

# Povećanje krutosti bušaćeg alata

---

**Knežević, Antonio**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:346480>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-05**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GELOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**POVEĆANJE KRUTOSTI BUŠAČEG ALATA**  
Završni rad

Antonio Knežević  
N4340

Zagreb, 2021.

## POVEĆANJE KRUTOSTI BUŠAĆEG ALATA

ANTONIO KNEŽEVIĆ

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Krutost bušaćeg alata se povećava zbog ostvarivanja veće mehaničke brzine bušenja, ali se pritom mora paziti da ne bi došlo do neželjenog skretanja osi kanala bušotine, većeg od dopuštenog (definiranog projektom bušotine). U nastavku će biti govora o alatima koje povećavaju krutost bušaćeg alata, o uzrocima koji mogu dovesti do promjene kuta otklona zbog nedovoljne krutosti bušaćeg alata, i o mogućim posljedicama. Na kraju će biti govora o mjerama kojima se sprječava nastanak otklona kanala bušotine većeg od dozvoljenog.

Završni rad sadrži: 19 stranica, 2 tablice, 12 slika, i 5 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr.sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF-a

Ocjenjivači : 1. Dr.sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF-a

2. Dr.sc. Nediljka Gaurina - Međimurec, redovita profesorica RGNF-a

3. Dr.sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a

Datum i mjesto obrane: 21.09.2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>II</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ALATKE ZA STABILIZIRANJE BUŠAČEG ALATA.....</b>	<b>2</b>
2.1. Teške šipke.....	2
2.1.1. <i>Okrugle teške šipke.....</i>	3
2.1.2. <i>Kvadratne teške šipke.....</i>	3
2.1.3. <i>Spiralne teške šipke .....</i>	4
2.2. Stabilizatori .....	5
2.3. Proširivači .....	6
2.4. Teške-bušače šipke .....	7
2.5. Dlijeto .....	7
2.5.1. <i>Žrvanjska dlijeta .....</i>	8
2.5.2. <i>Dijamantna dlijeta .....</i>	9
2.5.3. <i>Lopatasta dlijeta .....</i>	10
2.5.4. <i>Polikristalinska dlijeta (PDC) .....</i>	10
<b>3. UZROCI ISKRIVLJENJA KANALA BUŠOTINE .....</b>	<b>11</b>
3.1. Geološki čimbenici .....	11
3.2. Tehnički čimbenici .....	12
3.3. Tehnološki čimbenici.....	12
<b>4. POSLJEDICE NAGLE PROMJENE KUTA OTKLONA - "KOLJENO" .....</b>	<b>13</b>
<b>5. MJERE ZA SPRJEČAVANJE OTKLONA KANALA BUŠOTINE .....</b>	<b>14</b>
5.1. Tehnika njihala .....	14
5.2. Tehnika krute stabilizacije .....	16
5.2.1. <i>Krutost teških šipki .....</i>	16
5.2.2. <i>Zazor između teških šipki i stjenke kanala bušotine.....</i>	16
5.2.3. <i>Duljina teških šipki.....</i>	17
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>18</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>19</b>

## **POPIS SLIKA:**

<b>Slika 2-1.</b> Okrugle teške šipke .....	3
<b>Slika 2-2.</b> Kvadratne teške šipke .....	4
<b>Slika 2-3.</b> Spiralne teške šipke .....	5
<b>Slika 2-4.</b> Stabilizator s integralnim spiralnim rebrima) .....	6
<b>Slika 2-5.</b> Proširivač s tri žrvnja.....	6
<b>Slika 2-6.</b> Teške bušaće šipke .....	7
<b>Slika 2-7.</b> Žrvanjsko dlijeto sa zubima.....	8
<b>Slika 2-8.</b> Polikristalinsko dijamantno dlijeto za meke stijene .....	9
<b>Slika 3-1.</b> Otklon kanala bušotine pri prolazu iz mekanih u tvrde stijene .....	11
<b>Slika 3-2.</b> Iskrivljene bušaće šipke .....	12
<b>Slika 4-1.</b> Načini dosezanja ciljane dubine bušotine .....	13
<b>Slika 5-1.</b> Tehnika njihala, udaljenost točke dodira od dlijeta s obzirom na promjer teških šipki i upotrebu stabilizatora .....	14

**POPIS TABLICA:**

**Tablica 5-1.** Razmak od stabilizatora do dlijeta i opterećenje na dlijeto .....15

**Tablica 5-2.** Ovisnost veličine otklona o zazoru između teških šipki i stijenki kanala

bušotine .....17

## 1. UVOD

Od samih početaka nastanka naftne industrije, otprilike od sredine 19. stoljeća postojale su samo dvije tehnike bušenja. Prva tehnika, tzv. udarno bušenje, podrazumijevala je zadizanje i gravitacijsko spuštanje teških alatki koje su usitnjavale stijene. Ova tehnika nije bila najuspješnija, ali za same početke i vrlo malo znanja o bušenju ta je tehnika bila jedina dostupna i kao takva prihvatljiva. Nedugo poslije, početkom 20. stoljeća, izumljeno je rotacijsko bušenje, ali s jednom velikom razlikom od prve tehnike, a to je iznošenje krhotina radnim fluidima što je uvelike uznapredovalo bušenje.

Prethodnim spominjanjem početaka bušenja htjelo se ukazati na napredak tehnike bušenja koji se kontinuirano razvija do danas.

Težište uvoda u zadanu temu rada je osvrst na povećanje krutosti bušaćeg alata pri čemu je vrlo važan raspored alatki koje se nalaze u njegovu donjem dijelu (engl. *bottom hole assembly – BHA*). Osnovni sastav alatki za povećanje krutosti bušaćeg alata sastoji se od teških šipki različitih oblika oplošja (teške šipke okruglog, spiralnog i kvadratnog presjeka), stabilizatora i proširivača.

Ugradnjom alatki za povećanje krutosti u donjem dijelu bušaćeg alata smanjuje se zazor između stijenske kanala bušotine i vanjskog promjera alatki te se tako smanjuje mogućnost izvijanja niza pod opterećenjem, u cilju povećanja mehaničke brzine bušenja. Mehanička brzina bušenja je jedno od najvažnijih mjerila uspješnosti primijenjenog procesa bušenja zbog ekonomskih razloga jer se obično kaže, „vrijeme je novac“, a svaki sat rada bušaćeg postrojenja mjeri se stotinama ili čak tisućama dolara. Isto tako negativnost ovog postupka je u cijeni svih tih pomoćnih alatki za povećanje krutosti koje se troše brže nego uobičajeno zbog trenja koje se stvara povećanim opterećenjem između stijenke kanala bušotine i vanjskog promjera alatki. Jedan od načina sprječavanja povećanog trošenja je umetanje ojačanih materijala poput volframova karbida na rubove alatki koje dolaze u kontakt sa stjenkom kanala bušotine, a to znači povećanje cijene koštanja alatki.

## 2. ALATKE ZA STABILIZIRANJE BUŠAĆEG ALATA

Stabilizacijom bušaćeg alata smanjuje se ili moguće i potpuno uklanja mogućnost iskrivljenja osi kanala bušotine, ovisno o postavljanju dodatnih alatki koje učvršćuju i ukrućuju bušaći alat. Postavljanjem alatki za stabilizaciju bušaćeg alata na odgovarajuće mjesto i u odgovarajućoj količini i promjeru, stvaraju se uvjeti za ostvarenjem uspješnog režima bušenja, odnosno većom mehaničkom brzinom bušenja što je i osnovni cilj. Bušaće alatke u sastavu krutog alata su:

- a) teške šipke (okrugle teške šipke, kvadratne teške šipke, spiralne teške šipke),
- b) stabilizatori (stabilizatori s nepokretnim rebrima, stabilizatori s rotirajućim rebrima),
- c) proširivači,
- d) teške-bušaće šipke,
- e) dlijeta.

### 2.1. Teške šipke

Teške šipke su bešavne cijevi koje se nalaze između dlijeta i niza bušaćih šipki. Teške šipke imaju veliku debljinu stjenke jer preuzimaju velik dio opterećenja na dlijeto i u njima tijekom bušenja mora biti neutralna točka da ne bi došlo do izvijanja bušaćih cijevi. Vanjski promjer teških šipki obično mora biti za otprilike 2,54 cm do 5,08 cm manji od promjera bušotine tj. dlijeta. Prilikom postavljanja teških šipki obično se odabire 10-30% veću količinu od računski dobivene količine koja uzima u obzir neophodnu dužinu odnosno težinu šipki neophodnu za ostvarivanje dovoljnog opterećenja na dlijeto potrebnog za razrušavanje specifične stijene.

Duljine teških šipki prema API standardu (American Petroleum Industry) dijele se u 3 kategorije, a to su: 1. kategorija koja iznosi od 5,4864 m do 6,7056 m, 2. kategorija (najčešće se koristi) koja iznosi od 8,2296 m do 9,4488 m, i 3. kategorija koja iznosi od 11,5824 m do npr. 13,716 m.



### 2.1.1. Okrugle teške šipke

Od svih dostupnih vrsta teških šipki najčešće se koriste teške šipke okruglog poprečnog presjeka. Tijelo ima konstantan okrugli poprečni presjek cijelom dužinom cijevi te ima glatku unutarnju i vanjsku stjenku. Glavna namjena okruglih teških šipki je da stvaraju opterećenje na dlijeto i da vlačno opterete bušaće šipke kako ne bi došlo do njihovog izvijanja.



**Slika 2-1.** Okrugle teške šipke (octgproducts.com, 2015)

### 2.1.2. Kvadratne teške šipke

Kvadratne teške šipke se najčešće koriste kod izrade vertikalnih bušotina zbog smanjenog zazora između vanjskog promjera teške šipke i unutarnjeg promjera kanala bušotine. Što je manji zazor između teške šipke i kanala bušotine to je manja mogućnost otklona kanala bušotine. Krajevi kvadratnih šipki su zaobljeni i ojačani su tvrdim metalima zbog njihovog habanja sa stjenkama kanala. Prilikom trošenja kvadratnih šipki zbog njihovog kontakta sa stjenkama kanala dolazi do smanjenja vanjskog promjera, kada dođe do smanjenja od 4,8 milimetara kvadratna teška šipka se smatra neupotrebljivom za uporabu te je onda vrijeme za njezinu zamjenu (INA-Naftaplin, 1972).



**Slika 1-2.** Kvadratne teške šipke (alibaba.com, 2021)

### *2.1.3. Spiralne teške šipke*

Spiralne teške šipke se koriste u bušotinama gdje je velika mogućnost nastanka diferencijalnog prihvata tj. gdje je velika razlika hidrostatickog tlaka u bušotini i slojnog tlaka. Spiralne teške šipke su konstruirane tako da nemaju velik doticaj sa stjenkama kanala bušotine i da je velika površina protjecanja prstenastim prostorom. Utori na spiralnim teškim šipkama se izrađuju na udaljenosti od minimalno 457,2 milimetra do maksimalno 609,6 milimetara od ženske spojnice i na udaljenosti od minimalno 304,8 milimetara do maksimalno 558,8 milimetara od muške spojnice čime se smanjuje ukupna težina okrugle teške šipke za 4% (Matanović, 2007).

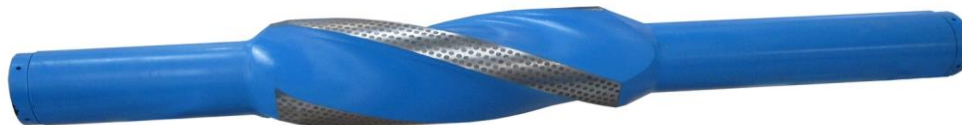


**Slika 2-3.** Spiralne teške šipke (www.nov.com, 2021)

## 2.2. Stabilizatori

Izbor stabilizatora po obliku i vrsti materijala ponajprije ovisi o vrsti stijena kroz koje se buši. Za bušenje kroz tvrde stijene koriste se stabilizatori s gumenim rebrima čija je velika prednost da se ne treba okretati zajedno sa bušačim alatom, a može se pomicati vertikalno po tijelu stabilizatora. Povećanjem tvrdoće stijene kontaktne površine stabilizatora moraju biti što manje. Kod mekših stijena koriste se stabilizatori s navarenim i metalnim rebrima, a može se koristiti i stabilizator s gumenim rebrima ali onda treba imati aluminijske navlake na rebrima. Stabilizatori se dijele na 2 osnovne grupe:

- 1) stabilizatori s nepokretnim rebrima,
- 2) stabilizatori s rotirajućim rebrima.



**Slika 2-4.** Stabilizator s integralnim spiralnim rebrima (Dr-oiltools.com, 2016)

### 2.3. Proširivači

Proširivači se koriste u sklopu bušaćeg alata neposredno iznad dlijeta kod bušenja naslaga koje su sklone bubrenju, kao npr. glina, te se također koristi u slučaju gdje se vanjski promjer dlijeta troši pa da ne bi došlo do zaglave kod spuštanja novog dlijeta u bušotinu nakon promjene staroga dlijeta. Proširivač također povećava krutost bušaćeg alata i sprječava otklon osi kanala bušotine. Najčešći tipovi proširivača koji se koriste su: proširivači s 3 žrvnja koji se ugrađuju neposredno iznad dlijeta, proširivači s 3 žrvnja koji se ugrađuju unutar niza krutog alata, te proširivači sa 6 žrvnjeva koji se ugrađuju neposredno iznad dlijeta koji je zapravo dvostruki tro-žrvanjski proširivač.



**Slika 2-5.** Proširivač s tri žrvnja (rigfinder.com, 2021)

## 2.4. Teške-bušaće šipke

Teške-bušaće šipke (engl. heavy-walled drillpipe - HWDP) u sastavu krutog alata su pozicionirane neposredno iznad teških šipki i njihov vanjski promjer je jednak promjeru bušaćih šipki ,a debljina stjenke teških-bušaćih šipki je manja od debljine stjenke teških šipki.



**Slika 2-6.** Teške bušaće šipke (blogspot.com, 2016)

Kod izrade vertikalnih bušotina koriste se češće od teških šipki jer dodiruju stjenke kanala bušotine i to dodirivanje stjenke može dovesti do pojačane torzije, povećanog natega, te može doći do diferencijalnog prihvata u odgovarajućim vrstama stijena.

## 2.5. Dlijeto

Dlijeto je alatka koji se nalazi na dnu bušaćeg alata i razrušava puni profil stijene cilindričnog oblika. Dlijeto stijenu reže, drobi, odlama i istire, sve ovisno o osnom opterećenju i okretnom momentu kojim mi upravljamo i tipu dlijeta koji koristimo." Naftaškim rječnikom želja je primjenjivati dlijeta koja će ostvariti najviše metara po satu bušenja, trajati najviše sati i onemogućiti smanjivanje promjera bušotine. " (Matanović, 2013)

Dlijeta se dijele na lopatasta dlijeta, žrvanjska dlijeta, dijamantska dlijeta te polikristalniska dijamantska dlijeta (PDC).

### 2.5.1. Žrvanjska dlijeta

Žrvanjska dlijeta počela su se koristiti ranih godina 20. stoljeća. Mogu se podijeliti na dlijeta sa zubima i na dlijeta s insertima od tvrdih metala. Dlijeta sa zubima prodiru u stijenu i otkidaju je pod djelovanjem osnovnog opterećenja i okretnog momenta. Kod mekih formacija moraju biti visoki zubi, široko razmaknuti i mali broj zuba, a kod srednje tvrdih formacija zubi trebaju biti niži, gušće raspoređeni i samim time treba biti veći broj zubi. Sustav ispiranja je izveden da postoje dva načina ispiranja, prvi način je taj da je mlaz isplake usmjeren na čišćenje žrvnjeva, a drugi način je da je mlaz isplake usmjeren na dno bušotine. Dlijeta s insertima od tvrdih metala su poboljšana verzija koja se koristi za bušenje tvrdih formacija jer se mogu primijeniti veće osnovno opterećenje i veći okretni moment. Osim toga poboljšani su i ležajevi koji su zabrtvljeni pri čemu se koristi mast za podmazivanje kako bi se spriječilo trošenje metala kod većih opterećenja i brzina okretanja, prije je fluid podmazivao i ležajevi nisu bili zabrtvljeni. Ovakav tip dlijeta s insertima razrušava stijenu, jedina je mana ta da fluid ispire kućište inserta (utora) te može doći do njegovog ispadanja.



**Slika 2-7.** Žrvanjsko dlijeto sa zubima (de.made-in-china.com, 2021)

### 2.5.2. Dijamantna dlijeta

"Dijamantna dlijeta počinju se koristiti kada brzina bušenja drugim dlijetima padne ispod 3 metra na sat i kada je kanal bušotine manji od 152,4 mm." (Matanović, 2013)

Dijamantna dlijeta nemaju pomičnih dijelova, a dijamanti su utisnuti u matricu od čelika ili volframova karbida. Vrlo su skupa i zato treba dobro razmotriti kada je vrijeme za njihovo korištenje.

Postoje različiti otvori za prolazak isplake, a to su križni otvor, centralni otvor i bočni otvor za prolazak isplake. Stijenu mogu razrušavati na nekoliko načina, tlačnim i abrazivnim djelovanjem (istiranjem). Prilikom spuštanja dijamantnog dlijeta u bušotinu treba biti vrlo oprezan kako ne bi došlo do oštećenja dijamanata i bušotinu treba pripremiti prije spuštanja novog dlijeta. Priprema se tako da se bušotina očisti od mogućih krhotina opreme korištenjem magneta i košare. Prilikom spuštanja dlijeto se ne smije naglo spuštati zbog mogućnosti da je bušotina konusirana zbog prijašnjeg trošenja ramena prethodnog dlijeta koje je bilo u bušotini. Zbog toga dlijeto treba polagano spuštati s određenim brojem okretaja i kontinuirano pratiti dubinu kako bi se znalo kada je vrijeme za normalan nastavak rada.



**Slika 2-8.** Polikristalinsko dijamantno dlijeto za meke stijene (Rock-drillingtools.com, 2019)

### *2.5.3. Lopatasta dlijeta*

Lopatasta dlijeta su se prva koristila u začecima naftne industrije. Ovaj tip dlijeta je zastario i više se ne koristi, osim ponekad za izradu („šapanje“) mišje i kose rupe. Koristila su se za bušenje mekih stijena i prema broju lopatica su se dijelila na riblji rep (tip s dvije lopatice nalik ribljem repu, kao što i samo ime govori), trolopatasta i četverolopatasta.

### *2.5.4. Polikristalinska dlijeta (PDC)*

U zadnje vrijeme sve se više koriste polikristalinska dijamantna dlijeta zbog svoje djelotvornosti. PDC dlijeta nemaju pomične dijelove poput ležajeva i žrvnjeva te samim time nema potrebe za spremnike s mazivom, tako da su PDC dlijeta manjih dimenzija i jednostavniji su od žrvanjskih dlijeta istog promjera. PDC dlijeta sastoje se od čeličnog ili matričnog tijela u obliku konusa. Matrična tijela su od impregniranog volframovog karbida i kao takva imaju veću otpornost na abraziju i eroziju od čeličnih, dok čelična imaju veću otpornost na opterećenja (Matanović, 2007).

Oblik konusa PDC dlijeta ovisi o stijenama koje se buše, nagib konusa tijela se smanjuje s povećanjem tvrdoće stijene. Na tijelu dlijeta postoje i otvori za promjenjive mlaznice koje služe za čišćenje dna kanala i hlađenje dlijeta. Mlaznice mogu biti učvršćene osiguračima ili mogu imati navoje. Rezni elementi su nepomični i nalaze se na izloženim nosačima. Gustoća reznih elemenata ovisi o tvrdoći stijene, što je stijena tvrđa to su rezači gušće postavljeni i obratno za mekše stijene.



### 3. UZROCI ISKRIVLJENJA KANALA BUŠOTINE

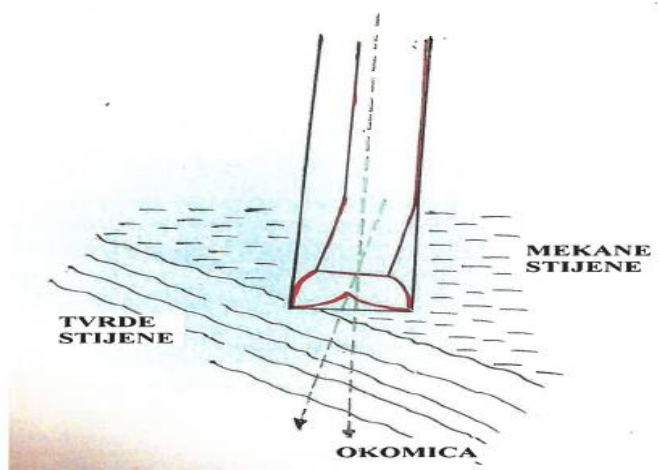
Iskrivljenje kanala bušotine promatra se zbog potrebe za točnijim geološkim podacima i preciznijom izradom kanala bušotine. Iskrivljenje kanala bušotine može se lako odrediti korištenjem dva parametra, a to su zenitni kut i azimut. Uzroci iskrivljenja koji utječu na iskrivljenje kanala bušotine mogu biti geološki, tehnički i tehnološki.

#### 3.1. Geološki čimbenici

Na iskrivljenje kanala bušotine utječu sljedeći pokazatelji (INA-Naftaplin, 1972):

- a) promjena slojeva različitih po tvrdoći stijena,
- b) utjecaj kuta susreta kanala bušotine sa smjerom pada slojeva,
- c) utjecaj strukturnih, teksturnih i anizotropnih svojstava stijena,
- d) utjecaj tvrdih umetaka u mekanim stijenama.

Ako se buši istim osnim opterećenjem i brojem okretaja dlijeta kroz stijene različitih tvrdoća, doći će do iskrivljenja bušotine u stranu sloja tvrdih stijena zbog toga jer dlijeto u uvjetima meke stijene brže razrušava stijenu nego u uvjetima kada je tvrda stijena. Osim navedenih uzroka iskrivljenja kanala bušotine veliki utjecaj na iskrivljenje ima i kut pod kojim se buši. U ovisnosti tog kuta bušotina može zadržati isti smjer, može se iskriviti u stranu tvrdih stijena, a može se nastaviti kretati po kontaktu tvrdih i mekanih stijena u smjeru pada slojeva.



**Slika 3-1.** Otklon kanala bušotine pri prolazu iz mekanih u tvrde stijene (Chaudhary, 2011)

### 3.2. Tehnički čimbenici

Tehnički čimbenici koji djeluju na iskrivljenje kanala bušotine su najčešće slučajni problemi koji nastaju u trenutku izrade kanala bušotine na koje ne možemo djelovati jer ne znamo kad će se dogoditi. Neki od čimbenika koji uzrokuju iskrivljenje kanala bušotine su (INA-Naftaplin, 1972):

- neispravno centriranje tornja,
- iskrivljenje bušaće ili teške šipke (osobito pri bušenju turbo i elektro-bušilicama),
- ekscentričnost lopatastih dlijeta



**Slika 3-2.** Iskrivljene bušaće šipke (Black Diamond, 2017)

### 3.3. Tehnološki čimbenici

Uslijed lošeg odabira tehnoloških čimbenika može doći do negativnih utjecaja koji će dovesti do iskrivljenja kanala bušotine.

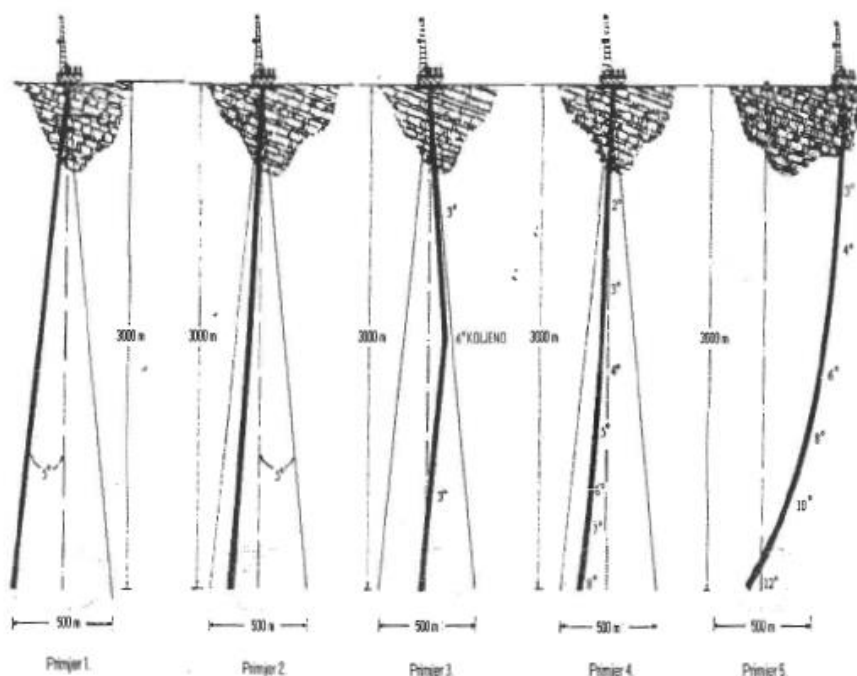
Glavni tehnološki čimbenici ovise o izboru i sastavu alatki te o samom režimu bušenja koji ovisi o osnovnom opterećenju na dlijeto i broju okretaja bušaćeg niza. Odabir iznosa osnovnog opterećenja i broja okretaja ovisi o vrsti stijena kroz koje se buši, a pogrešan odabir tih parametara dovodi do iskrivljenja kanala bušotine. Treba pripaziti na odabir bušaćeg alata jer npr. primjenom prevelikog broja teških šipki i stabilizatora može doći do prevelikog osnovnog opterećenja koji dovode do iskrivljenja.

#### 4. POSLJEDICE NAGLE PROMJENE KUTA OTKLONA - "KOLJENO"

Tijekom izrade kanala bušotine nailazi se na različite probleme pa je zbog toga vrlo teško pa skoro i nemoguće izraditi savršeni kanal bez otklona. Projektom bušotine najčešće je određen dopušteni kut otklona te se temeljem toga može odrediti projekcija stošca koja definira granice unutar kojih se mora kretati kanal bušotine.

Primjerice, ako je krajnja dubina kanala bušotine na dubini od 3500 m, a maksimalni dopušteni kut otklona nam je  $6^\circ$ , iz tih unaprijed zadanih parametara može se vrlo lako pomoću trigonometrijskih funkcija izračunati da promjer baze stošca iznosi 735 metara.

Tijekom izrade kanala bušotine vrlo je važno paziti na otklon jer ako nam je maksimalni dozvoljeni kut otklona  $6^\circ$ , to ne znači da se unutar prvih 2000 metara može dopustiti maksimalni otklon jer onda kod naglog korigiranja putanje kanala bušotine, kako bi se kanal bušotine završio unutar dopuštenih granice trajektoriju treba naglo mijenjati prilikom čega bi došlo do stvaranja koljena (engl. dog-leg). Odmah u početku treba okvirno izračunati koliko je dopušteno svakih nekoliko stotina metara odstupati da bi dobili na kraju bušotinu unutar zadanih granica. Pažljivom izradom dobit će se postepeno povećanje kuta otklona kanala kakav je tehnički najkorektniji.



Slika 4-1. Načini dosezanja ciljane dubine bušotine (Rollins, 1963)

## 5. MJERE ZA SPRJEČAVANJE OTKLONA KANALA BUŠOTINE

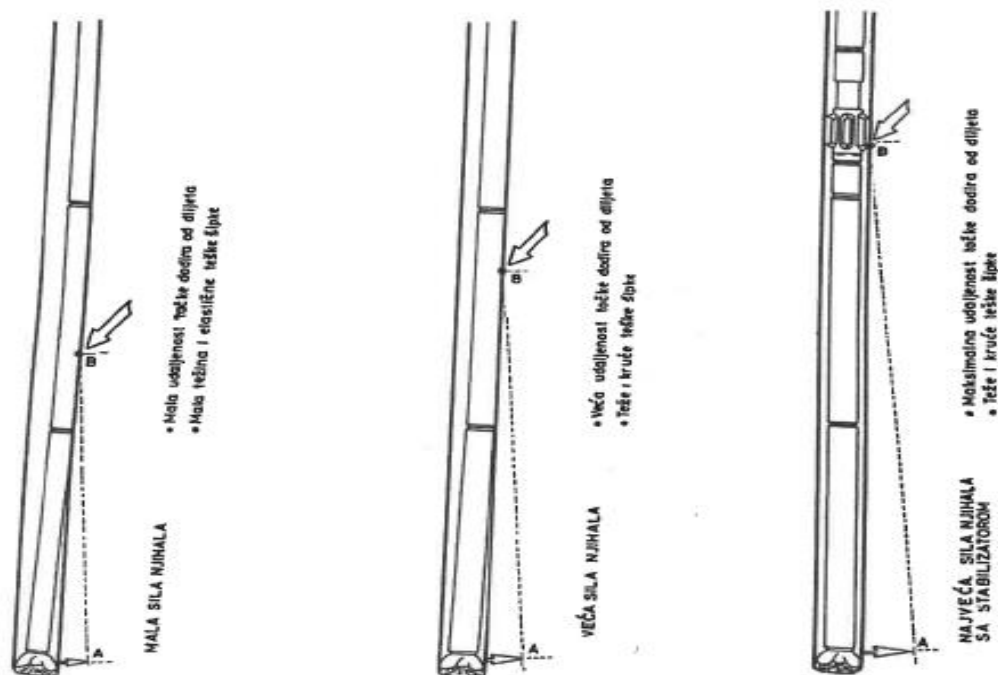
Zemljina kora je sastavljena od različitih slojeva, neki slojevi su mekši i neki su tvrdi, dolazi do otklona kanala pa zbog toga postoje mjere koje se tijekom bušenja koriste kako bi se spriječio neželjeni otklon kanala bušotine. Mjere obuhvaćaju sastav donjeg dijela niza bušaćih alatki (kruti alat) kao i primjena odgovarajućeg režima bušenja.

Koriste se dva načina sprječavanja otklona kanala bušotine, a to su:

- tehnika krute stabilizacije,
- tehnika njihala.

### 5.1. Tehnika njihala

"Upotreba tehnike njihala podrazumijeva korištenje sile teže slobodnog dijela teških šipki koje nisu u kontaktu sa stijenkom bušotine. Sila slobodnog dijela teških šipki koja ih nastoji vratiti u vertikalni položaj ovisi o težini i krutosti donjeg dijela teških šipki, o inklinaciji bušotine, o veličini razlike promjera bušotine i teških šipki (zazor) i o osnovnom opterećenju na dlijeto (INA-Naftaplin, 1972).



**Slika 5-1.** Tehnika njihala, udaljenost točke dodira od dlijeta s obzirom na promjer teških šipki i upotrebu stabilizatora (INA- Naftaplin, 1972)

Woods i Lubinsky su američki stručnjaci koji su obradili tehniku bušenja korištenjem sile njihala. Izradili su tablice pomoću kojih i danas određuje promjer teških šipki, opterećenje na dlijeto i mjesto na koje ćemo postaviti stabilizator(e); ovisno o uvjetima u bušotini.

Primjerice, ako je promjera dlijeta 0,2159 m (8 1/2"), pad slojeva 15°, stijene klase "G", željeni kut kanala bušotine 3°, maksimalno moguće opterećenje pri bušenju s teškim šipkama Ø 0,2159 m (8 1/2") iznosi 79,43 kN. Ako se u taj niz ugradi stabilizator na visinu od 30,1 do 33,6 m iznad dlijeta, tada opterećenje može biti 102,97 kN. Ako bi se za iste ulazne podatke koristile teške šipke promjera 0,254 m (10") opterećenje bi moglo biti 112,78 kN, a ako bi se ugradio i stabilizator na udaljenosti od 29,3 - 32,6 m od dlijeta onda bi opterećenje moglo porasti i do 142,2 kN.

Tehnika njihala ima manu da se može upotrebljavati samo u mekanim stijenama s malom tendencijom nagiba slojeva jer nije dopušteno veliko osno opterećenje, a kod tvrdih stijena zbog nemogućnosti primjene većeg osnog opterećenja mehanička brzina bušenja je vrlo mala pa je zato neekonomično (neisplativo).

**Tablica 5-1.** Razmak od stabilizatora do dlijeta i opterećenje na dlijeto

Promjer bušotine iznosi 0,31115 m, nagib slojeva iznosi 15°						
Kut nagiba buš. i klasa stijena	T.Š. 0,2159 m	T.Š. 0,2159 m sa stabilizatorom		T.Š. 0,254 m	T.Š. 0,254 m sa stabilizatorom	
	kN	kN	m	kN	kN	m
3D	34,32	42,17	32-35,7	46,09	57,86	30,5-33,9
3E	51	61,78	31,7-35,1	63,74	79,43	30,2-33,6
3F	66,70	84,34	31,1-34,5	93,16	112,78	29,6-32,9
3G	79,43	102,97	30,1-33,6	112,78	142,2	29,3-32,6
3H	112,78	147,1	29,3-32,6	166,71	210,84	28,7-31,7
3I	152	201,04	28,1-31,1	230,46	299,1	27,8-30,8
3J	181,42	250,07	26,5-29,6	289,3	377,56	26,8-29,9
3K	205,94	304,01	23,8-26,5	343,23	470,72	25,6-28,4
3L	259,88	465,82	19,2-21,4	465,82	681,56	
3M	304,01			573,69		
3N	343,23			706,08		

## 5.2. Tehnika krute stabilizacije

Tehnika krute stabilizacije se koristi pri bušenju tvrdih i vrlo tvrdih slojeva gdje je potrebno primijeniti veće osno opterećenje kako bi bušotina čim manje odstupala od vertikale.

Tehnika krute stabilizacije se može razmatrati za dva slučaja koje obuhvaćaju sljedeći uobičajeni nazivi (INA-Naftaplin, 1972):

a) „ispunjena“ bušotina

Podrazumijeva se korištenje teških šipki velikog promjera koji je približno jednak promjeru bušotine sa ili bez upotrebe stabilizatora.

b) „super ispunjena“ bušotina

Podrazumijeva se korištenje kvadratnih teških šipki u kombinaciji s okruglim predimenzioniranim teškim šipkama, stabilizatorima i proširivačima.

### 5.2.1. Krutost teških šipki

Najvažniji čimbenik u održavanju vertikalnosti kanala bušotine je krutost teških šipki.

Njihova krutost raste s četvrtom potencijom promjera pa čak i malo povećanje promjera teških šipki dovodi do znatnog povećanja krutosti.

Primjerice, teške šipke promjera 0,1778 m imaju dvostruko veću krutost od teških šipki promjera 0,1524 m, a teške šipke promjera 0,254 m imaju nevjerojatnih 4,5 puta veću krutost od teških šipki promjera 0,1778 m.

Vidljivo iz navedenog primjera zaključuje se da teške šipke većeg vanjskog promjera i manjeg unutarnjeg promjera znatno doprinose u održavanju vertikalnosti kanala zbog veće debljine poprečnog presjeka.

### 5.2.2. Zazor između teških šipki i stjenke kanala bušotine

Zazor između vanjskog promjera teških šipki i stjenke kanala bušotine izravno utječe na veličinu otklona kuta. Zazor mora biti što manji ali treba paziti da se osigura normalna cirkulacija isplake koja iznosi krhotine sa dna bušotine.

Stanley C. Moore napravio je tablicu ovisnosti veličine otklona o zazoru između teških šipki i stjenki kanala bušotine (Prvi autor et al., 1972).

**Tablica 5-2.** Ovisnost veličine otklona o zazoru između teških šipki i stjenki kanala bušotine (INA-Naftaplin, 1972)

Zazor prstenastog prostora, m	Maksimalno dozvoljena promjena kuta otklona u stupnjevima na svakih 30 m
0,009525	0,15
0,01905	0,07
0,0381	0,3
0,0762	0,6
0,1524	1,2
0,3048	2,4

### 5.2.3. Duljina teških šipki

Duljina teških šipki ne utječe na održavanje vertikalnosti kanala bušotine, već se koristi za povećanje opterećenja na dlijeto.

Smatra se da bi za održavanje vertikalnosti kanala bušotine, kad bismo upotrijebili teške šipke čiji je vanjski promjer jednak promjeru dlijeta bila dovoljna duljina 10 puta veća od promjera dlijeta (INA-Naftaplin, 1972)

## 6. ZAKLJUČAK

Krutost bušaćeg alata povećava se dodavanjem teških šipki odgovarajuće duljine i promjera, teških bušaćih šipki, proširivača, stabilizatora u sastav bušaćeg alata. Umetanjem bilo koje od navedenih alatki u sastav krutog alata dobiva se na povećanju krutosti i održavanju vertikalnosti kanala što uvelike pomaže kod doseganja određenih slojeva koji su nosioci fluida ili plinova koje se želi pridobivati.

Tijekom izrade kanala bušotine nailazi se na probleme koji dovode do iskrivljenja kanala bušotine u neželjenom smjeru, a mogu biti geološki, tehnički i tehnološki. To su sve problemi koji se mogu riješiti ako se pažljivo prati proces bušenja i reagira na vrijeme na način da se mijenjaju parametri bušenja kako proces zahtijeva, i praćenjem stanja alatki koje se koriste u procesu da ne bi došlo do zamora materijala (treba napraviti „tehnički pregled“ prije spuštanja u bušotinu).

Mjere koje se tijekom bušenja vertikalnih bušotina koriste za minimiziranje kuta otklona su tehnika njihala i tehnika krute stabilizacije. Njima se utječe na reguliranje kuta otklona ukoliko je došlo do neželjenog pomaka osi bušotine.

Sve alatke koje se koriste u procesu, iznosi opterećenja na dlijeto i brzina vrtnje, svi problemi na koje se nailazi tijekom bušenja, načini sprječavanja kuta otklona, sve to ovisi o isplativosti (ekonomičnosti), ništa od toga se neće poduzeti ako to u krajnjem slučaju neće biti isplativo. Proizvodnja nafte je posao koji se vrti oko novca, svjetska ekonomska i energetska sigurnost velikim dijelom ovise o nafti. Naftaški moto je ostvarivanje šta veće dubine bušenja u što kraćem vremenu, jer vrijeme je novac.



## 7. LITERATURA

1. DRILCO, 1977. *Drilling straight holes in crooked hole country*. Smith International, Inc.
2. INA-Naftaplin, 1972. *Priručnik za duboko bušenje: Prvi dio*, Zagreb: INA-Naftaplin.
3. MATANOVIĆ, D., 2007. *Tehnika izrade bušotina: Priručnik s primjerima*. Zagreb
4. ROBERT F. MITCHELL, STEFAN Z. MISKA, 2011. *FUNDAMENTALS\_(b-ok.org).pdf*
5. ROLLINS, H.M., 1963. *Straight hole drilling, part one*. World Oil Houston: Gulf Publishing Company

IZJAVA:

Ja, Antonio Knežević, pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom „Povećanje krutosti bušačeg alata“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

*Antonio Knežević*  
Antonio Knežević



KLASA: 602-04/21-01/41  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 17.9.2021.

**Antonio Knežević, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/41, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 27.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### POVEĆANJE KRUTOSTI BUŠAČEG ALATA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof.dr.sc. Zdenko Krištafor nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj:

(potpis)

Prof.dr.sc. Zdenko Krištafor

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)