



UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET



Geotehnički istražni radovi

(IV semestar, 2+1)

doc. dr Zoran Berisavljević





UNIVERZITET U BEOGRADU

RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET



Opšte o predmetu

Studijski program: **Geotehnika**

Naziv predmeta: **Geotehnički istražni radovi**

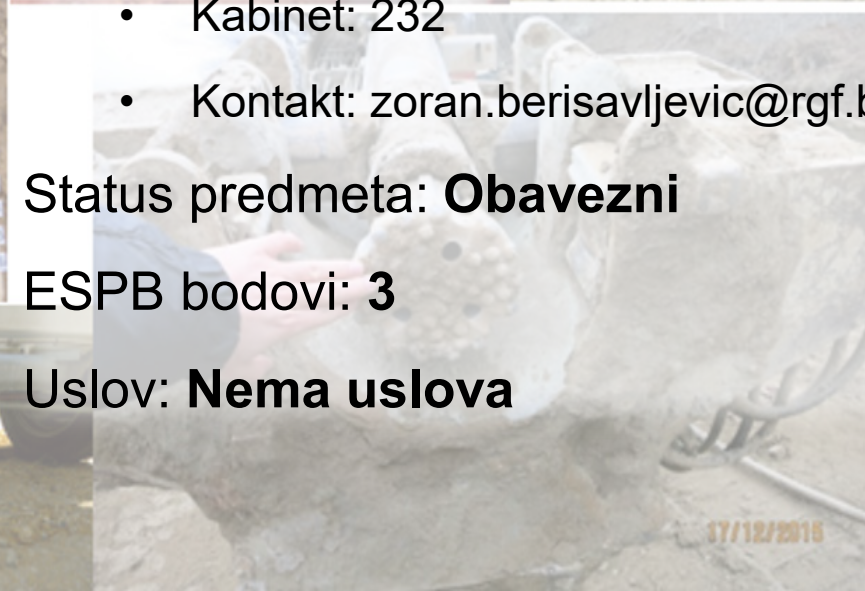
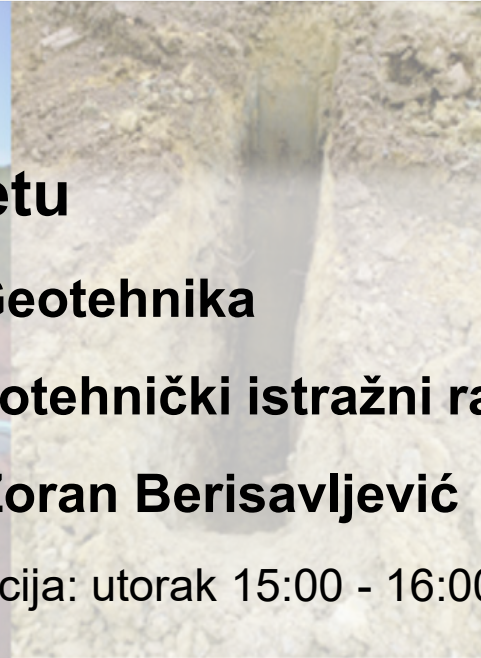
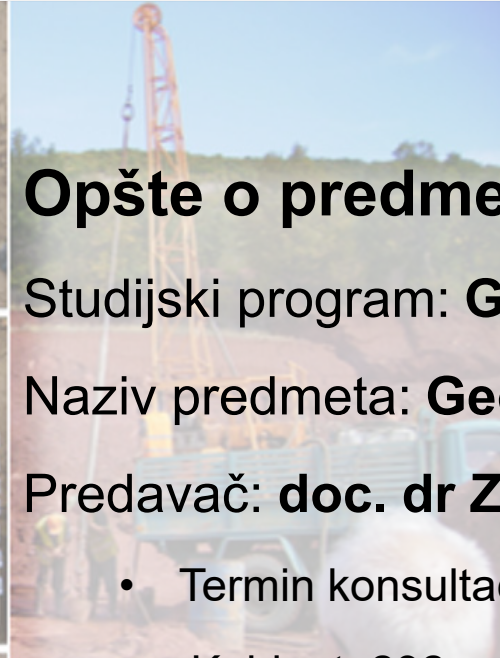
Predavač: **doc. dr Zoran Berisavljević**

- Termin konsultacija: utorak 15:00 - 16:00 h
- Kabinet: 232
- Kontakt: zoran.berisavljevic@rgf.bg.ac.rs

Status predmeta: **Obavezni**

ESPB bodovi: **3**

Uslov: **Nema uslova**



Cilj predmeta:

Sticanje osnovnih znanja o principima i tehnologiji izvođenja istražnog bušenja u geotehničke svrhe. Izvođenje geoloških, geofizičkih, hidrogeoloških i in situ geotehničkih ispitivanja i ispitivanja u toku bušenja, u bušotinama i na jezgru istražnih bušotina

Ishod predmeta:

Upoznavanje sa značajem istražnog bušenja i drugih geotehničkih opita i osposobljavanje za primenu stečenih znanja pri istraživanjima u geotehničke svrhe

Teorijska nastava:

Predavanja praćena audio-vizuelnom demonstracijom; primena softvera za rešavanje praktičnih zadataka

Praktična nastava:

Neposredno upoznavanje sa opremom i tehnologijom bušenja, instrumentima i tehnikom ispitivanja u bušotinama i in situ opitima. Izrada loga bušotine

Literatura:

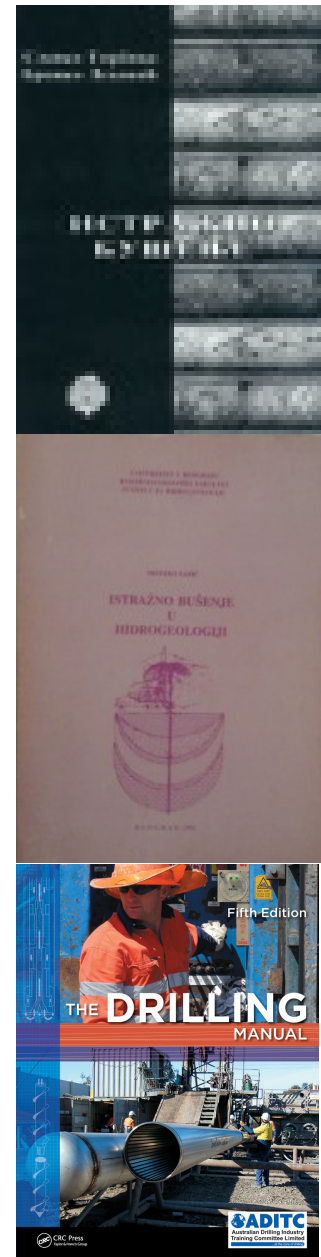
R. Lapčević. *Geotehnički istražni radovi*, RGF, Beograd, 1999

S. Torbica, B. Leković: *Istražno bušenje*, RGF, Beograd, 2001

K. Hrković, M. Lazić: *Usmereno bušenje*, RGF

The Australian Drilling Industry Training Committee Ltd (ADITC). *The drilling manual (Fifth edition)*, CRC press, 2015

Prezentacije sa predavanja



OBAVEZE NA PREDMETU:

100%

- Prisustvo i aktivnost u toku predavanja: 10%

- Praktična nastava: 20%

(podrazumeva izradu log-a bušotine i obilazak gradilišta gde se izvodi istražno bušenje ili vrše in situ ispitivanja tla i stena i).

- Pismeni ispit: 70%

(Pismeni ispit se sastoji od 3 pitanja iz pređenog gradiva. Za prolaz je potrebno sakupiti 50/70 poena).

Toleriše se maksimalno 3 izostanka (bez termina za nadoknadu).

Toleriše se kašnjenje od 15 min, svako duže kašnjenje utiče na bodove za prisustvo na predavanjima.

Ukoliko se steknu uslovi otići će se na gradilište na kome se izvode geotehnički istražni radovi.

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; Kombinovani postupak; Pribor za bušenje

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

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

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

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

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

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

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

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

Nedelja 1

OPŠTE O ISTRAŽNOM BUŠENJU

Kratak istorijat istražnog bušenja; Istražno bušenje i pojam istražne bušotine; Nove tehnologije; Karakter bušača



OPŠTE O ISTRAŽNOM BUŠENJU

Za potrebe projektovanja, izgradnje i korišćenja raznovrsnih nadzemnih i podzemnih objekata neophodno je istražiti teren odnosno, definisati geotehničke uslove.

- Neka od istraživanja izvode se sa površine terena, kao na primer **geološko ili inženjersko geološko kartiranje, geofizička ispitivanja** i dr.

- Za definisanje **prostornih odnosa**, neophodna su i **istraživanja ispod površine terena**.

- Istražno bušenje spada među **najčešće radove** koji se izvode pri geotehničkim istraživanjima.

- **Imajući u vidu ukupan obim radova, troškovi bušenja obično predstavljaju najveću stavku u troškovima istraživanja.** S obzirom na to, vrlo je značajno racionalno projektovanje i maksimalno iskorišćenje svake pojedine bušotine.

- Racionalna izrada programa istraživanja podrazumeva da se za dati teren, objekat i fazu istraživanja, obezbedi potreban stepen istraženosti terena sa odgovarajućim obimom bušenja, uz optimalan raspored, dubinu i tehničke uslove njihovog izvođenja.

- Istražno bušenje omogućava prikupljanje velikog broja informacija o stenskim masama i terenu i to na osnovu: **ispitivanja izvađenog jezgra, ispitivanja zidova bušotina** ili putem **različitih merenja u bušotinama**.

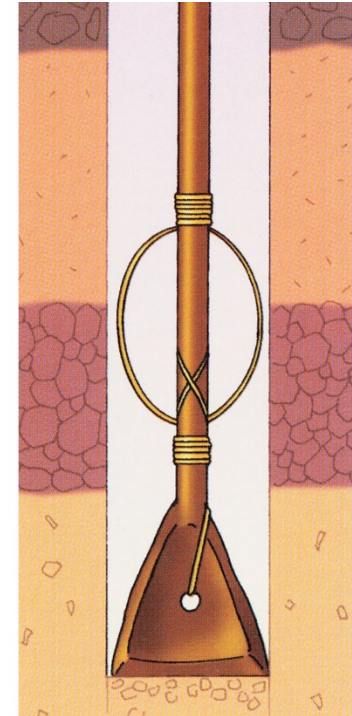
- Vrednost podataka koji se dobijaju istražnim bušenjem je, pre svega, u njihovoj brojnosti. Inače, njihova pouzdanost je manja nego pouzdanost podataka dobijenih u **istražnim iskopima**, a **veća nego npr. pouzdanost podataka geofizičkih ispitivanja**.

Kratak istorijat istražnog bušenja

Istražno bušenje, kao metoda istraživanja terena, ima dugu tradiciju. Prvi podaci o primeni bušenja datiraju još od **starih Egipćana**. Međutim, bušenje kao postupak za izradu predmeta od kamena primenjivano je i ranije, još u paleolitu odnosno, 25.000 - 15.000 g. p.n.e, o čemu svedoči otkriće kamenog svrdla u Francuskoj.

Godine 374 p.n.e. u Kini su izvođene naftne bušotine, preko 200 m dubine, korišćenjem bambusovih štapova.

Prvi bunar za eksploataciju soli izveden je u kineskoj provinciji Sečuan pre oko 2.250 godina, pri čemu su korišćeni razni alati sačinjeni od bambusa i gvožđa.



<https://csegrecorder.com/articles/view/ancient-chinese-drilling>

Kratak istorijat istražnog bušenja

<https://csegrecorder.com/articles/view/ancient-chinese-drilling>



Kratak istorijat istražnog bušenja

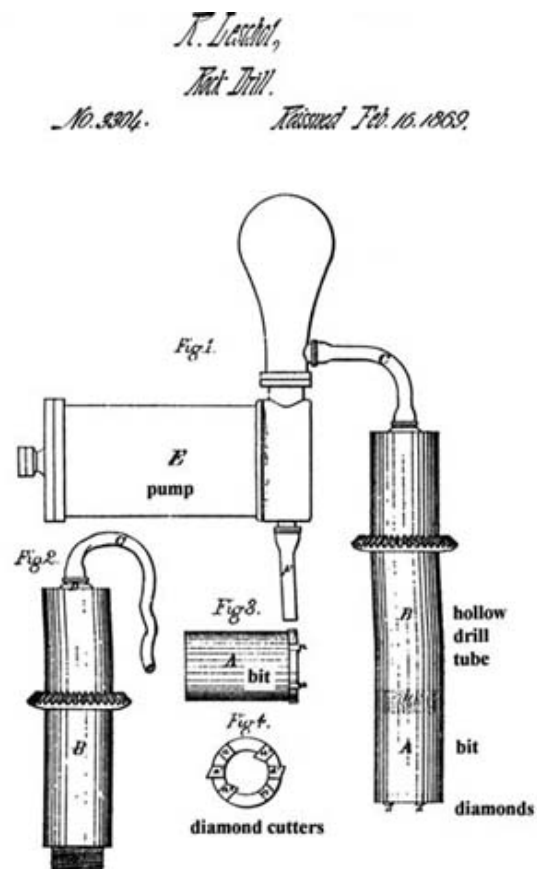
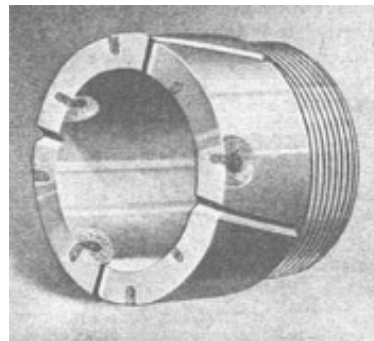
Prvi savremeni podaci o bušenju u eksploatacione svrhe vezani su za XII vek kada je u Francuskoj izbušen **prvi bunar za vodu**.

Nagli razvoj bušenja, kao metode za istraživanje terena, vezan je za XVII vek i kasnije. Maksimalna dubina bušotine iz ovog perioda iznosila je 648,5 m. Bušenja su najčešće izvođena u cilju istraživanja kamene soli, uglja i vode.

Početak XVIII veka (1714) u Lajpcigu publikovan je opis teškog rotacionog bušenja (Lemau), a 1763 g. izašla je knjiga M.V. Lomonosova "Prve osnove metodologije rudarskih radova", u kojoj se daje prikaz tehnologije bušenja.

Do prave ekspanzije bušenja, primenom tehničkih inovacija, došlo je u drugoj polovini XIX veka:

- u Rusiji primenjeno je, po prvi put, oblaganje bušotina **obložnim kolonama**, **ispiranje bušotina** i **bušenje sa jezgrovanjem**.
- Švajcarac Lešo (Leschot) napravio je **dijamantsku krunu** 1863. godine,

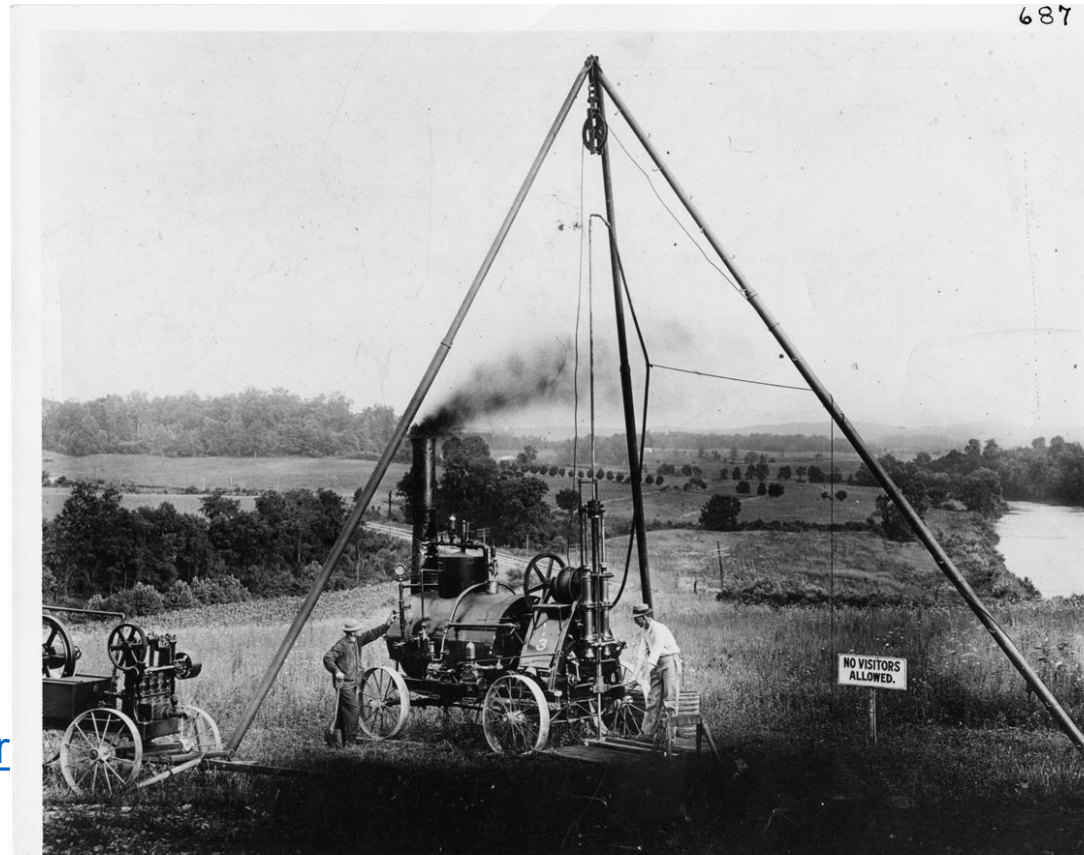


<http://www.petroleumhistory.org/OilHistory/pages/Diamond/inventor.html>

Kratak istorijat istražnog bušenja

- u Americi (M. Blok) konstruisao je prvu **parnu garnituru za bušenje**,
- Krelus (Crealus) konstruisao je **prototip današnjih garnitura**,
- Patentiran je rotacioni **sto na bušačoj garnituri**,
- V.K. Zglenicki konstruisao je pribor za merenje **otklona (devijacije) bušotine**,
- bušenje na moru i okeanu,
- u Teksasu izvedena je **prva bušotina za naftu**,
- pronađen je **dizel motor**,
- u Šleziji, za istraživanje kamenog uglja, izvedena je bušotina dubine 2.240 m,
- 1912 g. pronađena je skretnica i izvedena dirigovana bušotina,
- 1923 g. korišćen je barit za otežavanje isplake,
- 1970-ih se umesto pravih počinju koristiti **sintetički dijamanti** za pravljenje kruna.

<https://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge441/Types-of-Drilling-Rigs.pdf>



Kratak istorijat istražnog bušenja

Trka u obaranju rekorda dubine bušenja nastupila je posle II svetskog rata. Trenutno se najdublja bušotina (najdublja tačka na zemlji) nalazi u Rusiji (poluostrvo Kola). Njeno izvodjenje je počelo 1970. godine, a završeno je 1989. na dubini od 12.262 m. Prečnik bušotine je 23 cm.

2011. godine je za 60 dana u Rusiji postupkom usmerenog bušenja (ostrvo Sakhalin) izvedenja bušotina dužine 12.345 m. Horizontalni deo bušotine iznosio je 11.475 m. Najduža bušotina na svetu izvedena je 2012. godine (Z-44 Chayvo well, Rusija) postupkom direkcionog bušenja. Dužina ove bušotine je 12.376 m.



https://en.wikipedia.org/wiki/Kola_Superdeep_Borehole

Kratak istorijat istražnog bušenja

Naftna platforma Sakhalin 2, jedna od najvećih naftno/gasnih platformi na svetu. Napravljena da trpi niske temperature (-45°C , subjektivno -70°C), zemljotrese (preko 7 stepeni Rihterove skale). Povezana je sa cevovodom dugim 300 km zbog nemogućnosti prilaska tankera. Može da izdrži udar Cunamija 18 m visine.

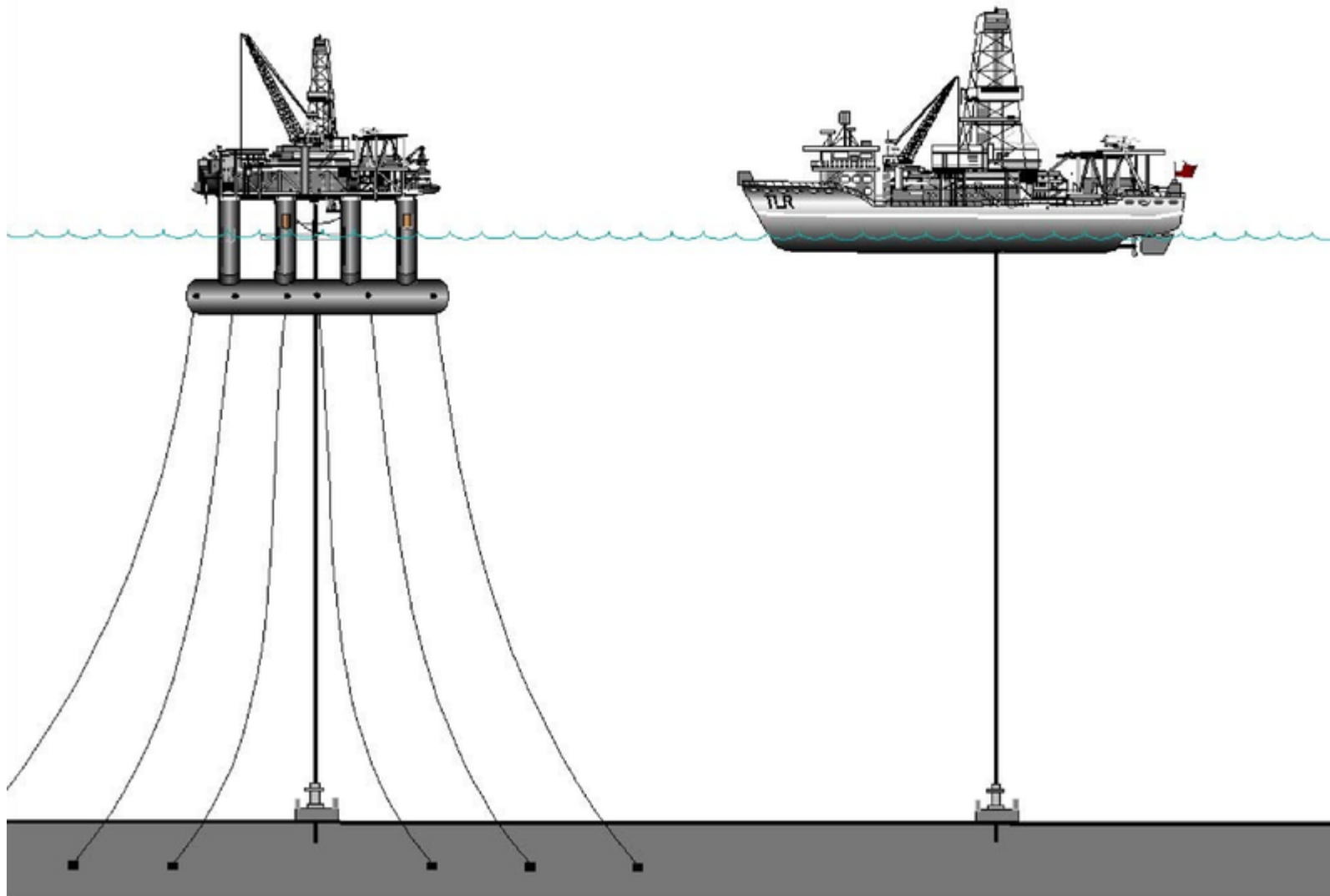


<https://www.shell.com/about-us/major-projects/sakhalin/sakhalin-one-of-the-worlds-largest-integrated-oil-and-gas-pro.html>

Kratak istorijat istražnog bušenja

Polu-potopljena (plutajuća platforma)

Istraživanje sa broda



https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore_geotechnical_engineering#/media/File:Deepwater_drilling_systems_2.png

Kratak istorijat istražnog bušenja

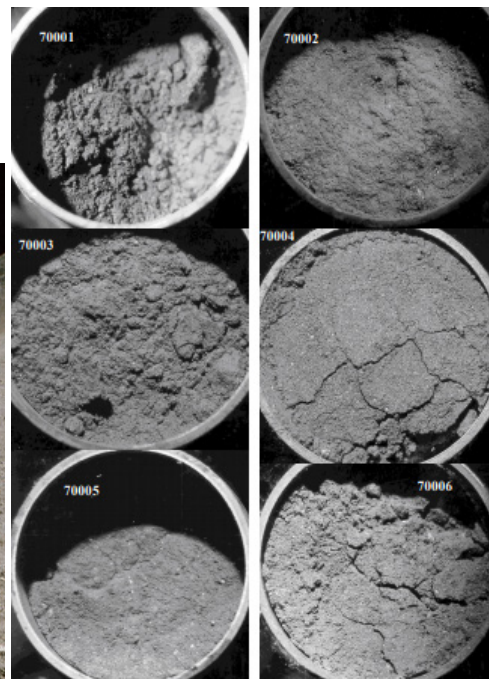
Kulminacija u primeni raznih tehničkih inovacija, vezanih za bušenje, dostignuta je 70-ih godina prošlog veka. Naime, 1969 g. kosmonauti sa vasijskog broda "Apolo" izveli su ručno bušenje na Mesecu, a 1970 g. sa vasijskog broda "Luna" izvedeno je automatsko bušenje.

U našoj zemlji, ozbiljniji razvoj istražnog i eksploatacionog bušenja vezan je za strane kompanije. Posle II svetskog rata, zabeležena su intenzivnija bušenja u Srbiji. Bušotine za naftu na području Vojvodine danas dosežu dubinu i do 4.000 m.

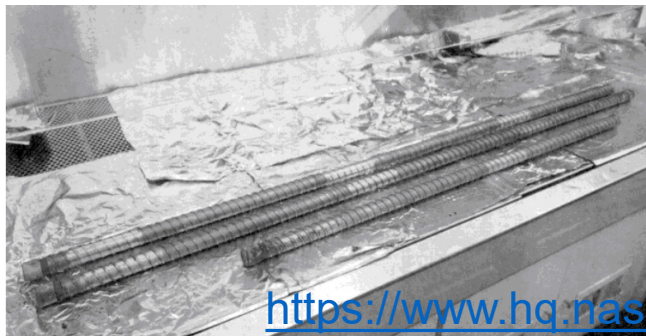
Svakodnevno se izvode plitke istražne bušotine u geotehničke svrhe, a za potrebe izgradnje raznovrsnih objekata.

Za izvođenje istražnog bušenja, u geotehničke svrhe, postoji više specijalizovanih radnih organizacija od kojih su najpoznatije „Geološki zavod“, „Institut za puteve“, „CIP“, „IMS“, „Energoprojekt“, „Geomehanika“, „Geoput“, „Zajača“,

a, u novije vreme sve je više i manjih privatnih firmi koje se bave ovim poslom.



<https://www.hq.nasa.gov/alsj/a17/A17DeepCore.pdf>



Kratak istorijat istražnog bušenja

Svrkla, korpe za čišćenje dna bušotine, bušenje jezgrenim cevima, garnitura za ankerisanje



<http://novkol.co.rs/hidraulicne-busece-garniture/>



<http://www.sicip.co.rs/sr/delatnost/geotehnickiIstrazniRadovi/terenskiIstrazivanja.html>



http://www.geosonda.org/srpski/busaca_garnitura.html#



Istražno bušenje i pojam istražne bušotine

Istražna bušotina predstavlja istražni rad izveden u zemljinoj kori, cilindričnog oblika sa karakteristično malim prečnikom u odnosu na dubinu.

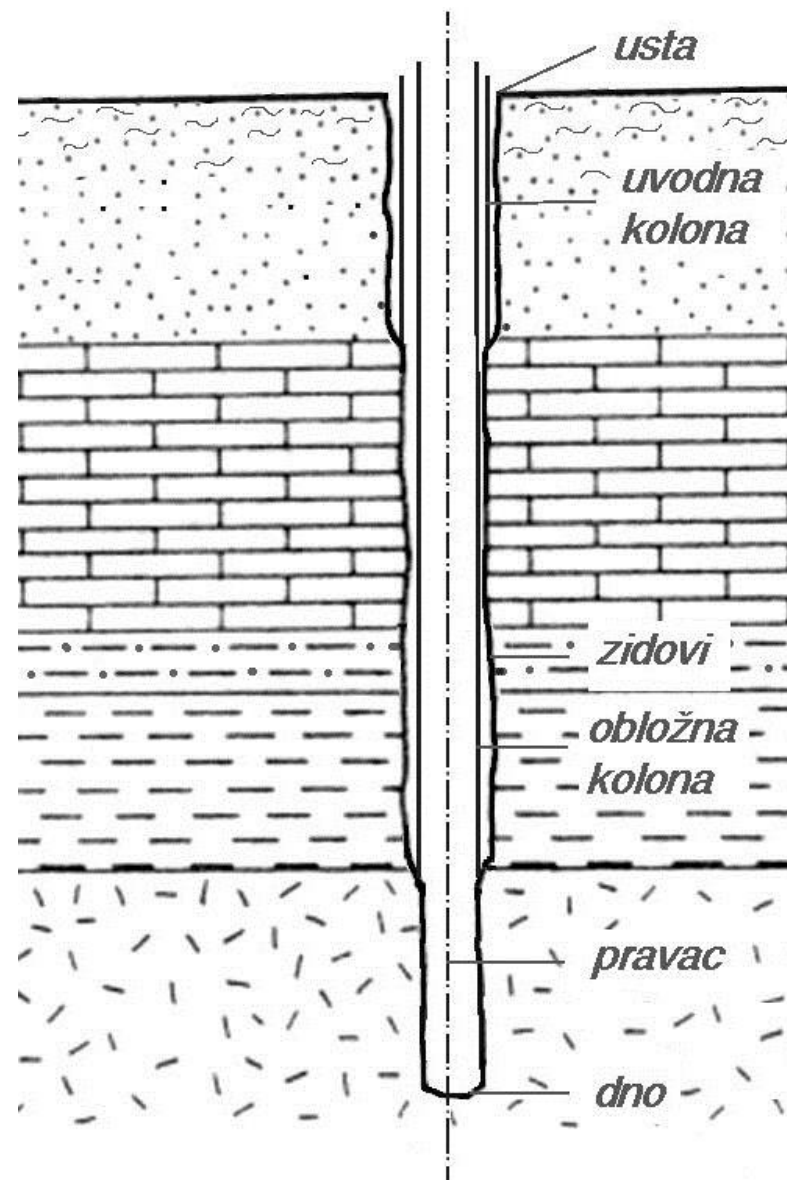
Osnovni elementi istražne bušotine, prikazani na slici su:

Usta - mesto na površini terena odakle počinje bušotina. Ona mogu biti osigurana sa uvodnom ili obložnom kolonom;

Dno (ort) - deo bušotine gde se uz pomoć dleta ili krune razara stena. Dno je promenljivog položaja u toku bušenja, a po završetku bušenja predstavlja najudaljeniju tačku od usta bušotine.

Zidovi - predstavljaju bočne površine bušotine cilindričnog oblika. Mogu biti stabilni ili nestabilni kada je neophodno njihova zaštita obložnim kolonama.

Prečnik - predstavlja rastojanje između zidova bušotine odnosno, prečnik cilindra. Zavisi od prečnika bušaćeg pribora, stabilnosti zidova i poroznosti stenske mase. Može biti stalan ili promenljiv.



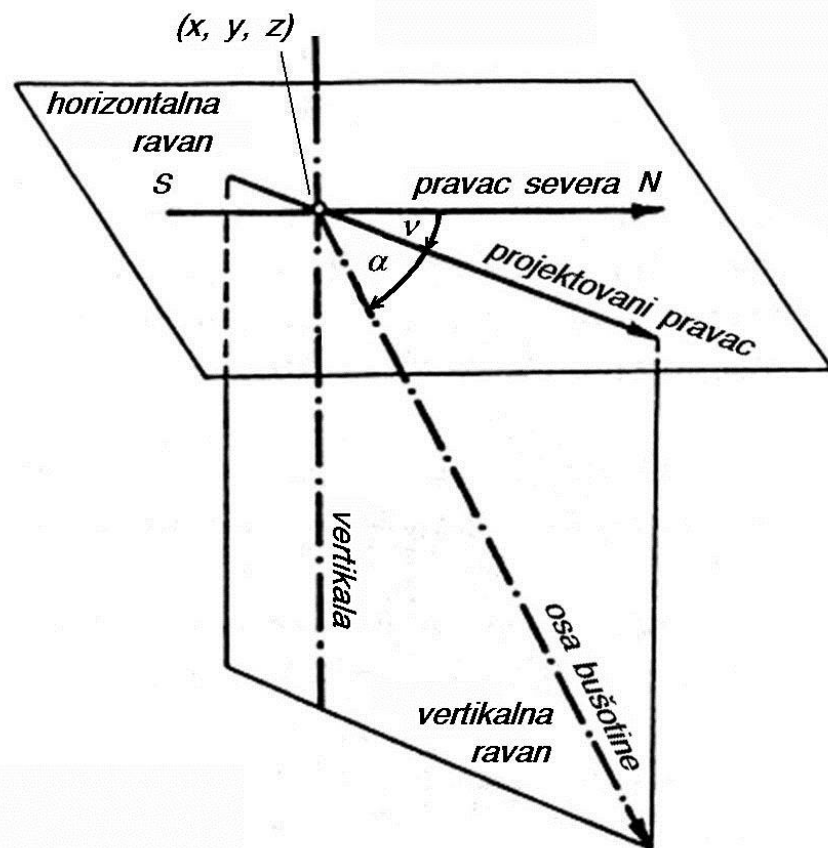
Istražno bušenje i pojam istražne bušotine

Dubina - podrazumeva rastojanje između usta i dna bušotine. Možemo razlikovati pravu i prividnu dubinu a takođe možemo govoriti o trenutnoj ili završnoj dubini. Za uobičajene geotehničke potrebe dubine bušotina su najčešće od 10 - 50 m, dok kod hidrotehničkih objekata i tunela dubine se kreću od 100 - 300 m, retko i dublje.

Uvodna kolona - je tankozidna čelična cev određenog prečnika i dužine od nekoliko metara. Ugrađuje se radi zaštite usta bušotine od zarušavanja, a takođe i radi obezbeđenja vertikalnosti bušenja. Kod plitkih bušotina (do 20-ak m) retko se ugrađuje.

Obložne kolone - su tankozidne čelične cevi određenih prečnika koje se koriste u toku bušenja radi stabilizacije zidova bušotine ili izolacije određenih slojeva ili zona (vodonosnih ili kaveroznih).

Prostorni položaj i orijentacija - **definišu se koordinatama (x, y i z), azimutom i padnim uglom**, slika. One mogu biti vertikalne, horizontalne i kose na dole ili na gore.



Istražno bušenje i pojam istražne bušotine

Iz napred iznetog proizilazi da je istražno bušenje skup više radnji i operacija koje se izvode u cilju izrade bušotine. Najčešće ono podrazumeva:

- pripremu i organizaciju radilišta,
- rad dleta ili krune sa dodatnim operacijama,
- pripremu isplake za bušenje i njenu kontrolu u toku bušenja,
- ugradnju uvodnih i obložnih kolona,
- tamponiranje i cementaciju pojedinih zona u bušotini,
- konzervaciju i likvidaciju bušotine i sl.

Postupak bušenja stenskih masa može se razmatrati sa više aspekata:

- pogonske snage,
- principa bušenja (rad bušačkog pribora),
- načina iznošenja izbušenog materijala,
- pravca bušenja i mesta bušenja,
- prečnika i dubine bušenja, i sl.

U zavisnosti od sredstava rada, načina izvođenja, namene i mesta bušenja, izrada jedne bušotine razlikuje se od druge. U narednoj tabeli, data je klasifikacija bušotina, u zavisnosti od načina izrade, mesta izvođenja i konstruktivnih karakteristika bušotina.

Istražno bušenje i pojam istražne bušotine

Tabela 1. Klasifikacija bušotina prema načinu izrade i konstruktivnim karakteristikama

Pogon bušaće garniture	ručni, mašinski
Rad bušaćeg pribora	rotacioni, udarni, kombinovani
Način čišćenja dna bušotine	isplakom, komprimovanim vazduhom, ventil kašikom
Način ispiranja, izduvavanja	direktan, indirektan, aerlift
Način vađenja jezgra	jezgrenom cevima, pistonima, bez jezgrovanja
Mesto bušenja	površina zemlje, površina vode ili iz podzemlja
Pravac bušenja	vertikalan, kos ili horizontalan
Prečnik bušenja	mali do 146 mm, srednji 146 - 400 mm, veliki preko 400 mm
Dubina bušotine	plitke do 300 m, srednje 300 - 1000 m, duboke preko 1000 m
Namena bušotine	istražna, eksploataciona, tehnička

Ugradnja
inklinometra u
bušotinu



Istražno bušenje i pojam istražne bušotine

Istražni rov



Garnitura za bušenje



Istražna jama



Jezgro u sanducima

Istražno bušenje i pojam istražne bušotine



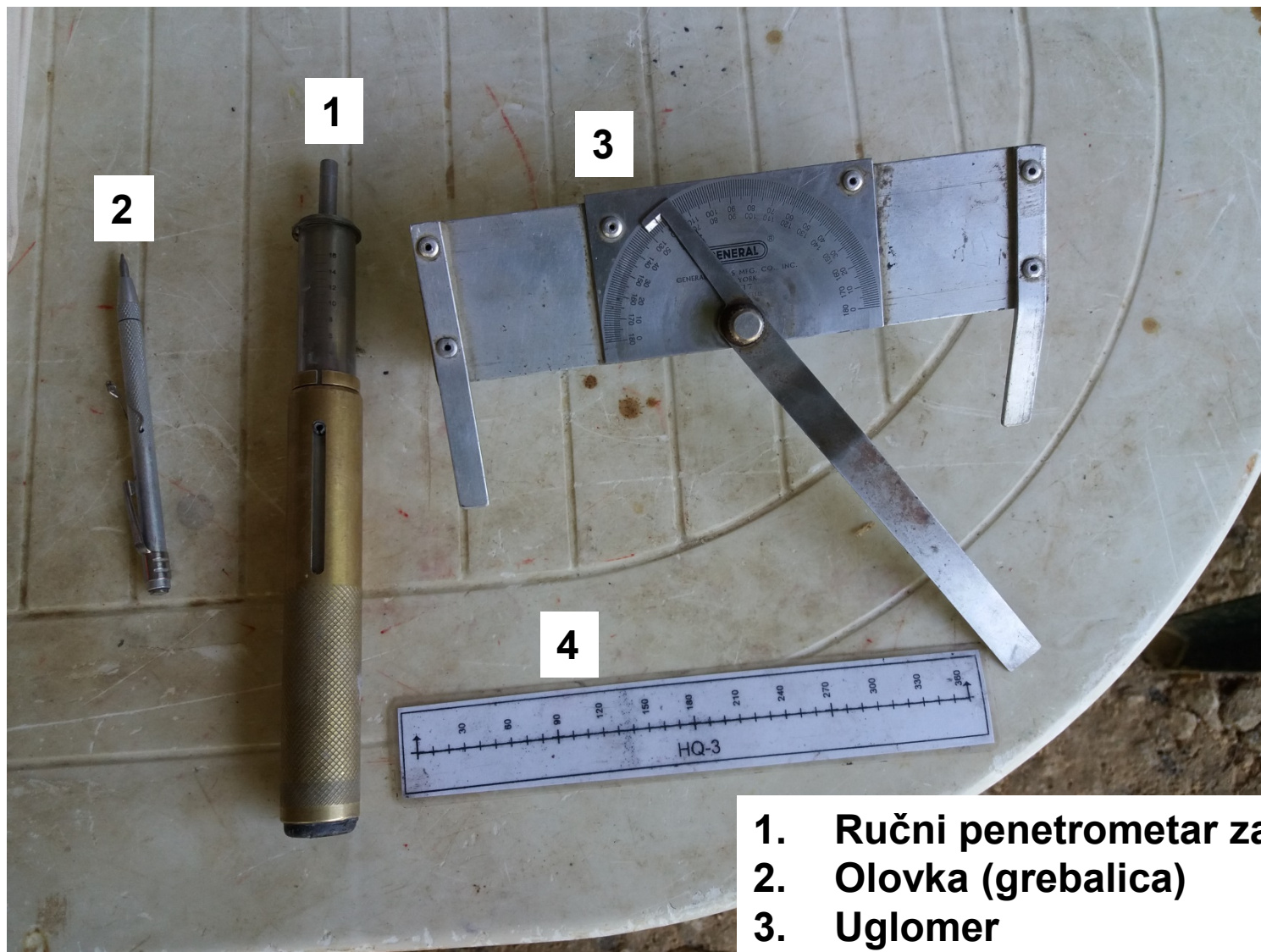
Hangar za skladištenje jezgra iz istražnog bušenja (core shed)

Istražno bušenje i pojam istražne bušotine



Uzorci pripremljeni za ispitivanje

Istražno bušenje i pojam istražne bušotine



1. Ručni penetrometar za tlo
2. Olovka (grebalica)
3. Uglomer
4. Traka za merenje relativnog ugla između pukotina

Istražno bušenje i pojam istražne bušotine



1. Šmitov čekić
2. Razmernik
3. Iglasti penetrometar
4. Profili hrapavosti
5. Bartonov češalj
6. Kompas
7. Bočica sa HCl
8. Uglomer

Istražno bušenje i pojam istražne bušotine



Zaštita na radu na gradilištu

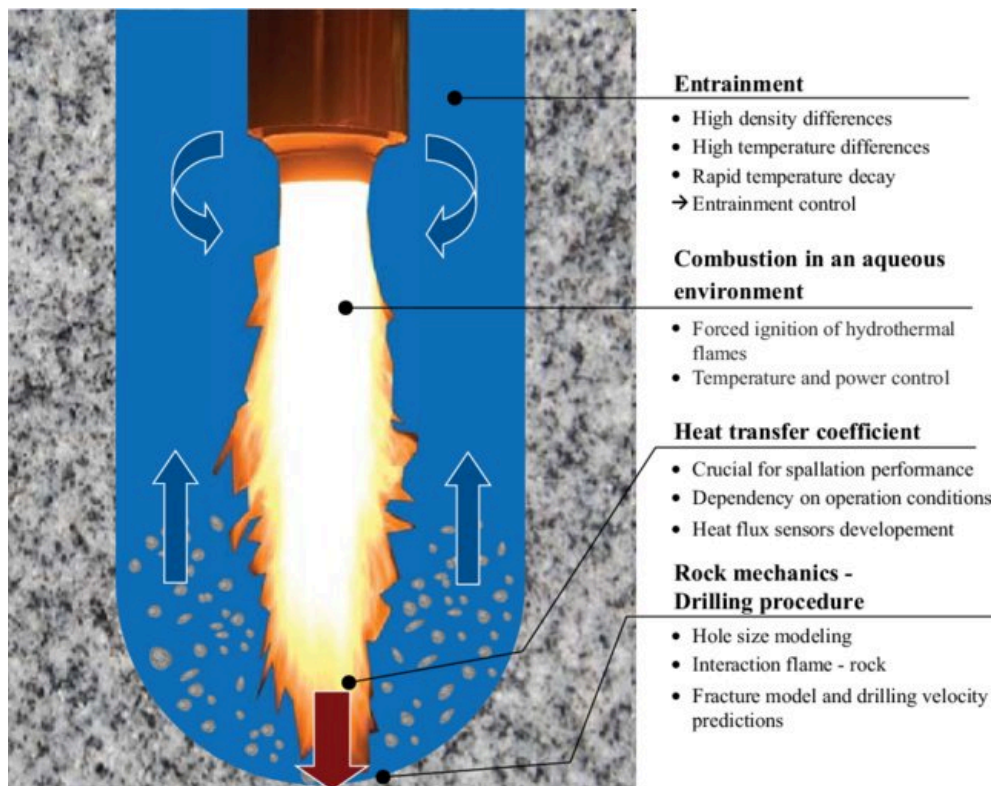
Istražno bušenje i pojam istražne bušotine



Totalna šteta na bušaćoj garnituri

Nove tehnologije

Hidrotermalno razdvajanje



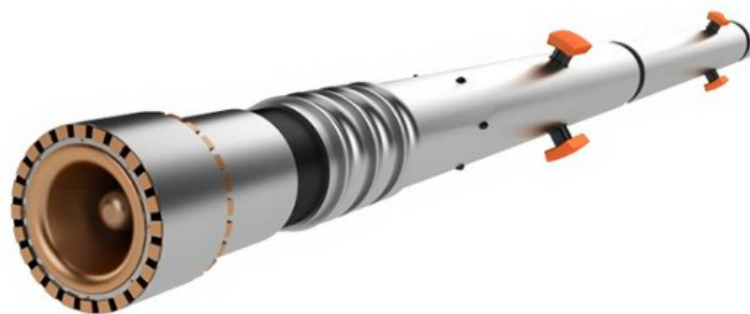
https://www.researchgate.net/publication/322952143_Hydrothermal_spallation_drilling_experiments_in_a_novel_high_pressure_pilot_plant/figure

S

Elektro plazma



https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_deep_drilling_technology#/media/File:Drilling_using_electrical_plasma.jpg



<https://pdfs.semanticscholar.org/1d8d/6ec9e7bc7ce14f3ff30f1f2bf60cf06af911.pdf>

Nove tehnologije

Bušenje primenom lasera



<https://www.youtube.com/watch?v=ikpylMcK0PM>

Topljenje stene na visokim temperaturama



<https://www.australianmining.com.au/news/new-drilling-technology-melts-rock-researched/>

Karakter bušača



Karakter bušača



Karakter bušača

