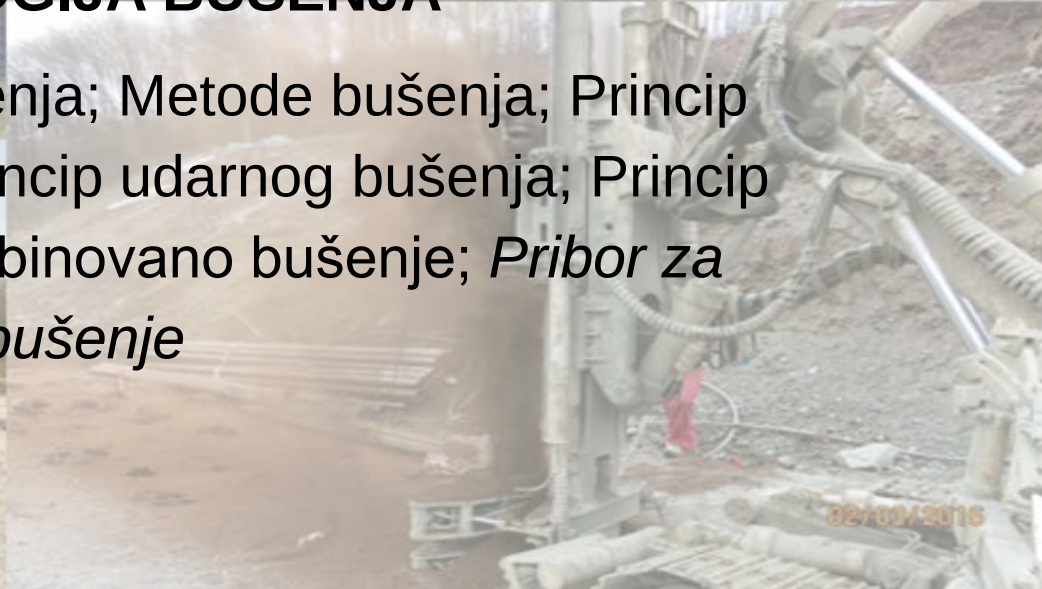


Nedelja 2,3

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; Pобољшanje svojstava stenskih masa; Bušotine specijalnih namena

Nedelja 10. ISTRAŽNI ISKOPI - Plitki istražni iskopi; Istražne jame; Istražni rovovi; Istražne raskrivke; Duboki istražni iskopi; Istražna okna, šahte; Istražne galerije, potkopi

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

PRIBOR ZA BUŠENJE

Trenutno, u svetu postoji više standarda kojima su utvrđene osnovne dimenzije bušaćeg pribora, vrste materijala od koga se izrađuje, i način njihovog spajanja (navoj). Svi poznati standardi razvijeni su od dva osnovna sistema standarda:

- **Metričkog sistema poznatog kao “Crealius”**
- **Inch sistema poznatog kao DCDMA**

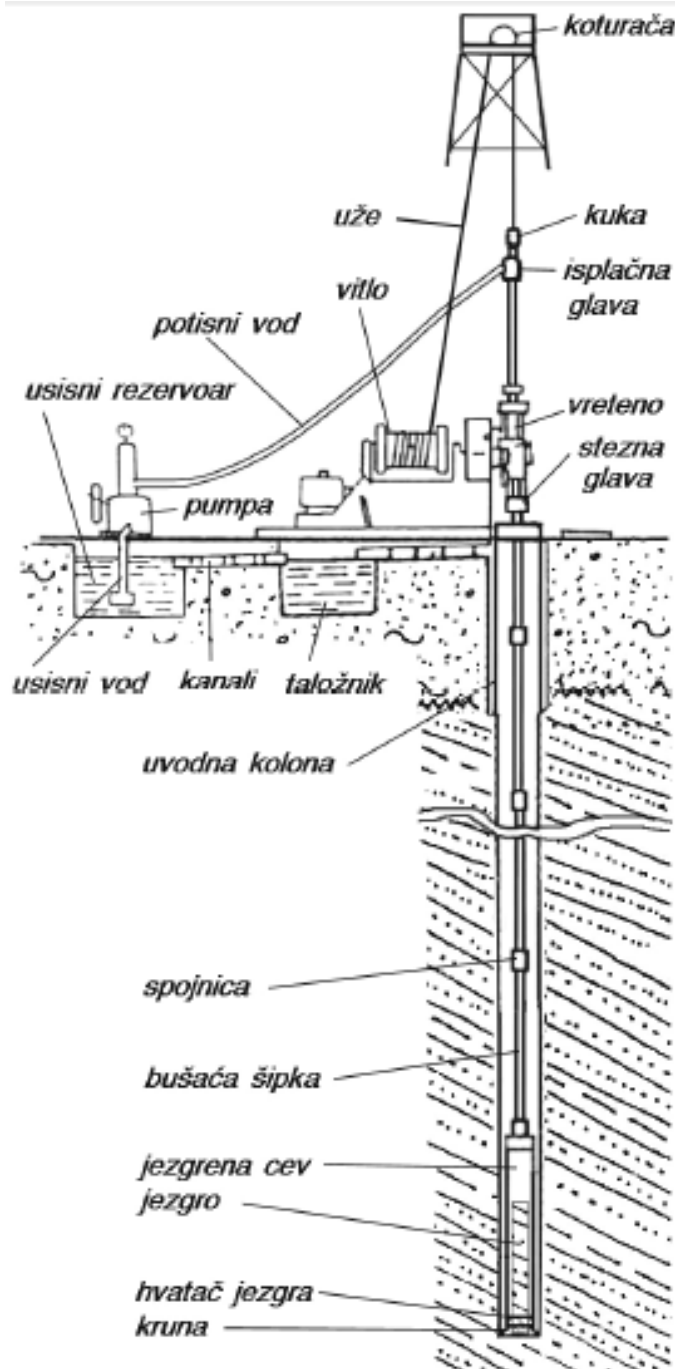
Metričkom sistemu pripada i SRPS po kome proizvođač “Geomašina” iz Zemuna izrađuje bušaći pribor. U pribor za bušenje najčešće se svrstavaju: **isplačne glave, bušaće šipke, spojnice, prelaznice za spojeve, jezgrene cevi, hvatači jezgra, krune i obložne kolone**. U procesu bušenja navedeni elementi spojeni su logičnim redom u niz, kao što je i prikazano na slici na narednom slajdu, koji se u stručnoj terminologiji naziva **”kolona bušaćeg pribora”**.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Isplačna glava, kao deo sistema za cirkulaciju i rotaciju, istovremeno omogućava prolaz isplake i rotaciju bušačkog pribora. Pored toga, u toku procesa bušenja, **isplačna glava** nosi celokupan teret pri spuštanju ili podizanju kolone bušačkog pribora. Sastoji se iz dva osnovna sklopa, **gornjeg nepokretnog i donjeg pokretnog** (slika na narednom slajdu).

Nepokretni deo je izrađen u obliku kućišta, o koga se isplačna glava veša za kuku, a preko krive cevi (guskin vrat) povezana je sa potisnim vodom. U kućištu isplačne glave rotira pokretni osovinski deo, koji se donjim krajem preko spojnice povezuje sa radnom šipkom. Rotaciju pokretnom delu isplačne glave omogućavaju **kuglični ležajevi**, koji su smešteni u kućištu. Unutrašnjost kućišta ispunjena je uljem radi podmazivanja. Mešanje ulja i isplake sprečava se različitim **zaptivkama ili brtvilima**.

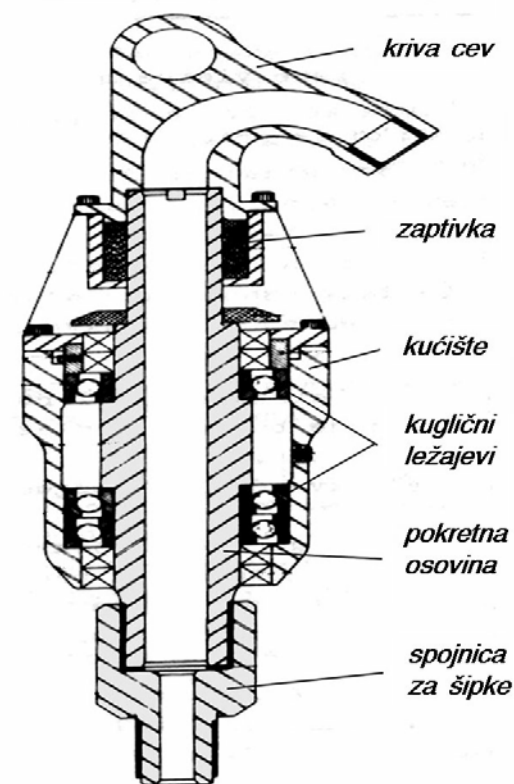
U praksi se koristi široki asortiman isplačnih glava, koje



PRIBOR ZA BUŠENJE

su prilagođene različitim uslovima bušenja. Odnosno, izrađuju se isplačne glave za bušenje od najlakših uslova, za **mala opterećenja i male dubine**, pa do najtežih uslova, za **velika opterećenja i velike dubine bušenja**.

Bušaće šipke su bešavne čelične cevi, hladno valjane, uz specijalnu termičku obradu. Međusobno spojene spojnicama ili mufnama čine kolonu bušačkih šipki, koja u toku bušenja prenosi rotaciju i osovinski pritisak od vretena na krunu, omogućava cirkulaciju isplake, služi za manevrisanje u toku bušenja, pomaže pri otklanjanju zaglava i havarija. Ustvari, kolona bušačkih šipki predstavlja jedno šuplje obrtno vreteno, čija se dužina stalno povećava sa dubinom bušotine. Primena obrtnog vretena takvih dužina, kakvih nema u drugim tehničkim oblastima, nameće posebne zahteve u pogledu svojstava materijala od koga se izrađuje, konstruktivnih elemenata, dimenzija, te u pogledu rukovanja i održavanja.



Isplačna glava

PRIBOR ZA BUŠENJE

Bušaće šipke izrađuju se od **čelika, koji je visokokvalitetan**, sa **dozvoljenim naponima zatezanja do 600 MPa**. Kolona bušaćih šipki predstavlja **elastičan sistem** koji je u toku bušenja izložen **različitim vrstama opterećenja**, kako po intenzitetu, tako po i karakteru delovanja. Pod dejstvom rotacije i osovinskog pritiska kolona bušaćih šipki, posebno njen donji deo, izložena je istovremenom naprezanju na **pritisak, savijanje i uvrtanje**. Pri bušenju dubokih bušotina, **kada je težina kolone bušaćih šipki veća od potrebnog pritiska, hidrauličkim sistemom šipke se izdižu** i na taj način se smanjuje pritisak na krunu. Tada je gornji deo kolone bušaćih šipki izložen naprezanju na **zatezanje i uvrtanje**. U toku spuštanja i izdizanja bušaćeg pribora u bušotinu, kolona bušaćeg pribora izložena je naponima zatezanja, koji su maksimalni na spoju bušaćih šipki i vretena, a minimalni na spoju sa jezgrenom cevi. **Slična naprezanja se javljaju i kada se izvlači zaglavljen pribor, s tim što je tada kolona bušaćih šipki izložena većim naponima na zatezanje**. U toku spašavanja zaglavljenog pribora, ukoliko se nestručno postupa, često dolazi do kidanja kolone bušaćih šipki. Pored navedenog, do kidanja kolone bušaćih šipki dolazi pri iznenadnom uvijanju kolone, usled zaklinjavanja krune, delovanja inercijalnih sila pri naglom kočenju ili podizanju bušaćeg pribora, ili usled trenja bušaćih šipki o zidove bušotine.

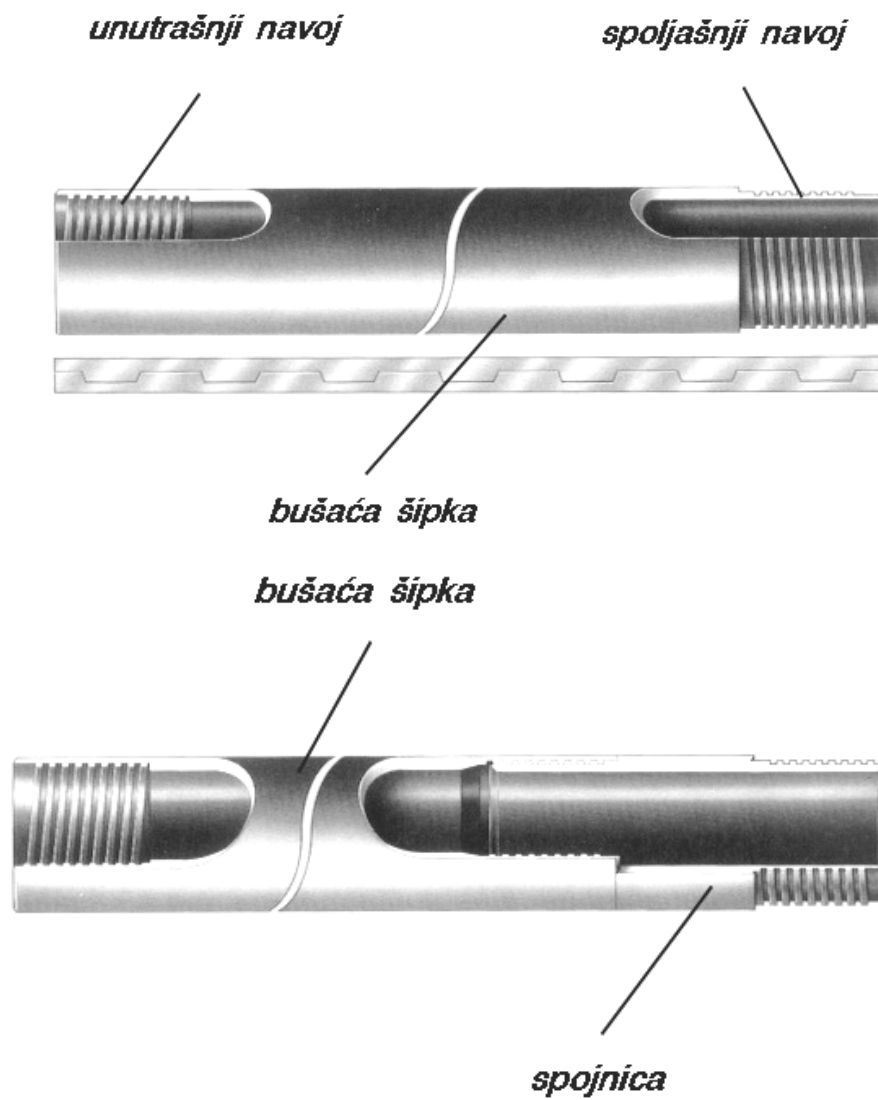
PRIBOR ZA BUŠENJE

Bušaće šipke izrađuju se u dužinama od 1, 2, 3, 5 i 6 m, i najčešće sa obe strane imaju unutrašnje pravougaone navoje. Za bušenje se koriste bušaće šipke sa **desnim navojem i rotacija se izvodi u desno**. Bušaće šipke sa **levim navojem koriste se za spašavanja bušaćeg pribora**, u slučaju otklanjanja zaglava i havarija. Bušaće šipke izrađuju, se po različitim standardima, i zavisno od dubine bušenja za koje su namenjene različitih su dimenzija. U narednoj tabeli prikazani su konstruktivni elementi, i područja njihove primene, bušaćih šipki koje se izrađuju po metričkom standardu i SRPS-u. Spajanje bušaćih šipki, prečnika 33,5 mm, 40 mm i 50 mm, vrši se pomoću **spojnica**, koje na krajevima imaju spoljne pravougaone navoje, slika na narednom slajdu.

Tabela 3. Dimenzije bušaćih šipki po metričkom i standardu

Spoljni prečnik šipke (mm)	33,5	42,0	50,0	60,0
Unutrašnji prečnik šipke (mm)	24,5	33,0	38,0	48,0
Debljina zida (mm)	4,5	4,5	6,0	6,0
Težina (N/m)	32,4	43,2	67,7	92,2
Unutrašnji prečnik spojnice (mm)	15	20	22	25
Maksimalna dubina bušenja (m)	600	1200	2000	3000
Prečnik bušenja (mm)	36-46 (56)	46-66 (76-86)	56-86 (101-146)	66-146

PRIBOR ZA BUŠENJE



Bušaće šipke i elementi za njihovo spajanje /39/

PRIBOR ZA BUŠENJE

Spajanjem bušaćih šipki spojnicama ostvaruje se ravna spoljašnja površina, jer su **spoljašnji prečnici isti**. Međutim, zbog manjeg unutrašnjeg prečnika spojnica, na mestima spojeva nastaju suženja. Ovaj način spajanja ima prednosti koje se, pre svega, ogledaju u **smanjenom trenju o zidove bušotina, manjim otporima pri cirkulaciji isplake** između zidova bušotine i bušaćih šipki, **pogodnostima pri bušenju kosih i bušotina manjih prečnika**. Pored prednosti, pojavljuju se i **izvesni problemi** koji su uglavnom vezani za **povećane otpore pri cirkulaciji isplake**, kroz suženja na mestima spojeva, i **česta oštećenja i lomove na spojevima, koji predstavljaju oslabljena mesta**.

Mufovima se spajaju bušaće šipke sa prečnikom od 60 mm i većim, koje se koriste za bušenje dubljih bušotina. Za razliku od spojnica, **mufovi imaju unutrašnje navoje sa obe strane, a u njih se uvrću bušaće šipke sa spoljašnjim navojima**. Spajanjem bušaćih šipki mufovima ostvaruje se ravna unutrašnja površina, jer su unutrašnji prečnici isti. Međutim, **zbog manjeg spoljašnjeg prečnika bušaćih šipki, na mestima spojeva nastaju proširenja za debljinu zidova mufova**.

Mufovi i spojnice izrađuju se od istog materijala kao i bušaće šipke. Spajanje bušaćih šipki mufovima, u odnosu na spajanje šipki spojnicama, povoljnije je zbog: manjih otpora

PRIBOR ZA BUŠENJE

pri cirkulaciji isplake kroz bušaće šipke, zaštite bušaćih šipki od habanja jer su spoljni prečnici mufova veći, povećane nosivosti spojeva. **Zbog većeg spoljnog prečnika mufova otežano je bušenje kosih i bušotina manjeg prečnika. Posebno je otežano spašavanje zaglavljenog pribora, jer mufovi stvaraju velike otpore pri izvlačenju pribora.** Radi sprečavanja neželjenih posledica, u toku bušenja potrebno je kontrolisati stanje kolone bušaćih šipki. Pre svega, neophodna su merenja prečnika, zbog izraženog habanja u toku bušenja, i provera stanja navoja na spojnica i bušaćim šipkama.

The drilling manual
(fifth edition), 2015



<https://www.indiamart.com/proddetail/water-well-drill-rod-20531814862.html>



PRIBOR ZA BUŠENJE

Jezgrene cevi se koriste za **vađenje uzoraka odnosno, jezgra**, iz stenskih masa kroz koje bušotina prolazi. **Jezgrena cev, u toku bušenja, prihvata u svoju unutrašnjost jezgro stene koje krana opseca**, otkida ga od matične stene i zadržava ga dok ne bude izvučena iz bušotine. **Uspešnost bušenja, pored ostalog, ocenjuje se na osnovu procenta izvađenog jezgra**, a on u velikoj meri zavisi od pravilnog izbora jezgrene cevi. S obzirom na raznovrsnost geoloških uslova odnosno mehaničkih svojstava sredina u kojima se buši, procenat izvađenog jezgra varira u širokom dijapazonu, čak i u pojedinim intervalima jedne te iste bušotine. **Procenat izvađenog jezgra preko 90% može se smatrati dobrim, sa aspekta rešavanja geotehničke problematike, od 60% - 90% zadovoljavajući, dok je ispod 60% slab.**

U cilju povećanja procenta i poboljšanja kvaliteta izvađenog jezgra, koriste se jezgrene cevi koje su svojim konstruktivnim, i drugim karakteristikama, prilagođene za bušenje u raznovrsnim geološkim sredinama. Prema konstrukciji i nameni jezgrene cevi možemo svrstati u: **jednostruke, dvostruke, trostruke i sistem “Wire Line”.**

PRIBOR ZA BUŠENJE

$$TCR = \left(\frac{l_{\text{suma delova}}}{l_{\text{duzina busotine}}} \right) \times 100\%$$

$l_{\text{suma delova}}$ = Сума дужина извађених делова језгра

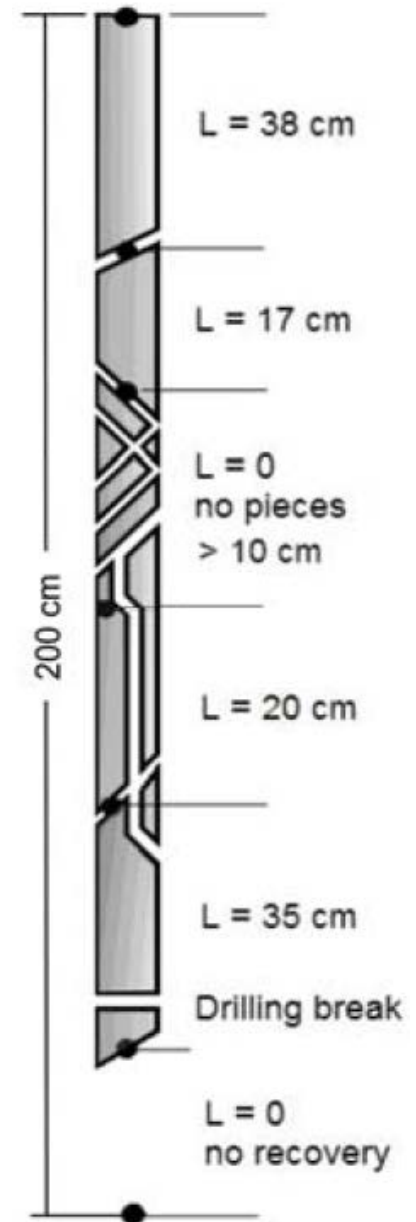
$l_{\text{duzina busotine}}$ = Укупна дужина избушене бушотине у којој се вршило језгровање



$$RDQ = \frac{\Sigma \text{Core pieces} > 10 \text{ cm}}{\text{Total length of core run}} \times 100$$

$$RDQ = \frac{38 + 17 + 20 + 35}{200} = 55 \%$$

Određivanje RQD vrednosti duž jezgra
istražne bušotine 2 m dužine (Hoek, 2013)



PRIBOR ZA BUŠENJE

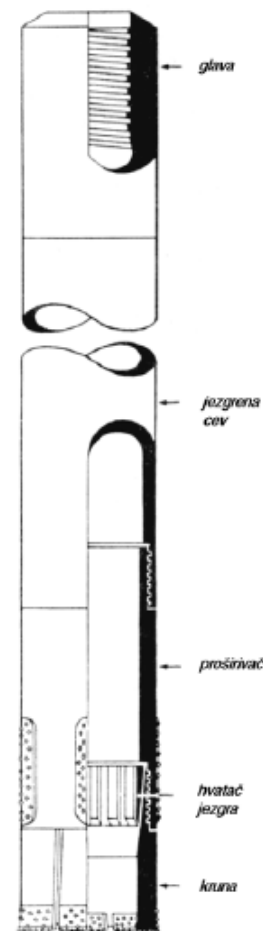
Jednostruke jezgrene cevi su u osnovi bešavne cevi izrađene od visokolegiranih čelika, koje na oba kraja imaju sa unutarnje strane cilindrične navoje. U njih se, na gornjem kraju, navrće spojnica za bušaću šipku (glava). Na donjem kraju jezgrene cevi navrće se spojnica za krunu (proširivač), slika dole.

Postoje **tri tipa jednostrukih jezgrenih cevi**, koje se koriste uz odgovarajuće krune za bušenje.

Sa tankozidnim krunama i bez hvatača za jezgro koristi se **tip "A"**. Ovim jezgrenim cevima izvode se bušotine prečnika od 36 do 86 mm u mekšim, plastičnijim i kompaktnim sredinama.

Jezgrene cevi tipa "B" koristi se sa **tankozidnim krunama** kod kojih je u konusnom ležištu smešten **hvatač jezgra**. Koriste se sa svim krunama za bušenje, **zupčastim, vidija i dijamantskim**. Primjenjuju se uz sve krune **prečnika od 36 do 146 mm u metričkom standardu**. Sa njima se može bušiti u **svim sredinama**, uz pravilan izbor krune i hvatača za jezgro.

Tip "Y" i "Z" koristi se sa **debelozidnim krunama**, uglavnom, za bušenje na većim dubinama i u težim uslovima odnosno, pri većim mehaničkim



Slika 24. Jednostruka jezgrene cev /26/

PRIBOR ZA BUŠENJE

opterećenjima. Odgovaraju krunama prečnika od 46 do 146 mm metričkog standarda.

Hvatač jezgra smešten je u spojnici sa konusom, između krune i jezgrene cevi.

U tabeli su dati osnovni konstruktivni elementi jednostrukih jezgrenih cevi koje se izrađuju prema metričkom standardu.

U nekim slučajevima **spajaju se dve ili tri jezgrene cevi uz pomoć spojnica**, što se može povoljno odraziti na brzinu bušenja, jer se smanjuje broj manevara za vađenje jezgra. Takođe, spajanjem jezgrenih cevi povećava se dužina krute veze u zoni dna bušotine što smanjuje mogućnost krivljenja bušotine. Međutim, produženje jezgrene cevi povećava otpore cirkulaciji isplake u prstenastom prostoru, između zidova bušotine i jezgrene cevi, što otežava ispiranje bušotine i stvara mogućnost za zaglavu bušaćeg pribora.

Tabela 4. Konstruktivni elementi jednostrukih jezgrenih cevi po metričkom standardu

Prečnik bušotine (mm)	36	46	56	66	76	86	101	116	131	146
Spoljašnji prečnik cevi (mm)	34	44	54	64	74	84	98	113	128	143
Unutrašnji prečnik cevi (mm)	28	38	47	57	67	77	89	104	119	134
Dužina cevi (m)	0,5 - 3,0									
Težina cevi (kN/m)	-	34,2	43,4	50,5	61,3	70,9	103,0	121,6	135,4	151,1

PRIBOR ZA BUŠENJE

<http://home.iitk.ac.in/~sarv/New%20Folder/Presentation%20-3>

The drilling manual
(fifth edition), 2015

Standard diamond drill core sizes

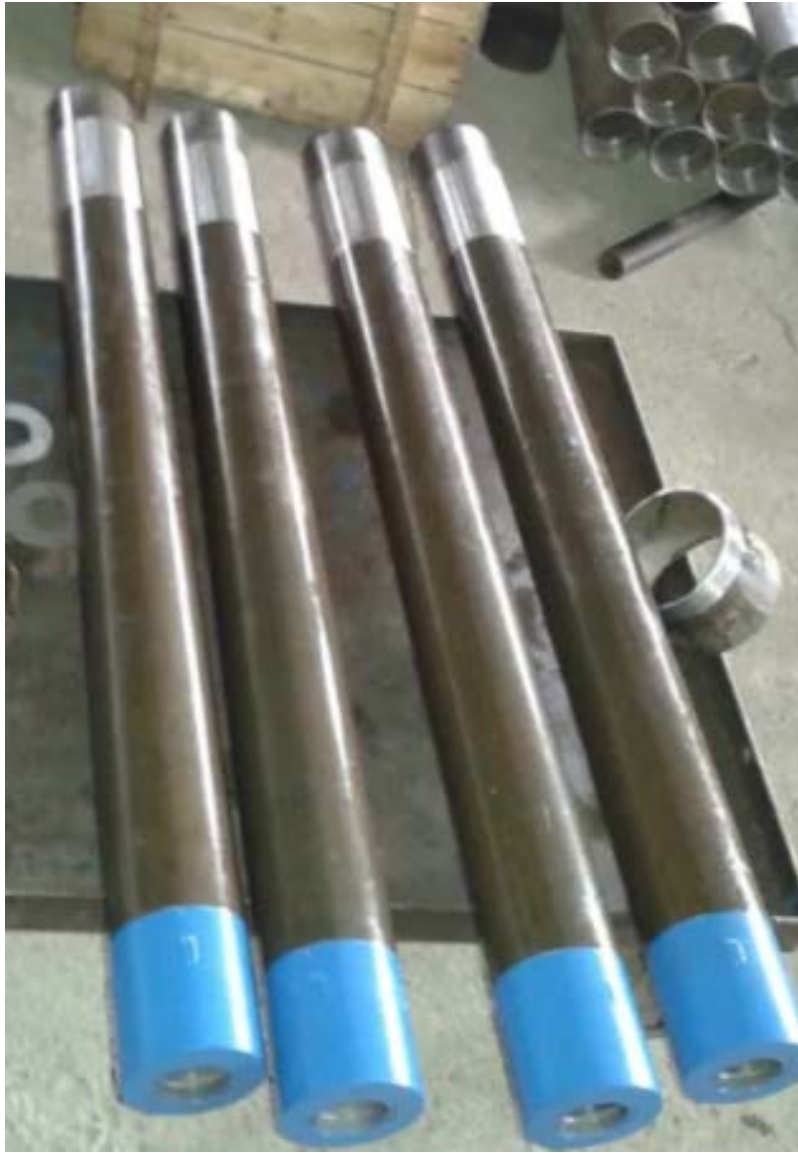
Designation	AQ	BQ	NQ	NQ2	NX	HQ	PQ
Dia. (mm)	27	36.5	47.6	50.5	54.7	63.5	85.0

Size	Hole (outside) diameter		Core (inside) diameter	
	mm	inch	mm	inch
AQ	48.0	1.890	27.0	1.062
BQ	60.0	2.360	36.4	1.433
NQ	75.7	2.980	47.6	1.875
NQ2	75.7	2.980	50.6	1.995
NQ3	75.7	2.980	45.0	1.775
HQ	96.0	3.782	63.5	2.500
HQ3	96.0	3.782	61.1	2.406
PQ	122.6	4.827	85.0	3.345
PQ3	122.6	4.827	83.0	3.270
LTK48	48.0	1.890	35.3	1.390
LTK60	60.0	2.360	43.9	1.712

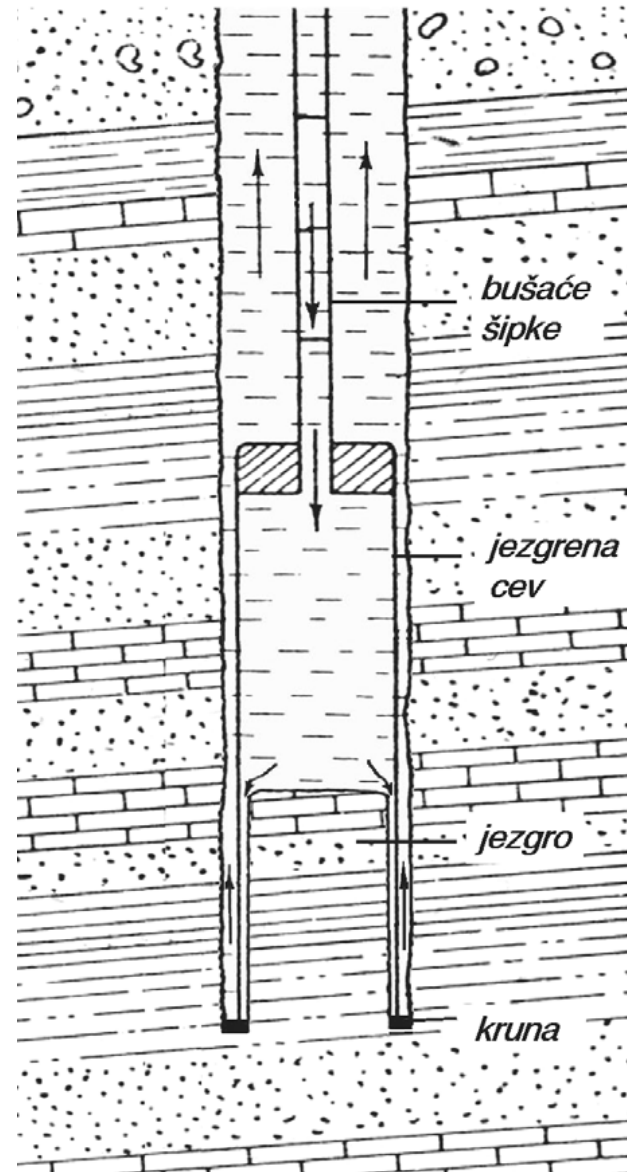
PRIBOR ZA BUŠENJE

Princip bušenja sa jednostrukom jezgrenom cevi prikazan je na slici na narednom slajdu. **Isplaka cirkuliše kroz bušaće šipke, ulazi u jezgrenu cev, prolazi oko jezgra i kroz kanale ispod krune, zahvatajući bušenjem usitnjene čestice. Zatim, ih iznosi između zidova bušotine i jezgrene cevi, a potom pored bušaćih šipki, do površine.** Nakon bušenja intervala, zavisno od dužine bušaće cevi, vrši se **otkidanje jezgra**, a zatim izvlačenje jezgrene cevi sa jezgrom u njoj. **Otkidanje jezgra vrši se uz pomoć hvatača** koji je smešten u konusnoj spojnici neposredno iznad krune. Pri povlačenju bušaćeg pribora naviše, hvatač kliza niz konus smanjujući pri tom obim, čvrsto obuhvatajući jezgro, kida ga i ne dozvoljava mu ispadanje pri izvlačenju pribora. Kao što je navedeno, u procesu bušenja **isplaka cirkuliše oko jezgra, kvasi ga, a u sredinama osetljivim na dejstvo fulida može ga ispiranjem i razoriti.** Takođe, do razaranja jezgra može doći i usled mehaničkog delovanja jezgrene cevi. **Naime, u toku bušenja zajedno sa bušaćim šipkama i krunom rotira i jezgrena cev, tako da se sve vibracije bušaćeg pribora prenose u vidu naprezanja (udara) na jezgro.** Zbog toga se jednostruke jezgrene cevi najčešće koriste pri bušenju u čvrstim kompaktnim slabo ispucalim sredinama i sredinama koje su otporne na negativno delovanje vode.

PRIBOR ZA BUŠENJE



<https://cnforsunttools.en.made-in-china.com/product/RCBmukPVZzhN/China-B86-Single-Tube-Core-Barrel-Assembly.html>

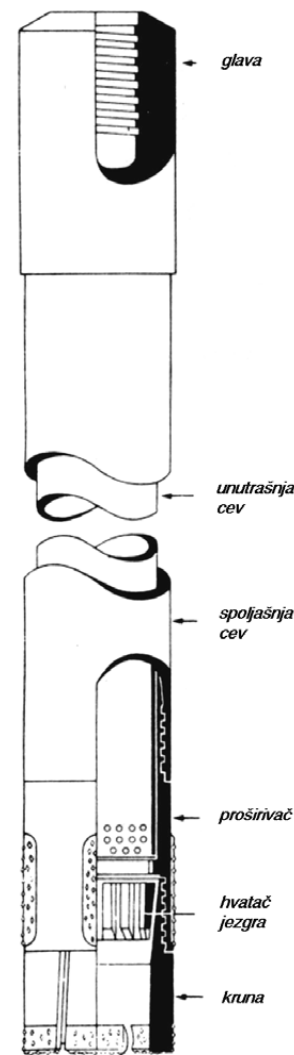


Cirkulacija isplake u sistemu sa jednostrukom jezgrenom cevi

PRIBOR ZA BUŠENJE

Dvostruke jezgrene cevi koriste se za bušenje kroz meke, rastresite, slabo vezane i ispucale stene, stene koje su lako podložne destruktivnom delovanju isplake. U njima se sa jednostrukim jezgrenim cevima ne može ostvariti zadovoljavajući kvalitet i procenat izvađenog jezgra. Glavna uloga dvostruke (duple) jezgrene cevi je da zaštiti jezgro od kontakta sa isplakom i uticaja vibracija usled rotacije bušaćeg pribora. Osnovne komponente dvostruke jezgrene cevi, prikazane na slici, su: **glava sa kugličnim ležajevima, unutrašnja cev i spoljašnja cev.**

Na gornjem kraju spoljašnje cevi montira se spojnica (glava) za bušaće šipke, a na donjem kraju konusna spojnica (kućište) za hvatač jezgra i krana. Veza između spoljašnje i unutrašnje cevi ostvarena je pomoću **kugličnog ležaja**. On omogućava mirovanje unutrašnje cevi u procesu bušenja, što doprinosi dobijanju **visokog procenta jezgra** i u sredinama sa nepovoljnim **fizičko-mehaničkim svojstvima**. Pri istom prečniku bušotine, jezgro izvađeno duplom jezgrenom cevima manjeg je prečnika od jezgra izvađenog jednostrukom jezgrenom cevima međutim, procenat izvađenog jezgra je znatno veći, a kvalitet znatno bolji.



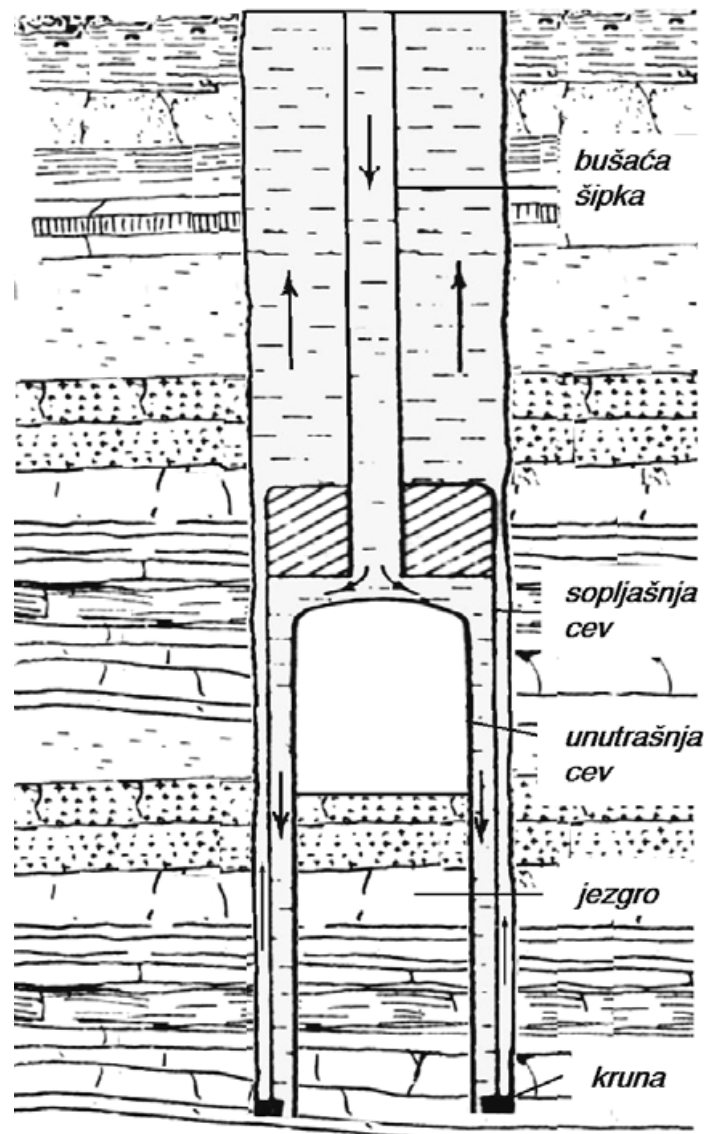
*Dvostruka
jezgrene cev /26/*

PRIBOR ZA BUŠENJE

Postoji više tipova dvostrukih jezgrenih cevi, koje se međusobno razlikuju po nameni, načinu funkcionisanja i konstruktivnim rešenjima koja su primenjena.

Izrađuju se kao tankozidne i debelozidne, u zavisnosti od krune sa kojom se koriste. **Prema funkcionisanju mogu biti krute, kod kojih unutrašnja i spoljašnja cev istovremeno rotiraju za vreme bušenja.** Pored krutih, **postoje i okretne kod kojih za vreme bušenja rotira spoljašnja cev a unutrašnja miruje.** Kod krute duple jezgrene cevi u toku bušenja jezgro je zaštićeno samo od kvašenja isplake, dok kod okretne, jezgro je zaštićeno i od udara izazvanih vibracijama pribora.

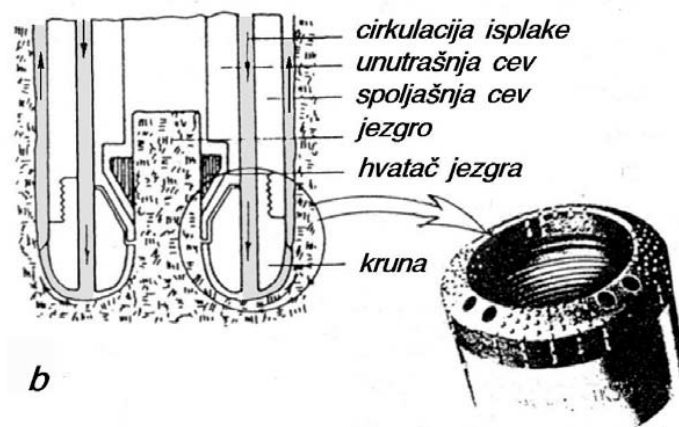
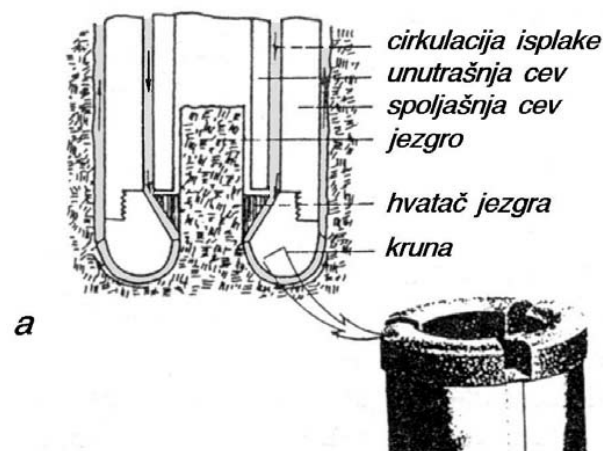
Cirkulacija isplake u toku bušenja sa dvostrukom jezgrenom ceví prikazana je na slici pored.



Cirkulacija isplake u sistemu sa duplom jezgrenom ceví

PRIBOR ZA BUŠENJE

Isplaka iz bušaćih šipki prolazi kroz prostor između unutrašnje i spoljašnje jezgrene cevi, zatim kanalima za isplaku kroz telo, ili ispod krune, i dalje između zidova bušotine i spoljašnje jezgrene cevi, prema površini. Posebna pažnja kod dvostrukih jezgrenih cevi posvećena je zaštiti jezgra od nepovoljnog delovanja isplake. U tom smislu primenjena su **različita konstruktivna rešenja**, posebno **donjeg dela jezgrene cevi**. Tako, za **jezgrovanje u slabovezanim i stenama koje se lako ispiraju pod dejstvom mlaza vode**, koriste se jezgrene cevi kod kojih **isplaka pri cirkulaciji prolazi kroz telo (venac) krune**, slika pored. Ovim konstruktivnim rešenjem **jezgro je praktično potpuno zaštićeno od negativnog delovanja isplake**. U mekim i polutvrdim stenama koriste se duple jezgrene cevi kod kojih je **unutrašnja cev postavljena do venca krune**, tako da isplaka kvasi jezgro samo za visinu venca krune.



Cirkulacija isplake:

a - kanalima sa strane krune

b - kanalima kroz telo krune

PRIBOR ZA BUŠENJE

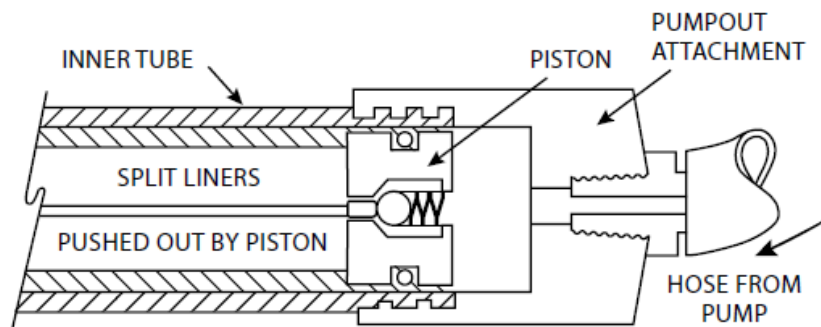
Na kvalitet i procenat izvađenog jezgra u velikoj meri **utiče pravilan izbor pribora i parametra režima za bušenje**. Bušaći pribor i parametri režima bušenja su u velikoj meri međusobno zavisni, a pritom moraju biti usaglašeni i sa svojstvima sredine kroz koju se buši. Ovo usaglašavanje nije ni malo lako ni jednostavno ali, po pravilu, presudno utiče na efikasnost i uspešnost bušenja. **Smanjenjem intervala za bušenje, može se u nekim sredinama, povećati procenat i poboljšati kvalitet izvađenog jezgra**. Pri manjim intervalima, nabušeno jezgro vremenski se kraće zadržava u jezgrenim cevima, te je samim tim izloženo manjem oštećenju, usled eventualno nepovoljnog delovanja isplake ili vibracija bušaćeg pribora. Međutim, smanjenjem intervala smanjuje se i učinak bušenja, pa se racionalna dužina intervala mora uskladiti sa ekonomskim pokazateljima.

Trostruka jezgrena cev koristi se za **bušenje u rastresitim, mekim i stenama sklonim bubrenju**, odnosno **za uzimanje neporemećenih uzoraka** za laboratorijska geomehanička ispitivanja. Pre svega, koristi se kada su uslovi bušenja teški, a pri tom se zahteva **100% izvađenog jezgra**. Konstrukcija ove jezgrene cevi je ista kao i kod duplih, samo što je u unutrašnju ubačena i **treća plastična cev**. **Plastična cev je uzduž rasečena, što joj omogućava širenje odnosno, nesmetan ulazak jezgra i pored eventualnog bubrenja usled kvašenja**.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Da bi se izbeglo kvašenje jezgra isplakom, uz trostruke jezgrene cevi, koriste se stepenaste krune. Kod ovih kruna, kanali za prolaz isplake su između stepenica, koji su sa spoljne strane krune, tako da nema direktnog kvašenja jezgra isplakom.

Iz unutrašnje cevi jezgro se vadi zajedno sa trećom plastičnom cev i pakuje se za transport do laboratorije za odgovarajuća ispitivanja. Plastična cev omogućuje očuvanje, skoro neizmenjenih, prirodnih svojstava uzorka stene. Ona, pri bušenju sprečava moguća oštećenja, a na nakon vađenja štiti jezgro od spoljašnjih uticaja. Trostruke jezgrene cevi najčešće se izrađuju sa spoljašnjim prečnicima od 86 mm do 146 mm, odnosno sa odgovarajućim unutrašnjim prečnicima od 46 mm do 86 mm.



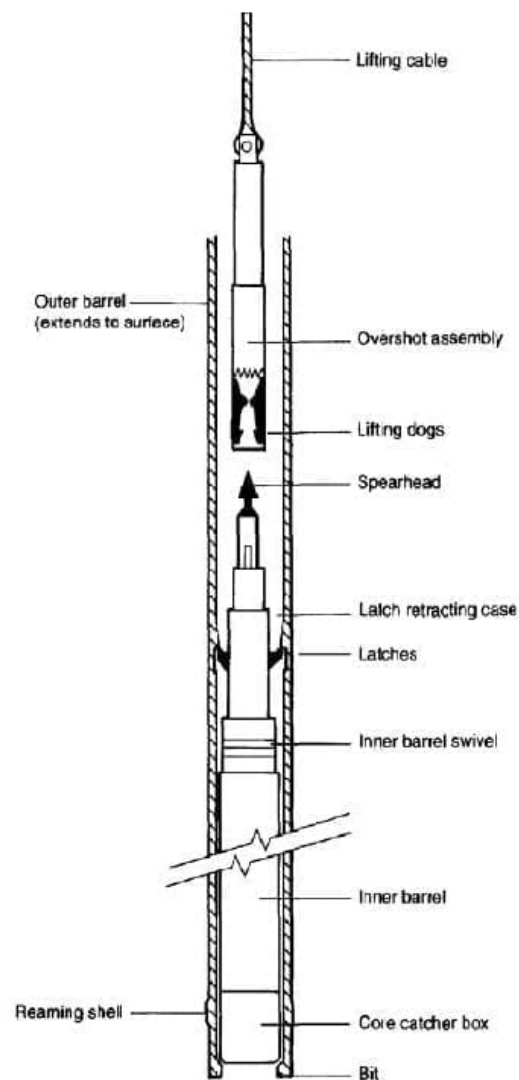
The drilling manual (fifth edition), 2015

<http://www.csmiracleland.com/product/wireline-triple-tube-core-barrels-nq3-hq3-pq3/>



PRIBOR ZA BUŠENJE

“Wire Line” jezgrena cev predstavlja **specijalno konstruisanu dvostruku jezgrenu cev**, kod koje je se pri jezgrovanju, kroz bušaće šipke iz bušotine, **vadi samo unutarašnja cev**. Pri tome, u bušotini ostaju spoljašnja jezgrena cev kruna i bušaće šipke, koje su znatno šire od standardnih (klasičnih). Kod dvostrukih jezgrenih cevi, unutrašnja cev čvrsto je fiksirana za spoljašnju, pa se pri jezgrovanju moraju vaditi obe sa kompletnim bušaćim priborom. Za razliku od njih, kod Wire Line sistema jezgrovanja unutrašnja cev fiksirana je za spoljašnju uz pomoć specijalno konstruisane brave sa kandžama, koja se u toku bušenja po potrebi zatvara ili otvara, slika pored. Kada je unutrašnja jezgrena cev spuštена kroz bušaće šipke, došla do dna, brava se zatvara i kandžama se fiksira nosač u ležište na spoljašnjoj cevi. Pri rotiranju bušaćih šipki i spoljašnje cevi, rotira i brava sa nosačem. **Unutrašnja jezgrena cev pri tom miruje**, jer je za nosač sa bravom, povezana preko kugličnog ležaja. U toku bušenja, brava sprečava izdizanje unutrašnje cevi pri ulasku jezgra u nju.



Wire Line” jezgrena cev

PRIBOR ZA BUŠENJE

Nakon bušenja predviđenog intervala, izdižu se bušaće šipke **do prvog radnog spoja**, kada se i **otkida jezgro uz pomoć hvatača**, koji je smešten u konusnom ležištu na dnu unutrašnje cevi. **Vađenje unutrašnje cevi sa jezgrom** obavlja se uz pomoć **specijalnog izvlakača**, koji se spušta kroz bušaće šipke **uz pomoć užeta**. Izvlakač otvara bravu i kopljastom glavom zabavljuje se za kandže, te na taj način oslobađa unutrašnju cev i stvara čvrstu vezu za njeno izvlačenje iz bušotine na površinu. Postoje Wire Line jezgrene cevi sa različitim mehanizmima za vađenje unutrašnje cevi, mada se svi zasnivaju na sličnim principima, kopljaste glave i kandži, samo su kod nekih kandže na izvlakaču, a kopljaste glave na jezgrenim cevima, i obrnuto. U primeni su Wire Line jezgrene cevi različitih prečnika i različitih proizvođača, odnosno tipova, od kojih su najpoznatije “Longyear-ove” (SAD) DCDMA standarda i “Crealius-ove” (Švedska) metričkog standarda. U tabeli na narednom slajdu, navedene su karakteristične dimenzije za nekoliko varijanti jezgrenih cevi koje proizvodi Crealius u metričkom standardu. Sa Wire Line jezgrenim cevima koriste se bušaće šipke izrađene od visokokvalitetnog čelika. Spajaju se jedna u drugu navrtanjem, a na spojevima su ojačane sa unutrašnje strane. Mogu da izdrže sile torzije od 80 do 120 Nm i sile kidanja do 300 kN, što im omogućuje bušenje i do dubina od 1500 m.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Tabela 5. Osnovne dimenzije Crealius-ovog Wire Line pribora

Oznaka serije	SK6-66	SK6-76	NSK	SK6-86	SK6 L
Prečnik bušotine (mm)	66	76	75,8	86	146
Prečnik bušačih šipki (mm)	63	72	72	82	140
Prečnik jezgra (mm)	39,7	47,7	47,7	57,7	102

<https://www.geoing.rs/video/>

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

<https://www.youtube.com/watch?v=53SPYdzBxaE>



PRIBOR ZA BUŠENJE



PRIBOR ZA BUŠENJE

Konstrukcija Wire Line jezgrenih cevi omogućava veće učinke, sigurniji rad u sredinama nepovoljnim za bušenje, bolji kvalitet i veći procenat jezgra, i duži radni vek krune.

Za razliku od bušenja sa klasičnim jezgrenim cevima, kod Wire Line sistema, vreme za vađenje jezgra svedeno je samo na vreme vađenja i spuštanja unutrašnje jezgrene cevi.

Na taj način, značajno je smanjeno vreme i broj manevara pri vađenju jezgra, što znatno povećava brzinu bušenja i učinke. Obično se za bušenje koriste dve unutrašnje jezgrene cevi. Tako, dok se jednom buši, iz druge se vadi jezgro, ili se proverava njena ispravnost, a po potrebi se servisira. Na ovaj način povećava se sigurnost u radu, postižu se uštede u vremenu, što takođe doprinosi povećanju učinaka. Wire Line jezgrene cevi, sa kolonom bušačeg pribora, omogućuju siguran rad, jer je pribor svo vreme u bušotini, a zazor između šipki i zidova bušotine je veoma mali (svega 1 - 3 mm). Praktično, bušaće šipke služe kao obložna kolona. Male razlike između spoljašnjih prečnika bušačih šipki i prečnika bušenja obezbeđuje miran rad, bez vibracija, a samim tim, smanjena je mogućnost zarušavanja bušotine, krivljenje, i habanje bušačeg pribora. Smanjenjem vibracija bušačeg pribora poboljšava se kvalitet i povećava procenat jezgra, a mirnim radom krune, produžava se njen radni vek. S obzirom da je kruna svo vreme bušenja na dnu bušotine, smanjena je mogućnost njenog oštećenja pri čestom manevrisanju bušačim priborom, a koja nastaju usled nenamernih naglih udara krune, o dno ili zidove bušotina.

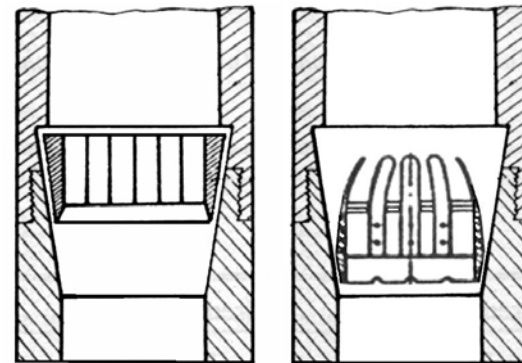
PRIBOR ZA BUŠENJE

Takođe, za razliku od čestih problema koji nastaju pri spuštanju krune kod klasičnog bušenja, u ovom slučaju, kruna ne mora da savlađuje iz isplake istaložene čestice, komadiće i blokove sa zarušenih zidova, ili jezgro zaostalo u bušotini.

Sistem Wire Line predstavlja najsavremenije i najefikasnije jezgrene cevi. Za bušenje sa njima, pored redovnog servisiranja, moraju se koristiti odgovarajuće krune i hvatači za jezgro, a parametre režima bušenja treba prilagoditi svojstvima sredina kroz koje se buši. Posebnu pažnju treba posvetiti izboru odgovarajuće vrste, svojstvima i režimu cirkulacije isplake u toku bušenja.

Naime, zazor između bušaćih šipki i zidova bušotine veoma je mali, što otežava cirkulaciju, a povremeno može dovesti i do prekida, ako nije odabrana isplaka odgovarajućeg kvaliteta ili ako je u toku bušenja došlo do promene njenih svojstava.

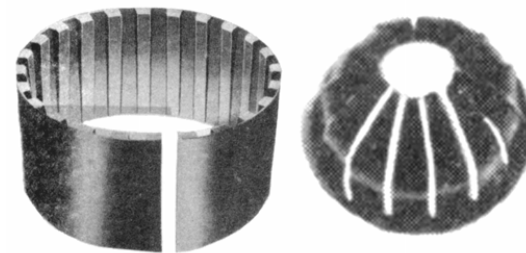
Hvatač jezgra, nakon predviđenog interval bušenja, otkida jezgro od stenske mase na dnu bušotine i pridržava ga dok se jezgrena cev izvlači iz bušotine. Hvatač jezgra je ustvari jedan elastičan, cilindričan



Hvatač jezgra u kućištu:

a - za čvrste stene

b - za meke stene



Hvatač jezgra:

a - za čvrste,

b - meke stene /26/

PRIBOR ZA BUŠENJE

prsten, koji je smešten u svom konusnom ležištu, odnosno kućištu (slika na prethodnom slajdu). Kućište hvatača može se nalaziti, u zavisnosti od konstrukcije donjeg dela jezgrene cevi, u telu krune, u donjem delu unutrašnje jezgrene cevi ili u spojnici, proširivaču, između krune i jezgrene cevi. Spoljna konusna površina hvatača jezgra uglavnom je glatka, samo kod nekih postoje kanali za prolaz isplake sa spoljne strane, dok je unutrašnja površina nazubljena uzdužnim trapezastim žlebovima. U toku bušenja jezgro, koje ulazi u jezgrenu cev, potiskuje hvatač naviše, u gornji širi deo. Postojeći prorez i elastičnost materijala omogućavaju širenje hvatača, pa je kretanje jezgra naviše nesmetano. Kada se izbuši predviđeni interval, kolona bušačkog pribora lagano se podiže naviše, usled čega se hvatač spušta naniže, u užu deo kućišta. Spuštajući se naniže, hvatač se skuplja i čvrsto obuhvata jezgro. Pri daljem povlačenju kolone bušačkog pribora, usled zatezanja, hvatač otkida jezgro od osnovne stene. U toku izvlačenja jezgrene cevi na površinu hvatač sprečava ispadanje jezgra iz nje.

Hvatači se izrađuju od kvalitetnog materijala, koji im daje neophodnu elastičnost, žilavost i čvrstoću potrebnu da zubcima dobro prihvataju i otkidaju jezgro. Izrađuju se u svim dimenzijama, za različite vrste jezgrenih cevi. Takođe, postoje različiti tipovi hvatača koji su prilagođeni svojstvima sredine kroz koju se buši. Pri izboru hvatača za jezgro, treba voditi računa da li dimenzionalno odgovaraju, i da li tip hvatača odgovara svojstvima sredine u kojoj se buši.

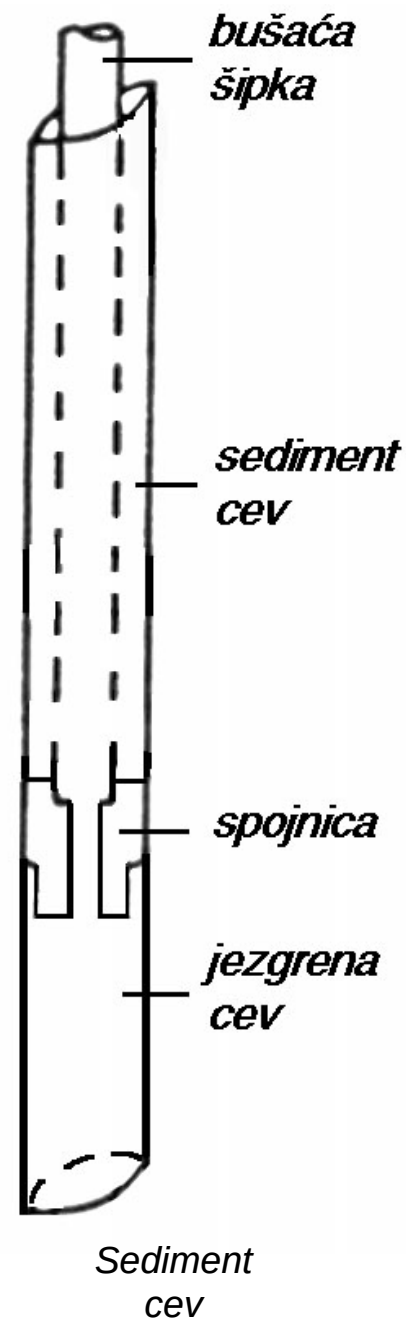
PRIBOR ZA BUŠENJE

Za jezgrovanje u mekšim sredinama koriste se elastičniji hvatači, koji lako propuštaju jezgro pri ulasku u jezgrenu cev. Hvatači su u obliku korpe sa elastičnim trakama (slika na prethodnom slajdu), koje sprečavaju ispadanje trošnog jezgra u toku izvlačenja jezgrene cevi iz bušotine. **Krući, masivniji hvatači služe za bušenje u čvrstim, žilavijim stenama**, za čije je otkidanje potrebna veća sila zatezanja. Hvatač jezgra često se oštećuje i stvara poteškoće pri bušenju. Zato se mora proveriti njegova ispravnost i slobodna kretanja u kućištu, pre svakog spuštanja jezgrene cevi u bušotinu.

Sediment cev predstavlja običnu cev, **dužine 0,5 - 1,0 m, a prečnika istog kao i jezgrena cev**. Na donjem kraju narezan je unutrašnji navoj a gornji kraj je koso zasečen, obično pod uglom od 45°. Ivice na gornjem kraju malo su povijene unutra radi lakšeg izvlačenja iz bušotine. Navrće se iznad jezgrene cevi, na prelaznu spojnicu za bušaće šipke, pri čemu šipke prolaze kroz nju, slika na narednom slajdu. Veoma često se u procesu bušenja javlja otežano iznošenje nabušanih čestica, koje se obično talože iznad jezgrenih cevi. Naime, isplaka između jezgrenih cevi i zidova bušotine cirkuliše velikom brzinom, jer je veoma mali zazor između njih. Idući naviše, isplaka naglo gubi brzinu, na mestu spoja jezgrene cevi sa bušaćim šipkama, zbog znatno manjeg prečnika bušaćih šipki, a samim tim, znatno većeg prstenastog prostora duž koga isplaka cirkuliše. Zbog naglog pada brzine cirkulacije, iz isplake se na ovom delu talože krupnije

PRIBOR ZA BUŠENJE

čestice, koje stvaraju probleme pri bušenju, a posebno pri izvlačenju bušaćeg pribora. Da bi se to sprečilo, iznad jezgrene cevi postavlja se sediment (taložna) cev koja prihvata nabušene čestice, koje su upale u bušotinu usled zarušavanja zidova ili ispiranja pukotina, i iznosi ih iz bušotine prilikom vađenja jezgrene cevi.



PRIBOR ZA BUŠENJE

Krune, pod dejstvom osovinskog pritiska i obrtnog momenta, svojim sečivom prodiru u stenu i režu je, stvarajući pri tom sitnu drobinu koja se ispiranjem iznosi na površinu. Zbog raznolikosti fizičko-mehaničkih svojstava stena u kojima se buši, a radi povećanja efikasnosti bušenja, koriste se različiti tipovi krune. One su izrađene od različitih materijala i svojim konstruktivnim rešenjima prilagođene su svojstvima sredine kroz koju se buši. Prema vrsti materijala od koga je izrađenao sečivo svi tipovi krune mogu se svrstati u tri grupe i to:

- **čelične krune, zupčaste;**
- **vidija krune, sa tvrdim legurama;**
- **dijamantske krune.**

*Krune za jezgrovanje
sa leva na desno:
dijamantska, vidija, zupčasta*
PDHonline Course (C250 (4
PDH), 2012)

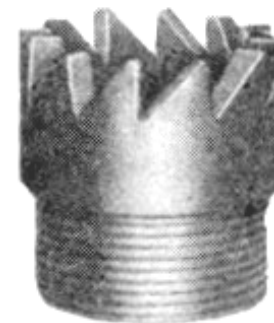


Čelične krune imaju oblik širokog prstena, koji je na donjem kraju nazubljen i služi kao sečivo, a na gornjem kraju narezan je spoljni navoj za spajanje sa jezgrenim cevima, slika. Izrađuju se od visokokvalitetnog čelika, sa dimenzijama koje su u skladu sa postojećim standardima. Čelične krune, zbog brzog trošenja zubaca, koriste se za **bušenje u mekim stenskim masama**, kao što su les, gline, lapori, mekši pešćari i laporoviti krečnjaci.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Pri bušenju sa čeličnim krunama najčešće se koriste **tankoziidne jednostruke jezgrene cevi**. U toku bušenja posebnu pažnju treba posvetiti parametrima režima bušenja. **Osovinski pritisak na krunu ne sme biti prevelik**, jer u suprotnom dolazi do prekomernog usecanja zubaca. Zbog prekomernog usecanja zubaca stvaraju se veliki otpori rotaciji bušaćeg pribora, što na kraju **može rezultirati lomom krune**. Takođe, pri brzom i prekomernom usecanju, kruna ne obrađuje u dovoljnoj meri jezgro i zidove bušotina, zazori između zidova su mali što otežava cirkulaciju isplake. **S obzirom da se buši sa jednostrukom jezgrenom cevii, u mekim stenama isplaka ispira i eroduje jezgro**, zbog pojava turbulentnog režima i pulsacija pri protoku. Broj obrtaja krune takođe ne sme biti veliki, jer **zbog povećanih otpora rotaciji bušaćeg pribora može doći do loma bušaćih šipki**.

Takođe, pri velikom broju obrtaja nastaju vibracije koje udarima u velikoj meri oštećuju jezgro i zidove dubljih bušotina.



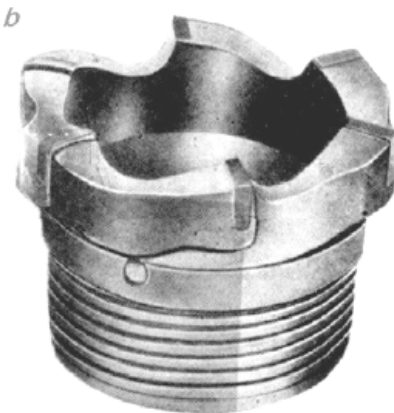
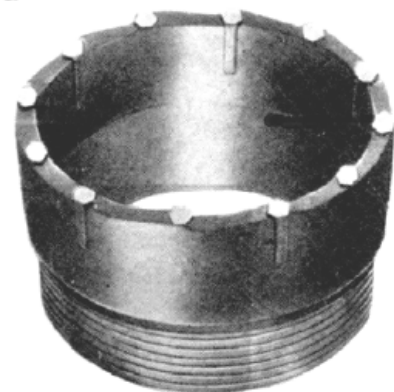
Zupčasta kruna

PRIBOR ZA BUŠENJE

Vidija krune (krune sa tvrdim legurama) predstavljaju čelična tela a cilindričnog oblika, koja na gornjem kraju imaju narezan spoljni navoj za spajanje sa jezgrenim cevima, a na donjem kraju, koji služi kao sečivo, imaju ugrađene zupce od tvrdih legura, slika pored.

Tvrde legure izrađuju se postupkom sinterovanja u dve faze, pri visokim pritiscima i na visokim temperaturama. Za sinterovanje koristi se praškasta smeša volframa ili titana sa ugljenikom (6-8%), uz dodatak (do par %) kobalta i gvožđa. Ove, metalokeramičke legure karakterišu se velikom tvrdoćom, čvrstoćom, otpornošću na habanje i delovanje kiselina i alkalija.

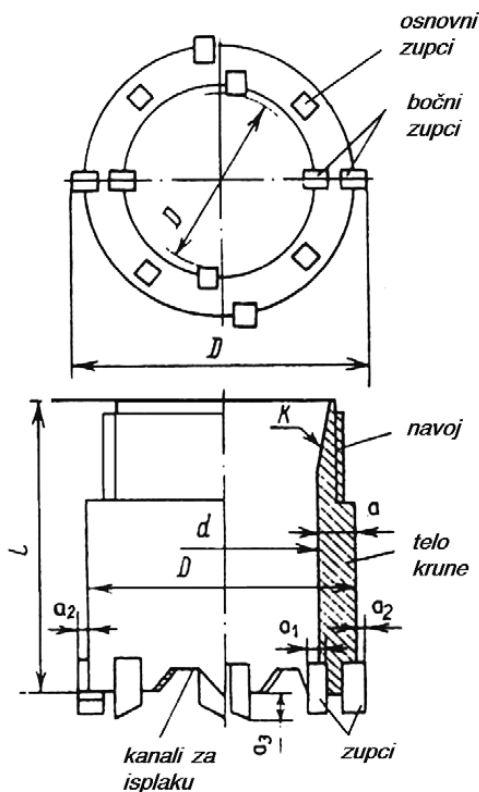
Relativno niske cene krune od tvrdih metala, u odnosu na dijamantske, i mogućnost bušenja u stenama sa različitim fizičko-mehaničkim svojstvima, uslovile su široku primenu vidija krune. Izrađuje se više tipova vidija krune, koje su svojim konstruktivnim rešenjima i dimenzijama prilagođene svojstvima sredina u kojima se buši, i potrebama zbog kojih se bušenje i izvodi. Izrađuju se u svim



*Vidija krune:
a - sa prizmatičnim
štapićima, b - sa
pravougaonim
pločicama /26/*

PRIBOR ZA BUŠENJE

dimenzijama i prilagođene su za bušenje sa skoro svim jezgrenim cevima. Od **konstruktivnih elemenata krune**, prikazanih na slici pored, najznačajniji su: **debljina tela (prstena)**, **veličina, oblik i raspored zubaca od tvrde legure**, i **veličina oblik i raspored kanala za cirkulaciju isplake**. Na gornjem kraju krune nalazi se spoljašnji navoj, za spoj sa jezgrenom cevi, a sa unutrašnje strane konusno proširenje, kućište hvatača jezgra (K). Unutrašnji (d) i spoljašni prečnik (D) prstena određuje debljinu krune, koje se izrađuju kao **tankoizidne i debeloizidne**. U tabeli na narednom slajdu, prikazani su prečnici vidija krune koje se proizvode prema Metričkom standardu. U donjem delu, na čelu, krune izrađuju se **kanali za cirkulaciju isplake**. Broj kanala za isplaku zavisi od njihove veličine (poprečnog preseka) kao i od fizičko-mehaničkih svojstava stena za koju je krana namenjena. Obično se na krani izrađuje **od 2 do 12 kanala**, u svakom slučaju broj kanala i njihova površina treba da obezbede cirkulaciju isplake bez



Konstruktivni elementi

PRIBOR ZA BUŠENJE

gubitaka pritiska. Ukoliko je prstenasti prostor između krune i zidova bušotine mali, pa je otežana cirkulacija isplake i efikasno iznošenja nabušenih čestica, onda se sa spoljne strane krune izrađuju kanali za isplaku, koji su najčešće trouglastog preseka. **Kod krune koje se koriste za dvostruke i Wire Line jezgrene cevi kanali za isplaku rade se kroz telo krune. Raspored zubaca, koji su ugrađeni u telo krune, veoma je bitan za rad krune. Prema rasporedu zubaca krune se mogu podeliti na jednoredne, dvoredne i troredne. Kod trorednih krune zupci, prema ulozi rada, dele se na osnovne i bočne. Bočni zupci istupaju po spoljnoj i unutrašnjoj površini prstena za veličinu a_1 i a_2 , slika na prethodnom slajdu. Uloga bočnih zubaca je da održavaju prečnik bušotine (spoljni zupci) i prečnik jezgra (unutrašnji zupci) u cilju normalne cirkulacije isplake i iznošenja nabušenih čestica, i nesmetane rotacije bušačkog pribora. Osnovni zupci ugrađeni su na površini čela krune tako da vire iz prstena, za veličinu a_3 . Njihova uloga je da razaraju stenu na dnu bušotine. Veličina ispusta zubaca zavisi od svojstava sredine kroz koju treba bušiti. Ukoliko su sredine kroz koje se buši mekše, ispusti su veći, i obrnuto. U mekim sredinama koriste se krune sa ispustima bočnih zubaca od 3 - 6 mm i osnovnih od 5 - 6 mm. U tvrdim stenama ispust bočnih zubaca je obično 0,75 - 1,0 mm, a osnovnih 1,5 - 2,0 mm. U nekim**

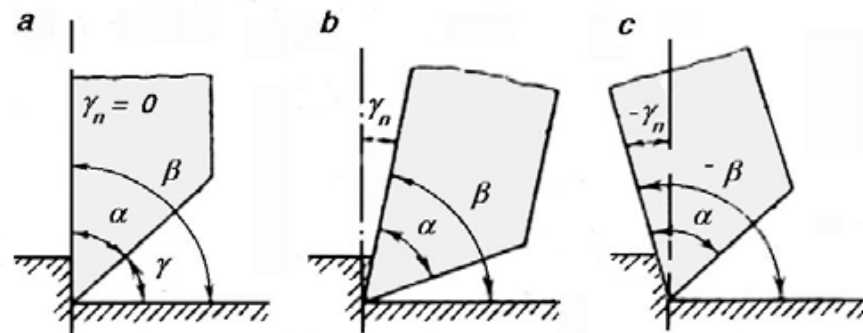
PRIBOR ZA BUŠENJE

slučajevima, a radi povećanja efikasnosti bušenja, ispust osnovnih i bočnih zubaca iz čela krune, u vertikalnoj ravni, različit je pri čemu dno bušotine dobija složenu površinu.

Položaj prednje strane zubaca prema površini

rezanja može biti pod oštrim uglom, upravan ili sa kontra padom, slika. U mekim stenama veći učinci se postižu ako su zubi pod uglom od $55 - 60^\circ$, a kod tvrdih i slabo abrazivnih stena koriste se krune sa vertikalno postavljenim zubcima. Krune sa zubcima ugrađenim pod negativnim uglom koriste se u tvrdim i ispucalim stenama da ne bi dolazilo do prekomernog tupljenja pa čak i lomljenja zubaca.

Oblici zubaca koji se ugrađuju kod vidija krune mogu biti različiti ali se najčešće ugrađuju pločasti, kod jednorednih krune, i štapčasti kod dvorednih i trorednih krune. Pločasti zupci obično se ugrađuju u krune koje su prevashodno namenjene za bušenje u mekim i polutvrdim stenskim masama. Štapčasti zupci, kvadratnog, šestougaoog ili osmougaoog preseka, ugrađuju se kod krune namenjenih za bušenje u čvrstim i ispucalim stenskim masama. Savremene vidija krune izrađuju se sa zaoštrenim krupnim i sitnim zupcima, ili kao krune sa samooštrenjem, odnosno sa mikrozupcima.

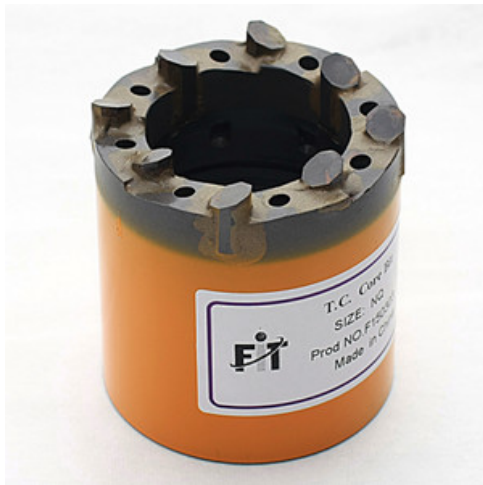


Nagib zubaca krune prema površini rezanja: a - za bušenje u tvrdim stenama b - za bušenje u mekim stenama c - za bušenje u ispucalim stenama

PRIBOR ZA BUŠENJE



<https://www.vajratools.com/carbide-drill-bits.html>



<http://www.fit-drilling.com/plus/view.php?aid=50>



<https://www.globalgeotech.co.uk/tungsten-carbide-core-bits.htm>

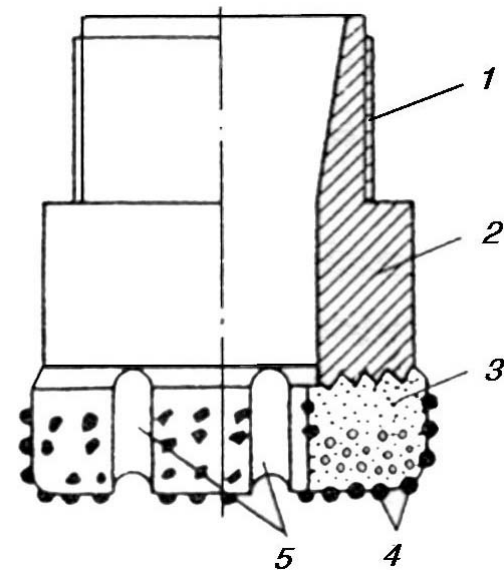


PRIBOR ZA BUŠENJE

Dijamantske krune imaju široku primenu u istražnom bušenju. Koriste se za bušenje srednje tvrdih do najtvrdih stena. Primena dijamantskih krune omogućila je upotrebu lakih bušilica, sa velikim brojem obrtaja, što znatno povećava efikasnost bušenja. Kvalitet dijamantskih krune pre svega zavisi od kvaliteta, veličine i rasporeda dijamantata koji su ugrađeni, tvrdoće i oblika matrice, broja i veličine kanala za isplaku, debljine zidova krune i dr.

Dijamantske krune sastoje se od čeličnog tela, matrice i dijamantskih zrna, slika pored. Čelično telo služi da nosi matricu sa ugrađenim dijamantima i da spoji krunu uz pomoć proširivača sa jezgrenim cevima.

Dijamanti su najosnovniji funkcionalni elementi dijamantske krune. Dijamant je najtvrdi poznati materijal, koji reže i buši sve druge materijale. Po hemijskom sastavu je čist ugljenik, a nastaje kristalizacijom iz magme na velikim dubinama. **Po Mosovoj skali ima tvrdoću 10.** Od korunda koji ima tvrdoću 9, tvrdi je 4,2 puta, a u odnosu na legure od kojih se izrađuju matrice krune tvrdi je 5,5 puta. U narednoj tabeli prikazan je uporedni pregled fizičko-mehaničkih osobina pojedinih reznih materijala.



*Konstrukcija dijamantske krune
1 - navoj, 2 - telo krune,
3 - matrica, 4 - dijamantska zrna,
5 - kanali za isplaku*

PRIBOR ZA BUŠENJE

Uporedni pregled fizičko-mehaničkih osobina nekih reznih materijala (Torbica i Leković, 2001)

Својство	Дијамант C	Волфрам карбид WC, W ₁ C	Корунд Al ₂ O ₃	Челик
Чврстоћа на притисак, МПа	8800	5600	2500	1000
Тврдоћа, Кпоор	6000-7000	2000	1000-2000	500
Тврдоћа по Викерсу, МПа	90000	15000	20000	7000
Постојаност на абразију	1,1	0,2	0,2	0,0
Модул еластичности, GPa	900	390	370	200
Густина, gr/cm ³	3,52	9-15	3,95	8



Kvalitet dijamana zavisi od oblika kristala, boje, zapreminske težine, čvrstoće i mikro prslina. Čisti, prozračni kristali dijamana koriste se kao drago kamenje. Međutim, **najveći deo dijamana i njihovih odlomaka koristi se u tehničke svrhe, 75 - 85% godišnje proizvodnje.** Za izradu kruna koriste se dijamanti velike zapreminske težine, sferičnog ili uglastog oblika i bez vidljivih mikroprslina. U krunu se ugrađuju dijamanti sličnog kvaliteta, da ne bi u toku bušenja dolazilo do neravnomernog trošenja krune. **Dijamantima lošijeg kvaliteta poboljšavaju se svojstva** poliranjem, ovalizacijom, drobljenjem i oslobađanjem unutrašnjih napona kristala.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Za izradu krana koriste se tri vrste dijamanta, koji se po kvalitetu međusobno razlikuju, i to: **karboni, balasi i borti**. Karboni i balasi su veoma kvalitetni dijamanti, ali se ipak veoma retko koriste za izradu krana sa površinski ugrađenim dijamantima, jer su retki u prirodi, a i cena im je veoma visoka. U poslednje vreme oko **95 % dijamantskih krana izrađuje se sa bortima**. Velika tvrdoća i relativno niska cena omogućava im široku primenu.

U novije vreme proizvodi se više vrsta **sintetičkih dijamanta**, koji imaju i veće čvrstoće od prirodnih dijamanta odnosno, mogu uspešno da zamene karbone i balase koji su najdeficitarniji i najskuplji. Trenutno, svetska proizvodnja krana sa sintetičkim dijamantima veća je od proizvodnje krana sa prirodnim dijamantima.

Za izradu krana koriste se **nelomljeni, lomljeni i specijalni dijamanti**. **Nelomljeni dijamanti koriste se za izradu krana sa površinski ugrađenim dijamantima**. Oni su sa najboljom kristalnom strukturom, sferičnog i uglastog oblika i sa glatkim površinama. **Lomljeni dijamanti odnosno, dijamantska prašina upotrebljavaju se za izradu impregniranih krana**. Lomljeni dijamanti, takođe, mogu da imaju dobru kristalnu strukturu i oblik, dok su im oštre ivice nastale za vreme procesa lomljenja. **U specijalne dijamante spadaju karboni i balasi**. Oni su mnogo žilaviji i otporniji na udare od drugih

PRIBOR ZA BUŠENJE

dijamanata, sferičnog su oblika, a tanka spoljašnja presvlaka u obliku kore, daje im izvanrednu tvrdoću. Retko se koriste za izradu krune zbog visoke cene, a preporučuju se za bušenje u najtežim uslovima, jako tvrdim, abrazivnim i ispućalim stenama. Zrna dijamanta, ugrađena u matricu krune, trebaju biti takve veličine da mogu sa dna bušotine otkinuti veće čestice stene. Pored toga trebaju obezbediti i dovoljan razmak između stene i matrice za nesmetano iznošenje razorenih čestica. **Prema krupnoći dijamantskih zrna**, ugrađenih u matricu, **krune možemo podeliti na:**

- **krupnozrne krune 10 - 50 zrna/karat** (1 karat 0,2 gr)
- **sitnozrne krune 50 - 90 zrna/karat**
- **impregnirane krune 90 - 400 zrna/karat**

Broj karata potrebnih za izradu jedne krune, pre svega, zavisi od prečnika krune. Obično se kreće od 4 - 10 karata po kruni, a kod impregniranih krune i preko 10 karata.

Matrica predstavlja prsten koji je čvrsto spojen sa čeličnim telom krune, a služi za ugradnju dijamanta. Matrica se izrađuje od karbid volframa, sa dodatkom lakotopljivih metala gvožđa, kobalta, nikla, koji se međusobno povezuju **postupkom sinterovanja**. Takođe, istim postupkom se dijamantska zrna ili prah sjedinjuju sa matricom.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Matrica mora da zadovolji neke uslove, jer od njenog kvaliteta u velikoj meri zavisi i radna sposobnost krune u celini. Pre svega, matrica mora biti:

- otporna na habanje pri bušenju u abrazivnim stenama,
- žilava i tvrda odnosno, otporna na lom pri udaru,
- sa visokom toplotnom provodljivošću tj. da brzo odvodi toplotu i sprečava pregrejavanje dijamantskih zrna,
- da čvrsto drži dijamante u toku rada krune tj. da ima sličan koeficijent termičkog širenja kao i dijamanti.

Pri normalnom radu krune, matrica se troši neznatno brže od dijamanta. Ako se troši veoma sporo ili se ne troši, bušenje se usporava, jer se nakon trošenja i poliranja dijamantskih zrna koja vire iz matrice ne otvaraju nova, oštra zrna. Međutim, ako je trošenje matrice vrlo brzo, dijamantska zrna ispadaju iz krune. Trošenje matrice, u toku bušenja zavisi, pre svega, od abrazivnosti sredine kroz koju se buši. S toga, ne postoji univerzalna matrica kojom bi se postigli zadovoljavajući rezultati pri bušenju u sredinama sa različitim tvrdoćama. Zato se izrađuju matrice različitih tvrdoća, prilagođene tvrdoći stena, i to:

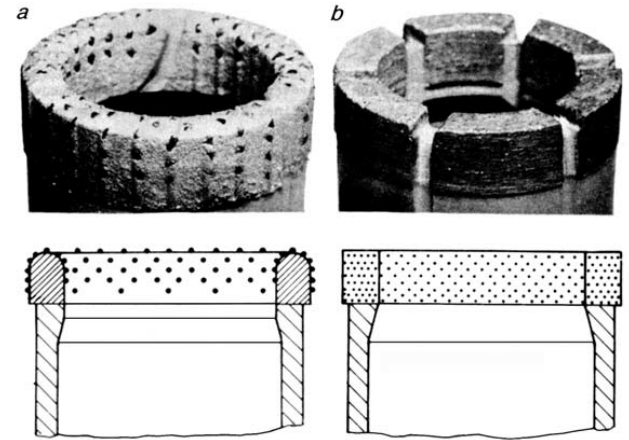
PRIBOR ZA BUŠENJE

- obična matrica 25 - 30 RC (tvrdoća po Rockvell-u, skala C)
- tvrda matrica 30 - 50 RC
- jako tvrda matrica 50 - 60 RC

Zrna dijamantata ugrađuju se po određenom rasporedu na čitavoj površini matrice: na čelu, sa unutrašnje i spoljašnje strane (slika pored). Najznačajnija su zrna dijamantata ugrađenih na čelu matrice, jer se ona usecaju i režu stenu, pri čemu trpe najveća opterećenja.

Zrna sa spoljne strane obrađuju zidove bušotine i održavaju konstantan prečnik bušenja, dok zrna sa unutrašnje strane obrađuju jezgro. Zbog toga, najveći broj dijamantskih zrna se postavlja na čeonom delu krune, obično onoliko koliko sa spoljašnje i unutrašnje strane zajedno.

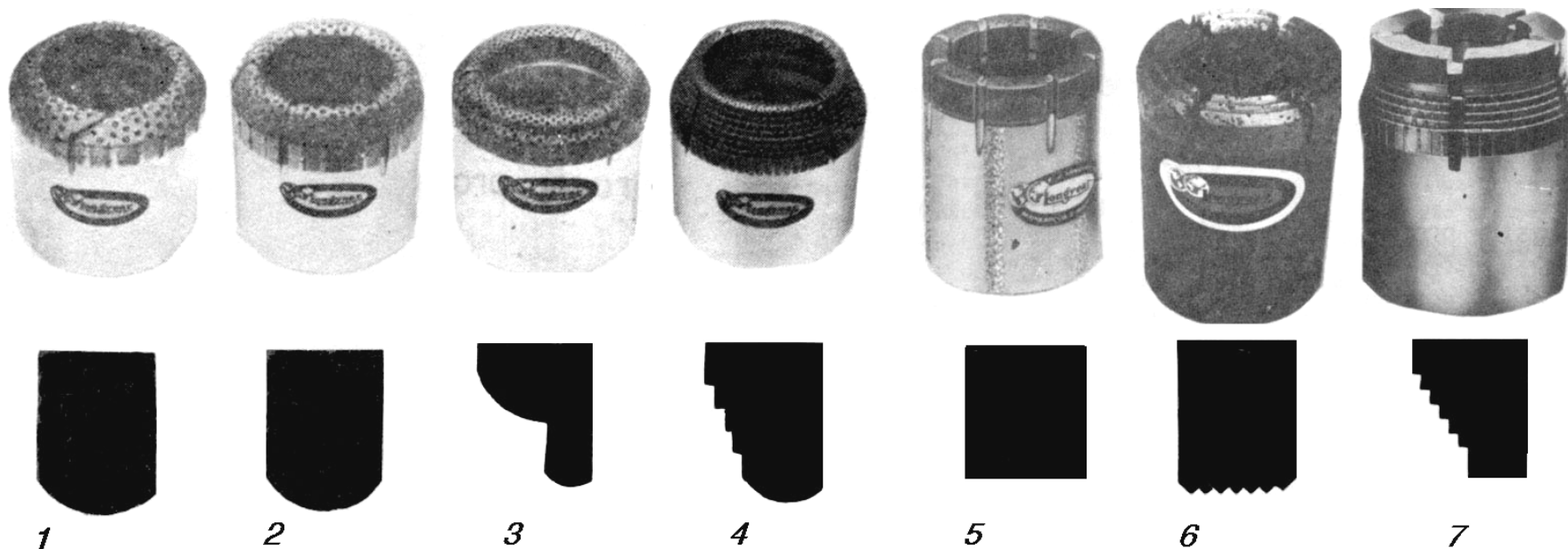
Raspored dijamantata kod impregniranih krune nije po geometrijskoj šemi. One se izrađuju tako što se dijamantska prašina izmeša sa materijalom za matricu, zatim se izlije u kalupe i peče na visokim temperaturama i pritiscima. Oblik i veličina rezne površine veoma je značajan za dobar rad krune. **Da bi rad krune bio što efikasniji potrebno je da rezna površina bude što manja.** Tada se postiže brže napredovanje i bolji kvalitet jezgra. Međutim, **tankozidne krune brže se habaju, jer je u njihovim matricama smešteno manje zrna dijamantata, zbog manje površine.**



*Raspored zrna dijamantskih krune:
a - zrnaste, b - impregnirane*

PRIBOR ZA BUŠENJE

Zato se izrađuju krune sa matricama različitih oblika, često i složenih oblika, a sa ciljem prilagođavanja bušenju u stenskim masama različitih fizičko-mehaničkih svojstava. Najčešće se izrađuju krune sa matricama koje imaju profil: ravan, testerast, poluravan, poluzaobljen, pilot ili stepeničast.

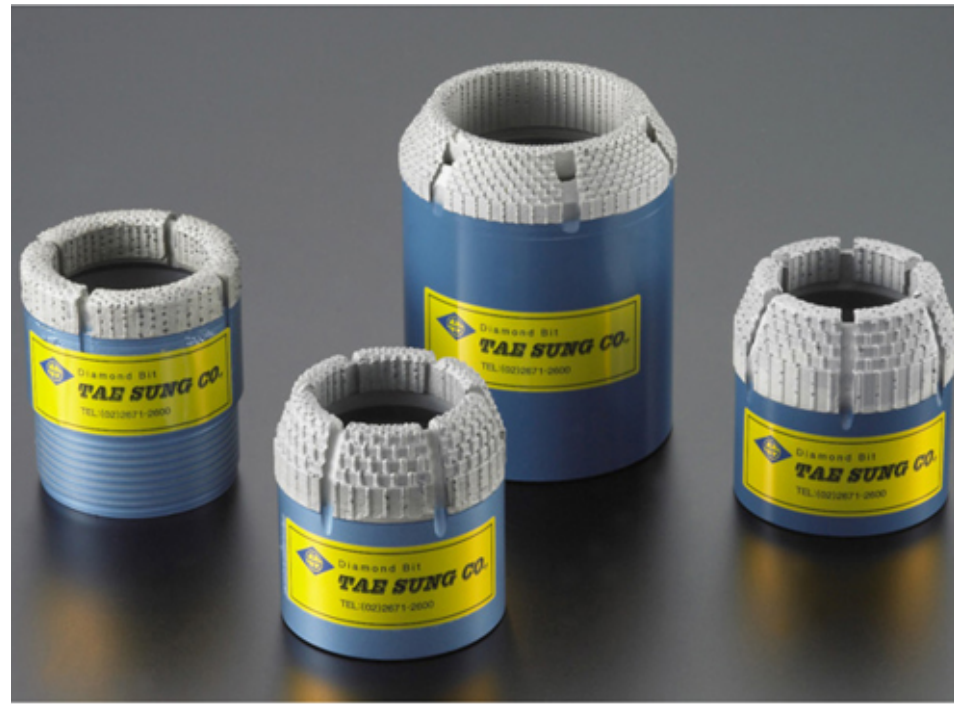


*Oblici reznih površina zrnastih i impregniranih krune:
1- poluravan, 2 - poluzaobljen, 3 - pilot, 4 - stepeničast,
5 - ravan, 6 - testerast, 7 - stepeničast /26/*

PRIBOR ZA BUŠENJE



<https://kr.kompass.com/p/impregnated-diamond-core-bits/3133aa72-b7f6-4b9c-ac1c-2bf939563c0a/>



<http://www.taesungdia.com/eng/product/surface-set-core-bits.html>

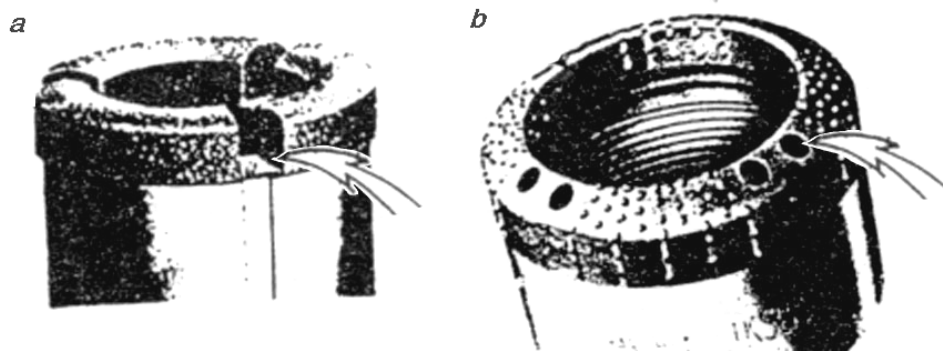
PRIBOR ZA BUŠENJE

Dijamantske krune se izrađuju u svim prečnicima od 36 - 146 mm, po Metričkom standardu. Najefikasnije bušenje postiže se sa krunama malog prečnika, uglavnom, od 36 - 76 mm. Takođe, izrađuju se **tankozidne i debelozidne krune**. **Postoji više tipova i tankozidnih i debelozidnih kruna, zavisno od konstruktivnog rešenja kućišta za smeštaj hvatača jezgra.** Kod nekih tipova unutrašnji deo krune je konusno proširen za smeštaj hvatača jezgra, dok kod drugih kruna hvatač, jezgra smešta se u proširivaču, spojnici između krune i jezgrene cevi. Debelozidne krune preporučuju se za bušenje u tvrdim stenama, jer veća rezna površina omogućuje stabilniji rad bušaćeg pribora, što povećava sigurnost pri bušenju. U toku bušenja često dolazi do **karakterističnih oštećenja krune** koja su, pre svega, posledica neprilagođenog režima bušenja, ili nepravilno odabranog tipa krune, svojstvima sredine kroz koju se buši. Tako na primer:

- zbog neodgovarajućeg ispiranja bušotine dolazi do pregrevanja krune i oštećenja dijamantskih zrna;
- zbog neprilagođenog broja obrtaja i osovinskog pritiska dijamantska zrna se poliraju ili kidaju;
- zbog neadekvatnog manevrisanja, a usled udara o stenu, dolazi do pucanja matrice ili tela krune;
- bušenje krupnozrnim krunama u abrazivnim i ispucalim stenama, dovodi do loma dijamantskih zrna.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Kanali za isplaku su veoma važni za efikasan rad dijamantske krune jer obezbeđuju nesmetan prolaz potrebne količine isplake. **Krune se izrađuju sa dva tipa kanala: kanali sa strane i kanali kroz telo krune** (slika). Za razliku od prvih, koje se mogu koristiti sa jednostrukim i dvostrukim jezgrenim cevima, druge se mogu koristiti samo sa dvostrukim jezgrenim cevima.



*Kanali za isplaku:
a - urezani na čelu krune,
b - postavljeni kroz telo krune*

Veličina i broj kanala zavisi od količine isplake koja treba kroz njih da cirkuliše, da bi obezbedila dobro čišćenje i iznošenje razorenih čestica sa dna bušotine i hlađenje krune. **Broj kanala zavisi od tipa, krupnoće zrna i prečnika krune, a obično se kreće od 2 do 8.**

PRIBOR ZA BUŠENJE

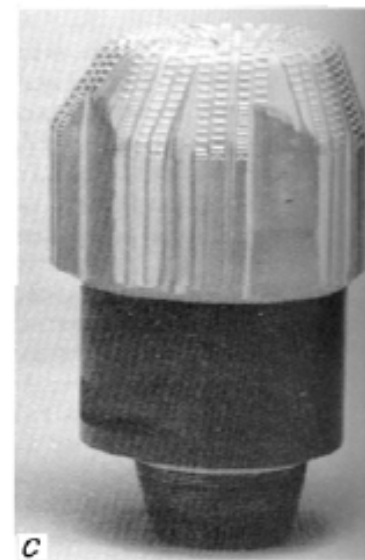
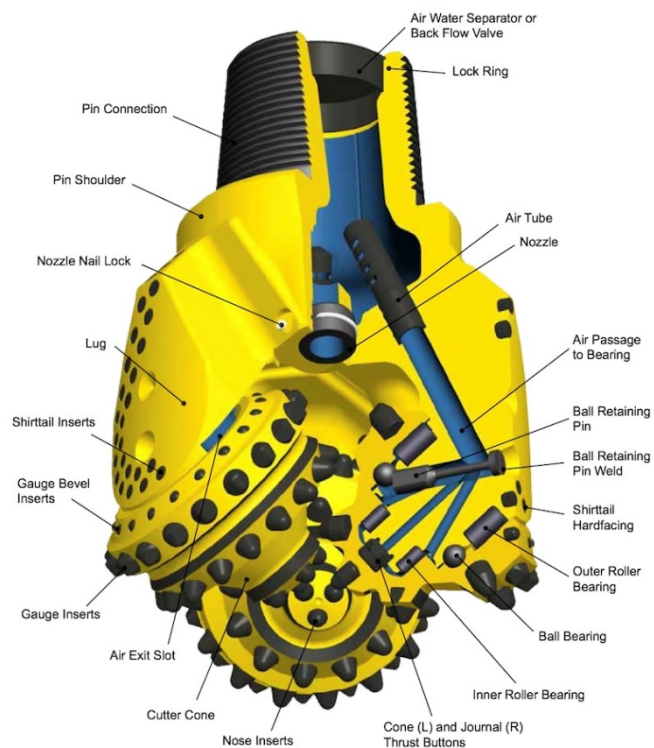
Dleta se vrlo često koriste pri bušenju umesto krana, **ukoliko se bušenje izvodi u tehničke svrhe, bez ili sa povremenim jezgrovanjem. Za rotaciono bušenje koristi se više tipova dleta: sa punom glavom, sa rotirajućim nazubljenim konusima, spiralna dleta (svrdla) ili pljosnata dleta.**

Dleta sa punom glavom i rotirajućim konusima koriste se za bušenje u tvrdim stenama (slika na narednom slajdu). **Izrađuju se od veoma kvalitetnog čelika u koji se ugrađuju zubci od tvrdih legura ili zrna dijamanta.** Kroz telo dleta ostavljaju se **kanali za isplaku ili vazduh**, koji imaju istu ulogu kao i kod bušenja sa jezgrovanjem. Kanali kod dleta moraju biti prilagođeni protoku veće količine isplake zbog znatno veće količine nabušanih čestica. **Bušenje dletima je ekonomično, jer nije potrebno često manevrisanje sa dugačkim kolonama bušaćeg pribora radi jezgrovanja.**

PRIBOR ZA BUŠENJE

Sa dletima često se izvode duboke bušotine pri istraživanjima nafte, zemnog gasa, termalnih i mineralnih voda. Pored navedenog, rotaciono bušenje često se izvodi i u tehničke svrhe, za provođenje elektro vodovodnih, ili ventilacionih vodova pri podzemnim radovima, za ankerisanje nestabilnih padina ili građevinskih objekata sa dugačkim prednapregnutim sidrima, bušenje minskih bušotina na površinskim kopovima i sl.

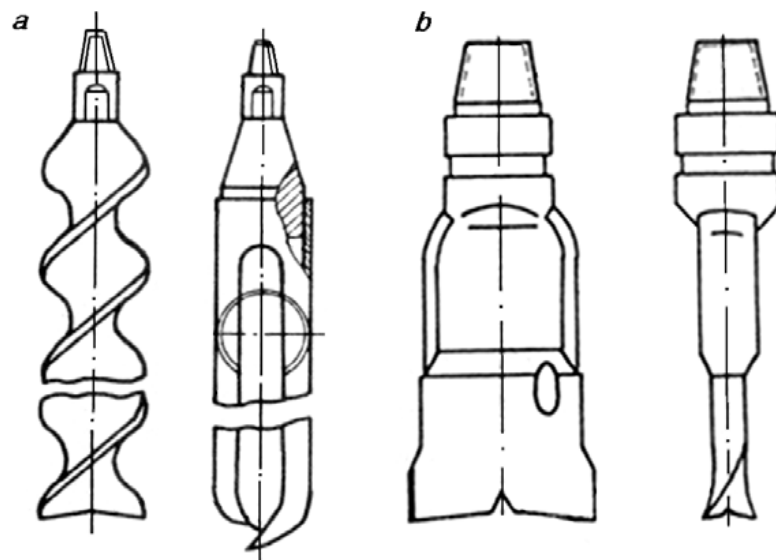
Tricone bit elements



*Dleta za rotaciono bušenje:
a - sa zubcima, b – sa rotirajućim
konusima, c - sa dijamantskim zrnima /9/*

PRIBOR ZA BUŠENJE

Spiralna i pljosnata dleta, imaju ograničenu primenu, i koriste se za bušenje u mekšim sredinama, peskovima, lesu, glinama, raspadnutim laporima (slika). Telo dleta izrađuju se od čelika, koje je uvijeno u pravcu rotacije pribora. Na gornjem kraju narezan je spoljni navoj, a na donjem kraju nalazi se zaoštreno sečivo u obliku ribljeg repa. Ugao oštrenja sečiva je najmanji za bušenje u najmekšim stenama, a najveći je kod dleta namenjenih za bušenje u najtvrdim stenama. Izrađuju se sa raznim prečnicima, od najmanjih pa i do preko 300 mm, a radne dužine dleta najčešće su od 0,5 do 1,5 m. Koriste se za bušenje plitkih bušotina, pre svega, u tehničke svrhe.



*Dleta za rotaciono bušenje:
a - spiralno b - pljosnato*

PRIBOR ZA BUŠENJE

Danas se krune najčešće proizvode od **polikristala**, tzv. **PDC** (polycrystalline diamond compact). Razlog za ovo leži u činjenici što je **tvrdoća PDC-a znatno veća od tvrdoće klasičnog volfram karbida**. Takođe je **znatno povećana i otpornost na abraziju**. Kod svih PDC sečiva sloj polikristala dijamanta je difuzno spojen sa podlogom od volfram karbida. PDC sečivo je obično kružna ili poluzaobljena pločica prečnika 12,5 mm i debljine 1 mm. Danas postoje PDC sečiva raznih oblika i debljina. Struktura sečiva je prikazana na narednoj slici.

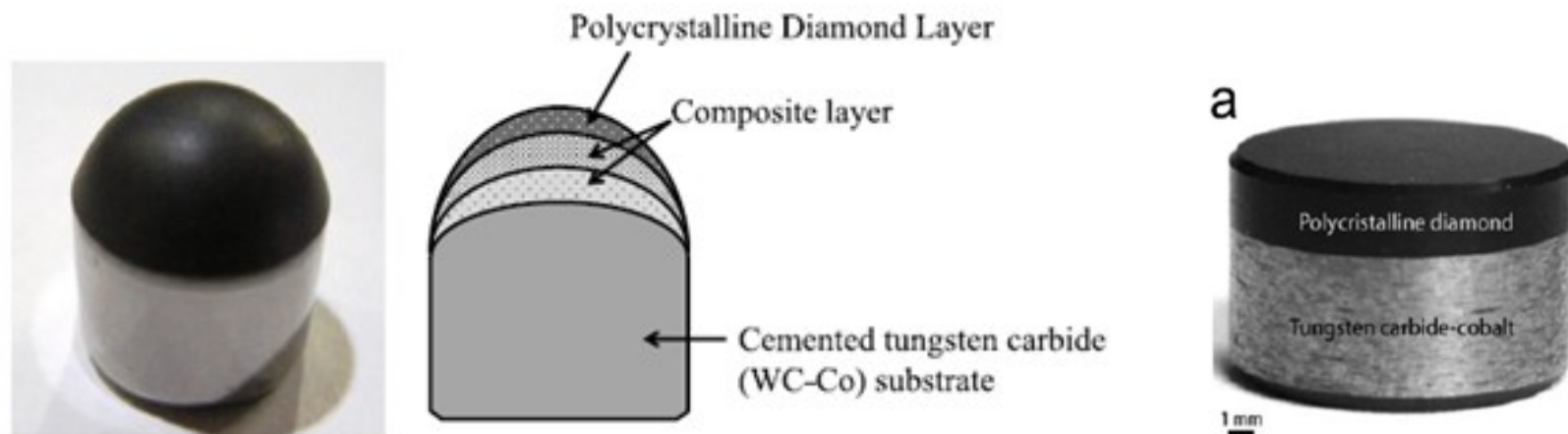
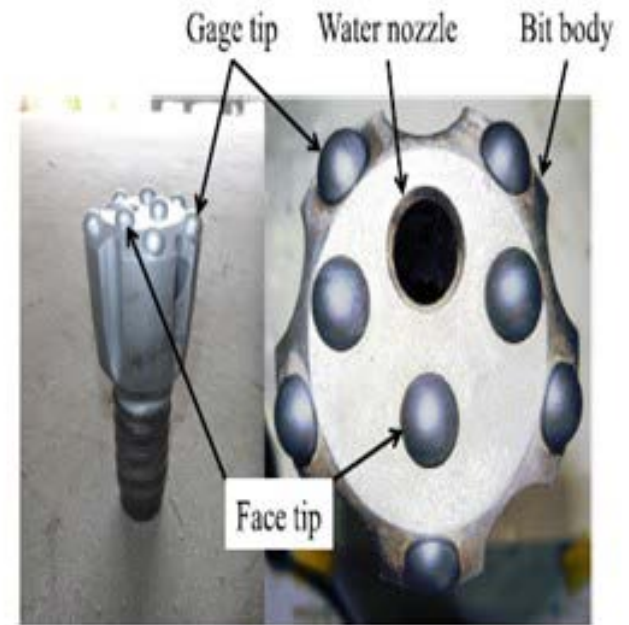
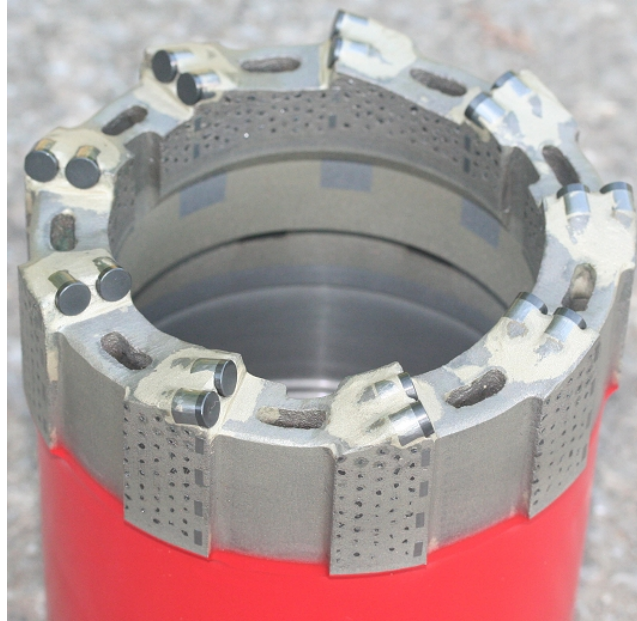


Fig. 2. Photograph and cross section of a PDC tip.

Presek kroz i izgled PDC sečiva

PRIBOR ZA BUŠENJE

PDC kruna



PDC dleto za udarno bušenje



1890



1909



1931 - 1951



1990



2012

Sečiva kroz istoriju

PRIBOR ZA BUŠENJE

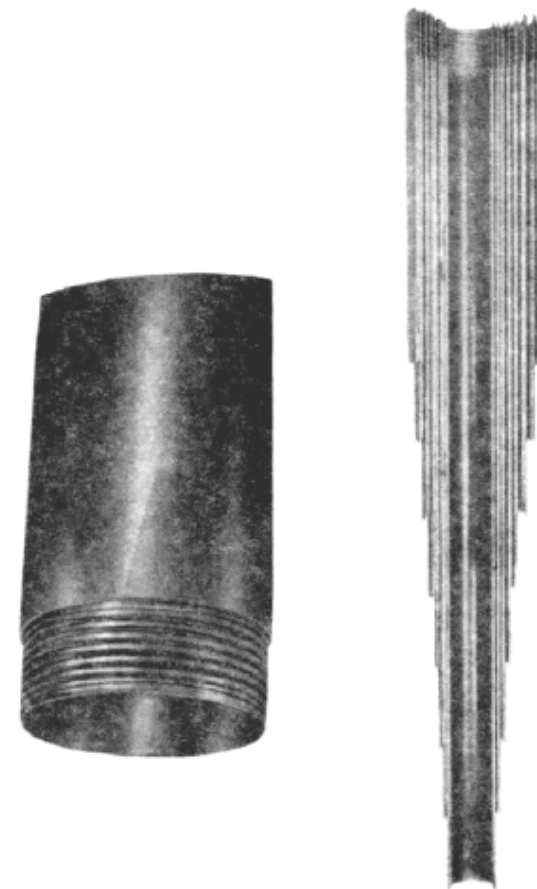
Obložne kolone ili zaštitne kolone, pri izradi istražnih bušotina, služe da stabilizuju zidove bušotina u zonama sklonim bubrenju i obrušavanju, da spreče gubitak isplake u ispucalim i karstifikovanim zonama, da izoluju vodonosne horizonte ili slojeve sa nekim drugim mineralnim supstancama, kao i da spreče nagli prodor gasova i voda iz stena u bušotinu. Pri izradi eksploatacionih bušotina, kroz obložne kolone se dobija pitka, mineralna, termomineralna, termalna ili slana voda, gas i nafta. Obložne kolone predstavljaju bušači pribor koji se u toku bušenja ugrađuje po potrebi. **Po završetku bušotine vade se iz nje da bi se ponovo ugradile u novu bušotinu.**

Obložne kolone prilikom ugradnje i vađenja iz bušotine, izložene su različitim naprezanjima. Tako, prilikom spuštanja u bušotinu, izložene su zatezanju usled sopstvene težine, koja se povećava sa dubinom oblaganja bušotine. Pri izvlačenju iz bušotine, pored sopstvene težine, zatezanje nastaje i usled trenja o zidove bušotina. Trenje je naročito izraženo pri izvlačenju obložnih kolona iz krivih bušotina.

Često, pri spuštanju u bušotinu obložne kolone zapinju, nasednu na materijal sa zarušenih zidova bušotine. U tim slučajevima moraju se rotirati, radi lakšeg spuštanja, usled čega su izložene naprezanjima na pritisak i torziju.

PRIBOR ZA BUŠENJE

Takođe, obložne kolone u bušotini opterećene su unutrašnjim hidrostatičkim pritiskom isplake, a sa spoljne strane litostatičkim pritiskom stenske mase. Zbog tehnologije bušenja, zidovi obložnih kolona su veoma tanki pa se zato one izrađuju od veoma kvalitetnog čelika. Ustvari, **obložne kolone predstavljaju čelične tankozidne bešavne cevi, koje sa jedne strane imaju spoljašnje a sa druge unutrašnje navoje** (slika pored). Spajaju se jedna u drugu ili ređe uz pomoć spojnica. Ako se nastavljaju jedna na drugu onda su spojevi ravni, a ako se nastavljaju spojnicama onda je spoljna strana neravna, što može stvarati velike probleme pri njihovom izvlačenju iz bušotina. U oba standarda (Metričkom i DCDMA) **svaki prečnik bušenja prati odgovarajući prečnik obložne kolone**, tj. kolone se u bušotine ugrađuju teleskopski. Zavisnost prečnika bušenja i obložnih kolona prikazana je u narednoj tabeli.



Izgled obložnih cevi /9/

PRIBOR ZA BUŠENJE

U novije vreme za oblaganje plićih bušotina, 200 - 300 m, koriste se zaštitne cevi izrađene od različitih vrsta **polimera ili metaloplastike**. Za razliku od čeličnih cevi, one su lakše, otpornije na koroziju i jeftinije, što se odražava na ukupnu cenu bušenja. **Za spuštanje i vađenje obložnih kolona u bušotinu, koristi se pomoćni pribor i alat. Spuštanje obložnih kolona u bušotinu izvodi se pomoću bušaćih šipki**, za koje se kolone fiksiraju uz pomoć spojnice. Na prvoj obložnoj cevi postavlja se nazubljena papuča uz pomoć koje se, rotacijom obložnih kolona, savlađuju zarušene zone u bušotini. Nakon spuštanja na dno bušotine, kolonom se zabuši oko 0,5 - 1,0 m, a bušotina se dobro ispere isplakom. Zatim se kolona centrira i pričvrsti šelnom na ustima bušotine. Vađenje obložnih kolona iz bušotina obavlja se korišćenjem vitla, a ukoliko snaga vitla nije dovoljna, koristi se hidraulička dizalica.

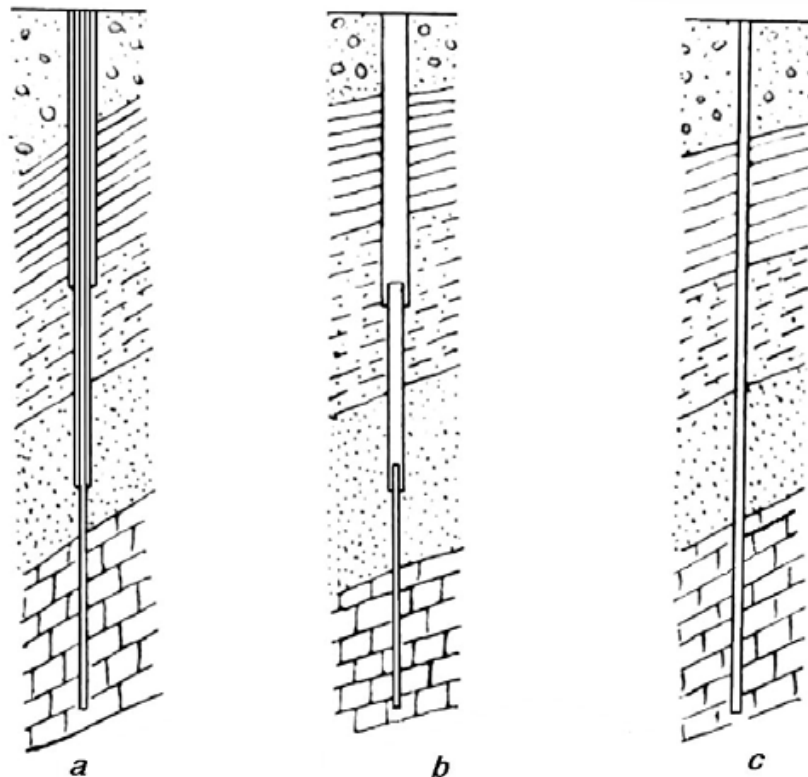
Tabela br. 7. Dimenzije obložnih cevi za različite prečnike bušenja u Metričkom standardu.

Prečnik bušenja (mm)	76 i 86	96	101	116	131	146
Spoljašnji prečnik obložnih cevi (mm)	74,25	84,25	98	113	128	143
Unutrašnji prečnik obložnih cevi (mm)	67,25	77,25	89	104	119	134
Debljina zidova (mm)	3,5	3,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Masa cevi (kN/m)	185,4	211,9	309,0	364,9	406,3	453,2

PRIBOR ZA BUŠENJE

kolone, koje se ne mogu izvaditi na drugi način, seku se hidrauličkim sekačem pa se sukcesivno, deo po deo, kolone vadi iz bušotine. Ugradnja obložnih kolona, od usta prema dnu bušotine, uslovljena je promenom prečnika krune. Prečnik bušenja se, od vrha prema dnu, smanjuje tako da se za zaštitu

zidova bušotine ugrađuje više kolona obložnih cevi. Prva se ugrađuje **uvodna kolona**, koja ima za cilj da spreči zarušavanje zidova bušotine u rastresitim, pripovršinskim slojevima. Takođe, njome se omogućava uzlazno kretanje isplake do taložnika i montiranje neophodne opreme pri izvođenju nekih operacija u bušotini, pri cementaciji, aerliftovanju i sl. Međutim, uvodna kolona često puta nije dovoljna da obezbedi stabilnost zidova i rad na većim dubinama, pa se kroz nju teleskopski postavlja sledeća kolona zaštitnih cevi od usta do dna bušotine.



Obložne kolone

PRIBOR ZA BUŠENJE

Po potrebi, kod dubokih bušotina postavlja se i druga i treća kolona (slika *a* na prethodnom slajdu).

Radi ušteda, kod dubokih bušotina obložne kolone se upuštaju u bušotinu, i na određenim dubinama vešaju se specijalnim manžetnama za prethodno ugrađene kolone, (slika pod *b* na prethodnom slajdu). Ovakav način ugradnje obložnih kolona donosi znatne ekonomske uštede, ali unosi izvesnu dozu nesigurnosti pri bušenju.

Kod plićih bušotina, ili pri ugradnji obložnih kolona u cilju eksploatacije mineralnih sirovina, one se ugrađuju od vrha bušotine do dna (slika *c* na prethodnom slajdu).