

Univerza v Ljubljani
Naravoslovnotehniška fakulteta
Oddelek za geologijo



študijsko gradivo za predmet

Metode geoloških raziskav

(prosojnice s predavanj)

Nosilec predmeta:

doc. dr. Timotej Verbovšek

Ljubljana, december 2012

Metode geoloških raziskav

1. Uvod

- a. namen in potek predmeta
- b. zgodovina
- c. delitev vrtanje po namenu

2. Metode vrtanja

- a. ročno
- b. s svedri oz. spiralami
- c. udarno
- d. rotacijsko
- e. udarno-rotacijsko
- f. posebna (ODEX, ...)

3. Vrtalna oprema

- a. dleta
- b. krone
- c. globinska kladiva
- d. ostala oprema
- e. vrtanje na jedro
- f. vrtalne tekočine

4. Hidrogeološko vrtanje

- a. piezometri, vodnjaki, oprema
- b. črpalni poizkusi
- c. cevi - polne, filtrske
- d. cementaža
- e. vzorčenje in meritve v vrtinah (nivoji, sestava)

5. Geotehnično vrtanje, popis vrtin in preiskave (doc. dr. Karmen Fifer Bizjak)

- a. standardi, Eurokodi
- b. popis vrtin, klasifikacija zemljin in hribin
- c. laboratorijske in terenske preiskave vzorcev
- d. meritve v vrtinah - presiometri, SPT, CPT, ...

6. Globinsko vrtanje

- a. naftno, geotermalno, globoko raziskovalno

7. Meritve v vrtinah

- a. karotaža
- b. odklon vrtin
- c. meritve pretoka

8. Vzdrževanje, sanacija in likvidacija vrtin

9. Poročila

10. Predpisi in zakonodaja



Univerza v Ljubljani
Naravoslovno-tehniška fakulteta
Oddelek za geologijo

Metode geoloških raziskav

doc. dr. Timotej Verbovšek

timotej.verbovsek@ntf.uni-lj.si

Potek predmeta in izpit

✗ predavanja

- ✗ 20 ur (10 x 2 uri), tor 13¹⁵-15⁰⁰, P208

✗ terenske vaje

- ✗ 20 ur terenskih vaj
 - hidrogeološko vrtanje
 - geomehansko (ali globinsko) vrtanje
 - ostale terenske vaje, prilagoditev glede na možne oglede

✗ izpit

- ✗ pisni izpit, po potrebi tudi ustni zagovor
- ✗ 70% ocene iz pisnega izpita in 30% iz ocene vaj
- ✗ roki so objavljeni na osebni spletni strani in na VIS e-študentu

Namen predmeta in uporaba

✗ **namen**

- ✗ spoznati tehnike vrtanja in osnovne metode *in-situ* preiskav
(lat.= na mestu)

✗ **uporaba**

- ✗ inženirska praksa na področjih:
 - geologije
 - hidrogeologije
 - geotehnologije in gradbeništva

Vsebina predmeta

✗ **Uvod**

- ✗ namen in potek predmeta
- ✗ zgodovina
- ✗ delitev vrtanje po namenu

✗ **Metode vrtanja**

- ✗ ročno
- ✗ s svedri oz. spiralami
- ✗ udarno
- ✗ rotacijsko
- ✗ udarno-rotacijsko
- ✗ posebna (ODEX, ...)

✗ **Vrtalna oprema**

- ✗ dleta
- ✗ krone
- ✗ globinska kladiva
- ✗ ostala oprema
- ✗ vrtanje na jedro
- ✗ vrtalne tekočine

Vsebina predmeta (nad.)

- ✗ **Hidrogeološko vrtanje**
 - ✗ piezometri, vodnjaki, oprema
 - ✗ črpalni poizkusi
 - ✗ cevi - polne, filtrske
 - ✗ cementaža
 - ✗ vzorčenje in meritve v vrtinah (nivoji, sestava)
- ✗ **Geotehnično vrtanje, popis vrtin in preiskave (doc. dr. Karmen Fifer Bizjak)**
 - ✗ standardi, Eurokodi
 - ✗ popis vrtin, klasifikacija zemljin in hribin
 - ✗ laboratorijske in terenske preiskave vzorcev
 - ✗ meritve v vrtinah - presiometri, SPT, CPT, ...
- ✗ **Globinsko vrtanje**
 - ✗ naftno, geotermalno, globoko raziskovalno
- ✗ **Meritve v vrtinah**
 - ✗ karotaža
 - ✗ odklon vrtin
 - ✗ meritve pretoka
- ✗ **Vzdrževanje, sanacija in likvidacija vrtin**
- ✗ **Poročila**
- ✗ **Predpisi in zakonodaja**

Literatura

- ✗ Australian Drilling Industry Training Committee Limited, 1997: **Drilling. The Manual of Methods, Applications, and Management** CRC Press, ZDA.
- ✗ Sterrett, R. J., 2007: **Groundwater and Wells**, 3rd ed., Johnson Screens, New Brighton, ZDA.
- ✗ Misstear, B., Banks, D., Clark, L., 2006: **Water Wells and Boreholes**. John Wiley & Sons, UK.
- ✗ NGWA, 2004: **Illustrated Glossary of Driller's Terms**. National Ground Water Association's. Ohio, ZDA.
- ✗ Price, D. G., 2009: **Engineering Geology. Principles and Practice**, Springer.
- ✗ Marjoribanks, R., 2010: **Geological Methods in Mineral Exploration and Mining**. 2nd ed., Springer.



Definicija vrtine

- ✖ *Geološki terminološki slovar, 2006:*
 - ✖ “**vrtina** je izvrtana cilindrična **luknja** v Zemljino skorjo za ugotavljanje geološke strukture ali pridobivanje vode, nafte, plina”
- ✖ *Illustrated Glossary of Driller's Terms, 2004:*
 - ✖ **vrtina** je luknja, izvrtana v tla, v raziskovalne namene ali z namenom instalacije vodnjaka



O vrtalcih...



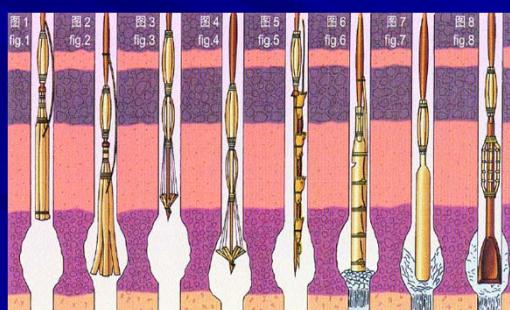
O vrtalskih izrazih...

- * nekaj "slovenskih" izrazov
 - * šipka ?
 - * mostični filter ?
 - * ODEX ?
 - * kotalno dleto ?
- * in še angleških...
 - * bone yard ?
 - * dog house ?
 - * fishing ?
 - * hungry hole ?
 - * Jesus mud ?
- * o geologih...
 - * palace ?
 - * rock licker ?



Zgodovina

- * vrtanje so poznali že stari narodi
 - * **Egipčani:** gradnja piramid z diamantnimi vrtalnimi orodji, pred 2550 do 2315 pr. n. št.
 - * **Kitajci:** vrtine za pridobivanje soli do globine okoli 660 m, leta 600 do 260 pr. n. št. (bambus!)
 - * **Kartuzijanski menihi v Evropi:** vodnjaki za vodo globine okoli 330 m, leta 1126 n. št.



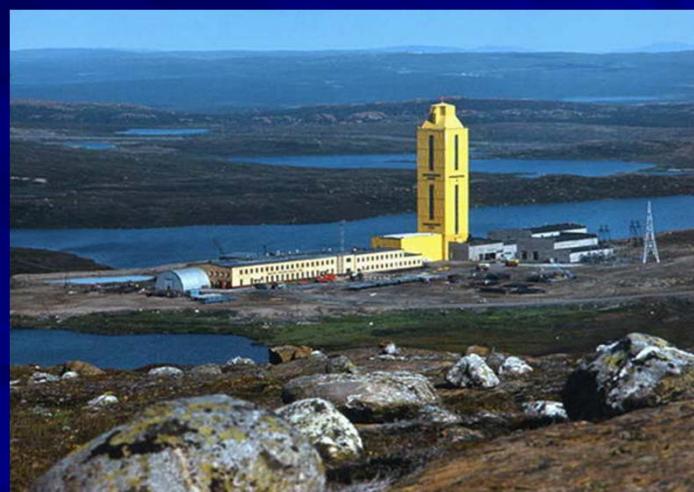
Zgodovina (nad.)

- ✗ glavni tehnološki napredki so bili v naftni industriji
 - ✗ prve naftne vrtine: leta 1745 v Franciji in 1810 (1815?) v Cumberlandu (Kentucky, ZDA)
 - ✗ rotacijsko vrtanje: patentirano leta 1845 v Veliki Britaniji
 - ✗ prvi parni vrtalni stroj: leta 1856
 - ✗ prva morska naftna ploščad: 1897 (Santa Barbara, Kalifornija)
 - ✗ prvi dizelski vrtalni stroj za rotacijsko vrtanje: leta 1925
 - ✗ prva bentonitna izplaka: 1929



Zgodovina (nad.)

- ✗ najgloblja vrtina na svetu ?

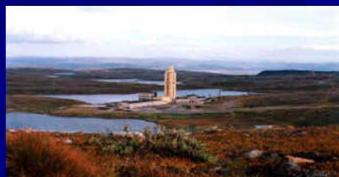


Zgodovina (*nad.*)

- ✗ najgloblja vrtina:

- ✗ **Kola SG-3**

- ✗ polotok v Rusiji, blizu Finske
- ✗ globina: 12.262 m
- ✗ izdelana med 1970 - 1994
- ✗ cilj: 15.000 m, raziskovalna vrtina
- ✗ ustavljena zaradi previsokih temperatur



- ✗ Voyager-1 je potreboval 27 let (1977-2004) za pot izven sončnega sistema (okoli 14.000.000.000 km)
- ✗ Sovjeti pa 24 let za izdelavo okoli 12 km globoke vrtine

Zgodovina (*nad.*)

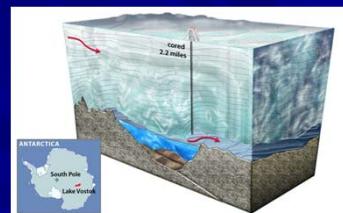
- ✗ aktivni večji svetovni projekti vrtanja ?

Zgodovina (nad.)

- ✗ aktivni večji svetovni projekti vrtanja ?

- ✗ **jezero Vostok**

- sladkovodno jezero na Antarktiki
 - 4000 m globoko



- ✗ **vrtanje v oceansko skorjo**

- Deep Sea Drilling Project (DSDP, 1966-1983)
 - Ocean Drilling Program (ODP, 1985-2003)
 - Integrated Ocean Drilling Program (IODP, 2004-)



Delitev vrtanja po namenu

- ✗ po namenu ločimo:

- ✗ 1. geotehnično in geomehansko vrtanje
 - ✗ 2. strukturno vrtanje
 - ✗ 3. vrtanje za raziskave in izkoriščanje mineralnih surovin
 - ✗ 4. hidrogeološko vrtanje
 - ✗ 5. okoljsko vrtanje
 - ✗ 6. vrtanje za nafto in zemeljski plin
 - ✗ 7. vrtanje za izkoriščanje geotermalne energije
 - ✗ 8. ostalo

Delitev vrtanja po namenu

- ✖ 1. Geotehnično in geomehansko vrtanje

- ✖ namen: določitev lastnosti zemljin (sedimentov in mehkih kamnin) in hribin (trdnih kamnin) ter pojavljanja vode
- ✖ predhodne raziskave, potrebne pred izgradnjo:
 - jezov, mostov, cest, železnic, stavb
 - predorov, jaškov
 - odlagališč



Delitev vrtanja po namenu

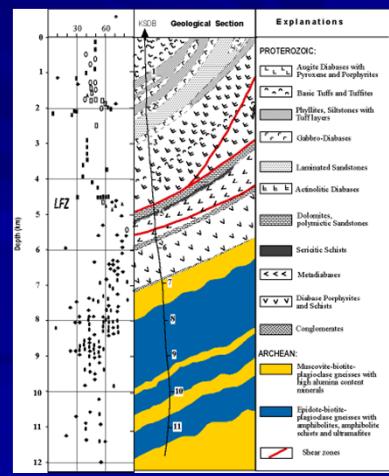
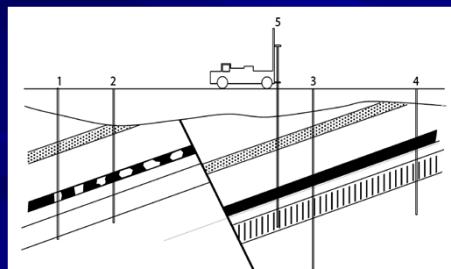
- ✖ 1. Geotehnično in geomehansko vrtanje (nad.)

- ✖ cilji raziskav:
 - 1. določeni med vrtanjem
 - določitev litologije
 - odvzem porušenih vzorcev sedimentov za laboratorijske preiskave
 - odvzem jeder iz vrtine
 - ugotavljanje globine pojavljanja trdnih kamnin
 - ugotavljanje globine trdne podlage
 - ugotovitev globine nahajanja podzemne vode
 - spremeljanje sprememb pri vrtanju
 - 2. določeni po koncu vrtanja
 - odvzem neporušenih vzorcev
 - in-situ preiskave (SPT testi, ...)
 - odvzemi vzorcev vod

Delitev vrtanja po namenu

✗ 2. Strukturno-geološko vrtanje

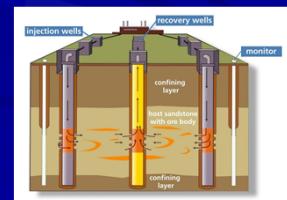
- ✗ za določitev geoloških struktur in lege plasti
- ✗ lokacije prelomov, narivov
- ✗ orientacije plasti



Delitev vrtanja po namenu

✗ 3. Raziskave in izkoriščanje mineralnih surovin

- ✗ področje ekonomske geologije
- ✗ iskanje in raziskave nahajališč surovin (kovinskih, nekovinskih, ...)
- ✗ vrtanje daje najboljše podatke
- ✗ potrebno za raziskave:
 - oblike in velikosti rudišč
 - koncentracije rud
 - zalog rud
 - stratigrafskih podatkov
 - dodatno interpretacijo geofizikalnih in geokemičnih raziskav
- ✗ pomembna je usmerjenost vrtin in njihov odklon



Delitev vrtanja po namenu

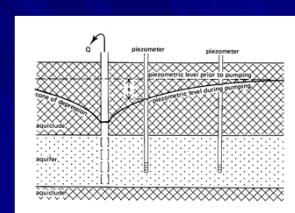
* 3. Raziskave in izkoriščanje mineralnih surovin

- * miniranje
 - vstavljanje eksploziva za odstranjevanje kamnin
 - področja uporabe:
 - kamnolomi
 - rudniki, za izkoriščanje surovin
 - izkop gradbenega ali okrasnega kamna
 - seveda tudi druge: izdelava cest, jezov in ostalih objektov

Delitev vrtanja po namenu

* 4. Hidrogeološko vrtanje

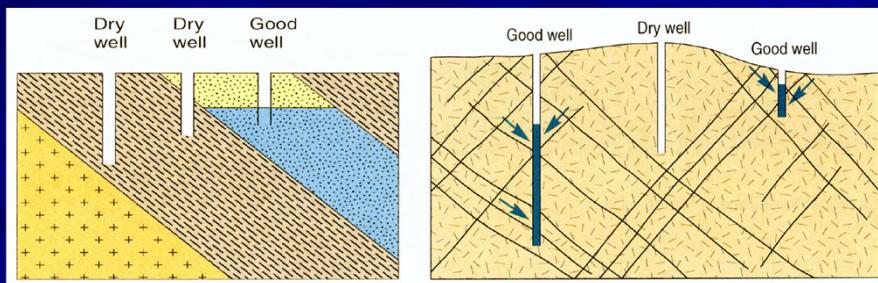
- * raziskave in izkoriščanje podzemne vode
- * izdelava:
 - vrtin za črpanje vode = vodnjaki
 - vrtin za opazovanje vode = piezometri
 - vrtin za namakanje
 - za oskrbo s pitno vodo
 - voda za tehnološke namene
 - injekcijske vrtine (ponikalne)
 - vrtine za odvodnjavanje (rudniki, gradbene jame)
 - sledilni poizkusi



Delitev vrtanja po namenu

- * 4. Hidrogeološko

- * primer oskrbe z vodo iz vrtin - (pre)plitvi in globoki vodnjaki



Delitev vrtanja po namenu

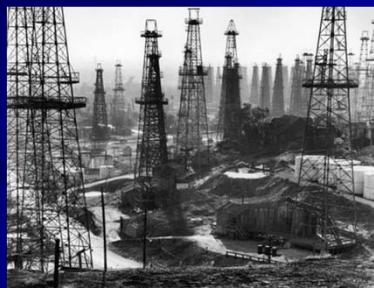
- * 5. Okoljsko

- * posebne metode geotehničnega in hidrogeološkega vrtanja
 - * namen: spremljanje (monitoring) stanja podzemne vode (količine in kvalitete)
 - odlagališča odpadkov (nasuta ali v lagunah)
 - v vodovarstvenih območjih
 - spremljanje onesnaženj
 - lociranje nafte ali umetnih nasipov, smeti, arheoloških najdb



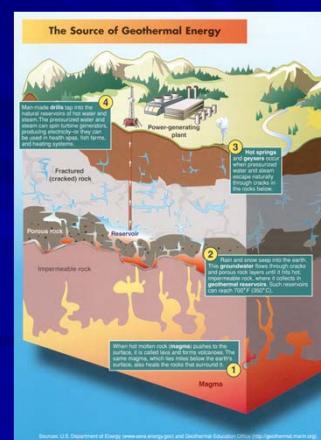
Delitev vrtanja po namenu

- ✖ **6. Vrtanje za nafto in zemeljski plin**
 - ✖ na kopnem in na morju
 - ✖ raziskave, stratigrafske informacije
 - ✖ injektiranje vode ali plina za pridobivanje nafte ali zemeljskega plina
 - ✖ črpanje nafte oz. zemeljskega plina



Delitev vrtanja po namenu

- ✖ **7. Vrtanje za izkoriščanje geotermalne energije**
 - ✖ plitve vrtine
 - izkoriščanje pri nizkih temperaturah
 - npr. ogrevanje hiš s topotnimi črpalkami
 - ✖ globoke vrtine
 - izkoriščanje pri visokih temperaturah
 - direktna uporaba za ogrevanje, za pridobivanje električne energije



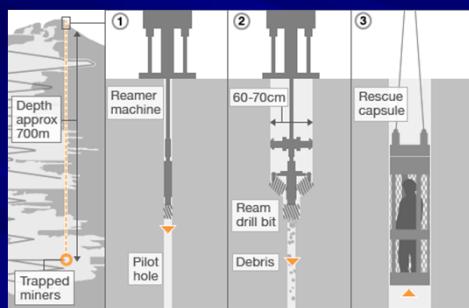
Delitev vrtanja po namenu

✗ 8. Ostalo

✗ specialni nameni

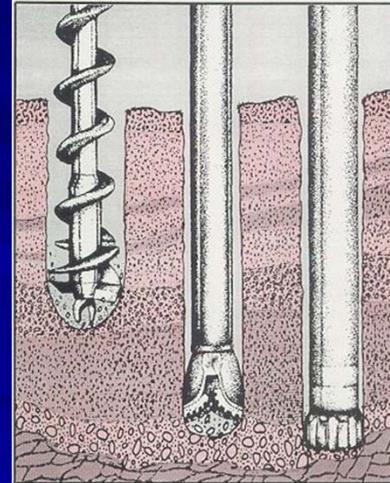
✗ zadnji primer:

– vrtanje v Čilu - San Jose



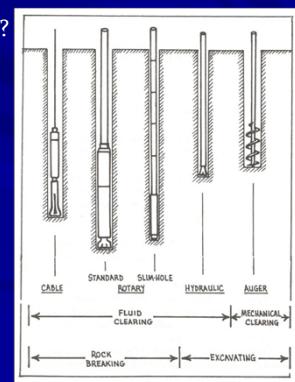
Vrtalne tehnike

- ✖ obstaja precej načinov, kako izdelamo vrtino
- ✖ po tehniki vrtanja ločimo:
 - ✖ 1. ročno vrtanje
 - ✖ 2. vrtanje s svedri
 - ✖ 3. udarno vrtanje
 - ✖ 4. rotacijsko vrtanje
 - ✖ 5. udarno-rotacijsko vrtanje (s pnevmatskimi kladivi)
 - ✖ 6. ostala vrtanja



Vrtalne tehnike

- ✖ katero tehniko vrtanja izberemo, je odvisno od:
 - ✖ namena vrtine
 - raziskovalna, za monitoring ali za izkoriščanje ?
 - ✖ geoloških razmer
 - nevezani ali vezani sedimenti, trde kamnine ?
 - ✖ nameravane globine in premera vrtine
 - ✖ razpoložljive vrtalne opreme
 - ✖ izkušenj v podobnih razmerah



1. Ročno vrtanje

- ✖ najbolj enostaven način vrtanja
- ✖ dva načina:
 - ✖ z ročnimi svedri oz. spiralami
 - ✖ z drogovjem
- ✖ primerno za vrtanje v sedimente oz. mehke kamnine
- ✖ prednosti:
 - ✖ zelo poceni, izredno enostavna tehnologija
- ✖ slabosti:
 - ✖ uporabno le v izredno ugodnih geoloških razmerah
 - primerno le za plitve globine, večinoma do 30 metrov
 - premeri vrtin: večinoma do 200 mm
 - ✖ počasno



1. Ročno vrtanje

- ✖ 1. vrtanje z ročnimi svedri oz. spiralami
 - ✖ izredno enostavna oprema
- ✖ namen:
 - ✖ predvsem za plitvo jemanje vzorcev tal
 - pedološke analize tal
 - geokemična vzorčenja tal
 - ✖ redko tudi za izdelavo plitvih vrtin
- ✖ jemanje vzorcev tal



1. Ročno vrtanje

- ✖ 2. vrtanje z drogovjem
 - ✖ zabijamo cevi
 - ✖ enostavna vrtalna oprema
 - vrtalni drog oz. ročica
 - vrtalno orodje
 - (vrv)



- ✖ tudi do 100 m globine v idealnih pogojih

- ✖ primera ročnega vrtanja
 - ✖ Bangladeš, 2009!



2. Vrtanje s svedri oz. spiralami

- ✖ mehanizirano vrtanje
 - ✖ enostavna oprema
 - ✖ svedri oz. spirale (*angl. auger*)



- ✖ dva načina vrtanja:

- ✖ spiralni svedri
 - znani že dolgo - Arhimedova spirala za dvigovanje vode
 - iznos materiala poteka mehansko z vrtenjem, brez dodanih tekočin ali plina
 - zvezno
- ✖ večjega premera za izkop tal (*angl. bucket auger*)
 - vrtanje poteka z zajemom tal
 - nezvezno



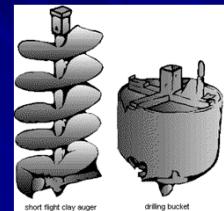
2. Vrtanje s svedri oz. spiralami

- ✗ prednosti:

- ✗ enostavno in poceni
 - ✗ voda med vrtanjem ni potrebna

- ✗ slabosti:

- ✗ primerno le za sedimente ali mehke kamnine



- ✗ globina vrtanja:

- ✗ do nekaj 10 m

- ✗ premeri vrtin:

- ✗ do 900 mm z večjimi profili vrtanja



3. Udarno vrtanje

- ✗ poznali že Kitajci pred več kot 4000 leti
 - ✗ tudi za vrtanje prve naftne vrtine v Pennsylvaniji leta 1859
- ✗ danes ga večinoma nadomeščajo druge oblike vrtanja, toda ponekod je še vedno v uporabi za vrtanje v nevezane sedimente



3. Udarno vrtanje

- ✖ udarno vrtanje (*angl. percussion oz. cable tool*)
 - ✖ = perkusijsko vrtanje
- ✖ princip delovanja:
 - ✖ periodično dvigamo in spuščamo vrtalno orodje v vrtino
 - ✖ pri vsakem udarcu se vrtalno dleto z ostrim rezilom zasuka za določen kot in tako udarja vedno po drugem mestu
 - ✖ vrtanje poteka po principu prostega pada



3. Udarno vrtanje

- ✖ kamnino drobimo z udarci
 - ✖ vrtalno orodje visi na jekleni vrvi oz. kablu
 - ✖ vrv mora biti taka, da prenese vrtenje in udarce
 - ✖ vrtalno dleto mora biti težko, da drobi kamnino
 - ✖ dodatno težo doprinese tudi vrtalno drogovje, ki tudi zagotavlja vertikalnost vrtine
- ✖ vrtanje poteka nezvezno
 - ✖ po določeni globini moramo odstraniti drobce
- ✖ vrtalni stroj oz. vrtalna garnitura mora biti dovolj visoka in stabilna, da prenese težo vrtalnega drogovja in opreme

3. Udarno vrtanje



3. Udarno vrtanje

- * primer: vrtalni stroj Bucyrus-Erie 22-W

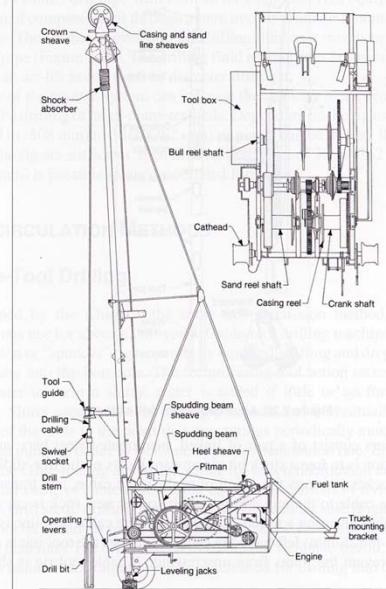


Figure 7.21. Bucyrus-Erie Model 22-W cable-tool rig. The percussion action is imparted to the drill line by the vertical motion of the spudding beam. The shock absorber mounted beneath the crown block helps control the impact of the bit (Bucyrus-Erie Co.).

3. Udarno vrtanje

- * proces vrtanja:

- * drobljenje kamnine
- * čiščenje dna vrtine (drobci, pomešani z vodo)
- * iznos drobcev



- * iznos drobcev

- * ko se na dnu nabere veliko drobcev kamnine, nadaljnje vrtanje ni mogoče
- * iznos drobcev zato poteka občasno s posebnimi orodji
 - votla cev (*angl. bailer*) z možnostjo zaprtja spodnjega dela, v katero se ujamejo drobci = "žlica"
 - drobce odstranjujemo približno na meter ali več globine
- * v vrtini mora biti voda, da zajamemo drobce v suspenziji

3. Udarno vrtanje

- * prednosti:

- * zelo enostavno in ekonomično vrtanje
 - primerjalna poraba nafte: le 15-20 l/dan v primerjavi z 500 l/dan pri rotacijskem vrtanju
- * enostavna vrtalna oprema
 - malo okvar
 - majhni stroški obratovanja in transporta
 - majhni stroški vzdrževanja opreme
- * primerno za težko dostopne terene
- * uporabno v raznolikih sedimentih in kamninah
 - predvsem uporabno za sedimente in mehkejše kamnine
 - redko tudi za trdne, razpokane oz. kavernozne kamnine
- * primerno za jemanje vzorcev

3. Udarno vrtanje

- ✖ **slabosti:**
 - ✖ počasno!
 - ✖ omejeno na relativno plitve globine, omejitve so predvsem zaradi teže drogovja in kabla
 - ✖ cevitev vrtine je težka, če sedimenti niso dovolj stabilni ali če pride do vdorov vode
- ✖ **globina vrtanja:**
 - odvisna od premera vrtine
 - možna do okoli 1000 m
 - večinoma do 100 m
- ✖ **premeri vrtin:**
 - ✖ do 600 mm

3. Udarno vrtanje

- ✖ začetna faza izdelave vrtine 
- ✖ dokumentarec NGWA
(*National Ground Water Association, ZDA*) 

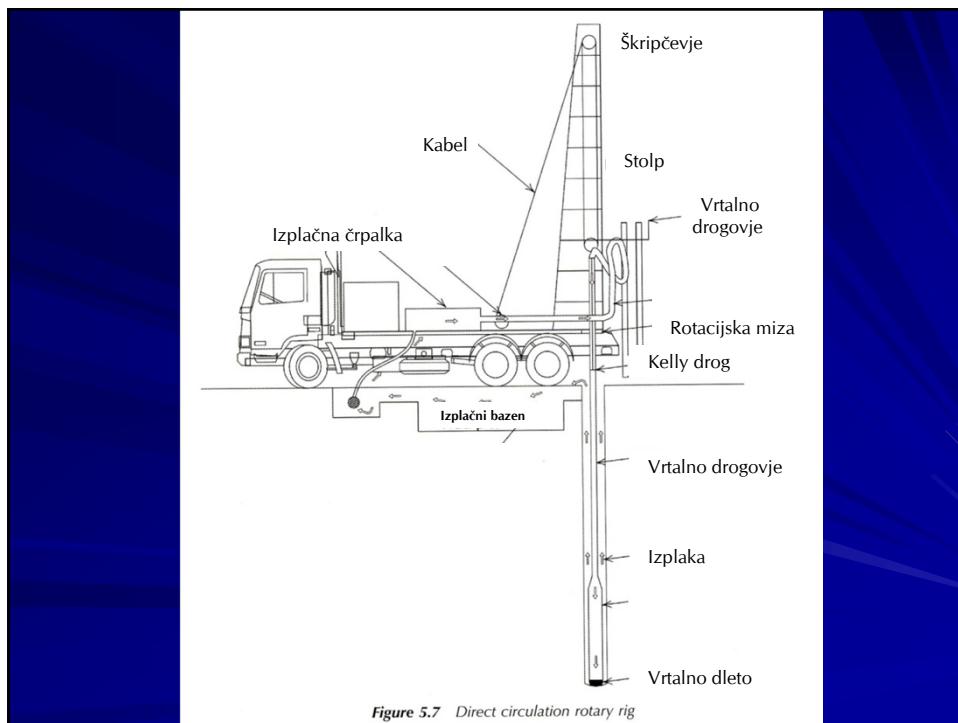
4. Rotacijsko vrtanje

- ✖ princip delovanja:
 - ✖ vrtino izdelujemo z vrtenjem vrtalnega orodja
 - ✖ vrtalno drogovje z lastno in dodatno težo pritiska na vrtalno dleto, ki se vrти
 - ✖ po načinu vrtanja ločimo:
 - drobljenje kamnine
 - brušenje kamnine
 - rezanje sedimentov oz. kamnine
- ✖ vrtanje je zvezno
 - ✖ bistvena prednost pred udarnim vrtanjem



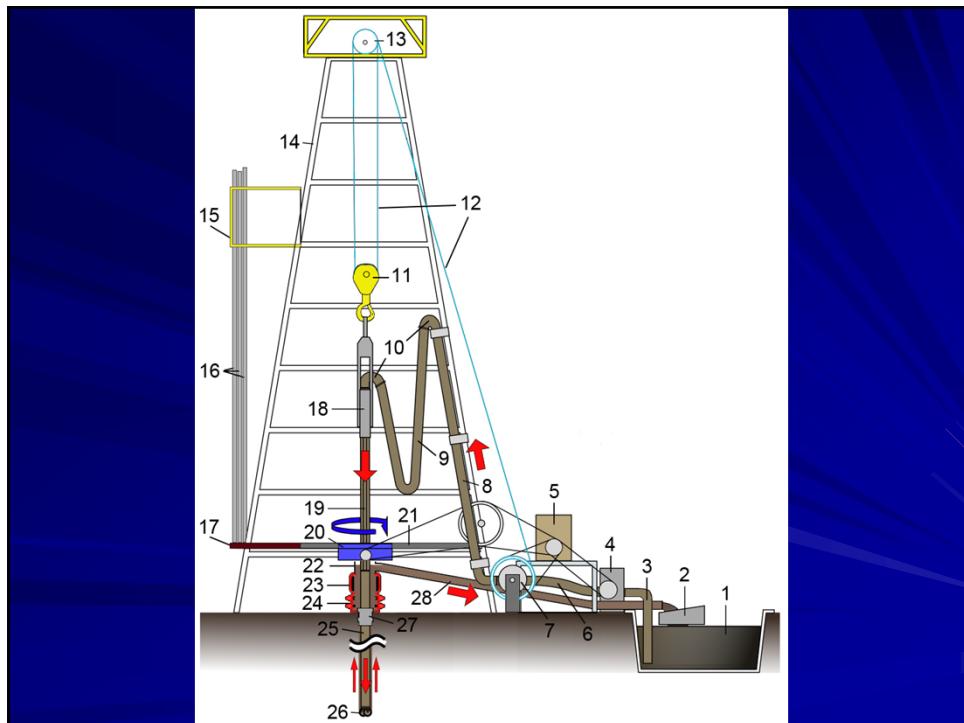
4. Rotacijsko vrtanje

- ✖ princip delovanja:
 - ✖ kamnino stružimo, režemo ali drobimo z vrtenjem vrtalnega orodja (dleto ali krone)
 - ✖ vrtalno orodje je pritrjeno na dno težkega vrtalnega drogovja
 - ✖ iznos drobcev poteka z zrakom ali tekočino
- ✖ glede na tip iznosa drobcev ločimo:
 - ✖ vrtanje z zrakom
 - ✖ vrtanje z vodo
 - ✖ vrtanje z izplako (*angl. mud*)
 - posebna vrtalna tekočina



4. Rotacijsko vrtanje

- ✖ primerjava vrtanja z zrakom in z izplako
 - ✖ kompresor zagotavlja vir zraka, ki ga vpihavamo v vrtalno drogovje
 - ✖ zrak izstopa skozi odprtine v vrtalni glavi in nosi drobce ven iz vrtine
 - ✖ prednosti vrtanja z zrakom pred vrtanjem z izplako:
 - hitrejše vrtanje
 - stene vrtine niso zamazane z izplako
 - vrtine ni potrebno izpirati po koncu vrtanja
 - ✖ slabosti:
 - pri večjih globinah zračni tlak ni dovolj velik, da iznaša drobce



4. Rotacijsko vrtanje

- ✗ delitev po načinu pogona:
 - ✗ pogon na površini
 - 1. pogonska glava (*angl. top-drive oz. tophead*)
 - 2. rotacijska miza (*angl. rotary table oz. kelly-drive*)
 - ✗ pogon v vrtini
 - turbina
 - ostali načini

4. Rotacijsko vrtanje

- ✗ način pogona:
 - ✗ 1. pogonska glava
 - ✗ rotacija poteka v vrtalni glavi in se prenaša na vrtalno drogovje
 - ✗ poleg rotacije pritiska glava tudi na drogovje (obtežba)
 - ✗ pogonska glava potuje gor in dol po stolpu



4. Rotacijsko vrtanje

- ✗ način pogona:
 - ✗ 2. rotacijska miza
 - ✗ rotacija poteka na rotacijski mizi
 - ✗ miza je fiksna (ne potuje)
 - ✗ prenos obtežbe se prenaša s t.i. kelly drogom
 - ✗ ta je "vpet" v rotacijsko mizo, drsi skoznjo
 - ✗ obtežbo povzroči lastna teža vrtalnega drogovja
 - ✗ vrtalne cevi imajo okrogli presek
 - ✗ kelly drog ima šestkotni ali kvadratni presek
 - ✗ pri pogonski glavi kelly drog ni potreben!

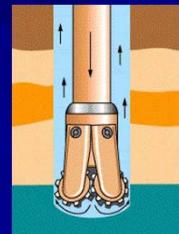


4. Rotacijsko vrtanje

- * poznamo dva načina izpiranja drobcev:

- * direktno izpiranje (direktna oz. normalna cirkulacija)

- plin ali tekočina (izplaka) potuje v vrtalno drogovje, čisti dno vrtine in iznaša drobce med vrtalnim drogovjem in steno kamnine
 - premer vrtanja do okoli 500 mm



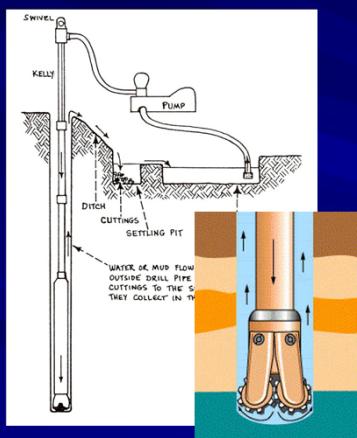
- * indirektno izpiranje (reverzna cirkulacija)

- obrnjen tok tekočine
 - tekočina (večinoma voda) potuje na dno vrtine med vrtalnim drogovjem in steno kamnine, čisti dno vrtine in izhaja iz vrtalnega drogovja
 - večji premer vrtanja, do okoli 1500 mm
 - primerno za debelozrnate sedimente
 - možno tudi z dvojno cevitvijo

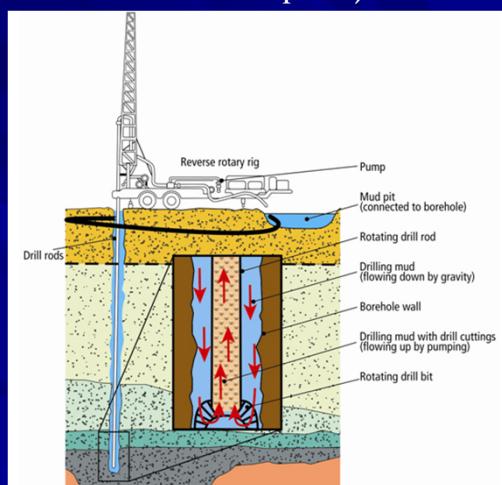


4. Rotacijsko vrtanje

- * direktno izpiranje

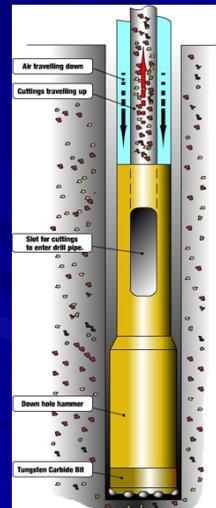
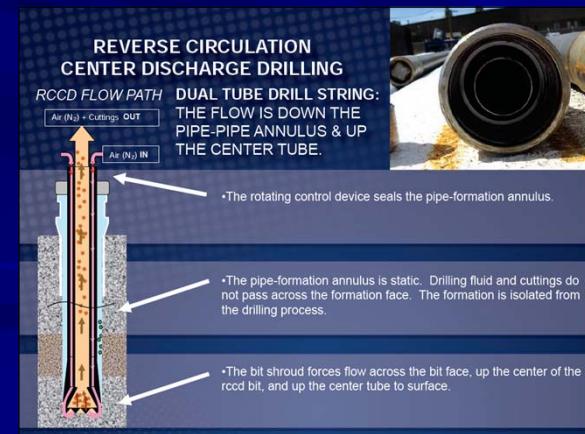


- indirektno izpiranje



4. Rotacijsko vrtanje

- * indirektno izpiranje z dvojno cevijo
 - * prednost: ni stika drobcev z ostenjem vrtne



4. Rotacijsko vrtanje

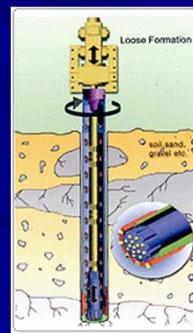
- * prednosti:
 - * omogoča vrtanje do zelo velikih globin
 - * vrtanje v različne litologije
 - * hitro
- * slabosti:
 - * večja investicija in oprema
 - * potrebno je veliko delovišče
 - * večinoma slabi vzorci (drobci oz. izpirki), razen pri jedrih
- * globina:
 - * do več 1000 m

5. Udarno-rotacijsko vrtanje

- * = vrtanje s kladivom
- * kombinacija udarnega in rotacijskega vrtanja
 - * ponavljajoče se udarjanje kladiva ob kamnino ob istočasni rotaciji
 - * čiščenje drobcev poteka z izpiranjem
- * primerno za večino kamnin, še posebej za trše kamnine
- * hitro vrtanje
 - * nekajkrat hitrejše od udarnega vrtanja
 - * včasih počasnejše od rotacijskega, saj ima udarno dleto prazni hod okoli 10-30 stopinj

5. Udarno-rotacijsko vrtanje

- * sinonim: vrtanje s kladivom (DTH vrtanje)
 - * Down The Hole
 - * pnevmatsko kladivo oz. globinsko kladivo
 - udarci se izvajajo z batom v vrtalnem kladivu in se prenašajo na preko vrtalnega dleta na kamnino



5. Udarno-rotacijsko vrtanje

- ✖ vrtanje je sestavljeno iz štirih neodvisnih operacij:
 - ✖ udar (perkusija)
 - ✖ rotacija
 - ✖ obtežba dleta
 - ✖ izpiranje oz. izpihanje



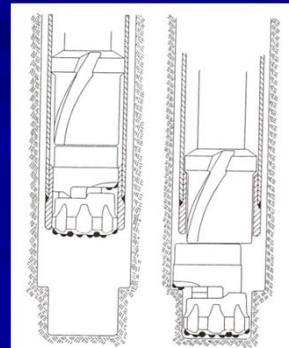
5. Udarno-rotacijsko vrtanje

- ✖ prednosti:
 - ✖ zelo hitro, predvsem v trših kamninah
 - nekajkrat hitrejše kot rotacijsko
 - do okoli 30 cm/minuto
 - ✖ možno vrtanje v različne litologije
- ✖ slabosti:
 - ✖ neprimerni za sedimente oz. mehke kamnine (npr. plastične gline), ki absorbirajo udarce
 - ✖ pod gladino vode mora stisnjeni zrak premagati tudi hidrostatski tlak vode
- ✖ DTH vrtanje



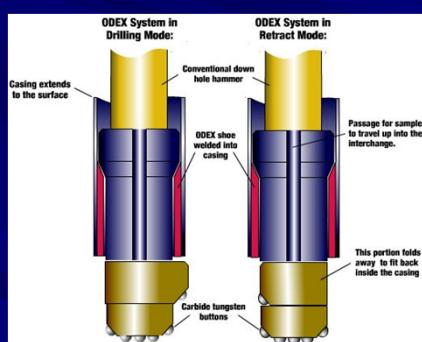
5. Posebna vrtanja

- ✖ 5.1 Vrtanje z ekscentričnimi vrtalnimi glavami
 - ✖ znano pod več imeni: npr. ODEX, TUBEX, SIM-CAS
- ✖ vrtalno dleto je sestavljeni iz dveh dlet, ki nista v isti osi
 - ✖ spodnje, manjše dleto vrta večji premer
 - ✖ po končanem vrtanju se spodnje dleto povleče in izvleče skupaj z vrtalnim drogovjem na površje
 - ✖ ta sistem vrtanja omogoča sprotno cevitev
 - ✖ uporabno za nekonsolidirane (nesprijetne) sedimente, predvsem prod in pesek



5. Posebna vrtanja

- ✖ 5.1 Vrtanje z ekscentričnimi vrtalnimi glavami
 - ✖ ODEX



5. Posebna vrtanja

* 5.2 Hidravlično vrtanje - "jetting"

- * vrtanje z vodo ali izplako brez rotacije ali udarjanja
- * tekočino (ponavadi vodo) črpamo v vrtalno drogovje
- * voda "utekočini" sedimente, drobce iznaša ob ostenju
- * prednosti:
 - * hitra, enostavna in poceni metoda
- * slabosti
 - * uporabna za plitve vrtine majhnega premera
 - * le v nevezanih sedimentih

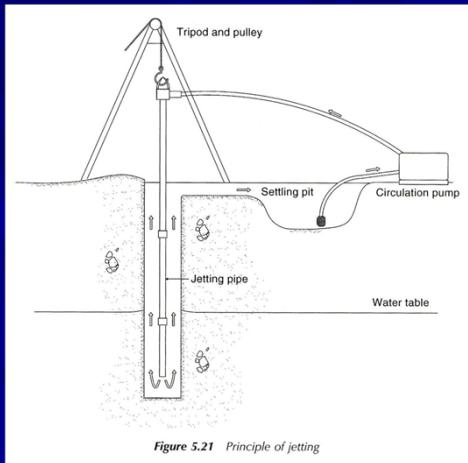


Figure 5.21 Principle of jetting

5. Posebna vrtanja

* 5.3 Akustično oz. sonično vrtanje (sonic)

- * vrtanje z vibracijami
- * ne potrebujemo dlet ali kron
- * prednosti:
 - * zelo hitra metoda
- * slabosti
 - * predvsem uporabna v nevezanih sedimentih

Preglednica vrtalnih metod

	Metoda	Hitrost vrtanja	Premer (")	Globina (m)	Poškodovanje sten	Iznos drobcev	Stabilnost
direktno izpiranje	rotacija - izplaka		4 - 20	1500 +	red		
	rotacija - zrak		4 - 12	1500 +	orange		
	rotacija - spr. cevitev		12 - 30	150- 400	green	green	green
	DTH kladivo		4 - 48	50 - 500	green	green	green
indirektno izpiranje	rotacija - izplaka		4 - 36	1000	orange	blue	blue
	dvojna cevitev		5 - 12	1000	green	blue	orange
brez izpiranja	udarno	red	4 - 36	500	green	blue	green
	spirala - večji premer	yellow	24 - 48	50	orange	orange	orange

Oprema za vrtanje

- ✗ del vrtalnega drogovja, ki struži, brusi, reže ali drobi kamnino oz. sedimente
- ✗ opremo izberemo glede na pričakovani tip kamnin in glede na metodo vrtanja
- ✗ ločimo:
 - ✗ dleta, krone, kladiva
- ✗ ostala oprema
 - ✗ stabilizatorji, vrtalno drogovje, jedrnikи, ...

Oprema za vrtanje

- ✗ **1. dleta (angl. bits)**
 - ✗ dleto je del vrtalnega drogovja, ki je v stiku s kamnino in z njim obdelujemo celotno površino vrtine
- ✗ glede na tip kamnin ali sedimentov uporabljamo različne tipe dlet:
 - ✗ krilno dleto
 - ✗ kotalno dleto
 - ✗ diamantno dleto
 - ✗ ostala (hibridna)



Oprema za vrtanje

* 1.1. krilna dleta (angl. blade / drag bits)

- * uporabna za vrtanje v mehke sedimente (gline, melje)
- * kamnino režemo
- * uporabna pri rotacijskem vrtanju
- * v dletih so odprtine, ki omogočajo tok zraka ali izplake



Oprema za vrtanje

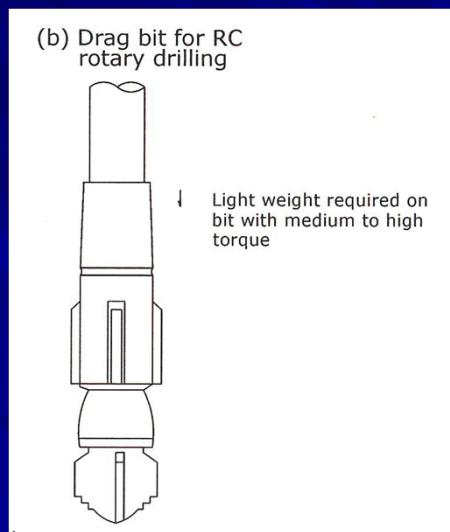
* 1.1. krilna dleta

- * inserti iz posebnega trdega materiala - **WIDIA**
 - volframov karbid z dodatkom kobalta
- * tudi iz specialnega jekla



Oprema za vrtanje

- * 1.1. krilna dleta



Oprema za vrtanje

- * 1.1. krilna dleta - segmentna dleta

- * sestavljena iz več kril različnih premerov
- * dodajajo se po potrebi
- * namenjena vrtanju vrtin večjih premerov



Oprema za vrtanje

- * 1.2. kotalna dleta (angl. roller bits)
 - * dleta sestavljajo ponavadi tri rolke, ki se vrtijo
 - (angl.: tricone bits)
 - lahko imajo tudi 2 ali 4 rolke
 - * na njih je vdelan odporen material, ki reže in drobi kamnino (specialno jeklo, WIDIA ali diamanti)
 - * pri vrtanju rabimo manjši navor kot pri krilnih dletih



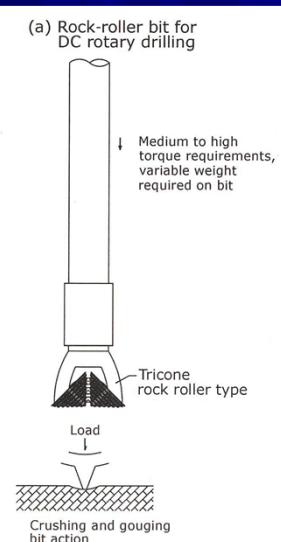
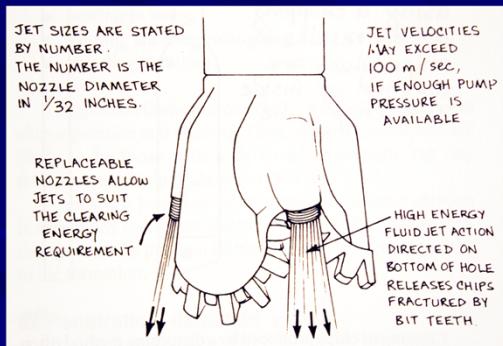
Oprema za vrtanje

- * 1.2. kotalna dleta



Oprema za vrtanje

* 1.2. kotalna dleta



Oprema za vrtanje

* 1.2. kotalna dleta

- * razširjevalec (angl. reamer)
 - ↓ – za povečanje premera vrtanja



Oprema za vrtanje

- * 1.2. kotalna dleta
 - * **A. zobata dleta**
 - daljši zobci: bolj primerni za mehkejše kamnine
 - * **B. insertna dleta (bradavičasta)**
 - krašči, bolj okrogli vdelani zobci: za bolj trde kamnine
 - drobijo in lomijo kamnino

trdota kamnin



Oprema za vrtanje

- * 1.2. kotalna insertna dleta
 - * material: predvsem WIDIA



Oprema za vrtanje

- * 1.3. diamantna dleta

- * material: sintetični diamanti
- * brusijo kamnino



Oprema za vrtanje

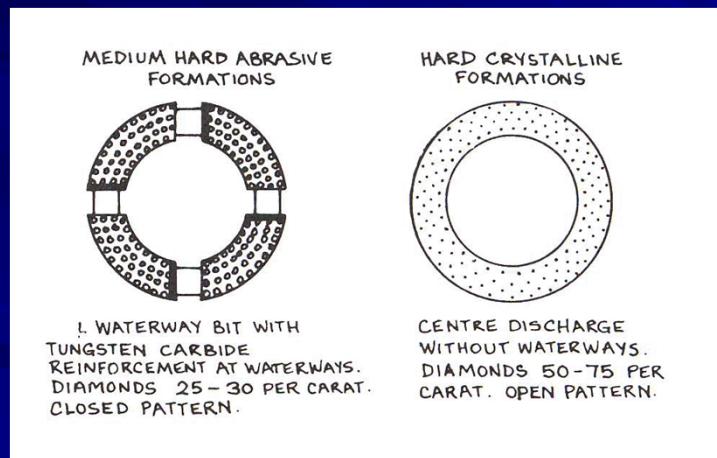
- * 2. krone

- * režejo vrtino samo po obodu
- * iz widie (oz. karbidnih zlitin) ali diamantne
- * v uporabi pri rotacijskem vrtanju
 - hitri obrati !



Oprema za vrtanje

* 2. krone



Oprema za vrtanje

* 2. krone

- * tankostenske
- * debelostenske
- * uporabne za vrtanje na jedro



Oprema za vrtanje

* 3. pnevmatska oz. globinska kladiva (DTH)

- * sestavljena iz dveh delov
- * spodnji del (dleto) udarja po kamnini in jo drobi
- * deluje na stisnjeni zrak
 - ta zrak služi tudi za iznos drobcev
 - možno tudi na hidravlični pogon



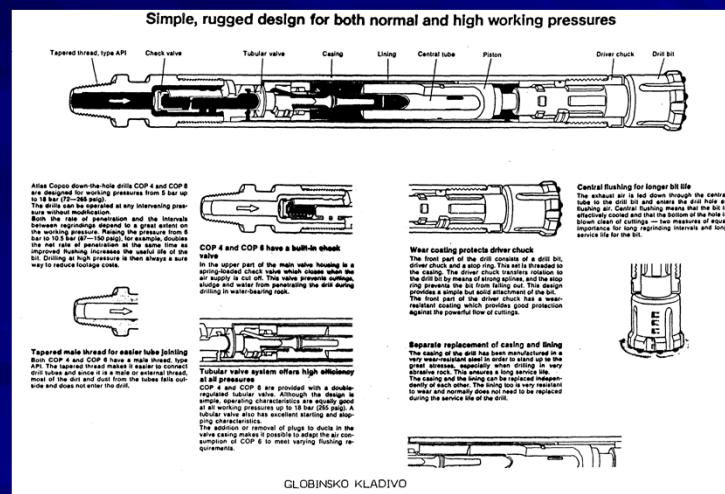
Oprema za vrtanje

* 3. pnevmatska oz. globinska kladiva



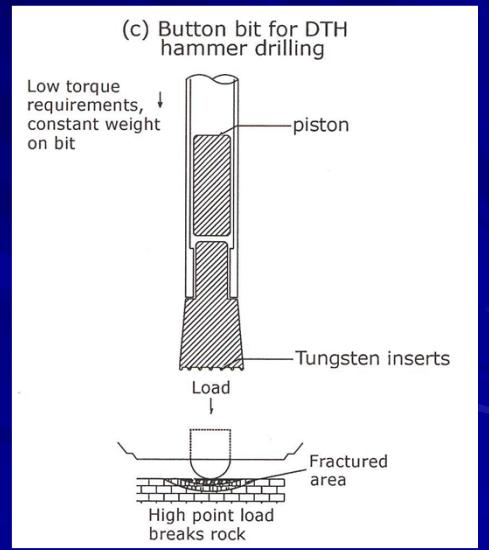
Oprema za vrtanje

* 3. globinsko kladivo



Oprema za vrtanje

* 3. globinsko kladivo



Oprema za vrtanje

- ✖ **stabilizatorji**

- ✖ namenjeni stabilizaciji vrtine
- ✖ s težo in premerom zagotavljajo smer vrtine - vertikalnost
- ✖ uporabni za vrtanja večjih premerov
 - predvsem za globoke vrtine, kjer prihaja do odklonov smeri



Oprema za vrtanje

- ✖ **stabilizatorji**



Oprema za vrtanje

* vrtalno drogovje

* namenjeno:

- prenos obtežbe (energije) na dleta/krone oz. na dno vrtine
- prenos vrtalnih tekočin (vode ali izplake) oz. zraka
- ponavadi cca 3 ali 6 m dolžine (10" ali 20")



Oprema za vrtanje

* vrtalno drogovje

- * težko drogovje se občasno doda med dleto in vrtalno drogovje
 - služi kot dodatna obtežba za zagotavljanje vertikalnosti



Vrtanje na jedro (jedrovanje)

- ✖ namenjeno odvzemu jedra
 - ✖ (angl. coring, jedro = core)
 - ✖ veliko boljši vzorec kamnin oz. sedimentov kot drobci
 - ✖ za vrtanje uporabimo (tankostenske) krone
 - ✖ slabosti:
 - počasnejše vrtanje
 - dražje



Vrtanje na jedro

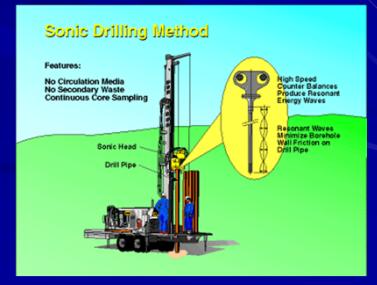
- ✖ poznamo več tipov jedrovanja:
 - ✖ enostensko
 - ✖ dvostensko
 - pri obeh je vrtanje *nezvezno*
 - ✖ *wire-line* jedrovanje
 - istočasno med vrtanjem jemljemo jedro
 - dvostensko jedrovanje
 - med vrtanjem z žico potegnemo notranje cevi z jedrom
 - *zvezzen* proces jedrovanja oz. vrtanja

jedrnik



Vrtanje na jedro

- ✗ poseben tip vrtanja (na jedro)
- ✗ akustično oz. sonično vrtanje (*angl. sonic drilling*)
 - ✗ uporablja visokofrekvenčne mehanske vibracije
 - ✗ uporabno predvsem v nesprjetih sedimentih
 - ✗ prednosti:
 - ponavadi ne potrebujemo vrtalnih tekočin
 - izredno hitro



Vrtalne tekočine (izplake)

- ✗ vrtalne tekočine oz. izplake (*angl. mud*) so tekočine ali plini, ki se uporabljajo za iznos drobcev kamnin iz vrtine ter drugim funkcijam
- ✗ (Koren, V., 1999: *Vrtanje, UL NTF*)

- ✗ **delitev:**

- ✗ **plinske**
 - zrak
 - zrak z vodo
 - zrak s peno
 - ✗ **izplake :**
 - vodne
 - bentonitne, polimerne, težke, inhibirane
 - naftne
 - emulzije nafte, vode in dodatkov



Vrtalne tekočine (izplake)

- ✗ **izplačni bazeni**
 - ✗ služijo za cirkulacijo izplake
 - ✗ drobci se usedajo v bazen
 - ✗ izplaka se filtrira in ponovno porabi
- ✗ **izgube izplake**
 - ✗ v porozne sloje ali kraške "kaverne"
 - ✗ pri velikih tlakih izplake



Vrtalne tekočine (izplake)

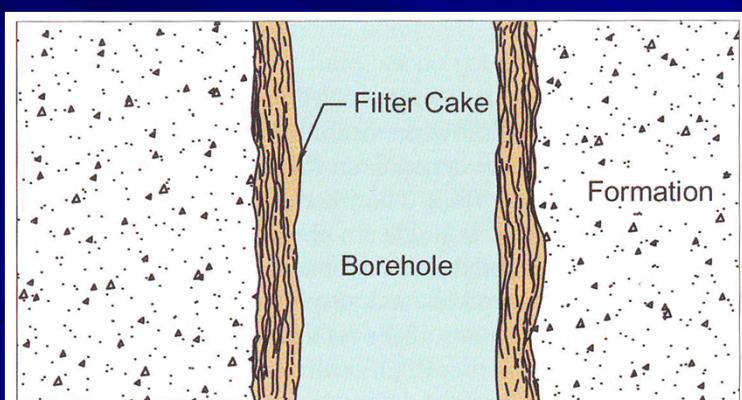
- * **funkcije izplake:**

- * iznos delcev iz vrtine
- * čiščenje dna vrtine
- * vzdrževanje nadpritiska v vrtini
- * preprečevanje sedimentacije delcev pri prekiniti cirkulacije
- * formiranje t.i. kolača na stenah vrtine
- * preprečevanje zruškov v vrtini
- * preprečevanje pretokov fluidov iz vrtine in v vrtino
- * hlajenje in mazanje vrtalnega pribora
- * zmanjšanje teže pri manevrih v vrtini
- * zaščita vrtalnega pribora pred korozijo
- * hidravlični prenos energije
- * vzdrževanje kontakta med sondami in ostenjem pri karotaži

Vrtalne tekočine (izplake)

- * **funkcije izplake:**

- * formiranje t.i. kolača na stenah vrtine

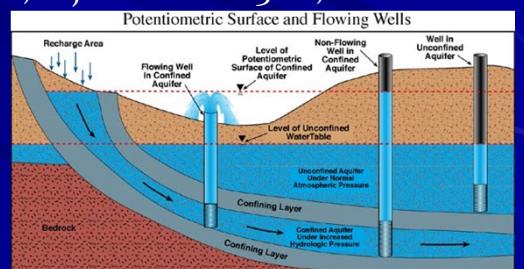


Vrtalne tekočine (izplake)

- ✗ v uporabi predvsem pri rotacijskem vrtanju
- ✗ izbor vrtalnih tekočin:
 - ✗ zrak ali voda: trde in stabilne kamnine
 - ✗ izplake: nestabilne kamnine (mehke, nevezani sedimenti)
- ✗ **parametri:**
 - ✗ **hitrost**
 - naj bi bila okoli 0,3 - 0,6 m/s (ADI, 1997)
 - ✗ **viskoznost**
 - vpliva na sedimentacijo drobcev
 - ✗ **gostota** - vpliva na:
 - hidrostatični tlak
 - debelino kolača
 - sposobnost iznosa drobcev
 - ✗ **alkalnost (pH)**
 - ✗ **vsebnost peska (%)**

Hidrogeološko vrtanje in meritve

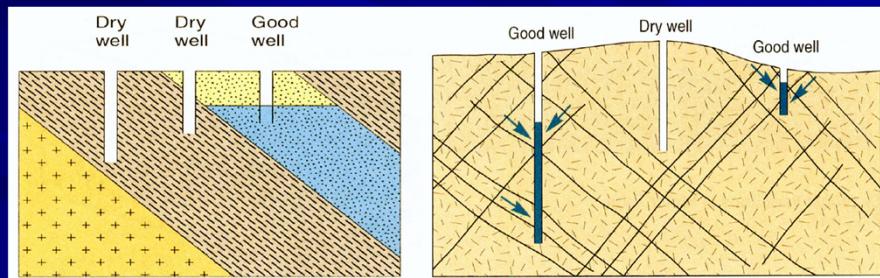
- ✗ vrtanje z namenom raziskovanja ali izkoriščanja podzemnih vod
 - ✗ čim hitrejše vrtanje
 - ✗ vzorci niso tako pomembni kot pri ostalih namenih vrtanja
 - ✗ vrtamo večinoma brez jedra
 - ✗ omogočeno mora biti črpanje ali vzorčenje vod
- ✗ vrtine so večinoma plitve, največ do okoli 30m, zelo redko nad 150 m



Hidrogeološko vrtanje in meritve

* vodonosnik

- * je kamnina ali sediment, iz katere je mogoče pridobivati ekonomsko pomembne količine vode
- * primeri: peski, prodi, peščenjaki, razpokani karbonati in zelo razpokane in preperele magmatske kamnine



Hidrogeološko vrtanje in meritve

- * primerjava primerosti izbranih vrtalnih metod za hidrogeološke raziskave (ADI, 1997)

	udarno	udarno-rotacijsko	rotacijsko - izplaka	rotacijsko - zrak	spirala (sveder)	hidravlično
vzorci vode						
vzorci sedimenta						
meritve formacije						
lastnosti formacije						
črpalni poizkusi						

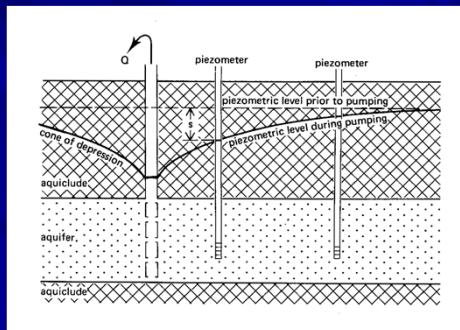
Hidrogeološko vrtanje in meritve

- ✗ hidrogeološko vrtanje je usmerjeno v:
- ✗ **1. izdelavo vodnjakov**
 - ✗ vrtine ali umetno izkopane odprtine, namenjene izkoriščanju podzemne vode iz bolj ali manj prepustnih plasti (vodonosnikov)
 - ✗ večjega premera, vsaj okoli 150 mm
 - ✗ delitev:
 - ročni (kopani) - plitvi
 - vrtani - globoki
 - ✗ deli vodnjaka:
 - vrtina
 - cevi (polne in filtrske)
 - zasip
 - cementni čep



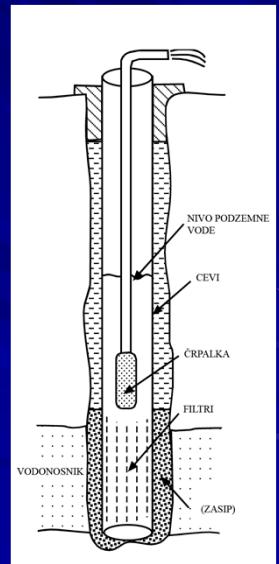
Hidrogeološko vrtanje in meritve

- ✗ **2. izdelavo piezometrov**
 - ✗ opazovalne vrtine oz. inštrumenti
 - ✗ manjšega premera kot vodnjaki
 - ✗ namenjene spremljanju nivojev oz. tlakov podzemne vode in kvalitete vode



1. Oprema vodnjakov

- ✗ iz vodnjaka črpamo vodo s črpalkami
- ✗ poznamo več vrst črpalk
- ✗ za črpanje iz vrtin je najbolj razširjena vgradna *potopna črpalka*



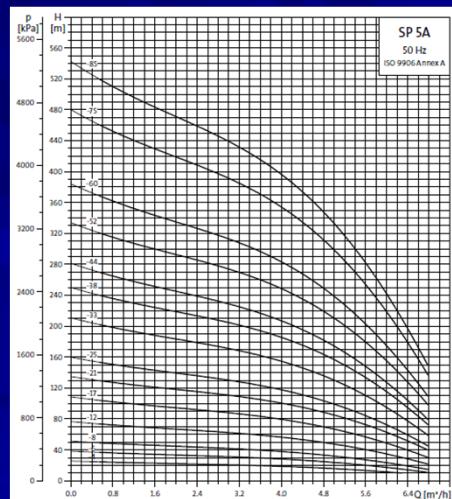
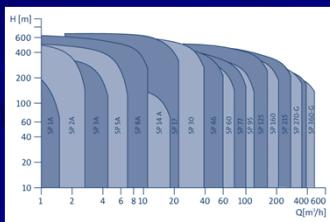
1. Oprema vodnjakov

- ✗ potopne črpalke



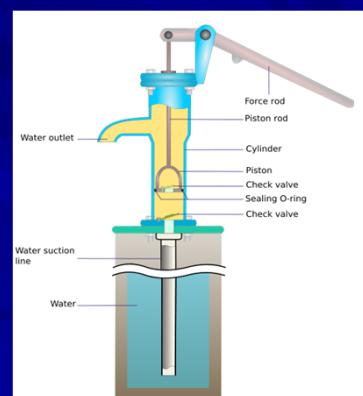
1. Oprema vodnjakov

- ✖ izbor črpalke je odvisen od:
 - ✖ želenega pretoka (Q)
 - ✖ dvižne oz. tlačne višine (H)
 - višina vode nad črpalko
- ✖ pomembna je tudi moč (poraba električne energije)
- ✖ dimenzijske črpalke vplivajo na izbor premora cevi in tudi vrtine!



1. Oprema vodnjakov

- ✖ ročne črpalke
 - ✖ uporabne tam, kjer je nivo podzemne vode do okoli 7 m globine



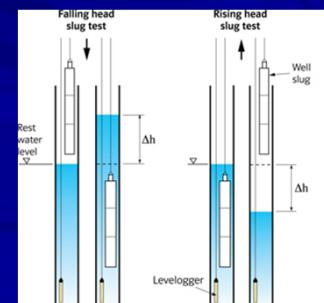
2. Oprema piezometrov

- ✖ opazovalne vrtine oz. *piezometri* so namenjene opazovanju podzemne vode:
 - ✖ nivo podzemne vode
 - ✖ kvaliteta podzemne vode
- ✖ za monitoring (spremljanje stanja podzemne vode)
- ✖ za črpalne poizkuse v okolini vodnjakov
- ✖ so manjših premerov kot vodnjaki, omogočati morajo le vgradnjo merilne opreme in ne črpalk



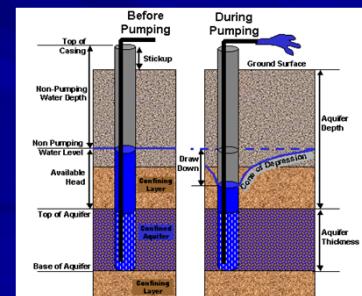
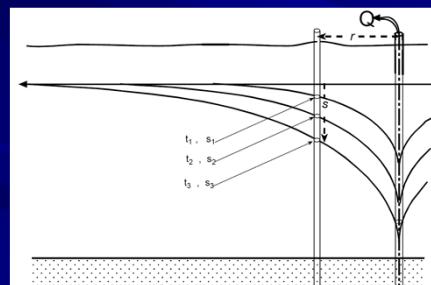
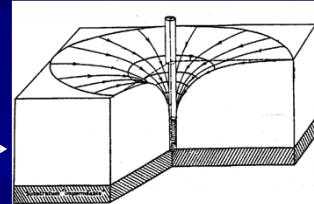
Hidravlični testi

- ✖ v vrtinah izvajamo meritve z namenom ugotoviti lastnosti vodonosnikov
- ✖ hidravlične teste delimo na:
 - ✖ **črpalne poizkuse** - največ v uporabi
 - vodo črpamo iz vrtine (pretok Q)
 - merimo znižanje gladine (s) v odvisnosti od časa (t)
 - ✖ **nalivalne poizkuse**
 - vodo črpamo v vrtino
 - ✖ **impulzne teste (slug-testi)**
 - ustvarimo trenutne motnje gladine
 - ✖ **step-teste**
 - črpamo različne količine (Q_1, Q_2, Q_3, \dots), do ustalitve nivojev (s_1, s_2, s_3, \dots)
 - določimo največjo zmogljivost vodnjaka



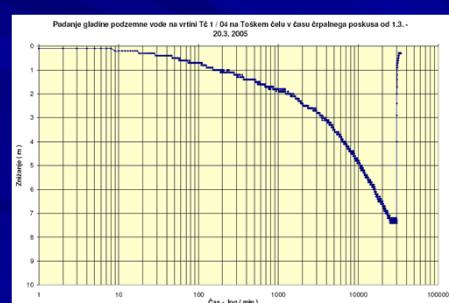
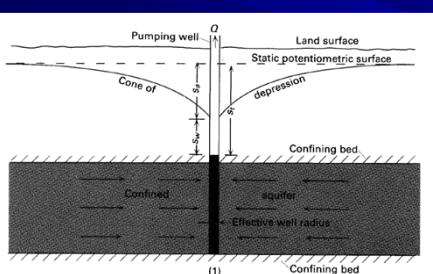
Črpalni poizkusi

- ✗ vodna gladina v vodnjakih pred črpanjem je *stacionarna gladina*
- ✗ med črpanjem se gladina zniža
 - ✗ pojavi se znižanje (s) in *depresijski lijak* →
 - ✗ znižanje se lahko s časom ustali ali ne



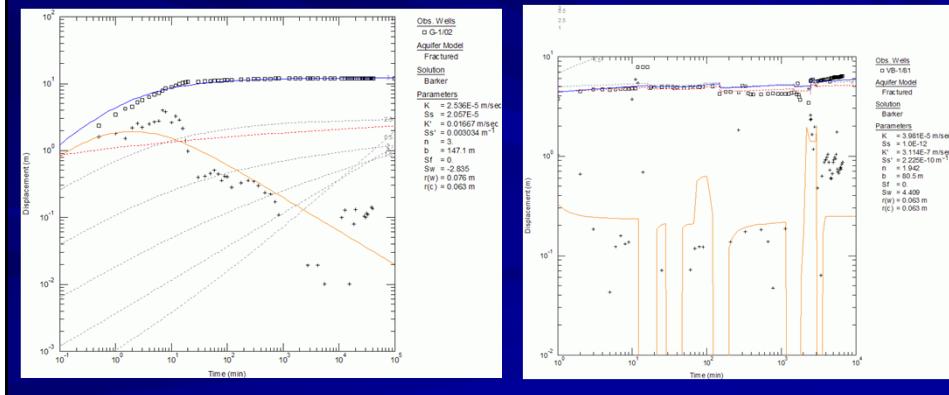
Črpalni poizkusi

- ✗ s črpanjem vode iz vodnjakov in z meritvami v vodnjakih in v piezometrih dobimo podatke o prepustnosti in ostalih hidravličnih parametrih sedimentov ali kamnin
 - ✗ iz meritev pretoka in spremnjanja gladine podzemne vode s časom lahko izračunamo **koefficient prepustnosti (K)**, ki je osnovni hidrogeološki parameter o prepustnosti kamnin



Črpalni poizkusi

- * primeri grafov odvisnosti znižanja (s) s časom (t)
 - * poleg K izračunamo tudi *transmisivnost* (T),
koefficient specifičnega elastičnega uskladiščenja (S_s) in ostale



Črpalni poizkusi



Cevi

- ✖ po izdelavi vrtine vanjo vgradimo cevi z različnimi funkcijami:
 - ✖ **polne oz. zaščitne cevi**
 - za zaščito kanala vrtine pred zaruštvijo
 - onemogočajo pritoke nezaželenih tekočin
 - ✖ **filtrske cevi**
 - produktivne cevi
 - omogočajo dotoke tekočin (vode, v naftnih vrtinah seveda nafte ali drugih fluidov)
 - ✖ v stabilnih kamninah je lahko vrtina **nezacevljena**
- ✖ izbor cevi je odvisen od:
 - ✖ kvalitete vode, globine, premera, načina vrtanja, cene in predpisov

Cevi

- ✖ v globlje vrtine se večinoma vgrajujejo cevi različnih premerov
 - ✖ teleskopsko vrtanje oz. cevitev
- ✖ premer je predvsem odvisen od premera vgrajene črpalke
- ✖ vrhnja (prva) cev se imenuje uvodna oz. zaščitna kolona
 - ✖ večjega premera kot ostale
 - ✖ prepričuje zrušitve med vrtanjem, neželene dotoke in vnos materiala
 - ✖ do globine nekaj metrov
 - ✖ nadaljnje vrtanje poteka znotraj te cevi



Cevi

- * polne cevi

- * večinoma iz materialov:

- **1. jeklene**

- trdne (do 240 MPa)
 - zdržljive do okoli 540 °C
 - težke (spec. gostota 7,8 g/cm³)



- **2. INOX (nerjaveče jeklo, Cr, Ni)**

- podobne mehanske lastnosti kot jeklene
 - trdne (do 210 MPa)
 - bolj odporne proti koroziji



- te cevi (1., 2.) imajo navoje ali se varijo

Cevi

- * polne cevi

- * večinoma iz materialov:

- **3. plastične (PVC)**

- manj trdne (do 50 MPa)
 - manj odporne na visoko temperaturo (do okoli 60 °C)
 - lahke (spec. gostota 1,4 g/cm³)
 - najbolj odporne proti koroziji in biokoroziji
 - enostavne za ravnanje
 - ponavadi predpisane za piezometre
 - predvsem za plitve vrtine



- **4. plastične s steklenimi vlakni (fiberglass)**

- redko v uporabi
 - trdnost med PVC in jeklenimi
 - lahke (spec. gostota 1,9 g/cm³)
 - zelo odporne proti koroziji



Cevi

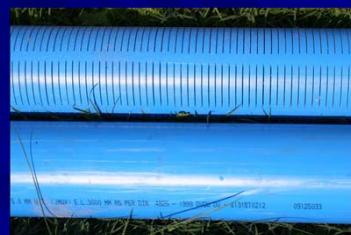
- ✖ premer cevi vpliva na maksimalen pretok iz vrtine
 - ✖ povezan je s premerom vrtanja
 - ✖ povzetek pretokov glede na premer vrtin:

Premer (inče)	Premer (mm)	Največji pretok Q (l/s)
4"	102	4
6"	152	10
8"	203	15
10"	254	25
12"	305	40
24"	609	160

(ADI, 1997, 430); Sterrett, 2007, 370 ima višje vrednosti zaradi različne predpostavljene hitrosti

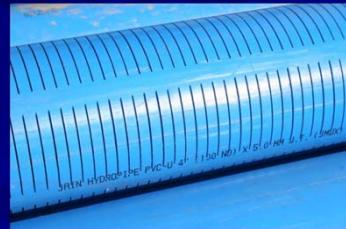
Filtrske cevi

- ✖ filtrske cevi
 - ✖ skušamo zagotoviti:
 - čim večjo površino odprtin
 - čim boljšo trdnost
 - čim boljšo odpornost proti koroziji
 - optimalno geometrijo odprtin
- ✖ oblike filtrov se razlikujejo glede na tip sedimenta in velikost klastov ter na vstopne hitrosti
 - ✖ 1. rezani oz. slotirani filtri
 - ✖ 2. mostični filtri
 - ✖ 3. žični (Johnson) filtri
 - ✖ 4. režasti oz. loputasti filtri
 - ✖ 5. perforirane cevi z ovojem žičnih filterov



Filtrske cevi

- ✖ 1. rezani (slotirani) filtri
 - ✖ ročno (površina odprtin je 2-4 %) ali strojno rezane odprtine
 - ✖ manjša površina odprtin
 - ✖ manjši pretok
- ✖ 2. mostični filtri (*bridge-slot*)
 - ✖ tekočine prihajajo v odprtine bočno pod "mostički"
 - ✖ površina odprtin je do 5-10%
 - ✖ večinoma za vgradnjo filtrskih zasipov



Filtrske cevi

- ✖ 3. žični filtri (Johnson)
 - ✖ ovoj iz žice
 - ✖ velika površina odprtin
- ✖ 4. režasti filtri (*louvered*)
 - ✖ reže na spodnji strani
- ✖ 5. perforirane cevi z ovojem žičnih filtrov
 - ✖ zelo velika površina odprtin
 - ✖ velika teža



Filtrske cevi

- * primerjava filtrov
 - * Sterrett, 2007, 434

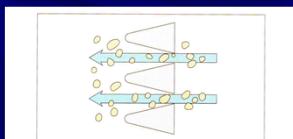


Figure 9.12. Continuous-slot screens have V-shaped openings, and the slots are non-clogging because their openings widen inwardly. Particles that can pass through the narrow outside opening can enter the screen.

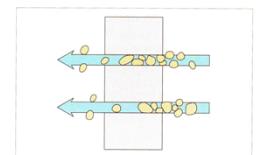
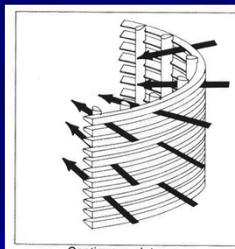
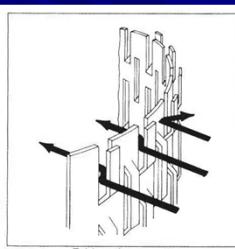


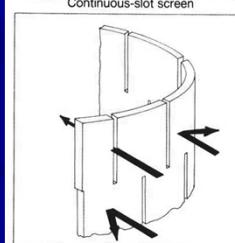
Figure 9.13. Elongated or slightly oversized particles can clog straight-cut, punched pipe, or gauze-type openings.



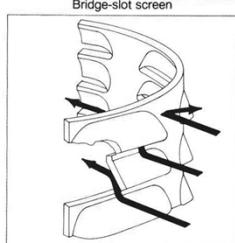
Continuous-slot screen



Bridge-slot screen



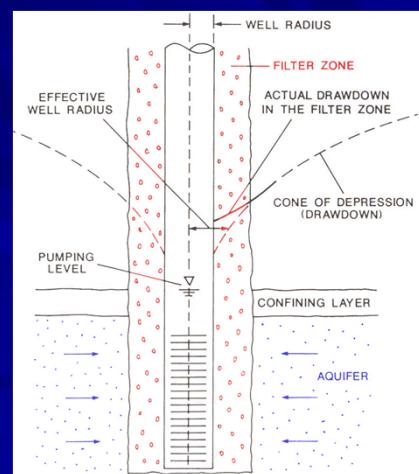
Slotted pipe



Louvered screen

Filtrski zasip

- * med vgrajene cevi in steno vrtine (kamnino) se lahko vgradi umeten zasip
 - * delci s točno določeno granulacijo (velikostjo zrn)
 - * preprečuje zamašitev filtrov z manjšimi delci
 - * prepustnost zasipa je ponavadi nekajkrat večja od prepustnosti kamnin oz. sedimenta



Cementaža

- ✗ prostor med cevmi in steno vrtine v vrhnjem delu vrtine se cementira za zaščito vrtine
- ✗ celotna vrtina se lahko cementira v primeru opustitve



Vzorčenje in meritve vod v vrtinah

- ✗ namen:
 - ✗ meriti gladine podzemne vode
 - ✗ odvzeti vzorce vod iz vrtin in preučiti njihovo kemično sestavo ter ostale fizikalno-kemične parametre
 - če je možno, odvzamemo tudi tiste glavne parametre v vodah, ki niso minimalno predpisani s pravilniki (npr. Ca, Mg, HCO₃, ...)
- ✗ v splošnem ločimo:
 - ✗ *ročno merjenje*
 - meritve z merilci nivoja in prenosnimi merilci sestave vod
 - ✗ *avtomatsko merjenje*
 - potopljene sonde z možnostjo shranjevanja podatkov

Meritve nivojev vod v vrtinah

- * 1. ročne meritve nivojev

- * 1.1 merilec z merskimi oznakami

- * do 1800 m globine

- * merske oznake globine na traku (mm)

- * zvočni in svetlobni signal sonde ob stiku z vodo



Meritve nivojev vod v vrtinah

- * 1. ročne meritve nivojev

- * 1.1 merilec z merskimi oznakami



Meritve nivojev vod v vrtinah

- * 2. avtomatske meritve nivojev

- * 2.1 limnigraf

- * = naprava, ki zapisuje nivoje gladine vode v času
 - * tudi za meritve površinskih vod
 - * potopljen plovec, povezan s peresom
 - * prednosti: mehanska metoda, zapis na papir s peresom
 - * slabosti: kondenz, lahko zmrzne, težka pretvorba v digitalni zapis
 - * menjava papirja: večina 1x mesečno

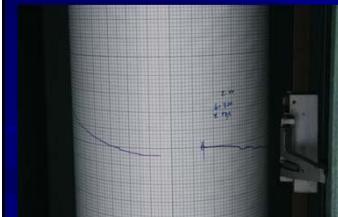


Meritve nivojev vod v vrtinah

- * 2. avtomatske meritve nivojev

- * 2.1 limnigraf

- * zapis



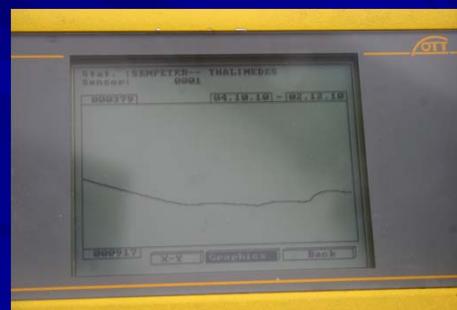
Meritve nivojev vod v vrtinah

- ✖ 2. avtomatske meritve nivojev
 - ✖ 2.2 avtomatski merilci s plovcem
 - ✖ mehansko merjenje s plovcem
 - ✖ digitalni zapis
 - ✖ npr. *Archimedes*, *Thalimedes*



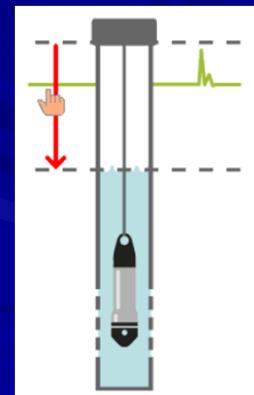
Meritve nivojev vod v vrtinah

- ✖ 2. avtomatske meritve nivojev
 - ✖ 2.2 avtomatski merilci s plovcem
 - ✖ slabost: ročni prenos ("pobiranje") podatkov



Meritve nivojev vod v vrtinah

- ✖ 2. avtomatske meritve nivojev
 - ✖ 2.3 avtomatski merilci - "diverji" oz. datalogger-ji
 - ✖ avtomsatko beležijo spremembe nivojev
 - ✖ nastavimo interval merjenja (min: 0,5 sek)
 - ✖ prednosti: izredno majhni, primerni za vgradnjo v ozke piezometre
 - ✖ dolga življenska doba



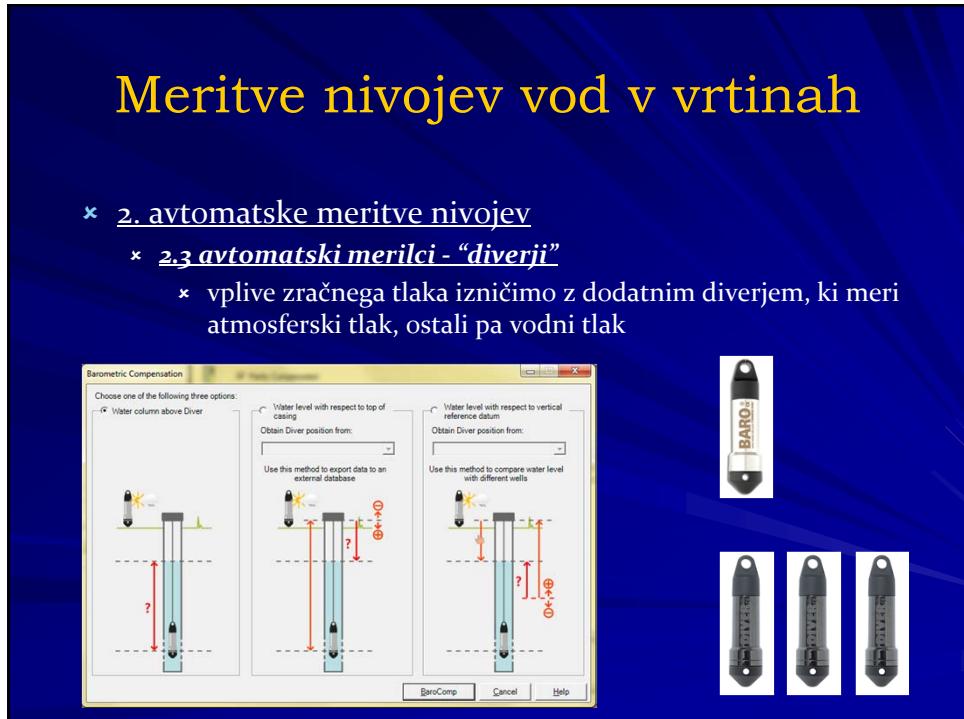
Meritve nivojev vod v vrtinah

- ✖ 2. avtomatske meritve nivojev
 - ✖ 2.3 avtomatski merilci - "diverji" oz. datalogger-ji
 - ✖ merijo nivoje, temperaturo in lahko tudi prevodnost
 - ✖ velika natančnost, $\pm 0,05\%$ (nekaj milimetrov vodnega stolpca)
 - ✖ težava: poleg vodnega tlaka merijo tudi zračni tlak



Meritve nivojev vod v vrtinah

- ✖ 2. avtomatske meritve nivojev
 - ✖ 2.3 avtomatski merilci - "diverji"
 - ✖ vplive zračnega tlaka izničimo z dodatnim diverjem, ki meri atmosferski tlak, ostali pa vodni tlak



Meritve nivojev vod v vrtinah

- ✖ 2. avtomatske meritve nivojev
 - ✖ 2.3 avtomatski merilci - "diverji"
 - ✖ pobiranje podatkov lahko poteka ročno ali avtomatsko
 - ✖ ročno: prenesemo podatke iz diverja na računalnik
 - ✖ avtomatsko: podatki se prenašajo preko modema in SMS-ov



Meritve kemične sestave vod v vrtinah

✗ 1. ročne terenske meritne sonde

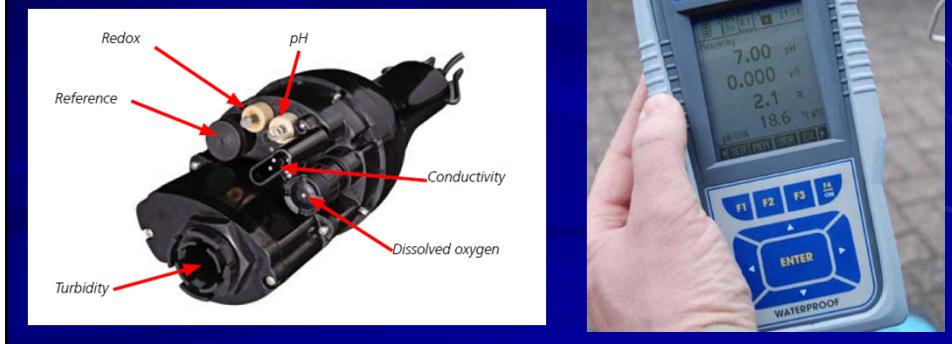
- ✗ vse merijo pH, temperaturo, elektroprevodnost (EC) in TDS (skupno količino raztopljenih snovi)
- ✗ dodatne možnosti: ORP (oksidacijsko-redukcijski potencial, raztopljeni kisik, nitrati, motnost (NTU)



Meritve kemične sestave vod v vrtinah

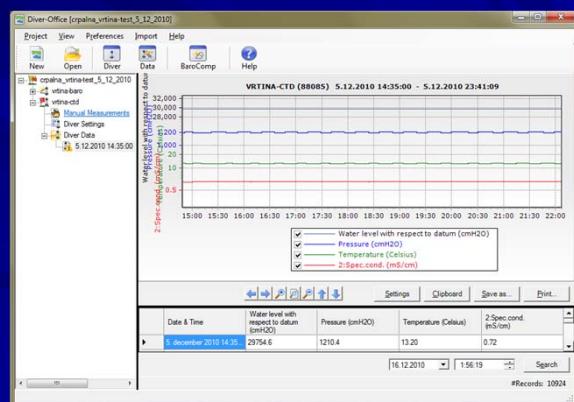
✗ 1. ročne terenske meritne sonde

- ✗ senzorji



Meritve kemične sestave vod v vrtinah

- ✖ 2. "diverji" oz. datalogger-ji
 - ✖ poleg nivoja merijo tudi temperaturo (in elektroprevodnost)
 - ✖ potrebujemo en diver za meritve nihanja zračnega tlaka za kompenzacijo



Meritve kemične sestave vod v vrtinah

- ✖ 3. kemične analize v laboratorijih
 - ✖ edina možnost za določitev sestave večine elementov in spojin
 - ✖ obstajajo različne metodologije za določitev (različna kvaliteta podatkov)!

Geotehnično vrtanje, popis vrtin in preiskave v vrtini

Metode geoloških raziskav

doc. dr. Karmen Fifer Bizjak

VRTANJE V GEOTEHNOLOGIJI

- Za površinske geotehnične objekte
 - zgradbe visokih gradenj, industrijski objekti, hidroelektrarne, ceste in mostovi, železnice ..
- Za podzemne objekte
 - (predori, jaški, podzemne garaže, podzemna skladišča, podzemni objekti hidroelektrarn)

EVROKOD 7

	CEN objava	SIST Objava	Prehodno obdobje	Prehodno obdobje Slovenija
Evrocod 7-1: Geotehnično projektiranje – Splošna pravila SIST EN 1997-1:2005 Nacionalni dodatek: SIST EN 1997-1:2005/A101:2006	24.11.2004	1.10.2006	31.3.2010	1.1.2008
Evrocod 7-2: Preiskovanje in preiskušanje tal	14.3.2007	30.9.2007	31.3.2010	1.1.2008

SIST- Slovenski inštitut za standardizacijo

CEN –Evropski komite za standardizacijo

Kategorizacija objektov:

- Geotehnična kategorija 1: manjši objekti, nezahtevni, objekti z majhnim tveganjem)
- Geotehnična kategorija 2: običajni geotehnični objekti brez izjemnega tveganja, zahtevnosti tal ali obremenitev tal
- Geotehnična kategorija 3; zahtevnejši objekti:
 - konstrukcije, ki vključujejo neobičajno velika tveganja (pregrade)
 - Konstrukcije temeljene v zahtevnih pogojih tal (potrebno poboljšanje tal)
 - Konstrukcije na področjih, kjer obstaja velika verjetnost nestabilnosti terena (plazovi, močna erozija)
 - Predori v zahtevnih tleh (pretrta hribina, preperela, ..)

Preliminarne raziskave

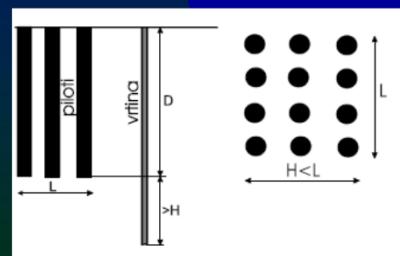
- Potrebno je pridobiti dovolj podatkov, da je možna uvrstitev v ustrezeno kategorijo zahtevnosti objekta po Eurocode 7
- Pregled geoloških kart, obstoječih podatkov, inženirsko geološko kartiranje, pregled letalskih posnetkov, pregled podatkov o potresni ogroženosti

Glavne raziskave

- Čim natančneje spoznati sestavo tal in geomehanske karakteristike posameznih slojev tal
- Pri načrtovanju je potrebno upoštevati veljavne tehnične standarde in izkušnje
- Obseg preiskav je potrebno prilagoditi sprotnim spoznanjem

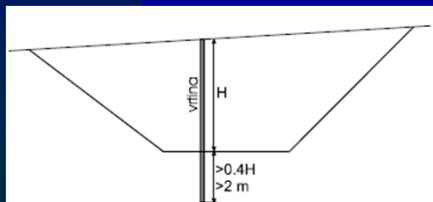
Minimalni obseg preiskav za najbolj razširjeno kategorijo 2

- Za večje objekte mreža raziskav na razdalji **20-40 m**.
- Del vrtin ali razkopov je možno nadomestiti s penetracijskimi in geofizikalnimi meritvami
- Za točkovne in pasovne temelje je potrebno raziskati tla vsaj do globine, ki znaša **1 do 3** kratno širino temelja pod koto temeljenja. Vsaj del raziskav je potrebno izvesti še globlje
- Pri temeljenju pilotov je potrebno tla preiskati vsaj do globine petih premerov kola pod koto noge kola
- Pri skupini kolov je potrebno preiskati pod koto temeljenja vsaj še do globine manjše od obeh dimenzijskupine na koti **noge kolov**



Minimalni obseg preiskav za najbolj razširjeno kategorijo 2

- Za nasipe in deponije je potrebno preiskati tla vse do globine, ki še pomembno prispeva k posedkom. Do globine, kjer bi dobili manj kot 10% celotnega pričakovanega posedka. Tipičen razmak med sondami je **100-200m**.
- Za vkope je potrebno preiskati vsaj še 40% globine vkopa pod dnem vkopa ali minimalno 2 m pod dnem vkopa.



VRSTE VRTIN - geotehnični objekti

- Geomehanske vrtine z enojnim jedrnikom; primerno za vrtanje v zemljini
- Strukturne vrtine z enojnim ali dvojnim jedrnikom, obvezno z izplako; primerno za vrtanje v trdni zemljini in hribini



STANDARDI

- Standard Craelius oz. poznan kot švedski standard
- DCDMA-Diamond Core Drill Manufacturers Association- ameriški standard za Wireline

Švedski standard

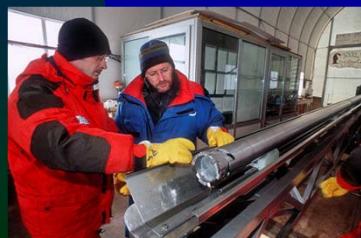
Premer vrtine (mm)	Premer vzorca (mm)
146	134
131	119
116	104
101	89
86	77
76	67
66	57
56	47
46	37
36	27

Standard za metodo Wireline

Vrtalno drogo vje	Zunanji premer (mm)	Notranji premer (mm)	Premer krone (mm)
AQ	44.5	34.9	48
BQ	55.6	46.0	60
NQ	69.9	60.3	75.7
HQ	88.9	77.8	96
PQ	114.3	103.2	122.6

Jedrovanje

- Vzorec jedro se med vrtanje vtiskuje v posebno cev, jednik
- Tipi jedrnikov: enostenski
dvostenski
trostenski
sistem "wire line"



Vplivi na kvaliteto vrtanj

- Hitrost rotacije
- Globina penetriranja zoba vrtalne krone v vrtino
- Geomehanske lastnosti hribine
- Količina, pretok in vrsta izplačnega medija
- Uporabljena vrtalna krona (Widia, diamantna krona)

Vrtalni dnevnik

- Dnevne globine vrtanja
- Geološke spremembe
- Pojavi vode
- Način vrtanja
- Globina manevra
- Izplaka
- Propadanje drogovja
- Odvzem vzorcev
- Preiskave v vrtini
- Procent jedra

Plan vrtanja in meritev v vrtini

Vrtina	tip vrtine	nadmorska višina m	predvidena globina m	vrtanje v glini m	vrtanje v hrizibni m	SPT	SPT št.	nalivalni m	presiometer	oprema
CV-1	geomehanska		8	6	2	2,4,6,8	4			
CV-2	geomehanska		8	6	2	2,4,6,8	4			
CV-3	geomehanska		8	6	2	2,4,6,8	4			
CV-4	geomehanska		8	6	2	2,4,6,8	4			
SKUPAJ VRTANJE			32	24	8		16			

Opombe:

Vrta se do podlage, če se podlaga na predvideni globini ne doseže se obvesti dežurnega geologa:

Zahteva se najmanj 90% jedro

dr. Karmen Fifer Bizjak; 041 39 55 51

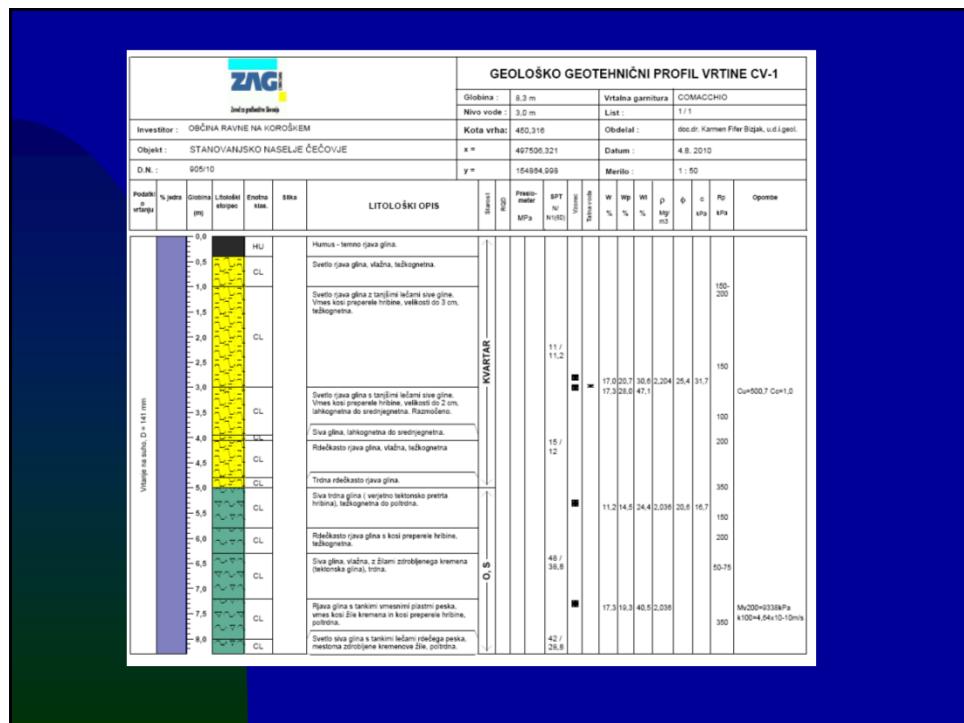
Popis jedra vrtine

- Objekt, za katerega je vrtina vrtana
- Vrsta vrtine
- Ime vrtine
- Koordinate vrtine
- Izvajalec vrtanja
- Odgovoren za kvaliteto vrtanja
- Ime popisovalca vrtine
- Datum vrtanja

Popis jedra vrtine

- % jedra,
- način vrtanja
- premer vrtine
- Litologija
- Popis razpok, polnila, nagiba
razpok, hrapavosti sten ...
- Nivo vode
- Rezultati geomehanskih
raziskav
- Rezultati In situ preiskav





PREPOZNAVANJE IN RAZVRŠČANJE ZEMLJIN

- JUS U.B1.001, 1990;
Opšta klasifikacija tla
 - SIST EN ISO 14689-1:2004;
Geotehnično preiskovanje in preiskušanje –
Prepoznavanje in razvrščanje zemljin
 - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje
 - 2. del: Načela za razvrščanje

JUS U.B1.001, 1990;
Opšta klasifikacija tla

SIST EN ISO 14689-1:2004

Zelo grobo zrnate zemljine bloki (boulder)	veliki	LBo	>630
	srednji	Bo	>200 - 630
	drobni	Co	> 63 - 200
Grobo zrnate zemljine	grušč	Gr	>2- 6.3
	grobi grušč	CGr	> 20 - 63
	srednji grušč	MGr	> 6.3 - 2
	droben grušč	FGr	> 2 - 6.3
	pesek	Sa	>0.063 - 2
	grobi pesek	CSa	>0.63 - 2
	srednji pesek	NSa	> 0.2 - 0.63
	droben pesek	Fsa	>0.063 - 2
Drobno zrnate zemljine	melj	Si	> 0.002 - 0.063
	grobi melj	CSi	> 0.02 - 0.063
	srednji melj	MSi	> 0.0063 - 0.02
	fini melj	FSi	> 0.002- 0.0063
	glina	Cl	< 0.002



JUS U.B1.001, ML-CL z vmesnimi plastmi peska
SIST EN ISO 14689-1:2004; siClsa

1.10 Opis trdnosti zemljine

Stopnja	Opis	Rezultati testa	Ocenjena velikost enoosne tlačne trdnosti (Mpa)
Z 1	Zelo mehka glina	Z lahkoto vtisnemo prst več cm globoko	< 0.0025
Z 2	Mehka glina	Težje vtisnemo prst več cm globoko	0.025 - 0.05
Z 3	Čvrsta glina	Palec vtisnemo s srednjo silo	0.05 - 0.10
Z 4	Trda glina	Težko vtisnemo palec	0.10 - 0.25
Z 5	Zelo trda glina	Ni možno vtisniti palca	0.25 - 0.50
Z 6	Prehod v hribino	Zarežemo lahko le z nohtom palca	> 0.50

PREPOZNAVANJE IN RAZVRŠČANJE HRIBIN

- ISRM ; Suggested methods for the Quantitative description of Discontinuities in Rock Masses
- SIST EN ISO 14689-1:2004; Geotehnično preiskovanje in preiskušanje – Prepoznavanje in razvrščanje kamnin 1.del: Prepoznavanje in opisovanje

Opis kamnine po SIST EN 14689-1:2004

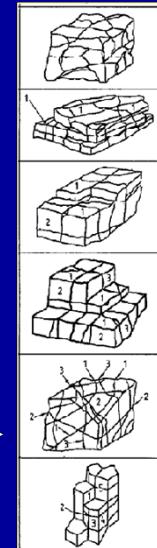
1. Opis kamnine:

- litološki opis
- barva
- zrnatost kamnine
- mineraloška sestava
- preperelost
- vsebnost karbonata
- stabilnost
- stabilnost v vodu
- trdnost

	Rough (Irregular)	Smooth
Stepped	1	2
Undulating	3	4
Planar	5	6

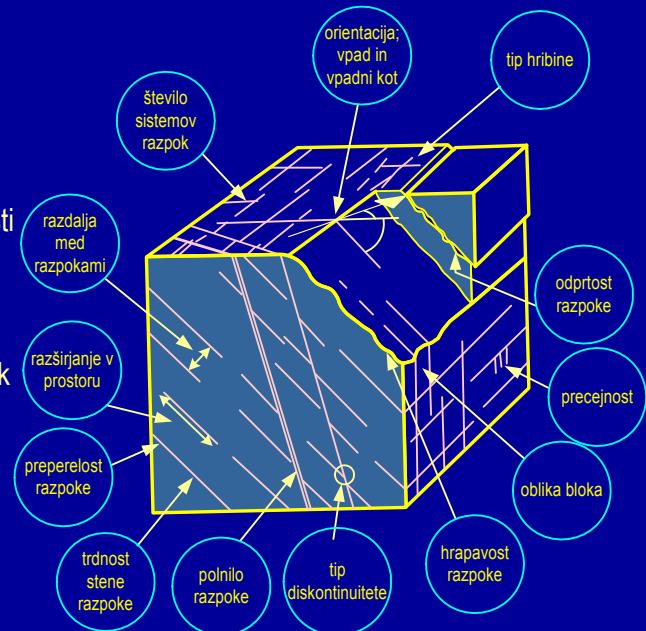
2. Opis razpok

- orientacija
- tip razpoke
- hrapavost
- gostota razpokanosti
- dimenzijske blokov
- odprtost razpok
- polnитеve razpok
- precejnost



2. OPIS RAZPOK

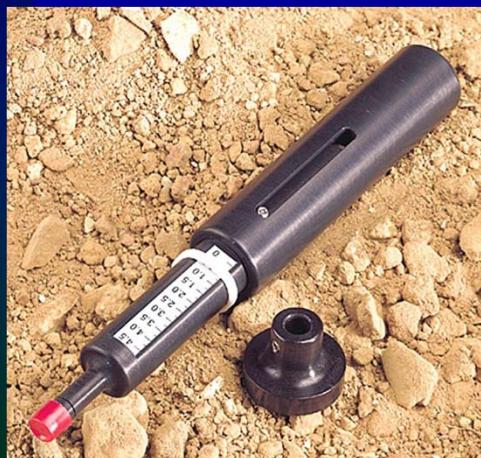
- tip razpoke
- orientacija
- hrapavost
- gostota razpokanosti
- dimenzijske blokov
- odprtost razpok
- polnитеve razpok
- trdnost stene razpok
- preperelost stene razpok
- precejnost

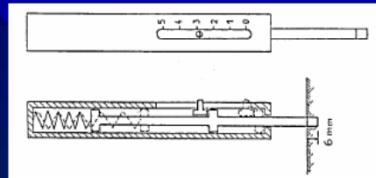


1.9 Opis trdote hribine

H 0	Ekstremno prep. hribina (polhribina)	Težko zarežemo z nohtom	0.25 - 1.0
H 1	Zelo prep. hribina (polhribina)	Drobimo z lahkim udarcem geol. kladiva, luščijo se lahko z žepnim nožem	1.00 - 5.00
H 2	Prep. hribina (polhribina)	Lušči se z žepnim nožem s težavo. Odtis naredimo z lahkim udarcem kladiva	5.0 - 25
H 3	Srednje trda hribina	Ne moremo luščiti z nožem. Drobec odlomimo z lahkim udarcem kladiva	25 - 50
H 4	Trda hribina	Da povzročimo lom na kosu hribine je treba več luhkih udarcev s kladivom	50 - 100
H 5	Zelo trda hribina	Posebno močni udarci s kladivom, da vzorec poči	100 - 250
H 6	Izjemno trda hribina	Iz vzorca s kladivom le krušimo drobce	> 250

Žepni penetrometer





Preglednica: Okvirne vrednosti enoosne tlačne trdnosti glede na konsistenco materiala

konsistencija zemljine	Indeks konsist. I_c	enoosna tlačna trdnost q_u (kPa)	nedrenirana strižna trdnost c_u (kPa)
židka do lahko gnetna	0	0	0
lahko gnetna	0,25	25	12,5
srednje gnetna	0,50	50	25,0
težko gnetna	0,75	100	50,0
	1,00	200	100,0
poltrdna	1,25	400	200,0

Žepna krilna sonda

- Sondo vtisnemo v pripravljena tla in zarotiramo do porušitve in odčitamo porušno vrednost



Odvzem vzorcev



- Vzorec se potopi v parafin
- ovije se v plastično vrečko
- Zaščiti se s plastičnim ovojem
- Nepredušno se zapre s pokrovi in lepilnimi trakovi
- Označi se
 - objekt, vrtina, globina vzorca, litologija, odvzem vzorca, laboratorij in predvidene preiskave

POTREBNE KOLIČINE MATERIALA ZA IZVEDBO LABORATORIJSKIH PREISKAV

premer maksimalnega zrna D_{max} (mm)	63	45	31,5	22,4	16	8	4	pесек	мелj/ глина
zmvost	70 kg	25 kg	10 kg	4 kg	1,5 kg	400 g	200 g	100 g	100 g
vlagi	21 kg	8 kg	3 kg	1 kg	500 g	400 g	200 g	100 g	30 g
Atterbergove meje plastičnosti									500 g
SPP/MPP	40 kg	40 kg	40 kg	40 kg	15 kg	15 kg	15 kg	15 kg	15 kg
CBR			80 kg	80 kg	80 kg	80 kg	80 kg	80 kg	80 kg

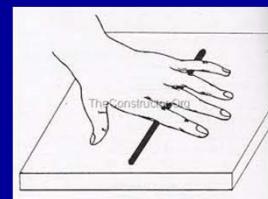
Preiskave zemljin

Preskus	minimalna višina intaktnih vzorcev	višina preizkušanca
direktni strig	min 15 cm	2 cm
edometer	min 5 cm	3-5 x 2 cm
triosna preiskava	$\varnothing 11/H10$ cm ali vsaj $45 D_{max}$	(opomba)
enoosna tlačna trdnost	10 cm ali vsaj $20 D_{max}$	(opomba)
prepustnost v triosni celici	10 cm ali vsaj $20 D_{max}$	(opomba)
ostale preiskave	(dogovor z laboratorijem)	(dogovor z laboratorijem)

- Opombe: tipične višine preizkušancev za enoosno tlačno trdnost ali triosno celico so $\varnothing 38/H70$, $\varnothing 50/H100$, $\varnothing 70/H140$, $\varnothing 100/H200$

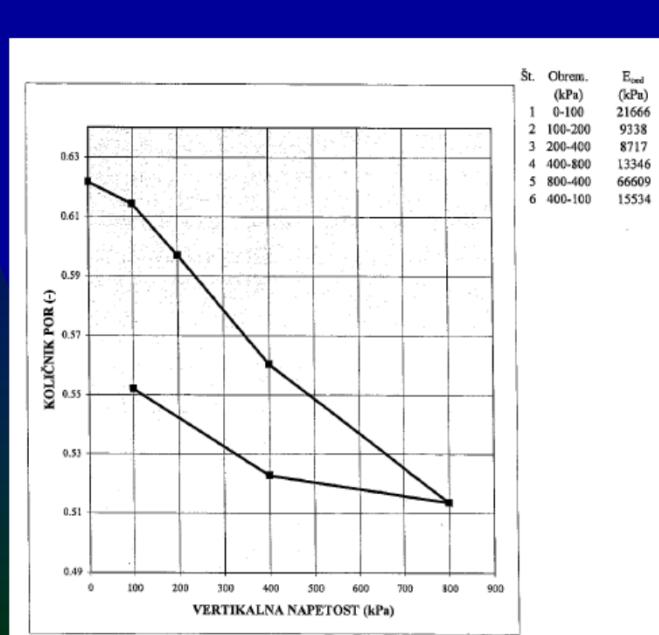
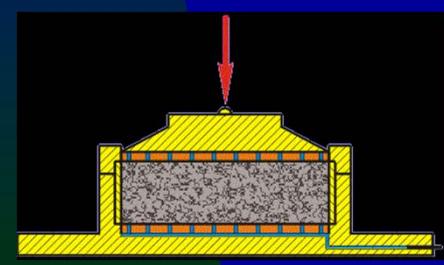
Attebergove meje

- Določitev meje židkosti
- Določitev meje plastičnosti



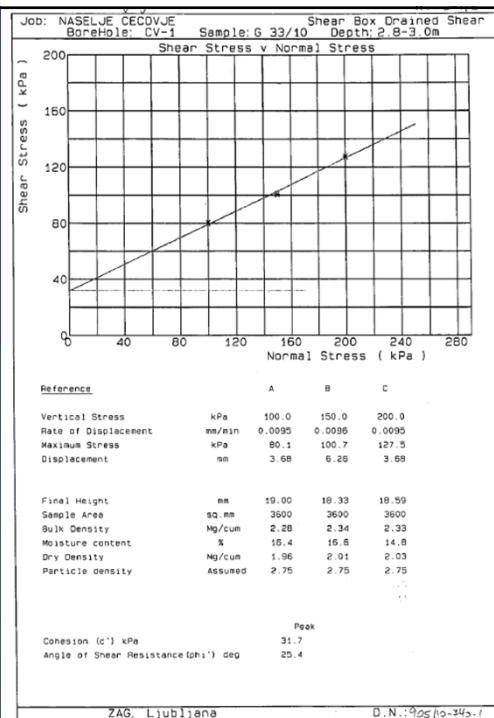
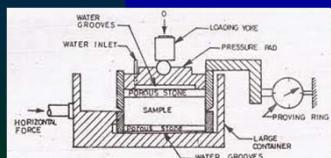
Preiskava stisljivosti

- Vzorec obremenjujemo pri različnih stopnjah obremenitve in razbremenitve
- Rezultat; modul stisljivosti

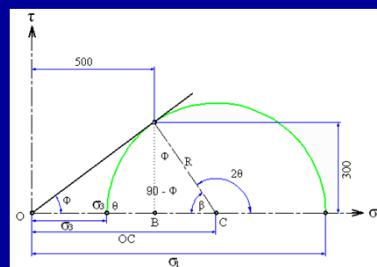
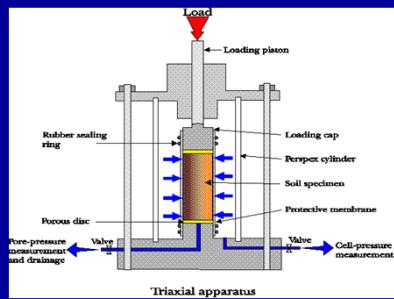


Strižna preiskava

- Vzorce obremenjujemo na strig do porušitve
- Potrebne najmanj 3 različne obremenitve vzorcev



Triaksialna strižna preiskava



Določitev enoosne tlačne trdnosti

- Enoosna tlačna trdnost ob porušitvi





Enoosna tlačna trdnost hribine

- Posredno določena s točkovnim trdnostnim indeksom



Schmitovo kladivo

- Preiskava se uporablja na terenu in v laboratoriju
- Pomembno pri določitvi stopnje preperelosti razpok r/R
 - R Sveža stena razpoke
 - r ... preperela stena razpoke



Direktna strižna laboratorijska preiskava

- Za izračun strižnih karakteristik razpok v hribini



Triaksialna preiskava

- Z raziskavo merimo trdnost vzorcev, ob troosnem napetostnem stanju. Izračunamo kot notranjega trenja Φ in kohezijo c .
- Metoda ne upošteva pornih tlakov, kar pomeni da so vrednosti določene na podlagi celotne napetosti in niso korigirane zaradi pornih tlakov.



Rezultati laboratorijskih preiskav

PREGLEDNICA 1:

Zavod za gradbeništvo Slovenije
Geomehanički laboratorij
D.N.: 900/1
Lokac. N.: G 33/10
PRILOGA: 1-1/2

Rezultati laboratorijskih preiskav vzorcev zemljin z lokacijo: STANOVANJSKO NASELJE ČEČOVJE

Vzorec	Klasifi-	Hemi-	Konstan-	Instruk-	Instruk-	Procesor-	Specifi-	Modul										Vred-	Glede-	Zmenet-			
								čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	čija	
CV-1	2,8- 3,0	17,0	29,7	30,6	9,9	1,4	2,204	1.889												25,4	31,7		
	3,0- 3,5	17,3	25,0	47,1	18,1	1,6															509,7	1,0	30,2
	5,3- 5,5	CL	11,2	14,5	24,4	9,9	1,3	2,129	1.909												20,6	16,7	
	7,3- 7,55	CL	17,3	19,3	40,5	21,2	1,1	2,036	1.696	2,751	-	21688	9358	8717	13046	66609	-	16534	-	4,64 $\times 10^{-6}$	1,10 $\times 10^{-6}$		
CV-3	2,45- 2,8	19,7		ni plastičen			2,144	1.795													31,6	0	
	4,7- 5,0	13,0		ni plastičen			2,169	1.927												1,06 $\times 10^{-6}$	6,80 $\times 10^{-6}$		
	6,2- 6,5	11,6		ni plastičen			2,231	2.005												25,9	0,8		

Ponatal smerjava v sklopu z P za merilno na neeksplicitno dejavnost

Direktne In-situ meritve

- meritve napetosti v hribini
- Presiometrične meritve
- SPT
- CPT

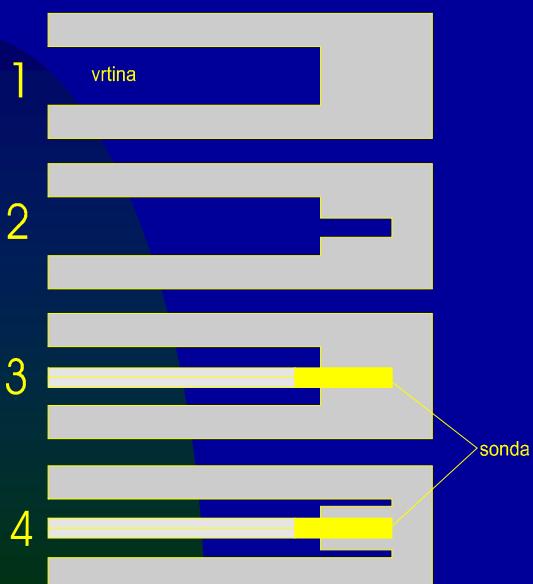
Projekt meritov

- namen in cilj meritov,
- opis lokacije preiskav in lokacije vgradnje merilnikov,
- časovni program izdelave, vgradnje in izvajanje meritov,
- pripravljalna dela za meritve (posebno raziskovalne vrtine),
- priprava in opis opreme za meritve,
- kalibriranje opreme za meritve,
- vgradnja opreme za meritve,
- postopek meritov,
- posebni varnostni ukrepi,
- navodila za interpretacijo meritov.

Meritve napetosti v hribini

- Metode sproščanja napetosti v vrtinah
- Merilne sonde
- Hidravlična frakturizacija

Metode sproščanja napetosti v vrtinah (1)



- Izvrtamo vrtino širšega profila na globino merjenja
- Vrtino podaljšamo za del manjšega premera, ki služi za vgradnjo merskih transducerjev
- V ožji del vrtine vstavimo toge napetostne ali pa mehke deformacijske transducerje
- S povrtanjem ožjega dela vrtine opazujemo sprostitev napetosti v preostalem cilindru v sredini

Metode sproščanja napetosti v vrtinah (2)

vrtina

upornostni
listič

jedro

povrtni del

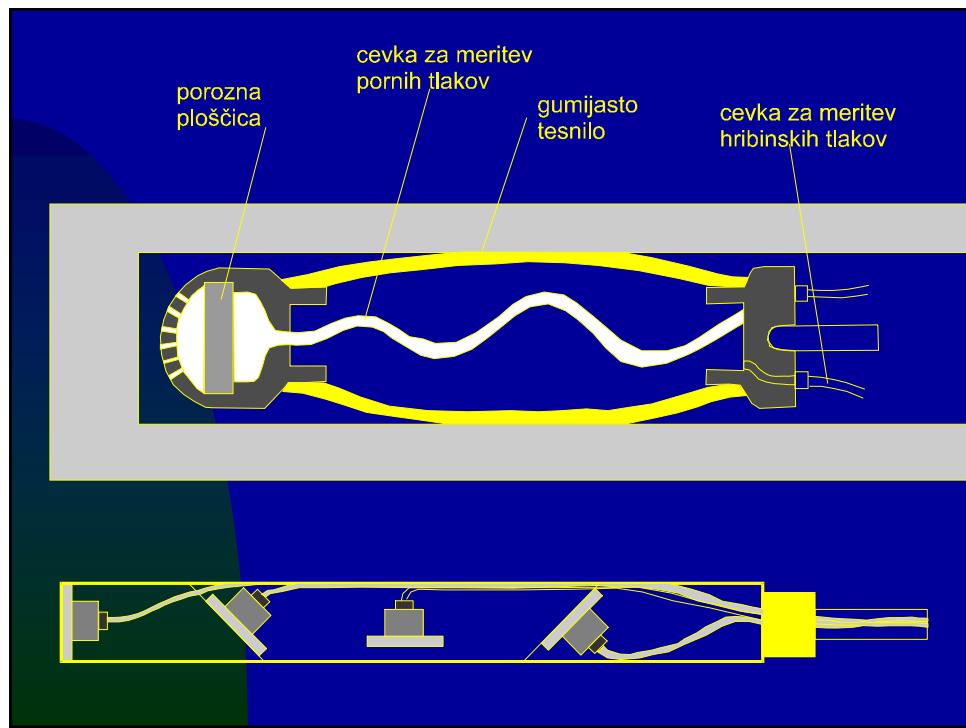
Iz izmerjenih vrednosti dilatacij (ε) po ravninski teoriji elastičnosti izračunamo glavne napetosti :

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (\varepsilon_1 + \nu \varepsilon_2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (\varepsilon_2 + \nu \varepsilon_1)$$

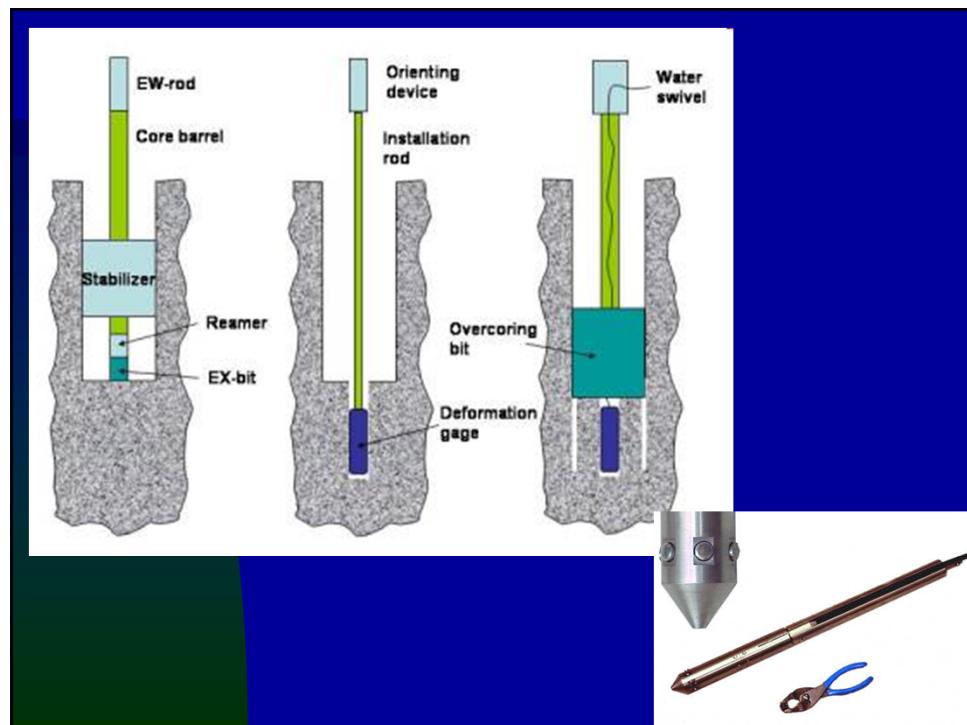
Merilne sonde v vrtinah

- Izvrтamo vrtino do mesta merjenja in vgradimo sondو
- V sondah ustvarimo delovni tlak.
- Celotno vrtino zacementiramo.
- Po končanem strjevanju injekcijske mase, opazujemo na manometru, spremenjanje tlaka. Ko se tlak ustali je njegova vrednost pri umerjeni in pravilno vgrajeni sondi približno enaka napetosti v hribini.
- Skozi daljše razdobje merimo spremenjanje hribinskih napetosti zaradi vplivov odkopavanja.

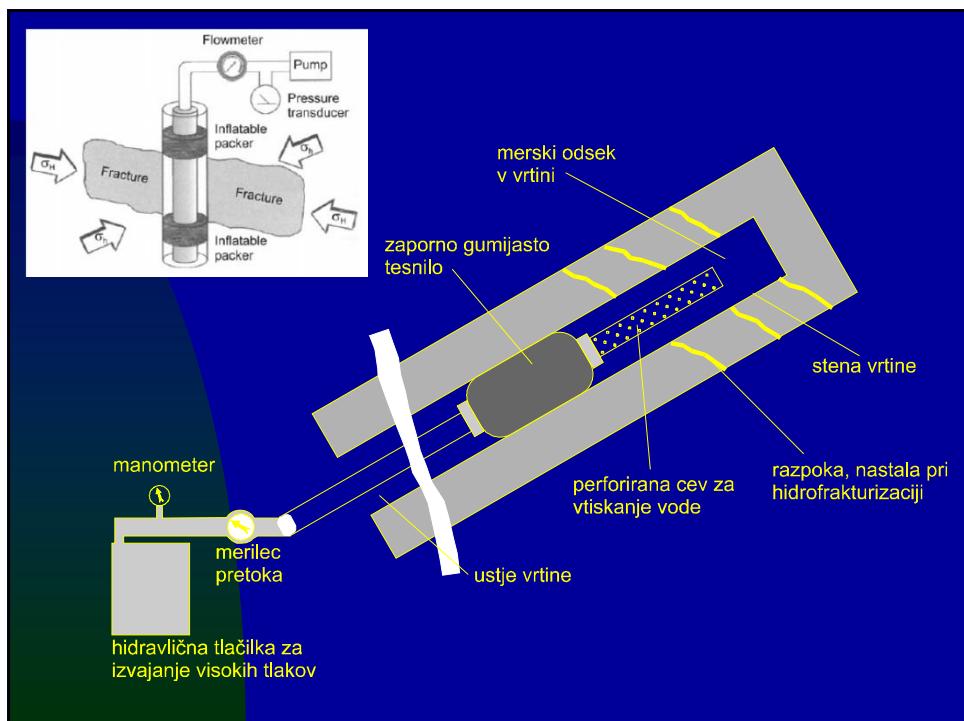
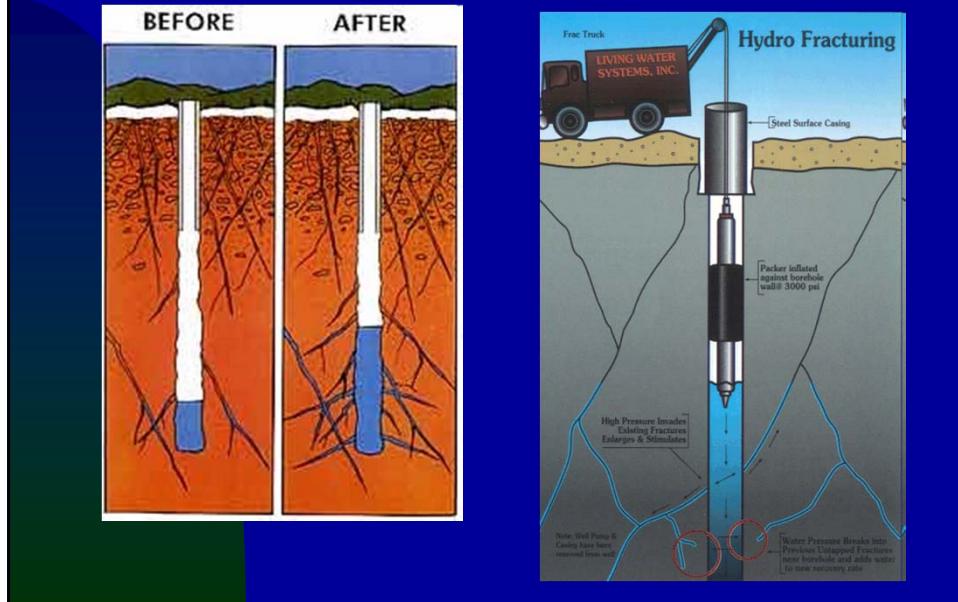


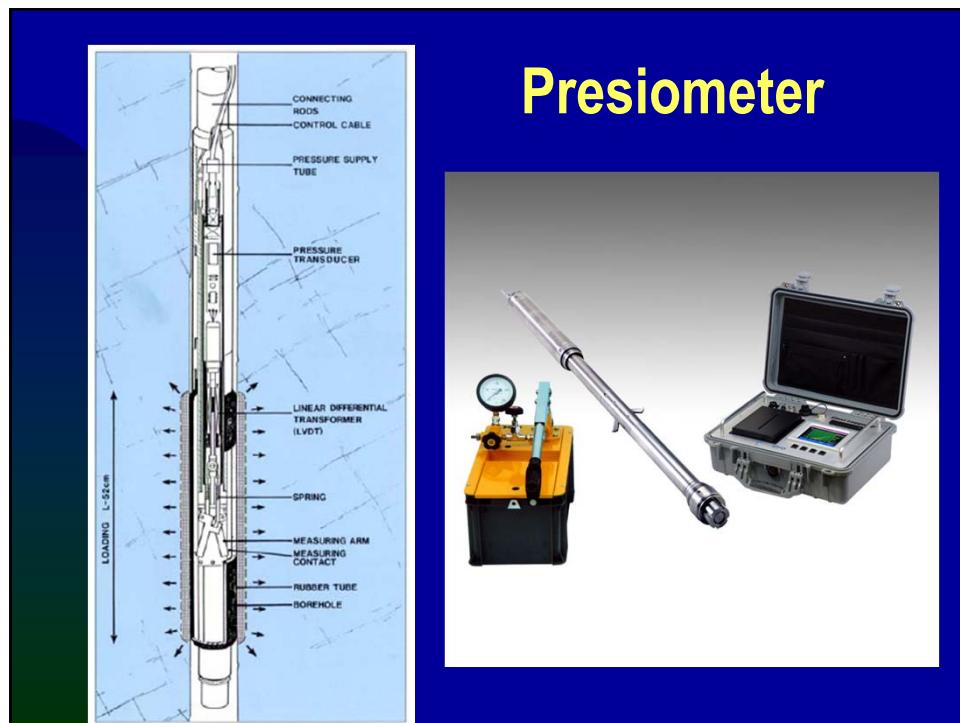
CSIRO tri-aksialna celica



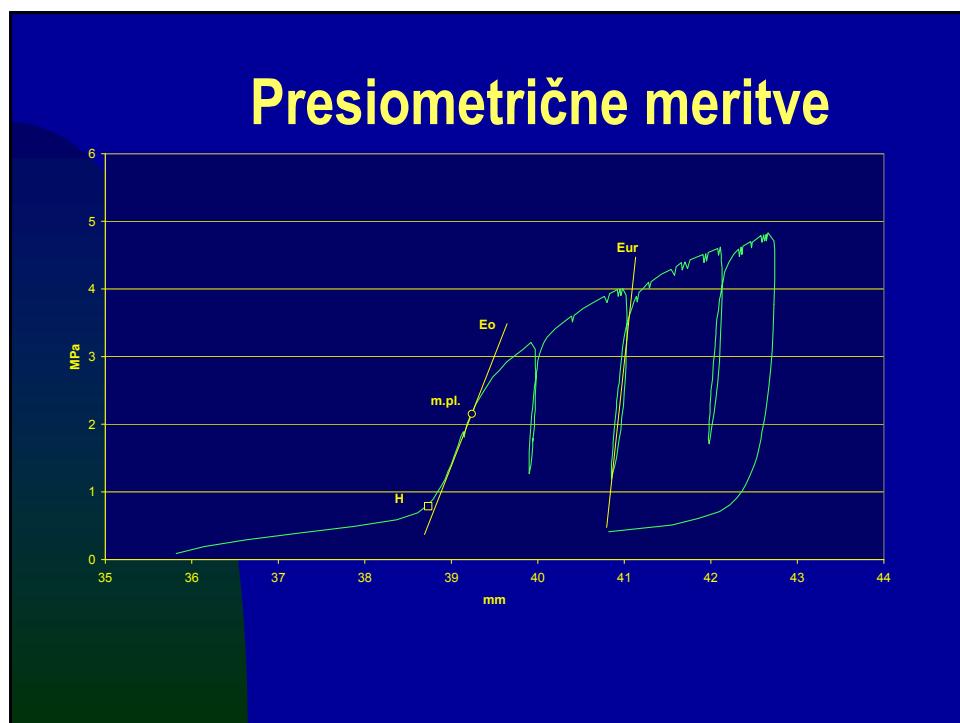


Hidravlična frakturizacija





Presiometer

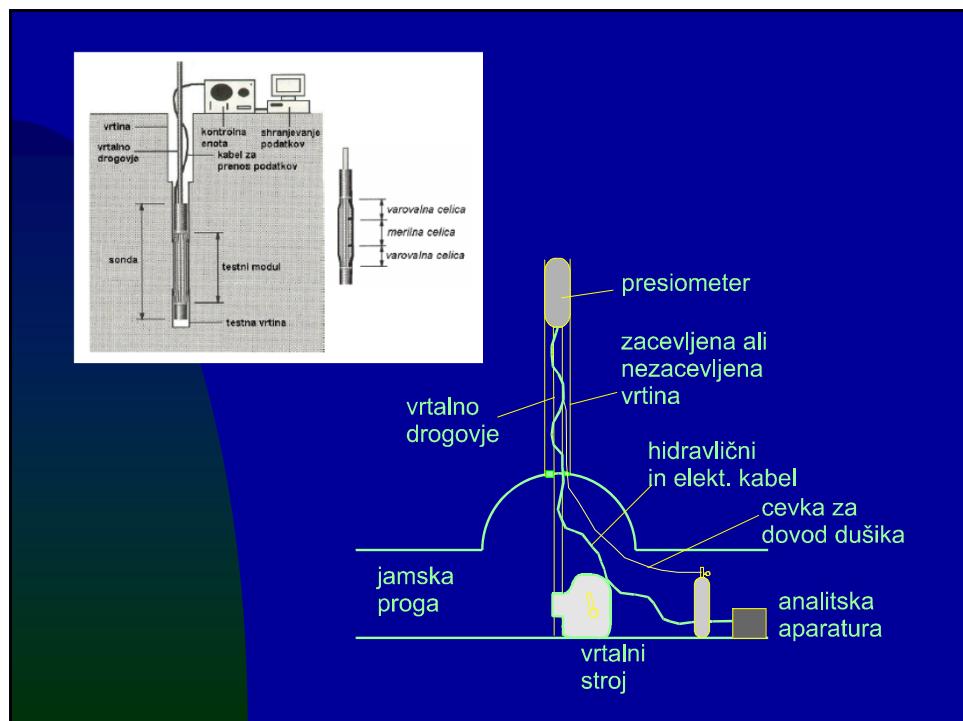


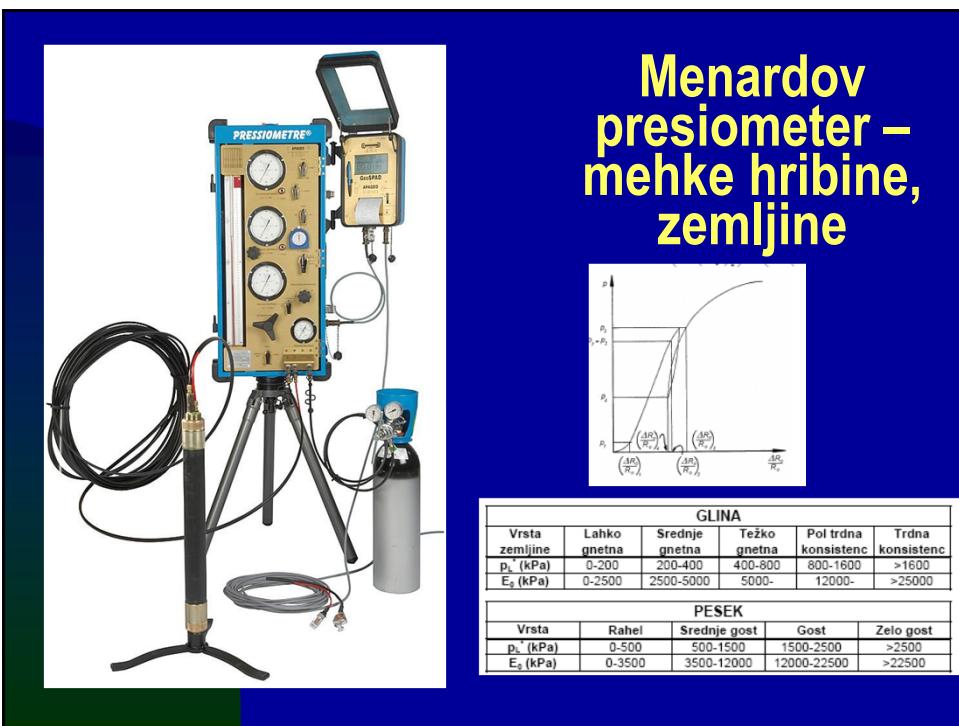
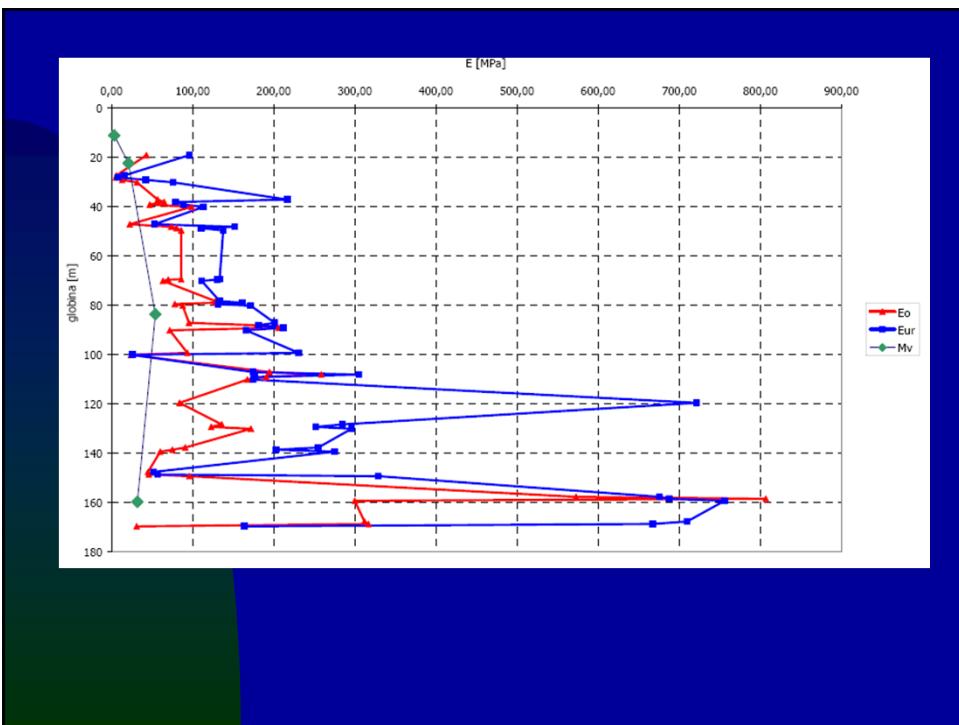
Presiometrične meritve

$$E = (1 + \nu) \cdot r \cdot \frac{\Delta p}{\Delta r}$$

kjer je:

- Poissonov koeficient (predpostavi se vrednost 0.3)
- srednji radij območja odčitavanja pritiska
- sprememba pritiska izbranega območja izračuna
- sprememba radija izbranega območja izračuna.

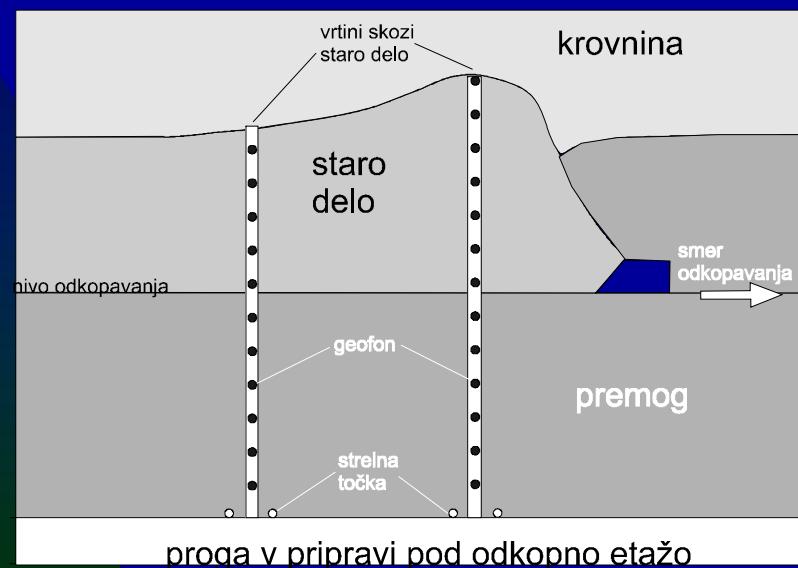




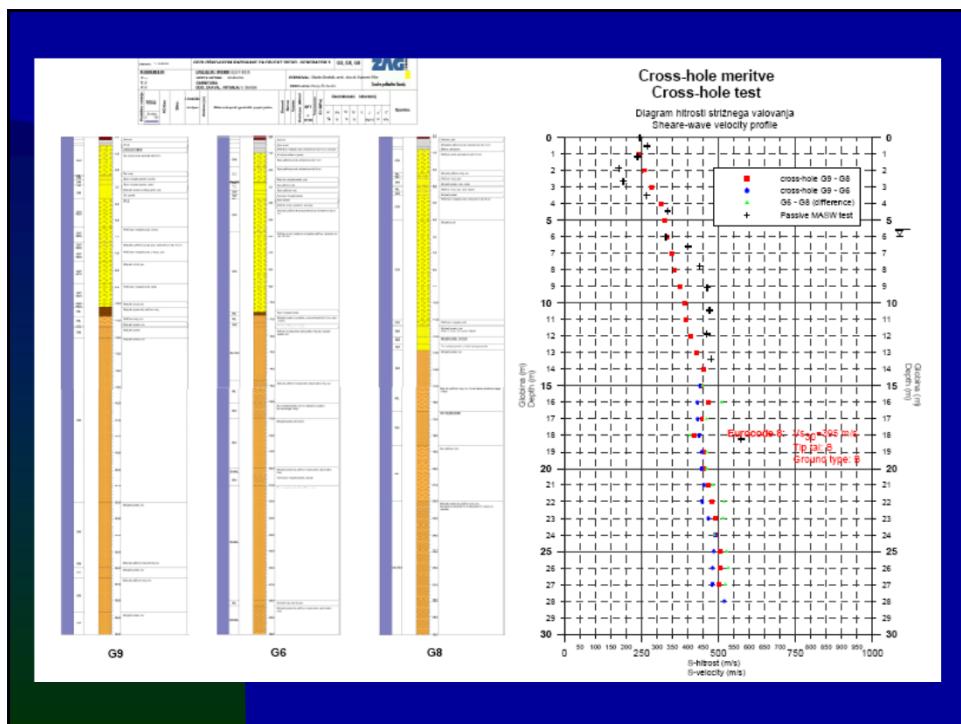
Indirektne in-situ meritve (geofizikalne meritve)

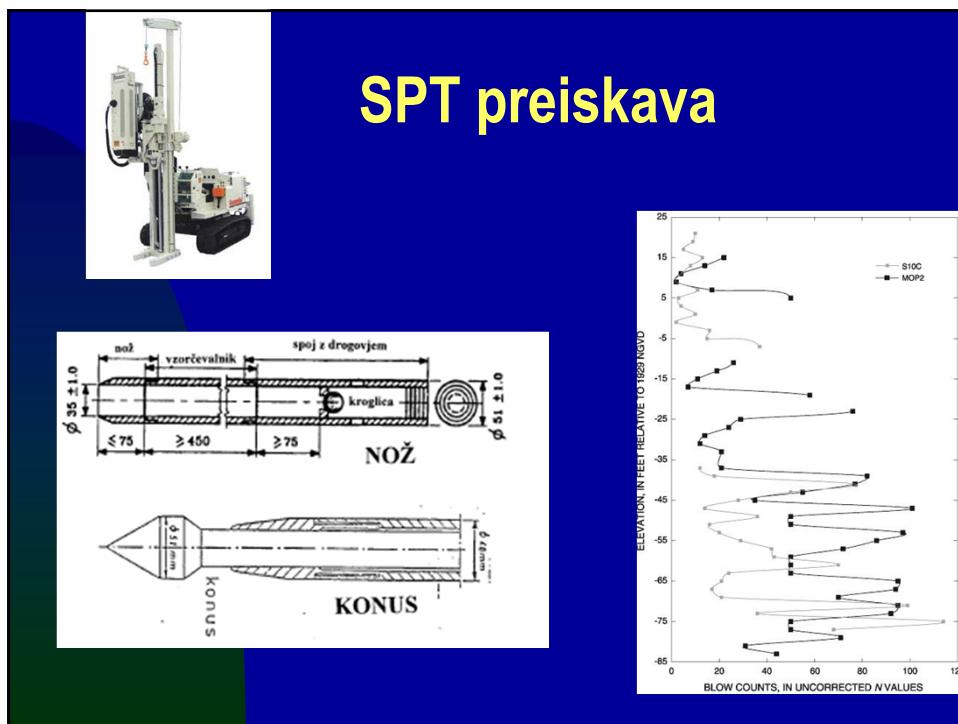
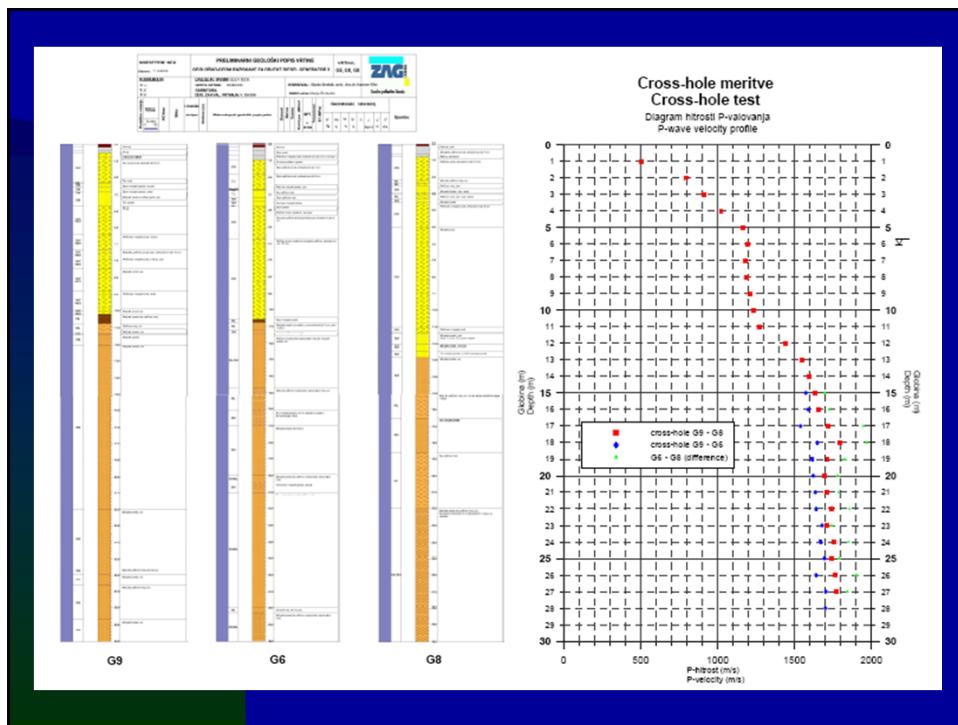
- Up-hole in down-hole meritve
- Refrakcijska in refleksijska seismika
- Cross-hole meritve

Up-hole in down-hole meritve



Crosshole, Downhole test





SPT preiskava

■ SIST EN 1997-2;2007 Evrokod 7

$$(N_1)_{60} = N * k_{60} * \kappa * \lambda * C_N$$

N..... število udarcev/30 cm

N_p.... cm/60 ud

κ koef. uporabe konice namesto standardnega okova

● korekcijski faktor zaradi na dolžine palice

C_n ... koeficient napetosti v zemljini, prekonsolidacije in gostote

korekcije

KOREKCIJA ZARADI PRENOŠA ENERGIJE (C_e)

$$C_e = ER_r / 60 \quad (ER_r \text{ v odstotkih})$$

$$N_{60} = N \cdot C_e$$

KOREKCIJA ZARADI DOLŽINE DROGOVJA (λ)

dolžina drogovja (m)	3 – 4	4 – 6	6 – 10	>10
korekcijski faktor	0,75	0,85	0,95	1,00

KOREKCIJA ZARADI EFEKTIVNEGA TLAKA (C_s)

Vrsta peska	Relativna gostota	C_s
Normalno konsolidiran	40 do 60 %	200 / (100 + σ'_v)
	60 do 80 %	300 / (200 + σ'_v)
Prekonsolidiran		170 / (70 + σ'_v)

* σ'_v podajamo v kPa

KOREKCIJA ZARADI TALNE VODE V PESKIH SM (C_3)

Veljati morajo biti trije pogoji, da uporabimo korekcijo C_3 :

- preiskava je izvedena pod nivojem talne vode,
- preiskava je izvedena v drobnih ali meljastih peskih,
- izmerjeno število udarcev je večje od 15.

$$N_{korigiran} = 15 + \frac{1}{2}(N - 15) \Rightarrow C_3 = N_{korigiran} / N$$

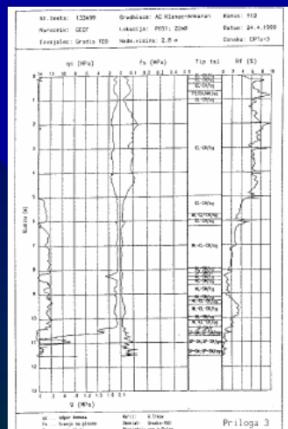
NEKOHERENTNA ZEMLJINA (peski, prodi)				
N	Gostotno stanje	φ°	Modul stisljivosti M (kPa)	
			drobni in srednji peski	debeli pesek in prod,gramoz
< 4	zelo rahlo	< 28,4		
4-10	rahlo	28,4-30,3	< 7 500	< 15 000
10-30	srednje gosto	30,3-36,2	7 500 - 15 000	15 000 - 40 000
30-50	gosto	36,2-40,9	15 000 - 30 000	40 000 - 60 000
> 50	zelo gosto	> 40,9	>30 000	> 60 000
KOHERENTNA ZEMLJINA (gline, melji)				
N	Konsistenčno stanje	qu (kPa)	Modul stisljivosti M (kPa)	
< 2	židko	< 25	<500	
2-4	lahko gneteno	25-50	500-1000	
4-8	srednje gneteno	50-100	1000-2000	
8-15	težko gneteno	100-200	2000-5000	
15-30	poltrdno	200-400	5000-20000	
> 30	trdno	> 400	>20000	

Rezultati SPT preiskave												
Vrtina	Globina m	N ud/30cm	P cm/60ud	Cn	λ	N_{60} ud/30cm	P_{60} cm/60ud	?	Mv kPa	qu kPa	AC	Gostota, penetrabilnost
CV-1	2,1	11		1.41	0.75	11,2			2000-5000	100-200	CL	težko gnetno
	4	15		1.11	0.75	12,0			2000-5000	100-200	CL	težko gnetno
	6,3	48		0.88	0.95	38,8			>20000	>400	CL	trdno
	8,3	42		0,75	0.95	28,8			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
CV-2	2	24		1.43	0.75	24,7			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
	3	21		1.25	0.75	18,9			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
	6	41		0.91	0.85	30,4			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
	8	25		0,77	0.95	17,6			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
CV-3	2,1	10		1.41	0.75	10,1			2000-5000	100-200	CL	težko gnetno
	4	65		1.11	0.75	52,0			>20000	>400	CL	trdno
	6	56		0.91	0.85	41,6			>20000	>400	CL	trdno
	8	7		0,77	0.95		10,0		>20000	>400	CL	trdna gлина
CV-4	2	23		1.43	0.75	23,7			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
	4	30		1.11	0.75	24,0			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
	6	33		0.91	0.85	24,5			5000-20000	200-400	CL	poltrdno
	8	74		0,77	0.95	52,0			>20000	>400	CL	trdno

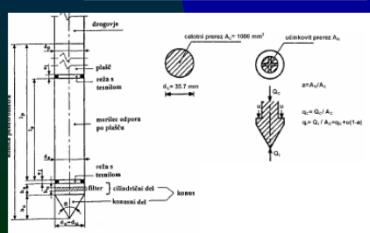
Statični penetracijski preiskus CPT



- Določitev klasifikacije zemljine, trdnostnih in deformacijskih lastnosti



- Sendo nastavimo na površino temeljnih tal in s konstantno hitrostjo vtiskamo sodno v tla.
Elektronski zajem podatkov omogoča določitev zveze med spremljavo odpora proti penetraciji odpora po plašču in pornega tlaka



Interpretacija

- Empirične zveze CPTU preiskav

GEOTEHN. PARAMETER	ZVEZA	VIR
Nedrenirana stržna Trdnost - c_u	Koherentne zemlje: $c_u = (q_i \cdot \sigma_{vo}) / N_c = q_{net} / N_c$ $N_c = 16,3$ /normalno konsolidirana tla/	Meigh (1987)
Stržni kot - ϕ'	Nekoherentne zemlje: $\phi' = 28 + 2.5 \cdot (q_i)^{0.5}$, q_i v MPa	Mayerhof (1976)
Modul stisljivosti - E_{oed}	Koherentne zemlje: $E_{oed} = \alpha \cdot q_i$; $\alpha = 1-8$ / -čiste: $E_{oed} = 2.5 \cdot (q_i + 3.2)$ $/q_i$ v MPa/ -zaglinjene: $E_{oed} = 1.7 \cdot (q_i + 1.6)$	Sanglerat (1972) Gielly (1969) Webb et al. (1982)
Občutljivost - S_t	Koherentne zemlje: $S_t = c_u / f_s$	
Relativna gostota - D_r	Nekoherentne zemlje: $D_r = 0.98 + 0.66 \cdot \log(q_i / (\sigma_{vo})^{0.5})$ $/q_i$ in σ_{vo} v t/m^2	Jamiolkowsky et al. (1985)

- Edometrski modul koherentnih zemljin: $E_{ced} = \alpha \cdot q_c$

Parameter α je podan glede na vrsto zemlje (Sanglerat, 1972, EC-7):

ZEMLJINA	q_c (MPa)	α
CL - nizko plastična glina	$q_c < 0.7$ $0.7 < q_c < 2$	$3 < \alpha < 8$ $2 < \alpha < 5$
ML - nizko plastični melj	$q_c > 2$	$1 < \alpha < 2.5$
CH, MH - visoko pl. glina in melj	$q_c < 2$ $q_c > 2$	$3 < \alpha < 6$ $2 < \alpha < 2$
OL - organski melj	$q_c < 1.2$	$1 < \alpha < 2$ $2 < \alpha < 8$
P ₁ , OH - šota in organska glina	$q_c < 0.7$ $0.7 < w < 200$ $w > 300$	$1.5 < \alpha < 4$ $1 < \alpha < 1.5$ $\alpha < 0.4$ $2 < q_c < 3$ $q_c > 3$
Kreda		$1.5 < \alpha < 3$
Pesek	$q_c < 5$ $q_c > 10$	$\alpha = 2$ $\alpha = 1.5$

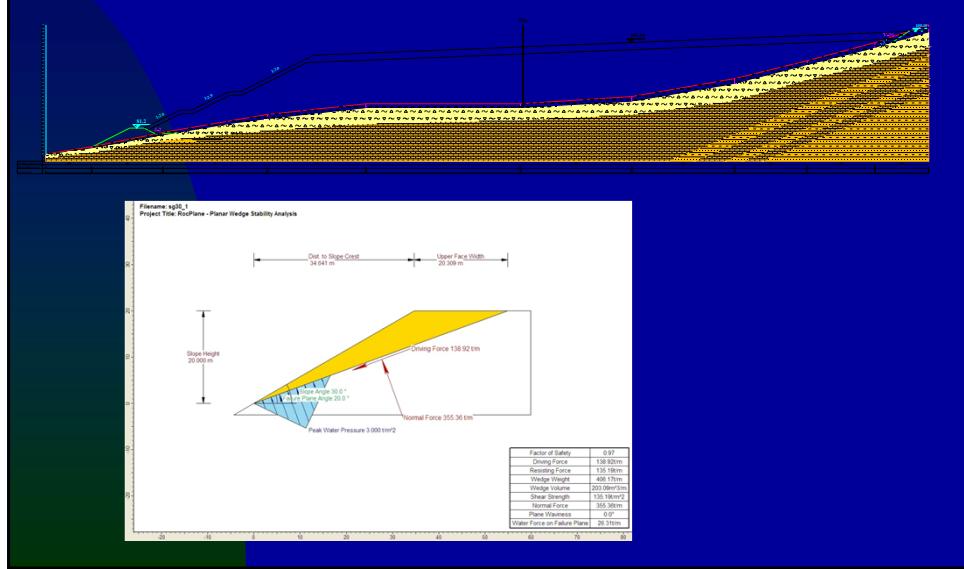
opomba: w ... vlažnost zemlje izražena v %.

Analiza podatkov

- Določimo geomehanske plasti
- Določimo največje in najnižje vrednosti posameznih parametrov

PL	AC Klas.	Globina		Naravna vlag	Prostorninska masa	Ročni penetrometer	Enoosna kačna trdnost SPT	Vodo-prepušnost (tab)	Modul stisljivosti Mv		Nedrenirana nekonsolidirana stržna preiskava		
									R.p.	q_u	k	Φ	c
		m		W %	g kN/m ³	ga kN/m ³	R.p. kN/m ²						
	Humus, zgornje plasti sive gline se pred temeljenjem odstranjujo												
1	Kvartarne plasti – preperina osnovne gribine, gradi rjava pusta glina srednje gnetna do trdna z lečami sive mastne gline ali melja debeline nekaj cm do 20 cm	1-5	min	15,40	2,129	1784	150,0	100,0		18518	2000	25,4	31,7
			max	19,70	2,204	1,927	350,0	400,0			20000	31,6	0
2	Siva pusta glina težko gnetna do trdna s kosi prepereli hribine, verjetno močno tektonizirana hribina	3.3-4.2	min	11,20	2,036	1,696	200,0	200,0	4.64×10^{-4}	21666	5000	20	16
			max	17,30	2,231	2,005	>500	>400	1.06×10^{-3}		>20000	25,9	0,8

Izdelava geološko-geomehanskih profilov in izračunov

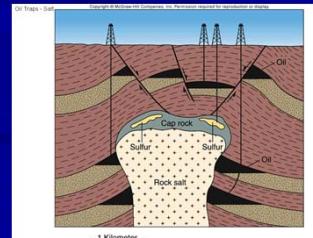
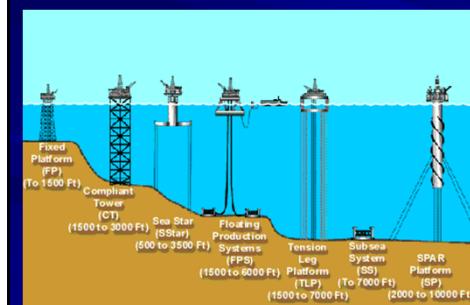
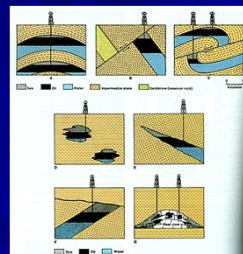


Globinsko vrtanje

- ✖ izdelava globokih vrtin
 - ✖ meja med plitvimi in globokimi vrtinami je relativna glede na način in namen vrtanja!
 - npr. 2000 m globoka vrtina je popolnoma normalna za naftno vrtanje ter zelo globoka za hidrogeološko vrtanje
 - ✖ delitev (Koren, 1999):
 - plitve do 500 m
 - srednje 500 – 1000 m
 - globoke nad 1000 m
 - ✖ bistveno dražje od ostalih tipov vrtin
- ✖ namen globinskega vrtanja:
 - ✖ 1. izkoriščanje nafte ali zemeljskega plina (naftno vrtanje)
 - ✖ 2. izkoriščanje geotermalne energije (geotermalno vrtanje)
 - ✖ 3. raziskovalno vrtanje

1. Naftno vrtanje

- ✖ 1. naftno vrtanje
 - ✖ današnja nahajališča nafte in zemeljskega plina so večinoma nekaj tisoč metrov globoko
 - plitva ležišča so večinoma že izkoriščena
 - ✖ nahajajo se v strukturnih plasteh v vrhovih antiklinah ali ob prelomih



1. Naftno vrtanje

* 1. naftno vrtanje

- * tehnologija vrtanja:
 - uporablja se rotacijsko vrtanje z izplako
 - bistveno večja nosilnost vrtalnega stolpa kot pri ostalih tipih vrtanja
 - za razliko od ostalih tipov vrtanja povečamo prepustnost slojev z razstreljevanjem v spodnjem delu vrtine
- * na velikih globinah so težave z odklonom vrtin
 - uporabljamo usmerjeno vrtanje
- * nevarnost izbruha plinov (angl. *kick* oz. *blow-out - nenadzorovan*)
 - zavrtamo v ležišče zemeljskega plina pod visokim tlakom
 - izredno nevarno
 - izbruhe preprečimo z namestitvijo t.i. preprečevalcev izbruuhov (BOP, *blow-out preventor*)
 - pokrijejo, stisnejo ali prerezajo cevi vrtine in jih zaprejo

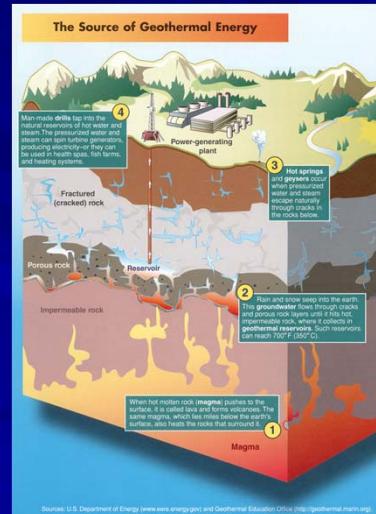
1. Naftno vrtanje

- * 1. naftno vrtanje
- * blow-out preventer (BOP)

2. Geotermalno vrtanje

* 2. geotermalno vrtanje

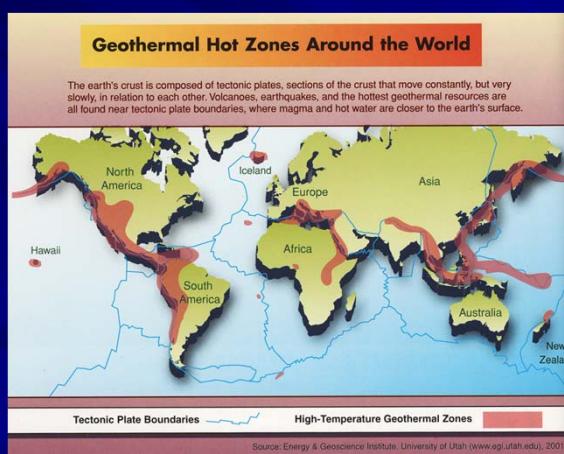
- * vrtine za izkoriščanje toplote iz Zemeljske skorje
 - visoke temperature (nekaj 100 °C)
 - termični gradient (°C/ km globine)
- * čedalje bolj aktualno
 - obnovljiv vir energije
- * namen izkoriščanja:
 - električna energija (Larderello, Islandija, Nova Zelandija)
 - agrikultura (gretje tal, tople grede, namakanje)
 - akvakultura (vodni organizmi)
 - toplice, bazeni
 - ogrevanje objektov



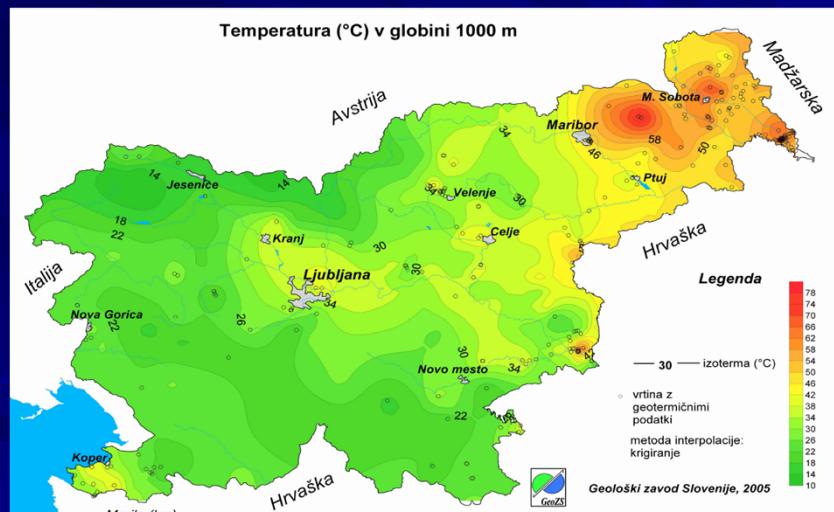
2. Geotermalno vrtanje

* 2. geotermalno vrtanje

- * geotermalna energija je zelo neenakomerno porazdeljena

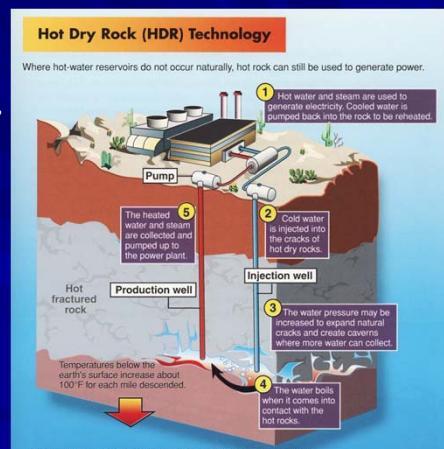


2. Geotermalno vrtanje



2. Geotermalno vrtanje

- ✖ 2. geotermalno vrtanje
- ✖ toploto pridobimo večinoma iz vode z visoko temperaturo
 - izkoriščati je možno tudi "suhe" kamnine z vtiskanjem hladne vode, ki se segreje (tehnologija HDR - hot dry rock)
- ✖ veliko geotermalnih vrtin je bivših "neuspešnih" naftnih vrtin
- ✖ za uspešno izkoriščanje mora biti zagotovljen dovolj velik pretok vode oz. fluidov



2. Geotermalno vrtanje

- * **2. plitvo geotermalno vrtanje**

- * izkoriščanje geotermalne energije poteka tudi v plitvih sistemih (to ne spada pod globinsko vrtanje!)
- * nižje temperature, do okoli 20 °C
- * prednosti:
 - okoli 25% energije (električne) vložimo, dobimo pa okoli 75% potrebne energije pridobimo brezplačno iz okolja
 - faktorji izkoristke (COP, t.i. grelna števila): danes že 5 ali več (razmerje med pridobljeno in vloženo energijo)
- * izkoriščanje geotermalne energije iz vrtin:
 - sistem voda-voda
 - sistem zemlja-voda
 - (+sistem zrak-voda)

2. Geotermalno vrtanje

- * **2. geotermalno vrtanje**

- * **sistem voda-voda**

- stalna temperatura podzemne vode
- potrebujemo črpalno in ponikalno vrtino
- temperatura vode naj bi bila vsaj 7°C
- vodo ohladimo za 3-4 °C
- najboljši izkoristki



- * **sistem zemlja-voda**

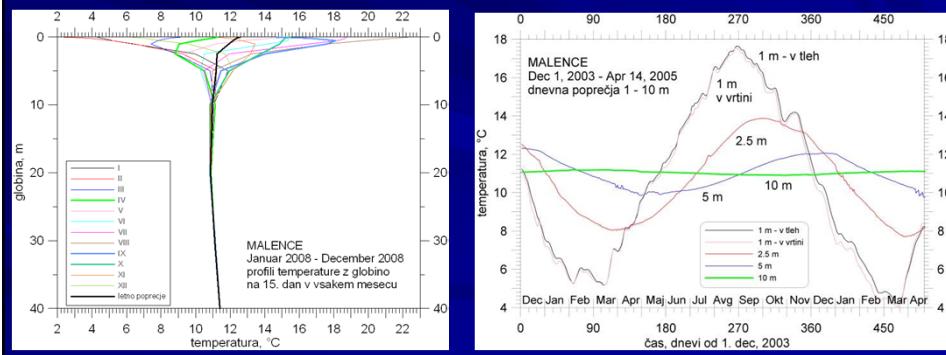
- kjer ni vode
- uporabljajo se posebni fluidi
- talne sonde = geosonde
 - stalna temperatura tal
- horizontalni kolektorji
 - zanke v globini 1,2 - 1,8 m



2. Geotermalno vrtanje

* 2. geotermalno vrtanje

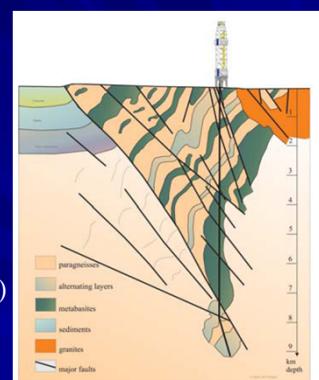
- * nihanje temperatur z globino (Rajver et al., 2010 , projekt T-JAM)



Raziskovalno globoko vrtanje

* 3. raziskovalno globoko vrtanje

- * zelo redke vrtine
 - drage, večinoma ni denarja za raziskave
- * vrtanje z namenom ugotoviti sestavo, strukturo in procese v Zemeljski skorji
- * svetovni projekti globokih vrtin:
 - Integrated Ocean Drilling Program (IODP)
 - International Continental Scientific Drilling Program (ICDP)



Raziskovalno globoko vrtanje

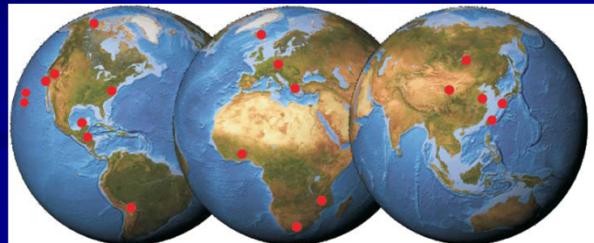
* 3. raziskovalno globoko vrtanje

- * področja raziskovanja z globokimi vrtinami:
 - fizikalni in kemični procesi pri potresih in vulkanskih izbruhih
 - klimatske spremembe
 - padci meteoritov in množična izumiranja
 - biosfera v večjih globinah (nastanek življenja, rudišča)
 - odlagališča radioaktivnih odpadkov
 - nastanek sedimentacijskih bazenov in ogljikovodikov
 - nastanek rudišč
 - tektonika plošč
 - geofizika in zgradba Zemlje

Raziskovalno globoko vrtanje

* 3. raziskovalno globoko vrtanje

- * izbrani primeri lokacij in raziskav International Continental Scientific Drilling Program (ICDP)
 - Unzen (Japonska) in Islandija
 - KTB, Dabie Subu (Kitajska)
 - Kreta
 - Havaji
 - New Jersey
 - San Andreas
 - Chicxulub
 - Bajkal, Titicaca
 - Islandija
 - Korintski zaliv



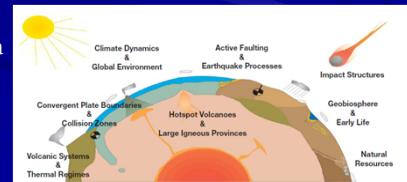
Raziskovalno globoko vrtanje

* 3. raziskovalno globoko vrtanje

- * izbrani primeri lokacij in raziskav International Continental Scientific Drilling Program (ICDP)

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| – Unzen (Japonska) in Islandija | vulkanizem |
| – KTB, Dabie Subu (Kitajska) | kontinentalna dinamika |
| – Kreta | subdukcija in kolizija |
| – Havaji | hotspot |
| – New Jersey | morska gladina |
| – San Andreas | potresi |
| – Chicxulub | udarni krater |
| – Bajkal, Titicaca | klima |
| – Islandija | geotermija |
| – Korintski zaliv | ekstenzija |

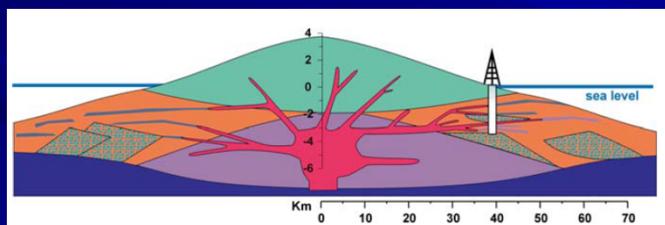
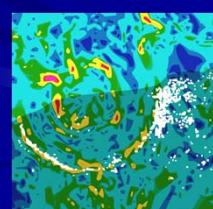
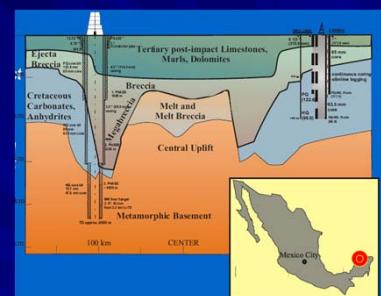
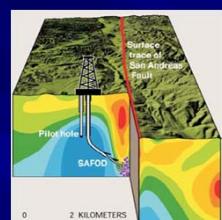
- * do sedaj 19 zaključenih projektov



Raziskovalno globoko vrtanje

* 3. raziskovalno globoko vrtanje

- * primeri ICDP



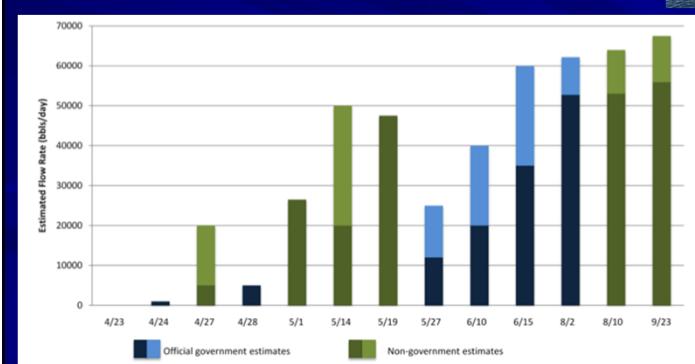
Raziskovalno globoko vrtanje

- * 3. raziskovalno globoko vrtanje
 - * vrtina KTB (Nemčija)
 - Kontinentales Tiefbohrprogramm
 - pri kraju Windischeschenbach (zahodno od meje s Češko)
 - pilotna vrtina: 4000 m, 1987–1989
 - v celoti na jedro
 - globlja vrtina: 9101 m, 1990–1994
 - jedro na vsakih 100 m, skupaj 64 m
 - preučevanje kontinentalne zgradbe, na stiku dveh velikih tektonskih enot (pri Eger grabnu)
 - v globini nekaj kilometrov so našli odprte razpoke
 - vtiskanje 200 m³ vode naj bi trajalo nekaj dni, dejansko pa 3 ure
 - posebna izplaka iz 96% vode in 2% glinenih mineralov, da niso spremenili kemičnih lastnosti kamnin iz jeter



Izlitje nafte - Deepwater Horizon

- * 20. april 2010
 - * ocene količine nafte?
 - * globina nesreče?



Izlitje nafte - Deepwater Horizon

- * ocene količine nafte?
 - * cca 53.000 sodčkov/dan pred zaprtjem vrtine



Meritve v vrtinah

* 1. karotaža

- * (angl. *log* oz. *well log*)
- * geofizikalne meritve v vrtinah
- * večinoma razvita v naftni industriji za ločevanje ekonomsko zanimivih peščenjakov od drobnih klastičnih kamnin
- * meritve beleži sonda s senzorji
 - sondu dvigamo z enakomerno hitrostjo
 - uporabljamo jo tam, kjer nimamo jeder

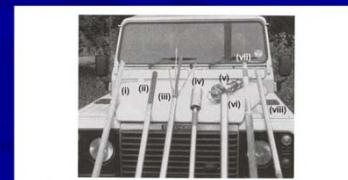
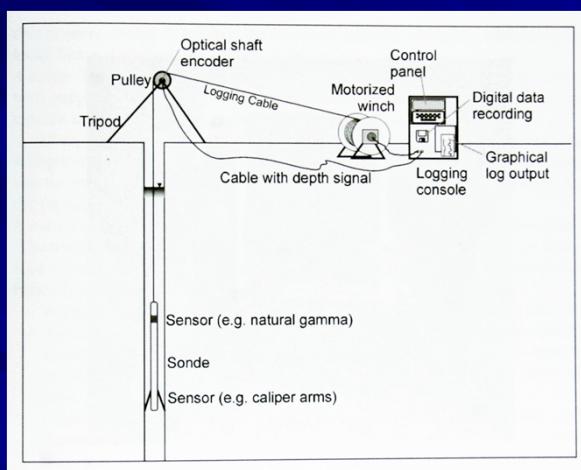


Figure 6.19 (a) photograph of a geophysical logging vehicle, with interior processing consoles and sondes mounted on the rear; (b) photograph of an array of geophysical logging sondes: (i) electric winch; (ii) motorized winch; (iii) gamma caliper; (iv) dipmeter; (v) CTD; (vi) 1.251 depth sampler; (vii) vertical resistivity; (viii) guard resistivity. Public domain material, provided by and reproduced with the permission of the Environment Agency of England & Wales (Thames Region).

Meritve v vrtinah

* 1. karotaža



Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

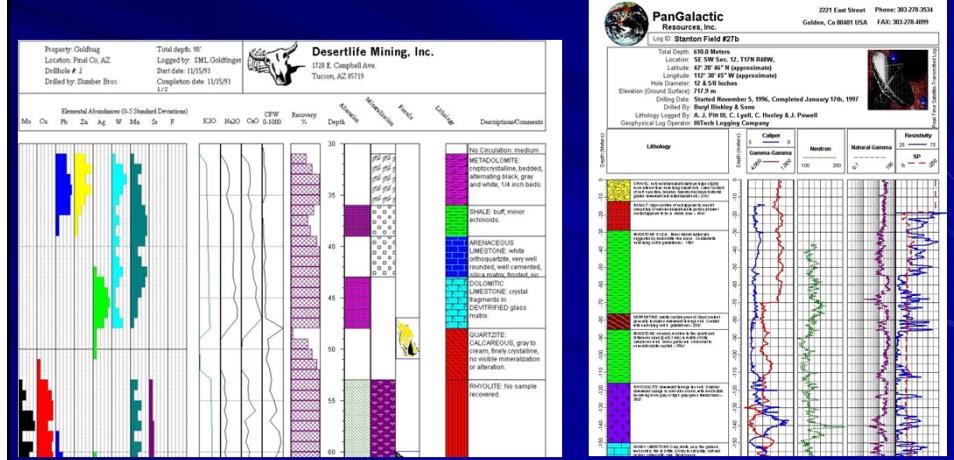
✗ namen:

- pridobiti informacije o geološki zgradbi (litologija)
- določitev fizikalnih lastnosti kamnin ali sedimentov (poroznost, gostota, električna upornost kamnin in fluidov)
- določitev lokacij in velikosti dotokov fluidov (npr. vode)
- preverba kvalitete vrtine
- določitev geotermičnega gradiента
- določitev azimuta in naklona plasti
- korelacija med sosednjimi vrtinami
- določitev sprememb fluidov v vrtini z globino

Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ primeri



Meritve v vrtinah

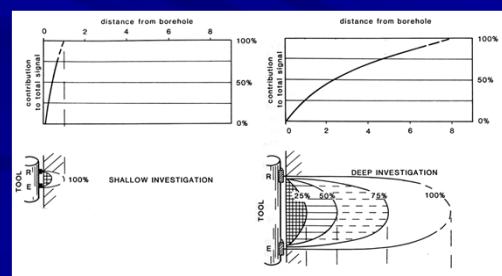
✗ 1. karotaža

✗ prednosti:

- omogoča sočasno meritev več parametrov
- merimo lastnosti kamnin na mestu samem (*in-situ*)

✗ slabosti

- na meritve lahko vplivajo lastnosti izplake
- nekaterih meritev ne moremo izvajati v zacevljenih vrtinah
- dobimo le podatke o lastnosti kamnine v neposredni bližini vrtine (nekaj cm do nekaj 10 cm)

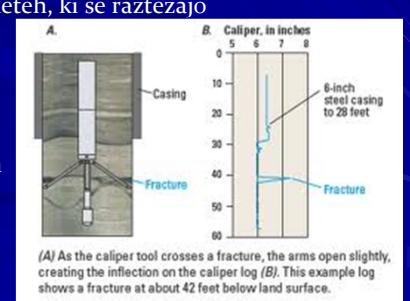
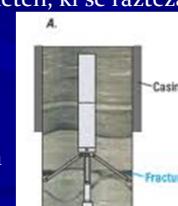


Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.1 kaliper

- angl. *caliper*
- določevanje premera vrtine
 - določevanje lokacij in velikosti razpok
- zelo enostavna metoda
- večinoma 4 tipala oz. ročice na vzmethi, ki se raztezajo in se naslanjajo na stene vrtine
 - tudi 2 ali 3 ročice
- hitrosti: okoli 3–6 m/min
 - odvisno od želene natančnosti
- uporabna le v nezacevljenih vrtinah



(A) As the caliper tool crosses a fracture, the arms open slightly, creating the inflection on the caliper log (B). This example log shows a fracture at about 42 feet below land surface.

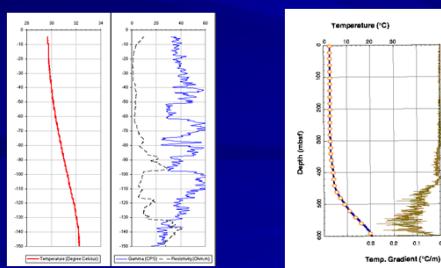


Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.2 termična (temperaturna) karotaža

- določevanje temperature v vrtini
- temperatura z globino enakomerno narašča (povprečen geotermični gradient je $33^{\circ}\text{C} / \text{km}$)
 - to velja za stagnantno vodo (vrtina brez dotokov)
 - hitra odstopanja se pojavi zaradi dotokov hladnejših oz. toplejših fluidov
 - konstantna temperatura kaže na vertikalnen tok fluida v vrtini



Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.3 slikovna (optična) karotaža

- angl. *imaging log*
- fotografiranje sten vrtine ali generiranje slike iz meritev električne upornosti ali akustičnih meritev
- za določitev razpok, litologije, kavern, orudjenj, kvalitete vrtine
 - ena najbolj uporabnih metod karotaže
 - v idealnih pogojih lahko določimo razpoke debeline 0,025 mm, ponavadi pa 1 mm
 - težava: ločitev naravnih od umetnih razpok
- uporabna le v nezacevljenih čistih vrtinah
- slika "razvijemo" iz valja
- več metod
 - Borehole Televiwer (BHTV)
 - FMI (Fullbore Formation MicroImager)

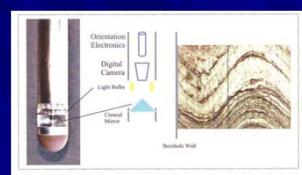
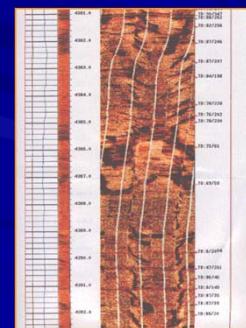


Figure 4.19. Diagram of an optical televiwer with sample output (Mount Sopris Instruments).



Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.3 slikovna karotaža

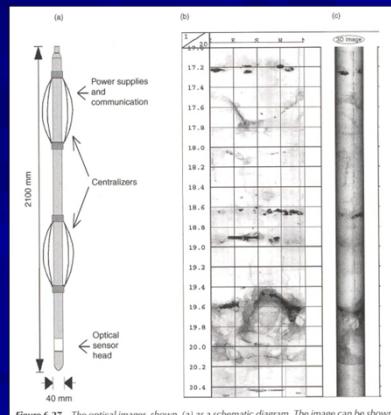
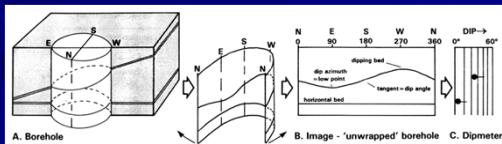


Figure 4.27 The optical imager, shown (a) as a schematic diagram. The image can be shown either as an oriented (note points of compass at top of image) unwrapped image (b), in this case of a Chalk borehole, where fractures appear as sinusoidal lines, or as a conceptualized three-dimensional core (c). Reproduced by permission of European Geophysical Services, Shrewsbury, UK

Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.4 meritve lastnega potenciala (SP)

- (angl. SP, spontaneous-potential oz. self-potential log)
- ena izmed električnih karotaž (enota: mV)
- merimo razliko v naravnem električnem potencialu prevodne tekočine v vrtini in na površini
- za določevanje prevodnih kamnin (npr. plasti z vodo ali rudnišči)
- uporabna le v nezacevljenih vrtinah, v vrtinah zapolnjenih z vodo ali izplako
- vlažne kamnine so bolj prevodne
 - = imajo večjo upornost
- večinoma da le malo uporabne rezultate, če je v vrtini le voda in ne ni izplaka, ker ni kontrasta
- hitra metoda, hitrosti do 15 m/min

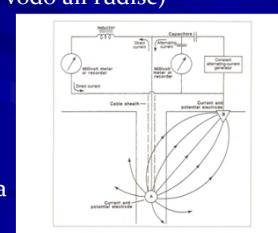


Figure 4.7. Schematic drawing of spontaneous potential (left) and single-point resistance (right) circuit electrode-log configuration.

Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.5 meritve električne upornosti

- (angl. *resistivity log*)
- uporabna le v nezacevlenih vrtinah, zapolnjenih z vodo ali izplako
- tokovna elektroda (C) in ena ali več potencialnih (P)
- razdalje med elektrodami: 8" (20,3 cm), 16", 32", 64" (162,6 cm)
 - doseg pri 64" elektrodi je do nekaj metrov v globino
- če uporabljamo več različnih razdalj, lahko iz različnih globinskih dosegov ugotovimo obseg prepustnih plasti

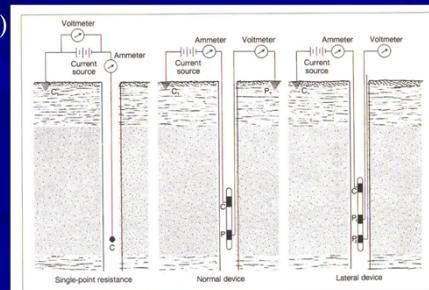


Figure 4.9. Schematic drawing of common resistance configurations.

Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.5 meritve električne upornosti (nad.)

- tanke plasti (z debelino manjšo od razdalje med elektrodama), ki imajo veliko upornost, moramo korigirati
- večinoma v uporabi za določevanje plasti ogljikovodikov (nafta!), ki imajo zelo veliko upornost
- metoda je uporabna tudi za določevanje kakovosti podzemne vode
 - iz upornosti oz. prevodnosti lahko ocenimo skupno količino raztopljenih snovi (TDS, angl. *total dissolved solids*)
 - upornost je obratno sorazmerna TDS

Meritve v vrtinah

* 1. karotaža

* 1.6 gostotna oz. gama-gama karotaža

- (angl. *gamma-density, gamma-gamma*)
- sipamo radioaktivne gama žarke iz ^{137}Cs ali ^{60}Co in merimo njihove odboje in interakcijo s kamnino
- uporabna tudi v zacevljenih vrtinah
- globinski doseg do okoli 15 cm (nezacevljene vrtine)
- merimo gostoto kamnine (preko elektronske gostote)
 - preko te lahko izračunamo poroznost kamnin (delež prostih por)
- določimo tip kamnine
 - bazalt $3,0 \text{ g/cm}^3$ peščenjak $2,3 \text{ g/cm}^3$
 - granit $2,7 \text{ g/cm}^3$ premog $1,3 \text{ g/cm}^3$
 - apnenec $2,6 \text{ g/cm}^3$ plovec $0,5 \text{ g/cm}^3$
- problematična uporaba zaradi varstva okolja (radioaktivnost!)

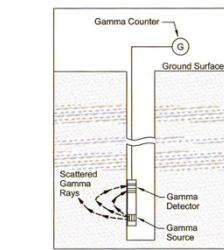


Figure 4.13. Schematic drawing of a single-source-to-detector gamma-gamma tool.

Meritve v vrtinah

* 1. karotaža

* 1.7 gama karotaža (angl. *gamma log*)

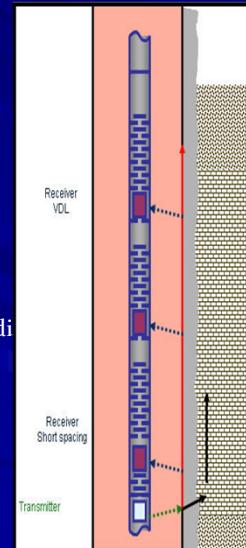
- vse kamnine so vsaj malo radioaktivne (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K)
- predvsem za določevanje glinenih mineralov (K!)
- merimo skupno naravno sevanje gama
- uran lahko pride v porozne kamnine tudi iz podzemnih vod!
- uporabna metode tudi v zacevljenih vrtinah
- enota: API (American Petroleum Institute) ali CPS (angl. *counts per second*)
- hitrosti do 6 m/min, v zacevljenih in večjih vrtinah manj
- 90% globinskega dosega je v 15–30 cm kamnine
- *spektralna gama karotaža*
 - merimo sevanja po posameznih spektrih elementov
 - določimo mineralno sestavo
 - uporabno za preučevanje rudišč in geokemične raziskave

Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.8 akustična karotaža

- (angl. sonic oz. acoustic log)
- za določitev poroznosti
- le v nezacevljenih vrtinah, zapolnjenih z vodo ali izplako
- oddajamo visokofrekvenčne zvočne valove (30 kHz) in jih detektiramo s senzorji na sondi
- valovi se lomijo in odbijajo v kamninah, ne pa tudi porah
 - potovanje valov je bistveno hitrejše v trdnih neporoznih kamninah
 - iz razmerja hitrosti v poroznih in neporoznih kamninah izračunamo delež por



Meritve v vrtinah

✗ 1. karotaža

✗ 1.9 nevtronska karotaža

- (angl. neutron log)
- merimo količino vodika preko odziva na obsevanje z nevtroni
- ta je prisoten v vodi, zato merimo posredno tudi prisotnost vode in s tem poroznost (večinoma)
 - vodik je lahko prisoten tudi v ogljikovodikih
 - uporabna tudi v nezacevljenih vrtinah
 - podobno kot pri gostotni karotaži tudi tu povzročamo umereno radioaktivno sevanje
 - doseg večinoma do 15 cm globine

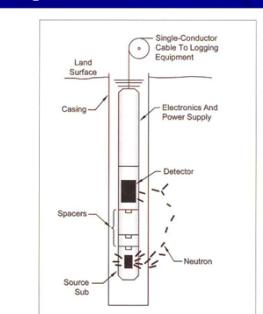
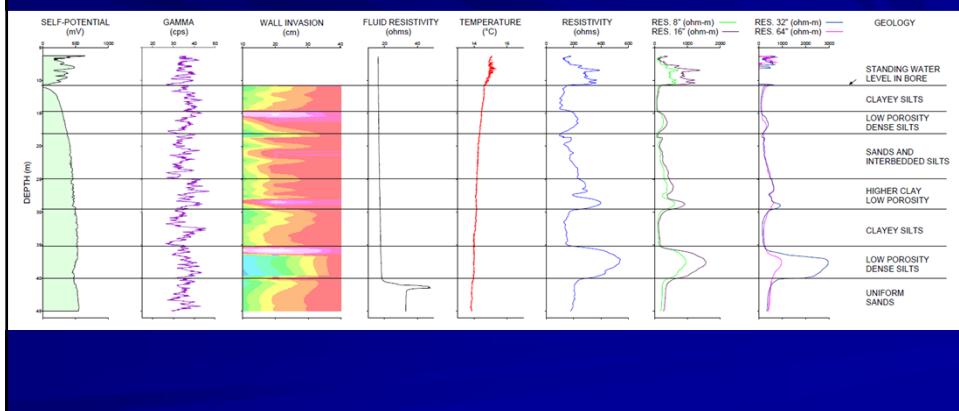


Figure 4.12. Schematic drawing of a neutron tool.

Meritve v vrtinah

- ✗ 1. karotaža

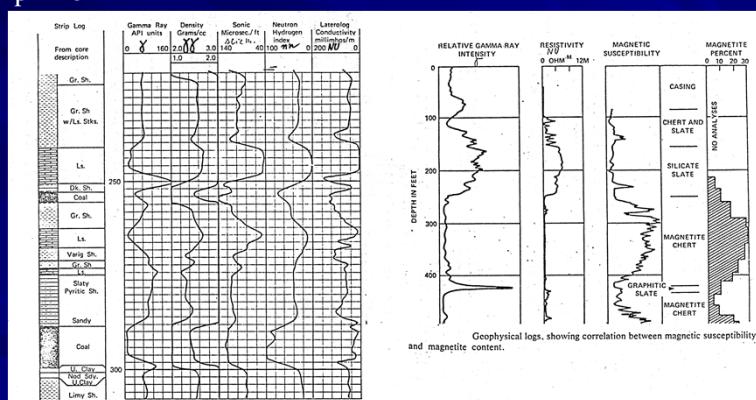
- ✗ primeri



Meritve v vrtinah

- ✗ 1. karotaža

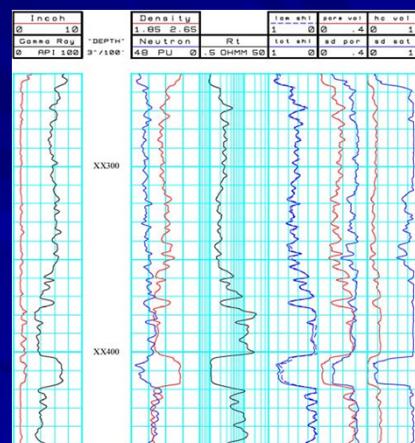
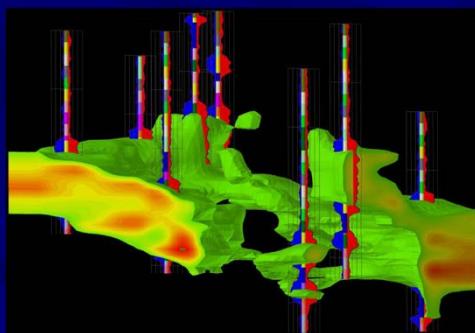
- ✗ primeri



Meritve v vrtinah

- * 1. karotaža

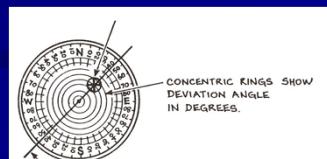
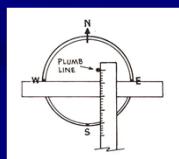
- * primeri



Meritve v vrtinah

- * 2. odklon vrtin

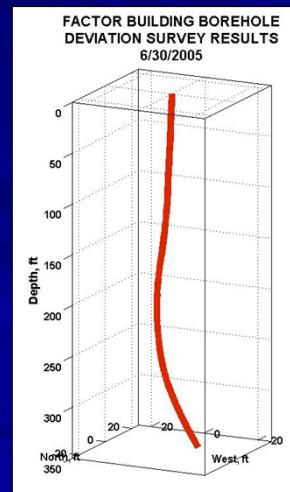
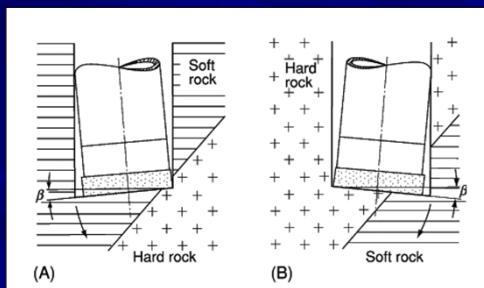
- * (angl. *drift*): določen kot azimut in naklon
 - * meritve odklona potekajo večinoma z naklonometri oz. inklinometri, ki merijo azimut in naklon (angl. *dipmeter*)
 - meritve azimuta temeljijo večinoma na odčitkih kompasa
 - meritve naklona na različne načine
 - mehanični in optični inklinometri
 - * odklon vrtin je zaželen pri vrtanju za rudišča ali ležišča nafte oz. zemeljskega plina ter večinoma nezaželen za druge namene vrtanja



Meritve v vrtinah

* 2. odklon vrtin

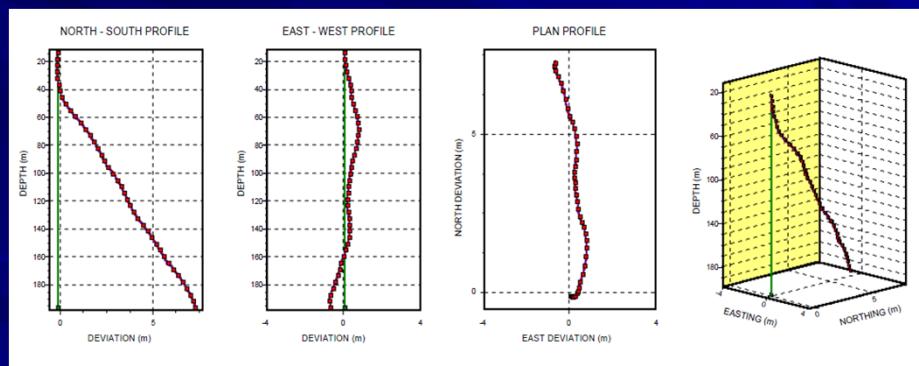
- * nastane zaradi:
 - različne obtežbe vrtalnega drogovja in dlet oz. krov
 - spremembe trdnosti kamnin



Meritve v vrtinah

* 2. odklon vrtin

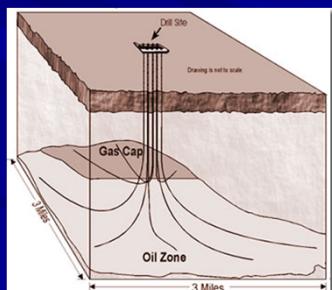
- * odklon v različnih prerezih (profilih)



Meritve v vrtinah

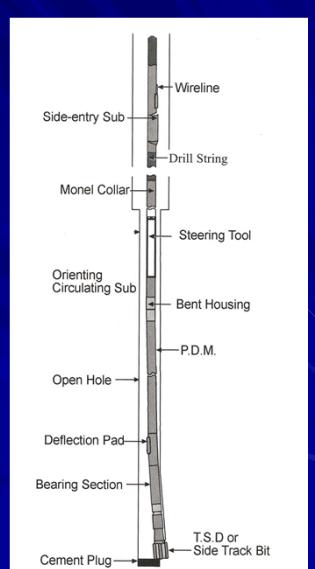
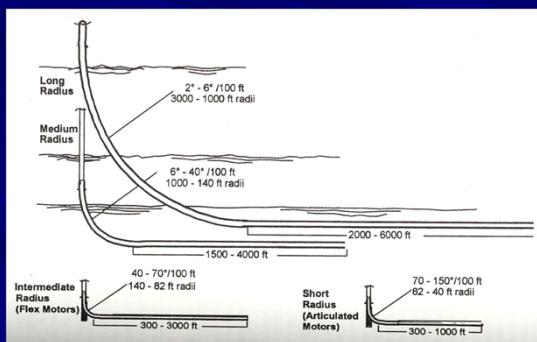
* 2. odklon vrtin

- * zaželen odklon - usmerjeno vrtanje
 - globinski motorji
 - naftne ploščadi
- * eden od možnih kriterijev vertikalnosti:
 - največ 100 mm odklona na 30 m globine



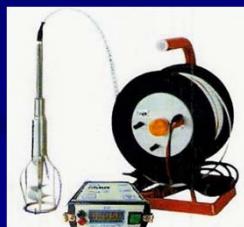
* 2. odklon vrtin

- * ločimo vrtine s kratkim, srednjim in velikim polmerom zakriviljenja



Meritve v vrtinah

- ✖ 3. meritve pretoka v vrtini (flowmeter)
 - ✖ ugotavljamo dotoke in pretoke fluidov (največkrat voda) v vrtino
 - ✖ na osnovi Dopplerjevega efekta merimo hitrost vode
 - iz primera vrtine pretvorimo hitrost (npr. m/s) v pretok (m^3/s)
 - v kavernah prihaja do turbulence in motenj meritev
 - ✖ največje hitrosti so v centru vrtine,
ob stenah manj zaradi trenja



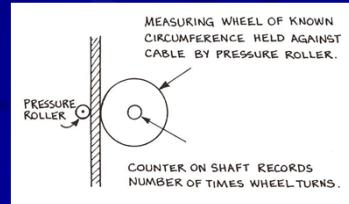
Meritve v vrtinah

- ✖ 4. geokemične meritve v vrtini
 - ✖ s sondami, ki jih spustimo v vrtino, merimo:
 - temperaturo, pH, elektroprevodnost, motnost, oksidacijsko-redukcijski potencial (ORP), količino raztopljenih snovi (TDS), raztopljeni kisik
 - ✖ s posebnimi senzorji lahko določamo tudi vrednosti NO_3^- , Cl^- , F^- in drugih parametrov
 - ✖ prednost:
 - vzorčimo lahko po celotni globini vrtine
 - ✖ za natančne analize več elementov moramo še vedno odvzeti vzorce in jih analizirati v laboratoriju



Meritve v vrtinah

- * 4. meritve globljih vrtin (ali nivoja vode) se ne morejo meriti z nivometrom
 - večinoma izračunamo globino iz skupne dolžine vstavljenih cevi
 - druga možnost: izmerimo dolžino kabla (npr. pri *wireline* jedrovanju)
 - možno tudi s posebnimi merskimi koleščki
(angl. *measuring wheel*)
 - na koleščku je števec obratov, globino izračunamo iz premera koleščka



Vzdrževanje, sanacija in likvidacija vrtin

- ✖ ko je vrtina izvrtana, opremljena in v uporabi, je “out of sight and out of mind”
 - ✖ po krajšem ali daljšem obdobju uporabe lahko nastopijo težave
- ✖ vrtino moramo za zagotavljanje normalnega obratovanja **vzdrževati**
 - ✖ če pride to težav, je možno do neke mere vrtino **sanirati** in zagotoviti nadaljnje normalno delovanje
 - ✖ če to ni možno, se vrtino **opusti oz. likvidira**

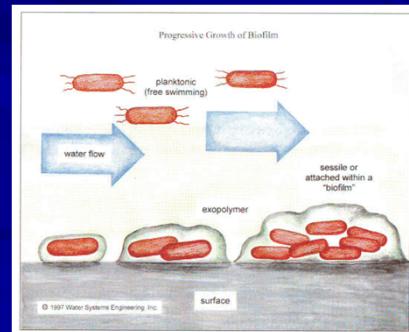
1. Vzdrževanje vrtin

- ✖ med težavami je ena glavnih **zamašitev vrtine**
 - ✖ (angl. *blockage*)
 - ✖ zamašitev vrtin oz. vodnjakov se pojavi večinoma zaradi mineralnih in bioloških prevlek na filtrih ali prikamnini
 - ✖ zamašitev ali druga vrsta težav je posledica treh procesov:
 - 1. bioloških
 - 2. kemičnih
 - 3. fizikalnih
 - ✖ predvsem je težava v kemičnih sestavi vod
 - ✖ potrebujemo kontrolo in redno vzdrževanje
 - ✖ ocenjujejo, da ima na svetu okoli 40 % vodnjakov težave pri obratovanju

1. Vzdrževanje vrtin

✗ 1. biološki procesi:

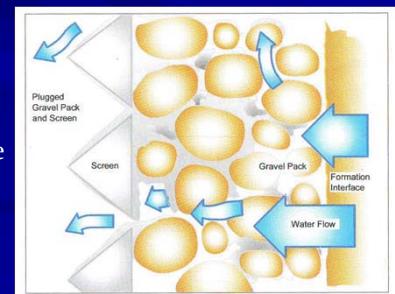
- ✗ več kot 80 % zamašitev je povezana z biološko aktivnostjo
- ✗ bakterije proizvajajo lepljiv polisaharidni material (biofilm), na katerega se vežejo izločeni minerali
 - ta material ni topen v vodi in se ga težko odstrani
 - masa biofilma lahko do 100 x presega maso samih bakterij
- ✗ na biofilm se lahko vežejo izločeni minerali (npr. kalcit) ali trdni delci, ki pripravljajo do vrtine (npr. pesek)



1. Vzdrževanje vrtin

✗ 1. biološki procesi:

- ✗ inkrustacija je sestavljena iz organskega (bakterije) in anorganskega dela (minerali) in lahko vsebuje tudi delce bentonita, glin in raznih koloidov
- ✗ prevleke se lahko pojavijo kjerkoli na ceveh, predvsem pa okoli filterov ali filtrskega zasipa
- ✗ rast bakterij je v idealnih pogojih eksponentna
 - bakterije *Gallionella*, *Thiobacillus*, *Clonothrix*, *Leptothrix*
- ✗ bolj ugodne so visoke temperature



1. Vzdrževanje vrtin

- ✖ 2. kemični procesi

- ✖ izločanje ali raztapljanje mineralov
 - predvidimo jih lahko iz geokemične sestave
- ✖ geokemični in fizikalni parametri, iz katerih lahko ocenimo potencialne težave:
 - koncentracije elementov in spojin
 - indeks nasičenja
 - oksidacijsko-reduksijski potencial
 - parcialni tlaki plinov
 - kinetika (hitrost reakcij)
 - temperatura
 - tlak
 - hrapavost cevi
 - pretok



1. Vzdrževanje vrtin

- ✖ 2. kemični procesi

- ✖ indeksi nasičenja so v podzemnih vodah večinoma okoli nič
 - težave se pojavijo pri črpanju in prehodu vode v atmosferske pogoje
- ✖ problematični so vsi neravnotežni indeksi nasičenja
 - $SI > 0$: izločanje mineralov (**inkrustacija**)
 - $SI < 0$: raztapljanje mineralov in cevi (**korozija**)
- ✖ prevelike količine črpanja (zvečan pretok) povzročijo hitro raztapljanje zelo topnih mineralov in zmanjšanje tlakov
- ✖ sprememba temperature povzroči tako kemično neravnovesje kot razmere za rast mikroorganizmov
- ✖ večinoma so te težave prisotne na ustju vrtine, ker je ta del izpostavljen atmosferi (kisiku)

1. Vzdrževanje vrtin

✗ 2. kemični procesi

- ✗ glavni minerali, ki se izločajo:
 - karbonati (Ca, Mg in Fe)
 - ponavadi pri pH > 7,5 in trdoti nad 250 mg/l in alkalnosti nad 220 mg/l
 - sadra
 - če je nekarbonatna trdota večja od karbonatne
 - sulfati nad 100 mg/l, pri pH > 7,5
 - kalcij nad 175 mg/l, alkalnost nad 50 % koncentracije kalcija in sulfati nad 150 mg/l
 - oksidi in hidroksidi
 - Fe in Mn oksidi in hidroksidi
 - večinoma iz raztopljanja železnih oz. jeklenih cevi pri negativnem indeksu nasičenja in prezračenih vodah
 - tudi iz vodonosnikov
 - pri ORP nad 150 mV
 - pri Fe > 1,0 mg/l in Mn > 0,1 mg/l

1. Vzdrževanje vrtin

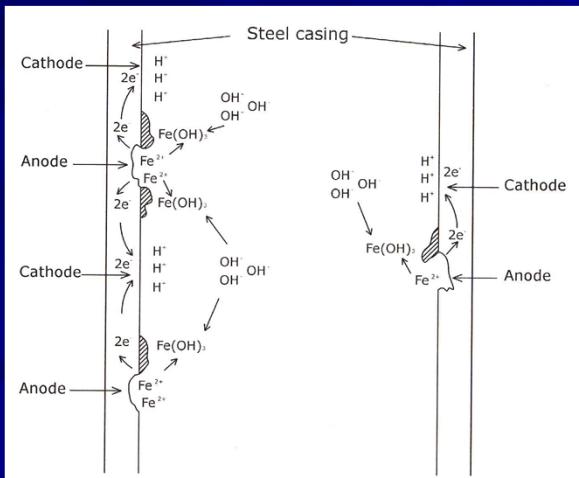
✗ 2. kemični procesi

- ✗ Fe oksidi in hidroksidi
 - izločanje: topna Fe^{2+} oblika preide v netopno Fe^{3+}
 - goethit
 - izločanje pomagajo bakterije (reducirajo Fe^{3+} v Fe^{2+})



1. Vzdrževanje vrtin

- * 2. kemični procesi



1. Vzdrževanje vrtin

- * 3. fizikalni procesi

- * v vrtino lahko pridejo drobni delci peska in glin, ter bentonita in ostalih izplak
 - do transporta pride večinoma zaradi prevelikih količin črpanja in posledično do prevelikih hitrosti podzemne vode
 - delci lahko uničijo potopne črpalke
 - "peskanje"
 - poteka lahko tudi abrazija cevi in črpalke



1. Vzdrževanje vrtin

- ✖ **posebne težave: vandalizem**

- ✖ npr. metanje kamnov v vrtine
 - ✖ vlivanje tekočin



2. Sanacija vrtin

- ✖ preventiva je cenejša od sanacije

- ✖ periodično čiščenje

- ✖ ni natančno določenega obdobja za čiščenje
 - ✖ odvisno od geološke zgradbe, kvalitete vode, pretoka ipd.
 - ✖ če se npr. kvaliteta vode ali pretok poslabša za 10 % ali več v 6 letih, čistimo vrtino vsake 3 leta

- ✖ vrtine lahko čistimo mehansko ali kemično

- ✖ 1. mehansko

- iznos sedimenta, ki se nabere na dnu vrtine

- ✖ 2. kemično

- vnos kemičnih spojin (največkrat kislin) za povečanje izdatnosti

2. Sanacija vrtin

✗ 2. kemično čiščenje

✗ 2.1 kislinska obdelava

- raztopimo minerale, ki so se izločili na stenah ali cevih vrtine
- kisline so lahko:
 - *anorganske*: klorovodikova (HCl), sulfamska (H_3NSO_3) in fosforna (H_3PO_4) kislina
 - *organske*: hidroksiocetna oz. glikolna ($C_2H_4O_3$), citronska ($C_6H_8O_7$) in acetna (CH_3COOH) kislina
- dodajamo tudi razne inhibitorje, ki preprečujejo korozijo cevi
- pH za večino mineralov moramo znižati vsaj na vrednost 2,0
- okolju škodljiv in nevaren postopek!
 - količina dodanih kislin mora biti pravšnja

2. Sanacija vrtin

✗ 2. kemično čiščenje

✗ 2.1 kislinska obdelava

Table 13.3. Characteristics of Common Acids

Characteristic	Phosphoric	Sulfamic	Hydrochloric	Hydroxy-acetic	Citric
Appearance	Clear liquid	White crystal	Slightly yellow liquid	Clear liquid	White crystal
Formula	H_3PO_4	HSO_3NH_2	HCl	CH_3OHCOO	$C_6H_8O_7$
Molecular weight	98.0	97.1	36.47	76.05	192.12
Type	Mineral	Mineral	Mineral	Organic	Organic
Hazardous fumes	None	None	High	Some	None
Relative strength	Strong	Strong	Strong	Weak	Weak
pH at 1%	1.5	1.2	0.6	2.33	2.6
Relative reaction time (1 = fast 10 = slow)	4–5	< 2	1	4–5	4–5
Corrosiveness to: Metals/Tissue	Slight Moderate	Moderate Moderate	Very high Severe	Slight Slight	Slight Slight

Characteristic	Phosphoric	Sulfamic	Hydrochloric	Hydroxy-acetic	Citric
Reactivity vs. Carbonate scale Sulfate scale Fe/Mn oxides Biofilm	Very good; Good to poor; Good; Poor	Very good; Good; (initially); Fair; Poor	Very good; Good to poor; Very good; Poor	Poor to fair; Very poor; Good; Moderately good	Poor; Very poor; Chelate Poor
Quantity (lb) of 100% Acid Required to Dissolve 1 lb of Calcium Carbonate	0.65 lb	2.0 lb	0.73 lb	4.5 lb	4.0 lb

2. Sanacija vrtin

* 2. kemično čiščenje

* 2.1 kloriranje

- oksidant, ki se uporablja za dezinfekcijo pitne vode
- v različnih oblikah (plin, prašek, granulati)
- zmanjša pH, dezinficira - odstranjuje bakterije
- koncentracija naj bi bila okoli 50 - 200 mg/l Cl
 - 4x volumen vrtine

2. Sanacija vrtin

geokemična težava	vplivni faktor	problematični elementi / oz. parametri
vonj in okus	redoks razmere, mikrobiologija, material vrtine	Fe
trdota	litologija, sestava vode	Ca, Mg, CO ₃
zdravstvene	sestava vode, redoks razmere	sledne kovine in organske snovi
kmetijstvo	sestava vode, globina vode	dušikove spojine, K, Cl
intruzija slane vode	oddaljenost od morja, lastnosti vodonosnika	Cl, Na, slanost
industrija	globina do vode, tip industrije in onesnaževal	sledne kovine in organske snovi
težava z vodnjakom	vplivni faktor	problematični elementi / oz. parametri
izločanje mineralov	odplinjevanje, sestava vod, redoks razmere, temp.	Ca, Mg, CO ₃ , TDS
biološki filmi	redoks razmere, bakterije, material vodnjaka	Fe, Mn, sulfidi
korozija	material vrtine, redoks razmere, slanost	Fe, sulfidi, Mn
turbulanca	material vrtine, izgradnja vodnjaka, redoks razmere	Fe, Mn

3. Opustitev (likvidacija) vrtin

- ✗ neuspešne vrtine "uničimo" oz. likvidiramo
- ✗ razlogi za likvidacijo:
 - ✗ vrtine ne rabimo več
 - ✗ vrtina postane nevarna (npr. plinska)
 - ✗ pride do porušitve
- ✗ vsaka vrtine ima omejen življenski rok
- ✗ opustele vrtine predstavljajo nevarnost iz več razlogov:
 - ✗ fizična nevarnost ljudem in živalim
 - ✗ omogočajo dotok onesnaževal direktno v podzemno vodo
 - ✗ omogočajo prelivanje vod med vodonosniki

3. Opustitev (likvidacija) vrtin

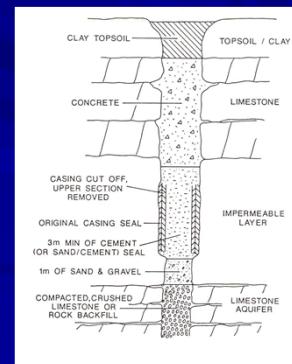
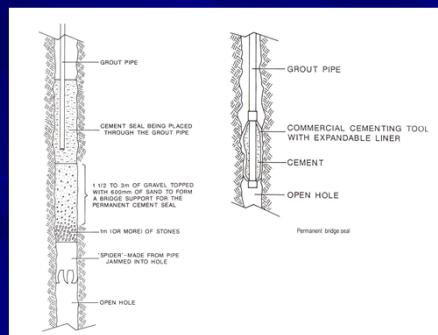
- ✗ primer nelikvidirane vrtine



3. Opustitev (likvidacija) vrtin

- ✖ postopek:

- ✖ preverimo stanje vrtine
- ✖ plitve vrtine manjšega premera zalijemo s cementno maso
- ✖ vrtine večjega premera zasujemo z nereaktivnim agregatom (pesek, gramoz) in zalijemo s cementom



Izdelava poročil

- ✖ podatke o vrtini in poteku vrtanja moramo zabeležiti
 - ✖ pridobimo podatke med vrtanjem in po iz meritev po vrtanju
- ✖ načini pridobivanja podatkov:
 - ✖ izvrtni drobci oz. vzorci iz vrtine
 - ✖ jedra
- ✖ popišemo čim več podatkov

Izdelava poročil

- * podatki, ki jih moramo zabeležiti:

- * **splošni:**

- ime vrtine
 - datum izgradnje
 - koordinate x,y,z
 - lastnik
 - izvajalec (vrtalno podjetje)
 - namen vrtine
 - globina in dolžina vrtine

- * **tehnični:**

- globina, profili in način vrtanja
 - globina in profili cevi
 - material cevi
 - globine cementiranih odsekov

Izdelava poročil

- * podatki, ki jih moramo zabeležiti (*nad.*):

- * **geološki:**

- litološka zgradba
 - globine plasti
 - starost plasti
 - lokacije tektonskih struktur (razpoke, prelomi, ...)
 - stopnja porušenosti
 - pojavi mineralnih surovin

- * **hidrogeološki:**

- globina podzemne vode in datum merjenja
 - podatki črpalnega poizkusa in airlifta (pretok, znižanja, ...)
 - datum odvzema vzorcev za analizo vode
 - temperatura vode, pH, ...
 - globina vgrajene črpalk

Izdelava poročil

- ✖ podatki, ki jih moramo zabeležiti (*nad.*):
 - ✖ **geomehanski podatki**
 - AC, RQD, RMR, GSI in ostali popisi
 - SPT, presiometerski rezultati
 - ✖ **karotaža**
 - datum, popis
 - vrsta karotaže
 - ✖ **opombe**
- ✖ podatke prikažemo grafično in v računalniških bazah



Zakonodaja

- ✖ izdelavo vrtin, monitoring in vse postopke ureja več zakonov in podzakonskih aktov (pravilniki, uredbe, ...)
- ✖ za geološko dejavnost sta pristojni predvsem dve ministrstvi:
 - ✖ Ministrstvo za okolje in prostor (MOP)
 - ✖ Ministrstvo za gospodarstvo (MG)
 - ✖ na spletnih straneh se nahaja področna zakonodaja
- ✖ vsi zakoni in predpisi so objavljeni v Uradnem listu RS
 - ✖ <http://www.uradni-list.si>

The screenshot shows a sample page from the Official Gazette of the Republic of Slovenia, Volume 96, dated 30.8.2004. The page includes the title 'Uradni list Republike Slovenije', the date '30.8.2004', and various legal documents such as 'Družbeni zvezek', 'Zakon o raziskovanju mineralov', and 'Zakon o prenove in razširjanju pravilnika o raziskovanju mineralov'. The page is in Slovenian and contains detailed legal text and tables.

Zakonodaja

- ✖ zelo široko področje, ki ga pokriva precej zakonskih aktov
 - ✖ sama izdelava vrtin in izkoriščanje energetskih virov (geotermalna energija, nafta, zemeljski plin, mineralne surovine ipd.) spada pod Zakon o graditvi objektov in pod Zakon o rudarstvu
 - ✖ izkoriščanje podzemne vode iz vrtin spada pod Zakon o vodah
 - če se vrtine nahajajo v vodovarstvenih območjih, je potrebno upoštevati Uredbe o vodovarstvenem območju za vodna teleda
 - dovoljenja za vrtanje so dostopna na spletnih straneh Agencije RS za okolje (ARSO)
 - ✖ geotehnična dela pokrivajo Eurokodi (standardi)
- ✖ nekateri tehnični postopki izdelave vrtin in meritev so v standardih ISO in ASTM

