ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

á bílu
1

ORKUSTOFNUN
MÁLASAFN
401

ORKUSTOFNUN RAFORKUDEILD

VERKSVIÐ OG STARFSAÐFERÐIR

Um útgáfuna sáu:

Sveinn Þorgrímsson

og

Birgir Jónsson

OS-ROD-7722

Júní 1977

E F N I S Y F I R L I T

KAFLI	
1	INNGANGUR
2	BORKJARNI
3	LEKTARPRÓF
4	SKRÁNING GAGNA
5	LANDMÆLINGAR
6	VATNAMÆLINGAR
7	AURBURÐARRANNSÓKNIR
8	JARÐVATNSMÆLINGAR
9	JARÐVATNSHITAMÆLINGAR
10	BYGGINGAREFNI
11	HELSTU FUNDARSTAÐIR BYGGINGAREFNIS
12	BERGTÆKNI
13	JARÐSVEIFLUMÆLINGAR
14	VIÐNÁMSMÆLINGAR

INNGANGUR

Vatnsafl Íslands má reikna og skilgreina á ýmsa vegu. Í víðustu merkingu er vatnsafl sú orka, sem felst í hringrás vatnsins frá því það fellur sem úrkoma á landið, þar til það hefur aftur skilað sér niður að sjávarmáli að frádregnum þeim skatti, sem uppgufunin veldur. Þar sem hæðardreifing lands, og úrkomudreifing er þekkt í grófum dráttum má reikna stærð þessarar orkulindar. Í venjulegu ári nemur vatnsorkan nú um 300 Twh og fer nú til þess að flytja vatn, ís og aur til sjávar. Hún breytist að verulegu leyti í varma og geislar út í himingeiminn. Þetta er ekki nema að litlu leyti hið sama og nýtanleg orka.

Önnur leið orku er sú, að telja aðeins rennandi vatn á yfirborði jarðar. Reiknað á þann hétt er vatnsorkan um 180 Twh á ári. Þær tölur sem hér eru nefndar má síðan bera saman við módel af jarðhitaorku Íslands, sem talin er 80 Twh á ári.

Meirihluti vatnsorkunnar er ekki nýtanlegur af ýmsum ástæðum, svo sem dreifingu, tæknilegum ástæðum og umhverfisatriðum.

Eitt meginatriði í vinnu Raforkudeildar Orkustofnunar er að finna út hversu mikill hluti er nýtanlegur og á hvern hátt. Eitt prósent aukning í nýtanlegri vatnsorku samsvarar virkjun á stærð við Búrfell svo að hér er um stórmál að ræða.

Þriðja stig í mati á vatnsorku landsins er að sjá út, hvernig beisla megi hana í ákveðnum virkjunum. Það var fyrst gert af Sigurði Thoroddsen og fékk hann út að 35 Twh væru nýtanlegar og þar af 28 Twh í hagkvæmu vatnsafli. Yfirlit gerð af undirrituðum bendir til þess að þessar tölur megi vera töluvert hærri eða um 50 Twh hugsað í virkjunum og þar af hagkvæmt sennilega um 40 Twh. Verðmæti orku frá þessum virkjunum á heildsöluverði er 4 til 5 sinnum verðmæti fiskafla landsmanna upp úr sjó, hvor tvegggja á núverandi verði. Höfuðverkefni raforkudeildar Orkustofnunar er að rannsaka þetta vatnsafl, magn þess, dreifingu og hagkvæmni. Þessi rannsókn beinist að ýmsum sviðum sem í grófum dráttum má skipta í:

1) Náttúrufræðilegar grundvallarrannsóknir, 2) Tæknilegar rannsóknir, 3) Verkfræðilegar athuganir. Í hinum verkfræðilegu athugunum, koma fyrst fram kostnaðaráætlanir um virkjanir. Þær eru mjög misnámkvæmar, eftir gæðum og magni þeirra upplýsinga, sem á bak við þær standa. Verkfræðilegar athuganir eru að mestu aðkeyptar frá verkfræðiráðunautum en söfnun upplýsinga til þess að undirbyggja þær eru að mestu leyti verk ROD.

Raforkudeild skiptist í undirdeildir sem eru vatnamælingar, landmælingar og mannvirkjajarðfræði. Auk þess eru ýmis önnur starfsemi stjórnunarlega skipað undir hana, svo sem teiknistofu, straumfræðistöð, ferðaþjónustu og söfnun tölfræðilegra upplýsinga um orkumál. Af undirdeildunum er mannvirkjajarðfræðin lang stærst og með fjölbreyttasta starfsemi. Hún starfar í nánum tengslum við ráðgefandi verkfræðinga, sem vinna fyrir stofnunina. Þessi starfsemi veltir líka lang mestu fé, þar sem undir hana falla boranir og aðrar mjög dýrar rannsóknaaðferðir.

Þessi starfsemi varð kveikjan að handbók þeirri, sem hér sér dagsins ljós. Handbókin er ætluð sem fræðsla og leiðbeiningar fyrir þá sem nýir eru í starfi eða ókunnugir viðkomandi sérsviði og minnislisti fyrir þá sem reyndir eru á hverju sviði. Starfsemin er svo fjölþætt og margir sem að henni starfa að aukning í afkastagetu hvers einstaklings við upplýsingasöfnun er mikils virði. Auk þess getur stöðlun á rannsóknaraðferðum aukið mjög gildi þeirra.

Verkfræðilegum athugunum er skipt í stig eftir nákvæmni þeirra. Þessi stig eru: 1) Drög að frumáætlun, 2) Frumáætlun, 3) Hönnunaráætlun og 4) Gerð útboðsgagna. Á verksviði Orkustofnunar eru fyrst og fremst tvö fyrstu stigin, þ.e. að undirbyggja þau með gögnum og láta fara fram nauðsynlega verkfræðivinnu.

Með framangreindum aðgerðum á að vera hægt að finna út hvar virkjunarstaðir eru og flokka þá nokkuð eftir líklegum kostnaði raforkunnar frá þeim og benda á frekari rannsóknarþörf. Hönnunaráætlun kostar yfirleitt væntanlegur virkjunaraðili, en nokkuð er um það í landshlutum utan Landsvirkjunarsvæðis, að Orkustofnun geri þær einnig. Gerð útboðsgagna er aftur á

móti alltaf verkefni virkjunaraðila.

Mannvirkjajarðfræðilegar athuganir fyrir hönnunaráætlanir og útboðsgögn eru þó oftast faldar Raforkudeild af virkjunaraðilum í samvinnu við verkfræðistofur. Þannig hefur það verið síðan um 1960 og hefur því ROD rannsakað alla virkjunarstaði, sem unnið hefur verið að síðan. Einnig hefur öllum hinum stærri og flóknari þessara mannvirkja verið fylgt eftir með rannsóknum og þjónustu á byggingarstigi og jafnvel eftir að rekstur hefst.

Þessi starfsemi hefur eðlilega safnað kunnáttu og reynslu, sem aðrir en virkjunaraðilar hafa notfært sér við meiri háttar mannvirkjagerð. Má þar til nefna rannsóknir á stóriðjustöðum í Straumsvík, Grundartanga og á Gáseyri, svo og rannsókn vegna hafnargerðar í Þorlákshöfn og Grindavík. Einnig rannsókn vegna brúargerðar á Skeiðarársandi og í Borgarfirði svo að stærstu verkefnin séu nefnd. Sum þessarra verkefna hafa verið mjög víðtæk og fjallað um allar hliðar jarðfræðilegra vandamála en önnur verið mun þrengri og notast við vissa vinnutækni í rannsóknum og starfsaðstöðu sem hér hefur verið komið upp.

Í köflunum hér á eftir kemur nokkuð í ljós hvað mannvirkjajarðfræðin eins og hún er stunduð hér á ROD fjallar um. En hér verður gefið stutt yfirlit yfir aðalverkþættina.

1. Almenn jarðfræði. Nákvæm jarðfræðirannsókn á yfirborði í þeim tilgangi að gera jarðfræðikort.

2. Jarðeðlisfræðilegar mælingar. Tilgangur þeirra er að finna einhver mörk í lóðréttu eða láréttu sniði og eiginleika jarðefna og bergs eftir því sem hægt er. Um nokkrar jarðeðlisfræðilegar mælingaaðferðir er að ræða og er sú valin, sem líklegust er til að finna umrædd mörk í hvert sinn.

3. Boranir. Tilgangur þeirra er að nokkru sannprófun á því sem fram hefur komið í 1 og 2 og einnig að fá jarðtæknilegar upplýsingar sem einungis er hægt að fá úr borholum og borkjarna.

4. Rannsóknir á aurburði í ám og við strendur landsins.

5. Leit að byggingarefnum og rannsókn á þeim. Byggingarefni eru mjög mikilvægur þáttur er virkjanir eru reistar t.d. efni í stíflu og alla steypuhluta, því þar er oft á tíðum um að ræða mjög mikið magn og kostnaður vegna byggingarefnis hefur því afgerandi áhrif á heildarkostnað virkjunarinnar.

6. Jarðtæknileg tilraunastarfsemi og fræðileg úrvinnsla er einnig stunduð. Stærst af því er Langölduveitan - tilraun í gerð uppistöðulóna á mjög ungum jarðmyndunum. Einnig eru gerðar mælingar á jarðskorpuhreyfingum, athuganir á jarðvatni og leka. Athuganir í jarðgangagerð og stíflugerð og nýjungum á því sviði fara einnig fram.

Eins og sést á þessari upptalningu eru sum svið nærri verkefnum annarra undirdeilda raforkudeildar og eru þá oft unnin í samstarfi við þær. Þess vegna er þessum undirdeildum einnig lýst og þeirra verksviðum og samstarfsverkum. Nú á seinni árum hafa umhverfisrannsóknir komið með vaxandi þunga inn í rannsókn á vatnsafli og er sú starfsemi bæði aðkeypt en einnig er starfsemi nokkur á deildinni á því sviði og er líffræðilegum þætti þess lýst hér í handbókinni. Það er því ekki ætlunin hér að gera tæmandi skil á verkefnum ROD en þau eru fleiri en hér hafa verið talin upp, sum unnin í samstarfi við aðra í eins konar nefndarformi.

Eins og fyrr sagði þá er kveikjan að þessari handbók þörf mannvirkjajarðfræðinnar á stöðlun verka og aukinni nýtingu vinnuafls. Einnig á handbókin að tryggja að starfsmenn missi ekki sjónar á tilgangi starfs síns sem er rannsókn á vatnsaflinu, mestu náttúruauðlind landsmanna.

Reykjavík 3. maí 1977,

Haukur Tómasson.

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

B O R K J A R N I

Elsa G. Vilmundardóttir

OS-ROD-

Júní 1977

5 BORKJARNI

5.1 Kjarnalýsing

Boranir eru mikilvægur liður í jarðkönnun á svæðum þar sem virkjanir og önnur stór mannvirki eru fyrirhuguð og túlkun á jarðfræðilegum aðstæðum er oft að verulegu leyti byggð á þeim upplýsingum, sem fást við boranir. Þess vegna er mikilvægt, að sá sem gerir kjarnalýsingu vinni verk sitt af nákvæmni og samviskusemi og jafnvel hugkvæmni. Ber að gera öllum eftirtöldum atriðum eins góð skil og kostur er við þær aðstæður sem ríkja á borstað.

Þegar kjarnalýsing er gerð eða hola "logguð" eins og það er kallað í daglegu tali, er að ýmsu að huga og skal það helsta tilgreint hér. Vinnu við kjarnalýsingu má skipta í þrjá aðalhluta:

1 a) Frumathuganir og mælingar á kjarna færðar í feltbók.
b) Athuganir á borskýrslum og viðræður við borstjóra:

2 Borholulýsing.

3 Borholusnið.

1a Loggun kjarnaholu hefst á því, að kjarninn er athugaður í kjarnakassanum og athuganir færðar inn í feltbók til bráðabirgða. Athuguð er hver færa um sig, en færa kallast það bil, sem borast hverju sinni, þegar borstangir með tilheyrandi útbúnaði eru settar niður í holuna og er færan afmörkuð í kjarnakassanum með kubbum, sem á er merkt viðeigandi dýpt. Fyrst er lengd kjarnans í færunni mæld og því næst skrifaðar athuganir á sjálfum kjarnanum, sbr. Greining og lýsing efnis hér á eftir. Mæla þarf, hvar breyting verður í kjarna, t.d. hvar hvert jarðlag byrjar og endar, breytingar á ummyndun, sprungur og brotfleti og annað, sem breytist frá einum stað til annars í færunni. Í sambandi við brotfleti þarf að mæla fjölda og fjarlægð milli þeirra. Einnig þarf að mæla halla og áferð brotflatanna (sjá nánar kafla um flokkun á bergi). Á bls. 5-7 eru sýndar athugasemdir úr feltbók með frumdrögum að kjarnalýsingu.

1b Kjarnalýsingin byggist á vandlegri athugun á kjarna þeim, sem lýsa skal og athugun á borskýrslum og best er, ef sá sem kjarnalýsingu gerir á þess kost að fylgjast með boruninni og ræða við borstjóra um ýmislegt er varðar borunina, vegna þess að margt, sem segir til um eðli og gerð bergsins, kemur ekki beinlínis fram í kjarnanum, heldur verður ráðið af gangi boruninnar almennt. T.d. á þetta mjög við, þegar borað er á hrauna- og móbergssvæðum og lítill sem enginn kjarni fæst oft og tíðum. Einnig þegar borað er með hjólakrónu og kjarni ekki tekinn.

2 Síðan er gengið frá kjarnalýsingunni á þar til gerðum eyðublöðum. Fyrst er gerð Borholulýsing, sjá bls. 8-12. Skrifa skal í "hausinn" eins og fyrirsagnir segja til um. Í fremsta dálkinn skal skrifa hæð á toppi fóðurrörs holunnar efst, ef búið er að mæla hana. Síðan skal skrifa hæðartölur færumóta og botns holu.

Næsti dálkur ber yfirskriftina Dýpi. Venja er að lýsa 6 m á hverju blaði og skrifa dýptartöluna við löngu strikin. Lesið er af kjarnanum og flest atriði í lýsingunni miðuð við 10 cm nákvæmni.

Í dálkinn m/klst á að skrá borunarhraða ef hann er mældur og á það einkum við þegar borað er með hjólakrónu og ekki tekinn kjarni.

Greining og lýsing efnis. Í þennan dálk á að skrifa beinar athuganir þess, sem lýsinguna gerir, á kjarnanum eða því sem skilar sér upp úr holunni (að undantekinni steypu o.þ.h.). Gefa skal lýsingu á hverri færu um sig og aðgreina frá næstu með láréttu striki. Taka skal fram um hvers konar berg sé að ræða, t.d. basalt, móberg, völuberg o.s.frv. og kveða nánar á um gerð þess í stuttu máli, eins og kornastærð (t.d. fínkornótt, glerkennt), kristalla (þá er einkum um að ræða fenokristalla af feldspati eða olivini), lit kjarnans þegar hann er þurr, (t.d. dökkgrár, svartur, móbrúnn, o.s.frv.), þéttleika (t.d. blöðrótt, þétt, fraunkennt), holu- og sprungufyllingar (geta skal um hvort holur og sprungur í berginu eru tómar, lítið fylltar, hálffylltar eða alveg fylltar. Einnig um gerð fyllinga eftir því sem mögulegt er og lit)

og ummyndanir, (er þar einkum um að ræða breytingar af völdum jarðhita og kemur fram í kjarna sem breytingar á lit, auknum holu- og sprungufyllingum og minni hörku). Þegar um setberg er að ræða þarf einnig að geta um stærð steina og gerð og lit matrix (millimassa) og hlutfall milli steina og matrix. Geta þarf um lengd kjarnabúta og sprungur og brotfleti í kjarna. Sjá nánar í kafla um bergtækni og berggreiningarkerfi.

Við mælingu á fjölda brotflata og lengd kjarnabúta á einungis að taka tillit til náttúrulegra sprungna og brotflata í kjarnanum, en ekki nýrra brota sem myndast hafa við borunina eða meðhöndlun kjarnans.

Kjarnaheimtur %. Mæla þarf lengd kjarnans úr hverri færu og skrifa í þennan dálk hve mikill hluti skilar sér, sem getur verið frá 0-100%. Ef ekki er reynt til að ná kjarna er skrifað - við færuna. Einnig skal mæla svonefnda RQD kjarnaheimtu (Rock Quality Designation) og færa inn í þennan dálk fyrir aftan venjulegu kjarnaheimtuna. Þegar RQD kjarnaheimta er mæld eru aðeins mældir kjarnabútar 10 cm og lengri.

Athugasemdir um borun, jarðvatn, vatnstap o.fl. Upplýsingar í þennan dálk á að sækja í borskýrslu. Taka skal fram vídd holu, gerð borkrónu, gerð kjarnarörs, lengd fóðurrörs og vídd. Einhver þessara atriða geta breyst meðan á borun stendur og þarf að geta þess hjá viðeigandi færu. Upplýsingar borstjóra um gang borunar, t.d. hrun í holu, festu, steypingar, lit skolvatns, skolvatnstap, jarðvatnsdýpi meðan á borun stendur og annað sem fram kemur hjá borstjóra og gæti gefið upplýsingar um gerð og ástand bergsins skal fært í þennan dálk. Einnig skal getið um lektarprófanir, en að öðru leyti eru þeim gerð skil á sérstökum eyðublöðum. Þegar borað er með hjólakrónu og enginn kjarni tekinn og þegar enginn kjarni næst af einhverjum orsökum í kjarnaborun, eru upplýsingar þær, sem gefnar eru í þessum dálki sérlega mikilvægar þar sem túlkun á berginu byggist þá á verulegu leyti á þeim.

Aftast er svo dálkurinn Kjarnakassa eða sýnis nr. Kjarnakassarnir eru merktir með númeri og einkennisstöfum holunnar, (t.d. LD-21) og númeraðir 1,2,3 o.s.frv. eftir fjölda þeirra. Geta skal í þessum dálki í hvaða

kassa kjarna eða svarf úr holunni af viðkomandi dýpi að finna.

3 Þegar borholulýsingin er fullunnin er útbúið borholusnið þar sem dregnar eru saman helstu upplýsingar frá borholulýsingunni, þær hafa verið flokkaðar og skilgreindar og lagt á þær nokkurt mat.

Á bls. 13 er sýnt Borholusnið. Hausinn á borholusniðinu er eins og á borholulýsingunni og útfyllist á sama hátt.

Í fremsta dálk skal skrifa hæð (m y.s.) holunnar sem fyrr, en nú eru ekki aðgreindar færur heldur lagamót og jarðvatnsborð og merkt við með hæðartölum. Venja er að lagamót eru skráð með stærri tölustöfum en jarðvatnsborð og merkt við með hæðartölum.

Dýpi er venjulega sýnt í mælikvarða 1:100 og komast þá á 25 m á hvert blað.

Í dálkinn Kjarni % skal færa venjulega kjarnaheimtu og RQD kjarnaheimtu úr hverju aðgreindu berglagi eða hluta þess, t.d. úr hverri færu.

Greining og lýsing efnis. Þar á að lýsa aðaleinkennum hvers berglags um sig í samræmi við borholulýsinguna. Hafi lagið verið flokkað til ákveðinnar "stratigrafískrar" einingar skal það einnig tekið fram.

Jarðvatn. Hér á að sýna með strikum og örvum jarðvatnsstöðuna í holunni meðan á borun stendur og við lok borunar eins og nánar er skýrt á bls. 15.

Lektarmælingar og athugasemdir. Í aftasta dálkinn á að færa niðurstöður lektarmælinga. Geta skal um LU og k-gildi hverrar mælingar, einnig skal þess getið ef holan hefur ekki verið lektarprófuð, öll eða að hluta.

Sýnishorn af uppkasti að borholulýsingu úr feltbók.
FS-2 96,2-99,2 m ⇒3 m Kjarni 280 cm.
30-74 cm bútar og brot við lóðsprungu í kringum 98,2 m.
Lóðsprungur nokkrar (eða mjög brattar skásprungur). Þversprungur sjást

einnig. Sprungurnar fylltar svörtum gljáandi leir. Ein þversprunga í 99 m 5 cm þykk, fyllt lagskiptum grænleitum leir, þéttum. Lóðsprungum í 98,2 m má fylgja um 40 cm í kjarnanum. Bergið að öðru leyti eins og fyrir ofan. Holur þó færri og <1 cm.

99,2-101,8 m ⇒2,7 m. Kjarni 245 cm.
3-4 bitar innan við 10 cm. Aðrir frá 20-50 cm+1x110 cm. 2 lóðsprungur eða brattar skásprungur. Í annarri um 2 cm þykkur leir, sem fyllir sprunguna. Leirinn er kolsvartur, þéttur og harður. (málband markar ekki í hann). Bergið sjálft eins og ofar.

101,8-104,2 m ⇒2,4 m. Kjarni 260 cm.
20, 15, 90 og 70 cm bitar í hrauni. Molar→20 cm í seti.
Í hraunlaginu aðeins þversprungur, sumar með svörtum leir nokkuð hörðum, auk þess gljáandi. Bergið grátt og fínkornótt í brotsár. Þverrendur, sem minnst var á ofar (94,3 m) eru nú hallandi. Í 101,8-103,5 m verður bergið blöðróttara og um 40 cm neðar tekur við set. Setið er rautt, leirkennt. Má hnoða það blautt. Neðstu 20 cm aðeins grófari. Er millimassi leir, en nokkrar völur til staðar.

104,2-107,2 m ⇒3 m. Kjarni 297 cm.
Rautt set efst. Völur úr rauðu seti aðallega. Bergbrotin (hrun), sem eru í setinu eru mun minni. Gulleitur leir fyllir upp í þau fáu holrúm, sem eru í setinu. Einnig geislasteinar. Bönd af dekkra og fínna efni í efstu 65 cm eða svo. Neðar dökknar setið (yfirleitt grágrænleitt, að mestu sandsteinn og völuberg ∿1 cm völur eða minni). Virðast lögin vera misgróf. Lögin eru um 4-8 cm þykk. Holufyllingar í holrúmum. Í um 106,4 m er um 50 cm lag af túfflíku seti, kolsvörtu, en síðan aftur grófara neðar. Bútar 40 cm og niður úr. Aðallega er það túffríkasti hlutinn, sem myndar smæstu bitana, 1-2 cm.

107,2-109,0 m ⇒1,8 m. Kjarni 185 cm.
Bútar eru 50 cm og niður úr. Kjarninn enn grængrátt set. Liturinn kemur bæði af leirfyllingum í setinu og leirmolum í því. Einnig er mikið af hraunkornum. Korn öll <1 cm og langflest undir 0,5 mm. Fínni linsur með svipuðum lit á 3-4 stöðum. Geislasteinar fylla sums staðar holrúm.

109,0-112,0 m ⇒3 m. Kjarni 290 cm.
Bútar frá 61 cm og niður í mola. Setið enn svipað. Virðist verða heldur glerríkara fyrir neðan 110 m (þar um 50 cm bútar úr "leirfínu" grænsvörtu setiog einnig 30 neðstu cm.

112,0-114,8 m ⇒2,8 m. Kjarni 280 cm.
Bútar af seti 14, 20 og 33 cm. Gjallmolar →26 cm. Setið er enn sams konar í efstu 30 cm, kolsvart og fínkornótt. Þá kemur 8 cm hraunmoli með óveðruðum endum. Undir honum eru 33 cm (niður í 112,8 m) af gulgráu seti (fjórir bútar). Það virðist ólagskipt og þar eru hraunvölur <0,5 cm. Frá 112,8 m eru gjalllagmótabreksía mest af því í molum. Tilheyrir hraunlagi neðar. Hraunmolar dökkgráir og gjall rautt. Gulleitar leirfyllingar í holrúmun. Blöðrur í hraunmolum með holufyllingum (kristöllum).

114,8-117,0 ⇒2,2 m. Kjarni 204 cm.
Bútar frá molum og upp í 37 cm lengd. Enn lagamótabreksía eins og ofar. Nú ber þó minna á leirfyllingu, en útfellingar og rauður sandur í sprungum og holum milli hraunmola. Hraunmolarnir flestir undir 5 cm, en þó eru nokkrir um 10 cm. Sumir þéttir, aðrir blöðróttir og þá eru sumar blöðrur með skán af holufyllingu eða leir.

117,0-119,4 ⇒2,4 m. Kjarni 250 cm.
Bútar 10-68 cm og molar í neðstu 20 cm. Í efstu 10-14 cm er ennþá gjall, en þá tekur hraunlagið sjálft við. Bergið er þétt. Þó eru blöðrur í þessum efsta hluta. Þær eru ekki stærri en 4 mm og allflestar undir 1 mm og grænn leir í sumum þeirra. Blöðrurnar hafa tilhneigingu til að raða sér skáhallt niður á við í kjarnanum. Brotsár er dökkgrátt, nærri svart, fín- eða jafnvel dulkornótt og dílalaust. Brattar skásprungur og þversprungur, gjarnan með þunnri svargrænni leirskán, eru í 117,7 m, 118,5 m og 118,7 m og lóðsprungur í neðsta hálfa metranum og hefur bergið kurlast þar neðst við borun. Opin "sprunga" í 117,8 m með gjallkenndu yfirborði eða óreglulegu yfirborði eftir mót hrauntauma.

119,4-120,8 ⇒1,4 m. Kjarni 140 cm.
Bútar frá 28 cm niður í mola. Að auki 8 láréttar eða hallandi sprungur. Í sprunguveggjum leir svartur, svargrænn eða ljós. Geislasteinar í sprungu

í 119,8 og 120 m. Að öðru leyti er bergið eins og ofar, nema hvað segja má, að það þéttist heldur.

120,8-122,7 => 1,9 m. Kjarni 200 cm.
77 cm bútar og niður í kurl. Bergið eins og ofar. Örsmáar blöðrur (líklega) mynda nú lárétt bönd eins og rendur í neðsta hluta bilsins fyrir ofan í stað hallandi. 50 cm lóðsprunga frá 121,0 m. Í henni dökkgræn leirskán. Þversprungur í 121,8 og 122 m, en þar fyrir neðan er bergið kurlað næsta hálfa metrann líklega vegna lóðsprungna. Neðstu 37 cm eru klofnir af tveimur sprungum. Leirskánin er hér biksvört.

122,7-125,0 => 2,3 m. Kjarni 235 cm.
Bútar 7-37 cm og molar við sprungur. Bergið enn svipað. Brotsár nærri svart, fínkornótt og dílalaust. Holur nú meira áberandi en enn litlar og óreglulega lagaðar. Svartur leir í sumum þeirra. Lóðsprungur í efsta hálfa metranum, en um 8 þversprungur neðar. Skásprunga í um 124,7 m. Í skáprungunum er svört, glansandi leirskán.

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

BORHOLULÝSING

VIRKJUNARSTAÐUR:

Fljótsdalur

Dagsetning 21.07.76
Gert af A.ÓA
Hæð holu 218,9

Hnit: X _____ Y _____

Staður Melgrafur
Borholu nr. FS-2
Blað 17 af 34

Hæð	Dýpi	m/klst.	Greining og lýsing efnis	Kjarnaheimtur % RQD	Athugasemdir um borun, jarðvatn, vatnstap o.fl.	Kjarnakassa eða sýnis nr.
	96					
	97		Basalt, finkornótt, grátt í brotsár 30-74cm + brot við lóðsprungu í ca 98,2m rokkrar brattar skásprungur og þversprungur. Sprungurnar fylltar svörtum, gljáandi leir. Bergið eins og fyrir ofan. Holur farri og <1cm.	93	76mm D þétt grágr. frekar meyrt í borun. Lóð- og lár sprungur. Lekt berg og skol er óstöðugt. Stigur og fellur.	12
	98		→ um 40cm lóðspr.			
	99		← 5cm þverspr. fyllt lagsk. grænleitum leir			
119,7			3-4<10cm, 20-50cm + 1x110cm. 2 lóðsprungur eða brattar skásprungur. Í annarri 2cm þykkur kolsvartur leir, þéttur og harður. Bergið sjálft eins og ofar	91	76mm D Jarðvatn 76,5m Alle þétt, meyrt "grágr" brattar	
	100					
	101					
117,1						
	102				76mm D	

057160x50FDH

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

VIRKJUNARSTAÐUR:

Fljótsdalur

Dagsetning 21.07.75
Gert af RÓA
Hæð holu 218.9
Hnit: X _____ Y _____

Staður Melgrafur
Borholu nr. FS-2
Blað 18 af 34

Hæð	Dýpi	m/klst.	Greining og lýsing efnis	Kjarnaheimtur %	RQD	Athugasemdir um borun, jarðvatn, vatnstap o.fl.	Kjarnakassa eða sýnis nr.
	102		15-90 cm í hrauni. Molar og upp í 20cm bútar í seti. Hraunlagið eins. Aðeins þversprungur sumar með svörtum leir, nokkuð hörðum og auk þess gljásvörtum. Bergið grátt og fínk í brotsár.	100		þétt, grátt basalt. Brattar sprungur. 99.2-104.2 m. Skol óstöðugt. Innrennli ofarlega. Trúlega undir fóðurröri í 2 m dýpi. Lektarprófað frá 69.2-104.2 m og steypt síðan í holuna.	12
	103		Hraunið verður blöðróttara				
	104		Rautt, leirkennt set. Hnoðast blautt. Í neðstu 20 cm nokkurra mm sandk.			Rauður, mjúkur leir, sem þéttist og hardnar er neðar dregur	
114,7			í leirnum. Samskonar set. Gulleitur leir fyllir þau fáu holrúm, sem í setinu eru			76mm D. Jarðvatn molist ekki í efstu stöng, en er áreiðanlega einhvers staðar á milli 3-6m.	
	105		Setið dökknar og verður grágrænleitt yfirleitt. Að mestu sandst. og völuberg (≈ 1cm völur) með fínum millimassa.	99		Túff, rautt, brúnt, blátt, grænt og svart. Blautur, ljós leir á kafla.	13
	106		4-8 cm lög og þau virðast misgróf. Holufyllingar í holrúmum			104.2-109.0 Túffið er seinborað og mjög holt við að stíflist í krónu	
			setlag, sem eikist tuffi, kolsvart.				
	107		Setið verður aftur grófara.				
111,7			50 cm bútar. Grængrátt set. Líturinn stafar hæði af leirfyllingum í setinu og leirmolum í því.	100		76 mm D. Dökkt túff. Blautur leir á kafla	
	108						

057160x50FDH

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

VIRKJUNARSTAÐUR:

Fljótsdalur

Dagsetning 14.08.75
Gert af RÓA
Hæð holu 218,9
Hnit: X _____ Y _____

Staður Melgrafur
Borholu nr. FS-2
Blað 19 af 34

Hæð	Dýpi	m/klst.	Greining og lýsing efnis	Kjarnaheimtur %	Athugasemdir um borun, jarðvatn, vatnstap o.fl.	Kjarnakassa eða sýnis nr.
	108		Vokkuð er einnig um basaltmola. Molar allir <1 cm, flestir undir 0,5 cm. Millimassi finn. Geislasteinar fylla sums staðar holrúm			
109,9	109		Búlar frá 61 cm niður í mola. setið svipað		76mm D Jarðvatn ekki mælt, (stengur í holu) er ofarlega skol eðlilegt Grænleitt tuff.	13
	110		Leirfínt svargrænt set.	97		
	111		Sams konar og fyrir ofan 110 m			
			Sams konar og milli 110-110,5 m			
106,9	112		→ 33 cm sams k set nedstu 20 cm kolsvartir um 8 cm gjallmoli í setinu Gulgrátt set. Virðist ólagskipt, mjög lint en í því lint, en í því einstaka basaltvölur <0,5 cm.	100	76mm D skol eðlilegt ~1m tuff og síðan sambreyskingur af blýgráum bruna og grænum leir. Vokkuð heillegt.	14
	113		Gjall, lagmótaprekaá. Að mestu í molum. Kraummolarnir gráir, en gjallið rautt. Gulleitar leirfyllingar í holrúmum.			
	114					

057160x50FDH

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

BORHOLULÝSING

VIRKJUNARSTAÐUR: Fljótsdalur

Dagsetning 14.08.'75
Gert af RÓA
Hæð holu 218,9
Hnit: X _____ Y _____

Staður Melgrafur
Borholu nr. FS-2
Blað 20 af 34

Hæð	Dýpi	m/klst.	Greining og lýsing efnis	Kjarnaheimtur % RQD	Athugasemdir um borun, jarðvatn, vatnstap o.fl.	Kjarnakassa eða sýnis nr.
	114		Blöðrur kraunmolanna með geislasteinum.			
104,2	115		→ 37cm Breksía eins og ofar. Heldur minna ber þó á leirfyllingum en geislasteinn og rauður sandur (gler?) í sprungum og holum milli kraunmola.	93	76mm D skol eðlilegt sambreyskingur sami og að ofan, miður heillegt nema neðsti metrinn	14
	116					
101,9	117		20-68cm og molar í neðstu 20cm. Efstu 10-14cm gjallbreksía, en, neðar tekur kraunlagið gjálft við. Basalt, þétt en nokkuð um smáar blöðrur, sem raða sér í bönd. Brotsár dökkgrátt, norri svart fín- og dulkornótt, dílalausl þversprungur og brattar skáspr á nokkrum stöðum og lóðsprungur neðsta 1/2 m. Sprunguveggir gjarna með þunnri, svargrænni leirskán.	100	76mm D Jarðvatn í 24,4m Innrennsli ofarlega Skol eðlilegt Brunni fyrstu 40cm, síðan basalt, þétt og lóðspr. m. grænum leir í sprungum	
	118					
	119					
99,5	120		Frá molum að 28cm sama og ofar, en þéttara Allmargar sprungur	100	76mm D Jarðvatn a.m. í 20,8m Nuþétt grá gr. m. lá- og lóðr. sprungum	

057160x50FDH

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

VIRKJUNARSTAÐUR: Fljótsdalur

Dagsetning 14.08.75
Gert af ÁÓA
Hæð holu 218,9
Hnit: X _____ Y _____

Staður Melgrafur
Borholu nr. FS-2
Blað 21 af 34

Hæð	Dýpi	m/klst.	Greining og lýsing efnis	Kjarnaheimtur %	RQD	Athugasemdir um borun, jarðvatn, vatnstap o.fl.	Kjarnakassa eða sýnis nr.
	120		Ýsprungu veggjum svartur, svargrænn eða ljós leir. Ý tveimur geislasteinar			Leki í lárettri sprungu í ca 120,2 m	
98,1	121		-> 77 cm lóðspr. samskonar og ofar 50 cm lóðspr. frá 121 m þverspr. í 121,8 og 122 m. þar fyrir neðan er bergið kurlað vegna kors og lóðsprungna	100		76 mm D Sama. Illa lóðspr.	15
	122						
96.2	123		7-37 cm kútar sama og ofar lóðsprungur efste 0,5 m. skáspr. í 124,7 m. með svartri, gljáandi skán. Mergar sprungur.	100		76 mm D Sama, illa lóðspr.	
	124						
93,9	125		4-37 cm kútar sama og ofar Gróft skáspr. frá 125,4-125,9 m, einnig neðsta 1/2 m.	100		76 mm D Allþétt, lóðspr. grágr. Skel sést ekki	
	126						

057160x50FDH

ÍS ÖRKUSTOFNUN
Raforkudeild

VIRKJUNARSTAÐUR: Fljótsdalur

Dagsetning 30.08.75
Gert af ÞÓA
Hæð holu 218,9

Hnit: X _____ Y _____

Staður Melgrafur
Borholu nr. FS-2
Blað 5 af 9

Hæð	Dýpi	Kjarni %	Greining og lýsing efnis	Jarðvatn	Lektarmælingar og athugasemdir
	100	98	Basalt, grátt, fín-kornótt, þétt		4 LU
		100	Blöðrott		
115,0			Rautt, leirkennt set Millilag		
	105	99	Grágrænleitt set. Sandst. og völur í fínum millim. Lagsk. 4-8 cm lög		
			Svart set, líkist tuffi		
		100	Grængrátt set, svipað og ofar Millimassi fínn, molar úr leir og basalti (<10mm, flestir <5 mm).		5 LU
	110	97	Leirfínt, svargrænt set		
			Grængrátt set eins og ofar		
			Leirfínt, svargrænt set		
			Gulgrátt set, virðist ó lagsk. leirk.		
		100	Basalt		
	115	97	Lagamólabreksia Gulleitur leir í holrúmum efst, en geislasteinar neðar.		
	120	100	Bergið þétt, nema (N) allra efst dökkgrátt, fín-dulkornótt. Líkið um löðsprungur einnig þver- og skásprungur svargrænn og ljós leir í sprungum sums staðar, svört 9 ljaandi skán		
	125				

057115x50FDH

14

ORKUSTOFNUN

BORHOLUSKRÁ

Borhola FS - 2
Vatnsfall / sýsla Bessastaðaá / N-Múl.
Virkjun / hreppur Bessastaðaárvirkjun
Borsvæði Valþjófsstaðafjall, v. Hengifoss

Verk nr./tilgangur	5217 /
Verkkaupi	Rarik
Hæð m y. s.	218,9
Dýpi m	202,7
Myndir nr.	H-128 til H-139
Skkar nr.	5063 til 5067
Bortæki	BB 1
Bordagar	55
Bortími alls klst.	433
Hnit x	358877
Hnit y	504940
Tvenær frá	170675
Hvenær til	200875
Hvernig	Flutningar hafjast 090675 Hætt borun 120975

Sýni, dýpi í m:

3,6	(9,4)	11,8	16,1	18,2	18,5
19,6	20,6	*23,7	27,1	30,1	38,1
(38,7)	42,0	43,0	46,0	48,7	50,0
52,7	58,3	58,6	62,2	65,1	67,8
73,3	77,6	81,6	(88,2)	88,7	*91,0
94,0	95,6	99,4	101,9	103,8	107,2
112,0	112,5	114,5	117,0	119,5	120,8
122,7	127,7	131,7	133,9	135,7	138,4
139,3	140,8	(141,5)	143,0	148,6	153,7
155,0	156,6	162,3	170,6	170,8	(173,4)
177,2	178,8	179,1	180,0	182,0	183,8
185,4	188,3	192,4	195,6	199,7	200,5
202,6					

FÓÐRUN Ø	frá m	til m
4"	0	2,0

HOLUVÍDD Ø	frá m	til m
3 7/8"	2,0	2,8
76	2,8	202,7

BORHRAÐI m/klst.	frá m	til m
	*22,0	84,8
		90,4

(Sýni) 47 borholusýrana SV. af.

Jarðlagasnið Fnr.

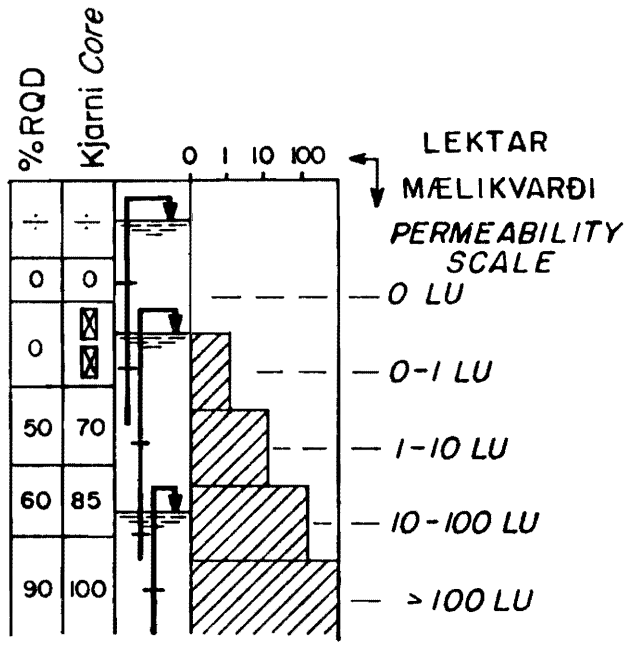
Hitamælingar Fnr.

Skýrsla OS-ROD 7637

Höfundur Bessi Aðalsteinsson

473 GÓG

Aths. á bakhlið ☐



LEKTAR-OG JARÐVATNSÚTSKÝRING
NOTE ON PERMEABILITY AND GROUND WATER

Jarðvatnsborð er sýnt með örvum. Neðri endi örvarinnar og þverstrikin sýna holudýpið, þegar jarðvatnsborðið var mælt. Ef jarðvatn breytist ekkert í borun, nær örin í botn.
Ground water levels are shown by arrows. Base of the arrows and the horizontal bars indicate the hole depth when the water level was measured. If no change in level was observed during drilling, the line reaches the bottom of the hole.

1 LU = Lugeon Unit = 1 l/mín/m í 76 mm Ø holu við þrýsting 10 kg/cm^2
1 LU = Lugeon Unit = 1 l/min/m in 76mm Ø hole at pressure 10 kg/cm^2

Hæðartölur jarðvatns eru ritaðar smærra letri en hæðartölur bergs, á borholusniðum.
Figures for ground water levels are shown with smaller lettering on graphic core logs.

Kjarni: Tölur sýna kjarnaheimtur í % ÷ kjarnataka ekki reynd.
Core: Numbers indicate % core recovery ÷ core sampling not attempted.

RQD: Kjarnaheimta þegar ekki eru taldir með kjarnabútar styttri en 10 cm.
RQD: Modified core recovery – core pieces less than 10 cm long not taken into account.
(RQD: Rock Quality Designation)

⊠ Jarðvegssýni – *Soil samples*

5.2 Frágangur á kjarna

Lítið gagn er af borholum, nema vitað sé hvað kom upp úr holunni og af hvaða dýpi það var. Þess vegna er mjög mikilvægt í rannsóknaborunum að vel sé gengið frá kjarna og/eða borsvarfi.

Kjarninn er settur í kjarnakassa, venjulega 1,5 m á lengd og 6 kjarnaraðir á breidd. Honum er raðað þannig í kassana, að efsti hluti kjarnans kemur efst til vinstri þegar horft er á kassann frá hlið. Honum er raðað frá vinstri til hægri og niður kassann eins og þegar lesið er á bók.

Tuff og ummyndað berg veðrast mjög hratt og þarf því að verja þannig kjarna sérstaklega með því að setja hann strax í rakaþéttar umbúðir t.d. plastlengjur (pokaplast) og sjá svo um að kjarninn frjósi alls ekki. Nokkur sýni úr ofangreindu bergi, svo og kjarna úr öllu illa samlímdu bergi, t.d. úr sumum millilögum og setlögum, þyrfti að setja í glæra plasthólka, sem hægt væri að saga niður eftir lengd kjarnans og reka síðan tappa í endana. Þetta hlífir kjarnanum betur gegn hnjaski heldur en pokaplastið, og lítil hætta er á að göt komi á slíka hólka.

Efst til vinstri í hvern kassa skal setja kubb með holunúmeri eingöngu, jafnvel þó hann lendi inni í miðri færu. Við endann á hverri færu kemur kubbur með bordýpi í lok færunnar með 0,1 m nákvæmni, skrifað stórum og skýrum stöfum. Óþarfi er að eyða plássi í lítið m á hvern kubb, þar sem allir vita í hvaða einingum er mælt. Góð regla er að merkja tvær hliðar til þess að talan glatist ekki þó hún veðrist af þeirri hlið sem upp snýr, eins og stundum hefur viljað brenna við.

Þegar enginn kjarni fæst (hjólakrónuborun eða lélegt berg), verður að setja tvo kubba til að afmarka slíkar færur, því annars er ókleift að reikna út kjarnaheimtur. Koma þá tveir (eða fleiri) kubbar fast saman. Síðasta kubbnum í holunni skal tyllt með nagla til þess að hann renni ekki til í flutningum, en ekki kafreka naglann.

Kassarnir sjálfir eru merktir með krossviðarsprjöldum, sem næst 9x18 cm

og 5 mm þykkum. Á spjöldin skal skrifað stóru letri holunúmer (t.d. HP-23) og neðan þess nr. kassans í þessari tilteknu holu og hversu margir kassar séu alls (t.d. K. 2 af 5). Setja þarf glært plast utan um spjöldin áður en þau eru negld á kassana, svo að merkiblekið máist ekki af.

Eitt spjald er neglt á enda kassans, (hægri enda þegar kassinn snýr rétt við manni), og annað spjald á sama hátt ofan á lokið.

Þá er hægt að raða kössunum þannig að kjarninn snúi eins í þeim öllum, án þess að þurfa að taka lokið af Þetta er hagræðilegt atriði, sem kemur sér vel t.d. við myndatöku á kjarna og frekari úrvinnslu á honum.

Flutningur Við flutning á kjarnakössum verður að halda saman kössum úr hverri holu og stafla þeim þannig upp í áfangastað að merkingar sjáist vel og að kassarnir séu aðgengilegir. Einnig skal þess gætt, að kassar hverrar holu séu í réttri röð, kassi 1 efstur. Þetta kostar mjög litla auka fyrirhöfn í flutningum, en hið algjöra handahóf, sem stundum ríkir í þessum efnum, kostar mikinn tíma, fyrirhöfn og peninga.

Myndataka Teknar eru 2 litmyndir (slides-diapositif) af hverjum kassa og geymdar í tveimur myndasöfnum. Fyrir myndatöku þarf kjarninn að vera alveg þurr og hreinn. Besta veður til myndatöku utanhúss er bjart en skýjað; í sólskini er hætt við að glampi á kjarnann.

Helst ætti þó að taka myndir inni við, enda þá einnig hægt um vik að þurrka kjarnann, og jöfn og góð birta. Einnig má nota flóðljós eða flass, en litir verða þó löngum betri við dagsbirtu. Þegar myndir eru teknar inni við, er þægilegast að vinna verkið þannig, að myndavélin standi á þrífæti og kassarnir settir á hallandi grind þannig að myndavélin stefni hornrétt á þá. Best er að þurrka og skíra upp merkingar á mörgum kössum í einu (eða eins og kemst fyrir í húsnæðinu) og síðan vinni 3 menn verkið í skorpu, einn tekur myndir en 2 bera kassana að og frá.

Við myndatökuna er hver kassi merktur með áletruðum miðum í plastmöppu eins og sést á mynd 1 en slíkt reynist e.t.v. óþarfi þegar merkingar

á merkispjöldin komast í betra form en verið hefur.

5.3 Sýnataka úr kjarna

Ávallt skulu tekin sýni til varanlegrar geymslu úr öllum kjarnaborholum. Þegar búið er að taka myndir af kjarnanum og gera kjarnalýsingu þá eru tekin frá sýnishorn, sem á að velja þannig að þau gefi sem gleggsta hugmynd um kjarna þann, sem upp kom. Miðað er við að kjarni sá, sem geymdur er sé um 10% af kjarnanum úr holunni, oft 10 cm kjarnabútur úr hverjum kjarnametra, en þetta er aðeins gróf viðmiðun, sem laga ber eftir ástæðum hverju sinni. T.d. er hægt að komast af með færri sýni þegar stór hluti kjarnans er af sömu gerð, t.d. þykkt hraunlag. Hins vegar getur þurft að taka sýnishorn þéttar, ef bergið er mjög breytilegt að gerð, t.d. samsett úr þunnum lögum eða ummyndanir miklar o.þ.h. Sýnishornin er nauðsynlegt að merkja vel. Hvert sýnishorn þarf að merkja með borholunúmeri, og dýpis- og hæðartölu og einnig hvað snýr upp eða niður. Kjarna, sem er mjög laus í sér eða mulning er best að láta í plastpoka eða dós og merkja á líkan hátt og kjarnann (sbr. bls. 16). Jafnframt því að sýnin eru tekin, er gerð skrá yfir þau. Þau eru síðan færð inn á kjarnaspjaldskrá, þar sem skrá ber ýmsar upplýsingar um viðkomandi borholu. T.d. á hvaða dýpi sýnishorn eru tekin, myndnúmer á kjarnamyndum, númer á geymslurekk í kjarnageymslu o.fl. sbr. kafla um skráningu gagna.

Merking sýnishorna þarf helst að vera sem varanlegust. Annað hvort má merkja með góðum merkipenna beint á kjarnann og úða glæru lakki yfir eða líma merkimiða á kjarnann með sterku límí (t.d. Jötungripi) og hefur það meira verið notað. Athuga ber, að kjarninn þarf að vera vel þurr þegar hann er merktur og verja þarf hann vætu eftirleiðis.

5.4 Geymsla kjarnans

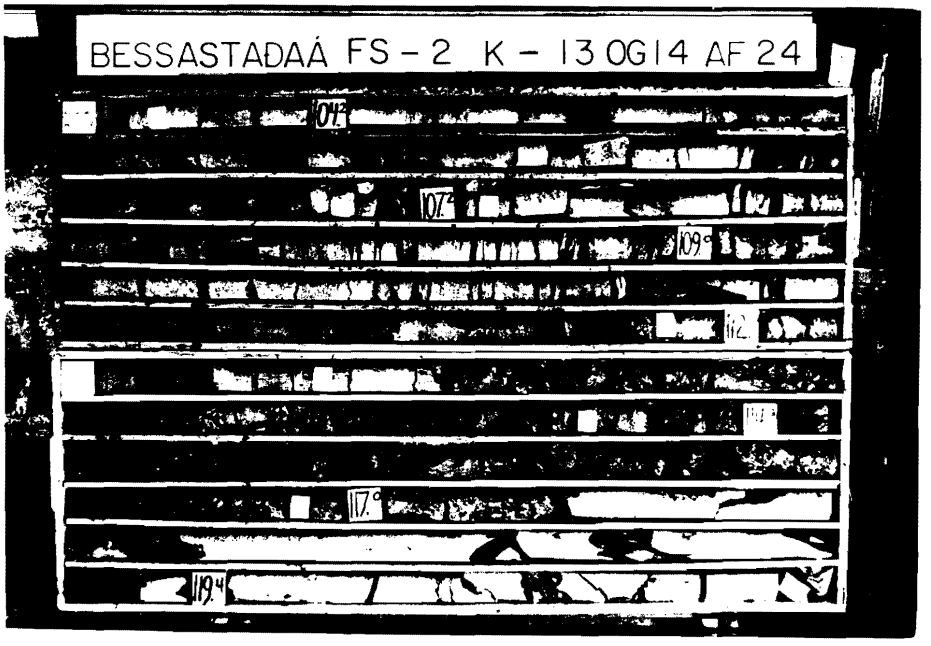
Nú sem stendur eru kjarnasýnin geymd í húsnæði, sem Orkustofnun hefur á leigu við Sætún. Skortir allmikið á að um þau sé hirt og frá þeim gengið sem skyldi og aðstaða til þess að vinna við kjarnana er mjög slæm. Afgangurinn af kjarnanum er geymdur í kjarnakössum þar utan dyra

og allt veikara berg verður fyrir mikilli veðrun.

Kjarnageymslan þarf að vera í það stóru húsnæði á einni hæð, að hægt sé að geyma innan dyra öll kjarnasýni og þann afgangskjarna, sem geyma þarf. Stórar dyr þurfa helst að vera þarna svo að vörubílar geti bakkað að og stórir gluggar og/eða mjög góð lýsing í hluta húsnæðisins. Þarna þarf að vera trilla eða jafnvel lítill rafknúinn lyftari. Hita- og rakastig þarf að vera sem stöðugast og hiti alltaf yfir frostmarki, svo að kjarninn veðrist sem minnst.

Einnig þarf að vera sérstakt úrvinnsluherbergi með venjulegum stofuhita. Þar þarf að vera mikið borðpláss til þess að skoða kjarnann og eins skrifborðsaðstaða fyrir skýrslu- og spjaldskrárgerð.

Mögulegt er að skipta þessu húsnæði, þannig að úrvinnsla og myndataka kjarna síðasta árs fari fram í sama húsi og skrifstofur Orkustofnunar (þ.e. Grensásvegi 9), en kjarni og sýni, sem geymd eru til lengri tíma gætu verið í óvandaðra húsnæði annars staðar. Það húsnæði þarf þó að uppfylla þau skilyrði sem getið er að framan, sérstaklega um hitastigið.


BESSASTAÐAÁ FS - 2 K - 13 0G14 AF 24

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

L E K T A R P R Ó F A N I R

TILGANGUR ÞEIRRA OG FRAMKVÆMD

Bessi Aðalsteinsson

OS-ROD-

Júní 1977

LEKTARPRÓFANIR, TILGANGUR ÞEIRRA OG FRAMKVÆMD

INNGANGUR

Orðið LEKT (permeability) er notað um vatnsleiðni jarðlaga við prófunaraðstæður, og er lekt ýmist mæld í LU (Lugeon Units) eða vatnsleiðnistuðlun (k-gildum í cm/s). 1 LU er skilgreint sem 1 l leki/mín á hvern lengdarmetra í 76 mm víðri holu við 10 kg/cm^2. 1 LU samsvarar 10^{-5} cm/S. Orðið LEKI (leakage) er hins vegar notað um ómældan "venjulegan" leka.

TILGANGUR

Prófanir á vatnsleiðni jarðlaga eru venjulega framkvæmdar í sambandi við mannvirkjagerð, einkum virkjanarannsóknir, þar sem þær eru mjög mikilvægar og geta ráðið úrslitum um hvort framkvæmdir eru mögulegar. Við stíflugerð, t.d. verður að gæta þess að lekt undirstöðu stíflunnar sé ekki svo mikil, að hætta sé á undangreftri eða að allt vatn tapist úr hinu fyrirhugaða lónstæði.

UM LEKTARPRÓFANIR OG TÆKI TIL ÞEIRRA

Lektarprófanir eru þannig framkvæmdar, að settur er pakkari með gúmmíhólki niður í holuna. Þessi gúmmíhólkur er svo þaninn þar til hann þéttir út í holuna og lokar öllu rennsli upp úr. Síðan er dælt vatni undir þrýstingi gegnum rör niður í gegnum pakkarann og mælt hve mikið vatn lekur út í bergið neðan pakkarans við ákveðinn þrýsting. Út frá því er svo reiknað hver lektin er í LU-um (eða k-gildum). Við prófanir á ungum jarðmyndunum er sjaldnast hægt að nota 10 kg/cm^2 þrýsting þar eð slíkt myndi "sprengja bergið út", þ.e. hreinsa út sprungufyllingar o.þ.u.l., og verður því að reikna út lektina við 10 kg/cm^2 út frá minni þrýstingi með framlengingu (extrapolation) til þess að fá lektina í LU. Í eldra bergi, svo sem tertíeru blágrýti, er vandamálið hins vegar oft það að koma vatni út í holuveggina, og er það þá fremur undir dælunni komið

hvort 10 kg/cm^2 nást eða ekki, enda er slíkt ekki nauðsynlegt í svo þéttu bergi.

Lektarprófanir voru fyrst framkvæmdar á Íslandi við Hestvatn 1960. Þá voru notaðir pakkarar af amerískri gerð. Þessir pakkarar eru byggðir á tveimur rörlengjum; sú innri er úr venjulegum 1" vatnsrörum, hin ytri úr 3" rörum (fyrir 76 mm holur). Fyrir 66 mm holur eru rörin 3/4" og 2 1/2". Pakkararnir eru þannig gerðir, að með því að toga upp innra rörið á móti hinu ytra, þrýstast gúmmíin saman, bólgna út og þétta holuna. Pökkunin er í þessu tilviki framkvæmd með handafli. Þessa pakkara verður enn að nota í mjög þéttu bergi.

Helstu kostir amerísku pakkaranna eru þessir:

1. Pökkun er óháð vatnsþrýstingi.
2. Ekkert þrýstifall er í einföldum pakkara (en hins vegar óþekkt en lítið þrýstifall í tvöföldum pakkara).
3. Óverulegt þrýstifall í toppstykki.
4. Gúmmíin eru mjög þykk og sterk og standast vel núning við ójafna borholuveggi.

Helstu ókostir:

1. Mjög seinlegt er að setja þessi tvöföldu rör niður í holurnar, einkum vegna þess að fínar rörgengjur eru á þeim.
2. Meira þrýstifall er í 1" rörum en í 60,7 mm borstöngum, sem algengastar eru í rannsóknaborunum.
3. Ekki er hægt að beita bornum til að snúa rörunum ef tækin festast í holunni.

Síðan 1967 hafa mest verið notaðir sænskir Craelius pakkarar (Universal Self Expanding Packers), sem festir eru á borstengur með tilheyrandi millistykkjum. Lektanir með þeim eru því ávallt framkvæmdar samhliða borun. Í þessu tilviki er það mismunandi vatnsþrýstingur innan í pakkara og utan hans, sem þenur pakkarann út.

Helstu kostir þeirra eru:

1. Jafnfljótlegt er að setja þá niður og taka upp og venjulegar borkrónur, vegna þess að borstengurnar eru notaðar og því aðeins ein lengja sem skrúfuð er saman. Þar að auki eru mjög grófar gengjur á stöngunum.
2. Pökkun fer fram við dælingu og pressast gúmmíið því betur að holuveggjunum sem meiri þrýstingur er á vatninu.
3. Hægt er að beita bornum til að ná þessum pökkurum upp úr festu.

Helstu ókostir:

1. Gúmmíið er mjúkt og fremur þunnt og mjög viðkvæmt fyrir skemmdum ef það rekst út í ósléttа holuveggi við hífingu eða slökun.
2. Auk þrýstifalls í borstöngum þarf að reikna með þrýstifalli í tappa neðan á einföldum pakkara, þrýstifalli í lektarröri fyrir tvöfaldan pakkara, og í vatnstoppi.
3. Stálhólkar þeir sem halda gúmmíinu á sínum stað geta skekkst ef gúmmíið rifnar og rekast þá út í holuveggina. Erfitt hefur reynst að ná upp úr slíkum festum og ekki alltaf tekist. Það má því segja að festuhætta sé öllu meiri með sænskum pökkurum en amerískum.
4. Vegna meira heildarþrýstifalls í þessu vatnskerfi en hinu ameríska, þarf öflugri dælur fyrir sænsku pakkarana.

Helstu tæki önnur en pakkarar eru vatnstoppur og slanga sem tengja stangir við vatnsdæluna, rennslismælir og þrýstimælir. Um staðsetningu mæla er nánar fjallað hér á eftir, en þó skal þess getið, að þrýstimælir er hafður á toppstykkinu fyrir ameríska pakkara en ekki á krossinum. Vatnsdælur boranna eru einnig notaðar við lektanir.

FRAMKVÆMDIR LEKTARPRÓFANA

Þessum kafla er hentugt að skipta í tvennt og fjalla fyrst um prófanir í góðu en síðan í lélegu bergi.

Prófanir í góðu bergi:

Ef hola er boruð í samfelldu heilu bergi má ljúka borun að fullu og lektarprófa á eftir. Er þá settur tvöfaldur pakkari alveg niður að botni og prófað í 3 m bilum upp holuna. Raunar er hægt að prófa lengri eða styttri bil með tvöföldum pakkara, en 3 m er lang algengast. Ef skolvatn tapast snögglega í borun í holu, sem fram að því hefur verið þétt, skal borun þegar hætt, einfaldur pakkari settur niður að leka-svæðinu (en ekki niður í það) og prófaður botn holunnar. Síðan skal prófa holuna með tvöföldum pakkara í þrepum neðanfrá, hafi hún verið óprófuð.

Við prófun á þéttri holu má oft spara mikinn tíma með því að setja einfaldan pakkara í holustút og prófa hana alla í einu. Ef umtalsverður leki finnst, skal færa pakkarann neðar í þrepum þar til hann er kominn niður fyrir lekasvæðið. Oft má finna þann stað nokkurn veginn eftir kjarna- og borskýrslum og spara þannig enn tíma. Ef með þarf, má prófa leka-svæðið nánar með tvöföldum pakkara.

Prófanir í lélegu bergi:

Í lélegu bergi þar sem hrun er algengt í holum og skolvatn hverfur, verður að bora stutt í einu (t.d. 3 m) og prófa bilið svo með einföldum pakkara, sem settur er neðst í steypuna frá næstu borun á undan. Í slíku bergi verður oftast að steypa í holuna eftir lektarprófun til að hefta hrun úr holuveggjum. Þessi aðferð er ákaflega seinleg en er við ofangreindar aðstæður oft eina leiðin til gagnaöflunar. Varasamt er að setja pakkara niður fyrir staði, þar sem hrunhætta er, þar sem bilið milli stálhólka pakkaranna og holuveggjanna er að jafnaði um 1 mm og þarf því lítið til að festa þá. Jafnvel þótt pakkarar náist upp úr festu verða stundum eftir stálhringir sem halda gúmmíunum á sænsku gerðinni og hindra þeir frekari borun ef þeir nást ekki upp. Það verður því að vega og meta áhættuna í hvert skipti og taka þá m.a. tillit til þess, hve lektun á tilteknum stað í holunni er mikilvæg, einnig hve djúp holan á að verða og hve miklar upplýsingar kynnu að tapast, ef hætta yrði við hana.

Rennslisprófanir

Þar sem djúpt er á jarðvatn í borholum er stundum látið nægja að rennslisprófa þær. Þá eru engir pakkarar notaðir heldur er holan fyllt af vatni og mælt hve mikið vatnsrennsli þarf til þess að halda henni fullri án þess að vatnsborðið lækki eða flæði út úr. Þrýstingur við rennslismælingu er h_1 og þrýstifall er ekkert. Í grunnum holum eða þar sem grunnt er á jarðvatn gefa slíkar mælingar mjög takmarkaðar upplýsingar vegna lítils vatnsþrýstings. Þar sem djúpt er á jarðvatn eins og víða á móbergssvæðum, næst stundum meira en 10 kg/cm^2 þrýstingur (>100 m niður á jarðvatnsborð), sem er meira en nóg. Þess ber þó að geta í sambandi við rennslismælingar á svo djúpum holum, að holuveggirnir (þ.e. fóðurrör eða steypa) verða að vera vel þéttir niður að prófunarbili til þess að nokkurt mark sé takandi á niðurstöðunum. Ennfremur ber að varast að prófa mjög löng bil í einu ofan jarðvatnsborðs, þar sem þá verður mikill þrýstingsmunur efst og neðst á prófunarbilinu, enda eru útreikningar miðaðir við þrýstinginn á bilinu miðju.

Dæmi um þétta holu ofan prófunarbils er fóðurrör, sem er steypt ofan á fast berg. Hins vegar getur vatn komist milli niðurboraðrar fóðringar og holuveggjanna, en að hve miklu leyti það gerist fer eftir berginu, sem borað var í og ástandi holuveggjanna áður en fóðringin var sett niður. Rennslisprófun í fóðraðri holu er því tilgangslaus og verður í staðinn að setja pakkara niður fyrir fóðrun til að hindra vatnsstreymi upp á við. Ef ekki tekst að fylla holuna er prófunin marklaus nema hægt sé að mæla hve hátt vatnið stendur í henni. Til þess verður að dæla gegnum borstangir niður fyrir vatnsborð og mæla utan við stangirnar með jarðvatnsmælitæki hvar vatnsborðið er. Með því fæst vitneskja um bæði prófunarbil og þrýsting. Í mjög lekri holu verður oft að dæla á fullu alllengi áður en vatnið kemur upp og ber því að varast að hætta prófun of fljótt. Rétt er að dæla í a.m.k. 10-15 mín. til öryggis.

Stundum má spara tíma með því að dæla í holuna áður en pakkari er settur niður. Þegar búið er að bora nokkra metra niður fyrir steypu (fóðringu) og vitað er að holan er mjög lek (lekur öllu skolvatni t.d.), er rétt að dæla í hana fyrst til þess að sjá hvort hægt er að fylla hana.

Ef það tekst ekki er tilgangslaust að pakkaraprófa, því minna vatnsmagn kemst niður á þann hátt.

Nánar um gang prófana:

Við prófanir er byrjað með lágan þrýsting, 0,5-1,0 kg/cm^2 niðri í holunni, en síðan smáaukið við, venjulega um 1 kg í einu. (Gera verður greinarmun á þrýstingi niðri í holunni og þrýstingi á mæli eins og nánar verður að vikið síðar). Við ákvörðun á hámarksþrýstingi er miðað við bergþrýsting á hverju dýpi. Hámarksþrýstingur skal mest vera 50% meiri en bergþrýstingur. Hér fylgja með 4 bergþrýstingslínurit og má lesa af þeim hver leyfilegur hámarksþrýstingur er á hverju dýpi. Þar sem millilög eru í basaltstafla verður að miða við þau vegna þess að þau eru veikasti hluti staflans. Þar sem veikleikamerki sjást á kjarnanum, t.d. leirfylltar sprungur, er gjarnan byrjað með 0,5 kg/cm^2 og hækkað um 0,5 kg/cm^2 í einu til þess að finna með meiri nákvæmni hve mikinn þrýsting leirinn þolir áður en hann skolast burt. Þegar hámarksþrýstingi hefur verið náð, skal lækka þrýsting aftur í sömu þrepum og á uppleið til þess að athuga hvort vatnsæðar hafi víkkað og leki aukist.
Ef þess sjást merki að vatn komist framhjá pakkara, verður að færa hann til og reyna aftur. Alltaf verður að velja góðan kafla til að pakka í, því ójafnir veggir geta rifið pakkarann í miðri prófun, t.d. getur hann sprungið, ef gúmmíið liggur yfir sprungu í holuveggnum.

Komi vatn upp úr holunni þrátt fyrir tilraunir til pökkunar, má halda prófun áfram og mæla vatnsrennslið upp. Hafa ber í huga lekt holunnar ofan pakkara þegar mælt er rennsli upp úr henni. Ef sá hluti er mjög lektur og vatn kemur samt upp, skal þegar hætta prófun, enda er þá örugglega mikið rennsli framhjá pakkara.

Slíkar prófanir eru alltaf óáreiðanlegar, en geta verið betri en engin. Rétt er að benda á að einn af ókostunum við tvöfaldan pakkara er sá, að leka meðfram neðri pakkaranum verður aldrei vart, þó stundum megi giska á að eitthvað slíkt hafi gerst.

Umhirða og viðgerðir á pökkurum:

Amerískir pakkarar þurfa að heita má ekkert viðhald og aðeins er skipt um gúmmí á þeim ef þau eru orðin hörð og hætt að pakka vel.

Sænsku pakkararnir aftur á móti þurfa mikið viðhald enda gúmmíin þunn og mjúk og rifna oft. Algeng orsök rifinna gúmmía er sú, að eftir að prófun lauk, var byrjað að hífa upp borstangirnar áður en allt vatn var sigið úr borstangalengjunni og því enn þrýstingur innan í pakkaranum. Gúmmíið þrýstist út að holuveggjum við minna en 1 kg/cm^2 þrýsting og er því áríðandi að bíða nógu lengi til þess að vatnið sé örugglega sigið niður. Bíða þarf þeim mun lengur sem holan er þéttari og vatnið í henni lengur að síga burt. Ef prófað er neðan jarðvatnsborðs sígur vatnið í borstöngunum að sjálfsögðu ekki neðar en jarðvatn er í holunni og verður því að hífa stengurnar hægt þar til pakkarinn er kominn upp úr jarðvatni, svo að vatnið innan í stöngunum þrýsti pakkaragúmmíinu ekki út í holuveggina.

Ef stálhólkarnir, sem halda gúmmíunum, beyglast, þarf að rétta þá áður en pakkarinn er notaður aftur, því annars geta þessar beygluðu brúnir skorið gúmmíið þegar þrýstingur er settur á. Til þesa að ná hólkunum þarf að losa tvær múffur, sína á hvorum enda pakkarans og síðan berja hólkana út af með hamri. Þeir eru réttir með því að smeygja þeim upp á svert rör og hamra þá til.

Stöku sinnum hendir, að ryðflögur eða steypa losnar innan úr borstöngum og stíflar pakkara. Rétt er því að aðgæta hvort slíkt hefur átt sér stað, ef lítið eða ekkert lekur þar sem berg er annars talið lekt.

ÚTFYLLING Á LEKTAREYÐUBLÖÐUM OG ÚTREIKNINGAR

Tvö eyðublöð eru notuð við lektarprófanir. Á hið fyrra eru færðar allar upplýsingar viðvíkjandi hverri prófun. Fyrst er að telja dagsetningu og tíma þegar prófun hefst. Allir liðir í næst aftasta dálki haussins koma við sögu við pakkaraprófanir þar sem þrýstifall byggist á þessum atriðum öllum. Mjög mikilvægt er þvíað þeir séu samviskusamlega

útfylltir. Við rennslisprófanir koma þessir liðir hins vegar ekki við sögu. Borholunúmerið er síðastur þessara mikilvægu liða í haus blaðsins.

Dýpi: frá á hér við hinn efri af tveimur pökkurum eða einfaldan pakkara en til á við hinn neðri eða botn holunnar. Í rennslisprófun er miðað við neðri brún steypu eða fóðringar, og botn holunnar. Vatnsrennsli (vatnsmælir - vatnsmagn) þarfnast ekki skýringa. Næst þarf að taka fram hve langur tími leið milli álestra á rennslismæli og er það venjulegast 3 mín. Þrýstingur á mæli (byrjun - lok) þarfnast ekki skýringar. h_1 = Jarðvatn eða mitt prófunarbil: Við þrýsting á mæli bætist þungi vatnssúlunnar innan í stöngum en þó aðeins sá hluti hennar sem er ofan jarðvatnsborðs. Sé jarðvatnsborð neðan miðs prófunarbils reiknast vatnssúlan þangað niður frá holustút. Ekki skiptir máli þótt stangir standi alllangt upp úr holunni því sá aukaþrýstingur tapast aftur við það að dælan þarf að lyfta vatninu um sömu hæð áður en það getur runnið niður stengurnar.

ÚTREIKNINGAR

Skipulagið á eyðublaðinu er við það miðað, að sem þægilegast sé að vinna útreikningana á því sjálfu án þess að nota rissblöð eða hugareikning.

Fyrst er deilt með mínútufjölda í vatnsmagn til að fá l/mín. og útkoman færð í viðkomandi reit, síðan deilt aftur í þá tölu með prófunarbili í metrum til að fá lekann á mínútu á hvern lengdarmetra holunnar og er þá fengið annað hnit punktins í hnitakerfi línuritsins, en þrýstinginn vantar enn.

P_o er meðaltal þrýstings við byrjun og lok prófunar. Þar við bætist h_1 (sjá að ofan) (sjá dæmi á mynd). Frá þessu dregst þrýstifall sem lesið er af 3 línuritum og fer þrýstifallið eftir rennsli á mínútu.

Þá er fyrst að líta á haus blaðsins til þess að sjá hvaða tegund stanga, vatnstopps og tappa var notuð og finna síðan þrýstfallið á viðeigandi línuritum. Þessar tölur eru lesnar upp á einn aukastaf því nákvæmni

mælinganna leyfir ekki meira. (P_O+h_1÷þrýstifall gefur raunverulegan heildarþrýsting). LU-in fást með því að deila þrýstingi í l/m/mín og margfalda útkomuna með 10 (fyrir 10 kg/cm^2).

Flóknari formúlur þarf til útreikninga á vatnsleiðnistuðli:

$$k = \frac{q \cdot \ln (2L/D)}{2\pi \cdot L \cdot P_T}$$ eða

$$k = \frac{q \cdot \ln (R/D)}{2\pi \cdot L \cdot P_T}$$ þar sem tiltölulega mjög lekt lag

er á milli tveggja þéttra laga.

k = Vatnsleiðnistuðull í cm/s
L = Lengd bilsins í m
q = Vatnsrennsli í l/s
D = Þvermál holunnar í cm
P_T = Heildarþrýstingur vatnsins í kg/cm^2
R = Radíus áhrifasvæðis vatnsins (radius of influence) áætlaður 3 m.

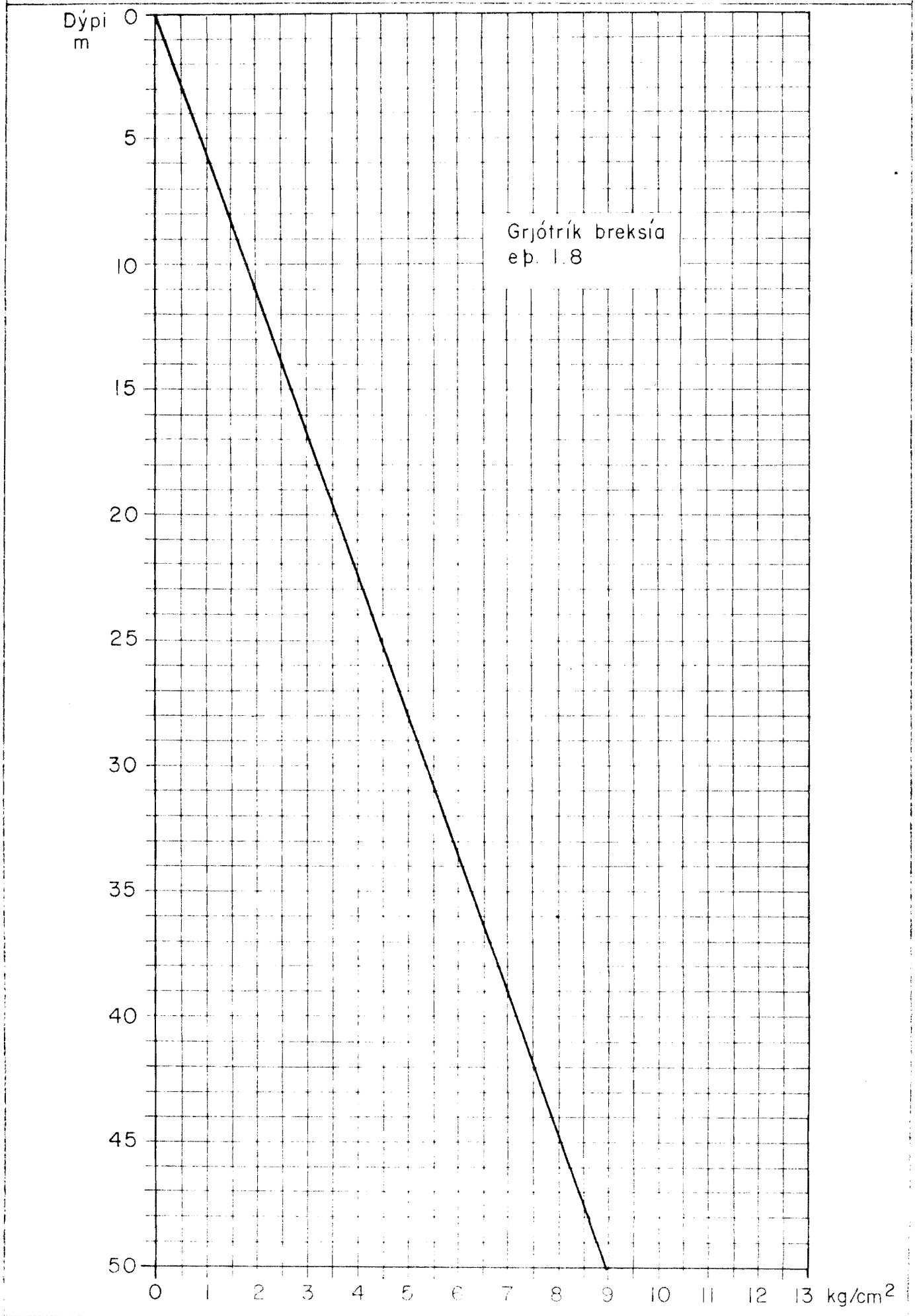
LU skal reikna út upp á heilt LU með 10 LU, og þegar komið er yfir 100 LU er rétt að skrifa tölurnar upp á næstu 10 LU. Þetta er gert til þess að tölurnar gefi ekki falskar hugmyndir um nákvæmni og ber að hlíta þessum reglum undantekningarlaust.

Þegar punktarnir eru settir út á línuritið, skal velja lóðrétta mælikvarðann þannig, að lína, sem dregin er í gegnum núllpunkt og þann punkt sem framlengt er frá, skeri hægri hlið línuritsins þannig að lesa megi LU-in beint af línuritinu til samanburðar við hina útreiknuðu tölu.

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

8.7 1971 HT/BA/Gyða
Tnr. 246
B - Ým
Fnr. 9906

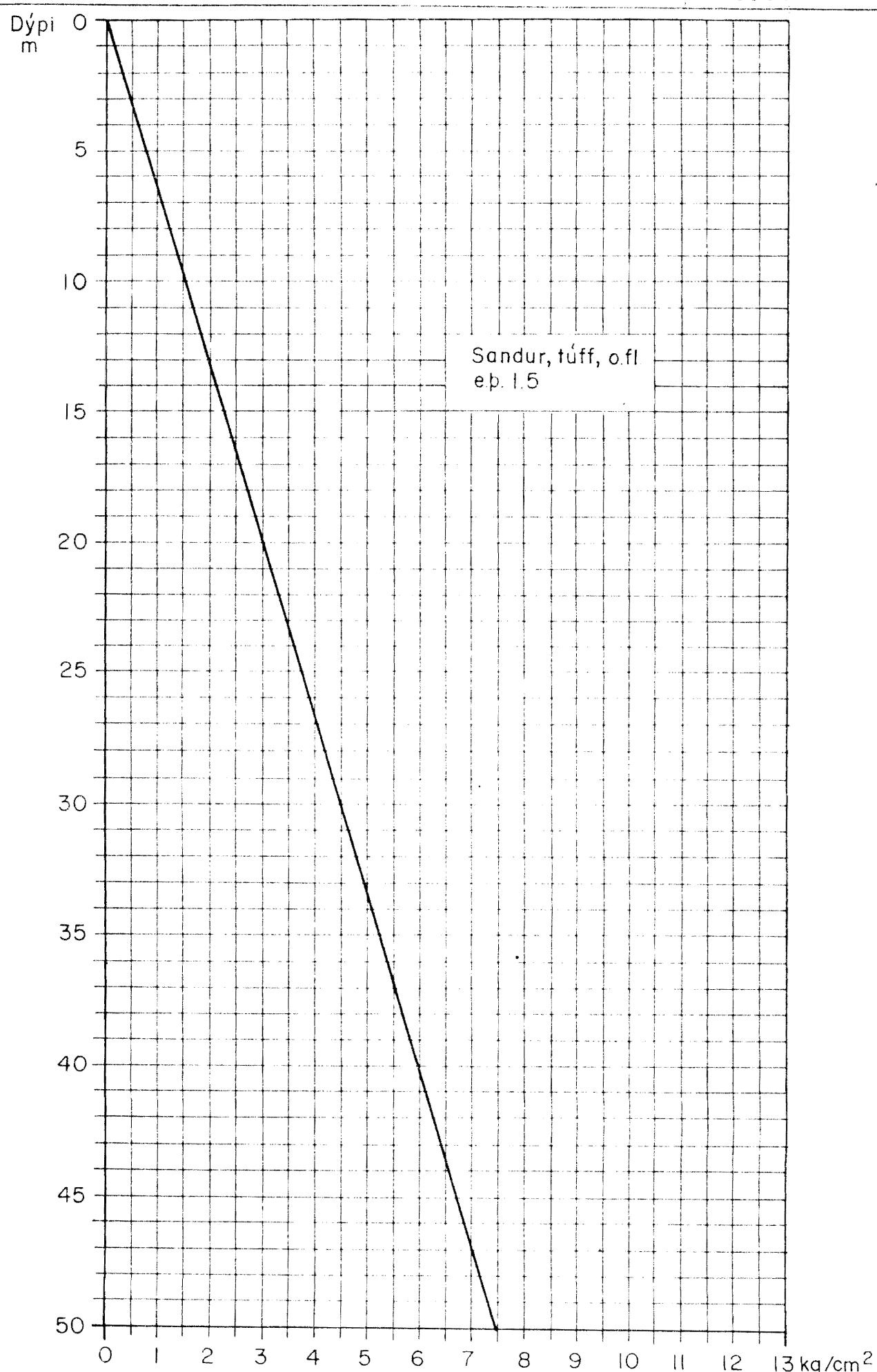
Bergþrýstingslínurit



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

8.7.1971 HT/BA/Gyða
Tnr. 243
B - Ým
Fnr 9903

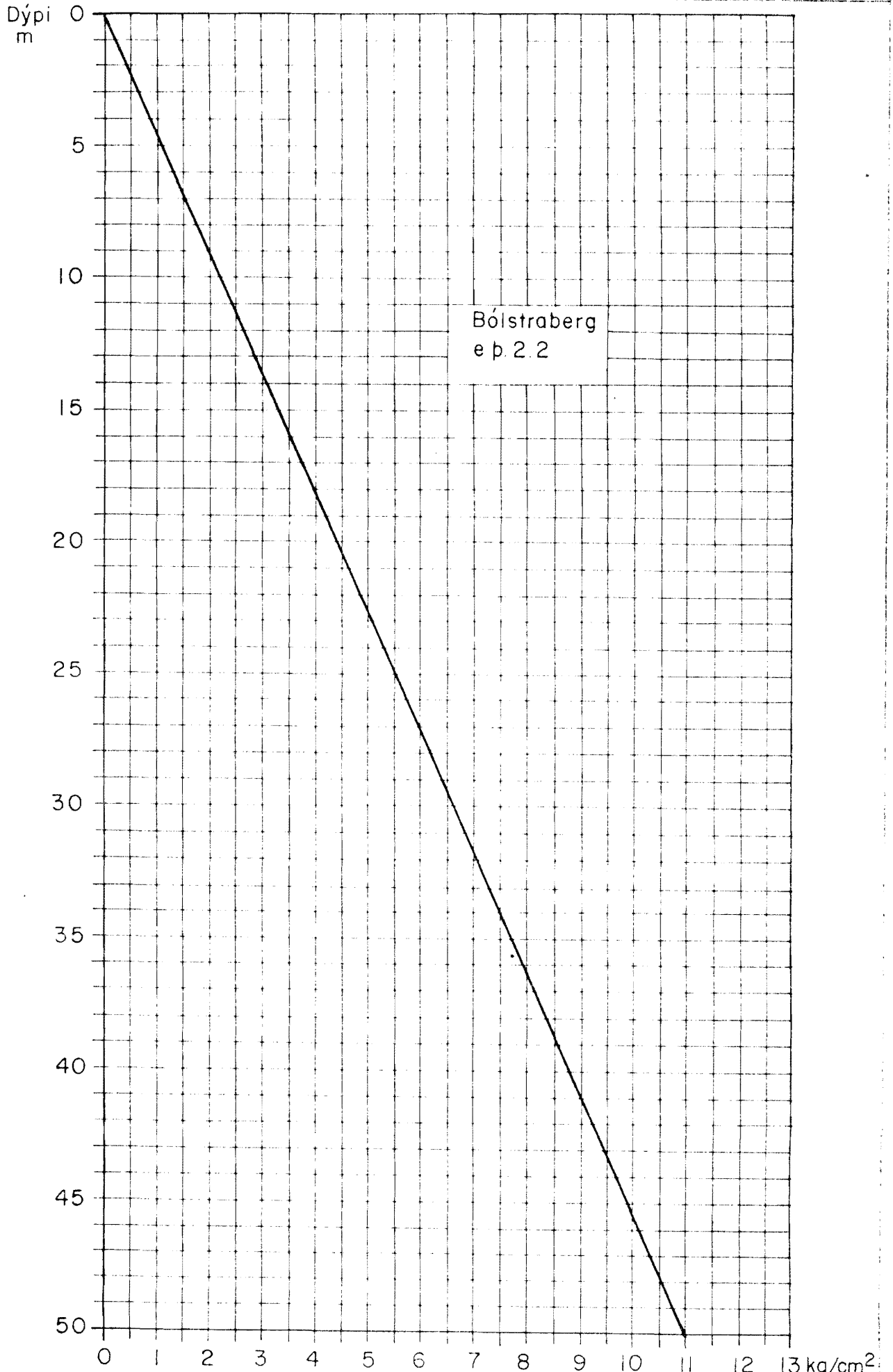
Bergþrýstingslínurit



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

8.7.1971 HT/BA/Gyða
Tnr 244
B - Ým
Fnr. 9904

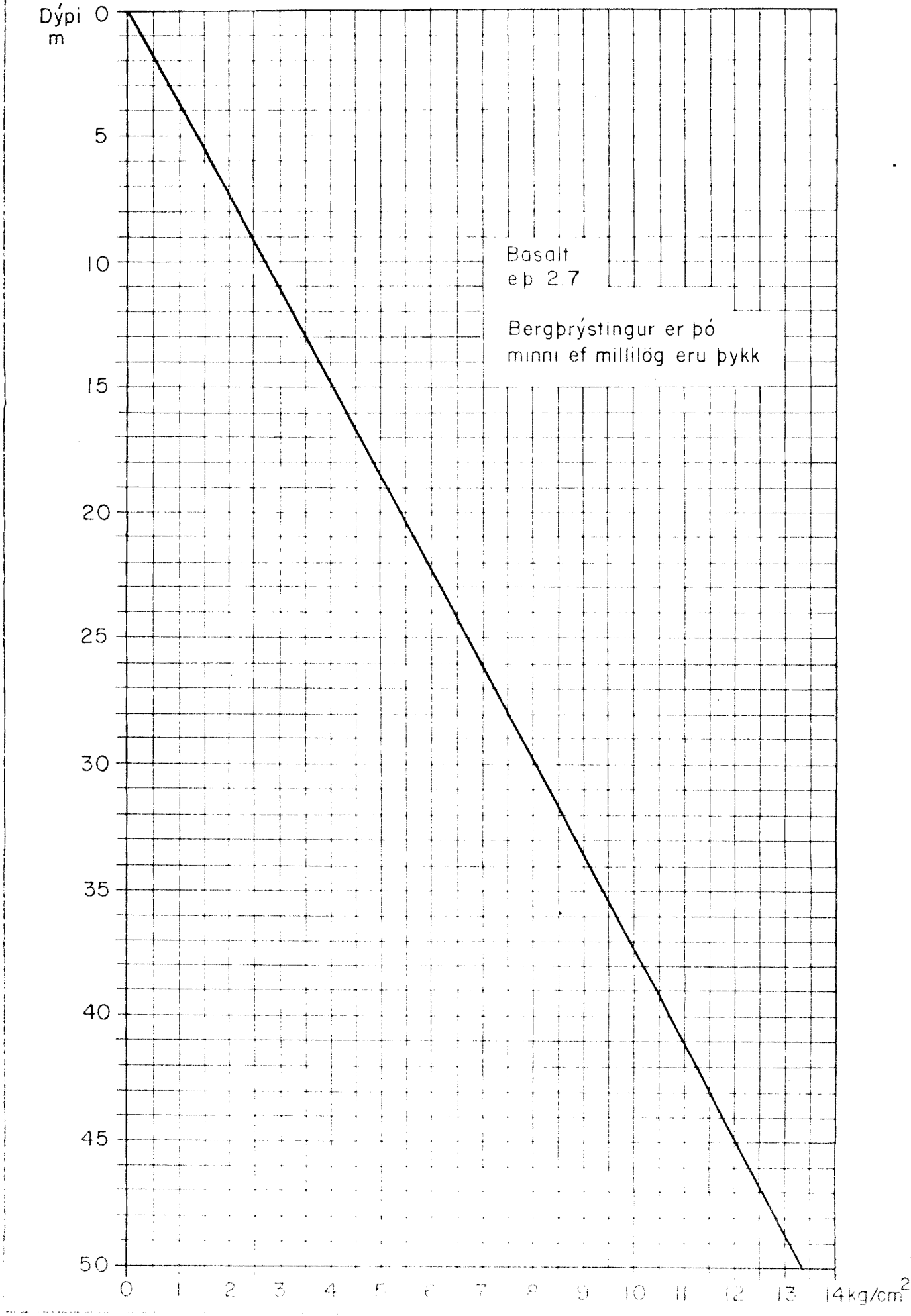
Bergþrýstingslínurit



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

8.7.1971 HT/BA/Gyða
Tnr. 245
B-Ým
Fnr. 9905

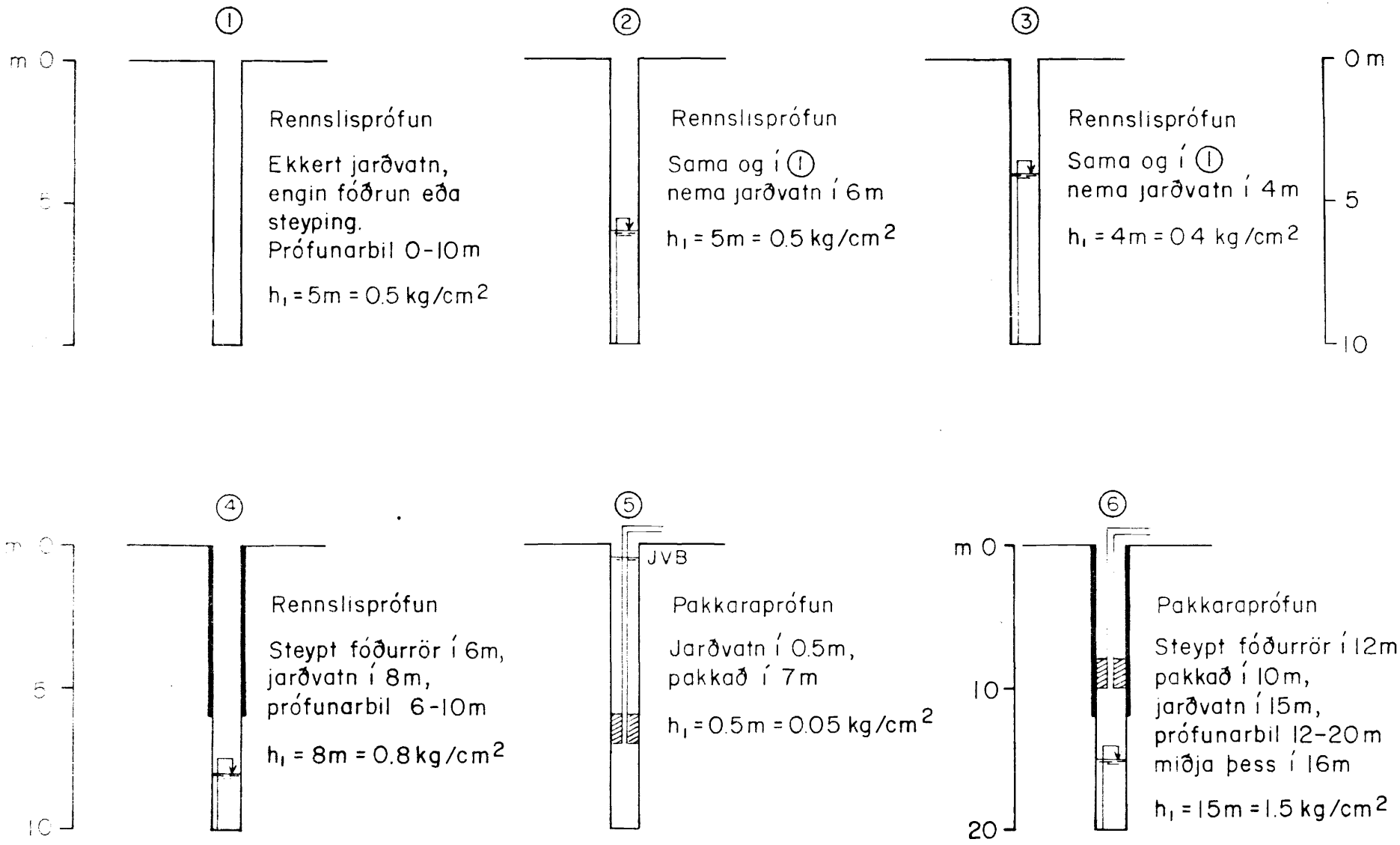
Bergþrýstingslínurit



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

Lektarprófun
Dæmi um ákvörðun á h_1

9.7.1971 BA/Gyða
Tnr.241
B-Ým
Fnr.9902



ORKUSTOFNUN
RAFORKUDEILD

LEKTARPRÓFUN

Dýpi	til m		Virkjun	Gerð borstanga	Borhola nr.
	frá m		Dagsetning	Gerð vatnstopps	Blað af
			Prófun hófst kl.	Fjöldi borstanga	Prófað
			Dýpi á jarðvatn	Botntappi/rör	Reiknað

Prófunarbil m															
Vatns-mælir	lok														
	byrjun														
Vatnsmagn l															
Prófun stóð í mín.															
l/mín.															
l/mín/m															
Þrýsti-fall í	tappa														
	stöngum														
	vatnstopp														
Heildarþrýstifall															
Kg/cm²	byrjun														
	lok														
P_0															
h_1															
$P_0 + h_1$															
P_t															
LU															
K (cm/sek.)															
[illegible]															

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

S K R Á N I N G G A G N A

Elsa G. Vilmundardóttir

OS-ROD-

Júní 1977

SKRÁNING GAGNA

Skráning og varðveisla gagna er mjög mikilvægur þáttur í allri upplýsingasöfnun og er leitast við að halda í röð og reglu mikilvægum frumgögnum í sambandi við rannsóknar- og úrvinnslustarfsemi ROD.

Borholuskrá

Borholuskrá er haldin yfir allar holur, sem boraðar eru í sambandi við verkefni ROD og er þar að finna margvíslegar upplýsingar um hverja holu fyrir sig og einnig er hún lykill að kjarnamyndasafni (myndir nr.) og kjarnasýnasafni (bakki nr.) ROD. Á bls 15 er ljósrit af útfylltu eyðublaði úr borholuskránni og ætti það að skýra sig nokkurn veginn sjálft.

Í kjarnamyndasafni, eru slides myndir af kjarna úr öllum borholum. Myndirnar eru geymdar í kössum merktum bókstöfum A, B, C o.s.frv. og í númeraröð í hverjum kassa, sbr. Borholuskrá.

Kjarnasýni eru geymd í bökkum í sérsmíðuðum rekkum í kjarnageymslunni við Sætún og eru bakkanr. hverrar holur tilgreind í borholuskrá. Kjarnakassar eru geymdir bak við kjarnageymslur í Sætúni og er staflað upp og eru kassar hverrar holu í röð.

Nauðsynlegt er að þeir sem nota gögn og skrár þær sem tilheyra ROD vandi umgengni sína sem mest og skilji við hlutina í röð og reglu.

Loftmyndir

Loftmyndir eru mikilvæg hjálpargögn einkum í sambandi við kortlagningu og staðarþekkingu og hefur ROD á undanförnum árum fengið nokkur hundruð loftmyndaseríur, mislangar, frá Landmælingum Íslands, einkum af þeim svæðum þar sem virkjanarannsóknir hafa verið á döfinni. Eru þær geymdar í sérstöku loftmyndasafni ROD eða hjá einstökum starfsmönnum.

Í loftmyndasafninu er spjaldskrá yfir myndirnar og er staðsetning þeirra sýnd á kortum í mælikvarða 1:250 000.

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

L A N D M Æ L I N G A R

VEGNA JARÐFRÆÐIRANNSÓKNA Á VIRKJUNARSTAÐ

Gunnar Þorbergsson

Páll Ingólfsson

OS-ROD-

júní 1977

LANDMÆLINGAR VEGNA JARÐFRÆÐIRANNSÓKNA Á VIRKJUNARSTAÐ

Hér er átt við mælingar til ákvörðunar á hæð og/eða legu punkta eða staða í hnita- og hæðakerfi korta af viðkomandi svæði. Um er t.d. að ræða jarðlagamót í þversniði og klappir, þar sem berggrunnur stendur upp úr og aðra staði, sem hafa þýðingu í sambandi við jarðfræðikortlagningu og gerð sniða af jarðlagaskipan á svæðum áætlaðra virkjana. Einnig er um að ræða mælingar á þversniðum stíflustæða og langsniðum skurðleiða og ekki síst ákvörðun á legu og hæð ýmissa punkta í sambandi við jarðfræði- og jarðeðlisfræðilegar mælingar, svo sem hljóðhraða- og viðnámsmælingar.

Í þessu sambandi verður oft að þétta það net mælistöðva (þríhyrninga- og hæðarpunkta), sem til staðar er á rannsóknasvæðinu og í nágrenni þess. Til greina kemur að þétta netið með varanlegum stöðvum, sem verktakar við virkjunarframkvæmdir koma þá væntanlega til með að nota. Mælingar eru þá fólgnar í hornamælingum, lengdarmælingum og fallmælingum með nákvæmnismælitækjum og landmælingamenn telja slíkar mælingar sitt hlutverk. Hugsanlegt er að þétta netið til bráðabirgða vegna jarðfræðirannsókna en ráðlegt er að hafa samband við landmælingamenn um þá framkvæmd. Venjulega er hægt að haga mælingum og skrásetningu þeirra þannig að nota megi tölvuforrit við úrvinnslu síðar.

Helstu tæki, sem nota þarf við mælingar vegna jarðfræðirannsókna, eru hæðarmælir (Niveler) til mælinga á hæðarmun tveggja eða fleiri punkta og hornamælir (Theodolite) til ákvörðunar á legu punkta og hæð. Í flestum tilfellum nægir hornamælir af gerðinni T-16 til þeirra mælinga, sem hér er um að ræða. Hornkvarðarnir í slíku tæki eru kvarðaðir í gömlum mínútum eða nýjum (í landmælingum eru oft notuð tæki, þar sem hringnum er skipt í 400^g í stað 360° og nýgráðum síðan skipt í 100 nýmínútur, nýmínútum í 100 nýsekúndur), en hægt er að lesa upp á 10-hluta úr mínútu. Þetta tæki hentar einnig vel til tachymetríumælinga, sem oft eru verulegur hluti af mælingum vegna jarðfræðirannsókna, t.d. ef gera þarf nákvæmt hæðalínukort af afmörkuðu svæði eða mæla tiltölulega þétt net af punktum. Á Orkustofnun eru til mælibækur, sem sérstaklega eru ætlaðar fyrir tachymetríumælingar hvort heldur þær

eru gerðar með venjulegum hornamæli eða RDS-tæki, sem er hornamælir sérsmíðaður fyrir tachymetríu.

Önnur áhöld, sem nefna má, eru málband (t.d. 50 m langt), hallamælir (clinometer) og hornspegill. Þegar mældar eru fjarlægðir með málbandi getur þurft að mæla hallandi vegalengdir og er þá hægt að nota hallamælir til að geta reiknað út lárétta fjarlægð. Hornspegill er notaður til að finna hornrétta stefnu út frá ákveðinni línu.

Framleiðendur mælitækja gefa út bæklinga með leiðbeiningum um notkun tækjanna. Enginn skyldi reyna að nota mælitæki án þess að kynna sér viðeigandi bækling nákvæmlega. Venjulega fjallar einn kaflinn í slíkum bæklingi um það hvernig eigi að umgangast mælitæki almennt. Gæta verður þess að kassi með mælitæki geti ekki oltið á hliðina í ökutæki. Ef mælitæki verður fyrir höggi eða byltu verður að segja umsjónarmanni tækisins frá því. Ef mælitæki blotnar skal það þurrkað við stofuhita á stað,þar sem það er ekki í hættu og ekki of nálægt ofni eða öðru hitunartæki.

Þær mæliaðferðir, sem best henta hverju sinni, geta verið nokkuð mismunandi og fer það eftir eðli mælinganna og nákvæmniskröfum. Landmælingamenn hafa venjulega aðgang að tölvuforritum til að vinna úr mælingum séu þær framkvæmdar og skráðar með notkun forritsins í huga. Að sjálfsögðu þarf þó sá, sem mælingarnar framkvæmir, að hafa vasatölvu og önnur gögn til bráðabirgðaúrvinnslu, t.d. til að geta reiknað hæð og legu borholu.

Í því tilfelli, að staðsetja þarf borholu eða annan punkt til bráðabirgða og enginn mælingamaður er á staðnum, getur verið nóg að merkja staðinn inn á kort (þ.e. ef nægilega nákvæmt kort er til af svæðinu) eða merkja hann inn á loftmynd, sjáist umhverfi hans þar vel. Hægt er að ná góðum árangri við þetta, ef góðar loftmyndir (sem skarast 60%) og vasarúmsjá (stereoscope) er til staðar. Á Orkustofnun er til tölvuforrit til að nota við að færa punkta af loftmyndum yfir á kort. Ástæða er til að hvetja jarðvísindamenn til að nota sér þessa tækni í auknum mæli.

Ef punktur, sem staðsetja á, er tiltölulega nálægt þekktum mælipunkti er

hægt að mæla með málbandi lárétta fjarlægð í hinn þekkta punkt og finna síðan með gráðuboga stefnuna í óþekkta punktinum frá nálæga, þekkta punktinum í annan þekktan punkt. Þá er hægt að reikna út staðsetninguna.

Við val á mælipunktum og frágang þeirra verður að taka tillit til þess, hvaða hlutverki þeir eiga að gegna við frekari rannsóknir og mælingar á svæðinu. Þríhyrningapunktar og fastmerki eru venjulega bolti steyptur í klöpp og áfastur áletraður skjöldur, en einnig eru notuð rör steypt í jörð og er þá æskilegt að steypt sé niður á 1-2 m dýpi.

Ef líkur eru á að mælipunktar komi að gagni síðar, verður frágangur þeirra að vera varanlegur. Þá kemur helst til greina að velja þeim stað á massívri klöpp, þ.e. þar sem frostlyfting ekki á sér stað. Þar sem erfitt er að finna nægilega örugga staði á klöpp kemur til greina að reka járnrör niður í jörðina, og nota það sem mælipunkt. Einnig kemur til greina að mála merki á steina eða klappir, en slík merking endist tiltölulega skammt.

Allar stöðvar, þar sem hinar ýmsu mælingar og boranir fara fram (ásamt aukamælistöðvum í landmælingum), eru merktar með tréhælum. Hæfileg stærð á slíkum hælum er 2"x3/4", 60-80 cm langir. Þó verður að hafa í huga að alltaf verða töluverð afföll á svona merkingum af völdum náttúruafla og öðrum orsökum. Á hælana verður að skrá nafn og/eða númer stöðvarinnar eftir ákveðnu númerakerfi á hverjum stað. Þar sem oft er æskilegt að varðveita slíkar merkingar í 2-3 ár verður að vanda frágang þeirra. Einna best er að skrifa númerið með vatnsheldu tússi og úða lakkhúð yfir. Einnig varðveitist merking á þeim hluta hæls, sem rekinn er ofan í jörðina, betur en ofanjarðar og getur því verið gott að skrá númer stöðvar einnig á þann hluta hælsins.

1977.03.18.

Gunnar Þorbergsson

Páll Ingólfsson

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

V A T N A M Æ L I N G A R

Sigurjón Rist

OS-ROD-

Júní 1977

VATNAMÆLINGAR

INNGANGUR

Starfsemi Vatnamælinga er könnun á rennsli og rennslisháttum fallvatna landsins. Hinn faglegi grundvöllur er vatnafræðin, á ensku the hydrology, af grísku orðunum "hydor" = vatn og "logos" = fræði.

> Vatnafræðin er sú jarðvísindagrein, sem fjallar um vatnið á jörðinni, tilveru þess og hreyfingu, efna- og eðlisfræðilega eiginleika þess. Hún fjallar um gagnverkandi áhrif vatns og umhverfis, jafnt hinnar lifandi náttúru, sem hinnar lífvana. Snarasti þáttur vatnafræðinnar og sá, sem mótar hana og gerir hana að heilsteyptri vísindagrein er hringrás vantsins á jörðinni.

Nokkur munur er á frá einum tíma til annars, hvernig vatnafræðin er skilgreind, fer það bæði eftir löndum og stefnum í vísindum. En nú á þessum meinhæga 1. maí morgni 1977 var ekki ætlunin að hafa uppi tímafrekar skilgreiningar. Aðeins af hagkvæmnis ástæðum skal á það bent að talað er um margar undirdeildir vatnafræðinnar (hydrology) svo sem: Hydrometerology, hydrogeology eða geohydrology, o.s.frv. Erum við þá komin að kjarna málsins, sem er samstarf þeirra, er við rannsóknir fást.

Þær vísindagreinar, sem næstar standa starfsemi Vatnamælinga eru tvímælalaust veðurfræðin og jarðfræðin. Í þessu sambandi sakar ekki að minna á að skiptingin í jökulvötn og bergvötn er af veðurfarslegum toga spunnin, á hliðstæðan hátt skiptast bergvötn í vatnsfallstegundirnar lindár og dragár eftir jarðfræðilegum orsökum.

Tilgangur greiningarinnar er tvíþættur:

1) Að uppfylla gefið loforð, um að skrá leiðbeiningar til rannsóknarmanna varðandi atriði, sem áhræra vatn eða vatnarannsóknir.

2) Leiðbeiningarnar sjálfar. Af mörgu er að taka. En eitt hið brýnasta er að kenna mönnum að mæla stöðu vatnsborðs. Mun ég einskorða mig við það atriði.

Þar sem hér er aðeins um örstutta bráðabirgðagreinargerð að ræða, og ný og fullkomin eða a.m.k. fullkomnari ætluð til útgáfu næsta vetur, er rétt að ætla gildistíma þessarar greinar aðeins út árið.

STAÐSETNING FASTMERKJA (FM)

Meðfylgjandi rissmyndir sýna ranga og rétta staðsetningu "fastmerkja" og "viðmiðunarmerkja".

1. mynd Röng staðsetning Staðsetning er röng sökum þess að vatnsborð árinnar er í hálfhring úti fyrir. Mælingar á milli fastmerkis og vatnsborðs eru ekki marktækar, því að í fyrsta lagi munu tveir mælingamenn vart mæla á sama stað. Annar ofar í ánni en hinn neðar, og nokkurt fall á milli. Í öðru lagi er vandkvæðum bundið að ákveða vatnsborð þar sem mikill straumur er úti fyrir. Í þriðja lagi er, þversniðið út af tanganum svonefnt "ráðandi þversnið" (control). Áríðandi er að velja mælistað annað hvort ofan við það eða neðan, en forðast ber skáflöt þess.

2. mynd Röng staðsetning Því að reynslan mun verða sú, að mælt verður frá fastmerkinu sitt á hvað, að vatnsborði ofan eða neðan tangans.

3. og 4. mynd Réttar staðsetningar Í þessum tilfellum mega fastmerkin vera í miðjum töngunum, því að viðmiðunarmerkin binda nánar mælistaðina. Viðmiðunarmerkið er venjulegast láréttur fleygbolti.

5. og 6. mynd Réttar staðsetningar Vatnsborð mælistaðar ótvíræður.

ÖLDUSTILLIR

Æði oft sést í mælibókum eitthvað á þessa leið "mældum ekki inn vatnsborð sökum öldugjálfurs" Óþarft er að láta slíkt koma fyrir, það er þó sínu skárra heldur en þegar giskað er á vatnsborðsstöðuna upp á 10-20 cm og slíkar óráðsíutölur látnar í bækur.
Öldustillir er í einfaldleik sínum aðeins dunkur eða dolla t.d. málningardós

eða sundurskorinn gallonbrúsi undan olíu, og svo eru smá göt á botni. Notkunin er svo einföld, að hún þarf ekki skýringar við.

VIÐMIÐUNARMERKI OG HÆÐ YFIR SJÓ

Við öll stöðuvötn, sem eru dýptarmæld eru sett FM. Víðast hvar er FM fleygbolti, sem nær um 40 cm niður í klöpp. Þegar stöðuvatn er dýptarmælt er vatnsborðsstaðan miðuð við FM-merkið og staðsetning þess sýnd á dýptarkortinu. Vonandi kemur að því, að þau verði felld inn í hæðanet landsins. Á sama hátt eru fastmerki hjá vatnshæðarmælum, samanber hinar árlegu rennslisskýrslur. Hvenær sem er eða þegar á þarf að halda er unnt að fella hæðarkvarða mælistöðva inn í landsnetið. Hlutverk fastmerkisins er þó ekki síður að vera til taks ef röskun á sér stað á vatnshæðarmælistöðinni.

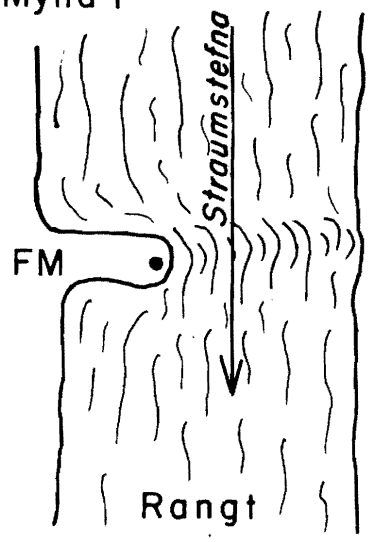
Hvar sem skrá á vatnsborð og breytingar þess, um lengri eða skemmri tíma, er áríðandi að setja fyrst niður fast og öruggt viðmiðunarmerki. Nú er það svo, að þegar hefja skal samfelldar vatnshæðarmælingar í brunni, hraunsprungu, borholu, stöðuvatni eða við aðra slíka staði, er hæð yfir sjó venjulegast ekki þekkt. Velja þarf hæðarkvarðann. Yfirleitt reynist mælivinnan og þá ekki síður skýrslugerð og teiknun óþjál ef álestur 0 er valinn á viðmiðunarmerkið. Undantekninga lítið er hægt við upphaf mælinga að sjá hver getur, tæknilega séð, orðið lægsta mæld staða (lægsti álestur). T.d. ef mæla á vatnsborðsbreytingar í lindapolli og botn hans er um 80 cm undir viðmiðunarmerkinu töluna 100 þ.e.a.s. 100 cm. Eitt ber þó að athuga strax í upphafi. Getur verið að pollurinn þorni í sérstakri þurrkatíð og að grafið verði í botn hans í leit að vatnsborði? Ef svo er, má öllum vera ljóst að skynsamlegra er að setja strax í upphafi álestur 200 á viðmiðunarmerkið. Þega mæla á vatnsborðssveiflur í 4 m djúpu stöðuvatni og viðmiðunarmerkið er niður undir vatnsborði er eðlilegast að velja merkinu álestur 500 (þ.e.a.s. 500 cm). Ef um er að ræða viðmiðunarmerki á barmi borholu t.d. 60 metra djúpri er ráðlegast að gefa viðmiðunarmerkinu álestratöluna 100,00 metrar, og halda þeim skala óbreyttum þar til endurskoðuð og örugg hæðartala í landsneti er fengin. Umfram allt skal forðast hringl og bráðabirgðaklastur með hæðarkvarða.

ORKUSTOFNUN
Vatnamælingar

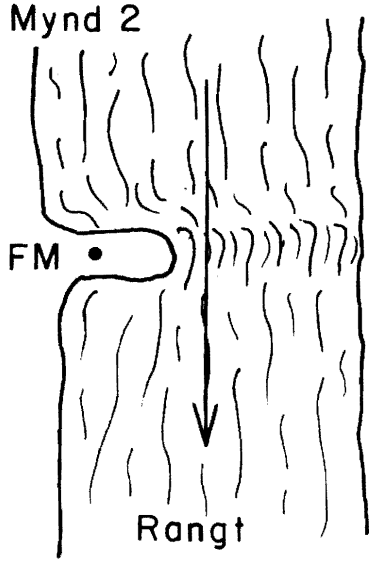
STAÐSETNING FASTMERKJA VIÐ VATNSFALL

'77.5.2 S.Rist/IS
T-577
V-Ým
F-15651

Mynd 1

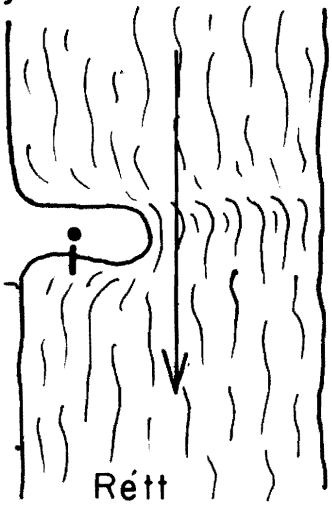


Mynd 2

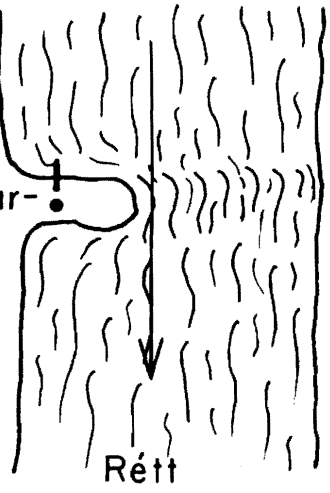


Rangt, óljóst hvar vatnsborðsmælistaður er.

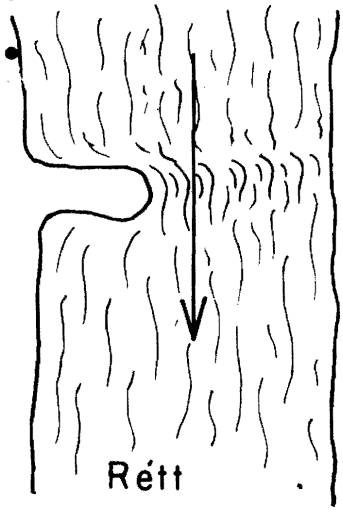
Mynd 3



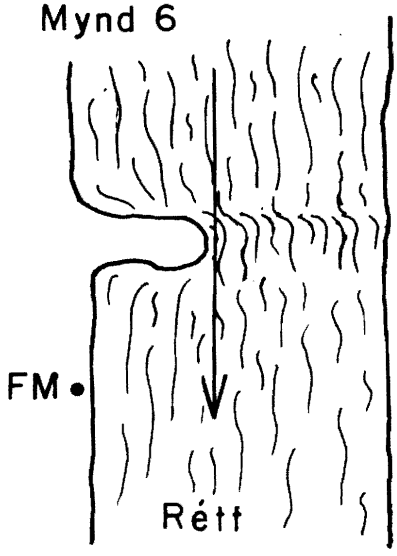
Mynd 4



Mynd 5



Mynd 6



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

A U R B U R Þ U R

SÝNATAKA OG MÆLINGAR Á AURBURÐI VATNSFALLA

Helgi Gunnarsson

OS-ROD-

Júní 1977

SÖFNUN SÝNISHORNA TIL MÆLINGA Á AURFRAMBURÐI VATNSFALLA

Hér er fjallað um söfnun aurburðarsýnishorna í vatnsföllum hér á landi sem lið í virkjunarrannsóknum og þau tæki sem notuð eru við slíkt.

Í "skýrslu um aurburðarrannsóknir fram til 1970" hefti 1 og 2 frá mars 1973 og ágúst 1974, er markmið aurburðarmælinga og saga þeirra á Íslandi rakin og gerð grein fyrir því hvernig úrvinnslu er háttað. Gagnlegt er fyrir þá er vatnssýnishornunum safna að kynna sér þau skrif eftir því sem tök eru á. Til þess að gera sér grein fyrir á hvern hátt sýnishornatöku skal hagað er fyrst að líta á skilgreiningu á aurburði. Aurburður er flutningur á óuppleystu efni með rennandi vatni. Þessi efnisflutningur er mismikill eftir uppruna vatnsfallanna, sem um er að ræða. Fínni hluti efnisins (svifaurinn) berst upphrærður með nokkurn veginn sama hraða og vatnsstraumurinn. Eftir því sem efnið verður grófara því hægar berst það og það grófasta skríður hægt með botninum (botnskriðið). Mörk botnskriðs og svifaurs eru mjög óglögg, það sem skríður með botni í víðu þversniði verður upphrært í þrengra þversniði, þar sem botnskriðið hrærist upp með auknum straumhraða. Þversnið árinnar hefur líka töluvert að segja vegna mismunandi straumhraða frá einum stað til annars í sama þversniði. Þegar valið er þversnið til sýnishorna-töku og tökustaðir í þversniði, verður að hafa í huga hve þessi mörk milli botnskriðs og svifaurs eru óglögg.

Flestar þær ár, sem áhugi er á að kanna aurburð í, eru það vatnsmiklar að þær verða ekki vaðnar og strengjabrautir yfir þær eru óvíða tiltækar. Því er í flestum tilfellum notast við brýr til að ná vatnssýnishornum enda liggja flstar brýr yfir árnar, þar sem þrengsli eru og botn er grófur, og eru því oftast ákjósanlegir tökustaðir, þar sem hluti botnskriðsins er þar yfirleitt upphrærður.

Þann hluta aurburðarins sem skríður með botninum er erfitt að mæla nema í smáám eða þar sem ár hafa verið virkjaðar. Ástæðan er sú að áin grefur frá áhöldunum, og truflar athuganirnar. Botnskrið hefur því gjarnan verið reiknað út, eftir líkingum botnskriðsformúla.

SÝNISHORNATAKAR

S-49

Sá sýnishornataki, sem mest hefur verið notaður, "S-49", er gerður úr kopar og er rúm 30 kg á þyngd. Hann er lagaður eins og fiskur til að trufla rennslið sem minnst.

Í hann eru látnar sérstakar flöskur, sem taka um 400 ml og rennur vatn inn í þær um stút, er stendur fram úr sýnatakanum en loftið, sem í flöskunum er dælist út um pípu sem liggur aftur úr honum. Það er straumhraði vatnsins sem dælir út loftinu með sama hætti og vatnsgeisladæla myndar undirþrýsting (vacum). Stútinn er gengur fram úr sýnatakanum er hægt að skipta um og hafa misvíðan (1-2-3-4-6 mm í þvermál).

P-61

Sýnishornataki P-61 er svipaður að lögun og gerð og S-49 nema að því leyti að hann er mun þyngri og því stöðugri í straumvatni. Einnig er í honum útbúnaður sem gerir mögulegt að opna og loka fyrir vatnsinnrennsli í hann, þannig að hægt er að taka sýnishorn á ákveðnu vatnsdýpi.

DH-48

DH-48 er mun minni og einfaldari en S-49 en er eins að því leyti að fram úr honum gengur stútur fyrir vatnsinnrennslið og loftrás afturmeð. Hann er festur á stöng en ekki látinn síga í streng eins og S-49 og P-61 og kemur því ekki að fullu gagni þar sem dýpi og straumur er mikill.

SÝNATÖKUAÐFERÐIR

DH-48

Þegar vatnsföll, sem tekin eru sýnishorn úr, eru grunn eða straumlítil

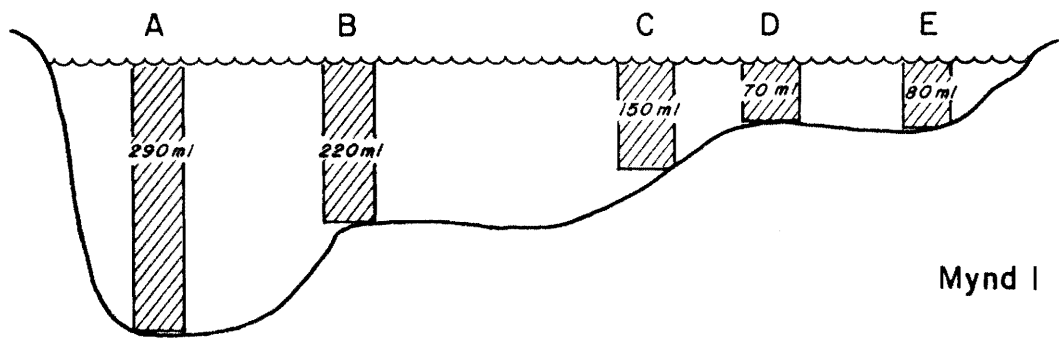
hentar DH-48 ágætlega til að ná góðum sýnishornum. Þá er staðið á bakkanum og/eða vaðið út í ána og tekið vatn í nokkrar flöskur, en einnig er hægt að taka þau af brúm. Í þessum tilfellum er venjulega notaður 6 mm stútur.

S-49

Þegar S-49 er notaður til sýnishornatöku fer gat stútsins eftir margfeldi af straumhraða og dýpi. Hann er því grennri sem þetta margfeldi er stærra. Þetta stafar af því að annars mundi sýnatakinn yfirfyllast. Helst þyrftu grófustu kornin sem upphrærð kunna að vera að komast í gegn um stútinn, en oft verður því ekki viðkomið vegna straumhraða og dýpis. Sýnishornið er tekið á nokkrum, venjulega ekki á færri en þremur stöðum á þversniði árinnar. Sýnishornatakinn er látinn síga niður í ána og síðan dreginn upp með jöfnum hraða. Þannig fæst sýnishorn af árvatninu frá yfirborði og niður undir botn.

Fyrst er sýnatakanum rennt niður þar sem mestur straumur er, og hann látinn síga það hratt að flaskan fyllist ekki alveg (því ef hún fyllist alveg er hætt við að vatn streymi út um loftrásina og aurinn í vatninu flokkist þannig að það fína skolist út með vatninu en það grófa sitji eftir). Síðan eru tekin fleiri sýnishorn í flöskur í þversniðinu og reynt að hafa sama hraða við hífingu og slökun og þegar tekið var í mesta straumnum og sama stút.

Með þessu verður mismikið vatn í flöskunum eftir því hvar í þversniðinu sýnishornið er tekið, (sjá mynd 1).



Mynd I

Þegar mældur er aurburður í sýnishornum er það gert með því að hella saman úr öllum þeim flöskum, sem tekið hefur verið í, í sama þversniði (A,B,C,D og E sjá mynd) og mælt í þeim saman.
Þess vegna gefur það réttasta mynd af framburði árinnar að taka sýnishorn á sem flestum stöðum þar sem mismikið berst fram eftir því, hvar í þversniðinu er þannig að rétt hlutfall sé af vatni því sem mælt er frá hverjum stað í þversniðinu.

US-61

Þessi sýnishornataki hefur ekki verið mikið notaður, hann er gagnlegur við að ná sýnishornum af ákveðnu dýpi til að kanna dreifingu aurs í þversniði. Þegar tekin eru sýnishorn með ofantöldum sýnatökum þarf að gæta þess að pakkningin sem liggur að flöskustútnum sé þétt þannig að vatn fari ekki með henni. Auðvelt er að athuga hvort pakkningin sé alveg þétt með því að blása í stútinn og halda um leið fyrir loftútstreymið. Stöku sinnum loka sandkorn og ís fyrir vatnsinnstreymið í flöskuna sem sést best á því að óeðlilega lítið vatn kemur inn í flöskuna. Þar sem laus sandur er á botni ber að varast að láta sýnataka róta honum upp.

SKRÁNING UPPLÝSINGA Á SÝNATÖKUSTAÐ

Niðurstöður þeirra mælinga sem gerðar eru á sýnishornunum eru notaðar við að gera lykla um aurburðarflutning (sjá áðurnefnda skýrslu frá 1973). Nauðsynlegt er að skráðar séu þær upplýsingar sem að gagni koma við gerð þessara lykla (lyklar þar sem fram kemur samband milli rennslis og aurburðarefnisflutnings við mismunandi aðstæður). Þegar sýnishorn eru tekin er meðfylgjandi eyðublað "rannsókn á svifaur blað 1 sýnataka" útfyllt. Hvernig eyðublaðið er fyllt út skýrir sig sjálft. Á neðri hluta blaðsins eru skráðar upplýsingar um þversnið árinnar. Þar sem stendur "staðsetning O-punkts" er ætlast til að getið sé við hvaða núllpunkt þversniðið miðast, þegar horft er niður ána. Þar sem flest sýnishorn hafa verið tekin hafa brýrnar verið kvarðaðar og merkingin miðuð við vinstri brúarenda sem O-punkt.

ORKUSTOFNUN
Reforkuleiga

RANNSÓKN Á SVIFAUR
BLAD SYNATAKA

Rannsóknarstofnun

Tökunúmer

Vatnsfall og tukustaður

Jogsen kl W m³/s

Vaður vindur Vindur

Skýjahula

Veður vindur vaga vindur

Skýjahula

Engin

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

J A R Ð V A T N S M Æ L I N G A R

Björn Jónasson

OS-ROD-77

Maí 1977

E F N I S Y F I R L I T

	Bls
INNGANGUR	1
JARÐVATNSMÆLIR	3
JARÐVATNSMÆLINGAR	4
ÚRVINNSLA OG NIÐURSTÖÐUR MÆLINGANNA	6

M Y N D I R

Mynd	1	Jarðvatnsmælir, ljósmynd með skýringum
"	2	Eyðublað I, jarðvatnsmælingar
"	3	Eyðublað II, jarðvatnsmælingar
"	4	Jarðvatnsmælingar, línurit, Langalda
"	5	Jafnhæðarlínur jarðvatns, Sigalda

INNGANGUR

Jarðvatnshæðarmælingar eða jarðvatnsmælingar , eins og þær eru nefndar í daglegu tali, eru beinar mælingar á hæð jarðvatnsborðs í metrum yfir sjó (m y.s.). Í slíkum mælingum ásamt athugunum á lindum felast yfirleitt fyrstu rannsóknir á jarðvatni viðkomandi svæðis, en í kjölfarið fylgja oftast hitamælingar og jafnvel vatnssýnataka til efna-, tví- og þrívetnisgreiningar.

Jarðvatnsrannsóknir, og þá fyrst og fremst jarðvatnsmælingar, eru m.a. nauðsynlegar í sambandi við gerð flestra stórra mannvirkja eins og vatnsaflsvirkjana og að sjálfsögðu veigamesti liðurinn í rannsóknum til undirbúnings neysluvatnsöflunar, svo eitthvað sé nefnt.

Jarðvatnsmælingar sýna m.a. hvar yfirborð jarðvatns er í jarðlögunum, hvernig og hve mikið það sveiflast eftir árstíðum, hvort jarðvatnsborð er að hækka eða lækka í heild sinni á löngum tíma, hvernig mismunandi svæði og/eða jarðlög leiða jarðvatnið og síðast en ekki síst gefa mælingarnar jarðvatnshallann og þar af leiðandi rennslistefnu jarðvatnsins. Vatnsleiðandi sprungur hafa einnig áhrif á stefnuna.

Eins og áður segir eru jarðvatnsmælingarnar yfirleitt það fyrsta sem gert er í sambandi við jarðvatnsrannsóknir, a.m.k. á fyrirhuguðum virkjunarsvæðum. Venjulegast er byrjað á því að kortleggja (staðsetja á landakorti eða loftmynd og finna eins nákvæmlega og unnt er hæð yfir sjó) lindaupptök (linda "horizont") úti í mörkinni, en einmitt þar sker jarðvatnsborðið yfirborð landsins. Því næst eða samhliða þessu fara fram mælingar á jarðvatni í borholum, ef þær eru fyrir hendi, eða þær eru hreinlega boraðar með jarðvatnsmælingar fyrir augum.

Víða, sérstaklega á gosbeltunum, er of lítið um það, að jarðvatnsflöturinn skeri yfirborð landsins. Jarðvatnsmælingarnar verða þá að fara fram í borholum. Í stað jarðvatnsmælinga í borholum á slíkum svæðum er einnig hægt að beita viðnámsmælingum á yfirborðinu til að finna jarðvatnsborðið. Þess háttar mælingar eiga rétt á sér við frumrannsóknir

jarðvatns. Við síendurteknar (langtíma) jarðvatnsmælingar koma borholur (piezometric holes) til sögunnar.

Flestar þær borholur, sem jarðvatn er mælt í, hafa verið boraðar með kjarnabor til jarðfræðikönnunar. Kjarnaboranir eru kostnaðarsamar og þess vegna er æskilegt að nota ódýrari aðferðir, þegar holur eru boraðar eingöngu til jarðvatnsrannsókna. Hér á eftir eru nefndar 3 hagkvæmar aðferðir til borunar slíkra hola (písahola) og hafa tvær þær fyrrnefndu enn lítt verið notaðar til beinna jarðvatnsrannsókna:

Í fyrsta lagi loftborun (skotholuborun). Haustið 1976 boraði loftbor (Gardner Denver) allt að 40 m djúpar holur á hraununum sunnan við stíflu Sigölduvirkjunar og tók aðeins u.þ.b. 1 dag að bora hverja holu og ganga frá "písaröri" í hana. Slíkur loftbor er yfirleitt byggður á beltavagn og getur því dregið loftpressuna, sem knýr hann, milli holanna.

Í öðru lagi loftborun með froðu. Síðast á árinu 1976 voru einnig boraðar nokkrar "písaholur" í Sigöldumóberg við aðrennslisskurð virkjunarinnar með lofthamri og froðu. Holur þessar eru 40-60 m djúpar. Með þessari tækni næst oft mikill borhraði við erfiðar aðstæður, en það er einkum í móbergi. Við þessar boranir var notaður venjulegur snúningsbor í eigu Jarðborana Orkustofnunar, afkastamikil loftpressa, lofthamar og vökvi til froðumyndunar. Froðan flytur svarfið upp á yfirborðið og dregur verulega úr hættu á hruni í holunni, en sú hætta er mest, þegar borstangirnar eru teknar upp úr holunni, auk þess sem hún minnkar að mun viðnámið milli borholustanga og holuveggjar.

Í þriðja lagi má nefna borrobor, sem hagkvæmast er að nota þar sem kanna á jarðvatn í lausum, oft þykkum yfirborðslögum, sem fleygar auðveldlega holur í laus jarðlög.

Undanfarin ár og áratugi hafa farið fram mjög umfangsmiklar jarðvatnsrannsóknir á svæðinu frá Þórisvatni niður að Búrfelli í tengslum við virkjunarrannsóknir þar, og liggja nú fyrir gögn, sem að hluta til er búið að vinna úr. Svæði þetta er á engan hátt fullunnið hvað jarðvatnsrannsóknir snertir. Kerfisbundnar jarðvatnsmælingar eru gerðar á svæðinu allt árið á vegum Landsvirkjunar, og fær Orkustofnun, raforkudeild, þau gögn jafn-

harðan og mælt er. Ennfremur er sérstakt eftirlit og rannsókn í gangi vegna áfyllingar lóns Sigölduvirkjunar, þar sem jarðvatnsmælingar eru þyngstar á metunum. Þær mælingar eru unnar í samvinnu Orkustofnunar, Landsvirkjunar og ráðgjafarverkfræðinga virkjunarinnar.

Mikilvægt er að fylgja slíku verkefni vel eftir, og afla þannig þekkingar á hegðun jarðvatnsins í mismunandi vatnsleiðurum, en á svæðinu skiptast á móbergshryggir og mjög vatnsleiðandi hraunlagastafli. Þetta svæði er ekkert einsdæmi hér á landi. Mikill hluti af hagnýtu vatnsafli er einmitt bundinn við slík svæði, eða innan gosbeltisins. Hér er því lykilsvæði í sambandi við jarðvatns- og jarðfræðirannsóknir og mikilvægt að sækja þangað reynslu, afla gagna og túlka þau. Þá þarf að koma upp góðu safni mælitækja, sem einfalda rannsóknirnar, og þaulreyna þau.

JARÐVATNSMÆLIR

Jarðvatnsmælar þeir, sem Orkustofnun og Landsvirkjun nota, voru smíðaðir hjá fyrirtækinu Rafagnatækni í Reykjavík. Þeir eru afar hentugir og auðveldir í notkun.

Jarðvatnsmælirinn (sjá mynd 1) samanstendur af eftirfarandi hlutum: rúllu, leiðara, mælipróbu og spennumæli. Á rúllunni er 100-150 m langur 2ja þátta sívalur leiðari (miðleiðari og "skermaður" leiðari utan yfir). Hann er lengdarkvarðaður á 1 m fresti með gulum merkjum, sem eru fest og varin með glærum plastsívalningum. Á hverju merki er lesið viðkomandi dýpi í metrum, en síðan þarf að mæla með málbandi á milli merkja, til að fá mælingu upp á cm.

Mælipróban er tengd við annan enda leiðarans og er samskeytunum lokað með herpigúmmíi. Mælipróban er samsett úr tveimur sívölum málmbútum, sem hafa ólíka staðsetningu í spennuröðinni, með einangrun (herpigúmmíi) á milli þeirra. Þannig verður ekki spennumunur á milli bútanna fyrr en efri bútur inn hefur einnig snert jarðvatnsborðið, en þá verður um leið útslag á spennumæli jarðvatnsmælisins, sem er tengdur við hinn enda leiðarans (sjá mynd 1).

Jarðvatnsmælar af þessari gerð hafa ekki reynst nægjanlega vel og er það helst sjálfur leiðarinn og samskeyti leiðara og mælipróbu, sem hefur bilað. Við mikla notkun hafa þessir hlutið gefið sig á þann hátt, að fyrst nuddast herpigúmmíið í sundur um samskeyti leiðara og próbu og verður hann þá óvarinn (óeinangraður). Samfara þessu tognar smám saman á snúrunni, þannig að lengdarákvörðunin skekkist og getur þar munað tugum cm.

Þá hefur komið fyrir, að nýir leiðarar hafa verið ranglega lengdarkvarðaðir. Einnig geta lengdarmerki færst til, sérstaklega við mikla notkun.

Fyrirrennari þessa mælis var sams konar nema rafhlöður knúðu útslagsmælinn (straummælinn) og mælipróban þar af leiðandi einn og sami málmurinn, en að öðru leyti eins.

Ýmsar aðrar gerðir eru til af jarðvatnsmælum, eins og t.d. "flotholtsmælir", mælir sem flautar er jarðvatnsborði er náð o.fl.

Hjá raforkudeild fara nú fram athuganir á 2ja þátta vírofinni og lengdarkvarðaðri jarðvatnsmælisnúru, nokkurs konar málbandi, og einnig á slíkri snúru og samtengdri mælipróbu, sem verður þá væntanlega sett á þær rúllur, sem eru í eigu deildarinnar í staðinn fyrir "gömlu" snúrurnar. Þannig ætti að fást afar öruggur og sterkur jarðvatnsmælir, þar sem mælinákvæmni er eins og best verður á kosið, viðhald og eftirlit lítið sem ekkert og viðkomandi jarðvatnsdýpi lesið beint af "málbandssnúrunni" sjálfri upp á ± 1 Cm.

JARÐVATNSMÆLINGAR

Auk þess, sem að framan getur, eru jarðvatnsmælingar gerðar eins oft og henta þykir meðan á borun rannsóknaborhola stendur, t.d. á hverjum morgni og fyrir hverja lektarprófun, svo og í sambandi við dæluprófanir, sem gefa til kynna vatnsleiðni bergsins o.s.frv.

Þegar borhola er jarðvatnsmæld skal gæta þess sérstaklega, að leiðarinn snerti ekki fóðurrör, lokrör eða písarör holunnar, einkum brún viðkomandi rörs, þar sem einangrun leiðarans skerst auðveldlega eða eyðist smám saman, svo og lengdarmerkingar.

Þegar jarðvatnsborði er náð, skal fundinn nákvæmlega sá staður á leiðaranum þar sem útslag á sér stað með því að færa leiðarann upp og niður (dorga), en þá er jarðvatnsborðið nákvæmlega þar sem útslagið verður. Leiðarinn er nú settur upp að rörbrún eða öðrum viðmiðunarstað og stutt með nögl eða fingri á þann stað. Leiðarinn er því næst dreginn upp, þannig að efsta lengdarmerkið, sem var ofan í holunni komi í ljós og mælt frá fingri og að því með málbandi. Best er að nota alltaf sömu aðferðina við mælingarnar til að forðast rangar niðurstöður, sérstaklega þegar mælingar verða margar og tíðar. Jarðvatnsdýpið er strax skráð í feltbók eða á þar til gerð eyðublöð og snúran því næst dregin upp, þó þannig að hún snerti ekki borholurörið.

Eftirfarandi atriði þarf að skrá í sambandi við hverja einstaka jarðvatnsmælingu í borholu annað hvort í feltbók aða á þar til gerð eyðublöð. Holuheiti, dagsetningu (ár, mánuð, dag), tíma, gerð holutopps (fóðurrör, lokrör, písarör eða jörð), dýpi á jarðvatn í m og að lokum athugasemdir, ef með þarf.

Mjög misjafnt útslag er á mæli frá holu til holu og getur í einstaka tilvikum verið útilokað að fá nákvæmt útslag og verður þá að taka slíkt fram í athugasemdum.

Nauðsynlegt er að mæla snúru jarðvatnsmælis upp með málbandi (25-50 m málbandi), ef viðkomandi mælingamaður hefur ekki fylgst með eða notað mælinn áður, svo og reglulega (t.d. á 1-2 vikna fresti), ef mælir er mikið notaður. Ef mælir er ranglega lengdarkvarðaður, þ.e. hefur tognað á leiðara, skal búa til töflu yfir hann. Taflan gæti verið með tveimur dálkum þar sem sá fremri sýnir lengdarkvörðun jarðvatnsmælis og sá aftari sýnir aflestur af málbandi miðað við hvert merki á jarðvatnsmæli. Á þennan hátt er auðvelt að leiðrétta mælingarnar, ef ekki er hægt að útvega rétt kvarðaðan mæli strax.

ÚRVINNSLA OG NIÐURSTÖÐUR MÆLINGANNA

Úrvinnsla jarðvatnsmælinganna er ekki síður mikilvæg en mælingarnar sjálfar. Venjan er sú eins og áður segir að skrá mælingarnar í upphafi inn í svonefndar feltbækur enda þola þær best misjafna meðferð og á þann hátt eru mælingarnar skráðar á einn stað. Síðan er fært beint úr feltbókinni, sem fyrst, á þar til gerð eyðublöð (sjá mynd 2), en það er fyrst og fremst hreinritun á feltbókarfærslum nema hveð hér þarf að liggja fyrir vitneskja um hæð viðmiðunarpunkts, þ.e. holutopps í m y.s. Mikilvægt er á þessu stigi að gera sér grein fyrir því, hvort viðkomandi hæð holu sé hæð fóðurrörs, lokrörs, písarörs eða jarðar í m y.s. og skrá holuhæðina í m y.s. í samræmi við það. Því næst er reiknuð hæð jarðvatns í m y.s. með því að draga dýpið í m frá hæð holu í m y.s. Mikilvægt er að spara ekki skriftir á athugasemdum og skrá allt það, sem skipt getur máli í sambandi við niðurstöður jarðvatnsmælinganna. Að öðru leyti skýrir eyðublaðið sig sjálft (mynd 2).

Á þessu stigi hefur mælingamaðurinn oftast lokið sínum hluta úrvinnslunnar og skilað af sér gögnum t.d. til raforkudeildar Orkustofnunar eða Landsvirkjun nema hvort tveggja sé.

Næsta skref er að færa jarðvatnshæð í m y.s. á þar til gert eyðublað, (sjá mynd 3) þar sem hver einstök hola á blaðinu hefur sinn dálk. Þetta samantektarblað gefur því hæð jarðvatnsins í réttri tímaröð fyrir ákveðinn holu- og mælingafjölda.

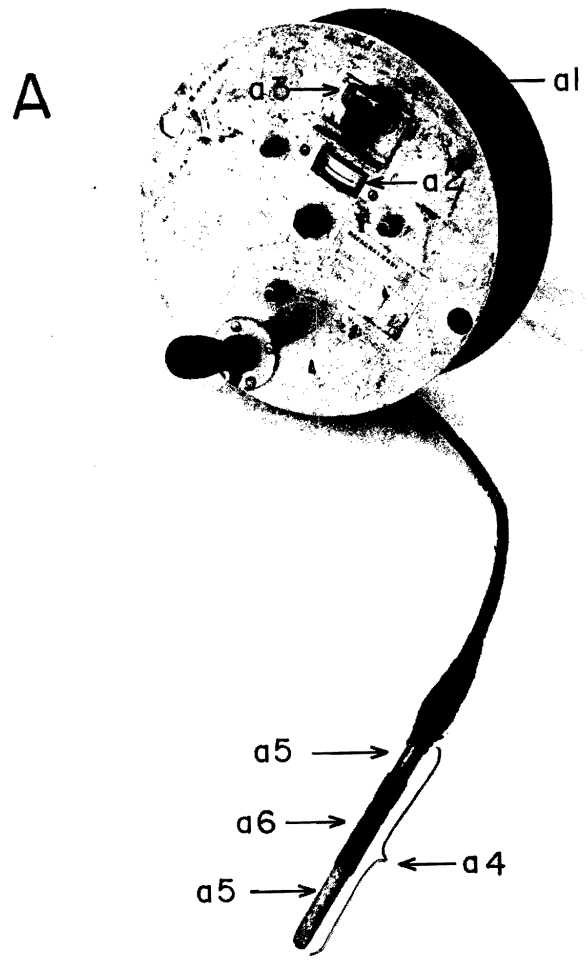
Í næsta stigi úrvinnslunnar kemur til kasta teiknarans (teiknistofunnar), sem teiknar jarðvatnslínurit beint eftir síðastnefndu blöðunum (samantektarblöðunum), þ.e. jarðvatnshæð á móti tíma, þar sem tímaskalinn er ýmist víður eða þröngur eftir fjölda mælinga, tímabili mælinganna o.þ.h. Þetta stig úrvinnslunnar er ekki komið langt á veg hjá raforkudeild, en í framtíðinni verða flestar mælinganna settar á það form (sjá mynd 4).

Eftir að þessu er lokið, eru jarðvatnsmælingarnar orðnar mjög aðgengilegar, þ.e. annars vegar nákvæmt skráðar í töflum (sbr. mynd 3) og hins vegar dregnar upp myndrænt (sbr. mynd 4), og spanna slíkar myndir allt

að 10 ára tímabil.

Hér á undan er yfirleitt gengið út frá endurteknum jarðvatnsmælingum í borholum. Aftur á móti gefa mælingarnar á upptökum linda ásamt jarðvatnsmælingum í borholum, sem eru dreifðar yfir stærra svæði, upplýsingar um halla og þar af leiðandi rennslisstefnu jarðvatnsins, sem eru skýrast settar inn á landakort. Þar eru síðan dregnar jafnhæðarlínur jarðvatnsins (mynd 5). Á þessu stigi eru jarðvatnsmælingarnar komnar á gott form til frekari úrvinnslu, en oftast fylgja því víðtækari og flóknari mælingar.

J A R Ð V A T N S M Æ L I R



Mynd 1

A	Jarðvatnsmælir
a1	Leiðari, 2ja þátta
a2	Spennumælir
a3	Geymslustaður fyrir mælipróbu
a4	Mælipróba
a5	Óeinangraðir sívalir málmbútar, sem eru með mismunandi staðsetningu í spennuröðinni
a6	Einangrari - herpigúmmí

ORKUSTOFNUN
RAFORKUDEILD

Mynd 2

JARÐVATNSMÆLINGAR Í BORHOLUM

Mælt :

Reiknað :

Ár :

Svæði :

Heiti :

Dags. mælingar	Nr. holu	Hæð holu m y. s.	Jarðvatn		Athugasemdir, ástand holu o. fl.
			Dýpi m	Hæð m y. s.	

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

JARÐVATNSMÆLINGAR Í BORHOLUM

Mynd 3

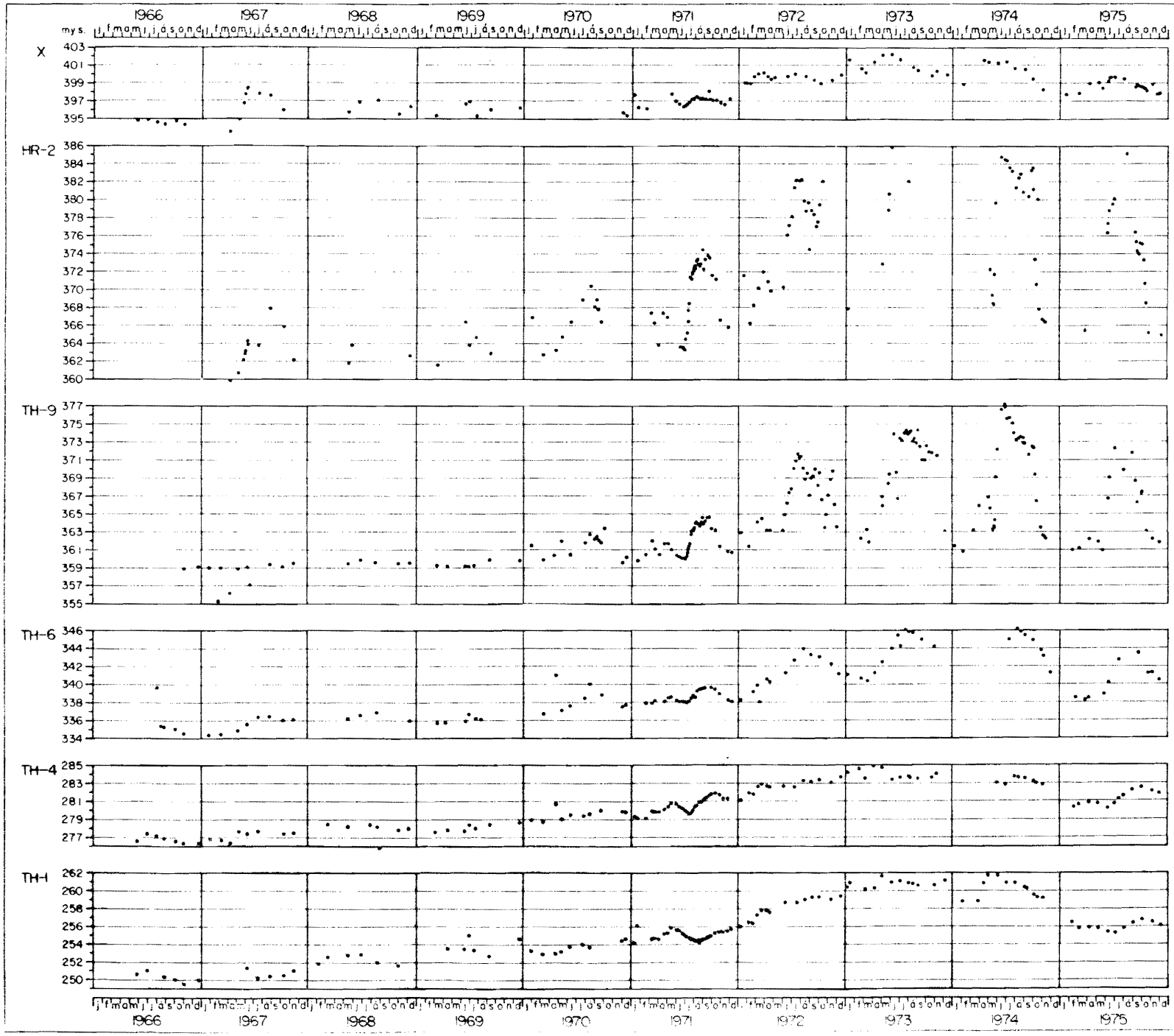
Mælt:

Unnið af:

Svæði :

Ár :

Dags. mælingar	Heiti holu/jarðvatnsborð m y.s.												



Mynd 4

Mynd 19

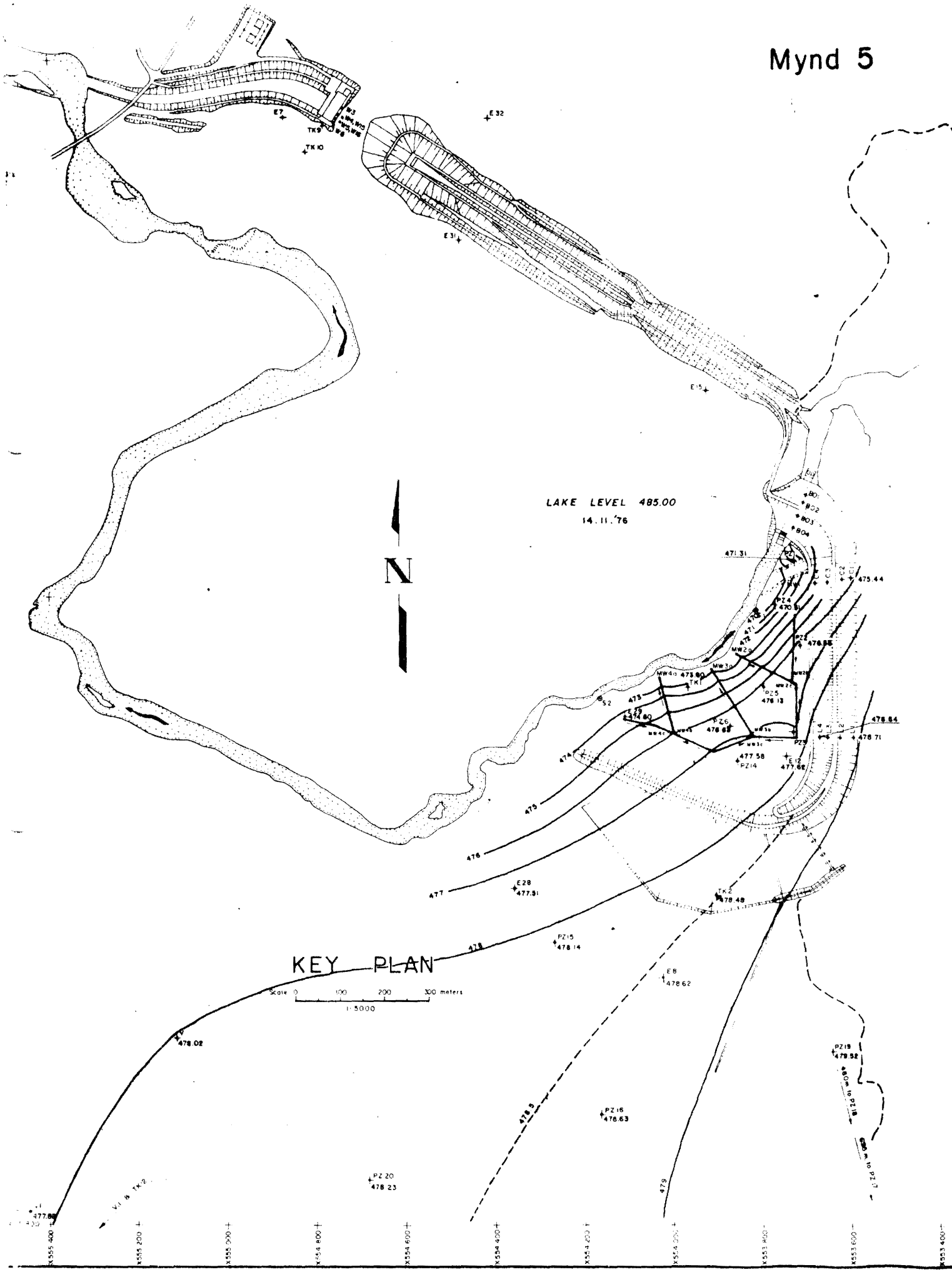
ORKUSTOFNUN

LANGÖLDUVEITA

Jarðvatnsmælingar í borholum

760326 PI/GS. Tnr 442 B-332 Fnr 14085

Mynd 5


LAKE LEVEL 485.00
14.11.'76
N
KEY PLAN
Scale 0 100 200 300 meters
1:5000

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

JARÐVATNSHITAMÆLINGAR Í BORHOLUM

Björn Jónasson

OS-ROD-77

Febrúar 1977

E F N I S Y F I R L I T

	Bls
INNGANGUR	1
TÆKI	2
HITAKVÖRÐUN	3
MÆLIAÐFERÐ	3
NÁKVÆMNI	4
MEÐFERÐ HITAMÆLISETTS	4
TILGANGUR, TÚLKUN OG FYRRI MÆLINGAR	5

M Y N D I R

Mynd	1	Jarðvatnshitamælir, ljósmynd með skýringum
"	2	Eyðublað, hitamæling í borholu
"	3	Jarðvatnshitamælingar, Sultartangavirkjun
"	4	Jarðvatnshitamælingar, Sigalda

INNGANGUR

Hitamælingar á vatni hafa löngum verið gerðar í rannsóknarskyni og hafa þær haft sérstaklega mikla þýðingu í sambandi við jarðhitarannsóknir, svo og við almennar jarðvatnsrannsóknir, þ.e. rannsóknir á köldu grunnvatni. Í sambandi við hinar almennu jarðvatnsrannsóknir hafa fyrst og fremst verið notaðir venjulegir kvikasilfursmælar, sem eru kvarðaðir fyrir allt að 0,1°C.

Mælar þessir eru í sérstöku "búri" úr krómuðum málmi. Búr þetta þjónar tvíþættum tilgangi, þ.e. annars vegar ver það mælinn gegn hnjaski og hins vegar fyllir vatnið, sem mælt er, dós neðst í búrinu og er því kvikasilfurshólfið stöðugt í vatninu, sem mælt er, á meðan hitastigið er lesið af kvarðanum.

Hitamælingar með áðurnefndum mæli eru afar hentugar til mælinga á lindum, lækjum og ám - þ.e. eru fljótlegar og einfaldar. Aftur á móti hefur slíkur mælir ekki verið notaður til jarðvatnshitamælinga svo sem í borholum. Það er reyndar hægt, en slík mæling gæfi aðeins einstakt hitastig í holunni, útilokar nákvæmni og er óhæf til hitasniðsmælinga, en það eru einmitt þær mælingar, sem eru þyngstar á metunum.

Það var ekki fyrr en sumarið 1974, að farið var að prófa hitamælingar á "köldu" jarðvatni í borholum á svæðinu milli Þórisvatns og Búrfells með hitamæli (thermistor), sem hafði verið beitt til mælinga á heitu vatni í borholum (t.d. hitastigulsmælingar og við almennar heitavatnsmælingar) á vegum jarðhitadeildar Orkustofnunar árum saman.

Þessar mælingar eru mun umfangsmeiri en venjulegar kvikasilfursmælingar, en gefa jafnframt meiri upplýsingar og einnig nákvæmari, þar sem "hitinn" er lesinn beint af mæli nákvæmlega á því dýpi, sem ákveðið er í hvert skipti.

TÆKI

Tækin, sem notuð eru við hitamælingarnar eru eftirfarandi:

1) Viðnámsmælir (Digital-mælir, Sinclair Multimeter DM2).

2) Rafmagnsleiðsla (2ja þátta).

3) Viðnám (Thermistor).

1) Viðnámsmælirinn er venjulegur Digital-mælir með ljósborði. Með þessum mæli er hægt að mæla straum og spennu ásamt viðnámi.

2) Rafmagnsleiðsla með tveimur þáttum, sem er lengdarkvörðuð t.d. með mislitu einangrunarbandi (sbr. litalykil).

3) Viðnámið (thermistorinn) er tengt milli vírendanna og það síðan lokað inni í þar til gerðu eirröri. Viðnámið er einangrað vel inni í eirhólknum með silicon-kítti og epoxy-límí. Thermistorinn er því næst hitakvarðaður og leiðslan lengdarkvörðuð og vafinn upp á rúllu (sjá mynd 1).

Nú er í undirbúningi smíði á viðnámsmæli, sem breytir viðnámstölunni beint í hitastig °C. Þannig er lesið beint af ljósborði hitastigið í Celsíusgráðum.

Ennfremur fara nú fram athuganir á kaupum á fjórleiðara, vírofnum og lengdarkvörðuðum, sem líkist einna helst venjulegu málbandi. Úr þessu á síðan að útbúa sambyggt mælisett á einni rúllu þar sem viðnámsmælirinn verður innbyggður í rúlluna og hitastigið lesið þar beint af. Í þessu tilviki verður ein og sama rúllan bæði jarðvatns- og hitamælir.

Í þessu sambandi er einnig verið að afla upplýsinga um svipaðan mæli á erlendum markaði með kaup í huga.

HITAKVÖRÐUN

Hitakvörðun thermistorsins fer þannig fram, að núllpunkturinn, þ.e. 0°C, er fundinn með mikilli nákvæmni. Þá er thermistor t.d. stungið í vel hrærða ísblöndu (vatn+ís) eða hann er settur í frysti og dreypt á hann vatni annað slagið. Þegar thermistorinn er orðin vel klakaður er hann látinn þiðna, en þá fæst öruggur núllpunktur, sem er lesinn beint af ljósborði viðnámsmælis. Síðan eru mældir nokkrir punktar með thermistornum og kvikasilfursmæli samtímis við mismunandi hitastig vatnsins (á u.þ.b. 1° fresti), innan þess hitabils, sem viðkomandi thermistor (viðnám) spannar. Því næst eru þessar niðurstöður keyrðar eftir ákveðinni forskrift í tölvu Orkustofnunar. Útskrift er í tveimur dálkum þar sem sá fremri sýnir álestur af viðnámsmæli - viðnám, en aftari dálkur sýnir samsvarandi hitastig í °C með 0,1°C nákvæmni.

MÆLIAÐFERÐ

Mæling fer þannig fram, að thermistor (viðnám) er tengdur viðnámsmæli, en síðan er thermistor slakað ofan í borholu. Þegar vatnsborði er náð er kveikt á digitalmæli, sem er stilltur á viðnámsmælingu, þ.e. á KΩ annars vegar og hins vegar á X1, X10 eða X100 eftir þörfum.

Síðan er lesið af ljósborði á mismunandi dýpi þar til holubotni er náð og það skráð annað hvort í venjulega feltbók eða á þar til gerð eyðublöð (sjá mynd 2). Þéttleiki aflestra er kominn undir því hvernig hitastig breytist með dýpi, þ.e. hve hratt hitinn breytist, og skráð í samræmi við það.

Best er að mæla jarðvatnsborð með jarðvatnsmæli eftir að búið er að hitamæla holu, ef jarðvatnsborð er nokkurn veginn þekkt fyrir hitamælingu, því annars er hætta á, að jarðvatnið blandist og mæling gefi þannig raskað hitasnið.

Venjulegasti og að mörgu leyti hentugri útbúnaður hefur þó verið sá, að jarðvatns- og hitamælisnúrur hafa verið samsettar, þ.e. límdar saman með einangrunarbandi. Þannig er annars vegar jarðvatnsborð og hitastig lesið af í sömu niðurslökun og hins vegar er dýpi lesið beint af jarðvatnsmælisnúru og þarf því ekki að lengdarkvarða hitamælisnúru sérstaklega. Þessu fylgja þó ýmsir ókostir, t.d. þeir að ekki fæst nákvæm mæling á jarðvatnsborði með samsettri snúru vegna vindings í snúrum og einnig vegna þess að snúrurnar hafa mismunandi þanstuðla, en af því leiðir, að önnur snúran ræður lengd hinnar. Þetta getur skekkt mælingarnar, t.d. þegar lofthitinn er annars vegar +15°C og hins vegar -15°C, þ.e. mismunur á hitastigi er hér 30 stig.

Einnig er samsetta snúran óþægilegri í meðförum, a.m.k. eins og nú er gengið frá henni, en hún er límd saman með einangrunarbandi með 0,5-1,0 m millibili, hönkuð upp, og er þannig afar gjörn á að flækjast.

NÁKVÆMNI

Nákvæmni þessarar mæliaðferðar er afar mikil og í kvörðun er hún 0,1°C sem er meiri en nægileg nákvæmni fyrir hitamælingar á jarðvatni. Algengast hitastig jarðvatns er á bilinu 2°-6°C og þarf því thermistorinn (viðnámið) helst að vera næmastur fyrir það hitastig. Æskilegt er þó oft, sérstaklega í víðtækum hitamælingum á jarðvatni, að thermistor spanni vel bilið 0,0-15°C, enda bitnar slíkt ekkert á mælinákvæmninni.

MEÐFERÐ HITAMÆLISETTS

Mjög mikilvægt er, að vel sé farið með hitamælisett. Venjulegur kvikasilfursmælir er yfirleitt í lagi þar til hann brotnar, en hitamælisett gefur niðurstöðu, þótt ýmislegt sé að en gefur þá ranga mælingu. T.d. ef gat eða göt koma á einangrun hitamælisnúru, þannig að leiðari verði

óvarinn eða opinn, þá sýnir viðnámsmælir lægri tölu, sem gefur hærri hita en er í reynd. Hér þarf því að loka leiðara með vatnsþéttu einangrunarbandi eða svokölluðu "suðuteipi". Einnig þarf að fylgjast vel með tengingum á vírum í digitalmæli, rafhlöðum í sama mæli og síðast en ekki síst með viðnáminu og viðnámspróbunni sjálfri, þ.e. að allt sé vatnsþétt.

Athuga skal reglulega hvort digitalmælirinn (Sinclair Multimeter) sé réttur, þ.e. núllstilltur. Það er gert á eftirfarandi hátt: Tengið sömu leiðsluna milli + og ÷ á mælinum. Ýtið V_{DC}-takka inn og einnig 1 RANGE-takkanum. Kveikið (on) síðan á mælinum. Ef mælir er réttur, á ljósborð að sýna ,000. Sé svo ekki skal skrúfa stilliskrúfu (set zero) með örmjóu skrúfjárni þar til ,000 er stöðugt á ljósborðinu. Sé þetta ekki gert verða allar mæliniðurstöður rangar um þá tölu, sem ljósborðið sýnir við þessar aðstæður.

Mælir afstillist sérstaklega í röku umhverfi, svo ekki sé talað um, ef hann blotnar. Ber því sérstaklega að koma í veg fyrir slíkt og athuga 0-stillinguna oftar við þess háttar kringumstæður. Ef mælt er úti í frosti er mikil hætta á rakamyndun í mæli ennfremur verður mikið spennufall í rafhlöðu. Best er því að taka mæli úr bíl eftir mælingu og geyma hann á þurrum og hlýjum stað þar til næsta mæling fer fram. Þetta á reyndar fyrst og fremst við um vetrartímann, enda eru skilyrðin þá verst hvað áðurnefndu viðvíkur.

Mjög mikilvægt er að nota sama settið við mælingu á sama stað eða, ef notað er nýtt sett, að gaumgæfa samræmi milli mælinga.

TILGANGUR, TÚLKUN OG FYRRI MÆLINGAR

Þó að hitamæling sé í eðli sínu afar einföld og ódýr mæling, gefa slíkar kerfisbundnar borholumælingar mikilvægar upplýsingar í sambandi við rannsóknir á jarðvatni og jarðvatnskerfum, bæði staðbundið (sbr. núverandi rannsóknir við áfyllingu lóns og aðrennslisskurðar

Sigölduvirkjunar) og á stærri svæðum (sbr. jarðvatnshitamælingar á svæðinu Þórisvatn-Búrfell árið 1974, en þær voru endurteknar haustið 1976), hvort heldur um jarðhitaleit er að ræða eða venjulegar jarðvatnsrannsóknir eins og fyrst og fremst er fjallað um í þessari yfirlitsgrein um jarðvatnshitamælingar í borholum.

Með hitamælingum í borholum hafa fengist mikilsverðar upplýsingar á svæðinu milli Þórisvatns og Búrfells, en þær hófust einmitt á því svæði árið 1974 undir stjórn Guttorms Sigbjarnasonar í tilraunaskyni. Hiti var þá mældur í borholum, sumarið og haustið 1974, og reyndist fullkomið samræmi milli mælinga. Mælingin var fljótleg og einföld, ekki óþægileg fyrir 1 mann og gaf viðbótarupplýsingar um jarðvatnskerfin á svæðinu, sem hafði áður verið rannsakað mjög vel (Vatnafræði Þórisvatnssvæðis, 1972).

Næst var þessari mæliaðferð beitt á Sultartangasvæðinu (1974-1976). Hitamælingarnar einar sér gáfu þar ótvíræðar niðurstöður um jarðvatnskerfin, sem þar ráða ríkjum og blöndun þeirra, vegna þess hve hitamunur er mikill á tveimur meginjarðkerfunum, sbr. meðfylgjandi mynd 3 (sjá ennfremur Sultartangi, Geological Report, OS-ROD-7631).

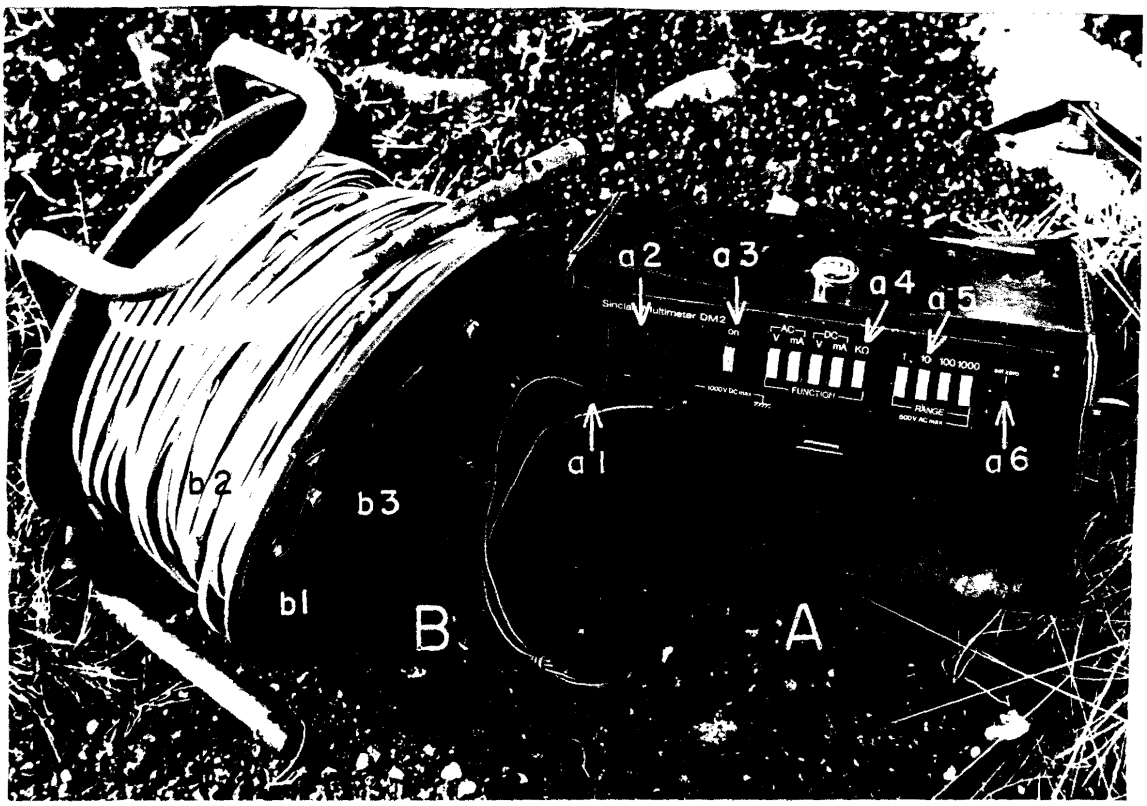
Sams konar mælingum hefur og einnig verið beitt í sambandi við rannsóknir á Langölduveitu og sýna þær hvernig vatnið sem lekur úr veitunni leggst yfir jarðvatnið og hvernig veituvatnið hverfur úr jarðlögunum er líður á veturinn, en þá er Langölduveitan ekki starfrækt (sjá Langölduveita OS-ROD-7642).

Nú eru hitamælingar í gangi í sambandi við leka- og jarðvatnsrannsóknir vegna fyllingar lóns og aðrennslisskurðar Sigölduvirkjunar og hafa þegar gefið markverðar niðurstöður (sjá mynd 4). Þar kemur m.a. fram við síendurteknar mælingar hvernig lekavatnið úr lóninu hegðar sér í jarðlögunum, en þetta byggist að sjálfsögðu á mismunandi hitastigi lekavatnsins og jarðvatnsins.

Þannig er t.d. hægt að rekja eða finna bæði lekaleiðir í jarðlögum og þá eins lítt vatnsleiðandi jarðlög. Einnig sýna hitamælingar

mjög vel annars vegar hvort áhrif vatnsþrýstings í lóninu hafi hækkunaráhrif á jarðvatn eða hvort lekavatnið kemur strax eða fljótlega inn í jarðlögin o.s.frv.

JARÐVATNSHITAMÆLIR



MYND 1

A	Digitalmælir, Sinclair Multimeter DM2
a1	Tengill
a2	Ljósborð, aflestur
a3	Rofi, á-af
a4	Viðnámsmælitæki
a5	Mögnunartakki, frá x1 til x1000
a6	0-stillir (set zero)
B	Hitamælir
b1	Rúlla
b2	Leiðari, 2ja þátta
b3	Tengill
b4	Mælipróba, vatnsþétt viðnám í götuðum eirhólki

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

HITAMÆLING Í BORHOLU

Verkefni	Staður

Hola nr.	Dags.	Mælt af:

Mæling nr. / tími	Mælir nr.	Hæð miðuð við:
		☐ Fóðurrör ☐ Lokrör ☐ Písarör ☐ Annað

Hæð holu, m y.s.	dýpi m	Jarðvatn hæð m y.s.

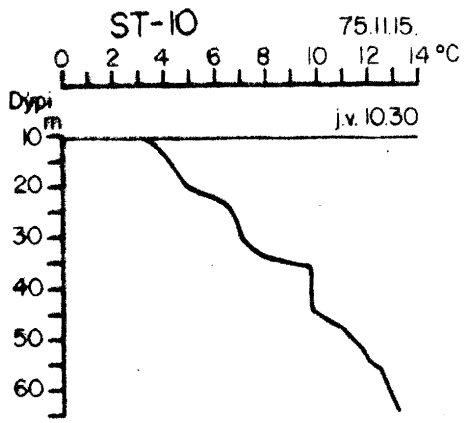
Athugasemdir

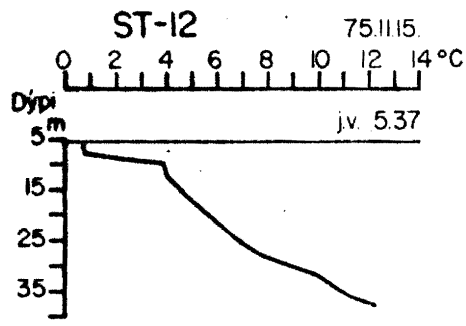
Dýpi m	Álestur KOhm	Hiti °C	Dýpi m	Álestur KOhm	Hiti °C

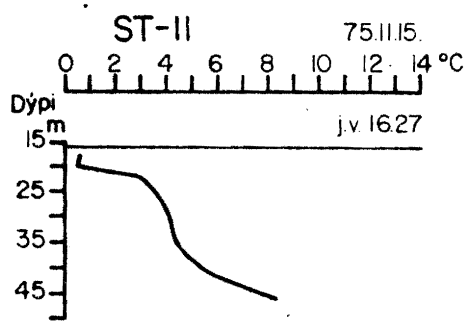
77.01.03. DE/GSJ, T-437, B-ým., F-15089

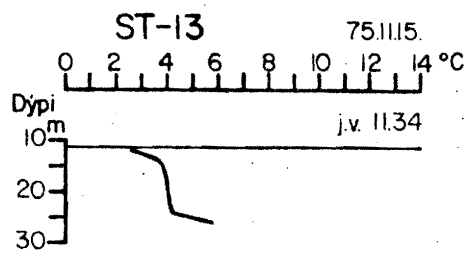
Mynd 2

I

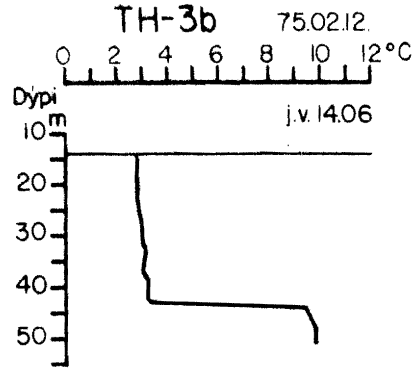


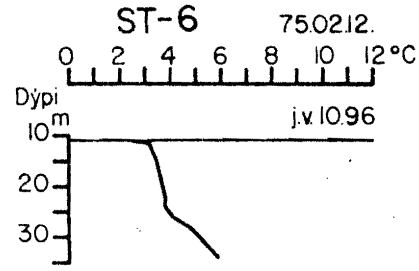


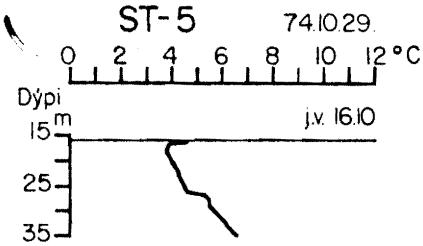


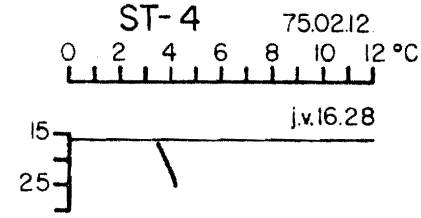


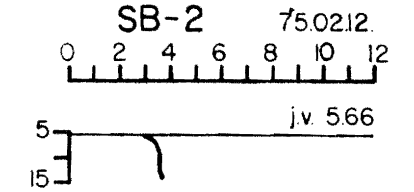
II



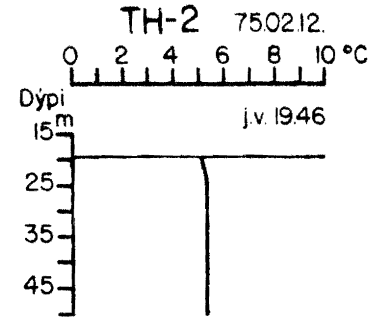


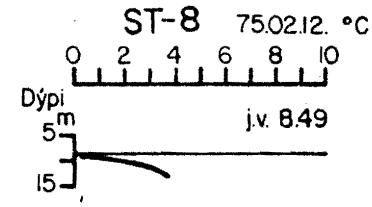


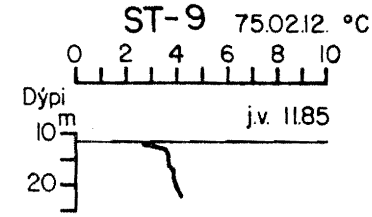




III







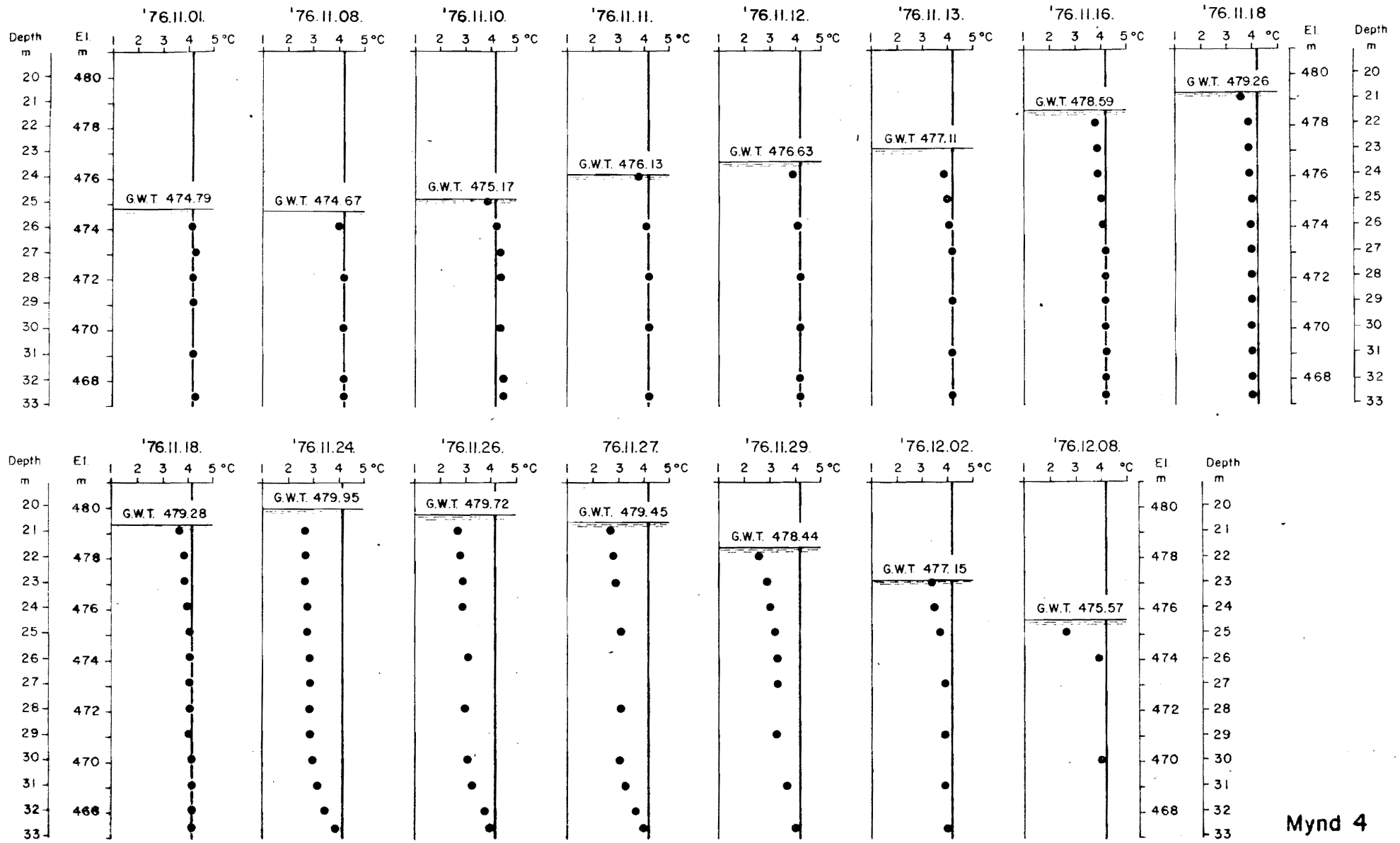
IV

Mynd 3

ORKUSTOFNUN

SULTARTANGAVIRKJUN
Jarðvatnshitamælingar
Ground water temperature measurements

76.05.03.BjJ/GSJ	
Tnr. 440	
B-332	
Fnr. 13991	



Mynd 4

PIEZOMETRIC HOLE E-28

ORKUSTOFNUN

SIGALDA
Second Impounding E-28
Ground-Water Temperature Measurements

Mars '77 BJ/GyÞa

T-544 | B-332

F-15451

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

B Y G G I N G A R E F N I

Sveinn Þorgrímsson

OS-ROD-

Júní 1977

BYGGINGAREFNI

Hin lausu jarðefni endurspegla gerð bergsins og ríkjandi landmótandi öfl. Byggingarefnaleit byggist því á góðum skilningi á almennri jarðfræði og landmótunarfræði auk þekkingar á jarðræknilegum eiginleikum hinna mismunandi byggingarefna. Almenn byggingarefnaleit miðast ekki við fyrirfram ákveðna staðsetningu mannvirkja, heldur tekur hún til alls rannsóknasvæðisins. Val á efnisnámum fer svo fram síðar þegar eiginleikar efnanna eru þekktir og hinir ýmsu þættir við vinnslu þeirra hafa verið metnir, svo sem fjarlægð og hæðarmunur námu og mannvirkis.

Á Vestfjörðum og víðar einkennist jarðfræðin af nokkrum ummynduðum basaltlögum með setlögum á milli. Laus jarðlög (jarðvegur) einkennast á sama hátt af ummynduðum basaltbrotum og rauðum sandsteinsbrotum. Á hálendinu hefur leysingavatn víða borið veðraða bergmylsnu niður í lægðir og myndast þar setpollar. Þetta set einkennist yfirleitt af köntóttum og oft nokkuð flötum steinum, sem bera vitni um stutta flutningsleið og frostveðrun. Blöðrótt og ummyndað berg veðrast hraðar en þétt berg og því má finna umtalsverðar námur í nágrenni þess. Einkum er þetta svo þar sem frostveðrun er mikil.

Framangreint efni hefur ýmsa ókosti, einkum ef nota ætti það sem fylliefni í steinsteypu. Ummyndað berg hefur mjög lágt brotþol, og getur það orðið <1/2 af brotþoli fersks bergs. Rauð sandsteinsbrot eru sömuleiðis veikbyggð en eru auk þess vatnsdræg, en slíkt getur t.d. orsakað frostþenslu í steypunni. Blöðrótt berg hefur sömu ókostina og sandsteinsbrotin, en er auk þess oft ríkt af jökulleir og holufyllingum. Jökulleirinn er alvarleg óhreinindi í steypu og hindrar góða bindingu milli fylliefnisins og sementsins en holufyllingarnar kunna að ganga í efnasamband við sementið og orsaka svo kallaða alkalívirkni. Köntótt bergmylsna er þó oft hagkvæm í uppfyllingar, eins og í stoðfyllingu eða síu fyrir stíflur, þar sem slíkt efni hefur hátt viðnámshorn og er því stöðugt. Kantað yfirborð korna í fylliefni í steinsteypu er einnig mjög til bóta og getur styrkleiki slíkrar steinsteypu verið yfir 100 kg/cm^2 meiri, en ef kornin

eru ávöl, t.d. lábarin. Gæði byggingarefnis eru metin eftir sýnum, sem tekin eru úr efnisnámunum og gildir því miklu að vandað sé til sýnishornatökunnar. Yfirleitt er yfirborð námunnar úr veðruðu efni oft blönduðu með vind- eða vatnsbornu seti. Víðast hvar á hálendinu eru t.d. jökulruðningur veðraður niður á 1/2 - 1 1/2 m dýpi. Einnig getur frostlyfting orsakað aðskilnað í efninu ef það er ósamlímt eða hefur misst hana vegna veðrunar. Sýni af yfirborði jökulruðnings eru því oftast fínkornóttari, en af óveðraða efninu neðar, en þar sem frostlyfting er mikil eru t.d. áreyrar grófkornóttastar á yfirborði. Sýnishornatakan miðast því alltaf við að finna óveðrað og óhreyft efni, sem sýnir raunverulega eiginleika og ástand þess efnis, sem á að prófa.

Yfirleitt eru sýnishorn tekin úr gryfju, efnisnámu eða efnisbing. Sé opið stál í námunni, skal taka þar sýni með reglulegu millibili úr lóðréttum rásum með því að byrja neðst og halda upp stálið. Ekki skal taka með efni sem hefur hrunið úr stálinu. Hætt er við, að efni sem ýtt hefur verið í efnisbing aðskiljist og hluti af grófara efninu renni niður hliðar hans. Sýni úr efnisbing þarf því að taka reglubundið um allan binginn og alltaf vel undir yfirborði hans.
Erfitt er að gefa ákveðnar reglur um stærð sýnishorna, en hún fer að nokkru leyti eftir kornadreifingu efnisins. Reynslan hefur sýnt að sýni skulu ekki vera minni en hér segir:

Kornastærðargreining	20 kg
Almennar steypuprófanir	150 kg
Þjöppunar og lektarpróf	75 kg
Þríásapróf	100 kg

Kornadreifing efnisins er ákvörðuð með sigtum, þar sem notuð eru 10 sigti með eftirfarandi möskvastærðum í mm.

a) ASTM E11:
0,0074; 0,149; 0,297; 0,59; 1,19; 2,38; 4,76; 9,52; 19,1; 38,1;

b) Orkustofnun:
0,053; 0,105; 0,21; 0,42; 0,85; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 32,0.

Greining á minni kornastærðum er að ofan greinir er gerð með flotmæli eða setvog. Niðurstöður greiningarnar eru sýndar á kornastærðarlínuriti

(mynd 1). Nokkuð er á reiki hvar draga eigi mörkin á milli kornastærðarflokkanna, en á meðan ekki hefur verið settur um það íslenskur staðall er talið rétt að fylgja bandarískum venjum. Eftirfarandi kornastærðarmörk eru almennt notuð:

	U.S.C.S. (Unified Soil Classification System)	Orkustofnun
Leir	<0,002 mm	<0,002 mm
Méla (silt)	0,002-0,074	0,002-0,06
Fínn sandur	0,074-0,3	0,06-0,2
Milli sandur	0,3-0,6	0,2-0,6
Grófur sandur	0,6-4,75	0,6-2,0
Fín möl	4,75-19,0	2,0-6,0
Milli möl	-	6,0-20,0
Gróf möl	19,0-75,0	20,0-60,0
Steinar	>75,0	>60,0

Ýmsar tölur hafa verið skilgreindar í þeim tilgangi að lýsa kornastærðarlínuritum og til þess að nota við hönnun. Grófleikatala er notuð við hönnun á steinsteypu, en hún er summa sigtaleifar á sigtunum 0,149 mm, 0,297 mm o.s.frv. og deilt í summuna með 100. Svipaða grófleikatölu má fá fyrir mismunandi fylliefni, en engu að síður lýsir talan grófleika sands, þannig að há tala (t.d. $\geq 2,9$) bendir til grófs sands, en lág tala (t.d. $\leq 2,5$) bendir til fíns sands. Kornadreifistuðull $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ er annar algengur stuðull þar sem d_{60} og d_{10} svara til möskvastærðar sigta sem sleppa í gegn 60% og 10% af efninu. Þessi stuðull er m.a. notaður við flokkun jarðvegs, en almennt má segja að ef $C_u < 4$ er um að ræða einkorna efni en ef $C_u > 6$ er efnið dreifkorna.

Ekkert flokkunarkerfi er til hér á landi fyrir fylliefni eða jarðveg almennt. Til þess að brúa þetta bil er yfirleitt notast við bandarískt kerfi U.S.C.S. (Unified Coil Classification System). Þetta kerfi byggist að mestu á kornastærðardreifingu efnisins og er því einfalt, en af því má draga ýmsar almennar reglur um hegðun efnisins við mismunandi skilyrði. Kerfið er sýnt á mynd 2 og skýrir sig sjálft. Fyrir flest allt byggingarefni gildir að kornadreifing efnisins skal vera sem jöfnust.

Efri kornastærðarmörkin ákvarðast af viðkomandi framkvæmdum, t.d. möskvastærð bindistanga í járnbentri steinsteypu eða þykkt hvers lags í þjöppuðum stíflukjarna. Fylliefni í steinsteypu og síuefni verða að uppfylla vissum kröfum um lágmarkskornastærð. Þannig er minnsta leyfileg kornastærð fyrir síur 5 sinnum stærri en kornastærðirnar D_{15} og D_{50} í kjarnaefninu. Þetta er gert til að tryggja vissa lágmarkslekt í síunum. Örfín efniskorn eins og méla og leir hafa skaðleg áhrif á steinsteypu, þar sem þau varna myndun góðra bindinga milli fylliefnisins og sementsins, en auk þess verður vatnsþörf steypunnar meiri sem þýðir minni styrkleika. Skolun á fylliefnum getur því verið nauðsynleg til að losna við fínefnin en einnig til að losna við lífræn óhreinindi en þau eru sýrumyndandi og geta hægt mjög á hörðnun og jafnvel komið í veg fyrir hana.

Nokkrar bergtegundir geta gengið í efnasamband við sement. Slíkar bergtegundir innihalda ókristallaða eða lítið kristallaða kísilsýru, sem getur orðið fyrir efnaáhrifum (alkalivirkni) frá alkalísamböndum og kalksamböndum sementsins. Við efnabreytinguna myndast seigfljótandi alkalíkísilhlaup, sem getur þanist mjög mikið út, ef það kemst í snertingu við vatn. Við þetta myndast sprungur í steypunni og hún flagnar. Helstu steintegundirnar, sem álitið er að valdi alkalívirkni eru ópal, hraungler, geislasteinar og glerhallar, sem allt eru algengar holufyllingar, en auk þess súrt berg og jafnvel ísurt berg eins og andesít.

Efnisrannsóknir í jarðtækni og grundun eru mun umfangsmeiri og vandasamari, en t.d. steypurannsóknir. Efnisrannsóknirnar eru undirstaða hönnunar mannvirkisins og getur í mörgum tilfellum ráðið úrslitum um hagkvæmni verksins. Hér á eftir verður lauslega drepið á helstu efnisprófanir fyrir stíflugerð og notagildi þeirra.

1. Kornastærðardreifing með sigtun og setvog eða flotmæli. Flokkum efnisins byggist, að mestu á kornastærðardreifingunni, og gefur góða hugmynd um ýmsa eiginleika þess, eins og frostnæmi, lekt, sig o.s.frv. Kornastærðardreifingin er notuð við hönnun á síum, stoðfyllingu og grjótvörn o.fl., en hún er einnig fljótvirkust og ódýrust við könnun á breytingum efnisins innan efnisnámunnar.

2. Atterbergmörk eru fundin fyrir jarðveg sem hefur samloðun. Eru þá mæld flæðimörk (liquid limit) efnisins og þjálni (plastic limit) þess reiknuð. Þessi mörk eru notuð við flokkun efnisins, en gefa auk þess ábendingu um margvíslega hegðun þess, eins og líklegt sig og vinnanleika.

3. Þjöppunarpróf. Fyrir ákveðna þjöppunarorku fer rúmþyngd efnisins eftir vatnsinnihaldi þess. Ferill sem sýnir samband þurrar rúmþyngdar og vatnsinnihalds efnisins er nefndur þjöppunarferill (mynd 3). Ef þjöppunarorkan er aukin hliðrast ferillinn til vinstri og upp á við, þ.e. við hærri þjöppunarorku næst hæsta þurr rúmþyngd við lægra vatnsinnihald. Við rannsóknir á þjöppunarhæfni jarðvegs eru notuð stöðluð próf svo kölluð Proctor Þjöppunarpróf. Proctor Standard (P.S.) notar þjöppunarorkuna $6x10^5$ J pr.m^3, en Proctor Modified (P.M.) notar þjöppunarorkuna $26x10^5$ J pr.m.^{3}. Hæstu rúmþyngdargildi fyrir aðra þjöppunarorku en hér er notuð liggur á línu milli hæstu rúmþyngdar P.S. og P.M. (mynd 4). Er þá hægt að áætla vélarþörf (þjöppunarorku) fyrir þau rúmþyngdargildi sem sóttst er eftir. Í útboði er venjulega krafist 90-95% af einhverri skilgreindri hámarks þurri rúmþyngd. Rúmþyngd þjappaðs jökulruðnings, sem nota á í stíflukjarna er talin há ef hún er >2,20 t/m^3, en lág ef hún er <2,00 t/m^3, og er þá miðað við Proctor Standard þjöppun. Ef efni, sem nota á í stíflu þjappast vel má byggja stífluna brattari en ella og þar af leiðandi ódýrar. Vel þjappað efni er auk þess öruggara gagnvart jarðskjálftum, og hefur meira viðnám gegn innra vatnsrofi. Við stíflugerð er yfirleitt hagkvæmt að þjappa efnið við hæsta vatnsinnihald (W_{opt}) eða W_{opt} + 1% til þess að fá meiri þjálni og minni lekt.

4. Lektarpróf byggjast á lögmáli Darcys um líðandi (laminar) rennsli í eina átt í gegnum jarðveg. Lektin er gefin í k-gildum og hefur einingunina cm/sek, sem er hraðaeining. Tvær aðferðir eru notaðar við lektarprófun á jarðvegi, svo kölluð "falling head" og "constant head" próf (mynd 5). "Falling head" mælingin er einkum notuð þegar um er að ræða nær þéttan jarðveg, þar sem k<10^{-7} cm/sek, en "Constant head" er notuð þegar lekt og vatnsnotkun við lektarprófunina er mikil. Til eru ýmsar aðferðir til að áætla gróflega lekt í jarðvegi með óbeinum hætti. Einna frægust þessara aðferða er fyrir sand og möl, en þar segir að k=100·d_{10}^2 cm/sek (d_{10} í cm). Lauslega áætlað er lekt jarðvegs eins og hér segir:

Flokkun efnis	k cm/sek	lýsing
Gróf möl	$>1x10^{-1}$	mjög lekt
Sandur, fínn sandur	10^{-1}-10^{-3}	nokkuð lekt
Óhreinn sandur mélukenndur	10^{-3}-10^{-5}	lítil lekt
Grófur jökulruðningur	10^{-4}-10^{-6}	
Fínn jökulruðningur	10^{-6}-10^{-8}	mjög lítil lekt
Leir og mélukenndur leir	10^{-7}	þétt

Til þess að efni sé gott til notkunar í kjarna þarf lekt þess að vera minni en 10^{-6} cm/sek, en efni með lekt 10^{-5} cm/sek er nothæft.

5. Skerstyrkur. Svo kölluð þríásapróf eru algengust til að finna skerstyrk jarðvegs. en skerstyrkurinn er m.a. notaður til þess að reikna stöðugleika jarðstíflna. Þríásaprófið gefur viðnámshornið Ø og samloðunina C, en þessir tveir efniseigileikar eru síðan notaðir til að reikna út skerstyrkinn. Skerspennuþættina Ø og C er auðvelt að skilja út frá Mohr línuriti, en þar er hallatala brotferilsins = tan Ø og skurðpunktur ferilsins við y-ás = C. Skerstyrkur efnis byggist á fjölda þátta, en mikilvægastur þeirra er póruþrýstingur vatnsins og er því viðtekin venja að mæla áhrif þessa þáttar á skerstyrkinn. Til þess að reikna út póruþrýstinginn er t.d. notaður póruþrýstingsstuðullinn B, en hann fæst úr svo kölluðu UU-prófi, sem auk þess gefur Ø og C.

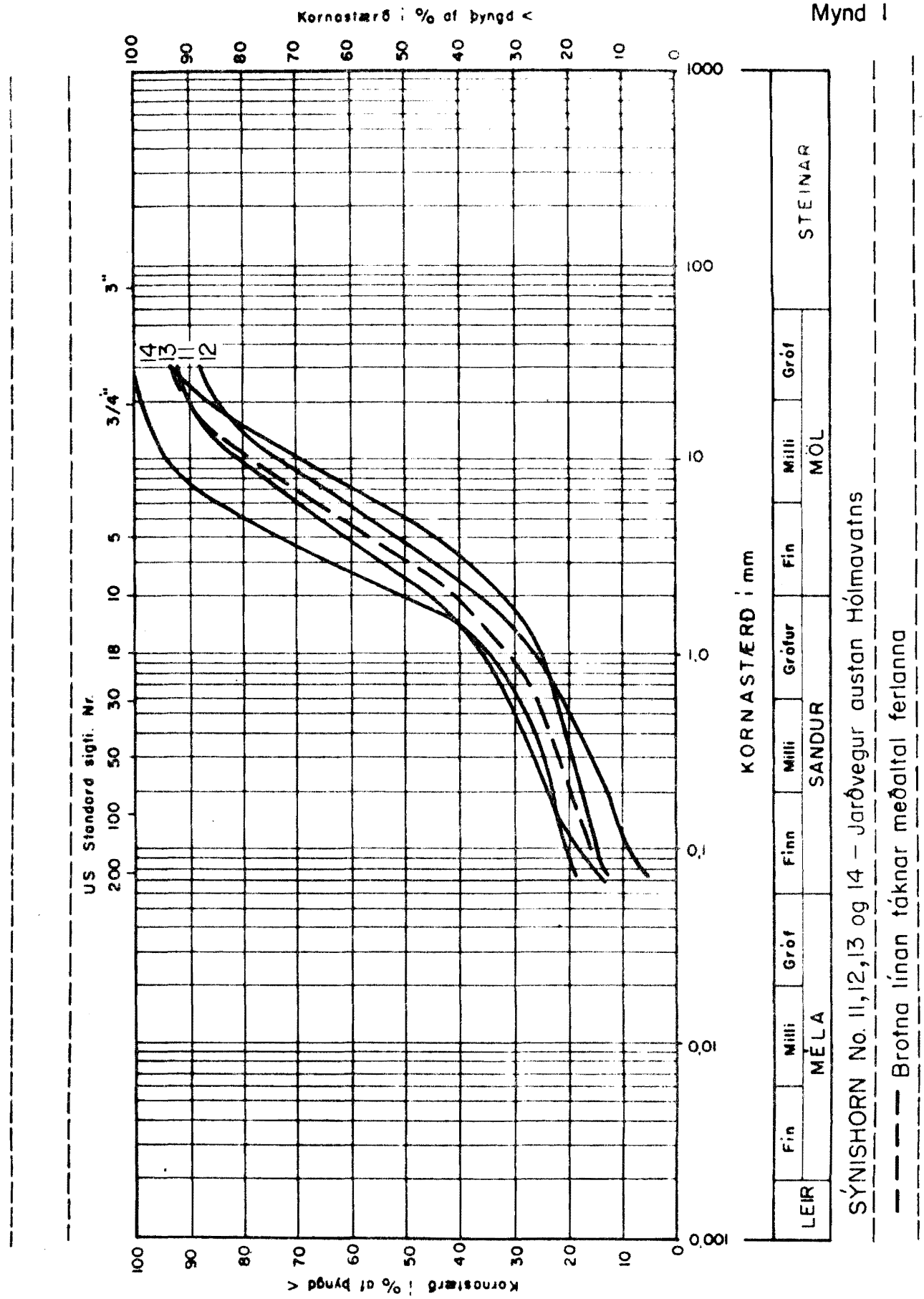
Sig (consolidation) jarðstíflu er mikilvægur þáttur og þarf að vera hægt að reikna það. Sigið er ýmist fundið með sérstökum sigprófum, eða með svo kallaðri CU-prófun, sem er önnur aðferð við þríásaprófun. CU-prófun gefur samþjöppunarstuðulinn C_v, sem er notaður við útreikninga á siginu.

Algeng gildi á Ø og C fyrir íslensk stífluefni eru:

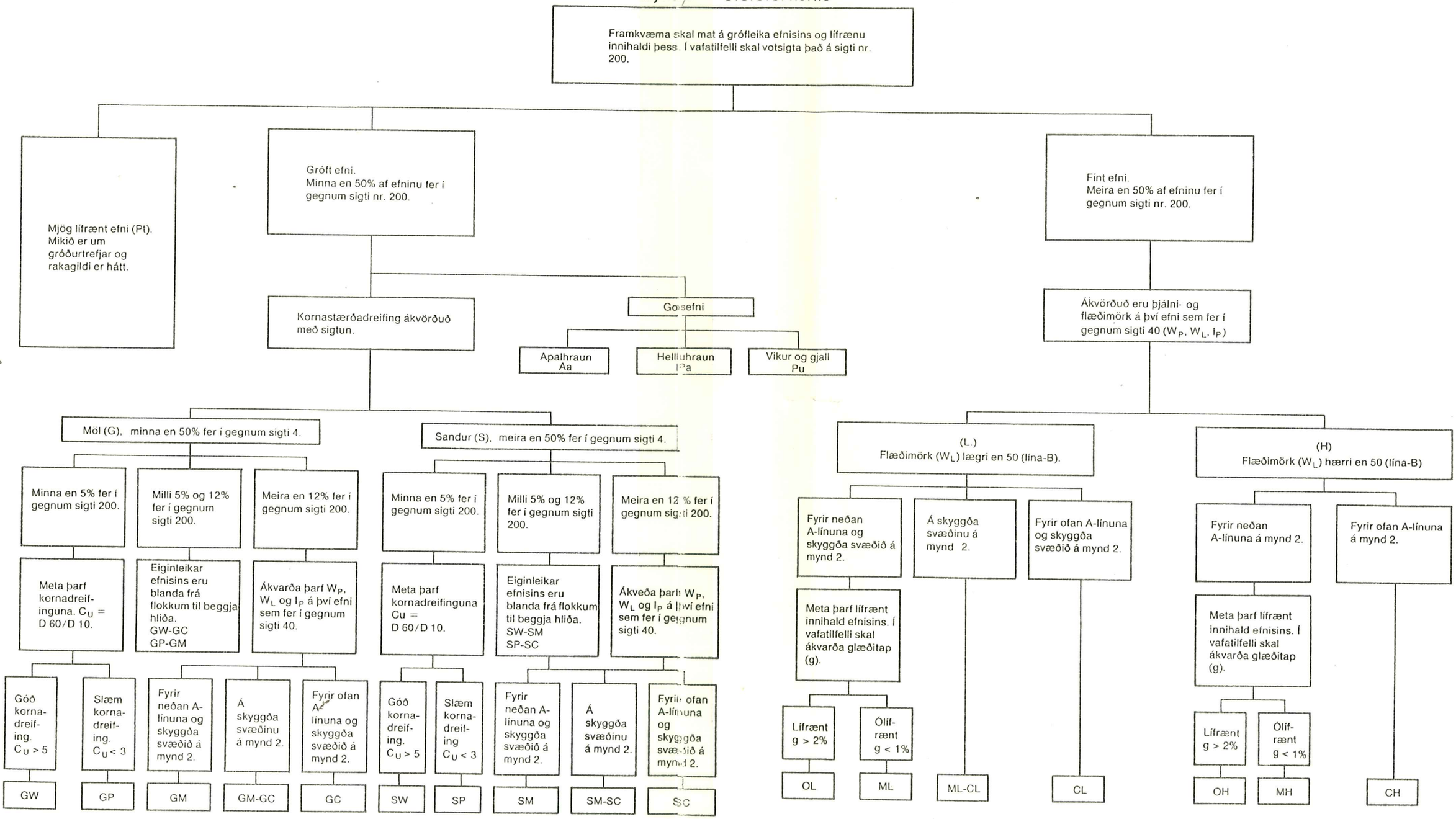
	Ø	C
Kjarni úr jökulruðningi	38°	<500 kPa
Sía úr sendinni möl	43°	0
Stoðfylling	40°-45°	∿0
Grjótvörn	45°-50°	0

	ORKUSTOFNUN Raforkudeild	77.05.20 SÞ/GSJ
	VATNSFJARÐARVIRKJUN Rannsókn á kornastærðum	T. 171
		B – 19
		F. 15681

Mynd 1



Mynd 3 — U.S.C.S. kerfið



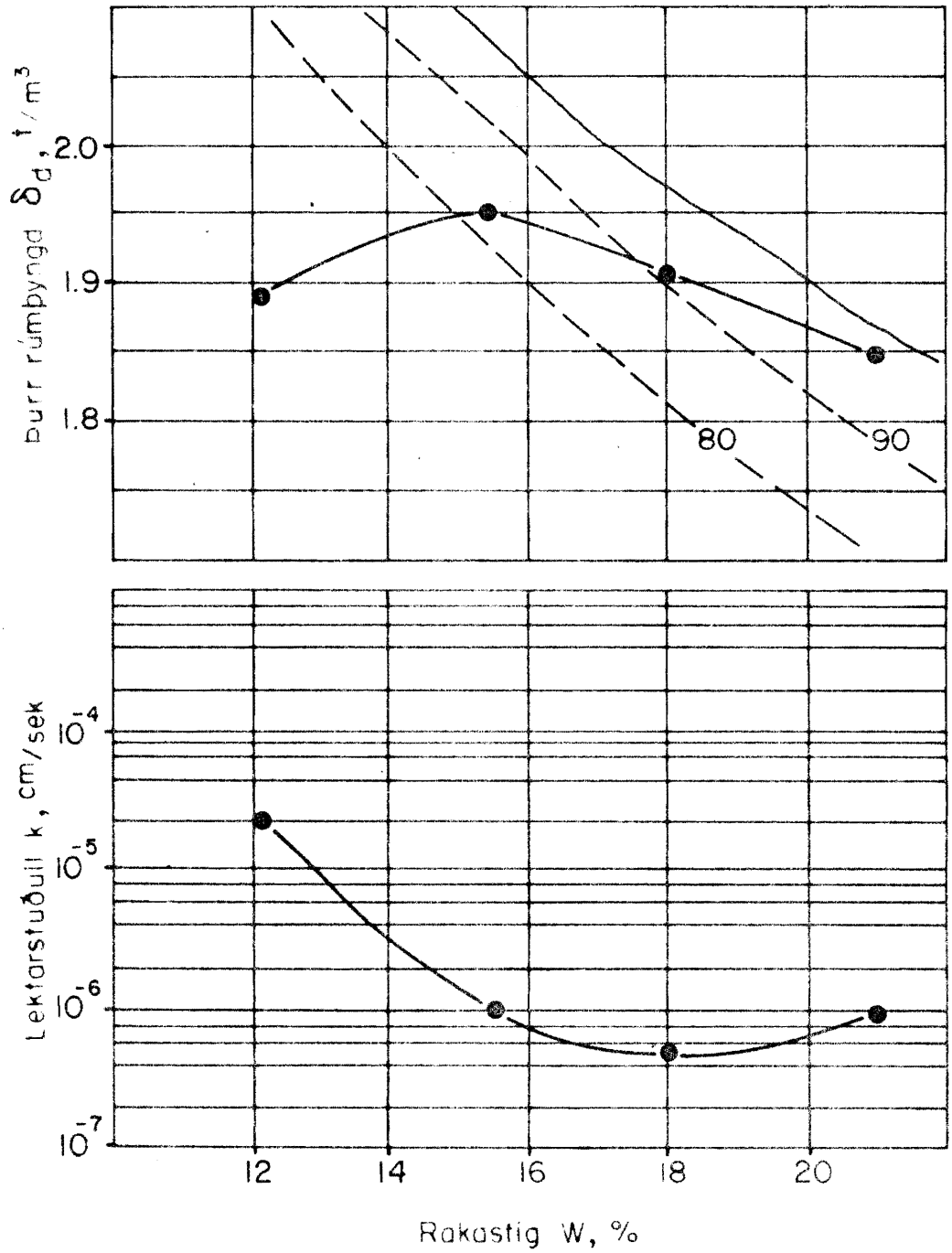
ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

VATNSFJARÐARVIRKJUN
ÞJÖPPUNARPRÓF – LEKTARPRÓF

77.05.20. SÞ/GSJ
T. 179
B – 19
F. 15689

Mynd 3

Krókóttavatn – jökulruðningur
Proctor Standard

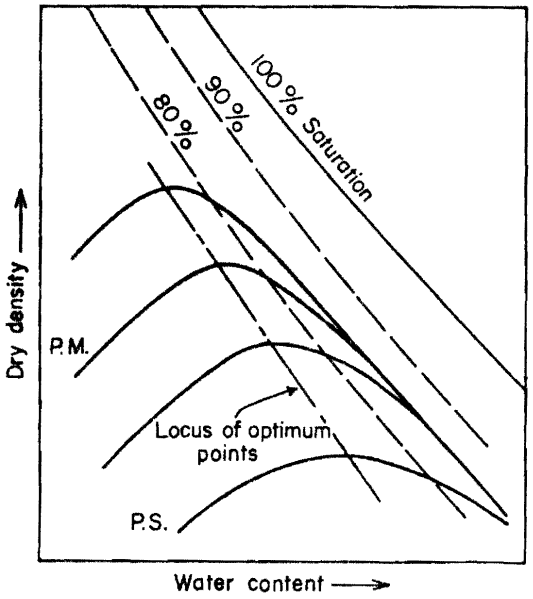


W_{opt} % : 15.4

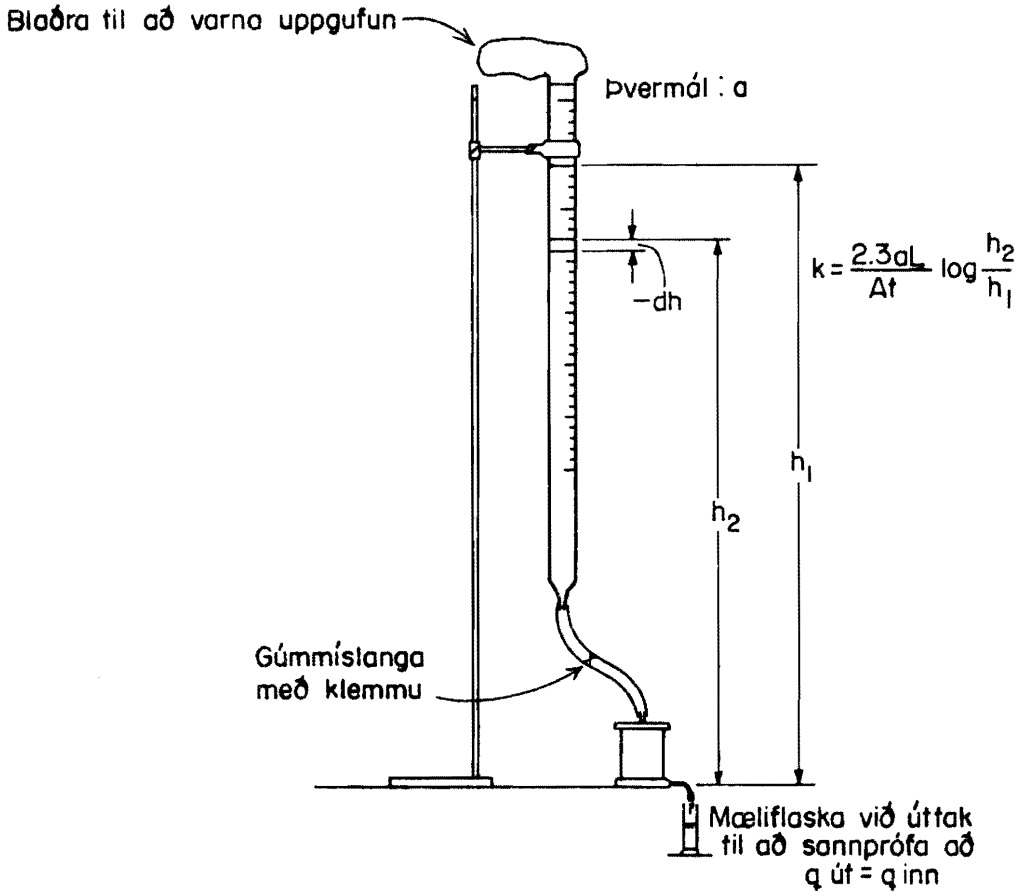
δ_d hæsta gildi t/m³ : 1.95

K lægsta gildi cm/sek: 4.5×10^{-7}

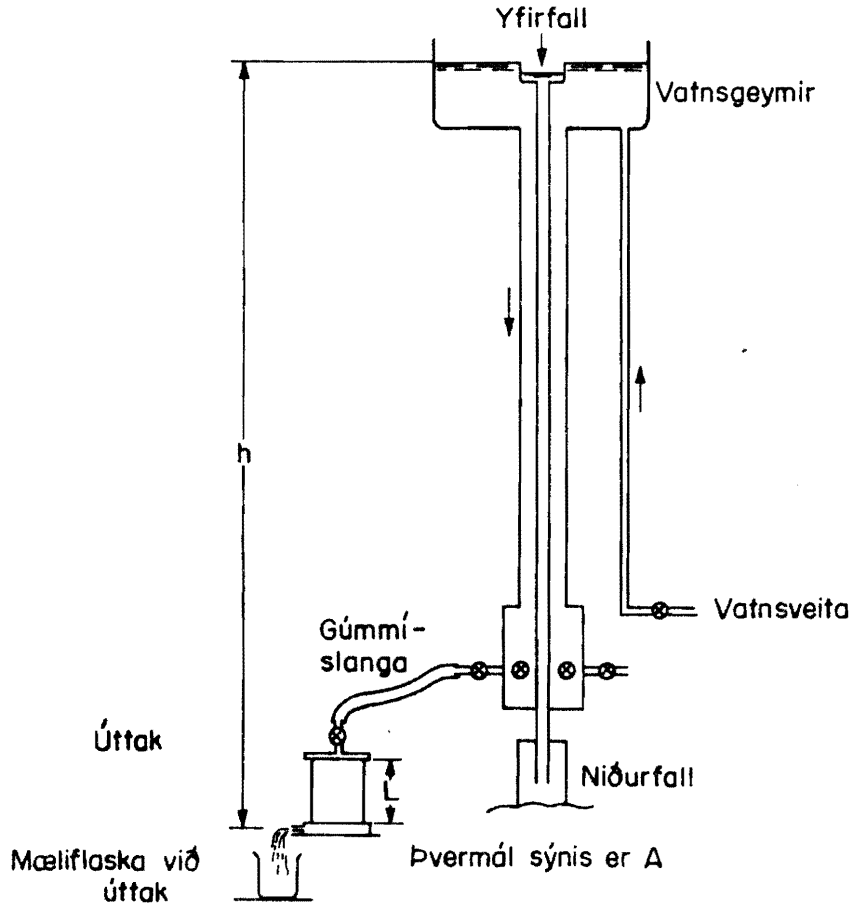
Kornarúmþyngd t/m³ : 3.07



Samband þurrar rúmþyngdar og vatnsinnihalds fyrir mismunandi þjöppunarorku.



Falling-head lektarmæling



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

HELSTU FUNDARSTAÐIR BYGGINGAREFNA

Sveinn Þorgrímsson

OS-ROD-

Júní 1977

HELSTU FUNDARSTAÐIR BYGGINGAREFNA

Hér á eftir er getið um helstu fundarstaði þeirra byggingarefna, sem mest eru notuð við stíflubyggingar og sem fylliefni í steinsteypu. Þó er ekki rætt um efni í grjótvörn né léttblendi í steinsteypu eins og vikur og gjall. Fundarstöðunum er skipt í þrjá flokka eftir myndun efnisins, en við byggingarefnaleit er yfirleitt (ekki alltaf) óhætt að áætla hverja myndun sem eina efnisnámu.

1. SET MYNDAÐ AF JÖKLI OG JÖKULVATNI

Í nánd við og ofan við hjarnmörk brattra jökla er nær eingöngu um svörfun að ræða og jökulrispaðar klappir og stórgrýti eru einkennandi fyrir slík svæði. Er fjær dregur hjarnsvæðinu taka skriðjöklar að setja af sér jökulruðning og hlaða honum undir sig. Það er því ekki óalgengt að þegar kemur yfir vissa hæð í bröttu fjalllendi sé lítið sem ekkert nýtilegt byggingarefni að finna. Á Glámusvæðinu eru þessi mörk í um 450 m hæð.

Jökulruðningur (mórena) er lítið lagskptur og ægir þar saman bergmylsnu af öllum kornastærðum, allt frá leir og upp í stórgrýti. Í jökulruðningi finnast oft linsur t.d. af sandi og möl. Jökulruðningur er misjafnlega vel samþjappaður, eða vinnanlegur, en orsakir samþjöppunarinnar eru helstar: sig eða rúmmálsminnkun, sem verður vegna afvötnunar efnisins; samlíming, sem fer mikið eftir steinefnasamsetningu ruðningsins; kornastærðardreifing, en því betri kornastærðardreifing, því þéttara verður efnið; og að litlum hluta fer samþjöppunin eftir fergingu jökulsins.

Talsverður munur er á jökulruðningi, sem myndast á móbergssvæði og á blágrýtissvæði. Jökulruðningur af móbergssvæði er snauður af stórum steinum og hnullungum og oft er minna af smæstu kornastærðunum í honum, en aftur á móti er hann betur samlímdur en jökulruðningur af blágrýtissvæði. Skriðstefna jökulsins gefur oft vísbendingu um fundarstaði jökulruðnings

t.d. hlémegin við hæðir, á svæðum þar sem annars er lítið sem ekkert um jökulruðning.

a Jökulöldur

Jökulöldur (drumlins) þykja einna fýsilegastar, sem efnisnámur fyrir stíflukjarna. Jökulöldur verða til þegar ruðningsmagnið fer yfir flutningsgetu jökulsins, svo hann hleður honum undir sig. Jökulöldur finnast helst á nokkuð flötu landi, þar sem gnótt er af jökulruðning. Varhugavert getur verið að álíta að aldan sé öll úr jökulruðningi, þar sem oft er í henni bergkjarni, sem getur verið meira en helmingur af stærð hennar. Jökulruðningur í jökulöldum hefur að jafnaði góða kornadreifingu og tiltölulega hátt fínefnahlutfall. Lægðirnar umhverfis öldurnar eru úr sama eða mjög svipuðu efni, en það er erfiðaðra í vinnslu og oft þakið öðru seti t.d. jarðvegi.

b Botnruðningur

Botnruðningur er fínkorna jökulruðningur, sem jökullinn hefur klínt utan á bergið í þunnum lögum. Botnruðningur er yfirleitt vel samþjappaður og því tiltölulega erfiður í vinnslu. Hann er mjög útbreiddur og finnst m.a. innan við jökulgarða, í jökulöldum og þar sem er rákað yfirborð, "fluid surface". Þykkt botnruðningsins er víðast ekki mikil og er hann oft þakinn "ablation" ruðningi, foksandi eða veðruðum jökulruðningi, sem enn frekar heftir vinnslu hans. Botnruðning má vel nýta í kjarna, en hann verður helst unninn utan í hlíðum, þar sem einna best næst til hans.

c Jökulgarðar

Jökulgarðar (end moraines) myndast framan við skriðjökla við það að jökullinn verpir upp ruðningi þegar framrás er í honum, eða að garðurinn hleðst upp úr botnurð, jaðarurð og urðarröndum þegar jökullinn er kyrrstæður. Efnið í jökulgörðum er nokkuð misjafnt eftir myndun hans og má m.a. finna þar linsur úr lagskiptu seti, en almennt talað getur efnið verið frá fínkorna jökulruðningi upp í nokkuð vel skolaða möl og jafnvel stórgrýtisgarða þar sem skolun hefur náð lengst. Jökulgarðar eru því

almennt síðri námur fyrir kjarnaefni en jökulöldur, en eru oftast vel nothæfir.

d "Ablation" ruðningur

Ablation ruðningur nefnist grófkornóttur jökulruðningur oftast myndaður þegar kyrrstæður jökull hefur bráðnað, en ruðningurinn er upprunalega urðarrönd, eða efni sem á annan hátt hefur borist út á ísinn eða gengið upp í hann neðanfrá. Ruðningurinn er laus í sér og leysingavatn hefur skolað hann, svo hann er oft of fínefnasnauður, sem kjarnaefni, en gæti notast í síu og er góður í stoðfyllingu.

e Jaðarhjallar

Jaðarhjallar (kame terrace) eru gerðir úr lagskiptu árseti, sem verður til vegna leysingarvatns sem rennur milli jökuljaðars og hlíðarinnar. Þeir geta verið hver upp af öðrum og samtíma hjallar geta verið í sömu hæð beggja vegna dalsins. Yfirleitt er breidd jaðarhjalla ekki mikil og oft finnast í þeim jökulker. Setið er að hluta komið af jöklinum, en einnig frá þverám af landi. Það er því nokkuð skolað og fínefnasnautt, en auk þess getur efnið verið allbreytilegt frá einum stað til annars.

"Kames" eru nokkurs konar ruðningskeilur er verða til sem aurfyllingar í sprungum eða opum í stöðnuðum jökli oft nærri malarhjöllum, eða þær byggjast upp utan við ísröndina eða inni á stöðnuðum jöklinum. Kames ganga oft saman við malarhjalla, ablation ruðning og malarása eða verða hluti af jökulgarði. Kames eru breytilegir að innri gerð og geta t.d. haft all stórar linsur úr fínna efni eða grófri möl, eða að þeir eru að hluta úr jökulruðningi. Meginhluti efnisins er af svipaðri gerð og er í jaðarhjöllum.

f Malarásar

Malarásar (eskers) eru jökulsárset, sem sest til í straumvatni og verður til þegar leysingarvatn rennur í göngum eða farvegum á, í eða undir stöðnuðum jökli. Malarásarnir eru langir bugðóttir sand og malarhryggir

úr víxl og skálaga seti. Á blágrýtissvæðum er efnið yfirleitt vel skolað, oft með góða kornastærðardreifingu og því vel fallið sem fyllingarefni í steinsteypu, eða í síur. Grófur sandur og stærri korn eru vatnsnúin og því nokkuð ávöl. Malarásar, sem verða til á móbergssvæði kunna að vera helst til fínkorna í steinsteypu og þarf þá að blanda setið með grófara efni.

2. ÁR OG VATNASET

Flutningsgeta vatnsfalla er háð vatnsmagni og straumhraða þeirra. Í vatnavöxtum margfaldast flutningsgetan og svörfunin og er m.a. álitið að bæði Ásbyrgi og Sigöldugljúfur séu grafin í einstökum stórflóðum. Framburði ánna má skipta í tvennt, botnskrið og grugg. Grófari hluti bergmylsnunnar flyst fram með botni árinnar sem botnskrið, en fínefnin berast undan straumi sem grugg. Framburðurinn sest til þegar straumhraði árinnar minnkar, t.d. vegna minni halla á landi eða breikkunar árfarvegsins. Árset er að jafnaði lagskipt, ýmist víxl eða linsulaga. Það hefur mjög misjafna kornastærðardreifingu og kornastærð og fer það eftir aðstæðum við myndun setsins.

a Aurkeilur

Þar sem ár renna út á sléttlendi úr giljum og gljúfrum og flutningsgeta þeirra minnkar, verða til aurkeilur, sem halla í allar áttir frá gilkjaftinum. Yfirleitt er efnið í slíkum keilum sandsnauð grófkorna möl með talsverðu af hnullungum. Efnið nýtist því illa sem byggingarefni nema til uppfyllingar eins og t.d. í undirstöður vega og í stoðfyllingu í stíflur, en til slíkra nota er það ágætt vegna nokkuð hás jafnvægishorns.

b Áreyrar

Aurar jökuláa og eyrar dragáa eru svipaðar að gerð. Fyrst sest til grófkorna möl og steinar, sem mynda malareyrar, en í þeim getur þó verið nokkuð af fínkorna efni. Er kemur neðar með ánum vex sandmagnið,

hnullungarnir hverfa og nefnist það sandeyrar, en efnið er að mestu fínmöl. Út við ströndina falla fínefnin út og mynda leirur, en í þeim er mjög lítið af grófu efni. Ef halli brattra áa sem hafa lítið vatnasvið, minnkar skyndilega, setja þær af sér framburðinn á tiltölulega mjög stuttum kafla. Þar þarf því ekki að fara langt til að finna verulega breytingu í samsetningu framburðarins. Ef skaðlegar steintegundir finnast í seti má í mörgum tilfellum ráða í útbreiðslu þeirra út frá upprunastað setsins og vatnasviði árinnar, ef um ár eða vatnaset er að ræða, eða út frá skriðstefnu jökulsins ef um jökulset er að ræða.

c Óseyrar

Óseyrar eða óshólmar verða til þegar framburður ánna berst út í sjó eða stöðuvötn. Næst ármynninu sest til grófasti framburðurinn, oft möl og síðan sandur í víxl- og slálögum, en utar fínefnin í nær láréttum lögum. Efri hluti slíkra myndana er því oft möl með sæmilega góða kornastærðardreifingu, sem hentar vel sem fylliefni í steinsteypu, í síur o.fl. Láréttu mélulögin undir, sem oft eru yfir 85% méla nýtast lítið, þar sem mélan þjappast illa og hefur lítinn styrk.
Þó er ekki fráleitt að méluna megi nýta til íblöndunar við önnur efni.

d Malarhjallar

Malarhjallar hafa myndast í jökulstífluðum vötnum, en einnig við hærri sjávarstöðu í lok ísaldar (marbakkar). Flestir eru þeir upprunalega óseyrar tilfluttur fjörusandur eða möl eða myndaðir við rof á staðnum. Mölin hefur oft sæmilega kornastærðardreifingu, en ekki er óalgengt að nokkuð skorti á fínefnamagn ef nota á efnið sem fylliefni og verður því að harpa það og jafnvel mala. Getur kostnaður við þessa vinnslu verið slíkur að fyrir minni verk getur borgað sig að flytja fylliefni t.d. á milli sveita. Ekki er óalgengt að einn malarhjalli sé upp af öðrum og getur samsetning þeirra verið allfrábrugðin. Það er því rétt að greina skilmerkilega á milli mismunandi hjalla og kanna samsetningu þeirra eins og um mismunandi myndanir væri að ræða.

c Hvarfleir og deigulmór

Grugg jökuláa sem sest til í kyrru vatni verður mjög reglulega lagskipt þar sem skiptast á ljóst mjög fínkorna vetrarset og dökkt grófara sumarset. Lög hvers árs nefnast hvörf og setið hvarfleir. Hvarfleir er fágætur hér á landi, en deigulmór er nokkuð útbreiddur. Deigulmór er myndaður í sjó og er lagskiptur eins og hvarfleirinn, en lagskiptingin stafar fyrst og fremst af breytingum í rennsli og flutningsgetu árinnar yfir sumarið. Deigulmórinn er að mestu leyti méla og fer leirmagn sjaldnast yfir 30%. Leirinn er aðallega kaolinít, en montmorillonít finnst þar einnig. Þess ber að gæta að stór hluti af efninu, sem við kornastærðargreiningu flokkast sem leir er bergmylsna en ekki leirsteindir. Deigulmór hefur enn sem komið er lítið verið notaður, en ef leirmagnið fer um eða yfir 20%, eða ef mélan er um eða innan við 50% má búast við að hann þjappist vel og gefi mjög litla lekt. Það er því ekkert til fyrirstöðu að nota deigulmó í stíflukjarna ef hann er með góða kornadreifingu, og finnst nærri stíflustæði.

3. ANNAÐ SET

a Sjávarset

Sandur og möl í fjörum og annað sjávarset hefur verið nýtt á ýmsan hátt sem byggingarefni, svo sem í vegagerð, sem fylliefni í steinsteypu og til uppfyllingar við hafnargerð.

Nokkuð er um skeljabrot í sjávarseti, en algengust stærð þeirra er 1-4 mm, sem telst grófur sandur og fín möl. Skeljabrot eru skaðleg í fylliefni einkum ef þau eru í fínsandi. Talið er að ef meira en 5% af skeljabrotum séu í fylliefninu þurfi að prófa það sérstaklega vegna möguleika á alkalivirkni. Stór skeljabrot eru ekki talin til skaða þótt magn þeirra fari lítillega yfir 5%, en algengt skeljamagn í fjörusandi og möl er 3-15%. Eyrar eða eyraroddar eru taldir einna líklegustu fundarstaðir góðs fylliefnis í steinsteypu. Eyrunum má almennt skipta í þrjú námusvæði eftir

gerð efnisins. Á utanverðri eyrinni, þ.e. á þeim hluta, sem snýr út fjörðinn, er gróf möl og nær hún út á ysta tanga eyrarinnar. Á innanverðri eyrinni er fín möl og næst landi mjög sandrík fínkorna möl.

Oft liggur tangi meðfram landi inn af eyrinni og er hann einnig úr sandríkri fínmöl. Innri hluti eyrarinnar er eða hefur að líkindum verið lón sem sjór gengur inní og safnast þar fyrir fínefni eins og méla og fínsandur.

Möl og sandur sem sest til í fjörum er ekki sorteraður, en efstu 2 m eða svo eru vel skolaðir og hið ágætasta fylliefni ef kornastærðardreifingin er góð, en neðar má búast við fínefnum í setinu. Almennt má segja að 5% fínefnahlutfall sé í lagi fyrir fylliefni.

Rif eru almennt gerð úr nokkuð fínkornóttara efni en fjörur og svipar til fínmalarinnar í eyrum, en eru þó talin heldur grófari. Þegar fyllefni er dælt af sjávarbotni eru neðansjávarrif helstu námurnar, en botnset er venjulega of fínkorna. Hagkvæmt er talið að nýta malarnámur á sjávarbotni ef þær eru á 20 m dýpi eða grynnra. Efni sem unnið er af sjávarbotni er mun sterkara en sambærilegt efni úr t.d. fjörum og getur munurinn verið yfir 25%. Orsök þessa er veðrun og örsprungumyndun í fjöruseti, en þessi munur kemur hvað gleggst í ljós við slitþolspróf og frost-þíðupróf.

b Vindborið set, moldarjarðvegur

Moldarjarðvegur er gerður úr rotnuðum jurtaleifum (lífræn mold), foksandi og gjósku. Þessi efni liggja yfirleitt í vel aðgreindum lögum, en ef nýta á jarðveginn, sem byggingarefni, þá verður hann vart unninn öðruvísi en sem ein heild. Gæði jarðvegsins fara því eftir uppbyggingu hans, en innbyrðis magn efnanna getur verið mjög misjafnt. Vegna virkjanarannsókna við Búrfell, Gljúfurleit og Hrauneyjarfoss var gerð könnun á notagildi moldarjarðvegs í stíflukjarna. Mikill meginhluti efnisins reyndist vera einkorna fínsandur og méla, en þjöppunar og lektarpróf á fokmold úr

Gljúfurleit gaf hæstu þurra rúmþyngd 1.32 t/m^3 og lægsta lektarstuðul $k = 4.10^{-6}$ cm/sek. Þessi gildi verða að teljast tiltölulega hagstæð og er varla að vænta svona lítillar lektar ef sýnið, sem prófað var hefði verið af öllu jarðvegssniðinu.

Foksandur finnst allvíða sem aðgreint set eða sem linsur í öðru seti. Foksandurinn er mjög einkorna og nýtist illa sem byggingarefni nema einna helst sem pússningasandur, en hann er t.d. í langflestum tilfellum óhæfur sem sía í jarðstíflu.

c Skriður

Vatn sem safnast fyrir í lausum jarðvegi eftir stórrigningar eða, sem leysingarvatn á vorin geta orsakað jarðvegsskriður og aurskriður. Þessar skriður verða gjarnan á svæðum þar sem nóg er af efni og hafa því ekki sömu þýðingu og grjót og bergskriður, sem geta verið mjög mikilvægar efnisnámur á svæðum þar sem lítið er af öðru byggingarefni.

Grjóthrun verður einkum vegna frostveðrunar eða hitaþenslu, sem klýfur bergið í misstóra steina, sem safnast fyrir við rætur brattra hlíða. Bratti skriðunnar fer í grófum dráttum eftir stærð steinanna, en halli skriðu, sem er í jafnvægi er sami og jafnvægishorn efnisins. Efnið í skriðum er yfirleitt mjög lekt, oft með slæma kornastærðardreifingu og ber þar mest á köntóttu stórgrýti og grófri möl. Grjótskriður og fínni hluta bergskriða (berghlaupa) má vel nýta í stoðfyllingu, í undirstöður vega eða annars staðar þar sem ekki eru gerðar mjög strangar kröfur um kornastærðir efnisins. Þess ber þó að gæta, að í skriðum má finna hið ákjósanlegasta efni, sem hefur verið notað með góðum árangri í slitlag á malarvegum. Þótt skriður séu stórgrýttar á yfirborði getur innri gerð þeirra verið allt önnur en úr því fæst ekki skorið án sýnistöku gryfju.

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

B E R G T Æ K N I

Sveinn Þorgrímsson

OS-ROD-

Júní 1977

UM FLOKKUN BERGS

Hér er birt greiningarkerfi sem kallað hefur verið Suður-Afríku kerfið. Kerfið byggir á sex jarðtæknilegum eiginleikum bergsins, þ.e. einása brotstyrk, stuðlinum RQD, jarðvatnsaðstæðum, fjarlægð milli sprungna, ástandi sprungna og stefnu sprungna og jarðlaga. Hér er um sömu þætti að ræða og byggt er á í skýrslu minni "Mælingar brotflata í bergi". Greiningarkerfið er sýnt á mynd 1 og er berginu þar gefin einkunn fyrir hvern hinna sex þátta. Hér er brotstyrkleiki bergsins gefinn í MPa, eða megapaskal sem er krafteining. Til frekari glöggvunar er rétt að taka fram að 1 Pa = 1 N/m^2 = 1 $kg/m \cdot s^2$.

Mynd 2 sýnir leiðréttingu vegna striks og halla jarðlaga og sprungna. Þessi leiðrétting er afstæð, og fer hún eftir tegund mannvirkis. Til dæmis er hagkvæmara að gera jarðgöng í strikstefnu jarðlaga, en þvert á hana og meiri líkur eru á hruni inn í opna gryfju ef halli jarðlaganna og sprungna er mikill inn í gryfjuna. Rétt er að taka fram, að í greiningakerfinu er mynd 2 eingöngu fyrir strik og hallastefnu sprungna. Sprungur í íslensku bergi eru oft nærri lóðréttar eða 60° til 90°, en lagmót gegnahér svipuðu hlutverki og meiriháttar sprungur í myndbreyttu bergi. Með þessu er ekki verið að gera lítið úr áhrifum sprungnanna á stöðugleika bergsins, heldur er bent á réttmæti þess að taka strik og hallastefnu jarðlaganna með inn í þessa mynd. Um mælingar í sprungum og áhrif þeirra á stöðugleika bergsins vísast til ofangreindrar skýrslu, "Mælingar brotflata í bergi".

Berginu er skipt í 5 flokka eftir gæðum þess, eða einkunn. Því hærri einkunn sem fæst því lengur getur bergið staðið óstutt. Stöðugleiki bergsins er sýndur á mynd 3. Myndir sambærilegar við mynd 3, eru til fyrir berggreiningarkerfið sem birt er í "Mælingar brotflata í bergi" og verða þær e.t.v. birtar síðar. Til gamans er á mynd 4 tekið saman ímyndað dæmi af íslensku basalti. Gert er ráð fyrir að jarðgöng séu gerð 30° við strikstefnu og að halli jarðlaga sé 10°. Lokagildið fyrir basaltið er 69, sem svarar til sæmilegs til góðs bergs. Samkvæmt mynd 3 hafa jarðgöng með 5 m stöðutíma (stand up time) í tæpar fjórar vikur.

þvermál

Sveinn Þorgrímsson.

MYND 1

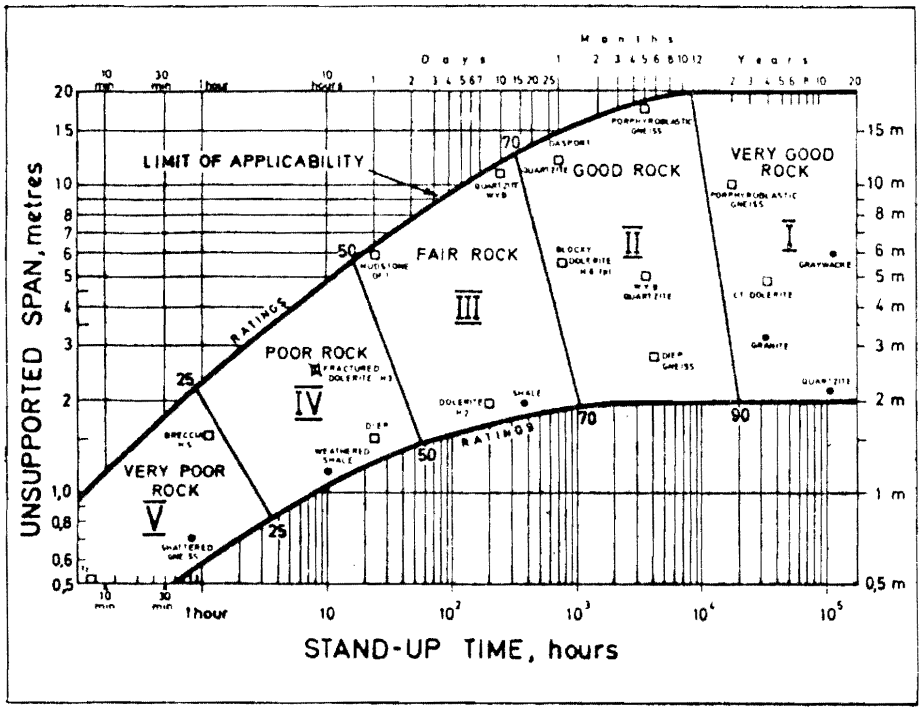
A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>8 MPa	4 - 8 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Use of uniaxial compressive test preferred		
		Uniaxial compressive strength	>200 MPa	100 - 200 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of joints		>3 m	1 - 3 m	0,3 - 1 m	50 - 300 mm	< 50 mm		
	Rating		30	25	20	10	5		
4	Condition of joints		Very rough surfaces. Not continuous No Separation Hard joint wall rock.	Slightly rough surfaces. Separation < 1 mm Hard joint wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Soft joint wall rock	Slickensided surfaces OR Gouge < 5 mm thick OR Joints open 1-5 mm. Continuous joints	Soft gouge > 5 mm thick OR Joints open > 5 mm. Continuous joints		
	Rating		25	20	12	6	0		
5	Ground water	Inflow per 10m tunnel length	None		< 25 litres/min	25 -125 litres/min	> 125 litres/min		
		Ratio: Joint water pressure / major principal stress	0		0,0 - 0,2	0.2 - 0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry		Moist only (interstitial water)	Water under moderate pressure	Severe water problems		
	Rating		10		7	4	0		

MYND 2

Strike and dip orientations of joints		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
Ratings	Tunnels	0	−2	−5	−10	−12
	Foundations	0	−2	−7	−15	−25
	Slopes	0	−5	−25	−50	−60

MYND 3



Class No	I	II	III	IV	V
Description	Very Good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock
Rating	100 ← 90	90 ← 70	70 ← 50	50 ← 25	< 25

Average stand-up time	10 years for 5 m span	6 months for 4 m span	1 week for 2 m span	5 hours for 1,5 m span	10 minutes for 0,5 m span
Cohesion of the rock mass	> 300 kPa	200 - 300 kPa	150 - kPa	100 - 150 kPa	< 100 kPa
Friction angle of the rock mass	> 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°
Caveability of ore	Very poor	Will not cave readily Large fragments	Fair	Will cave readily Good fragmentation	Very good

MYND 4

		Einkunn
Brotstirkur	200 MPa	15
RQD	75-90%	17
Fjarlægð á milli sprungna	1) .3 - 1m 2) 50 - 300mm 3)	15
Ástand sprungna		20
jarðvatn	< 25 l/min	7
⇒ Grunngildi fyrir bergið		74
Stefna halla og striks fyrir jarðgöng		- 5
⇒ Lokagildi		69

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

J A R Ð S V E I F L U M Æ L I N G A R

Jósep Hólmjárn

OS-ROD-

Júní 1977

UM JARÐSVEIFLUMÆLINGAR

Almennt

Jarðsveiflumæling (seismic refraction) er í grundvallaratriðum mæling á þeim tíma, sem tekur hljóðbylgju að berast milli tveggja punkta (ákveðna vegalengd) um jarðlögin undir þeim. Greint er á milli þriggja bylgjugerða, þ.e. P-bylgja (P="primary" eða "pressure"), S-bylgja (S="Secundary" eða "shear") og yfirborðsbylgja, sem aftur greinist í Raleigh og Love bylgjur. Mismunur P og S bylgna er sá, að P bylgjur afmynda (deform) efnið í sömu stefnu og bylgjan berst í, þ.e. efnið er undir einása þrýstingi, en S bylgjan afmyndar efnið hornrétt á stefnuna, svo efnið er undir álagi skerkrafta (mynd 1).

Hraði P bylgna (V_p) er talsvert meiri en hraði S bylgju (V_s) og fer hraðinn eftir stælni bergsins. Almennt er reiknað með að $V_p/V_s \approx 1{,}72$ en þessi tala er notuð til að reikna fjarlægð til upptaka náttúrulegra jarðskjálfta (sjá mynd 1). Hraði yfirborðsbylgju er $\sim 0{,}9 \cdot V_s$.

Jarðskjálftabylgjan berst í allar áttir út frá skotpunktinum og ef engin lagskipting eða hraðaaukning verður á vegi hennar, þá nemur hljóðneminn fyrst þann geisla*), sem berst eftir yfirborðinu. Ef um lagskiptingu er að ræða brotnar hún á lagmótunum, þannig að hluti orkunnar speglast til yfirborðsins (reflection), en hluti hennar berst ofan í neðra lagið (mynd 2). Til einföldunar má hugsa sér að hluti af brotinni bylgju berist eftir yfirborði neðra lagsins. Til þess að geisli berist ofan í neðra lagið þarf innfallshornið (i) að vera minna en svo kallað markhorn (critical angle), i_c), en sin $i_c = V_1/V_2$. Ef $i > i_c$, endurspeglast geislinn af lagmótunum til yfirborðsins. Geisli, sem hittir lagmótin undir horninu i_c berst um neðra lagið meðfram lagmótunum (refraction) og sendir frá sér orkugeisla (head wave) undir útfallshorninu i_c til yfirborðsins. Fyrsti orkugeislinn berst til yfirborðsins í fjarlægð $2h \cdot \tan i_c$ frá skotpunkti (svokallaður "critical distance", X_c) (mynd 2).

*) Geisli: lína sem er hornrétt á beygjuna og sýnir þá stefnu sem orkan berst í.

Til þess að hægt sé að mæla orkugeisla frá neðra laginu þarf hljóðhraðinn í því að vera meiri en í efra laginu ($V_2 > V_1$), en einnig þarf þykkt efra lagsins að vera nokkur, en þykktin fer eftir nákvæmni tækisins. Yfirleitt er álitið að fyrir góð tæki þurfi þykkt efra lagsins að vera yfir 3 m ef þykkt þess á að mælast nákvæmlega. Flestar mælingar á yfirborðslögum þynnri en 1 m hafa ekki reynst vel, en við slíkar aðstæður skiptir dýpi skotholunnar miklu máli, svo og mæling á fjarlægð til hljóðnema. Almennt er álitið, að fyrir yfirborðslög þynnri en 3 m sé mælinákvæmnin ±1 m en fyrir þykkari yfirborðslög sé nákvæmnin ∿10%.

2 ÚRVINNSLA

Komutímar fyrstu P-bylgjunnar eru teiknaðar á hljóðhraðalínurit, þar sem komutíminn er fall fjarlægðar hljóðnemans frá skotpunkti (mynd 3). Hljóðhraðalínuritið er notað við útreikninga á hraða P-bylgjunnar í hverju lagi, sem er einn á móti hallatölu línunnar, svo og á dýpi niður á lagmót, sem fyrir tvö lög er fundið með jöfnunni:

$$h_1 = 1/2 \cdot X_c \cdot \frac{\sqrt{V_2 - V_1}}{\sqrt{V_2 + V_1}}$$

Ef um fleiri en tvö jarðlög er að ræða eru dýptarreikningarnir talsvert flóknari, en fyrir þrjú lög er þykkt annars lagsins fundið með jöfunni:

$$h_2 = 1/2 \cdot X_{c_2} \cdot \frac{\sqrt{V_3 - V_2}}{\sqrt{V_3 - V_2}} - h_1 \cdot Y_{2,1}$$

Þar sem $$Y_{2,1} = \frac{\sqrt{1 - \left(V_1/V_3\right)^2} - \sqrt{1 - \left(V_1/V_2\right)^2}}{\sqrt{\left(V_1/V_2\right)^2 - \left(V_1/V_3\right)^2}}$$

Dýpið niður á þriðja lagið er því $D_2 = h_1 + h_2$

Til auðveldunar er stuðullinn $Y_{2,1}$ fundinn úr töflu (mynd 4). Þegar mikill munur er á V_1 og V_2 verður $H_1 \cdot Y_{2,1}$ mjög lítið eða $< 1\%$, ef $V_2/V_1 \leq 0,2$.

Yfirleitt er ofangreind aðferð mjög góð, og er nákvæmari en aðrar þegar V_n/V_{n+1} er aðeins minna en einn. Þegar X_c verður ekki skilgreint nákvæmlega vegna óreglulegra komutíma eða ef um er að ræða svo kallað "hidden layer", er notuð svo kölluð "intercept - fine method" (mynd 3). Dýpið niður að lagamótum er ákvarðað samkvæmt jöfnunni

$$h_1 = 1/2 \cdot T_{o_1} \cdot \frac{V_1 \cdot V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

Þykkt annars lagsins

$$h_2 = \left[\frac{Ti_2}{2} - h_1 \frac{\cos i_{13}}{V_1} \right] \cdot \frac{V_2}{\cos i_{23}}$$

$$\cos i_{13} = \sin^{-1} \frac{V_1}{V_3}$$

$$\cos i_{23} = \sin^{-1} \frac{V_2}{V_3}$$

2.0 TÆKI

Tækjabúnaði til jarðsveiflumælinga má skipta niður í eftirfarandi þætti:

a) Orkugjafa (sprengiefni eða sleggju)

b) Sveiflunemar (geophones)

c) Magnara

d) Skrifari

2.1 a) Fram að þessu hefur sprengiefni (dynamit) verið algengasti orkugjafinn til að framkalla skjálftabylgjur við jarðsveiflumælingar. Sprengiefnið er þá grafið niður 30-50 cm og leitast við að pakka það sem best helst með blautum leir eða drullu. Nauðsynlegt magn sprengiefnis sem þarf er mjög breytilegt en það ákvarðast meðal annars af

1. Dýpt (þykkt) jarðlaga sem rekja skal (og þar með lengd mælisniðsins).
2. Samsetningu jarðlaganna þ.e. deyfingarstuðli þeirra.
3. Utanaðkomandi titringi (noise).

1 Almennt eykst orkuþörfin með u.þ.b. öðru veldi af fjarlægðinni.

2 Deyfing jarðlaga gagnvart skjálftabylgjum er að flestu leyti háð sömu skilyrðum og hljóðhraði í þeim. Deyfingin eykst með minnkandi hljóðhraða sjá töflu 2.I.

3 Í vindi eða nálægt umferð eða öðru, sem veldur titringi þarf að minnka mögnun mælitækjanna og þarf því að auka stærð sprengjunnar að sama skapi.

2.2 Jarðsveiflunemar (geophonar)

Hlutverk nemans er að skynja hreyfingar og titring í jörðinni og breyta þeim í rafmerki. Nemar þeir sem notaðir eru hér á landi eru af svo kallaðri "elektrodynamiskri" gerð. Í þeim er hreyfanlegi hlutinn spóla upphengd fjaðrandi í sviði sterks seguls.

Er neminn hefur verið festur í jörðu má segja að segullinn hreyfist með titringi jarðarinnar en spólan sé kyrr vegna tregðunnar. Við innbyrðis hreyfingu segulsins og spólunnar spanast upp spenna í spólunni sem síðan er tengd magnara með sérstökum kapli. Áríðandi er að nemi sé vel festur niður og er því yfirleitt hafður stálteinn niður úr honum. Í lausu yfirborði getur verið nauðsynlegt að þjappa með fætinum fyrir nemann eða jafnvel grafa hann lítið eitt niður til að bæta tenginguna. Í vindi þjónar það einnig þeim tilgangi að minnka vindsuð (noise).

Léleg mekanisk tenging milli nema og jarðar veldur ekki aðeins minnkunar á merki heldur einnig bjögun sem torveldar úrvinnslu. Við venjulegar jarðsveiflumælingar eru notaðir nemar með lóðrétta næmni en til eru einnig nemar með láréttri næmni fyrir sérstakar (S-bylgju) mælingar.

2.3 Magnarar

Magnarar eru til að stækka hið örsmáa merki frá nemanum (10 - 1000 pv) upp í nægilega orku til að drífa skrifara. Við mælingar þar sem eingöngu er notast við komutíma fyrstu bylgju er mögnun höfð eins mikil og óviðkomandi titringur (noise) leyfir. Er þá mögnun aukin þar til stöðugur titringur fer að sjást á mælitækinu. Til að auðvelda þetta er á mörgum tækjum "AGC" stilling eða sjálfvirkur mögnunarstillir og ættu óvanir að nota það. Mögnun (eða deyfing) er oftast mæld í "decibel", dB og er þá 6dB aukning sama og tvöföldun og öfugt. Á sumum tækjum er þó mögnun mæld í % af hámarksmögnun.

2.4.1 Skrifarar

Algengustu skrifarar við jarðsveiflumælingar sérstaklega í fjölrása tækjum eru svokallaðir ljósskrifarar. Í þeim er spennusveiflunum frá hverjum magnara breytt í hreyfingu á spegli sem stýrir örmjóum ljósgeisla sem beint er á ljósnæman pappír. Pappírinn skýst fram um leið og sprengt er og næstu sekúndubrot þar á eftir og teiknast því ferlar á pappírinn sem eru eftirlíkingar hreyfingu jarðarinnar við hvern nema af völdum sprengingarinnar. Jafnframt koma fram nákvæm tímamerki sem gera kleift að mæla tímann frá sprengingu að fyrstu bylgju til viðkomandi nema. Oftast hafa slíkir ljósskrifarar 12-48 speglakerfi hlið við hlið sem varpa ljósi á sama pappírinn. Eru þá að sjálfsögðu notaðir jafnmargir nemar ásamt mögnurum og tækin köllur fjölrásatæki.

2.4.2 Önnur tegund af skrifurum er "rafpennahraðskrifarar" (facimil-recorders), líkt og notaðir eru í dýptarmælum. Þeir sýna ekki bylgjuferil, heldur rennur penninn hratt þvert yfir pappírinn og skrifar punkt hvert sinn er ferillinn sker ákveðin mörk á Y-ásnum. Slíkir skrifarar eru eingöngu notaðir fyrir eina rás þ.e. einn nema. Orkugjafinn sem oftast er sleggja er hins vegar færður úr stað eftir hvert högg og pappírinn jafnframt færður eitt þrep. Við þetta kemur beint fram hljóðhraðarit þar sem Y-ásinn er tími en X-ásinn fjarlægð.

2.4.3

Auk þess að nota skrifara hefur sú aðferð að nota sveiflusjá með minni rutt sér til rúms upp á síðkastið. Ýmist er þá notað svo kölluð geymslusjá (storagescope) þar sem geisli skrifar feril á sjónskerm hvar hann síðan geymist meðan þurfa þykir.

Önnur aðferð er þó stórum merkilegri og þar sem hún virðist ryðja sér víða til rúms skal henni stuttlega lýst hér. Merkið frá nemanum er magnað upp en síðan breytt í Digital (stafrænt) form. Merkið þannig umbreytt er síðan sett í "minni" líkt og notuð eru í tölvum. Stærsti kosturinn við það er sá að ef þurfa þykir er höggið endurtekið (sleggjan er mest notuð við þessa aðferð) og merkið frá seinna högginu lagt við það fyrra og þannig koll af kolli þar til nægilega gott merki hefur náðst. Merkinu er síðan hringrásað í minninu og breytt í upphaflegt analog form annað hvort hratt og skoðað á sveiflusjá eða hægt og skrifað með venjulegum pennaskrifara. Einnig er hægt að nota réttan hraða og venjulegan ljósskrifara. Tæki sem þessi geta bæði verið einrása eða fjölrása.

2.5

Tvenns konar tæki eru nú notuð hjá OS-ROD. Annað þeirra og það sem mest hefur verið notað er af ABEM-gerð og er tólf-rása tæki með ljósskrifara. Það hefur eingöngu verið notað með sprengiefni sem orkugjafa, þó mögulegt sé að tengja sleggju eða fallhamar við það. Með þessu tæki er erfitt að greina nema fyrsta brot (first break). Það er því fyrst og fremst nothæft við hljóðbrotsmælingar (refraction).

Hitt tækið er einrása, af Huntec-gerð með rafpenna hraðskrifara (facsimile-recorder). Auk þess að sýna seinni bylgjur t.d. S-bylgjur er tækið með sérstökum búnaði fyrir tvo nema til að auðvelda síun á spegluðum bylgjum (reflection). Þetta tæki er að mestu notað með sleggju sem orkugjafa og er yfirleitt ónothæft nema við grunnar mælingar. Fyrirhugað er að auka notagildi þess tækis með samlagningaminni þannig að berja megi mörg högg í sama punkti og leggja merkin saman.

3.0 ÚTIVINNA

Til þess að mælingavinnan í mörkinni skili sem bestum árangri þarf aðstefna markvisst að:

1. Öflun góðra gagna er gefi sem bestar upplýsingar um þá þætti sem skipta máli í viðkomandi verkefni.
2. Góð afköst.

3.1

Varðandi fyrri liðinn er mjög mikilvægt að tilgangur mælingavinnunnar liggi ljós fyrir í hverju tilviki. Til dæmis, ef grafa ætti 10 m djúpan skurð þyrfti e.t.v. aðeins að fá upplýsingar um jarðlög á þeim 10 metrum og væri því nóg að hafa mælt snið (profile) ca 50 m löng. Ef hins vegar ætti að byggja mannvirki t.d. á staðnum yrði mælingin að ná niður á fast og verður því að gæta þess við hverja mælingu að væntanlegur hljóðhraði í bergi hafi náðst. Ef svo er ekki þarf að lengja sniðið. Yfirleitt verður að meta í hverju einstöku tilviki hversu þétt skuli mælt. Við forkönnun er oftast látið nægja að hafa frekar stjálar mælingar í fyrstu umferð og þá reynt að lesa úr landslagi hvar mælingar gefi mestar upplýsingar með tilliti til verkefnis. Við nákvæmari kortlagningu getur aftur á móti þurft að mæla samhangandi snið, sérstaklega ef jarðlagaskipan er óregluleg. Ekki verður um of brýnt fyrir mönnum að hafa reglu á merkingum, bæði merkja mælisnið með númeruðum hælum í báða enda og á kort, og merkja jafnframt pappírsgögn jafnóðum með samsvarandi númerum. Það er að sjálfsögðu lítið gagn af jarðlagasniðum með réttu dýpi og hljóðhraða ef enginn veit hvaðan þau eru. Einnig ætti að skrá jafnóðum í vasabók upplýsingar um lengd og legu mælisniðs, niðurskipan nema og upplýsingar um aðstæður t.d. tegund sjáanlegra jarðlaga o.s.frv.

3.2

Áríðandi er að mælingamenn geri sér grein fyrir gildi góðra afkasta. Þau eru lykillinn að því að hægt sé að safna nægilega miklum gögnum á

nógu stuttan tíma.

Skipulagning er lykilorð þegar stefnt er að góðum afköstum. Þar sem jarðsveiflumælingar eru yfirleitt framkvæmdar á vegleysum eru góður kortalestur (ratvísi) og skynsamlegt val akstursleiða oft grundvöllur þess að skila einhverjum afköstum við sjálfar mælingarnar. Margar frátafir hafa orðið og munu verða vegna óþarfa flans út í drulluforað þegar velja mætti góðar leiðir framhjá. Einnig er mikilvægt að gera sér grein fyrir eigin staðsetningu og legu væntanlegs mælingasvæðis. Það flýtir mjög fyrir mælingum og eykur öryggi ef staðarjarðfræðingur merkir stíflustæði og skurðleiðir með hælum eða litlum flöggum. Þegar komið er á mælistað er skipulagning og samvinna meira virði en mannfjöldi. Tveir vanir menn eiga þannig að ljúka 50-100 m mælisniði með 12 rásatæki á 20-30 mínútum frá því bifreið er stöðvuð þar til samantekt lýkur. Ekki má gleymast að vönduð vinnubrögð og öryggi eru forgangsatriði og undirstaða við alla vinnu.

3.3 Vinnubrögð með fjölrásatæki (ABEM Trio)

Fyrst þarf að velja lengd mælisniðs og skipan nema. Aðgreiningarhæfni mælingarinnar (þ.e. hversu þunn lög mælast) ræðst meðal annars af hversu þétt nemarnir eru staðsettir. Hins vegar ræðst mesta dýpt af lengd sniðsins og verður því að finna málamiðlunarlausn í hverju tilviki. Þá má nota fáeinar fastar nemaskipanir sem ná yfir flest vandamál. Eru nokkrar slíkar sýndar á mynd 3.1. Sem grófa nálgun má segja að lengd mælisniðs frá skotpunkti að síðasta nema þurfi að vera a.m.k. fimm sinnum mesta mælidýpt. Hins vegar þurfa bilin milli fyrstu nema að vera minna en tvöföld þykkt efsta lagsins (aftur gróf nálgun sem dæmi) til þess að það mælist með sæmilegri nákvæmni. Til að samræma þessa tvo þætti eru nemarnir oft hafðir þéttari til endanna sjá mynd 3.1 a og b. Þar sem tengikapall nemanna takmarkar yfirleitt lengd nemakeðjunnar við 110 m getur þurft annað hvort að sprengja aukasprengjur lengra frá endunum sjá mynd 3.2 eða færa nemakeðjuna til milli sprenginga þannig að 24 punktar fáist í hvert mælisnið sbr. mynd 3.3. Fyrri aðferðin er mun fljótlegri, en sú síðari er nákvæmari einkum þegar jarðlög eru óregluleg. Þegar staðsetning og skipan mælisniðs hefur verið ákveðin má hefjast handa um framkvæmd

mælingarnar. Skal hér gefin stutt lýsing á hugsanlegri vinnutilhögun, við mælingu sbr. mynd 3.4. Gert er ráð fyrir dýpi á bilinu 5-10 m og lengd mælisniðs valin eftir þumalputtareglu ca 5·10 m = 50 m. Miðað er við að tveir menn, X og Z framkvæmi mælinguna. Mælingabíllinn er staðsettur miðað við mælisnið líkt og á mynd 3.4. X tekur nemakapal á bakið og festir enda hans við bílinn, tekur síðan 12 nema og 50 m málbandið og gengur að punkti "1" og rekur kapalinn á eftir sér.
Z tekur nægilegt sprengiefni fyrir báða enda, tvær hvellhettur og skóflu. Tekur síðan enda sprengivírs og gengur að öðrum sprengipunktinum (SPA) dragandi sprengjuvírinn út af rúllunni. Við punkt 1 festir X fyrsta nematengi kapalsins ásamt enda málbandsins við nema sem stungið er í jörðina, eða aðra festu og gengur síðan rakleitt í átt að SPB þar til málbandið þrýtur. Þar er rúllunni snarað að baki og hún stillt af þannig að draga megi kapalinn út af henni. Síðan er nemunum komið fyrir í bakaleiðinni eftir málbandinu.
Loks eru nemarnir tengdir hver af öðrum, byrjað á nr. 1 og dregið út af rúllunni eftir þörfum. Að lokinni tengingu nemanna tengir X kapalinn við tækið, mælir sambandið á nemunum og stillir tækið. Z hefur á meðan grafið sprengjur við báða skotpunkta og tengt sprengivírinn við hvellhettu SPA. Gæta skal þess sérstaklega að fylgja varúðarráðstöfunum, sbr. kafla um sprengingar. Það ætti að standast á nokkurn veginn á endum að þegar X hefur lokið við að stilla tækið ætti Z að vera kominn að bílnum og tengir þá sprengivírinn við tækið sjálfur. Þegar sprengt hefur verið við SPA skal skoða árangurinn á pappírnum og athuga eftirfarandi:
að greinilegt útslag fyrstu bylgju sjáist á öllum rásum,
að skotpúls og tímamerki séu greinileg,
að sniðið sýni tilætlaðan hraða (oftast berghraða) við síðustu nema. Er þá lesinn lauslega tímamunur á t.d. 4 síðustu nemum og deilt upp í fjarlægðina milli þeirra t.d. $\frac{12\ m}{4mS} = 3000$ m/s. Ef SPA hefur borið tilætlaðan árangur aftengir Z sprengivírinn frá tækinu og flytur hann til SPB og tengir. Á meðan hefur X tíma til að sinna skrifstofustörfum sem eru eftirfarandi:

a) Merkja á filmuna í tækinu númer mælisniðs, bókstaf er sýni við hvorn enda er sprengt (A eða B) og teiknuð afstaða og millibil nema, t.d.

FP-19A $+3\ {}^{A}\!\vdash\!3\ 3\ 3\ 6\ \text{———}\ 3\ 3\ 3^{B} \longrightarrow$ NA

b) Í vasabók (feltbók) skal skrifa númer sniðs og afstöðu nema líkt og

á filmuna en einnig upplýsingar um jarðveg, landslag og annað sem að gagni mætti koma, ekki aðeins við úrvinnslu mælinganna, heldur og við gerð jarðfræðilýsingar á viðkomandi vinnusniði.

c) Merkja skal sniðið inn á kort eins nákvæmlega og hægt er (treystið ekki á minnið). Er sprengt hefur verið við SPB og allt reynst í lagi má taka saman. Fyrst skal þó merkja með hælum staðsetningu mælisniðsins í báða enda. Skulu hælarnir merktir með númeri sniðsins og bókstaf A eða B og settir mitt á milli skotpunkts og næsta nema. Ef sniðið hefur ekki reynst nógu langt þ.e. berghraði hefur ekki komið greinilega fram á síðustu rásunum þarf að lengja sniðið. Það má gera á tvennan hátt, annars vegar halda óbreyttri nemaskipan og sprengja lengra frá endum eða lengja bilið milli nema (ef kapallinn leyfir). Fyrri aðferðin er fljótlegri og oftast nógu nákvæm en þar sem berggrunnur og jarðlagaskipan eru óregluleg ætti að nota hina síðari.

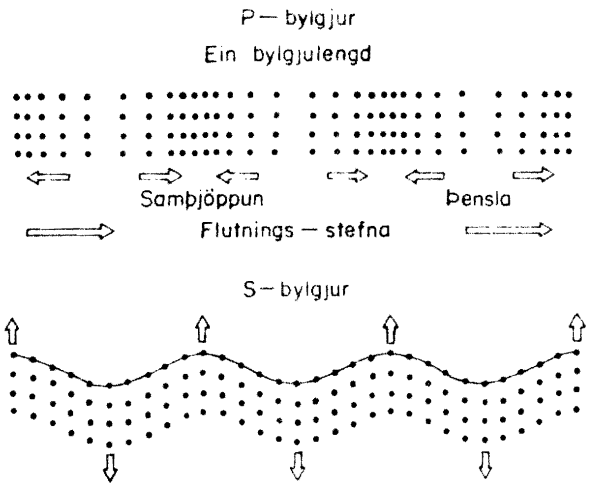
3.4 Vinnubrögð með einrásatæki (Huntec FS-3)

Við einrása tæki er notaður einn nemi (eða fleiri samtengdir). Má því segja að dæmið snúist við miðað við fjölrásatæki þ.e.a.s. þar sem orkugjafinn var í fjölrásasniðinu er nemi einrásatækisins, en lamið með sleggju þar sem áður voru nemar fjölrásatækis. Af ýmsum ástæðum eru höggin þó höfð þéttar en nemar fjölrásatækisins meðal annars vegna þess að fjöldinn takmarkast aðeins af úthaldi sleggjumanns. Þar sem hljóðhraðalínuritið myndast jafn óðum má fylgjast með hversu langt sniðið þarf að vera. Vegna þess að fyrsti fasi þrýstibylgjunnar er yfirleitt veikari en seinni fasar, þarf að varast rangtúlkun ef fyrsta bylgjan prentast ekki á pappírinn. Þarf þá að auka mögnun eða lemja fastar. Þegar nægileg lengd sniðs hefur náðst er tækið og neminn flutt á stað síðasta höggs og sniðið endurtekið í öfuga átt. Yfirleitt er tilgangslaust að reyna sleggju sem orkugjafa þar sem jarðvegur er mjúkur, deyfing er mikil eða djúpt á fast berg. Má því segja að notagildi þessa tækis sé mjög takmarkað. Notkun þess við sérstakar mælingar svo sem speglunar- (reflection) og S-bylgjumælingar verður lýst síðar.

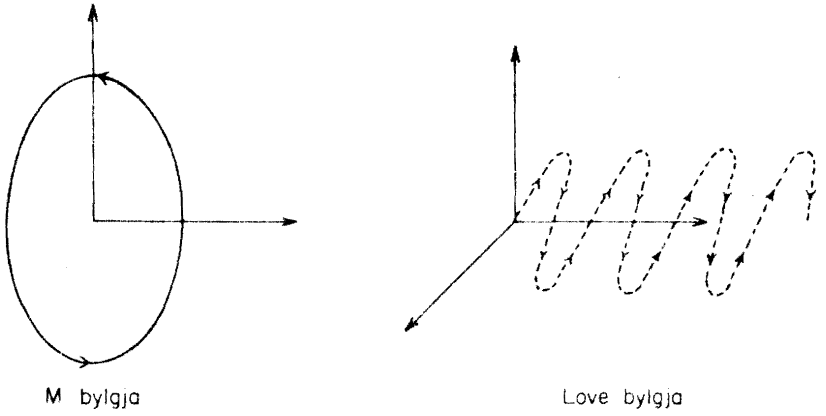
TAFLA 2.I

	Vp	Vs	log Deyfing
Þétt storkuberg, ósprungið	3-4		1-2
Þétt storkuberg, sprungið	1,5-3		3-5
Vel samanlímt setberg	2,2-3		2-3
Ung hraun leirborin	1,2-2,0		3-4
Ung hraun m. gjósku	0,6-1,2		5
Samanlímdur leir og mórena	1,4-2,2		2-3
Móbergstúff - bólstraberg	2-2,8		2-4
Blaut möl árvegur	1,2-1,6		2-3
Þurr möl sandur	0,5-0,8		3-4
Lífrænn jarðvegur	0,3-0,6		4-5
Vatn	1,5		1
Loft	0,33		3

Mynd 1

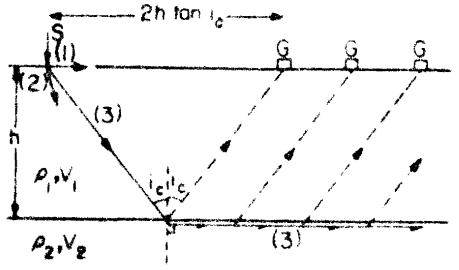


Afmyndun efnis sem P og S bylgjur fara um.



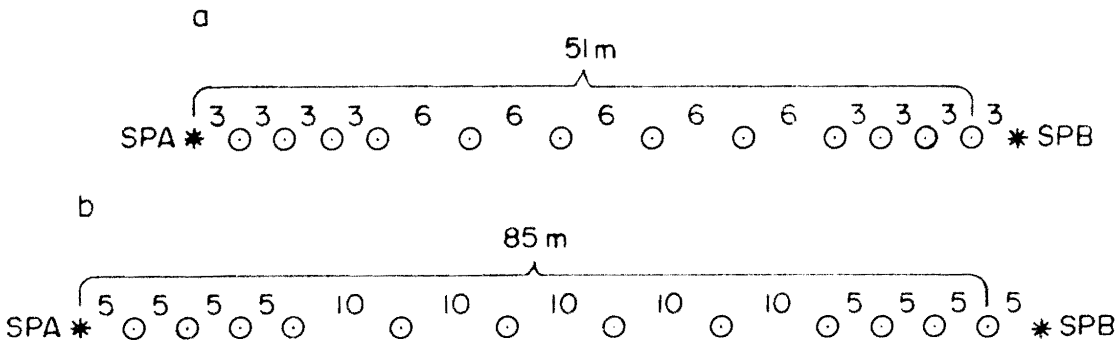
Afmyndun efnis sem Rayleigh og love bylgjur fara um.

Mynd 2

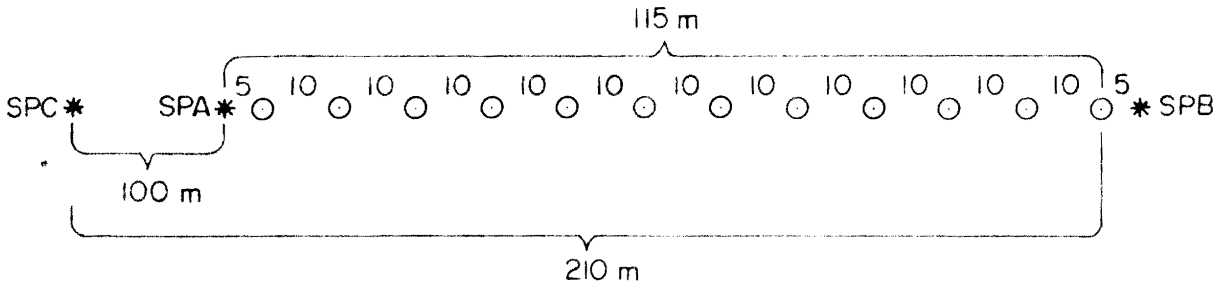


Geisli bylgju sem brotnar undir markhorni (critical angle) og sendir frá sér orkugeisla (head wave) til yfirborðsins

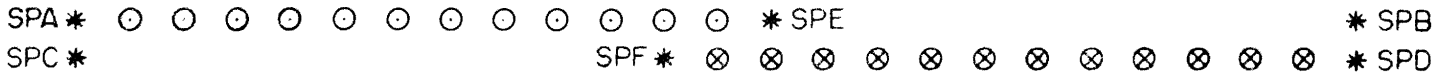
Mynd 3.1



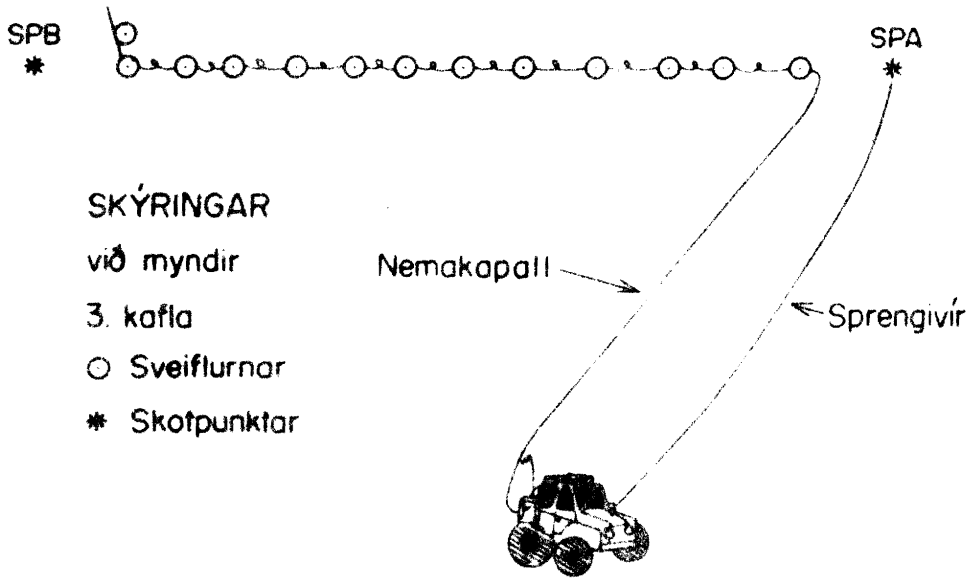
Mynd 3.2



Mynd 3.3



Mynd 3.4



ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

V I Ð N Á M S M Æ L I N G A R

Davíð Egilsson

OS-ROD-

Júní 1977

VIÐNÁMSMÆLINGAR

1 INNGANGUR

Viðnámsmælingar svonefndar hafa verið notaðar hér á landi með mjög góðum árangri í nokkra áratugi við kortlagningu jarðlaga í jarðhitaleit, nú á seinni árum hafa þær einnig verið notaðar með góðum árangri við kaldavatnsleit og við frumkönnun fyrir mannvirkjagerð. Eftirfarandi grein fjallar einungis um notkun, túlkun og notagildi viðnámsmælinga við frumkönnun fyrir mannvirkjagerð.

1.1 Eðlisviðnám

Mælt er eðlisviðnám jarðlaganna, eða m.ö.o. hve vel þau leiða rafstraum. Eðlisviðnám jarðlaga er háð mörgum þáttum t.d. hitastigi, vatnsgengd (permeability) og magni uppleystra efna (t.d. salts) í vatninu. Það hefur einninguna Ωm (ohm m). Flestar berg- og steintegundir leiða rafstraum afar illa þegar þær eru þurrar. Við venjulegar aðstæður er vatn með uppleystum efnum í jarðlögunum. Slíkar vatnslausnir leiða rafstraum mun betur en fasta efnið í jarðlögunum og hafa því afgerandi áhrif á hve vel jarðlögin leiða, þar sem þær skammhleypa rafstraumnum framhjá háviðnáminu. Það gefur því auga leið að þau viðnámsgildi sem gefin eru í töflu I eru aðeins áætluð meðalgildi.

TAFLA I

Viðnámsgildi nokkurra yfirborðslaga niður á 1-1,5 m dýpi

Gerð yfirborðslaga	Eðlisviðnám Ωm	Ath.
(1) Hveraummyndun	1- 100	Viðnám vex með aukinni sandblöndun og minnkandi raka.
(2) Mýri	40- 250	Viðnám lækkar með aukinni rotnun og raka.
(3) Mold	60- 500	Viðnám lækkar með auknum raka.
(3) Þurr mói	250- 1.000	Viðnám lækkar með auknum raka.
(4) Sandborinn melur	500- 2.000	Viðnám lækkar með auknum raka.
(5) Leirborinn sandur	100- 2.000	(Ekki jökulmelur).

(6)	Sandborin möl, rök	100- 700	Viðnám lækkar með auknum raka.
(7)	Gróf möl, yfirleitt rök	500- 2.000	Viðnám lækkar með auknum raka.
(8)	Þurr, gróf möl og þurr sandur	5.000-28.000	Viðnám lækkar með auknum raka.
(9)	Móhella, blaut	200- 500	
(10)	Mórena	1.000- 8.000	Viðnám vex með pökkun.
(11)	Moldarblandið hraun eða urð	300- 5.000	Viðnám lækkar með aukinni mold og raka.
(12)	Gjall og gjallkennt hraun	500-50.000	Viðnám lækkar með auknu vatni og raka.

1.2 Eðli mæliaðferðar

Mælingin sjálf er fólgin í því að rafstraumur er sendur niður í jarðlögin um tvö skaut A og B, og spennufallið milli tveggja annarra skauta M og N síðan mælt (sjá mynd 1a). Viðnámið má þá reikna út, og ákvarðast það af mældum straum- og spennugildum, en auk þess af uppröðun rafskauta.

Þetta viðnám er kallað sýndarviðnám (ρa), og má líta á það sem eins konar meðaltal af eðlisviðnámi undirliggjandi jarðlaga.

Margs konar uppsetningar á rafskautum hafa verið notaðar (sjá Keller og Frischknecht, 1966 eða Zohdy, 1974), en sú sem mest hefur verið notuð upp á síðkastið er hin svokallaða Schlumberger uppsetning, sem sést á mynd 1a. Schlumberger uppsetningin hefur marga kosti umfram aðrar og er mælt með notkun hennar. Líkingin fyrir sýndarviðnám með Sclumberger uppsetningu er gefin í töflu II, þar sem gefnir eru stuðlar fyrir mismunandi skautabil straum-og spennuarma.

Tvær algengustu aðferðir viðnámsmælinga eru dýptarmælingar og lengdarmælingar.

a) Dýptarmæling

Dýptarmæling er notuð til að kanna fjölda, þykkt og leiðni mismunandi viðnámslaga, neðan ákveðins staðar á yfirborði. Hún er framkvæmd með því að lengja bilið milli straumskauta eftir hverja einstaka mælingu. Vaxandi hluti rafstraumsins fer þá eftir sífellt dýpri jarðlögum (mynd 1).

Sýndarviðnám er reiknað fyrir hvert skautabil og lagt út á móti lengd straumarms (AB/2) á log-log pappír. Út frá gerð slíkra línurita er hægt að finna viðnám og þykkt mismunandi viðnámslaga með samanburði við útreiknaða ferla (Keller og Frischknecht, 1966; Zohdy, 1965; Bhattacharia og Patra, 1968), eða tölulegum útreikningum (Zohdy, 1973).

b) Lengdarmæling

Lengdarmæling er framkvæmd með því að mæla breytingu á sýndarviðnámi eftir fyrirfram ákveðinni línu, með óbreyttu skautabili. Miðja mæliuppsetningar er flutt eftir hvern aflestur og annar aflestur tekinn í næsta mælipunkti. Þessi aðferð gefur á fljótlegan og ódýran hátt hugmynd um lögun þess lags sem er undir yfirborðslaginu (Griffiths og King, 1965), einkum ef um aðeins tvö lög er að ræða. Sýndarviðnám í ákveðnum punkti á línunni er lagt út á móti fjarlægð hans frá upphafspunkti mælilínu. Lögun þess ferils, sem við það fæst, endurspeglar þykkt jarðvegsins á línunni. Það verður að leggja á það ríka áherslu, að lengdarmæling sem slík gefur ekki ein sér dýptarákvarðanir, nema við sérstakar aðstæður, t.d. í mýrum og þá aðeins innan nokkurra óvissumarka. Í kafla 2.2 er útskýrð aðferð til dýptarákvarðana í slíkum tilfellum.

2 TÚLKUN VIÐNÁMSMÆLINGA

Markmiðið með gróftúlkun dýptarmælinga er að finna út hve mörg viðnámslög liggja undir mælistaðnum, eðlisviðnám þeirra og þykkt. Viðnámslögin má síðan tengja jarðfræði svæðisins og fylla þannig inn í nákvæmari mynd af svæðinu.

Túlkun á lengdarmælingu hefur yfirleitt þann tilgang að fá vitneskju um hve þykkur jarðvegur liggur ofan á föstu bergi.

Hér á eftir verður lýst túlkunaraðferðum sem hentugt er að gera á mælistað til að fá grófa hugmynd um svæðið. Full-vinnsla úr túlkun felur í sér mun flóknari vandamál, en hér verða krufin.

2.1 Túlkun á dýptarmælingu

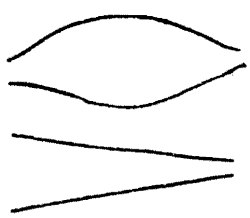
Viðnámsferillinn sýnir sýndarviðnám a sem fall af lengd straumarms (mynd 4a). Túlkunin miðast að því, að finna viðnámsgildi (ρ_n) og þykktir (h_n) þeirra viðnámslaga sem gætu myndað slíkan feril, þegar straumur er sendur í gegnum þau.

Túlkunin byggist á þeirri forsendu að hvert viðnámslag hafi óbreytt viðnámsgildi, og nái töluvert út fyrir straumskautin í láréttu plani. Einnig er gert ráð fyrir að viðnámslögin liggi hallalítið hvert ofan á öðru. Túlkunin er því fólgin að bera mæliferla saman við ferla sem eru reiknaðir út frá láréttum lögum með gefnum viðnáms- og þykktarhlutföllum meistaraferla. Slíka ferla má finna í "Standard Graphs for Resistivity Prospecting"(1968) og er mælt með þeirri bók við túlkun.

Þegar búið er að finna viðnámsgildi tveggja efstu laganna, auk þykktar efsta lagsins er þeim steypt saman í eitt ímyndað lag. Viðnáms- og þykktargildi þess eru í raun, vegið meðaltal af eiginleikum þeirra laga sem það er gert úr. Þetta ímyndaða lag er síðan notað sem undirstaða fyrir áframhaldandi túlkun, þar sem líta má svo á að aðeins eitt viðnámslag ρ(ímyndað) liggi ofan á því viðnámslagi sem næsti hluti ferilsins endurspeglar. Það viðnámslag sem þá kemur fram er því næst slegið saman við samsteypuna og nýtt ímyndað lag búið til fyrir áframhaldandi túlkun, og þannig koll af kolli.

Ferlarnir sem lýsa áhrifum þessara ímynduðu laga eru kallaðir hjálparferlar, og eru mjög mikilvægir við túlkun. Þeir eru sýndir á mynd 2 og 3.

Hjálparferlar eru mismunandi eftir gerð mæliferilsins.

Gerð mæliferils	skipting viðnámslaga	heiti hjálparferils sem við á.
	$\rho_1<\rho_2>\rho_3$	K
	$\rho_1>\rho_2<\rho_3$	H
	$\rho_1>\rho_2>\rho_3$	Q
	$\rho_1<\rho_2<\rho_3$	A

Túlkunaraðferðin

(Þessi kafli er tekinn nær óbreyttur úr Viðnámu þeirra JHD manna, en á eftir fylgir dæmi þar sem farið er í öll smáatriði).

Skilgreiningar:

ρ_n Viðnámsgildi N_ta lags

n_n Þykktargildi N_ta lags

μ_n $\frac{\rho_n}{\rho_{P_{m-1}}}$ Viðnámsgildi N_ta lags (Viðnámsgildi ímyndaða lagsins fyrir ofan það)

ν_n $\frac{\nu_n}{\nu_{P_{n-1}}}$ Þykktargildi N_ta lags (Þykktargildi ímyndaða lagsins fyrir ofan það)

Ath. Í tilfellinu $\mu = 2$ hefur ímyndaða lagið viðnáms- og þykktargildi lags 1.

1. Teiknið mælinguna á gegnsæjan log-log pappír (mynd 4a).

2. Ákveðið hve mörg viðnámslög mæliferillinn sýnir, og hvaða gerð af hjálparkúrfum þarf að nota og hvar (mynd 4a).

3. Fyrsti hluti mæliferilsins er borinn saman við meistaraferla með því að leggja glæran log-log pappírinn yfir þá meistara sem líkjast mæliferlinum. Sá meistari sem fellur best að upphafi mæliferilsins er valinn. Við fyrsta kross P_1 (upphafspunkt meistara) er lesið ρ_1 og h_1.
   Meistarinn gefur síðan $\mu_2 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ og $\nu_2 = \frac{h'_2}{h_1}$

   > fundið ρ_1, ρ_2 og h_1; (h'_2 er áætlað h_2) (mynd 4b)

4. 2. kross (P_2) fundinn með hjálparlínuriti (Sheet A eða B) (mynd 4c). Gerð línurits er valin eftir gerð ferils í 1. skrefi.
   a) Fyrir Q og H-gerð mæliferla:
      Fyrsti kross P_1 er staðsettur við upphafspunkt hjálparferla og

sá hjálparferill dreginn, sem svarar til gildis $\mu_2 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$

b) Fyrir A og K-gerð mæliferla:
Fyrsti kross P_1 er staðsettur á lóðréttan ás kerfisins við gildi er svarar til $\mu_2 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$

Sá hjálparferill er hefur upphaf í þeim punkti, er dreginn.

5. 3-laga meistari valinn fyrir framhald mæliferils þannig að 2. kross P_2 falli á hjálparferil.
Meistari gefur $\mu_3 = \frac{\rho_3}{\rho_{P_2}}$ og $\nu_3 = \frac{h_3}{h_{P_2}}$ (mynd 4d).

6. Endanleg ákvörðun á h_2 (sjá mynd 4d):
Fyrsti kross P_1 er staðsettur á sama stað á hjálparferli og í 2. skrefi. 2. kross P_2 fellur á eina brotalínu línuritsins. Tala sem gefin er við línuna ákvarðar rétt $\nu_2 = \frac{h_2}{h_1}$

3. kross P_3 er fundinn með hjálparferlum og meistara; ρ_4 fundið og rétt h_3 síðan fundið með hjálparferlum o.s.frv.
Stundum kemur fyrir að mæliferillinn sýnir aðeins tvö viðnámslög. Þá er nóg að nota tveggja laga meistara. Hann er sýndur á mynd 5.
Ath. Það er mjög mikilvægt þegar mæliferill er lagður ofan á meistara- eða hjálparferla að blaðið sé ekki skakkt. Ásar hnitakerfanna á báðum blöðunum verða að snúa nákvæmlega eins.

2.2 Túlkun lengdarmælinga

Eftirfarandi forsendur þarf að gefa sér, þegar lengdarmæling er notuð við þykktarákvörðun.

1) Viðnámslög fylgi almennri jarðlagaskipan þannig að laus jarðlög hafi viðnámið ρ_1 og undirliggjandi jarðgrunnur ρ_2.

2) Viðnám í hverju lagi haldist óbreytt yfir svæðið þannig að ρ_1 og ρ_2 séu fastar.

Þessum forsendum, séu þær réttar, fylgir sjáfkrafa:

Breyting í sýndarviðnámi, táknar þykktarbreytingu á lausum yfirborðslögum.

Fyrsta forsendan gildir yfirleitt, þegar laus jarðlög eru vatnsósa, en berggrunnur þéttur. Undantekningar geta þó komið fram þegar jarðvatnsflötur fylgir ekki lagamótum.

Önnur forsendan virðist gilda mjög vel í mýrum, en þar sem farið er yfir land með mismunandi jarðvegsgerðum t.d. mói, mýri fellur hún úr gildi. Hugsanlegt er þó í slíkum tilfellum að mæla yfirborðsviðnámið, með aukamælingu á hverjum stað og nota þá ρ_2/ρ_1 sem breytistærð.

Túlkunaraðferðin

1. Dýptarmæling tekin og niðurstöður hennar settar á log-log pappír. Dýptarmælingin er síðan túlkuð í viðnámslög með mismunandi þykktar og viðnámsgildum (mynd 6) sbr. kafli 2.1.
2. Skautabil fyrir lengdarmælingu er valið þar sem dýptarmælingakúrfan er bröttust (á mynd 6 þ.e. um 16 m).
3. Þykktarkvarðanum er nú hliðrað eftir skautabilskvarðanum, þannig að tölugildi fyrir túlkaða þykkt efsta lags falli saman við tölugildi straumarms úr lengdarmælingunni (5 m á móti 16 m á mynd 7).
4. Lengdarmælingin framkvæmd. Þykktargildin loks lesin af þykktarkvarðanum fyrir samsvarandi viðnámsgildi úr lengdarmælingunni.

Þegar svæðin sem kanna þarf eru víðáttumikil er rétt að taka fleiri en eina dýptarmælingu. Við slíkar aðstæður getur komið fyrir að dýptarmælingaferlarnir falli ekki saman og sýni þannig mismunandi þykktir fyrir sömu viðnámsgildi. Reynslan og jarðfræðilegar aðstæður verða þá að skera úr um hvenær hver dýptarmælingaferill gildir.

Myndir 8 og 9 sýna tvo staði sem þessi aðferð hefir verið notuð með góðum árangri.

3 NÁKVÆMNI OG NOTAGILDI VIÐNÁMSMÆLINGA VIÐ FRUMKÖNNUN FYRIR MANNVIRKJAGERÐ

Eftirfarandi kafli fjallar einungis um notagildi og takmörkun viðnámsmælinga við mjög grunnar mælingar (0-30 m). Notagildi viðnámsmælinga við könnun á dýpri jarðlögum lúta allt öðrum forsendum.

3.1 Nákvæmni viðnámsmælinga

Viðnámsmælingar eru í eðli sínu óbeinar, þ.e. þær mæla ekki beint þá jarðtæknilegu eiginleika sem hagnýtt er að þekkja við hönnun og gerð mannvirkja. Nákvæmni þeirra í þykktarákvörðun er að mestu háð því hversu réttar þær forsendur eru sem notaðar eru við túlkun (sbr. kafla 2.1 og 2.2). Standist þær forsendur ekki getur komið fram mikil skekkja. Aðrir óvissuþættir og skekkjuvaldar eru einnig til staðar. Þeirra verður ekki getið hér þar sem þeir eru metnir við fullnaðarúrvinnslu, en ekki í felti. Þykktarákvarðanir út frá viðnámsmælingu verða að hafa stuðning frá beinum mælingum t.d. borholum, sem gerðar eru á svæðinu til samanburðar. Ef nauðsyn krefur er hin jarðeðlisfræðilega mynd leiðrétt á slíkum samanburðarpunktum.

3.2 Notagildi viðnámsmælinga

Notagildi viðnámsmælinga liggur að mestu í hagkvæmni þeirra. Þær eru mun ódýrari en flestar beinar mælingar. Það er því best að nota viðnámsmælingarnar til að tengja milli beinna mælinga, og fá þannig fyllri mynd af jarðlögunum á ódýran hátt án þess að nákvæmnin skerðist að nokkrum mun.

Viðnámsmælingar eru sérstaklega hentugar í fljótandi mýrum þar sem erfitt er að koma þungum tækjum að og hljóðhraðamælingar bregðast alveg.

Konstantar fyrir Sclumberger uppsetningu.
10 punktar á módúlus.

S \ P	0,1	0,5	1,0	3,0	5,5	10,0	20,0
0,20	0,47						
0,25	0,82						
0,32	1,45						
0,40	2,36						
0,50	3,77						
0,63	6,08						
0,79	9,65						
1,00	15,55	2,356					
1,26	24,78	4,020					
1,58	39,06	7,057					
2,0	62,7	11,78					
2,51	98,8	19,01	8,33				
3,16	157	30,59	14,1				
3,98	249	48,98	23,3				
5,01	394	78,07	37,86				
6,31	625	124,3	60,97				
7,94	990	197,3	97,46				
10,0	1521	313,4	155,5	47,65			
12,59	2490	497,2	247,4	78,28			
15,85	3946	788,5	393,0	126,8			
19,95	6252	1250	623,6	203,7	105,0		
25,12	9912	1982	989,6	325,7	171,6		
31,62	15205	3140	1569	518,8	276,9	141,3	
39,81		4978	2488	825,1	444,0	233,2	
50,12		7891	3944	1311	708,8	378,9	
63,10		12510	6253	2080	1129	609,7	281,3
79,43		19820	9909	3299	1793	975,3	464,1
100,00		31420	15710	5231	2847	1555	754,0
125,89		49790	24890	8293	4518	2474	1213
158,49		78910	39460	13150	7165	3930	1941
199,53		125100	62540	20840	11360	6238	3095
251,19		198200	99110	33030	18010	9895	4924
316,23		314200	157100	52360	28550	15690	7823
398,11		497900	249000	82980	45260	24880	12420
501,69		790700	395400	131800	71870	39520	19740
630,96		1251000	625300	208400	113700	62520	31240
794,33		1982000	991100	330400	180200	99100	49520
1000,00		3142000	1571000	523600	285600	157100	78510

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \cdot K$$

$$K = \frac{\pi}{2} \frac{S^2 - p^2}{P}$$

ρ_a = Sýndarviðnám Ωm
ΔV = Aflestur spennu mV
I = Aflestur straums mA
S = Straumarmur m
P = Spennuarmur m

ORKUSTOFNUN

VIÐNÁMSMÆLING

Schlumberger uppsetning

19 1 '76 DE/HO

Tnr. 39 Tnr. 1511

J-Ým J-Viðnám

Fnr. 13793

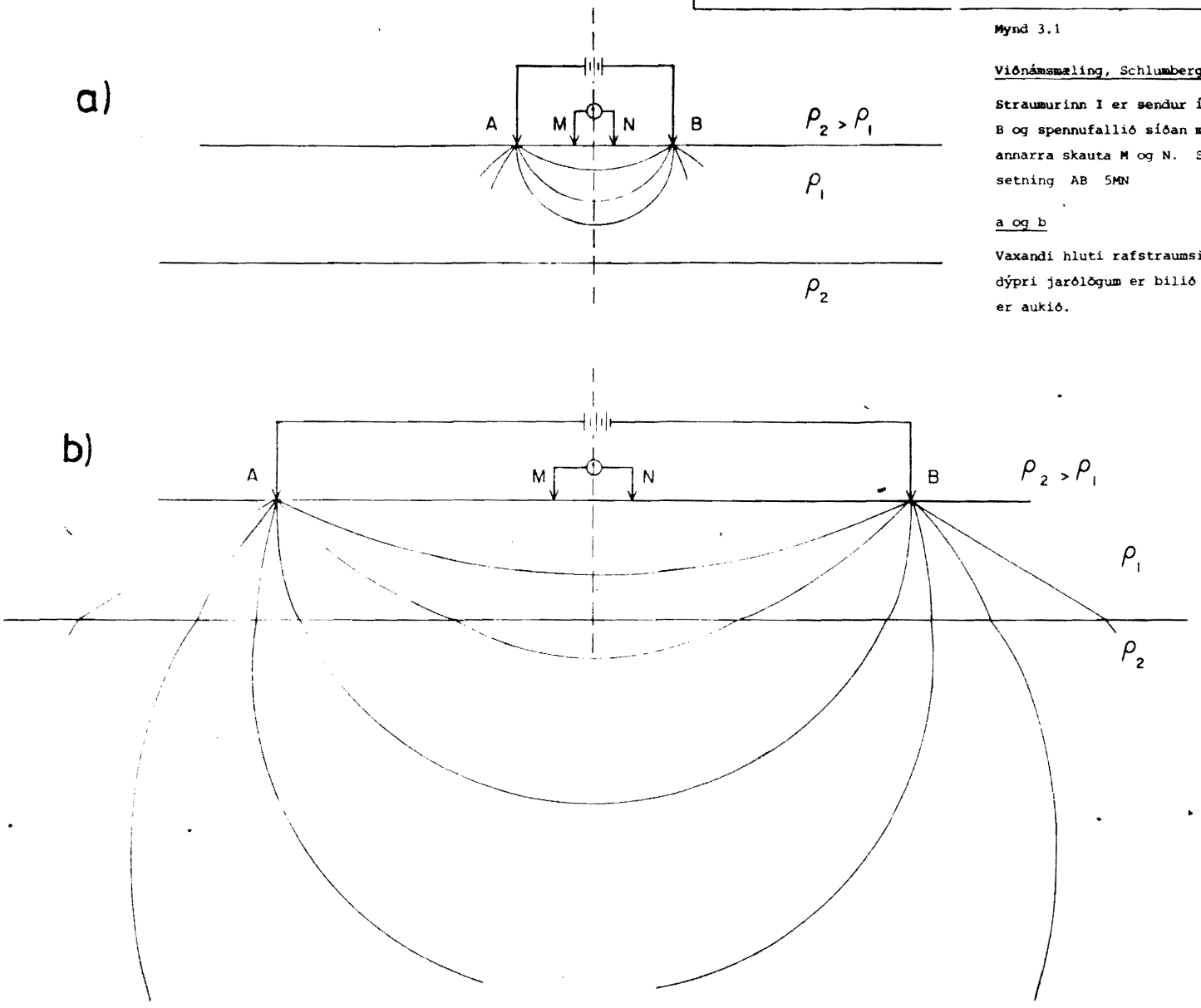
Mynd 3.1

Viðnámsmæling, Schlumberger uppsetning

Straumurinn I er sendur í gegnum skautin A og B og spennufallið síðan mælt milli tveggja annarra skauta M og N. Schlumberger uppsetning AB 5MN

a og b

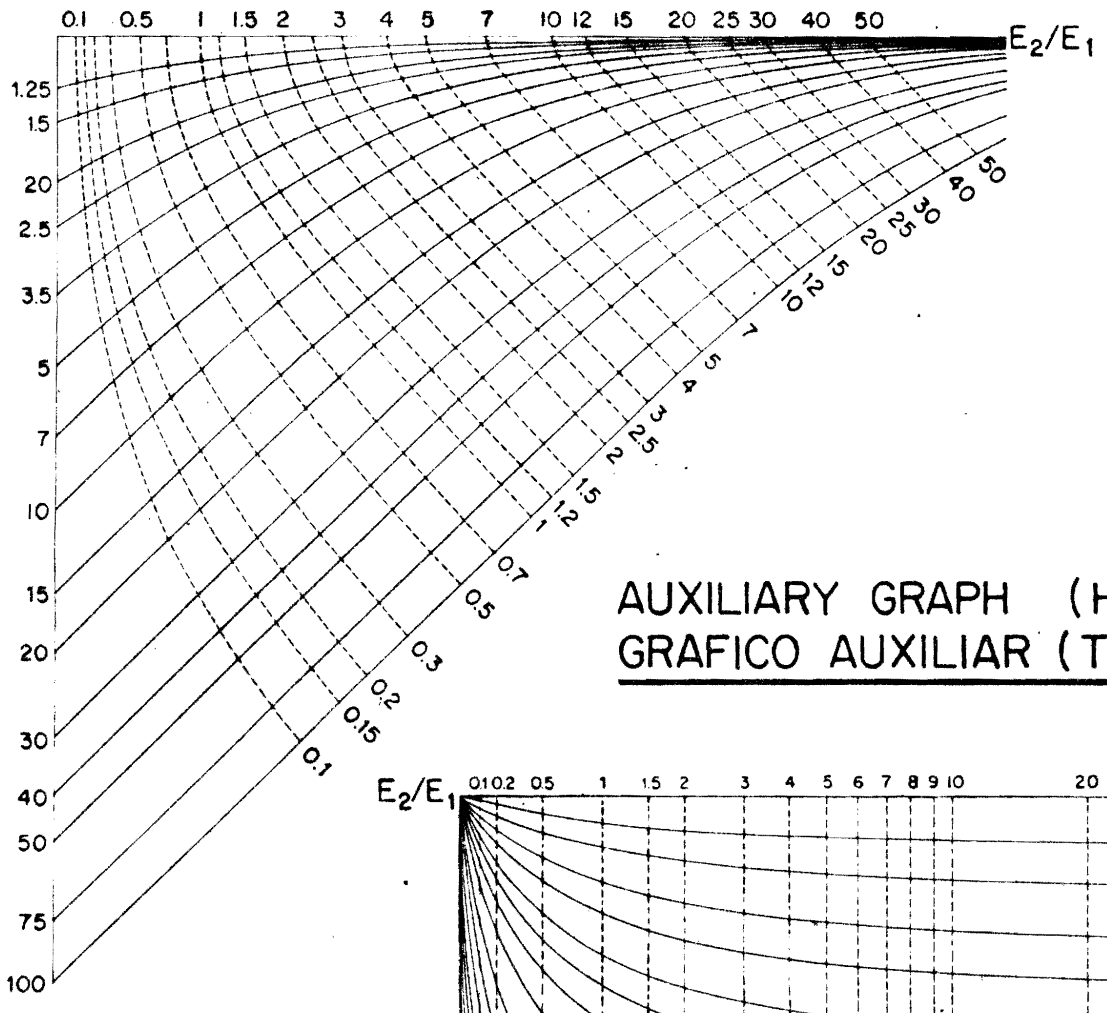
Vaxandi hluti rafstraumsins fer eftir sífellt dýpri jarðlögum er bilið milli straumskautanna er aukið.



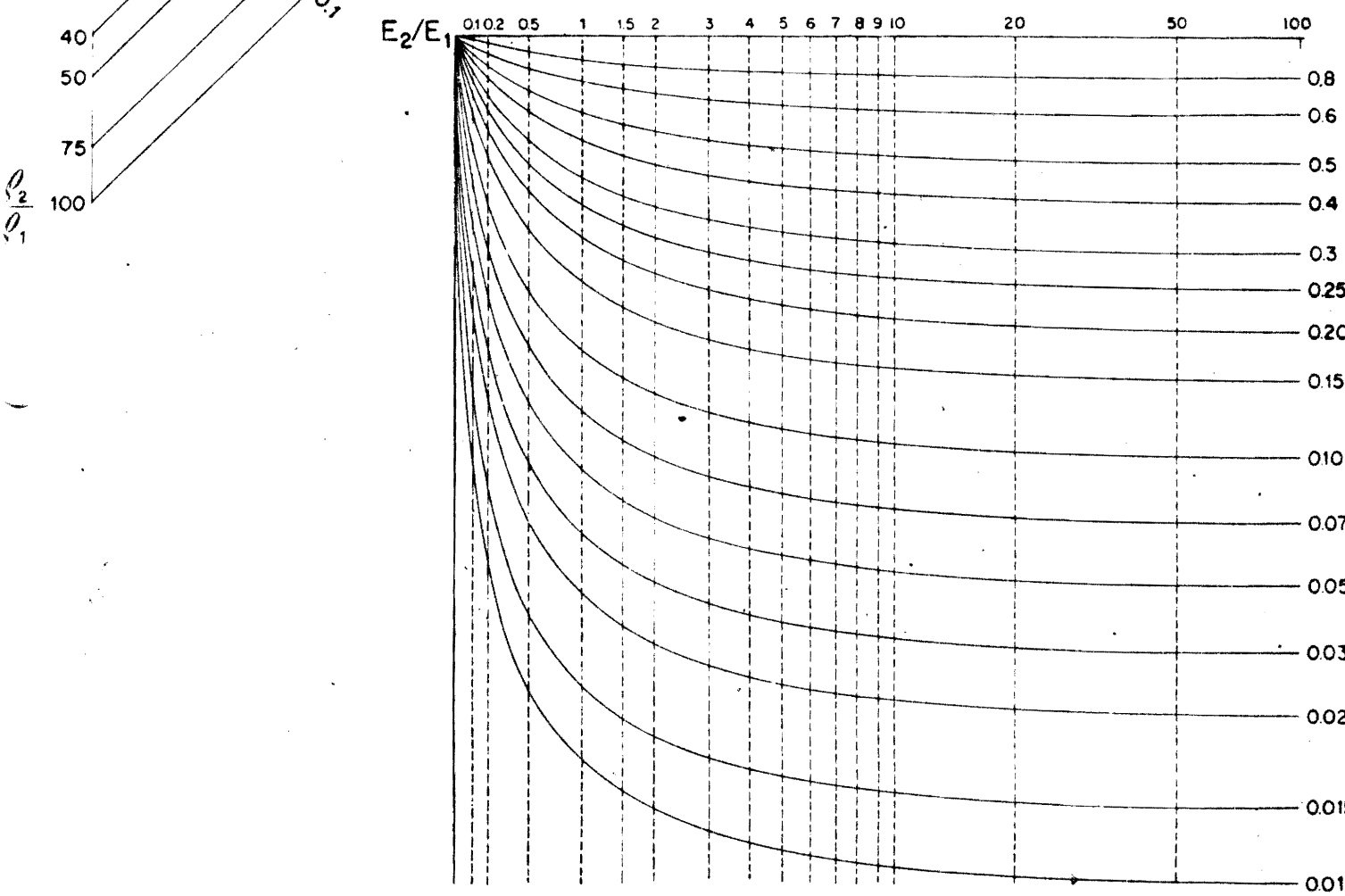
AUXILIARY GRAPH (A-TYPE)
GRAFICO AUXILIAR (TIPO-A)

SHEET-B

LAMINA-B



AUXILIARY GRAPH (H-TYPE)
GRAFICO AUXILIAR (TIPO-H)

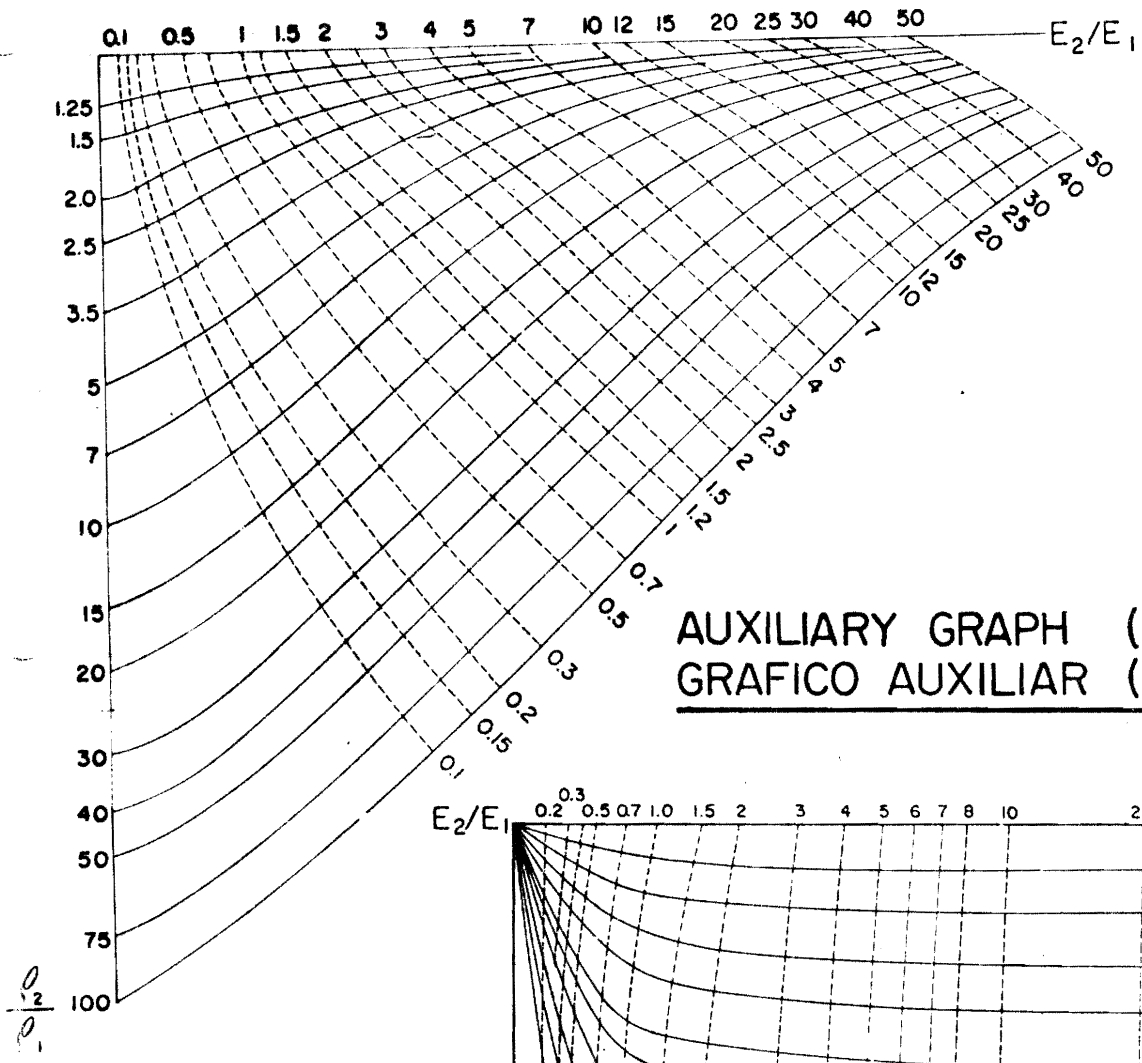


ORELLANA-MOC

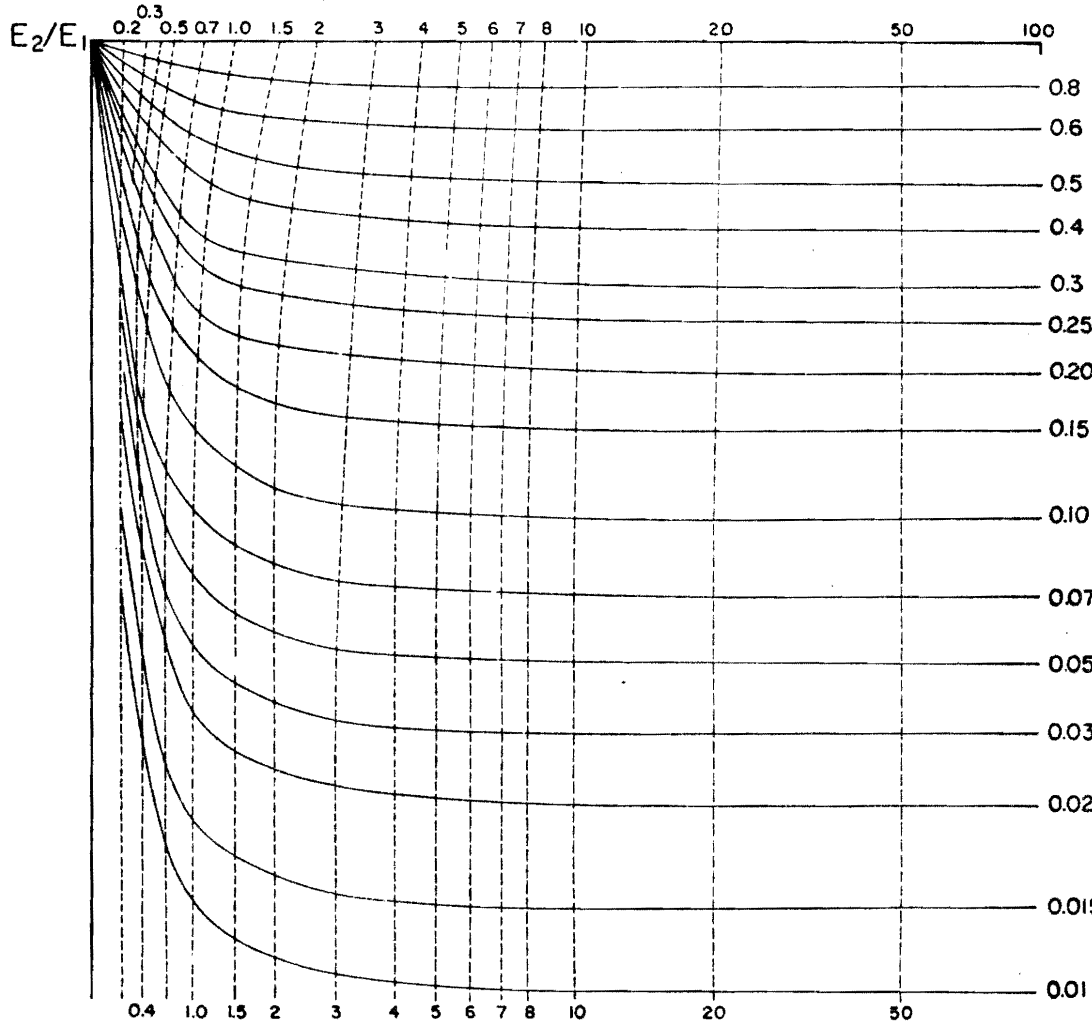
AUXILIARY GRAPH (K-TYPE)
GRAFICO AUXILIAR (TIPO-K)

SHEET-A

LAMINA-A



AUXILIARY GRAPH (Q-TYPE)
GRAFICO AUXILIAR (TIPO-Q)



ORELLANA-MOONEY

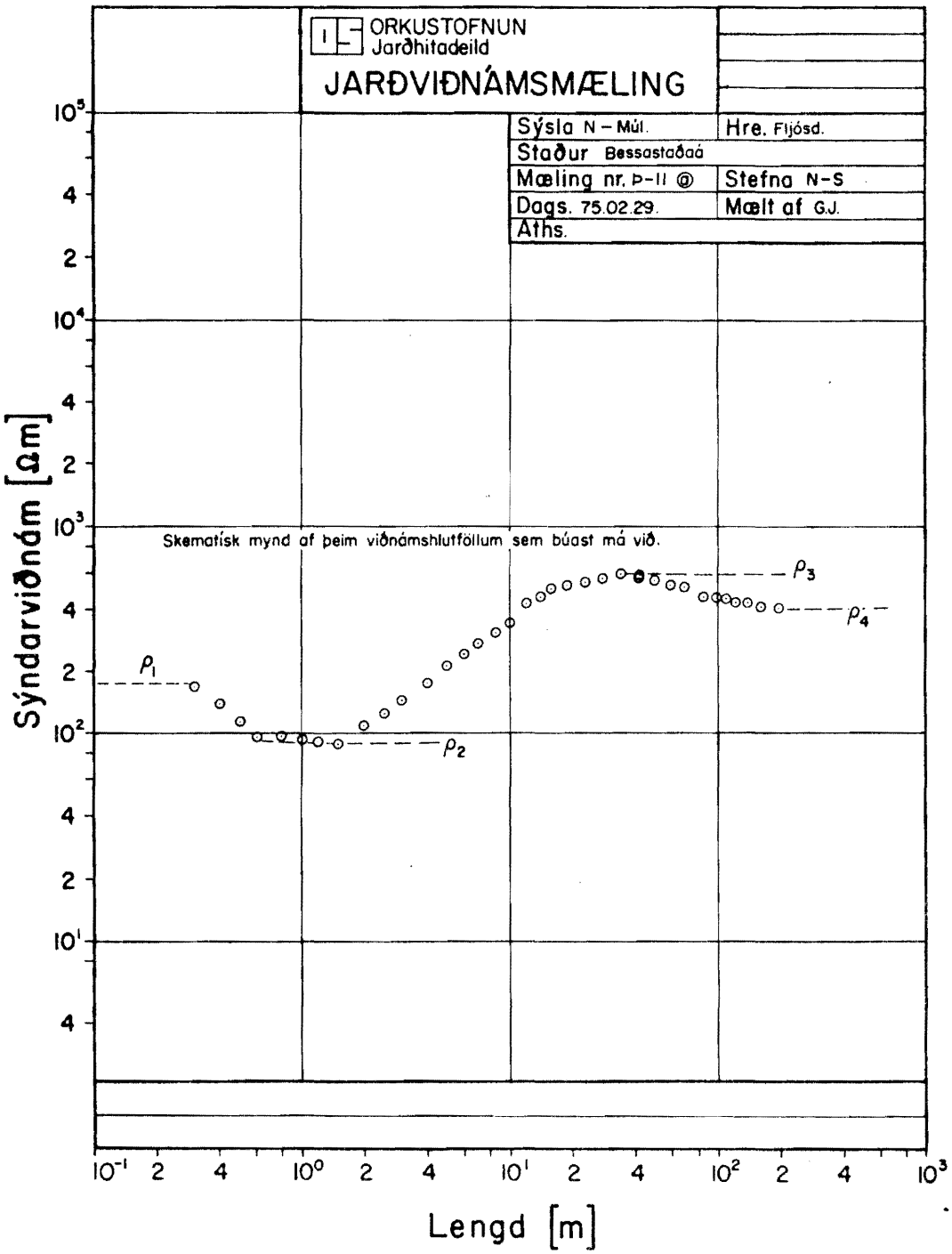
MYND 4a

Viðnámsmælingin er teiknuð á gegnsæjan log-log pappír.
Fjöldi laga sem hún sýnir er ákvarðaður. Hann er sýndur skematískt á myndinni.
Gerð hjálparferla, sem nota þarf er ákvörðuð.

1) $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ H-gerð

2) $\rho_2 < \rho_3 > \rho_4$ K-gerð

3) $\rho_3 > \rho_4$ H eða Q-gerð



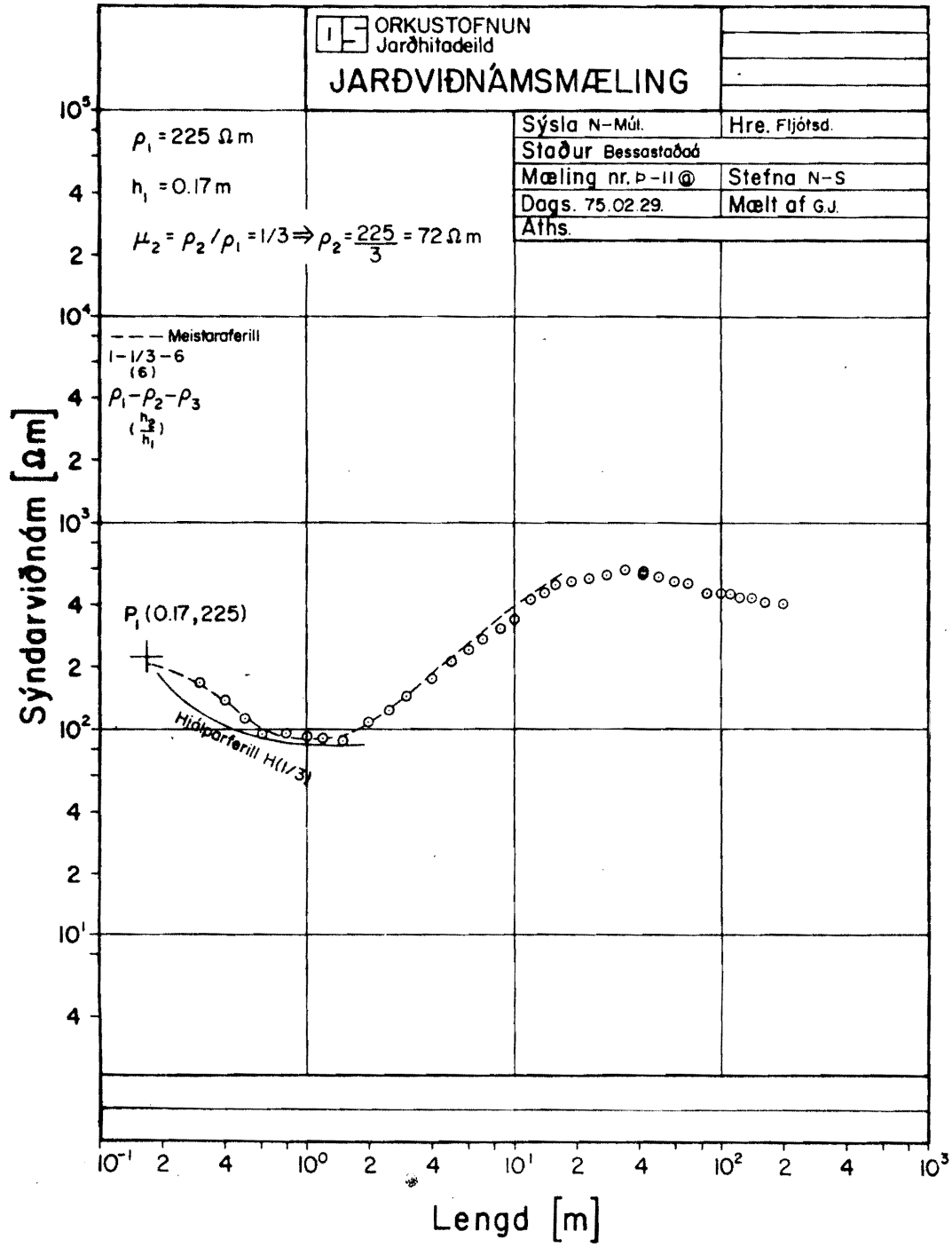
MYND 4b

Upphaf mæliferilsins borið saman við meistaraferla. Strikalínan sýnir bestu nálgun. Reyndist sá meistaraferill vera

$$1 - 1/3 - 6$$
$$(6)$$

Hlutfallið $\mu_2 = \rho_2 / \rho_1$ er því jafnt og 1/3. Kross P_1 er settur við upphaf meistaraferilsins. Krossinn hefur hnitin (h_1, ρ_1) sem eru viðnáms- og þykktargildi í fyrsta viðnámslaginu.

ρ_2 er fundið út frá líkingunni $\mu_2 = \rho_2/\rho_1$ þar sem vitað er að $\mu_2 = \rho_2/\rho_1 = 1/3$ og $\rho_1 = 223$.
Fyrir áframhaldandi túlkun er hjálparferill sem hefur upphaf í P_1 valinn. Mæliferillinn sýnir $\rho_2 > \rho_2 < \rho_3$. Þar af leiðir að hjálparferillinn verður að vera af H-gerð og hafa hlutfallið $\mu_2 = \rho_3/\rho_1 = 1/3$. (Hlutfall fyrstu tveggja laga á meistaraferlinum).



MYND 4c

Framhald mæliferilsins er túlkað áfram með því að bera það saman við þriggja laga meistaraferil, þannig að upphafspunkti mismunandi meistara er hliðrað eftir hjálparferlinum H(1/3) uns besta samsvörun næst.

Meistaraferillinn sem féll best við mælikúrfuna reyndist vera

1 - 15 - 5
(5)

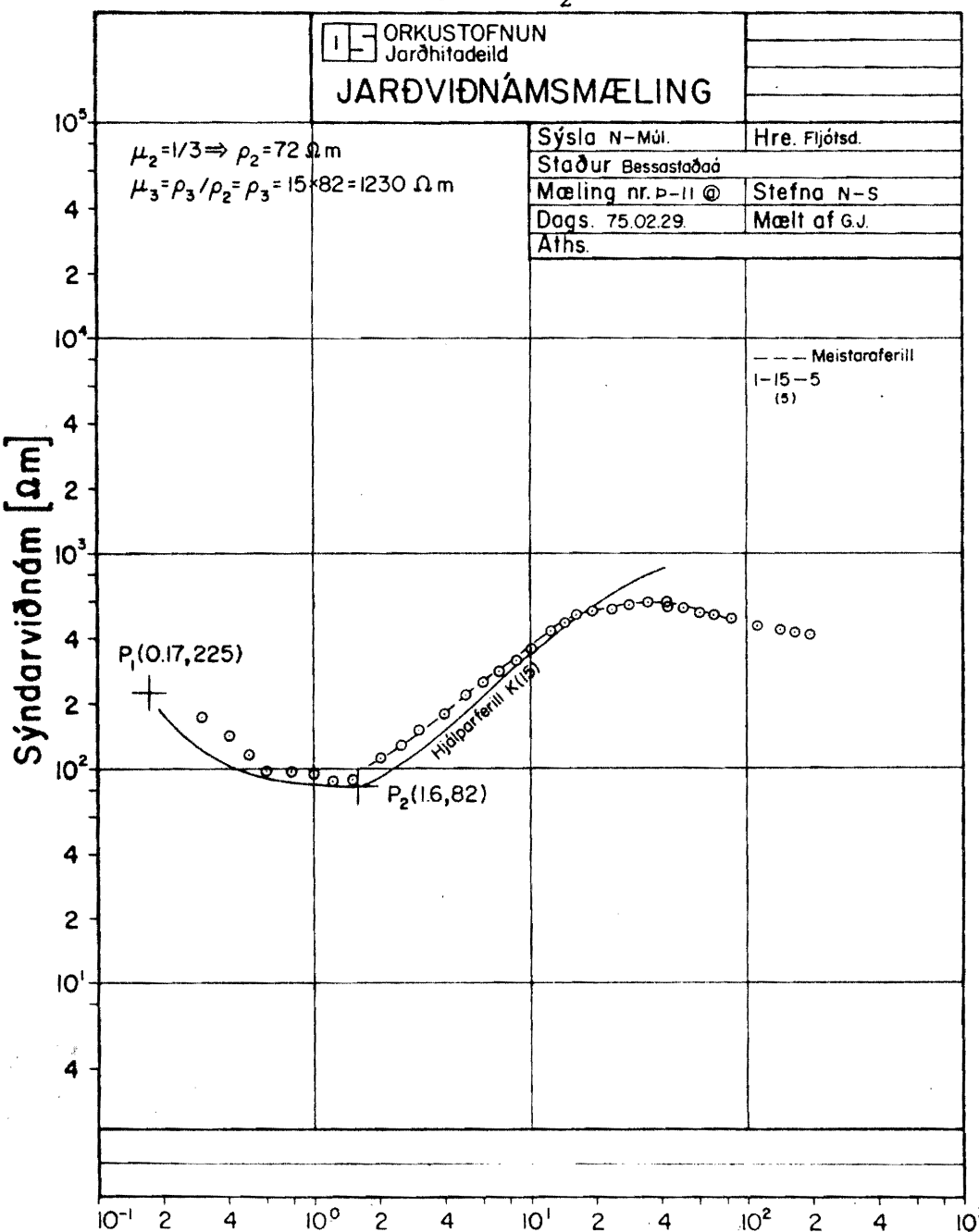
Kross P_2 er staðsettur þar sem upphafspunktur meistara er á hjálparferlinum.

ρ_3 er fundið með því að margfalda saman $\mu_3 = 15$ og viðnámsgildi P_2 (= 82).

$$\mu_3 = \rho_3/\rho_{P_2}$$

Þar sem af línuritinu sést að $\rho_2<\rho_3>\rho_4$ er hjálparferill af K-gerð valinn við áframhaldandi túlkun og með hlutfallinu $\rho_3/\rho_2 = 15$.

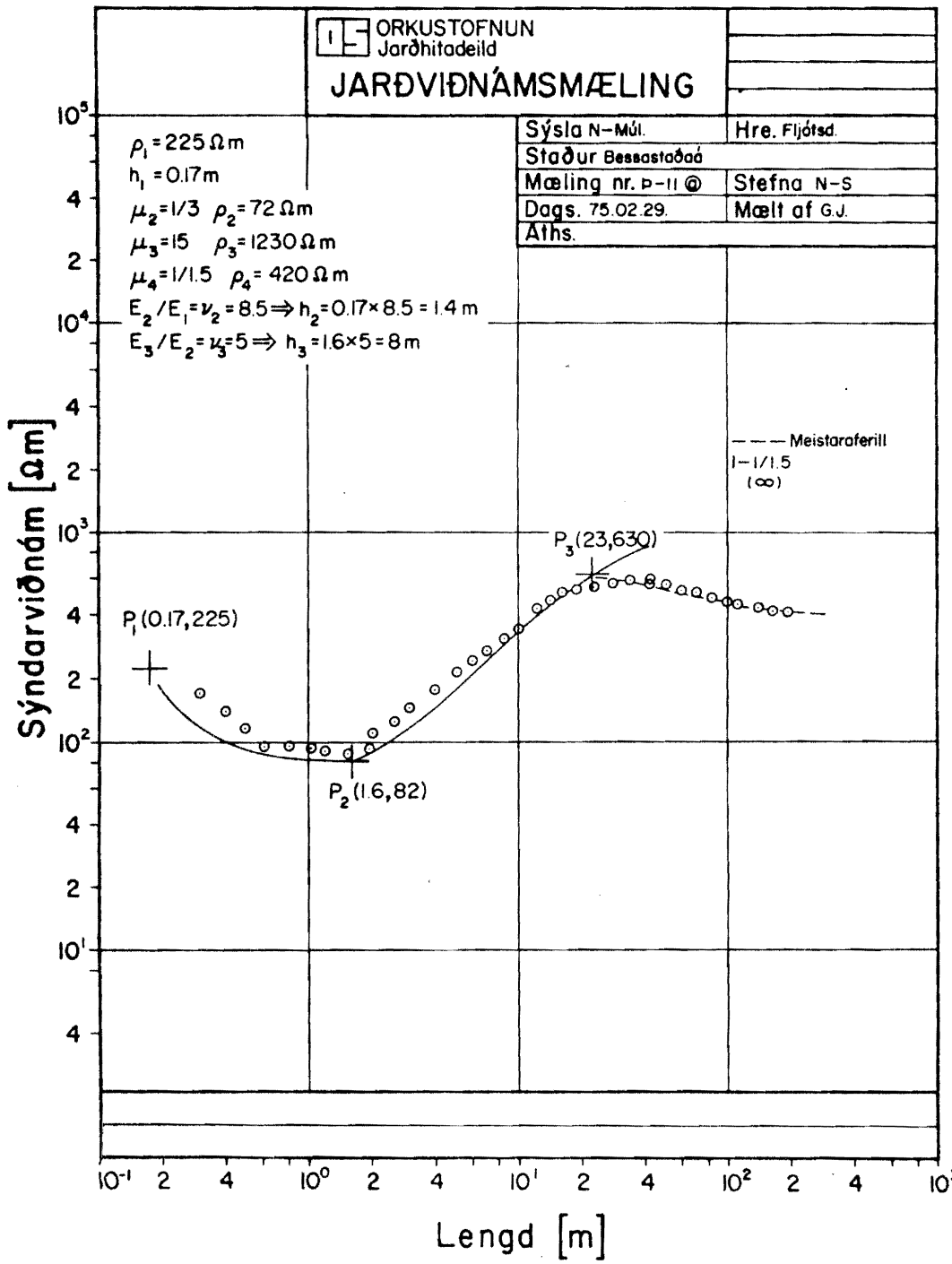
Þessi ferill er dreginn með upphaf í P_2.



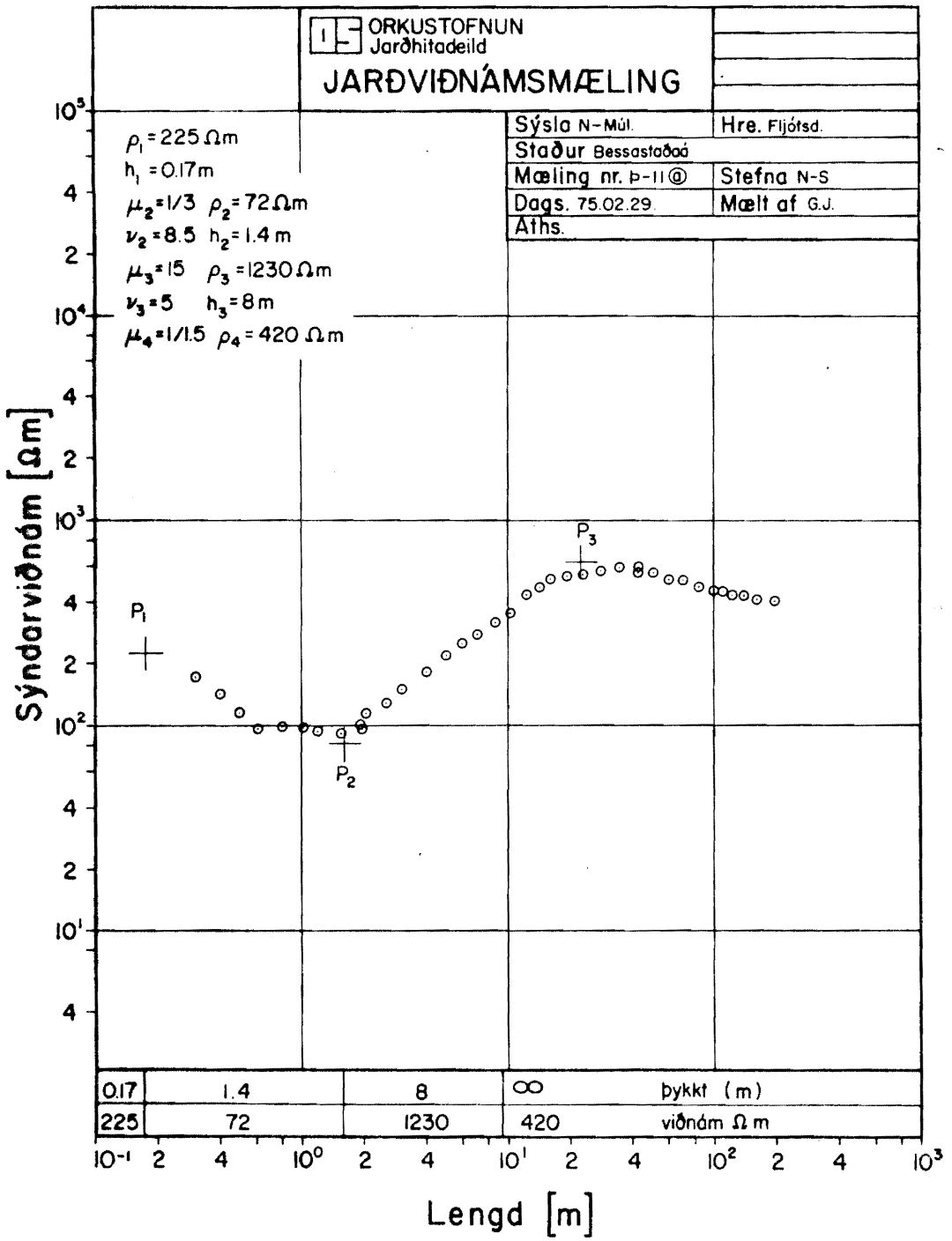
MYND 4d

Framhaldið er túlkað á sama hátt og áður. Mæliferillinn fellur best saman við meistara sem 1 - 1/1.5 - 4 (þetta er í rauninni tveggja laga meistari þar sem þykktin á miðlaginu er óendanleg). Viðnámið er reiknað út á sama hátt og fyrir ρ_3. $\mu_4 = \rho_4/\rho_{P_3}$

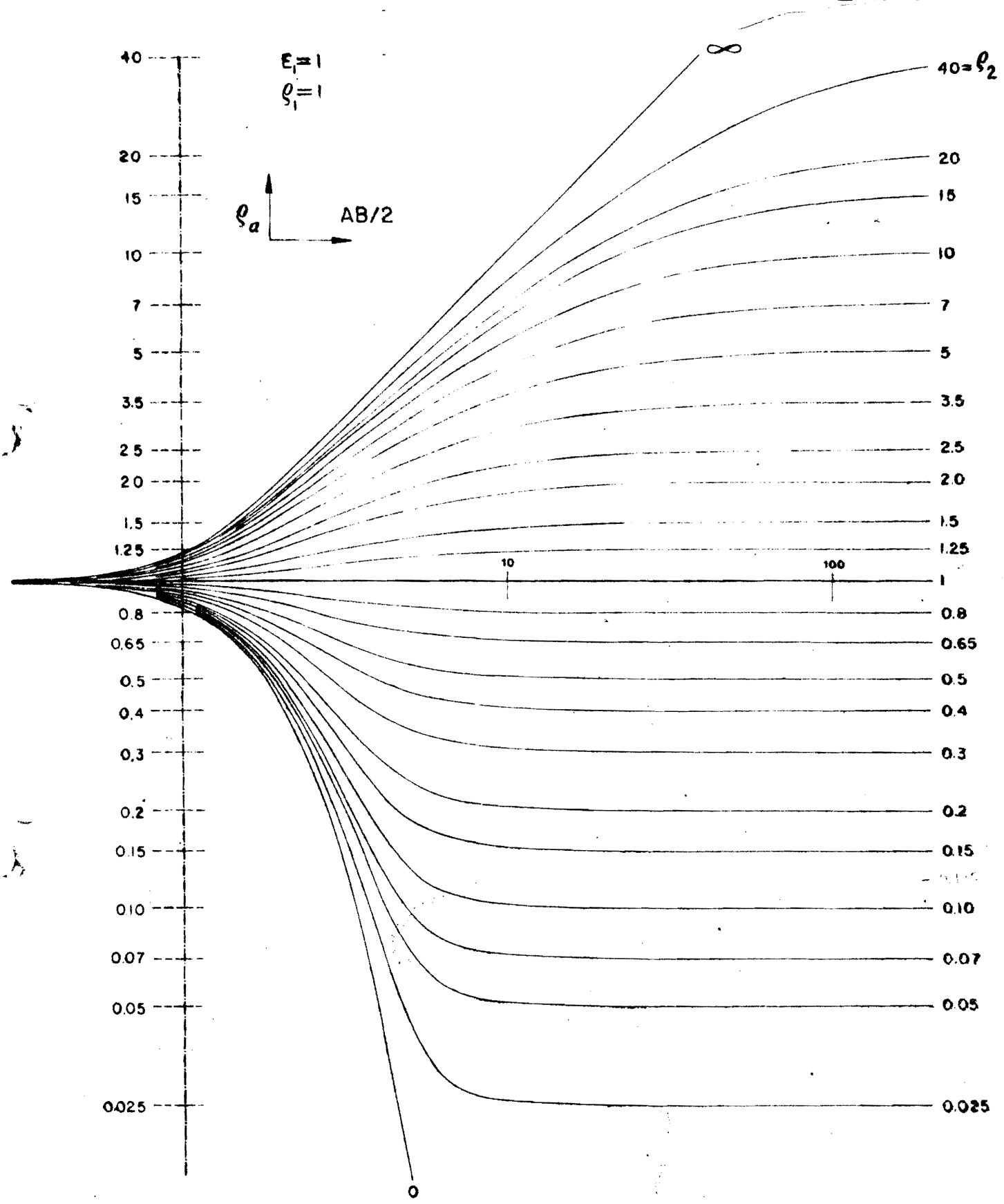
Til að finna þykkt hvers viðnámslags er blaðið með mæliferilinn lagt yfir þá hjálparferla sme hafa verið notaðir á sama hátt og áður. Lárétt hnit krossana eru lesin af hjálparferlunum (E_1/E_2 hlutfall) þannig að fyrir H-gerð er $\nu_2 = h_2/h_1$ og fyrir K-gerð $\nu_3 = h_3/h_{P_2}$.



4c

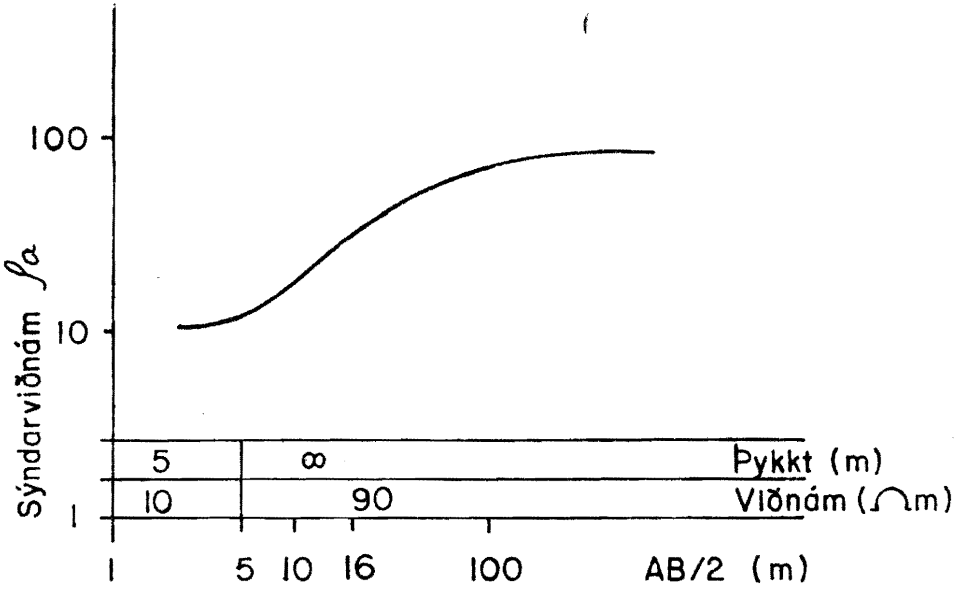

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild
JARÐVIÐNÁMSMÆLING
Sýsla N-Múl.
Hre. Fljótsd.
Staður Bessastaðaá
Mæling nr. Þ-11@
Stefna N-S
Dags. 75.02.29
Mælt af G.J.
Aths.
$\rho_1 = 225\ \Omega m$
$h_1 = 0.17 m$
$\mu_2 = 1/3$ $\rho_2 = 72\ \Omega m$
$\nu_2 = 8.5$ $h_2 = 1.4\ m$
$\mu_3 = 15$ $\rho_3 = 1230\ \Omega m$
$\nu_3 = 5$ $h_3 = 8\ m$
$\mu_4 = 1/1.5$ $\rho_4 = 420\ \Omega m$
Sýndarviðnám [Ωm]
P1
P2
P3
0.17 | 1.4 | 8 | ∞ | þykkt (m)
225 | 72 | 1230 | 420 | viðnám Ω m
Lengd [m]

SHEET
LAMINA 1

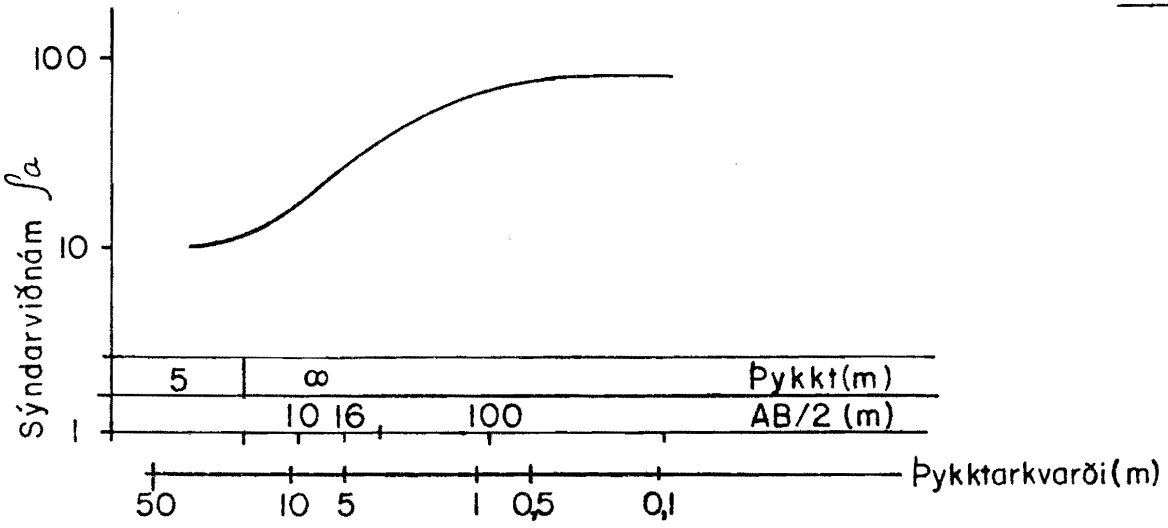


LLANA—MOONEY
ER CURVES FOR V.E.S.
AS PATRON PARA S.E.V.

TWO — LAYER CURVES — CURVAS DE DOS CAPAS

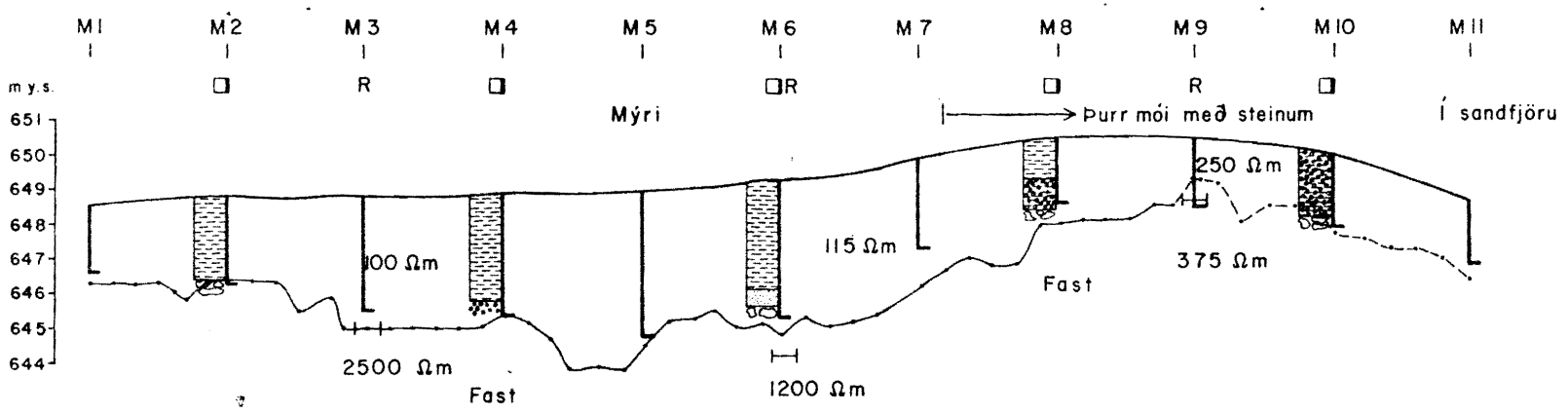


MYND 6: TÚLKUÐ VIÐNÁMSMÆLING.



MYND 7: SAMA MÆLING OG Á MYND 6, EN BÚIÐ AÐ BÆTA ÞYKKTAR-KVARÐANUM VIÐ.

Myndi



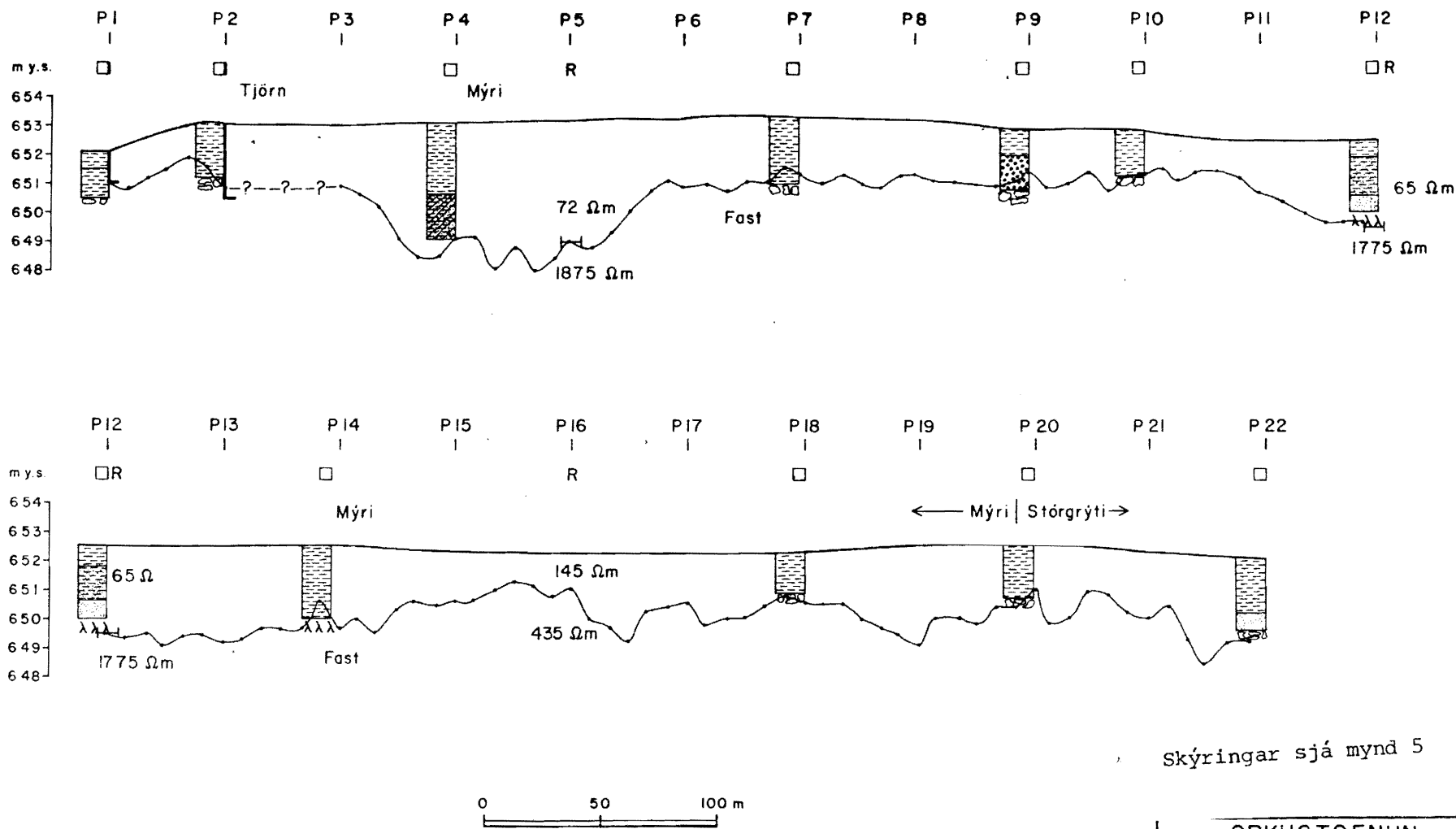
SKÝRINGAR:

- Mold, mýrar- og móajarðvegur
- Silt og leir
- Sandur
- Möl
- Stórgrýti eða klöpp
- Klöpp
- Gryfja (þvermál ≈ 3 m)
- R Viðnámsmæling (dýptarmæl.)
- Dýpi fengið með Borro-borun
- Dýpi fengið með viðnáms-mælingu (dýptarmæling)
- Dýpi fengið með viðnáms mælingu (lengdarmæling)

0 50 100 m

ORKUSTOFNUN		
BESSASTAÐAÁRVIRKJUN Jarðlagasnið. M-lína		
22.12.78 DE/G.J/H	Tnr 6 Tnr 1491 B-195 J-Viðnám	Fnr. 13734

Mynd 9



Skýringar sjá mynd 5

ORKUSTOFNUN

BESSASTAÐAÁRVIRKJUN

Jarðlagasnið. P-lína

1912.'75	DE/GJ/HD	Thr 5 Tnr 1490 B-195 J-Viðn	Fnr. 13733