

KVER MED FRÓÐLEIKSMOLUM
UM
VATNAJARÐFRÆÐI, DÆLUPRÓFANIR
OG LEKTUN

Arni Hjartarson
Birgir Jónsson
Davíð Egilson
Jón Ingimarsson
Hörður Svavarsson
Snorri Zóphónfasson
Þórólfur H. Hafstað

OS-83022/VOD-12 B

MARS 1983

EFNISYFIRLIT

0	Inngangur.....	4
1	Frumatriði vatnajarðfræðinnar.....	5
1.1	Vatnið og hringrás þess.....	5
1.2	Jarðvatnið og lagskipting þess.....	7
1.3	Groppa (porosity).....	8
1.4	Lekt, leiðni og LU.....	10
1.5	Veitir (aquifer) og stemmir (aquiclude).....	12
2	Lögmál Darcys og rennsli vatns.....	17
2.1	Darcys lögmál.....	17
2.2	Lektarmæling.....	22
2.3	Streymi í lagskiptri jörð.....	25
3	Straumfræði og dæluþrófanir.....	33
3.1	Straumfræði (hydraulic).....	33
3.2	Undirbúningur prófana.....	44
3.3	Dæluþrófanir.....	55
3.4	Þrepadælingar.....	55
3.5	Langtímadæluþrófanir.....	61
4	Lektunaryfirlit.....	73
4.1	Tilgangurinn.....	73
4.2	Helstu aðferðir við lektarþrófanir.....	74
4.3	Lekaleiðir við mismunandi jarðfræðilegar aðstæður.....	75
4.4	Lekaleiðir við mismunandi mannvirki.....	78
4.5	Ýmis tilfelli.....	83
4.6	Lokaorð - Boðorðin 5.....	84
5	Lektanir í rannsóknarholum.....	85
5.1	Inngangur.....	85
5.2	Rennslismæling.....	88
5.3	Pakkaraprófun.....	91
5.4	Pakkaraprófun hin meiri.....	97
5.5	Heilræði.....	99
6	Pakkaraprófun og SZ pakkarinn.....	101
6.1	Inngangur.....	101
6.2	Áhöld.....	102
6.3	Lektun.....	110
6.4	Sjálfvirk þökkun.....	116
6.5	Lektun með tvöföldum SZ pakkara.....	116

INNGANGUR

Innviðir einnar borholu eru að sönnu bæði myrkir og þröngir. Þó hefur það verið sannreynt, að þaðan má hafa allmikinn fróðleik ef rétt er að málum staðið. Auk þeirra upplýsinga sem lesa má um jarðlagaskipanina úr borkjörnum og svarfi er með ýmsum hætti unnt að afla vitneskju um ástand og hegðun grunnvatnsins, lekt jarðlaga og lekaleiðir vatnsins, styrkleika bergs og ýmsa aðra bergtæknilega eiginleika.

Eins og jafnan gerist í fræðum, sem eru í örri þróun, vilja hugmyndir manna og starfsaðferðir verða nokkuð sundurleitar og einstaklingsbundnar. Því er oft erfitt um samanburð og samræmingu á mælingum og athugunum milli manna og frá einum tíma til annars. Kverinu atarna er ætlað að bæta nokkuð úr þessu ástandi og leggja drög að áframhaldandi samhæfingu og þróun borholumælinga, sem að lektun og dæluþrófunum snúa.

Kverið er unnið upp fyrir námskeið í lektunum og dæluþrófunum í borholum haldið á OS í aprílbyrjun 1983. Það er skrifað undir mikilli tímapressu. Höfundarnir skiptu lauslega með sér verkum og sömdu síðan hver sinn kaflann í snarhasti. Við þannig aðstæður fer ekki hjá því, að nokkur skörun verði á milli kafla og eitthvert misræmi í orðnotkun. Líta ber á þessa fyrstu útgáfu kversins sem uppkast er slípað verður til í samræmi við dóm reynslunnar.

Auk þess að vera námsgagn á ofangreindu námsskeiði er kverinu ætlað að vera brunnur fróðleiks og skemtunar fyrir lektora, bormenn og aðra þá sem við holuvísindi fást og vonandi auðnast því að víkka sjóndeildarhring þeirra manna sem rýna löngum stundum ofan á borholustúta.

A.Hj.

1
Árni Hjartarson
FRUMTRÍÐI VATNAJARÐFRÆÐINNAR

1.1 VATNIÐ OG HRINGRÁS ÞESS

Vatnið finnst í ótal myndum á jörðinni allt frá innsta kjarna hennar að útmörkum gufuhvolfsins. Í jarðariörum er það uppleyst í kvikumassanum, í jarðskorpunni streymir það um sem grunnvatn eða er bundið í setlögum eða kristöllum bergsins. Á jarðaryfirborði finnst það í formi sjávar, stöðuvatna, fallvatna, iss og snævar. Lífverurnar eru öðru fremur byggðar úr vatni og í lofthjúpunum leikur það mikið hlutverk.

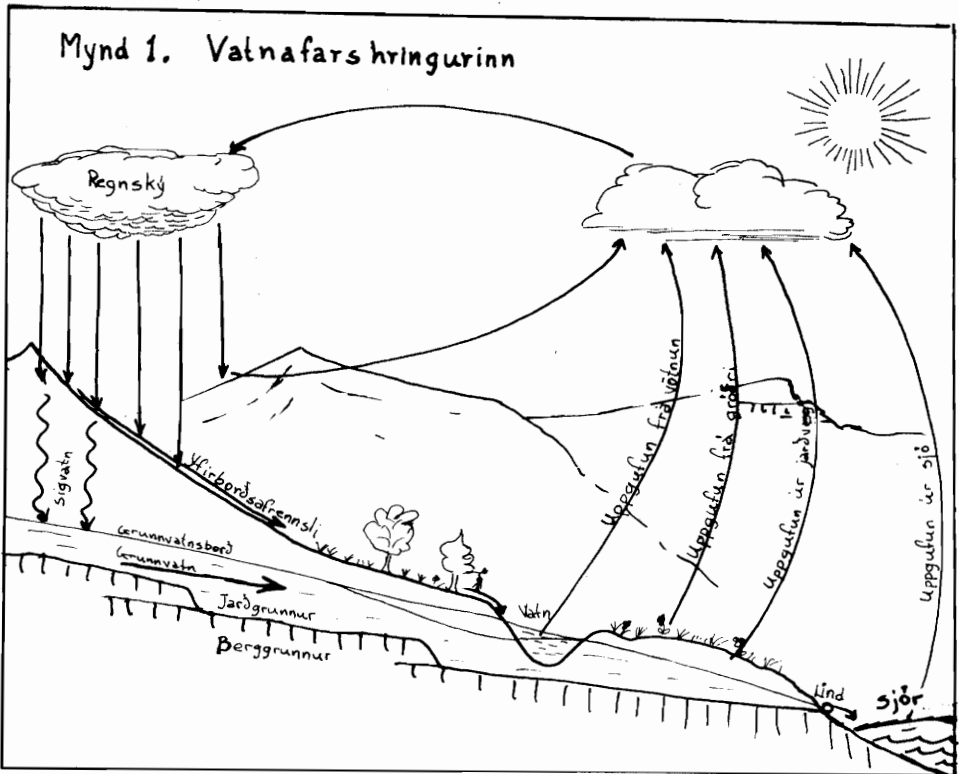
Að frátöldu vatninu í jarðariörum og því sem bundið er í seti og kristöllum bergs, er vatnið á eilífri hringrás úr einum staðnum í annan og einu forminu í annað. Hringrás þessi kallast vatnafarshringurinn (The Hydrologic Cycle) (mynd 1.1). Vatnsmagnið sem þarna er á ferðinni hefur verið áætlað um 1.500.000.000 rúmkílómetrar. Af þessu magni eru um 94% í sjónum. Afgangurinn 6% skiptist þannig: Stærsti hlutinn, rúm 4%, er í mynd jarðvatns, tæp 2% eru bundin sem ís víðsvegar um jörðu. Aðeins 0,05% teljast til stöðuvatna og fallvatna. Mörgum hefur komið á óvart hversu smár þessi hluti er. Raki gufuhvolfsins er hverfandi líftill miðaður við þessar töflur. Hins vegar er flutningur vatnsins um þann hluta vatnafarshringsins mjög hraður. Nánast allt það vatn sem um þurrlendið fer, hvort heldur í fallvötnum, grunnvatnsstraumum eða jöklum, hefur borist frá hafi í gufuformi.

Afdrif þeirrar úrkomu sem á land fellur er með þrennum hætti. Einn hlutinn gufar beint upp aftur. Annar hlutinn rennur af á yfirborðinu í ár og læki og berst í faðm hafsins að skömmum tíma liðnum og lýkur þannig hringferli sínum fljótt og vel, á fáeinum dögum, vikum eða mánuðum. Þriðji hlutinn sígur í jörðu og niður í grunnvatnið. Gróður jarðar drekkur þó eitthvað af þessu vatni í sig þegar í stað og það hverfur fljótt til andrúmsloftsins á ný með útgufun frá plöntunum.

Grunnvatnið sígur hægun straumi undan þrýstingi um jarðlögin og kemur til yfirborðsins í uppsprettum, þar sem svo hagar

til, að grunnvatnsflötur sker yfirborðið, síðan getur það horfið í jörðu á ný eða runnið rakleiðis til sjávar. Bluti þess kemur upp í neðansjávarlindum eða fjörolindum. Grunnvatnið getur tafist svo öldum og árþúsundum skiptir neðanjarðar. Fer aldur þess að mestur eftir því hversu djúpt í jörðu það kemst. Vatn sem streymir um laus yfirborðsloög og kemur fram í sveiflukendum lindum, bæði hvað hitastig og magn snertir, er sjaldan nema nokkurra daga eða vikna gamalt. Kaldavermsl eru auk hins hita síns allstöðug hvað rennslismagn snertir. Vatnið í þeim hefur runnið neðanjarðar svo mánuðum eða jafnvel árum skiptir. Heitt vatn er venjulega jafnframt mjög gamalt. Það hefur komist djúpt í jörðu og tekið í sig hitann sem þar ríkir. Bergið sem þetta vatn streymir um er oftast allþétt og vatnsstreymið er því hægt. Elsta jarðhitavatn á Íslandi er talið meira en 10 þúsund ára gamalt. Jöklar geta valdið mikilli seinkun á hringferð vatnsins eins og gefur að skilja.

Mynd 1. Vatnafars hringurinn



1.2 JARÐVATNIÐ OG LAGSKIPTING ÞESS.

Jarðvatn (subterranean water) er notað sem samheiti um vatn undir jarðaryfirborði, hvort heldur sem það er undir eða yfir grunnvatnsfleti. Jarðvatninu má skipta í tvo flokka eða lög: jarðraka og grunnvatn. Mörkin milli þessara laga eru við grunnvatnsflötinn. Þar er þrýstingur vatnsins jafn loftþrýstingnum undir honum er hann hærri, en yfir er vatnsþrýstingur lægri loftþrýstingnum.

Jarðrakinn deilist upp í nokkur lög, en þau gagnmerku vísindi liggja utan áhugasviðs hreinlffisjarðfræðinga og bormanna hvers konar og verða því ekki orðlengd hér.

Grunnvatnið tekur við neðan grunnvatnsborðs. Þar eru öll holurúm og og glufur bergsins vatnsfyllt. Þrýstingurinn er hærri en loftþrýstingurinn. Þegar um er að ræða frjálst grunnvatnsborð er vatnsþrýstingurinn á hverjum stað í samræmi við dýpið undir grunnvatnsborði. Um hann gildir jafnan:

$$p = qgh10^{-5} + p(a)$$

p er vatnsþrýstingurinn (bar).

q er eðlismassi vatnsins (kg/m^3)

g er þyngdarhröðunin ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h er vatnsdýpið frá grunnvatnsborði (m)

$p(a)$ er loftþrýstingurinn (bar)

Þrýstingurinn fer einungis eftir grunnvatnsdýpinu á hverjum stað en er óháður bergþunganum sem yfir liggur og vatnsmagninu í berginu.

Stundum valda þétt jarðlög því, að þrýstingurinn er mun meiri en dýpið segir til um. Vatn við slíkar aðstæður nefnist þrýstivatn (artesian water). Sú hæð sem vatnið getur þrýst sér upp í t.d. í borholu, nefnist þrýstivatnshæð (pizometric surface). Stundum er þrýstivatn borðið herra en jarðaryfirborð og er þá sjálfrennsli úr borholum. Á sama hátt og þétt jarðlög geta orsakað þrýstivatn geta þau einnig valdið undirþrýstingi. Í báðum tilfellum er fleira en eitt grunnvatnsborð til staðar. Þykkt grunnvatnslagsins undir Íslandi er óþekkt. Að neðan markast það annað hvort af þéttum óvatnsgengum jarðlögum eða þeim mörkum sem hiti og þrýstingur setja fljóttandi formi vatns. Því hefur verið fleygt að hið svonefnda lag 3 marki botn grunnvatnslagsins og sé því 1-10 km að þykkt.

1.3 GROPPA (POROSITY)

Holrúm það sem myndast milli korna og kristalla í jarðlögum, blöðrur í bergi, sprungur, glufur og gaphús, nefnist groppa bergsins. Groppan er mæld sem hlutfall holrýmisins af heildarrúmmálinu og er oft gefin upp í prósentum.

$$n = V(h)/V$$

$$n = \text{groppa}$$

$$V(h) = \text{rúmmál holrýmis}$$

$$V = \text{heildarrúmmál}$$

Reynslan hefur sýnt að verkfræðingar eiga auðveldara með að skilja groppuhugtakið ef það er tjáð með svokölluðu holýmdarhlutfalli (void ratio).

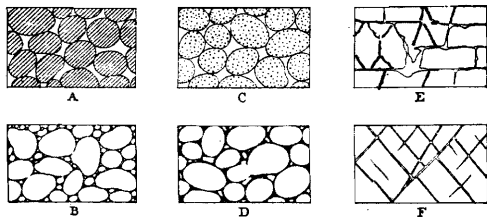
$$e = V(h)/V(b)$$

$$e = \text{holýmdarhlutfall}$$

$$V(h) = \text{rúmmál holrýmis}$$

$$V(b) = \text{rúmmál fasts efnis}$$

Groppa bergs og lausra jarðlaga á jarðaryfirborði getur hlaupið á bilinu frá 0,01 upp í meira en 0,5. Meiri groppa en 0,4 er þó sjaldgæf. Í daglegur tali kallast meiri groppa en 0,2 mikil, groppa milli 0,2 og 0,5 miðlungs, og groppa minni en 0,05 lítil. Í lausum jarðlögum fylgir groppan mest kornastærðinni og kornastærðadreifingunni, en í bergi er það millisteindarýmið, blöðrur, glufur og gaphús, sem ráða groppunni. Upphafleg groppa jarðlaga t.d. groppa nýmyndaðra hrauna eða setlaga er kölluð frumgroppa (primer porosity), en groppa sem myndast síðar, t.d. er hraunlagastafli sprungur upp, nefnist síðgroppa (secunder porosity). Gerður er greinarmunur á heildargroppu efnis (total porosity) og virkri groppu þess (effective porosity). Virka groppan er það holrúm efnisins, hvar vatn getur streymt um við náttúrulegar aðstæður. Talsverður hluti jarðvatnsins er bundinn í efninu með sameinda- og hárfípukröftum, t.d. í þröngum glufum, og fær ekki streymt þaðan í brott. Í þessu sambandi er oft talað um vatnsgæfni og vatnsheldni einstakra jarðlaga eða efnisflokka jarðefna. Vatnsgæfni (specific yield) segir til um hve miklum hluta vatnsins sem í efninu situr er hægt að ná burt með dælingu eða annars konar aftöppun.



MYND 1.2. Ýmsar gerðir groppu. (A) Vel flokkað set með mikilli groppu. (B) Illa flokkað set með lífylli groppu. (C) líkist flokki A en samnastendur af kornum sem sjálf eru gropin svo heildargroppa efnisins er mjög há. (D) Einnig líkt flokki A en groppan hefur rírnað vegna steindamyndunar í glufum efnisins. (E) Berg með gisinni steindaröðun (grágrýti). (F) Berg sem sprungur hafa gert gropið.

TAFLA 1.1

Groppa, lekt og vatnsgæfni ýmissa efna.

JARÐLAG	GROPPA%		LEKT m/sek.	VATNSGÆFNI
	prim.	sek.		
Möl	30-40	-	$10^0 - 10^{-2}$	+
Grófur sandur	30-40	-	$10^{-1} - 10^{-4}$	+
Fínsandur	30-35	-	$10^{-3} - 10^{-6}$	0
Méla	40-50	-	$10^{-5} - 10^{-8}$	-
Leir	45-55	-	$10^{-8} - 10^{-10}$	-
Jökulurð	30-50	-	$10^{-2} - 10^{-6}$	+0-
Berghlaupsurð	20-40	-	$10^0 - 10^{-5}$	+0
Hraun	5-50	+	$10^0 - 10^{-2}$	+
Grágrýti		+	$10^{-3} - 10^{-5}$	+0
Blágrýti		+	$10^{-3} - 10^{-6}$	0-
Bólstraberg	5-35	+	$10^{-1} - 10^{-5}$	+0
Kubbaberg	10-25	+	$10^{-2} - 10^{-5}$	0
Móberg		+	$10^{-5} - 10^{-8}$	-
Flikrúberg		+	$10^{-5} - 10^{-8}$	-
Völuberg		+	$10^{-1} - 10^{-3}$	+0
Sandsteinn	20	+	$10^{-1} - 10^{-4}$	0
Leirsteinn	10	+	$10^{-4} - 10^{-4}$	-
Jökulberg	25-35	+	$10^{-4} - 10^{-7}$	-
Gabbró-granit		+	$10^{-5} - 10^{-8}$	-

Vatnsheldni (specific retention) segir til um hve mikill hluti vatnsins situr eftir, í lokuðum rýmum eða bundið sameinda og hárfípukröftum í efninu og næst ekki burt nema með róttækum aðgerðum s.s. suðu. Vatnsheldni + vatnsgæfni = groppa. Þetta eru einingalausar stærðir, sem oftast eru gefnar upp með prósentum eða rúmmálshlutföllum.

1.4 LEKT (PERMEABILITY) LEIÐNI (TRANSMISSIVITY) OG LU (LUGEON UNIT)

Innrennsli vatns í jarðlög byggir upp vatnsþrýsting sem síðan veldur grunnvatnsstreymi. Geta jarðmyndunar til að leiða vatn (eða annan vökva) nefnist lekt. Lektin er skilgreind sem það vökvamagn sem streymir um ákveðinn flöt, hornrétt á strauminn, á tímaeiningu. Lekt hefur sömu mælieiningar og hraði, þ.e. m/sek eða cm/sek því hér er venjulega um mjög lítinn hraða að ræða. Lektin segir því til um með hvaða hraða vökvinn sígur um efnið. Lektin er að nokkru komin undir eiginleikum efnisins s.s. virkri groppu, en ekki síður eðli vökvans sem um er að ræða, seigju hans, hitastigi og þrýstingi. Lektin er tjáð með lektarstuðlinum k .

Rétt er að undirstrika hér, að ekkert beint samband er á milli groppu og lektar. Þótt ljóst sé að vísu, að efni með groppuna O getur ekki leitt neitt vatn þá er ekki þar með sagt, að efni með mikla groppu leiði vatn vel. Leirlög hafa t.d. mun meiri groppu en malarlög hins vegar leiða þau vatnið snögg um verr. Það stafar af því að glufurýmið milli leiragnanna er svo þröngt að viðloðunar- og sameindakraftar hafa veruleg áhrif á vatnsstreymið.

Oft er talað um raunlekt efnis (specific eða intrinsic permeability). Hún er tjáð með stuðlinum K . Raunlekt bergs er eingöngu háð berggerðinni en óháð vökvagerð og þrýstingi. Samband hennar við lektina k er:

$$k = Kg/v$$

$$K = \text{raunlekt (m}^2\text{)}$$

$$g = \text{þyngdarhröðunin (m/s}^2\text{)}$$

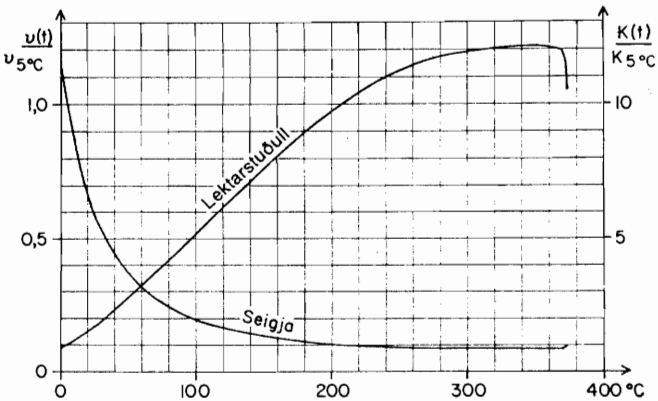
$$v = \text{seigja vökvans (m}^2\text{/s)}$$

Leiðnistuðullinn T (coefficient of transmissivity) er notaður sem mælieining á það vatnsmagn sem farið getur um lóðrétt jarðlagssnið á tímaeiningu við ákveðið þrýstifall.

Hann er í rauninni ekkert annað en lektarstuðullinn margfaldaður með þykkt jarðlagsins sem leiðnin (the transmissivity) er mæld í: $k \times p = T$. Leiðnistuðullinn T hefur því mælieininguna m^2/sek .

Nú er það því miður svo, að þrátt fyrir ágæti og einfaldleika þeirra hugtaka sem nú hafa verið kynnt þá hafa lektunarmenn ekki borið gæfu til þess að notfæra sér þau. Við borholulektun er lang algengast að notuð sé lektareiningin LU eða Lugeon unit, sem er undarlegur bastarður af metrakerfi og þumalfingursreglum. Þeim sem fræðast vilja um Lugeon unit er bent á kafla 5.1.

Lekt íslenskra bergtegunda er afar misjöfn eftir aldri þeirra og gerð. Meðallekt nútímahrauna hefur mönnum mælst á bilinu 0,001-0,1 m/sek og reyndar rúmlega það. Lekt grágrýtis má áætla á bilinu 10^{-8} - 10^{-5} m/sek. Leirfylling veldur oft mikilli þéttingu í grágrýti. Svo sundurleitar sem íslenskar móbergsmýndanir eru, verður lekt þeirra afar misjöfn frá einum stað til annars. Fínt ósprungið móbergstúff er eitthvert þéttasta berg landsins, en algengur fylgifiskur þess, bólstrabergið, er aftur á móti afar lekt. Lekt móbergsmýndana er líklega á bilinu 10^{-8} - 10^{-2} m/sek. Lægri gildið er fyrir móberg það herra fyrir bólstraberg.



MYND 1.3. Breytingar á lektarstuðlinum k og seigju vatns með hita (mynd Sv.Bj.).

Í grunnvatnsfræðum verður að gæta þess, að lekt og leiðni eru háðar seigju vatnsins auk raunlektar bergsins. Stuðlarnir k og T fara verulega hækkandi með hita því seigja vatnsins minnkar er það hitnar. Heitt vatn smýgur um hárfínar bergglufur þar sem kalt vatn streymir treglega vegna meiri seigju. Mest munar um hitun upp undir 100 °C. Við 200 °C er lektarstuðullinn tfu sinnum hærri en við 5 °C (mynd 13).

1.5 VEITIR (AQUIFER) - STEMMIR (AQUICLUDE)

Fjölmargar þýðingar eru til á orðunum aquifer og aquiclude en á OS hafa hin freysteinsku orð "veitir" og "stemmir" verið að ávinna sér þegnrétt og munu þau því notuð hér, þótt í ólánlegum beygingaflokkum séu. Í öðrum köflum þessa verks er orðið vatnsleiðari víða notað um aquifer.

Veitir er jarðmyndun sem inniheldur mikið grunnvatn og leiðir það vel. Orðið grunnvatnsgeymir (groundwater reservoir) er notað í svipaðri en þó víðtækari merkingu.

Stemmir er nafn á jarðmyndun sem leiðir grunnvatn illa eða ekki og verkar sem stífla, þak eða þröskuldur á grunnvatnsstraum. Gangar og misgengi geta verkað sem lóðréttir stemmar í jarðlagastafla. Þétt setlög s.s. jökulruðningur verka sem láréttir stemmar.

Aquifuge nefnist á vísindamáli jarðmyndun, sem hvorki leiðir né inniheldur vatn. Hugtakið er sjaldan notað.

Veitir og stemmir eru afstæð hugtök og ekki bundin neinum ákveðnum lektar eða leinistuðli. Veitar geta verið opnir, hálflokaðir eða lokaðir. Í opnum veiti er grunnvatnsborðið frjálst og þrýstingurinn í honum á hverjum stað í samræmi við dýpið undir grunnvatnsborði. Vatnborðið sveiflast eftir úrkomu og frennsli til grunnvatnsins. Veitar í lausum yfirborðslögum svo sem í mól og sandi eru jafnan opnir. Þegar borað er í slíkan veiti endurspeglar vatnsborðið í borholunni grunnvatnshæðina og þegar dælt er úr slíkri holu myndast niðurdráttarkeila í grunnvatnsborðið. Dýpt og vídd keilunnar er háð lekt jarðlaganna, vatnsmagninu sem dælt er burt og vídd og frágangi borholunnar.

Lokaður veitir er þannig að vatnsleiðandi jarðmyndanir eru þaktar þéttum jarðlögum. Við ákveðnar aðstæður getur grunnvatnið verið undir miklum þrýstingi í slíkum veiti, þannig að ef borað er niður úr hinum þéttu lögum gýs vatn

úr hólunni, (mynd 1.4). Slíkir veitar eru nefndir þrýstiveitar (artesian aquifers). Frægust dæmi um slíkar grunnvatnsaðstæður eru í Parísar og Lundúnarlögðunum. Þar streymir vatn frá hæðunum umhverfis lægðirnar í lekum kalklögum frá krítartíma, sem þakin eru ártererum leirlögum. Þrýstiveitar með köldu vatni eru fremur sjaldgæfir á Íslandi en þó alls ekki óþekktir. Í Kvíslaveitu er allmikill þrýstivatnsstraumur. Þar streymir vatnið fram á sprungubelti sem hulið er og lokað af lausum jarðlögum á yfirborði en þar sem það kenst til yfirborðsins, á lindasvæðum, bullar það upp undir all nokkrum þrýstingi. Það er hins vegar mjög algengt að jarðhitavatn sé undir tölverðum þrýstingi einkum er þetta áberandi á ýmsum lághitasvæðum en á háhitasvæðum yfirgnæfir suða og gufuþrýstingur oft þrýstivatnseinkennin. Þrýstingur í borholu Hitaveitu Hjaltadals að Reykjum er t.d. um 10 kg/cm² og var það fagur bogi sem upp úr henni stóð fyrir virkjun. Á sama hátt og lokaður veitir getur legið undir yfirþrýstingi getur ríkt undirþrýstingur í slíkum veiti. Í borun verður þessa vart í því, að vatnsborð í holu fellur skyndilega þegar borinn nær niður í veitinn.

Hállokaður veitir er millistig milli opins og lokaðs veitis. Lang oftast stafar hann af því, að lekt í jarðlögunum er tölvert önnur í lárétta en lóðrétta stefnu. Í ósprungnum lárétt lagskiptun jarðlagastafla er lektin jafnan meiri í lárétta stefnu en lóðrétta.

Forðastuðullinn S (the storage coefficient) segir til um hve mikið vatnsmagn ákveðinn veitir getur gefið af sér á rúmmálseiningu. Hann er mikið notaður til að meta afköst og gæði veitis. Í opnum veiti er þessi stuðull nánast jafn vatnsgæfninni (the specific yield). Í lokuðum veiti er forðastuðullinn háður tveimur fjaðurstuðlum fyrir þjöppun bergs og þjöppun vatns.

Lekt Íslenskra jarðmyndana virðist jafnaðarlega fara minnkandi með hækkandi aldri. Þetta virðist eiga jafnt við um gosberg, djúpberg og setberg. Það er einkum þrennt sem veldur.

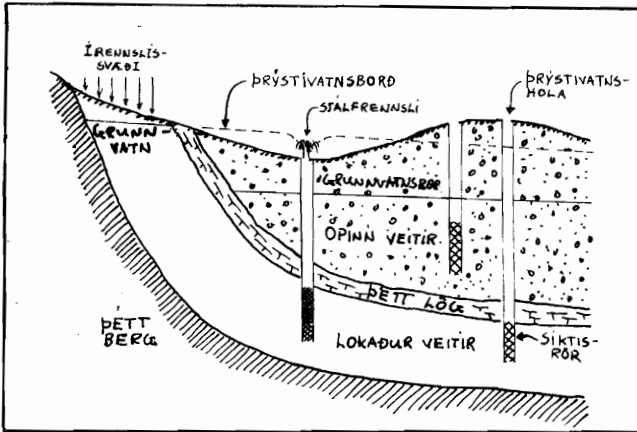
1. Holufylling og ummyndun.
2. Ferging og þjöppun.
3. Innskot.

Holufyllingin þéttir bergið á þann hátt, að hún þrengir eða fyllir blöðrur og glufur þess. Óvíst er hvernig heildargroppa bergsins breytist við holufyllinguna, etv. breytist hún sára lftið. Hins vegar er það nokkuð víst, að

hin virka groppa minnkar verulega, þ.e. hinar stærri holur og glufur þrængjast. Þannig getur lektin minnkað að mun þótt heildargroppan minnki óverulega eða ekkert. Mönnum hefur nokkuð lengi verið ljóst, að tertier jarðlög á yfirborði hérlendis hafa fyrr á tímum legið grafin undir mörghundruð eða þúsund metra þykkum jarðlagstafla. Þar hafa þau búið við þrúgandi hita og þrýsting. Að öllum líkindum hefur þetta þjappað þeim saman og gert þau þéttari en þau voru í upphafi. Mest hefur þjöppunin orðið á þeim lögum sem upphaflega voru lausust í sér og lekust, s.s. gjalllög og set. Þétting, holufylling og ummyndun eru samvirk fyrirbrigði, sem skilyrt eru af hita og þrýstingi. Samtímis því sem jarðlögin grófust í staflann voru þau gegnumskotin af berggöngum og innskotum. Innskotsberg þetta myndar oft þetta vegg og þröskulda í jarðlagastaflanum, og getur hindrað mjög allt grunnvatnsrennsli um hann.

Grunnvatnsstreymi virðist þó jafnan fylgja mest laganótum í hraunlagastafla. Þetta virðist eiga við, hvort heldur sem um er að ræða nútímahraun eða tertíeran stafla.

Í töflu 1.3 eru tiltekin þau jarðlög eða myndanir, sem algengast er að myndi veita og stemma á Íslandi.

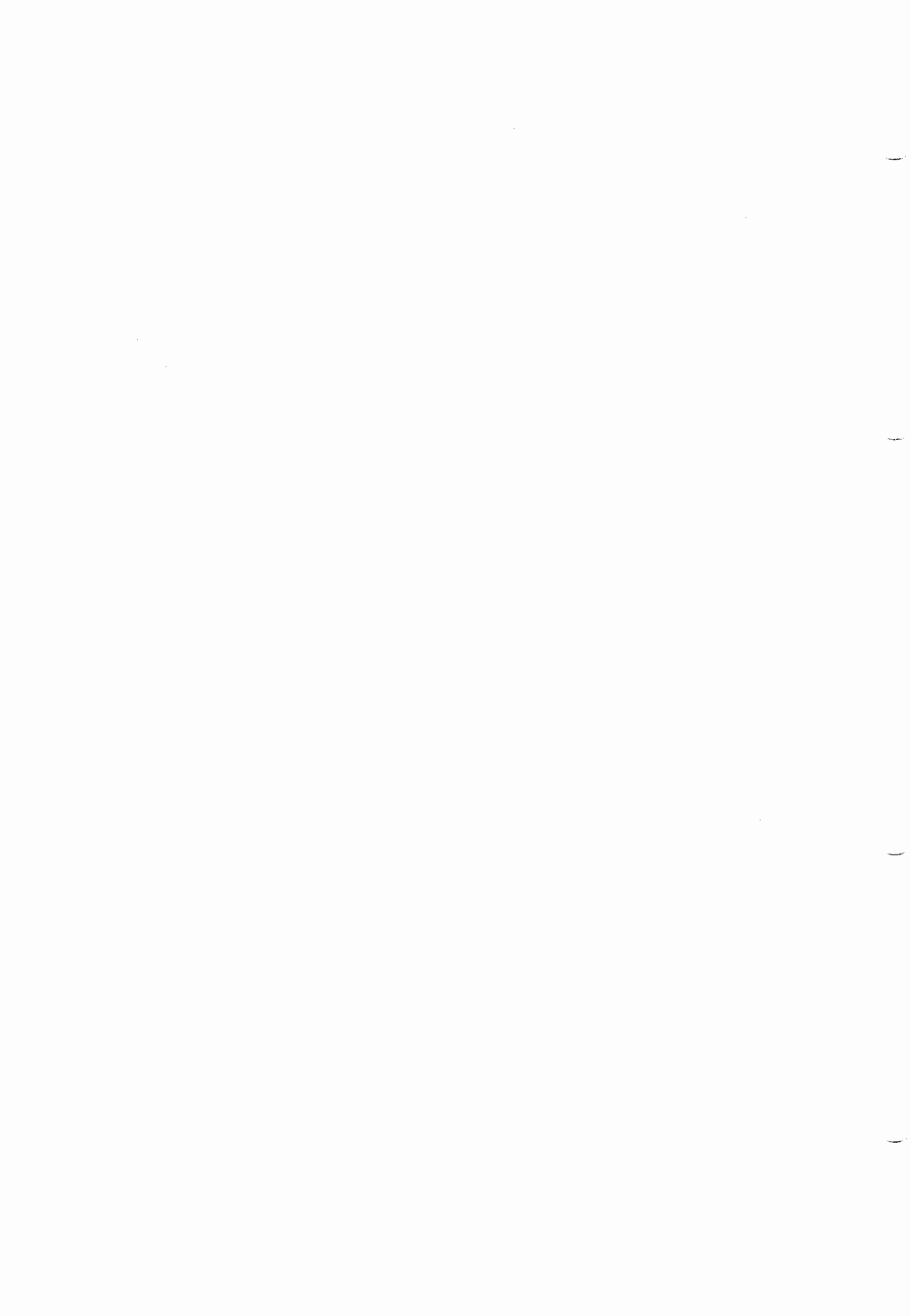


MYND 1.4 Opinn og lokaður veitir

TAFLA 1.3

VEITAR OG STEMMAR Í ÍSLENSKUM JARÐMYNDUNUM

JARÐMYNDUN	VEITIR	STEMMIR
Laus jarðlög	Áreyrar (malar og sandlög) Ásar Malarhjallar Berghlaup Skriður Aurkeilur	Ffinsendin og leirblandin lög. Jökulruðningur
Setberg	Sandsteinn Völuberg	Leirsteinn Jökulberg Gjóskuberg Flikrubergr
Gosberg	Nútfmabraun Bólstraberg Ferskur berggrunnur	Gangar Innskot Móberg Holufylltur berggrunnur
Höggun	Sprungusveimur	

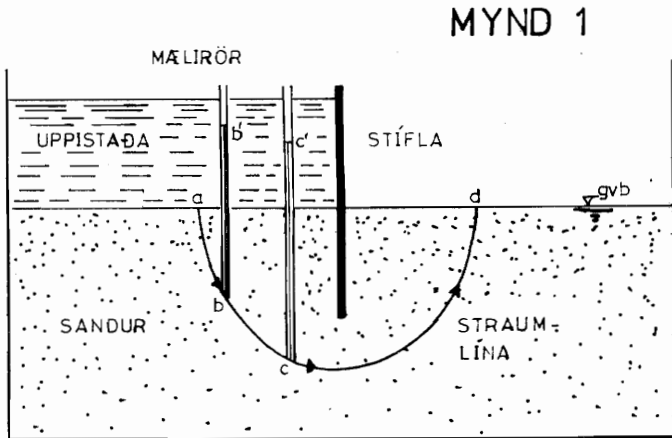


Davíð Egilson

2 LÖGMÁL DARCY'S OG RENNSLI VATNS.

2.1 LÖGMÁL DARCY'S

Mynd 2.1 sýnir sandkassa, þar sem vinstra megin er líkan af stíflu og uppistöðulóni. Stíflan gengur niður í sandinn og myndar þéttitjald. Sökum þess að sandurinn er lekur rennur vatnið undir þéttitjaldið og kemur upp á yfirborðið hægra megin á myndinni.

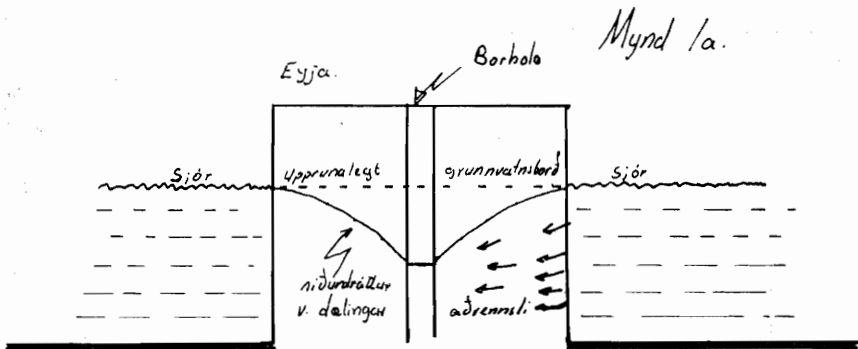


Hvað veldur því að vatnið rennur?

Hægt er að sjá hvernig vatnið rennur, ef hlið kassans er gerð úr glæru efni. Dropi af lituðum vökva er settur á botn lónsins við glerið. Leiðin sem liturinn berst, $abcd$ á myndinni nefnist straumlína. Hvað veldur rennslinu? Næstu kaflar veita vonandi svar við þeirri spurningu.

Stöðugt og óstöðugt ástand. Hreyfing grunnvatns kallast stöðug þegar einkenni hennar breytast ekki með tíma. Mun auðveldara er að reikna út ýmsa eiginleika, svo sem lekt, við stöðugt ástand en þegar taka þarf tillit til hvernig grunnvatnshæð og rennsli breytast með tíma.

Eins og gefur að skilja er tímamælingin mjög afstæð og er oft talað um stöðugt ástand ef grunnvatnshæð breytist ekki t.d. yfir daginn, eða jafnvel klukkustund. Þrátt fyrir að það virðist mótsagnakennt þarf yfirleitt óstöðugt ástand til að skapa stöðugt. Má hugsa sér sem dæmi um slíkt dælingu úr brunni sem staðsettur er á miðri eyju.



Þegar dæling hefst, fellur vatnsborðið niður og óstöðugt ástand skapast uns aðrennsli frá sjónum er það sama og dælingin upp úr brunnum. Niðurdrátturinn stöðvast þegar jafnvægi að- og úrrennsli er náð. Eftir það skiptir ekki máli hve lengi er dælt, niðurdrátturinn verður óbreyttur við sama rennsli og stöðugt ástand komið á.

Lektar og dæluþrófanir taka alla jafna það stuttan tíma að ekki hefur náðst fullkomlega stöðugt ástand. Á hinn bóginn er í úrvinnslu margra lektarþrófana gert ráð fyrir stöðugu ástandi. Setur þetta dálftið mark á nákvæmni lektarþrófana. Nánar verður fjallað um það síðar í þessu kveri.

Orkuhæð og halli. Til að vatn geti runnið frá einum stað til annars í gropnu efni verður að vera orkumunur milli þeirra. Orkulíking Bernoulli lýsir orkunni í hverjum punkti sem summu af staðarorku og hreyfiorku:

$$h = z + P/\gamma + v^2/2g$$

h =orkuhæð

z =landhæð

P/γ =þrýstihæð, P =þrýstingur, γ =eðlisþ.vatns

$v^2/2g$ =hraðahæð, v =hraði, g =þyngdarhröðun.

Síðasti liðurinn er hraðahæðin og gefur til kynna hreyfiorku vatnsins. Streymi vatns í gropnu efni er yfirleitt það lítið að þessi liður gildir þar nánast ekkert. Af því leiðir að líta má orkulíkinguna sem stöðuorku þar sem orkuhæðin er

$$h = z + P/\gamma$$

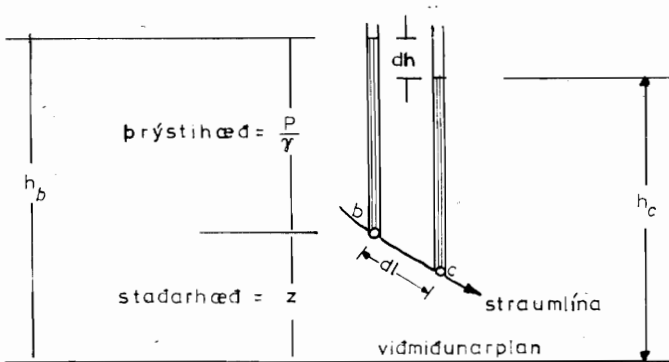
MYND 2

ORKUHÆÐ

$$h = z + P/\gamma$$

HALLI

$$i = dh/dl$$



ORKUHÆÐ OG HALLI - skýringarmynd

Staðarhæðin hefur ekki fastákveðið gildi. Hún er háð því hvar viðmiðunarplanið er valið. Þrýstivatnshæðin í sérhverjum punkti er hins vegar ákveðin stærð, þ.e. hvað rís hátt upp í opið rör sem sett er niður að þessum ákveðna punkti.

ATHUGIÐ Allt sem hér fer á eftir til loka kaflans á við um stöðugt ástand þ.e.a.s. orkuhæðin á hverjum stað breytist ekki með tíma.

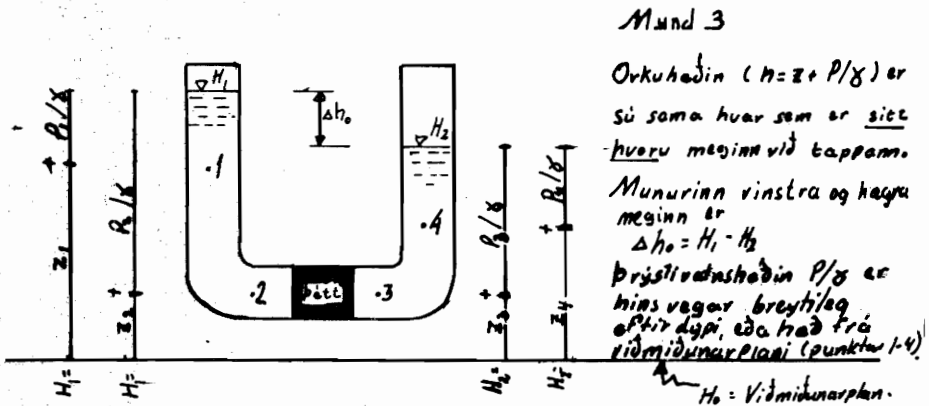
Rétt er að líta aftur á mynd 2.1. Sett er pípa sem nær niður í straumlínuna í punktum b og c á myndinni. Vatnsstaðan í b mælist b' og í c mælist hún c' . Vatnsstaðan í cc' rís mun hærra frá botni rörsins en í bb' . Þar af leiðandi er þrýstihæðin meiri í röri c en b. Vatnið streymir hins vegar frá b til c eða í átt til hærri þrýstihæðar. Stöðuhæðin er aftur á móti meiri í b en c. Orkuhæðin sem er summa stöðu- og þrýstihæðar er þess vegna ofar í b en c. Það er munur í orkuhæð sem veldur rennsli frá einum stað til annars.

Hallinn er breyting í orkuhæð á lengdareiningu. Það er hallinn sem knýr vatnið áfram.

$$i = - dh/dl$$

Mínusinn er notaður til að sýna að vatnið streymir í átt til lægri orkuhæðar. Tölugildi hallans í hverjum punkti er háð stefnu hans. Hins vegar verður hér á eftir einungis talað um hallann í straumstefnu.

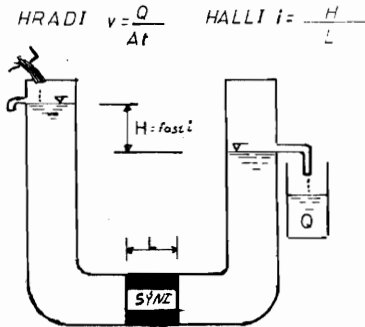
Mynd 2.3 er notuð til að skýra orkuhæð og halla. Vatnshæðin sitt hvoru megin við tappann er mismunandi, H_1 og H_2 . Sá mismunur breytist ekki meðan tappinn er þéttur.



ORKUHÆÐ OG HALLI

Straumhraði og rennsli. Mynd 2.4 sýnir tilraun þar sem jarðvegssýni er sett í stað tappans. Ætlunin er að mæla straumhraða vatnsins í gegnum jarðveginn.

Mynd 4.



A=Heildarþversnið sýnis
t=títmæling á Q

MÆLING Á VATNSHRADA Í GEGNUM SÝNI.

Vatnsmagnið Q sem rennur í gegnum jarðveginn á tímanum t er mælt. Þverskurðarflatarmál hans er A. Út frá þessum forsendum er auðvelt að reikna út hraðann.

$$v = Q / (A \times t)$$

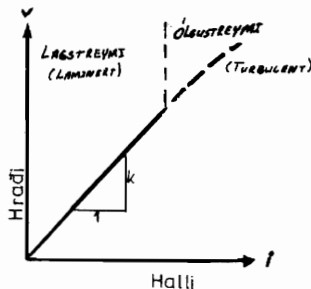
Í kafla 2 var hallinn skilgreindur.

$$i = dh/dl, \text{ sem samsvarar :}$$

$$i = H/L \text{ yfir alla vegalengdina.}$$

Mynd 2.5 sýnir hraðann í gegnum jarðveginn teiknaðan á móti mismunandi halla.

mynd 5



TENGLI HALLA OG VATNSHRADA

Af henni sést að lektin k er jöfn og hallatölu lfnunnar eða:

$$v = k \times i$$

Líking þessi kallast **LÖGMÁL DARCYS** og er grundvallarlíking í öllum grunnvatnsfræðum. Hún samsvarar Lögmáli Ohms í rafmagnsfræðunum. Önnur form á Lögmáli Darcys eru

$$q = A \times k \times i \text{ eða}$$

$$q = A \times k \times (H_2 - H_1) / L$$

Líkt og mynd 2.5 sýnir gildir líkingin þá og því aðeins að um svo lítinn straumhraða sé að ræða að hraðahæðin í Bernoulli líkingunni hér að framan spili enga rullu.

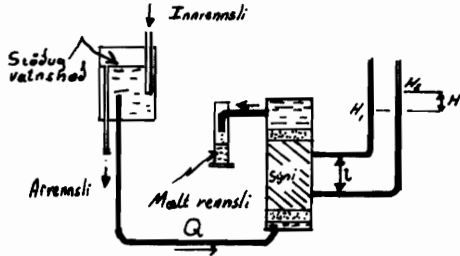
2.2 LEKTARMÆLING.

Auðvelt er að ákvarða lekt jarðvegs í rannsóknarstofu með lektarmæli. Prófunin fellst í því að láta vatn renna í gegnum jarðvegssýni og mæla þrýstifall (mismun í þrýstihæð) og straumhraða. Hægt er að reikna lektarstuðulinn út með því að nota lögmál Darcys líkt og kom fram í kaflanum hér á undan.

Tvær gerðir lektarmælinga eru algengastar: **Lektarmæling með stöðugri þrýstihæð** og **lektarmæling með fallandi þrýstihæð**. Fyrri mæliaðferðin er hentug fyrir grófan jarðveg s.s mól og sand, en hin síðari er notuð fyrir fínna efni. Þegar jarðvegur er mjög ffingerður verður þó að nota aðrar aðferðir við að mæla lektina. Líkt er langt fyrir utan efni þessa námsskeiðs og verður ekki farið út í það hér. Lektarprófanir í borholum byggja á svipuðum grunni og lektarmælingar í rannsóknarstofu. Það er ekki úr vegi að líta á mælingar í rannsóknarstofu fyrst þar sem þær eru einfaldari, áður en málin eru flækt úti í náttúrunni.

Lektarmæling með stöðugri þrýstihæð. Sýni er sett í sivalning sem hefur þverskurðarflatarmálið A . Vatn streymir undir stöðugum vatnsþrýstingi (mynd 2.6).

MYND 6.



STÖÐUG PRÝSTIÐÆÐ

Rennslið Q er mælt í mælikeri á einhverri þægilegri tímaeiningu t . Mismunur í þrýstihæð H á einhverri ákveðinni vegalengd l , er mældur. Samkvæmt lögmáli Darcys gildir:

$$Q/t = A \times k \times i = A \times k \times H/l$$

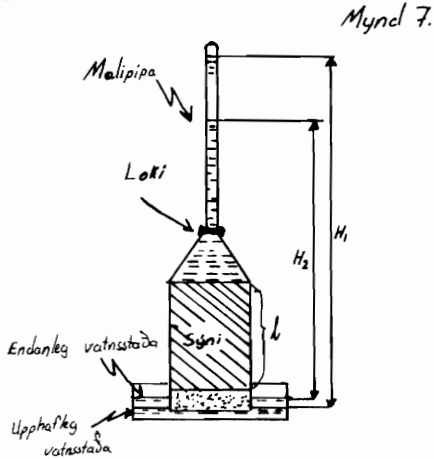
$$k = Q \times l / (t \times A \times H)$$

Áður en hægt er að hefja prófunina verður að lofttæma sýnið svo að loft í groppunum trufla ekki mælinguna.

Lektarmæling með fallandi þrýstihæð. Slík mæling er hentugri fyrir fínan sand og silt. Sýnið er sett undir lok með standpípu. Vatni er hellt í sýnið og fyllt að ákveðnu marki í mælípípunni. Þegar mæling hefst er lokinn opnaður og vatnið rennur um sýnið og niður í neðri skálina. Tíminn t sem tekur vatnið að falla þessa vegalengd er mældur.

Á mynd 2.7 eru eftirfarandi tákni:

- H₁ er upphafleg hæð í mælípípunni yfir því sem er í safnþrónni.
- H₂ er lokahæðin í mælípípunni
- H er hæð á einhverjum ákveðnum tíma í mælípípunni.
- A er þverskurðarflatarmál sýnis.
- a er þverskurðarflatarmál mælípípu.
- l er lengd sýnis.



FALLANDI ÞRÝSTIHÆÐ

Fyrir ákveðið tímabil dt fellur vatnið í pípunni um dH (það jafngildir $-dH$). Samkvæmt lögmáli Darcys hefur runnið um sýnið á tímaeiningu dt

$$A \times k \times H/l \ dt$$

Á sama tíma hefur runnið í mælípípunni:

$$-a \times dH$$

sama vatnsmagn rennur úr mælípípunni og í gegnum sýnið:

$$-a \times dH = A \times k \times H/l \ dt$$

p.a.l

$$dt = a/A \times l/k \times dH/H$$

Tegrun beggja vegna jafnaðarmerkisins gefur:

$$t = -a/A \times l/k \times \ln (H_2/H_1)$$

liðurinn $a/A \times l \times \ln (H_1/H_2)$ er fasti háður hverju einstöku tæki. Þ.al.

$$t = l/k \times \text{fasti}$$

DÆMI ÚR KAFLANUM.

Dæmi 1. Lektarmæling með fallandi þrýstihæð var gerð á sýni úr einskorna sandi. upphafleg hæð var 900 mm, og lokahæð 400 mm. Tíminn sem tók vatnið að falla var 60 s. Þverskurðarflatarmál mælipípunnar er 100 mm². Sýnið var 40 mm í þvermál og 180 mm að lengd. Ákvarðið lektarstuðulinn k.

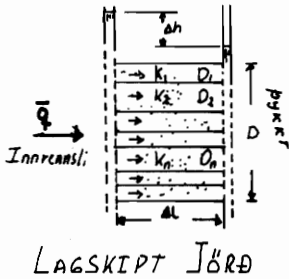
Dæmi 2. Lektarmæling með stöðugri þrýstihæð var gerð á sandsýni. 260 ml af vatni var safnað á 2 mín. Sýnið var 40 mm í þvermál og 100 mm á lengd. Hæðarmunur var 200 mm. Finnið út lektarstuðulinn k.

2.3 STREYMI Í LAGSKIPTRI JÖRD.

Jarðvegur eða berg er sjaldnast án lagskiptingar. Lagskipting hefur hins vegar veruleg áhrif á lekt laganna. Það skiptir verulegu máli hvort vatnið rennur eftir lögnum, eða þvert á þau. Myndir 8 og 9 sýna þversnið af láréttum lögum með mismunandi lekt. Hvert lag er eingert (isotrop). Spurningin er hversu mikil er meðallektin í lárétta og lóðrétta stefnu í slíku jarðlagasniði.

Mynd 8.

LÁRÉTT STREYMI.



1. ÞRÝSTIFALLIÐ YFIR ALLT ÞVERSNIÐIÐ Δh ER ÞAÐ SAMI OG ÞRÝSTIFALLIÐ Í HVERJU EINSTÖKU LAGI. HALLINN $i = \frac{\Delta h}{L}$ ER ÞVI ALLSTAÐAR SÁ SAMI Þ.Ö.Ö.Á.
 $i_n = i$
2. HEILODRENNSLIÐ \bar{q} ER JAFNT OG SUMMA RENNISLIS Í GEGNUM EINSTÖK
LÖG: $\bar{q} = \sum_{n=1}^N q_n$
3. LEKT HVERS EINSTAKS LAGS k_n ER EINS LÁRÉTT OG LÖDRÉTT. HEILOARLEKTIN Í LÁRÉTTA STEFNU ER:
$$\bar{k} = \frac{\sum_{n=1}^N k_n D_n}{D}$$

Lárétt lekt. Vatn sem streymir eftir lárétt liggjandi lögum í einu og sama sniðinu, líkt og mynd 2.8 sýnir, hefur sameiginlega upphafshæð og sameiginlega lokaorkuhæð. Af því leiðir að þrýstifallið yfir allt þversniðið er það sama og yfir einstök lög í sniðinu; $i = h/L$ Lögmál Darcys gefur almennt:

$$q = A \times k \times i \quad [1]$$

$$A = \text{hæð}(D) \times \text{breidd}(l)$$

Samkvæmt lögmáli Darcys gildir að rennsli um 1 m í lárétta stefnu í gegnum sniðið allt er:

$$\bar{q} = \bar{k} \times \bar{I} \times D \times 1 \quad [2]$$

\bar{q} = heildarrennsli í lárétta stefnu

\bar{k} = lektarstudull fyrir sniðið allt í lárétta stefnu.

\bar{I} = þrýstifall í lárétta stefnu

Samkvæmt lögmáli Darcys gildir enn fremur:

$$\bar{q}_n = k_n \times i \times D \times 1 \quad [3]$$

q_n = lárétt rennsli í hverju einstöku lagi

k_n = lektarstudull fyrir hvert einstakt lag, k_n er eins fyrir lárétt og lóðrétt rennsli

Heildarrennslið lárétt í gegnum þversniðið er jafnt og summa rennslis í gegnum einstök lög.

$$q = \sum_{n=1}^N \bar{q}_n \quad [4]$$

Summu rennslis í gegnum einstök lög má einnig lýsa með lögmáli Darcys.

$$\sum_{n=1}^N \bar{q}_n = \sum_{n=1}^N k_n \times \bar{I}_n \times D_n \times 1 \quad [5]$$

Sýnt var í upphafi fram á að halli grunnvatns sé sá sami yfir þversniðið allt og í hverju einstöku lagi $i = i_n$. Þess vegna má taka hann útfyrir summumerkið:

$$\sum_{n=1}^N \bar{q}_n = \bar{I} \times \sum_{n=1}^N k_n \times D_n \times 1 \quad [6]$$

Líking 4 sýnir að leysa má líkingu 2 og 6 saman

$$\bar{k} \times i \times D = \sum_{n=1}^N k_n \times D_n \times i$$

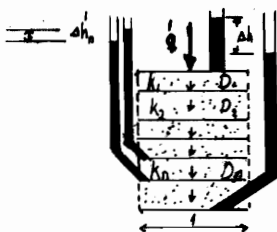
eða

$$\bar{k} = \frac{\sum_{n=1}^N k_n \times D_n}{D} \quad [7]$$

Líkingin lýsir meðallekt fyrir rennsli eftir lárétt liggjandi lögum.

MYND 9.

LÓDRÉTT STREYMI.



1. RENNSLI Í HVERÐU EINSTÖKU LAGI ER ÞAD SAMA OG Í SNIÐINU ÖLLU.
 $q = q_n$
2. SUMMAN AF MISMUN Í ORKUMIÐ Í HVERÐU LAGI ER SÚ SAMA OG HEILOARMISMUNUBINN.
 $\Delta h = \sum \Delta h_n$

3. LEKT HVERS EINSTAKS LAGS k_n ER EINS LÁRÉTT OG LÓDRÉTT.
HEILDARLEKTIN Í LÓDRÉTTA STREYMI:

$$k = \frac{D}{\sum_{n=1}^N \frac{D_n}{k_n}}$$

Lódrétt lekt. Gert er ráð fyrir að engar rúmmálsbreytingar verði vegna vatnsupptöku í jarðlögnum. Þá verður að vera samfellt rennsli vatns í gegnum jarðlagasniðið, sem þýðir að það hlýtur að vera sama rennsli í hverju einstöku lagi og

í þversniðinu öllu á mynd 2.9.

$$q = q_n \quad [1]$$

Lögmál Darcys fyrir rennsli í gegnum eitt einstakt lag sem er einn fermeter að flatarmáli:

$$q_n = k_n \times \frac{\Delta h_n}{D_n} \times 1 \times 1 \quad [2]$$

q_n = lóðrétt rennsli í gegnum einstök lög

Δh = mismunur í orkuhæð yfir hvert einstakt lag

Munur á orkuhæð í hverju einstöku lagi er fundinn með því að umræða líkingu 2.

$$\Delta h_n = q_n \frac{D_n}{k_n} \quad [3]$$

heildarmismunurinn er:

$$\Delta h = q \frac{D}{k} \quad [3a]$$

Summan af mismun í orkuhæð í hverju lagi er sú sama og heildarmismunurinn:

$$\Delta h = \sum_{n=1}^N \Delta h_n \quad [4]$$

Summu af mismun í orkuhæð má einnig rita eftir lögmáli Darcys.

$$\sum_{n=1}^N \Delta h'_n = \sum_{n=1}^N \frac{q'_n \times D_n}{k_n} \quad [5]$$

Sýnt var fram á það í upphafi kaflans að rennslið væri það sama í hverju einstöku lagi og yfir þversniðið allt: $q_n = q$ Þess vegna má taka q , út fyrir summumerkið.

$$\sum_{n=1}^N \Delta h = q \times \sum_{n=1}^N \frac{D_n}{k_n} \quad [6]$$

Líking 4 sýnir að leysa má líkingu 3a og 6 saman

$$\frac{D}{k} = \sum_{n=1}^N \frac{D_n}{k_n}$$

eða:

$$k' = \frac{D}{\sum_{n=1}^N \frac{D_n}{k_n}} \quad [7]$$

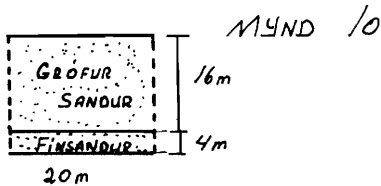
Þetta er líkingin fyrir lóðrétta lekt.

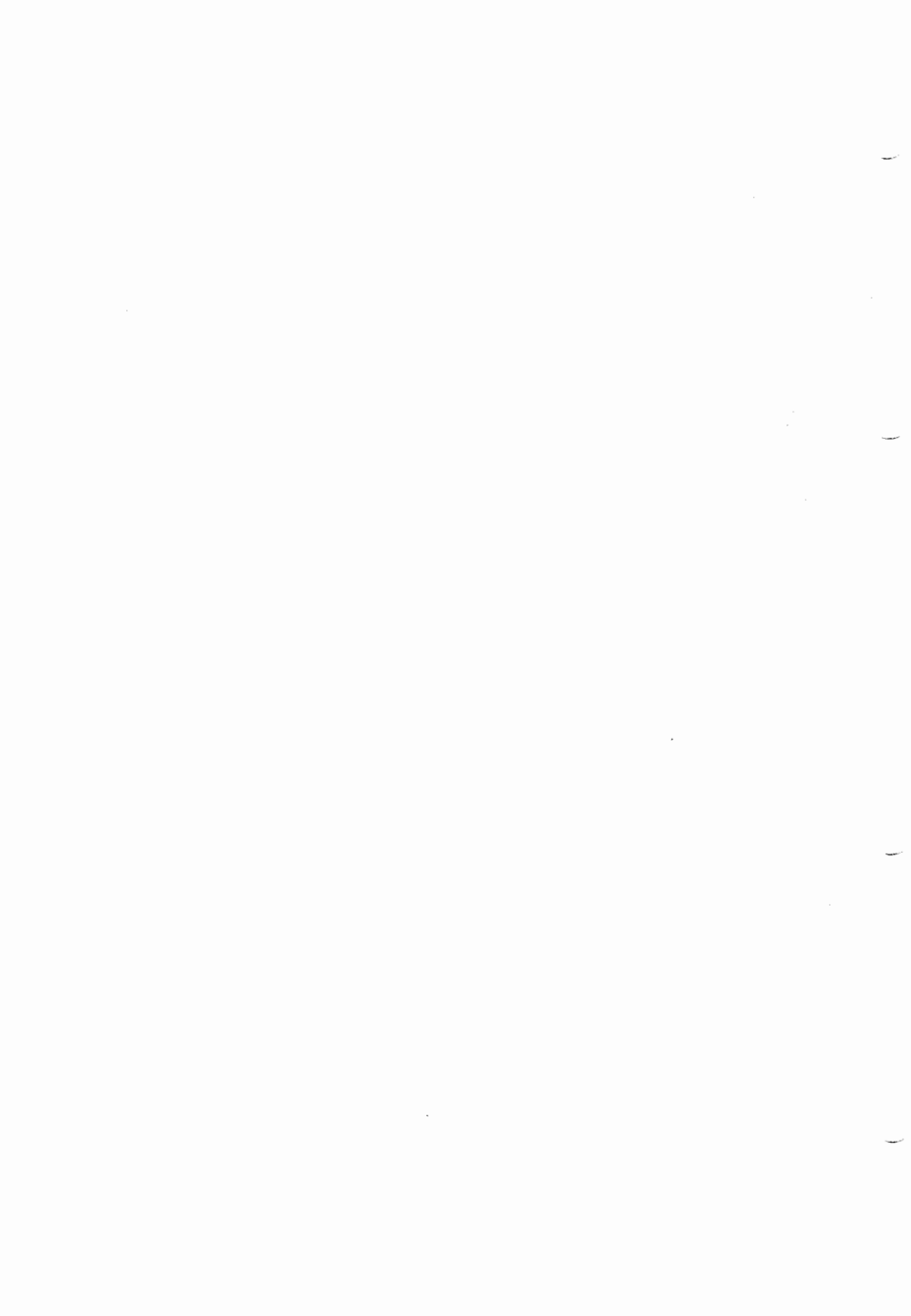
Samantekt. Ofangreindir kaflar sýna að lárétta lektin ræðst mest af jarðlögum sem hafa mikla lekt en lóðrétta lektin ræðst mest af lögum sem hafa litla lekt. **Lárétta lektin er því alla jafna meiri en sú lóðrétta.** Líkingar fyrir lárétta og lóðrétta lekt gefa til kynna að lagskipting hefur veruleg áhrif á heildarlekt jarðlagastafans. Þess vegna þarf oft að

leggja svo mikla vinnu í að kanna lekt hverrar jarðfræðilegrar einingar.

DÆMI ÚR KAFLANUM.

Dæmi 1. Mynd 2.10 sýnir lagskipt jarðvegssnið sem gert er úr sandlögum af mismunandi grófleika. Grófi sandurinn er 16 m á þykkt og hefur lektina $k_a = 2 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Finsandurinn er 4 m á þykkt, en hefur lektina $k_b = 10^{-4}$ cm/s. Ákvarðið lárétta og lóðrétta lekt. Berið saman hlutfallið lárétt lekt/lóðrétt lekt annars vegar og k_a/k_b hins vegar. Dæmi 2. Reiknið út lárétta og lóðrétta lekt yfir sniðið, ef yfir finsandinum er berg 3 m á þykkt og með lektarstuðulinn $k_c = 10^{-6}$ cm/s.





3.1 STRAUMFRÆÐI (HYDRAULICS)

Straumfræðin ("Fluid Mechanics" eða "Hydraulics") er ein grein eðlisfræðinnar sem hefur verið útfærð til nota við lausn tæknilegra viðfangsefna. Hún fjallar um streymi vökva og lofttegunda. Hún lýsir einnig hegðun þeirra í kyrrstöðu.

Í straumfræðinni eru notuð ýmiss grundvallarlögmál eðlisfræðinnar m.a. lögmálin um varðveislu massans, orkunnar, skriðþungans og fyrsta og annað lögmál varmafræðinnar, til að lýsa hegðun vökva og spá fyrir um hegðun þeirra. Aðalega eru notaðar þrjár jöfnur við lausn straumfræðilegra vandamála:

Samfellujafnan (varðveisla massans).

Orkujafnan eða Bernoulli jafnan, þ.e. summa vinnu ytri og innri krafta er jöfn breytingu í hreyfiorku, (varðveisla orkunnar)

Skriðþungajafnan, 2. lögmál Newtons, (varðveisla skriðþungans).

Flest straumfræðivandamál eru leyst með því að nota samfellujöfnuna og annað hvort orkujöfnuna eða skriðþungajöfnuna.

Hér verður ekki gerð tilraun til að kynna vinnubrögð við lausn straumfræðiverkefni. Óþarft ætti að vera að kynna samfellujöfnuna, hún segir nánast að vatn sem rennur inn í annan endann á röri kemur út um hinn endann eða fer í geymslu í rörinu (í að fylla rörüð). Þar sem hægt er að lýsa rennsli vökva á einfaldan og myndrænan hátt með orkujöfnuninni verður gerð tilraun til þess hér. Orkujafnan er oft notuð þannig að hver liður í henni hefur eininguna meter, þá er oft talað um orkuhæð, á því formi er jafnan einföld og myndræn:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H \quad (3.1)$$

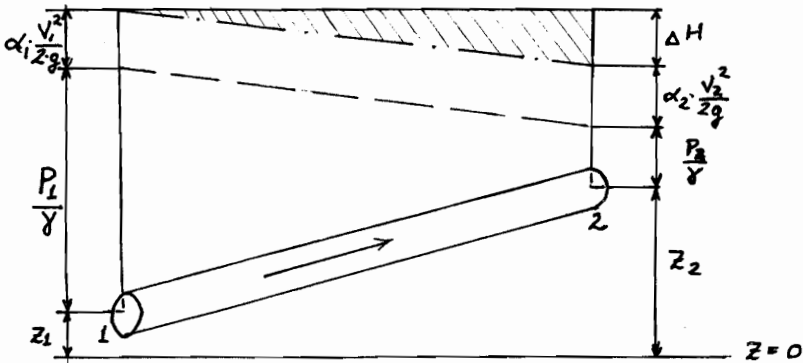
z_1 er staðarhæðin í sniði 1.

P_1 er þrýstingurinn í sniði 1.

γ er eðlisþungi vökvans

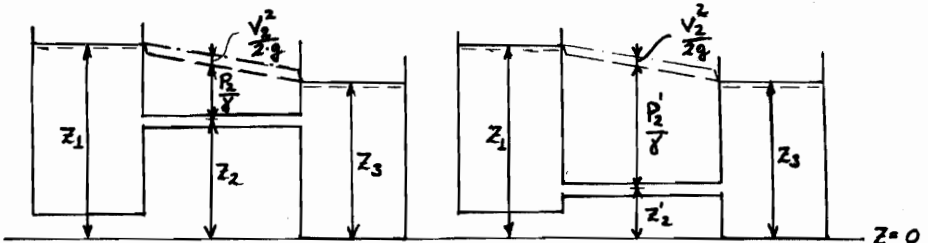
- P_1/γ er þrýstihæð í sniði 1.
- v_1 er hraðinn í sniði 1.
- α er hraðadreifingarstuðull venjulega nálægt 1,1
- g er þyngdarhröðunin
- $v_1^2/2g$ er hraðahæðin í sniði 1.
- ΔH er orkutapið.

Á mynd 3.1 eru sýndir einstaki liðir í orkujöfnunni fyrir rennsli í röri.



MYND 3.1

Orkutapið H í jöfnu 3.1 hlýtur að vera óháð hæðinni sem rörið eða kerfið er í, þ.e.hvort leiðslan sé við ströndina eða á Fljótsdalsheiðinni, m.ö.o. það er óháð z . Sama hlýtur að gilda um þrýstinginn, t.d. er rennslið milli tveggja tanka hið sama hvort sem rörið sem tengir þá er ofarlega eða neðarlega, sjá mynd 3.2. Einungis hæðarmunurinn á vatnsborði tankanna skiptir máli.



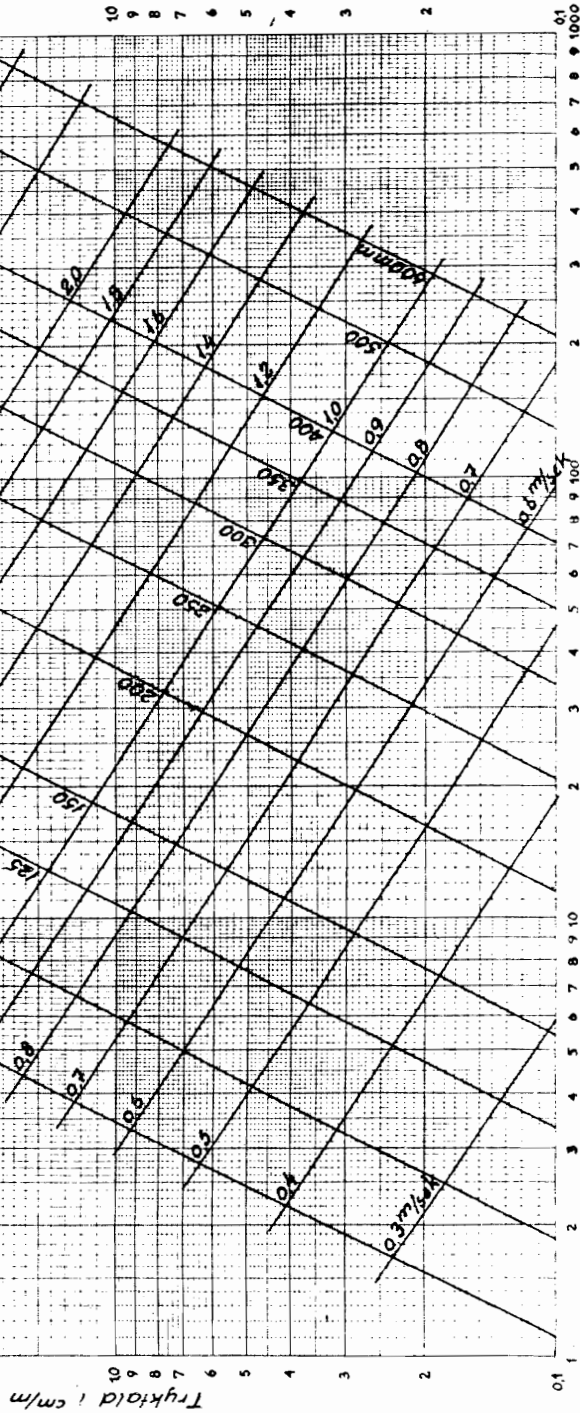
MYND 3.2

Diagram for beregning af støberjærnsværdledninger.

Colebrook's formel.

($k = 1.0 \text{ mm}$)

De anførte diametre er nominelle diametre svarende til centrifugalstøbte muffe-rør klasse LA





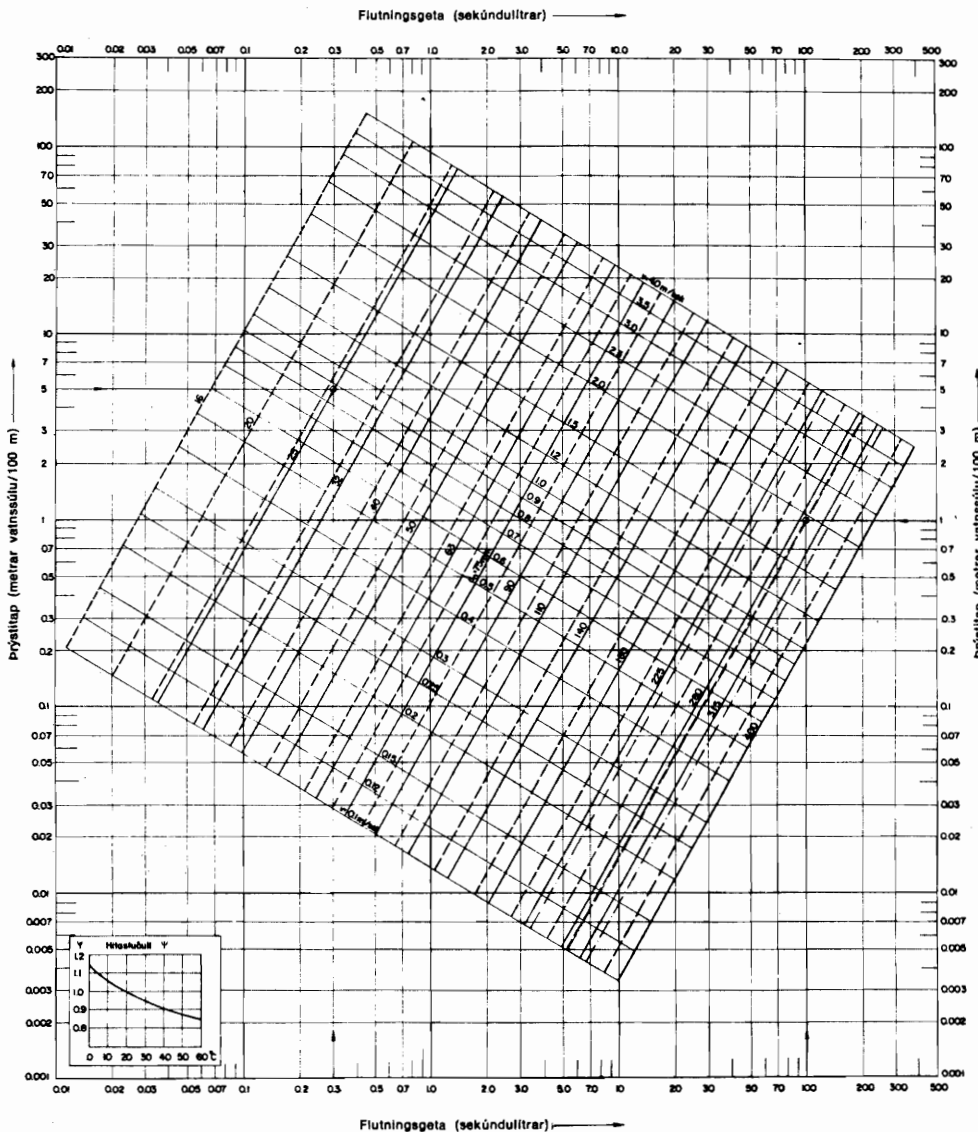
VATNSRÖR - PEH

DIN 8074
Prýstítapslínurit

EFNI
High density polyethylen

E.2

Mosfellssveit, Sími 66200.



Línurit þetta sýnir þrýstítap eða nauðsynlegan hæðarmismun fyrir þeim ósamsett POLYETHYLEN rör við 20 °C. Þrýstítapið er gefið í metrum af vatnsáflu fyrir hverja 100 lengdarmetra. Við annan hita en 20°C er nauðsynlegt að margfalda með hitastuðli þeim, sem gefin er upp í horni línuritsins.

d_n = nafnamál rörs = ytra þvermál í mm.

- 10 kp/cm² þrýstistaðall
- 6 kp/cm² þrýstistaðall
- 4 kp/cm² þrýstistaðall

Sé hæðarmismunur 5 metrar á hverja 100 lengdarmetra og nauðsynlegt rennmál 0,3 sekúndulltrar, sést á línuritinu að nauðsynlegt nafnamál rörs er $d_n = 25$ mm samkvæmt 6 kp/cm² þrýstistaðall og hraðinn v er 0,87 m/s. Sé rennmál í rör 100 sekúndulltrar og nafnamál rörs $d_n = 315$ mm (10 kp/cm² þrýstistaðall), sést á línuritinu að þrýstítapið verður 1 m vatnsáflu fyrir hverja 100 lengdarmetra, og hraðinn v er 1,92 m/s.

Með tiliti til þess að orkutapið H er óáð staðarhæðinni og þrýstingnum er eðlilegt að álykta að orkutapið sé á forminu:

$$\Delta H = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3.2)$$

ζ (zete) er kölluð mótstöðutala og er einingarlaus. Mótstöðutalan er ekki fasti heldur háð ýmsum þáttum s.s. gerð rörsins, seigja vökvans o.fl.

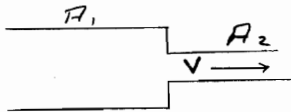
Orkutapinu er oft skipt í viðnám í röri og skynditöp, s.s. við innrennsli úr tanki í rör, tap í rennslímæli, lokum, beygjum, o.fl.

Hallatala orkulínunnar " i " er oft nefnd þrýstifall á lengdareiningu ("gradient"). Þrýstifall í rörum er yfirleitt reiknað með því að styðjast við línurit eða "nómógröm", sjá myndir 3.3 og 3.4. T.d. flytur 100 mm pípa úr potti ("stöbejern") 10 l/sek, við 27,5 m þrýstifall á km, en 14 l/sek við sama þrýstifall ef hún er úr plasti. Auk línuritanna er oft stuðst við Darcy-Weisbach jöfnu:

$$i = \frac{f}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3.3)$$

Þar sem f er viðnámsstuðull, sem er fasti fyrir hverja gerð röra eftir að icustremi er náð og D er þvermál rörsins. Viðnámsstuðullinn er reiknaður eftir reynslujöfnum eða lesinn af línuritum.

Skynditöpin eru magvísleg þau eru yfirleitt á forminu: $\Delta H = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$, eins og áður kom fram. Hér verða gefin nokkur dæmi um mótstöðutöluna ζ :



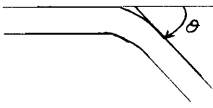
$$\zeta \approx 0,5 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \text{ ef } \frac{A_2}{A_1} < 0,8$$

Brott



$$\zeta \approx 1,1 \cdot \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right)^2$$

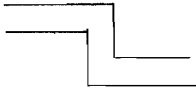
Beygja



$$\left. \begin{array}{l} \text{Höjuf rör: } \zeta \approx 0.2 \cdot \sin \theta \\ \text{Slétt rör: } \zeta \approx 0.1 \cdot \sin \theta \end{array} \right\} \text{ef } \frac{r}{d} > 0.4$$

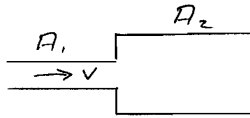
$$\left. \begin{array}{l} \text{Höjuf rör: } \zeta \approx 0.5 \cdot \sin \theta \\ \zeta \approx 0.2 \cdot \sin \theta \end{array} \right\} \text{ef } \frac{r}{d} = 1$$

Hæðarbreyting-brot



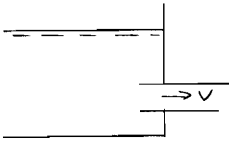
$$\zeta = 3.0$$

Slækkun

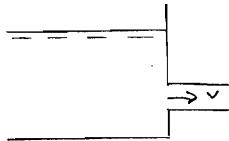


$$\zeta \approx 1.1 \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

Innrennslistap

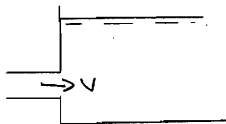


$$\zeta = 1.0$$



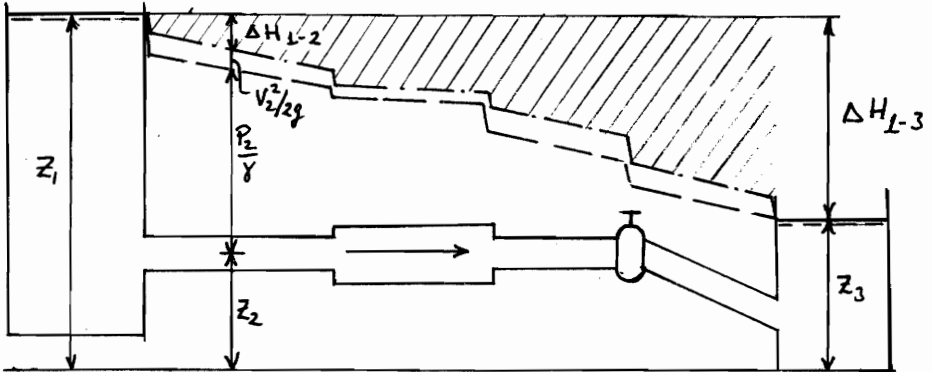
$$\zeta = 0.5$$

Útrennslistap



$$\zeta \approx 1.1$$

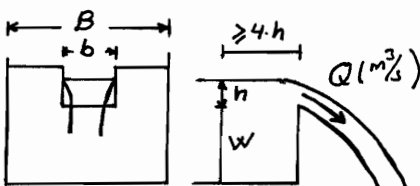
Á mynd 3.5 er dæmi um orkutap við rennsli milli tveggja tanka. Leiðslan sem tengir tankana er með stækkun, minnkun, loka, að sjálfsögðu eru inn- og útrennslistöp í kerfinu auk þrýstifalls í pípum.



MYND 3.5

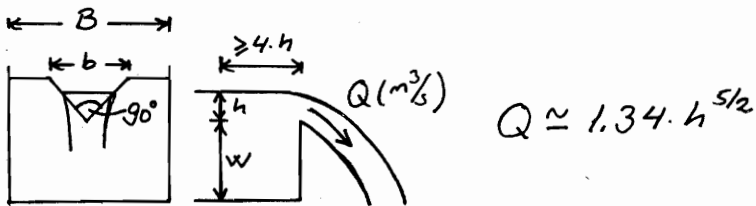
Margvíslegar aðferðir eru til að mæla rennsli. Fyrst skal telja rennslismælinn. Hann byggir á að þegar vökvinn rennur í gegn um mælinn veldur hann hreyfingu á hjóli, stimpli o.s.frv. Rennslismælar eru mjög meðfærilegir það þarf þó að sýna vissa aðgæslu við notkun þeirra einkum ef ekki er verið að dæla hreinum vökva. Ef t.d. leir safnast á vegg mælisins eða á hjólin minnkar þversniðsflatarmál þeirra, hraði vökvans verður meiri og þeir sýna meira rennsli en raunverlega er. Sitt hvoru megin við mælinn þarf að vera pípa með sama þvermál og mælirinn. Lengd pípanna þarf að vera a.m.k. 10-12 sinnum þvermál mælisins (og pípanna). Tryggja verður að vatn renni um allt þversnið mælisins, þ.e. að hann sé ekki hálf fullur. Þetta má t.d. gera með því að hafa mælinn neðan við útrennslið úr pípunni.

Rennsli er oft mælt í svo kölluðum mælikerjum. Hér verða sýnd tvö dæmi um ker:

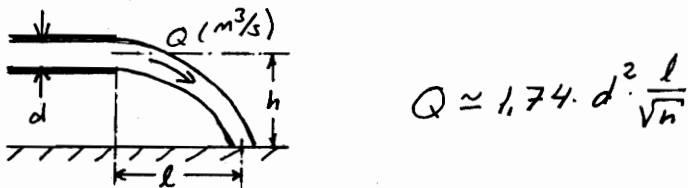


$$Q = C \cdot (b - 0,2 \cdot h) \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

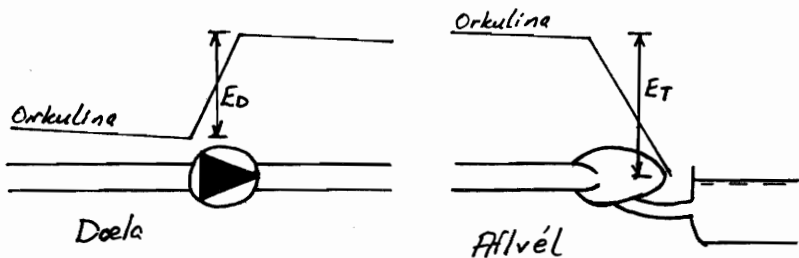
$$C = 0,40 + 0,053 \cdot \frac{h}{w}$$



Þó rennslímælirinn bili eða karið springi má ekki deyja ráðalaus á hálandinu. Oft má nota fötu eða tunnu ef rennslíð er lítið, t.d. minna en 5 l/s. Ennfremur má mæla bununa, t.d.:



Straumvélar þ.e. dælur og aflvélar ("túrbinur") valda stökki í orkulínunni, sjá mynd 3.6.



Mynd 3.6. Orkulínan og straumvélar.

Dælan er notuð til að vega upp á móti núningstöðu í pípum, skynditöpum og einnig til að auka staðarhæð. Þún hækkar orkulínuna með því að nota raf- eða efnaorku. Til þess að hækka orkulínuna um E_D notar dælan aflíð:

$$P_D = \frac{\gamma \cdot Q \cdot E_D}{\eta}$$

þar sem γ er eðliþungi vatns

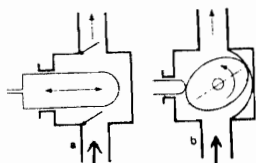
Q er rennslið

og η er nýtni dælnnar gjarnan um 0,6 til 0,7.

Með þessum formúlum má áætla hversu stóra rafstöð þarf fyrir dæluna.

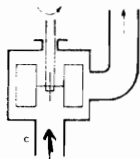
Margvíslegar dælur eru á markaðnum algengastar eru þó stimpil- og miðflóttaaflds dælur ("centrifugal"). Hér verður reynt að skýra í örstuttu máli á myndrænan hátt hvernig þessar dælur vinna.

Stimpildælan byggir á að stimpill gengur annað hvort fram og til baka eða snýst og skapar til skiptis undir- og yfirþrýsting, sjá mynd 3.7.



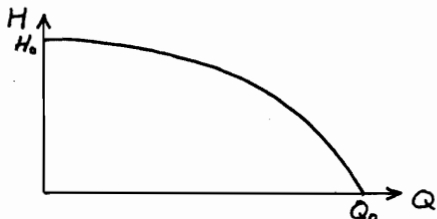
MYND 3.7. Einfölduð skýringarmynd af stimpildælu.

Miðflóttaafldsælan byggir á spaða sem snýst mjög hratt í hringlaga dæluhúsi vegna miðflóttaafldsins þrýstist vatnið í dæluhúsinu að veggjum þess. Vatnið er leitt frá dælunni með úttaki við vegginn þar sem hraðinn er mikill, þ.e. hraðahæðir stór. Hraðahæðinni er breytt í þrýsting við það að þvermál rörsins frá dælunni er stækkað. Vatnið sogast inn í dæluna fyrir miðju dæluhússins. Sjá mynd 3.8.



MYND 3.8. Einfölduð skýringarmynd af miðflóttaafldsælu.

Dælar hafa kennilínur þ.e. fyrir hverja dælu eru gerð línurit sem sýna samband rennslis(Q) og þrýstings(H), OH-línurit, sjá mynd 3.9. Um val á dælum, sjá Pumpestábi.



Mynd 3.9. Kennilína miðflótttaflsdælu.

Hægt er að tengja dælar saman á tvennan hátt, með raðtengingu þá er fyrst og fremst verið að auka þrýsting, eða með samsíðatengingu fyrst og fremst til að auka rennsli.

Aflvélar ("túrbínur") eru notaðar til að framleiða raforku með því að lækka orkulínuna, sjá mynd 3.6. Aflið sem er umbreytt ("framleitt") við að lækka orkulínuna um E_T má reikna skv.:

$$P_T = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot E_T$$

þar sem η er nýtnin ca. 0,9.

γ er eðlþungi vatns

Q er rennslið

E_T er fallhæðin í virkjuninni.

Þrjár gerðir aflvéla eru notaðar:

Pelton, vinnur best við mikla fallhæð en tiltölulega lítið rennsli.

Dæmi: Hjólká, Fljótsdalvirkjun.

Fransís, notuð við meðalrennsli og meðalfallhæð

Dæmi: Búrfell, Sigalda, Hrauneyjarsfoss, Blanda.

Kaplan, notuð við mikið rennsli en litla fallhæð

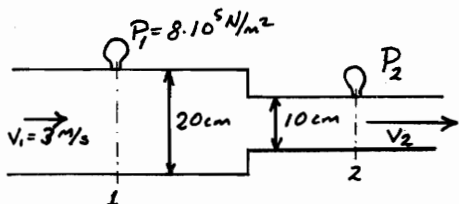
Dæmi: Steingrímsstöð.

Hér verður ekki farið nánar út í lýsingu á aflvélum.

Verkefni

1. Á myndinni hér að neðan er sýnd pípa sem er minnkuð úr 20 cm í 10 cm. Hraðinn í sniði 1 er 3 m/sek og þrýstingurinn er $8,0 \times 10^5$ N/m² (≈ 8 kp/cm²), Reiknið

hraðann og þrýstinginn í sniði 2 ef ekki er gert ráð fyrir orkutapi í pípunum og minnkuninni:



2. Reiknið þrýstifallið (í einingunni m) í 500 m langri 2 1/2" plastpípu ef rennslið er 5 l/sek.
3. Reiknið hversu mikla þrýstihæð dæla þarf að gefa ef flytja á 3 l/s 300 m í 1 1/2" plastpípu og auka staðarhæð um 70 m.
4. Reiknið hversu stóra rafstöð þarf ef dæla á 50 l/s upp úr borholu sem er með vatnsborð á 50 m dýpi. Sleppið þrýstifalli í dæluröri. Reiknið með að nýtni dælunnar sé 0,65.
5. Reiknið aflíð í virkun miðað við 100 m fallhæð, 100 m³/s rennsli og að nýtnistuðullinn sé 0,9.

3.2 UNDIRBÚNINGUR PRÓFANA

Í þessum kafla verður gerð grein fyrir helstu atriðum sem hafa þarf í huga við undirbúning prófananna í mörkinni til að meta lekt. Undirbúningsþátturinn er mjög mikilvægur. Góður undirbúningur getur í mörgum tilvikum flýtt vinnunni í mörkinni, en þar kostar hver dagur (uppihald og bíll) um 15% af mánaðarlaunum (dagvinnulaun). Jafnframt er hámarksárangur af prófununum tryggður. Í kafla 4 verður gerð grein fyrir tilgangi prófananna. Umfang undirbúnings sem og prófana ræðst af mörgum þáttum, af þeim skipta tilgangur og fjárveiting til þeirra mestu máli. Mat á lekt byggir á mælingum á rennsli og breytingu í vatnshæð með tíma við dælingu í ákveðnum punktum (yfirleitt borholum). Það er því ljóst að einungis getur orðið um misjafnlega nákvæmt mat á lekt að ræða.

Úrvinnsla gagna. Við undirbúning þarf að safna gögnum um jarð- og vatnafræðilegar aðstæður. Í flestum tilvikum eru til jarðfræðikort af svæðinu sem ætlunin er að prófa. Oft hafa einnig verið boraðar holur á svæðinu eða í næsta nágreppi þess. Þessi gögn þarf að túlka með sérstöku tilliti til fyrirhugaðs mats á lekt. Við túlkunina skiptir veitirinn sem á að prófa mestu máli. Meta þarf gerð hans, bergtegundir, sprungur, þykkt sem og líkleg mörk hans, bæði lárétt og lóðrétt. Hugsanlegt er að gera þurfi sérstakar ráðstafanir vegna lekra laga að ofan eða neðan hans, jafnframt sem þekking á eða líkindi fyrir vatnspéttum röndum eða jöðrum með fasta vatnshæð er afar mikilvæg.

Af vatnafræðilegum gögnum er mikilvægast að þekkja rennslistefnur grunnvatnsins, halla grunnvatnsborðsins sem og sveiflu þess. Jafnframt þarf að kanna ár, læk, vötn og mýrar sem kunna að vera á svæðinu, einkum með tilliti til þess hvort um tengsl við grunnvatn er að ræða og hvert best sé að leiða vatn sem dælt er svo að það leiti ekki að nýju niður íveitinn.

VAL Á AÐFERÐUM TIL AÐ META LEKT Í BORHOLUM. Úr fjölmörgum aðferðum er að velja þegar meta skal lekt jarðlaga í borholum. Hér á eftir verður gerð örstutt grein fyrir tilgangi aðferðanna. Nánari lýsing á framkvæmd og úrvinnslu þeirra er í greinum 3.4 og 3.5 og köflum 5 og 6..

DREPADÆLING. Tilgangur hennar er að meta leiðnina í næsta

umhverfi holunnar og iðustreymistapið í holunni. Stærð og staðsetning á dælu má velja á grundvelli þrepaðælingar.

LANGTÍMADÆLUPRÓFANIR. Tilgangurinn með þeim er að meta meðallekt í þeim jarðlögum, sem dælu- og mæliholur skera.

TVÍPÓLPRÓFANIR. Markmið með þeim er að meta meðallekt á svæðinu milli dæluholu og niðurdælingarholu.

ÞAKKARAPRÓFANIR. Tilgangur þeirra er að meta meðallektina í næsta umhverfi holunnar á ákveðnum bilum.

RENNSLISPRÓFANIR. Tilgangur þeirra er að fá gróft mat á leiðni í nánasta umhverfi holunnar.

Kostnaður við aðferðirnar er mismikill. Langtímdæluþrófanir og tvíþólþrófanirnar eru dýrastar en rennslisþrófunin er ódýrust. Í töflu 3.1 verður reynt að gera nokkra grein fyrir umfangi þrófananna.

Eins og áður var sagt ræðst val á aðferð að verulegu leyti af þeim fjármunum sem til ráðstöfunar eru. Að sjálfsögðu ættu fjárveitingar að taka mið af tilgangi og mikilvægi upplýsinga um lektina. Svo er þó ekki alltaf og ber þá að vekja athygli verkkaupans á því. Töflu 3.2 má nota við val á mæliaðferð eftir að unnið hefur verið úr gögnum um jarð- og vatnafræði.

VAL Á SVÆÐI TIL PRÓFANANNA. Í mörgum tilvikum ræðst nákvæm staðsetning svæðisins sem á að prófa af öðrum þáttum en hvar hentugast er með tilliti til prófunar. Oft er þó um nokkuð víðáttumikið svæði að ræða sem prófunin gæti farið fram á. Við val á svæði er ástæða til að hafa eftirfarandi í huga:

Grunnvatnsfræðilegar aðstæður gefi mynd af öllu því svæði sem á að kanna. T.d. að ekki séu misgengi eða aðrar óreglur í næsta nágrenni.

Forðast ætti að vera mjög nálægt vegum eða svæðum með þungri umferð.

TAFLA 3.1. Umfang aðferða til að meta lekt.

	prepa- dæling.	Langtíma- dæling.	Tvívöl- pröfun	Pakkara- pröfun	Rennslis- pröfun.
TÆKJA- KOSTUR	Leiðsla, Borholudæla, Rennslismæl, Vatnsborðsm, Klukkan, Loki.	Leiðsla, Dæla, Rennslismæl, Vatnsborðsm, Klukkan, Loki.	Leiðsla, Borholudæla, Rennslismæl, Vatnsborðsmæl, Klukkan, Loki.	Bor, Pakkari, Dæla, Rennslismæl, þryglimælig Vatnsborðsmæl, Klukkan Loki	Leiðsla, Dæla, Rennslismæl, Vatnsborðsmæl, Klukkan, Loki
FJÖLDI HOLA HOLLUVIDD	1 $\Phi \geq 15\text{cm}$	1 ; $j \geq 1$ $\Phi \geq 15\text{cm}; 5\text{cm}$	1 ; 1 ; $j \geq 2$ $\Phi \geq 15; \geq 10; 5\text{cm}$	1 breytileg	1 breytileg
TÍMI SEM PROFUNTEKUR	$\frac{1}{2}$ dagar + undirbún.	≥ 2 sólarhr + undirbún.	≥ 1 sólarhr + undirbún.	Fæinar klukkust.	Fæinar klukkust.
MANNRFLI	2	2	2	1+ áhöfn bors	1-2

Hægt verður að vera að koma vatninu sem dælt er frá sér án þess að það leiti niður til grunnvatnsins að nýju. Ef dæla á í holu þarf að vera unnt að ná í vatn án mikillar fyrirhafnar.

Halli vatnsborðsins sé eins lítill og kostur er.

Dægilegt sé að komast að og frá svæðinu með tæki.

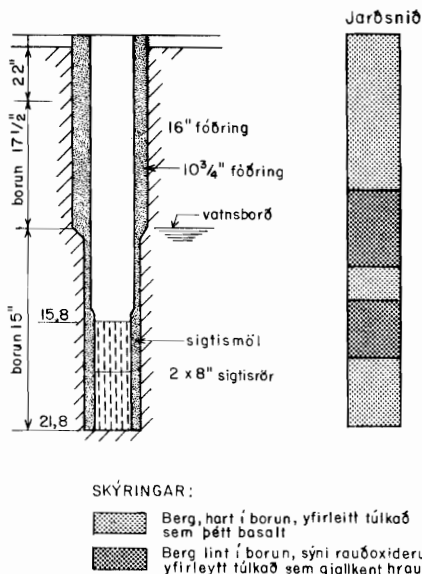
TAFLA 3.2. Yfirlit yfir aðferðir við mælingar á lekt.

Tilgangur prófunar	Áætluð lekt.	Prepadælu- prófanir	Langtíma- dælupróf- anir	Tvíþól- prófun	Rennslis- mælingar	Pakkara- prófanir	
						Venjul.	SZ
Nákvæmt mat á lekt	mjög mikil ekki mikil		(x) x	x (x)			
Mat á lekt í næsta umhverfi dæluholu	mikil nokkur lítill	x x	x		(x)	(x) x	x x
Mat á afköstum holu	mikil ekki mikil	x	x				(x)
Val á dælu í holu og staðsetning		x					

HOLUR. Fjöldi hola og stærð þeirra ræðst að mestu leyti af hvaða mæliaðferð er valin. Við rennslis- og pakkaraþrófanir ræðst staðsetning og gerð holu venjulega af öðrum atriðum. Við prepadælingar er yfirleitt um að ræða holur sem fyrirhugað er að nota fyrir vatns- eða hitaveitur, og þvermál holu, dýpi og svo framvegis ræðst af hversu miklu er áformað að dæla úr holunni ef allt gengur að óskum.

Við langtímaprófanir þarf að bora eina holu sem er a.m.k. 15 cm. eða meir í þvermál. Dýpi holanna ræðst annað hvort af öðrum holum sem boraðar hafa verið á svæðinu, eða það er ákveðið meðan á borun stendur út frá kjarna, svarfi, gangi borverks eða öðrum atriðum. Í sumum tilvikum stendur

dæluholan vel og það þarf ekki að setja fódurrör í hana. Oftar gerist þess þó þörf og þarf þá að vanda vel staðsetningu á sigtISRÖRI þannig að sem minnst þrýstítap verði við rennsli inn í holuna. Sigtismöl þarf oftast að setja milli fódurrörs og holuveggjar, sjá mynd 3.10.



Mynd 3.10.

Áður en dæla er sett niður er æskilegt að reynt sé að hreinsa holuna. Ef það er ekki unnt verður að gera það með dælunni, sjá nánar síðar.

Fjöldi mælihola ræðst af hversu mikillar nákvæmni er krafist við mat á lektinni og fjárveitingum. Oftast nægir ekki ein hola til að hægt sé að meta leiðni og geymslustuðul fyrir stór svæði. Það þarf ekki mikla óreglu í jarðlögunum milli dælu- og mæliholu til að mat á leiðni út frá einni mæliholu sé misvísandi. Kosturinn við að hafa fleirri mæliholur er einnig sá að hægt er að meta leiðnina með fleiri aðferðum.

Staðsetning mælihola ræðst að verulegu leyti af gerð veitisins, þ.e. hvort hann sé opinn, lokaður eða hálflokaður. Í lokaðum veiti berast áhrif dælingar hratt vegna þess að vatnið sem dælt er losnar úr geymslu við

pennslu efnisins og vatnsins (lækkun þrýstings). Geymslustuðull í lokuðum veiti er yfirleitt innan við 0,01. Vegna þessa er hægt að mæla lækkun vatnsborðsins í mikilli fjarlægð t.d. nokkur hundruð metra í burtu. Í opnum veiti berast áhrif dælingarinnar hægar því vatninu sem var milli upprunalegs vatnsborðs og efra borðs niðurdráttarkeilunnar er dælt upp, þ.e. geymslustuðullinn er jafn virkri groppu efnisins gjarna 10 - 30% (sbr kafli 1.3). Þar sem vatnsborðslækkunin mælist einungis í líftilli fjarlægð frá dæluholu, nema dæling standi sólarhringum saman. Í hálflokuðum veitum ræðst staðsetning mæliholu af því hvort hann líkist meir opnum eða lokuðum. Í hálflokuðum og lokuðum veitum er æskilegt að hafa eina mæliholu ofan við eða í hálfþétta laginu.

Fjarlægð milli mæli- og dæluholu ræðst einnig af lektinni. Ef fyrirleggja einhverjar áætlanir um lekt er hægt að gera sér grein fyrir hvernig niðurdráttarkeilan muni líta út á hverjum tíma. Því minni sem lektin er því dýpri og takmarkaðri er keilan. Ef grunnvatnsgeymirinn er lagskiptur þarf að jafnaði að hafa mæliholur fjær dæluholunni. Lækkun vatnsborðsins er í réttu hlutfalli við rennslið, tvöföldun þess þýðir að vatnsborðshækkunin tvöfaldast.

Dýpi mæliholu er mikilvægt. Almennt er best að þær séu ófóðraðar og nái í gegnum allan grunnvatnsgeyminn. Ef ekki þá niður á svipað dýpi og miðja götuðu fóðringarinnar í dæluholunni.

Ef mæliholur skera þétt lög t.d. leir eða jökulberg þarf að setja í þær fóðurrör og þetta með þeim á þeim stöðum.

NAUÐSYNLEG ÁHÖLD Í töflu 3.1 voru talin upp þau tæki sem þarf við hinar ýmsu aðferðir til að meta lekt. Hér verður reynt að gera nánari grein fyrir þeim.

Í öllum tilvikum þarf leiðslu til að flytja vatnið. Margvíslegar leiðslur eru til og eru þær misjafnlega handhægar. Þægilegast er að nota slöngur ef þær nægja. Þær eru mjög fyrirferðalítlar og auðvelt er að tengja þær saman. Næst koma plastpípur, þær eru fyrirferðamiklar en nokkuð meðferilegar og sterkar. Erfiðast er ef nota þarf málmþípur. Þvermál leiðslunnar ræðst af væntanlegu þrýstifalli (hversu miklu vatni ætlunin er að dæla) og hæðarmun. Lengd leiðslunnar er ákveðin m.t.t. hvar hægt er að losna við vatnið án þess að það trufla mælingarnar.

Ávallt þarf að hafa hraðtengi við hendina til að tengja leiðslurnar saman og alltaf er gott að hafa misstórar hosuklemmur með sér í mörkina.

Við langtímadæluprófanir þarf að hafa annað hvort borholudælu eða venjulega stimpil- eða bensíndælu. Borholudælur ganga fyrir rafmagni og því þarf að útvega hæfilega stóra rafstöð. Það er mikilvægt að vanda vel til vals á dælu. Rétt er að velja dælu sem getur annað lítið eitt meira rennsli en fyrirhugað er að dæla. Dælur hafa kennilínur sem sýna afköst miðað við þrýstihæð. Það þarf því að reikna væntanlegt þrýstifall og miðað við það og mismun í staðarhæð er nauðsynleg þrýstihæð ákveðin. Við tvíþól prófanir og þrepaðælingar þarf alltaf borholudælu. Við rennslisprófun og þakkaraprófun er yfirleitt notuð stimpil- eða bensíndæla, gjarna sama dæla og notuð var við borun holunnar.

Við prófanirnar þarf ávallt eitthvað áhald til að mæla rennsli. Við þakkaraprófun og tvíþólprófun þarf nauðsýlega rennslismæli eða "orficeplötu" og við allar aðferðirnar er unnt að nota rennslismæli. Við aðrar prófanir er unnt að nota önnur áhöld til að mæla rennslið. Ef það er innan við 5 l/s er hægt að nota flát t.d. tunnu. Einnig má nota mælíkar með yfirfalli. Í neyðartilvikum má áætla rennsli með því að mæla bununa þegar vatnið kemur út úr leiðslunni, sjá grein 3.1.

Við allar aðferðirnar þarf vatnsborðsmæli og skeiðklukku. Velja þarf vatnsborðsmæli miðað við hversu nákvæmlega ætlunin er að mæla dýpið niður á grunnvatn. A-Ott mælarnir eru nákvæmastir, af þeim er mögulegt að lesa með 2 mm nákvæmni. Við allar prófanirnar nema þakkaraprófanirnar er nauðsynlegt að hafa auka vatnsborðsmæli.

Yfirleitt er rétt að hafa þrýstimæli og er hann nauðsynlegur við þakkaraprófanir. Við þakkaraprófanir má að sjáfsögðu ekki gleyma sjálfum þakkarinum honum verða gerð skil í kafla 6. Ávallt er þörf á loka (krana) af rétttri stærð. Við undirbúning lektarprófana er rétt að búa sig vel með varahluti s.s. tengi, nipla, hosuklemmur, einangrunarband, þrýstimæla með mismunandi svið, bolta í tengistykki, þakkingar, "gengjuteip", rafhlöður og fleira. Hnifur, skrufjárn, sleggjupungur, skiptilykill, rörtöng og fastir lykilar eru einnig nauðsynleg áhöld.

NAUÐSYNLEGUR MANNAFLI OG TÍMI. Við allar próanirnar er rétt að hafa tvo menn, bæði er að það er nauðsynlegt meðan verið er að koma tækjunum fyrir og að mælingar þurfa oft að standa yfir í fleiri sólarhringa samfelld og er þá nauðsynlegt að ganga vaktir. Við pakkaraprófanir nægir þó einn maður til viðbótar við áhöfn borsins, en ef vinna á jafnðöðum úr mælingum getur verið gott að hafa auka mann.

Í töflu 3.1 er gerð grein fyrir hversu langan tíma þarf að ætla til prófana. Pakkaraprófun, rennslisprófun og þrepaðæling tekur yfirleitt ekki lengri tíma en einn dag. Langtímaprófanir og tvíþólprófanir taka mun lengri tíma. Ekki má reikna með minni tíma en tveim sólarhringum til að fylgjast með breytingu vatnsborðsins við dælingu og jöfnun að henni lokinni. Að jafnaði þarf að reikna með lengstum tíma við dæluprófun í opnum grunnvatnsgeymi. Best er að teikna mælipunkta upp á línurit jafnðöðum og nota þá til að ákveða hvenær óhætt sé að hætta dælingu.

UPPSETNING TÆKJABÚNAÐAR. Ef nota á borholudælu við prófanirnar er að jafnaði mest vinna við að koma dælunni í holuna og tengja hana við rafstöð. Í flestum tilvikum þarf krana til að koma dælunni fyrir. Minnstu dælur má setja niður með handafla og í sumum tilvikum nægir að nota bílkrana. Lagning leiðslu frá holunni (eða að henni) getur einnig verið tímafrek og erfið.

Mikilvægt er að staðsetja þrýstímæli sem næst holunni við pakkarapróanir og ekki má vera loki eða annar búnaður sem veldur þrýstifalli milli hans og holunnar. Æskilegt væri, að þrýstingurinn væri mældur í holunni og er nú unnið að því að gera það mögulegt.

Beggja megin við rennslismælinn þarf að vera rör með sama þvermál og hann. Lengd þeirra þarf að vera 10 - 12 sinnum þvermál mælisins. Ennfremur þarf að tryggja að rörið sé fullt af vatni (þ.e. vatn renni um allan þverskurð mælisins). Þetta má tryggja með því að leiðslan liggja upp fyrir rennslismælinn beggja vegna við hann.

Hér verður ekki fjallað um pakkarann það er gert í kafla 6.

HREINSUN HOLU OG MÆLINGAR SAMFARA HENNI. Eins og áður var sagt er nauðsynlegt að hreinsa dæluholuna áður en dæling hefst. Æskilegt er að gera það í lok borunar með

loftdælingu. Oftar verður þó að gera það með sjálfri dæluinni sem notuð er við prófunina. Þá er best að hreinsa holuna með því að byrja með mjög lítið rennsli og bíða þar til vatnið er orðið tært auka þá við rennsli og þannig koll af kolli þar til hámarksafköstum er náð. Æskilegt er að slökkva síðan á dæluinni og hefjast handa á ný og endurtaka dælingar þar til holan hefur hreinsað sig.

Við hreinsunina gefst mjög gott tækifæri til að gera sér grein fyrir við hverju má búast við sjálfa prófunina. Því er rétt að mæla rennsli og grunnvatnshæð í dælu- og mæliholum. Út frá mælingunum má áætla við hvaða rennsli er best að prófa holuna jafnframt því sem það má gera sér lauslega grein fyrir lækku vatnsborðsins við þá dælingu.

Æskilegt er að jafn langur tími og hreinsunin tók líði frá því að henni lauk þar til dæluprófunin hefst.

MÆLINGAR Á NÁTTÚRULEGUM SVEIFLUM. Áður en dæluprófun hefst er æskilegt að náttúrulegar sveiflur grunnvatnsborðsins séu þekktar, til þess þarf að mæla grunnvatnshæðina í nokkra daga oft á dag. Yfirleitt er ekki kostur á þessu en í öllum tilvikum er rétt að mæla grunnvatnshæðina nokkrum sinnum áður en dæluprófunin hefst. Ennfremur er oft unnt að mæla vatnsborðið í nokkurn tíma að dæluprófun lokinni. Oft er einnig hægt að fylgjast með vatnsborði í holum í nágrenninu, en þar sem akrif dælingarinnar gætir ekki, meðan dæling stendur yfir. Þegar leiðrétt er fyrir náttúrulegum sveiflum má styðjast við þær. Ef verið er að dæluprófa í grennd við sjó þarf að athuga hvort áhrifa sjávarfalla gæti í holunni. Í nágrenni við vötn, ár og læk þarf að kanna hvort veitirinn sé í tengslum við þau. Við prófun á lokuðum eða hálflokuðum veitum þarf að kanna hvort áhrifa breytinga í loftþrýsting gæti í holunni. Þegar áhrif þessara þátta eru þekkt má leiðrétta mælingarnar.

FRAMKVÆMD OG ÚRVINNSLA PRÓFANA. Framkvæmd hverrar aðferðar fyrir sig verður lýst í greinum 3,4 og 3.5 og köflum 5 og 6. Hér verður í stuttu máli gerð grein fyrir þeim atriðum í framkvæmdinni sem eiga við óháð hvaða aðferð er notuð við prófunina.

Mælingum við lektarprófanir má skipta í tvennt, annars vegar mælingar á vatnsborði (eða þrýstingi) og hins vegar mælingar á rennsli. Ennfremur skiptir tíminn miklu máli, þ.e. við hverja einstaka mælingu á vatnsborði og rennsli þarf að skrá

klukkustund, mínútu og í sumum tilvikum sekúntu.

Áður en prófunin hefst þarf að gera nokkrar mælingar á vatnsborði í holunni, helst þurfa náttúrulegar sveiflur á því að vera þekktar, samanber framansagt. Nauðsynlegt er að skrá nákvæmlega tímann þegar dælingin hefst, þ.e. dagssetningu, klukkustund, mínútu og sekúntu. Oft er rétt að skrá bæði hvenær dælu er startað og hvenær rennslið hefst. Hið síðasttalda er að sjálfsögðu mikilvægast. Best er að hefja dælingu snemma morguns, bæði með tilliti til birtu, vinnutíma og þess að holan hefur oftast verið ótrufluð a.m.k. frá kvöldinu áður.

VATNSBORÐSMÆLINGIN er mikilvægust þeirra mælinga sem gerð er við dæluþrófanir. Í upphafi dælingar breytist vatnsborðið í holunni mjög hratt og þá þarf að mæla vatnsborðið mjög ört. Eftir því sem á dælinguna líður má líða lengri tími milli mælinga. Breyting vatnsborðsins við dælingu er oft nokkurn veginn lógaritmisk, þ.e. jafn mikil breyting á vatnsborði verður frá 10. til 100. mínútu og t.d. frá 10.000. til 100.000. mínútu. Æskilegt er að vatnsborðið sé mælt á hálfri til einnar mínútu fresti fyrstu fimm til tíu mínúturnar, síðan má smá lengja tímabil milli mælinganna. Af þessum ástæðum getur verið gott að hafa fleiri menn og vatnsborðsmæla í upphafi dælingarinnar, en þegar líðnar eru ein til tvær klukkustundir er nægjanlegt að einn maður annist allar mælingar. Hægt er að létta sér mælingar með því að hafa síritandi þrýstímæla í mæliholunum, reynslan sýnir þó að þeir eru mjög viðkvæmir og því full ástæða til að fylgjast með vatnsborðinu með venjulegum vatnsborðsmælingum.

Eins og áður kom fram má nota margvíslegar aðferðir til að mæla RENNSLI við dæluþrófunina, æskilegast er þó að nota rennslismæli eða mæliker með kvörðuðu yfirfalli. Ath. við þakkaraprófanir og tvíþólprófanir er einungis unnt að nota rennslismæla. Æskilegt er að rennsli sé sem jafnast það þarf því að fylgjast reglulega með því og breyta með loka eða snúningi á dælu.

Samhliða mælingunum er æskilegast að unnið sé úr þeim, þær færðar inn á línurit og athugað hvort nokkuð óvænt eða óeðlilegt sé að gerast. Línuritin má einnig nota til að ákveða hvenær hætta megi dælingu svo öruggt sé að niðurstöður verði marktækar.

Þegar dælingu er hætt eða rennsli breytt verður að skrá nákvæmlega tímann, þ.e. dagsetningu, klukkustund, mínútu og sekúntu. Best er mælinganna vegna að hætta dælingu með því að drepa á dælunni, athuga þarf þó hvort dælan þoli það, ef ekki er dælingu hætt með því að loka fyrir rennsli eins hratt og framkvæmanlegt er.

Að dælingu lokinni er rétt að fylgjast með jöfnun vatnsborðsins í holunum. Vatnsborðið er mælt og skráð reglulega í álfka langan tíma og dælingin stöð yfir. Samhliða mælingum eru niðurstöður færðar á línurit og fylgst með breytingum.

Æskilegast er að fylgst sé með náttúrulegum sveiflum vatnsborðsins, meðan dæling stendur yfir, með mælingum í holum utan áhrifasvæðis dælingarinnar. Ef sjávarfalla eða áhrifa breytinga í loftþrýstingi gætir í holunum þarf að sjálfsögðu að gera nauðsynlegar mælingar til að unnt sé að leiðrétta fyrir þeim við úrvinnslu.

Verkefni. Oft er miðað við að breyting grunnvatnsborðs við dælingu sé háð lógaritma af tímanum. Ef í byrjun er ákveðið að fyrsta mæling sé gerð eftir 30 sek. og næsta eftir 60 sek., segið þá til um hvenær þurfi að mæla vatnsborðið fyrsta sólarhringinn til að alltaf verði jafnmikil breyting í vatnshæð milli mælinga.

ÚRVINNSLA PRÓFANA. Eftir að prófunum er lokið og öllum gögnum hefur verið safnað um breytingar í grunnvatnshæð (þrýstingi) vegna dælingarinnar sem og vegna náttúrulegrar sveiflu þá er hafist handa við úrvinnsluna. Henni má skipta í eftirfarandi þrep:

- Vatnsborðsmælingar eru leiðréttar m.t.t. náttúrulegrar sveiflu þess.
- Leiðréttar vatnsborðsmælingarnar eru teiknaðar á línurit.
- Einkennisferlar eru dregnir í gegnum mælipunktana á línuritunum.
- Leiðnin, lektin og/eða geymslustuðull veitisins eru reiknuð miðað við einkennisferlana.

Úrvinnslu einstakra aðferða verður lýst í grem 3.4, 3.5 og kafla 5.

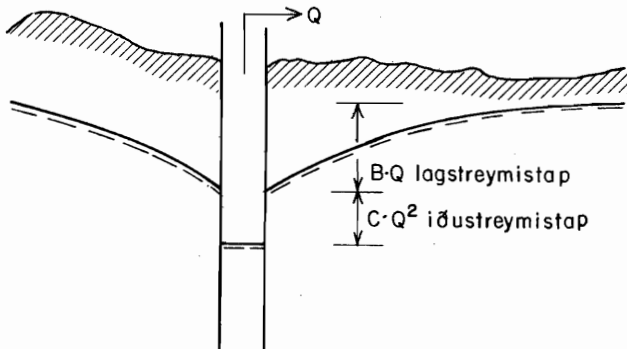
3.3 DÆLUPRÓFANIR

Markmiðið með dæluprófunum er að ákvarða (tölulega) straumfræðilega eiginleika (leiðni, lekt og geymslustuðul) veitisins og einstakra borhola.

Dæluprófunum má skipta í: þrepadælingar, langtíma-dæluprófanir, tvíþólprófanir, jöfnun og ýmsar óbeinar aðferðir. Hér á eftir verður lýst stuttlega fjórum fyrst töldu aðferðunum. Gerð verður grein fyrir forsendum aðferðanna, framkvæmd, úrvinnslu og loks gefin verkefni til að leysa.

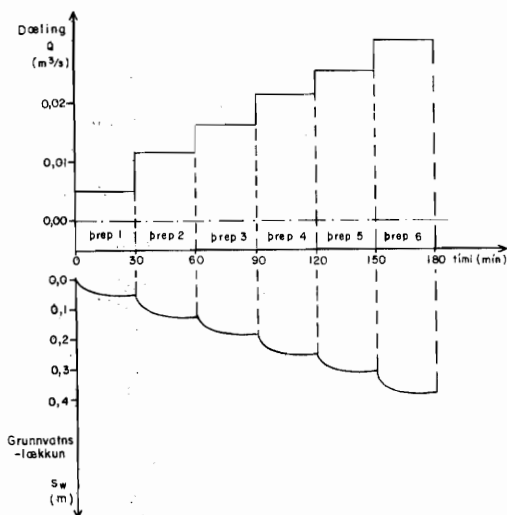
3.4 ÞREPAÐÉLINGAR

Markmið þrepadælinga er að meta leiðni ("transmissivity") bergsins í næsta nágrenni holanna og mæla mótstöðu gegn rennsli inn í holuna (iðustreymistapið), sjá mynd 3.11. Niðurstöður þrepadælinga eru yfirleitt notaðar til að ákveða stærð og staðsetningu dælu.



Mynd 3.11. Lagstreymistap - Iðustreymistap.

Framkvæmd þrepadælinga. Dælt er vatni í þrepum úr eða í holuna. Rennsli úr (eða í) holunni er mælt ásamt hæð grunnvatnsborðs í henni. Hvert þrep varir í ákveðinn tíma t.d. 15 - 60 mínútur. Dælingin er jöfn innan hvers þreps, sjá mynd 3.12.



Mynd 3.12. Þrepadæling.

Fræðilegur grundvöllur og úrvinnsla þrepadælinga. Lækkun grunnvatnsborðs í dæluholu má skrifa með eftirfarandi jöfnu:

$$s_{w_i} = B \cdot Q_i + C \cdot Q_i^2 \quad (3.4)$$

þar sem: s_{w_i} er lækkun grunnvatnsborðs í metrum í lok i -ta þreps.

Q_i er rennslið í m^3/s í i -ta þrepi.

$B \cdot Q$ er lagstreymistapið, sjá mynd 3.11.

$C \cdot Q^2$ er iðustreymistapið, sjá mynd 3.11.

Stuðullinn B er fall af tímanum frá upphafi dælingar og er auk þess háður geymslustuðli S ("storage coefficient"), lekt k ("permeability"), þykkt veitisins b og holuradía r_w . Stuðullinn C er háður dæluholu, gerð sigtISRörsins, sigtismöl og nánasta umhverfi holunnar. Stuðlarnir B og C eru fundnir með aðferð minnstu kvaðrata ("regression") út frá mælingum á s_w og Q í einstökum þrepum, sjá mynd 3.13.

Margs konar reiknilíkön eru notuð til að ákvarða lektina k út frá stuðlinum B , háð gerð veitisins. Algengast er að nota Theis líkanið (Theis 1935), nánari grein verður gerð

fyrir því í kafla 3.5. Líkaninu má lýsa með formúlunni:

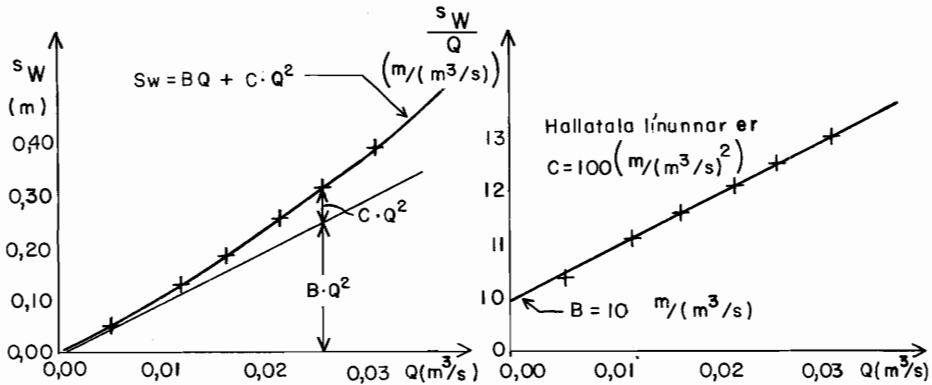
$$s_w = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot b} W(u) \approx \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot b} \cdot \ln\left(\frac{0,562}{u}\right); u \leq 0,05 \quad (3.5)$$

þar sem $u = \frac{r_w^2 \cdot S}{4 \cdot k \cdot b \cdot t} \quad (3.6)$

r_w er fjarlægð frá dæluholu á staðinn, þar sem grunnvatnshæðin er mæld, *holuradii hér*.

b er þykkt veitisins.

t er tíminn sem liðinn er frá upphafi dælingarinnar.



Mynd 3.13. Besta parabólan - Besta línan.

Gert er ráð fyrir að lækkun grunnvatnsbors við holuvegg sé jöfn lagstreymistapinu $B \cdot Q$, samkvæmt því gildir:

$$B \cdot Q = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot b} \cdot W(u)$$

eða $k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot b \cdot B} \cdot W(u) \quad (3.7)$

þar sem $u_w = \frac{r_w^2 \cdot S}{4 \cdot k \cdot b \cdot t_p}$

t_p er tíminn sem hvert þrep varir.

r_w er radíi holunnar.

Ef $u_w < 0,05$ (þ.e. tíminn sem þrepið varir er nægilega langur) gildir:

$$k = \frac{L}{4 \cdot \pi \cdot b \cdot B} \cdot \ln\left(\frac{0,562}{u_w}\right) \quad (3.8)$$

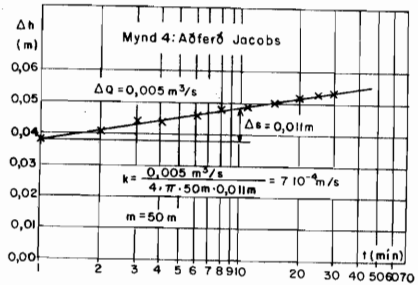
Jafna 3.8 er leyst með ítrekun.

Í jöfnu 3.4 kemur fram að lækun grunnvatnsborðs í dæluholu er háð lag- og iðustreymistapi. Iðustreymistapið nær endanlegu gildi eftir mjög stuttan tíma, og er því nánast óháð tímanum frá því dælingin hófst. Lektina má finna með því að teikna s_w línulega yfir $\log t$ (aðferð Jacobs, lýst í grein 3.5), sjá mynd 3.14. Þá gildir:

$$k = \frac{\Delta Q_i}{4 \cdot \pi \cdot b \cdot \Delta s_D} \cdot \ln(10) = 0,183 \cdot \frac{\Delta Q_i}{b \cdot \Delta s_D} \quad (3.9)$$

þar sem Δs_D er lækun grunnvatnsborðsins yfir tíföldun í tíma (ein dekaða), sjá mynd 3.14.

ΔQ_i er breytingin í dælingu frá þrepi $i-1$ til i .



Mynd 3.14. Aðferð Jacobs.

Verkefni.

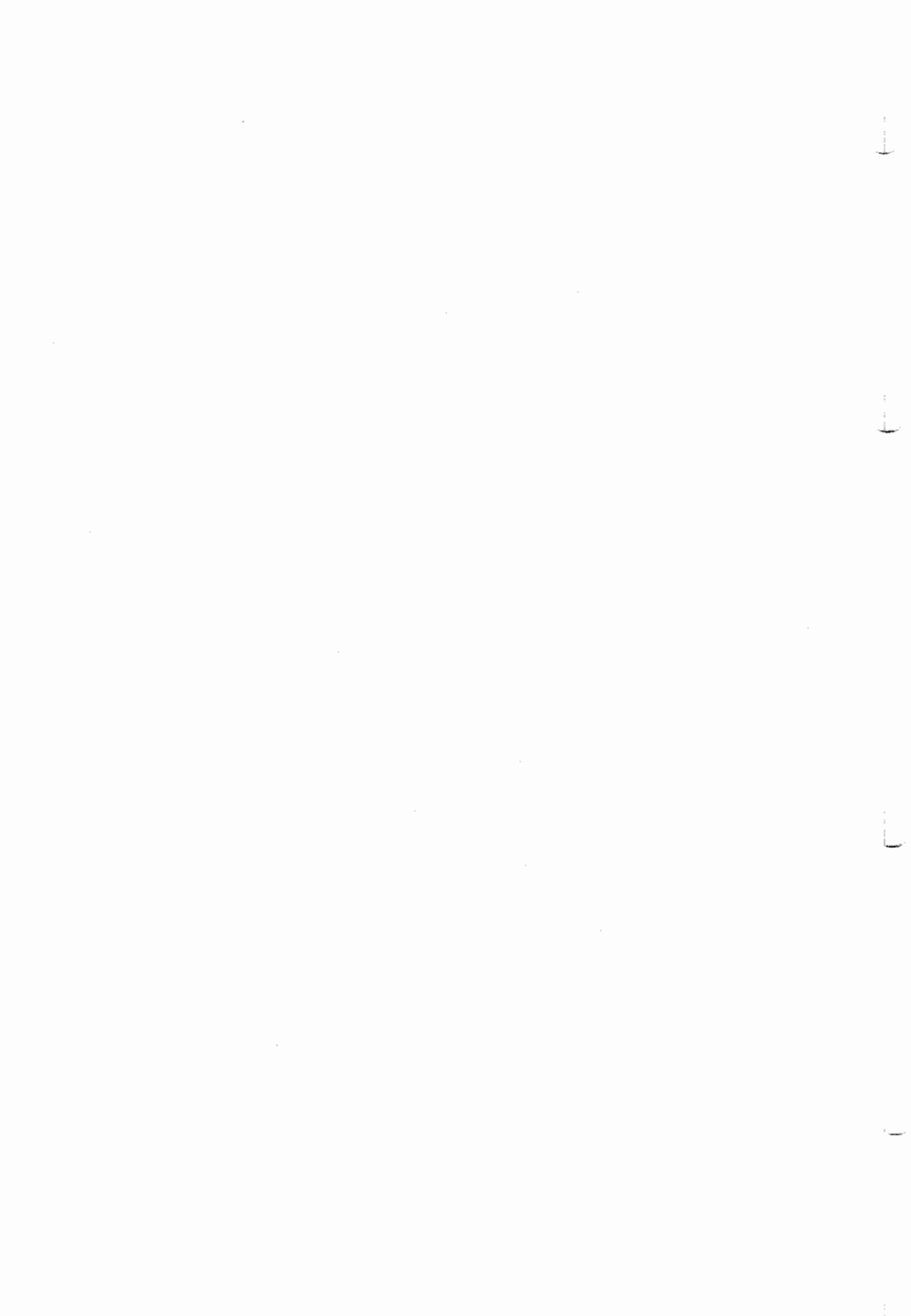
Við þrepaðælingu fengust eftirfarandi niðurstöður:

Þrep i	s_i (m)	Q_i (m ³ /s)
1	0,021	0,004
2	0,042	0,007
3	0,070	0,010
4	0,100	0,013
5	0,159	0,017
6	0,249	0,023
7	0,340	0,028
8	0,620	0,040

1. Finnið B og C.
2. Spáðu fyrir u_m s við 100 lítra dælingu á sek.
3. Finnið k ef t_p er 30 mín, r_w er 0,15 m, S er 0,2 og b er 24 m.

Minnisatriði um framkvæmd þrepaðalinga.

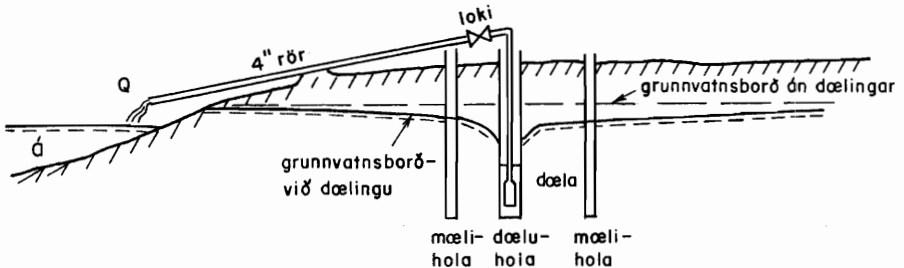
1. Hvenær var dælingu hætt? Hvert var rennslið?
2. Hefur holan verið hreinsuð? Ef ekki gerið það, sjá grein 3.2. Ef það þarf að hreinsa holuna látið a.m.k. jafnlangan tíma líða og hreinsunin tók þar til hafist er handa við þrepaðalinguna.
3. Hvernig hefur vatnsborðið breyst í holunni fyrir prófun-ina? Er ástæða til að ætla að leiðrétta þurfi fyrir náttúrulegum sveiflum?
4. Hvert er vatnsborðið í holunni áður en pöfun hefst? A.m.k. tvær mælingar, a.m.k. 5 mín. milli þeirra.
5. Hvert er búist við að verði hámarksrennsi úr hounni? Skiptið því niður í nokkur þrep. Hafið minni aukningu í rennsli milli þrepa í byrjun.
6. Lesið af rennslismælinum.
7. Setjið rafstöðina í gang. Mælingar á vatnsboði mega gjarna vera áður en rafstöð er gangsett og eftir.
8. Setjið dæluna í gang og hafið kranann lokaðan eða mjög lítið opinn.
9. Opnið kranann og takið fyrsta þrep í prófuninni Reynið að halda dælingunni sem jafnastri og mælið vatnsborð eftir 0,5, 1 og 2 mín., síðan á 2ja mín. fresti fyrstu 10 mín. eftir það á 4ra mín. fresti í allt að 30 mín., þá á 8-10 mín. fresti þar til næsta þrep hefst. Teiknið vatnsborðsbreytinguna á línurit á móti lógaritmanum af tímanum frá því þrepið hófst. Ljúkið ekki þrepinu fyrr en síðustu 4 til 5 mælipunktarnir raða sér á beina línu.
10. Aukið við rennslið, mælingar sjá lið 9.
11. Endurtakið lið 10 þar til vatnsborðslækkunin í holunni má ekki verða meiri eða hámarksafköstum dællunnar er náð. Öll þrepin vari í jafn langan tíma.
12. Minnkið rennslið í þrepum. Reynið að halda rennslinu sem jöfnustu í hverju þrepi og mælið vatnsborðið reglulega samanber lið 9.



3.5 LANGTÍMADÆLUPRÓFUN.

Markmið langtímadæluþrófunar er að meta straumfræðilega eiginleika (leiðni, lekt og geymslustuðul) veitisins.

Fræðilegt. Dælt er vatni úr eða í dæluholuna við fast rennsli. Rennsli úr (eða í) holunni er mælt ásamt hæð grunnvatnsborðs í dælu- og næliholum (sjá mynd 3.15). Að dælingu lokinni er fylgst með jöfnun grunnvatnsborðsins að nýju. Í lok þessarar greinar verða sett fram nokkur minnisatriði um fræðilegt langtímadæluþrófana.



Mynd 3.15. Dæluþrófun - skýringarmynd.

Aðferðir við úrvinnslu. Hér verður lauslega gerð grein fyrir helstu aðferðum til að vinna úr langtímadæluþrófunum. Ekki verður fjallað um tilurð né fræðilegan grundvöll aðferðanna, en segja má að flestar þeirra byggja á reiknilíkönunum sem líkja eftir svörun veita við áreiti, t.d. dælingar. Út úr reiknilíkönunum má reikna leiðni, meðallekt, geymslustuðul og í sumum tilvikum fleiri eiginleika veitanna. Mismunandi líkön eru notuð eftir gerð veitisins, þ.e. lokaður, opinn o.s.frv. Hægt er að skipta aðferðunum í tvo megin flokka. Annars vegar eru aðferðir sem byggja á að streymið og vatnshæðin sé búin að ná jafnvægi (steady state flow) og hins vegar að jafnvægi sé ekki náð (unsteady state flow). Til þess að hægt sé að nota fyrrnefndu aðferðirnar þarf mun legri tíma, jafnvel ár og því er yfirleitt unnið úr gögnunum eftir þeim síðartöldu.

Aðferðirnar byggja á eftirfarandi forsendum:

Veitirinn hafi óendanlega víðáttu, (eða að áhrif randskilyrðanna komi ekki fram í gögnunum).

Veitirinn sé einsleitinn (hómógen), samleitinn (isotrópísk) og sé jafnþykkur á áhrifasvæði dælingarinnar.

Grunnvatnsborið sé lárétt á svæðinu áður en dæling hefst (þ.e. ekkert náttúrulegt rennsli á svæðinu).

Rennslið sé stöðugt.

Dæluholan nái í gegnum allan veitinn þ.e. að vatnið sem dælt er komi úr veitinum öllum.

Að sjálfsögðu er nánast ómögulegt að þessr forsendur séu uppfylltar, en eigi að síður gefast aðferðirnar í flestum tilvikum vel til að vinna úr dæluþrófunum. Við dæluþrófanir úr lokuðum veitum í tengslum við vötn o.fl. eiga sérstakar aðferðir við. Þetta sem og ýmsar aðrar sérhæfðar aðferðir eru utan við tilgang þesa námskeiðs. Hér á eftir verður gerð grein fyrir þeim aðferðum sem mest eru notaðar við úrvinnslu langtímadæluþrófana.

ADFERÐ THIEMS. Auk þeirra forsenda sem getið var um hér að framan er gert ráð fyrir að veitirinn sé lokaður og í jafnvægi (þ.e. breytist ekki með tíma). Aðferðin byggir á að notaðar séu a.m.k. tvær borholur. Samkvæmt því gildir:

$$T = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot (h_2 - h_1)} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (3.10)$$

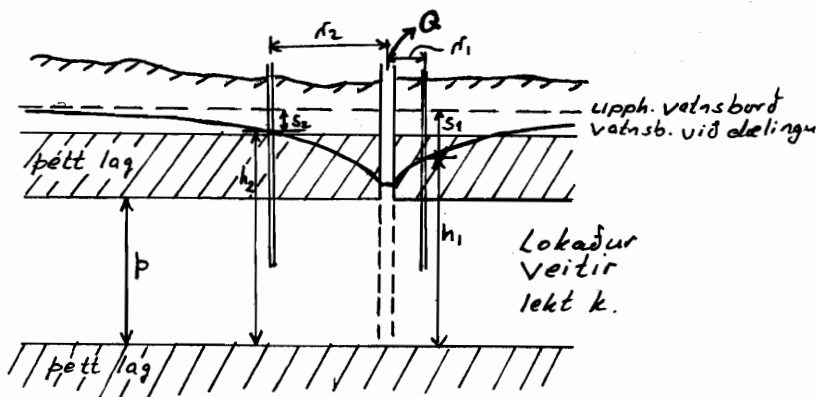
Þar sem T er leiðnin í m^2/s .

Q er rennslið í m^3/s .

r_1, r_2 eru fjarlægðir frá dæluholu í mæliholur 1 og 2 í m.

h_1, h_2 eru grunnvatnshæðir í mæliholum. Sjá mynd 3.16.

Dæmi: Akvarðið leiðni miðað við að dælt sé 10 l/s úr holu og borðslækkunin eftir að jafnvægi er náð er 0,50 m í holu í 10 m fjarlægð og 0,18 m í holu í 50 m fjarlægð. Akvarðið síðan vatnsborðslækkunina í veitinum í 0,125 m fjarlægð frá miðju dæluholunnar (þ.e. við holuvegg).



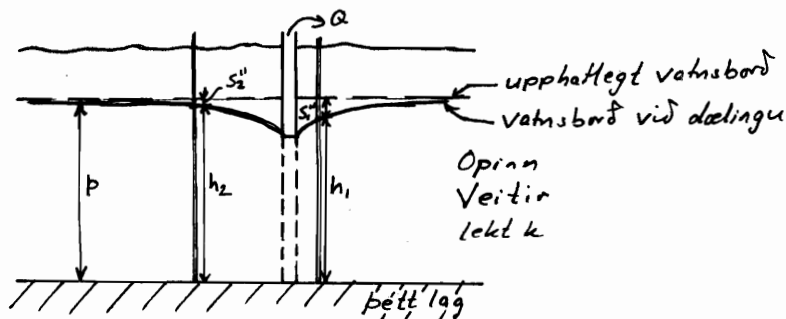
Mynd 3.16.

Ef gert er ráð fyrir að vatnsborðslækkunin í opnum veiti sé hlutfallslega líftil miðað við þykkt veitisins má áætla lektina með:

$$T = \frac{Q}{2\pi \cdot (s_1'' - s_2'')} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (3.11)$$

þar sem: $s_1'' = s_1 - \frac{s_1^2}{2 \cdot b}$ og $s_2'' = s_2 - \frac{s_2^2}{2 \cdot b}$

s_1, s_2 er lækkun grunnvatnsborðsins í metrum.
 b er þykkt veitisins. Sjá mynd 3.17.



Mynd 3.17.

ADFERÐ THEIS gildir fyrir lokaðan veiti, sem ekki er í jafnvægi (unsteady state). Um aðrar forsendur, sjá bls.62.

Samkvæmt jöfnu Theis gildir á hverjum tíma að vatnsborðslækkunin sé:

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 \cdot T \cdot t}$$

S er vatnsborðslækkunin í metrum.

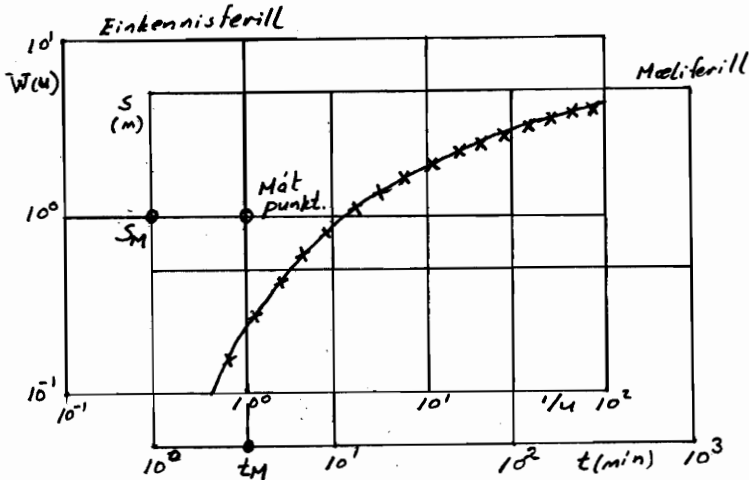
S er geymslustuðull.

$W(u)$ er svokallað holufall og er til í töflum. Gildin hafa verið dregin á línurit, svokallaður einkennisferill.

Yfirleitt er unnið úr mælingum á lækkun vatnsborðs með tíma við dælingu, með því að teikna mælipunktana upp á log-log línurit og máta síðan einkennisferilinn að mælipunktunum. Á mynd 3.18 er sýnt hvernig þetta er gert. Mátunkturinn á mæliferilsblaðinu svarar til punktsins $W(u) = 1$ og $1/u = 1$ á einkennisferilsblaðinu. Þar gildir því:

$$\text{af } S_M = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u_M) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot 1 \text{ eða } T = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot S_M} \quad (3.12)$$

$$\text{og } u_M = \frac{r^2 S}{4 \cdot T \cdot t_M} = 1, \text{ eða } S = \frac{4 \cdot T \cdot t_M}{r^2} \quad (3.13)$$



Mynd 3.18.

Jöfnur ^{3.12} og ^{3.13} má nota til að reikna út leiðnina og geymslustuðulinn.

Verkefni:

Við langtímadælingu mældist vatnsborðsbreytingin í mæliholu í 10 m fjarlægð frá dæluholu við $3 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ dælingu.

tími (mín)	h (m)	tími (mín)	h (m)	tími (mín)	h (m)
0,5	0,07	30	0,86	300	1,42
1,0	0,11	40	0,92	400	1,50
1,5	0,17	50	1,00	600	1,60
2,0	0,22	75	1,10	900	1,70
3,0	0,29	90	1,15	1200	1,78
4,0	0,36	110	1,20	2000	1,86
6,0	0,45	135	1,25	3000	1,95
8,0	0,52	160	1,28	4500	2,08
10,0	0,58	200	1,32	6500	2,20
14,0	0,67	250	1,40	10000	2,27
20	0,76				

1. Ákvarðið leiðni og geymslustuðul.
2. Spáðið fyrir um vatnsborðslækkun eftir 25 ár.

ADFERÐ JACOBS um forsendur sjá aðferð Theis.

Holufallið $W(u)$ er hægt að reikna samkvæmt:

$$W(u) \approx -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - + \dots$$

ef $u < 0,05$ má nálga holufallið með:

$$W(u) \approx -0,5772 - \ln u = \ln\left(\frac{0,562}{u}\right) \quad (3.14)$$

Vatnsborðslækkunina er því hægt að reikna samkvæmt:

$$S \approx \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{0,562}{u}\right), \text{ ef } u < 0,05 \quad (3.15)$$

$u = \frac{r^2 S}{4 \cdot T \cdot t}$, r , S og T eru fastar og tíminn t eina breytistærðin. u fer minnkandi eftir því sem t stækkar þ.e.a.s. því lengri tími sem liðinn er frá upphafi dælingar þess minna er u , það kemur því að því að u verði minna en $0,05$:

$$u < 0.05 = \frac{n^2 S}{4 \cdot T \cdot t} \text{ ef } t = \frac{n^2 S}{4 \cdot 0.05 \cdot T} = \frac{n^2 S}{0.2 \cdot T}$$

$$\text{þ.e.a.s. } u < 0.05 \text{ ef } t > 5 \cdot \frac{n^2 S}{T}$$

þar sem $s \cong \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{0.562}{u}\right)$ ef $u < 0.05$, (3.15a)

Þá á lækkun vatnsborðsins að aukast línulega með logaritmanum af tímanum frá því að dæling hófst. Aðferð Jacobs byggir á þessu sambandi. Samkvæmt henni er vatnsborðshækkunin teiknuð á móti lógaritma af tímanum og bein lína dregin í gegnum seinni hluta ferilsins (þ.e. fyrir $t > 5 \cdot \frac{n^2 S}{T}$). Yfir ttföldun á tíma (eina deköðu) eykst vatnsborðsbreytingin um:

$$\Delta S_D = S_{t=10t_1} - S_{t=t_1} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{0.562}{u_{t=10t_1}}\right) - \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{0.562}{u_{t=t_1}}\right)$$

$$\text{eða } \Delta S_D = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \left(\ln\left(\frac{0.562}{u_{t=10t_1}}\right) - \ln\left(\frac{0.562}{u_{t=t_1}}\right) \right)$$

$$\text{eða } \Delta S_D = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{0.562}{u_{t=10t_1}} \cdot \frac{u_{t=t_1}}{0.562}\right)$$

$$\text{eða } \Delta S_D = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot T \cdot 10t_1}{n^2 S} \cdot \frac{n^2 S}{4 \cdot T \cdot t_1}\right) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln(10)$$

$$\text{eða } \underline{T = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta S_D} \cdot \ln(10) = 0,183 \cdot \frac{Q}{\Delta S_D}} \quad (3.16)$$

Til að reikna út geymslustuðulinn S er hægt að nota hvaða punkt á beinu línunni sem er. Best er að nota skuðpunktinn við lárétta ásinn þ.e. við $s = 0$, þá gildir:

$$0 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{0.562}{u_{s=0}}\right)$$

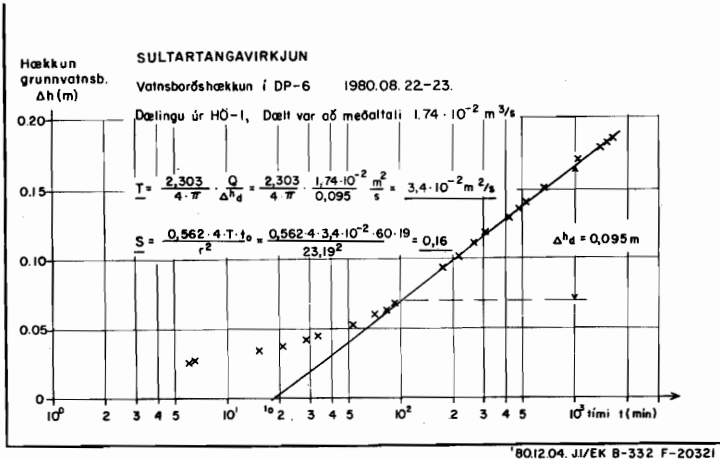
$\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T}$ getur ekki orðið núll nema því aðeins $Q=0$, en það er að sjálfsögðu ekki áhugavert, það af leiðandi hlýtur $\ln\left(\frac{0.562}{u_{s=0}}\right)=0$, það gildir þá og því aðeins að:

$$\frac{0,562}{u_{s=0}} = 1$$

$$\text{eða } \frac{0,562}{\frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t_{s=0}}} = 1$$

$$\text{eða } S' = \frac{0,562 \cdot 4 \cdot T \cdot t_{s=0}}{r^2} = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_{s=0}}{r^2} \quad (3.17)$$

Á mynd 3.19 er dæmi um hvernig leiðnin og geymslustuðullinn er reiknaður með þessari aðferð.



Mynd 3.19.

Verkefni:

Reiknið dæmið á bls. 65 samkvæmt aðferð Jacobs.

JÖFNUN ("Recovery"). Oft getur verið betra að fylgjast með hækkun vatnsborðs í holunni að lokinni dælingu. Þetta á sérstaklega við þegar dælt hefur verið úr holunni til annarra nota, s.s. fyrir vatns- eða hitaveitu, og dælingin því ekki verið föst. Þægilegast er að vinna úr jöfnuninni á sama hátt og samkvæmt aðferð Jacobs. Vatnsborðshækkuninni við jöfnun má lýsa með:

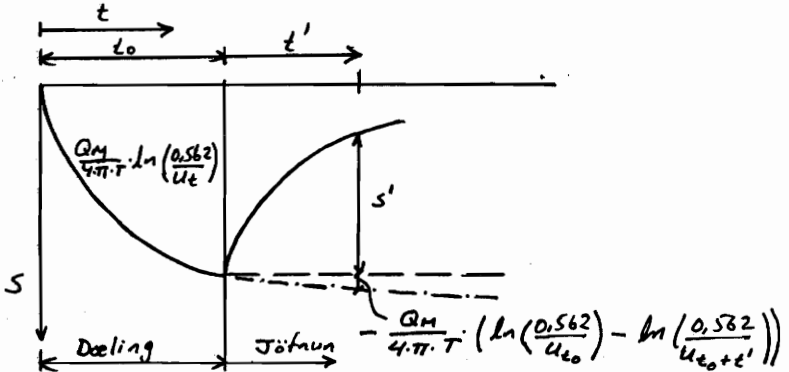
$$S' = \frac{QM}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \left(\ln\left(\frac{0,562}{u_{t'}}\right) + \ln\left(\frac{0,562}{u_{t_0}}\right) - \ln\left(\frac{0,562}{u_{t_0+t'}}\right) \right) \quad (3.18)$$

Seinni tveir liðirnir stafa af því að vatnsborðið hækkar miðað við það ástand sem ríkti fyrir í veitinum þ.e. dæling, sjá mynd 3.20. Bókstafirnir í jöfnu (17) tákna:

Q_M er meðal rennsli

t' er tíminn sem liðinn er frá því að dælingu var hætt í sek.

t_0 er tíminn sem dæling stóð yfir í sek.



Mynd 3.20.

Samkvæmt jöfnu ^{3.18} er hægt að lýsa vatnsborðshækkuninni með jöfnunni:

$$s' = \frac{Q_M}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{0,562}{u_{t'}} \cdot \frac{t_0}{t_0+t'}\right) = \frac{Q_M}{4 \cdot \pi \cdot T} \ln\left(\frac{0,562 \cdot 4 \cdot T \cdot t' \cdot t_0}{r^2 \cdot s \cdot (t_0+t')}\right)$$

$$\text{eða } s' = \frac{Q_M}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot s} \cdot \frac{t'}{t_0+t'}\right) \quad (3.19)$$

þ.e. ef vatnsborðs hækkunin s' er teiknuð línulega yfir logaritma af $\frac{t'}{t_0+t'}$, fæst bein lína. Hallastuðull línunnar $\Delta s' = \frac{Q_M}{4 \cdot \pi \cdot T}$ eða leiðin

$$T = \frac{Q_M}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s'} \quad (3.20)$$

Ekki er unnt að reikna geymslustuðulinn nákvæmlega með þessari aðferð.

OPNIR VEITAR. Sambærilegar jöfnur gilda fyrir opna veita og lýst var hér að framan. Ef vatnsborðshækkunin er mikil í hlutfalli við þykkt veitisins þarf að leiðrétta gögnin með því að nota í staðinn fyrir mælda vatnsborðslækkun s , s'' sem er reiknuð skv:

$$s'' = s - \frac{s^2}{2p} \quad (3.21)$$

Samsvarandi einkennisferlar og Theis ferillinn eru til fyrir opna veita.

LEKIR VEITAR EDA HÁLFLOKADIR. Sambærilegar jöfnur gilda fyrir þá og að framan er lýst. Þegar nægilega langur tími er liðinn frá því að dæling hófst, úr efra eða neðra veiti verður leki nægilega mikill til að vega upp á móti frekari lækkun. Til eru einkennisferlar sem lýsa þessu ástandi og gefa, auk gildis á leiðninni, lekastuðul r/B , út frá honum, leiðninni og fjarlægð í dæluholuna er hægt að reikna lektina í hálfþætta laginu sem skilur veitana að.

MINNISATRIÐI UM FRAMKVÆMD LANGTÍMADÆLUPRÓFANA.

1. Hvenær var dælingu hætt? Hvert var rennslið?
2. Hefur dæluholan verið hreinsuð? Ef ekki gerið það, sjá kafla 3.2. Ef þörf er á að hreinsa holuna látið þá a.m.k. jafnlangan tíma og hreinsunin tók líða áður en prófunin hefst.
3. Mælið ótruflað vatnsborðið í dælu- og mæliholum helst í nógu langan tíma til að hægt sé að segja fyrir um náttúrulegar sveiflur. Algert lágmark eru 2 mælingar í hverri holu. Athugið hvort ekki séu holur í grendinni sem ætla má að verði utan við áhrifasvæði dælingarinnar og mælið vatnsborð í þeim fyrir, við og eftir dælinguna.
4. Átlið hversu miklu má dæla úr holunni. E.t.v. getur verið nauðsynlegt að dæla í stutta stund til að gera sér grein fyrir því. Þá verður að líða a.m.k. jafnlangur tími og sú dæling tók áður en sjálf prófunin hefst.
5. Lesið af rennislismæli.
6. Setjið rafstöð í gang.
7. Mælið vatnsborð í dælu- og mæliholum.
8. Setjið dælu afstað og opnið fyrir lokann þannig að það rennsli fáist sem óskað er eftir. Æskilegt er að þetta taki sem allra stysta stund. Skráið nákvæmlega tímann

- hvenær dæling hefst, þ.e. dag, klukkustund, mínútu og sekúnda.
- Mælið rennsli reglulega og reynið að halda því sem jöfnustu. Mælið vatnsborð í dælu- og mæliholum, eins ört og unnt er fyrstu hálfu klukkustundina og síðan á 5-10 mín fresti í tvær klukkustundir. Eftir það strjálá.
 - Mælið vatnsborðið á ca. klukkutíma fresti til að byrja með í holu til að fylgjast með náttúrulegu sveiflum vatnsborðsins sbr. 3. lið. Eftir að lengra verður milli mælinga í dælu- og mæliholum þá við hverja mælingu í þeim.
 - Teiknið lækun vatnsborðsins línulaga yfir logaritma af tímanum frá upphafi dælingar. Línuritið má nota til að ákveða hvenær dælingu má ljúka.
 - Þegar ákveðið hefur verið að hætta dælingu er drepíð á dælunni, ef hún þolir það, annars er skrúfað fyrir rennslið eins hratt og hægt er. Skráið nákvæmlega hvenær dælingu lýkur.
 - Mælið hækkun vatnsborðsins í dælu og mæliholum eins ört og unnt er fyrstu 30 mín. og síðan á 5-10 mín. fresti í tvær klukkustundir. Eftir það strjálá. Haldið mælingum áfram a.m.k. jafn langan tíma og dælingin stóð.
 - Skráið lokastöðu á rennismæli.

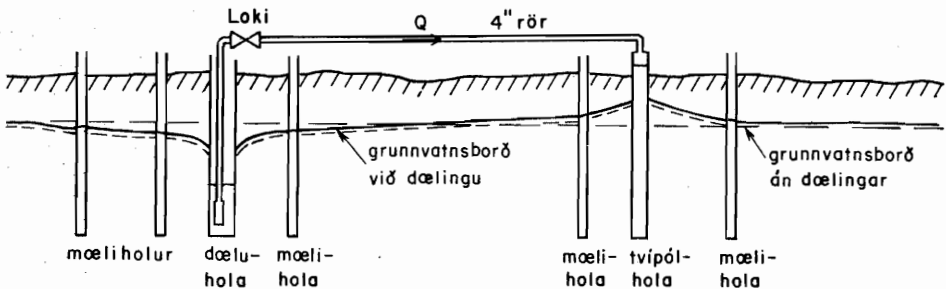
TVÍPÓLPRÓFUN. Við tví

P

ólprófun er vatni dælt upp úr holu, dæluholu, og niður í aðra holu, sem hér verður nefnd niðurdælingarhola, þ.e. jafn

Q

miklu vatni er dælt upp úr veitinum og niður í hann. Við tvípólprófunina næst nýtt jafnvægi í grunnvatnsstöðu á svæðinu, sjá mynd 3.21.



MYND 3.21.

Við prófunina er vatnsborð mælt í holum í grennd við dælu- og niðurdælingarholu. Grunnvatnsbreytingunni við dælingu er lýst með eftirfarandi líkingu, miðað við að forsendur fyrir jöfnu Theis gildi:

$$\Delta h = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot (W(u_N) - W(u_D)) \quad (3.22)$$

þar sem $u_N = \frac{r_N^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$

r_N er fjarlægð frá mæliholu í niðurdælingarholu

$$u_D = \frac{r_D^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

r_D er fjarlægð frá mæliholu í dæluholu.

Jafnan sýnir að fyrir samleitinn og einsleitinn veiti verður engin breyting í grunnvatnshæð miðja vegu milli dælu- og tvíþólholu. Í grennd við niðurdælingarholu hækkar grunnvatnið en lækkar umhverfis dæluholu.

Leiðnina T má finna með ítrekun samkvæmt jöfnunni

$$T = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta h} \cdot (W(u_N) - W(u_D))$$

Eftir að jafnvægi er náð og u_N og u_D eru minni en 0,05 gildir:

$$T \approx \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta h} \cdot \left(\ln \left(\frac{0,562 \cdot 4 \cdot T \cdot t}{r_N^2 \cdot S} \right) - \ln \left(\frac{0,562 \cdot 4 \cdot T \cdot t}{r_D^2 \cdot S} \right) \right)$$

eða $T \approx \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta h} \cdot \ln \left(\frac{r_D^2 \cdot S}{r_N^2 \cdot S} \cdot \frac{0,562 \cdot 4 \cdot T \cdot t}{0,562 \cdot 4 \cdot T \cdot t} \right)$

eða $T = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta h} \cdot \ln \left(\frac{r_D^2}{r_N^2} \right) = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \Delta h} \cdot \ln \left(\frac{r_D}{r_N} \right) \quad (3.23)$

Jöfnu 3.23 má nota við að reikna leiðnina ef

$$u_D < 0,05 \text{ og } u_N < 0,05$$

Ekki verður farið nánar út í úrvinnslu tvíþólprófunar hér,

en á það bent að hún hentar vel við mat á leiðni í veitum þar sem leiðni er mikil, sbr. tafla 3.1.

Birgir Jónsson

4

LEKTUNARYFIRLIT

4.1 TILGANGURINN MED ÞESSU ÖLLU

Tilgangur lektarprófana er að afla upplýsinga um streymi, eða mögulegt streymi vatns um jarðlögin. Þarna gildir sem annars staðar, að reyna að fá sem mestar upplýsingar fyrir sem minnstan kostnað. Ef á annað borð er verið að bora holu í jarðlögin er yfirleitt hægt að fá einhverjar upplýsingar um lekt jrðölaganna sem holan fer í gegum án nokkurra aukatækja og með mjög lítilli töf á borverkinu. Vilji menn fá nánari lektarprófanir kostar það viðbótartæki og meiri tíma. Undanfarið hefur verið lögð á það áhersla á Vatnsorkudeild að gera þessi tæki þannig úr garði, að þau veiti öruggar upplýsingar á sem stystum tíma svo að borafköstin verði sem mest. Í vissum tilfellum þar sem hætta er á miklum leka sem gæti valdið verulegum kostnaði eða gjörbreyttri hönnun mannvirkis, hafa verið boraðar sérstakar rannsóknarholur eingöngu til rannsókna á mögulegri lekt

Algengast er að lektarprófanir séu gerðar af eftirfarandi ástæðum:

1. Til að meta mögulegt rennsli um jarðlög: -leka undir stíflur, leka úr og í skurði, leka úr og í jarðgöng.
2. Til að meta áhrif þéttiaðgerða á jarðlög svo sem grautun undir stíflur, við skurði og í jarðgöngum.
3. Til að meta afköst borhola: - neysluvatn, heitt vatn, olfa, og vegna lækkunar grunnvatnsborðs við byggingaframkvæmdir.
4. Til að meta þéttleika lausra jarðlaga (aðallega efni í stíflur).

Yfirleitt eru þessar mælingar gerðar á staðnum ("in situ"), en í vissum tilfellum t.d. varðandi laus jarðlög eru einnig gerðar lektarprófanir í rannsóknarstofu. Leki undir eða gegn um stíflur getur valdið útskolun efnis (piping) sem getur haft hættuleg áhrif á stöðugleika stíflunnar auk þess, að vatn tapast úr uppistöðulóninu við lekann.

4.2 HELSTU AÐFERÐIR VIÐ LEKTARPRÓFANIR

1. Rennslisprófanir: ódýrar - geta mælt mikinn leka - mæla leka í næsta umhverfi borholu.

Einföld og ódýr prófun sem kemur að mestum notum ef hún er endurtekin á sama hátt meðan á borun stendur við mismunandi dýpi í holunni. Ein mæling sýnir bara heildarlekt holunnar miðað við visst dýpi hennar en mælingar við mismunandi holudýpi sýna hvar lekasvæðin eru. Dælt er í holuna og henni haldið fullri og rennslið mælt, eða mælt hve ört vatnsborð sígur í holustúti, eða vatnsborðsbreytingar í holunni mældar með þrýstiskynjara meðan á dælingu stendur.

2. Pakkaraprófanir: nokkuð ódýrar, - mæla ekki nákvæmlega mesta leka, - mæla lekt í næsta umhverfi holunnar.

Afmarkað er bil í holunni frá botni og upp að útpöndum gúmmipakkara, eða bil milli tveggja pakkara. Dælt er vatni í þetta bil undir mismunandi þrýstingi og rennsli mælt vandlega. Fylgst er með vatnsborðsbreytingu í holunni strax eftir að dælingu er hætt. Ef fleiri en einn vatnsleiðari finnst í holunni er hægt að loka á milli þeirra með pakkara og mæla þrýstihæð í hverjum leiðaranum fyrir sig.

3. Drepaðæluprófanir: ídæling ódýr, - úrdæling dýrari, - geta mælt mikinn leka, - mæla lekt við dæluholu og væntanleg afköst holu.

Dælt er úr holu eða í hana sifjellt meira vatni í ákveðnum þrepum og fylgst með vatnsborðsbreytingum í holunni.

4. Langtímadæluprófanir: ídæling ekki mjög dýr, - úrdæling dýr, - geta mælt mikinn leka, - mæla lekt jarðlaga milli dæliholu og mæliholu í nágrenninu.

Dælt er úr holu eða í hana sama vatnsmagni í langan tíma og vatnsborð í nálægum holum mælt.

5. Tvíþólprófanir: dýrar mælingar, - geta mælt mestan leka, - mæla lekt jarðlaga milli dæluholu og niðurdælingarholu.

Dælt er úr einni holu og niður í aðra og fylgst með vatnsborðsbreytingum í nálægum mæliholum.

6. Rannsóknarstofuprófanir: ódýr mæling (stundum dýr sýni), - oftast mæld lítil lekt.

Mæld er lekt í litlu, óhreyfðu eða meðhöndluðu (t.d. samþjöppuðu) sýni til að meta lekt jarðlags sem sýnið er tekið úr eða í væntanlegri fyllingu úr sama efni t.d.

Þéttikjarna í jarðstíflu.

Ath. Aðferðir þessar (nema nr 2 og 6) er líka hægt að nota í gryfjum og tilbúnum lónum.

Áður en sú aðferð sem nota skal er valin, þarf að vita sem mest um jarðfræði- og jarðvatnsfræðilegar aðstæður á hverjum stað og auðvitað þarf einnig að taka tillit til leyfilegs kostnaðar.

Áður en prófun er gerð þarf að skoða borkjarna og/eða svarf sé það fyrir hendi. Frá borstjóra eða úr borskýrslu fást upplýsingar um þvermál borholu, þvermál og lengd fððurrörs, steypu í holuveggjum, hegðan vatnsborðs og skolvatns við borun, þ.e. á hvaða dýpi vatnsborð og/eða skoltap og/eða litur skolvatns breyttist o.s.frv.

Staðlaðar lektarmælingar í rannsóknarholum VOD eru pakkaraprófun og rennislisprófun í holum sem eru 76 mm í þvermál eða minni. Þessar holur eru yfirleitt kjarnaholur eða "loftborsholur" (þ.e. boraðar með loft- eða vökvaknúnum hamri og snúningi). Loftborsholurnar hafa ójafnari veggir en kjarnaholurnar og því ekki eins öruggt að pakka í þeim.

Í vissum tilfellum er gripið til dæluþrófana (líðir 3 til 5), en ef dæla þarf úr holunum með borholudælum sem sökkt er niður í þær þarf að bora sérstakar, víðar dæluholur, yfirleitt með höggborum (Cable tool drills). Þá er lektarprófunin orðin tímafrekur og dýr þáttur í undirbúningsrannsóknum, en ekki lengur tiltölulega ódýr líður í stöðluðu rannsóknarborverki.

4.3 LEKALEIÐIR VIÐ MISMUNANDI JARÐFRÆÐILEGAR AÐSTÆÐUR.

Erfitt er að alhæfa um lekaleiðir í mismunandi jarðmyndunum en hér á eftir er minnst á helstu lekaleiðir sem oft þarf að mæla í jarðlögum frá ýmsum aldri. Leggja ber áherslu á að nákvæmt jarðlagalíkan skiptir höfuðmáli til þess að hægt sé að setja upp gott grunnvatnslíkan og saman eiga þessi líkön að benda á mögulegar lekaleiðir.

Tertiært berg. Yfirleitt er tertfært berg orðið mjög þétt vegna útfellinga í þórum og sprungum og lekaleiðir því

oftast eftir brotalinum og misgengjum sem myndast hafa síðar, þótt aðrar lekaleiðir kunni að vera enn opnar t.d. lagamót. Þetta kemur fram þannig að á einstaka stað í borholum lekur mikið en e.t.v. lítið þar á milli. Misgengin geta líka verið þétt vegna ummyndunar, samlímdrar misgengisbreksfu og sprungufyllinga. Nokkrir aðskildir vatnsleiðarar, sem afmarkast af vatnsheldum setlögum að ofan og neðan og þéttri misgengisbreksfu til hliðanna geta því verið til staðar. Á jarðgangaleiðum bæði Blöndu- og Fljótsdalsvirkjunar virðast aðstæður vera slíkar. Í heillegu bergi erlendis er algengt að aðallekasvæði séu bundin við brotalinur.

Ár og miðkvartert berg. Þetta berg er yfirleitt orðið nokkuð þétt vegna holu- og sprungufyllinga, en óregla vegna upphleðslu móbergsmýndana, eykur einnig á óvissu um lekaleiðir. Brotalinur og misgengi í þessum jarðmyndunum hafa yfirleitt sömu áhrif og í tertferu bergi, þ.e. annaðhvort hindra grunnvatnsstreymi þvert á brotflötinn, eða beina vatni eftir brotasvæðinu, sé það ennþá nógu opið. Til dæmis var eini lekinn í göngunum við Laxá III um sprungur (30-40 °C) en einnig lak töluvert af köldu vatni úr yngra móbergi sem er fyrir ofan jarðgöngin niður um borholur og lokustokk. Mestur hluti Búrfellsganga er ofan grunnvatnsborðs en í þrýstigöngunum nálægt stöðvarhúsi lak dálítið um sprungur. Í Sandafelli og á stíflustæði við Eyjabakka virðist berg af þessum aldri vera þétt nema við einstaka sprungu.

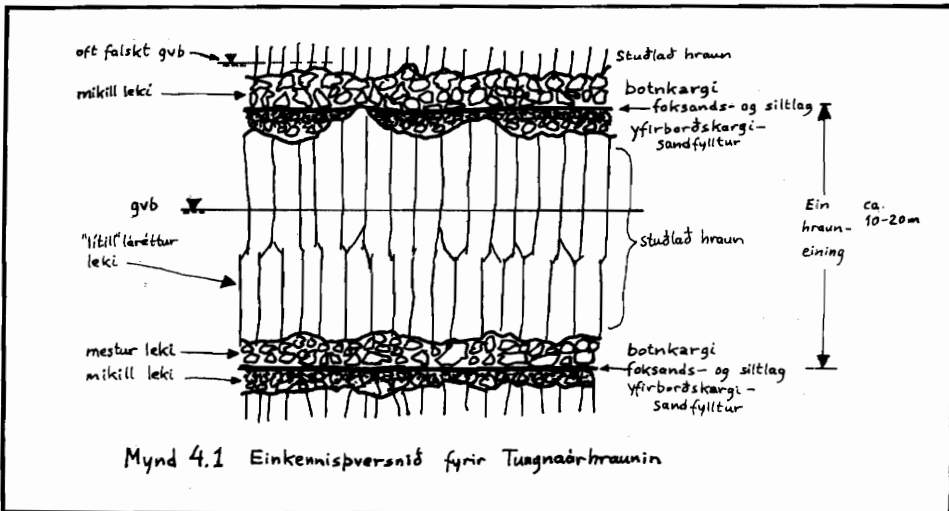
Sfökvartert berg. Þetta berg er það ungt að það hefur lítið þétt vegna útfellinga. Leki er því að miklu leyti eftir upphaflegum lekaleiðum í berginu, t.d. í bólstrabergi og í basaltlögum er nokkur leki bæði í lagamótakarga og eftir stuðlasprungum. Í þessu bergi eru brotalinur auðvitað einnig mögulegar lekaleiðir sérstaklega nálægt virkum svæðum t.d. við Dettifoss.

Lögin í þessum jarðmyndunum eru einnig mjög mislek, t.d. eru fín sandsteins-, siltsteins- og túff lög yfirleitt þétt en völuberg og jökulberg nokkuð mislekt. Í vel samlímdu völubergi verður aðallekinn um sprungur. Jökulruðningur/jökulberg með fínum millimassa lekur sáralitlu uns það er orðið nógu stökkt til að mynda sprungur sem yfirleitt leka nokkuð. Sprungur þessar eru bæði brotalinur vegna höggunar og eins sprungur vegna "flögunar" (relief joints) sem oft liggja samsíða yfirborði (þ.e.

hallandi í hlífum), og hafa sennilega myndast vegna samblands af álagi ísaldarjökuls og farglétti við bráðnun hans. Lekaleiðirnar eru því bæði eftir stórum sprungum og litlum (joints).

Á stíflustæðum Blönduvirkjunar er jökulruðningurinn yfirleitt þéttur, nema á leysingarruðningssvæðum þar sem mjög lekar malarlinsur eru yfirleitt á minna en 8 m dýpi. Undir vesturenda Þórisóssstíflu var einnig nokkur leki um grófan jökulruðning. Hann gaf ekki kjarna og lak meira en 40 LU.

Hraun frá nútíma. Hér er um níglek jarðlog að ræða og er lárétt lekt u.þ.b. 10 sinnum meiri en lórétt lekt. Í póleifthraunum skiptist hver hrauneining yfirleitt í; **1. yfirborðskarga**, (sjá mynd 4.1) oft blandaðan foksandi og fokmold og því nokkur hindrun lóréttu rennsli, **2. miðhluta hrauns**, nokkuð heilsteyptan og **3. botnkarga** sem líft eða ekki hefur þétt af fínna efni og því alveg hríplekur (k-gildi allt upp í 0,1-1 m/s). Dæmi um slíkt eru í Sigöldu og Svartsengi. Í dyngjuhraunum er líftið um kargalög en samt er mikil lárétt lekt á mótum hinna mörgu og misþykku belta í hverju dyngjuhrauni og auðvita á mótum sjálfra hraunanna. Dæmi um þetta er Elliðaárhraun.



Mynd 4.1 Einkennispversnið fyrir Tungnaörhraunin

Laus jarðlög. Hér skiptir kornastærð öllu máli og eru leir- og málulög nær vatnspétt og malarlög mjög lek en sandur allt þar á milli. Ef skiptast á gróf og fín lög er lóðrétt lekt lítil en hins vegar verið mikil lárétt lekt eftir grófu lögunum. Dæmi um þetta er set undir hrauni ofan Sultartanga og aurkeilan við Eyjabakkastíflu.

4.4 LEKALEIÐIR VIÐ MISMUNANDI MANNVIRKI

Nokkuð mismunandi áhersla er lögð á lektarprófanir og þá tegund prófunar sem notuð er, eftir því um hvernig mannvirki er að ræða. Mikilvægastar eru lektarprófanir fyrir stíflur en engu að síður nauðsynlegar fyrir ýmis önnur mannvirki.

Stíflur: Mest lekahætta er á stíflustæðum á hraunum frá nútíma. Þá er aðallega um að ræða láréttan leka eftir gjallögum hraunanna, sérstaklega botnkarga og einnig eftir hraunjöðrum eins og t.d. við Sigöldu. Svipað gildir við Hrauneyjafoss en stíflan þar er mun lægri og ekkert gljúfur nálægt sem dregur niður grunnvatnsborðið á stíflustæðinu.

Á Tungnaársvæðinu hefur tiltölulega fín foksandur blandast efra kargalaginu í hverju hrauni og minnkar lóðréttu lekt. Hins vegar er nokkuð um gervigíga á vissum stöðum í Tungnaárhraunum en þeir eru í raun "gjallstrompar" sem ná yfirleitt í gegnum hvert hraunlag og örva því mjög lóðréttu lektina. Stórt gervigígasvæði er t.d. nálægt Sultartangastíflu en að mestu neðan við hana.

Undir hraunum geta verið mjög lek malarlög eða leysingarruðningsmyndanir sem þarf að varast. Við Þórisósstíflu kom fram nokkur leki (að vísu utan við hraunjaðar) gegnum grófan jökulruðning, sem nær undir hraunið. Í yngsta grágrýtinu er töluverð lekahætta í gjallkarga hraunlaganna, en t.d. við Dettifoss er mesta lekahætta á mannvirkjasvæðinu vegna virks sprungusveims.

Í miðquarтеру bergi á stíflustæðum Blönduvirkjunnar, þar sem jarðlögin eru aðallega basalt og jökulberg, komu fram lekaleiðir á stöku stað, sennilega um sprungur, stórar og smáar.

Þau fáu stíflustæði sem ráðgerð eru á tertíeru bergi eru sennilega þétt t.d. við Villinganes, en á einstaka stað virðist tertíera bergið ekki hafa þétt sig t.d. ofarlega í

Vestfjarðastaflanum. Þar koma fram nokkrar lindir og var leki eftir lagamótum mikið vandamál við uppistöðulón Nónhornsvatnsvirkjunar við Ísafjörð. Þá geta leynst nær láréttar flögunarsprungur (relief joints) í tertieru bergi eins og til dæmis kom í ljós á stíflustæði Smyrlabjargaárvirkjunar, þar sem þurfti þó nokkuð að grauta í bergið til þéttingar.

Laus jarðlög á stíflustæðum eru yfirleitt til vandræða hér á landi. Eitt elsta dæmið er stíflustæðið við Skeiðsfoss í Fljótum, sem stendur að hluta á framhlaupi og lekur nokkuð. Komu fram lindir sem ollu skemmdum á undirstöðum þrýstivatnspípu virkjunarinnar. Á stíflustæði Villinganesvirkjunar er um 15 m þykk gljúrfurfylling úr hálfsmálmíðri ármöl eða jökulruðningi og lekur þessi fylling mjög mikið.

Við vesturenda Eyjabakkastíflu er lægð í berggrunninn og er hún fyllt lausu seti frá aurkeilu úr Snæfelli. Reynt var að lektarprófa þessa myndun með því að bora fódúrrör niður með loftbor og síðan bora ófóðraða holu 3 m niður úr rörunum. Síðan var sett hetta á efsta rörið og dælt niður vatni með mismunandi þrýstingi. Svona voru holurnar dýpkaðar 3 m í einu niður á um 30 m dýpi. Í ljós komu greinilega mismunandi lek lög, þ.e. mismunandi siltrík lög eins og við er að búast í aurkeilu, en ekki var hægt að tengja lögin milli borhola, sem bendir til þess að lekarásir liggi nokkurn veginn eins og útstrekktir fingur út frá toppi aurkeilunnar, eins og sést núna vera að myndast á yfirborðinu.

Skurðir: Hér er um svipaða hættu að ræða og í jarðlögum á stíflustæðum, þ.e. leki gegnum jarðlögin út úr skurðinum, sem getur valdið útskolun og vatnstapi (úr aðrennslisskurðum). Einnig er mikilvægt að geta metið mögulegan leka inn í skurðinn, sérstaklega vegna erfiðleika sem lekinn kann að valda á byggingartíma. Aðrennsliskurðir Sigöldu- og Hrauneyjafossvirkjana, sem grafnir eru gegnum óreglulegar og lekar móbergsmýndanir voru fyrir ofan grunnvatnsborð og því enginn leki inn í þá. Hins vegar var hætta á leka út úr þeim og voru skurðveggir og botn því þéttir með steypuásprautun. Skurðurinn ofan við aðrennslisgöng Búrfellsvirkjunar, sem grafinn er í miðkvarter lög, virðist ekkert leka enda þótt ekkert hafi verið gert til þéttingar.

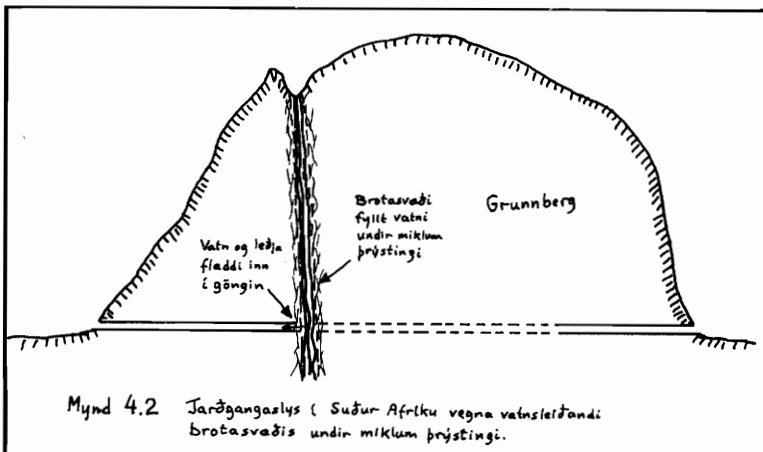
Á sprungusvæðum er hætta á leka um virkar sprungur og eins

að eldri sprungur opnast ef djúpt er á jarðvatni á spennulitlum svæðum ("Langöldu áhrif"). Dæmi um slíkt erlendis er frá Arapuni virkjuninni á Nýja Sjálandi (í móbbergsmýndun). Sprunguvirkni var stöðvuð með því að þetta skurðbotn og veggi svo sprungur næðu ekki að fyllast af vatni.

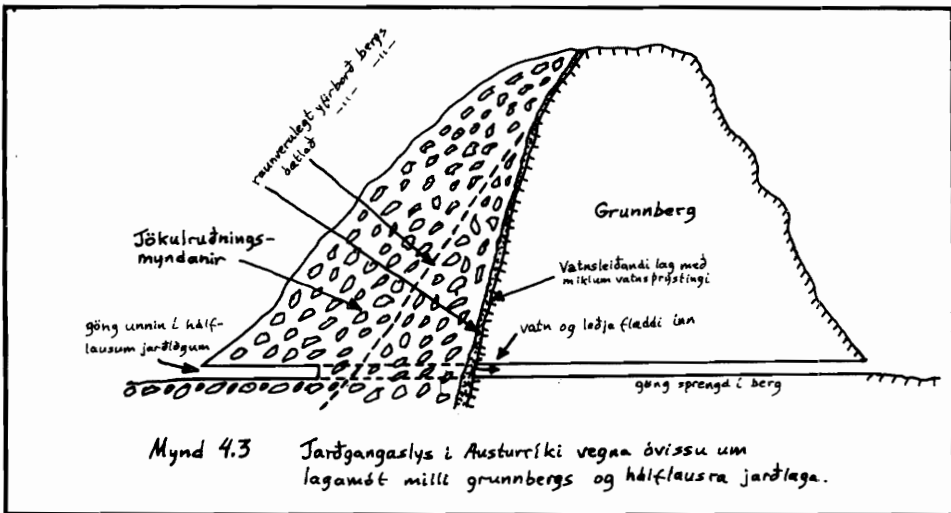
Lítið er um að virkjanarskurðir hér á landi séu grafnir í laus jarðlög, en þó eru dæmi þess við litlar virkjanir, t.d. aðveituskurðir Laxárvatnsvirkjunar og neðri virkunarinnar við Skeiðsfoss. Einnig er veituskurður inn í Stífluvatn við Skeiðsfoss eingöngu grafinn í laus jarðlög. Á þessum þremur stöðum hagar svo til að ekki verður vart leka úr skurðunum, enda um fremur fínkornótt set að ræða.

Jarðgöng: Varðandi jarðgöng og önnur neðanjarðamannvirki er mikilvægt að geta metið mögulegan leka inn í göngin, því mikill aukakostnaður er því samfara að þurfa að deila vatni stöðugt úr. Eins þarf að áætla mögulegan leka út úr göngunum ef um er að ræða vatnsgöng með hærri þrýstingi en grunnvatnið umhverfis.

Hættulegustu tilfellið sem hægt er að fá á byggingartíma er þegar göngin lenda skyndilega inn í vatnsleiðandi svæði með miklum þrýstingi (t.d. sprungusvæði) og vatn fossar inn. Möguleiki er á brotasvæðum með þessa eiginleika á gangaleið Blöndu- og Fljótsdalsvirkjana, en þær lekaleiðir sem fundist hafa, virðast ekki geta flutt það mikið vatn að skyndilegur leki úr þeim geti valdið hættu. Yfirleitt hefur vatnsrennsli inn í jarðgöng á Íslandi ekki valdið teljandi vandræðum (sbr. Búrfell og Laxá III fyrr í kafla 4.3).

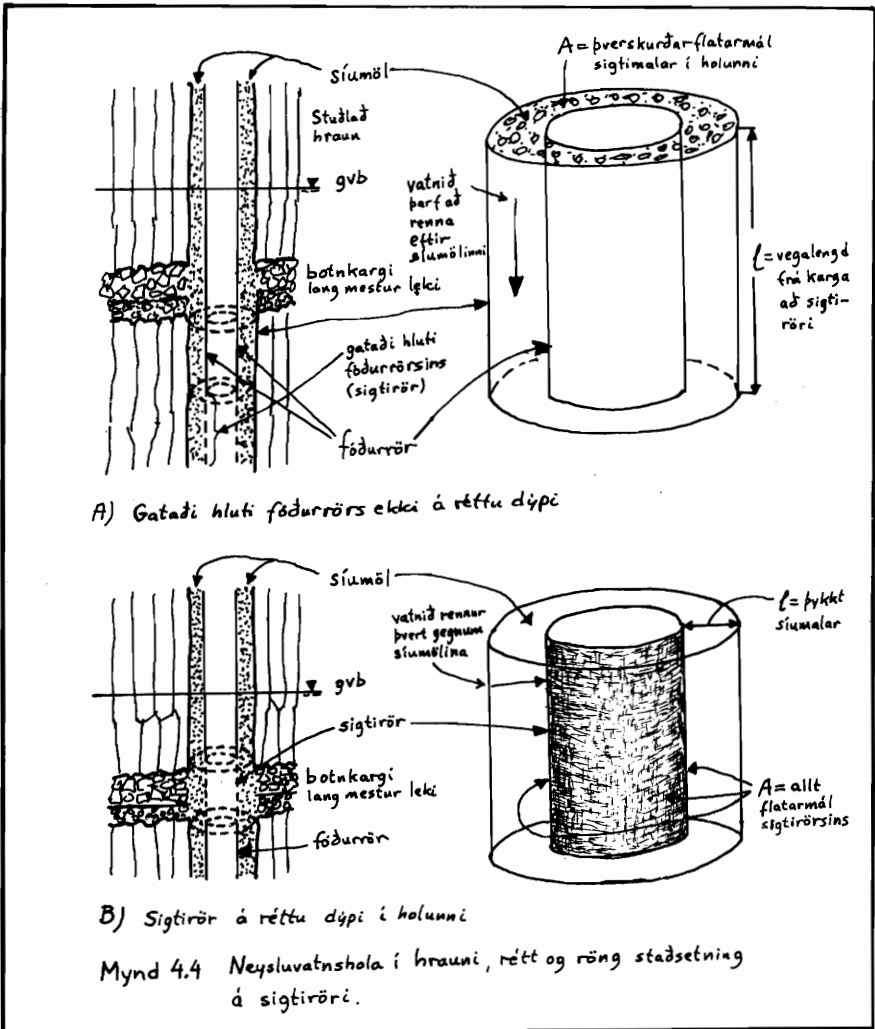


Í jarðgöngum í Suður Afríku, þar sem verið var að bora með 150 tonna jarðgangaborvél var komið skyndilega að opnu sprungubelti með svo miklum vatnsþrýstingi að bergstálið ("feisið") sprakk inn (sjá mynd 4.2), og ýtti vélinni um 30 m út eftir göngunum og drap áhöfnina samstundis. Í jarðgöngum í Austurríki voru lagamót milli grunnbergs og jökulmyndana brattari en gert hafði verið ráð fyrir (sjá mynd 4.3) og göngin komu skyndilega út úr grunnberginu inn í vatnsleiðandi botnlag í jökulruðningnum. Við það flæddi leðja og vatn undir miklum þrýstingi inn í göngin og fyllti þau á um 200 m kafla af þeim. Starfsmenn áttu fótum fjör að launa og komust naumlega undan.



Neysluvatnsholur: Nauðsynlegt er að vita hve mikið holurnar gefa við dælingu til þess að hægt sé að ákveða hvort hagkvæmt sé að nýta þær, því borholudælingur eru dýrar. Komið hefur fyrir að við nýtingu gefi holur mun minna en nálægar holur í sömu myndun. Hætta er á að slíkt eigi sér stað ef gataði hluti fðurrorsins er ekki á sama dýpi og lekustu lög in holunni ef hún fer gegnum mislek lög. Eins og áður hefur verið sagt er mestur leki í hraunum um gjallkargann en mun minna í stuðlaða hluta hraunsins (sjá mynd 4.4). Einnig er algengt að í jarðlögum skiptist á þétt leir- eða málurík lög á móti grófum malarlögum, sem gefa mikið vatn.

Ef vatnið sem dælt er upp úr holunni þarf að ferðast lengri eða skemmri leið eftir síumölinni, utan við fôðurrörrið, í stað þess að flæða stystu leið gegnum mölina og inn í holuna, þá stórlækkar það vatnsmagn sem hægt er að dæla úr holunni (Q í formúlu Darcys). Þetta verður vegna þess að þverskurðarflatarmálið (A), sem vatnið flæðir í gegnum minnkar stórlega, en vegalengdin sem vatnið þarf að fara eftir mölinni (l) lengist. Sbr. formúlu Darcys: $Q = Aki$, $i = h/l$, $k =$ lektarstuðull, $h =$ vatnsþrýstingur. (sjá allt um það í kafla 2)



4.5 ÝMIS TILFELLI

Ýtarlegar lýsingar á lektarprófunum við ýmsar aðstæður er að finna í fjölmörgum skýrslum Vatnsorkudeildar OS.

Fljótsdalsvirkjun: Eitt besta dæmið um vandaða lektarprófun í tertferu bergi er að finna í skilagrein OS82016/VOD12B eftir Snorra Zóphónfásson um jarðfræði og lektarprófanir á jarðgangnaleiðum Fljótsdalsvirkjunar.

Sultartangi: Umfangsmestu dæluprófanir vegna lektarmælinga hér á landi hafa farið fram á Sultartangasvæðinu, í þykku hraunlagi frá nútíma, þ.e. einu af Tungnárhrauninum. Á árunum 1980-1981 komu út nokkrar skýrslur á vegum Vatnsorkudeildar um þessar dæluprófanir og grunnvatnslíkön byggð á þeim (sjá skýrslu OS80019/ROD09 eftir Jón Ingimarsson og greinargerðir sama höfundar, J.I. 80/06 og 81/04).

Sigalda: Mjög ýtarlegar skýrslur og greinar eru til um grunnvatnsaðstæður og lektarmælingar í nágrenni Sigölduvirkjunar. Fyrstu skýrslur um svæðið voru jarðfræðiskýrslur Guðmundar Kjartanssonar fyrir Raforkumálastjóra frá árunum fyrir 1960. Boranir við Sigöldu hófust 1959 og þar með fyrstu lektarprófanir. Eftir 1965 var borað meira og minna á hverju ári í Tungnárhraunum og frá 1967 aðallega við Sigöldu allt fram yfir byggingu virkjunarinnar. Fyrstu grunnvatnslíkönin sáu dagsins ljós eftir að boranir hófust og urðu sífellt nákvæmari eftir því sem upplýsingar urðu meiri og reiknilíkön betri. Fram til 1970 var þetta verk aðallega unnið af starfsmönnum Raforkudeildar OS og Landsvirkjunar.

Á árinu 1970 koma inn í málið verkfræðistofurnar Virkis og Electrowatt. Eftir það voru framkvæmdar miklar viðbótarboranir auk ýtarlegra lektar- og grautunarprófa fram að byggingu virkjunarinnar. Á byggingartíma voru gerðar mikilvægar athuganir til að "núllstillta" svæðið nákvæmlega áður en byrjað var að safna í lónið. Meðan verið var að safna í og lækka í lóninu á árunum 1978-1982 var mjög nákvæmt eftirlit á svæðinu hvað varðar grunnvatnsástand. Líkan af grunnvatnshæðun er orðið mjög nákvæmt og öllum mögulegum mælingum hefur verið beitt við leit að lekaleiðum. Þá hefur og ýmsum aðferðum verið beitt við þéttingar á lónbotninum. Á þessum árum unnu við þetta verkefni; Landsvirkjun, Vatnsorkudeild OS, Raunvísindastofnun Háskólans auk verkfræðistofanna Virkis og Electrowatts.

Framvinða rannsóknanna og niðurstöður hafa birst í ýmsum skýrslum frá þessum tíma.

Jarðhiti: Yfirgripsmestu rannsóknir vatnskerfa á lághitasvæðum hér á landi hafa verið gerðar á Reykjavíkursvæðinu og eru ýmsar skýrslur og greinargerðir frá Jarðhitadeild um það verk eftir Þorstein Thorsteinsson o.fl.. Þar hafa vatnsprýstingur og pakkarar verið notaðir til þess að örva rennsli inn í borholur og hefur það gefist vel (sjá skýrslur og greinar eftir Jens Tómasson o.fl.).

Sem dæmi um ágætari straumfræðirannsóknir á háhitasvæði hér á landi má nefna Svartsengi. Straumfræðilegt líkan yfir eiginleika jarðhitasvæðisins í Svartsengi og jarðhitakerfa á utanverðum Reykjaneskaga er sýnt í skýrslu OS80021/ROD10/JHD17 eftir Snorra P. Kjarian, Jónas Elfasson og Gísla Karel Halldórsson.

4.6 LOKAORÐ; - BOÐORÐIN FIMM.

1. Byrjaðu á því að hugsa málið í a.m.k. 2 mínútur. Ekki gera rútfínuprófun án þess að hugsa um aðstæður og e.t.v. bæta einhverju við prófunina til öryggis ef þú telur að það geti orðið að gagni.
2. Athugaðu allar mögulegar upplýsingar úr kjarna og borskýrslu og talaðu við borstjóra áður en prófað er og pakkara valinn staður.
3. Reyndu að prófa hverja lekaleið sér, þ.e. ekki dreifa miklum leka, sem er á 20 cm bili, yfir á 20 m af þétu bergi.
4. Gerðu jafnóðum lauslegan útreikning á staðnum til þess að sjá hvort eitthvað sé undarlegt við niðurstöðurnar.
5. Aldrei að deyja ráðalaus. Það er alltaf hægt að framkvæma prófun sem kemur að einhverju gagni, jafnvel þótt allt sé bilað!

Þórólfur H. Hafstað
LEKTANIR Í RANNSÓKNARHOLUM

5

"Steinarnir eru stengir
stengina vatnið knýr,
gaman væri að vita
hvað í vatnsins huga býr"
Píla Pína

5.1 INNGANGUR

Hegintilgangur rannsóknarborana er yfirleitt að afla upplýsinga um jarðfræði á þeim stöðum þar sem áætlað er að mannvirki rísi. Að jafnaði þykir mestu máli skipta að fá sem óbrjáluðust sýni úr jarðlagastaflanum hvort heldur sem um er að ræða kjarna eða svarf. Samt er það oft ekki síður mikilvægt að afla upplýsinga um vatnsleiðnieiginleika þessa bergs og grunnvatnsástand á svæðinu yfirleitt.

Nú er það oft tíðum álitamál hversu umfangsmikla og ýtarlegar lektarmælingar í borholum eiga að vera. Það sem mestur ræður um það er að sjálfsögðu hvers kyns mannvirki á að gera á rannsóknarsvæðinu og hversu þýðingarmikið er að vita glögggt um lekt jarðlaganna við hönnun þeirra. Það verður til að mynda að ætla að qerð stfflumannvirkis verði að taka verulegt tillit til lektar undirliggjandi jarðlaga. Á hinn bóginn er rétt að undirstrika það að vitneskja um lekt hefur aldrei komið sér illa þegar upp er staðið. Algengara er að menn sakni lektarmælingar þar sem síst skyldi.

Áður en lengra er haldið er rétt að minnst aðeins á hvað verið er að gera þegar lektarmælt er í borholu. Í sem stystu máli má segja að vatni sé troðið með mismiklum þrýstingi ofan í holu í jörðina. Viðbrögð holunnar eru mæld og skráð, en sjaldnast er um neinar mælingar utan hennar að ræða. Það má því segja að verið sé að lektarmæla þetta mannvirki sem borholan er. Það er reyndar ljóst að eitthvað samband er á milli holunnar og þeirra jarðlaga sem hún sker, nema auðvitað ef hún er veggfóðruð með sementi, gæli ellegar öðru ógæði. Það má búast við að einhver breyting geti átt sér stað á lektareiginleikum bergsins næst holunni við það að borað er í það. Líklega er algengast að það þéttist hið næsta henni vegna borsvarfis

sem sest í lekaleiðirnar út frá henni. Það er ekki fráleitt að ætla að þess konar þétting eigi sér helst stað þar sem berg er lekt fyrir og e.t.v. ekki síft ofan grunnvatnsborðs þar sem djúpt er á það. Þetta vill einkum brenna við þar sem vatn og þá um leið borsvarf hefur skilað sér illa eða alls ekki upp til yfirborðs meðan á borun stöð. Það má ljóst vera að næsta örðugt er að leggja nokkurt mat á hversu áhrifamikil þess háttar þétting er. Á þetta er einungis minnst hér til að minna á að náttúran lætur sjaldnast að sér hæða þegar á að fara að mæla hana og að allar mælingar á að taka inn með almennri skynsemi og eftir því sem við á hverju sinni.

Við lektarmælingar í einstökum borholum er yfirleitt sóst eftir að vita stærðargráðu lektarinnar. Þó reiknað sé samviskusamlega út úr mælingunum uppá kommu og aukastaf, þá ber ekki að taka útkomuna sem heilagan, nákvæmann sannleika. Þetta réttlætir samt sem áður engann veginn hroðvirkni og sluks við sjálfar mælingarnar.

Hér á eftir verður gerð grein fyrir þrem aðferðum við lektanir í borholum, rennslismælingu, pakkaprófun með einföldum pakkara og svo pakkaprófun hinni meiri. Reynt verður að geta einhverra þeirra aðstæðna sem tillit verður að taka til og hversu skuli að mælingunum staðið. Ekki er um virkni einstakra áhalda fjallað, hvorki dælu né pakkara, en um pakkara SZ og meðferð hans er fjallað í kafla 6.

Hér er og gert ráð fyrir að jarðlög og vatnafar grunnvatns séu með hinu venjulegasta móti. Þegar út af því bregður eru aðstæður oftast svo sérstæðar að varla er hægt að nota neinar venjulegar forskriftir um það hvernig standa skuli að verki. Í þessu sambandi má benda á tilvik þar sem grunnvatn er undir þrýstingi í lokuðum eða hálflokuðum vatnsleiðara (veiti) eða þar sem vatnsflæði er milli tveggja eða fleiri vatnsleiðara sem holan sker. Þó lektun í borholum gefi jafnan gleggsta mynd af vatnsleiðnieiginleikum jarðlaganna sem borað er í, má ekki líta fram hjá því að aðrar mælingar geta einnig gefið markverðar upplýsingar þar um. Þar skipta tíðar grunnvatnsmælingar e.t.v. hvað mestu máli. Hæð grunnvatnsborðs er oft breytileg á bortímanum og er mikils vert að þess háttar upplýsingum sé til haga haldið, þar sem þar geta komið upp um lekavald sem annars slyppi undan glöggu lekorsauga. Þá hafa hitamælingar í borholum einnig gefið allglöggar upplýsingar um inn- og útstreymissvæði í

holum ásamt straumnælingum í þeim.

Við lektarmælingar í borholum er oftast notuð mælieiningin LU (Lugeon unit). Þessi eining er skilgreind sem leki (lítrar á mínútu) á hvern lengdarmetra í holu sem $l = 76$ mm í þermál þegar þrýstingur er 10 kg/cm^2 . Að jafnaði er farið frjálstlega með þann þátt sem lýtur að holuviddinni og segja sumir 40-80 mm og að í grófum dráttum jafngildi LU lektinni 10^{-5} m/s. Til þess að sem gleggst sé reiknuð lektin getum við hér notað uppskriftina:

$$K = \frac{Q}{\Delta h} \cdot \frac{\ln(l/a)}{2\pi l}$$

þar sem K er lektarstuðull (m/s)

Q er Vatnsrennsli (m^3/s)

h er þrýstingur í prófunarbílinu (m)

l er lengd prófunarbilsins (m)

a er þvermál holunnar (m)

Þessi jafna er töluverð einföldun á raunveruleikanum. Til að mynda er ekkert tillit tekið til þess tíma sem æfingarnar tóku, né heldur geymslustuðuls bergsins. Hér eru notaðir metrar, eins og raunar er skylt samkvæmt SI-kerfinu, en ekki sentimetrar eins og lektunareyðublaðið gerir ráð fyrir.

Sjaldnast reynist unnt að ná tilskyldum 10 kg/cm^2 þrýstingi við venjulegar lektarprófanir. Er holan þá reynd við lægri þrýsting og í nokkrum þrepum og niðurstöðurnar framreiknaðar svo sem um 10 kg/cm^2 væri að ræða.

Þegar lektað er með þakkara á litlu dýpi, getur verið varasamt að dæla undir of miklum þrýstingi í holuna, þar sem ekki má ofbjóða bergspennu jarðlaganna. Ef þar er gert, brýtur vatnsþrýstingurinn upp bergið og í versta tilfalli breytist þokkalegt borstæðið í drulludý. Bergspennan er háð dýpinu í jarðlagastaflanum og eðlisþyngd bergsins. Venjulegt basalt getur haft eðlisþyngd nálægt 2,7. Í 20 m djúpri holu gefur vatnssúla í henni 2 kg/cm^2 þrýsting. Í basatli er bergspennan á sama dýpi 2,7 sinnum meiri, eða $2 \times 2,7 = 5,4 \text{ kg/cm}^2$. Með öðrum orðum má reikna með að þegar þrýstingur mælist $3,4 \text{ kg/cm}^2$ á yfirborði, megi búast við að holan sprengi sig út sem kallað er.

Tafla 5.1.
Eðlisþyngd nokkurra berggerða

Basalt: 2,7	Bólstraberg: 2,2
Bexfa, grjótrík: 1,8	Túff: 1,5

5.2 RENNSLISMÆLING

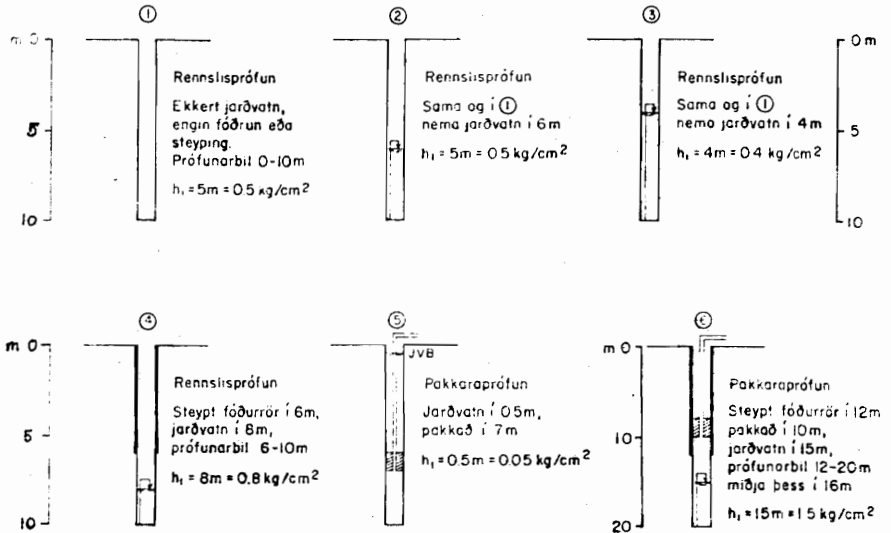
Segja má að rennslismæling sé sú lágmarkspjónusta sem hægt er að veita borholu í lektarlegu tilliti. Þrátt fyrir það má ekki vanmeta þýðingu þessarar mæliaðferðar. Að jafnaði er ekki krafist nema stærðargráðu lektar og með rennslismælingu má oft fara nærri um þessa stærðargráðu séu aðstæður hagfelldar.

Helstu kostir við þessa aðferð eru hversu fljótleg hún er og oftast vesenlaus. Ekki er þörf annarra áhlda en þeirra sem jafnaðarlega eru við hvern kjarnabor; þ.e. dælur, rennslistilling (framhjáhlaup), rennslimælir, klukka og vatnsborðsmælir.

Ókostur aðferðarinnar er ónákvæmnin, sérstaklega þar sem stutt er niður á grunnvatnsborð. Þrýstingur er einungis sem svarar því hæðarbili og sjaldnast hægt að prófa nema á einu þrýstiprepi. Er þá miðað við að holunni sé haldið fullri af vatni í tiltekinn tíma. Að öðrum kosti verður að dæla vatninu ofan í holunni gegn um borstangir og mæla vatnshæðina utan þeirra með vatnsborðsmæli, en það getur reynst handleggur. Með þessu móti fást bæði upplýsingar um þrýsting (þ.e. hversu vatnsborð hækkar við ádælingu) og prófunarbíl (þ.e. hversu langur kafli í holunni lekur því vatni sem í hana er dælt).

Við ákvörðun á vatnsþrýstingi verður að taka mið af grunnvatnsaðstæðum í hverju tilviki. Nái holan ekki ofan í grunnvatn eða að það liggur neðan við miðja holu, er reiknað með "meðalþrýstingi", það er á mitt prófunarbilið. Sé vatnsborð ofan þess, er reiknað með þrýstingi ofan á það.

Mynd 5.1. Lektarprófun. Dæmi um ákvörðun á vatnsþrýstingi (hl).



Á myndinni eru sýnd nokkur tilbrigði sem upp geta komið. Þess ber að gæta að þegar holan nær ekki ofan í grunnvatnsborð þegar lektað er, er ekki í öllum tilvikum rétt að reikna með vatnsþrýstingi á mitt bilið því búast má við leka niður um holubotn. Sé borun fram haldið kemur oft í ljós hvar vatnsborð er og má þá reikna út úr mælingunni á ný með tilliti til þess.

Prófunarbilið við renneisprófun er öll holan (sé henni haldið fullri) eða svæði neðan rækilega þéttrar fóduringar (t.d. steypt fódurrör). Sé fóduring óþétt (fódurrör borað niður eða útboruð steypa), getur vatn gengið upp með henni eða út um göt á henni. Mæling við slíkar að- stæður veldur því oft tvíþæltum um hvort reikna skuli með fóduraða kaflanum sem hluta af prófunarbili eða ekki. Þar sem djúpt er á grunnvatn og því lík fóduring stutt, má reyna að láta vatnsborð einungis stíga upp að fóduringu, til þess að losna

við ruglanda sem hún gæti valdið.

Það er ákaflega algengt að forvitnilegt sé að þekkja lekt yfirborðslaga. Í þeim stönda holur venjulega illa og þurfa styrkingar við. Það getur hentað vel að beita rennslismælingu áður en holan er fðörud niður á fast, því að öðrum kosti verða yfirborðslögin iðulega ólektuð, þó svo berggrunnurinn undir sé vandlega rannsakður.

Þá er rennslismæling oft á tíðum eini kosturinn þar sem hrúnhætta er í holum og ekki vogandi að fara ofan í þær með dýr apparöt eins og þakkarar eru. Einnig hagar sums staðar svo til að engin staður í holunni er hentugur til þökkunar jafnvel þó hrúnhætta sé ekki mikil.

Hægt er að skrúfa stút ofan á vandlega niðurboraða fðöringu og dæla vatni ofan í holuna undir þrýstingi að eigin vali. Þessu hefur einkum verið beitt á loftborsholur. Notaðar eru handhægar, loftknúnar dælur sem þvílíkum borum hæfa. Einatt þarf að gera sérstakar ráðstafanir til að afla vatns við þess konar lektanir, þar sem það er ekki notað við sjálfa borunina. Eðlilegast er að vinna slíkar lektarprófanir í anda venjulegrar þakkarapófana, þó enginn sé notaður þakkarinn.

Framkvæmd rennslismælingar.

Vatni er dælt ofan í holuna hvort heldur sem er um borstangir eða slöngu frá dælu.

1. Mælið grunnvatnshæð í holunni, skráið og mælið aftur eftir nokkrar mínútur. Hafi vatnsborð breyst (lækkað) verður að hinkra við uns það er orðið stöðugt.
2. Skráið hvenær dælingu vegna borunar var hætt og hversu miklu var þá dælt.
3. Hefjið dælingu í holuna.
 - a. Skráið klukkan hvað var byrjað.
 - b. Mælið rennslið í holuna og skráið það.
 - c. Þegar holan er full, múnkið þið rennslið þannig að hún sé stútfull, en þó án þess að út úr henni flæði. Haldið stöðugu vatnsborði í a.m.k. hálf tíma. Mælið og skráið rennslið meðan á þessu stendur.
4. a. Stöðvið dælingu, skráið tímann.
 - b. Mælið vatnsborð í holunni svo fljótt sem unnt er eftir að dælingu lýkur og fylgist síðan reglulega með lækkun vatnsborðsins uns það er komið í sama horf og við upphaf dælingar. Þar sem lekt er lítil, getur þetta tekið

allangan tíma.

c. Vatnsborðið lækkar mjög ört fyrst í stað en síðan dregur mjög úr hraðanum. Ef dælt er niður um borstangir verður einatt að mæla vatnsborð í þeim líka, þar sem ekki er mikið pláss utan með þeim í holunni. Þarf því að hafa snör handtök ef ekki á að missa af falli vatnsborðsins.

Úrvinnsla. Rétt er að vinna lauslega úr mælingunum strax að þeim loknum til að koma ekki af fjöllum þegar spurt er hversu hafi gengið.

Dæmi: Rennsli í holu: 167 l á 30 mín. eða 5,56 l/mín.

Holan er 26,6 m djúp en keising steipt á 10,0 m dýpi.

Prófunarbil er því 16,6 m langt.

Lekinn er þá $5,56/16,6=0,33$ l/mín/m.

Dýpi á grunnvatn: 12,3 m sem gefur þrýstinginn 1,2 kg/cm².

$$\text{Lektin er þá: } \frac{0,33 \text{ l/mín/m}}{1,2 \text{ kg/cm}^2} \cdot 10 = 2,8 \text{ LU}$$

Reikna má grófllega lektina samkvæmt jöfnun vatnsborðsins í holunni:

$$K = \frac{Q_m}{4\pi \Delta s' l}$$

Þar sem Q_m er rennslið í holun meðan dælt var og s' er mismunur á vatnsborði eftir t.d. 1 mín. og 15 mín. (eða 2 mín. og 50 mín.) hafi verið dælt í holuna í 30 mín. Þessi úrvinnsla er alls ekki nákvæm, en ætti að geta gefið stærðargráðu lektarinnar.

5.3 PAKKARAPRÓFUN

Eins og fyrr er að vikið er það ákaflega misjafnt hversu miklu máli skiptir að lekta rækilega. Þegar boraðar eru djúpar rannsóknarholur, t.d. vegna fyrirhugaðra jarðgangna, ríður oftast á að vita sem gleggst um lekt jarðlaga á því bili sem göngin eiga að fara um. Þessu bili er sjálfsagt að veita alla þá lektarþjónustu sem tiltæk er (sbr. forskrift að hinn meiri pakkaraprófun hér á eftir). Hins vegar má aldrei álykta sem svo að lektun á öðrum jarðlögum í staflanum sem holan sker sé óþörf. Þar geta nefnilega leynst upplýsingar um vatnafar grunnvatnsins sem skipta

verulegu máli fyrir áformað mannvirki. Það er því góður siður að skilja ekkert bil eftir ólektað í holu þegar frá henni er gengið. Að sjálfsögðu getur alltaf borið við að ekki sé hægt að lekta verulegan hluta af holu vegna þess að lektin er of mikil, hruns eða annars óstands, því margt vill í mörkinni ske.

Hér er yfirleitt notaður einfaldur pakkari og er allt sem um þetta mál er skrifað miðað við það að notaður sé hinn sífellt endurbætti pakkari SZ. Um byggingu hans og meðhöndlun er fjallað í kafla 6, en það sem hér verður sagt eru einungis hugrenningar um það sem hafa þarf í huga þegar lektun með honum stendur til.

Þegar ákveða skal hvornig skuli að lektun staðið, skiptir þekking á jarðfræðilegum aðstæðum e.t.v. mestu. Ýmsar spurningar koma upp: Á að bora holuna í fulla dýpt og lekta svo? Ef ekki, hvenær á að stoppa borun til að lekta? Í hvaða jarðlögum er hægt að pakka og hversu löng eiga prófunarbilin að vera? Öllum þessum spurningum er auðveldara að svara ef einhverjar upplýsingar eru til um þau jarðlög sem holunni er ætlað að skera. Oft er það nú samt svo að borað er út í óvissuna, þannig að næsta lítið er fyrirfram vitað um jarðlagaskipanina, enda oftast borað til að kynna henni eitthvað nánar.

Þegar um grunnar holur er að ræða og jarðlög tiltölulega þétt, hentar oftast að lekta í lok borunar. Þegar holurnar eru djúpar verður að haga lektunum með tilliti til jarðlagaskipunar, ekki síst þegar jarðlög eru mjög misleit hvað lekt og hrunchættu við kemur, og ef nauðsynlegt er talið að geta aðgreint lekt hvers jarðlags fyrir sig. Til þess að geta farið nærri um lekt einhverrar ákveðinnar jarðmyndunar getur reynt þýðingarmikið að ekki sé borað í gegn um hana, þar sem neðri mörkum prófunarbils er ekki hægt að ráða ef notaður er einfaldur pakkari (auðvitað er svo sem hægt að steypa tappa í holuna ef of langt er borað). Þar sem missterk jarðlög skiptast á í staflanum, getur reynt erfitt að finna nægilega traust berg til að pakka í. Því er áriðandi að hafa gát á að prófunarbil verði ekki of langt. Verði svo er hætt við að ekki náist upp neinn umtalsverður þrýstingur í bilinu með þeim dælum sem venjulega eru tiltækar á borunum og vegna mikillar lektar. Ef prófunarbilið til að mynda er 15 m langt og afköst dælu 200 l/mín, næst um 7 kg/cm þrýstingur ef lektin á þessu bili er nálg 20 LU. Með sömu lengd prófunarbils og dæluafköstum

st hins vegar ekki nema 1,3 kg/cm ef lekt jarðlaganna er 100 LU.

Ef til vill má segja það vera reglu að þar sem borað er í góðu og heillegu bergi megi prófunarbilin vera lengri og að haga megi lengd þeirra eftir ástæðum. Sé hins vegar um lélegt og vatnsleiðandi berg að ræða og þar sem mikið skoltap verður við borun, getur reynst nauðsynlegt að lekta oft og títt. Ef þörf er steypinga í holunni er oft happasælast að bora stutt (3 til 5 m) í einu, lekta það bil áður en það bil er steipt og svo koll af kolli. Eðlilegast er að pakkara sé komið fyrir neðst í útboruðu steypubili þegar svona stendur á. Áður en lagt er í þökkunaratið er það fallegur siður að kanna hvort allt sem til þarf sé nú við höndina. Reiknað er með að borinn standi yfir holu sinni og að dælur hans geti séð fyrir nægilegu vatnsmagni og þrýstingi. Hér skal hið helsta upp talið:

Lektareyðublöð og skriffæri.
Skeiðklukka.

Pakkari SZ af viðeigandi stærð (BQ eða NQ) eftir atvikum.
Aðgætið hvort þökkunarbrúnaður sé virkur (lööð og afpakkari eða slöngur frá dælu).

Þrýstimælir, réttur og á sínum stað í lögninni. Það á að hafa sérstaka mæl sem einungis eru notaðir við lektanir. Rennslismælir tengdur við þá lögn sem hentar miðað við áætlað rennsli. (1/2"-lögn: 2-75 l/mín; 1 1/2"-lögn: 5-200 l/mín). Reiknað er með að notaður sé núllstillandlegur mælir, sem sýnir rennslið hverju sinni auk heildarmagns. Framhjáhlauþ. Gangið úr skugga um hvernig það virkar. Með því er rennsli ofan í holun stjórnað. Standi menn nú klárir á því að rennsli og un leið þrýstingur í holunni eykst þegar skrúfað er fyrir framhjáhlaupið.

Framkvæmd þakkaraprófunar Héðan í frá er ef til vill léttast að fylgjast með lektarprófuninni í gegn um útfyllingu haganlega gerðs eyðublaðs fyrir lektarprófun. Það mun vera hannað með það fyrir augum að úrvinnslan geti farið fram á blaðinu sjálfu án viðhangandi snepla og krassblaða. (Mynd 5.2)

Það er þrúðmannleg venja að byrja á því að fylla út hausinn á eyðublaðinu vel og skilmerkilega. Við þá mælingu sem hér er höfð til hliðsjónar hefur lektor trassað að tilgreina hvenær prófun hólfst, og er það vítavert. Þá hefur grunnvatnsborð eitthvað vafist fyrir honum ("dýpi á

jarðvatn"). Mælið grunnvatnshæðina tvisvar áður en hafist er handa með nokkurra mínúta bili og hafi hún ekki breyst má hefjast handa. Það getur tekið nokkurn tíma fyrir holuna að jafna sig eftir allt það vatn sem í hana var dælt við borunina.

Mynd 5.2. Eyðublað fyrir lektarprófun.

ORKUSTOFNUN RAFORKUDEILD		LEKTARPRÓFUN										Virkjun <i>KUSLAVENTA</i>	Gerð borstanga <i>BQ</i>	Borhola nr. <i>KV-8</i>		
												Dagsetning <i>1987 08 26</i>	Gerð vatnstoppi <i>BOYLES</i>	Bláð <i>I</i> af <i>3</i>		
Djpi		til m <i>40.5</i>												Prófun hófst kt	Fjöldi borstanga <i>10</i>	Prófað <i>BHH</i>
		frá m <i>26.4</i>												Exp. á jarðvatn <i>~1 m</i>	Búnaðsgr. <i>BQ þkn 52 I</i>	Reiknað <i>-</i>
Prófunarbíl m		<i>17.1</i>														
Vatns- mælir		lok														
		byrjun														
Vatnsmagn l		<i>124</i>	<i>146</i>	<i>196</i>	<i>210</i>	<i>264</i>	<i>100</i>	<i>166</i>	<i>61</i>	<i>314</i>	<i>300</i>					
Prófun stöð í min.		<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>108</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>120</i>					
l/min.		<i>62</i>	<i>73</i>	<i>98</i>	<i>120</i>	<i>132</i>	<i>100</i>	<i>83</i>	<i>61</i>	<i>157</i>	<i>200</i>					
l/min/m		<i>4.4</i>	<i>5.2</i>	<i>7.0</i>	<i>8.5</i>	<i>9.1</i>	<i>7.1</i>	<i>5.9</i>	<i>4.3</i>	<i>11.1</i>	<i>14.2</i>					
brýst- fall í		tappa														
		stöngum														
		vatnstopp														
Heildarbrýstfall																
Kg/cm ²		byrjun														
		lok														
P ₀		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>5</i>	<i>6</i>					
h ₀		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>5</i>	<i>6</i>					
P ₀ + h ₀		<i>7.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>					
P ₀		<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>6</i>	<i>7</i>					
LU		<i>18-19 LU</i>														
K (cm/sek.)																
ATH																

1) For að mæla uppur kolunni um miðja prófun m 3 kg/cm² taka sérhættar kolunni mælir á prófun með 40cm² brýsting. Ker framlest-
 2) Þá verið aðeins átt á prófun mæla vatn. Jar safnat byrja á ný m 4 kg/cm² og tak þá skiptur er kolunni. Þrátt um kolunni þess
 af 90% - 95% af

Hér er einnig gerð grein fyrir fjölda og gerð borstanga svo og vatnstoppi. Þetta skiptir ekki verulegu máli nú, því þrýstifall í þeim gerðum borstanga sem nú eru notaðar (BQ og NQ) er hverfandi lítið nema vatnsrennslið sé óheyrilega mikið (meira en 200 l/mín). (Um þrýstifall í öðrum gerðum borstanga: sjá skýrslu HG og BE. "Mælingar á þrýstifalli" OS ROD apríl 1971).

Dá er að skrá efst til vinstri, mörk prófunarbils, sem með einföldum þakkara reiknast frá neðri enda þakkara ofan í holubotn. Við þessa prófun er dæling hafin og stillt með framhjáhlaupi, þannig að þrýstingur á yfirborði er 1 kg/cm². Þessum þrýstingi er haldið í tverr mínútur, en sá tími mætti

að skaðlausu vera lengri t.d. 5 mín. Skráð er hversu margir lítrar fara ofan í prófunarbilið á þessum tíma. Nú eru rennslismælur (vatnsmælur) jafnan þannig, að hægt er að núllstillja þá í upphafi hvers þreps, þannig að aflestur á að vera tölvert einfaldari en ella.

Drýstingurinn er síðan aukinn um 1 kg/cm^2 og mælingin endurtekin og svo koll af kolli uns hámarksþrýstingi er náð. Þá er þrýstingurinn minnkaður og mælt á sömu þrepum.

Reynt er að halda þrýstingi sem stöðugustum í hverju þrepi. Þegar skipt er á milli þeirra getur gætt nokkurs óróa á þrýstimæli, en þá er bara að hinkra við uns mælirinn róast og byrja þá fyrst að taka tímann. Ef það þarf að minnka (eða auka) rennslið meðan á dælingu stendur til að halda fyrirhuguðum þrýstingi, skráið þá rennslið við upphaf og lok þrepsins. Það er aldrei að vita nema kreista megi einhverjar upplýsingar út úr því.

Lugeon-einingin miðar við að náð sé 10 kg/cm^2 þrýstingi, en honum er sjaldnast náð (nema í stuttum prófunarbílum og þar sem lekt er lítil). Það ber að hafa gát á að ofbjóða ekki bergspennunni. Hér er pakkað í basalti á rúmlega 26 m dýpi. Hafi basaltið ofan prófunarbilsins eðlisþyngdina 2,7 ætti að meiga bjóða berginu þrýsting sem svarar bergspennu þess, þ.e. margfeldi eðlisþyngdar og dýpis, sem með samræmdum einingum er: $2,7 \text{ g/cm}^3 \times 26 \text{ m} = 7,02 \text{ kg/cm}^2$.

Við þá prófun sem hér er fylgst með, fór að leka upp með pakkara þegar prófað var við 3 kg/cm^2 á yfirborði. Þegar prófuninni var fram haldið hætti þessi leki, þannig að í lokin var settur fullur þrýstingur á prófunarbilið, þ.e. eins og dælan dró. Við það nálgadist þrýstingurinn bergspennumörkin, en ekki virðist holan hafa "sprungið út". Ef það hefði gerst, hefði mátt búast við að tölvert meiri lekt hefði mælst á efstu þrýstiprepunum.

Mælingunni er þar með í sjálfu sér lokið og komið að því að reikna út úr henni. Það felst fyrst og fremst í því að reikna rennslið, fyrst lítra á mínútu og síðan er deilt með lengd prófunarbilsins upp í þá tölu ($l/\text{mín}/m$).

Miðað við þau áhöld sem nú eru notuð við lektanir, þarf sjaldnast að reikna með þrýstifalli í borstöngum og vatnstoppi eins og eyðublaðið gerir ráð fyrir. Ekki mun fara að þrengja verulega að vatnsrennslinu fyrr en það er orðið

meira en 200 l/mín. Þess vegna er litlu að bæta við þrýstingshluta eyðublaðsins nema þeim þrýstingsauka sem er vegna vatnssúllunnar frá náttúrulegu grunnvatnsborði upp til yfirborðs. Í þessu tilviki eru um 11 m niður á grunnvatn, sem veldur því að þrýstingurinn (hl) er 1,1 kg/cm meiri ofan í prófunarbilinu heldur en hann mældist á yfirborði og ber því að bæta þessu ofan á mældan þrýsting. Sé pakkað ofan grunnvatnsborðs er liðurinn hl miðaður við miðju prófunarbils, nema vatnsborð sé ofan við hana (sjá mynd 5.1).

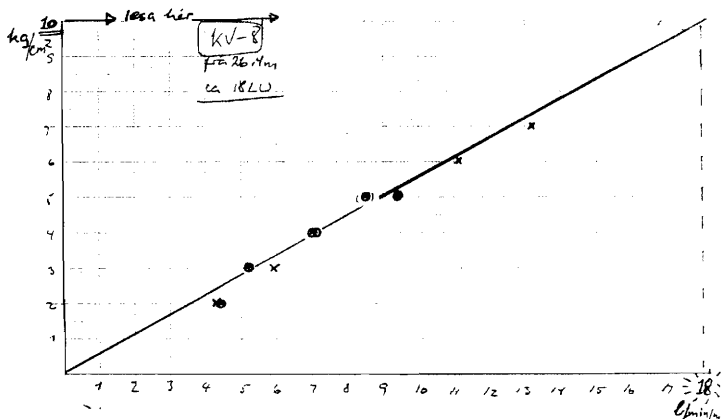
Hér hefur þrýstingi verið haldið jöfnum á hverju þrepi dælingarinnar, en stundum vill brenna við að breytist eftir því sem á líður. Vatnsrennsli hefur þótt vera álfka í byrjun hvers þrýstipreps og í lok þess og engar athugasemdir þar um skráðar. Ekkert þrýstifall er til frádráttar, þannig að ekkert er annað að gera en að leggja saman mældan þrýsting og hl. Lektor hefur hér farið frjállega með aukastafi, sem varla er til eftirbreytni. Æskilegast væri ef hægt væri að mæla réttan þrýsting niðri í prófunarbilinu sjálfu og er ekki að efa að slíkt verður tekið upp innan tíðar.

Hin eftirsóttu LU-gildi eru svo að síðustu reiknuð samkvæmt uppskriftinni:

$$LU = \frac{Q \text{ (l/mín/m)}}{P \text{ (kg/cm}^2\text{)}} \cdot 10$$

Að jafnaði er glegggra að draga upp línurit, þar sem l/mín/m er teiknað á móti þrýstingi og framlengja ferilinn frá núlli í gegn um næligildin upp í 10 kg/cm², en það er jú grundvallarþrýstingurinn.

Mynd 5.3. Ákvörðun á LU-gildi lektar.



Til að fullkomna úrvinnsluna reiknum við svo út úr mælingunni samkvæmt gefinni forskrift hér að framan. Sé reiknað út úr þrepinu þar sem þrýstingur er 6 kg/cm^2 í prófunarbilinu (þ.e. 60 m), rennsli 157 l/mín. ($2,6 \times 10^{-3}$ m/s), prófunarbil 14,1 m og holuþvermál (BØ) 60 mm, þá fæst að lektin K er $3,0 \times 10^{-6}$ m/s.

Þegar lektor er búinn að lekta hvern einasta lengdarmetra í holu sinni, safnar hann saman lektunarblöðum sínum og sér þá e.t.v að lektunarbilin skarast, sérstaklega ef öll lektunarpjónusta hefur farið fram í lok borunar. Endahnútur úrvinnslunnar er að finna lektina á hverju dýptarbili í holunni með hlutfallareikningi. Sú útkoma hafnar á endanlegu kjarnagreiningareyðublaði.

5.4 PAKKARAPRÓFUN HIN MEIRI

Hér að framan hefur verið lýst þeim aðferðum sem tíðka ber þegar lektunarpjónusta er með venjubundnum hætti. Eins og fyrr er að vikið getur grunnvatnshegðun verið með flóknara móti heldur en hér er gengið út frá. Til að mynda getur verið um að ræða rennsli milli vatnskerfa í holunni ellegar að lekta verður ofan við pakkara. Við slíkar aðstæður getur reynst mikilvægt að gerðar séu einhverjar alveg sérstakar ráðstafanir til að lektun gefi réttar og fullnægjandi upplýsingar. Ekki er neinn vegur að gefa forskrift að því hvernig skuli brugðist við mjög svo óvanalegu grunnvatnsástandi, enda geta aðstæður og úrræði við þeim orðið næsta fjölskrúðug.

Hér eftir er hins vegar rakið hvernig skuli staðið að ýtarlegri pakkaraprófun. Hana ber að framkvæma þar sem mikið liggur við að lekt sé nákvæmlega mæld. Eðlilegast er að slíkar mælingar séu gerðar ásamt með venjubundnum pakkaraprófunum.

Meginmunurinn á þessum tveim aðferðum er að við venjulega pakkaraprófun er leitast við að halda þrýstingi sem stöðugustum á hverju þrepi. Við hina meiri pakkaraprófun er reynt að halda rennslinu sem stöðugustu og skrá breytingar sem verða á þrýstingi. Þessi mæliaðferð er tímafreakari en ætti að jafnaði að geta gefið gleggri mynd af

vatnsleiðnieiginleikum jarðlaganna, e.t.v. ekki síst af geymslustuðli.

Frankvæmd þakkarprófunar hinnar meiri

1. Hvenær var dælingu vegna borunar eða annars fyrir lektun hætt? Hvert var rennslið þá? Skráið hvoru tveggja.
2. Hvert var vatnsborð áður en þakka er slakað ofan í holuna? Skráið.
3. Setjið þakka á fyrirhugað dýpi, þakkið. Skráið hvenær þökkun lauk.
4. Mælið grunnvatnshæð í borstöngum að þökkun lokinni á mínútu fresti.
 - a. Ef vatnsborð er eins og það var fyrir þökkun að fimm mínútum liðnum, má hefja dælingu (sbr. 5.lið).
 - b. Ef vatnsborð breytist (t.d. hækkar smám saman) skal skrá og teikna breytinguna línulega á móti logaríthma af tímanum frá því að þökkun lauk. Erfitt er að gefa reglu fyrir hvenær óhætt er að hefja dælingu, því það er mörgum þáttum háð. Þar skipta tilgangur og mikilvægi prófunarinnar nokkru máli, einnig hvort og hversu reglulega vatnsborðið jafnar sig og hversu hröð vatnsborðsbreytingin er. Í öllum tilvikum er rétt að hefja ekki dælingu meðan vatnsborðsbreytingin er meiri en 0,01 m/mín.
5. Hefjið dælingu og haldið rennslinu sem jöfnustu í a.m.k. 30 mín. Stillið rennslið þannig í upphafi (t.d. eftir um mínútu) að þrýstingur sé ekki hærrí en um 2 kg/cm².
 - a. Mállstillið rennsliðsmæli eða skráið stöðu hans í upphafi dælingar.
 - b. Skráið hvenær dæling hófst (klst. mín. sek.)
 - c. Skráið rennsli og þrýsting á mínútu fresti fyrstu fimm mínúturnar síðan á tveggja mínútna fresti næsta stundarfjórðunginn.
 - d. Fylgist stöðu með rennsli. Breytingar á því eiga að verða sem allra minnstar. Stillið rennslið með loka (framhjáhlaupi).
 - e. Teiknið í lokin mælingarnar þannig að vatnsborðsbreytingin sé línuleg á móti logaríthmanum af tímanum frá því að dæling hófst. Dælingu skal ekki hætt fyrr en mælipunkturir raða sér á beina línu.
6. Stöðvið dælinguna. Það þarf að gerast nokkuð greiðlega og á þess að missa þrýstinginn af prófunarbilinu við það.
 - a. Skráið tíma, þrýsting og rennsli um leið og dælingu lýkur.
 - b. Skráið þrýsting reglulega í a.m.k. hálf tíma eftir það, t.d. eftir 0,8;1;2;3;4;6;8;10;13;16;20;25 og 30 mín.

- c. Dragið þrýstingalíningar á línurit, línulega á móti logarithma af tíma frá lokum dælingar.
7. Hefið venjulega þakkarprófun.

5.5 HEILRÆÐI

Gætið þess að lektunaráhöld séu vís, í lagi og reiðubúin til notkunar hvenær sem er.

Sé jarðlagaskipan svæðisins þekkt að nokkru er gott að gera sér nokkrar hugmyndir um hvernig skuli að lektun staðið áður en byrjað er á nýrri holu.

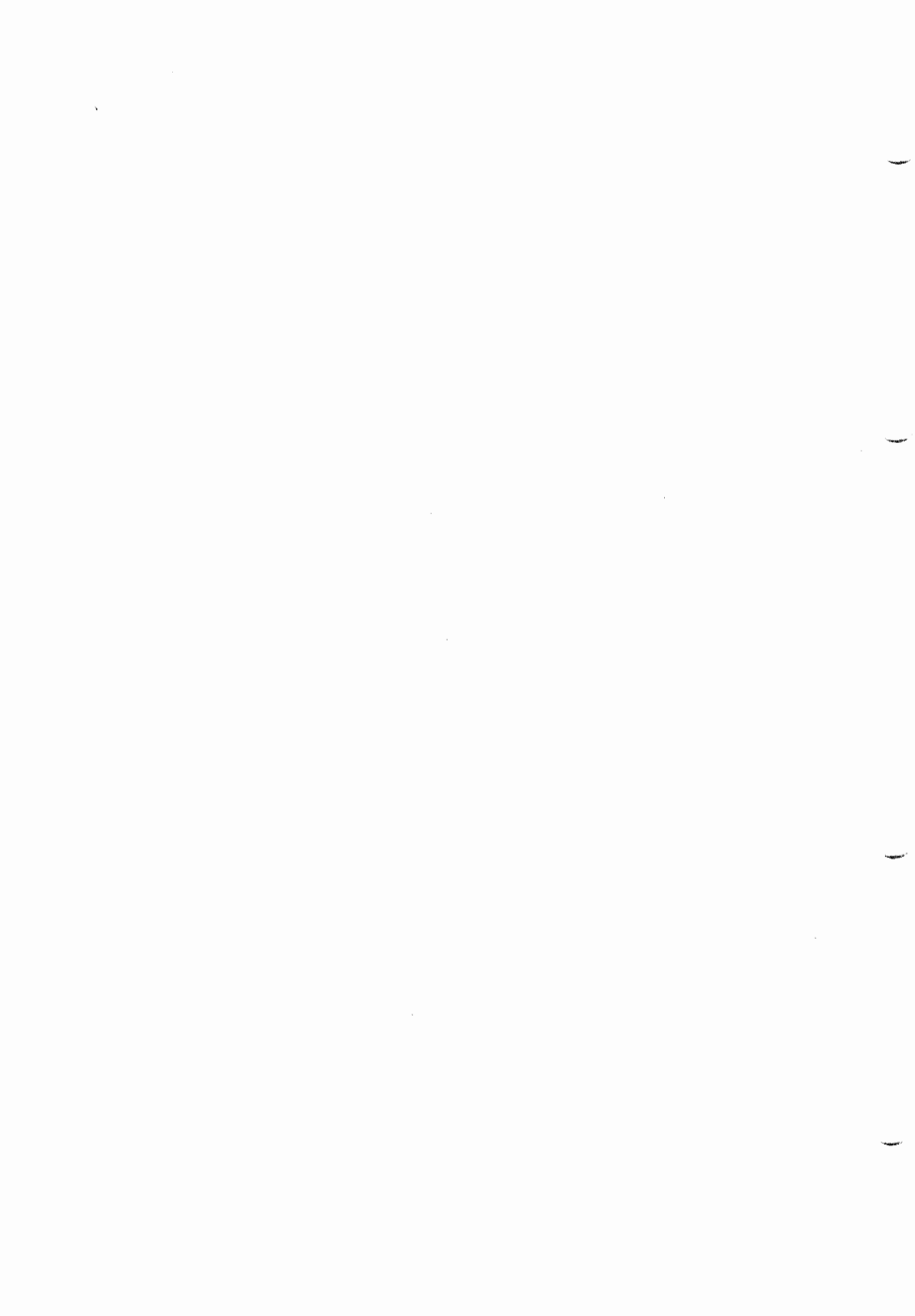
Takið mið af mikilvægi nákvæmra lektana, jarðlagaskipan og hversu djúpt er fyrirhugað að bora. Takið ekki nærri ykkur þó ekki fari allt fram svo sem þið ætluðuð í fyrstu. Ykkur er ætlað að skilja náttúruna en ekki öfugt.

Lekið alla holuna frá toppi til tólar.

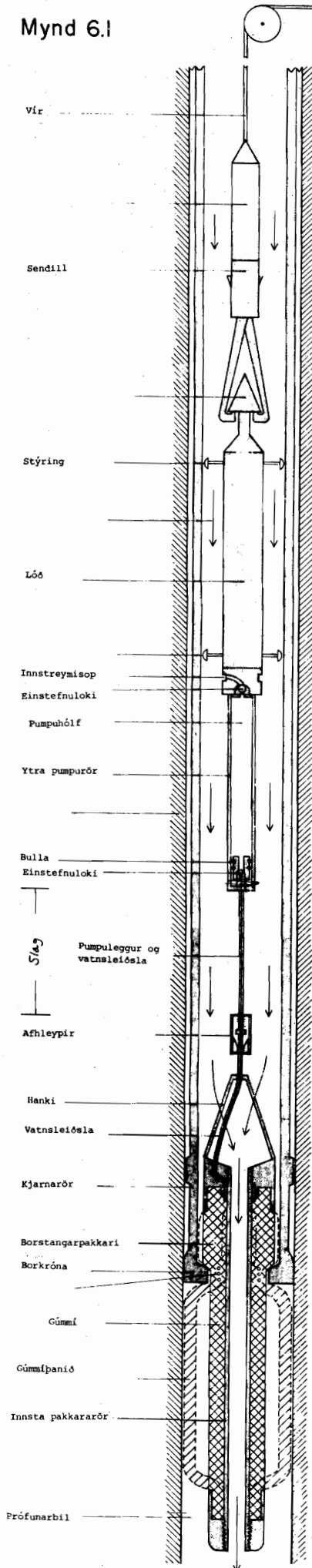
Fylgist grannt neð gangi borunar með fyrirspurnum og heimsóknnum á borstað. Hafið alltaf a.m.k. gróft yfirlit um framkomin jarðlög í holunni, hvar skoltap og hrún verða svo og breytingar á grunnvatnshæð.

Hafið hugfast að borun miðar misvel. Gætið þess að ekki sé borað með geli eða öðrum óþverra þar sem þýðingarmikið er að vel sé lektað.

Þýðingarmest af öllu er að góð samvinna sé milli boráhafnar og lektors. Á sama hátt og lektor verður að vera heima í helstu vandamálum sem upp geta komið í sambandi við borun, þá verða bormenn að vita hvað stendur til að gera í holunni sem þeir eru að bora. Það má aldrei verða svo að litið sé á lektun sem verktöf við rannsóknarboranir.



Mynd 6.1



Leiðbeiningar

1. Fjarlægjót fallhamarsbúnaðinn úr sendilinum og hífót sendilinn upp.
 2. Skrúfiót lóðiót á pumpuna og stingiót því svo upp í sendilinn og hífót pumpuna upp, þangaót til afhleypirinn er ofan við trektina þegar pumpan er útdregin.
 3. Stingiót þakkarannum í borstönguna og tengiót hann við afhleypinn með hraótenginu.
 4. Látiót þökkunarbúnaðinn síga niður borstangirnar neóan í sendilinum. Látiót þakkarann setjast, varlega. (Ekki má vera vatn í pumpunni á leiót niður).
 5. Þegar þakkarinn hefur sest í borkrónnunni og pumpan hefur gengiót saman er virinn strengdur þar til hann byrjar að toga í lóðiót. Þá er spiliót sett í bremsu. Pumpiót með því að toga virinn til hlióar með handafli.
- Togiót og sleppiót, pumpansígur rólega saman. Lóðiót kippiót í virinn.
- Pumpiót þar til þakkarinn er fullur þá gengur pumpan ekki saman og slaki kemur á virinn. Skiljiót við pumpuna í efstu stóðu.
6. Sendiót hólkinn niður og fjarlægjót sendilinn. Skrúfiót vatnstoppinn á og lektiót.
 7. Aót lokinni lektun er sendilinn settur niður og látiót gripa í toppinn á lóðinu. Dragiót pumpuna í sundur, takiót slakann af og setjiót spiliót í bremsu. Togiót virinn til hlióar með handafli og opniót afhleypinn. Smá hnökkur finnst þegar hann opnast. Biótiót með virinn strekktann þar til þakkarinn hefur tæmt. Þá dregst hann af staót upp. Nú er óhætt að draga hann upp með spiliinu.
 8. Þegar búnaðurinn kemur upp, losiót þá þakkarann frá með hraótenginu og setjiót hann á góóan staót. Þrýstiót nest pumpunni saman. Haldiót hraótenginu opnu með blýanti eða einhverju tiltöku á meðan. Látiót sendilinn síga niður og krækiót pumpunni af. Setjiót pumpuna strax í kassann.
- Innri leggur pumpunnar er viðkvæmur. Getiót þess að beygja hann ekki. Sprautiót oílu inn í pumpuna að lokinni notkun.

Pakkari þakkar ekki

1. Pumpaóekki í jaróvatni. Rejniót að óala vatni niður um leiót og pumpaót er.
2. Pakkari er uppi í borstöngum. Ef vatn er í pumpunni þegar búnaðurinn leggur af staót niður getur móttstaóa jaróvatnsins nægt til að hún óali einu slagi í þakkarann og hann bremsi í stöngunum.
3. Sendikliót strandar í lendingarhring. Högg heyrast þegar reynt er að pumpa. Lóóin óetta til baka en síga ekki eins og þegar pumpan virkar.
4. Ó hringir ónýtir, skiftiót.
5. Óhreinindi í einstefnuloka. Lokinn á að vera þéttur í vatni, eóllilegt er að hann leki í lofti. Notiót varaloka, foróist að skrúfa lokann sundur. Rejniót aðhreinsa hann án þess.

The S.Z. I Wireline Packer

Snorri Zóphónfásson
PAKKARAPRÓFUN OG SZ PAKKARINN

6

6.1 INNGANGUR

Pakkari er áhald til að stöðva lóðrétt vatnsrennsli í holu og afmarka þannig prófunarbíl. Í flestum ef ekki öllum útgáfum er pakkari gúmmíblaðra með röri í gegn fyrir mælivatn. Borstangirnar eru notaðar sem leiðsla fyrir mælivatn ofan frá yfirborði en pakkarinn er í enda neðstu stangar. Bilið milli botns holunnar og pakkarans er því prófunarbilið. Við mælingu þarf að fylgjast með þrýstingi í prófunarbili og vatnsrennsli út úr því.

Pakkarar þeir sem lengst af voru notaðir á OS voru á margan hátt viðsjáls- og vandræðagripir. Þeir öllu þrýstifalli í prófunarbílinu sem erfitt var að reikna út, þeir voru skrúfaðir neðan á borstangirnar og það var bæði erfitt og fyrirhafnarsamt að koma þeim fyrir. Vegna þess að lektarmælingar með þessum áhöldum voru puðsamar, tímafrekar og meira og minna vitlausar var reynt að smíða betri áhöld. Þau atriði sem bæta þurfti voru augljós:

- * Minnka þurfti þrýstifall í pakkara sem allra mest.
- * Hann þurfti að geta farið niður innan í borstöngunum og í gegn um opið á borkrónunni.
- * Jafnframt því að pakka holuna þurfti hann að þétta borstöngina neðst svo vatnið færi niður í rörið í pakkaranum en ekki upp með borstöngunum.
- * Þenja yrði pakkarann út með aðferð þar sem búnaðurinn ylli ekki hindrun og þrýstifalli í vatnsveginum og útpenslan truflaði ekki eðlilegt grunnvatnsástand.
- * Þrýstinginn þurfti að vera hægt að mæla niðri við prófunarbíl.

SZ pakkarinn, sem hér verður lýst á næstu síðum, var hannaður með þessi atriði í huga (mynd 6.1)

6.2 ÁHÖLD

Áhöld til lektarmælinga með einföldum SZ NO pakkara:

1. Pakkari
2. Pumpa
3. Afhleypir
4. Lóð
5. Rennslismælir
6. Þrýstimælir 0-6 kg, 0-10 kg, 0-16.
7. 1 1/2" háþrýstislanga
8. Toppur á borstöng
9. Leiðslur og tengi
- (10. Götuð borstöng)
- (11. Hjól fyrir þrýstiskynjaravfir)
- (12. Spil og sífriti)

Pakkarinn

Pakkarinn er gerður úr 1,1 m löngu röri með 24 mm innanmáli og 34 mm utanmáli. (mynd 6.2) Á rörið er steypt gúmmí, sem hefur svipað utanmál neðan til og kjarninn þannig að sá hluti sleppur í gegnum krónu en gildnar svo ofar út í sama utanmál og innra kjarnarörið. Sú brík sem myndast við það stöðvar pakkarann í krónunni. Sverari hluti gúmmísins lokar borstönginni og hindrar, að vatnið sleppi utanmeð pakkaranum út um krónuopið og upp með borstöngunum. Gúmmíð er límt fast til endanna og er efri endi gúmmísins límdur á hólk sem er festur utan um rörið. Undir hólkinn er rauf fyrir vatn sem þenur út gúmmíð. Á efri enda pakkarans er skrúfuð hetta. Hettan er í senn tengistykki við pumpuna og vatnsleiðsla frá pumpu og undir gúmmíð. Hettan herðist að efri brún gúmmísins og þéttir þar, en gengjurnar eru þéttar með gengjuteipi. (mynd 6.2). Á milli hettunnar og afhleypisins er örstutt háþrýstislanga. Hún þjónar því hlutverki að mynda liðamót á milli pakkara og afhleypis til þess að innra pumpurörið bogni síður. Þetta er tveggja vírlaga 5/16" háþrýstislanga með 12 mm lauskónatengi annars vegar en hinsvegar er hraðtengi TCH 3/8".

Viðhald. Ef gúmmíð rifnar verður að skrúfa hettuna á nýtt rör með heilu gúmmí. Skilið rörinu með rifna gúmmíinu til S.Z. Ef tækifæri er til þá látið rörið liggja á báli til þess að brenna gúmmíð af (ruslabál) skerið samt fyrst burt það sem hægt er af gúmmíinu.

Pumpan

Smíðuð hefur verið pumpa og afhleypir sem eru samföst og ekki er ætlast til að þau séu skrúfuð sundur nema til þess að skifta um O hringi. Mikilvægt er að O hringirnir séu af réttri gerð. Stærðin í pumpunni er 9.13x2.62 mm og í afhleypinum 9.3x2.4 mm.

Pumpan er gerð úr 15 einingum (mynd 6.3).

- Nr 1. Innra pumpurör, krómað dfsilrör
- 2. Bulluhaus, ryðfrítt stál
- 3-4. O-hringur á bulluhaus, stærð 9,13x2,62 mm
- 5. Einstefnulokakúla, stærð 5,5 mm
- 6. Gormur
- 7. Ytra pumpurör 15 mm innra þvermál 20 mm ytra þvermál ryðfrítt
- 8. Neðri hluti einstefnuloka, ryðfrítt
- 9. Efri hluti einstefnuloka, ryðfrítt
- 10. Stoppró fyrir kúlu
- 11. Einstefnulokakúla stærð 5,5 mm
- 12. Sfa (Grohe)
- 13. Botnró úr kopar
- 14. Ytra pumpurör, krómað efnisrör. (löß nr. 1 þverm. 39 mm)
- 15. Gúmmíþétti (O-hringur)
- 16. Stuðpúði úr gúmmí

Samskeyti á milli 1 og 2, 8 og 9, 8 og 7, 14 og 8, 13 og 7 eru þétt með gegnjuteipi.

Viðhald:

1. Berið olfu á pumpuna eftir notkun

2. Ef skifta þarf um O-hringi.

Aðferð: Skrúfið botntappa nr. 13 af og dragið bulluna nr. 2 úr röri nr 7.

3. Rusl fer í einstefnuloka í bullu. Skrúfið botnró 13 af dragið bullu nr. 2 úr röri nr. 7. Skrúfið næst bullu nr. 2 af innra röri nr. 1. Reynið að skemma ekki krómið og varist að missa gorminn og kúluna 5 og 6. Hreinsið og skrúfið saman aftur. Þéttið samskeytin með gegnjuteipi. (Gormurinn má ekki þrýsta kúlunni fast í sætið hún verður að opna við minna en 1 kg cm²).

4. Rusl fer undir einstefnulokakúlu nr. 11. Skrúfið sundur samskeyti 8 og 9 stoppróna úr og hreinsið ventilinn; skrúfið

saman aftur og þéttið með gengjuteipi.

Afhleypirinn

Afhleypirinn er gerður úr 8 einingum (mynd 6.3)

- Nr. 1. Innra afhleypirör ryðfrítt stál
- 2. Ytra afhleypirör krómað háþrýstirör 32-38 mm
- 3. Efri hetta ryðfrítt stál
- 4. Neðri hetta ryðfrítt stál
- 5. Gormur
- 6. O-hringur stærð 9,3x2,4 mm
- 7. O-hringur stærð 9,3x2,4 mm
- 8. Hraótengi til pakkara

Samskeyti 1(pumpa) og 1(afhleypir) 4 og 8 eru þétt með gengjuteipi.

Viðhald ekkert

Gætið þess að beygja ekki innra pumpurörið í flutningum.

Kjarnakassi er gott flát undir lektarbúnað.

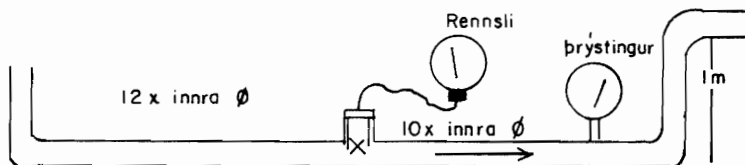
Lóð

Lóð 2 er skrúfað við einstefnuloka part nr. 9. Það er tekið af til að gera áhaldið meðfærilegra í flutningum. Það á að nægja að skrúfa það af og á með handafli.

Rennslismælur

Eitt af aðalskilyrðum fyrir góðri lektarmælingu er rétt mæling á vatninu sem fer niður.

Uppsetning mæla: Vatnsrennslið er auðvelt að mæla. Það er gert með rennslismæli sem er settur á leiðsluna uppi á yfirborði. Við uppsetningu rennslismæla þarf að fara nákvæmlega eftir fyrirmælum framleiðanda. Algild regla fyrir alla rennslimæla er sú, að þvermál beins aðfærslurörs skal vera hið sama og inntaksop mælisins og lengd þess a.m.k. 12 sinnum meira en innra þvermál rörsins.



MYND 6.4. Uppsetning mæla

Til þess að vatnið fylli mælinn er nauðsynlegt að það sé líftilsháttar mótstaða í frárennslisleiðslunni. Ef vatnstoppurinn er neðan við mælinn er nauðsynlegt að hafa um 1 m lykkju á slöngunni upp fyrir mælinn.

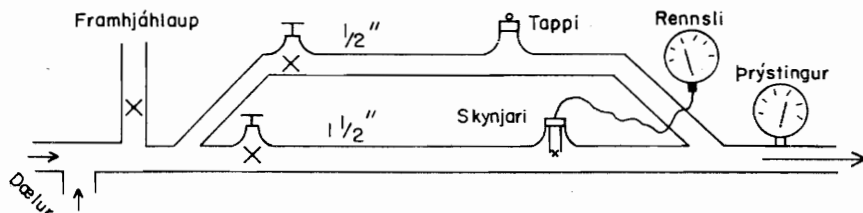
Rennslismælur þeir sem hingað tíð hafa verið notaðir þola illa óhreinindi og vélatitring og geta þess vegna ekki verið að staðaldri í vatnslögn borsins ef þeir eiga að vera nothæfir í lektarmælingu. Þess vegna þarf að skrúfa þá við og taka þá frá í hvert sinn sem mælt er.

Signet rennslismælur: Sfðastliðið sumar voru keyptir 4 rennslismælur af Signet gerð. Þeir mælur eru frábrugnir þeim sem áður hafa verið notaðir. Inn í vatnslögnina er sett té-stykki fyrir mælinn. Að- og frárennslisreglur eru hinar sömu og áður. Rennslisskynjaranum er smellt í té-stykkið og úr honum liggur rafmagnsleiðsla í lausan mæli. Sá mælir getur verið í borskýlinu eða hvar sem er.

Signet-rennslisskynjarinn þolir u.þ.b. 10% óhreinindi og ætti að geta verið að staðaldri í lögninni. Mjög auðvelt er að fjarlægja hann, honum er smellt af rörinu og tappi settur í staðinn. Þrýstingsþol er 18 kg/cm².

Næmi:	1/2" leiðsla	2 l/mín. minnst	75 l/mín. mest
	1" leiðsla	5 l/mín. minnst	200 l/mín. mest
	1 1/2" leiðsla	14 l/mín. minnst	480 l/mín. mest

Af þessu sést að nauðsynlegt er að hafa tvær leiðslur um að velja þar sem mæla þarf bæði mjög mikinn og mjög lítinn leka. Uppsetningin væri þá eins og sést á mynd 6.5.



MYND 6.5. Mælauppsetning.

Sumarið 1982 var komið fyrir rennslisskynjurum fyrir Signet rennslismæla á fjórum borum. Sjálfum mælunum var komið

fyrir inni í borskýlunum. Dregin var slanga utan um rafmagnsleiðsluna á milli skynjara og mælis til hlífðar. Ætlast er til að mælirinn sé að jafnaði í gangi með borun. Mælirinn vinnur á 12 V jafnstraumsspennu. Ef þólunum er víxlað virkar mælirinn ekki. Ábyrgst er að tappinn með rellunni þoli 18 kg/cm² en sögur herma að hann þoli mun meira.

Notkun signetsmælis

Notið 1/2" grein við rennsli 0-65 l/mín. en 1 1/2 við rennsli 65-500 l/mín.

Núllstillta má mælinn með takka sem er undir summuteljaranum.

Margfalda þarf tölu úr teljaranum með 1,328 ef 1/2" leiðsla er notuð. Margfalda þarf með 10 ef 1 1/2" leiðsla er notuð.

Ef mælir virkar ekki!

1. Mælirinn er ekki í sambandi í borskýli
2. Þólarnir eru víxlaðir
3. Borskýli úr sambandi við rafgeymi.
4. Rellan stendur á sér. Losið tappann úr og snúið rellunni. ef hún virkar sjá -5. ef hún virkar ekki sjá -6.
5. Bergið pottþétt. (Lokaður krani?) Dælan ekki kúpluð að, tómt ker, framhjáhlaup, of mikið opið.
6. Mælirinn bilaður, eða snúran í sundur. Helst er hætta á að hún fari í sundur í tenginu í mælikassanum. Prófið snúru frá öðrum bor ef mögulegt er. Ef það bjargar málinu þá má reyna að klippa klóna af og tengja vírinn beint í mælinn.

Þrýstimælar

Þrýstingur: Rökréttast er að mæla þrýsting í prófunarbili með þrýstiskynjara inni í sjálfu prófunarbilinu, en vegna þess að ýmis vandkvæði eru á því að koma boðunum upp á yfirborð er þrýstingurinn oft mældur í leiðslunum uppi á yfirborði.

Þrýstimæling uppi: Ef þrýstimælirinn er hafður uppi eru venjulega notaðir WIKA mælar, 0-16 kg, Þrýstimælinum skal komið fyrir sem næst holutoppi til að minnka áhrif þrýstifalls í leiðslum, beyjum o.s.frv. Á þeim greinum sem búið er að koma fyrir á borunum er sérstakur staður fyrir mælinn.

Þrýstingsbreytingar: Nokkur atriði valda þrýstingsbreytingu á leiðinni niður og þurfa þau að bætast við eða dragast frá mælisþrýstingi.

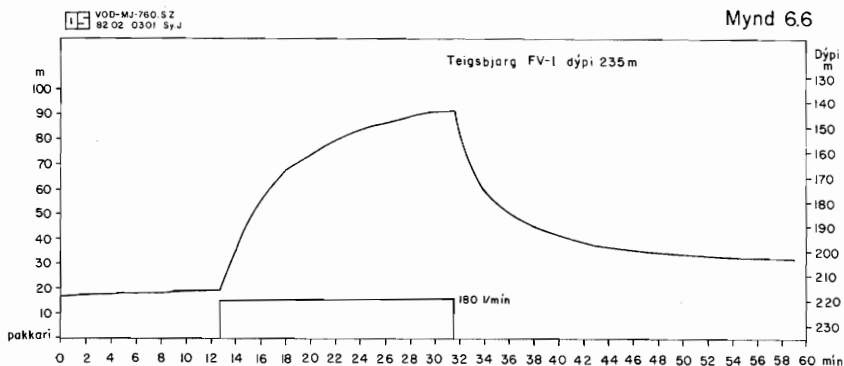
- 1) Hæð niður að jarðvatnsborði í m/10 = kg/cm² verður að leggjast við álestur á mæli. Sé pakkað í þurri holu er hæðin mæld frá þrýstimæli niður á mitt prófunarbil.
- 2) Í vatnstoppnum (swivel) er þrenging sem veldur marktæku þrýstifalli þegar rennslið er orðið 2-300 l/mín. Þrýstifallið má finna í töflu í skýrslu OS "Mælingar á þrýstifalli" eftir Helga Gunnarsson og Björn Erlendsson. Smíðað hefur verið sérstakt vítt tengistykki milli toppslögnu og borstanga sem hægt er að nota þegar mikið lekur.
- 3) Wireline borstangir eru það víðar að ekki þarf að taka tillit til þrýstifalls í þeim. Gömlu NX borstangirnar voru mun þrengri og hindruðu rennsli.
- 4) Pakkarar þeir sem lengst af hafa verið notaðir (sænsku pakkararnir) þengjast út á þann hátt að fremst á þeim er þrenging sem veldur þrýstifalli sem verður til þess að hærri þrýstingur er að baki gúmmíinu en í prófunarbilinu. Þetta þrýstifall þarf að dragast frá þeim þrýstingi sem mælist á yfirborði. Þrýstifallið er háð rennslinu og stærð gatsins á tappanum neðst á pakkaranum. Þrýstifallið má finna í töflum í skýrslunni "Mælingar á þrýstifalli".

Í NQ wireline pakkara SZ er innra þvermál vatnsleiðslu 25 mm. Óverulegt þrýstifall er í þeirri leiðslu við rennsli allt að 200 l/mín.

Op á BQ wireline kjarnakrónu er 36,5 mm í þvermál en þvermál vatnsleiðslu pakkarans er 16 mm.

Þrýstimæling niðri í prófunarbili: OS, VOD á þrjá elektróníska þrýstiskynjara sem hægt er að senda niður í holuna. Einn þeirra spannar bilið 0-20 kg/cm² en tveir bilið 0-70 kg/cm². Þeir hafa verið notaðir við lektarmælingar á Teigsbjargi. Til þess að geta notað þessa skynjara niðri í holunni þarf að hafa vatnshelda rafmagnsleiðslu og þarf sú leiðsla helst að vera burðarvír í leiðinni. Uppi á yfirborði þarf svo að vera tæki sem þýðir

rafpólusana yfir á læsilegt form. Best er að hafa sírita sem skráir þrýstingsbreytingar með tíma og skráir rennslið einnig samhliða.



MYND 6.6

Mynd 6.6 sýnir útskrift úr slíkri mælingu frá Teigsbjargi en þar var notaður mælingabíll Jarðhitadeildar. Hægt er að nota elektróniska þrýstiskynjarann eins og WIKA mælana með því að tengja slögnu frá honum í stútinn sem Wika mælirinn er venjulega skrúfaður í. Þegar þrýstiskynjarinn er uppi koma þrýstingsbreytingar af völdum vatnssúlunnar ofan við jarðvatnsborð ekki fram á mælinum fyrr en holan er full. Af þeim sökum getur vantað mikilvægar upplýsingar. Falli jarðvatnsborðsins eftir að dælingu er hætt er stundum hægt að fylgja með jarðvatnsmæli en yfirleitt gerist það svo hratt að menn missa af mikilvægasta hlutanum. Ef menn hafa þrýstiskynjara og leiðslu sem er styttri en dýpið niður á pakkarann er samt mikill kostur að geta komið skynjaranum niður fyrir jarðvatnsborð.

Ætlunin er að Vatnsorkudeild afli sér alls þess búnaðar sem þarf til að mæla þrýstinginn niðri í prófunarbílinu. Útfærslan verður sennilega þannig að skynjarinn yrði í sendilskaftinu eins og hann var hafður á Teigsbjargi en síðan liggi slanga frá honum í gegnum pakkarann niður í prófunarbílið. Vírinn sem tengir skynjarann við tækin uppi,

yrði að vera á spili sökum lengdar og fyrirferðar. Síriti sem skráir bæði þrýsting og rennsli eykur yfirsýn mælingamanna á öllum breytingum sem verða, t.d. ef holan springur út og hvernig þrýstingur byggist upp og fellur og getur þannig geymt upplýsingar sem menn athuguðu ekki að leita eftir er mæling stöð yfir.

1 1/2" háþrýstislanga

Þessi slanga er notuð til þess að flytja vatn frá rennslisskynjaranum að borstöngunum í holunni þegar borvatnstoppurinn er ekki notaður. Þessi slanga er víðari en vatnstoppsslangan og tengist með víðu millistykki á borstöngina til þess að forðast þrýstifall sem er í venjulegum vatnstoppi. Þessi slanga er með 1 1/2" tengjum (unionum) til endanna og passar við hliðarstút sem er á rennslisskynjaragreininni á bornum. Sérstakur krani er þar til þess að loka fyrir rennsli eftir toppslögnunni, sem er notuð við borun. Þessi slanga er eign VOD og er óhemju dýr og má því ekki blandast slöngum JBR.

Toppur á borstöng

Þessi toppur er vel opinn og veldur litlu sem engu þrýstifalli. Vatnið kemur inn um hliðarstút en beint ofan á honum eru tappar með þéttingum, þar sem hægt er þetta að vírnum og slöngum sem liggja ofan í holuna á meðan á lektun stendur, t.d. þrýstiskynjaravír eða "wireline" vír, þegar lektað er í skáholum, og slöngu þegar pakkað er með slöngu. Á vatnstoppinn er til hjól með teljara fyrir þrýstiskynjaravír o.fl.

Leiðslur og tengi

Á þeim borum sem þegar hefur verið komið fyrir föstum lögnum til lektunar á að vera mjög fljótlegt að tengja. Ráðlegt er fyrir lektor að hafa öll þrep af breytistykkjum úr 2" niður í 1/4" tappa. Þrýstimælarnir skrifast í gat fyrir 1/4" tappa. Einnig er gott að hafa 1 1/2" tengi (uniona) til vara.

Ef nota þarf rennslismæli af gömlu gerðinni verður að hafa við þá 1 1/2" rör beggja megin sem eru lengri en 12 sinnum innra þvermál þeirra. Þrýstimælir verður að flytjast aftur fyrir mælinn og á að vera staður fyrir hann á frárennslislegg mælisins.

Í einstaka tilfellum eru notaðar slöngur til þess að blása út pakkarann og er honum rennt niður stangirnar hangandi í þeim. Útblástursslangan tengist við bordælukerfið á hentugum stað aftan við framhjáhlaupið t.d. þar sem 1 1/2" slangan er venjulega höfð en hún þá sett á greinina í staðinn fyrir vatnstoppsslönguna. Þensluslangan er í 25 m lengjum, sem skrúfast enda í enda. Á þeim endanum sem er uppi er þrýstimælir og framan við hann er krani til þess að loka kerfinu þegar þökkunarþrýstingi hefur verið náð. Byrjað er á að þenja pakkarann upp í 5-7 kg þr. með bordælunni og síðan er skrúfað fyrir kranann. (Munið að taka tillit til vatnssúlunnar sem er í slöngunni ofan jarðvatnsborðs). Þétt er með slöngunni í toppnum á borstönginni. Ef nota á þennan búnað verður að byrja á því að ráðfæra sig við **S.Z.**

Götuð borstöng

Ef leктаð er ofan við pakkarann er settur tappi í leiðslu pakkarans og höfð götuð borstöng fyrir ofan hann. Ef holan er þurr eru hafðar tvær heilar stangir milli krónunnar og þeirrar götuðu til þess að geta byrjað á því að fylla það bil af vatni, sem er svo dælt inn í pakkarann. Gataða stöngin má ekki vera ofarlega vegna þess að afhleypirinn opnast inni í borstönginni. Ekki má vera vatnssúla á pakkara sem er með lokaðan tappa.

6.3 LEKTUN

Undirbúningur

* Þegar lektor mætir á staðinn þarf hann að byrja á því að mæla jarðvatnsstöðu og leita upplýsinga hjá borstjóra um nokkur atriði.

- Hvenær var dælingu á holunna hætt og hversu miklu var dælt niður?
- Skilaði skolvatnið sér upp? Kom það allt eða virtist eitthvað tapast? Tapaðist það allt? Veitti borstjórinn því athygli hvenær það breyttist? Hvað sýna vatnsborðsmælingar borstjóra? Hefur vatnið minnkað og aukist aftur?
- Hversu djúpt er holan? Hvar endar fíðurrörrið? Hefur verið steypt í holuna?

* Velja þarf heillegt berg fyrir þakka eftir því sem hægt er, miðað við prófunarbil. Borstjóri flytur krónuna á réttan stað. Þakkaragúmmfið snertir holuvegginn á 67 cm bili neðan við krónu. Prófunarbilið er þar fyrir neðan. Velja verður staðinn eftir kjarnanum. Kjarnakassarnir eru ekki alltaf á staðnum, oft komnir heim í kamp eða lengra. Ef það stendur til að flytja kjarnann burt verða menn að hugsa fyrir því að skrá bilin sem hægt er að pakka í. S.Z. fer þess á leit við lektora að þeir vandi valið á þökkunarstað vegna þess að þótt það sé ódýrt að steypa gúmmí þá kostar mikinn tíma og fyrirhöfn að endurnýja það.

* Kanna þarf vatnsbirgðir og dæluafll. Dæling þarf helst að fara fram óslitið. Óheppilegt er að þurfa að bíða eftir vatni í keridi á miðri lektun því útreikningar miðast við meðaldælingu. Oft er þó ekkert við því að gera. Tveggja strokka Lister stimpildælurnar dæla ekki nema u.p.b. 100 l á mínútu og er það mjög oft of lítið og hefur það valdið því að til eru margar gloppóttar lektarprófanir. Hægt er að nota tvær dælur saman og tengist þá aukadælan inn á lögnina framan við framhjáhlupið. (Mynd 6.5 (uppsetning)).

* Tengja þarf vatnsslönguna sem liggur frá mælagreininni að holutoppi. Leyfilegt er að nota snúningsvatnstoppinn ef leki er fyrir sjáanlega mjög líftill eða þrýstimælirinn er á efstu borstönginni.

* Athugið rennslismælinn, hafið hann tilbúinn og athugið afstöðu til mælanna upp á það að geta lesið á þá frá stillikrönum. Ef síriti er á rennslis og þrýstingi gangið frá honum og fáíð aðstoð við rennslisstillingu svo að ekki verði mistök, þannig að það þurfi að byrja uppá nýtt eftir að búið er að trufla eðlilegt jarðvatnsástand.

Niðursetning á þakka (einföldum) mynd 6.1.

Þegar jarðvatnssborð hefur náð jafnvægi er hægt að fara að setja þakkarann niður. Ef notaður er "wireline" sendillinn er best að fjarlægja fallhamarsbúnaðinn. Klóin er fest við skaftið með nippli NX 1 5/8" fyrir NQ og NX 1 5/16" fyrir BQ. Sendillinn er því næst hífður upp í mastrið. (Munið að þræða vatnstoppinn upp á vírinn ef sendillinn á að vera niðri á meðan á lektun stendur). Næst er pumpan tekin og

skrúfað á hana lóðið með handaflí. Þá er efri endanum stungið upp í sendilklóna og pumpan hífð upp þar til afhleypirinn er ofan við trektina á borstönginni þegar pumpan er útdregin. (Trektin má ekki vera á stönginni ef sendillinn á að verða eftir niðri). Sækið nú pakkarann og stingið honum í stöngina (holuna) og tengið hann við afhleypinn (hraðtengi). Nú er þökkunarþúnaðurinn látinn síga niður. Pakkarinn stöðvast sjálfkrafa í krónunni á stallinum sem er á gúmmífinu. Reynið að láta hann lenda rólega svo að hann laskist ekki eða kýlist fastur.

Ekki má vera vatn í pumpunni á leiðinni niður, því að þegar pakkarinn lendir á jarðvatninu hægir hann á sér og pumpan gengur saman og getur panið hann þannig að hann hemli uppi í stöngunum.

Pumpað í pakkara

Þegar pakkarinn er sestur er hægt að pumpa hann upp. Takið í vfrinn með handaflí. Auðvelt er að finna þegar hann kippir í sendilinn. Ef fallhamarinn er ekki með þá dregst pumpan sundur ef togað er lengra, en ef sendillinn dregst sundur verður að þreifa eftir öðrum hnykk. Takið slakann af og setjið spilið í bremsu. Gott er að merkja á vfrinn, við stangarstútin, staðinn þar sem sendillinn byrjar að toga í lóðið. Slaglengd pumpunnar er 93 cm. Dragið hana sundur heldur minna en 93 cm til þess að opna ekki afhleypinn. Þægilegast er að toga vfrinn bara út til hliðar. Vatnið streymir inn í pumpuhólfið í gegnum einstefnuloka. Gatið er lítið, gefið pumpunni smá tíma til þess að fyllast. Slakið síðan á. Lóðin leggjast með þunga sínum á bulluna, 16 kg á 1,75 cm². Vatnið í pumpuhólfinu þrýstist niður í pakkarann í gegn um pumpulegginn. Þvermál leiðslunnar í pumpuleggnum er aðeins 4 mm svo að talsvert viðnám er gegn rennslinu. Lóðið sígur því niður með dempaðri hreyfingu þannig að slaki kemur á vfrinn, þegar honum er sleppt, þegar pumpan er sundurdregin, en síðan kippir lóðið í hann þegar það hefur sigið niður. Þegar pakkarinn er fullpakkaður sígur pumpan ekki saman og slaki helst á vfrinum. Þá er 9,14 kg/cm² (16/1,75) þrýstingur inni í pakkaranum umfram það sem er umhverfis. Togið þá gætilega í vfrinn og reynið að draga pumpuna alveg sundur án þess að opna afhleypinn til þess að hafa meiri vatnsforða. Ef kerfið lekur eitthvað þá er eitt slag til vara. Ef gúmmífið springur er hægt að pumpa endalaust. Grunsamlegt er ef pakkarinn er ekki pakkaður þegar tekin hafa verið tuttu gu slög.

Ef pumpan virkar ekki á eðlilegan hátt þá á sá sem pumpar að finna það. Ef holan er þurr grípur pumpan loft og lóðið fellur til baka án þess að vatn veiti viðnám. Þá hangir lóðið stöðugt í vírnum. Við slíkar kringumstæður verður að dæla vatni niður á meðan pumpað er og truflast þá jarðvatnsástand. Ef vitað er fyrirfram að holan er þurr niður að pökkunarstað þarf ekki að bíða eftir að jarðvatn nái jafnvægi fyrir pökkun. Alltaf er mikið loft í vatni sem fossar niður borstangir. Gengur því ætíð treglega að pumpa við þessar kringumstæður.

Lendingarhringur fyrir kjarnarör í NQ kerfi er 56,5 mm í þvermál og í BQ kerfi 43,5 mm. Sendilhausinn með klónni er nær því svo sver og stundum er splittið sem er þvert í gegnum hann lengra. Best er að mæla lengd splittisins áður en pakkarinn er settur niður ef sendillinn hefur ekki verið notaður áður við pökkun. Sverfið af splittinu ef það er of langt. Sendilhausinn fer í gegn um hringinn þegar pumpað er. Ef splittið er of langt stoppar sendiklónin í hringnum og pakkarinn nær ekki að setjast. Þegar lektorinn ætlar að pumpa halar hann búnaðinn einungis upp og niður í stöngunum. Skellur heyrast þegar sendillinn hamrar á hringinn. Skráið tímann þegar pakkað er (klukkustund, mínúta).

Sendill fjarlægður

Sendillinn er fjarlægður þegar búið er að pakka. Undantekning er þó ef þrýstiskynjarinn er í sendilskaftinu eða ef um skáholu er að ræða.

Sendillinn er losaður af með því að láta hólkin falla. Vírinn má þá ekki vera slakur eða í lykkjum. Laus endi út í loftið þar sem vírinn er hnýttur í sendilskaftið getur stöðvað hólkin. Hólkurinn rennur upp á sendilskaftið og veldur því að sendiklónin helst útglennt og sleppir lóðinu. Til þess að opna klóna þarf sendillinn að liggja á lóðinu á meðan hólkurinn rennur upp á. Stundum þarf að hrista draslið til þess að lásinn opnist og hólkurinn falli alveg niður.

Í skáholum liggja lóðin og vírinn utan í borstönginni og hólkurinn kemst ekki niður. Sendillinn er þá hafður niðri á meðan á lektun stendur. Það má alls ekki snúa borstöngunum eða hreyfa þær á nokkurn hátt eftir að búið er að blása pakkarann út.

Eftir þökkun þarf að mæla jarðvatn til þess að finna raunverlega jarðvatnshæð prófunarbilsins. Blæðið þar til vatnsborðið er hætt að breytast.

Lokahandtök

Næst er vatnstoppurinn skrúfaður á borstöngina og slangan tengd við. Farið yfir alla krana og gætið að því að framhjálaupið sé opið í byrjun svo að ekki sé hætta á að kerfið springi. Lokið lokið leiðslunni sem liggur að vatnstoppnum sem er ekki í notkun. Ef ætlunin er að hafa jafnt rennsli allan tímann verður að byrja á því að stilla það með því að dæla út í loftið. Athugið að dælurnar bæta við sig þegar þær hitna en móttprýstingur vex. Vatnsmagn frá dælu er hægt að stilla með olfugjöf þeirra og gfr.

Dæling

Segjum að nú hefjist lektarmæling þar sem þrýstingi er stýrt. Skráið tímann og hefjið dælingu. Stillið þrýstinginn á 1 kg/cm² með framhjálaupskrananum. Þúast má við að þrýstingurinn vilji stíga. Haldið honum stöðugum með því að opna framhjá haupskranann og skráið rennslið á hálftrar til einnar mínútu millibili, ef ekki er sífriti, til þess að sjá hvernig móttprýstingur byggist upp. Þegar rennslið hefur verið stöðugt við 1 kg þrýsting í nokkurn tíma við stöðugt rennsli hækkið þrýstinginn í t.d. 2 kg og farið eins að. Þakkarans vegna á að vera óhætt að fara með þrýstinginn upp í 10 kg en menn verða sjálfir að meta aðstæður hverju sinni. Fjórir þrýstingspunktur eru algert lágmark.

Jöfnun

Þegar lektor er kominn með þann þrýsting sem hann þorir að nota hæstann er næst að mæla jöfnunarferil (recovery curve). Rennsli að og frá prófunarbili um dælukerfið er stöðvað allsnarlega. Einn verður að standa klár á loka aftan við framhjálaupið og annar á dælukúplingunni. Næst er lokað snögg fyrir niðurstreymið og dælunni kúplað frá í næstu andrá til þess að sprengja ekki kerfið framan við. Reynið að missa ekki vatnið í öfuga átt í gegnum rennslismælinn. Ef ekki er sífriti á þrýstingnum verða menn að vera handfljótir að ná honum niður á blað. Þá þarf tvo til. Um leið og lokað er fyrir vatnið er sett skeiðklukka í gang og þrýstingur lesinn. Þrýstingur og tími er svo skráður eins ört og frekast er unnt í byrjun og síðan með

ca. mínútu millibili. Ef þrýstiskynjarinn er á lögninni uppi á yfirborði verða menn að snara vatnstoppnum af þegar mælirinn er kominn niður í núll og fylgja vatnsborðinu niður með vatnsborðsmæli og skrá hæðina og tímann þar til jafnvægi hefur náðst. Athugið að miða við hæðþrýstimælisisins.

Þá er næst að deila aftur í holuna til þess að athuga hvort skolast hafi úr æðum. Nægir þá að nota eitt til tvö kg/cm² til samanburðar við fyrri mælingu.

Oft er hola mæld í þrepum með einföldun þakpara þannig að fyrst eru t.d. mældir neðstu 10 m, svo neðstu 20 m síðan neðstu 30 m o.s.frv. og leki fundinn með því að draga lekann í bilinu sem síðast var mælt frá heildinni. Þegar þessari aðferð er beitt er mikilvægt að hafa samræmi í þrýstingi við mælingu á prófunarbilunum.

Dæmi: Þrýstingsþrep 2,4,6,8,10 kg/cm² í öllum bilum en ekki 1,3,6,7 kg/cm² í sumum og 2,4,6,8,10 kg/cm² í öðrum.

Stundum lekur vatn upp úr holu á meðan á mælingu stendur. Þetta þarf ekki að þýða að þakkarinn þakki ekki, heldur kemst vatnið um æðar í berginu upp fyrir þakkarann og inn í holuna aftur. Þetta vatn er venjulega gruggugt.

Pakkarinn sóttur niður í holuna

Að lokinni lektun er sendlinum rennt niður borstangirnar niður á lóðið. Þegar hann hefur gripið í lóðið, tugið þá í vfirinn með handaflí og dragið lóðið upp þar til það kippir í afhleypinn, takið slakann af með spilunu og setjið í bremsu.

Nú er hæfilegt að einn maður tugi í vfirinn. Strengið hann til hliðar, en þannig fæst gott átak án mikillar áreynslu. Smá hnykkur finnst þegar afhleypirinn opnast. Nú streymir vatnið úr þakkarinum og hann fellur saman. Þíðið róleg með vfirinn strengdan á meðan þakkarinn tæmist. Átakið dregur þakkarann af stað upp þegar hann er orðinn nógu grannur til þess að komast í gegn um krónuna. Dragið þakkarann með handaflí upp í gegnum krónuna en þá er óhætt að hífa á fullri ferð með spilinu. Hífið sendilinn og pumpuna upp úr borstönginni og stoppið þegar þakkarinn birtist. Máið góðu taki á þakkarinum og losið hann frá við hraðtengið. Dragið hann upp úr borstönginni og leggið hann frá ykkur á góðan stað. Þrýstið næst pumpunni saman. Á meðan það er gert þarf að halda hraðtenginu opnu til þess að hleypa vatninu út úr pumpunni. Þrýstið á lokið með blýanti eða einhverju sem

sleppur upp í hraðtengið. Þegar pumpan er komin saman látið sedillinn síga og krækið honum af pumpunni. Hafið öruggt tak á pumpunni og varist að beygja innri pumpulegginn. Setjið pumpuna strax í kjarnakassann, en ekki á borðið, jafnvel þótt nota eigi hana nær strax aftur. Í lok lektunar skal bera olfu á pumpuna til varnar ryðmyndun.

6.4 LEKTUN MEÐ TVÖFÖLDUM SZ PAKKARA

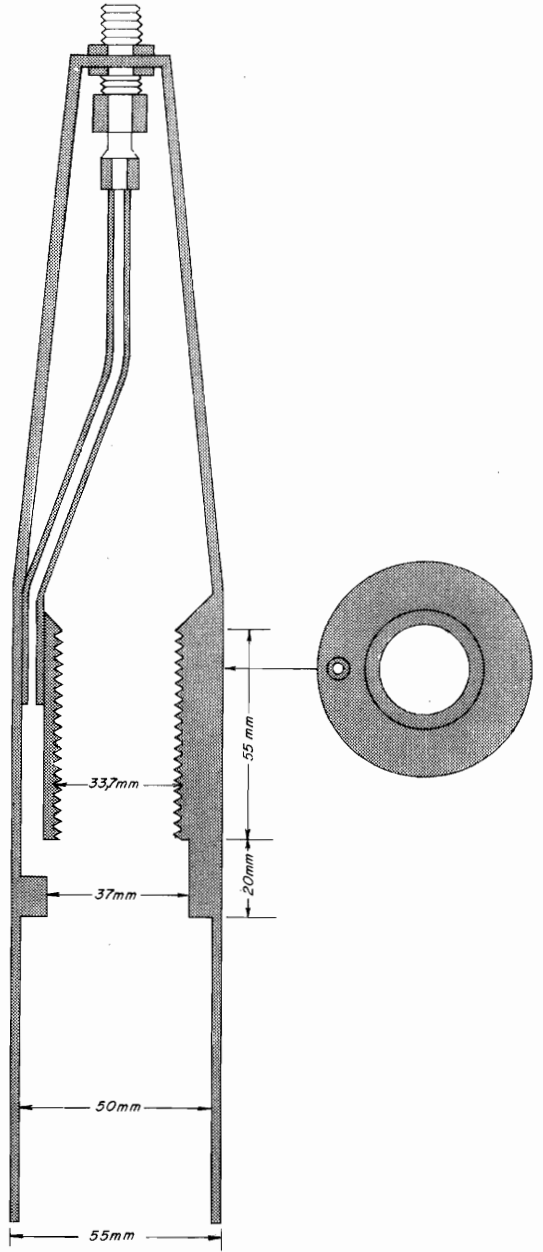
Lektun með tvöföldum SZ pakkara fer fram á sama hátt og með einföldum (mynd 6.7), að öðru leyti en því, að neðan í efri pakkarann skrifast AQ stangir en neðst er neðri pakkarinn með sérstökum afhleypi. Lengd AQ stangalengjunnar ræður millibilinu. Á milli AQ stanganna og efri pakkarans er tengistykki, sem veitir mælivatninu út í holuna. Rör liggur úr hettu efri pakkarans og niður í AQ stangirnar, en þær þjóna þá því hlutverki að vera leiðsla fyrir þensluvatn til neðri pakkara. Samskeyti þeirra eru þétt með gengjuteipi. Neðri afhleypinn er nauðsynlegt að hafa, vegna þess að ef langt er á milli pakkaranna þá veldur vatnssúlan í AQ stöngunum því, að neðri pakkarinn þenst út þegar tækin koma upp úr grunnvatninu. Þá grípur neðri pakkarinn borstangarveggina og stoppar. Við það dregst afhleypirinn í sundur, vatnssúlan hverfur og pakkarinn losnar aftur. Þeir sem hafa verða að vera vakandi fyrir því hvenær pakkarinn grípur í og toga vægt í á meðan rörin eru að tæmast. Ef fleiri en tvær AQ stangir eru notaðar verður að nota lendingarhring ytra kjarnarörsins sem sæti fyrir þökkunarbúnaðinn. Milli pakkarans og lendingarhringsins eru sett rör. Plata er á efri enda róranna og stoppar hún á hringnum. Ofan við hana eru pumpan og afhleypirinn.

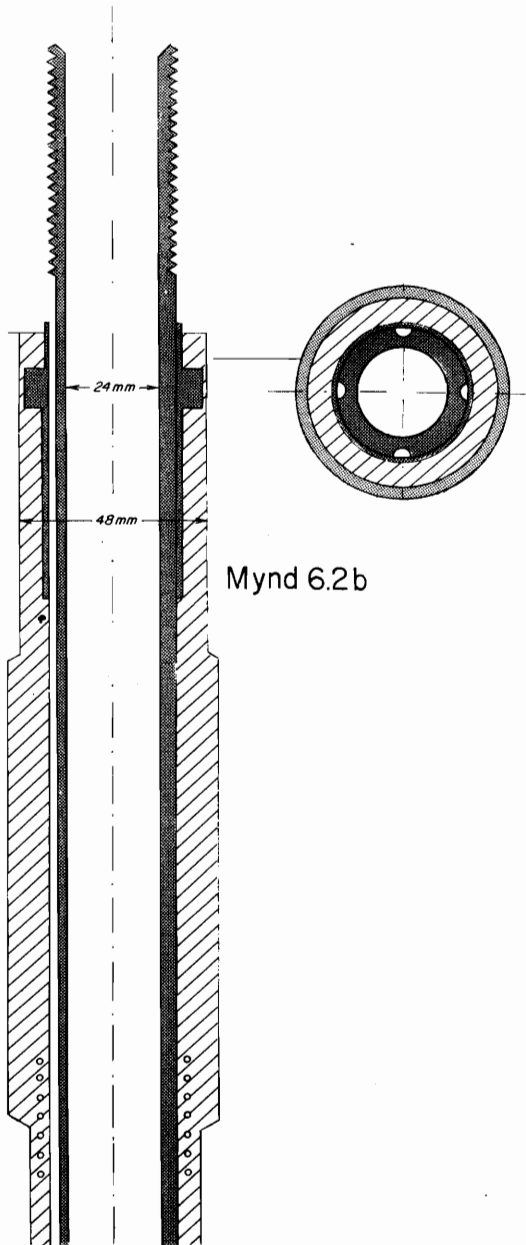
6.5 SJÁLFPVIRK ÞÖKKUN

Hannaður hefur verið búnaður þar sem þrýstingur frá bordælu þenur pakkarann út áður en dæling hefst. Þeim búnaði er lýst í Leshefti fyrir kjarnaborun, bls. 21, gefið út fyrir bormannanámskeið í apríl 1982. Sérhverjum manni er hollt að kynna sér þau fræði.

Amen í pakkarans nafni - amen.

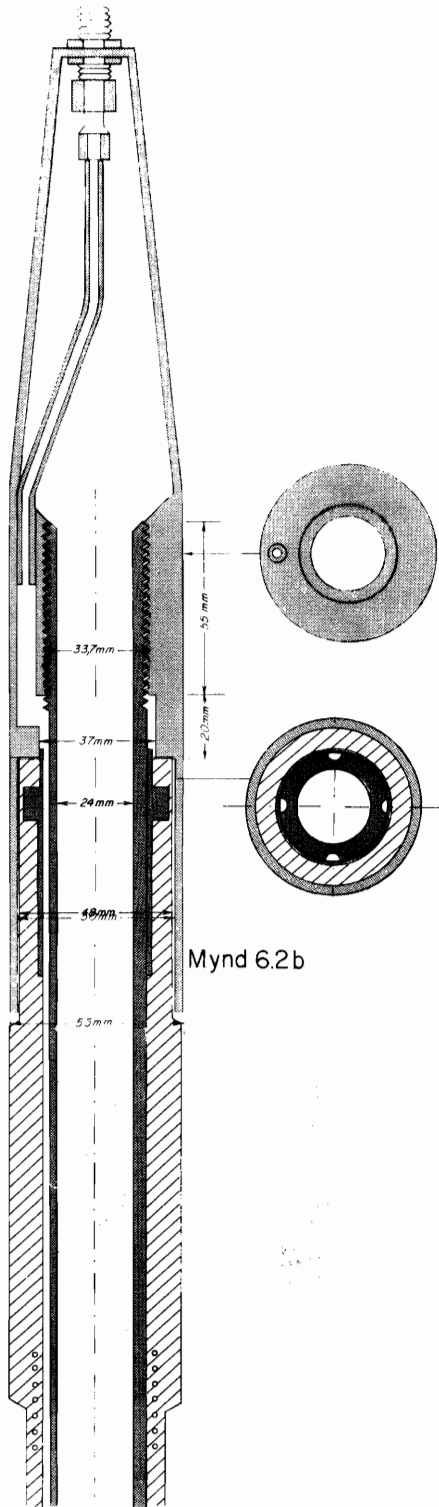
Mynd 6.2a





Mynd 6.2b

Mynd 6.2a

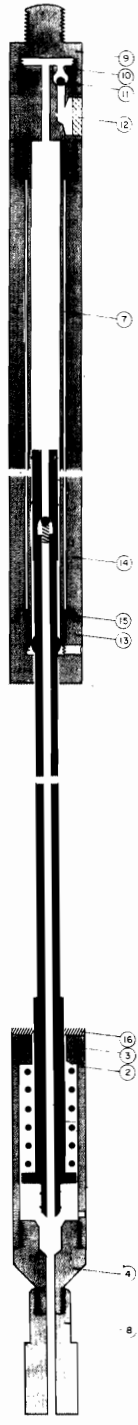
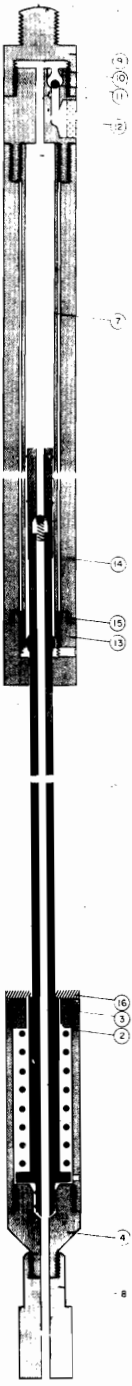


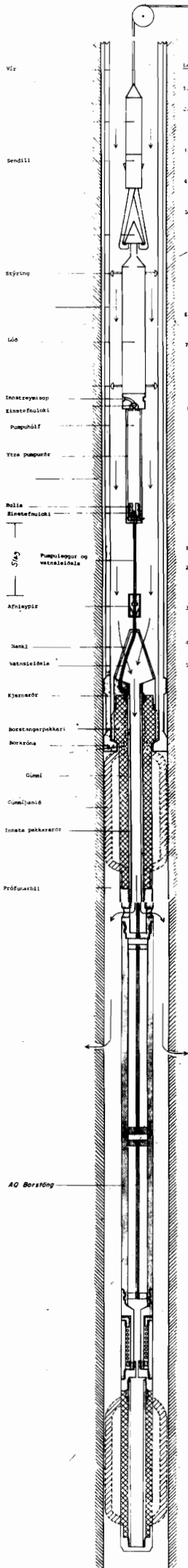
Mynd 6.2b

Mynd 63

Pumpa

Afhleypir





Leiðbeiningar

1. Fjarlægja "allinnarskið" á milli og hliða seðillinn upp.
2. Skreftu í lofti á púmpuna um stund og þú ert úr í sundlann og hliða púrnuna upp, þannig til afhleypisins er ofan við tréttana þegar púpan er útræpin.
3. Stungið þakkarinn í borastöngina um tennu hann við afhleypinn með hraetenginu.
4. Látið þakkarinnbúnaðinn síga niður borastönginn meðan í sundlinum. Látið þakkarinn setlast, varlega. (Þú má vera vatn í púpnunni á leið niður).
5. Þegar þakkarinn hefur sest í borastönginni og púpan hefur gengið saman er virinn strendur þar til hann byrjar að tosa í lóðni. Þá er spilið sett í bremsu. Púpið með því að toga virinn til hlíðar með handfylli.
6. Seðill hökinn nið er og fjarlægja seðillinn. Skreftu vatnspúpnuna á um lóðni.
7. Áð lokinni lektun er seðillinn settur niður og láttinn gripa í toppinn á lóðinu. Dragið púpnuna í sund, takið slakann af og settjið spilið í bremsu. Tugjið virinn til hlíðar með handfylli og opnið afhleypinn. Smá höfðakur fínast þegar hann opnast. Niðri með virinn strekkinn þar til þakkarinn hefur tennast. Þá dragdu hann af stað upp. Nú er óhætt að draga hann upp með spiliinu.
8. Þegar búnaðurinn kemur upp, lóði þá þakkarinn frá með hraetenginu og settjið hann á gólun stað. Þrýttið nest púpnunni saman. Haldið hraetenginu opna með höfðinu eða stöðverju til lóðs á þaðan. Látið seðillinn síga niður og hliðið púpnunni af. Setjið púpnuna strax í kassann.

Inni lægur púpnun er viðkomur. Getið þess að byrja hann ekki. Sprentið öllu inn í púpnuna að lokinni notkun.

Pakkari þakkar ekki

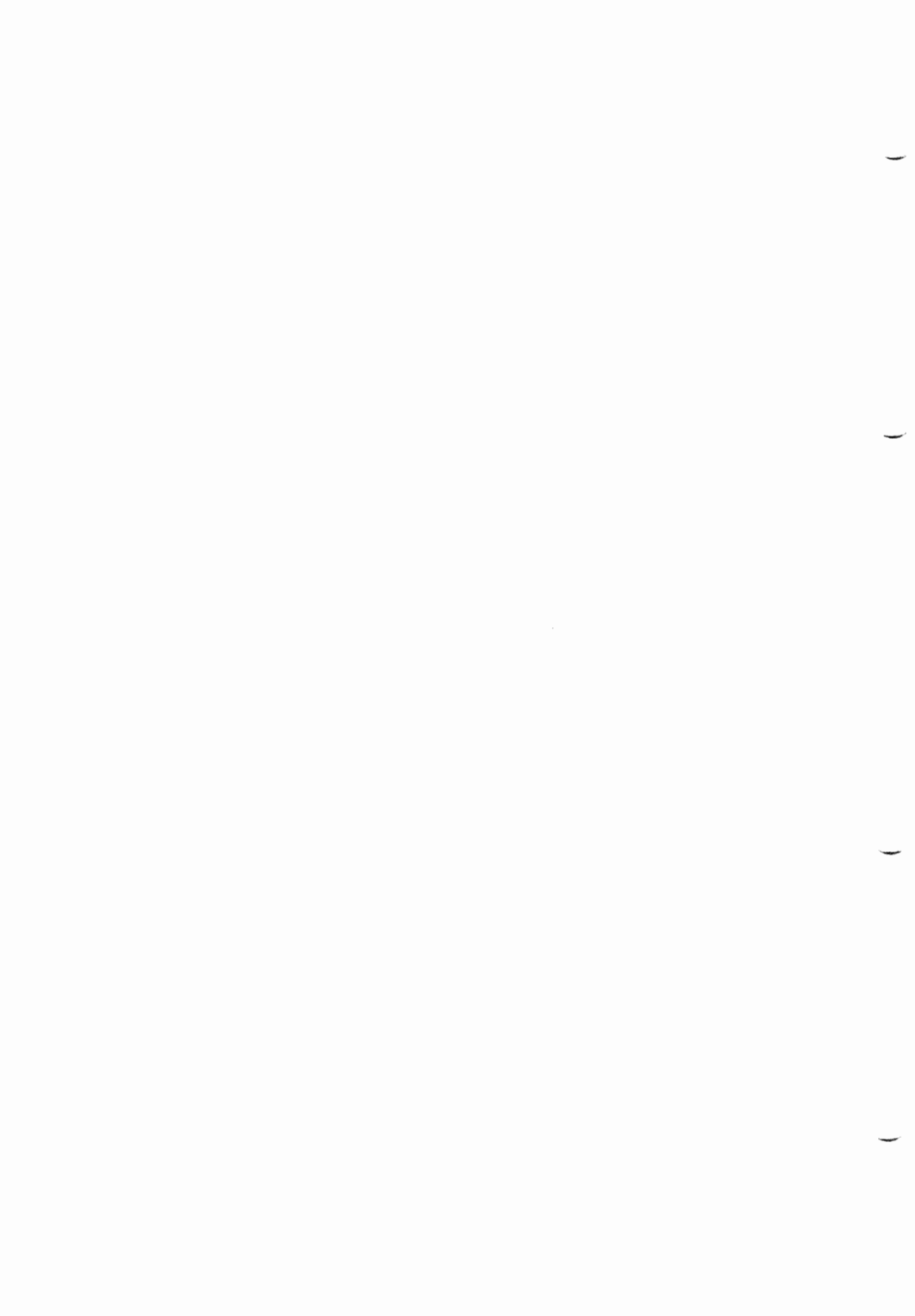
1. Púpan ekki í jarðvatni. Reyndu að dala vatni niður um leið og púpað er.
2. Þakkarinn er uppi í borastöngun. Ef vatn er í púpnunni þegar búnaðurinn lægur af stað niður getur mótstaða jarðvatnins ræpt til að hún dæli einu slagi í þakkarann og hann bremsi í stöðunum.
3. Seðillinn strandar í lóðingarkring. Múg heyrast þegar reynt er að púpa. Látið detta til baka en síga ekki vinn og þegar púpan virkar.
4. Ó brálegir ónglár, skilfrá.
5. Óreiðslu í einströfudika. Lokinn á að vera þéttur í vatni, sölling er að hann taki í lofti. Múg á varslu, fæðist að skreftu lokann sundur. Reyndu að breytna hann í þess.

The S.Z. I Wireline Packer

Mynd 6.7

VIÐAUKI: SI-EININGAKERFIÐ

Hörður Svavarsson tók saman



SI - KERFIÐ

Kver þetta fjallar um einingar sem byggja á lengd, massa, tíma og hitastigi.

GRUNNEININGARNAR SJÖ

Lengd	L	1 m	(metri)
Massi	M	1 kg	(kílógramm)
Tími	T	1 s	(sekúnda)
Rafstraumur	I	1 A	(amper)
Hitastig	K	1 K	(Kelvin)
Ljósstyrkur		1 cd	(kandela)
Efnismagn		1 mol	(mól)

SKILGREININGAR

Nafn	Eining	Tákn	Skilgr.
------	--------	------	---------

AFLFRÆÐI:

Kraftur	Newton	N	kgm/s ²
Kraftvægi		Nm	
Afl	Watt	W	J/s
Prýstingur	Pascal	Pa	N/m ²
Orka	Joule	J	N/m

VARMAFRÆÐI:

Varmaleiðni		K	W/m ² ·K
Diffusivity	K/C·ρ		m ² /s
Varmarýmd		C	J/kg·K
Hitastigull	ΔT/Z		°K/m
Varmaflæði		q	W/m ²

SEIGJA, LEKT OG FL.:

Seigja (dynam.)	Poise	μ	Ns/m ²
Seigja (kinem.)	Stokes	γ	m ² /s
Lektarstuðull		Kp	m/s
Raunlekt	Darcy	kp	m ²

MAGNFORSKEYTI

a	atto	10^{-18}	
f	femto	10^{-15}	
p	piko	10^{-12}	
n	nano	10^{-9}	
μ	mikro	10^{-6}	
m	milli	10^{-3}	
c	centi	10^{-2}	
d	deci	10^{-1}	
da	deka	10	tugur
h	hekto	10^2	hundrað
k	kíló	10^3	þúsund
M	mega	10^6	milljón
G	gíga	10^9	milljarður
T	tera	10^{12}	billjón
P	peta	10^{15}	billjarður
E	exa	10^{18}	

LENGD L

1 Ångström (Å)	10^{-10}	m
1 Mikron (my)	10^{-6}	m
1 Tomma (in)	$25,4 \cdot 10^{-3}$	m
1 Fet (ft)	0,3048	m
1 Faðmur (fth) = 6 fet	1,829	m
1 Jardur (yd)	0,9144	m
1 Míla(UK) (mil)	1609	m
1 Sjómíla (nau.mil)	1852	m
1 Ljósár	$9,461 \cdot 10^{15}$	m

FLATARMÁL L²

1 Fertomma (in ²)	$0,6452 \cdot 10^{-3}$	m ²
1 Ferfet (ft ²)	$92,90 \cdot 10^{-3}$	m ²
1 Ferjardur (yd ²)	0,8361	m ²
1 Ekra (acre)	4047	m ²
1 Fermíla (sqmi)	$2,590 \cdot 10^6$	m ²
1 Hektari (ha)	10 ⁴	m ²

RÚMMÁL L³

1 Lítri (l) =dm ³	10 ⁻³	m ³
1 Únsa(UK) (floz)	2,841*10 ⁻⁵	m ³
1 Rúmtomma (in ³)	16,39*10 ⁻⁶	m ³
1 Rúmfet (ft ³)	28,32*10 ⁻³	m ³
1 Rúmjardur (yd ³)	0,7646	m ³
1 Gallon(UK)	4,546*10 ⁻³	m ³
1 Gallon(US)	3,785*10 ⁻³	m ³
1 Fat, barrel (bbl)	0,159	m ³
1 Quart(UK)	1,14*10 ⁻³	m ³
1 Pint(UK)	0,57*10 ⁻³	m ³
1 Gígalítri (Gl)	10 ⁶	m ³

TÍMI T

1 Millisekúnda (ms)	10 ⁻³	s
1 Mínúta (mín)	60	s
1 Klukkustund (klst)	3600	s
1 Sólarhringur (shr)	8,64*10 ⁴	s
1 Mánuður (mán)	2,628*10 ⁶	s
Ár (a)	≈ 3,1536*10 ⁷	s
Ár (a)	≈ π *10 ⁷	s

HRADI $L \cdot T^{-1}$

1 km/klst	0,2778	m/s
1 ft/s	0,3048	m/s
1 míla/klst	0,4470	m/s
1 Hnútur	0,5144	m/s
1 Hnútur	1 sjómíla/klst	

RENNSLI $L^3 \cdot T^{-1}$

1 l/s	10^{-3}	m^3 / s
1 ft ³ /s	$28,32 \cdot 10^{-3}$	m^3 / s
1 gallon/mín	$63,09 \cdot 10^{-6}$	m^3 / s
1 ft ³ /mín	$0,4719 \cdot 10^{-3}$	m^3 / s
1 bbl/dag	$1,84 \cdot 10^{-6}$	m^3 / s
1 l/mín	$16,66 \cdot 10^{-6}$	m^3 / s
1 Gl/2vikum	0,8267	m^3 / s

HRÖÐUN $L * T^{-2}$

Þyngdarhröðun (g)	9,80665	m/s ²
1 cm/s ²	10 ⁻²	m/s ²

MASSI M

1 Pund (lb)	0,4536	kg
1 Steinn (stone)	6,3503	kg
1 Slug (slug)	14,59	kg
1 Ónsa (oz)	28,35*10 ⁻³	kg
1 Tonn(SI) (tonn)	1000	kg
1 Tonn(UK) (ton)	1016	kg
1 Tonn(US) (sh tn)	907,2	kg

EDLISMASSI $M \cdot L^3$

1 g/cm ³ =kg/l	1000	kg/m ³
1 lb/in ³ (pci)	27,68*10 ³	kg/m ³
1 lb/ft ³ (pcf)	16,02	kg/m ³
1 lb/yd ³	0,5933	kg/m ³

KRAFTUR $L \cdot M \cdot T^{-2}$

1 Kílópond (kp) = kgf	9,807	N
1 Pundkraftur (lbf)	4,448	N

KRAFTVÆGI $L^2 \cdot M \cdot T^{-2}$

1 kpm	9,807	Nm
1 lbf in	0,1130	Nm
1 lbf ft	1,356	Nm
1 ton ft (UK)	3037	Nm
1 ton ft (US)	2711	Nm

ORKA, VINNA $L^2 * M * T^{-2}$

1 Wattsekúnda (Ws)	1	J
1 Kílówattst. (kWh)	$3,6 * 10^6$	J
1 kpm	9,807	J
1 Kílókaloría (kcal)	4187	J
1 hph (hp*klst)	$2,685 * 10^6$	J
1 ft lbf	1,356	J
1 B. th. unit (Btu)	1055	J

AFL $L^2 * M * T^{-3}$

1 Nm/s	1	W
1 kpm/s	9,807	W
1 kcal/s	4187	W
1 kcal/klst	1,163	W
1 Hestafli (hk)	735,5	W
1 Hestafli(UK) (hp)	745,7	W
1 ft lbf/s	1,356	W
1 Btu/klst	0,2931	W

DRÝSTINGUR $M \cdot T^{-2} \cdot L^{-1}$

1 N/m ²	1	Pa
1 mbar	100	Pa
1 bar	100*10 ³	Pa
1 kgf/cm ² ("kg/cm ² ")	98,07*10 ³	Pa
1 kg/cm ² =at	9,8*10 ⁻²	MPa
1 kg/mm ²	9,807*10 ⁶	Pa
1 torr (1 mmHg)	133,32	Pa
1 atm (loftþyngd)	101,3*10 ³	Pa
1 lbf/in ² (psi)	6,895*10 ³	Pa
1 ton/in ² (UK) (tsi)	15,44*10 ⁶	Pa
1 ton/in ² (US)	13,78*10 ⁶	Pa

HITASTIG K

Kelvin	1 °K =	273,15 + °C
Celcius	1 °C =	5/9*(°F-32)
Farenheit	1 °F =	9/5*°C+32
Réamur	1 °R =	4/5 °C

SEIGJA, LEKT OG FL.

1 Poise P (g/cm*s)	0,1	Ns/m ²
1 Stokes St (cm ² /s)	10 ⁻⁴	m ² /s
1 Darcy	9,87*10 ⁻¹¹	m ²
1 mdarcy	0,987*10 ⁻¹⁵	m ²

VARMAFRÆÐI

1 h.f.u.	0,418	W/m ²
1 kcal/m h °C	1,163	W/m °K
1 cal/cm s °C	418,7	W/m °K
1 Btu/ft h °F	1,731	W/m °K
1 Btu in/ft ² h °K	0,1442	W/m °K
1 kcal/m ² h °C	1,163	W/m ² °K
1 cal/cm ² s °C	41,87*10 ³	W/m ² °K
1 Btu/ft ² h °C	5,678	W/m ² °K

EFNISYFIRLIT

	bls.
GRUNNEININGARNAR SJÖ.....	1
SKILGREININGAR.....	2
MAGNFORSKEYTI.....	3
LENGD.....	4
FLATARMÁL.....	4
RÚMMÁL.....	5
TÍMI.....	5
HRADÍ.....	6
RENNSLI.....	6
HRÖÐUN.....	7
MASSI.....	7
EÐLISMASSI.....	8
KRAFTUR.....	8
KRAFTVÆGI.....	8
ORKA, VINNA.....	9
AFL.....	9
ÞRÝSTINGUR.....	10
HITASTIG.....	10
SEIGJA, LEKT OG FL.....	11
VARMAFRÆÐI.....	11
EFNISYFIRLIT.....	12