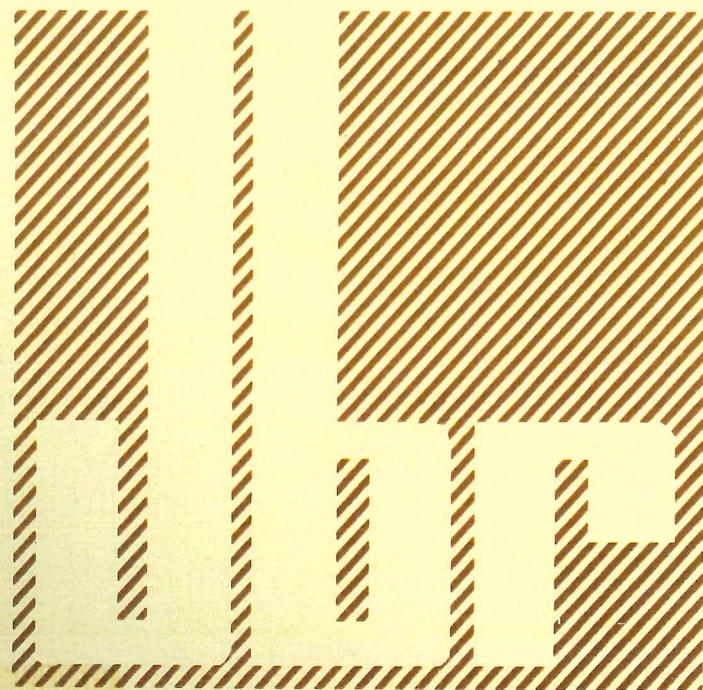


ORKUSTOFNUN  
JBR-JHD

# JARÐHITABORUN

## BORMANNANÁMSKEIÐ 1983



333.006

Ork



ORKUSTOFNUN  
Þókassafn

**EFNI**

**SÖFNUN OG ÚRVINNSLA BORGAGNA  
TÆKJABÚNAÐUR OG FRAMKVÆMD MÆLINGA  
ÞREPADÆLING  
ÞRÝSTIPRÓFANIR Í JARÐHITAHOLUM  
NOTKUN SKOLVATNS VIÐ SNÚNINGSBORUN  
BORKRÓNUR OG BORSTANGIR  
TOGPOL BORSTRENGS**

333.006  
Ork

BORMANNANÁMSKEIÐ  
JANÚAR 1983

## SÖFNUN OG ÚRVINNSLA BORGAGNA

Ásgrímur Guðmundsson

1/1983  
ORKUSTOFNUN  
BÓKASAÐN

EFNISYFIRLIT

	Bls.
1 INNGANGUR.....	3
2 ÁGRIP AF JARÐSÖGU ÍSLANDS.....	5
2.1 Aldur landsins.....	5
2.2 Jarðmyndanir.....	6
3 SÝNATAKA OG UPPLÝLSINGASÖFNUN.....	10
3.1 Sýnataka.....	10
3.2 Merkingar á umbúðum sýna.....	11
3.3 Gagnasöfnun og skráning.....	11
3.4 Skolun á svarfi úr borholum.....	16
4 ÚRVINNSLA.....	19
4.1 Svarfgreining og jarðlagasnið.....	21
4.2 Ummyndunarsteindir og ummyndunarsnið.....	24
VIÐAUKI I.....	30
VIÐAUKI II.....	37

1 INNGANGUR

Rannsóknir á borkjörnum og borsvarfi gefa vitneskjú um þau jarðög, sem borað er f. Má þar til nefna lagskiptingu og gerð storkubergs, setlög, ganga og misgengi, ummyndun, gropu, segulstefnu og fleira nyttsamlegt. Prátt fyrir að rekja megi starfsemi jarðbora á Íslandi áratugi aftur í tímum, þá hefur lítið verið stuðst við eða notað af þeim upplýsingum, sem frá þeim hefur komið að undanskildum síðastliðnum áratug og fram að deginum í dag. Á petta sér í lagi við jarðhitaboranir. Frá þeim tíma að byrjað var að bora eftir heitu vatni hefur verið misjafnlega staðið að töku kjarna og svarfsýna. Löngum var hvoru tveggja hent. En sá tímí kom að menn gerðu sér grein fyrir, að rannsóknir á kjörnum og í seinni tíð rannsóknir á svarfi geta gefið haldgóðar upplýsingar um jarðög undirniðri.

Í nágildandi orkulögum frá árinu 1967 er fjallað sérstaklega um þessi mál og þar standur eftirfarandi í VII kafla um verndum jarðhitasvæða, jarðhitavirkni og eftirlit með þeim:

49. grein

"Við allar jarðboranir dýpri en 10 metra skal halda dagbækur, er gefi upplýsingar um jarðög, gerð peirra og dýpi, hvenær vatn eða gufa kemur í holuna, hitastig og hvað annað, sem reglugerð ákveður eða Orkustofnun mælir fyrir um að fára í dagbók.

Skylt er að láta Orkustofnun í té afrit af dagbók, þegar hún óskar þess. Hún getur einnig krafist þess, að borkjarnar og berg- og jarðvegssýnishorn séu varðveisitt.

Ef Orkustofnun mælir svo fyrir, er þeim, sem lætur bora, skylt að tilkynna henni þegar í stað, er heitt vatn eða gufa kemur eða vex í borholum."

Með þessari lagagrein er verið að fyrirbyggja, að sérþundaðar skoðanir misvitra einstaklinga ráði ferðinni og jafnframt bent á mikilvægi rannsóknarþáttanna, þó að borun sé afstaðin.

Í þessu sambandi er rétt að rifja upp tvær megin kennisettingar jarðfræðinnar, sem eru komnar til ára sinna, en standa enn fyllilega fyrir sínu. Únnur var sett fram af dananum Nikulás Steno 1669 og hljómar þannig: "Efra lagið er ávallt yngra en það, sem undir liggur", og hin var höfð eftir englendingnum Charles Lyell 1830 og segir að nútíminn sé lykill fortíðarinnar. Hvorttveggja virðist augljóst, þegar það hefur einu sinni verið sagt. Halda má áfram í anda gömlu meistaranna og heimfæra spök ummæli yfir á tækniöld, t.d. eitthvað á þessa leið: Enginn veit með vissu hvað undir er, fyrr en borað hefur verið niður. Rétt er að benda á, að tólkun á borsvarfi (og kjörnum ef þeir eru fáanlegir) gefur óviðjafnanlegar upplýsingar um jarðlagastaflann, sem borað er í gegnum, og í þessu tilfelli auðveldar rannsóknir á jarðhitakerfum. Þó þarf að hafa í huga, að notagildi athugana krefst fullkomins skilnings athúgandans á notkunarmöguleikum og takmörkum þeirra.

Snemma á sjöunda áratugnum var komið á reglbundinni söfnun á svarfi, en fram að því var mest öllu kastað frá öllum borunum nema Gufubor (Dofra). Á þessum árum varð til vísirinn að þeiri deild innan JHD sem í dag er nefnd borholujarðfræðideild.

Verksvið borholujarðfræðideilda er að sjá um jarðfræðilegt eftirlit með borunum og sjá um úrvinnslu á þeim gögnum, sem frá þeim koma.

## 2 ÁGRIP AF JARÐSÖGU ÍSLANDS

### 2.1 Aldur lands

Jarðfræðilega séð er Ísland ungt land og að mestu gert úr hraunlögum, gosmábergi svo og setlögum. Viða finnast einnig inniskot. Þannig hefur landið að langmestu leyti hlaðist upp í síendurteknum eldgosum.

Jarðmyndun Íslands er skipt niður í þrjá meginflokkur eftir aldri og einkennum, sjá töflu 1. Elst er svonefnd blágrýtismyndun frá tertiertímabilinu. Því lauk fyrir u.p.b. prem milljónum ára. Elsta aldursgreinda bergið á Íslandi er um 16 milljón ára (Breiðadalsheiði á Vestfjörðum) og um 13 milljón ára (Borgarfjörður á Vesturlandi og Gerpir á Austurlandi). Næstelsta myndunin er oft nefnd grágrýtis- og móbergsmyndun, sem nær frá lokum blágrýtismyndunar að nútíma, sem hófst fyrir um 10000 árum. Þessi myndun hlóðst því upp á ísöld. Henni má skipta í two undirflokkur, annars vegar í grágrýtismyndun (0,7-3 milljón ára) og móbergsmyndun (10-700 þúsund ára). Að lokum tekur nótíma myndunin við, en hún hófst fyrir u.p.b. 10.000 árum og er ekki séð fyrir endann á henni.

Oft er allra síðustu árum móbergsmyndunarinnar skeytt við nótímann vegna svipaðrar ásýndar jarðlaga, sem myndast hafa á mörkum myndananna. Þá er talað um nótíma- og síðjökultímaskeiðsmyndun sem þá er látin byrja fyrir um 15 þúsund árum.

Jarðhiti og eldvirkni hafa haldist í hendur í jarðsögulegri uppbyggingu landsins. Í samræmi við það eru öll háhitasvæðin á gosbeltinu eins og sýnt er á mynd 1, en öflugustu lághitasvæðin liggja næst gosbeltinu. Sprungu og brotastefnur ráða miklu um rennsli jarðhitavökva og skýra að mestu leyti hvernig lághitasvæðin eru í sveit sett. Austfirðir eru dæmi um svæði sem eru nokkuð afskipt hvað jarðhita snertir. Það er skýrt á þá leið, að brotalínur norðan og austanlands liggja nokkurn veginn með norður-suður stefnu og því takmarkað rennsli þvert á þær.

## 2.2 Jarðmyndanir

Blágrýtismyndunin nær einkum yfir tvö svæði, annars vegar austanvert landið frá Þistilfirði að Skeiðarársandi og hins vegar vestanvert landið frá mynni Hvalfjarðar og að Bárðardal, sjá jarðfræðikort. Blágrýtismyndunin er að meginhluta gerð úr hraunlögum. A milli hraunlaganna eru viða millilög, oft rauð að lit. Þetta eru einmitt rauðu millilögini sem einkenna þessa myndun. Blágrýtismyndunin er yfirleitt pétt. Holufyllingar hafa sest til í holum og glufum hraunlaganna og setið (millilögini) hefur fergst og þjappast í jarðlagastaflanum. Eldvirkni á tertier hefur verið með svipuðum hætti og ná. Það sem skilur á milli blágrýtismyndunar og yngri myndana liggur fyrst og fremst í mismiklu rofi á myndunarskeiði peirra. Þannig einkenndist landslag á tertier af eldfjöllum gnæfandi yfir sléttlendi. Þar um hafa runnið ár og lækir, oftast lindár. A ísöld (grágrýtis- og móbergsmyndun) var landið hulið jökli að einhverju eða öllu leyti. Jökulrofið réði þannig mestu í landmótun, myndaði djúpa dali í jarðlagastaflann og nagaði fjöll, jafnframt því að við eldgos undir jökli hlöðust upp brattir og langir móbergshryggir og háir stapar. Vatnsrof jökuláa og lóna ásamt jökulhlaupum mynduðu hrikaleg gljífur. Lekt berggrunnsins minnkaði verulega vegna þettingarmáttar afurða jökulsins, sem er jökulruðningur, einkum siltsins í honum. Það voru þannig ytri skilyrði, kólnandi veðurfar, sem gjörbreyttu jarðlagappaþbyggingu landsins fyrir u.p.b. 3 milljón árum.

Grágrýtis- og móbergsmyndunin tók næst við. Þá skiptust á skeið með helköldu loftslagi, jökulskeið, og skeið með loftslagi svipuðu því sem nú er, hlýskieið. Eins og fyrr getur huldu jöklar landið á jökulskeiðum að einhverju eða öllu leyti. A.m.k. 10 slík skeið eru þekkt í jarðlagastaflanum. Jarðmyndanir frá ísöld er einkum að finna um miðbik landsins, p.e. á jöðrum núverandi gosbelta. Þar hvíla þær viða á blágrýtismynduninni. Landslag færðist í það horf sem það er í dag á myndunarskeiðinu.

Jarðmyndanir frá ísöld eru að ýmsu leyti frábrugðnar jarðlögum blágrýtismyndunarinnar. Einkenni þessarar myndunar byggjast á tilvist jökulþekjunnar á landinu. Við

gos undir jökli hlöðust upp móbergsfjöll og við rof jökulsins á berggrunninum myndaðist bergmylsla eða jökulruðningur, hvort tveggja til orðið á jökulskeiðunum. Á hlýskieiðum runnu hraun, ár- og vatnaset myndaðist eða sams konar myndanir og eru að verða til á okkar tínum. Jarðmyndun pessi hefur viðast ekki náð þeim péttileika sem einkennir blágrýtismyndunina. Holur og glufur eru þannig oftast ekki fyltar af holufyllingum (zeolitum) en algengt er að silt fylli holrum. Setið er yfirleitt vel samlímmt, a.m.k. þau setlög, sem eru frá eldri hluta myndunarskeiðsins. Móbergið sem hefur afar breytilega samsetningu (stuðluð innskotslög, kubbaberg, bólstraberg, breksía eða brotaberg, túff), er afar misspétt og fyllt og oft á tflum illa samlímmt, eða í stuttu mál:

Ekki vekur undrun manns  
ýmsir þó að kalli  
öskuhauga Andskotans  
undir þessu fjalli.

Jón Ógmundsson

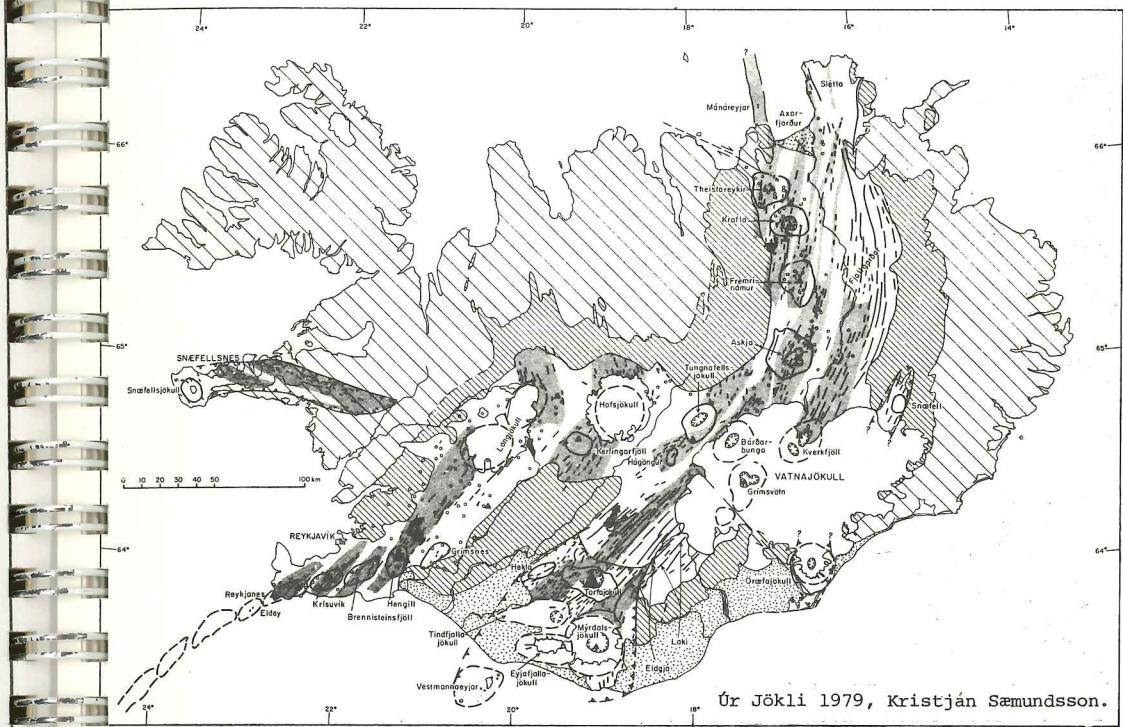
Jarðmyndanir sem hlöðust upp á s.l. 10-20 þúsund árum hafa einkum verið kenndar við þann tíma sem þær urðu til á, oft nefndar nútíma- og síðjökultímaskeiðsmyndanir eða myndun. Nútími spannar s.l. 10 þús. ár en síðjökultímadýndun spannar það millibilsástand, meðan jökull var að hopa en áður en nútími gekk í garð. Síðjökultímadýnduninni tilheyrir sá jökulruðningur sem þekur mestan hluta landsins að meira eða minna leyti svo og ýmis konar vatna- og árset, yfirleitt siltríkt efni, laust eða illa samlímmt. A þessum tíma urðu að sjálfssögðu eldgos sem mynduðu móberg en jökulruðningur er einkennisafurð síðjökultímans.

ÍSLAND Jarðsaga og jarðlagalýsing í hnoťskurn

TAFLA 1

## **Alleiki og samlím**

- 9 -



MYND I

## JARÐFRÆÐIKORT – SKÝRINGAR

- |  |   |  |                               |
|--|---|--|-------------------------------|
|  | GOSBELTI (<0,7 milljón ára).  |  | SIGKETILL/ASKJA               |
|  | Jarðlög, einkum hráun og móberg, frá nútíma og síðkvarter (móbergssmyndunum). |  | ELDVIRKNISPRUNGA, DYNGSUHRAUN |
|  | BERGGRUNNUR FRÁ KVARTER (0,7-3,0 milljón ára).                                |  | SPRUNGSVEIMUR                 |
|  | Jarðlög, einkum hráun, frá árkvarter (grágrýtismyndun).                       |  | VIXLGENGIS-/SNIDGENGISLÍNA    |
|  | BERGGRUNNUR FRÁ TERTIER (3-15 milljón ára).                                   |  | HLIDARGLIBDUNARARBEITI        |
|  | Jarðlög, einkum hráunlög, frá síðertítier.                                    |  | HÁHITASVÉÐI                   |
|  | AURAR, SANDAR OG HRAUN  |  |                               |
|  | MEGINELSTÖÐ/ELDKEILA  |  |                               |

### 3 SÝNATAKA OG UPPLÝSINGASÖFNUN

#### 3.1 Sýnataka

Reglubundinni svarfsýnatöku var komið á snemma á sjöunda áratugnum eins og getið var um í inngangi. Í fyrstu prófuðu menn sig áfram hvernig eðlilegast væri að standa að söfnun sýna. Niðurstaðan varð sú, að taka sýni á tveggja metra fresti niður holurnar, að jafnaði á sléttum tölum. Við sérstakar aðstæður eru sýni tekin þéttar, þá venjulega að ósk jarðfræðings, sem hefur umsjón með viðkomandi verki. Erlendis er sýnataka framkvæmd á sambærilegan hátt og þar er talað um priggja metra hámarksbil milli sýna, en algengast er að taka þau á eins til tveggja metra fresti.

Við söfnunina eru venjulega notuð svokölluð hveitisigti. Sigtíð er sett undir skolvatnsbununa eða við endann á hristisigtum, þar sem það á við, og safnar í sig svarfi, en hleypir vatni og því alfinasta af svarfinu í gegn. Sýnum er síðan komið fyrir í 100 ml velmerktum plastdósum.

Aðstæður til söfnunar svarfsýna eru misjafnar eftir borunum. Bestar eru þær á Jötni og Gufubor, þar sem frárennslí holunnar liggar inn í dælukarið og svarfið og borvökvinna er skilinn að á hristisigt, og er svarfsýnum safnað þar. Á öðrum borum er útbúnaðurinn pannig, að frárennslí holunnar, þar sem skolvökvinna rennur eftir, liggar venjulega út af borplani í svarfþró eða nærliggjandi skurð. Ef söfnunaraðstæður eru slæmar við frárennslisendann, þá eru sýnum safnað við holustút. Í þeim tilfellum, þegar loft er notað við borun, þá er sýnum safnað neðan við pakkdós, sem svarfið þeytist upp í meðan á borun stendur.

Prátt fyrir mismunandi söfnunaraðstæður geta sýni verið jafngöð, ef þau eru samviskusamlega tekin.

#### 3.2 Merkingar á umbúðum sýna

Sú hefð hefur komist á í gegnum árin, að merkja sýnadósir á eftirfarandi hátt: Staður, holunúmer, holudýpi, dagsetning og tími, og stundum er bortækið einnig skráð. Í seinni tfö hefur verið bætt inn í tveimur bökstöfum fyrir framan holunúmerið og eru það upphafsstafir staðarins og bortækis, er þá staðarnafnið fellt niður. Sem dæmi um slika merkingu má taka holu sem Jötunn hefur borað í Kröflu: KJ-21, 1200m, kl. 18:35, 9.09.1982. Þetta er ágæt aðferð við að merkja sýni frá stærrri vinnslusvænum eins og t.d. Kröflu, Reykjavík og Svartsengi, en á sýni frá smærri stöðum, sem ekki eru eins vel pekkir, er öruggara að skrifa nafn staðarins fullum stöfum. Ef sýni eru illa merkt, þannig að vafi leikur á hvaðan þau eru eða af hvaða dýpi þau eru, þá eru þau ónothæf.

#### 3.3 Gagnasöfnun og skráning

Skrifinnska og skráning hefur oft í daglegu tali neikvæða merkingu. Talað er um að pappírsflöðið sé að kæfa allt og alla, og ekki sé annað gert við hina mismunandi pappíra, en að raða þeim í margbreytilegar möppur. Sú er ekki raunin í þessu tilfelli heldur eru allar þær upplýsingar sem koma frá borstað notaðar við úrvinnslu. Dæmi þar að lútandi er sýnt á mynd 2, þar sem jarðlagasnið, borhraði, halli frá lóðréttu, dæling, prýstingur, hitastig niður og upp og mismunahiti eru sýnd samhliða. Margar upplýsinganna eru þess eðlis, að þær fást aðeins meðan á borun stendur og þar af leiðandi þarf að skrá þær skipulega. Skrá þarf upplýsingar um eftirfarandi atriði:

1. Dæling
  - a) Notast við útreikninga á skolhraða í holu.
  - b) Mikilvægt til að bera saman við prýsting á dælum.
2. Prýstingur
  - a) Mikilvægur til að bera megi saman við magn skolvökva.
  - b) Prýstingslækkun getur þýtt annað hvort að eða hafi verið skorin eða gat hafi komið á stöng.

- c) Prýstingshækjun getur þýtt að hrunið hafi að borstreng.
3. Breytingar á skoli
- Aukning á skoli þýðir að æð hefur verið skorin og að yfirþrýstingur er á henni.
  - Minnun á skoli þýðir að æð hefur verið skorin og undirþrýstingur er á henni.
  - Einnig er petta nauðsynlegt til að áætla hvar breytingar eru á skolhraða í holunni.
4. Skolvöki
- Hvort borað er með vatni eða gelí.
5. Hitastigsbreytingar á skolvökva
- Geta sagt til um þegar snöggar breytingar verða á berghita.
  - Gefu til kynna hvort æðar hafa verið skornar (sér í lagi á svæðum með yfirþrýstingi).
6. Litur á skolvökva
- Getur gefið til kynna hvers konar jarðmyndanir var borað í.
7. Borhraði
- Gefur sterkelega til kynna jarðlagabreytingar, jarðög jafnt sem jarðlagaskil
  - Nauðsynlegt hjálpar gagn við gerð jarðlagasniðs.
  - Hjálpar til við val á réttri krónugerð á mismunandi svæðum.
8. Pungi á krónu (álag)
- Nauðsynlegt hjálpar gagn við gerð jarðlagasniðs.
  - Nauðsynlegt til að bera saman borhraða frá mismunandi holum.
9. Snúningshraði krónu
- Nauðsynlegt að pekkja þegar meta á borhraðabreytingar frá einni holu til annarrar.
10. Stærð og gerð krónu
- Stærð krónu til að vita rúmtak holunnar.

- b) Krónugerð skiptir miklu málí þegar borinn er saman borhraði úr svipuðum jarðlögum.
- c) Harka jarðlaga á að ráða hvaða gerð af krónu er notuð (sjá töflu 2)
11. Fööringar
- Vídd fööringar segir til um rúmtak hennar.
  - Dýpi fööringar og hvernig hún var steypt.
  - Fööring útilokar blöndun á svarfi milli fööraða hlutans og þess ófööraða. Kemur í veg fyrir blöndun á yfirborðsvatni og jarðhitavökvanum, sem á að nýta, eða blöndun á milli jarðhitakerfa.
  - Einnig getur fööringardýpi stjórnast af vantanlegum niðurdrætti á vinnslusvæti (djúpdælur í holum á lághitasvæðum) og vantanlegum toppþrýstingi (háhitasvæði).
  - Fööringar eru stundum notaðar til að fööra af hrungjörn jarðlög.
12. Uppbygging á borstreng
- Segir til um rúmmálsbreytingar í holunni meðan á borun stendur og þá um leið skolhraða meðfram borstrengnum.
  - Staðsetning "rýmara" getur bent á þá staði í holunni, þar sem "ðæskilegt" svarf kemur frá, og er þá átt við blöndun í svarfsýnum.
  - Getur gefið til kynna hvort hola hallar eður ei.
13. Tafir meðan á borun stendur
- Hér er aðallega átt við minniháttar tafir. Ef peirra er ekki getið þar sem "Geograph" er ekki til staðar, þá geta komið skekkjur eða eyður í jarðlagasniði.
  - Hrun og steypingar meðan á borun stendur.
14. Dýpi.
- Mikilvægt er að þessi gögn séu aðgengileg strax að lokinni borun. Ef ekkert þessara atriða væri skráð niður, þá væri aðeins hægt að afla upplýsinga um dýpstu fööringu og

e.t.v. dýpi og stærð krónu, með því að mæla holuna. Annað væru glataðar upplýsingar.

Borarnir eru misvel útbúnir tækjum til þess að gagnaskráning sé sambærileg yfir alla línum. Ennfremur eru eyðublöð fyrir borskýrslur hjá Jötni og Gufubor ekki hin sömu og hjá minni borunum eins og Narfi (Failing), Glumur (Wabco) og Ýmir (Mayhew) eru oft nefndir einu nafni. Jötunn og Gufubor eru betur í stakk búnað en aðrir borar hvað varðar skráningu á upplýsingum. Bæðir voru útbúnir síritum "Geograph" þegar þeir komu til landsins. Síritarnir eru af sömu gerð og skrá niður borhraða með því að skrifa út á 25 sm fresti, álag á krónu, heildarpunga borstrengs, dæluþrýsting og einnig er metrateljari tengdur síritanum og skrá bormenn alltaf dýpið á síritablaðið, þegar sýni eru tekin. Margar fleiri upplýsingar hafa verið skráðar á síritablaðum eins og breytingar á skoli prátt fyrir að það sé skráð niður annars staðar og einnig hafa sumir borarnir haft pá reglu að fára inn á síritablaðið við stangaribætingar lengdina á borstrengnum, en sérhver stöng er mæld upp áður en hún fer ofan í holuna. Allt er þetta vel séð. Fljóttlega eftir að síritarnir höfu störf sín á borunum gáfu bormenn þeim nafnið kjaftakerling. Augljóst er hvað liggur að baki nafngiftinni þar sem mikil af upplýsingum verkdagsins söfnuðust saman á blaðstrímil síritans. Shemma ársins 1980 var unnið við að setja upp sírita á Gufubor, sem skráir eftirfarandi þatti: Hitastig niður, hitastig upp, þrýsting á dælum, magn skolvökva, sem kemur upp og fjölda slaga á minútu á dælum. Upphaflega var síritinn keyptur á Jötunn, en var settur á Gufubor. Til þess að vega upp á móti tækismissinum hefur reglubundinni skráningu á áður upptöldum þáttum verið komið upp á Jötni. Þeir eru skráðir á fjögurra tíma fresti meðan á borun stendur.

Best væri að hafa alla borana útbúna hliðstæðum tækjum og eru á Gufubor og Jötni. Það kostar að sjálfsögðu peninga að eignast þau, en það hlýtur að vera þess virði. Almennt má ætla að menn geti betur gert sér grein fyrir gangi borunar með slikan tækjabúnað sér við hlið.

Á minni borunum hefur skapast ákveðin hefð í skráningu gagna. Tvenns konar skráningarblöð eru par í brúkun. Annars vegar borskýrsla og hins vegar eyðublað fyrir borhraða og svarftöku. Á borskýrslu eru verkþættir sundurliðaðir, aðkeypt vinna og þjónusta, tímaskriftir bormanna og svo koma lýsingar á gangi borunar. Í lýsingu á gangi borunar er tiltekið hvort berg var hart eða lint, heillegt eða sprungið, hvernig litar var á skoli, í seinni tið hitastigsbreytingar á skoli, sem kemur upp og allar uppákomur, sem verða meðan á borverkinu stendur. Allar þessar upplýsingar eru þarfar, en spurningin er sú hvort ekki sé betra að skrá það sem lýtur að jarðögum á sama eyðublað og borhraða og svarftöku, sem þarf þá að taka einhverjum breytingum. Uppsetning borhraða- og svarftöku-eyðublaðsins byggist á því að skrá dýpi á tveggja metra fresti, þ.e. þegar sýni eru tekin, og skrá tímana, sem það tekur, auk tafa sem verða í borun. Út frá þeim gögnum er borhraði reiknaður yfir tveggja metra bil. Einneig er skráð álag á krónu, dæling og stærð krónu. Varðandi skráningu sem þessa kemur mannlégi þátturinn alltaf inn í myndina og er þá átt við að menn eru misjafnlega upplagðir til þessara verka sem annarra. Skráning með sírita er aftur á móti alltaf sjálfri sér samkvæm meðan tækin ganga eðlilega. Í viðauka I hér á eftir eru sýnishorn af þeim eyðublöðum, sem notuð eru við jarðhitaboranir há JBR. Þar eru meðal annars eyðublöð yfir fóðringar og endingu borkróna, sem stærri borarnir virðast einhverra hluta vegna eingöngu nota.

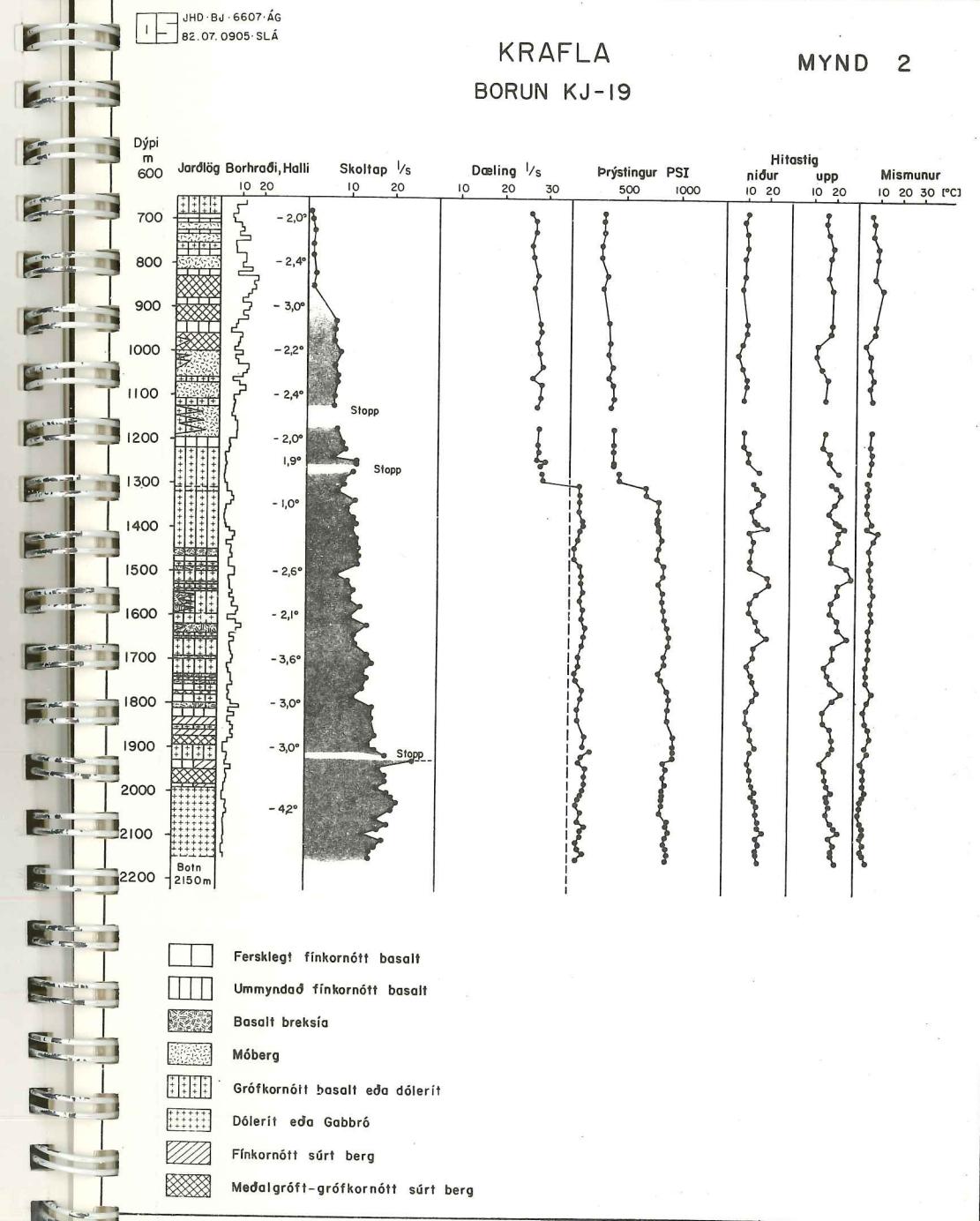
Fram að þessu hefur verið misbrestur á því að kynna fyrir bormönnum til hvers og hvernig gögnin eru notuð sem þeir hafa að atvinnu að safna. Einneig er mjög misjafnt hverja þjónustu hin aðskiljanlegu jarðhitasvæði fá. Á sumum stöðum eins og í Kröflu er fast starfslið JHD á staðnum meðan á borframkvæmdum stendur. Á önnur svæði kemur viðkomandi verkefnistjóri eða umsjónarmaður við og við og til eru þau svæði, sem lítið eða ekkert fréttist af fyrr en að framkvæmdum afstöðnum. Borun verður að teljast til meiriháttar framkvæmda. Í flestum tilvikum eru háar fjárhæðir lagðar í mannvirkni sem þessi og því skýlaus krafa verkkaupa að fylgst verði með þeim sómasamlega.

### 3.4 Skolun á svarfi úr borholum.

Við borun getur skipt miklu máli að halda magni skolvökva, sem dælt er niður innan ákveðinna marka. Það er þeð orkusparandi (minni dæling þarf á minni olíu að halda) og holubætandi. Of mikið skol getur valdið óþarfa útvöskun úr holuveggjum, sem síðar getur leitt af sér ákveðin vandamál áður en borun er lokið. Dæmi um slik óþegindi er þegar borað er í linum jaröögum, en síðan farið í gegnum hörð pynnri lög og síðan aftur í linara berg. Þá geta jarööginn auðveldlega vaskast út ofan og neðan við harða lagið og skagar það þá eitt og óstutt inn í holuna. Seinna meir gæti það brotnað fyrirvara laust og hrunið inn í holuna að borstreng og fest hann. Ef skolmagn er of lítið þá er hættá á því að svarfið skolist ekki nægilega vel upp úr holu. Við þess háttar aðstæður getur svarf fallið að krónu og álagsstöngum við stangarþætingu eða við hvers konar óhöpp og getur þannig fest borstrenginn. Þegar vatn er notað til að skola upp úr holu eru tveir þættir, sem aðallega þarf að taka tillit til, þ.e. skolhraði og fallhraði borsvarfsins. Skolhraði er háður holuvídd, þvermáli borstrengs og skolmagni. Fallhraði svarfsins er einkum háður stærð og lögun kornanna, en eðlisþyngd skiptir hér litlu máli, þar sem eðlisþyngdarmunur á íslensku bergi er tiltölulega lítill.

Ef gel er notað til skolunar þá skiptir fallhraði minna máli. Í viðauka II er fjallað um fallhraðamælingar á svarfi og sýnd nokkur línlurit af skolhraða fyrir mismunandi holuvíddir og mismunandi þvermál borstrengs.

Allar minniháttar breytingar í holum hafa áhrif á svarfskolunina upp til yfirborðsins. En hegðun svarfskolunar má líkja við rennsli í ám, með tilheyrandi lygnum og straumköstum.



## BORKRÓNUGERÐIR

### Karbið tippaðar

### Stáltanna

IADC CODE	REED	HUGHES	SECURITY	SMITH	IADC CODE	REED	HUGHES	SECURITY	SMITH
<b>LINT</b>									
435	--	X11	--	--	111	Y11	OCS3A	S3S	DS
437	--	J11	--	--	114	S11	X3A	S3S	SDS
515	--	X22	S84	2JS	115	--	S3SG	--	
517	FP51A	J22	S84F	F2	116	--	J1	S3SF	--
525	S52	--	--	--	118	Y11JD	--	S33D	DJ
.527	FP52	--	--	--	121	--	OSC3	S3	DT
<b>LINT-MEÐALHART</b>									
532	--	HH33	--	--	122	Y12T	--	S3T	DTT
535	SS3	X33	--	--	123	S12	--	S33	SDT
537	FP53/FP53A	J33	S86F	F3	124	FP12	J2	S3DF	BHD
542	--	--	S8JA	--	128	--	OSCIG	S4	DG
545	--	--	S88	--	131	Y13	--	S4T	DGT
547	--	--	S88F	--	133	Y13T/Y13G	S13	--	SDG
612	--	HH44	--	--	134	FP13	S13G	--	SDGH
615	--	X44	--	--	135	--	J3	S44F	FDG
617	FP62	J44	M84F	F4/F45	136	--	JD3	--	--
622	Y62JA/Y62B JA	--	M88A	5JA	137	--	--	--	--
625	S62	--	--	4JS					
627	FP62B/FP62X	J44C/J55R	M88F/M89TF	F5					
<b>MEÐALHART-HART</b>									
632	Y63JA	HH55	--	--	211	Y21	OWV/W4	M4N	V2
635	S63	--	--	--	212	M	--	--	V2H
637	FP63	J55	M89F	F47/F57	213	Y21G	--	M44N	SV
<b>HART</b>									
717	--	--	--	--	214	S21	--	M44NG	SVH
722	--	--	--	--	215	S21G	--	M44NG	SVH
725	S72	--	--	--	216	FP21	J4	M44NF	--
727	FP72	--	--	--	217	--	JD4	--	--
732	Y73JA	HH77	--	--	221	Y22R	WO	M4	--
737	FP73	J77	HH4F	--	231	--	--	M4L	--
739	Y73 RAP	--	--	--	233	--	--	--	T2H
742	--	HHJA	--	--	234	S23	--	M44L	ST2
745	--	HH8	--	--	235	S23G	--	--	--
747	FP74	HH8F	--	--	236	--	--	M44LF	--
<b>MEÐALHART-HART</b>									
812	--	HH88	HH9A	--	311	Y31	W7/W7C	H7	L4
815	--	HH9	HH9F	--	312	H	--	--	
817	--	--	--	--	313	Y31G	--	H7T	L4H
832	Y83JA	HH99	H10JA	9JA	314	--	--	H77	SL4
835	SR3	--	H100	--	315	S31G	--	--	SLAH
837	FP83	J99	H100F	F9	316	J7	H77F	--	
<b>MEÐALHART-HART</b>									
317	FP31G	--	--	--	319	Y31 RAP	--	--	--
321	--	W7R2	--	--	329	Y32 RAP	--	--	--
332	HR	--	--	--	333	--	H7SG	--	--
335	--	--	H77SG	--	344	--	H77C	--	--
346	--	J8	H77CF	--	347	JD8	--	--	--

### PÝÐING MERKJA

Krónugerðir

Hughes Reed Security Smith

Tanna ósmurðar			Y	
" smurðar	X	S	S	
" styrktar á jöðrum	T	T	T	
Tippaðar m/kúlulegum	S	(8)S		
" m/journallegum	J	FP	(8)F	F
" styrktar á jöðrum	D	G	H	
Skolstútor "JET"	J		J	

### 4 ÚRVINNSLA

Ákveðin þróun hefur átt sér stað í gegnum árin við greiningu svarfsýna. Eftir að reglugundin svarfsöfnun hófst frá borum við jarðhitaleit þá var svarfið í fyrstu greint á borstað. Sýnin voru meðhöndluð á þann hátt, að óhreinindum var skolað burt með vatni og sýnin síðan greind. Venjulega voru þau "blautgreind" eins og það er kallað þegar sýni eru umflotin vatni meðan á greiningu stendur, en það gefur skýrara endurkast ljóssins frá svarfkornunum heldur en varu þau purr. Seinna meir færðist úrvinnslan meira frá borstað inn á rannsóknarstofu JHD í Reykjavík. Íöulega leiðir ein breyting af sér aðra og þannig var það við svarfsgreininguna. Þessi tilfærsla leiddi af sér breytingu á meðhöndlun sýna fyrir greiningu. Sýni var skipt upp í two hluta. Annar hlutinn var þurrkaður og komið fyrir í geymslu, sem má líta á sem nokkurs konar forðabúr. Hinn hlutinn var þveginn, þurrkaður og límdur upp að hluta á þar til gerð svarfspjöld til skoðunar. Svarfið var síðan greint á svarfspjöldum og dósirnar hafðar til hliðsjónar. Við svarfpvottinn, þegar svarf er undirbúið til skoðunar þarf að varast að skola of miklu af finnasta hlutanum burtu. Mikil hætta er á að ýmsar ummyndunarsteindir skolist burt. Leirinn skolast aðveldlega burt svo og þráðöttar ummyndunarsteindir.

Frá og með árinu 1976 færðist svarfsgreining aftur að hluta til út á borstað. Þá var horfið til upphafsins og svarfið blautgreint á ný. Sá háttur hefur síðan að mestu verið viðhafður fram á daginn í dag þátti á borstað og í rannsóknarstofu JHD í Reykjavík. Kostir svarfsgreiningar á borstað eru margþættir. Fyrst ber að telja bráðabirgðajarðlagasnið, sem unnið er samhliða borun og auðveldar þar af leiðandi ákværðanir um framhald á borverki. Má þar nefna, að algengt er að holar á lághitasvæðum eru staðsettar út frá ákveðnum yfirborðsummerkjum svo sem göngum og/eða misgengjum og er ætluð að skera þau á fyrirfram ákveðnu dýpi. Svarfgeining getur í flestum tilfellum sagt af eða á um hvort viðkomandi hola hafi skorið það sem henni var ætlað. Á

háhitasvæsum hafa fðöringardýpi og endanlegt dýpi holu verið ákveðnir útfrá svarfgreiningu á borstað. Ennfremur getur jarðlagasnið af nýlokinni holu haft áhrif á hvar næsta hola verður boruð, þegar um er að ræða fleiri en einn möguleika, sem á að koma í beinu framhaldi af síðasta borverki.

Kjarnaborun eða kjarnataka vegna borana eftir heitu vatni eða gufu hefur verið hverfandi í seinni tið, en samt er ástæða til að fjalla frekar um pann þátt. Svarfgreining er einungis góð nálgun á þeim upplýsingum sem fá má með rannsókn á borkjarna. Kjarnataka og kjarnaborun er talsvert kostnaðarsamari en mulningsborun, en í kjarna eru geymdar upplýsingar, sem aldrei fást með svarfi og má segja að það sé kjarni málssins. Hér á eftir eru tekin upp nokkur atriði sem mæla með kjarnaborun eða kjarnatöku:

1. Jarðlagasnið
  - a) Samanburður á kjarna og svarfi
  - b) Gefur góðar hugmyndir um lagamót og sprungur eða sprungukerfi.
2. Eiginleikar bergsins
  - a) Gropu (porositet): Það gefur ákveðna hugmynd um vatnsinnihald bergsins t.d. miðað við ákveðið rúmmál. Einnig er það hjálplegt við kvörðun á nifteind-nifteind mælingu.
  - b) Vatnsleiðni
  - c) Hitaleiðni.
  - d) Rafleiðni: Hún gefur góða möguleika á bættri túlkun viðnámsmælinga í borholum.
  - e) Eðlispyngd: Hún hjálpar við kvörðun og túlkun á gamma-gamma mælingum í borholum. Ennfremur er hún gagnleg við bergfræðiathuganir.
  - f) Steindasamfélag bergsins: Bergfræðileg uppygging p.e. steindasamfélag, niðurröðun steinda (textúr) og breytingar innan ákveðinna berggerða.
  - g) Ummundun bergsins: Hvaða ummyndunarsteindir finnast í bergi og sprungum. Innbyrðis afstaða ummyndunarsteinda og hvort þær eru í

efnavarmafræðilegu jafnvægi við þann vökva, sem þær.

- h) Efnasamsetning: Hér er um að ræða umfangsmesta þáttinn í þessari upptalningu og eru möguleikar á örvinnslu nánast ótakmarkaðir. Það sem skiptir höfuðmáli er heildarefnasamsetning bergsins og auk þess efnasamsetning frumsteinda og ummyndunarsteinda. Reynt verður að takmarka sig við aðalefni og ákveðin sporefni. Einnig er þetta mjög gagnlegt við kvörðun og túlkun á gamma-mælingum í borholum.
- i) Styrkleikaprófun á bergi: Hún gefur betri mynd af jarðlögum með tilliti til borhraða. Prátt fyrir að kjarnaholur séu kostnaðarsamari en mulningsholur, þá verður að teljast eðlilegt, að við upphaf rannsókna á vantanlegu vinnslusvæði verði boraðar ein til tvær kjarnaholur. Á það síðar meir að auka áreiðanleika svarfgreiningar og túlkunarmöguleika borholumælinga.

#### 4.1 Svarfgreining og jarðlagasnið

Greining á svarfi byggist á því, að flokka bergbrotin niður eftir ákveðnu flokkunarkerfi. Annars vegar er flokkað niður í berggerðir og útbúið jarðlagasnið. Hins vegar er flokkað niður eftir ummyndunarsteindum og báð til ummyndunarsnið. Bergtegundaflokkunin byggist á eftifarandi:

- I. Storkuberg
  1. Kristallagerð
  2. Kristöllunarstig
  3. Stærð kristalla og innbyrðis afstaða peirra
  4. Ferskleiki og/eða ummyndunarstig frumeinda bergsins.
- II. Setberg
  1. Stærð setkorna
  2. Lögun og gerð
  3. Litur

Flokkun ummyndunarsteinda byggist á kristalformi hinna

mismunandi steinda. Frumgreining svarfs er byggð á ofangreindum þáttum, en þegar vafaatriði koma upp på þurfa sýnin frekari meðhöndlun. Í fyrsta lagi eru gerðar punnsneiðar þ.e. svarfið er steypt í kubba, sem síðan eru límdir niður á glerplótu og slípaðir niður í 10-40 mikrón. Í punnsneiðum eru skoðaðir ljóseiginleikar mismunandi kristalla, ókristallaðra efna og hvernig niðurröðun mismunandi steinda er innan viðkomandi bergetgundar. Í öðru lagi eru sýni efnagreind. Í priðja lagi eru ummyndunarsteindir greindar nákvæmlega í röntgentækjum með svo kallaðri "x-ray diffraction" (XRD) aðferð. Enn fleiri athuganir hafa verið gerðar og eru gerðar, en pessar hér að ofan eru þær algengustu.

Þegar unnið er við svarfgreiningu þarf að taka tillit til allra þeirra þáttta, sem hafa áhrif á svarfið frá holubotni að sýnatökustað. Bergið getur brotnað mismunandi gróft undan krónunni og berst þar af leiðandi mishratt með skolvatninu. Við útvíkkanir (skápa) í holu og við sörar er viss hætta á blöndun svarfs af mismunandi dýpi. Eðlilegast er því að halda sig við ákveðna kornastærð, þegar svarfið er greint, en rétt er að geta þess hvort grófara eða finna svarf er með og hvaðan það gæti verið ættæð. Á þann hætt má smá saman átta sig á blöndunarhlutföllum í sýnum. Eins og áður hefur verið getið er fjallað um fallhraðamælingar í viðauka II.

Myndir 3 og 4 sýnir borholur með mismunandi eðliseiginleikum. Á mynd 3 sést hvernig skolvatnið í hringsinni minnkar á leið sinni til yfirborðs og hvernig flutningsgeta þess minnkar að sama skapi. Mynd 4 sýnir hins vegar skolvatnsaukningu. Stærð örvana á myndunum sýna magnbreytingar á skoli.

Með pessar myndir í huga og aðra hugsanlega áhrifavalda á blöndun svarfs, má leggja grunn að uppbyggingu jarðlagasniðs. Og til þess að fullvinna jarðlagasnið þurfa eftirtalin atriði að vera pekkt:

1. Svarfgreining
2. Skolhraði (holuvíðd, þvermál á borstreng og skolmagn)
3. Skoltöp eða skolaukning
4. Fallhraði svarfkorna
5. Borhraði
6. Snúningshraði borkrónu
7. Stærð og gerð krónu

Í flest öllum tilfellum er lítið um eyður í jarðlagasniðum, þegar tveggja metra söfnunarreglan er viðhöfð. Þó getur verið misbrestur þar á. Á mynd 5 er sýndur hluti af síritablaði úr "Geograph" og koma þar fram skarpar breytingar í borhraða. Ef það tekur svarfið 40 mínútur að skolast undan krónu að sýnatökustað, þá tapast allur lini kaflinn, sem sést á síritablaðinu. Ef borun er stöðvuð eða er lokið, þá er nauðsynlegt að taka sýni í ákveðinn tíma á eftir, þar til að það, sem síðast var undir krónu áður en stöðvað var, er komið upp á yfirborð.

Jarðlagasnið er venjulega teiknað upp ásamt borhraða, á lagi, stærð og gerð krónu. Það er gert til að auðvelda samanburð milli hola á sama svæði. Í seinni tíð hefur tækjakostur borholumælinga stóraukist. Hluti þessara tækja er notaður við jarðlagamælingar (lithological logs) og er þeim lýst nánar í kaflanum um borholumælingar. Jarðlagamælingarnar, sem hér er átt við, eru viðnám, poruhlut og náttúruleg geislavirkni. Jafnvel mætti einnig flokka víddarmælinguna þar undir. Þessar mælingar hjálpa mjög við gerð jarðlagasniða og auka áreiðanleik þeirra.

Bútar af tveimur jarðlagasniðum frá Kröflu og Hrafnaðili í Eyjafirði eru sýndar á myndum 6 og 7. Jarðlagaskipan svæðanna er mjög ólik eins og sniðin gefa til kynna og jafnframt er mikill aldursmunur á svæðunum. Á Hrafnaðilssvæðinu, sem er tertiert að aldri, er upphleðslan tiltölulega einhæf. Þar skiptast á hraunlög og oftast nær þunn setlög eða kargi, en innskot (gangar) og misgengi flækja iðulega myndina. Borholumælingar og

borhraði gefa oftast ákveðna hugmynd um jarðlagaskipan, en svarfið fyllir síðan upp í myndina og fullmótar hana að því leyti, sem það er hægt. Einnig má örða þetta þannig, að svarfið gefur göða mynd af jarðlagaskipan, sem síðan er fullunnin með hjálp borholumælinga.

Kröflusvæðið er aftur á móti miklu flóknara, jarðfræðilega sér. Það er enn í mótnun eins og eldsumbrot og jarðhræringar gefa vel til kynna. Að sama skapi er fjölbreytileiki jarðlaga þar meiri, þær hvæð varðar efnasamsetningu og upphleðsluform. Innskot eru þar áberandi, sér í lagi þegar neðar dregur og nái að vera allt að 100% af staflanum.

Jarðlagasniðin eru mjög gagnleg til að tengja saman jarðög og vatnsæðar. Nákvæm og vel unnin jarðlagasnið auka mjög líkurnar á að næstu holur, sem boraðar verða í viðkomandi svæði, hitti í mark. Ef fleiri en ein hola er á sama svæði, þá er reynt að útbúa jarðfræðilíkan með því að tengja saman sniðin úr holunum. Dæmi um þetta er Kröflusvæðið. Eftir að fyrstu 11 holurnar höfðu verið boraðar, þá var gert þversnið af jarðögnum i gegnum svæðið útfra fyrirliggjandi gögnum og er það sýnt á mynd 8. Sýndi það ótvíratt fram á gagnsemi svarfúrvinnslunnar.

#### 4.2 Ummyndunarsteindir og ummyndunarsnið

Greining fer fram á þann hátt, að fyrst eru ummyndunarsteindir greindar í svarfi sanhliða gerð jarðlagasniðs. Sú aðferð er mjög háð því hversu auðgreinanlegar ummyndunarsteindir eru. Dæmi:

Pyrit (=brennisteinskís=glópagull) er auðþekkjanlegt vegna kristalforms og lits.

Epidótt er auðþekkjanlegt vegna kristalforms.

Kvars er vel þekkjanlegt vegna kristalforms, en þó má auðveldlega rugla því saman við aðrar steindir. Til að skera úr um allan vafa má nota þynnta saltsýru, því kalsít

freyðir f henni og gefur frá sér koldioxif. Zeðlitar hafa mjög mismunandi kristalform en sumir eru hver öðrum líkir.

Til að bæta greiningar á ummyndunarsteindum eru valin sýni til röntgengreininga. Á þann hátt eru greindar steindir, sem ekki þekktust beint úr svarfi, og jafnframt er skorið úr um vafaatriði. Einnig eru valin sýni til þunnsneiðagerðar. Í þeim er jafnhliða athugað bergerð og ummyndunarstig og eru ummyndunarsteindir greindar optiskt í smjásjá. Ummyndunarsteindir eru merktar inn á ummyndunarsnið með mismunandi táknum, sem sýna á hvern hátt þar voru greindar (sjá mynd 9).

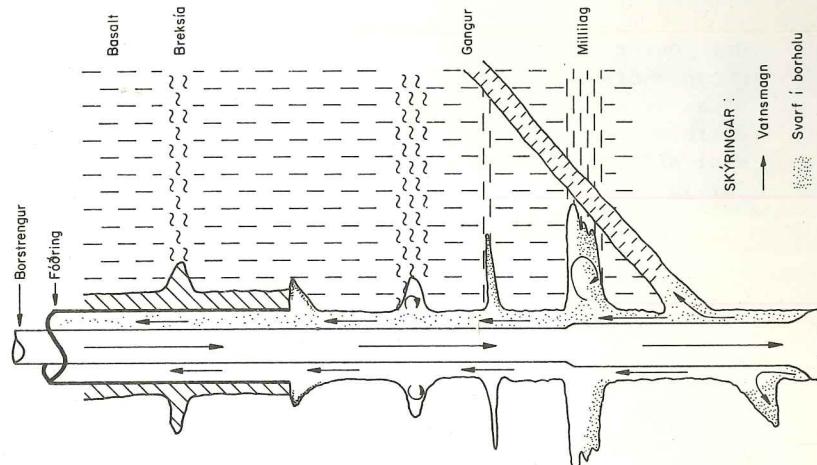
Ummyndunarsnið er sett upp á hefðbundinn hátt, með einföldu jarðlagasniði. Á þann hátt er einfaldast að sjá hvort breytingar í ummyndun eru í beinu sambandi við breytingar í jarðögum eða hvort þar eru einkum háðar dýpi (aukinn hiti og prýstingur). Að lokum er ummyndunarsteindum skipað niður í ummyndunarbelti og er það einkum háð hita. Ákveðnar steindir eru betri en aðrar í þessu tilfelli, þar sem þar eru einkennandi fyrir ákveðinn hitabil og draga ummyndunarbeltin oftast nöfn af þeim. Mynd 9 er einkennandi fyrir háhitavæði, en á lághitavæðum eru mismunandi zeðlitar einkennandi og draga viðkomandi ummyndunarbelti þar nöfn af þeim.

Oft getur verið gott að merkja fðöringardýpi inn á ummyndunarsnið með heildregnum línum og er það gert til að sýna, að engin blöndun geti átt sér stað milli óföðraða og föðraða kafla í holu. Helstu þettir, sem valda blöndun eru: sláttur borstrengs út í holuveggi og útvöskun á linum jarðögum.

Mynd 3

Skoltap og skápatmyndanir í borholu

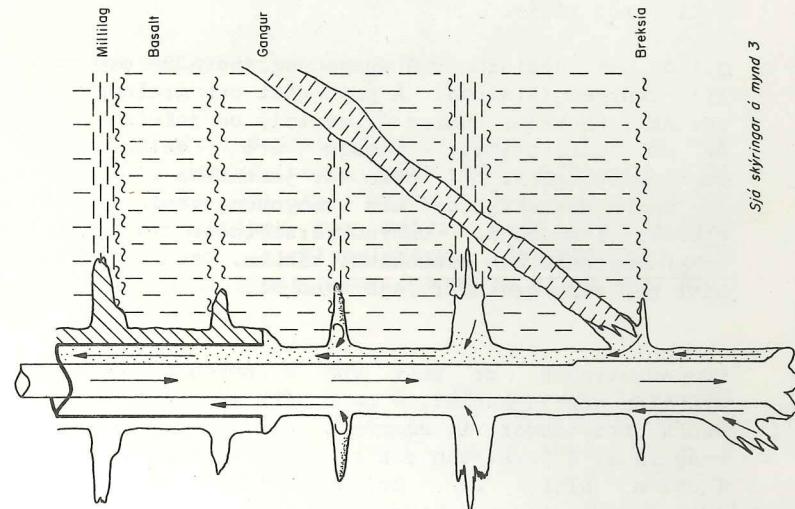
JHD-BJ-9000-ÁG  
82.12.1588 - GSU



Mynd 4

Skolaukning og skápatmyndanir í borholu

JHD-BJ-9000-ÁG  
82.12.1589 - GSU

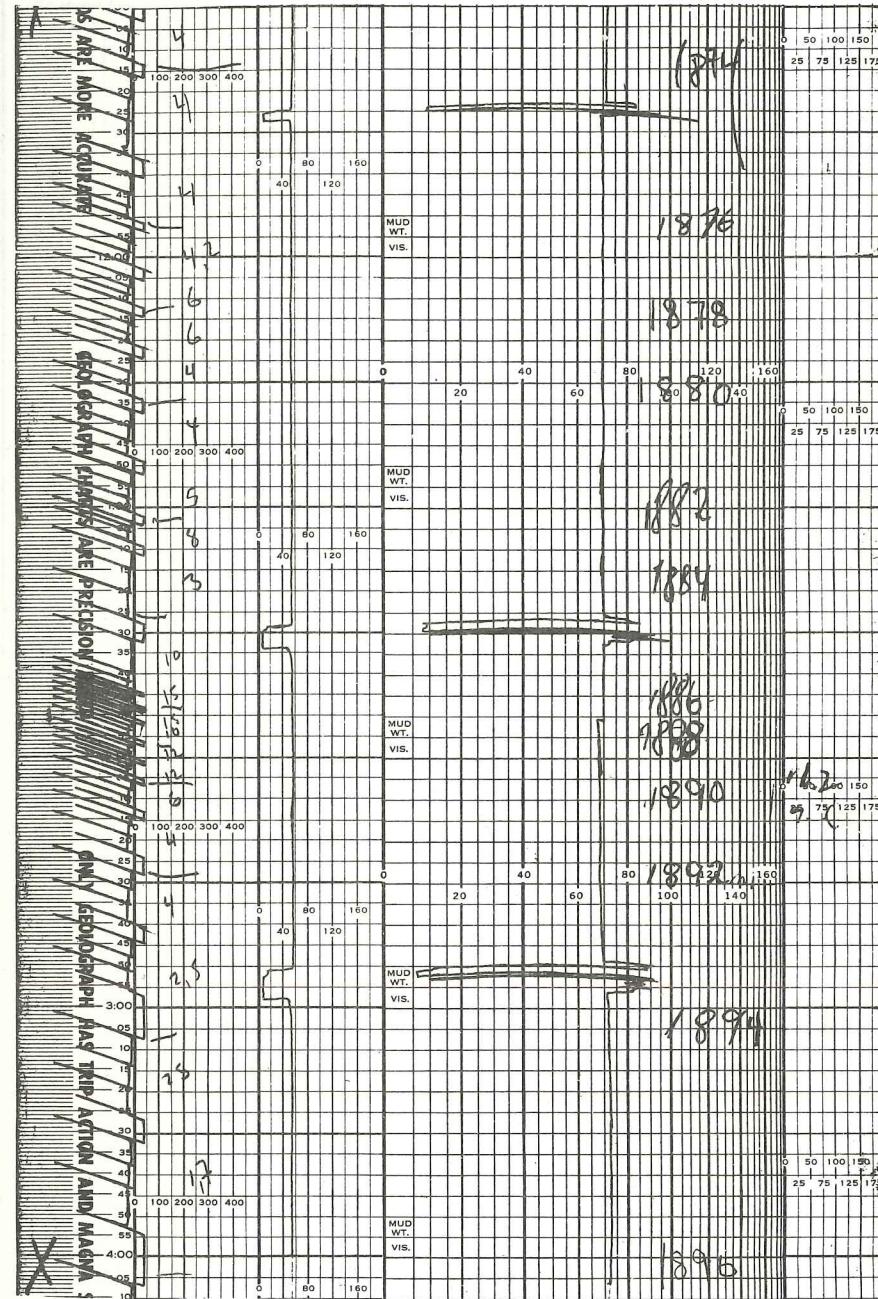


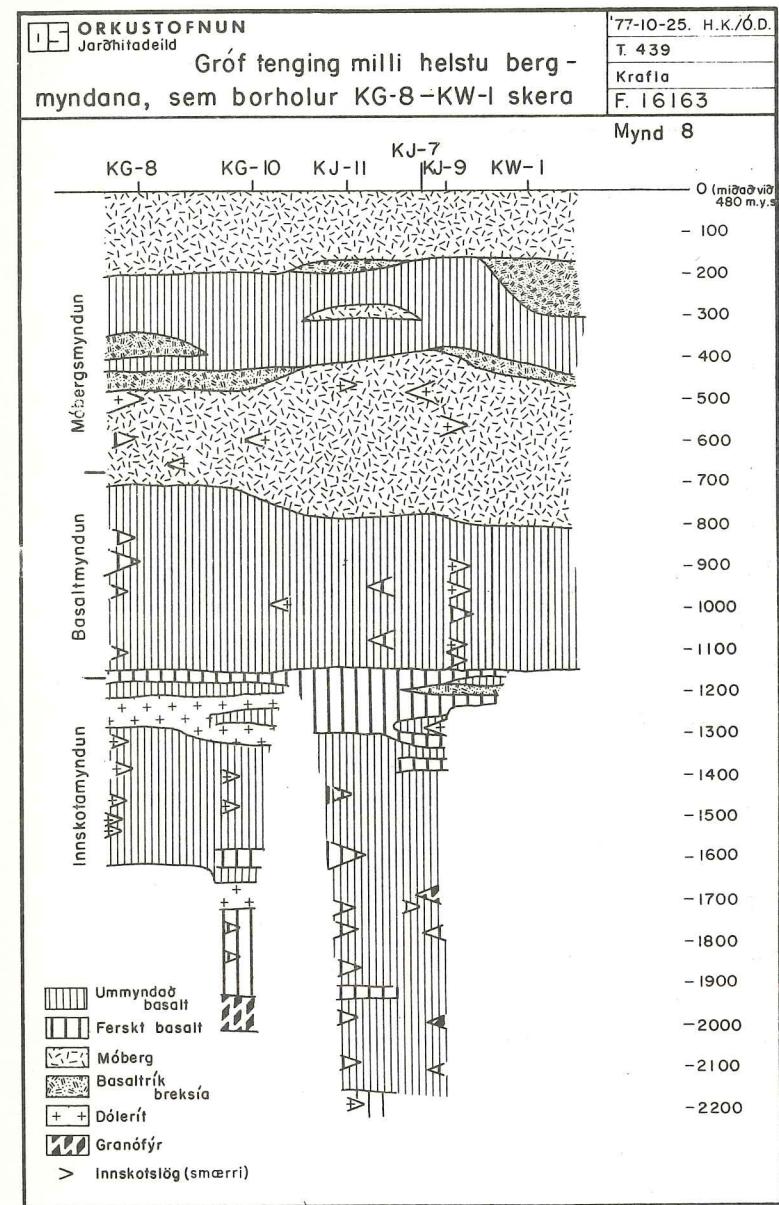
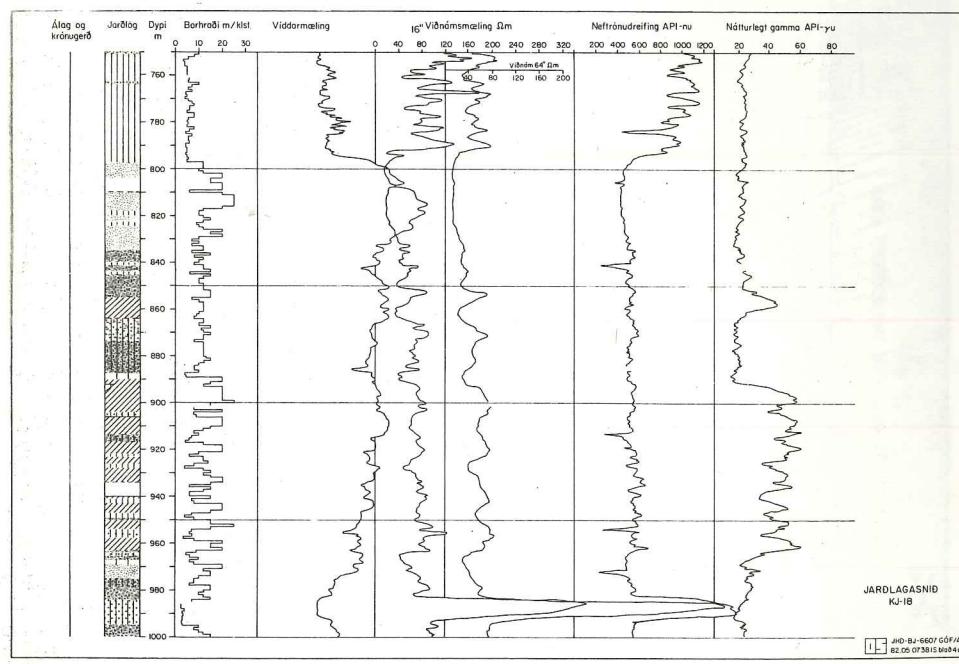
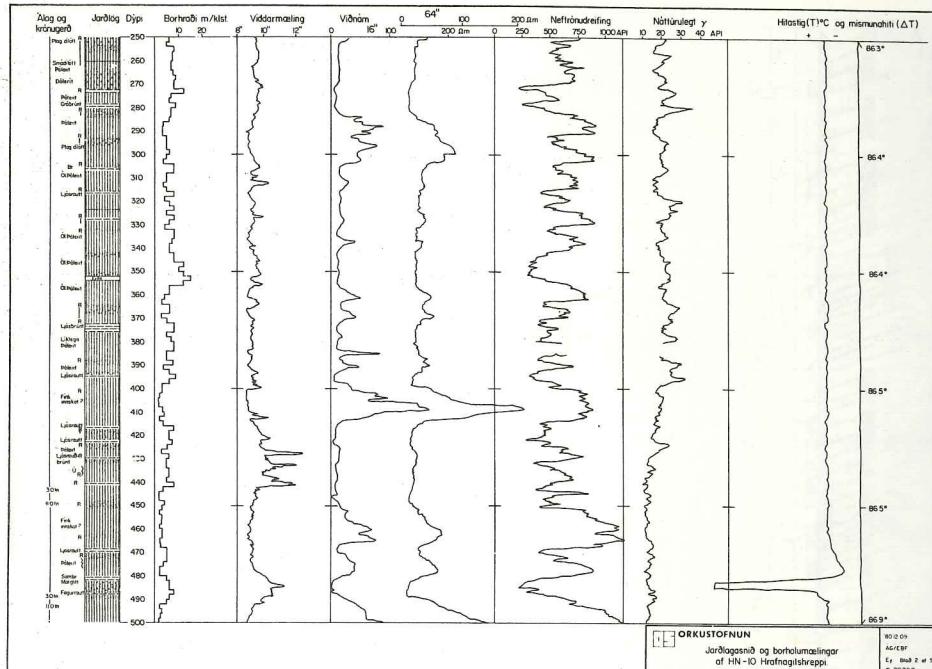
- 26 -

JHD-BJ-9000-ÁG  
83.07.0786

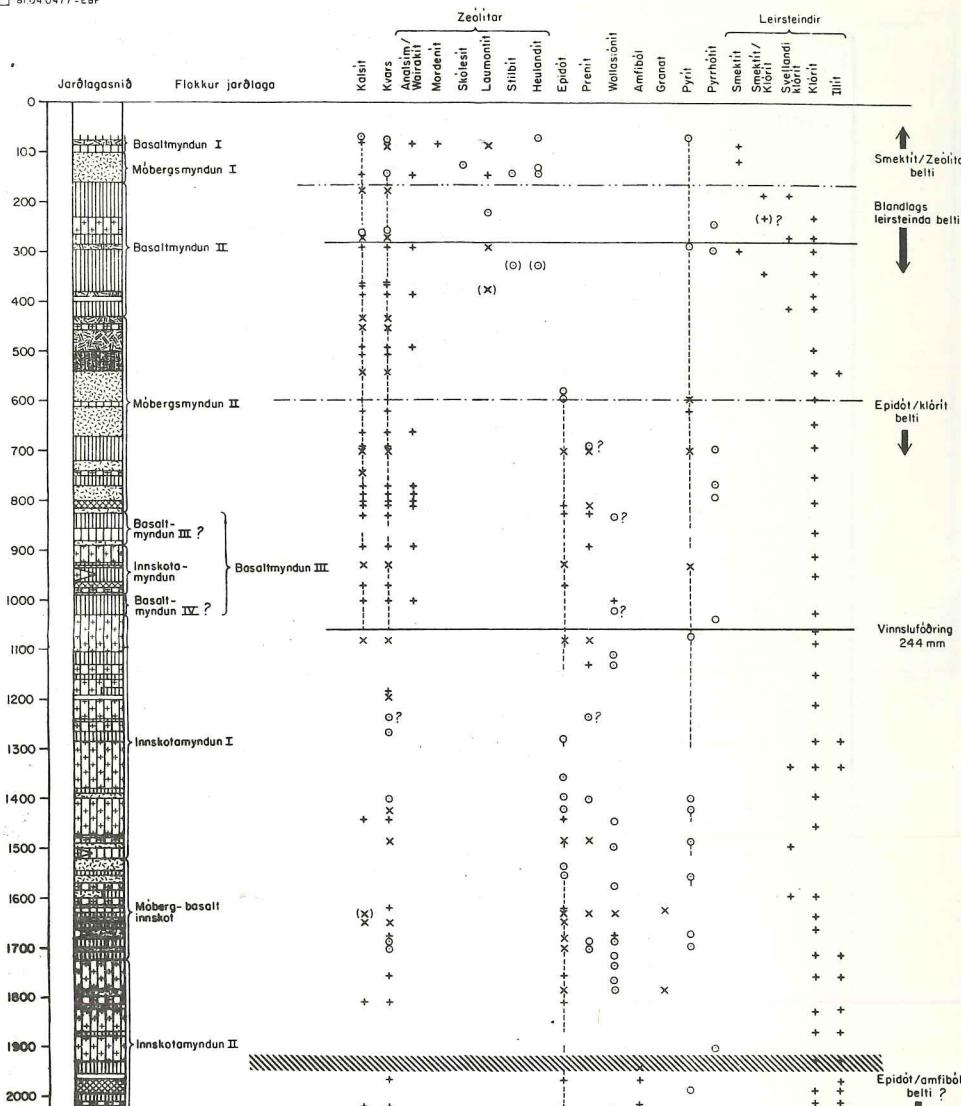
Mynd 5

Síritablað úr "geograph"





JHD-JEF-6607-ÁG  
B104 0477-E8F



SKÝRINGAR

- + XRD greining
- X Greint í þunsneið
- O Grein í svarfi
- | Greini samfelli í svarfi
- Föring frá holutoppi
- Fersklegt basalt
- Ummyndad basalt
- Dolerit innskot
- Glerjóð basalt
- Möberg
- Bosalt breksia
- Isúrt og sürt berg

KRAFLA S-BÍNG.  
Einfaldæð jarðlagasnið og dreifing  
ummyndunarsteinda í KJ-13

Mynd 9

VIÐAUKI I

AÐKE YPT AÐSTÖÐ, EFNI, FLUTN (Hvað?)	SELJANDI (Hver?)	kr

ATHUGASEMDIR	GREIÐIST STARFSMÖNNUM	D	E	N	alla
Dags.	Undirskrift borstjóra				

VERK NR.	HOLA NR.	BORSTAÐUR	VERKKAUPI	
VÍDD HOLU	DÝPT HOLU	FÓDRING NR.	FÓDRUN FRAMKV. DAGS.	ÚTFYLLT

FJARLÆGD KJALLARÁBRÚN – KRAGI				m
FÖDRING	PVERM. UTAN GERÐ TENGI NOTAÐ KRAGI(FLANGS) SKÓR MIÐJUST.	INNAN þÝNGD m FRÁ KRAGA m stk.	STEYPUT.	stk.
STEYPING	SEMENT SEMENT ÍBL.EFNI ÍBL.EFNI TAFAEFNI STEYPUT/EKI STEYPINGARTÍMI EFTIRDÆLING. MAGN STEYPA KOM UPP DÝPI Á STEYPU UTAN RÖRA	kg kg kg kg kg kg min I TÍMI <input type="checkbox"/> JÁ <input type="checkbox"/> NEI min	EÐLISP. STEYPU	
FRÄGANGUR	STEYPT UTAN MEÐ EFTIR SEMENT SKORÐ OFAN AF EFTIR STEYPA BORUD EFTIR DÝPI Á STEYPU Í RÖRI	h kg h h m	ÍBL.EFNI	kg
	VERKTÍMI RÖR STEYPA TOPPUR TAFIR ALLS	h _____	_____	_____
	ATH.	_____	_____	_____

卷之三

SUNDURLIDUN VERKTÍMA  
DAGSKÝRSLA

**ORKUSTOFNUN**  
Jarðboranir ríkisins

Borvél	Borstaður	Verkaupi	Hola nr.	Verk n.r.	TÍMA BILL:
			Verkd.	Verkt.	Útfyllt
<b>DAGSETNING</b>					
<b>VERKDAGUR NR.</b>					
1. I.	Borun				
1. 2.	Virkun				- 36 -
1. 3.	Ferðir				-
1. 4.	Dæling				
1. 5.	Hliðarholda				
2. 1.	Rýming.				
2. 2.	Föðrun/st.				
2. 5.	Hrun/st.				
3. 1.	Flutn/ups.				
3. 2.	Undirbún.				
3. 4.	Mælingar				
3. 6.	þrýstipróf				
5. 1.	Tafir v/v.				
5. 2.	Fiskun.				
7. 2.	Viðgerðir				
9. 0.	Ymislegi				
<b>Holudýpi m</b>					
Borun/dagsins					
Metrar / klst. qlls.					
<b>Gufubor</b>					
STANDAR	ST.NR.	STANGA LENGD	LENGD ALLS	STANDAR	STANGA LENGD
1/2				1/2	
1	16	1/2		16	1/2
1/2	17	1/2		17	1/2
2	18	1/2		18	1/2
3	19	1/2		19	1/2
4	20	1/2		20	1/2
5	21	1/2		21	1/2
6	22	1/2		22	1/2
7	23	1/2		23	1/2
8	24	1/2		24	1/2
9	25	1/2		25	1/2
10	26	1/2		26	1/2
11	27	1/2		27	1/2
12	28	1/2		28	1/2
13	29	1/2		29	1/2
14	30	1/2		30	1/2

Borstaður						Holu nr.
STANDAR	ST.NR.	STANGA LENGD	LENGD ALLS	STANDAR	STANGA LENGD	LENGD ALLS
1/2				1/2		
1	31			31		
1/2	32			32		
2	33			33		
3	34			34		
4	35			35		
5	36			36		
6	37			37		
7	38			38		
8	39			39		
9	40			40		
10	41			41		
11	42			42		
12	43			43		
13	44			44		
14	45			45		

- 37 -

VIDAUKI II

## FALLHRAÐAMELINGAR Á SVARFI

Fallhraði bergmylsnu (svarfs) í borholum hefur fram til pessa ekki verið ákvarðaður þannig, að aðgengilegar og nákvæmar upplýsingar séu fyrir hendi. Hefur þess vegna lengi þótt ástæða til að kanna fallhraða bergmylsnu í vatni með tilliti til kornastærðar, lögunar korna og berggerðar. Til pessa hefur verið stuðst við mælingar, sem gerðar voru af bormönum hér áður fyrr, en ekki er neitt skráð par að lítandi. Frá þeim tíma hefur fallhraði verið áætlaður á bilinu 5-20 m/mín. Fyrir venjulegt borsvarf og hafa menn getið sér til um hann í hverju tilviki fyrir sig.

Hugmyndin á bak við þessa athugun er sú, að útbúa aðgengilegri gögn, þar sem sjá má út frá lögun, gerð og stærð korna hver fallhraði þeirra er og jafnframt að kanna hvaða þættir hafa par mest áhrif.

## FRAMKVÆMD

Tekin voru sýni af basalti, basaltmöl (blandað efni) og tertierum millilagsmolum. Voru þau möluð niður í fjóra kornastærðarflokka:

Bergmylsna	4-8 mm
"	2-4 "
"	0,85-2 "
"	<0,85 "

Sýnin voru síðan soðin í vatni til að reka burt allt loft úr holrýmum (þórum). Atti þannig að fást sambærileg mynd við náttúrulegar aðstæður. Þá var fenginn gegnsær plastsívalingur, 4,65 cm í þvermál og rúmir 2,5 m á lengd. Tappi lokaði honum í annan endann og var hólkurinn fylltur af vatni, þannig að vatnsborð var ca 10 cm fyrir neðan efri brún. Þá var afmörkuð 1,5 m vegalengd, þar sem fallhraðinn var mældur (sjá mynd). Kornin voru ýmist látin falla ein sér eða mokað ofan í með lítilli skóflu. Í Seinna tilvikinu var mældur hraði fyrstu og síðustu korna,

einnig mældur áætlaður meðalhraði.

## NIÐURSTÖÐUR

Fljóttlega kom í ljós eftir að mælingar byrjuðu, að ekki skipti mál, hvort hreint basalt eða blandað efni væri sett í, því svipaðar niðurstöður fengust út úr hvoru tveggja. Stærð og lögun kornanna virtist skipta höfuðmáli, en innan sama floks skipti lögunin meginmáli. Greinilegt var að rúnnuð korn félle áberandi hraðar en önnur, en aftur á móti flöt hægast. Þess ber samt að geta í þessu sambandi, að mismunandi berggerðir geta brotnað á mismunandi vegu. Stökkt eða hart berg brotnar með hvassar brúnir og oft í þunnar flögur, en það linara er nær því að vera hnöttótt.

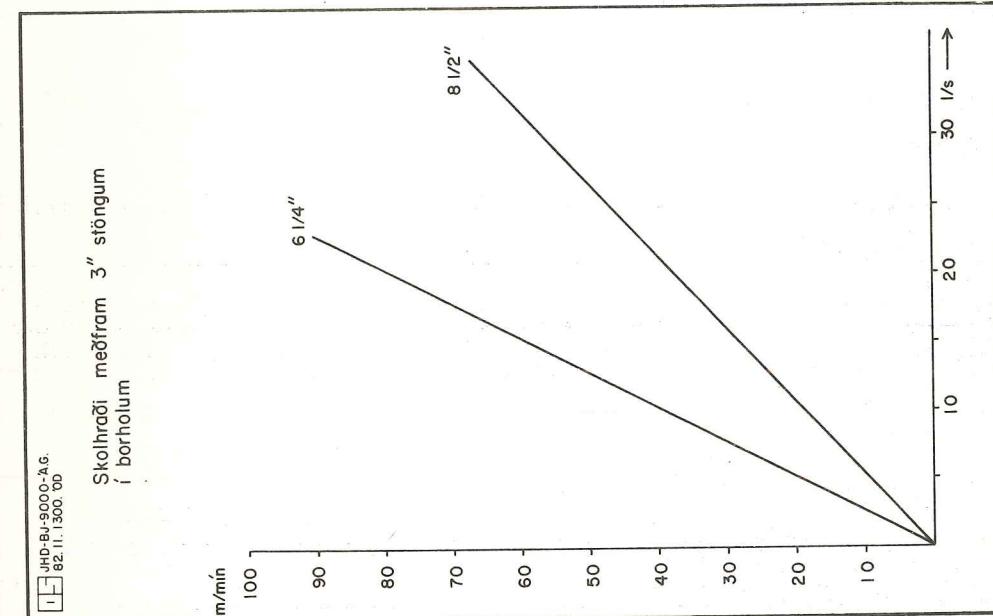
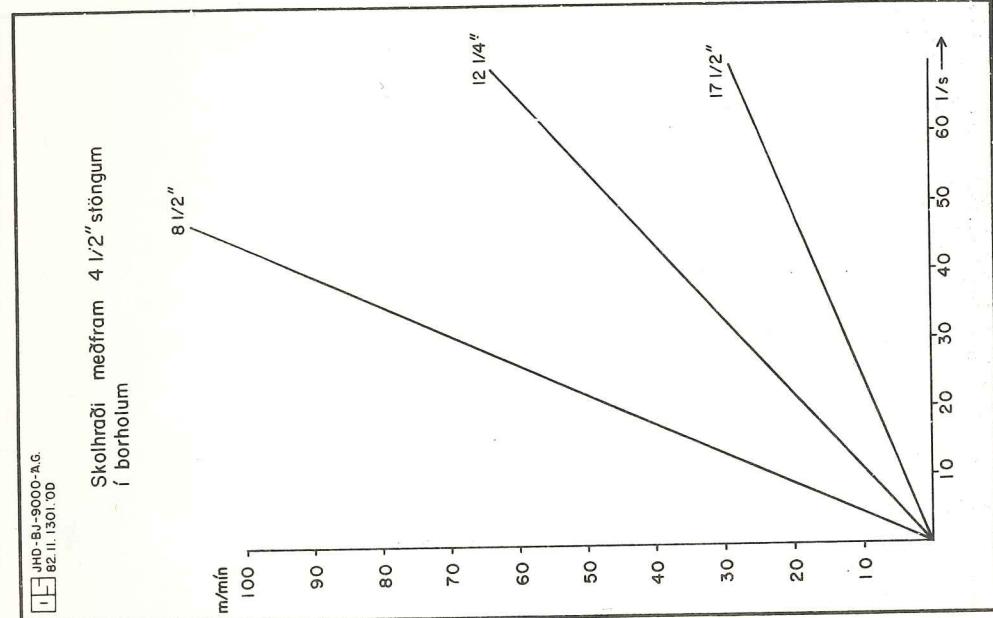
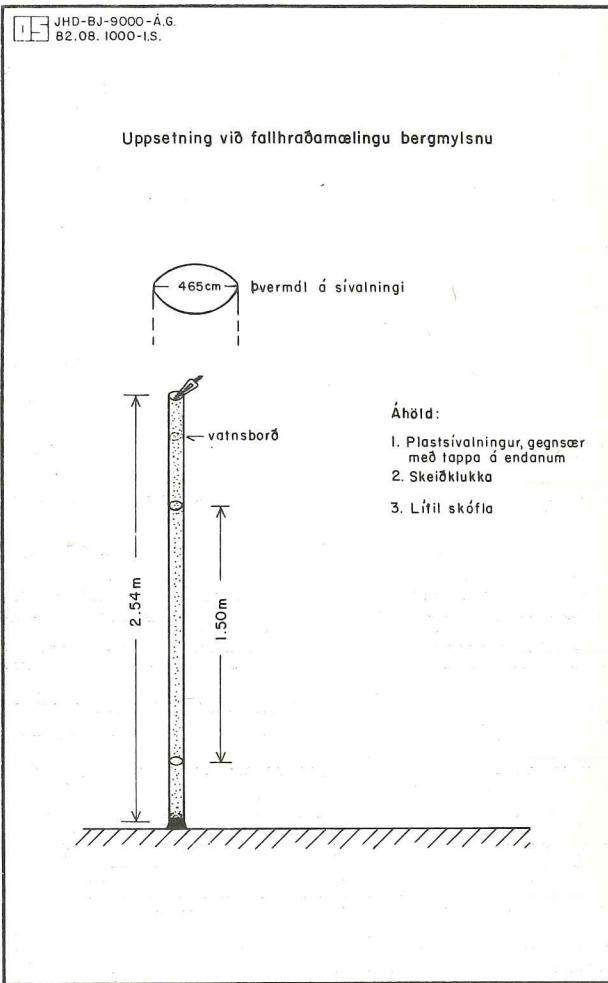
## Fallhraði svarfs í vatni

Kornastærð	<0,85 mm	0,85-2 mm	2-4 mm	4-8 mm
Hámarkshraði	9,0 m/mín	16,1 m/mín	20,9 m/mín	24,3 m/mín
Meðalhraði	7,8 "	10,7 "	14,1 "	17,6 "
Lágmarkshraði	0,75 "	4,7 "	8,0 "	11,9 "

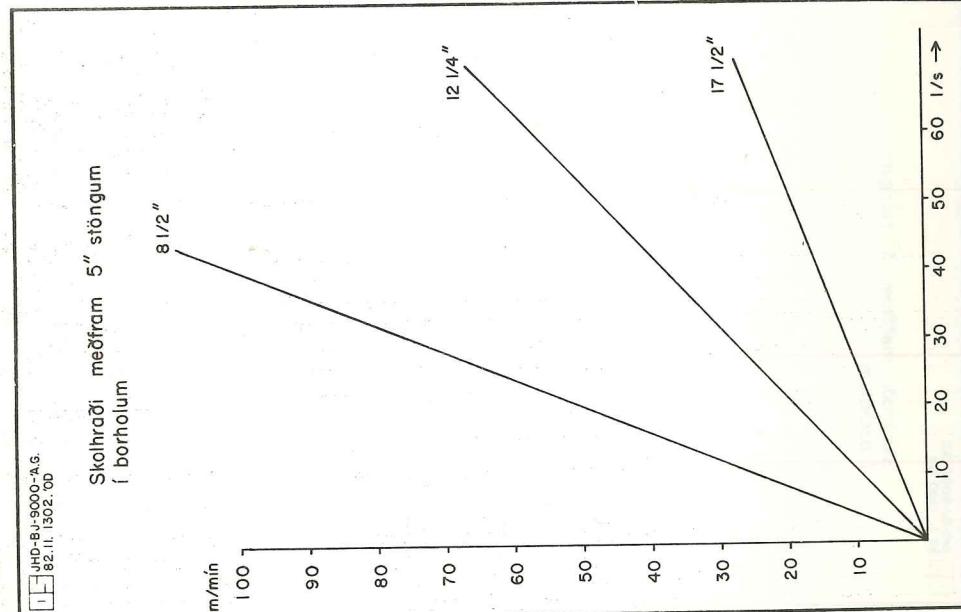
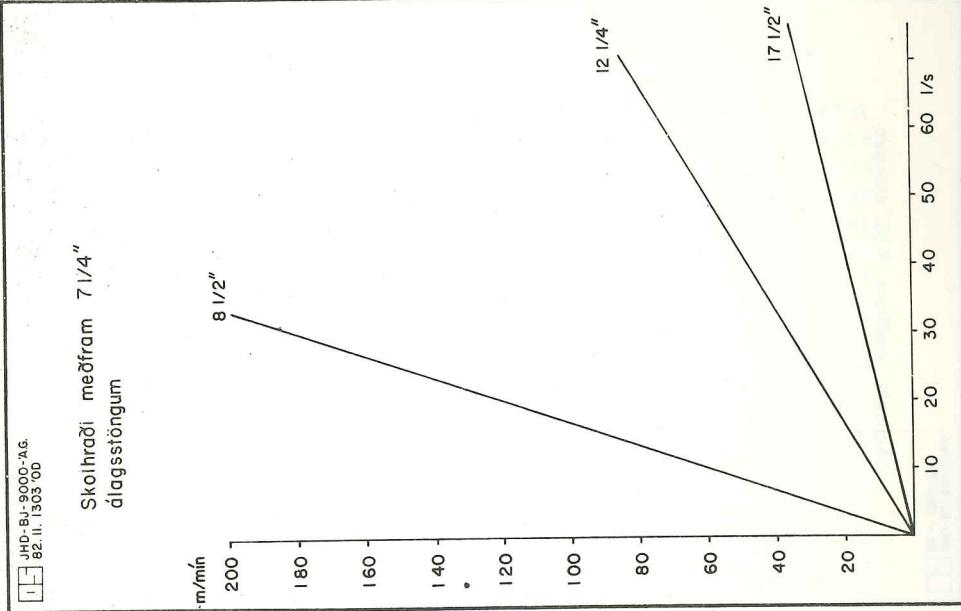
Ef mörg korn falla niður þétt saman, þá er fallhraðinn öllu meiri en getið var um hér að ofan. Aðstæður af þessu tagi gætu orðið til í borholum t.d. við íbætingu stanga eftir mjög hraða borun ef ekki er skolað á eftir, hrún úr holuveggjum og ef sandskriða rennur af stað út úr skáp (útvíkkun).

Eitt mjög athyglisvert atriði kom fram, en það eru áhrif hitabreytinga á ákveðna gerð millilaga í tertiera jarðlagastaflanum. Við undirbúning sýna vegna fallprófunar, voru þau sett í vatn og það soðið til að reka burt loft úr holrýmum (þórum). Meðan á upphitun stóð, byrjaði rauði og gráni hluti millilagsmolanna að tælast í sundur. Hitastigið var á milli 70-80 °C þegar þetta geröist og er ráðgert að athuga þetta nánar síðar. Dekkri

hluti millilagsins, p.e. så svarti og brúni hélst óbreyttur. Af þessu má draga þá ályktun, að þegar heitt vatn kemst í snertingu við ákveðna gerð millilaga, sem hafa verið í kaldara umhverfi, þá þenjast þau út og springa, ef mótpýrstingur létur undan. Þannig má búast við í borholu, að áðurnefnd millilög þenjist út eða springi inn í holuna. Fyrirbæri, sem skýra mætti út á pennan hatt hafa einmitt átt sér stað, t.d. í holu LG-9, Laugalandi í Byjafirði. Þó ber þess að gæta að samspil hitastigs og prýstings hefur ekki verið kannað í þessu sambandi.



BORMANNANÁMSKEIÐ  
JANÚAR 1983



## TÆKJABÚNAÐUR OG FRAMKVÆMD MÆLINGA

Benedikt Steingrímsson

Guðjón Guðmundsson

EFNISYFIRLIT

	Bls.
INNGANGUR.....	3
1 TEKJABÚNAÐUR OG FRAMKVEMD MELINGA.....	5
2 MELITEKNI.....	7
2.1 Hitamælar.....	9
2.2 Viddarmæla.....	9
2.3 Jarðlagamælingar.....	10
2.4 Steypumælar.....	10
2.5 Hallamælar.....	11
2.6 CCL-mælar.....	12
2.7 Sprengingar í borholum.....	13
3 HVENER ER MELT OG Í HVADA TILGANG.....	22
3.1 Mælingar í borun.....	22
3.2 Mælingar að borun lokinni.....	22
3.3 Mælingar í eftirlitsholum.....	23
3.4 Mælingar í vinnsluholum.....	23
4 MELINGAR í BORUN.....	29
4.1 Mælingar í lághitaholum.....	29
4.2 Mælingar í háhitaholum í borun.....	30

INNGANGUR

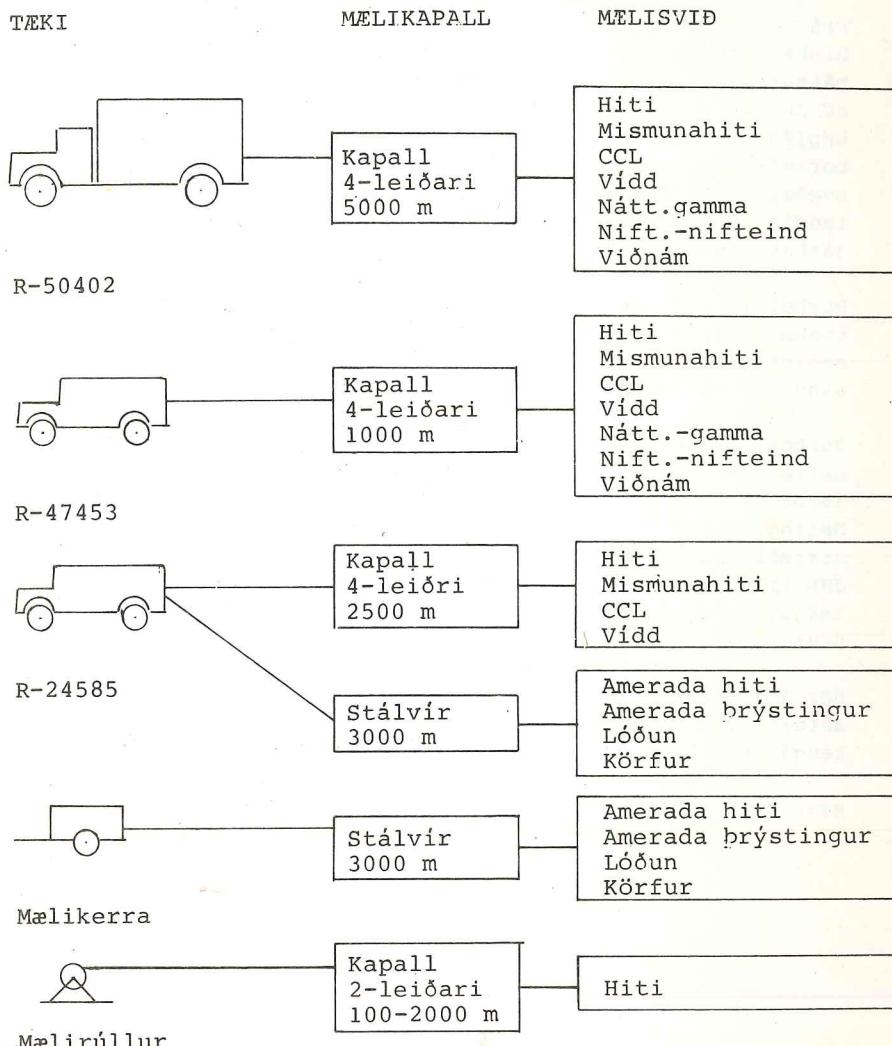
Frá því boranir eftir jarðhita hófust hér á landi á fyrri hluta þessarar aldar hafa borholurannsóknir verið sívaxandi páttur í könnun jarðhitakerfa. Borholur gera mönnum kleift að skyggast niður í jarðskorpuna og draga fram margvíslegar upplýsingar, sem ekki er hægt að fá án borana. Rannsóknarboranir eru því nauðsynlegur liður í frumkönnun jarðhitasvæða, og út frá mælingum í rannsóknarholum viðs vegar um landið hefur fengist góð mynd af hitaástandi í efri hluta jarðskorpannar undir landinu.

Borholurannsóknir eru samansafn margra rannsóknarpáttta, sem spanna flest svið jarðvísindanna. Einn þeirra eru jarðeðlisfræilegar mælingar í borholum, eða borholumælingar eins og þær eru oftast nefndar.

Borholumælingar eru safnheiti fyrir fjölbreytilegan hóp mæliaðferða og er þeim beitt jöfnum höndum við rannsóknir á jarðhitakerfum og við athuganir á borholunum sjálfum. Mælingarnar eru að nokkru framkvæmdar af bormönnum, en stærsti hluti mælinganna er gerður af Jarðhitadeild OS og á JHD til þess þrjá mælingabfila auk mælikerru og smærri tækja. Alls vinna á JHD sjö starfsmenn við framkvæmd og úrvinnslu borholumælinga.

Hér á eftir verður lýst tækjaútbúnaði og helstu mæliaðferðum. Mesta áhersla er lögð á að lýsa mælingum sem tengjast borverkum en annarra aðferða er lauslega getið.

MYND 1 sýnir tækjakost borholumælinga JHD 1982.



Mynd 1 Tækjakostur borholumælinga JHD 1982

## 1 TEKJABÚNAÐUR OG FRAMKVEMD MÆLINGA

Á mynd 2 er sýnd tækjasamstæða til hitamælinga í borholu. Útbúnaður af þessu tagi hefur verið á flestum jarðhitaborum undanfarin ár, og notkun hans bormönnum vel þekkt. Í mælinum er komið fyrir rafviðnámi sem breytist með hitastigi, og er viðnámið tengt við rafmagnsvír (jöklavír), sem er vafinn upp á kefli (mælirúllu). Þegar mælt er, er mælinum slakað niður í holuna og staðsettur á ákveðnu dýpi, viðnámsmælir er tengdur við mælirúlluna og lesið af honum rafviðnám á mismunandi dýpi, en rafviðnámið breytist með hita (er hitaháð). Hitastig á því dýpi sem mælirinn er á fæst síðan út frá kvörðunartöflum fyrir mælivínámið. Dýpið er mælt jafnðum og vírnum er slakað út, með því að bregða vírnum yfir hjóli með þekktu ummáli. Ummálið og fjöldi snúninga teljara hjólsins segja því til um á hvaða dýpi mælirinn er. Í nýrri gerðum af þessum hitamælum er aflestrartækið tengt við teljarahjólið og dýpið lesið af litlum skjá á tækinu. Á nýrri gerðunum er viðnámshlutinn einnig kvarðaður við hitaskynjarann. Pannig fæst beinn aflestur á hitastigi og kvörðunartöflur því óþarf.

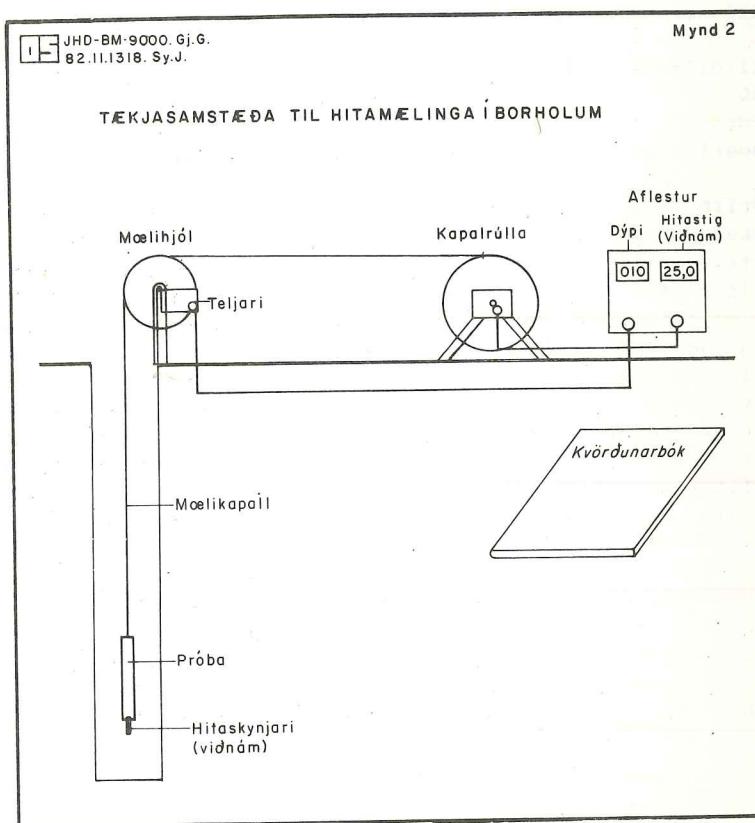
Mælirúllur eru til af nokkrum stærðum og taka þær stærstu um 2000 m af mælivír. Stóru rállurnar eru ýmist vökvaeða rafdrifnar (borvélar), en fyrir litlu rállurnar er það handaflið sem gildir þegar hift er upp úr holu.

Kostirnir við lausar hitamælirúllur eru, að þær eru léttar, frekar einfaldar í meðförum og mun ódýrari í smiðum en stærri mælitækji. Viðhald hefur hins vegar reynst nokkuð mikið á þeim og helst er það vírinn, sem gefur sig. Jöklavír er tvileiðari og er hvor leiðari einangraður með nylonkápu sem er viðkvæm fyrir öllu hnjasí og polir auk þess ekki hærri hita en 85°C. Fer þá að leiða á milli víra og fæst röng gildi fyrir hitaskynjarann í pröbu, þegar mælt er. Athugað hefur verið með að nota öfugri vír, en sá vír sem helst kemur til greina er margfalt dýrari en jöklavír. Sýnilegt er því að jöklavírinn verður notaður eitthvað áfram og eru menn beðnir um að hirða vel um mælirúllurnar og nota ekki mælana við hærri hita en 85°C.

Lausar mælirúllur eru frekar einföld tæki til mælinga í borholu. Engu að síður er uppyggingin í stærri mælitækjum í meginatriðum sú sama og í mælirúllum. Útbúnaður mælingabíla er t.d. fyrst og fremst frábrugðinn mælirúllunum að tvennu leyti. Þar er notaður vírofinn mælikapall með fjórum

leiðurum og er í enda kapalsins tengi (kapalhaus), þannig að fljótlegt er að skipta um mæli og þá um leið að nota fleiri gerðir en hitamæla. Aflestur og skráning mælinga er einnig öðruvísi. Í mælingabílum eru aflestrartæki í stöðugu sambandi við kapalspil og mælt á meðan mælirinn hreyfist í holu, en mæling er skráð inn á sírita eða tekin upp á segulband. Fæst þannig fram samfelld mæling.

Mælikapallinn og kapaltengin í bílunum eru gefin upp fyrir u.p.b. 150 °C hitastig, og mælipróburnar, sem eru notaðar, eru flestar búnar rafeindabúnaði, sem polir ekki herra hitastig en 100-150 °C. Rafeindatæki er því ekki beitt við mælingar í holum, sem eru heitari en 100-150 gráður á celsius. Í heitari holum er beitt mun ófullkomnari mælitækni. Notaður er stálvír á spilið en í mælinum eru vélrænir síritar (t.d Amerada-hitamælar) Mælispil með stálvír eru einnig notuð við lægra hitastig, t.d. þegar holur eru löðaðar og hallamældar. Jötunn og Gufubor hafa báðir mælispil með stálvír.



## 2 MÆLITÆKNI

Stakkaskipti hafa orðið í borholumælingum á Íslandi á síðustu árum. Fram til ársins 1976 voru holur hitamældar og í einstaka tilfellum halla- og prýstimældar. Ef með eru teknar löðanir í holum, þá er upptalið allt það sem gert var í borholumælingum á þeim árum.

Í sambandi við kaup Jarðborana á Jötni, keypti Jarðhitadeild mælingabífl. Bíflinn var fenginn í Bandaríkjunum hjá fyrirtækinu Cearhart-Owen (GO), en þá fyrirtæki framleiðir og selur mælingabíla og tæki til mælinga í olíuborholum. Bíflinn kom til landsins á miðju ári 1976. Ári síðar gaf Alþjöðakjarnaorkumálastofnunin JHD minni gerð af mælingabífl frá sama fyrirtæki. Báðum bílunum fylgdu helstu tækjasamstæður, sem notaðar eru í mælingum í olíuborholum og talið var að gagni kemu í íslensku jarðhitaborunum og rannsóknunum. Með tilkomu mælingabíllanna varð gjörbylting á þeim rannsóknunum, sem hægt var að framkvæma í borholum hérlandis. Síðan hefur verið haldið áfram á þessari braut og nýjum mælitækjum bætt í hópinn eftir því sem þörf og fjárráð hafa gefið tilefni til.

Í töflu 1 eru taldar upp þær mæliaðferðir, sem notaðar eru við borholumælingar hér á landi í dag, og verður gerð grein fyrir nokkrum þeirra hér á eftir.

TAFLA 1 Helstu mælingar, í borholum 1982

HEITI MELIADFERDAR	MELISTERÐ	TILGANGUR
Hitamæling	Hitastig	Staðsetning vatnsæða og hitastig peirra Berghiti. Upphitunarrhraði goshætta. Kæling vegna vinnslu. Staðsetning vatnsæða.
Mismunahitamæling	Hitastigs-breytingar	
Víddarmæling	Holuvídd	Staðsetning skápa. Fööringaskemmdir. Útfellingar.
Viðnámsmæling	Rafviðnám	Poruhluti bergs. Jarðlagaskipan.
Nifteind-nifteind	Vatnsinnihald	Poruhluti bergs. Jarðlagaskipan.
Gamma-gamma	Eðlisþyngd	Eðlisþyngd bergs. Jarðlagaskipan.
Náttúrulegt gamma	Geislavirkni bergs	Greining súrra berglaga frá basískum.
CCl	Jármagn	Staðsetning samskeyta á borstreng eða fööringum. Fööringaskemmdir.
Steypumæling (CBL)	Steypugæði	Könnun á gæðum fööringasteypu.
Hallamæling	Halli og stefna	Hallabreytingar.
Prýstimæling	prýstingur	Hvert fer holan?
Löðun	Dýpi	Vatnsborð, prýstingur á æðum. Niðurdráttur. Fyrirstöður. (Hrun og útfellingar) Botnfall í holu.
Körfumæling	Þvermál holu	Útfelling. Fööringaskemmdir. Fööringaskemndir. Aðskotahlutir í holu. Götun fööringa. Sundurskrúfun borstrengs Efnainnihald vatns úr mismunandi vatnsæðum.
Ljósmyndun		
Sprengingar		
Vatnssýnataka		

## 2.1 HITAMELAR

Hitamælingar hafa ávallt verið mikilvægastar allra borholumælinga í jarðhitarannsóknum.

Í bernsku mælitækninnar var notast við hámarkshitamæla, þeim var slakað niður með snæri á ákveðið dýpi í holu og beðið smástund meðan mælir náiði jafnvægi. Síðan var hift upp og lesið af. Auk þess að vera seinvirkt mæliaðferð, hefur hún þann augljósa galla að kálipunktar í holu, og að maður tali nái ekki um viðsnúna hitaferla (þ.e. að hitastig lækkar með auknu dýpi), koma ekki fram. Hámarkshitamælar eru nú að mestu úr sögunni í borholumælingum, en í þeirra stað hafa komið hitaháð rafviðnám. Nokkrar gerðir viðnáma eru notaðar. Þau helstu eru termistorar, þar sem viðnám lækkar með vaxandi hita og platinuviðnám, en þar hækkar viðnámið í réttu hlutfalli við hitastig. Termistorar hafa verið mikilvægastar, en eru nú á undanhaldi fyrir platinu-viðnámunum og öðrum viðnámsshitamælum þar sem viðnám hækkar með vaxandi hitastigi.

Tvær útfærslur eru notaðar við frágang viðnámshitamælanna. Á mælirúllu er viðnámi komið fyrir inni í stálhólk og tengt beint við mælivír (sjá mynd 3). Nauðsynlegt er að ganga mjög vel frá öllum samskeytum svo að vatn komist ekki inn í hólkinn og leiði framhjá viðnáminu. Í mælunum frá GO sem eru notaðir í mælingabilunum, er hitaskynjara einnig komið fyrir í mælihólk. Í hólknum tengist skynjari rafeindarás, sem sendir þúlpa upp eftir mælivír, og er fjöldi þúlpas í réttu hlutfalli við hitastigið sem skynjari nemur. Kosturinn við þúlpa-aðferðina er að útleiðsla truflar sföur mæliðurstöðuna.

Viðnámshitamæla er einungis hægt að nota upp í 85-150°C, en þá fer einangrun mælivírs og allur rafeindabúnaður að gefa sig. Til hitamælinga yfir 150 °C eru notaðir svokallaðir Ameradamælar. Þeir eru klukkudrifinir vélrænir síritar. Á mynd 4 er sýndur þverskurður af Ameradamæli. Mælirinn skiptist í þrjá meginhluta; skynjara, skráningarhluta og klukku.

## 2.2 VÍDDARMELAR

Á mynd 5 er sýndur víddarmælir. Mælirinn hefur þrjá arma sem tengjast vel í hólknum. Því er hægt að senda mælinn niður

holuna með lokaða arma, en spenna þá út þegar á botn er konið. Armarnir vinna allir saman og er þeim haldið opnum með stálfjöldum. Mælirinn sjálfur verður því í miðri holunni. Staða armanna er skynjuð af breytilegu viðnámi, sem líkt og í hitamálunum er tengt rafeindarás sem sendir upplýsingar um stöðu armanna til yfirborðs í formi púlsa. Sá galli er á þessari gerð viddarmæla að fjörin sem heldur örnum um sundur er afllistil. Í mjög skökkum holum (halli yfir 10 gráður) vilja armarnir leggjast saman undan punga mælisins, og mælast skakkar holur því prengri en þær eru í raun. Erfitt er að lagfæra pennan galla, þar sem styrkur stálfjaðrarinnar takmarkast af stærð mótorsins sem opnar armana.

Önnur og mun einfaldari aðferð til viddarmælinga, þegar verið er að kanna útfellingu eða aðrar prengingar í holu er að sökkva niður löðum eða körfum af mismunandi vídd. Þessari aðferð er einkum beitt í háhitaholum, en GO-viddarmælirinn polir aðeins 120-130 C og verður því að kæfa allar háhitaholur og kæla þær niður ef nákvæm viddarmæling á að fara fram.

#### 2.3 JARÐLAGAMÆLINGAR

Undir þetta heiti falla nokkrar mæliaðferðir þar sem eiginleikar bergsins umhverfis holuna eru kannaðir. Þeir eiginleikar sem einfaldast er að mæla eru rafleiðni (viðnámsmælingar), vatnsinnihald/poruhlut (nifteind-nifteind), eðlisþyngd (gamma-gamma) og náttúrleg útgeislun bergsins (náttúruleg gammageislun). Við skulum líta nánar á síðustu mæliaðferðina.

Berg inniheldur, þó í smáum stíl sé, geislavirk efni. Hér er um að ræða samsætur af frumefnum; óranium, pórium og kalium og er magn þessarra samsæta meira í súru bergi en basisku. Þó geislunin sé lítil er hún vel mælanleg. Aðferðin er kölluð Gamma-mæling, og greinir sem sagt á milli basalts og súrs bergs. Neminn í mælinum er yfirleitt Geiger-Muller teljari.

#### 2.4 STEYPUMELAR

Steypumælingar eru notaðar til að kanna steypingu fóðurröra. Mæliaðferðin byggir á því að hljóðbylgja berst auðveldlega

eftir stálröri ef það er ósteyppt, en deyfist hins vegar mjög fljótt (mynd 6) ef rörið er bundið í steypu. Á myndinni er sýnd einfölduð mynd af mæliuppsetningu til steypumælinga. Mælirinn samanstandur af hljóðgjafa og hljóðnema, og er þannig gengið frá honum að hljóðið frá hljóðgjafanum berst ekki til nemans gegnum mælinn. Hljóðhraði í vatni er um 1500 m/s og í stáli er hann um 5800 m/s. Fjarlægin á milli hljóðgjafa og hljóðnema í mælinum er höfð það mikil að fljóðasta leið fyrir hljóðið að berast frá gjafa til nema er út í gegnum vatnið eftir rörinu og síðan í gegnum vatnið eins og sýnt er á myndinni. Í tækini sem JHD á, sendir hljóðgjafinn frá sér tæplega 20 hljóðmerki á sekúndu. Fyrir hvert hljóðmerki, sem sent er út skynjar neminn hins vegar heila runu af hljóðum. Það, sem neminn heyrir fyrst, er så hluti hljóðsins, sem berst eftir rörinu. Síðan koma ötal Bergmál vatns og rörs en síðast bergmál frá jarðlögunum utan holunnar. Á mynd 7 eru sýnd dæmi um þau hljóð sem neminn heyrir eftir því hvernig fóðurrörið er steyppt. Fyrst er sýnd kvörðun fyrir ósteyppt rör. Fyrsti hluti hljóðsins kemur vel í gegn, en litill svörin er frá jarðlögum. Eftir því sem seypan verður betri, minnkar fyrsta hljóðmerkið, en betri svörin fæst frá jarðlögum. Í vel steyptu röri hverfur alveg fyrsta hljóðmerkið. Það er því stærð fyrsta hljóðmerkisins sem berst til hljóðnemans, sem notað er til að meta hversu vel fóðurrör eru steyppt. Ef hins vegar allt hljóðið sem berst til nemans er skoðað, má meta hvort steypan sé bundin við jarðlögin, og eins hvort steypan nái allan hringinn umhverfis rörið.

Forsenda fyrir nákvæmri túlkun á steypumælingum er að mæla í rörinu bæði fyrir og eftir steypingu.

#### 2.5 HALLAMELAR

Nokkrar gerðir af mælum hafa verið notaðar til hallamælinga hérlandis, og eru þar helstir TOTCO-, segul- og gyrohallamælar. Tvær síðastoldu gerðirnar sýna einnig hallastefnu.

TOTCO-mælir hefur verið í notkun á stærri borunum undanfarin ár, og hefur reynst þægilegur og ábyggilegur í notkun. Hallaskynjun mælisins er í pendúl, sem hangir yfir gráðu-plötum, en mæling fast við að plötunni er lamið í pendúlinn. Það er klukka, sem hleypir af og gerist það tvívar í hverri mælingu með u.p.b. 30 sekúndna millibili. Platan snýst um hálfhring eftir fyrra skotið. Förin eftir pendúlinn og

gráðuhringirnir á plötunni segja síðan til um hver hallinn er. Ef förumur tveimur ber ekki saman, er það merki um að mælirinn hafi ekki verið kyrstæður í holunni þegar mælt var og mælingin því óþyggileg. TOTCO-mælirinn sem JBR á, hefur þrjú mælisvið; 0-8, 0-24 og 0-90 °C.

Í segulhallamælum er halli einnig skynjaður með pendúl, en það hangir pendúllinn yfir áttavita sem auk seguláttanna hefur einnig gráðuhringi. Mæling fæst annað hvort með ljósmynd af pendúlnum og áttavitanum, eða við högg eins og í TOTCO-mælinum.

Gyrohallamælir er í meginatriðum eins uppbyggður og segulhallamælir, nema í stað áttavita er notaður gyroáttaviti.

Gosberg segulmagnast þegar það storknar. Styrkur segulmögnunarinnar fer eftir járninnihaldi (magnetit) en stefnan er háð þeiri segulstefnu sem jarðsviðið hefur þegar bergið storknar. Stefna jarðsegulsviðsins er breytileg, og hefur m.a. tekið fleiri kúvendingum á síðustu milljónum ára.

Segulstefna sem mælist í borholu er trufluð af segulmögnum bergsins. Þó truflunin sé yfirleitt talin það lítil að hún skipti ekki mál, er vitað um undantekningar t.d. við innskot og járnrik hraunlög, þar sem segulhallamælar gefa mjög villandi upplýsingar um stefnu. Dámi um þetta fíkkst í sumar við borun KJ-20 í Kröfli og er samanburður sýndur á mynd 8 á milli segul- og gyrohallamælinga úr þeiri holu. Frávikið sem kom fram á 400-500 m dýpi er á móts við basalthraunlög. Ekki er hægt að mæla segulstefnuna inni í venjulegum borstöngum. Nota verður stengur úr ósegulmögnuðu efni (t.d. ryðfríu stáli).

Þó gyromælar séu taldir mun óþyggilegi en segulhallamælar hefur hatt verð og dýr rekstur þessara mæla komið í veg fyrir að JHD hafi fest kaup á þeim. Í einstaka tilvikum hafa verið leigð gyrotæki til landsins og hefur þá fylgt mælingamaður í kaupunum. Hins vegar er ljóst, að ef íslendingar ætla sér að verða sjálfbjarga í stefnuborunum, verða gyromælar að bætast í núverandi tækjabúnað borholumælinga.

#### 2.6 CCL-mælar

CCL stendur fyrir "Casing Collar Locator" (múffuskynjari),

og er nafn á einföldum mæli sem skynjar breytingar í járnþykkt. Mælirinn er notaður til nákvæmrar leitar að samskeytum á fðöurrörum eða borstöngum, en þau koma skýrt í ljós í mælingunni. Mælirinn samanstandur af segli og spölu. Breyting á jarnþykkt hefur áhrif á segulsviðið og espar upp mælanlegan straum í spolunni. Einnig má í sumum tilfellum greina skemmdir (göt) á fðöringum með CCL-mæli. Reynt hefur verið að finna rifur og göt á borstreng, sem koma fram í borun, sem lækkun á daluprýstingi, með CCL-mæli. Rifurnar virðast hins vegar vera of þróngar til að hægt sé að nota þessa tækni til að finna þær.

#### 2.7 SPRENGINGAR Í BORHOLUM

Sprengingar og borholumælingar virðast í fljótu bragði ólik fyrirbæri. Engu að síður eru sprengingar í borholum í verkaþring borholumælinga, enda nýtist tækjabúnaður þ.e. spil og kapall við sprengingarnar. Sprengitækni í sambandi við borverk er nokkuð notuð erlendis, og hefur smátt og smátt verið innfærð hér á síðustu árum. Það er einkum í premur tilvikum sem sprengt hefur verið í borholum hérlandis:

- 1) Við að skrúfa sundur borstreng þegar fast er í holu.
- 2) Í vonlausum festum er strengur sprengdur í sundur með dýnamíti.
- 3) Við götun á fðöurröri ef mistekst að steypa fðöringu í fyrstu tilraun.

Þegar borstrengur er fastur í holu er hægt með hjálp smásprenju að skrúfa borstrenginn í sundur, hvar sem er ofan við festu. Sprengjan er rafmagnshvellhetta og u.p.b. 1,5 m hönk af sprengipræsi (primacord), og ræðst fjöldi vafninga (styrkur sprengjunnar) af því hve djúpt er niður á skotstað og hvaða stærð af borsköftum eða álagstöngum eru þar. Eftir að samskeytin sem skrúfa á í sundur hafa verið ákveðin, er því stærð sprengjunnar fastsett. Dýpi niður á samskeytin er síðan mælt nákvæmlega með CCL-mæli og sprengjunni komið fyrir á móts við pau. Togað er í strenginn með u.p.b. 5% umfram punga hans niður á skotstað og síðan snáið öfugt upp á hann til að fá álag á samskeytin sem losa á. Hve mikil er snáið ofan af strengnum fer eftir gerð borstanga og dýpi niður á festu. Ef 1000 fet (330 m) eru niður á festu er snáið 1/2-3/4 snáning fyrir 4"-5" stengur, en allt upp í 1,1/2 snáning ef stengur eru grennri en 3". Ef dýpra er á festu en 1000 fet vex snáningafjöldi sem notaður er um ofan-

greindar tölur fyrir hver 1000 fet sem dýpkar á festuna.  
(DDH K20-K21).

Eftir að togað hefur verið í strenginn og snúið ofan af honum samkvæmt dýpi á festu á höggið frá sprengingunni að losa um gengjurnar.

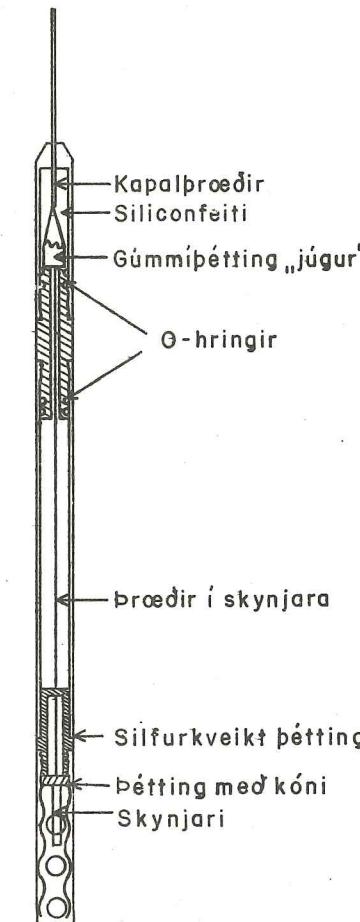
Við götun fðöurröra eru notaðar sprengikálur (egg). Hleðsla þeirra er formuð þannig að þegar kúla springur fer allur sprengikrafturinn í ákveðna stefnu. Þversnið af sprengieggini er sýnt á mynd 9. Tilgangurinn með málmeilunni í eggini er tvípáttur. Annarsvegar til að fá ákveðna skotstefnu, og hins vegar til að auka áhrif sprengingarinnar, en keilan mélast við sprenginguna og málmagnir þeytast gegnum skotmarkið. Gatið verður því bæði víðara og dýpra ef málmkúla er notuð. Þau egg sem hafa verið notuð hérlendis eiga að geta myndað 1/2" göt allt að 10" djúp inn í hvað sem er.

Við götun fðöurröra eru notuð 8 sprengiegg og þau sprengd með sprengivír (primacord). Öll sprengjan samanstendur því af rafmagnshellhettu, sprengivír og 8 eggjum. Skotstefnu eggjanna er víxlað þannig að samliggjandi egg skjóti í gagnstæðar áttir. Á mynd 10 er sýnt dæmi um uppbyggingu og frágang sprengju til að gata fðöurrör.

JHD-BM-9000, Gj.6.  
83.06.0727. Sy.J.

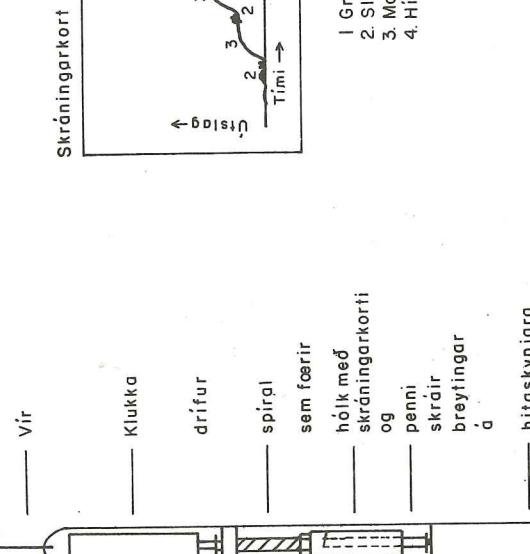
Mynd 3

#### HITAMÆLIR FYRIR MÆLIRÚLLU



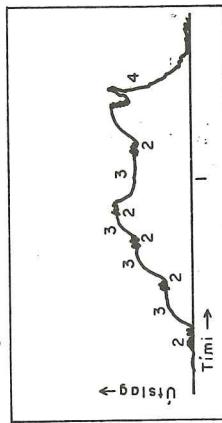
[15]

**AMERADAMÆLIR.** Einföldud mynd



Mynd 4

- 16 -

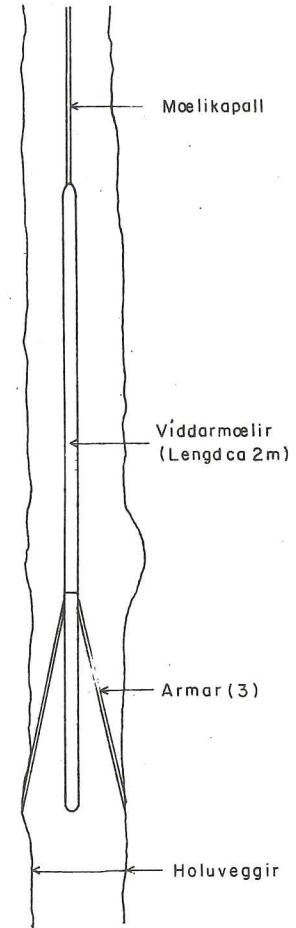
Kröðunars-  
bók

Skráningarkort

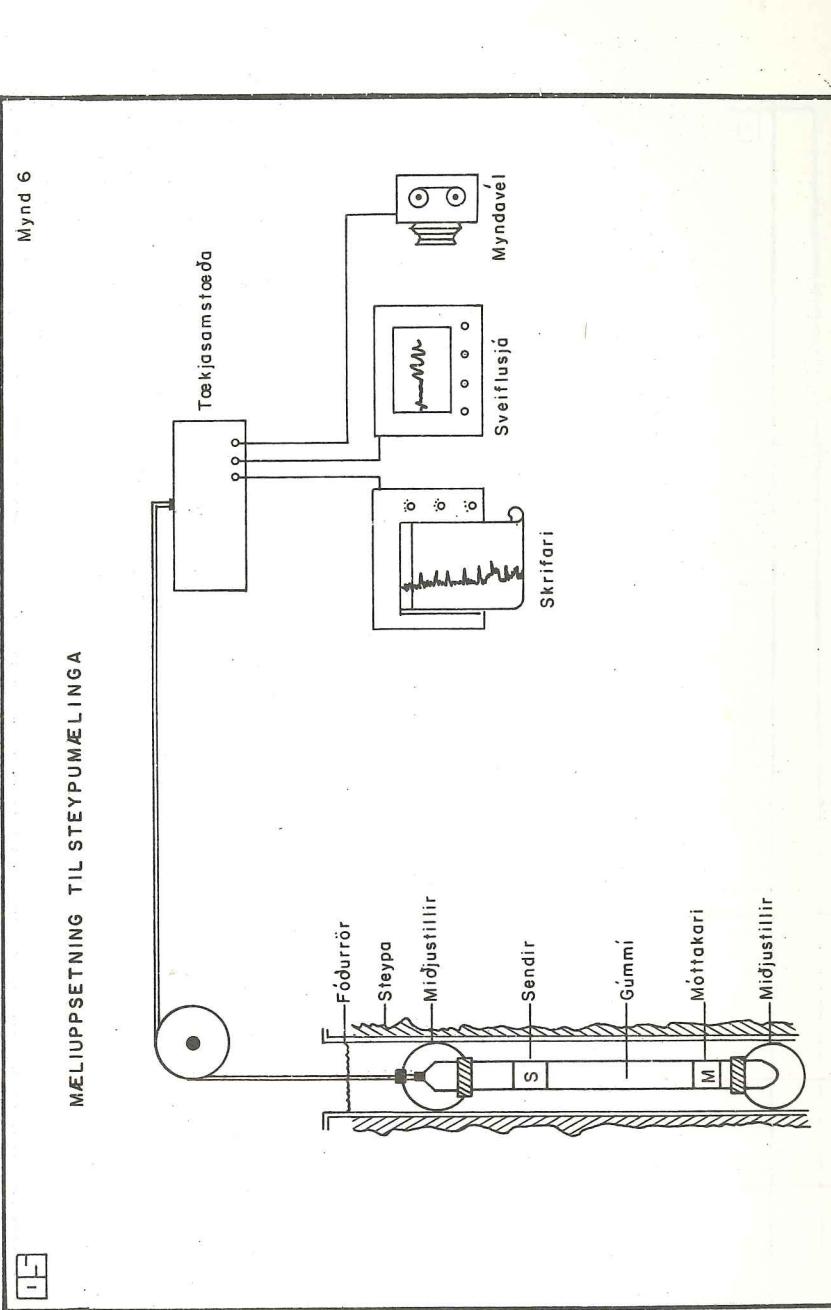
[15] JHD-BM-9000. Gj.G.  
82.11.1318 Sy.J.

Mynd 5

**VIÐDARMÆLIR Í HOLU**



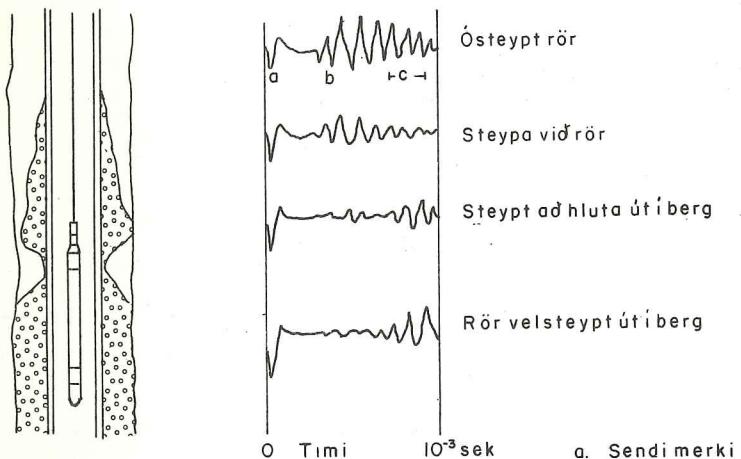
- 17 -



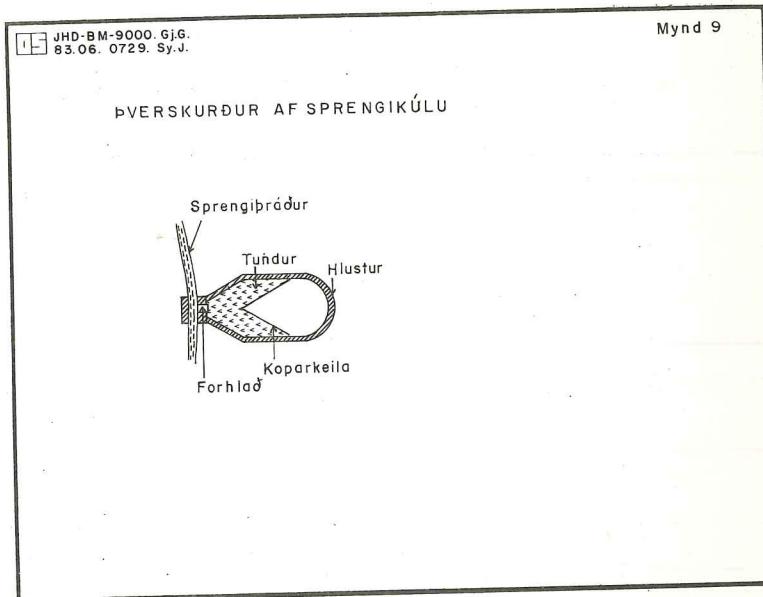
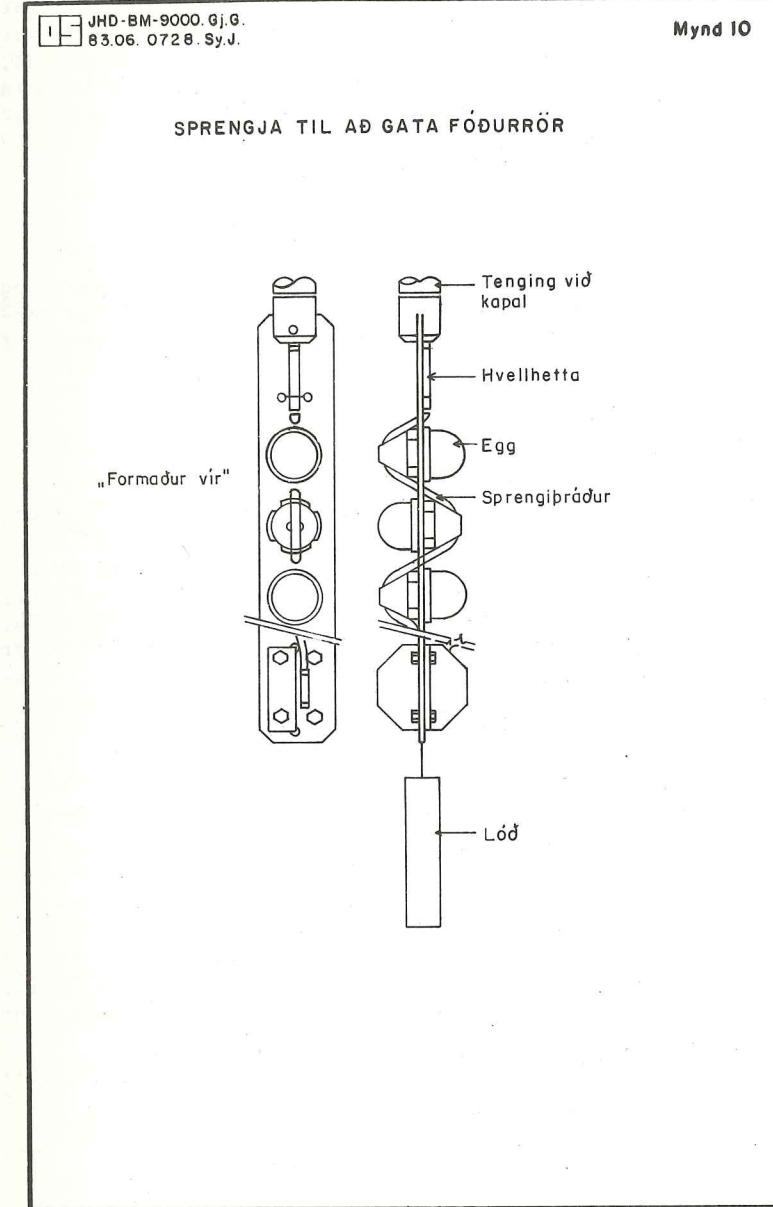
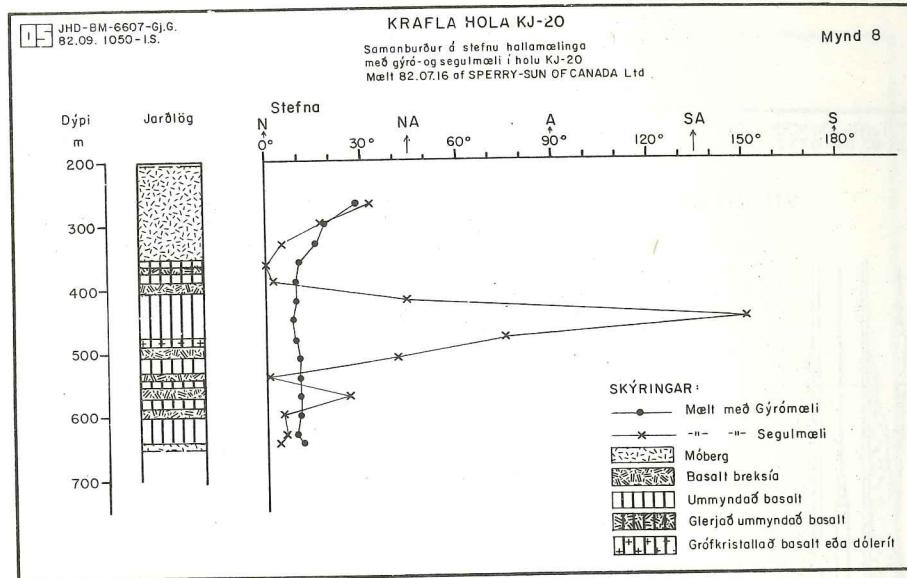
JHD-BM-9000. Gj.G.  
83.06. 0732. Sy.J.

Mynd 7

STEYPUMÆLINGAR. HLJÓDMERKI FRÁ FÖDURRÖRI OG JARDLÖGUM



- a. Sendimerki  
b. Fyrsta svörun  
c. Endurkast frá bergi



### 3 HVENÆR ER MÆLT OG Í HVAÐA TILGANGI

Það hefur komið fram hér að framan, að borholumælingar spanna yfir stóran hóp af mjög ólíkum mæliaðferðum. Hvenær þeim er beitt, hvernig og til hvers er því ekki fljótsvarað. Hér verða mælingar flokkaðar eftir því á hvaða stigi borhola er þegar mælt er og fjallað sérstaklega um hvern mælingaflokk. Helstir verða þá eftirtaldir fjórir flokkar.

#### 3.1 Mælingar í borun

Í borun er mælingum beitt sem hjálpartæki í borverkinu, og við söfnun upplýsinga sem ekki er hægt að ná eftir að borverki lýkur. Fjallað verður fítarlegra um pessar mælingar í kafla 4 hér á eftir.

#### 3.2 Mælingar að borun lokinni

Pegar borun holu lýkur, er hitastig í holunni lágt vegna skolvatnskælingar. Strax og dælingu er hætt fer holan að hitna upp og deyr skolvatnskælingin smátt og smátt út uns hitajafnvægi er komið á. Upphitunin getur tekið fleiri mánuði. Hitamælingar í upphitun sýna staðsetningu vatnsæða, og upphitunahráða þeirra. Rennsli í holu hvort sem það er upp úr holunni eða á milli vatnsæða sést einnig í hitamælingunum. Að upphitun lokinni gefur hitamæling hitastig vatnsæða og berghita par sem ekki er rennsli í holu. Með hitamælingum er því yfirleitt hægt að ákveða berghita í botni holu, ef beðið er par til upphitun lýkur. Ef ekkert rennsli er í holu er mældur hitaferill eftir að jafnvægi er komið á berghita alls staðar í holunni.

Á myndum 11 og 12 er sýnd röð hitamælinga meðan á upphitun tveggja hola stöð. Holu 2 í Tungudal við ísafjörð og holu KJ-14 í Kröflu. Rennsli var úr holunni í Tungudal, og sést í mælingunum að það er ættað úr nokkrum æðum ofan 300 m dýpis, en engar æðar er að finna neðar í holunni þrátt fyrir að kælipunktur komi þar fram. KJ-14 er fóðruð í u.p.b. 650 m dýpi. Fyrstu hitamælingar í upphitun sýndu að niðurrennсли var í holunni frá 1050 m dýpi og niður í botn. Einnig kemur fram skarpur hitatoppur í 400 m dýpi, en þar er æð á bak við fóðurrörið. Síðar í upphituninni fer að sjóða á 1000 m dýpi og streymir þaðan gufa og gas upp til yfirborðs og hrærir upp í vatnssúlunni, þannig að allar ójöfnur í hitaferlinum

jafnast út og hverfa. Á mynd 13 er loks sýndur berghiti við KJ-14. Ferillinn er byggður á mælingum frá upphitun og eftir að holan fór í blástur.

Hér hefur fyrst og fremst verið fjallað um hitamælingar eftir borun, aðrar mælingar sem gerðar eru á holum fljótlega eftir að borun lýkur eru prýstímælingar til að ákvarða prýsting á vatnsæðum, og síðast en ekki síst er í lághitholum mæld jarðlagaskipan með viðnáms-, nifteind-nifteind og gammamælingum. Niðurstöður þessara mælinga eru síðan bornar saman við borhraða og eru notaðar ásamt svarfgreiningu til að gera jarðlagasnið af holunni.

Þegar allar þessar niðurstöður liggja fyrir p.e., jarðlagasnið, staðsetning vatnsæða, hitastig þeirra og prýstingur og berghiti við holu, er næsta skref að bera holuna saman við nærliggjandi borholur. Síðan er reynt að draga upp mynd af jarðhitakerfinu þar sem t.d. hitadreifing og helstu rennslisleiðir (sprungur, misgengi) koma fram.

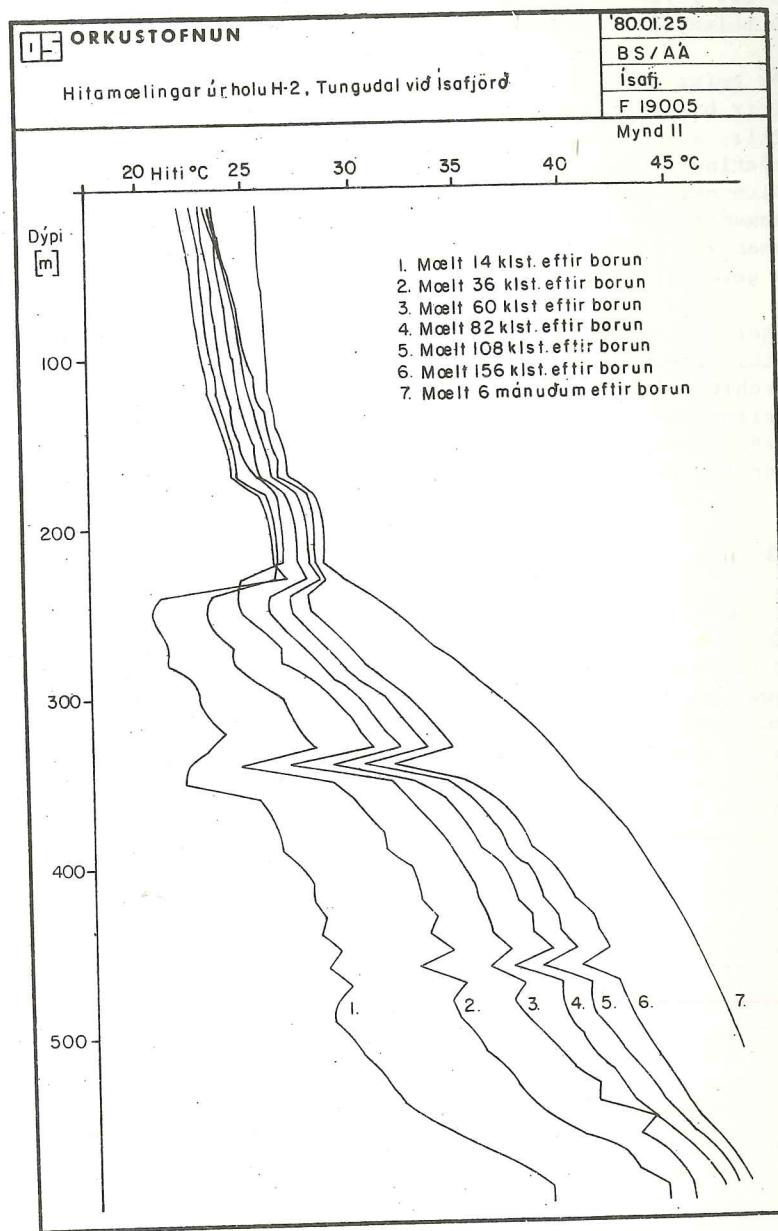
#### 3.3 Mælingar í eftirlitsholum

Á jarðhitasvæðum, sem eru í vinnslu, er oft eitthvað af holum, sem eru annað hvort varaholur fyrir vinnsluna, eða óvinnsluhæfar. Þessar holur má nota til að meta áhrif vinnslunnar á jarðhitakerfið. Með reglubundnu eftirliti er t.d. hægt að fylgjast með niðurdrætti í kerfinu með vatnsborðs- eða prýstímelingum. Hitamælingar í eftirlitsholum eru einnig nauðsynlegar til að fylgjast með hitabreytingum í kerfinu t.d. ef vinnslan dregur kalt vatn að inn í kerfið.

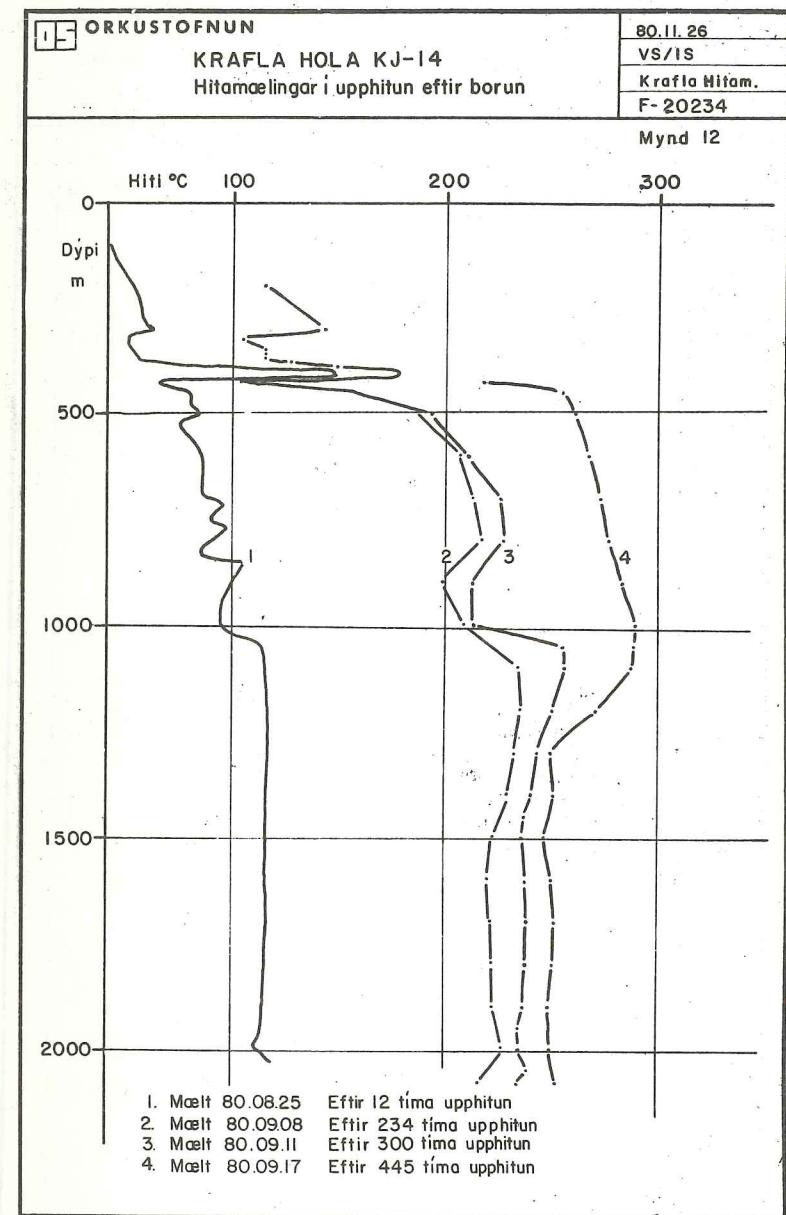
#### 3.4 Mælingar í vinnsluholum.

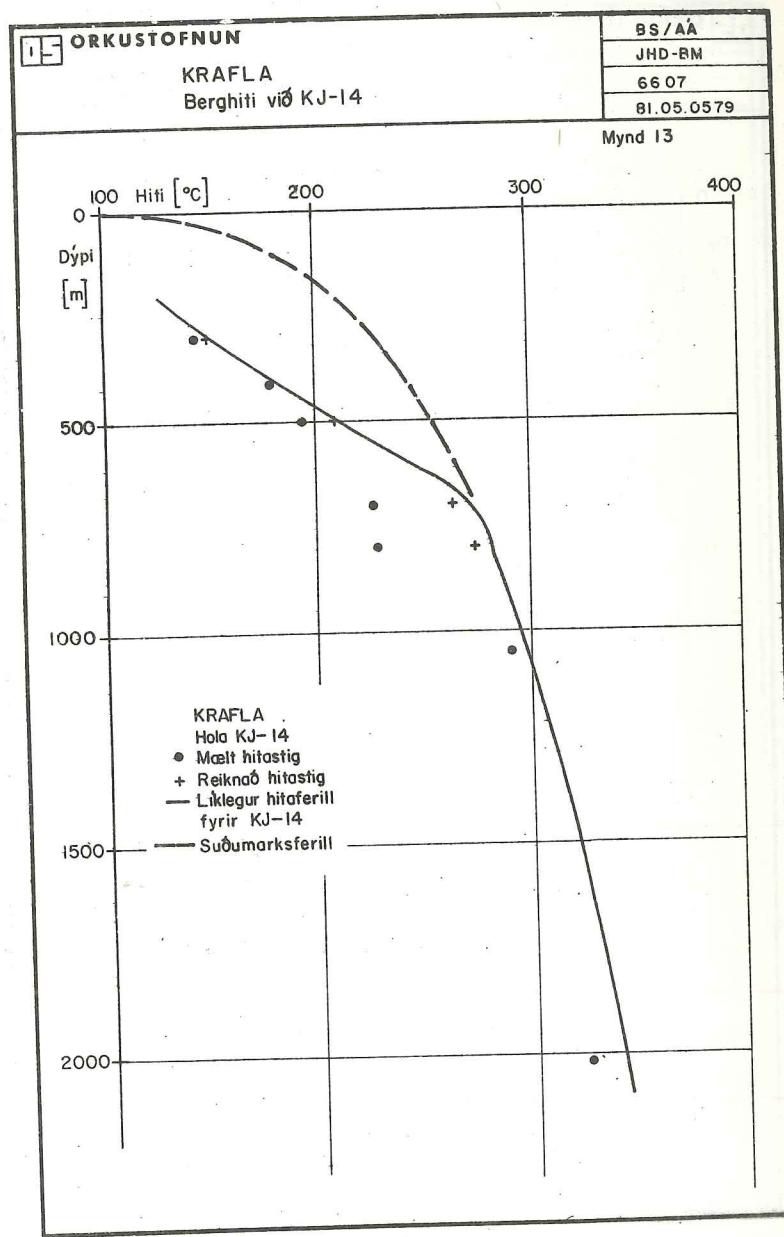
Í vinnsluholum eru kannaðar útfellingar, fóðringaskemmdir og hrún. Beitt er við það víddar- og körfumælingum, CCL-mælingum og löðunum. Í vinnsluhléum eru holurnar einnig hita- og prýstímeldar og kannað hvort og hvernig hitastig og niðurdráttur breytist með vinnslutíma.

Á mynd 14 er sýnd útfelling í holu í Svartsengi og er myndin byggð á víddarmælingu. Dæmi um fóðringarskemmd í holu KJ-9 í Kröflu er sýnt á mynd 15.

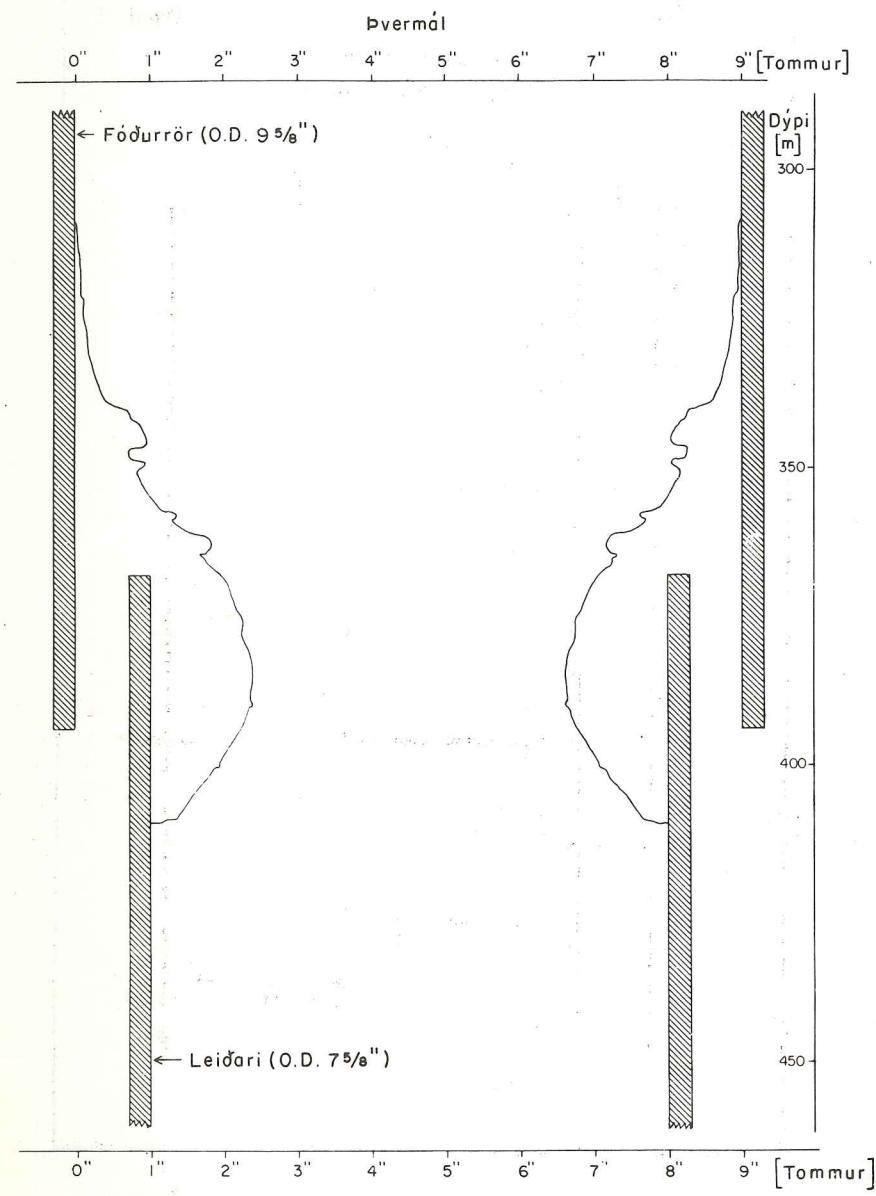


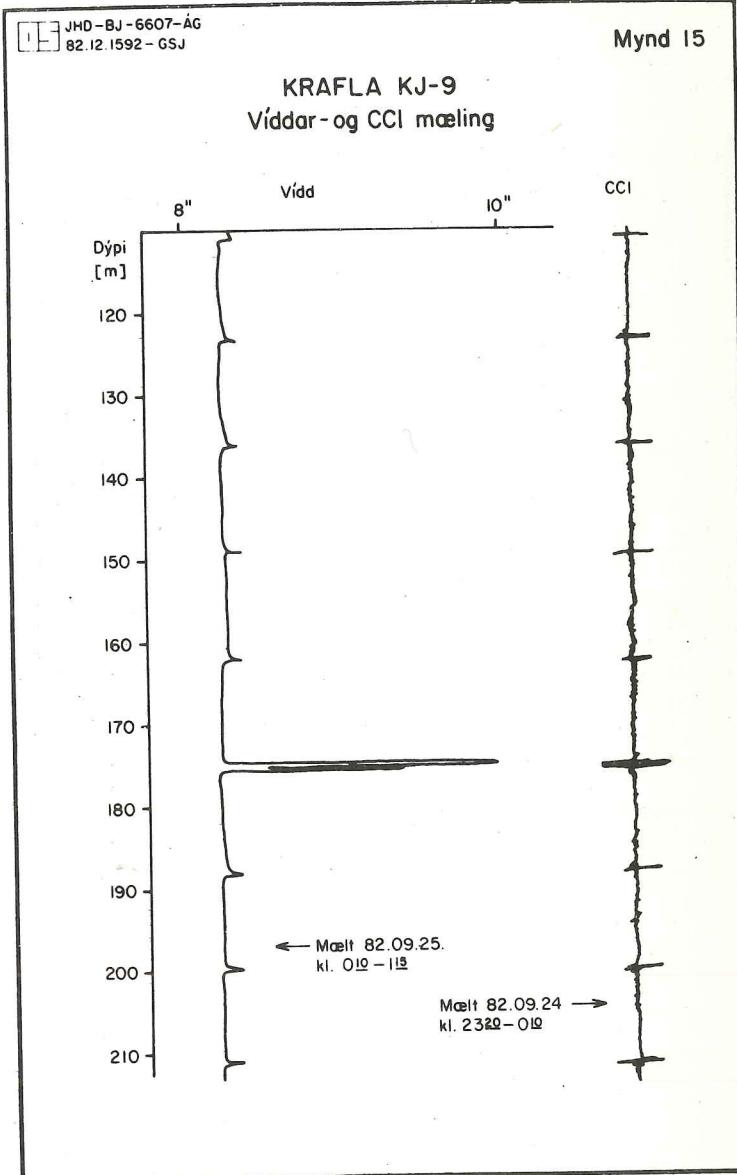
MYND 12





Mynd 14  
Kalkútfellingar í holu H-4 Svartsengi, skv. viddarmöelingu





#### 4 MÆLINGAR Í BORUN

Mjög ólikt er hvernig staðið er að borholumælingum við borun í lághitasvæði annars vegar og borun í háhitasvæði hins vegar. Á háhitasvæðum eru gerðar öryggisræðstafanir vegna hættu á að holar fari í gos á meðan á borverkinu stendur, og eru mælingar m.a. notaðar til að meta goshættu. Borverkið er einnig samfellt, og því borhlé fá og yfirleitt mjög stutt. Mælingum á háhitaholum verður því ekki viðkomið án pess að tefja borverkið. Á lághitasvæðum eru hins vegar lengri borhlé. Öll borähöfnin fer í nokkurra daga fri að loknu hverju úthaldi, og á minnstu borunum er heldur ekki borað á nöttunni.

Hér á eftir verður fjallað um mælingar á lághita- og háhitaholum og tekin dæmi um notkun mælinganna.

##### 4.1. Mælingar á lághitaholum

Hitamælingar eru langalgengustu mælingarnar við borun lághitahola. Þær eru gerðar f borhléum, t.d. eftir helgarfrí þegar bormenn mæta aftur til vinnu, en einnig ef styttri hlé verða í verkinu. Í einstaka tilvikum er hitamæli komið fyrir í botni holu í upphafi borhlés, og upphitun par mæld og skráð á sírita á meðan á hléi stendur. Tilgangur pessara hitamælinga er að ákvæða berghita við holu, fá nákvæma staðsetningu vatnsæða og vísbendingu um hitastig þeirra. Mælingarnar eru þýðingarmiklar og gefa oft á tíðum upplýsingar, sem ekki er hægt að fá eftir borun. Ef rennsli kemur t.d. djúpt inn í holu truflar það allar seinni mælingar og felur hið sanna berghitastig ofar í holunni. Á mynd 16 eru sýndar hitamælingar úr holu LJ-8 að Laugalandi í Eyjafirði. Í fyrstu mælingum kom fram litlar vatnsæðar í 300 og 600 m dýpi. Efri æðin virðist vera u.p.b. 75 °C en sú dýpri er um 80-85 °C. Við borun LJ-8 komu fram sjálfrennandi æðar neðan 130 m dýpis og sýna hitamælingarnar að allar pessar æðar hafa mjög svipað hitastig (97 °C).

Ef borun gengur vandræðalaust fyrir sig eru hitamælingar í borhléum einu mælingarnar sem gerðar eru meðan á borun stendur. Ef hrún er í holu, eða ef illa gengur að skola svarfinu upp eru oft gerðar víddarmælingar. Á víddarmælingu má sjá hvaðan hrunið er ættað, hvor skápar eru í holunni, og hversu stórir þeir eru. Útfrá mælingunni er síðan tekin ákvörðun um hvort nauðsynlegt er að steypa

hrunið af. Dæmi um þetta er sýnt á mynd 17 og er þar birt víddarmæling fyrir og eftir steypingu í hrún. Reynt hefur verið að nota víddarmælingar til að finna skráargöt í holu, en ekki tekist svo ógögjandi sé.

Í lok borunar lághitahola eru þar yfirleitt loftdældar og stundum pakkaðar. Hitamælingar eru nauðsynlegar meðan á slíkum aðgerðum stendur og er þá reynt að mæla fyrir og eftir hvern verkþátt. Samanburður á mælingunum sýnir staðsetningu vatnsæða, og hverjar peirra eru gjöfulestar. Víddarmæling og jarðlagasnið eru notuð til að velja pakkara-staði í holunni. Reynt er að velja traust berg svo pakkarinn hafi gott hald. Hitamælingar fyrir og eftir þökken sýna hvaða æðar hafa tekið við vatninu. Dæmi um hitamælingar í sambandi við loftdælingar og pakanir eru sýndar á mynd 18.

Hitamælingar í lághitaholum eru yfirleitt framkvæmdar af bormönnum, en JHD hefur lagt til mælirúllur og annan mæliútbúnað, og annast viðhald. JHD hefur reynt að halda öllum mælingunum saman og skrá þær. Er því mikilvægt, að eintak af öllum hitamælingum berist pangað. Nauðsynlegt er að greinargöðar upplýsingar fylgi hverri mælingu, það helsta sem þarf að koma þar fram er:

1. Staðsetning holu (sýsla, hreppur, staður, holunúmer)
2. Ástand holu (dýpi, főring, hvenær borun lauk, eða hvenær borhlé hófst, vatnsborð eða rennsli, magn þess og hitastig)
3. Mæling og hvenær mælt (dagsetning, tími) og hver mælir.
4. Geta um nállpunkt á dýpi.

JHD hefur látið prenta eyðublöð fyrir hitamælingar og eru á blöðunum reitir fyrir flest ofangreind atriði.

Þegar mælt er þarf að gæta þess að beðið sé nægilega lengi í hverjum mælipunkti, þannig að hitamælirinn sé í jafnvægi þegar finna þarf holubotn og skrá mælt dýpi. Gott er að athuga kvörðun mælisins við og við t.d. með samanburði við kvikasilfursmæli.

#### 4.2 MÆLINGAR Í HÁHITAHOLUM Í BORUN

Mælingar í háhitaholum meðan á borun peirra stendur, eru mun umfangsmeiri en í borholum á lághitasvæðum. Upplýsinga-

söfnun um holurnar verður að fara fram samhliða borverkinu þar sem holurnar hitna strax að borun lokinni uppþyrrir það hitastig sem mælikapall og flest mælitæki pola. Einnig eru djúpar steyptar főringar (allt að 1100 m) og loks leiðari yfirleitt í holubotn. Holurnar eru því mældar við főringardýpi áður en főring er sett niður og loks eftir borun áður en leiðari fer í holuna. Hver þessara áfanga byrjar með hitamælingum innan í stöngum. Dælt er í holuna á meðan mæling fer fram, og er tilgangur mælingarinnar að kanna hvort dæling á holutopp kæli holuna nægilega til að halda henni niðri, og varna þess að hún gjösi. Mælingin sýnir staðsetningu neðstu æða, og upphitunarhraða í botni. Ef hætta er talin vera á því að hola fari í gos þrátt fyrir dælingu á holutopp, er haldið áfram að kæla holuna, uns vissa er fyrir því að hún sé viðræðanleg. Þá er tekið upp úr holunni og hún mæld. Stöðugt er dælt í holuna á meðan. Eftirtaldar mælingar eru gerðar:

**Hitamæling:** Til að kanna upphitun og staðsetningu æða. Mælingin er borin saman við mælingu í stöngum fyrir upptekt (Sjá mynd 19).

**Víddarmæling:** Til að fá fram hvor holan hefur þvegist út og skápar myndast. Ef steypa á főringu í holum sýnir víddarmælingin hversu mikið magn sements þarf til þess.

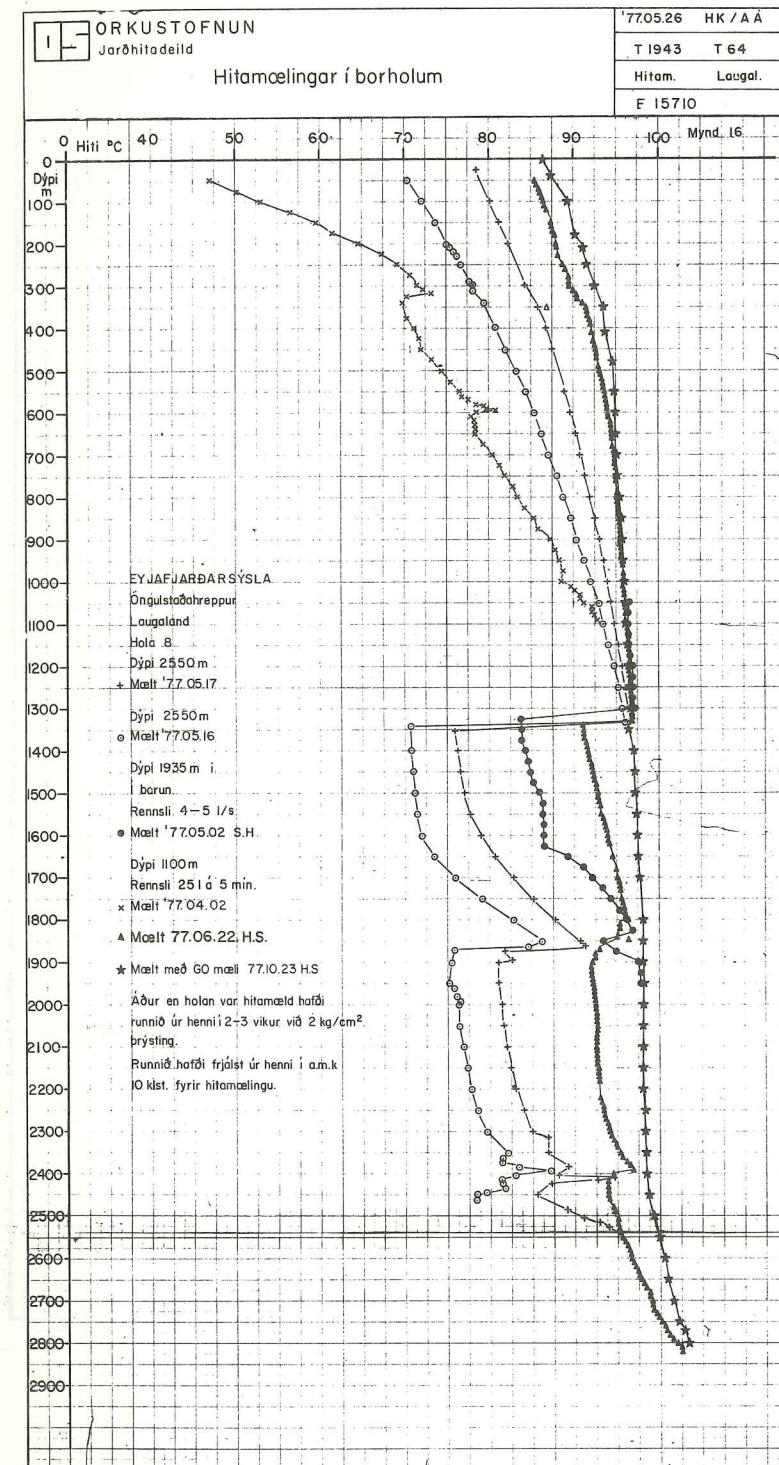
**Jarðlagamælingar:** Mælt er viðnám og poruhlut bergsins og loks er gamma-mælt. Niðurstöður eru bornar saman við borhraða, víddarmælingu og svarfgreiningu.

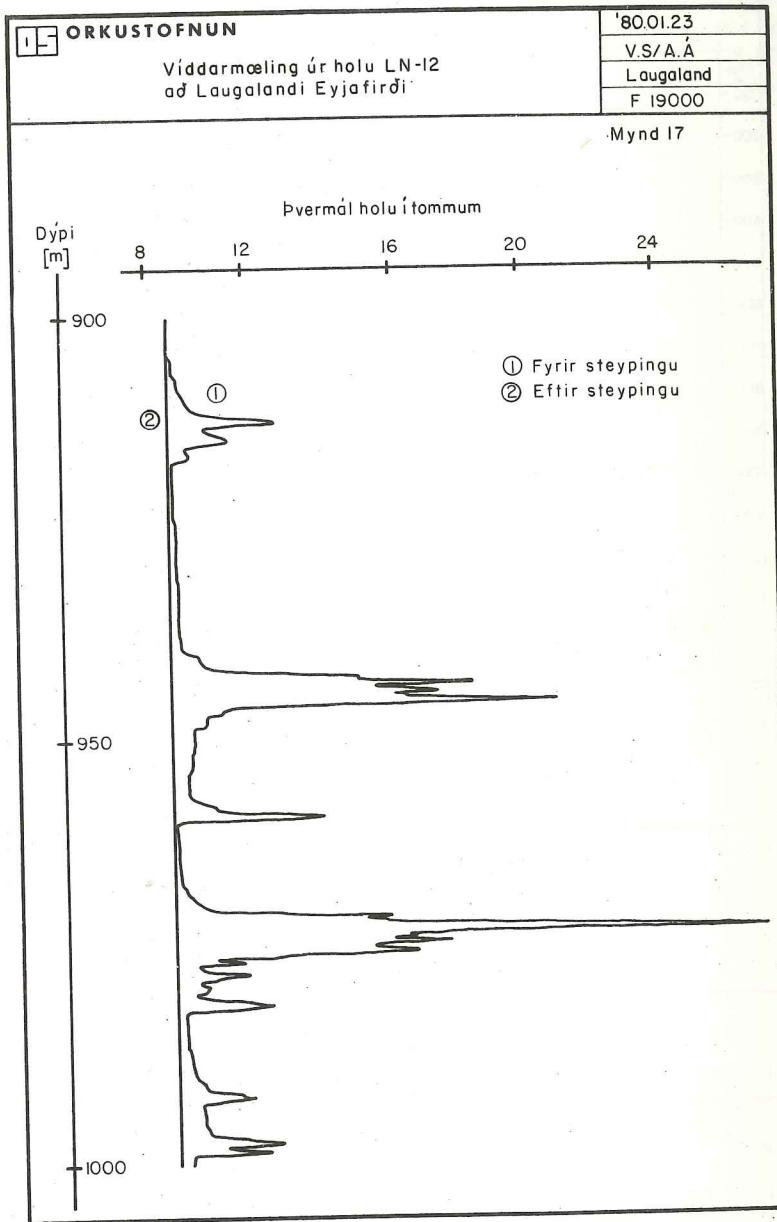
Að þessum mælingum loknum er holan főruð. Ef steypa á főringuna er steypumælir kvarðaður áður en steypt er. Eftir á er steypan mæld. Ef ekki hefur steypst upp er yfirborð hennar fundið, skotin þar göt á rörið og haldið áfram að steypa, og þannig koll af kolli uns rörið er steypt upp í topp.

Eftir útborun á steypu úr főringu er holan loks hitamæld, og gæði steypunnar á bakvið könnuð með steypumælingu. Dæmi um steypumælingar eru sýnd á mynd 20.

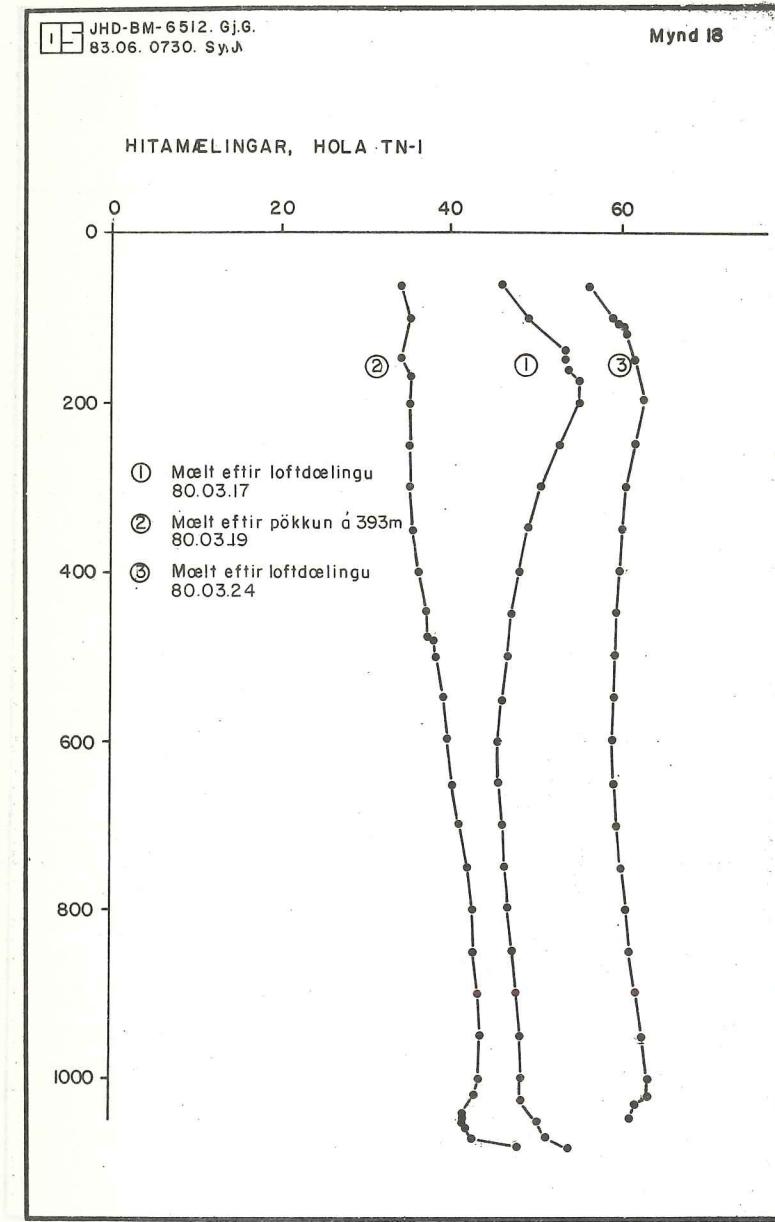
Mælingar sem gerðar eru utan þessara áfanga í borun háhitahola tengjast beint borverkinu. Halli er mældur á u.p.b. 100 m fresti. Við krónuskipti er rennt niður hitamæli fyrir upptekt, ef grunur leikur á því að holan geti farið í gos á

meðan skipt er um krónu. Áður en ný króna fer niður er einnig hitamælt til að sjá hversu djúpt er hægt að fara með nýju krónuna án kælingar, en smurning í krónulegum polir aðeins u.p.b. 100 °C. Víddarmælingum er loks beitt til að staðsettja hrún, og stóra skápa sem gera skolun á svarfi upp úr holunni erfiða, á sama hátt og í lághitaholum.





MYND 18



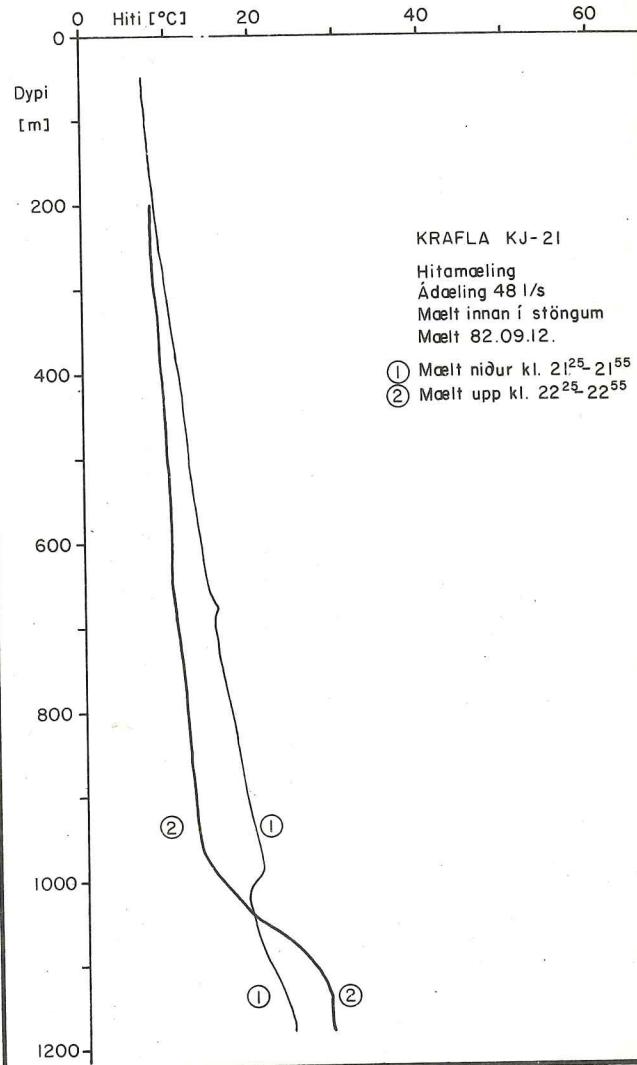
JHD-BM 6607 BS  
82.C9.1093 SLÁ

KRAFLA HOLA KJ-21

Dýpi 1200 m

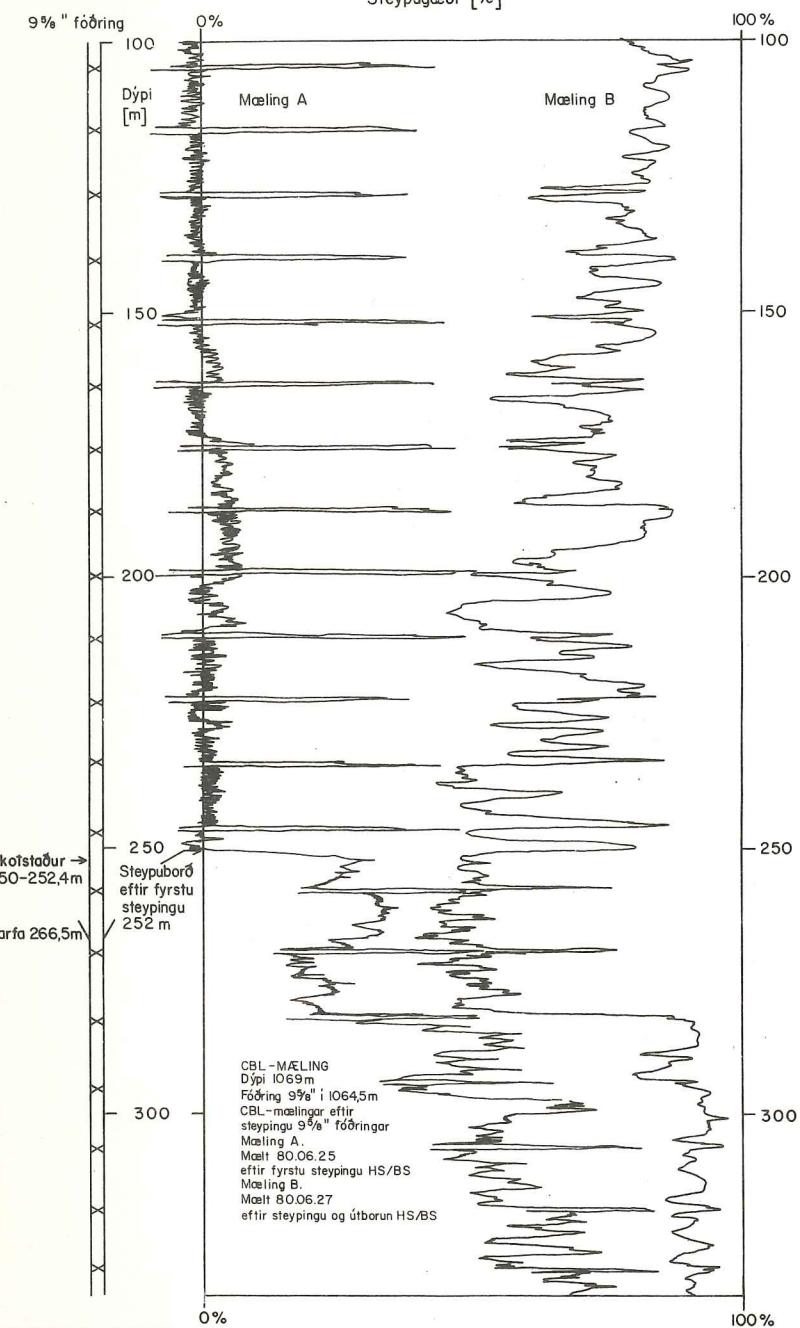
Hitamælingar við borlok

Mynd 19



KRAFLA HOLA KJ-13  
Steypugæði [%]

Mynd 20



BORMANNANÁMSKEIÐ  
JANÚAR 1983

**ÞREPADÆLING**

Ómar Sigurðsson

EFNISYFIRLIT

	Bls.
INNGANGUR.....	3
FRÆDILEG ÍHUGUN.....	4
FRAMKVÆMD MELINGA.....	6
TÚLKUN MELINGA.....	8
SAMANTEKT.....	18

INNGANGUR

Um langt skeið hefur verið fylgst með vatnsborðs- og þrýstingsbreytingum í borholum í von um að út frá þeim mætti ákvarða lekt jarðlaganna sem holan fer í gegnum, þrýsting á vatnsleiðum og fleira. Til þessa eru notaðir vatnsborðs- og þrýstimalar sem rennt er niður í holuna.

Frumútgáfur þeirra mæla sem notaðir eru í þessum tilgangi nú komu fram á árunum 1920-30. Á sama tíma þróuðust mæliaðferðirnar. Órvinnsla og túlkun mælinganna var þó enn takmörkuð. Það var ekki fyrr en 1935 er Charles V. Theis sá að breyta mætti líkingum úr varmafræði og nota til að túlka vatnsborðsbreytingar að skriður komst á órvinnsluna. Þróuðust nú þessi fræði í olfuiðnaðinum og meðal þeirra er stunduðu grunnvatnsrannsóknir.

Er rannsóknir á jarðhitasvæðum hófust vildu menn fá mat á hvernig þau yrðu best nýtt. Spurningar eins og hvað mikið mætti fá úr holunni, hver yrði niðurdrátturinn á svæðinu við langtíma nýtingu og hve lengi svæðið myndi endast voru ofarlega í hugum manna. Til að leita svara við þessum spurningum og öðrum, gerðu menn meðal annars dæluprófanir á holunum. Þessar prófanir gáfu í flestum tilvikum góðan árangur og studdust menn þar við fengna reynslu í grunnvatnsfræðum eða frá olfuiðnaðinum. Þegar farið var að bora á háhitasvæðum þar sem hitastig vatnsins er nálægt suðumarki vildu menn nota sömu aðferðir og áður til að afla svara við svipuðum spurningum. Árangurinn varð misjafn. Það var því ljóst að bæta þurfti fyrri fræði og móta nýjar túlkunaraðferðir fyrir jarðhitakerfi þar sem vatn og gufa geta verið til staðar samtímis. Undanfarin ár hefur stöðugt verið unnið að þessu en það er þó er enn skammt á veg komið. Þekkingu á þessu svíði fleygir þó fram og með vönduðum vinnubrögðum má ná svipuðum árangri á háhitasvæðum og öðrum jarðhitasvæðum. Helsti tilgangur dæluprófana í jarðhitaholum er því í stuttu málí pessi:

Mæling á vatnsleiðni (transmissivity) og vatnsrýmd (formation storage) þeirra jarðlaga sem holan sker. Þetta er síðan notað til að áætla niðurdrátt eða þrýstingsslákkun í jarðhitakerfinu við fyrirhugaða vinnslu.

Mat á tregðustuðli (skin effect) og rýmd borholunnar

(wellbore storage). Tregðustuðullinn gefur til kynna hvort holan er vel eða illa tengð vatnsgæfum lögum eða hvort iðustreymistap er í borholunni.

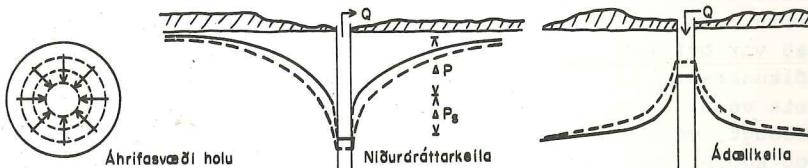
Ákvörðun á streymisleiðum vatnsins. Er sprungustreymi t.d. rāðandi eða rennur vatnið um ákveðin jarðlög? Er eitthvað sem takmarkar það svæði sem holan getur tekið vatn frá eða er einhver gjöfull vatnsleiðari í tengslum við holuna?

Fræðilegs eðlis þar sem reynsla og vitneskja frá hverri holu eða svæði kemur til nota síðar annað hvort á sama jarðhitasvæði eða annarsstaðar.

Hér á eftir verður leitast við að skýra lauslega frá þeim fræðum er liggja til grundvallar túlkunum dæluprófana, framkvæmd prófananna og hvernig bormenn geta hjálpað til við að minnka eða takmarka óæskileg utanaðkomandi áhrif á prófanirnar.

#### FRÆÐILEG ÍHUGUN

Þegar dælt er úr borholu sem sker vatnsleiðandi jarðlög lækkar vatnsborðið allt í kringum holuna, mest næst henni en síðan dregur úr áhrifum dælingarnar þegar fjær dregur (mynd 1). Þessi stærð í metrum er kölluð niðurdráttur.



Mynd 1 Vatnsborðsstæða á áhrifasvæði borholu

Ef gert er ráð fyrir að vatnsleiðin sé jöfn til allra átta út frá holunni myndast með tímanum "niðurdráttarkeila" og fer hún vaxandi því lengur sem dælt er. Þegar vatni er dælt í holu myndast á sama hátt eins konar keila í kringum holuna. Ef gert er ráð fyrir að dæling sé hin sama allan tímann má setja fram jöfnu sem lýsir vatnsborðs- eða þrýstingsbreytingum í holunni og nágrenni hennar. Fyrir

niðurdrátt í holunni (Q jákvæð stærð) yrði jafnan

$$P_{wf} = P_i - 0,1832 \frac{Q\mu}{kh} [\log t + \log (\frac{k}{\phi \mu C_t r_w^2}) + 0,3514 + 0,8686 s] \quad (1)$$

þar sem

$$\begin{aligned} P_{wf} &= mældur þrýstingur í holunni (Pa) (1 bar = 100.000 Pa) \\ P_i &= ótruflaður þrýstingur í jarðhitakerfinu (Pa) \\ Q &= dæling (m / s) (1 m / s = 1000 l/s) \\ \mu &= seigja vatnsins (Pas) \\ k &= lekt jarðlaga (m²) \\ h &= pykkt lekra jarðlaga (m) \\ t &= tími frá byrjun mælingar (s) \\ \phi &= poruhluti bergs - einingarlaust brot \\ C_t &= sampjappanleiki jarðhitakerfisins (Pa⁻¹) \\ r_w &= radius borholu (m) \\ s &= skinn stuðull - einingarlaus. \end{aligned}$$

(Sjá nánar um einingar í kafla A bls. 5-7 í Drilling Data Handbook) Ef dælt er í holuna er Q haft neikvætt í jöfnu 1. Aður en dæluprófun hefst er mikilvægt að ótruflað vatnsborð í holunni sé vandlega mælt. Ef þessu er ekki sinnt geta niðurstöður mælinganna verið illtúlkanaðar. Ef dæling (Q) breytist skömmu fyrir eða á meðan mæling stendur yfir, verður að finna áhrif peirra breytinga með nálgun sem felst í því að leggja saman mörg margfeldi af Q og þess sem er innan hornklofanna í jöfnu 1. Allur útreikningur verður þá mjög erfiður og oft ekki hægt að nota jöfnuna á þessu einfaldaða formi. Það er því mjög mikilvægt að bormenn reyni að halda dælingu sem stöðugastri þegar líður að prepadælingum í holunni. Þetta er mikilvægt því það er ýmislegt annað í gerð jarðhitakerfisins sem getur valdið fráviki frá jöfnu 1 eins og getið verður síðar.

Hægt er að leysa jöfnu 1 myndrænt með því að teikna upp þrýstinginn í borholunni á móti logaritmanum af tímanum. Þá atti að koma fram bein lína með hallatölunni

$$m = 0,1832 \frac{Q\mu}{kh} \quad (2)$$

yfir eina logaritmalotu. Út frá hallatölunni (jöfnu 2) má meta vatnsleiðni ( $T$ ) jarðhitakerfisins og síðan vatnsrýmd ( $S$ ) þess út frá jöfnu 1 ef tregðustuþullinn ( $s$ ) er pekktur.

Eins hefði verið hægt að fara að hefði vatnsborð verið mælt í holunni í stað þrýstings því

$$P = \delta g H \quad (3)$$

þar sem

$\delta$  = eðlismassi vatnsins í borholunni ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = þyngdarhröðun jarðar ( $\text{m/s}$ ) ( $9,81 \text{ m/s}$ )

$H$  = hæð vatnssúlu í holunni ( $\text{m}$ )

Þá væri jafna 1 skrifuð

$$H_{wf} = H_i - 0,1832 \frac{\Omega}{T} \left[ \log t + \log \left( \frac{T}{S r_w^2} \right) + 0,3514 + 0,868 S \right] \quad (4)$$

þar sem

$$T = \frac{k \delta g}{\mu} \quad (5)$$

$$S = \phi C_t h \delta g \quad (6)$$

og

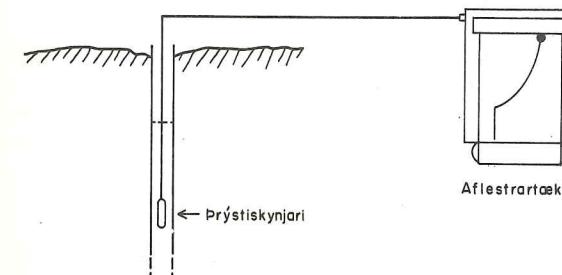
$T$  = vatnsleiðnistuðull jarðлага ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$S$  = vatnsrýmdar- eða geymslustuðull jarðлага  
-einingarlaus

#### FRAMKVÆMD MELINGA

Er líður að þrepidælingu er fyrst gengið úr skugga um, ef dælt er í holuna, að dæling sé stöðug og að henni sé haldið óbreyttri þar til mæling hefst. Þetta er gert í þeirri von að hægt verði að nota jöfnu 1 til að vinna úr mælingunni. Mælitækjum er síðan komið fyrir. Fyrst er vatnsborðsstaðan í holunni mæld til að geta athugað hvort kvörðun á þrýstiskynjara sem síðan er rennt niður í holuna sé rétt (mynd 2). Þrýstiskynjaranum er komið fyrir á einhverju ákveðnu

dýpi í holunni, neðan hugsanlegrar lægstu vatnsborðsstöðu sem gæti orðið meðan mæling stendur yfir. Skynjarinn er síðan tengdur við síritandi aflestrartæki og tækin látin jafna sig smá stund.



Mynd 2. Úppsetning mælitækja

Pegar lítil sem engin breyting er merkjanleg í þrýstingi eða vatnsborði holunnar er dælingu breytt í einu eða fleiri þrepum. Þessi breyting á dælingu veldur þrýstings- og vatnsborðsbreytingu í holunni sem er skráð út á aflesturs-tæki. Því lengur sem hvert þrep varir því viðtækari verða áhrif dælingarinnar á jarðhitakerfið sem holan sker.

## TÚLKUN MÆLINGA

Frumúrvinnsla er oft gerð á myndrænan hátt. Eru þá teiknaðar tvær myndir fyrir hvert prep. Annars vegar er dreginn mældur prýstingur á móti logaritmiskum tíma, en hins vegar prýstingsbreyting á móti tíma, hvort tveggja logaritmiskt. Í fyrra tilfellinu er leitað eftir beinni línu þar sem hægt er að nota jöfnur 1 og 2 til að reikna út þær stærðir sem sóst eru eftir. Í síðara tilfellinu er reynt að meta á hvaða bili jafna 1 er nothæf og hvaða aðrir eiginleikar jarðhitakerfisins valda frávikum frá jöfnu 1. (myndir 3 og 4).

Einnig má nota þá myndir 3 og 4 og bera hana við svokallaðar mætferla til að fá fram þær stærðir sem sóst eru eftir. Mætferlar eru hópur af prýstings- eða vatnsborðsferlum sem hafa verið reiknaðir út frá fræðilegum líkingum fyrir mismunandi aðstæður. Þeir eru venjulega teiknaðir upp sem logaritminn af prýstingsbreytingum á móti logaritmanum af tíma (einingarlaus).

Hér á eftir verða sýnd nokkur dæmi um myndræna úrvinnslu dæluprófana í nokkrum íslenskum jarðhitaholum.

Mynd 5 sýnir vatnsborðsstöðu í holu 7 á Siglufirði þegar dælt er í holu 10 neðan við pakkara á 535 m dýpi. Á myndinni sést að eftir um 200 mín frá byrjun mælinga falla mæligildin á nær beina línu. Út frá hallatölu línumnar og þeim upplýsingum sem gefnar eru á myndinni má reikna út stuðlana fyrir vatnsleiðni (T) og vatnsrýmd (S) jarðhitakerfisins milli pessara tveggja hola.

Á mynd 6 er sýndur mældur niðurdráttur í holu 5 í Svartsengi við vinnslu úr jarðhitasvæðinu. Einnig er á myndinni sýndur reiknaður niðurdráttarferill samkvæmt likani sem hefur verið gert af svæðinu. Af myndinni sést að niðurdrátturinn eykst eftir um 30 daga og heldur áfram að aukast eftir því sem á líður. Þetta bendir til þess að jarðhitakerfið í Svartsengi hafi takmarkaða útbreiðslu.

Mynd 7 sýnir vatnsborðsbreytingu á móti tíma við mælingu á holu 5, teiknuð á log-log pappír til að bera saman við mætferil holu 5 við Syðra Laugaland í Eyjafirði. Vatnsborð í holu 5 fer að hækka 2-3 mín eftir að dæling í holu 7 sem er

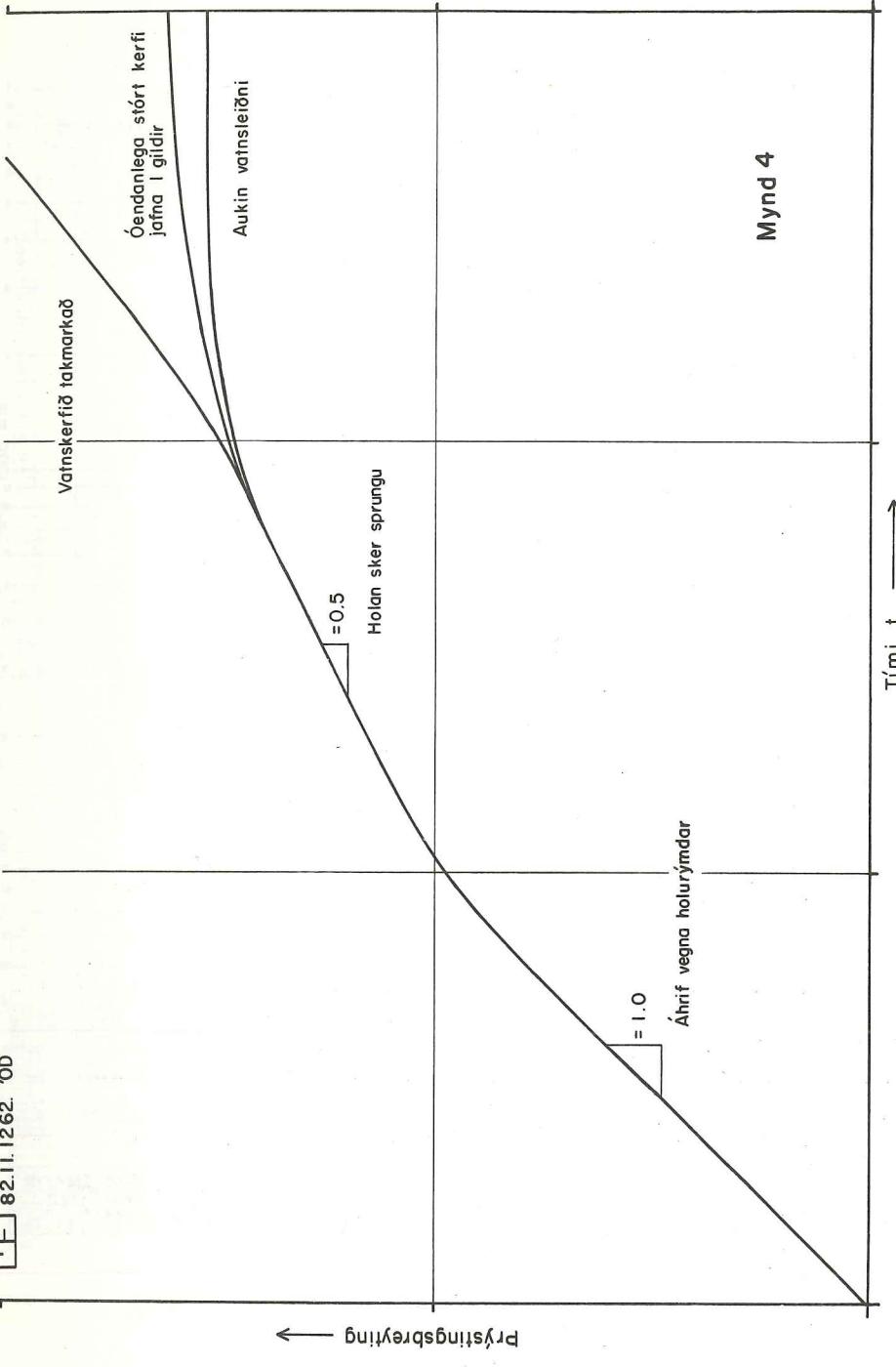
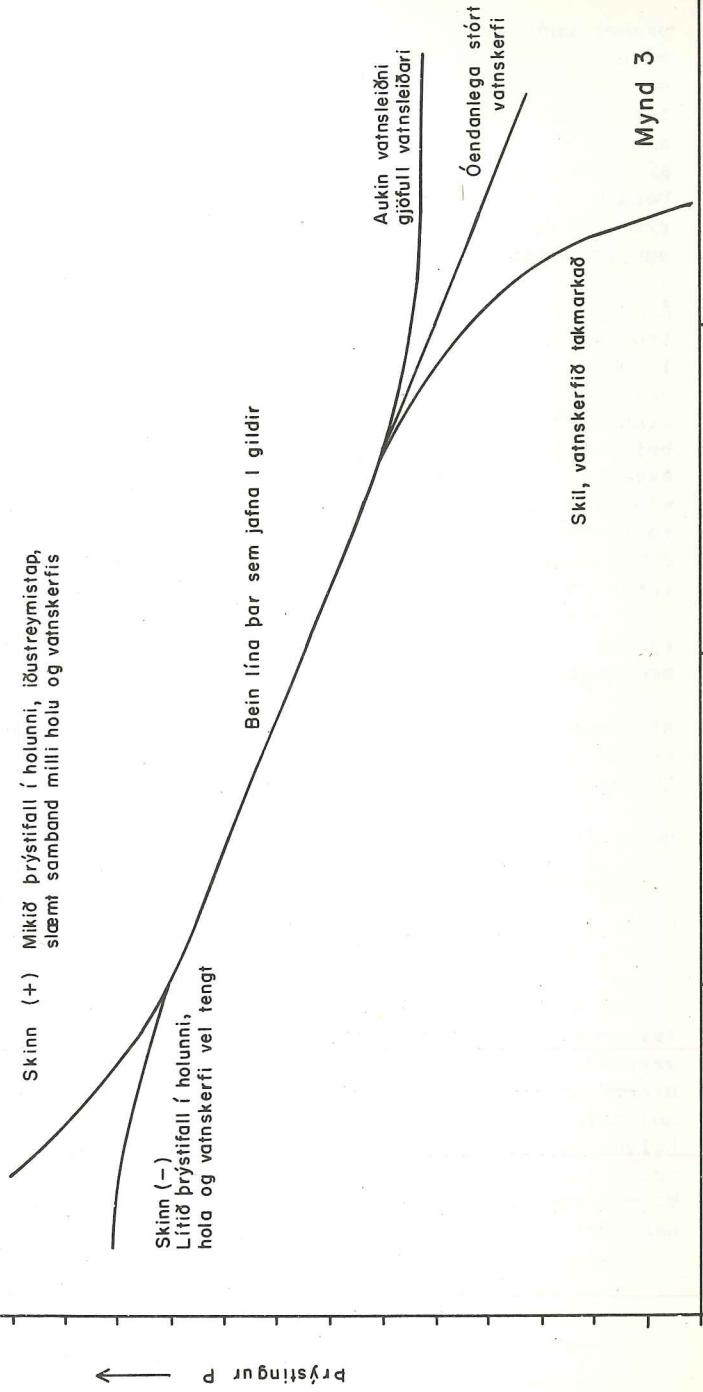
skammt undan, hefur verið stöðvuð. Þetta bendir til að verulegur sangangur sé milli holanna. Mældi ferillinn hefur verið borinn saman við mætferil sem er reiknaður út fyrir óendenlega stórt vatnskerfi. Gildin fyrir mætpunkt (opinn hringur) eru gefin á myndinni, þar sem u og W(u) eru lesin af mætmyndinni og H og t eru samsvarandi gildi. Út frá þessum gildum má reikna stuðlana fyrir vatnsleiðni og vatnsrýmd jarðhitakerfisins. Einnig sést að mældur ferill víkur upp frá mætferli.

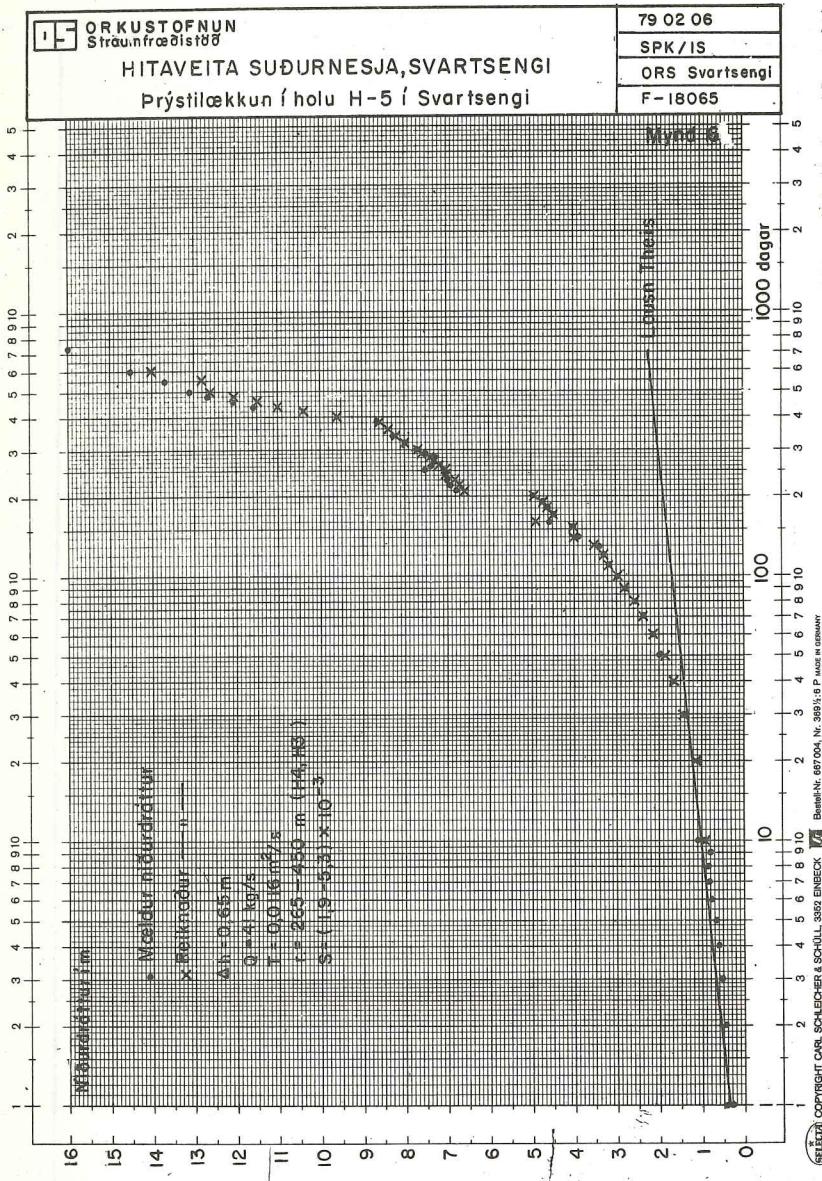
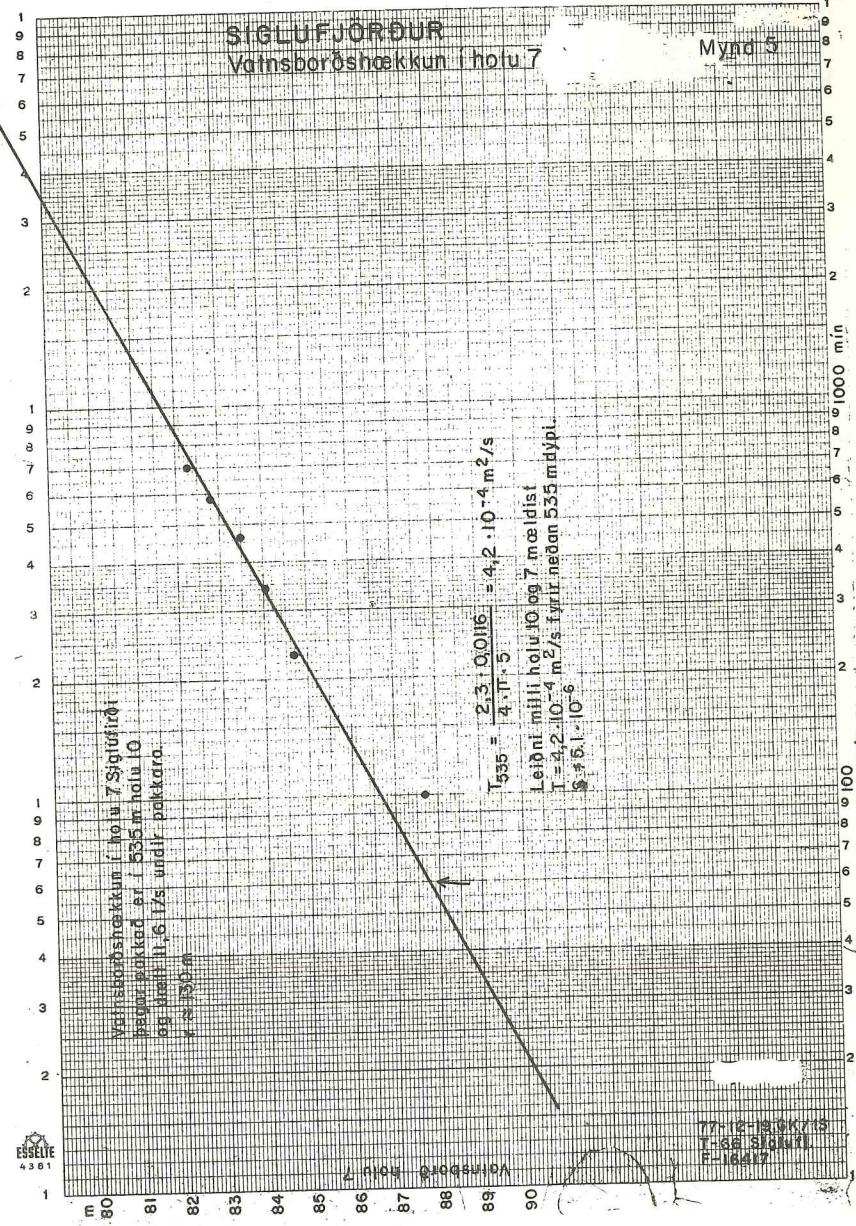
Á myndum 8 og 9 hefur sama mælingin verið teiknuð upp á hina tvö mismunandi vegu. Myndirnar sýna prýstingshækun er varð í holu 9 í Kröflu þegar holunni var lokað eftir blástur. Mælingin er gerð í holunni áður en hún náiði núverandi vinnsludýpi. Ef litið er á mynd 8 má hugsa sér að draga beina línu á nokkra vegu gegnum mælpunktana. Til að ákvarða hvar hin eina rétta lína ætti að liggja er stuðst við mynd 9. Þegar búið er að fára línumna inn á mynd 8 má reikna út vatnsleiðnina. Einnig fást upplýsingar um ótruflaðan prýsting í vatnskerfinu. Fyrri hluti mælingarinnar bendir því til að tregðustuðull holunnar sé jákvædur þ.e. mikið prýstifall sé í eða við holuna og að áhrif holurýmdar séu þónokkur. Því er ekki hægt að nota pennan hluta mælingarinnar til að reikna út þá stuðla sem sóst eru eftir.

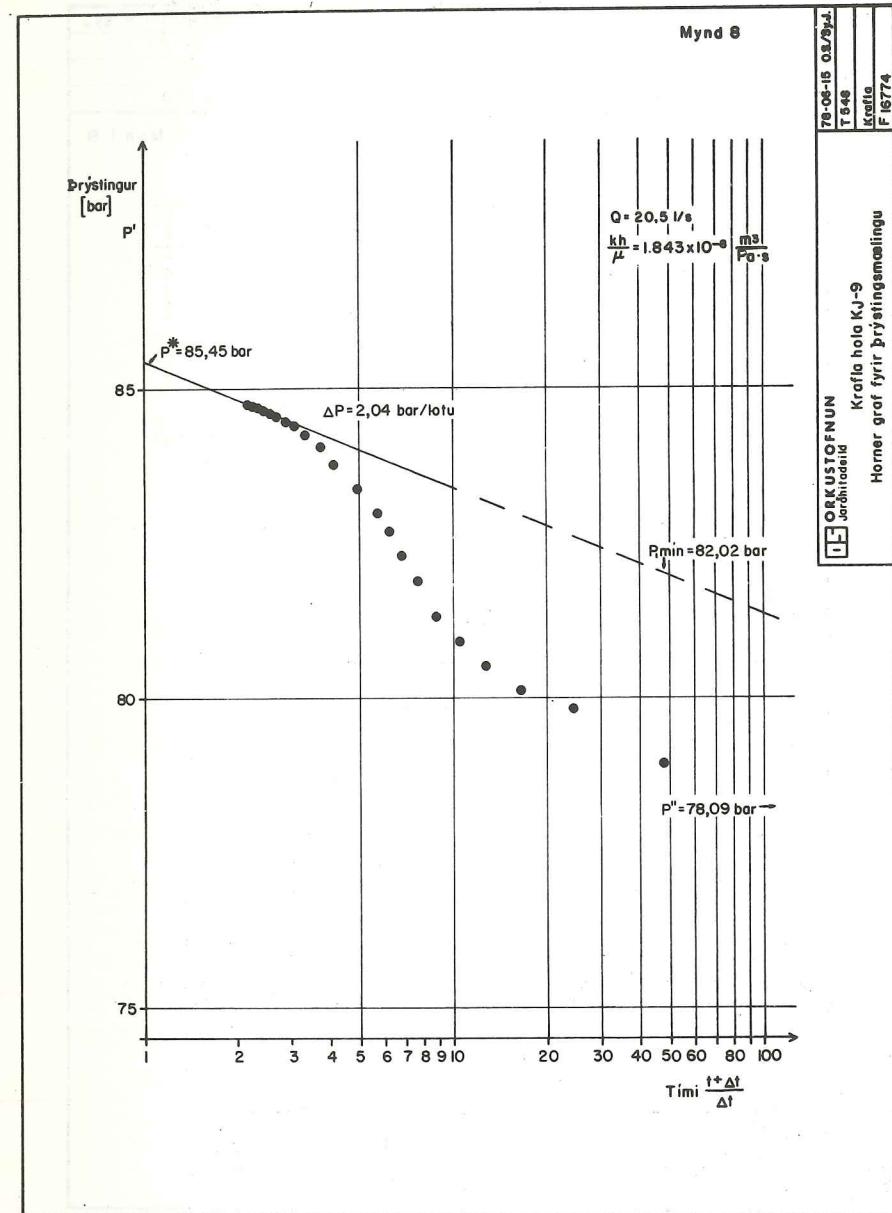
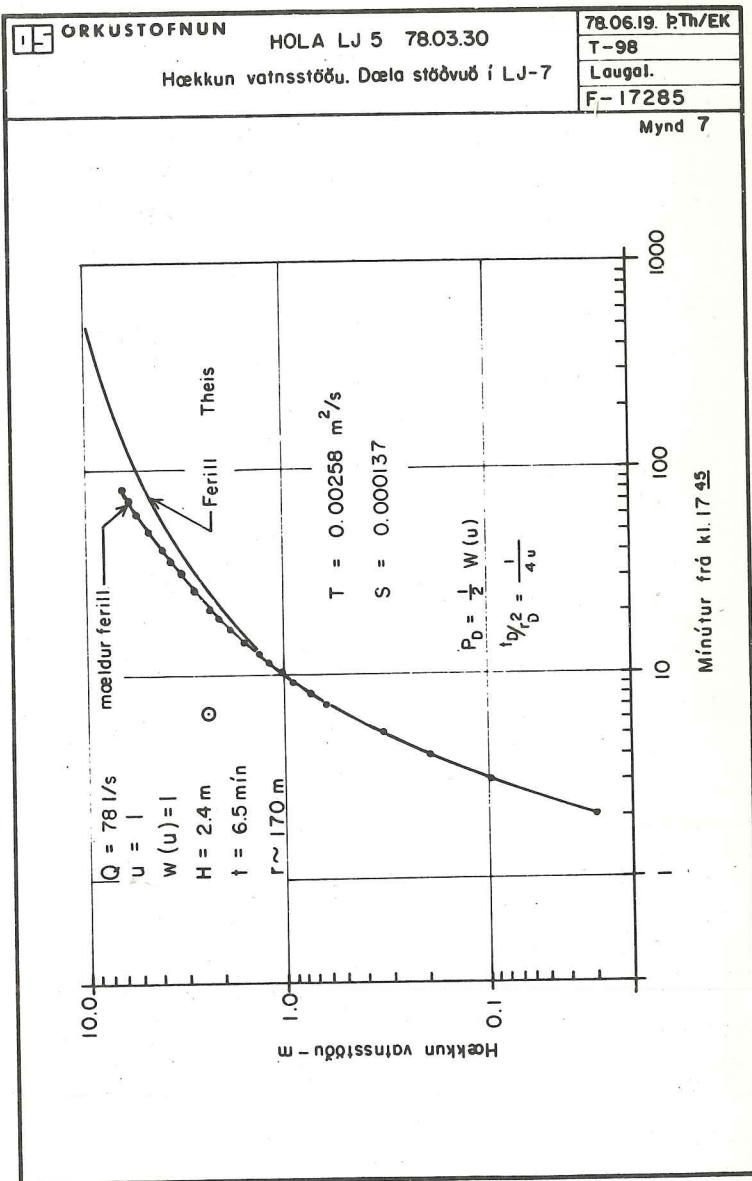
Að lokum eru hér tvær einfaldaðar skýringarmyndir sem ættu að auðvelda bormönnum að finna hvort holan sker vatnsleiðandi jarðlög eða ekki (myndir 10 og 11).

Mynd 10 sýnir að eftir því sem vatnsleiðni jarðlagana eykst þarf meira til að fylla holuna. Á svipaðan hátt sýnir mynd 11 að minni breytingar verða á vatnsborðinu í holunni þó dælingu sé breytt eftir því sem vatnsleiðni jarðlagana verður meiri.

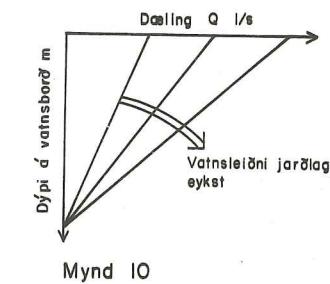
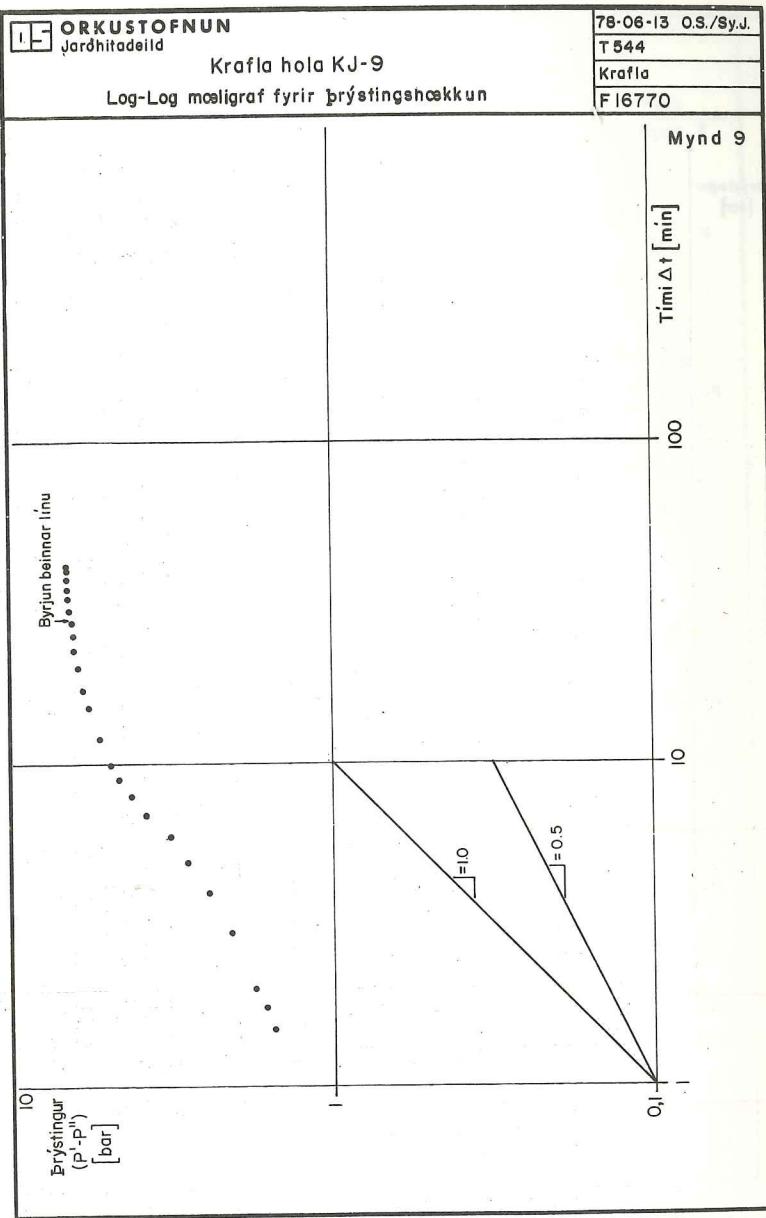
Þegar skoltap verður í borun hefur holan skorið vatnsleiðandi jarðlag sem hefur lægri prýsting en sem samsvarar vatnssúlunni í borholunni. Vatnsborðið í holunni fellur því niður uns jafnvægi hefur komist á milli prýstingsins í holunni og prýstingsins í vatnsleiðaranum. Við dælingu í holuna eftir skoltap ætti því samkvæmt mynd 10 að purfa meiri dælingu til að fylla holuna eða samkvæmt mynd 11 kemur vatnsborðið til með að breytast minna en dður ef notuð er sama dæling og áður en skoltaps varð vart.



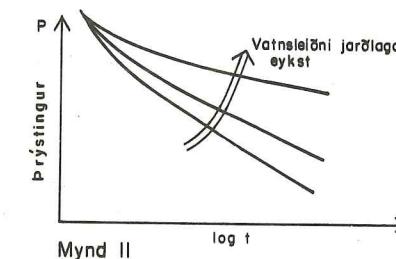




MYND 9



JHD-BM-9000-O.S  
82.II.1260.'0D



SAMANTEKT

Hér að framan hefur í stuttu máli verið lýst helstu grundvallaratriðum við framkvæmd og úrvinnslu dæluprófana. Eins og margar myndirnar bera með sér geta þessar mælingar verið nokkuð tímafrekar og varað allt frá nokkrum klukkustundum upp í marga daga. Tímalengd mælinganna ræðst af því eftir hvaða upplýsingum er söst og hversu vatnsleiðandi þau jarðög eru sem borholan sker. Þegar þor er á holunni verður ofast að takmarka tímalengd mælinganna við nokkrar klukkustundir upp í sólarhring vegna kostnaðar. Í þeim tilfellum fást yfirleitt eingöngu upplýsingar um ástand borholunnar og vatnsleiðni jarðlaga næst holunni en upplýsingar um starri hluta jarðhitakerfisins verða að bifða þar til vinnsla hefst. Til að malitími verði sem best nýttur þegar svona stendur á er mikilvægt að bormenn haldi dælingu í holuna sem stöðugastri í margar klukkustundir áður en kemur að dæluprófunum. Meðan á þrepidælingu stendur er mikilvægt að bormenn pekki vel þau taki sem peir hafa og geti nokkuð örugglega stillt á umbeðna dælingu. Þetta er mikilvægt því ekki er hægt að breyta þeiri stillingu næstu klukkustundirnar þar á eftir öðruvísi en að hafa verulega truflandi og slæm áhrif á mælinguna sem torvelda mjög alla úrvinnslu hennar.

BORMANNANÁMSKEIÐ  
JANÚAR 1983

ÞRÝSTIPRÓFANIR Í JARDHITAHOLUM

Jens Tómasson

EFNISYFIRLIT

	Bls.
1 INNGANGUR.....	3
2 PAKKARAR OG PAKKANIR.....	4
3 PRÝSTIPRÓFANIR.....	7
4 ÚTREIKNINGUR Á VATNSGÆFNI BORHOLA.....	12
5 ÁHETTUR AF PRÝSTIPRÓFUNUM.....	14
6 ÁRANGUR AF PRÝSTIPRÓFUNUM.....	16
7 NIÐURLAG.....	19
HEIMILDASKRÁ.....	20

1 INNGANGUR

Prýstiprófanir í jarðhitaholum hófust hér á landi á síðari hluta sjötta áratugarins. Prýstiprófanir eru í því fólgnar, að vatni er dælt í holuna og því haldið undir prýstingi annað hvort með því að loka holunni að ofan eða með því að setja í hana einskonar tappa (pakkara) á fyrirfram ákveðið dýpi og dæla síðan niður fyrir hann eða ofan á hann. Þegar pakkarinn er útþaninn í holuvegginn er það kallað pökkun en losun hans afpökkun.

Áður en tilraunir hófust með prýstiprófanir í jarðhitaholum höfðu þær verið gerðar hér á landi í rannsóknarborholum á virkjunarstöðum í Þjórsá og Tungná. Jón Ingimarsson og Snorri Zóphóniasson gera grein fyrir lektarprófunum í bæklingnum sem gefinn var út í sambandi við bormannanámskeið sem haldið var í apríl 1982.

Það kom í ljós í þessum lektarprófunum að lekt holanna jökkst við pessar aðgerðir. Þetta varð til þess að á JHD og JBR fóru að hugleiða hvort ekki væri hægt að nota svipaðar aðferðir til að örva rennsli jarðhitavatns inn í holur. Þegar farið var að athuga málið nánar kom í ljós að til voru pakkarar á almennum markaði (oliupakkarar) sem pössuðu fyrir jarðhitaholur og kom fyrsti pakkarinn pessarar gerðar til landsins árið 1967. Hann var fyrst notaður í 1200 m djúpri holu við Hlíðardal í Ölfusi, þann 12.12.67. Ágætur árangur varð af pessari tilraun, og fór því svo að prýstiprófanir með pakkara og loftdæling urðu fljótlega fastur liður í borholuprófunum. Á árunum 1970-77 voru boraðar 37 holur í Mosfellssveit, sem allar voru prýstiprófaðar.

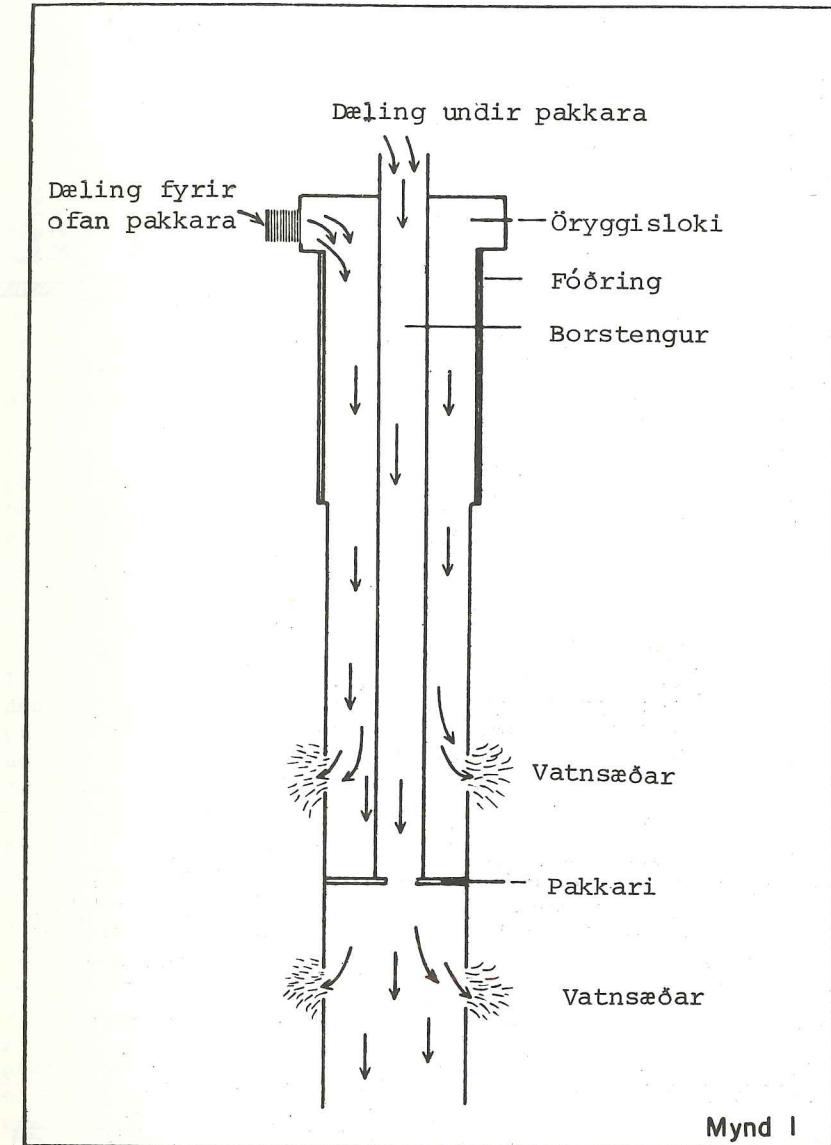
Í pessari samantekt er að verulegu leyti stuðst við þá reynslu sem fengist hefur í prýstiprófunum á jarðhitasvæðunum í Mosfellssveit. Niðurstöður úr þessum prófunum hafa birst í tveimur ritgerðum (Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson 1975 og 1978) og í skýrslum jarðhitadeildar um Mosfellssveitarsvæðið.

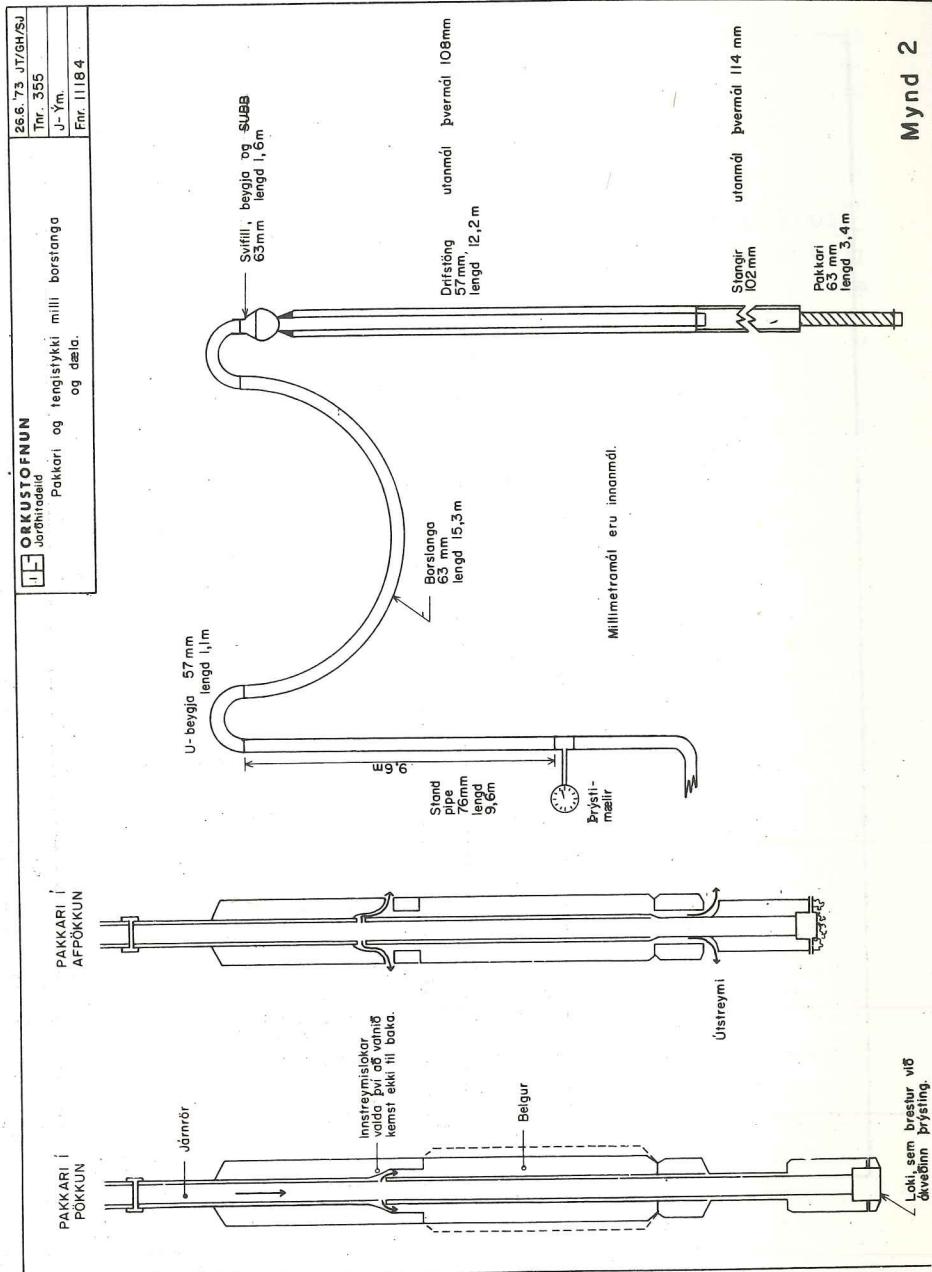
## 2 PAKKARAR OG PAKKANIR

Pakkari er í raun tappi sem koma má fyrir í borholum, þenja hann út og skipta holunni pannig í two hluta (mynd 1) p.e. bilið frá holutoppi og niður að pakkara (efra bil) og bilið frá pakkaranum og niður í botn á holunni (neðra bilið).

Jarðhitapakkarar af Lynes gerð eru úr premur hlutum: Járnhólkki, gúmmibelg og vírofnu gúmmii (mynd 2). Járnhólkurinn er innst og utan um hann er gúmmibelgurinn en yst er vírstyrkta gúmmifið. Um aðrar gerðir pakkara vísast til bæklingsins sem gefinn var út fyrir bormannanámskeiðið sem haldið var í apríl í fyrravor (Jón Ingimarsson og Snorri Zóphóniasson 1982). Efst á járnhólknum eru gengjur sem skrúfast neðan á borstöng.

Þegar jarðhitahola er prýstiprófuð er pakkarinn skrúfaður á enda borstangarlengjunnar, sem síðan er slakað niður í holuna á það dýpi sem til stendur að koma honum fyrir. Þar er pakkarinn þannin út með vatnsprýstingi. Þetta er gert pannig, að tappi er settur í endann á pakkaranum en við petta fer vatnið inn á milli gúmmibelgsins og járnholksins og þenur pakkarann út pangað til þökkunarprýstingi er náð. Pökkunarprýstingur er sá prýstingur sem parf til að tappinn fari úr pakkaranum og er hægt að ákveða hann fyrirfram með mismunandi stillipinnum á tappanum. Stillipinnarnir eru gerðir fyrir breytilegan prýsting, sem yfirleitt er á bilinu 70-150 kg/cm<sup>2</sup>. Eftir að þökkunarprýstingi er náð, helst stöðugur prýstingur í pakkaranum pangað til afpakkað er. Afþökkun er gerð með snúningi sem opnar fyrir loka á pakkaranum og hleypir vatninu út. Pökkunarprýstingurinn verður alltaf að vera nokkru hærri en prýstingurinn sem beitt er í prýstiprófuninni til að koma í veg fyrir að pakkarinn hreyfist á meðan á þófun stendur.





Mynd 2

### 3 PRÝSTIPRÓFANIR

Prýstiprófun á borholu felst í því að dælt er í holuna vatni undir prýstingi. Ef holan er fóðruð er hægt að dæla beint í holuna. Algengast er þó að setja pakkara í holurnar og er þá hægt að dæla vatni í holuna ofan við pakkarann eða undir hann í gegnum borstangarlengjuna (sjá mynd 2). Einnig er mögulegt að setja í holur tvo pakkara (tvöfaldan pakkara) og prýstiprófa bilið á milli þeirra.

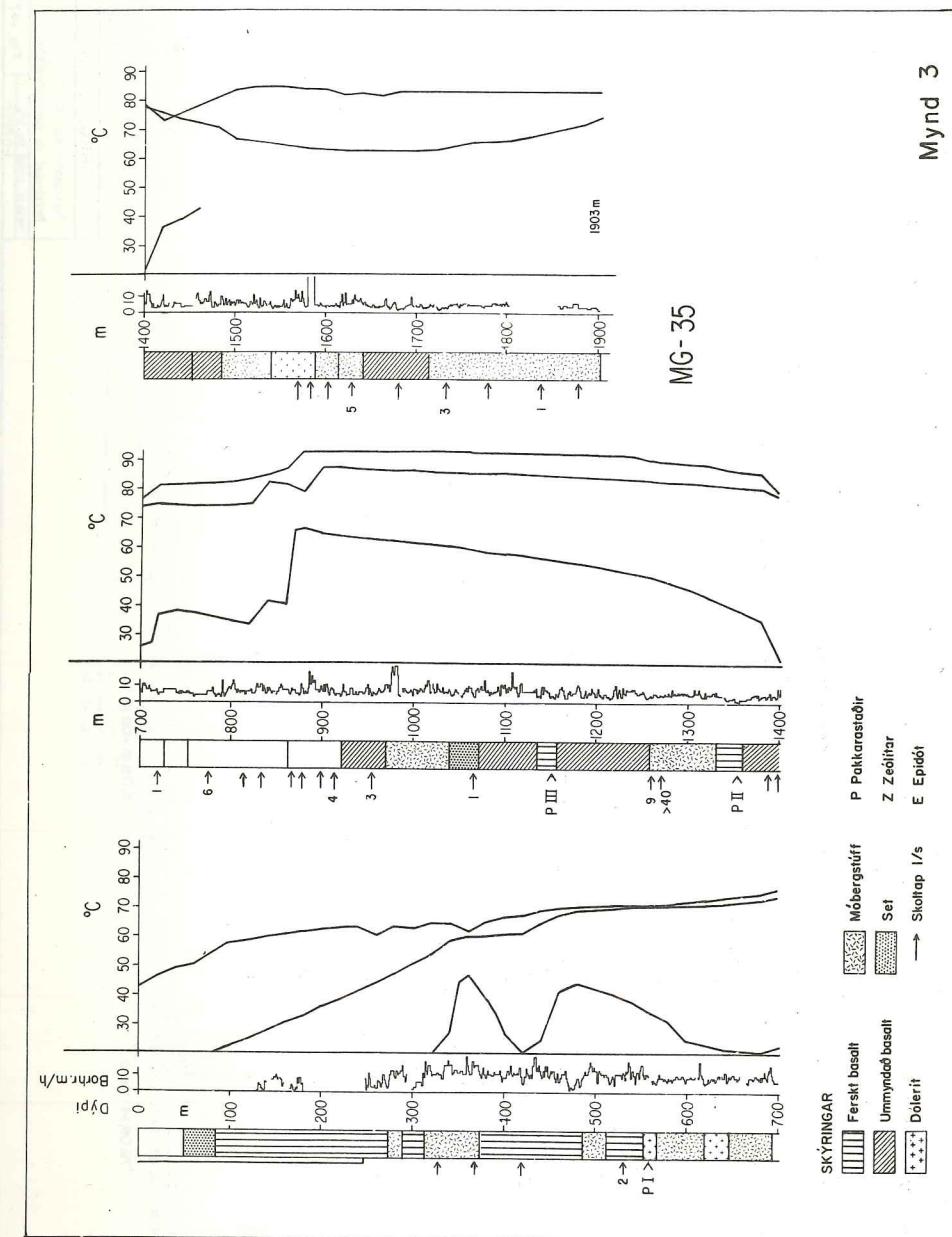
Áður en prýstiprófun hefst er vatni oftast dælt úr holunni með lofti, en í sumum tilfelli er vatnsgæfni holanna það lítil að loftdæling er talin ástæðulaus. Við loftdælingu eru borstangirnar settar niður fyrir vatnsborðið í holunni og lofti dælt í gegnum þær. Stærð loftpressunnar, sem notuð er, ræður því hvað djúpt er hægt að fara með stangirnar, en algengast er að fara um 70 - 100 m niður fyrir vatnsborð. Með loftdælingunni er prýstingur á æðum neðar í holunni lækkaður og við það eykst streymið úr þeim inn í holuna. Með þessu móti hreinsast lausustu óhreinindir úr æðunum, en þetta er einkum svarf og sag eða borleðja (stífla vatnsæðar) frá því að holan var boruð. Loftdælingu er vanalega haldið áfram pangað til vatnið er orðið vel hreint og hitinn stöðugur. Stundum er einnig loftdælt úr holu eftir hverja þökkun.

Í lok borunar og áður en prýstiprófun getur hafist, er nauðsynlegt að hafa til jarðlagasnið af holunni og lista yfir skoltöp. Þetta tvennt ásamt hitamælingum gefur upplýsingar um hvor vatnsæðar kunna að vera í holunni (mynd 3). Oftast er holunni skipt í two hluta með tilliti til vatnsgæfni hennar og pakkaranum valinn staður með hliðsjón af því. Pökkunarstaði þarf enn fremur að velja þannig að pakkakéð sé í berg sem er nægilega sterkt til að þola prýstinginn sem skapast við pökkunina. Yfirleitt er reynt að koma pakkaranum fyrir í heillegum basalthraunlöögum eða innskotslöögum. Þegar búið er að prýstiprófa bilin ofan og neðan við pakkarann er árangurinn metinn. Framhald prófunarinnar fer síðan eftir því hver útkoman úr prófuninni var. Sé mikil af æðum neðan við fyrsta pökkunarstaðinn er pakkarinn færður neðar í holuna þannig að hægt sé að prýstiprófa færri æðar í einu. Sömuleiðis er hann færður upp eftir holunni sér æðar ofar í holunni fleiri og vatnsgæfari.

Mynd 4 sýnir dælingarafkost og prýsting í premur prýsti-

þrófunarbilum í holu MG-35. Á myndinni eru sýndar tvennskonar þrýstimælingar, p.e. þrýstingur mældur á borpalli og undir pakkara. Nismunurinn á þessu tvennu er þrýstifall sem verður vegna viðnáms í borstöngum. Þrýstingurinn sem mældur er undir pakkara er þrýstingurinn sem raunverulega er lagður á bergið í holunni í viðkomandi þrófun. Hann er oft nefndur viðbótarþrýstingur, vegna þess að hann kemur til viðbótar þeim þrýstingi sem fyrir er.

Það sem gerist í þrýstiprófunum er í stuttu máli, að svarfinu eða holufyllingum sem urðu eftir í holunni eftir loftdælinguna er þrýst lengra út í vatnszéðarnar og þeim pannig dreift yfir stærra svæði. Þannig má hugsa sér að rúmmál fyrir rennsli inn í holuna sé stækkað með þessu móti (sjá mynd 5).



Mynd 3

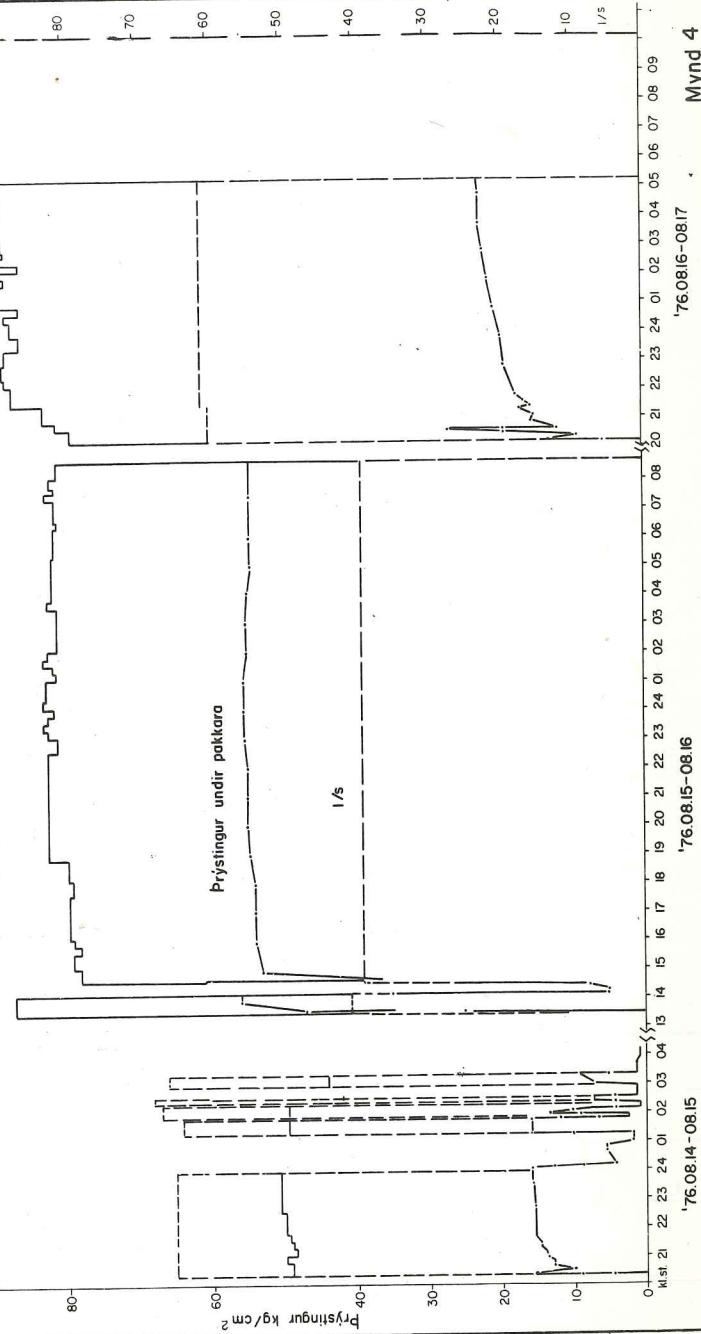
Dælt í bil m: 560-1903

1359-1903

1153-1903

100

Prýsingur meðdur á borpalli



- 10 -

Mynd 4

ORKUSTOFNUN

Prýsingur M6-35 '76.08.14-17

Prýsingur og Óslengingarafstöð

'76.08.16-08.17

Fnr. 14712

1/5

Mynd 4

ORKUSTOFNUN

Prýsingur M6-35 '76.08.14-17

Prýsingur og Óslengingarafstöð

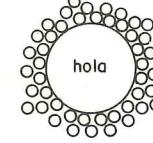
'76.08.16-08.17

Fnr. 14712

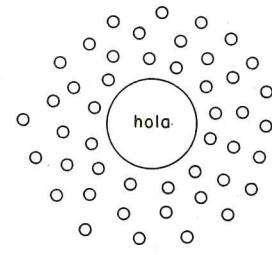
1/5

- 11 -

HE



a  
Béttapakkaðar kúlur



b  
Dreifðar kúlur af sömu stærð  
(og fjölda) og í a.

Mynd 5

Einfold skissa sem á að skýra hvernig dreifing korna eykst við að svarfi eða sprungufyllingum er ýtt lengra út frá holuveggnum. a) Sýnir afstöðu kornanna fyrir þökkun en b) sýnir hvernig afstaðan gæti orðið eftir þökkun.

#### 4 ÚTREIKNINGAR Á VATNSGÆFNI BORHOLA

Eftir að prýstiprófun í borholu er lokið er árangur hennar metinn út frá prepadælingum, en auk þess er stundum prepadælt á milli prófana á hverju gökkunarbili. Út frá prepadælingunum má síðan reikna út ýmsa stuðla sem varða vatnsgæfni holunnar (sjá töflu 1), en um þetta atriði vísast til greinar Ómars Sigurðssonar.

Með þessu móti má t.d. reikna svokallaða aukningarstuðla ( $I_1$  og  $I_2$ ), en þeir eru reiknaðir til þess að bera megi saman niðurstöðurnar úr prepadælingunni eftir prýstiprófunina og skoltapið (rennsli inn í vatnsæðar holunnar) meðan á borun stóð og í lok borunar. Aukningarstuðlarnir gefa hlutfallið á milli tveggja innrennslisstuðla og eru þeir því einingalausir. Eins og sést í töflu 1, þá er aukningarstuðullinn  $I_1$  ávallt stærri en  $I_2$ . Þetta stafar af því að skoltapið í lok borunar er mun lægra en samanlöögðu skoltöpin.  $h/Q$  er því miklu stærri tala en  $h/Q$ , þar sem deilt er í sama  $h$ -ið. Rétt er að vekja athygli á því, að aukningarstuðlarnir eru kvaðratrót af hlutfallinu milli innrennslisstuðlanna en ekki beint hlutfall eins og sýnt er í greinunum frá 1975 og 1978.

#### TAFLA 1 Stuðlar og breytur, sem notaðar eru í prýstiprófunum.

$$C = \frac{h}{Q^2} ; C_1 = \frac{h}{Q_1^2} ; C_2 = \frac{h}{Q_2^2}$$

$$I_1 = \sqrt{C_1/C} ; I_2 = \sqrt{C_2/C}$$

C: Innrennslisstuðull í borholu eins og hann er reiknaður út frá ádælingu í prepadælingu  $(m/(l/s))^2$ .

$C_1$ : Innrennslisstuðull reiknaður út frá skoltapi i lok borunar, í  $m/(l/s)^2$ .

$C_2$ : Innrennslisstuðull, sem reiknaður er út frá heildarskoltapi í borun, í  $m/(l/s)^2$ .

h: Dýpið niður á grunnvatnsborð, eins og það var meðan á borun stóð, þ.e. hæð vatnssúlunnar frá holutoppi niður á grunnvatnsborð.

$$I_1: \text{Aukningarstuðullinn} = \sqrt{C_1/C}$$

$$I_2: \text{Aukningarstuðullinn} = \sqrt{C_2/C}$$

$Q_1$ : Skoltap i lok borunar,  $l/s$ .

$Q_2$ : Heildarskoltap í borun,  $l/s$ . Það er fundið með því að leggja saman öll töp sem urðu á meðan á borun stóð.

T: Vatnsleiðni í  $m^2/s$ .

## 5 ÁHETTUR AF PRÝSTIPRÓFUNUM

Það fer ekki hjá því að einhver áhætta sé samfara því að hleypa háum prýstingi á borholu. Helst er það þó tvennt sem gerst getur í sambandi við prýstiprófur, sem haft getur skaðleg áhrif á vinnslueiginleika borhola. Í fyrsta lagi það getur pakkari festst í holunni og þannig stiflað hana. Í öðru lagi getur prýstiprófun valdið hruni í holu, og þannig minnkað afköstin, skemmt holuna eða eyðilagt hana.

Um fyrra atriðið, sem nefnt er hér að ofan, er hægt að vera stuttorður þar sem mjög lítill líkindi virðast fyrir því að pakkari festist í holu. Gerðar hafa verið á milli 200-300 prýstiprófanir með pakkara hér á landi og aðeins einn pakkari hefur verið skilinn eftir í holu frá því að prýstiprófanirnar höfust fyrir réttum 15 árum.

Um hrún í holum samfara prýstiprófunum er hægt að fara nokkuð fleiri orðum, en fyrst er rétt að gera sér grein fyrir því hvað átt er við með hruni. Hrun á sér stundum stað í holum meðan á borun stendur og er þar einkum um tvennskonar hrún að ræða. Í fyrsta lagi getur lagið sem verið er að bora í hrunið á borkrónuna á meðan verið er að bora í gegnum það. Í öðru lagi getur orðið hrún ofar í holunni og skápar myndast. Svarfið næst þá ekki upp úr holunni heldur sest til í henni. (Um þetta atriði vísast til greinar Ásgríms Guðmundssonar).

Hrun í prýstiprófun má skilgreina á mismunandi vegu og er hægt að tala um þrenns konar hrún í þessu sambandi.

- 1) Jarðlag eða jarðlög hrynda eða skrifða inn í holu og loka henni, án þess þó að falla langt niður í holuna. Þegar talað er um hrún sem verða eftir að borun lýkur er venjulega um hrún af þessu tagi að ræða.
- 2) Í öðru lagi hrynnur efni úr veggjum holu og lokar henni miklu neðar stundum jafnvel hundruðum metrum neðar. Þetta hrún er e.t.v. hægt að kalla hruntappa. Þetta gerist helst í holum sem eru mjög misvígðar, sem stundum eru kallaðar stallaholur.
- 3) Efni hrynnur úr veggjum holu og niður á botn og grynnir hana. Slík hrún kallast botnfall.

Hrun af gerð 1) eru sjaldgæf í prýstiprófunum. Í Mosfells-

sveit hefur t.d. engin hola hrunið á pennan veg af þeim 37 holum sem hafa verið prýstiprófaðar. Tappahrun 2) varð þar í tveimur holum (MG-28 og MG-35). Bæðir þessir hruntappar komu í stöllubóum holum rétt fyrir neðan stallinn. Þessar "stallaholur" eru 311 mm viðar ofan til en 245 mm neðar. Botnfall 3) verður í flestum holum sem eru prýstiprófaðar, allt frá nokkrum metrum og upp í 100 - 200 m. Botnfall virðist fremur verða í stallaholum en stallalausum. Einnig er áberandi meira botnfall í holum sem mikið er sett í af sagi í borun.

Þar eð alltaf er gert ráð fyrir einhverju botnfalli í holunum, er ávallt reynt að bora a.m.k. 100 m niður fyrir neðstu æð í holunni. Í Mosfellssveit hefur aðeins einu sinni komið fyrir að vatnsæð lokaðist af völdum botnfalla. Það var í holu MG-22, sem þrátt fyrir þetta er ein besta holan á svæðinu.

Það verður að segjast, að hrún vegna prýstiprófana á Mosfellssveitarsvæðinu sé lítið. En þó oftast hrynnji eitthvað ofan á pakkarann þá veldur það yfirleitt ekki teljandi vandræðum. Hrunhættan er mest þegar verið er að léttu prýstingi af holu (í afþökkun), og verður hún minni sé þess gætt að léttu honum varlega af. Sé hrún byrjað í holu áður en farið er að prýstiprófa holuna, má alltaf búast við því að það aukist við prófunina. Það er þó talið vel réttlætanlegt að prýstiprófa slíkar holur enda hefur árangur af prófunum svona hola oft gefið prýðilegan árangur.

Hreinsun (útboran) á hruni er oftast einföld, en stundum getur verið um meiriháttar aðgerð að ræða. Þetta fer allt eftir eðli hrunsins. Útboran á hruni af gerð 1) er meiri háttar aðgerð og óvist um árangur, þar sem hætta er á að hrunið haldi áfram. Hins vegar er tiltölulega einfalt að bora út hruntappa (gerð 2). Þetta fer þó vissulega eftir lengd tappans. Í holum MG-28 og MG-35 voru hruntapparnir t.d. 4,5 og 8 m langir og gekk vel að bora þá út. Botnfall 3) eftir prýstiprófun er venjulega látið eiga sig, enda stífla það ekki verulegar vatnsæðar.

## 6 ÁRANGUR AF PRÝSTIPRÓFUNUM

Eins og getið er um í kafla 4, þá er hægt að reikna út tvennskonar aukningarástuðla, I<sub>1</sub> og I<sub>2</sub>. I<sub>3</sub>, sem reiknaður er út frá skoltapi sýnir yfirleitt mikla aukningu eða allt frá 2-100 falda. I<sub>2</sub>, sem reiknaður er út frá samanlöögum skoltöpum sem urðu í holunni í borun er, mun minni eða 0,5-6 falda. Í sumum tilvikum nær holan eftir prófunina ekki einu sinni samanlagða skoltapinu. Orsókin fyrir þessu er oft einfaldlega sú, að skoltapið er ofmetið, þar sem vatnsæðar opnast oft aftur á meðan á borun stendur og skoltap viðkomandi æðar eða æða því talið oftar en einu sinni. Í töflu 2 er skrá yfir skoltöp og reiknaða vatnsgæfni borhola MG-3 til MG-39 í Mosfellssveit. Vatnsgæfnin er reiknuð út frá stuðlunum C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> og C, sbr. kafla 4 og töflu 1. Í útreikningi á vatnsgæfninni eru niðurstöður prepadælingar notaðar og reiknað er með 40 m föstum niðurdrætti í öllum tilvikunum.

Þó að getið sé um það í kafla 3, með hvaða móti prýstiprófanir auka rennsli í borholum, þykir ástæða að endurtaka það hér. Í fyrsta lagi þá opnast vatnsæðar sem þéttust af svarfi eða þéttiefnum meðan borun stöð yfir. Í öðru lagi brotna eða losna holufyllingar og sprungufyllingar, sem sitja í vatnarásunum, og færast lengra út í bergið eða vatnarásirnar. Í þriðja lagi geta opnast nýjar sprungur með vatnsæðar. Bestur er árangur af prýstiprófunum á kvarterum svæðum (eins og t.d. í Mosfellssveit og á Selfossi), en virðist vera heldur minni á tertíferu svæðunum. Þó hefur náðst góður árangur á Urriðavatni í því að auka rennsli inn í holur.

Munurinn á árangri af prýstiprófunum í kvarteru og tertíferu bergi liggur fyrst og fremst í eðlismun vatnskerfanna. Á tertíferu svæðunum rennur jarðhitavatnið yfirleitt í miklu afmarkaðri rásum en á þeim kvarteru, þar eð þau síðar nefndu eru oftast mun sprungnari og vatnsleiðrar stærri. Lárétt leiðni er enn fremur miklumeiri í kvartera berginu en því tertíera. Hlutfallið lárétt/löörétt leiðni er því hátt í kvarteru bergi. Á tertíferu svæðunum er bergið hinsvegar miklu þéttara og vatnsleiðni í berglögunum er að mestu eftir lööréttum sprungum. Það virðist því að auðveldara sé að sprengja útholufyllingar og sprungufyllingar í tiltölulega gropnu seti og móbergi. Þar sem lárétt leiðni er ríkjandi heldur en í þéttum hraunlagastafla þar sem löörétt leiðni er ráðandi.

TAFLA 2 \* Skrá yfir skoltap og vatnsgæfni í borholum í Mosfellssveit.

Númer holu	Heildar skoltöp 1/s	Skoltap í borlok 1/s	Gæfni holu 1/s
MG-3	82	25	46
MG-4	26	12	34
MG-5	40	12	32
MG-6	44	39	50
MG-7	135	22	107
MG-8	43	24	39
MG-9	20	11	28
MG-10	87	15	89
MG-11	27	5	40
MG-12	58	7	47
MG-13	61	48	67
MG-14	12	14	20
MG-15	19	24	20
MG-16	66	7	43
MG-17	83	36	100
MG-18	36	12	47
MG-19	141	41	60
MG-20	82	6	34
MG-21	258	3	71
MG-22	141	32	141
MG-23	149	12	100
MG-24	72	38	89
MG-25	18	3	40
MG-26	63	34	71
MG-27	35	6	40
MG-28	42	12	63
MG-29	153	11	115
MG-30	138	19	89
MG-31	67	9	89
MG-32	105	35	135
MG-33	71	9	158
MG-34	175	5	163
MG-35	190	5	163
MG-36	67	34	141
MG-37	163	7	34
MG-38	96	3	129
MG-39	192	33	129

\* Úr: Jens Tómassyni og Þorsteini Thorsteinssyni (1979)

Í skrifi þessu hefur einkum verið fjallað um þýstiprófanir á svæðum með undirþýsting á vatnskerfunum, þ.e. sjálfrennsli er ekki úr holunum. Á þessum svæðum tapast skolvatn út í æðar sem hitt er á í borun, vegna þess að þýstingur í æðunum nágir ekki til þess að lyfta vatnssúlu holunnar. Því þarf að skola svarfinu sem fer inn í æðarnar út eða ýta því lengra út í bergið.

Á svæðum með yfirþýsting gilda hins vegar allt önnur lögmál, þar eð vatn rennur stöðugt úr vatnsæðum meðan hola er boruð og æðar stíflast því ekki af svarfi eða péttiefnum. Ástæðulaust er því að þýstiprófa holurnar í þeim tilgangi að ná úr þeim svarfi eða öðrum aukahlutum. Þýstiprófanir á slíkum svæðum miða því eingöngu að því að víkka vatnsæðar í holunni eða opna nýjar. Í þessu sambandi kemur vel til greina að nota tvöfaldan pakkara.

Það sem gerist í þýstiprófun er einkum petta.

- 1) Svarf skolast úr vatnsæðum eða dreifist meira um þær.
- 2) Vatnsæðar sem fyrir eru eru víkkaðar, með því að holufyllingar og sprungufyllingar eru sprengdar út vegna þess að þær eru veikari en bergið sem þær eru í. Petta gerist í ríkara mæli í setlögum og móbergi heldur en í péttum hraunlögum.
- 3) Myndaðar eru nýjar vatnsæðar í gömlum rásum sem lokast hafa af útfellingum

Einn mikilvægur þáttur þýstiprófana er að með tilkomu peirra er hægt að bora mun dýpri holur í svæði með undirþýsting, þar sem óparft er að hætta borun þótt hitt sé á gððar vatnsæðar ofarlega í holu, vegna þess að með þýstiprófun (að loftdælingu meðtalinni) er unnt að opna aftur æðar sem voru stíflaðar í borun. Pannig má því bora í gegnum fleiri vatnsæðar eða vatnskerfi og fá betri nýtingu út úr jarðhitakerfunum.

Þýstiprófanir hafa reynst mjög gott hjálpartæki í vatnafraðilegum athugunum á jarðhitakerfum. Þær koma þar einkum að notum við að ákvarða legu (dýpi og stefnu) á óvatnsgengum skilum á viðkomandi jarðhitasvæði. Þessar athuganir eru gerðar með því að kanna áhrif ádælingar á ýmis dýptarbil holu á vatnsborð (og þá um leið vatnsæðar) annarra hola í nágrenni peirrar sem prófuð er.

#### NIÐURLAG

Um framtíð þýstiprófana er það að segja að þeim mun líklega verða haldið áfram á svipaðan hátt og verið hefur. Þó er líklegt að einnig komi fram nýjar aðferðir til þess að halda vatnsæðum opnum meðan á borun stendur. Má í þessu sambandi nefna eina aðferð sem komin er á tilraunarstig, en sú léttir vatnssúlu holunnar með lofti á meðan á borun stendur (Sverrir Þórhallsson 1982). Þessi aðferð miðar að því að léttu vatnssúluna það mikil að fremur renni úr vatnsæðum inn í holuna heldur en að skolvatn sogist út í æðarnar. Petta minnkar líkurnar á því að æðarnar stíflist af svarfi og öðrum péttiefnum sem notuð eru í borun. Þýstiprófanir í holum sem boraðar eru með þessu móti verða því e.t.v. óparfar, nema í þeim tilgangi að víkka vatnsæðar eða til að sprengja út bergið og opna nýjar.

Einnig eru uppi áætlanir um að nota hærri þýsting við þýstiprófanir en nú er gert og þá miðað að því að brjóta bergið og auka pannig vatnsgengdina í næsta nágrenni holunnar. Við slíkar aðgerðir þarf að nota tvöfaldan pakkara. Pannig má beita þýstingi á afmarkað bil í holu og nota háþrystar dælur þar sem ekki þarf að dæla eins miklu magni af vatni eins og í prófun á stærra bili. Ein slik dæla er nú til í landinu.

HEIMILDASKRÁ

Jens Tómasson 1977. Framvinduskýrsla um borholur MG-27 til MG-35 í Mosfellssveit. OS JHD 7711.

Jens Tómasson 1978. Framvinduskýrsla um borholur MG-36 til MG-39 í Mosvellssveit. OSJHD 7838.

Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson 1975. Use of injection packer for hydrothermal drillhole stimulation in Iceland. OSJHD 7532

Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson 1978. Drillhole Stimulation in Iceland. Am. Soc. Mechanical Engineers, 78-Pet-24.

Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Ingvar Birgir Friðleifsson 1977. Höfuborgarsvæði. Jarðhitarannsóknir 1965-1973. OSJHD 7703.

Jón Ingimarsson og Snorri Zóphóniasson 1982. Lektarprófanir. Bormannanámskeið í apríl 1982.

Sverrir Þórhallsson 1982. Sogborun (í undirbúningi).

BORMANNANÁMSKEIÐ

JANÚAR 1983

NOTKUN SKOLVATNS VIÐ SNÚNINGSBORUN

Sverrir Þórhallsson

#### EFNISYFIRLIT

	Bls.
INNGANGUR.....	3
1 SKOLUN.....	3
2 KÆLING HOLU OG HINDRUN GOSS.....	5
3 KÆLING KRÖNU.....	9
4 UPPLÝSINGAGILDI.....	9
5 BORVÉLAR.....	10
6 PRÝSTIFALLSÚTREIKNINGAR.....	10
7 SKOLVATNSÖFLUN.....	11
8 BORVÖKVAR.....	15

#### VIÐAUKI I

Seigja og flotmörk borleðju mæld með snældu  
Mæling eðlispyngdar með leðjuvog  
Mæling seigju - trektartími  
Sandmæling  
Sýrustig (pH)

#### VIÐAUKI II

Gæðamat á bentonít leðjuefnum

#### INNGANGUR

Við borun hefur vatn, borleðja, prýstiloft, froða og fleiri efni verið notuð til skolunar á svarfi. Við jarðhitaborun hér á landi hefur vatn verið algengasti borvökvinn, en leðja notuð í sérstökum tilfellum.

Í kafla þessum verður fjallað um tilgang með notkun skolvatns, útreikninga á magni og prýstingi, sem þarf til borunarinnar, ásamt nokkrum atriðum er varða dæluval og leðjunotkun.

Meginþættir skolvatnsnotkunarinnar eru eftirfarandi:

1. Að hreinsa svarf frá borkrónunni og bera það til yfirborðs.
2. Að kæla holuna og viðhalda prýstingi þannig að holan taki ekki að gjósa.
3. Að kæla borkrónuna þannig að péttingar og legur í henni endist lengur.
4. Að veita upplýsingar um vatnsleiðandi sprungur og jarðlög.
5. Að flytja orku til borvélara sem hafðar eru niðri við borkrónu t.d. við upphaf skáborunar. Einnig getur spúlkraftur frá spíssum (jet) hjálpað til við borunina.

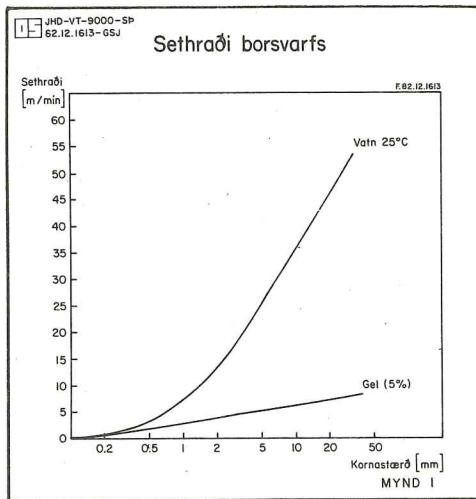
#### 1 SKOLUN

Eðlispyngd bergs er nærrí prisvar sinnum meiri en vatns og sekkur svarfið því, en skolhraðinn er háður kornastærð svarfsins og seigju borvökvans. Á mynd 1 er sethraðinn á misstórum kornum sýndur bæði í vatni og borleðju. Kemur þar fram að sethraðinn í vatni er 10-25 m/min fyrir 1-5 mm svarfkorn. Skolhraðinn þarf að sjálfsögðu að vera meiri en sethraðinn til að ná svarfi Úr holunni. Við borun með vatni hefur reynslan sýnt að sé skolhraðinn þarf sem hann er minnstur, 30-60 m/min, næst góð hreinsun á svarfinu.

Í töflu á bls. 208 í "Drilling Data Handbook" (skammstafað DDH) eru gefnar reynslutölur fyrir skolun fyrir hverja krónustærð, miðað við leðjunotkun.

TAFLA 1 Skolvatnsnotkun

Krónustærð (")	Skolhraði (m/mín)	Skolvatnsnotkun (l/s)
17 1/2	21-28	50-67
15	28-35	47-58
12 1/4	35-41	37-43
9 7/8	41-52	25-32
8 1/2	50-67	20-27
7 7/8	51-69	20-27
6 3/4	53-67	13-17
6	51-68	10-13



Þótt ofangreindar upplýsingar eigi við um leðjunotkun hefur reynsla hérlandis sýnt að þær gilda einnig í flestum tilfellum fyrir borun með vatni.

Skolhraðinn getur verið mismikill í holunni eftir því hve holan er við og borstrengur sver. Á bls. 186-188 í DDH er rúmtak holu gefið og má því reikna hver skolhraðinn er.

TAFLA 2 Skolhraði - Dæmi

Rúmtak holu (l/m)	Skolhraði við 30 l/s
8 1/2" hola 7" álagsstengur	11,8
8 1/2" hola 4 1/2" stengur	25,6
8 1/2" hola 20" skápur	191,7
13 3/8" fóðring 4 1/2" stengur	68,4

Þetta dæmi sýnir slæma hönnun holunnar. Hvað er til bóta? Hvað skeður ef 20 l/s skoltap kemur í holuna? Hvernig er brugðist við því?

Á meðan á borun stendur þarf sifellt að huga að skoluninni og sjá til þess að hún sé í lagi. Afleiðing ónógrar skolunar er minni borhraði og þó sérstaklega hætta á festu. Sérstök hætta er á festu við stangarskipti þegar skolun er hætt og snúningur stöðvaður eða þegar æðar opnast skyndilega. Gróft svarf sem ekki skolast úr holunni getur valdið sérstakri festuhættu. Ef skolhraðinn er aftur á móti of mikill (yfir 200 m/min) eykst skápamynund og útskulun og getur það valdið hruni auk annarra erfiðleika.

Athyglisvert er að notkun vatns við djúpborun varð algeng á Íslandi löngu fyrr en erlendis. Í fyrstu var vatnsskulun innleidd vegna leðjuskorts fyrir 20 árum, en síðan hafa kostir vatnsnotkunar við jarðhitaborun komið að betur í ljós. Borleðja er nú almennt talin stífla holur varanlega við hátt hitastig, en auch þess fylgir notkun hennar verulegur kostnaður. Nú er svo komið erlendis að borleðja er nær eingöngu notuð við borun fyrir fóðringu, en vatn, loft eða froða eftir að komið er niður á vinnsludýpi.

## 2 KELING HOLU OG HINDRUN GOSS

Nokkur hætta er á að borholur taki að gjósa á meðan á borun stendur. Öryggislokar borsins eiga að tryggja að hægt sé að stöðva gosið með því að loka fyrir holuna, en gera þarf við-eigandi ráðstafanir í framhaldi af því til að kæfa holuna. Kæfing byggir á því að prýstingur í holunni verði hærri en í æðinni sem gýs.

Prýstingur í borholmum á jarðhitasvæðum á Íslandi ræðst yfir-

leitt af þrýstingi vatnssálu en ekki af gufuþrýstingi í gufupúða, jarðvegsþrýstingi eða grunnvatnsþrýstingi frá nærliggjandi fjöllum, þótt dæmi um slikt séu pekkt. Á mynd 2 er sýndur þrýstingur eins og hann málist yfirleitt á mismunandi dýpi. Jafnframt er sýndur þrýstingur á keldri vatnssálu, og kemur þá í ljós að þrýstingur frá vatnssálunni er hærri en í jarðhitakerfinu á sama dýpi. Ekki er því hætta á gosi, sé þess gætt að láta holur ekki hitna og að þær séu hafðar fullar af vatni t.d. þegar borstrengur er tekinn upp. Í undantekningartilfellum er yfirþrýstingur og þarf þá að bora með þungri borleðju mynd 3. Þetta er sýnt á mynd 3 þar sem dæmi er tekið frá Hveragerði. Á mynd 4 eru sýnd áhrif eðlisþyngdar á þrýsting og ef vísað er aftur á mynd 3 kemur í ljós að því neðar sem æð kemur inn í holuna þeim mun léttari má leðjan vera. Hættulegust eru svonefnd neðanjarðargos sem stafa af því að vöki úr heitum sáum tekur að streyma upp holuna, sýður og getur komist á lítið dýpi, ef főringar eru stuttar. Suðuþrýstingi getur verið náð í holunni við þetta og þá gýs holan. Gosið hefst með skyndilegri skolvatnsaukningu, en þá ber að hífa borkrónu frá botni, loka öryggislokum og stöðva dælingu. Með því að stöðva dælingu er komið í veg fyrir að hár gas- eða gufuþrýstingur nái ofarlega í holuna. Ef ekki er tím til að hífa kellystöngina upp úr öryggislokanum ber að loka með belggosvaranum.

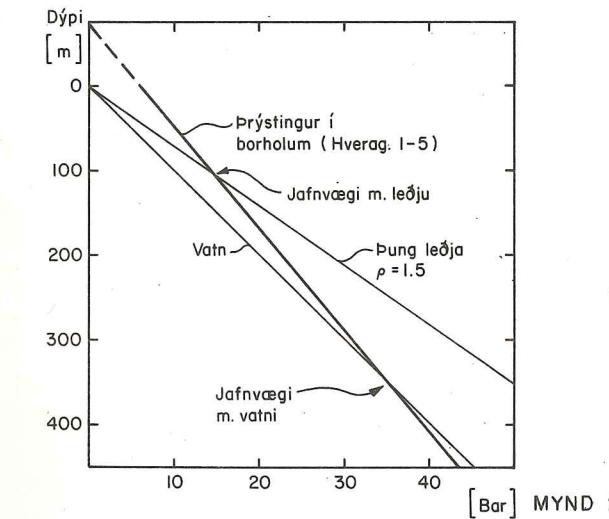
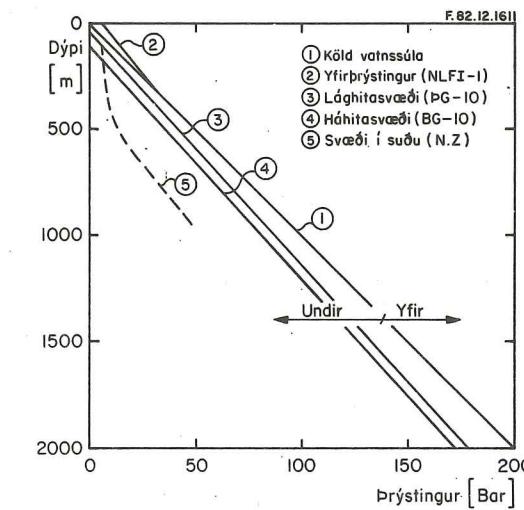
Fljóttlega eftir að lokað hefur verið fyrir á öryggisloka er nauðsynlegt að hefja dælingu á holuna um kæfingarloka undir öryggislokanum, því gámmilþettingar öryggislokanna pola aðeins  $150^{\circ}\text{C}$  til lengdar. Tilraun í Svartsengi sýndi að öryggisloki (cameron) hélt  $180^{\circ}\text{C}$  hita án kælingar í klukkutíma, en gúmmín voru ónýt að tilrauninni lokinni.

Ef vatnsdæling nægir ekki til að kæfa holuna, má reyna að pétta efri æðina, sem neðanjarðargosinu veldur, þannig að köld vatnssála komist niður í holuna og kæfi gosið. Takist það ekki, þarf að dæla þungri leðju á holuna. Neðanjarðargos getur einnig orðið við að vöki úr æð streymi niður holuna á meðan á borun stendur. Dæmi um slikt er pekkt frá borun í Eldvörpum. Goshætta stafar einnig af slíku streymi, því holan hitnar strax og hætt er að dæla köldu vatni í holuna.

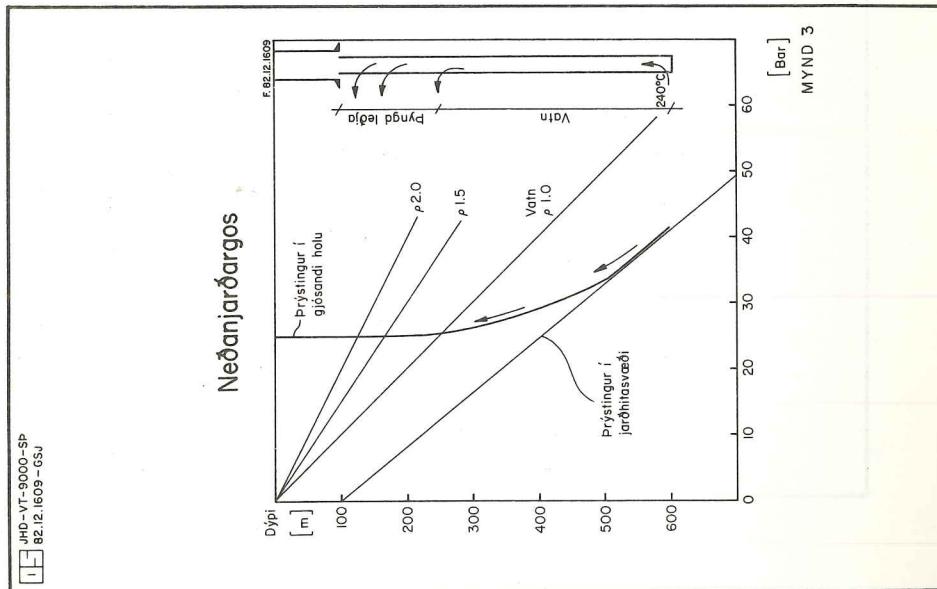
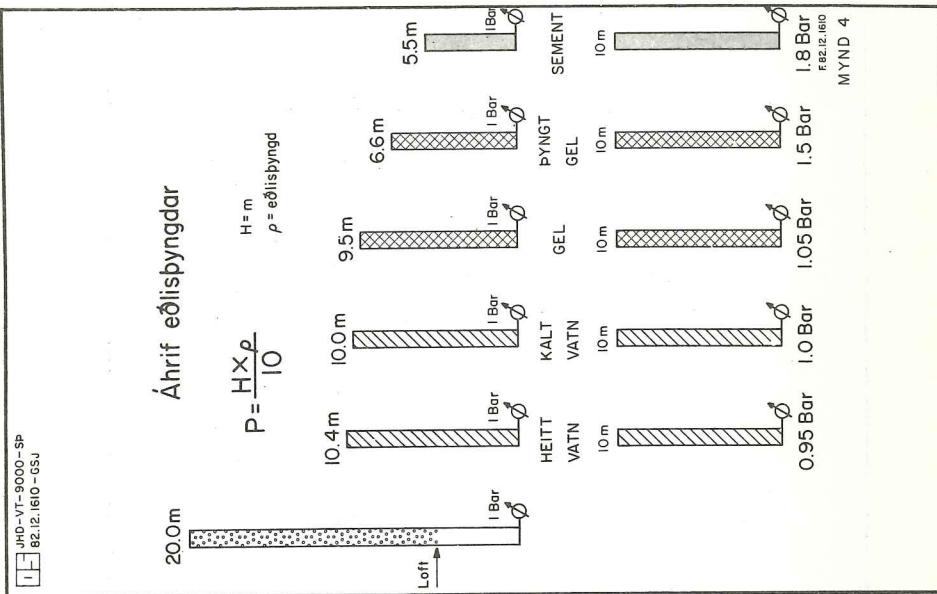
Gas getur safnast fyrir í jarðlöögum, eða við borholu sem er köld og eru dæmi þess að gasið ryðjist upp holuna og valdi goskvettu.

JHD-VT-9000-SP  
82.II.16II-GSJ

### Þrýstingur í jarðhitakerfum og borholum



MYND 2



Pung leðja fæst með því að bæta barium súlfati sem hefur eðlisþyngdina 4.2 við í bentonit leðju. Reikna þarf hversu punga leðju þarf út frá því hver prýstingurinn er og hversu langt er niður á efstu virka æð (mynd 4). Þegar eðlisþyngdin hefur verið ákvörðuð má á bls. 273 í DDH finna fblöndunarmagn í hreina bentonitleðju (ca. 1.05 að eðlisþyngd).

**TAFLA 3 Pung leðja**

Eðlisþyngd (g/cm <sup>3</sup> )	Þyngdarefni (barit) (kg/m <sup>3</sup> )
1,10	68
1,25	284
1,50	700
1,75	1200
2,00	1814

Ef setja þarf punga leðju í t.d. 500 m djúpa 10" holu þarf 25 m<sup>3</sup> af leðju, eða 17 tonn af bariti til að ná eðlisþyngd 1,5. Það dugar því skammt að hafa nokkra poka af bariti á borstað.

### 3 KÆLING KRÖNU

Stöðugt er unnið að þróun hitapolnari áspéttингa í borkrónur. Nú eru mörkin um 200 °C, en endingartími þéttингanna styttilst ofan 150 °C. Því þarf að kæla holu eftir föngum, þegar sett er niður í heita holu. Ef borað er ofan þessara hitamarka t.d. við að hreinsa holur eru krónur með opnum kúlulegum notaðar. Í borun hitnær skolvatn yfirleitt ekki mikilvið hringsrásina, og helst borkrónan því yfirleitt köld þótt borað sé í 300 °C heitu bergi.

### 4 UPPLÝSINGAGILDI

Nákvæmt eftirlit með helstu þáttum borunarinnar, svo sem álagi á borkrónu, snúningshraða, borhraða, skolmagni, skolvatnsprýstingi, skoltapi o.fl. er mikilvægt við framkvæmd verksins, og eins vegna upplýsingagildis sem það gefur um jarðhitasvæðið. Að starri borunum eru þessir þáttir að nokkru skráðir sjálfvirkir, en auch þess koma þeir fram í

borskýrslum. Eskilegt væri að borstjóri annaðist frekari úrvinnslu pessara gagna, því ella nýtast þær ekki sem skyldi við borunina.

Árifiðandi er að svarfi sé safnað til rannsókna en þeim þætti hafa þegar verið gerð skil í öðrum kafla. Athugun á stærð og lögun svarfagna og eftirlit með magni svarfs getur veitt veigamiklar upplýsingar um hvort krónuval, álag og skol sé í lagi. Ef svarf er mjög smátt, er það vísbinding um að einhverjum af ofangreindum þátta sé ábótavant.

## 5 BORVÉLAR

Tvær tegundir borvéla sem settar eru á enda borstrengs eru knúnar af prýstingi-skolvökvans. Snigildæla (DYNA-DRILL) var fyrst notuð í Kröflu 1982 við upphaf skáborunar. Snigildælur krefjast notkunar leðju, þar eð skolhraðinn er talinn of lítill fyrir vatnsborun. Margprepa túrbínur eru einnig notaðar við borun, en ekki verður farið frekar út í notkun pessara tækja hér.

## 6 PRÝSTIFALLSÚTREIKNINGAR

Yfirgnæfandi hluti orkunotkunar við borun er fer í skolvatnsdælinguna. Aflnotkunina má reikna út frá eftirfarandi jöfnu (DDH bls 259)

$$P \times Q = P \times m$$

$$\frac{P_m}{4.40 \times n_m \times n_t} = \frac{5}{}$$

Dæmi: 35 l/s dælt við 600 PSI

$$600/14,5 = 41,3 \text{ BAR}$$

$$41,3 \times 35$$

$$H_o = \frac{289 \text{ hestöfl}}{5}$$

Í töflu 1 hér að framan var sýnt að skolvatnsmagnið  $Q$  er hæð krónustærð, en prýstifallið  $P$  aftur á móti er mjög mismunandi eftir stærð borstrengs. Almennt gildir um viðkomandi tæki að ef lengdin  $L$  eykst um helming verður prýstifallið helmingi meira, ef rennslið  $Q$  eykst um helming þá fjör-faldast prýstifallið, en aukist þvermál borstangar um helming verður prýstifallið um 1/30 af því sem áður var.

$$P_2 = P_1 \left[ \frac{Q_2}{Q_1} \right]^2 \times \left[ \frac{D_1}{D_2} \right]^5$$

Töflur í DDH bls 286-312 gefa upp prýstifall fyrir hvern þátt skolvatnshringrásarinnar, en þeir eru:

1. Prýstifall á yfirborði (rör, slanga, vatnstoppur, kelly).
2. Prýstifall innan í stöngum og álagsstöngum.
3. Prýstifall í spíssum borkrónu.
4. Prýstifall milli álagsstanga, borstanga og borholu.

A mynd 5 er sýnt dæmi fyrir borun með 8 1/2" krónu (f. Gufubor) og prýstifall reiknað fyrir 20 l/s, 30 l/s og 40 l/s. Athugun á niðurstöðum bendir til að prýstifall í vatnstopp og kelly sé hátt (case 1) og að ná megi orku-sparnaði með því að stækka hann. A hinn böginn er prýstifall í spíssum borkrónnar lítið, sem bendir til of stórra spíssa.

Með töflum pessum má áætla heppilega spíssastærð miðað við bortæki, dælukosts viðkomandi bors og hæfni til að bora holu af ákveðinni stærð o.fl. Til fröðleiks má geta þess að við oliuborun er talið eðlilegt að 60% af prýstifallinu verði í borkrónnuspíssunum (er 15% í reiknaða dæminu) til að svonefnd vatnshestöfl (hydraulic horsepower) krónunnar verði sem mest. Þetta á þó tæplega við um borun í gosbergi.

## 7 SKOLVATNSÖFLUN

Yfirleitt er skolvatn sótt í vötn og læki og dælt að borstað. Lagnir eru gjarnan innan við 2 km að lengd og lyftihæð nokkrir tugir metra. Þvermál vatnslagna er oftast 6" (150 mm) en 8" (200 mm) og 4" (100 mm) lagnir eru einnig notaðar. Þegar borstaður hefur verið valinn þarf að gera áætlun um vatnsoflunina. Þegar fjarlægð, hæðarmunur frá vatnsbóli að borstað og rennsli er pekktt er hægt að ákvarða stærð aðfærslusvær og velja dælu. A prýstifallslínuriti sem gert er fyrir plaströr má ákvarða prýstifallið fyrir mismunandi rörastærðir. Jafnframt er sýnd tafla fyrir stálrör eða álrör.

ÞRÝSTIFALL Í STÖNGUM OG HOLU (DÆMI)



TEKI	DELT MAGN				Tilv. DDH bls
	20 l/s ΔP [bar]	30 l/s ΔP [bar]	40 l/s ΔP [bar]	Tilv.	
1. Kelly, slanga svifill og rör (case 1)	5,0	10,5	(20,0)	(1) 289	
2. Borstengur 4 1/2" 1000 m (3 1/4" I.D.)	8,0	18,0	30,0	(8) 293	
3. Kollar 7 1/4" 100 m (2 13/16" I.D.)	3,0	6,0	10,0	295	
4. Borkróna Spissar 24-24-24	(3,5)	(6,7)	(12,0)	.297	
Samtals í stöngum	19,5	41,2	72,0		
5. Meðfram kollum 7 1/4" x 8 1/2"				(10) 300	
6. Meðfram stöngum	0,75	1,7	(3,0)	(3) 307	
7. í fóðringu	0,05	1,5	2,5	(1) 308	
Samtals utan stanga	2,8	7,7	13,5		
Heildar þrýstifall	22,3	48,9	85,5		
Mælt í PSI	330	720	1250		

MYND 5

Dæmi - Útreikningar á aðfærslu skolvatns og val á dælu.

Gefið:

Flutningsþörf 40 l/s

Lengd leiðslu 1000 m

Hæðarmunur 10 m

Þrýstifall í 150 mm röri er 37 m

Hæðarmunur 10 m

Heildarlyftihæð 47 m

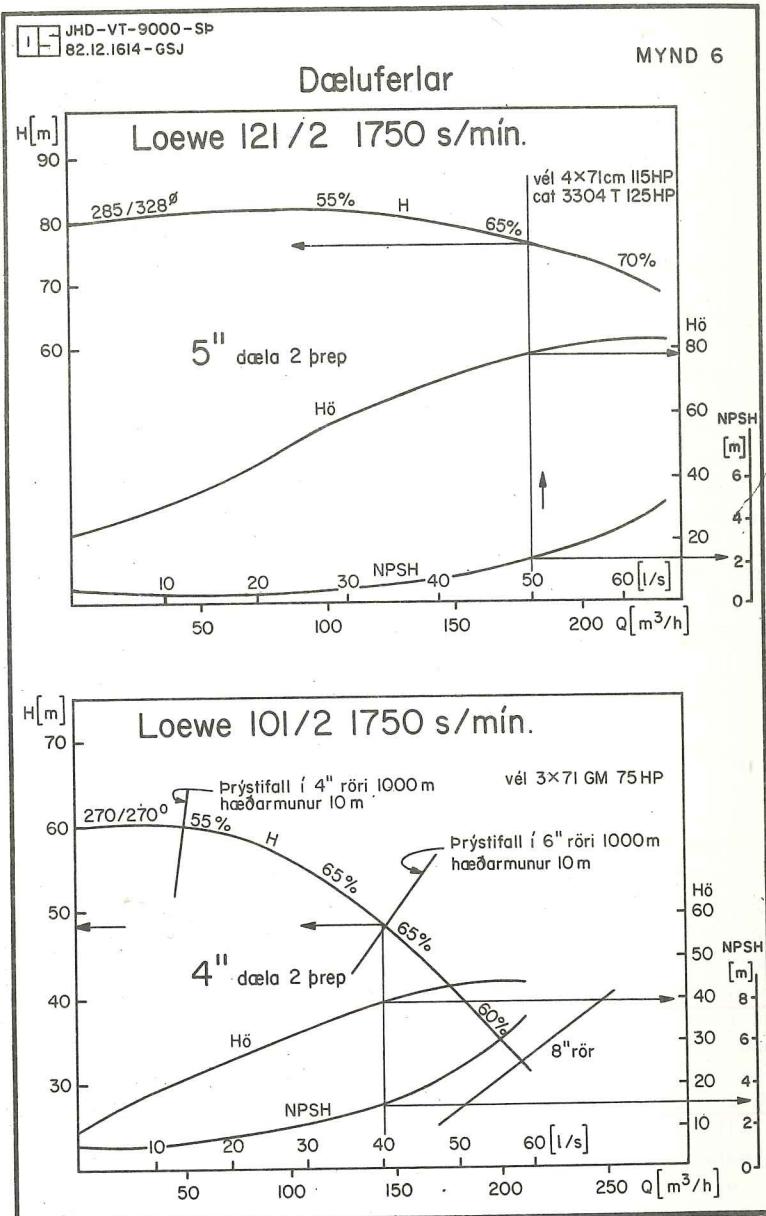
Við petta bætist síðan soghæðin að dælu.

Ef litið er á dæluafköst fyrir núverandi dælukost JBR (mynd 6) sést að 5" tveggja þreppa dælan hefur 78 m þrýstihæð, en 4" tveggja þreppa 48 m við 1750 s/mín og nægir sú síðast-nefnda því til verksins.

Sama er að segja um einsþreppa 4" dæluna því hún afkastar 48 m. Ef 4" dælan með 2 þreppum er notuð má jafnframt sjá hámarksafköst aðflutningsæðar fyrir 1000 m langa lögn er

Pvermál röra (IN)	Afköst (l/s)
4"	15
6"	40
8"	58

Á myndum eru áhrif mismunandi dæluhjóllsstærðar (mynd 7) og snúningshraða (mynd 8) sýnd. Með vali á þeim má einnig hafa áhrif á afköst dæla. Af afkastaferlum sem birtir eru í handbók um viðkomandi dælu má einnig sjá hvaða soghæð dælan annar. Með soghæð er átt við hæð frá vatnsborði í miðja dælu, áður en hún missir vatnið. NPSH er mælieining fyrir soggetuna en raunveruleg soghæð fer eftir hitastigi vatnsins eins og sýnt er á mynd 9. Í fyrrgreindu dæmi er NPSA LOEWE dælurnar 3 m og af mynd 9 má sjá að dælan getur sogað af 7 m við 0°C en 5 m við 60°C, en getur ekkert sogað við 90°C og ef hitinn á vatninu er 97°C þarf dælan að vera 2 m neðan við vatnsborð. Petta atriði þarf að hafa í huga þegar fæöidalum er valinn staður. Útskýrið af hverju ekki er hægt að dæla úr Geysi til að koma honum í gos?



## 8 BORVÖKVAR

### Vatn

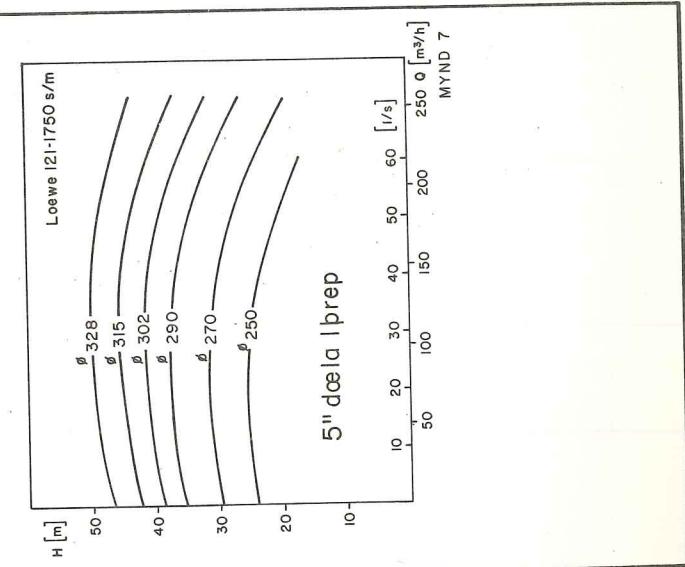
Eins og áður er getið er vatn algengasti borvökvinn. Best er að nota hreint kalt vatn, því svarf fellur hráðar í heitu vatni. Hristisigti hreinsar allt svarf sem er stærra en 0,5 mm, en finna svarf lendir í karinu, ef vatnið er ekki endurnýjað. Til þess að hreinsa smákornin úr vatninu er þörf á sandskiljum, þær vinna yfirleitt við 3 bar prýsting og henta pá gúmmiklæddar dælur best.

### Leðja

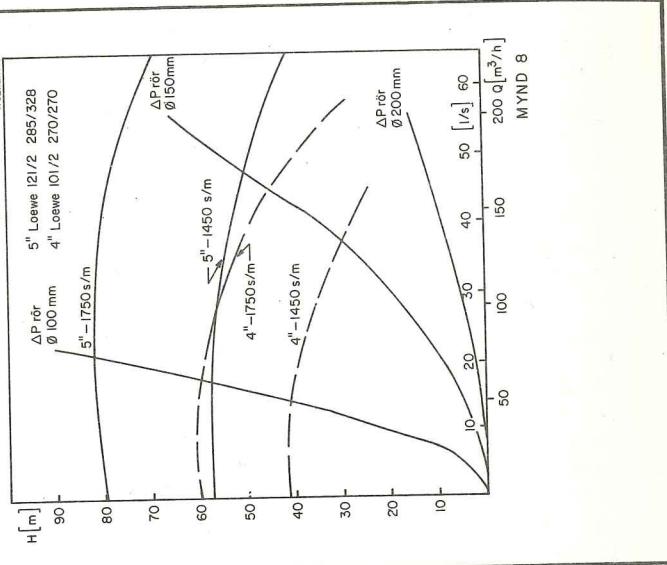
Leðjunotkun hefur aukist hér á síðustu árum, einkum við borun á mjög víðum borholum. Dælustærð borsins og pvermál borstanga takmarkar på skolmagnið og gerir leðjunotkun nauðsynlega. Of langt mál er að fjalla ítarlega um leðjunotkun og mismunandi uppskriftir fyrir leðju. Algengast er hér á landi að nota hreint bentonít sem blandað er vatni í litlu magni, en hefur mikil áhrif á seigju borvökvans. Miklu máli skiptir að borleðjan sé í fyrstu löguð úr ósöltu hreinu vatni. Eskilegt er að viðhalda háu sýrustigi til að kalk nái ekki að hleypa leðjuna. Tannin-efni eru einnig notuð til að hindra að leðjan hlaupi. Hér á eftir eru leiðbeiningar fyrir helstu tæki sem notuð eru við eftirlit með leðjugænum og eiginleikum hennar. Algengast er að mastursmaður annist pessar mælingar, en pessar eru helstar:

1. Meldur trektartími
2. Eðlisþyngd
3. Sandur í leðju
4. Seigja
5. pH

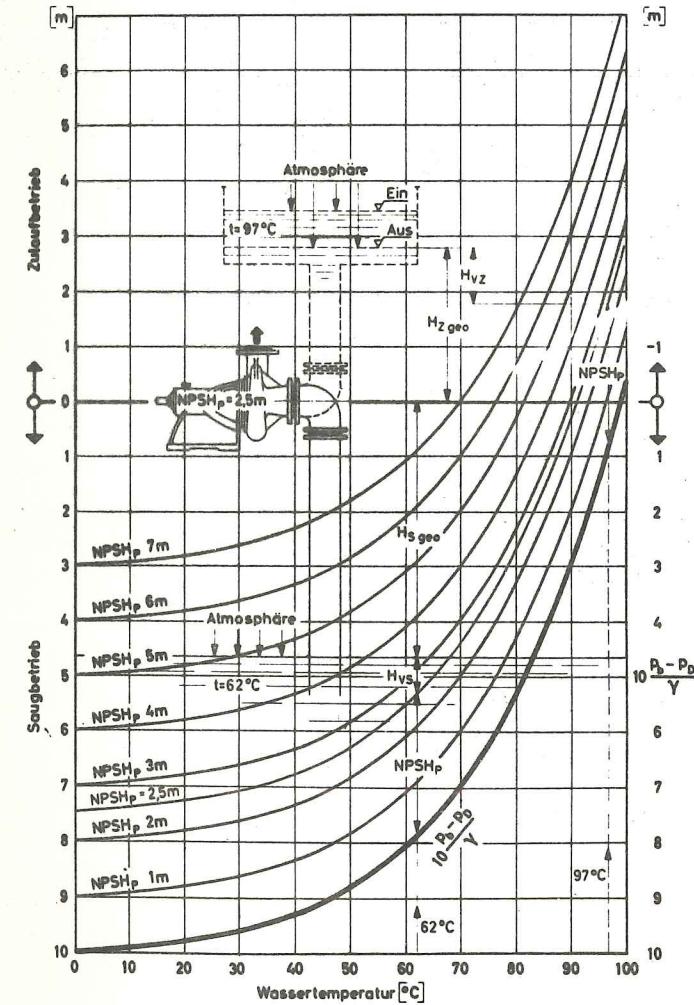
### Áhrif dæluhjólsstoerðar



### Áhrif snúningshraða



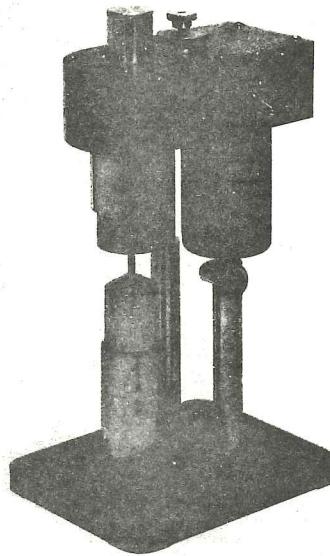
Á myndum í viðaukum I og II eru sýndar næurstöður mælinga sem gerðar voru á nýlagðri borleðju frá mismunandi framleiðendum. Athyglisvert er að efnisnotkun á bentoniti getur verið allt að helmingi meiri á lólegu efni en gððu. Oft er samsvarandi verðmuntur á efninu, en þó ekki alltaf.



VIÐAUKI I

(eftir Sverri Þórhallsson og Svein Scheving)

SEIGJA OG FLOTMÖRK BORLEÐJU MÆLD MED SNÆLDU



1. Leðja er sett í bolla og FANN- (V-G) mæli díft í, þannig að leðjan nái að merki á snældunni. Mælirinn er festur í þessari stöðu.
2. Snúningstraði snældu er 300 og 600 snúningar á mínu. Skipt er í hærri hraða með því að draga hjól ofan á tækinu út. Stillið tækið á hærri hraða.
3. Hrært er í sýninu í 15 sekúndur, með því að ýta á hvítan hrapp vinstra megin á tækinu.
4. Sleppið hnappnum lesið og af skífu ofan á tækinu frávik fyrir 600 s/mín.
5. Stöðvið tækið, skiptið um gír og lesið frávik fyrir 300 s/mín.
  - A. Reiknið út seigju ("plastic viscosity") sem mælt er í "sentipoise" einingum sem mismun á ofangreindum aflestrum.
  - B. Reiknið út flotmörk ("yield point") sem er aflestur við 300 s/mín að frádreginni seigju sem reiknuð er að ofan.

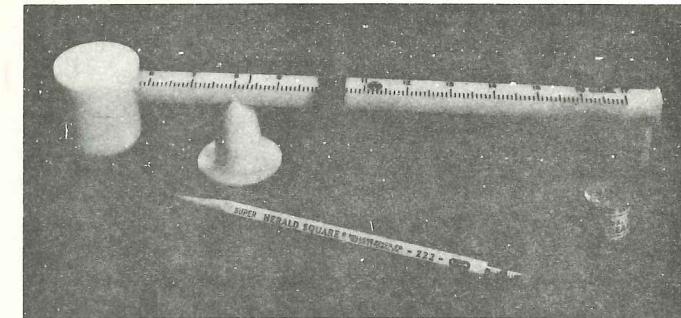
FLOTMÖRK LB100 ( $FT^2$ ) = Aflestur 300 s/mín - Seigja (CPS)

Dæmi:

Mælt	Reikn.
Aflestur við 600 s/mín = 31	Seigja (CPS) 31-21 = 10 CPS
Aflestur við 300 s/mín = 21	Flotmörk 21-10 = LB/100 $FT^2$

C. Stirðun ("gel strength") er mælt eftir að snældan hefur staðið kyrr í 10 sekúndur og aftur eftir 10 mínutúr. Lesið er af mesta frávik sem hægur handsnúningur veldur.

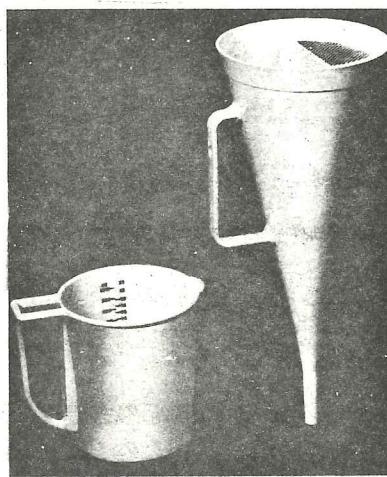
MÆLING EÐLISPÝNGDAR MED LEÐJUVOG



Leðjuvog. Lesið er af neðri kvarða (SP. GR. eðlisþyngd, kg/1)

1. Stillið undirstöðu vogarinnar upp lárétt.
2. Fyllið bolla með leðjusýni, setjið lokið á óç snúið það niður svo að leðjan komi upp um gatið á lokinu.
3. Skolið utan af bollanum og lokinu.
4. Setið vogina á undirstöðuna og férið lóðið til þar til vogararmurinn helst láréttur (halla mæliglas er á honum).
5. Lesið af við kantinn (eggina) á láðinu, notið SP. GR. kvarðann.
6. Nýlöguð leðja hefur eðlisþyngdina 1,2 - 1,3. Sementsleðja úr portlandsementi 1,8 en 1,7 ef notuð er íblöndun kristalla og perlusteins.
7. Hreinsið tækið. Af og til er rétt að kvarða það með því að fylla bollann af vatni og á eðlisþyngdin þá að vera 1,0 SP. GR.

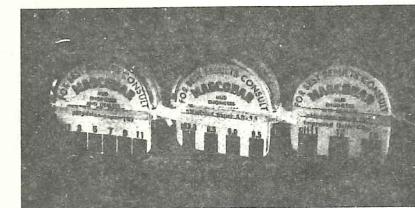
MÆLING SEIGJU - TREKTARTÍMI



"Marsh" trekt og mælikanna.

1. Haldið fingri fyrir stúinn á trektinni og hellið leðjusýni í gegnum sigtið, þar til hún er full upp að sigtinu.
2. Haldið trektinni yfir mælikönnu, takið fingurinn frá stútnum, og mælið með stoppúri sekúndurnar sem tekur að fylla mælikönnuna upp að quart merki (946 ml).
3. Skráið síðan sekúndurnar, þær eru mælieiningin. Skráið einnig hitastig sýnisins.
4. Æskileg seigja borleðju er 35 - 55 sek., eftir aðstæðum.
5. Lækka má seigju með því að bæta í hana vatni, hydrotani, CC-16, eða vítissóda (sjá leiðb.).
6. Hreinsið ávallt mælitækin eftir notkun. Kvarða má tækið með vatni (18-24 °C) og á trektartíminn þá að vera 26 sekúndur.

SÝRUSTIG (pH)



1. Rífið 3 sm langan strimil af pH rúllu.
2. Látið strimilinn fljóta á leðjunni, en við það dregur hann í sig vatn úr leðjunni.
3. Að einni mínútu liðinni er litur strimilsins borinn saman við litaspjald á pH rúllunni og sýrustigið (pH) skráð. Ef litarsvörunin er á milli t.d. pH 0 og pH 10 er það skráð sem pH 9,5.
4. Æskilegt sýrustig (pH) borleðju er pH 9 - pH 10.

SANDMÆLING



1. Plasttrekt er sett á flöskuna og leðju hellt í að merki "mud to here". Trektin er skoluð og síðan bætt vatni út í leðjuna, til að þynna hana, að merki "water to here". Sýnið er síðan hríst.
2. Sýninu er hellt á sigtið og flaskan skoluð. Sandurinn á sigtinu er skolaður í rennandi vatni, þar til öll leðjan hefur verið þvegin burt.
3. Sandinum er nú komið í flöskuna. Það fer fram með þeim hætti að trektinni er hvolft yfir sigtið og trektarstúnum stungið í flöskuna. Tækinu er síðan hvolft (sjá mynd að ofan). Vatni er úðað á sigtið og við það loenar sandurinn undan sigtinu og fellur til botns í flöskunni.
4. Þegar sandurinn er botnfallinn er lesið af flöskunni sandinnihald og skráð sem % af rúmtaki.
5. Óæskilegt er að sandur sé meiri en 1-2% í leðju.

VIÐAUKI II

ATHUGUN Á EIGINLEIKUM BENTONIT (WYOMING) BORLEDJU

ÍBLÖNDUN LEDJU (%)	EÐLISP.: (g/cm <sup>3</sup> )	TREKTAR- TÍMI (Sek/qt.)	SEIGJA (Centipoise.)	SNÆLDA			STIRDNUN 10 MIN pH
				FLOTMARK (LB/100FT <sup>2</sup> )	300 SNÚN (F.afl)	600 SNÚN (F.afl)	

TEG: OMCA								1981-06-30 Sp
2	1.005	28	2	1	3	5	<0.5	9.50
4	1.015	34	4	5	9	13	1.5	9.65
6	1.025	46	10	11	21	31	3.5	9.55
8	1.035	122	25	35	60	85	16	9.45

TEG: CECA								1981-06-30 Sp
2	1.001	28	2	0	2	4	0.5	9.85
4	1.013	31	4	1	5	9	1.5	9.75
6	1.027	40	9	6	15	24	2.5	9.60
8	1.035	64	19	21	40	59	8	9.45

TEG: BRÖSTE								1981-06-30
4	1.026	2	0	2	4	1	10.20	
6	1.038	6	0	6	12	1	10.22	

TEG: STEETLEY								1983-06-15 GuJ
2	27	1	2	3	4	10	9.67	
4	31	3	4	7	10	31	9.45	
6	41	10	11	21	31	73	9.58	
8	89	21	31	52	73			

TEG: GEBO								1983-06-16 GuJ
2	1.014	29	2	6	8	10	1.5	10.00
4	1.022	39	7	15	22	29	5	9.92
6	1.034	83	12	27	39	51	10.5	9.95
8	1.040	349	14	62	76	90	31	9.60

TEG: B-W								1983-06-16 GuJ
2	1.016	27	2	1	3	5	2	9.70
4	1.022	33	2	8	10	12	3	9.59
6	1.034	38	5	7	12	17	4	9.75
8	1.046	51	11	17	28	39	10	9.53

1981-06-30  
S.P./P.G.

ATHUGUN Á EIGINLEIKUM BENTONIT (WYOMING) BORLEDJU

TEG: OMCA

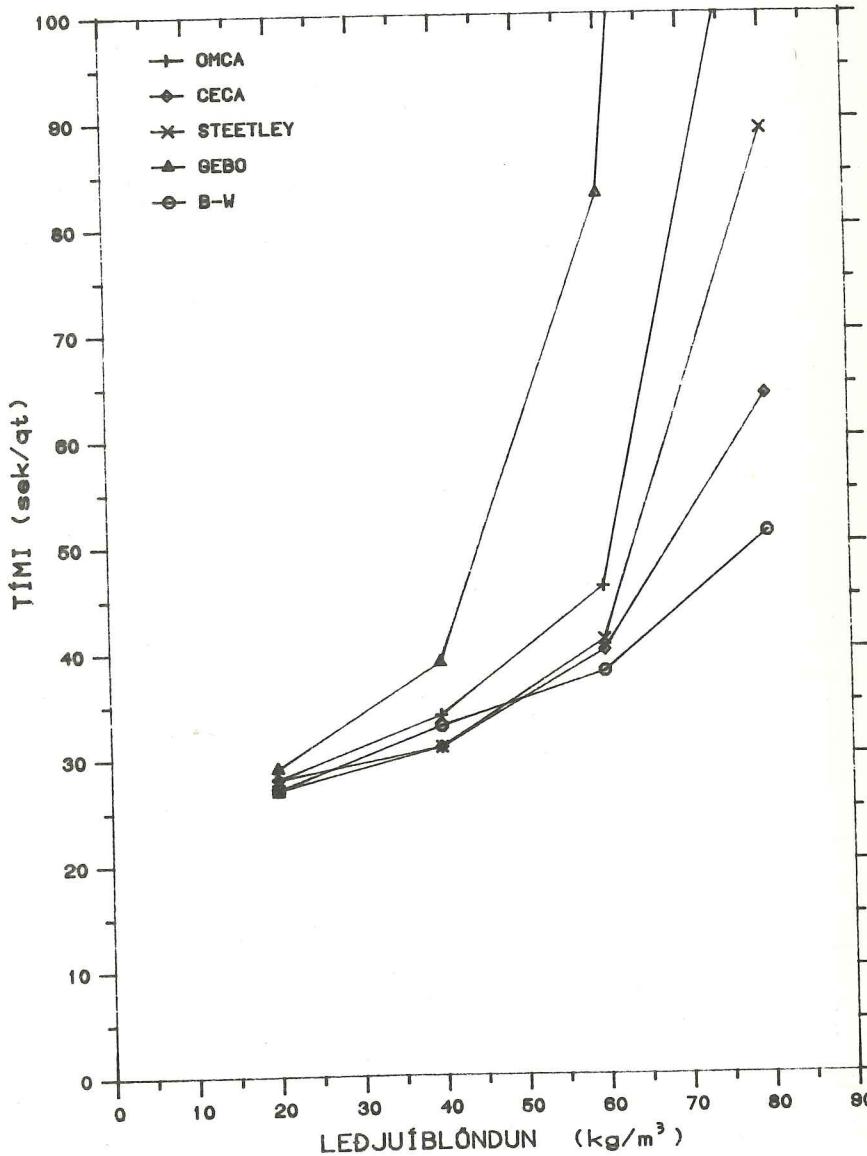
íblöndun leðju (%)	Bentonít í vatni (kg/m <sup>3</sup> )	Trektarmi Eðlisþyngd (tonn/m <sup>3</sup> )	Seigja (centipoise)	Flotmörk (LB/100FT <sup>2</sup> )	300 snún (Fann-afl.)	600 snún (Fann-afl.)	Stirnrun 10 min	Sethraði PH (m/min)	í vatni ~ 7.0
2	20	1.005	28	2	0	2	4	0.5	9.85
4	40	1.013	31	4	1	5	1	1	9.75
6	60	1.027	40	9	6.5	15	24	2.5	9.6
8	80	1.035	64	19	21	40	59	8.0	9.45

TEG: CECA

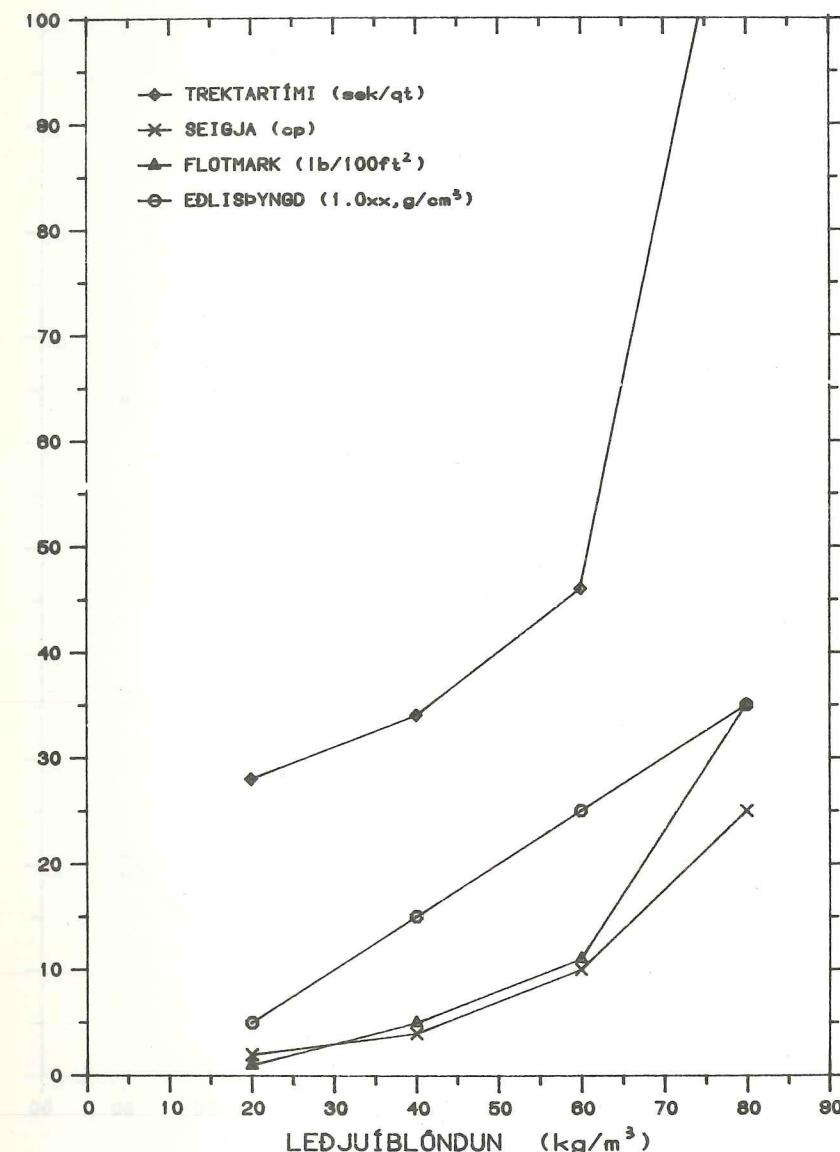
1981-06-30  
S.P./P.G.

- 27 -

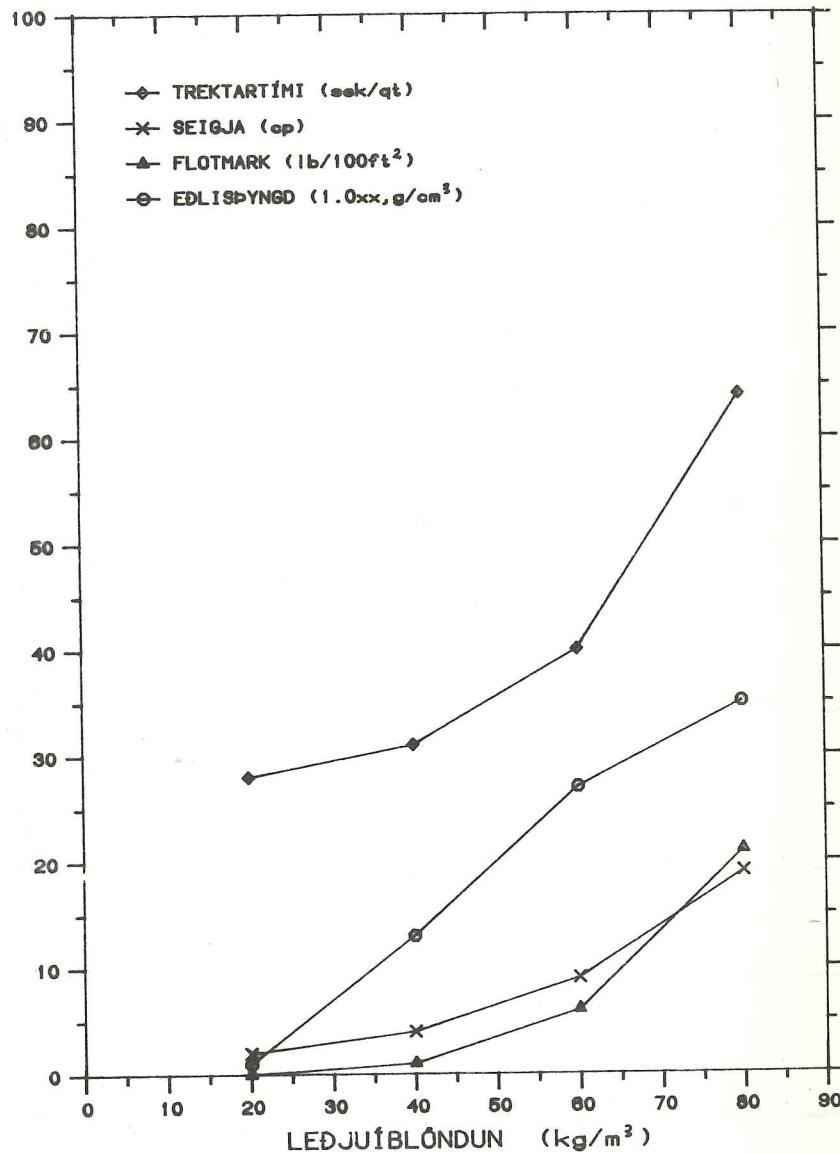
SAMANBURDUR Á TREKTAR-TÍMA BORLEÐJUEFNA



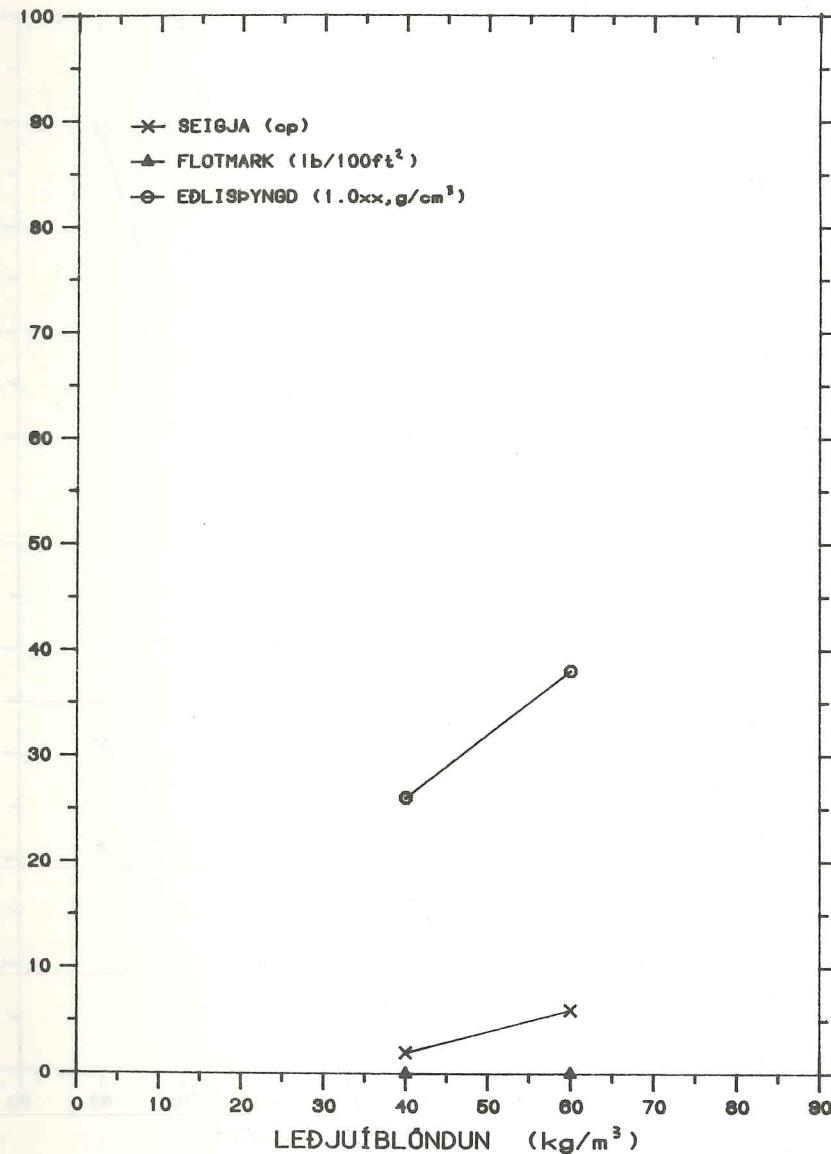
GÆÐAMAT Á BORLEÐJU  
TEG: OMCA



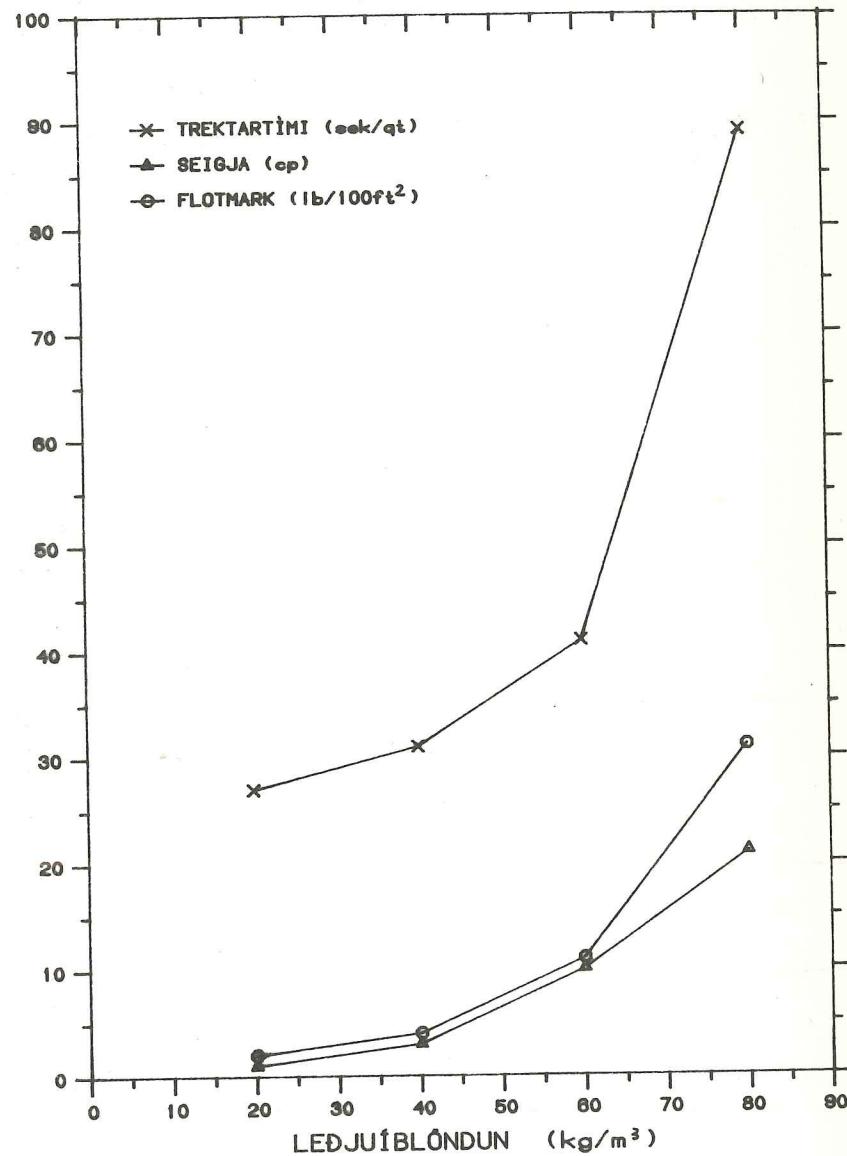
GÆÐAMAT Á BORLEDJU  
TEG: CECA



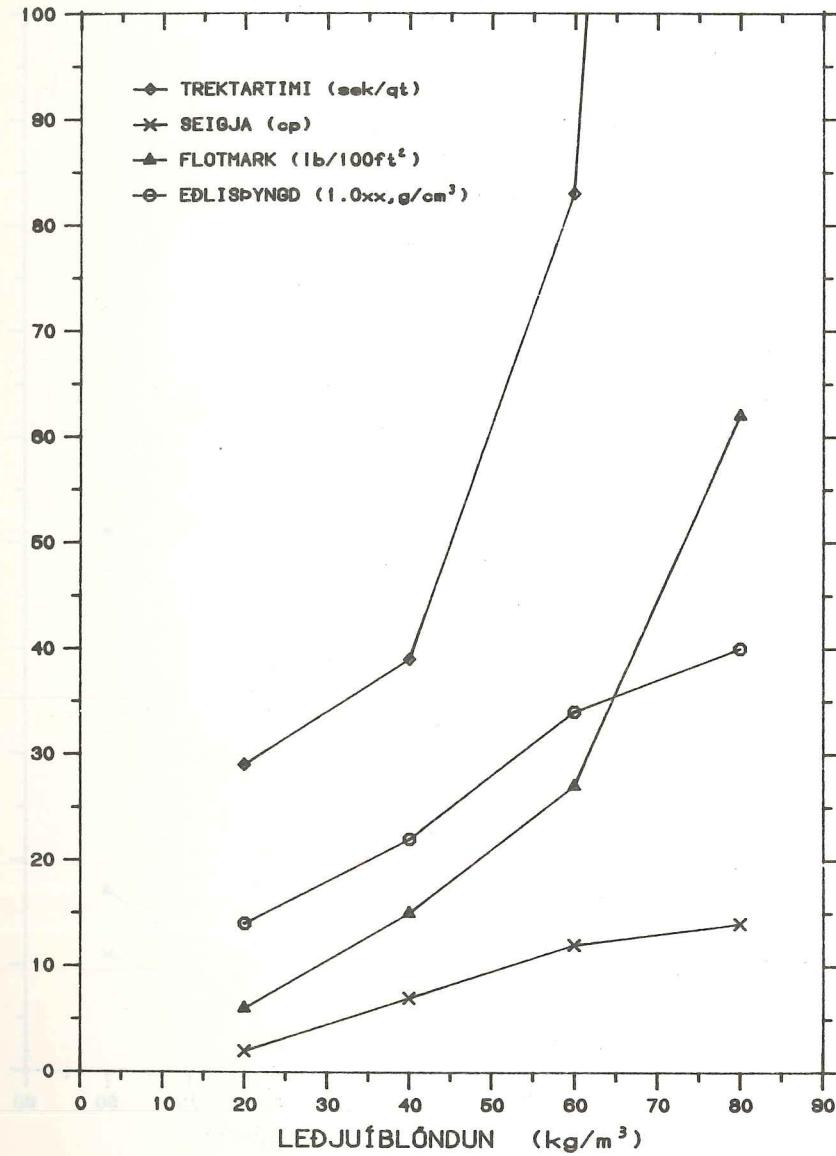
GÆÐAMAT Á BORLEDJU  
TEG: BRÓSTE



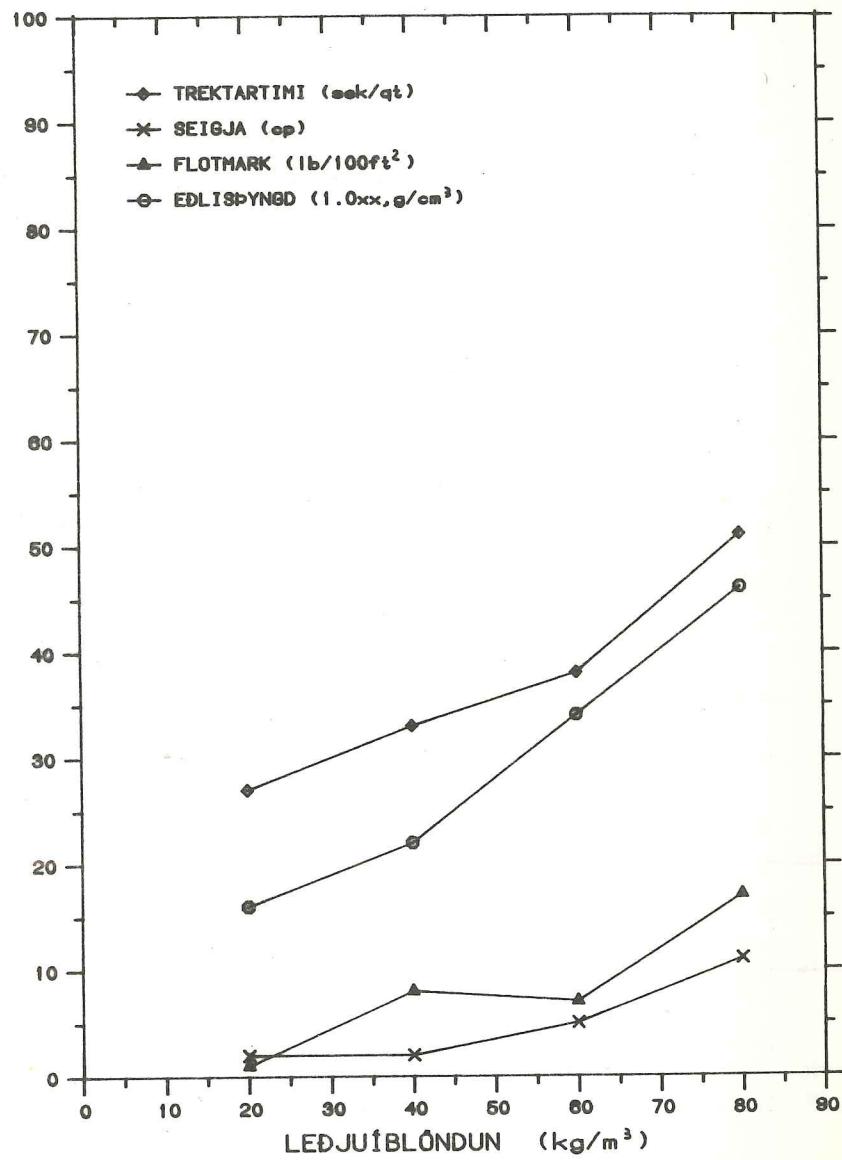
GÆÐAMAT Á BORLEÐJU  
TEG: STEETLEY



GÆÐAMAT Á BORLEÐJU  
TEG: GEBO



GÆÐAMAT Á BORLEÐJU  
TEG: B-W



BORMANNANÁMSKEIÐ  
JANÚAR 1983

BORKRÓNUR OG BORSTANGIR

Sveinn G. Scheving

EFNISYFIRLIT

	Bls.
1 BORKRÓNUR, SÖGULEGT YFIRLIT.....	3
2 NOKKUR ATRIÐI UM BORUN.....	4
3 MELING Á BORHRAÐA.....	5
4 BORKRÓNUR.....	6
4.1 Kónar.....	8
4.2 Legur.....	9
4.3 Smurkerfið.....	10
4.4 Krónuhúsið.....	10
4.5 Hagkvænnisútreikningar.....	13
4.6 Mat á notuðum borkrónum.....	14
5 BORSTANGIR.....	23
5.1 Umhirða borstanga.....	23

ÝMSAR UPPLÝSINGAR

1. Priggjakeilukróna með karbíðoddum.....	
2. Ýmsar upplýsingar um borkrónur.....	16
3. Hámarkssnúningshraði og álag.....	17
4. Borkrónugerðir.....	18
5. Borkrónuskýrsla 1.....	19
6. Borkrónuskýrsla 2.....	20
7. Fðöurröra- og borkrónustærðir.....	21
8. Merking á borstöngum.....	22

1 BORKRÓNUR, SÖGULEGT YFIRLIT

Ár

- 1859 var fyrsta olíuholan boruð 69 1/2 ft. djúp (Drake discoverywell Pensylvaniu U.S.A.).  
 1901 fyrsta snúningsborunin, en fram til 1920 var mest borað með höggborum.  
 1909 kom Hughes með fyrstu tannhjólakrónuna, það var tveggja kóna króna.  
 1926 kúlu- og keflalegur, smurðar með borvökvanum sjá dagsins ljós.  
 1928 fyrstu jarðboranir eftir heitu vatni á Íslandi við Laugarnar í Rvík. Borað með haglabor.  
 1933 fyrsta priggja kóna krónan frá Hughes.  
 1951 byrjað að nota tungsten karbid odda.  
 1953 byrjað að nota "Jet" spíssa skolun.  
 1958 5. maí hóf Gufuborinn starfrækslu sína. Fyrstu tannhjólakrónur notaðar á Íslandi.  
 1970 fyrsta tungsten karbid krónan með "Journal" legum frá Hughes, en með henni varð mikil stökkbreyting á endingartíma á krónum. Við fengum líklega fyrstu krónurnar af pessari gerð sem sendar voru til Evrópu. Útflutningsleyfi frá Ameríku til okkar var veitt 27.07.1971 og notkun hófst í holu 4 á Seltjarnarnesi 1971. Það var Hughes króna gerð J-55, (ser no HB 531) og boraði Gufuborinn með henni 845 m á 197 klst.  
 1974 Háskólinn í Tulsa gerir tilraunir með borkrónur settar gerfidemöntum (polycrystalline diamond eða stratapax).  
 1978 næst góður árangur í Norðursjónum með gerfidemöntum.

## 2 NOKKUR ATRIÐI UM BORUN

Borun er framkvæmd með premur aðalaðferðum.

- 1) Lint berg þarf að skafa og stinga upp, á líkan hátt og þegar grafið er með skóflu.
- 2) Hart berg er molað upp á svipaðan hátt og þegar unnið er með grjótmeytli.
- 3) Meðalhart berg með samsetningu á báðum aðferðum.

Atriði sem mest áhrif hafa á borhraðann eru:

- 1) Gerð berglagu
- 2) Val á borkrónum
- 3) Alag á krónuna
- 4) Snúningshraði
- 5) Skolun
- 6) Skolvökvi

Þegar byrjað er með nýrri karbid krónu:

- 1) Nota verður rétta gerð af krónulykli (Bit Breaker) svo hann skemmi ekki krónuna.
- 2) Í niðursetningu þarf að fara hægt í gegnum þrengingar og stalla ef vitað er um slikt.
- 3) Setja verður driftstöngina tímanlega á þegar krónan nálgast botninn til að rýma niður eða skola upp botnfalli.
- 4) Bora á fyrstu 20-30 mín. með hægum snúningi og litlum þunga svo nýja krónan geti auðveldlega sett mark sitt á botninn. Auka síðan álagið og snúninginn hægt.  
Dæmi: 12 1/4" króna: Fyrstu 10 mín 5 tonn við 40 sn/m. næstu 5 mín 8 tonn við 60 sn/m.  
Ná fullu álagi og snúningi á hálfrí klukkustund.
- 5) Eftir að stöng hefur verið bætt í skal varast að setja bremsuna snögglega á, því teygjan á lengjunni við að stoppa snögglega getur valdið því að krónan slái í botninn.

## 3 MÆLING Á BORHRAÐA (Drill Off Test)

Til að ná sem hagkvæmstu beitingu álags og snúningshraða er gott að gera eftirfarandi tilraun:

- 1) Akveða byrjunar snúningshraða eftir að króna hefur verið "tilkeyrð" (með hlíðsjón af nálgri holu).
- 2) Setja hámarksálag á krónuna, annað hvort hámark fyrir krónuna eða það sem aflögu er.
- 3) Læsa bremsunni.
- 4) Skrá tímana sem tekur að bora niður hver 2000 lb (eða 4000 lb). Skemmsti tíminn sýnir besta álagið við þann snúningshraða.
- 5) Breyta um snúningshraða og endurtaka tilraunina nokkrum sinnum. Velja síðan það álag og snúningshraða sem tekur styttri tíma. Ef sami árangur næst með mismunandi tilraunum velja þá minnsta álagið og snúningshraðann.

#### 4 BORKRÓNUR

Undirstöðuatriði þegar tannhjólakróna er hönnuð eru:

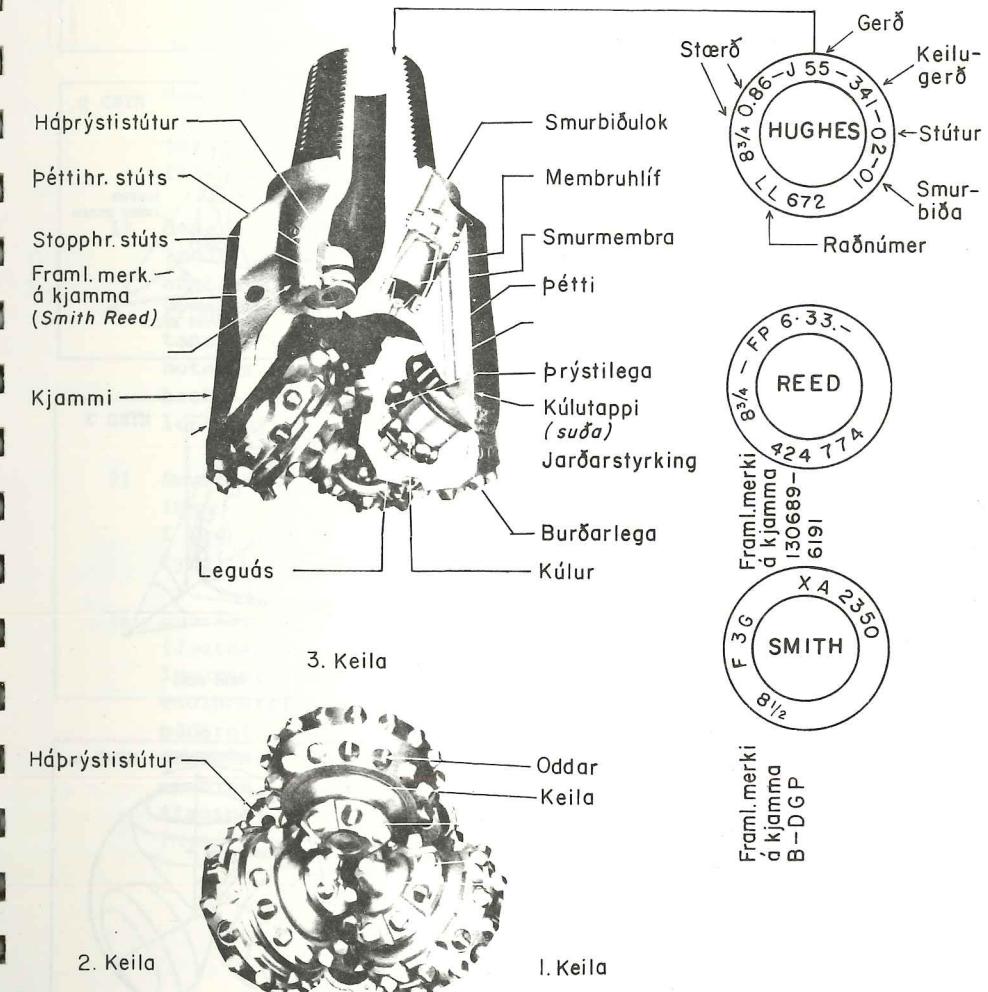
- 1) Stærð holunnar sem bora á.
- 2) Gerð berglaga.
- 3) Álag og snúningshraði sem venjulega er notaður
- 4) Meðal endingartími sem krafist er.

Þegar þetta er athugað, er helsta atriðið holupvermálið. Allir hlutar krónunnar, kónarnir, legurnar og krónuhúsið verða að komast fyrir innan pvermálsmarkanna. Hver hluti er háður öðrum um stærð og lögun, þessi staðreynld ræður hönnun krónunnar. Kalli hönnunin á stærri tennur eða odda er það á kostnað burðargetu leganna, eins ef burðargeta leganna þarf að aukast er það á kostnað stærðar tanna. Hinsvegar hafa tækniframfarir hjálpað til með nýjum efnum og betri smurningi og olíupéttum, svo nú er ekki óalgengt að krónur endist yfir 200 klst.

Þrír aðalhlutar krónunnar eru: Kónarnir, Krónuhúsið og Legurnar.

#### BORKRÓNA ÞRIGGJAKEILUKRÓNA MED KARBIÐODDUM

##### MERKINGAR



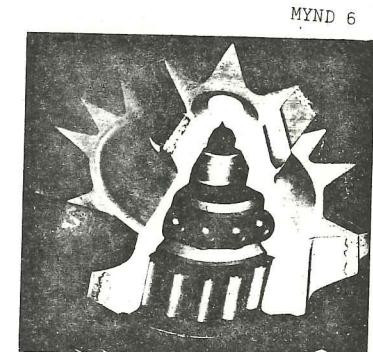
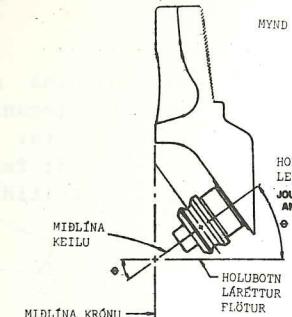
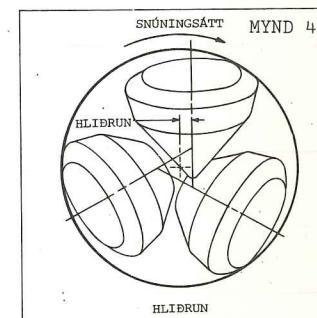
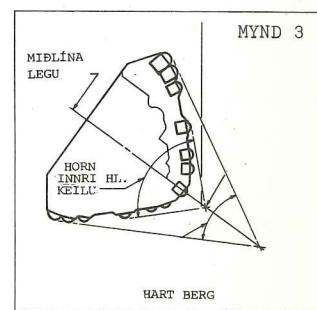
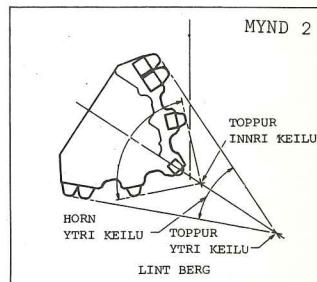
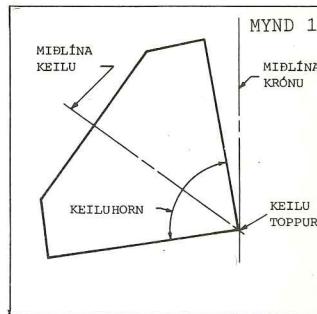
#### 4.1 Kónar (Keilur)

Lögun kónanna hefur mikil áhrif á hvernig tennurnar vinna á borholubotninum. Ef kónninn væri lagður eins og mynd 1 mundi hann velta á botninum án skófluvirknar. Kónar (mynd 2 og 3) hafa 2 eða fleiri kónhalla, sem hafa veltipunt mismunandi langt utan krónumiðju. Þeir hafa því tilhneigingu til að velta um aðra miðju en krónurnar. En þær sem peir eru knúrir til að velta um krónumiðjuna, skrennar kónninn og tennurnar skófla upp botninum. Krónur fyrir harðara berg (mynd 3) hafa pennan veltipunkt nær miðju krónunnar og vinna því meir sem meitill.

Kónar hafa einnig hliðlæga vísun (mynd 4). Fyrir lint berg er þessi vísun meiri (3 gráður) og skafa tennurnar því meira.

Halli miðáss keilunnar (Journal Angle) mynd 5 hefur áhrif á vinñslu tannanna á holubotninum, minni halli (33 gráður fyrir lint berg) veldur skóflun tannanna, en meiri halli (36 gráður fyrir hart) gerir sama og enga skóflun á botninum.

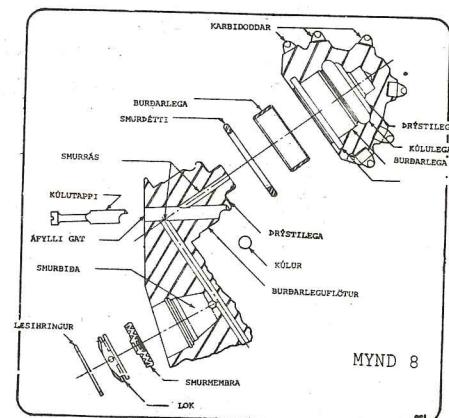
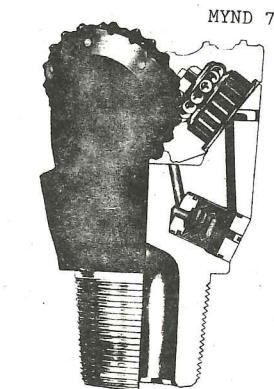
Kónar snúast 1 1/2 til tvísvar sinnum hraðar en krónan.



#### 4.2 Legur

Peim er skipt upp í þrjá flokka.

- 1) Osmurðar kálu- og keflalegur (mynd 6). Þær eru aðallega notaðar í tannakrónur, þær sem ending tanna og lega er stutt, notaður er hár snúningshraði og skolvökvin eða loft smyr og kælir þær.
- 2) Smurðar kálu- og keflalegur (mynd 7). Þær eru notaðar í krónur fyrir lint berg og fyrir borun með túrbínu.
- 3) Smurðar sléttar legur (Journal). Þær sem keflalegurnar hafa ekki sama endingartíma og Karbitoddarnir eru notaðar mjög vandaðar rennilegur í staðinn. Þær dreifa álaginu á stærri flót. (Mynd 8 og 9).



#### 4.3 Smurkerfið

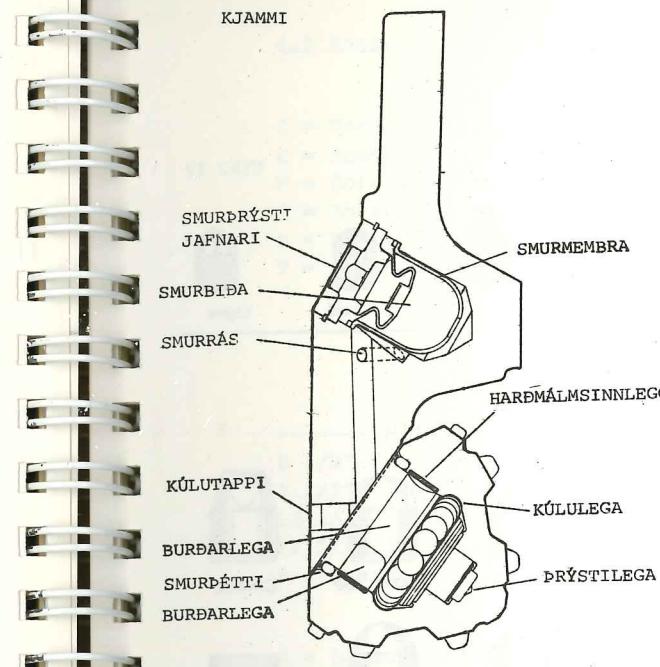
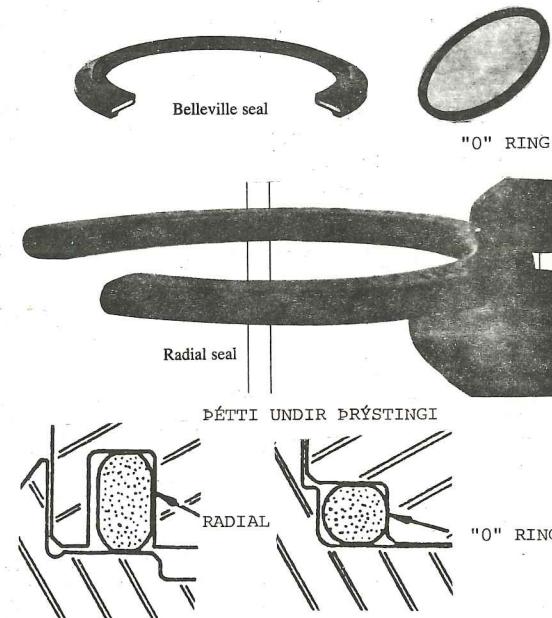
Sjálfstætt smurkerfi er fyrir hvern kón. Smurbiða með membru heldur jófnum prýsting á feitinni til legunnar eftir því sem feitin eyðist. Pettihringur hindrar að vöki frá holunni fari inn í leguna en hleypir feiti framhjá sér ef prýstingur verður of mikill á feitinni. Mynd 9 sýnir gerðir péttihringja.

#### 4.4 Krónuhúsið

Krónuhúsið samanstendur af 3 kjömmum sem soðnir eru saman. Efst á því eru skrúfgengjur (pinni) til að tengja krónuna við borstrenginn. Mismunandi stærðir eru á þessum gengjum. (Sjá Ísl. 16). Neðst á kjömmunum eru leguásarnir sem kónarnir sitja á. Sjálfstætt smurkerfi er í hverjum kjamma. Fjöldi vatnsganga er oftast 3, en þó eru til krónur með 4 stútum (Jet).

LEGUPÉTTI

MYND 9

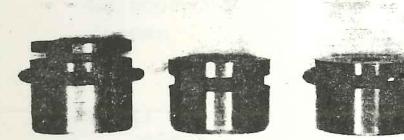


MYND 10



SKOLSTÚTAR

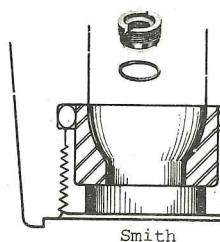
MYND 11



Reed og Hughes      Security      Reed og Hughes

Hughes					
Krónu	stærð (in.)	4 3/4"	6 7/8"-6 3/4"	7 1/2"-7 7/8"	8 3/4"-13 3/4"
	(mm)	121	149-171	194-200	212-349
CODE	standard shrouded	B/R	F/N	H/T	K/W L/X

Reed					
Krónu	stærð (in.)	5 1/2"-6"	6 1/2"-6 3/4"	7 1/2"-7 7/8"	8 3/4"-9"
	(mm)	149-162	166-171	194-200	213-229
CODE	AA	A	B	C	D



Smith					
Krónu	stærð (in.)	6 3/4"-5 1/2"	6 7/8"-6 3/4"	7 1/2"-7 7/8"	7 7/8"-12 1/4"
	(mm)	137-143	149-171	187-194	200-311
CODE	55	65	70	95	100

Smith

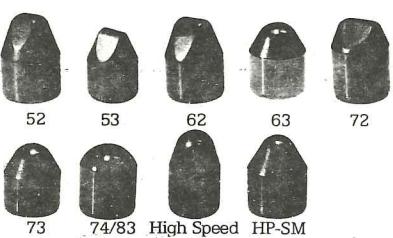
## LÖGUN KARBIDODDA

HUGHES

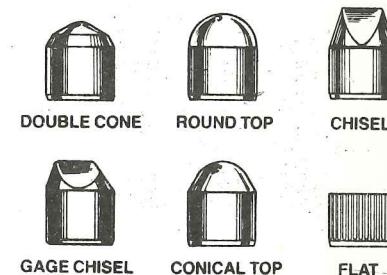


MYND 12

REED



SMITH



MYND 12

### 4.5 Hagkvænnisútreikningar

B = Verð á krónu

C = Kostnaður á metra

F = Boraðir metrar

H = Borkostn. Kr/Klst

R = Klst. á krónu

T = Krónuskiptatími

$$C = \frac{H(R+T)+B}{F}$$

Verð á krónum = (USD 16,246 kr)

Tanna ósmurð	Tanna smurð	Tippuð káluleg	Tippuð journal
8 1/2"	34.000	48.000	112.000
9 1/2"	40.000	56.000	186.000
12 1/4"	57.500	78.400	235.000
17 1/2"	163.400	234.000	490.000

H = Borkostnaður

kr/klst

Glaumur	2.286
Narfi	2.833
Gufubor	4.800
Jötunn	5.600

Dæmi:

Gufubor Dýpi 1000 m 8 1/2" króna

Borkostn: H = 4.800 kr/klst

Krónuskiptatími 6 klst

C<sub>1</sub> Tannakróna ósmurð 35 klst/175 m

C<sub>4</sub> Tippuð króna Journal 130 klst/700 m

$$C_1 = \frac{4.800(35+6)+34.000}{175} = 1.319 \text{ kr/m}$$

$$C_4 = \frac{4.800(130+6)+143.500}{700} = 1.138 \text{ kr/m}$$

16 % ódýrari hver metri með tippaðri krónu.

#### 4.6 Mat á notuðum borkrónum

Mat á notuðum krónum er mikilvægur þáttur við borunina. Tilgangur borverktakans með því er:

- 1) Að bæta valið
- 2) Að finna bestu beitingu krónunnar til hagkvænni
- 3) Að ná sem bestri nýtni krónunnar með að finna rétta notkun
- 4) Til ákvörðunar á söluhlutfalli

Krónuframleiðandinn hefur áhuga á matinu til að:

- 1) Safna upplýsingum til að meta vinnslu krónunnar
- 2) Bæta hönnun

Mat á tannhjólakrónum felst í ákvörðun á sliti á:

- 1) Tönum
- 2) Leguhlutum
- 3) Þvermáli

Mat á tippuðum krónum:

- 1) Sliti og broti á oddum
- 2) Hve mikil ending er eftir í legum
- 3) Minnkun á þvermáli
- 4) Ástandi smurþéttu

Okkar mat eða einkunnagjöf hefur verið mjög einföld, hverjum þætti gefinn plús eða mínus. Kerfi krónuframleiðanda er nokkuð flóknara, (sjá D.D.H. bls. 206-207) Eskilegt væri að endurbæta okkar kerfi t.d.:

- 1) Telja brotna eða skemmda odda í hverjum kón
- 2) Mæla þvermálsminnkun í mm
- 3) Legum verði gefnar 3 einkunnir  
F. þung sem ný  
G. slaglaus en létt  
L. laus
- 4) Þætti gott, já eða nei.
- 5) Aðtla viðbótar nýtingu í klst. (sjá eyðublað 2).

Ef nota á krónur aftur þarf oftast að hreinsa upp

smurbiður og setja nýja feiti á þær.

Matið getur einnig sagt til um hvort notuð hefur verið rétt gerð krónu og um ástand í borholunni.

BORKRÓNUR  
ÝMSAR UPPLÝSINGAR

BORKRÓNUR	GENGUR	HERSLA
STÆRD	REG-PINNI	(lb-ft)
3 3/4 - 4 1/2	2 3/8	3000 - 3500
4 5/8 - 5	2 7/8	6000 - 7000
5 1/8 - 7 3/8	3 1/2	7000 - 9000
7 5/8 - 9	4 1/2	12000 - 16000
9 5/8 - 9 7/8	5 1/2	23000 - 27000
9 5/8 - 26	6 5/8	28000 - 32000
14 3/4 - 26	7 5/8	34000 - 40000
17 1/2 - 26	8 5/8	40000 - 60000

KARBID BORKRÓNUR ÞYNGD			
STÆRD	LBS.	STÆRD	LBS.
5 1/8 - 6 1/8	35	9 - 9 7/8	135
6 1/4 - 6 3/8	45	10 5/8	155
6 3/4	60	11"	165
7 5/8 - 7 7/8	75	12 1/4"	210
8 1/2 - 9 1/2	90	13 3/4"-14 3/4"	330

TANNHJÓLAKRÓNUR" JET" ÞYNGD			
STÆRD	LBS.	STÆRD	LBS.
4 3/4"	151	9 5/8"-9 7/8	125
5 5/8"-6 1/8"	30	10"-11"	155
6 1/4"-6 3/4"	35	12 1/4"	195
7 3/4"	45	13 1/4"	255
7 5/8"-7 7/8"	65	14 3/4"-15'	315
8 1/2"-8 5/8"	83	17 1/2"	450
8 1/4"-9"	85	18 1/2"	480
9 1/2"	120	26"	875

SKOLSTÚTUR

STÆRD	SMITH		NÚMER	
	SER. NR.	GENGJUR	LYKILL	O-RING
5 5/8 - 5 7/8	55	7 8/8 - 14	9973176	9972992
5 7/8 - 6 3/4	65	1" - 14	9971827	9970666
7 3/8 - 7 5/8	70	1 1/4" - 12	9971937	9970667
7 7/8 - 12 1/4	95	1 1/2" - 12	9971829	9970669
13 1/4 - 26	100	17 1/8" - 12	9971830	9970670

REED	
6" - 6 3/4"	A
7 5/8" - 7 7/8"	B
8 3/8" - 9"	C
9 1/2" - 18 1/2"	D

HUGHES	
( STANDARD )	( SHROUDED )
5 5/8" - 6 3/4"	F 67374 ( N - E950 )
7 5/8" - 7 7/8"	H 67375 ( T - AE950 )
8 3/8" - 13 3/4"	K 67378 ( W - 07621 )
14 3/4" - 26"	L 69172 ( X - 07621 )

KRÓNULYKLAR	
( BIT - BREAKERS )	
3 1/8 - 3 7/8	.95.2 - .98.4
4 1/8 - 4 5/8	117.5 - 120.6
5 1/8 - 6 1/4	149.2 - 158.8
6 1/8 - 6 5/8	165.1 - 171.4
7 1/8 - 7 7/8	193.7 - 200.0
8 1/8 - 8 5/8	212.7 - 219.1
8 3/8 - 9	222.2 - 228.6
9 1/8 - 9 7/8	241.3 - 250.8
10 1/8 - 11	269.9 - 279.4
12 1/8	311.2
13 1/8 - 13 3/4	342.8 - 349.2
14 1/8 - 15	374.6 - 381.0
17 1/8 - 18 1/2	444.5 - 469.9

HAMARKSALAG OG SNÚNINGSHRADI

TIPPADAR-KRÖNUR

IADC	HUGHES	REED	SMITH	8 1/2"		9 7/8"		12 1/4"	
				SN/MIN	TON	SN/MIN	TON	SN/MIN	TON
537	J-33	FP-53	F-3	70-40	12-16	60-40	15-19	60-40	21-27
617	J-44	FP-62	F-4	65-35	17-20	65-35	20-24	65-35	24-30
637	J-55	FP-63	F-47	65-35	17-22	65-36	20-24	65-35	24-30

HERRI GILDIN Í SNÚNINGI EIGA VID LÆGRA ÁLAG

LÆRRI GILDIN Í SNÚNINGI EIGA VID HERRA ÁLAG

STÆRD t. mm	NR	FLATARMÁL	
		I. STÚTUR t <sup>2</sup>	3. STÚTAR t <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>
7/32	5.5	7	.0376 24.3
1/4	6.4	8	.0491 31.7
9/32	7.1	9	.0621 40.1
5/16	7.9	10	.0767 49.5
11/32	8.3	11	.0928 59.9
3/8	9.5	12	.1104 71.2
13/32	10.3	13	.1296 83.6
7/16	11.1	14	.1503 97.0
15/32	11.9	15	.1726 111.4
1/2	12.7	16	.1963 126.6
9/16	14.3	18	.2485 160.3
5/8	15.9	20	.3068 197.9
11/16	17.5	22	.3712 239.5
3/4	19.0	24	.4418 285.0
7/4	22.2	28	.6013 387.9

KRÓNUSTÆRÐIR	
3 3/4	3 3/4
3 7/8	9
4 1/8	4 1/8
4 1/4	9 1/2 1)
4 1/2	9 7/8 1)
4 5/8	10 5/8 1)
4 3/4	11
5 5/8	5 5/8
5 3/4	12 1/4 1)
5 7/8	13 1/2
6	13 3/4
6 1/8	14 3/4
6 1/2	14 3/4 1)
6 5/8	15
6 3/4	20
7 3/8	22
7 5/8	23
7 7/8	24
8 3/8	26
8 1/2	8 1/2 1)
8 5/8	I.) MEST ÚRVAL GERDA

BORKRÓNUGERÐIR

## *Karbið tippaðar*

Stáltanna

IADC CODE	REED	HUGHES	SECURITY	SMITH	IADC CODE	REED	HUGHES	SECURITY	SMITH
<b>LINT</b>									
435	—	X11	—	—	111	Y11	OCS3A	S3S	DS
437	—	J11	—	—	114	S11	X3A	S33S	SDS
515	HS-1	X22	SB4	JS	115	—	S33SG	—	—
517	FP51A	J22	SB4F	F2	116	—	J1	S33SF	—
525	SS2	—	—	—	118	Y11 JD	S33JD	DJ	—
527	FP52	—	—	—	121	Y12	OSC3	S3 <sup>1</sup>	DT
					122	—	S	—	—
<b>LINT - MEDALHART</b>									
532	—	HH33	—	—	123	Y12T	—	S3T	DTT
535	S53	X33	—	JS	124	S12	—	S33	SDT
537	HP-SM	FP53/FP53A	J33	SB6F	126	FP12	J2	S33F	FDT
542	—	—	SKJA	F3	131	Y13	OSC1G	S3JD	BHD
545	—	—	S88	—	133	Y13/Y13G	—	S4	DG
547	—	—	SR8F	—	134	S13	—	S4T	DGT
612	—	HH44	—	4JA	135	S13G	—	S44	SDG
615	—	X44	—	4JS	136	FP13	J3	S44G	SDGH
617	FP62	J44	MK4F	F4/F45	137	—	JD3	S44F	FDG
622	Y62 JA/Y62B JA	—	MRJA	5JA				—	—
625	S62	—	—	4JS				—	—
627	FP62B/FP62X	J44C/J55R	M88F/M98TF	F5				—	—
<b>MEDALHART - HART</b>									
632	Y63 JA	HH55	—	—	211	Y21	OWW/OW4	M4N	V2
635	S63	—	—	—	212	—	—	—	—
637	HP-MH	FP63	J55	M89F	213	Y21G	M	—	—
				F47/F57	214	S21	—	M44N	V2H
					215	S21G	—	M44NG	SV
					216	FP21	J4	M44NF	SVH
					217	—	JD4	—	—
					221	Y22R	WO	M4	—
					231	—	—	M4L	—
717	—	—	—	F6	233	—	—	—	T2H
722	—	—	—	7JA	234	S23	—	M44L	ST2
725	S72	—	—	—	235	S23G	—	—	—
727	HP72	—	—	F7	236	—	—	M44LF	—
732	Y73 JA	HH77	—	—					
737	FP73	J77	HH4F	—					
739	Y73 RAP	—	—	—					
742	—	HRJA	—	—					
745	S74	HH8	—	—	311	Y31	W7/W7C	H7	L4
747	FP74	HH8F	—	—	312	—	H	—	—
812	—	HH8X	H91A	—	313	Y31G	—	H7T	L4H
815	—	H99	—	—	314	—	—	H77	SL4
817	—	H99F	—	—	315	S31G	—	—	SLAH
832	Y83 JA	HH99	H10A	9JA	316	—	J7	H77F	—
835	SR3	H100	—	—	317	FP31G	—	—	—
837	FP83	J99	H100F	F9	319	Y31 RAP	—	—	—
					321	—	W7R2	—	—
					329	Y32 RAP	—	—	—
					332	—	HR	—	—
					333	—	—	H7SG	—
					335	—	—	H7/SG	—
					344	—	—	H7TC	—
					346	—	J8	H7CF	—
					347	—	JD8	—	—

## PÝÐING MERKJA

Krónugerðir

Hughes Reed Security Smith

Tanna ósmurðar		Y		
" smurðar	X	S		S
" styrktar á jóðrum		T	T	T
Tippaðar m/kúlulegum		S	(8)S	
" m/journallegum	J	FP	(8)F	F
" styrktar á jóðrum	D	G		H
Skolstútar "JET"		J		J

ORKUSTOFNUN

BORKRÓNUSKÝRSŁA

**IS ORKUSTOFNUN  
J.B.R.**

BORKRÓNUSKÝRSLA 2

BORVÉL	HOLA NR.	ÚTFYLLT																		
STÆRD	GERÐ	FRAML. NR.																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Borun</th> <th rowspan="2">Álag tonn</th> <th rowspan="2">Snún mín.</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>h</th> <th>m/h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Borun			Álag tonn	Snún mín.	m	h	m/h										
Borun			Álag tonn	Snún mín.																
m	h	m/h																		
	ODDAR ALLS	BROTNIR	PÉTTI GOTT	LEGA <sup>1)</sup> F/G/L																
1. KEILA																				
2. "																				
3. "																				
ÞVERMÁL		ATH.																		
<b>ÁÆTLUÐ VIÐBÓTARNOTKUN</b> <b>KLST.</b>																				

## FÓÐURRÖRA- OG BORKRÓNUSTÆRDIF

FÓDURRÖR								KRÓNU STÆRD			RÝMD
UTAN MÁL		MÚFFUR		ÞYNGD		INNAN MÁL					
t.	mm	t.	mm	Lbs/Ft	kg/m	t.	mm	t.	mm	mm	
4½	114.3	5.000	127.00	9.50	14.14	4.090	103.89	3%	98.42	5.46	
4½	114.3	5.000	127.00	11.60	17.26	4.000	101.60	3%	98.42	3.18	
4½	114.3	5.000	127.00	13.50	20.09	4.000	99.57	3%	95.25	4.23	
5	127.0	5.563	141.30	11.50	17.11	4.560	115.82	4%	107.95	7.87	
5	127.0	5.563	141.30	13.00	19.35	4.494	114.15	4%	107.95	5.61	
5	127.0	5.563	141.30	15.00	22.32	4.408	110.96	4%	107.95	4.01	
5	127.0	5.563	141.30	18.00	26.79	4.276	108.61	4%	104.77	3.73	
5½	139.7	6.050	153.67	13.60	19.35	5.044	124.12	4%	120.65	7.47	
5½	139.7	6.050	153.67	14.00	20.83	5.012	127.30	4%	120.65	6.65	
5½	139.7	6.050	153.67	15.50	23.07	4.950	125.73	4%	120.65	5.08	
5½	139.7	6.050	153.67	17.00	25.30	4.892	124.26	4%	120.65	3.61	
5½	139.7	6.050	153.67	20.00	29.76	4.778	121.36	4%	117.47	3.89	
5½	139.7	6.050	153.67	23.00	34.23	4.670	118.62	4%	114.30	4.42	
6	152.4	6.625	168.28	15.00	22.32	5.524	140.31	4%	120.65	19.66	
6	152.4	6.625	168.28	18.00	26.79	5.424	137.77	4%	120.65	17.12	
6	152.4	6.625	168.28	20.00	29.76	5.352	135.94	4%	120.65	15.29	
6	152.4	6.625	168.28	23.00	34.23	5.240	133.10	4%	120.65	12.45	
6½	168.3	7.390	187.71	17.00	25.30	6.135	155.83	6	152.40	3.43	
6½	168.3	7.390	187.71	20.00	29.76	6.064	154.63	5%	149.22	4.22	
6½	168.3	7.390	187.71	24.00	35.72	5.921	150.39	4%	120.65	29.74	
6½	168.3	7.390	187.71	28.00	41.67	5.791	147.09	4%	120.65	26.44	
7	177.8	7.656	194.46	17.00	25.30	6.538	166.07	6%	158.75	7.32	
7	177.8	7.656	194.46	20.00	29.76	6.456	163.98	6%	158.75	5.23	
7	177.8	7.656	194.46	23.00	34.23	6.366	161.70	6%	158.75	2.95	
7	177.8	7.656	194.46	26.00	38.69	6.276	159.41	6%	155.87	5.34	
7	177.8	7.656	194.46	29.00	43.16	6.184	157.07	6	152.40	4.67	
7	177.8	7.656	194.46	32.00	47.62	6.094	154.79	6	150.40	2.39	
7	177.8	7.656	194.46	35.00	52.05	6.004	152.50	5%	149.22	2.20	
7	177.8	7.656	194.46	38.00	56.55	5.920	150.37	5%	149.22	1.14	
7½	193.7	8.500	215.90	20.00	29.76	7.125	180.98	6%	171.45	6.95	
7½	193.7	8.500	215.90	24.00	35.72	7.025	178.44	6%	171.45	4.58	
7½	193.7	8.500	215.90	26.40	39.29	6.569	177.01	6%	171.45	3.56	
7½	193.7	8.500	215.90	29.70	44.20	6.375	174.62	6%	171.45	3.18	
7½	193.7	8.500	215.90	33.70	50.15	6.765	171.83	6%	168.27	2.87	
7½	193.7	8.500	215.90	39.00	59.04	6.626	168.28	6%	156.75	9.52	
8½	219.1	9.625	244.48	24.00	35.72	8.097	205.66	7½	200.02	5.64	
8½	219.1	9.625	244.48	28.00	41.62	8.017	203.63	7½	200.02	3.61	
8½	219.1	9.625	244.48	32.00	47.62	7.921	201.19	7½	200.02	1.17	
8½	219.1	9.625	244.48	36.00	53.57	7.825	198.76	6%	171.45	1.45	
8½	219.1	9.625	244.48	40.00	59.53	7.725	196.22	6%	171.45	0.45	
8½	219.1	9.625	244.48	44.00	65.48	7.626	193.68	6%	171.45	22.22	
8½	219.1	9.625	244.48	49.00	72.92	7.511	190.78	6%	171.45	19.33	
9½	244.5	10.625	269.88	29.30	43.60	9.003	203.60	8½	222.25	7.95	
9½	244.5	10.625	269.88	32.30	48.07	9.001	228.63	8½	222.25	6.55	
9½	244.5	10.625	269.88	36.00	53.57	8.921	226.59	8½	222.25	4.34	
9½	244.5	10.625	269.88	40.00	59.53	8.835	224.41	8½	219.10	3.60	
9½	244.5	10.625	269.88	43.50	64.74	8.755	222.38	8½	219.10	3.30	
9½	244.5	10.625	269.88	47.00	69.94	8.681	220.50	8½	215.90	4.60	
9½	244.5	10.625	269.88	53.50	79.62	8.535	216.79	8½	212.72	4.00	
10%	23.0	11.750	298.45	32.75	48.74	10.192	258.88	7½	250.82	8.05	
10%	23.0	11.750	298.45	40.50	60.27	10.050	255.27	7½	250.82	4.00	
10%	23.0	11.750	298.45	45.50	67.71	9.950	252.73	7½	250.82	1.96	
10%	23.0	11.750	298.45	51.00	75.90	9.850	250.19	7½	244.50	5.57	
10%	23.0	11.750	298.45	55.50	82.59	9.760	247.70	7½	244.50	3.41	
10%	23.0	11.750	298.45	60.70	90.33	9.660	245.36	7½	241.30	1.51	
11½	294.8	12.750	323.85	38.00	56.55	11.150	283.21	11	279.40	5.11	
11½	294.8	12.750	323.85	42.00	62.50	10.884	281.53	11	279.40	2.11	
11½	294.8	12.750	323.85	47.00	69.94	11.000	279.40	10½	268.95	8.87	
11½	294.8	12.750	323.85	54.00	80.36	10.880	276.35	10½	269.88	6.41	
11½	294.8	12.750	323.85	60.00	89.29	10.772	273.61	10½	269.88	4.34	
13½	339.7	14.375	365.12	43.00	71.43	11.725	322.96	12½	311.15	11.81	
13½	339.7	14.375	365.12	54.50	81.11	12.615	320.42	12½	311.15	9.25	
13½	339.7	14.375	365.12	61.00	90.78	12.561	317.88	12½	311.15	6.77	
13½	339.7	14.375	365.12	68.00	101.20	12.415	315.34	12½	311.15	4.11	
13½	339.7	14.375	365.12	72.00	107.15	12.347	313.61	12	304.80	2.11	
16	406.4	17.000	431.00	55.00	81.85	13.875	350.92	15	381.00	9.55	
16	406.4	17.000	431.00	65.00	96.73	15.250	387.35	15	381.00	6.33	
16	406.4	17.000	431.00	75.00	111.61	16.250	384.18	14½	374.65	9.55	
16	406.4	17.000	431.00	84.00	125.01	15.016	381.25	14½	374.65	6.56	
20	508.0	21.000	533.40	139.89	149.89	12.945	487.75	17½	444.50	4.12	

## BORSTANGIR: Merking, gerðir, efni og eiginleikar

### MERKING Á BORSTÖNGUM

STANGIR		BORSTANGARSTÆRDIR	
FRAML.	MERKI	STÆRD	þyngd Lb/Ft
Armo	A	2 $\frac{1}{2}$	4.85
J & L Steel	J		6.65*
U.S. Steel	N		6.85
Wheeling — Pittsburgh	P		10.40*
Youngstown	Y		
Dalmine S.P.A., Italy	D	3 $\frac{1}{2}$	9.50
Falck, Italy	F		13.30* NARFI
TAMSA	T	4	15.50
Nippon Kokan Kabushiki	K		11.85
Vallourec	V		14.00* NARFI
Mannesmannrohren-Werke	M	4 $\frac{1}{2}$	15.70
Sumitomo Metal Ind.	S		13.75
			16.60* GUFUBOR
			20.00
			22.82
			24.66
			25.50
		5	16.25
			19.50* JÖTUNN
		5 $\frac{1}{2}$	25.60
			19.20
			21.90
			24.70

• STANDARD STÆRDIR

STÄLTEG.		MERKI	
D	D	E	E
E		C	
C-75	C	X-95	X
X-95		G-105	
G-105	G	S-135	S
S-135	S	V-150	V
V-150	V	Used	U

### LENGDARFLOKKUN á borstöngum án tengja

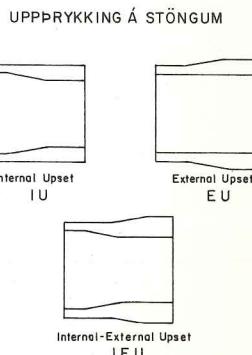
RANGE	Ft	m
1 - 18-22	5,5 - 6,7	(NARFI)
2 - 27-30	8,3 - 9,2	(GUFUBOR og JÖTUNN)
3 - 38-45	11,6 - 13,7	

### HELSTU TÖFLUR fyri stangir og kolla

BORSTANGIR	GENGJUR	UTAN MÁL	INNAN MÁL	HERSLA		
				Ft	Lb.	Kgm
2 7/8"	2 7/8" IF	4 1/8"	2 1/8"	5.900	800	
3 1/2"	3 1/2" IF	4 3/4"	2 1/16"	9.100	1.230	
4"	4" IF	6"	3 1/4"	16.900	2.290	
4 1/2"	4 1/2" xH	6 1/4"	3 1/4"	17.000	2.300	
5"	5" xH	6 3/8"	3 3/4"	18.900	2.560	
<b>'ALAGSSTANGIR</b>						
3 1/2" IF	4 3/4"	2"	10.800	1.500		
4" H 90	5 1/2"	2 13/16"	18.000	2.500		
4 1/2" IF	6 1/4"	2 13/16"	24.500	3.400		
4 1/2" IF	6 1/2"	2 13/16"	31.800	4.400		
4 1/2" IF	6 3/4"	2 13/16"	34.700	4.800		
5 1/2" H 90	7"	2 13/16"	39.400	5.450		
5 1/2" H 90	7 1/4"	2 13/16"	39.400	5.450		

VIDBÓT VEGNA TENGJA  
STANGIR      3 1/2"      4 1/2"      5"

15"      17"      17"



### 5 BORSTANGIR

#### 5.1 Umhirða borstanga

- Hreinsa og purrka á alla feiti af tengjum nýrra borstanga (verksm. setja lélega feiti á þau).
- Smyrja vel yfir allar gengjur og brjóst, með feiti sem inniheldur a.m.k. 50% (af þunga) finu zinkdufti en ekki meira en 0,3% af brennisteini. (Jetlube 250).
- Herða hægt saman í fyrstu 3 skiptin sem nýjar stengur eru skrúfaðar saman.
- Nota skal rétt hersluafli (Torque) og nota herslu-átaðsmælir annað slagið til samanburðar. Skv. DDH, B16-B26 á hersla á nýjum stöngum að vera. (Sjá BORSTANGIR: Merking, gerðir, efni og eiginleikar)
- Ekki er nóg að setja feiti á hluta af gengjum. Í hvert skipti sem skrúfað er saman skal bera feiti á allt boxið og á brjóstið.
- Ef sandur kemst í feiti á tengjum, þá er nauðsynlegt að þvo þau og smyrja að nýju.
- Nota skal báðar tangir, þegar skrúfað er saman og losað í sundur. Ekki skal láta stangasliftið halda við í staðinn fyrir aðra töngina. Það getur beygt stengur og orsakað rispur sem sifðar meir geta leitt til stangarbrota.
- Gengjur á driftstöng (Kelly) skulu vera óskemmdar. Skipta skal um hlífisöbb (Kelly Saver Sub), reglugilega.

- 9) Pregar tekið er upp í mastur á ekki að brjóta í sundur á sama stað og í síðustu upptekt (fára til í standi). Fára skal neðstu stöngina (næst álagsstöngum) til í hverri upptekt - þegar sett er niður. Æskilegt er að hafa neðstu stangirnar úr þykkara efni (Heavy Wall Drill Pipes). 3-20 stk. þar sem þær geta orðið fyrir álagi og mikilli hlykkjun (wobbing) - Hlifar á enda skulu notaðar þegar brotið er út, og hafðar á við flutning.
- 10) Við langvarandi geymslu á stöngum skal setja timbur á milli raða á 3 stöðum, nálægt endum og í miðju, nögu þykkt til að tengin liggi ekki saman. Stangir þurfa að vera minnst 12" frá jörðu vegna raka. Hlifðargúmi skulu fjarlægð fyrir geymslu til að hindra tæringarskemmdir undir þeim.
- 11) Brjóstin á pinna og boxi eru einu péttifletirnir fyrir leka, og er mikið atriði að þau séu gallalaus. Gengjurnar péttu ekki. Brjóst má plana (slípa niður) um  $1/32 = 0,8$  m/m af hvorum enda án þess að fára þurfi uppá skrúfur. Ef skrúfur eru feitislausar þegar skrúfað er í sundur eru það merki um ópétt brjóst.

BORMANNANÁMSKEID

JANÚAR 1983

**TOGPOL BORSTRENGS**

**Per Krogh**

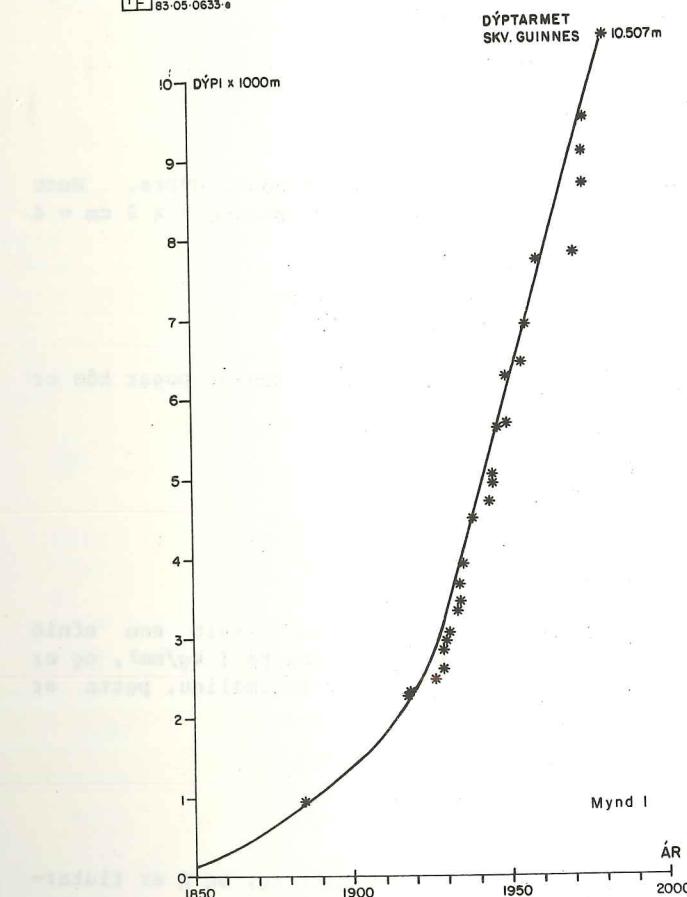
EFNISYFIRLIT

	Bls.
1 INNGANGUR.....	3
2 BURÐARPOL.....	4
3 FLOKKUN BORSTANGA EFTIR STÁLGÆDUM OG ÁSTANDI.....	6
4 BROTMARK OG FLOTMARK.....	8
5 TOGPOL SAMSETTS BORSTRENGS.....	11
6 ATHUGUN Á EFRI PART BORSTANGALENGJUNNAR.....	13
7 HUGLEIDINGAR UM NIÐURSTÖÐUR.....	14
8 BORSTENGUR í EIGU JBR.....	16
NIÐURLAG.....	17

1 INNGANGUR

Samkvæmt heimsmetabók Guinness er dýpsta borhola í heimi á Kolaskaga í Rússlandi norður við Barentshaf. Er hún 10.507 m djúp og var boruð 1980. Ef svo er litið til sögu dýptarmetanna, kemur í ljós að þetta er í fyrsta skipti sem Sovérrfkin komast á blað í þessu sambandi. Öll önnur dýptarmet eru sett í USA, síðast í Oklahóma 1974, 9.590 m. Ef svo er farið aftur til ársins 1927, kemur í ljós að dýptarmetin vaxa í svo til beinni línu eftir árum.

JBR-10-PK  
85-05-0633-6



## 2 BURÐARPOL

En eitt er, hvað hægt er að gera með ærnum tilkostnaði, annað er raunhæf bordþýpt í daglegu lífi og má e.t.v. orða það svo, að 7.000 til 9.000 m holur séu orðnar viðræðanlegar. En hvað veldur. Svarið liggur einfaldlega í styrk stálsins f borstrengnum. Eölisþyngd stáls er 7,85 kg/l, og venjulegt smíðajárn hrekkur sundur ef togað er í það með u.p.b. 4.200 kg á hvern cm<sup>2</sup>. Þetta er einfalt reiknisdæmi. Ef við tökum smíðajárnstein með 1 x 1 cm pverskurð, eða 1 cm<sup>2</sup> og vindum hann upp á kefli, hve langt er hægt að slaka honum niður í þurra borholu áður en hann hrekkur sundur undan eigin punga? Þyngd teinsins er 0,785 kg/m. Lengd hans þegar hann hrekkur verður því

$$\begin{aligned} 4.200 \\ \hline \text{----} = 5.300 \text{ m} \\ 0,785 \end{aligned}$$

Hvað skal svo til bragðs taka til að komast dýpra. Næst liggur e.t.v. við að nota sverari stöng, segjum 2 x 2 cm = 4 cm<sup>2</sup>. Þessi stöng vegur því

$$\begin{aligned} 4 \times 0,785 &= 3,14 \text{ kg/m, og polir} \\ 4 \times 4.200 &= 16.800 \text{ kg tog} \end{aligned}$$

Gefur það auga leið, að stöngin hrekkur sundur þegar hún er orðin

$$\begin{aligned} 16.800 \\ \hline \text{----} = 5.300 \text{ m} \\ 3,14 \end{aligned}$$

og við erum jafn nær.

Eins og getið er að ofan er spennan eða álagið sem efnið polir venjulega gefið upp í kg/cm<sup>2</sup> eða þá í kg/mm<sup>2</sup>, og er fundin með því að deila í álagið með flatarmálinu. Þetta er skrifað skv. alþjóðlegum staðli

$$\begin{aligned} F \\ T = \frac{\text{---}}{A} (\text{kg cm}^2 \text{ eða kg mm}^2) \end{aligned}$$

þar sem F er krafturinn, í daglegu tali kg, og A er flatarmálið í cm<sup>2</sup> (eða þá mm<sup>2</sup> ef svo vill verkast). T merkir

spennuna, og mælist því í kg/cm<sup>2</sup>, eða þá kg/mm<sup>2</sup> ef menn vilja það heldur.

Í dæminu að ofan er brotpol stálsins 4.200 kg/cm<sup>2</sup> eða 42 kg/mm<sup>2</sup>. Nú veljum við þá leiðina að nota sterkara stál til að komast dýpra, og höfum engrá annarra kosta völ en að halda okkur við staðlað stál í borstöngum. Upplýsingar finnast t.d. í Drilling Data Handbook (DDH), á bls. Bl.

En nú fer að versna í því. Spennan er gefin upp í hbar (hektobar) sem er sama og kg/mm<sup>2</sup>. Skekkjan er um 2% (DDH bls. A3) og skiptir okkur litlu.

### 3 FLOKKUN BORSTANGA EFTIR STÁLGÆDUM OG ÁSIGKOMULAGI

Borstengur eru framleiddar úr stáli með mismunandi togþoli og eiginleikum, og eru þær staðlaðar í "Grades" eða styrkleikaflokka. Flokkunum sem eru á boðstólum eru gefin heitin D, E, X95, G105 og S135 og kaupum við, p.e. JBR undantekningarlítið "grade" E. Þess skal samt getið, að grade D polir tæringu betur en grade E.

Skal svo reynt að útskýra töfluna á bls Bl nokkuð nánar:  
 "Tensile properties" má þýða með togeiginleikum  
 "Minimum yield strength" = lægsta flotmark  
 "Maximum yield strength" = hæsta flotmark og skal vikið að flotmarkshugtakinu síðar.  
 "Minimum tensile strength", viða kallað "Ultimate strength" = lægsta brotmark.  
 "Elongation, mini" = minnsta leyfilega lenging áður en brot verður og mælist í prósentum af upphaflegri lengd.  
 "Average yield strength" = miðlungs flotmark.

Smíðajárn	Borstangaefni,			flokkur ("grade")		
St. 34.11	D	E	X95	G105	S135	
Lægsta brotmark kg/mm <sup>2</sup>	42,0	65,5	68,9	75,8	79,3	100,0
Lægsta flotmark kg/mm <sup>2</sup>	26,0	37,9	51,7	65,5	72,4	93,0

I DDH bls Bl eru þessar tölur gefnar upp í hbar, eða sem næst því í kg/mm<sup>2</sup>:

Þetta sýnir í stuttu máli, að þeim mun sterkara sem stálið er, þeim mun styttra er á milli brot- og flótmarks. Hugtakinnu flotmark stáls verða gerð nokkur skil síðar. Hér má líka geta þess, að á bls Cl í DDH finnast samsvarandi tölur fyrir fóðurrið (casing), og falla þær vel að töflunni fyrir borstangaefni:

H40	J55	C75	C95	P105	V105	
K55			O95			
Lægsta flotm	27,0	37,9	51,7	65,5	72,4	103,4

Snáum svo aftur að ferkantstálinu á tromlunni, og notum tölurnar fyrir lægsta brotmark.

Við höfum séð, að stöng með 42,0 kg/mm<sup>2</sup> (4.200 kg/cm<sup>2</sup>) togþol mun slitna í u.p.b.

4.200  
----- = 5.300 m  
0,785

dýpi. Með sömu aðferð sést að "Grade E" stöng dugar í

6.890  
----- = 8.800 m  
0,785

og "Grade S135" stöng dugar í

10.000  
----- = 12.700 m  
0,785

Ef við láttum svo nægja að fara með "Grade E" stöng í 4.400 m dýpi, fáum við brotöryggisstaðal

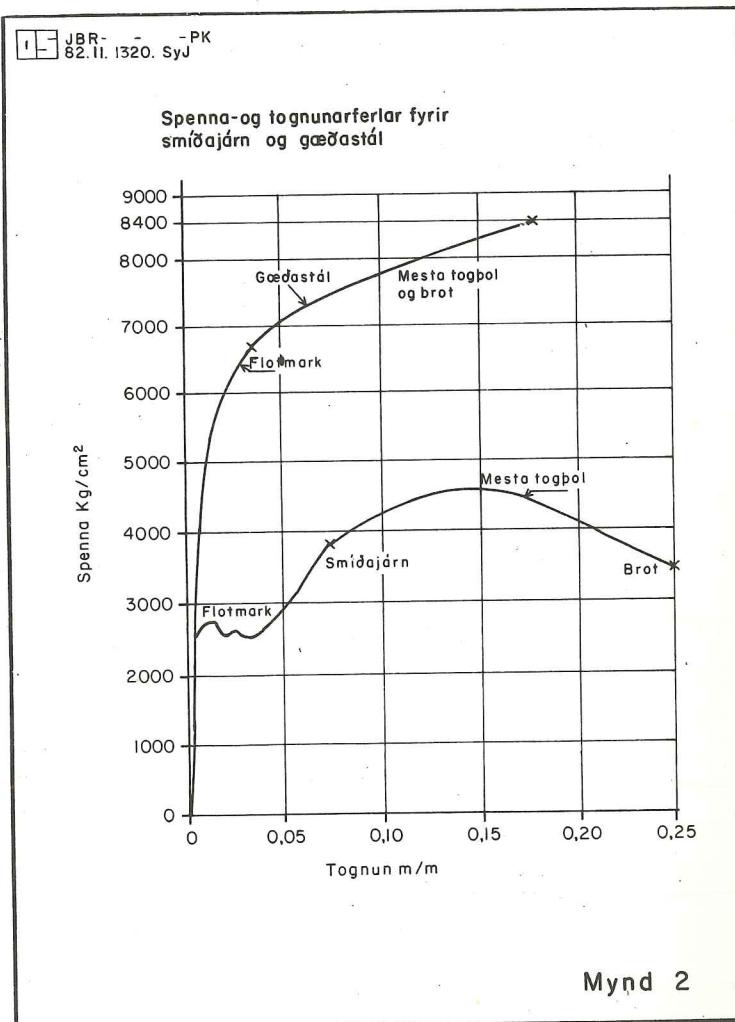
8.800  
----- = 2  
4.400

o.s.frv. og er það allt gott og blesсаð.

Að sjálfsögðu má svo teygja sig ennþá lengra niður, með því að nota sverara efni efst í lengjunni.

#### 4 BROTMARK OG FLOTMARK

Nú er fleira vitað um eiginleika stáls en brotmarkið. Stálið er orðið ónýtt löngu áður en komið er að brotmarki, og er þá kominn tími til að fjalla um flosmark stáls. Þá liggur beinast við að notfæra sér upplýsingar um lægsta flosmark (minimum yield strength), DDH Bl.



En hvað er flosmark? Ef teygð er á stálstöng lengist hún fyrst stöðugt og jafnt eftir álagi, og ef álagið er tekið af, skreppur stöngin til baka í upphaflega lengd, og er jafn góð eftir sem áður. Ef við í staðinn höldum áfram að auka álagið, skeður allt í einu breyting, og lýsir hún sér best á mynd 2. Allt í einu fer stöngin að lengjast án pess að álag sé aukið og er það merki þess að flosmarkinu sé náð. Ef álaginu er létt af nær stöngin aldrei aftur sinni upphaflegu mynd, og verður að teljast ónýt. Borstangatöflurnar í DDH eru miðaðar við lægsta flosmark. Nú beitum við sömu aðferð og áður til að sjá hvað hægt er að hafa stöngina langa. Skv. DDH bls Bl er lægsta flosmark (minimum yield strength) 51.7 hbar eða 5170 kg/cm<sup>2</sup> fyrir E-grade stál, og fáum við

$$5.710 \\ \text{----} = 6.586 \text{ eða um } 6.600 \text{ m} \\ 0,785$$

í stað 800 m ef miðað er við brotpol. A sama hátt mun grade S135 pola 11.800 m áður stálið fer að "fljóta".

Áður er búið að sanna að þverskurðarflatarmál skiptir engu, miðað við þær forsendur sem við erum búinir að gefa okkur. Og þá er komin tími til að yfirgefa teininn og snúa sér að borstrengnum.

Það mál er ekki eins einfalt. Borstrengur gerir meira en að hanga undir sjálfum sér. Hann á að snúa krónunni ásamt allri lengjunni sem nuddast við holuvegginn og samtfmís pola þrýstinginn frá skolvatnini. Þetta prentt lendir því samtímis á efstu borstöng. Til bóta er svo, að togálagið minnkar á meðan krónan er á botni.

En fleiri ljón eru á veginum, og er miklu erfiðara að gera sér grein fyrir áhrifum þeirra. Er hér í stuttu málí átt við sveiflur og titring í borstrengnum, sem geta haft mikil áhrif og geta valdið preytubrotum.

Í DDH bls E 13 er gerð grein fyrir hámarkssnúningshraða (critical rotary speeds), og hvernig er hægt að forðast að mismunandi sveiflur geti náð sama taktinum, og leggst þar með á eitt um að grunda borstrengnum.

Síðast, en ekki síst verður að taka tillit til hvort borstengur eru nýjar eða slitnar, og til eru API - staðlar

fyrir petta. A bls B4-B6 er lýst hvernig borstengur eru flokkaðar (classified) og að því bánu hve mikið álag hver einstök stangagerð polir við lægsta flotmark. Ætti það ekki að koma á óvart, því í þessar töflur eru ekkert annað en framrekningur á töflu Bl, til að spara útreikninga hverju sinni.

##### 5 TOGPOL SAMSETTS BORSTRENGS

Skal nú rakið eitt dæmi um hvernig má reikna leyfilegt tog umfram þunga borstrengsins við festur, þegar notaður er samsettur borstrengur, p.e. veikari stengur næst álagsstöngunum, og sterkari stengur þegar strengurinn fer að þyngjast.

Eins og við vitum eru borstengur flokkaðar eftir stálgæðum (grade), en þær eru einnig flokkaðar eftir ástandi, sérstaklega sliti (class), og er gerð grein fyrir flokkuninni á B4. Flokkarnir eru fjórir, (Class I, nýjar stengur, Premium class, class II, class III) og byggist flokkunin á því hve mikið er eftir af veggþykkt miðað við nýjar stengur. Innra þvermál borstangar er áliðið óbreytilegt.

Petta er auðveld ákvörðun á meðan slitið er jafnt með sömu veggþykkt hringinn í kring, en er að sjálfsögðu erfiðara ef stöngin er misslitin, p.e.a.s. innri og ytri hringur hafa ekki lengur sömu miðju eða það sem kalla má hjámiðjuslit (eccentric wear). Veggþykkt má mæla með hljóðbylgjutækjum.

A B5 og B6 má svo finna flotmark (tensile strength) fyrir staðlaðar borstengur, miðað við ástand þeirra. Og svo hefst dæmið.

Útreikningur á samsettum borstreng (tapered drilling string)

Hámarkslengd borstangalengju eftir starð (size), stálgæðum (grade) og ástandi (class) má reikna skv. eftirfarandi formúlu: tafla E15.

$$L_1 = \frac{T_1 \times 0,9-M}{P_{t1} \times C_a} \times \frac{P_{mt} \times L_{mt}}{P_{t1}}$$

þar sem:

$L_1$	= hámarks borstangalengd	(m)
$T_1$	= flotmark borstangar	(ks)
$P_{t1}$	= borstangapýngd í lofti	(kg/m)
$C_a$	= flotstaðall, breytist eftir eðlisþyngd borvökvans	(einingarlaus)
$P_{mt}$	= álagsstangapungji í lofti	(kg/m)

$L_{mt}$  = heildarlengd álagsstanga (m)

0,9 = margfeldi er ákveður hve nærri má ganga flotmarkalínu (þegar mikið liggur við)

M = valinn togkraftur umfram þunga borstrengs (margin of over-pull)

Gefum okkur svo eftirfarandi dæmi:

Holudýpi og pvermál	2,200 m - 8 1/2"
Borvökvi, vatn, eðlisþyngd 1.00 margfeldi	0.873 El4
Togkraftur umfr. þyngd borstrengs, M valinn	20.000 kg
Heildarlengd álagsstanga, valin	90 m
Pyngd borstanga 4 1/2" x 16,6 lbs/ft	26.94 kg/m B21
Flotm borstanga, grade D class II	84.000 kg B6

Þessi gildi eru svo sett inn í jófnuna:

$$L_1 = \frac{84.000 \times 0,9 - 20.000}{26,94 \times 0,873} = \frac{177,2 \times 90}{26,94}$$

$$L_1 = \frac{75.600 - 20.000}{26,14 \times 0,873} = \frac{55.600}{26,14 \times 0,873} = 592$$

$$L_1 = \frac{55.600}{26,14 \times 0,873} = 592$$

$$L_1 = 2.364 - 592 = 1.772 \text{ m}$$

Er þá komið í

$$1.772 + 90 = 1.862 \text{ m}$$

og vantar þá

$$2.200 - 1.862 = 338 \text{ m}$$

af sterkari stöngum sem við skírum  $L_2$ , og eru eins og áður (4 1/2" x 16,60 lbs/ft "grade E class I"), og er átak við flotmark 147.000 kg skv. B6. Þungi eins og áður 26,94 kg/m.

## 6 ATHUGUN Á EFRI PARTI BORSTANGALENGJUNNAR

Nægir að líta á flotpolstölurnar, 84.000 og 147.000 kg til að sjá að í þessu dæmi er óþarf að reikna út  $L_2$  en skal samt gert til að sýna aðferðina. Í fyrra parti dæmisins voru álagsstengurnar reiknaðar yfir í borstangametra, og dregnar frá til að ákveða  $L_1$ .  $L_2$  reiknast á sama hátt, en hér eru bæði álags- og  $L_1$  borstengur dregnar frá.

Í holuna er komið

Álagsstengur alls 90 m x 177,2 kg/m	= 15.948 kg
Borstengur alls 1.772 m x 26,94 kg/m	= 47.710 kg
eða samtals	63.658 kg

og jafnan lítur því þannig út:

$$L_2 = \frac{147.000 \times 0,9 - 20.000}{26,94 \times 0,873} = \frac{63.658}{26,94}$$

$$L_2 = 7.775 - 2.362 = 2.413 \text{ m}$$

og sýnir það einfaldlega, að ef notaðar eru eingöngu  $L_2$ -stengur er malið leyst. Með þessu er því búið að ákveða borstrenginn en svo getur verið æskilegt að stemma þetta dálitið af.

## 7 HUGLEIDINGAR UM NIÐURSTÖÐUR

Eins og dæmið er sett upp, gefur auga leið, að veikasti "hlekkurinn" í lengjunni er efsta L<sub>1</sub>-stöng, sem á lítið eftir af styrk ef togað er í lengjuna með 20 tonnum umfram stangaþunga. Allir útreikningar að ofan á L<sub>1</sub> og L<sub>2</sub> eru miðaðar við þunga í vatni.

Búið var að ákveða M 20.000 kg,  
í holuna er því komið

Heiti Lengd, m Pyngd í lofti, kg x 0,873 = Pyngd í vatni, kg

Álagsstg	90	15.948	13.922
L <sub>1</sub> stg	1.772	47.738	41.675
L <sub>2</sub> stg	338	9.106	7.950
Alls	2.200	72.792	63.547

Leyfilegt "krókálag" á Dofra þegar allt er í lagi 88.000 kg  
Borstrengur, alls í vatn 63.547 kg  
M (overpull) 20.000 kg 83.547 kg

Afgangs er því 4.453 kg

Ef vitað er um veika hlekki í bánaði, öðrum en borstöngum, t.d. mastri eða virð o.s.frv. verður að sjálfsögðu að ákveða krókálagið með tilliti til veikasta hlekksins.

Skal svo athugað, hvort dæmið hefur verið rétt reiknað tölu-  
lega. Veikasti punkturinn er efsta L<sub>1</sub>-stöngin. Ef togað er  
í vegna festu, og togkraftur er 20 t umfram þyngd bor-  
strengsins í vatni, verður álagið á efstu L<sub>1</sub>-stöng

$$83.547 \text{ kg} - 7.950 \text{ kg} = 75.597 \text{ kg}$$

Samkvæmt þessu er efsta L<sub>1</sub>-stöng í tæpara lagi.

Skal svo athugað hvort dæmið hefur verið rétt reiknað tölu-  
lega.

Álagsst	13.922 kg
L <sub>1</sub> -stengur	41.675 kg
	-----
	55.597 kg
+M	20.000 kg
	-----
Alls	75.597 kg

Lægsta flotmark fyrir L<sub>1</sub> stengur var 85.000 kg, eða með 10%  
öryggi

$$84.000 \times 0,9 = 75.600 \text{ kg}$$

og sýnir þetta að engar talnaskekkjur hafa slæðst inn í  
dæmið.

Til þess að hafa nú allt á þurru þegar á hólminn er komið er  
eðlilegt að fækka L<sub>1</sub>-stöngum og fjölga L<sub>2</sub>-stöngum ef þess er  
kostur

Fyrir hvern 100 m af L<sub>2</sub> stöngum sem bætist við, minnkar  
álagið á efsta L<sub>1</sub>-stöng um

$$10 \times 26,94 \times 0,873 = 2.252 \text{ kg}$$

og mun þá eðlileg lausn á dæminu vera að bæta við 100 - 200  
m af L<sub>2</sub>-stöngum.

Í þessu dæmi voru valdar lélegar borstengur í L<sub>1</sub>-lengjuna,  
og segir það okkur, að vart þarf að reikna þetta dæmi fyrir  
minni borana, nema því aðeins að álagsstangalengjan sé hlut-  
fallslega miklu þyngri.

#### 8 BORSTENGUR I EIGU JBR

Helstu borstangagerðir í eigu JBR eru tilgreindar hér að neðan og er hér miðað við nýjar stengur (Class I). Í DDH, B19-B23 má finna brotpol þeirra við tog (min. tensile strength).

I 4 1/2" 16.60 E (Gufubor) 330.600 LB nýjar (150,1 t)

II 5" 19.50 E (Jötunn) 395.600 LB nýjar (279,6 t)

III 3 1/2" 13.30 E (Narfi) 271.600 LB (120,8 t)

Til að meta hvað mikið má snúa uppá stangir eru uppl. á bl.  
K 21 í DDH.

Dæmi

I 3 1/2" 13.30 E (Narfi) við 30 tonna tog og 1.000 m af  
stöngum: 12 snúningar.

II 4 1/2" 16.60 E (Gufubor) 90 tonna tog og 1.000 m af  
stöngum: 7 3/4" snúninga.

III 5" 19,50 E (Jötunn) 100 tonna tog og 1.000 m af  
stöngum: 7 1/4" snúning.

#### NIÐURLAG

Í samantekt þessari er gerð nokkur grein fyrir stáli og togpoli þess, sérstaklega í sambandi við borstreng. Reynt hefur verið að styðjast sem mest við DRILLING DATA HANDBOOK (DDH), þar sem má finna flest allar upplýsingar um neðanjarðarbúnað.

Handbókin er mikill stuðningur við hönnun borstrengs, og getur verið ómetanleg þegar eitthvað bjátar á. En til að hafa gagn af handbók þegar á reynir, þurfa menn að þekkja hana, til að geta notað hana fljótt og örugglega.

Í sumum tilvikum nægir að fletta upp á einni blaðsfðu, í öðrum er nauðsynlegt að tengja saman upplýsingar frá mismunandi stöðum í bókinni, og vill það gjarnan hafa í för með sér þörf á nokkurri reiknikunnáttu.