važi samo pod pretpostavkom da u toku **bušenja ne dolazi do tupljenja zubaca**. Međutim, u toku procesa bušenja dolazi do tupljenja zubaca što dovodi do manjeg utiskivanja i povećanja kontaktne površine sa stenom. Zbog toga, postepeno se smanjuju kontaktni naponi kojim zubci deluju na stenu. U trenutku, kada oni budu manji od čvrstoće stene, zapreminsko bušenje prelazi u površinsko razaranje stene. Tada treba naoštriti zubce ili zameniti krunu.

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Danas je u primeni veliki broj **garnitura** za rotaciono bušenje, koje su različitih konstruktivnih rešenja i tehničkih mogućnosti. Sve njih gotovo je nemoguće detaljnije prikazati, te će se u narednom tekstu dati samo uopšteni, osnovni prikaz najvažnijih delova (slika na narednom slajdu). **Za istražno bušenje malim prečnicima sa jezgrovanjem**, uglavnom se koriste **bušilice sa rotacionom glavom** u kojoj se učvršćuju **bušaće šipke**. Njihovo **pomeranje naviše i naniže** izvodi se uz pomoć **vretena**, a manevrisanje priborom vrši se uz pomoć **uređaja za dizanje** koji je montiran na bušilici. **Bušaće garniture sa rotari stolom** uglavnom se koriste za dublje bušotine i bušotine sa većim prečnicima. Rotari sto služi za **okretanje radne šipke**, kao i za **zadržavanje bušaćeg pribora** pri spuštanju i vađenju iz bušotina. **Bušotine, velikih prečnika i dubina, izvode se, pre svega, za istraživanje i eksploataciju termomineralnih voda, nafte i gasa.**

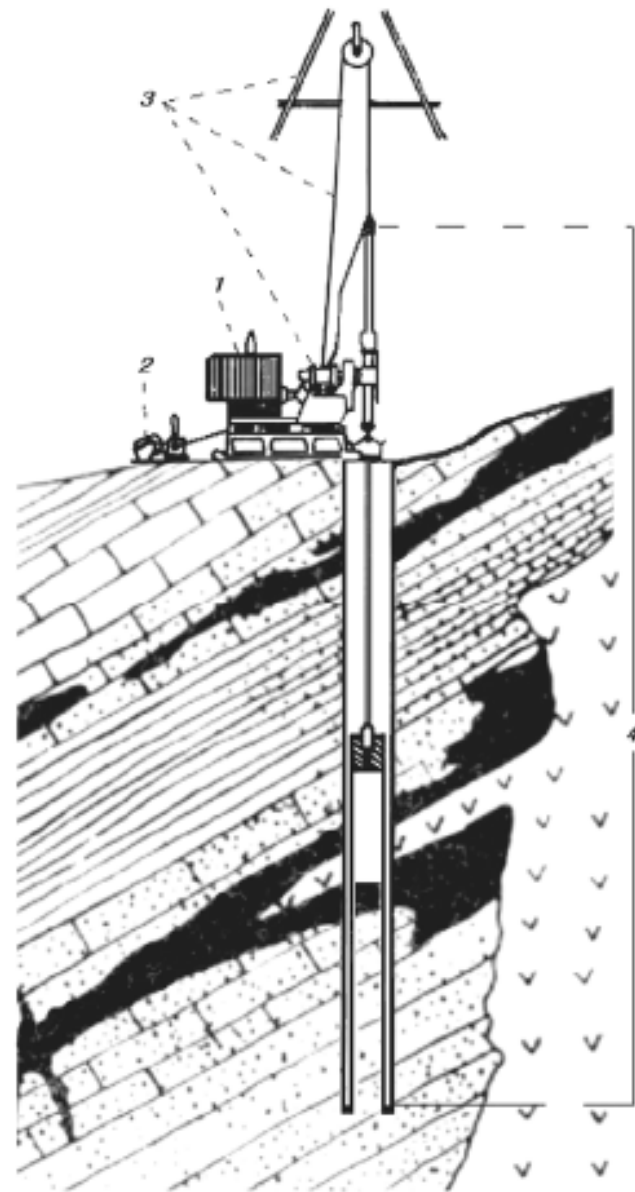
PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Bušaće garniture sa rotacionom (bušaćom) glavom, koje se najčešće koriste za izvođenje istražnih bušotina, sastoje se od:

- bušilice (pogonske jedinice),
- tornja,
- pumpe za isplaku,
- pribora za bušenje,
- pribora za spašavanje,
- pomoćnog pribora i opreme,
- alata za rukovanje i
- instrumenata za merenje.

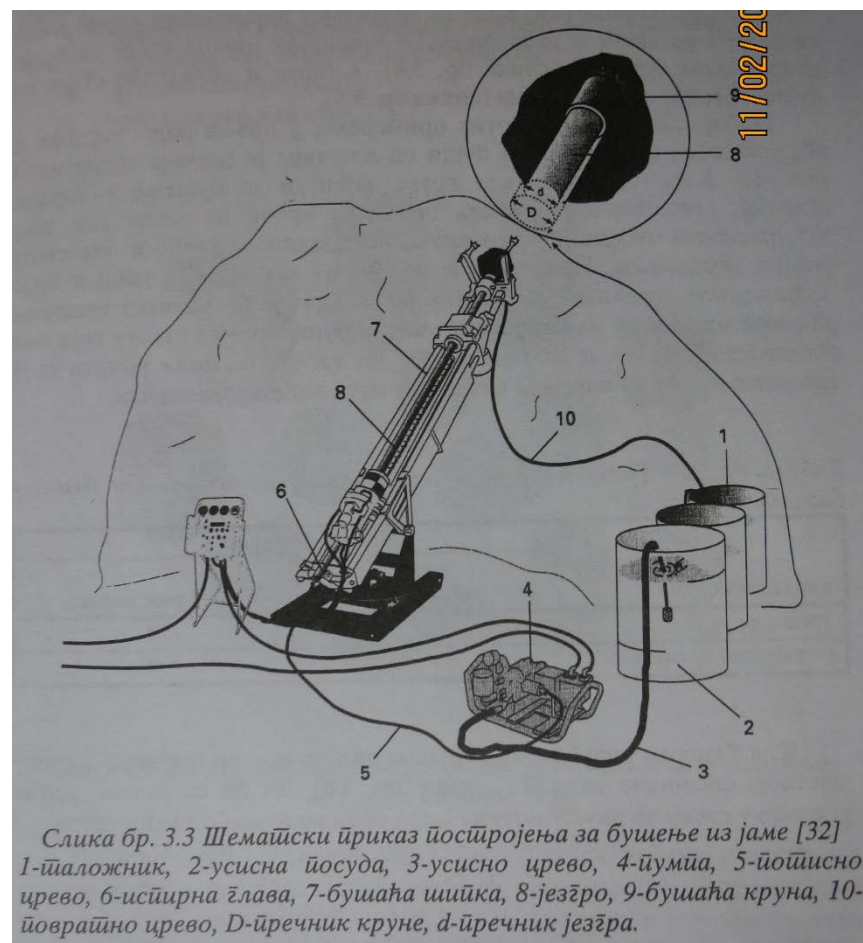
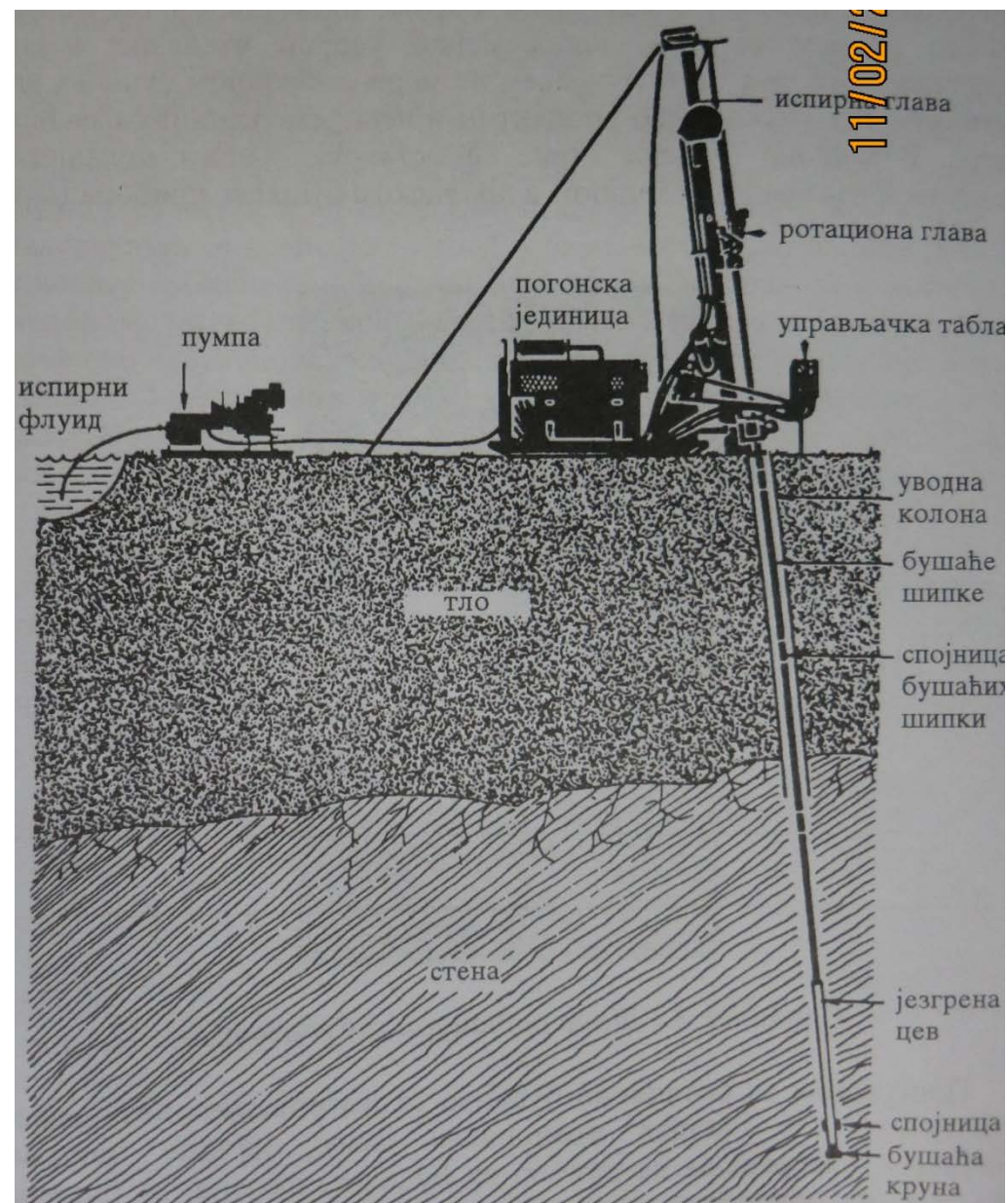
Bušilica, kao sastavni deo garniture, služi da u toku procesa bušenja omogući:

- osovinski pritisak i rotaciju krune za bušenje,
- manevrisanje bušaćim priborom,
- ugradnju i vađenje obložne kolone i
- specijalne operacije



Slika 8. Šematski prikaz garniture za rotaciono bušenje: 1 - bušilica, 2 - pumpa, 3 – uređaj za manevrisanje, 4 - pribor za bušenje

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA



Слика бр. 3.3 Шемајски приказ постројења за бушење из јаме [32]
1-шпаложник, 2-усисна посуда, 3-усисно црево, 4-пумпа, 5-пошисно црево, 6-испирна глава, 7-бушаћа шипка, 8-јездро, 9-бушаћа круна, 10-повраћно црево, D-пречник круне, d-пречник јездра.

Torbica i Leković (2001)

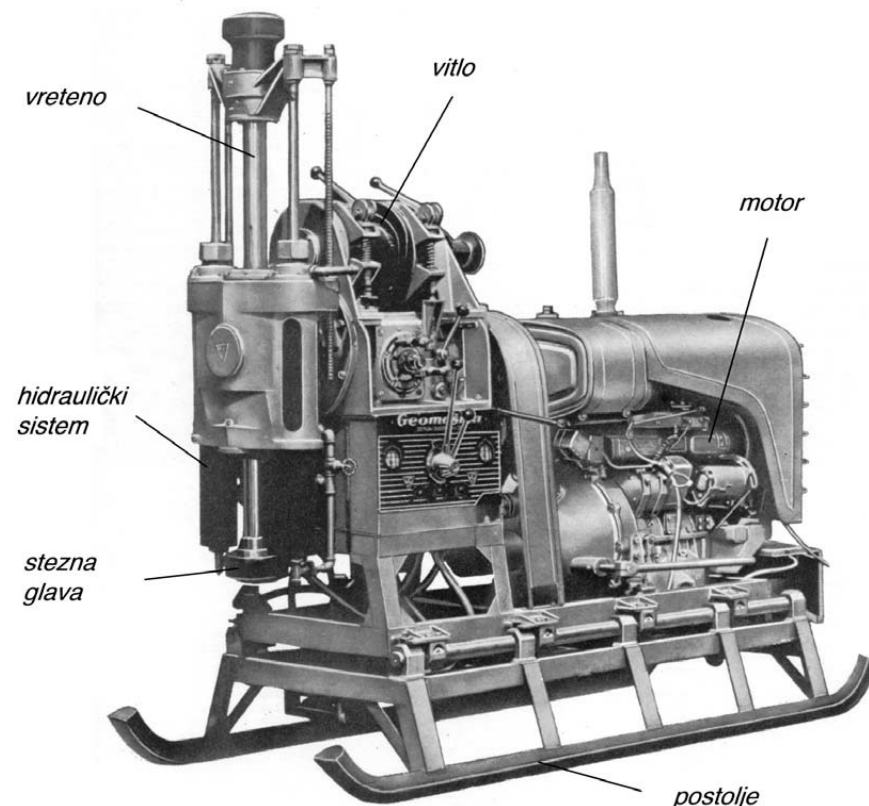
PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Da bi bušilica mogla da obezbedi napred navedene funkcije mora da ima odgovarajuće sklopove. U osnovne sklopove bušilice ubrajamo:

- pogonski uređaj (motor),
- uređaj za prenos rotacije sa motora do bušaće glave,
- bušaća glava (sistem zupčanika, nazubljeno vreteno, stezna glava),
- uređaj za regulisanje osovinskog pritiska,
- uređaj za manevrisanje bušaćim priborom i opremom.

Navedeni osnovni sklopovi bušilice, zajedno sa ostalim komponentama i instrumentima za kontrolu i rukovanje, montiraju se na postolje bušilice, kao što je i prikazano na slici.

Izgled bušilice za rotaciono bušenje sa označenim osnovnim sklopovima /39/



PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Kao **pogonski uređaji** kod savremenih bušilica koriste se **elektro motori i motori sa unutrašnjim sagorevanjem**. Ponekad, kao pogonsko sredstvo za manje bušilice koristi se komprimovani vazduh. Njihova primena je posebno značajna pri bušenju iz podzemnih, jamskih prostorija sa eksplozivnim gasovima i ugljenom prašinom. **Elektro motori** imaju široku primenu ako u blizini lokacije na kojoj se buši postoji električna energija. Često se koriste pri bušenju iz jamskih prostorija ili na rudnim poljima, kada je predviđen veliki broj bušotina i čije izvođenje zahteva duži vremenski period. Elektro motori imaju niz dobrih osobina od kojih se ističu: visoka ekonomičnost, lako rukovanje i održavanje, male dimenzije i dr. Pored navedenih dobrih osobina, elektromotori imaju i nedostataka koji se, pre svega, ogledaju u nemogućnosti česte primene zbog nedostatka električne energije na pojedinim lokacijama za bušenje, problema koji nastaju usled čestih promena opterećenja koja su u toku bušenja redovna pojava i problema koji mogu nastati usled nestanka električne energije i zastoja bušilice.

Motori sa unutrašnjim sagorevanjem koriste se za pogon bušilica kada se buši manji broj pojedinačnih bušotina u terenima gde nema električne energije. Najčešće se koriste dizel motori. Odlikuju se visokim stepenom ekonomičnosti, lakim održavanjem i rukovanjem,

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

dobrim podnošenjem čestih skokovitih opterećenja u toku bušenja i mogućnošću primene u svim terenskim uslovima.

Bez obzira na pogonsku energiju (dizel ili elektro), **motori treba da poseduju određenu snagu i broj obrtaja**, koja odgovara režimu bušenja sa maksimalnim opterećenjem. Snaga motora u toku bušenja koristi se za rad krune (rotaciju), manevrisanje bušačim priborom, pogon pumpe sa isplakom (ukoliko pumpa nema sopstveni pogon) i sl.

Uređaj za prenos rotacije sa motora do bušaće glave - Kod bušilica sa mehaničkim prenosom, snaga motora na bušaću glavu vrši se uz pomoć **klinastih kaiševa, kardana, zupčanika, periferijskih spojnika** i sl. **Kod hidrauličkih bušilica prenos snage vrši se putem hidrauličkih uređaja.**

Transmisioni uređaji treba da svedu na minimum gubljenje snage motora, umanjeње radnih sposobnosti garniture, pojave praznog hoda (proklizavanje), a da su pritom pouzdani i izdržljivi na kidanje ili slične havarije.

Bušaća glava služi za prenos rotacije na bušaće šipke i potrebnog osovinskog opterećenja na krunu za bušenje. Prenos rotacije na bušaće šipke vrši se uz pomoć para konusnih zupčanika, koji rotiraju u horizontalnoj i vertikalnoj ravni, slika (sl. slajd).

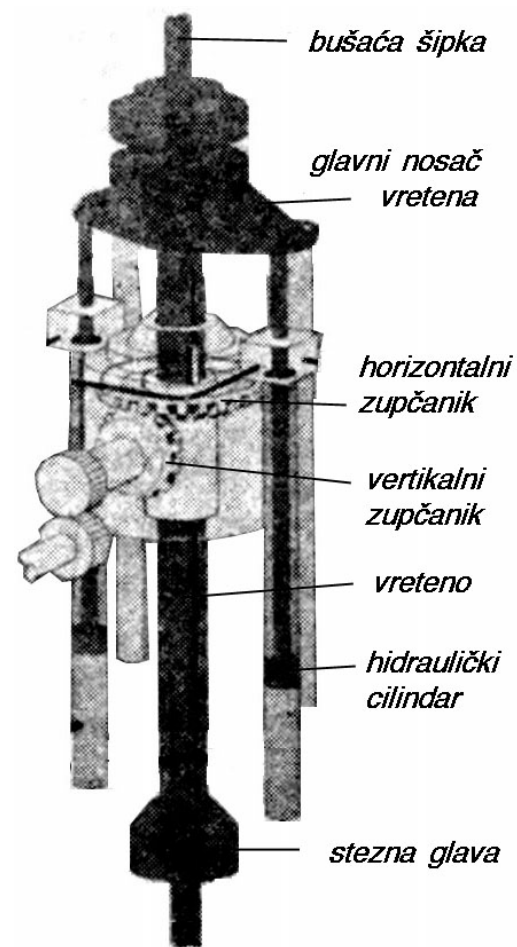
PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Horizontalni zupčanik je navučen na nazubljeno šuplje vreteno, koje se okreće zajedno sa zupčanicom a ima i mogućnost pomeranja naniže i naviše.

Kroz vreteno prolaze bušaće šipke, a fiksiraju se uz pomoć stezne glave, koja se nalazi na donjem kraju vretena. U steznoj glavi nalaze se nazubljene čeljusti koje se stežu mehanički (uz pomoć zavrtnja) ili hidraulički.

Nazubljena čeljusti su uzdužna i poprečna, a služe za sprečavanje proklizavanja šipki pri rotaciji ili pod dejstvom osovinskog pritiska odnosno, težine bušaćeg pribora pri manevrisanju.

Šema bušaće glave /30/



PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Uređaj za regulisanje osovinskog pritiska - Pomeranje vretena naviše ili naniže odnosno, regulisanje osovinskog pritiska na krunu, vrši se preko bušaće glave, **uz pomoć mehaničkih ili hidrauličkih uređaja**. Hidrauličko pomeranje vretena koristi se kod savremenijih bušilica, zbog svojih prednosti koje se ogledaju u:

- jednostavnosti rukovanja,
- preciznosti regulisanja pritiska na krunu,
- mogućnosti merenja težine kolone bušaćeg pribora,
- mogućnosti korišćenja pri likvidaciji havarija,
- onemogućavanju naglog propadanja pribora, pri nailasku na kaverne i druge šupljine.

Uprošćen model hidrauličkog uređaja bušilice za rotaciono bušenje prikazan je na slici na narednom slajdu.

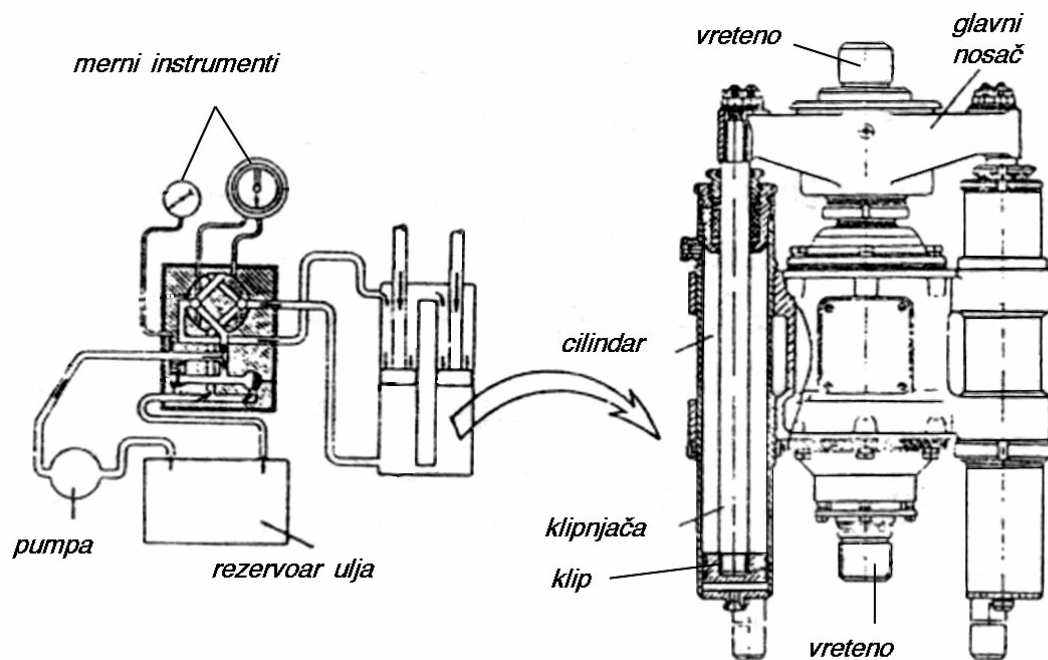
Vreteno je gornjim krajem, preko glavnog nosača, spojeno sa hidrauličkim uređajem. Rotacija vretena u glavnom nosaču omogućena je uz pomoć **kugličnog ležaja**.

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Hidraulički sistem po pravilu se sastoji od:

- dva cilindra sa klipovima i klipnjačama,
- hidrauličke pumpe,
- rezervoara za ulje, instalacije,
- razvodnika, i ventila za kontrolu protoka ulja u cilindre.

U zavisnosti od pritiska iznad i ispod klipova dolazi do smanjenja ili povećanja pritiska na krunu. Takođe, uz pomoć hidrauličkog sistema možemo podizati ili spuštati bušaći pribor, obložne kolone i drugu opremu i pribor. **Kontrola pritiska** u cilindrima odnosno, opterećenje na krunu, vrši se **pomoću manometara**, postavljenih u vidokrugu rukovaoca.



Hidraulički uređaj bušilice za rotaciono bušenje /13/

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Uređaji za manevrisanje - Uređaji za manevrisanje imaju veoma značajnu ulogu u procesu bušenja. Uz pomoć njih obavlja se:

- spuštanje i vađenje bušačkog pribora i obložnih kolona,
- ugradnja i merenja sa različitim instrumentima u bušotini,
- ugradnja i ispiranje pijezometarskih konstrukcija,
- otklanjanje havarija u bušotini,
- vađenje jezgra i zamena dotrajalih krana i sl.

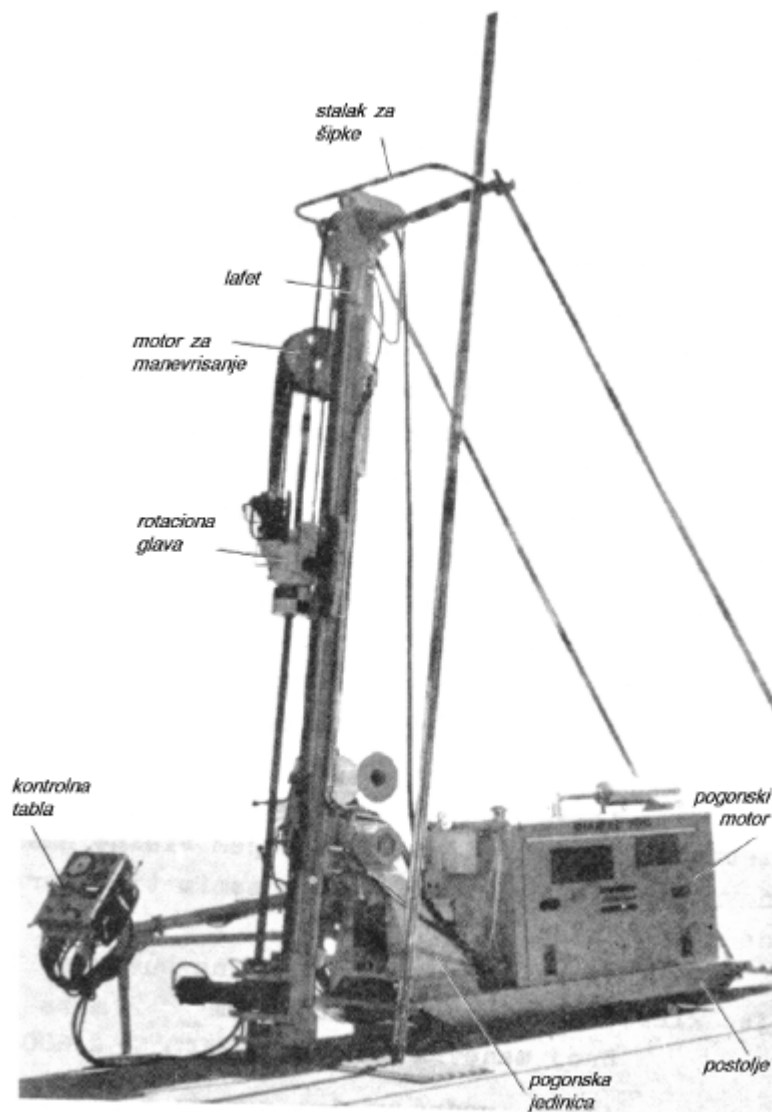
Za navedene operacije služi **glavno vitlo**, koje je ugrađeno na samoj bušilici, a transmissionim uređajem povezano je sa motorom. Njegova veličina odnosno, snaga zavisi od konstruktivnih i radnih osobina garniture. Na vitlu je pričvršćen jedan kraj užeta, a zatim oko njega namotano, dok je drugi kraj užeta prebačen preko **koturače**, koja se nalazi na vrhu tornja, slika na narednom slajdu. Na kraju užeta nalazi se **kuka** i **izvlakač**, kojom se prihvata bušaći pribor ili oprema pri manevrisanju.

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Toranj je obavezan deo kod svih garnitura za bušenje, a služi za spuštanje i vađenje bušaćih šipki, obložnih kolona i drugog pribora i opreme. Prema konstruktivnim rešenjima oslanjanja i vrsti materijala od kojih su sagrađeni, postoje razne vrste tornjeva: sa **četiri, tri, dva i jednim osloncem (jarbol i lafet), drveni ili metalni**. Mogu biti konstruisani kao stabilni, montažni, sklapajući i teleskopski. Metalni tornjevi teleskopskog i sklapajućeg tipa su najčešće, kod savremenijih garnitura, montirani na vozilu zajedno sa bušilicom. Time je omogućen brz transport i montiranje garniture za rad. Pri transportu gornja polovina tornja se uvlači u donju, a zatim se pakuje na nosače za transport. Montaža i demontaža obavlja se uz pomoć hidrauličkog sistema.

U novije vreme dosta se koriste **bušaće garniture sa hidrauličkim prenosom snage**. Kod njih se umesto bušaćim vretenom, rotacija i osovinski pritisak prenose rotacionom glavom, koja se pomera po lafetu. Lafet pored toga služi i za manevrisanje priborom. Naime, kod ovih garnitura ne postoji vitlo za dizanje, već se to obavlja uz pomoć rotacione glave, slika na narednom slajdu.

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA



Bušaća garnitura sa lafetom /42/

<https://www.youtube.com/watch?v=f3R9nlunpo8>

<https://www.youtube.com/watch?v=q37MawnTS4I>



<https://www.youtube.com/watch?v=uU6PWEcROhY>

https://www.youtube.com/watch?v=1nC-g_FkFs

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Za sve tornjeve, bez obzira na tip, veoma bitne osobine su **nosivost i radna visina**. **Pod radnom visinom podrazumeva se najveća dužina niza (pasa) šipki koje se mogu izvaditi ili spustiti u bušotinu u jednom manevru**. Radna visina veoma bitno utiče na smanjenje vremena za spuštanje i vađenje bušačkog pribora iz bušotine. Zbog toga je poželjno da toranj ima što veću radnu visinu, bez obzira na eventualne poteškoće oko montaže, demontaže i transporta.

Toranj treba biti tako konstruisan odnosno, imati odgovarajuću nosivost, da bi se sve operacije uspešno i bezbedno izvele. **Pod nosivošću tornja se podrazumeva dozvoljeno horizontalno i vertikalno opterećenje istog**. Pri dimenzionisanju tornja uzima se u obzir ukupna težina bušačkog pribora, dinamičke sile pri povlačenju ili naglom zaustavljanju bušačkog pribora i sile otpora usled trenja pribora o zidove u toku izvlačenja pribora.

U praksi, obično se smatra da je nosivost tornja dovoljna ako je ona duplo veća od težine pribora za bušenje.

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

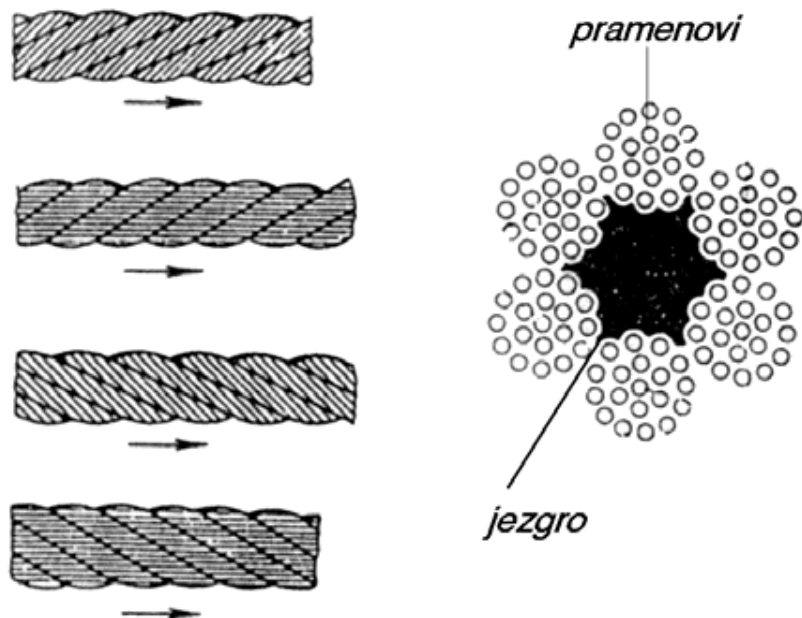
Čelično uže (sajla) služi za **manevrisanje bušačim priborom** kao i za pomoćne radnje u toku procesa bušenja (**transport garniture samovučom, dizanje tornja i sl.**). Jednim krajem je pričvršćeno za vitlo, a na drugom kraju je privezana kuka za povlačenje i spuštanje pribora. **Izrađuju se od čeličnih vlakana** koja se, u obliku pramenova, namotavaju **oko jezgra izrađenog od kudelje, plastike ili tankih vlakana mekše žice** (slika na narednom slajdu). Jezgro daje elastičnost i ujedno podmazuje uže, kada je natopljeno uljem.

Najčešće se koriste **uža sa naizmeničnim i unakrsnim pletenjem**, jer se smatra da kod njih u toku rada ne dolazi do uvijanja odnosno, ne postoji mogućnost za odvrtnje izvlakača u toku manevrisanja sa priborom.

Nosivost užeta određuje se prema vučnoj sili vitla, pri čemu je koeficijent sigurnosti od 5 - 8. Dužina užeta zavisi od dubine bušenja odnosno, od maksimalne dubine do koje može garnitura da buši.

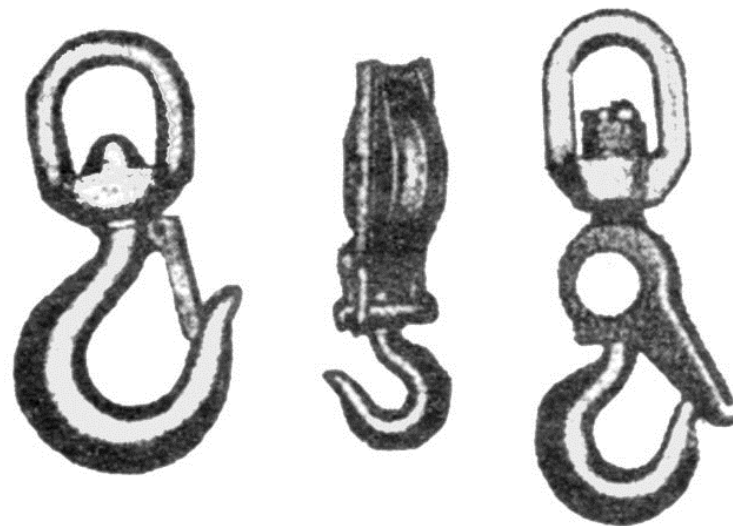
Uže se koristi u veoma teškim radnim uslovima, te se posebna pažnja mora posvetiti njegovom održavanju i redovnoj kontroli. Prilikom vezivanja užeta za kuku treba koristiti specijalne **žabice i šelne sa zavrtnjima**.

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA



Neki načini pletenja užeta

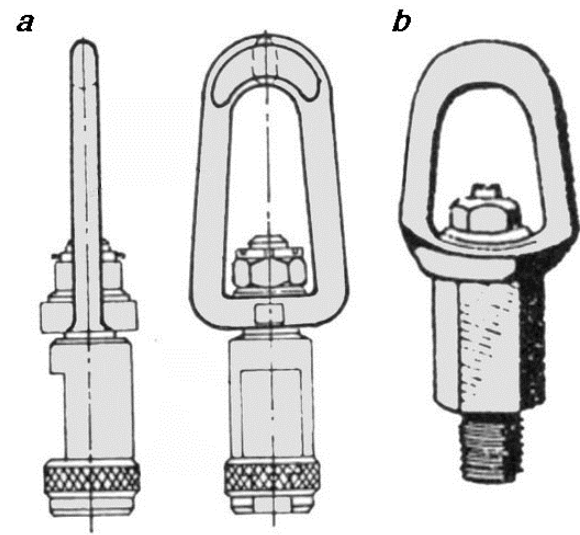
Kuka služi za izvlačenje i spuštanje pribora i druge opreme, ili za spajanje sa bušačom glavom. Koriste se kuke različitih konstruktivnih rešenja (slika pored): **obične ili sa sigurnosnim zatvaračima** za sprečavanje eventualnog otkaćinjanja pribora, **kuke sa kugličnim ležajem** u pokretnom zglobu, radi lakše rotacije i sl.



Različitih tipova kuka

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA

Izvlakač i elevator, obešeni o kuku, koriste se za izvlačenje i spuštanje bušaćeg pribora. Pri manevrisanju izvlakač se navrće u bušaće šipke, dok se elevatorom obuhvataju spojnice bušaćih šipki i zatvaraju se prstenom. Izgled izvlakača i elevatora prikazan je na slici pored.



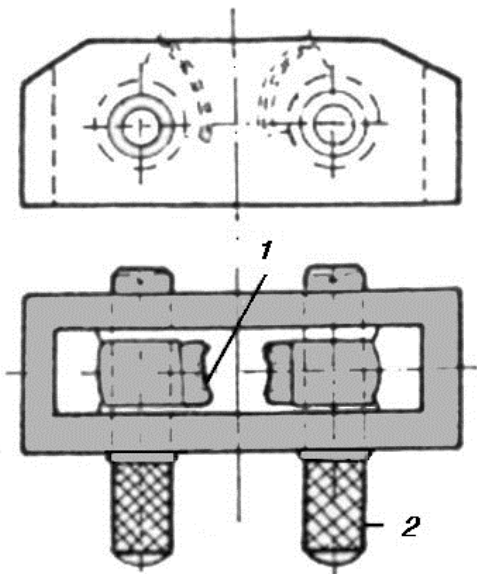
Izgled a - elevatora, b - izvlakača

Prihvatni sto služi za prihvatanje bušaćeg pribora prilikom manevrisanja odnosno, prilikom odvrtnja i zavrtnja. Sastoji se od dve nazubljene čeljusti koje su ekscentrično postavljene u odnosu na osu ležišta. Po prihvatanju bušaće šipke, pod težinom pribora koji visi, dolazi do zatvaranja čeljusti prema unutrašnjem otvoru pri čemu šipka biva čvrsto stegnuta, a samim tim omogućeno je nesmetano odvrtnje i zavrtnje.

Prema nameni i konstruktivnim rešenjima postoje različite vrste prihvatnih stolova: ručni, nožni, automatski i sl.

Nožni i automatski tj., hidraulički prihvatni stolovi koriste se pri bušenju dubokih bušotina. Ručni prihvatni sto (sl. na narednom slajdu) najčešće se koristi pri bušenju plićih bušotina.

PRINCIP ROTACIONOG BUŠENJA



Ručni prihvatni sto:
1 - čeljusti, 2 - hvataljke za ruke



Neki tipovi klešta

U toku manevrisanja priborom i drugom opremom u procesu bušenja koriste se **razni alati** i **pomoćni uređaji**. Najznačajniji su razni tipovi **šelni**, **ključeva** i **klešta**. Šelne omogućuju prihvatanje i fiksiranje obložnih kolona, te na taj način sprečavaju njihovo upadanje u bušotinu. Klešta služe za odvrtnanje i zavrtnanje bušaćih šipki i obložnih kolona. Upotrebljavaju se klešta sa različitim otvorima čeljusti i konstruktivnim rešenjima, zavisno od potreba u toku bušenja (slika gore desno).

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Za prodiranje dleta odnosno, razaranje stena, pri udarnom bušenju koristi se **kinetička energija slobodnog pada kolone bušačkog pribora**. Kinetička energija bušačkog pribora pri slobodnom padu može se odrediti na osnovu izraza:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \text{ odnosno, ako zamenimo } v = \sqrt{2 \cdot a \cdot H}$$

dolazimo do izraza:

$$E_k = m \cdot a \cdot H$$

gde je:

m - masa bušačkog pribora (kg)

v - brzina padanja pribora (m/s)

a - ubrzanje u trenutku udara dleta o dno bušotine (m/s^2) i

H - visina slobodnog pada pribora (m)

Kinetička energija, pri slobodnom padu pribora, samo se delimično iskoristi za bušenje, dok se ostali deo troši na:

- savladavanje otpora tečnosti koja se koristi za bušenje

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

- savladavanje otpora trenja bušačkog pribora duž zidova bušotine,
- nekontrolisano usitnjavanje već nabušenih čestica, i
- na deformacije stena i bušačkog pribora.

Rad koji izvrši dleto, udarom oštrice o stenu koristeći kinetičku energiju, ogleda se u usecanju pribora u stenu i deformaciji dleta. Rad sile udara pribora o stenu (P) u toku bušenja je promenljiv, i varira od min 0 do max 100% vrednosti. Za praktične proračune, kao efektivna vrednost uzima se ($P/2$), tako da možemo uspostaviti sledeći odnos:

$$m \cdot a \cdot H = P/2 \cdot (h + \Delta L)$$

Gde je,

h - dubina usecanja dleta u stenu (m); ΔL - elastična deformacija radnog dela pribora (m)

Elastična deformacija dleta (skraćenje u trenutku udara) direktno je zavisna od sile udara, dužine i kvaliteta materijala od kojeg je radni deo pribora napravljen, a može se sračunati na osnovu izraza:

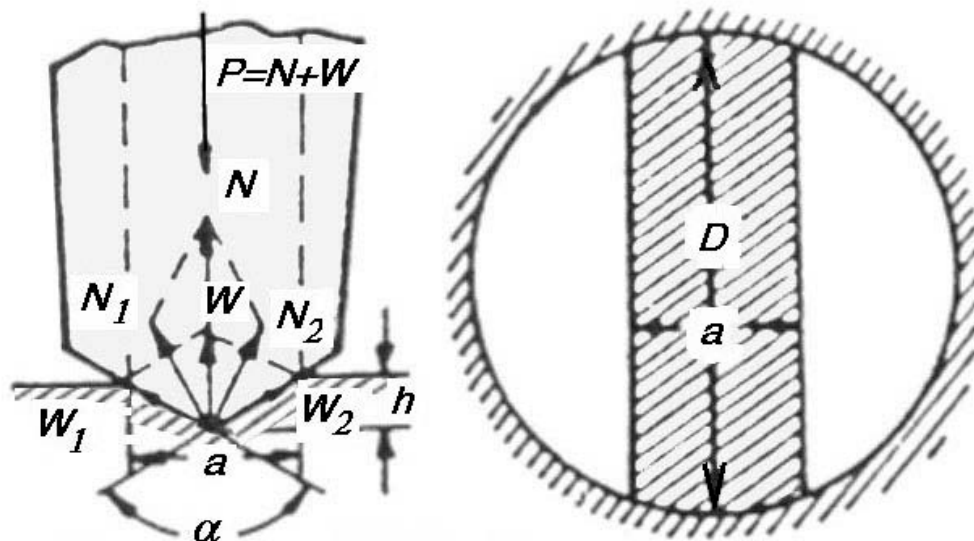
PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

$$\Delta L = \frac{P \cdot L}{S \cdot E}$$

Gde je, P - sila udara o stenu (MN); L - dužina radnog dela pribora (m); S - poprečni presek pribora (m^2); E - Jungov modul elastičnosti, (MPa).

Da bi smo odredili **dubinu usecanja dleta u stenu**, poslužićemo se šemom sila koje deluju u trenutku prodiranja dleta, prikazanoj na slici (prema M. Spasojeviću). Utiskivanju dleta u stenu suprotstavljaju se sile N_1 i N_2 koje deluju upravno na površine sečice dleta, i sile W_1 i W_2 koje deluju u ravni površina sečice dleta.

Šematski prikaz prodiranja dleta
pri udarnom bušenju /30/



PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Sila udara pribora o stenu (P) predstavlja vektorski zbir sila N i W za ugao oštrenja dleta α . Veličina N , praktično predstavlja silu koja je potrebna da se udarom razori stena na određenoj površini, i iznosi:

$$N = 2 \cdot h \cdot D \cdot \sigma_s \cdot \operatorname{tg} \alpha / 2$$

Sila W je ustvari trenje duž kontaktnih površina sečice dleta sa stenom a može se sračunati na osnovu izraza:

$$W = 2 \cdot h \cdot D \cdot \sigma_s \cdot f,$$

Gde je,

h - dubina usecanja dleta (m)

D - dužina sečice dleta (prečnik bušenja) (m)

σ_s - čvrstoća stene (MPa)

α - ugao oštrice dleta ($^{\circ}$)

f - koeficijent trenja duž kontakta dleta i stene

Na osnovu iznetog, sila udara $P = N + W$, dobija se:

$$P = 2 \cdot h \cdot D \cdot \sigma_s \cdot (\operatorname{tg} \alpha / 2 + f) \text{ ili}$$

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

$$h = \frac{P}{2 \cdot D \cdot \sigma_s \cdot (\operatorname{tg} \alpha / 2 + f)}$$

Kao što se iz navedenog izraza vidi, **usecanje oštrice dleta zavisi od sile udara o stenu, ugla i dužine oštrice, čvrstoće stene i trenja dleta o stenu.**

Koeficijent trenja dleta o stenu (f), različit je za različite vrste stene, a za neke karakteristične stene njegove vrednosti date su u narednoj tabeli.

Pored ostalog, brzina bušenja uslovljena je brojem udara u minutu, ubrzanjem pribora pri udaru u stenu odnosno, visinom slobodnog pada bušačkog pribora.

Tabela - Vrednosti koeficijenta trenja za neke vrste stena /21/

Vrsta stene	Koeficijent trenja (f)
Gline	0,12 - 0, 20
Laporci	0,18 - 0, 25
Krečnjaci	0,25 - 0, 35
Kvarcni peščari	0,28 - 0, 50
Graniti	0,30 - 0, 40
Kvarciti	0,35 - 0, 60

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Za određivanje **racionalnog broja udara** (n), uglavnom se koristi izraz:

$$n = 20 \frac{\sqrt{a}}{h}$$

gde je:

a - ubrzanje u trenutku udara dleta o dno bušotine, (m/s^2) i

h - visina slobodnog pada pribora (m)

Ubrzanje slobodnog pada pribora pri bušenju u glinovitim i mekim stenama obično iznosi $a = 4,5 - 5 m/s^2$, a u čvrstim stenama $6,0 - 6,5 m/s^2$. Nakon čišćenja bušotine, ubrzanje pada pribora dostiže i do $8 m/s^2$.

Kod savremenih garnitura broj udara u minuti je $40 - 60$, a visina slobodnog pada pribora $0,35 - 1,0 m$. Što je veća visina izdizanja pribora to je manji broj udara i obrnuto.

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Udarno bušenje ima svoje **prednosti** ali i **nedostatke**. U odnosu na rotaciono bušenje, **postiče se visok učinak pri bušenju u čvrstim, silifikovanim i ispucalim stenskim masama**. Međutim, manja je pouzdanost određivanja geološkog profila i svojstava sredina kroz koje se buši, jer se udarnim bušenjem **ne dobija jezgro**. **Zato se udarno bušenje, gotovo uopšte, ne primenjuje pri geotehničkim istraživanjima terena**. Veoma retko, ovom metodom izvode se tehničke bušotine za rešavanje nekih od problema iz domena geotehnike. Pri udarnom bušenju razaranje stenske mase vrši se uzastopnim udarima sečiva dleta, koje slobodno pada na dno bušotine. Nakon svakog udara dleto se zaokrene za određeni ugao tako da bušotina dobija cilindričan oblik. S obzirom da dleto pada pod uticajem gravitacije, to se ovaj metod bušenja koristi isključivo za izradu **vertikalnih bušotina**.

Udarno bušenje može biti dvojako:

- **udarno bušenje sa ispiranjem bušotine - Kanadski ili hidraulički metod i**
- **udarno bušenje sa užetom - Pensilvanijski metod**

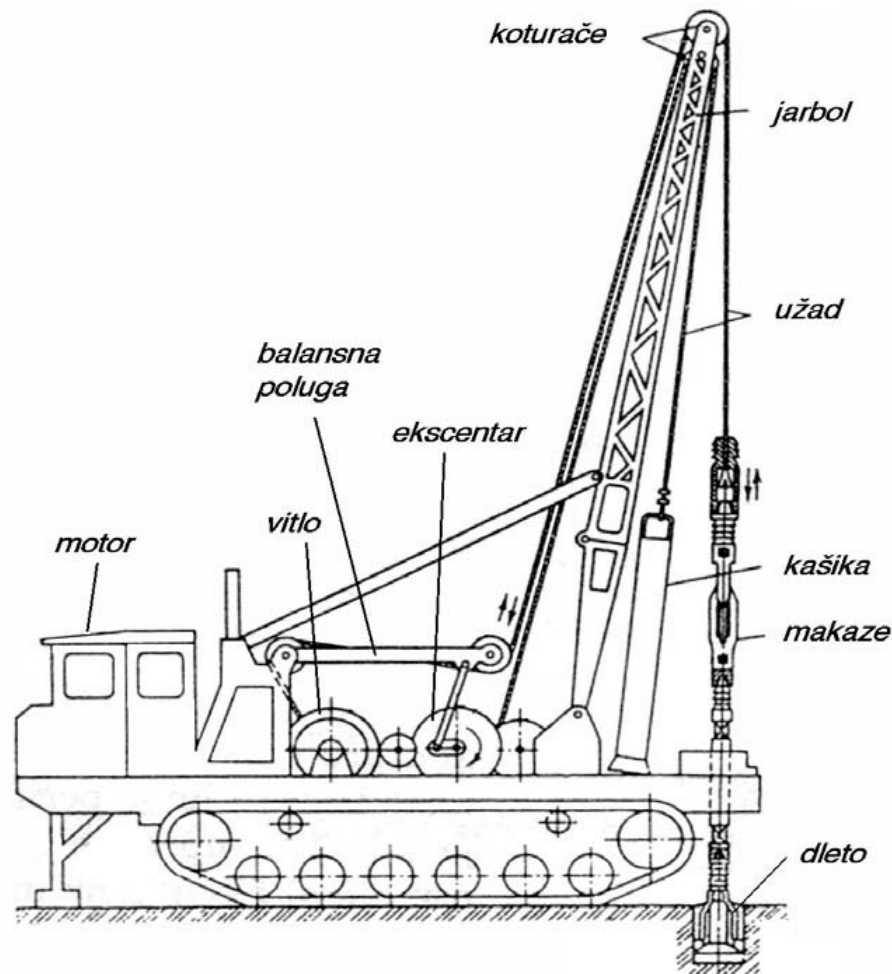
Kod oba metoda, princip razaranja stene je isti, ali se **razlikuju načini iznošenja nabušenih čestica sa dna bušotine**.

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Kod Pensilvanijskog metoda čišćenje bušotine obavlja se periodično uz pomoć **ventil ili običnih kašika**, dok kod Kanadskog metoda, iznošenje nabušenih čestica vrši se pomoću radnih fluida (isplake ili vazduha).

Garniture za udarno bušenje uglavnom se sastoje od pogonskog dela (motora) udarnog mehanizma, uređaja i pribora za manevrisanje, pumpe (po potrebi), pribora za bušenje, pratećeg pribora i alata za rukovanje. Šematski prikaz konstrukcije garniture za udarno bušenje prikazan je na sl. 45.

Kao pogonsko sredstvo koriste se motori sa unutrašnjim sagorevanjem različite snage, u zavisnosti od vrste i namene bušaće garniture. Znatno redje koriste se elektromotori.



Uprošćena šema garniture za udarno bušenje sa užetom /13/

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Udarni mehanizam sastoji se od klatne poluge, ekscentra, balansne i zatezne koturače.

Manevrisanje bušačim priborom obavlja se uz pomoć užeta, koje je jednim krajem vezano za kolonu bušačeg pribora, zatim prebačeno preko glavne koturače koja se nalazi na vrhu jarbola. Drugi kraj užeta, preko balansne i zatezne koturače, pričvršćen je za vitlo. Pri kretanju ekscentra, balansna koturača zateže ili otpušta uže, usled čega se periodično podiže ili spušta kolona bušačeg pribora. Kolona bušačeg pribora pri podizanju rotira za određeni ugao, jer se uže pri zatezanju odsukuje (teži da se rasplete).

Kolone bušačeg pribora za Pensilvanijski i Kanadski metod bušenja međusobno se razlikuju, zbog različitih načina iznošenja nabušenih čestica iz bušotine.

Kod hidrauličkog udarnog bušenja, kolona bušačeg pribora sastoji se od dleta, teških ili udarnih šipki, makaza, radnih ili bušačih šipki i isplačne glave, koja je okačena o uže. Isplaka se, uz pomoć pumpe, preko isplačne glave, potiskuje kroz radne i udarne šipke, prolazi kroz kanale dleta, zahvata usitnjene čestice i iznosi ih, između zidova bušotine i šipki, na površinu. Ranije se bušenje hidrauličkim metodom ređe primenjivalo, zbog poteškoća koje su nastajale zbog čestog krivljenja radnih šipki. Međutim, upotrebom makaza i korišćenjem duplih bušačih šipki sa povratnim dejstvom cirkulacije vazduha, u novije

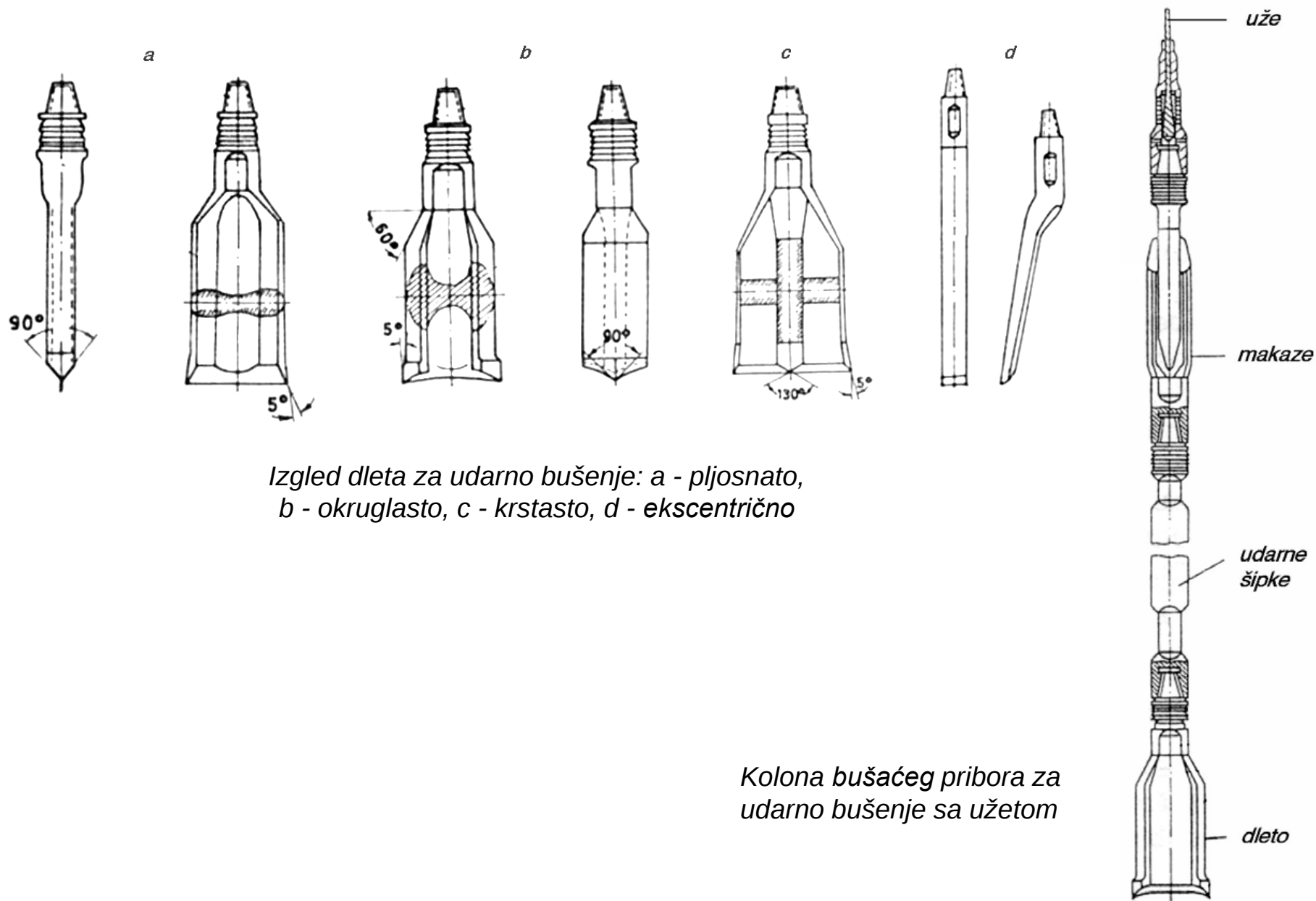
PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

vreme postižu se visoki učinci posebno pri bušenju u izrazito čvrstim i ispucalim stenskim masama. **Kolona bušaćeg pribora za udarno bušenje sa užetom**, za razliku od kolone za hidrauličko udarno bušenje, u svom sastavu ne sadrži radne šipke i isplačnu glavu, već se uže vezuje za makaze. Nju sačinjavaju dleto, udarne šipke i makaze (slika na narednom slajdu).

Dleta za udarno bušenje sastoje se od tela, izradjenog od visokokvalitetnog čelika, koje na gornjem kraju ima vrat sa navojem za udarnu šipku i sa navojem za spašavanje uslučaju havarije. Na donjem kraju nalazi se **sečivo sa legurama od tvrdih metala**. Sečivo je nešto šire od tela dleta, tako da se pri bušenju stvara zazor između zidova bušotine i tela dleta. Ovaj zazor smanjuje trenje tela dleta o zid bušotine. Za bušenje koristi se više tipova, a najčešće su u upotrebi **pljosnata, okruglasta, krstasta, ekscentrična i dleta sa dvostrukim T profilom**.

Pljosnata dleta najčešće se koriste **za bušenje u mekšim, glinovitim i laporovitim stenama** (slika na narednom slajdu). Ugao oštrenja obično je u rasponu 70 - 90°, a zavisi, pre svega, od čvrstoće stena u kojima se buši. Pri bušenju sa pljosnatim dletom, treba voditi računa da ne dodje do njegovog zaklinjavanja odnosno, zaglave. One su veoma česte pri bušenju u ispucalim, ili stenama sa uklopcima blokova i većih samaca.

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA



PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Za razliku od pljosnatih, **okruglasta dleta** znatno češće se koriste, zbog bolje obrade zidova bušotine (slika pod b) na prethodnom slajdu). Takodje, manja je i mogućnost zaklinjavanja, jer je veća površina sečiva dleta kojom se stena razara. Koriste se **za bušenje u tvrdim i ispucalim stenama**. Zbog toga se, sečivo od tvrdih legura ojačava na ivicama dleta, radi sprečavanja brzog habanja. Oštrenje sečiva je pod uglom od 90° - 120° , zavisno od čvrstoće stena u kojima se buši.

Krstasto dleto koristi se za **bušenje tvrdih ispucalih stena**, kao i **proluvijalnih nanosa sa krupnim uklopcima samaca ili blokova**. Specifičan oblik sprečava zaklinjavanje dleta u veće pukotine ili izmedju većih drobinskih blokova. U zavisnosti od tvrdoće stene, ugao oštrenja sečiva dleta varira od 110° do 130° .

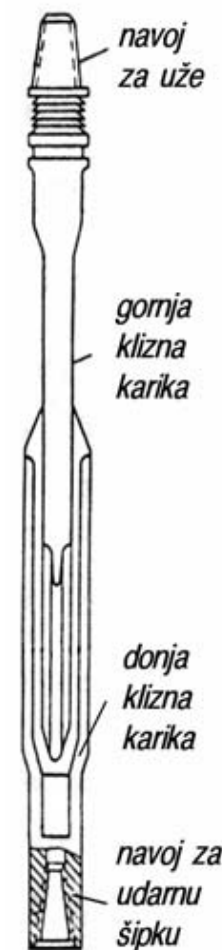
Ekscentrično dleto koristi se **za proširivanje bušotine, kada je potrebno bušiti pod zaštitom obložnih kolona, tj. istovremeno bušiti i spuštati obložne kolone**. Takodje, proširivanje prečnika ponekad je potrebno izvesti i u tehničke svrhe, na primer pri sidrenju dugačkih prednapregnutih ankera i sl. Izrađuje se u različitim varijantama i dimenzijama. Jedan tip ekscentričnog dleta prikazan je na slici d) na prethodnom slajdu. Osnovno za sva ekscentrična dleta je to, da su im sečiva, jedno ili više, postavljena na telu nesimetrično u

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

odnosu na uzdužnu osu. Zato, pri padu pribora, dleto telom na kojem su postavljene sečice, udara o zidove bušotina i obradjuje ih. Istovremeno, vrh dleta sa sečicom, zbog nesimetričnog tela dleta, razara stenu u zoni zidova bušotine i proširuje je.

Teške šipke koriste se za **povećanje ukupne težine bušaćeg pribora**, **neophodne u procesu bušenja**, i za **sprečavanje krivljenja bušotine**. Navijaju se na dleta, a na gornjem kraju spajaju se sa makazama. Po potrebi, nekoliko udarnih šipki medjusobno se povezuju u kolonu bušaćeg pribora. Mogu biti pune ili sa kanalom za isplaku, ako se buši sa isplakom. Na gornjem kraju, kao i dleta, imaju specijalan navoj za spašavanje u slučaju havarija.

Makaze se jednim krajem navrću na teške šipke, a drugim krajem spajaju se za uže. Pljosnatog su oblika, u vidu dve izdužene karike koje klize jedna u drugu, sl. 48. **Odgovarajućim hodom, koji najčešće iznosi 50 - 200 mm, sprečava se prenošenje težine radnih šipki na udarne šipke i dleto**, čime se u velikoj meri sprečavaju oštećenja i krivljenja kolone bušaćeg pribora. Takodje, one sprečavaju udaranje o zidove bušotina udarnih šipki, koje nastaje usled naginjanja kolone bušaćeg pribora u trenutku udara o dno bušotine odnosno, pri otpuštanju užeta (labavljenju).



Šematski prikaz makaza

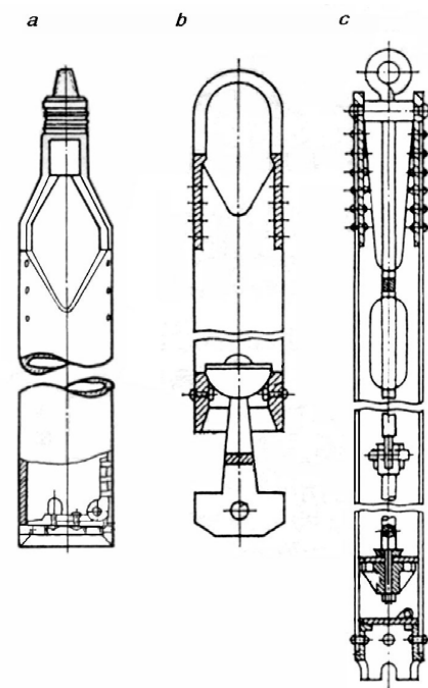
PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Ujedno, makaze omogućavaju da se dleto sa udarnim šipkama od dna bušotine odvaja trzajem, što sprečava trenje udarnih šipki o zidove bušotina i pri podizanju pribora. Pored opisanih postoje i makaze konstruisane na principu opruge, no namena im je ista.

Kašika je deo pribora koji služi za čišćenje dna bušotine od čestica nastalih u toku bušenja u čvrstim stenama. Takodje, koriste se za bušenje, umesto dleta, u mekim sedimentima, peskovima, glinama i stenama sličnih svojstava. Sastoji se od tela, izradjenog od cevi sa čeličnim ojačanjem, koja na dnu ima nazubljenu petu. Na gornjem kraju ima venac ili navoj za spajanje sa užetom.

U toku bušenja, u bušotinu se ubacuje izvesna količina vode, da bi suspendovale čestice koje nastaju razaranjem stene na dnu bušotine. Vremenom viskozitet suspenzije (pulpe) se povećava, a otpori kretanju bušaćeg pribora rastu.

U trenutku kada pulpa bitno smanji efikasnost bušenja, bušotina se čisti. Tada se u bušotinu, uz pomoć užeta prebačenog preko pomoćne koturače, spušta **ventil kašika** (slika pored).



*Ventil kašike:
a - sa ravnom, b – sa
sferičnom
klapnom, c - sa klipnom*

PRINCIP UDARNOG BUŠENJA

Ventil kašika, za razliku od obične, na dnu ima **klapnu** koja sprečava isticanje pulpe pri izvlačenju kašike iz bušotine. Najčešće se koriste ventil kašike sa ravnom i sferičnom klapnom ili sa klipom.

<https://www.youtube.com/watch?v=ILgHGIM8DEo>

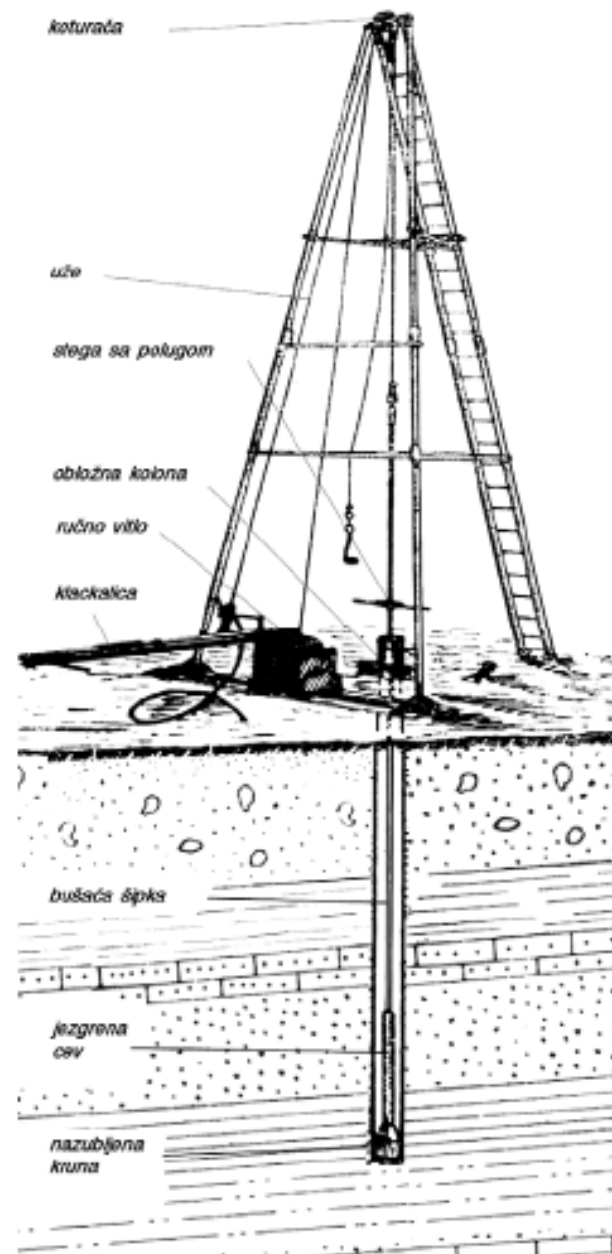
<https://www.youtube.com/watch?v=EuoSCI3OC7s>

PRINCIP RUČNOG BUŠENJA

Ručna garnitura za bušenje retko se koristi za geotehnička istraživanja. Može se koristiti za bušenje u mekšim rastresitim stenskim masama.

Njom se izvode plíce bušotine, najčešće dubina do 15 m, mada se njom može bušiti i do 50 m. Sastoji se od tornja, obično tronožca, na čijem se vrhu nalazi koturača, a na jednom kraku ručno vitlo za uže, sl. 5. Uz pomoć užeta, vrši se spuštanje i izdizanje kolone bušaćeg pribora, zaštitnih cevi i druge slične radnje u procesu bušenja.

Rotacija se vrši preko stege i poluge, koja je fiksirana na bušaće šipke. Za izdizanje pribora, kod udarnog bušenja, koristi se balanser odnosno, klackalica. **Zavisno od dubine bušenja, koriste se bušaće šipke prečnika od 12,7 do 25,4 mm.**



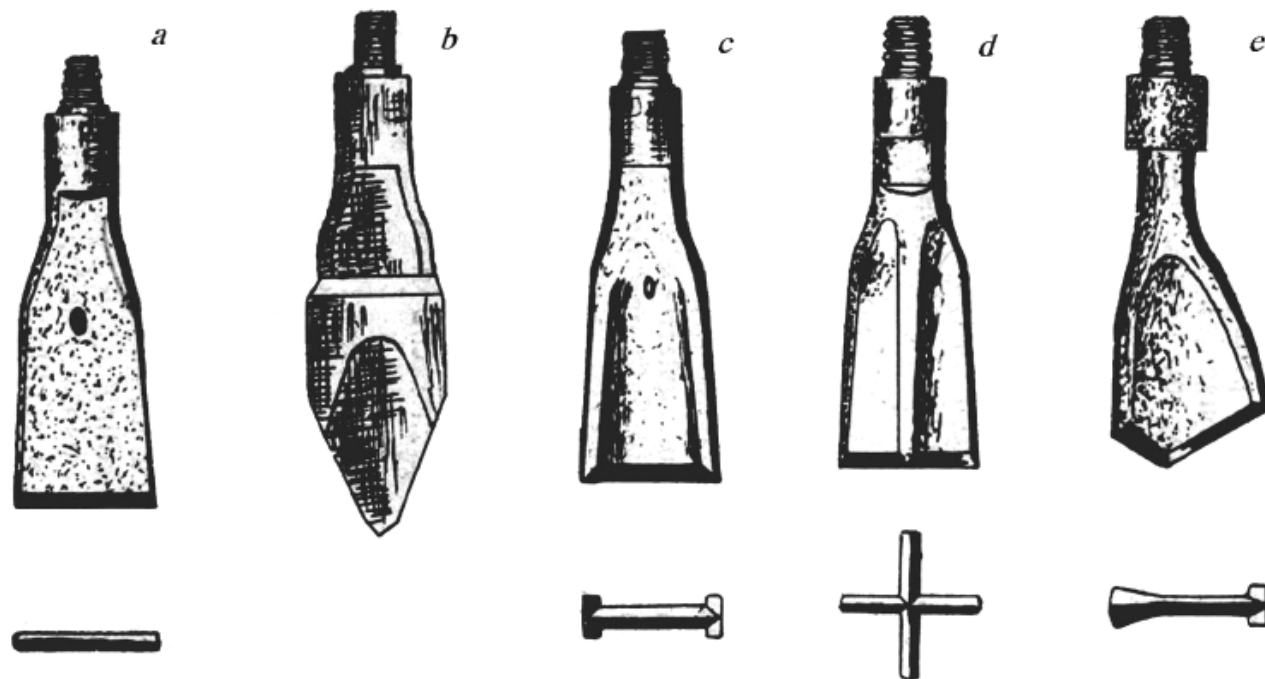
Šematski prikaz garniture za ručno bušenje

PRINCIP RUČNOG BUŠENJA

Pri rotacionom bušenju u mekšim stenama upotrebljavaju se svrdla različitog oblika (slika):

- kašikasto svrdlo za pesak i sitan šljunak, spiralno svrdlo za mekane stene i zemljasti materijal;
- pužasto svrdlo za polutvrde stene i nazubljena krana za polutvrde i tvrde stene;
- nazubljene krune, i cilindra koji se navrće na nju, može se vaditi jezgro iz bušotine. Sa ovim garniturama izvodi se bušenje sa prečnicima koji su najčešće u rasponu od 35 do 45 mm, a kod plićih bušotina mogu biti i veći.

Pribor za ručno udarno bušenje: a - pljosnato dleto, b - šiljasto dleto, c - T dleto, d - krstasto dleto, e - ekscentrično dleto /34/

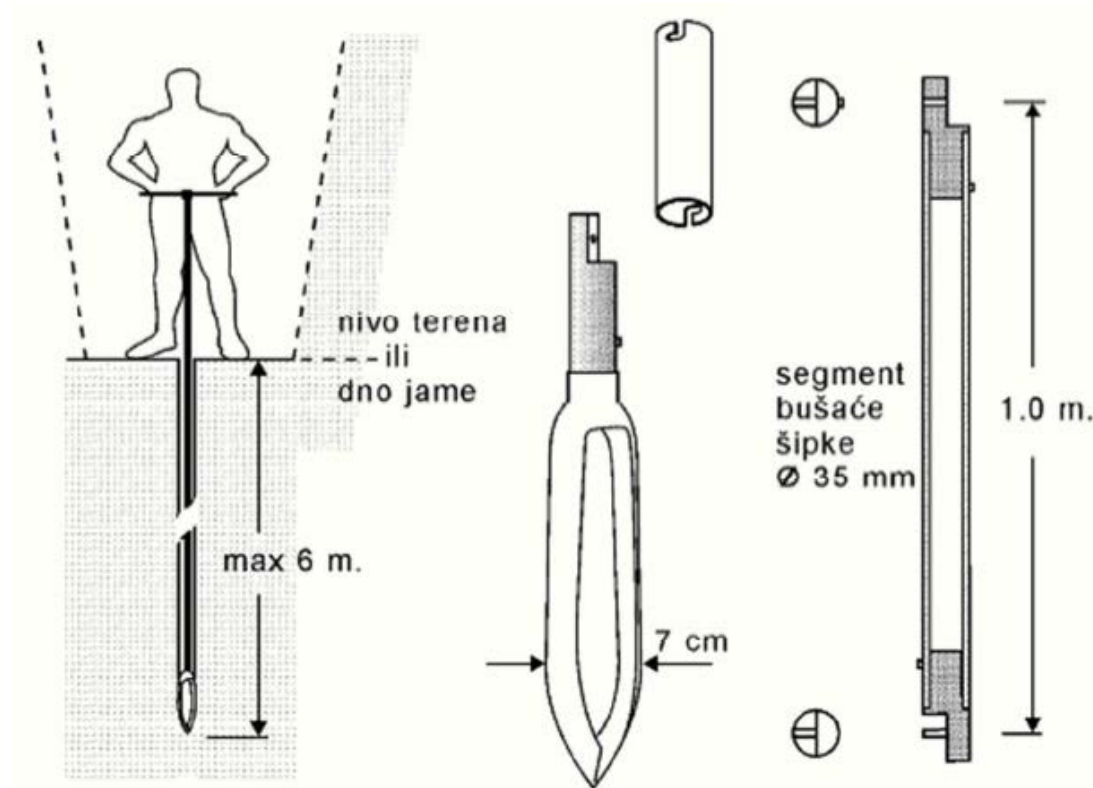


PRINCIP RUČNOG BUŠENJA

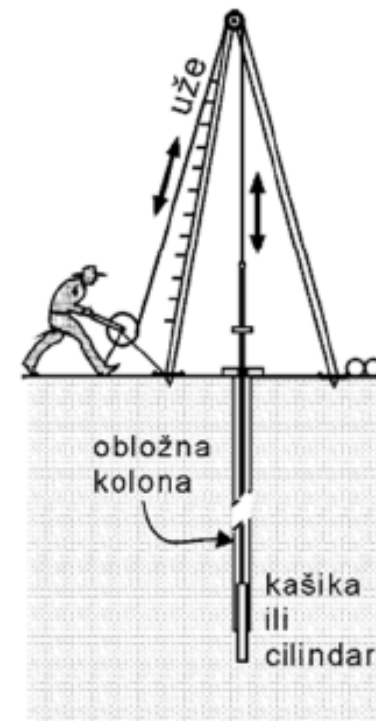
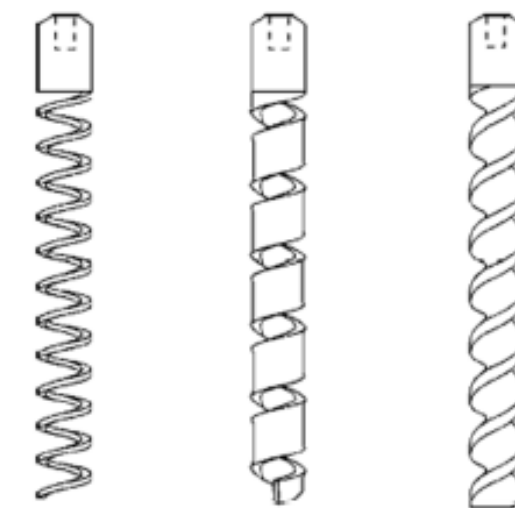
Bušenje kroz suhu sredinu olakšava se sipanjem izvesne količine vode, a kroz peskove i šljunkove ubacivanjem grudvi gline.

Bušenje kroz vodozasićene peskove i šljunkove izvodi se udarnom metodom, korišćenjem ventil kašike, uz istovremeno zacevljenje bušotine.

Postupci i radnje u toku bušenja sa ručnim garniturama slični su sa odgovarajućim postupcima i radnjama pri bušenju sa mašinskim garniturama.



PRINCIP RUČNOG BUŠENJA



<https://www.youtube.com/watch?v=PvoRQoSwoik>

KOMBINOVANO BUŠENJE

Većina stena i minerala pokazuju velike čvrstoće pri statičkom delovanju opterećenja, dok su im dinamičke čvrstoće i nekoliko puta manje. Primera radi, kvarc ima jako veliku čvrstoću na pritisak, ali se pri dinamičkim udarima relativno lako lomi, tj. odvaja po površima cepljivosti. Upravo kombinacijom statičkog i dinamičkog delovanja sila, na najefikasniji način, razaraju se stene pri kombinovanom bušenju. Kombinovano bušenje praktično predstavlja proces bušenja istovremenom rotacijom i udarima krune ili dleta o stenu na dnu bušotine. Istovremenim udarima i rotacijom pribora razaranje stena je znatno efikasnije i od udarnog i od rotacionog bušenja. U mekim stenama kombinovanim bušenjem efikasnost bušenja se povećava 1,3 - 1,6 puta, dok u jako tvrdim stenama ona je veća od 3 - 6 puta.

Za kombinovani metod bušenja koriste se iste garniture kao i za rotaciono, ali se bušači pribor u izvesnoj meri razlikuje. **Za kombinovano bušenje, pored standardnog pribora koji se koristi za rotaciono bušenje, neophodni su pneumatski ili hidraulički čekići i specijalne krune ili dleta.** Odnosno, kompozicija bušačkog pribora sastoji se od krune, spojnice (proširivača) sa hvatačem jezgra, jezgrene cevi, pneumatskog ili hidrauličkog čekića, bušačkih šipki i isplačne glave.

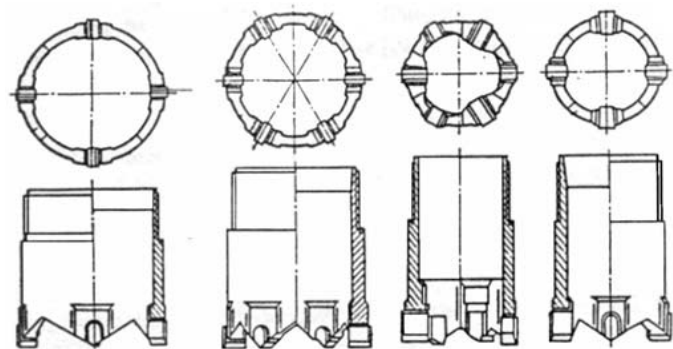
KOMBINOVANO BUŠENJE

Bušenje može biti sa jezgrovanjem, ako se bušenje izvodi sa krunama, ili bez jezgrovanja ako se buši dletom. Nabušene čestice, isto kao kod rotacionog bušenja, iznose se uz pomoć radnih fluida, isplake ili komprimovanog vazduha.

Za bušenje u mekšim stenama koriste se standardne krune, dok za tvrdje stene koriste se **krune specijalno ojačane za udarno-rotaciono bušenje**, sl. 50. Krune za kombinovano bušenje izradjuju se od tvrdih legura ili sa dijamantskim zrnima. Telo krune znatno je ojačano, a matrica je znatno deblja. Takodje, znatno se razlikuju po broju, obliku, rasporedu i načinu oštrenja zubaca.

Spojnica za krunu sa jezgrenom cevi, obično, sa spoljne strane ima zrna od tvrde legure ili dijamanta, koja služe za obradu zidova bušotine. Unutar nje, u konusnom kućištu, nalazi se hvatač jezgra.

Za jezgrovanje koriste se **jednostruke ili dvostruke jezgrene cevi**. Ako se buši bez jezgrovanja, umesto jezgrenih cevi, iznad dleta postavljaju se udarne šipke koje obezbedjuju potrebno opterećenje, zavisno od dubine bušenja i fizičko -mehaničkih svojstava stena u



Neki tipovi kruna za kombinovano bušenje

KOMBINOVANO BUŠENJE

kojima se buši. Za bušenje bez jezgrovanja koriste se dleta različitog oblika i prečnika, sa ojačanim sečivima za razaranje stena (slika na narednom slajdu).

Iznad jezgrenih cevi ili dleta i udarnih šipki, postavlja se hidraulički ili pneumatski čekić, kojim se izazivaju dinamički udari za razaranje stena.

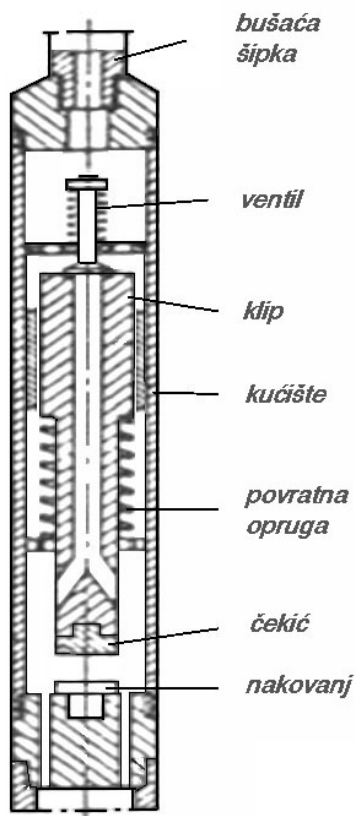
Udarni čekići rade na sličnom principu, a medjusobno se razlikuju samo po vrsti fluida koji ih pokreće u rad.

Hidraulički čekić radi na principu hidrauličkih udara koji nastaju pri naglom povećanju pritiska, a usled inercije isplake koja se koristi pri bušenju. Hidraulički čekić sastoji se od **kućišta, klipa sa kanalom, ventila sa oprugom, povratne opruge, čekića i nakovanja** (slika na narednom slajdu). Isplaka pod pritiskom ulazi u kućište i potiskuje naniže klip, dok je kanal kroz telo klipa zatvoren ventilom. U trenutku kada sila opruge postane veća od pritiska isplake, ventil se otvara i propušta isplaku kroz klip. Po inerciji, klip nastavlja kretanje naniže i čekićem udara o nakovanj koji je povezan preko jezgrenih cevi sa krunom, ili preko udarnih šipki sa dletom. Nakon udara, klip se pomoću povratne opruge podiže naviše, a kanal za isplaku kroz telo klipa zatvara se ventilom. Tada je jedan ciklus završen i započinje novi.

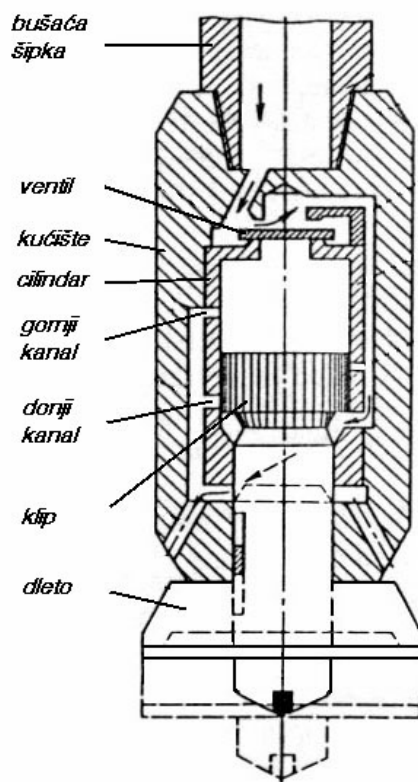
Broj i jačina udara zavise od kapaciteta pumpe. Frekvencija obično iznosi oko 1000 udara/min, a može biti i do 3000 udara/min.

KOMBINOVANO BUŠENJE

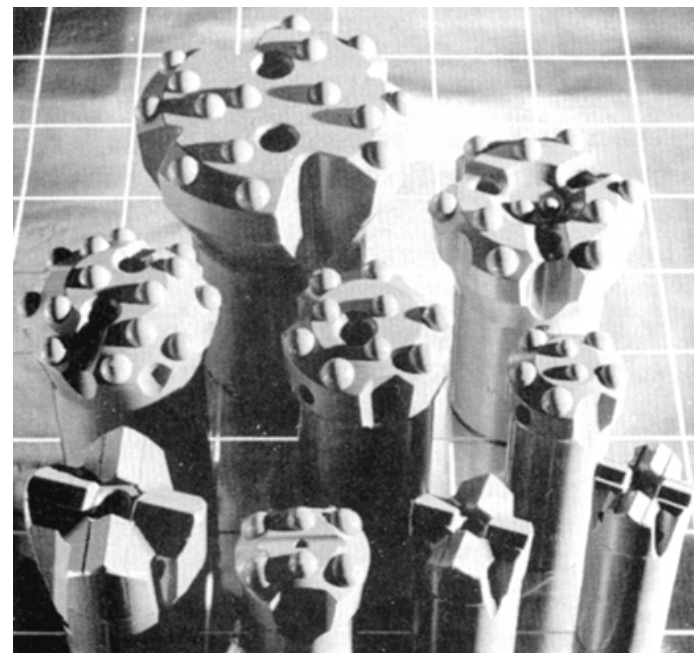
Za rad hidrauličkog čekića koriste se pumpe kapaciteta od 120 l/min do 250 l/min. Broj obrtaja pribora, zavisi od svojstava stena i prečnika bušenja, i najčešće iznosi od 15 - 90 ob/min. Kombinovano bušenje, hidrauličkim čekićem, racionalno je do dubina od oko 1000 m.



Hidraulički čekić



Pneumatski čekić



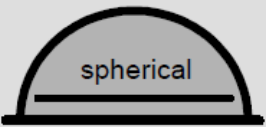
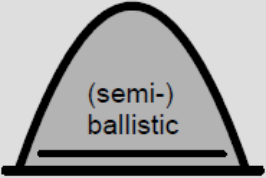
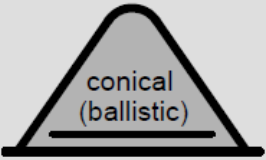
Dleta za kombinovano bušenje

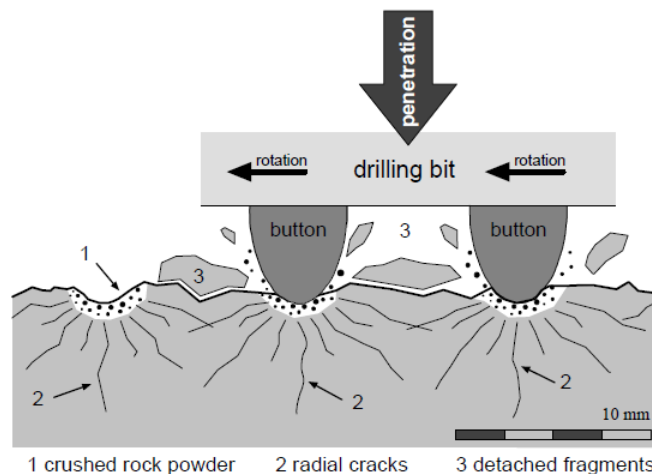
<https://www.youtube.com/watch?v=vohl8yk-Z7s>

<https://www.youtube.com/watch?v=2mSIEigEXtw>

KOMBINOVANO BUŠENJE



Button Types	Characteristics
 spherical	○ "non aggressive" shape ○ minimum drilling rates ○ low bit wear ○ excavation mainly by impact
 (semi-) ballistic	○ "aggressive" shape ○ moderate drilling rates ○ moderate bit wear ○ excavation mainly by shearing / cutting
 conical (ballistic)	○ "very aggressive" shape ○ maximum drilling rates ○ high bit wear ○ excavation mainly by shearing / cutting



Neki aspekti kombinovanog bušenja - Pored zatezne i čvrstoće na pritisak (udarno bušenje) i smičuće čvrstoće (rotacija krune) od ključne važnosti su elastične karakteristike stenske mase. Kako se bušenje gotovo uvek vrši kroz stensku masu sa postojećim pukotinama, od značaja je post-rupturna čvrstoća

KOMBINOVANO BUŠENJE

Pneumatski čekić, za razliku od hidrauličkog, za svoj rad koristi komprimovani vazduh. Pneumatski čekić sastoji se od **kućišta sa cilindrom, klipa, ventila i kanala za cirkulaciju vazduha** (slika na prethodnom slajdu). Pri spuštanju pribora u bušotinu, klip se nalazi u donjem delu cilindra, zbog težine, i tada zatvara donji kanal za vazduh. Takodje, tada je zatvoren i ventil koji se nalazi na vrhu gornjeg dela komore. Vazduh pod pritiskom iz bušaćih šipki, s obzirom da je ventil na komori zatvoren, prolazi bočnim kanalom kroz kućište i ulazi u donji deo komore, kao što je strelicama i naznačeno na pomenutoj slici.

Pod pritiskom vazduha, a pošto je donji kanal zatvoren, klip kreće naviše i istiskuje vazduh ispred sebe kroz gornji kanal.

Krećući se naviše klip prvo otvara donji kanal za vazduh, što dovodi do pada pritiska u bočnom kanalu za cirkulaciju vazduha, a potom zatvara gornji kanal za vazduh. Daljim kretanjem klipa, koje se odvija po inerciji, sabija se vazduh u gornjem delu komore, usled čega dolazi do otvaranja ventila na vrhu komore. Pri otvaranju, ventil zatvara prolaz vazduhu kroz bočni kanal i usmerava ga u gornji deo komore. Pod pritiskom vazduha klip se kreće naniže, otvarajući tada gornji ventil za cirkulaciju vazduha.

Otvaranje gornjeg kanala za vazduh dovodi do pada pritiska u gornjoj komori i zatvaranja ventila odnosno, ponovne cirkulacije vazduha bočnim kanalom i kroz donji deo komore.

KOMBINOVANO BUŠENJE

Krećući se dalje po inerciji naniže, klip udara u dleto i istovremeno zatvara kanal za cirkulaciju vazduha, u donjem delu komore. Time je završen jedan ciklus i počinje novi.

Za ovakav način bušenja, potrebno je kompresorom obezbediti 10 - 12 m³/min vazduha, i pritom omogućiti ulazne brzine 12 - 15 m/s u nadizdanskoj odnosno, 20 - 22 m/s u izdanskoj zoni.

Kombinovani metod bušenja sa dletom manjih prečnika, veoma često se izvodi u tehničke svrhe, posebno pri izradi podzemnih prostorija. Postoji veliki broj specijalnih građevinskih i rudarskih mašina za bušenje, pre svega, minskih i bušotina za ankere. Takodje, postoje razni pneumatski i hidraulički čekići sa kojima se bušenje izvodi ručno.