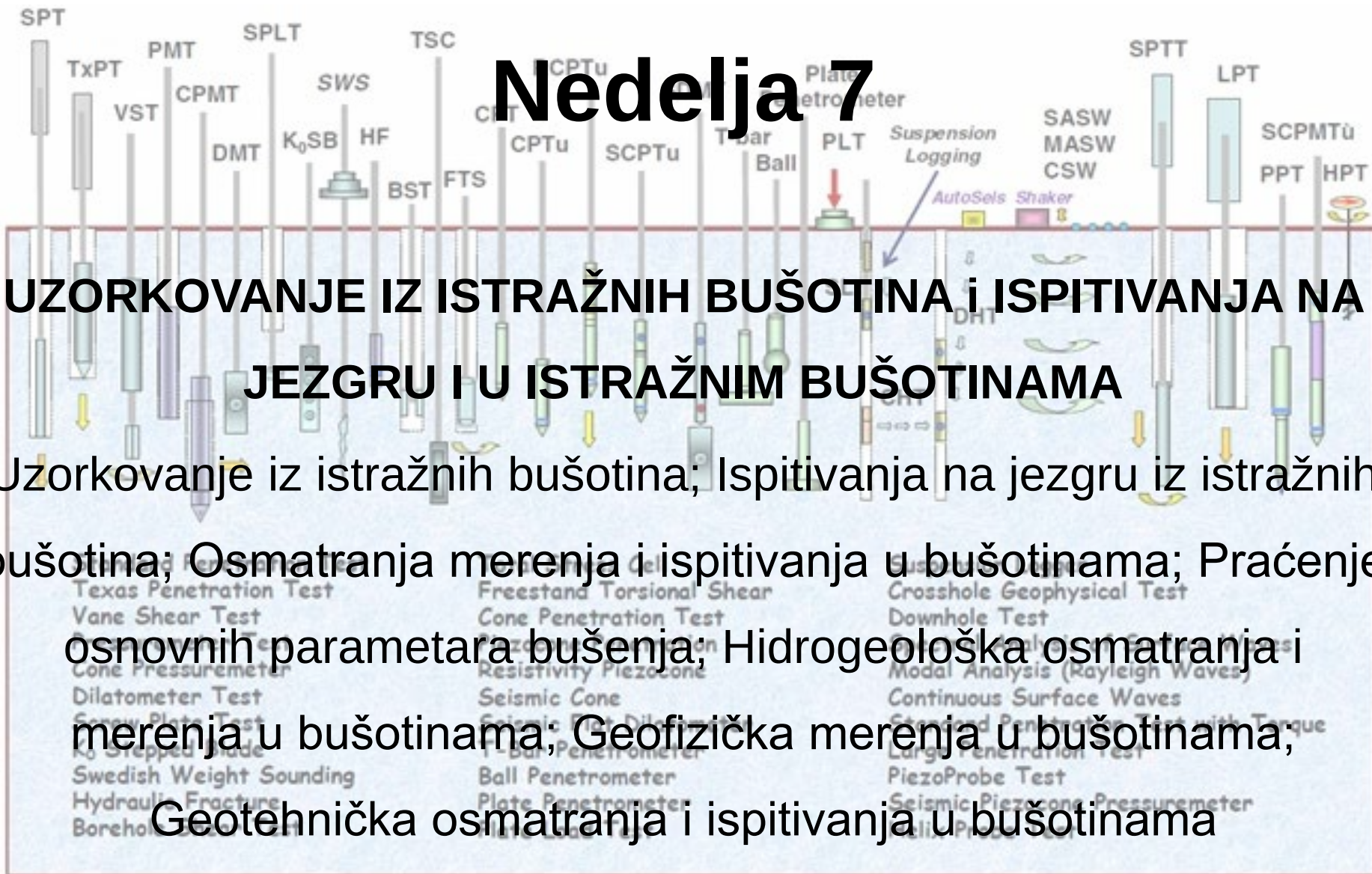


Nedelja 7

UZORKOVANJE IZ ISTRAŽNIH BUŠOTINA I ISPITIVANJA NA JEZGRU I U ISTRAŽNIM BUŠOTINAMA

Uzorkovanje iz istraţnih bušotina; Ispitivanja na jezgru iz istraţnih 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



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. KRIVLJENJE BUŠOTINE (DEVIJACIJA) I USMERENO BUŠENJE - Uzroci krivljena bušotine; Merenje iskrivljenosti bušotine; Devijacija 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 sandom, DMT, SPT, CPT, opit pločom)

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

8. UZORKOVANJE IZ ISTRAŽNIH BUŠOTINA

U toku bušenja iz bušotina se vadi jezgro, monolitni komadi ili se iz isplake izdvajaju usitnjeni, bušenjem razoreni delići stene. Svo izvađeno jezgro slaže se u drvene ili plastične sanduke, dimenzija 1 x 1 m, podeljene na unutrašnje segmente, na kojima su vidno obeležene oznake bušotina, dubine i intervali manevara bušenja. Sanduci sa jezgrom se fotografišu, a fotografije predstavljaju sastavni deo tehničke dokumentacije bušotine, sl. 99.



Slika 99. Fotografija jezgra složenog u drvene sanduke

Pre svega, u zavisnosti od načina bušenja i fizičko-mehaničkih svojstava stenskih masa u kojima se bušenje izvodi, jezgro može biti neporemećeno ili poremećeno u manjoj ili većoj meri.

Neporemećeno jezgro dobija se bušenjem rotacionom ili kombinovanom metodom sa jednostrukim u tvrdim ili duplim jezgrenim cevima u mekšim stenama.

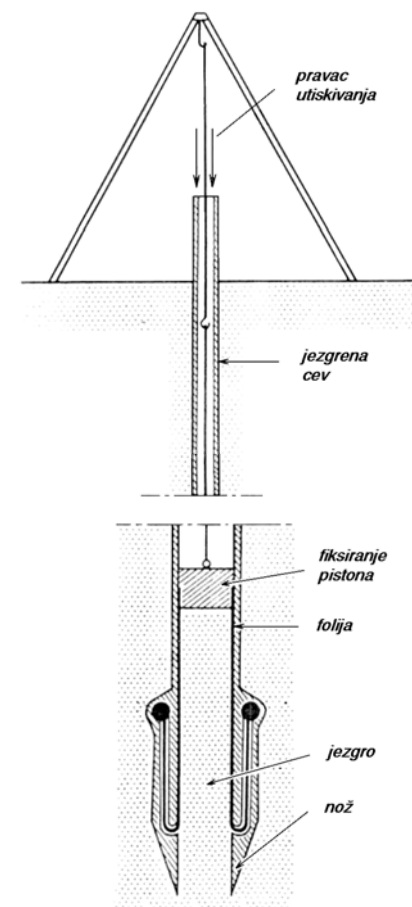
Poremećeno jezgro predstavlja “sempla” odnosno, usitnjeni delići stene istaloženi iz isplake ili oboreni iz vazduha. Takođe, rotacionim bušenjem sa spiralnim dletom dobija se poremećeno jezgro. Pri udarnom bušenju, uz pomoć ventil kašika i bućkalica vadi se mulj, pesak ili pulpa, koji takođe predstavljaju poremećeno jezgro. Dubine, sa kojih je sempla, sračunavaju se na osnovu brzine cirkulacije isplake ili vazduha, a eventualne korekcije se izvode na bazi povremenih merenja dubine bušotine.

Jezgro koje se dobija pri bušenju u mekšim stenama, tlu, po pravilu je deformisano usled rotacije. Zato se, za uzimanje neporemećenih uzoraka koristi “piston” odnosno, specijalno konstruisan pribor, sl. 100.

Postoje različita konstruktivna rešenja pistona koji se koriste za uzimanje neporemećenih uzoraka. Međutim, kod svih pistona postoji nož na vrhu, telo pistona i na kraju prelazna spojnica za bušaću šipku. Nož je konusno zaoštren, radi lakšeg usecanja pri utiskivanju u tlo. Prečnik spoljnih ivica konusa je veći, a unutrašnji prečnik je manji, od prečnika tela pistona. Na taj način, nakon usecanja noža, smanjeno je trenje jezgra o telo pistona. Telo pistona izrađuje se od čeličnih, tankozidnih, bešavnih cevi. Sa unutrašnje strane narezuju se navoji za navrtanje noža i prelaznice na bušaću šipku. U telo pistona se umeću plastične cevi ili folije, koje omogućavaju olakšano vađenje jezgra iz pistona, zaštitu od gubljenja vlage i sigurniji transport do laboratorije.

Postupak uzimanja uzoraka iz bušotine sa željene dubine je sledeći: piston se navrće na bušaću šipku i spušta se na dno bušotine. Osovinskim pritiskom, koji se prenosi preko bušaćih šipki, vrši se utiskivanje pistona u tlo. Nakon utiskivanja do zadate dubine vrši se vađenje pistona. Odvrtanjem noža iz tela pistona vadi se plastična cev ili folija sa jezgrom.

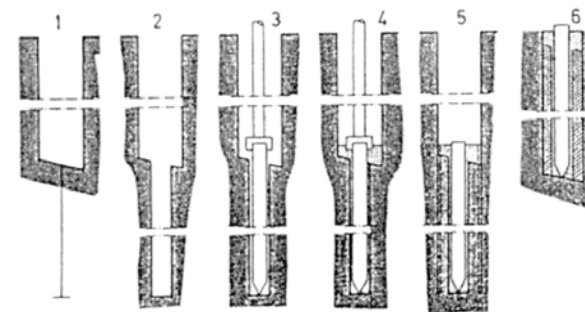
Na jezgru iz istražnih bušotina, zbog njegove rotacije u toku bušenja i vađenja iz jezgrenih cevi, mogu se analizirati samo relativni odnosi između pojedinih elementa strukturnog sklopa. Ako je poznata orijentacija nekog lako uočljivog elementa sklopa, primera



Slika 100. Konstrukcija pistona

radi slojevitosti, škriljavosti, foliacije i sl, onda je na bazi relativnih odnosa moguće orijentisati ostale elemente sklopa. To je često nepouzđano, pa se pribegava vađenju orijentisanog jezgra.

Za orijentaciju jezgra postoji više postupaka, koji se zasnivaju na sličnom principu, a jedan način, prikazan je na sl. 101, predložio je *Rocha /28/*. Po ovom postupku, integralno orijentisano jezgro vadi se na sledeći način; Sa željene dubine odnosno, dna postojeće bušotine izvodi se nova uža **koaksijalna bušotina**, koja se ispunjava retkom cementnom masom ili **epoksidalnom smolom**. U nju se potom utiskuje **klin**, prethodno **orijentisan** uz pomoć magnetne igle, a orijentaciju je moguće izvršiti i nakon njegovog utiskivanja u bušotinu. Pri utiskivanju klina viškom cementne mase ili smole popunjavaju se okolne pukotine i šupljine. Nakon otvrdnjavanja cementne mase ili smole nastavlja se normalno **bušenje jezgrenom cevi**. Po završetku manevra iz jezgrene cevi vadi se jezgro koje u sebi sadrži prethodno orijentisani klin. Klin, pored orijentacije, s obzirom da se radi o integralnom jezgru, omogućava utvrđivanje stvarnih **parametara pojedinačnih ili familija pukotina**; zev, ispunu, hrapavost zidova, učestalost, i sl. Neke od ovih parametara je nemoguće, a neke teško pouzdaniije, utvrditi uobičajenim postupkom jezgrovanja, zbog oštećenja rotiranjem, lomljenjem i ispiranjem jezgra pri bušenju.



Slika 101. Postupak vađenja integralnog orijentisanog jezgra /28/

9. ISPITIVANJA NA JEZGRU I U ISTRAŽNIM BUŠOTINAMA

9.1. Ispitivanja na jezgru istražnih bušotina

U zavisnosti od stepena poremećenosti jezgra zavise i vrste ispitivanja koje je moguće na njima sprovesti. Sva ispitivanja na jezgru grubo se mogu svrstati u dve grupe, **opšta i geotehnička**.

U opšta ispitivanja spadaju:

- mineraloška - radi definisanja mineralnog sastava,
- petrološka i sedimentološka - radi definisanja vrste i uslova nastanka stene,
- paleontološka i stratigrafska - radi definisanja starosti stena, i
- strukturno-tekturna, ukoliko je moguće.

Sva navedena ispitivanja moguće je izvesti i na poremećenom i na neporemećenom jezgru.

Geotehnička ispitivanja na jezgru istražnih bušotina. Radi definisanja geotehničkog profila istražne bušotine izvodi se inženjerskogeološko kartiranje jezgra. Pre kartiranja jezgro se opere vodom ili se po potrebi očisti nožem od isplačnog kolača. Pri kartiranju, pored opštih svojstava konstatuju se i:

- **identifikaciono-klasifikaciona** - opisuje se granulacija, vlažnost, plastičnost, konsistencija i dr.,
- **fizička** - boja, poroznost, oštećenost, ispucalost,
- **alteracije** - pukotinskih zidova i stenske mase,
- **mehanička** - čvrstoća, stišljivost i deformabilnost
- **izdeljenost** i fizičko-mehanička oštećenost.

Neka fizičko-mehanička ispitivanja na jezgru mogu se izvoditi odmah na terenu. Na primer, određivanje zapreminskih težina, granulacija, brzina prostiranja elastičnih longitudinalnih talasa, konsistencije uz pomoć džepnog penetrometra, analize izdeljenosti jezgra, čvrstoće zidova pukotina pomoću Šmitovog čekića, čvrstoće na tačkasto opterećenje, uglovi trenja duž zidova pukotina opitima naginganja, i dr.

Pri inženjerskogeološkom kartiranju jezgra vrši se **odabiranje reprezentativnih uzoraka** za laboratorijska ispitivanja. Nakon odabiranja reprezentativni uzorci propisno se obeležavaju i pakuju, da pri transportu do laboratorije ne bi izgubili vlagu ili bili oštećeni. Na reprezentativnim uzorcima u laboratorijama vrše se kompletna ispitivanja. Ponekad izvode se samo ona ispitivanja koje je znatno teže ili gotovo nemoguće izvesti u terenskim uslovima.

9.2. Osmatranja merenja i ispitivanja u bušotinama

Istražno bušenje koje se izvodi u geotehničke svrhe razlikuje se u velikoj meri od bušenja za neke druge geološke potrebe. Te razlike uslovljene su, pre svega, načinom prikupljanja podataka i vrstama osmatranja i merenja koja se izvode u bušotinama. Naime, **pored uobičajenih geoloških podataka, prikupljaju se i podaci o hidrogeološkim, fizičko-mehaničkim i dr. svojstvima stenskih masa**, kako u toku bušenja, tako i nakon završetka istražne bušotine. **Zbog toga neophodno je vođenje dnevnika** o istražnom bušenju pod rukovodstvom kompetentnog stručnjaka.

U toku bušenja, pored praćenja litološkog profila, vrši se evidentiranje i svih drugih parametara koji mogu na direktan ili indirektan način da posluže za pravilnu interpretaciju i sagledavanje geotehničkih svojstava stenskih masa i inženjerskogeoloških svojstava terena.

9.2.1. Praćenje osnovnih parametara bušenja

Bez obzira na primenjenu tehnologiju, u toku procesa bušenja kontinuirano se prati:

- brzina napredovanja bušačkog pribora,
- propadanje bušačkog pribora,
- količina fluida u sistemu,
- promene svojstava fluida, i
- štopanje, otežana rotacija bušačkog pribora.

Praćenje brzine bušenja od velikog značaja je pri izdvajanju kompaktnijih ili ispucalijih, mekših ili tvrdih zona stenskih masa. Brže napredovanje, u istoj sredini, ukazuje na ispucaliye intervale ili na litološku promenu i ulazak u mekše stene za bušenje. Obrnuto, sporije napredovanje pribora za bušenje, u istoj sredini, ukazuje na kompaktnije intervale, pojave tvrdih žica ili ulazak u stene tvrđe za bušenje. Evidentiranjem intervala sa bržim i sporijim bušenjem, uz poređenja sa drugim zapažanjima i merenjima, može u velikoj meri, da olakša izdvajanja zona; intezivnijih cirkulacija podzemnih voda, jače karstifikacije, ispucalijih i fizičko-mehanički oštećenijih stena.

U ispucaliye stenske mase ili u zone boljih filtracionih karakteristika u toku bušenja infiltrira se određena količina vode ili isplake. **Količine i intervali u kojima se gubi voda** ili isplaka evidentiraju se u dnevniku bušenja. Registrovanje gubitka vode ili isplake veoma je prosto. Pre početka bušenja, u bazen određene zapremine ubacuje se isplaka. Zatim se u bazen postavlja merna letva za registrovanje tačnog nivoa isplake. Praćenjem nivoa isplake, u određenim vremenskim razmacima, lako se registruje nivo odnosno, utvrđuje zapremina izgubljene tečnosti.

Gubljenje vode ili isplake veoma je česta, skoro redovna pojava, u toku bušenja kroz karstifikovane krečnjake ili rasedne zone. To stvara poprilične poteškoće jer znatno poskupljuje proces bušenja, zbog preduzimanja dodatnih mera u cilju sprečavanja intenzivnog gubljenja isplake. U cilju smanjenja gubljenja vode ili isplake primenjuje se tamponiranje, cementacija ili oblaganje bušotine.

U izvesnim slučajevima, dešava se i **povećanje količine tečnosti** u cirkulacionom sistemu. To se uglavnom dešava pri bušenju kroz vodonosne horizonte sa arteskim pritiskom koji omogućava samoizliv odnosno, povećanje količine vode za bušenje ili razređivanje isplake. Ukoliko se radi o hidrotermalnim vodama, razređenje isplake praćeno je povišenim temperaturama i pojavama gasnih mehurića. Ukoliko su zidovi bušotina održavaju stabilnim, nema većih poteškoća u toku bušenja. U suprotnom, ako dolazi do zarušavanja zidova bušotina, kao pri bušenju kroz peskovite i šljunkovite sedimente sa podzemnom vodom pod pritiskom, moraju se preduzeti određene tehnološke mere. Najčešće se koriste teške isplake, izvodi se tamponiranje ili oblaganje bušotine.

Pri bušenju u karstifikovanim sredinama ili pri nailasku na veće rasedne zone, vrlo često dolazi do naglog propadanja bušačkog pribora. Po pravilu, **propadanje bušačkog pribora** kroz šupljine različitih dimenzija praćeno je naglim gubljenjem fluida za bušenje. Ako se pri bušenju koristi isplaka onda postoji mogućnost zaglinjenja šireg prostora i tada se radi nastavka bušenja preduzimaju mere zacevljenja. Evidentiranje ovih intervala veoma je važno radi pravilne interpretacije rezultata bušenja.

Ako su **karstne šupljine i pukotine ispunjene glinovitom ispunom**, takvi intervali u toku bušenja lako se uočavaju na osnovu promena brzine bušenja i svojstva fluida za bušenje. Bušenje, kroz glinom zapunjene kaverne je lakše i brže, bez gubitka vode ili isplake. Voda ili

isplaka, umesto beličasto sive, dobija karakterističnu žuto crvenkastu boju, a pri tom joj se povećava i gustina.

U toku bušenja, kroz određene intervale, često se zapaža otežana rotacija odnosno, dolazi do štopanja bušačkog pribora. Do **štopanja bušačkog pribora** dolazi pri bušenju kroz intervale stena sklonih bubrenju ili kroz stene kojima su zidovi bušotina nestabilni. Takođe, otežana rotacija pribora može nastupiti i u slučaju nastanka velikog zakrivljenja odnosno, devijacije bušotine.

9.2.2. Hidrogeološka osmatranja i merenja u bušotinama

Neka od najvažnijih hidrogeoloških osmatranja u toku bušenja, izvode se **u cilju registrovanja pojava i nivoa podzemnih voda**. S obzirom da se istražno bušenje izvodi u veoma raznovrsnim hidrogeološkim uslovima, različiti su i simptomi na osnovu kojih se mogu konstatovati pojave i nivoi podzemnih voda.

Pojave podzemnih voda, pri bušenju u stenama sa izdanima sa slobodnim nivoom, utvrđuju se **na osnovu razblaživanja isplake i promene njenih fizičkih svojstava**. Ako se buši sa čistom vodom, nivo izdani meri se po prekidu bušenja, kada se ustaljuje na određenoj dubini. Nakon dva do tri uzastopna merenja, ukoliko se izmere iste dubine nivoa, one se mogu smatrati stvarnim. Obično se **merenja nivoa vode vrše na početku svake smene**, a obavezno posle dužih pauza i prekida u bušenju.

Na pojavu podzemne vode, u toku bušenja, mogu ukazati **promene temperature i pH vrednosti fluida za bušenje**, naročito ako se radi o termalnim vodama. Uz merenje temperature, obično se vrši i praćenje **pojava gasova** i mineralizacije vode za bušenje.

Promena odnosno, porast mineralizacije vode za bušenje ukazuje na moguće **rastvaranje soli** iz stena u procesu bušenja, ili pak, na prisustvo mineralizovanih podzemnih voda. Pojave gasova u toku bušenja manifestuju se u vidu mehurića na ustima bušotine i u isplaci. Ponekad, pojava gasova je iznenadna, u vidu erupcije. Da bi se izbegle štetne posledice, pri bušenju u potencijalno gasonosnim geološkim formacijama, moraju se unapred preduzeti odgovarajuće zaštitne mere.

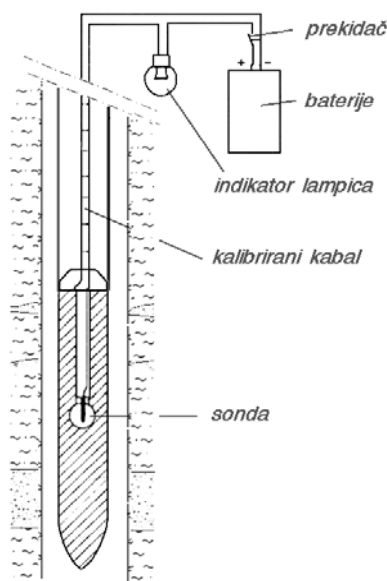
Pri bušenju sa komprimovanim vazduhom, kao radnim fluidom, praćenje pojava i nivoa podzemnih voda znatno je olakšano. **Bušenje ispod nivoa podzemnih voda manifestuje se naglim porastom opterećenja na kompresoru i pojavom smeše vode i vazduha na površini terena.** Po prestanku bušenja, vrlo brzo se uspostavlja statičko stanje. Meri se ustaljeni nivo u bušotini ili količina vode usled samoizlivanja, ukoliko se radi od arteskim izdanima.

Pri bušenju **kroz arteske izdani**, u trenutku ulaska bušačkog pribora u vodonosnu sredinu, **dolazi do podizanja nivoa izdani i samoizliva.** Količina fluida za bušenje u sistemu za cirkulaciju se povećava, tako da se merenjem može utvrditi veličina samoizliva. Takođe, u terenskim uslovima, merenjima se može odrediti hidrostatički pritisak vodonosnog horizonta. Najjednostavnije je **merenja izvesti uz pomoć manometra**, koji se postavlja na glavu bušotine. Ukoliko to nije izvodljivo, zbog nedostatka manometra ili nemogućnosti njegovog navrtanja, nivo izdani može se utvrditi i daleko prostije. Merenjem veličine samoizliva, na dvema različitim visinama od površine terena, može se **sračunati statički nivo izdani** po relaciji *A.I. Korotkova*:

$$H = \frac{Q_2 \cdot (h_2 - h_1)}{Q_2 - Q_1}$$

gde je:

H - visina hidrostatskog pritiska, u (m),
 Q_1 i Q_2 - izdašnost samoizliva na visinama h_1 i h_2 , ($h_1 < h_2$)



Slika 102. Šema sonde za merenje nivoa vode na električnom principu

Registrowanje nivoa vode u bušotinama izvodi se pomoću raznih tipova merača, od električnih, zvučnih do mehaničkih. Električni merači nivoa vode konstruisani su na principu uspostavljanja strujnog kola pri zaronjavanju sonde u vodu, sl. 102. U tom trenutku zasvetli kontrolna lampica ili se uključi zvučni signal. Na izbaždarenom kablju ili preko digitalnog brojila, kod savremenih merača, očitava se dubina do nivoa vode.

Za pliće nivoe izdani do 100-ak m, pored električnih, često se upotrebljavaju merači sa pištaljkom na čeličnoj pantljici ili izbaždarenom užetu. Pri zaronjavanju u vodu čuje se zvuk pištaljke i u tom trenutku sa pantljike ili izbaždarenog užeta čita se dubina do nivoa vode.

Tokom istražnog bušenja uzimaju se uzorci podzemnih voda za laboratorijska ispitivanja hemijskog sastava i rastvorenih ili slobodnih gasova. Ove analize od posebnog su interesa pri istraživanju mineralnih i termomineralnih voda ili pri rešavanju problematike vodosnabdevanja. Sa geotehničkog aspekta od posebnog

značaja su [analize agresivnosti podzemnih voda na beton](#) i druge građevinske materijale. Za uzimanje pomenutih uzoraka vode iz bušotina koriste se specijalni aparati - "uzorkivači". Pomoću njih, ukoliko je to potrebno, uzorke vode možemo uzeti sa željenih dubina.

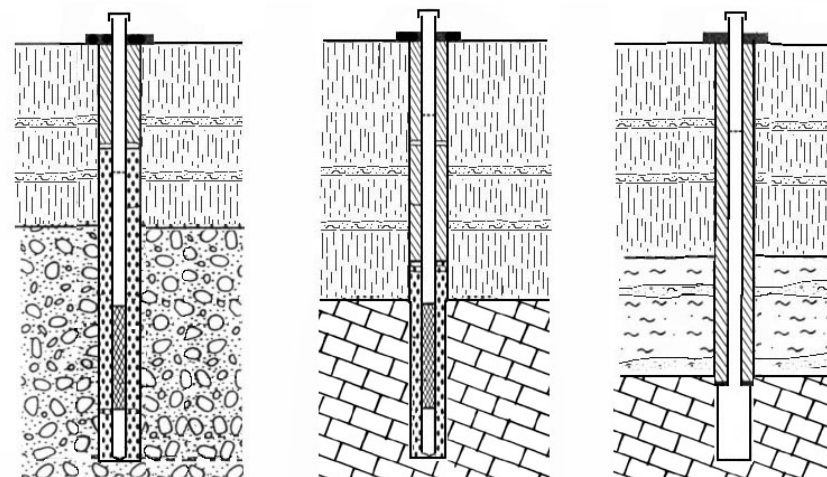
Da bi se prikupili potpuniji podaci o hidrogeološkim karakteristikama sredina kroz koje se buši, koriste se različite metode. Njima se pre svega [utvrđuju nivoi izdani, zone kolebanja nivoa, izdašnost izdani](#) i dr. Merenja i testiranja u otvorenim, nezaštićenim, bušotinama moguća su samo kada su zidovi bušotina stabilni i omogućavaju bezbedno spuštanje opreme na potrebnu dubinu. Ovakvi uslovi postoje pri bušenju u tvrdim, kompaktnim stenskim masama. [Ukoliko su zidovi bušotina nestabilni u istražne bušotine ugrađuju se pijezometarske konstrukcije](#). Pijezometri omogućavaju testiranje izdani, merenja sniženja nivoa pri crpljenju, sezonska kolebanja nivoa i prikupljanje drugih podataka o režimu podzemnih voda. Izrađuju se u različitim hidrogeološkim uslovima pa od njih i zavise konstrukcije pijezometara. Najčešće se izvode sa potpunom konstrukcijom mada ponekad, zahvaljujući specifičnim geološkim i hidrogeološkim uslovima, mogu biti i bez filterskog dela. Neke tipske konstrukcije pijezometara, u zavisnosti od hidrogeoloških uslova, prikazane su na sl. 103. [Klasičan pijezometar sastoji se od: taložnika, filterskog dela, nadfilterske cevi, šljunčanog zasipa, tampona, betonskog bloka i zaštitne kape](#).

[Pijezometarska konstrukcija](#) izrađuje se najčešće od pocinkovanih ili plastičnih cevi, različitih prečnika od 50 - 100 mm. [Taložnik](#), čija je uloga da omogući taloženje čestica koje su vremenom dospele u pijezometar, obično je dužine 3 - 6 m odnosno, 1/10 dužine konstrukcije kod pijezometara dubljih od 20 m. Predstavlja cev koja je na vrhu konusno zašiljena radi lakšeg spuštanja u bušotinu. Na vrhu taložnika, neposredno ispod filterskog

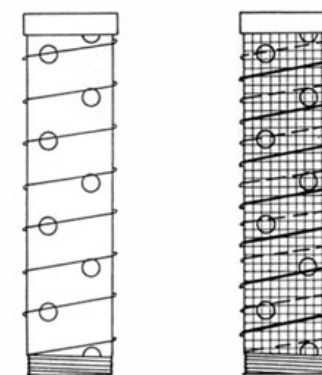
dela, postavlja se centralizer koji omogućava podjednako odstojanje pijeziometarske konstrukcije od zidova bušotine.

Iznad taložnika postavlja se **filterski deo** čija dužina zavisi od debljine vodonosnog sloja. Ako je debljina vodonosnog sloja do 10 m, filterski deo ugrađuje se čitavom dužinom. U ostalim slučajevima, dužina filtera se određuje tako da omogući prikupljanje realnih podataka o hidrogeološkim karakteristikama vodonosne sredine. U karstno pukotinskoj sredini dužina filterskog dela najčešće iznosi od 6 - 12 m.

Filteri za pijeziometre najčešće se izrađuju perforiranjem metalnih ili plastičnih cevi sa određenim rasporedom (šah ili paralelni), veličinom i oblikom (okrugli ili pravougaoni) otvora. Veličina, perforacije odnosno, otvora zavisi pre svega od sredine u koju se ugrađuje filterska konstrukcija. Najčešće prečnik otvora iznosi 2 - 5 mm ređe 10 mm. Oko perforirane cevi namotava se pocinkovana žica, debljine 5 mm, sa korakom navoja dužine približne prečniku filtera. Preko namotane žice postavlja se plastično, pocinkovano ili mesingano sito. Nakon postavljanja, preko sita vrši se ponovno namotavanje žice u suprotnom smeru, tako da se namotaji slažu unutar prethodnih, sl. 104. Prvi namotaji žice ne dozvoljavaju da sito i zasip direktno nalegnu na filter dok, povratni namotaji fiksiraju sito.



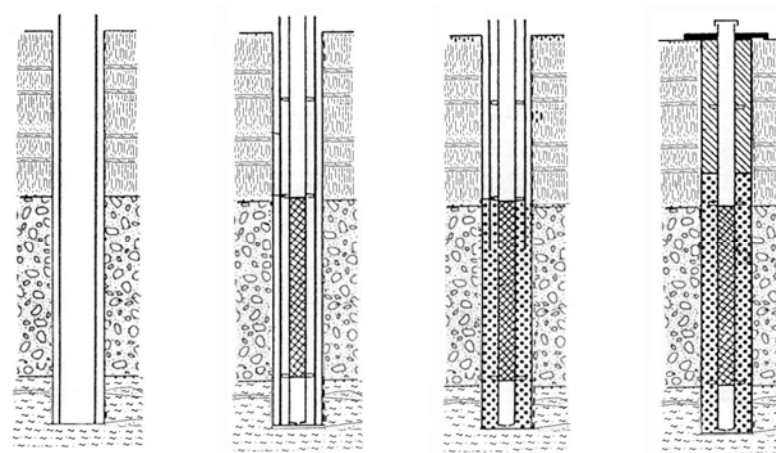
Slika 103. Izgled pijeziometarskih konstrukcija u različitim hidrogeološkim uslovima



Slika 104. Perforirani deo filterske

Iznad filterskog dela postavlja se **nadfilterska cev**. Ona je obično viri 0,5 - 1,0 m iznad površine terena, **gde se osigurava betonskim blokom**, a zatvara se kapom. Na njoj ili na betonskom bloku ispisuje se oznaka pijezometra.

Pre postavljanja betonskog bloka vrši se **ispiranje pijezometra čistom vodom**, a potom razrada komprimovanim vazduhom. Istovremeno vrši se **ugradnja granulata** (šljunčanog zasipa) i postepeno povlačenje obložnih kolona. Granulat se ugrađuje do 2- 3 m ispod površine terena, a preko njega postavlja **glineni tampon** do površine terena. Šematska ilustracija ugradnje pijezometarske konstrukcije data je na sl. 105.



Slika 105. Šematski prikaz ugradnje pijezometarske konstrukcije

Pri izboru šljunčanog zasipa posebna pažnja poklanja se krupnoći njegovog zrna, s jedne strane, u odnosu na krupnoću zrna vodonosne sredine, i sa druge strane u odnosu na veličinu otvora sita. Za izbor granulata najčešće se primenjuju kriterijumi, *E.A. Morozova*:

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = 8 - 12$$

gde su:

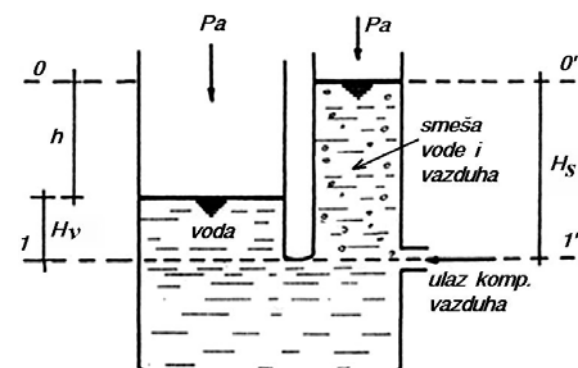
D_{50} i d_{50} - prečnici zrna zasipa i vodonosne sredine, koji odgovaraju sadržaju od 50% sa granulometrijske krive.

U praksi uzima se sito, sa onom veličinom otvora, na kojem posle prosejavanja ostaje 40 - 50% suvog peska i šljunka, izvađenog kao jezgro iz bušotine. Najčešće su u upotrebi sita sa kvadratnim otvorima veličine 0,5 i 1,0 mm.

Šljunčani zasip i sito na filteru mogu da izostanu u nekim slučajevima, pri izradi pijeziometara, u zavisnosti od hidrogeoloških uslova u terenu. Tako, pijeziometri u ispucalim i karstifikovanim sredinama obično nemaju sito niti šljunčani zasip, a nisu retki slučajevi da su i bez filterske konstrukcije, sl. 106.

Po ugradnji pijeziometara mogu se izvesti [opiti crpljenja](#), radi utvrđivanja izdašnosti izdani i filtracionih karakteristika vodonosne sredine. Ako prečnici pijeziometarske konstrukcije dozvoljavaju, ugrađuju se potapajuće pumpe, odgovarajućeg kapaciteta, ili konstrukcije aerlift sistema.

[Aerlift sistem](#) predstavlja relativno prost uređaj, koji omogućava podizanje vodenog stuba na viši nivo. Zasnovan je na principu spojenih sudova.



Slika 107. Principijelni prikaz aerlift sistema

spojenih sudova. Smeša vazduha i vode je sa znatno manjom specifičnom težinom od čiste vode, i dostiže viši hipsometrijski nivo u odnosu na čistu vodu, sl. 107. odnosno, važi relacija:

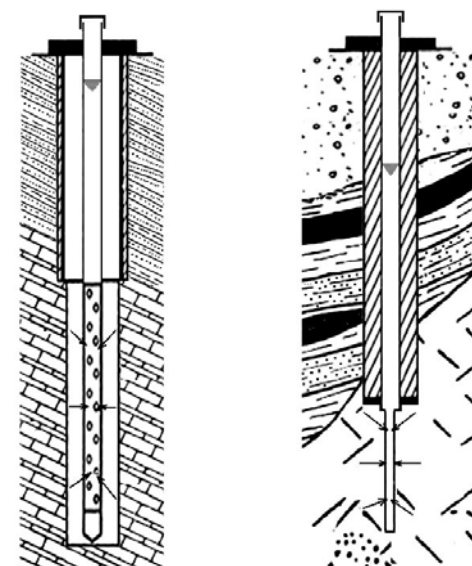
$$H_v \cdot \gamma_v = H_s \cdot \gamma_s \text{ gde je;}$$

H_v - visina vodenog stuba u odnosu na komparativnu ravan (m)

H_s - visina stuba smeše u odnosu na komparativnu ravan (m)

γ_v - specifična težina vode (kN/m^3)

γ_s - specifična težina smeše vode i vazduha (kN/m^3).



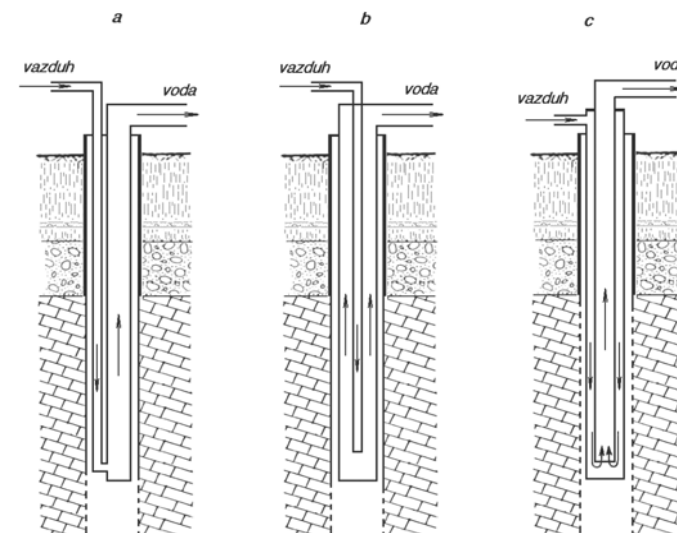
Slika 106. Tipovi pijeziometarskih konstrukcija u karstnim sredinama

U navedenoj relaciji jedina nepoznata je specifična težina smeše vode i vazduha γ_s , koja je u direktnoj zavisnosti od količine i pritiska vazduha u smeši.

Aerliftovanja vode iz pijezometara izvodi se pomoću kombinacija međusobno spojenih cevi različitih prečnika. Kroz jednu cev dovodi se komprimovani vazduh do određene dubine, gde se meša sa vodom. Nastala smeša iznosi se kroz drugu, širu cev na površinu terena.

Odnosi cevi, za vazduh i smešu, mogu biti različitih kombinacija. Tri su osnovana i to: ekscentrični, koncentrični i centralni sa bočnim dovodom vazduha, sl. 108.

Koncentrični aerlift se češće koristi jer omogućava promenu visine mlaznice bez promene visine potisne cevi, što je veoma važno pri crpljenju tj. obaranju nivoa izdani. Kod ekscentričnog i centralnog sistema za aerliftovanje, promena visine mlaznice ne može se izvesti bez pomeranja potisnog voda.



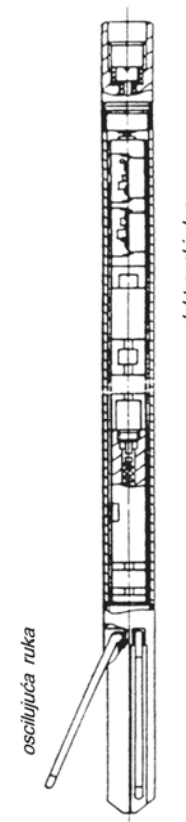
Slika 108. Šematski prikaz rasporeda cevi aerlifta: a - ekscentrični sistem, b - koncentrični sistem, c - centralni sa bočnim dovodom vazduha

9.2.3 Geofizička merenja u bušotinama

Geofizička, karotažna, merenja prvenstveno se izvode za identifikaciju litološkog profila, a posebno ako se bušenje izvodi sa povremenim jezgrovanjem ili bez jezgrovanja. Karotažnim merenjima, pored podataka o litološkom sastavu, prikupljaju se i drugi veoma dragoceni podaci o svojstvima i stanju stenskih masa kroz koje je bušenje izvedeno, kao i podaci o stanju konstrukcija bušotina ili pijezometara. Zbog toga se, skoro redovno ili po potrebi, izvode karotažna merenja za utvrđivanje:

- prečnika bušotine (kaliper),
 - temperature (termokarotaž),
 - litološkog stuba (gama, gama-gama, električni karotaž),
 - pravca pružanja i pada slojeva (dipmetar),
 - poroznosti (neutronske i akustične karotaže),
 - mineralizacije voda (karotaž sopstvenog potencijala),
 - priliva vode u bušotinu (reometrija), i
 - položaja spojnica, oštećenja obložnih kolona i pijezometarske konstrukcije,
- (elektromagnetni i optički karotaž).

Prečnik bušotine meri se kaliper sondom, koja je prikazana na sl. 109. Merenja prečnika izvode se u toku bušenja, ako je neophodno, ili po završetku bušotine. Kaliper sonda spušta se na dno bušotine sa sklopljenim oscilujućim rukama (kracima). Daljinskom komandom oslobađaju se kraci, koji pri povlačenju sonde naviše, naležu i klizaju duž zidova bušotine.



Slika 109. Kaliper sonda sa tri kraka

Elektronskim putem beleže se pomeranja kraka i dubina odnosno, u vidu dijagrama iscrtavaju se profili zidova bušotine.

Na bazi dijagrama promene prečnika sa dubinom možemo:

- izdvojiti mekše od tvrdih ili kompaktnije od ispucalijih zona stenske mase,
- izdvojiti zone sklone bubrenju ili zarušavanju,
- utvrditi položaj obložnih kolona,
- utvrditi mogućnost izvođenja projektom predviđenih merenja, i
- utvrditi mogućnost ugradnje opreme i instrumenata, za naknadna vremenska opažanja.

Kontinuirano merenje temperature po dubini bušotine, termokarotaž, izvodi se u vreme ili na kraju bušenja. Merna sonda koristi termometar, koji radi na principu električne otpornosti, i elektronsku sekciju koja kontinuirano registruje promene temperature duž bušotine.

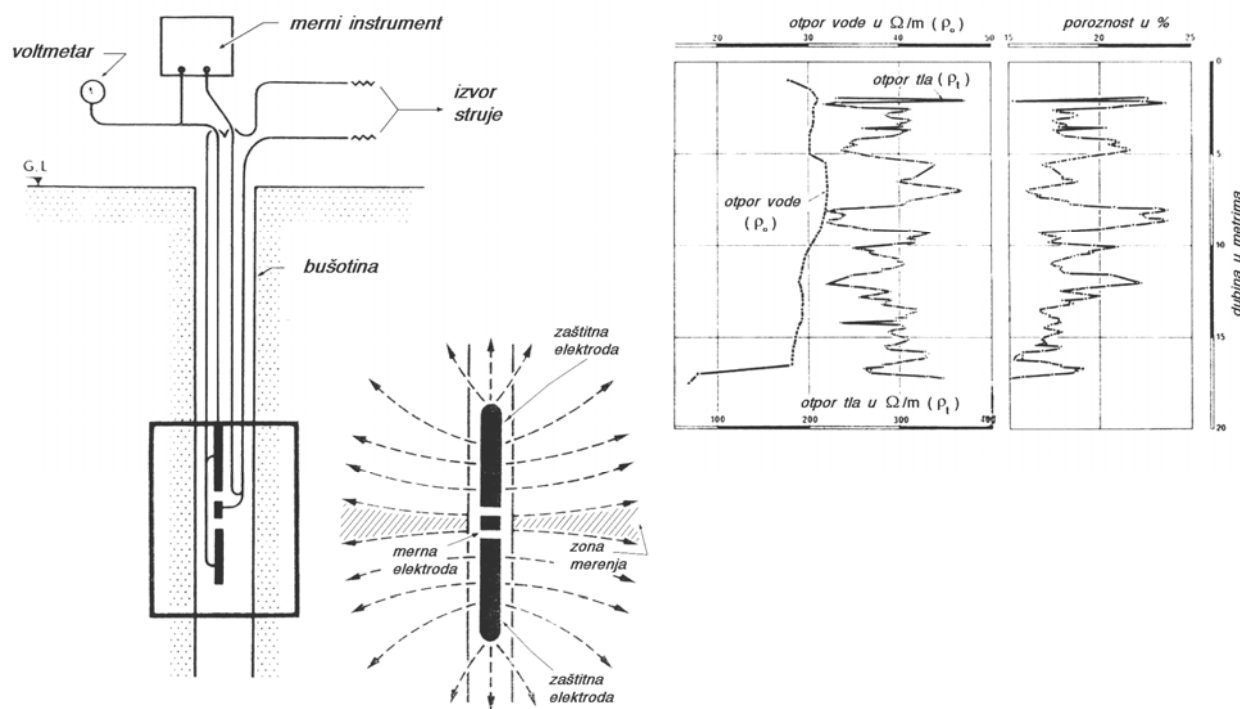
Temperatura okolnih stena određuje se merenjem temperature fluida koji je u bušotini. Iznad njegovog nivoa obično se odvija intenzivna cirkulacija vazduha pa se, na većini dijagrama temperature, uočava skok pri ulasku sonde u fluid. Sezonska temperaturna kolebanja osećaju se do dubina 20 - 25 m. Prirodni porast temperature sa dubinom, prosečni geotermalni gradijent od $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, može se pratiti tek od ovih dubina. Povećani geotermalni gradijent može ukazivati na blizinu struktura sa geotermalnom energijom. Dijagrami temperaturnog karotaža, sa manje ili više izraženim promenama, ukazuju na tačke dotoka ili oticanja fluida iz bušotine, u sredine sa manjim hidrostatičkim pritiscima.

Električni karotaž, ili karotaž specifične električne otpornosti, zasnovan je merenju otpornosti uz pomoć elektroda postavljenih u određenom rasporedu. Niskofrekventni signal naizmenične struje emituje se preko dve osnovne elektrode postavljene na sondi, dok se prijemni signal

registruje na druge dve elektrode. Izmerene vrednosti predstavljaju prividne otpore, zbog uticaja isplake ili vode u bušotini, što se mora uzeti u obzir pri interpretaciji rezultata. Rezultati merenja prikazuju se na dijagramu elektrokarotaža, sl. 110., sa kojeg se mogu izdvojiti granice zona različite specifične električne otpornosti.

Specifična električna provodljivost, ili indukovani karotaž, zasnovan je na merenju provodljivosti stena, a postupak merenja je sličan prethodnom. Prednosti ovog karotaža u odnosu na električni karotaž su višestruke, jer se izbegavaju sve smetnje korišćenjem elektromagnetnog umesto električnog napajanja elektroda.

Dipmetar sonda omogućava merenja elemenata pada slojeva u bušotinama. Sastoji se od tri kraka na kojima su klizne papuče sa elektrodama, sl. 111. Iznad njih nalazi se elektronska senzorska sekcija sa kompasom. Na bazi istih vrednosti merenja u tri različite tačke, a čiji je položaj definisan u prostoru, određuju se elementi pada ravni kojoj te tačke pripadaju.

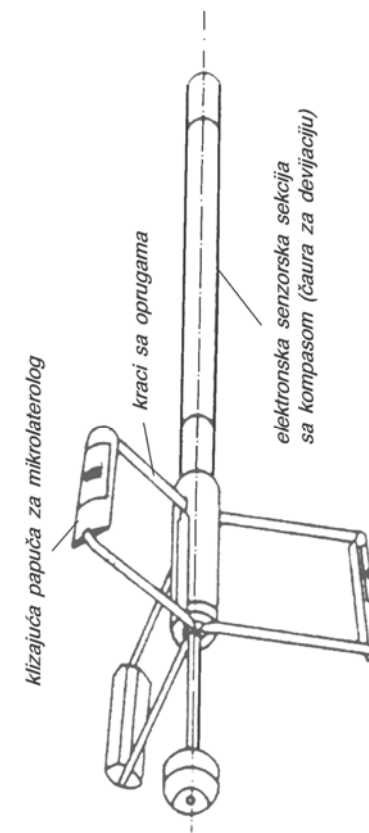


Slika 110. Šematski prikaz elektrokarotaža i dijagrami merenja /10/

Elektromagnetni karotaž izvodi se uz pomoć sonde koja registruje prisustvo magnetičnih metala. Koristi se za utvrđivanje položaja obložnih kolona, spojica obložnih kolona i oštećenja obložnih kolona ili pijezometarskih konstrukcija. Ukoliko su zidovi bušotina neobloženi, ovim karotažom može se ustanoviti prisustvo magnetičnih minerala ukoliko ih ima.

Gama karotaž, ili karotaž prirodne radioaktivnosti, koristi se za izdvajanje prašinasto glinovitih od ostalih sedimenata ili za registrovanje pukotina sa glinovitom ispunom. Sama metoda zasniva se na merenju prirodne radioaktivnosti stena, koja je posledica izotopa K_{40} nastalog raspadanjem uranijumovih i torijumovih nizova. Ovi izotopi uglavnom su sastojci minerala glina, tako da se one jasno mogu izdvojiti od ostalih stena na karotažnim dijagramima. Sama metoda je jako osetljiva, zavisi od radioaktivnosti stena, prečnika bušotine, vrste isplake, debljine obložne kolone, položaja sonde u bušotini i dr. Zato, pri interpretaciji moraju se vršiti određene korekcije odnosno, mora se vršiti kalibracija sonde uz pomoć poznatog izvora radioaktivnog zračenja.

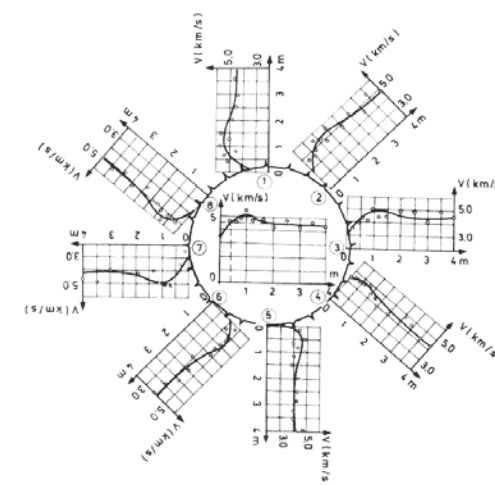
Gama-gama karotaž, ili karotaž gustine stena, koristi se za izdvajanje zona stenskih masa sa različitim gustinama. Samim tim, unutar iste stenske mase, gama-gama karotažom mogu se izdvojiti zone različite poroznosti. Merenje gustine stene izvodi se sondom koja se sastoji od izvora zračenja i detektora. Pri prolasku gama zraka kroz stenu



Slika 111. Dipmetar sonda /27/

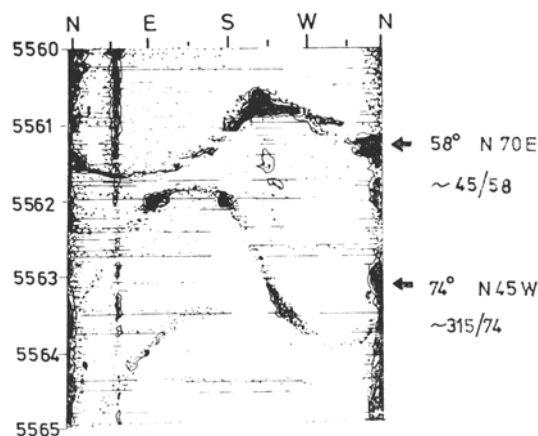
dolazi do izvesne apsorpcije, koju registruje detektor i beleži na dijagramu. Na osnovu dijagrama izdvajaju se granice zona različitih gustina.

Ultrazvučni karotaž izvodi se duž bušotina, u cilju definisanja naponskog stanja oko podzemnih objekata, sl. 112. Ultrazvučni talasi brže se prostiru u napregnutim i obrnuto, sporije u rasterećenim sredinama. Tako se, na bazi poznavanja brzina mogu izdvojiti zone rasterećenja i povišenih napona od zona sa primarnim naponima. Merenja brzina izvode se uz pomoć ultrazvučne sonde. Sonda na vrhu ima pobuđivač (izvor ili predajnik) ultrazvučnih talasa, a na telu u određenom rasporedu detektore nailaska talasa (prijemnike ili geofone). Na bazi poznatog rastojanja između predajnika i prijemnika



Slika 112. Raspored brzina prostiranja ultrazvučnih talasa oko tunelskog otvora /19/

kao i vremena kašnjenja nailaska talasa sračunavaju se brzine.

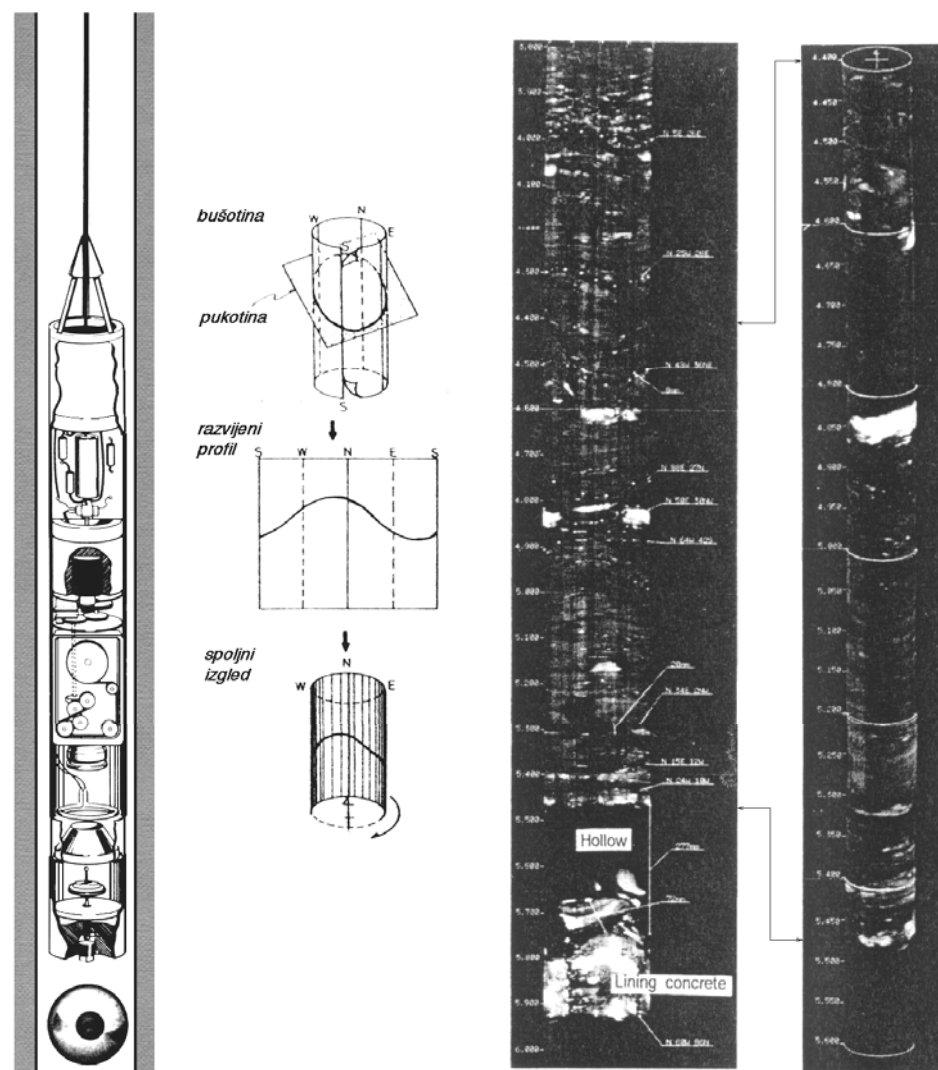


Slika 113. Zidovi bušotine registrovani akustičnim karotažom /23/

Akustični karotaž, koristi se za izdvajanje zona stenskih masa sa različitim stepenom ispucalosti. Akustični karotaž, izvodi se sondom koja se sastoji od izvora i detektora reflektovanih talasa, sl. 113. Sa ravnih zidova bušotine zvučni talasi se odbijaju, dok pri nailasku na pukotine dolazi do izvesne apsorpcije, koju registruje detektor i beleži na dijagramu. Na dijagramima jasno se uočavaju trase pukotina u vidu izduženih zatamljenja.

9.2.4. Geotehnička osmatranja i ispitivanja u bušotinama

Za snimanje i opažanje zidova bušotina koriste se *fotoaparati*, *periskopi* i *kamere* sa širokougaonim sočivima. Sa snimaka se može izvršiti litološka identifikacija stenskih masa, analizirati ispucalost i stabilnost zidova bušotine, utvrditi mesta doticanja ili oticanja vode (pri opitima crpljenja ili nalivanja), analizirati uspešnost tehničkih zahvata u bušotini, izvedenih u cilju pripreme mernih mesta za ispitivanja ili za ugradnju određene opreme ili konstrukcije, uočiti mesto nastanka i stanje bušaćeg pribora nakon havarija i sl.

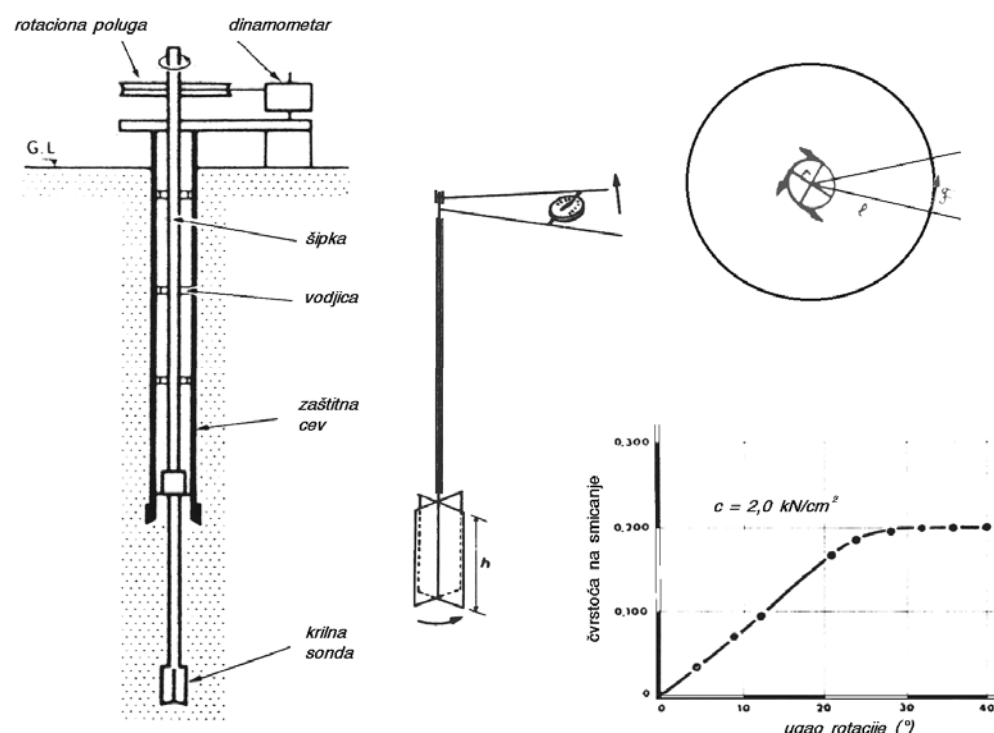


Slika 115. Foto kamera: a - izgled kamere , b - princip razvijanja profila, c - razvijeni snimak zidova bušotine, d - 3D animacija jezgra /17/

S obzirom da pomenuti aparati rade na optičkom principu to **bušotina mora biti isprana odnosno, čistih zidova, bez ili sa čistom vodom**. Takođe, uz pomoć jakih bliceva zidovi bušotina moraju biti osvetljeni.

Na osnovu snimka kamerom, na sl. 115. dat je razvijeni profil zidova bušotine i kompjuterska 3D animacija jezgra. Takođe, na istoj slici dat je šematski prikaz postupka animacije.

Krilna sonda koristi se za određivanje parametara čvrstoće na smicanje, pri bušenju u mekim stenama. Sastoji se od dve pravougaone ploče, zavarene pod uglom od 90° . Obično je $h = 4r$ (visina prema poluprečniku), sl. 116. Krilna sonda spušta se na željenu dubinu, utiskuje i na kraju rotira, nizom bušaćih šipki. Uz pomoć rotacione poluge, a preko šipki, prenosi se sila na krilnu sondu. U toku rotacije sila se meri dinamometrom i crta se odgovarajući dijagram. Na osnovu dijagrama kasnije se sračunavaju parametri čvrstoće na smicanje.

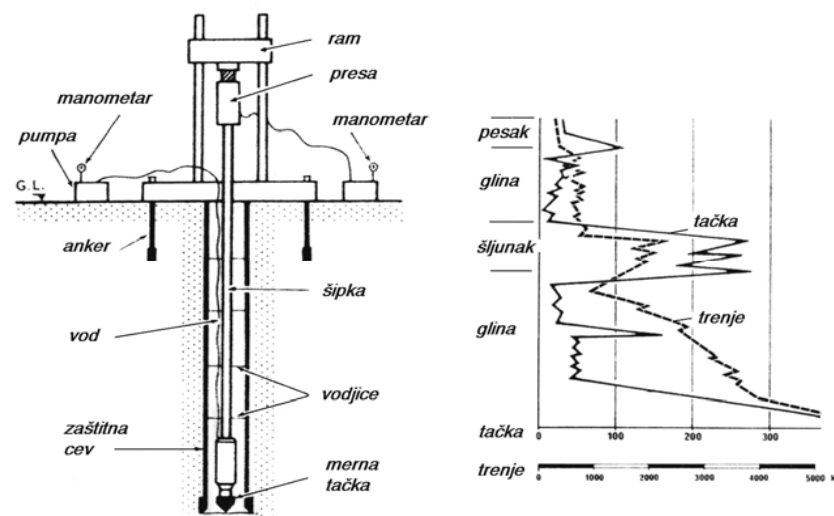


Slika 116. Krilna sonda: principijelna šema i dijagram merenja /10/

Penetrometrom se određuje otpor utiskivanju konusa u tlo. Prema sili utiskivanja penetrometri se dele na statičke i dinamičke.

Kod dinamičkih penetrometra utiskivanje konusa, uz posredstvo bušaćih šipki, izvodi se udarima tega koji se pušta da slobodno pada sa određene visine (pri čemu su težine tega i visine slobodnog pada standardizovane za različite vrste konusa). Pri opitu registruje se potreban broj udara tega da bi se konus utisnuo 15 cm u tlo. Opiti dinamičke penetracije se izvode kontinualno u toku bušenja, a rezultati se prikazuju na dijagramima. Na osnovu njih može se izvršiti izdvajanje sredina, sa različitim otporima utiskivanju konusa, po dubini bušotine.

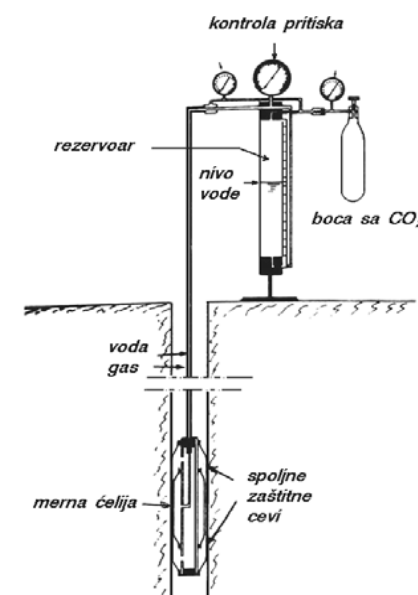
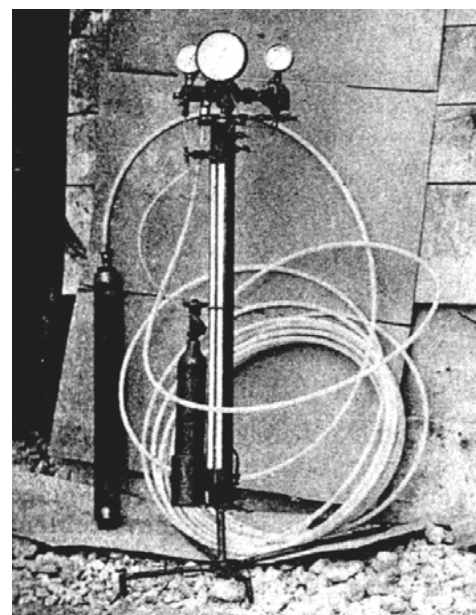
Opiti statičke penetracije predstavljaju posebnu vrstu istražnih radova. Obično, izvode se na lokaciji gde se i buši, radi korelacije podataka penetracije sa rezultatima bušenja. Statički penetrometri utiskuju se u tlo silom koju izaziva hidraulička presa, sl. 117. Pri utiskivanju konusa u tlo registruje se pritisak na manometru, a potom se sračunava i na grafiku beleži sila utiskivanja. Neki penetrometri, pored otpora konusa, mogu istovremeno da mere i otpor trenja na bočnim ivicama (omotaču).



Slika 117. Statički penetrometar: šema i dijagram merenja /10/

Za definisanje deformabilnosti mekih i polutvrdih stenskih masa, u istražnim bušotinama, koriste se presiometri. Presiometarska ispitivanja izvode se uz pomoć specijalno konstruisane sonde, sl. 118. Preko tela sonde postavljen je deformabilan plašt, koji se najčešće izrađuje od armirane gume. Unutar plašta ugrađeni su instrumenti za merenje promene prečnika plašta odnosno, bušotine. Uz pomoć boca sa komprimovanim vazduhom, izaziva se unutrašnji pritisak u sondi koji se preko plašta prenosi na zidove bušotine. Pod dejstvom pritiska zidovi bušotine se deformišu odnosno, povećava se prečnik bušotine. U toku opita crtaju se dijagrami promene prečnika bušotine i pritiska koji je te promene izazvao, a na osnovu njih sračunavaju se moduli elastičnosti i deformabilnosti stenskih masa. Ukoliko sonda registruje promene prečnika u više pravca, onda pomenutim ispitivanjima možemo utvrdi pravce i stepen anizotropije stenske mase u pogledu deformabilnosti. Zbog otpora trenja plašta sonde o zidove bušotina pri spuštanju, presiometarska ispitivanja uglavnom se izvode u vertikalnim i subvertikalnim bušotinama.

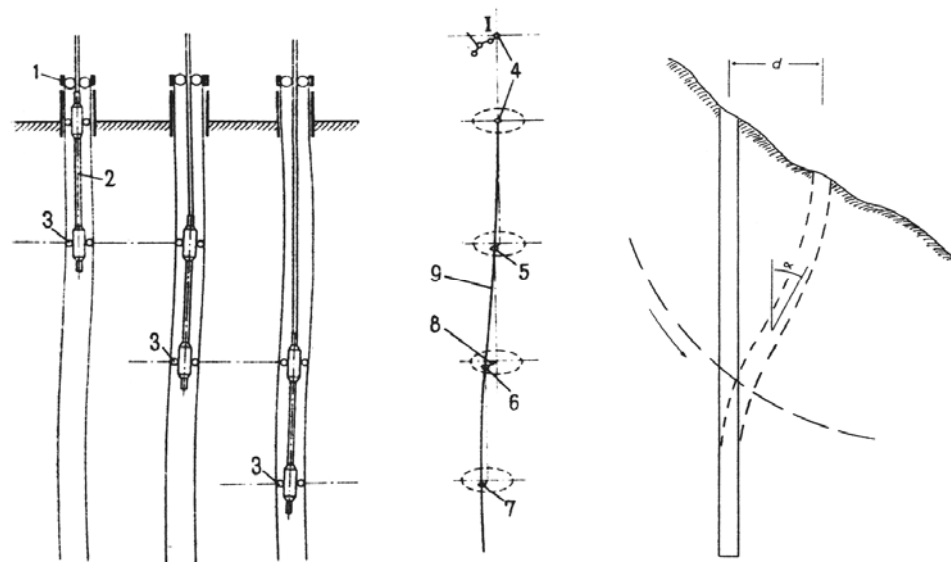
Za praćenje pomeranja u terenu, na nestabilnim padinama ili sleganja kod



Slika 118. Presiometar: a - foto-izgled, b - šema /9/

nasutih brana i drugih nasipa, u istražne bušotine ugrađuju se inklinometarske konstrukcije. Konstrukcije se sastoje od niza profilisanih plastičnih cevi, koje sa unutrašnje strane imaju vođice za inklinometarsku sondu. Na plastične cevi, sa spoljne strane na određenom razmaku, postavljaju se reperi čiji se položaji kasnije prate. Inklinometarska sonda sastoji se od elektronskog dela koji registruje položaj repera, veličinu i azimut odklona inklinometarske konstrukcije. Ako je najdublji reper ugrađen u stabilnu podlogu, onda se na bazi merenja može sračunati i iscrtati dijagram pomeranja duž bušotine. Ovim merenjima, ako se izvode po određenoj dinamici, u dužem vremenskom periodu, može se pratiti vremenski razvoj procesa: klizanja na nestabilnim padinama, sleganja tela nasutih brana, sleganja visokih nasipa ili kod drugih sličnih objekata.

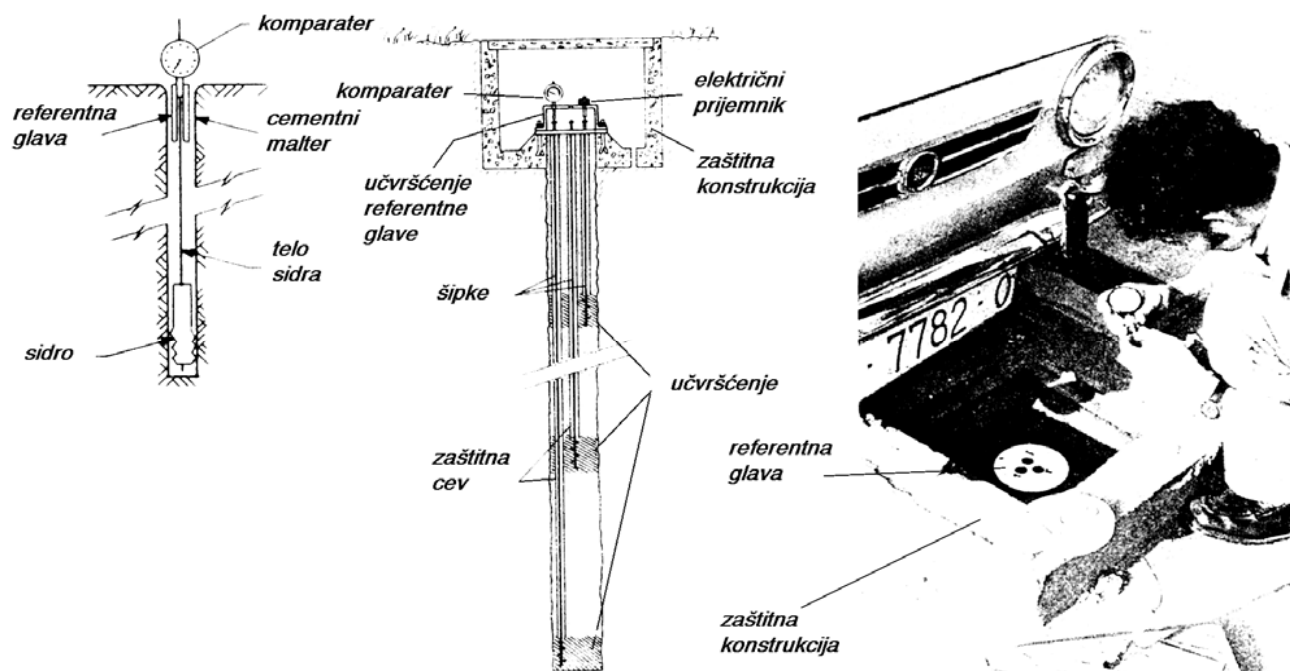
Ekstenzometrima mere se pomeranja repera koji se ugrađuju u bušotine. U zavisnosti od broja repera, koji se ugrađuju, razlikujemo jednostruke ili višestruke ekstenzometre, sa 2, 4 i više repera. Po konstruktivnim rešenjima odnosno, načinima registrovanja pomeranja i vrstama repera, postoje i različite vrste ekstenzometara: mehanički,



Slika 119. Princip rada inklinometra /33/

elektroakustični, elektromagnetni i dr. Zbog jednostavnosti konstruktivnog rešenja, ugradnje i merenja, najčešće su u primeni mehanički ekstenzometri, sl. 120. Oni se sastoje od repera, štapnog nosača repera, zaštitne cevi štapnog nosača i referentne glave u koju se, kroz vođicu, smešta štapni nosač. Uz pomoć štapnog nosača reper se spušta do željene dubine, a zatim se injektiranjem, ili na neki drugi način, fiksira za zidove bušotina. Referenta glava sa vođicama postavlja se na usta bušotine. Svako pomeranje repera povlači i pomeranje štapnog nosača, što mu omogućuje zaštitna cev. Položaj štapnog nosača odnosno, pomeranje repera, registruje se u vođici referentne glave, uz pomoć komparatera. Ako je najdublji reper ugrađen u stabilnu podlogu, onda na bazi merenja, mogu se sračunati i iscrtati dijagram apsolutnih pomeranja duž bušotine.

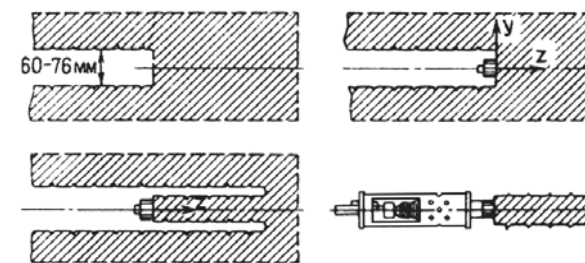
Ekstenzometri se uglavnom koriste pri izgradnji podzemnih objekata. Mogu se ugrađivati sa površine, kada se prati sleganje terena usled iskopa plitko



Slika 120. Ekstenzometri: a - jednostruki, b - višestruki, c - foto-glava ekstenzometra /9/

položenog podzemnog objekta. Znatno češće ugrađuju se u bušotine, izvedene u različitim radijalnim pravcima iz podzemnih objekata, radi praćenja divergencija okolne stenske mase. Pomenutim merenjima, ako se izvode po određenoj dinamici u dužem vremenskom periodu, može se pratiti vremenski razvoj procesa divergencije u zavisnosti od dinamike i tehnologije iskopa, vremena i vrste podgrađivanja i sl.

Naponi oko podzemnih objekata se mogu meriti i u bušotinama. Postoji veći broj metoda za merenje napona u bušotinama koje su, manje ili više zasnovane na sličnom principu, principu oslobađanja napona pri jezgrovanju. Jedan od postupak merenja napona, prikazan je na sl. 121. Na određenoj dubini, poravna se čelo bušotine i na njega se nalepi sonda sa mernim trakama. Izmere se električni otpori mernih traka, a nakon toga se nastavi bušenje sa jezgrovanjem. Po izvedenom bušenju, jezgro se odlama i vadi iz bušotine. Potom se ponovo mere otpori, a na bazi razlika otpora i položaja mernih traka sračunavaju glavne dilatacije i definišu njihovi pravci. Na bazi poznavanja dilatacija i elastičnih karakteristika stenskih masa, sračunavaju se naponi u ravni čela bušotine. Metode merenja napona jezgrovanjem obično se kombinuju sa ultrazvučnim ili mikroseizmičkim prozračivanjima u bušotinama, radi korelacija rezultata merenja.

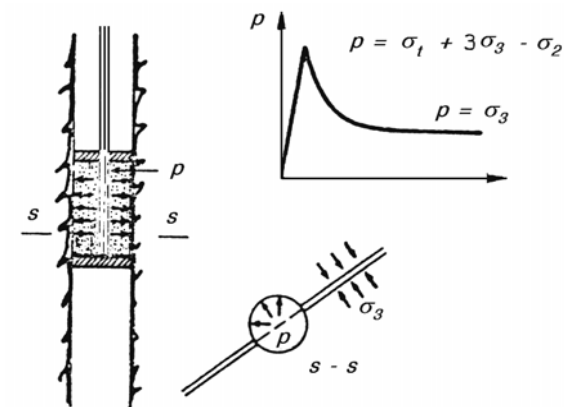


Slika 121. Šematski prikaz merenja napona metodom jezgrovanja u bušotini

Naponi, u bušotinama na većim dubinama, određuju se metodom hidrauličkog loma, koja je šematski prikazana na sl. 122. U bušotini se pakerima izoluje interval u kome je predviđeno merenje napona. U tom intervalu izazivaju se unutrašnji hidrostatički pritisci, upumpavanjem vode ili neke druge isplake. Registruju se gubici vode pri određenim pritiscima i crtaju se odgovarajući dijagrami. Na dijagramu, uočava se pik, sl. 122b., maksimalni pritisak, koji odgovara trenutku nastanka pukotine u steni. On zavisi od primarnog naponskog stanja i čvrstoće stene na zatezanje. Nakon naglog pada pritiska, na dijagramu se uočava ravna linija sa konstantnim pritiskom, koji predstavlja minimalni glavni napon u steni. Praktično pri pomenutim pritiscima, kada se ponište primarni naponi, dolazi do otvaranja pukotine i tečenja vode kroz nju.

Vodopropustljivost stenskih masa (VDP) utvrđuje se posebnim opitima koji se izvode u toku bušenja ili nakon završetka bušotine. U zavisnosti od toga da li se opiti VDP izvode u toku bušenja ili nakon završene bušotine, primenjuje se silazni ili uzlazni postupci, koji su šematski prikazani na sl. 123.

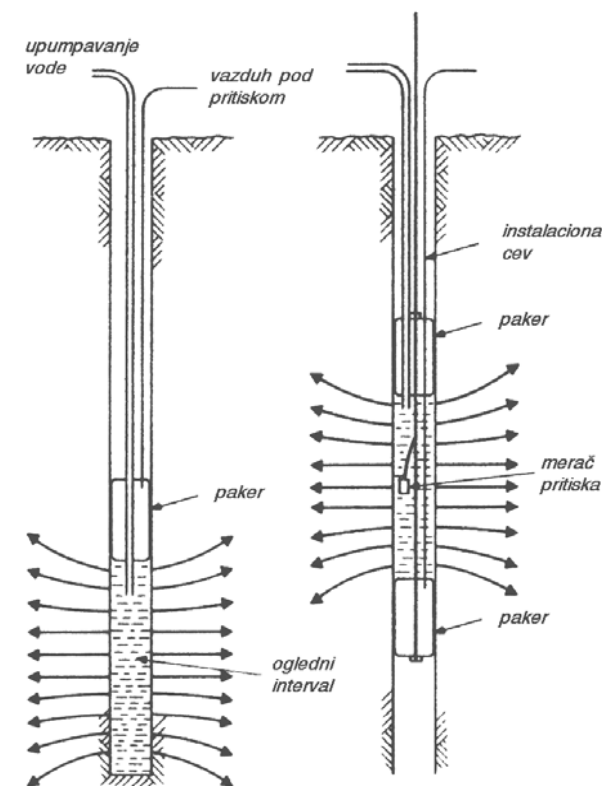
U stenama kod kojih su zidovi bušotina nestabilni opiti VDP izvode se silaznim postupkom u toku samog bušenja. Opiti VDP silaznim postupkom znatno usporavaju



Slika 122. Merenje napona metodom hidrauličkog loma: a - principijelna šema, b - dijagram merenja

proces bušenja, zbog česte zamene bušačkog pribora, priborom za merenje VDP. Zbog toga se u bušotinama sa stabilnim zidovima, po završetku procesa bušenja, uzlaznim postupkom izvodi u kontinuitetu serija opita VDP, što je znatno brže. Međutim, u bušotinama sa nestabilnim zidovima ispitivanje VDP uzlaznim postupkom je otežano ili je nemoguće, jer u toku ili neposredno nakon bušenja dolazi do zarušavanja zidova bušotine.

Bez obzira da li se radi o **silaznom ili uzlaznom postupku**, merenja VDP obično se izvode na sledeći način. Uz pomoć bušačkih šipki, na željenu dubinu bušotine, spušta se perforirana cev na čijim su krajevima pakeri odnosno, jedan paker ako se ispitivanje VDP izvodi silaznom metodom. Razmak između pakera odnosno, uobičajena dužina perforirane cevi iznosi 5 m. Izolacija intervala za ispitivanje VDP izvodi se brtvljenjem zidova bušotine uz pomoć pakera. Nakon toga, u pomenuti interval bušotine, pumpom se utiskuje voda pod pritiskom. Voda se utiskuje pod pritiskom od 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 i 1,0 MPa, a zatim se na isti način pritisak smanjuje na 0,8, 0,6, 0,4 i 0,2 MPa. Na svakom nivou pritiska, neophodno je sačekati ustaljenje režima protoka vode



Slika 123. Šematski prikaz ispitivanja VDP-a: a - silaznim, b - uzlaznim postupkom

odnosno, isti pritisak održavati 5 min. Količina vode, koja se pri određenim pritiscima upumpava u bušotinu, registruje se preko vodomera i upisuje u zapisnik merenja sa drugim podacima. Na osnovu rezultata merenja vodopropustljivost se sračunava, a iskazuje se u *Lu* (Ližonima). *Lu* predstavlja količinu vode u litrima, koja se gubi na 1 m^1 bušotine u toku 1 min i pri pritisku od 1,0 MPa.