

RAFORKUMALASTJÖRI
Jarðhitadeild

Á L I T S G E R ð

U M

HAGRÆÐINGU Á STARFSEMI VIÐ JARÐVIÐNÁMSMÆLINGAR.

Eftir

Freysteinn Sigurðsson

Mai 1966

Efnisyfirlit

	Bls.
I. <u>Inngangur</u>	1
II. <u>Mælingar</u>	2
1. Viðfangsefni	2
2. Mæliaðferðir	2
3. Takmörk mælinga	6
4. Beiting jarðviðnámsmælinga við jarðhitakönnun	9
5. Segulmælingar og jarðfræðikönnun	13
6. Kortlagning	14

Fylgigrein 1

Hámarkslengd mælilínu.

Fylgigrein 2

Viðnám jarðhita og saltra jarðlaga

Fylgigrein 3

Jarðviðnám og jarðfræðileg lög

Fylgigrein 4

Um viðnám í lausum jarðlögum

Alitsgerð um hagræðingu á starfsemi við jarðviðnámsmalingar.

Eftir Freysteinn Sigurðsson

I. Inngangur

Svo er með framkvæmdir við jarðviðnámsmalingar sem aðrar framkvæmdir, að eðlilegt er, að halda kostnaði við þær sem lögstun og nýta þannig fé það sem best, sem til umráða er. Er slíkt að sjálfsögðu hægt á fjarlægum lundum. Skuli framkvæmdir ekki skertar, verða vegir til þess hins vegar sjnu færri. Ekki verður heldur að telja rétt, að hækka beri til stórra muna þjónustugjöld landeðna fyrir framkvæmd malingastörf, þó því mætti ósjaldan koma vanSalaust við. Skal hér ekki fjölyrt fleira um það atriði.

Með hagræðingu á vinnubrögðum við jarðviðnámsmalingar má hins vegar öruggt telja, að lakka mætti nokkuð kostnað og þó fyrst og fremst fá betri nýtingu á vinnutíma. Er og síst vanþörf á, þar eð sumarið 1965 nýttist aðeins rúnlega helmingur unninna stunda til malinga, eins og nánar er frá greint í skýrslu þess árs.

Stór liður er og, að nýta hverja malingu sem best, en slíkt ætti að verða gjörlegra með aukinni þekkingu á malingum og árangri þeirra. Þekking þessi hefur aukist all mikið hin síðari ár.

Hér á eftir skal greint nokkuð frá aðferðum, starfsháttum og fyrirkomulagi viðnámsmalinga og getið til, hvað helst mætti betur fara og hvernig.

II. Mælingar:

1. Viðfangsefni:

Til þessa hafa höfuðviðfangsefni jarðviðnámsmælinga verið ferns konar:

1. Könnun og leit jarðhita.
2. Könnun jarðvatnslegu.
3. Mæling jarðlagabykktar.
4. Mælinga jarðviðnáms sem slíks.

Er fyrsti liðurinn sá, er fellur innan hins eiginlega verkswiða jarðhitadeildar. Annar og þriðji liður hafa staðið í sambandi við virkjanadætlanir fallvatna og fjórði liðurinn í sambandi við meiriháttar rafmagnsleiðslur, samanber sérskýrslu "Sogslínu" mælinga 1964.

Þar túlkanir mælinga, sem sérstaka þýðingu hafa fyrir liði 2.-4. eru allar notaðar, meira eða minna, við lið 1. Er því þarflegra að geta þeirra sérstaklega.

Þess ber hér að geta, að starfsvið og nothæfni jarðviðnámsmælinga aukast eftir því sem samband jarðfræðilegra atriða og jarðviðnáms verður betur skýrt.

Í sambandi við jarðviðnámsmælingar til jarðhitakönnunar, verður og annarra atriða við þá könnun getið.

2. Mæliáferðir:

2.1. Aðallega hafa verið notaðar tvær áferðir við jarðviðnámsmælingar: Dýptarmælingar, með miðju línu fastsetta, en skautabil breytileg, og lengdarmælingar, þar sem miðju lína er færð, en lengd skautabíla haldið stöðugri. Mælast með fyrri áferðinni breytingar jarðviðnáms í sem næst láréttri línu niður frá jarðaryfirborði, en með þeirri síðari breytingar í nálægt því láréttri línu, eða fleti, sé um fleiri mæli línur að ræða, í swipaðri dýpt undir jarðaryfirborði.

Má nefna aðferðir þessar 2-skauta aðferðir, það er bæði straumskaut valda sviðsgerð.

Þriðja aðferðin kemur og til greina. Er þá málstaður fastsettur eins og við dýptarmælingar, og annað straumskautið á þeim punkti. Hitt straumskautið er fært í "óendanlega" fjarlægð og mælt sviðið umhverfis hið fyrra. Þýður þessi aðferð upp á marga kosti. Þessa aðferð mætti nefna 1-skauts aðferð.

2.2. Síðastliðin tvö sumur, 1964 og 1965, hafa verið notuð við námstæki, TERRAMETER, frá Elektrisk Malmletning í Svíþjóð. Hafa þau á margan hátt reynzt vel, þó einkum sökum þess hve handhæg þau eru og lítil fyrirferðar.

Er straumur sá, sem notað til mælinganna fenginn úr 1.5V vasaljósarafhlöðum og getur eyðsla þeirra, við miklar mælingar, farið upp í 4 rafhlöður á dag. Mesti straumur, sem tæki þessi gefa, er um 60 m.á, en var um 200 mA úr tækjum þeim, sem áður voru notuð.

Með TERRAMETER þessum er við nám samsvarandi deildinni spennu/straumur, mælt beint og spannar mælisviðið $10^{-3} - 10^4 \Omega$. Góð nákvæmni er þó varð á mæligildum undir $20 \cdot 10^{-3} \Omega$ og þó því aðeins, að rafhlöður séu fullhlaðnar. Ella er álitamál um áreiðanleika mæligilda undir $50 \cdot 10^{-3} \Omega$.

Til þess að finna sýndareðlisvið nám jarðlaga við mælingarnar er hið melda við nám margfaldað með "rúmstuðli", sem er háður uppröðunaraðferð og skautabilum.

2.3. Rétt þykir hér að gera nokkru nánari grein fyrir möguleikum einstakra mælingaaðferða:
Fyrir dýptarmælingar með 2-skauta-aðferð eru reglur um sýndarvið nám eftirfarandi:

1. Schlumberger-röðun ($l/a \geq 3$; breytilegt):

$$S_s = R \frac{\pi}{2} a \left(\left(\frac{l}{a} \right)^2 - 1 \right) \quad (1)$$

2. Wenner-röðun ($l/a = 3$):

$$S_s = R 4 \pi a \quad (2)$$

S_s = sýndarviðnám; R = mælt viðnámugildi, l = fjarlægð straumskauta frá miðju; a = fjarlægð spennuskauta frá miðju.

Miðað við sýndarviðnámið $50 \Omega_m$ ætti því með Wenner-röðun að vera hægt að mæla út í $l = 600m$. Þessi vegalengd breytist í beinu hlutfalli við sýndarviðnámið.

Með Schlumberger-röðun mælist skemmra sem svarar stuðlinum s :

$$s = \frac{8 a^2}{l^2 - a^2} = \frac{8}{\left(\frac{l}{a} \right)^2 - 1} \quad (3)$$

Er af því ljóst, hver áhrif hlutfallið l / a hefur.

2.4. Við "l-skauts-áferð" koma einnig a.m.k. 2 raðanir til greina. Önnur, sem kalla mátti "geislaröðun", þar sem annað spennuskaut er samtengt straumskauti í miðdepli mælingar, en hitt spennuskautið í ýmsum fjarlægðum og stefnum umhverfis. Hin áferðin, sem kalla mátti "kraga-röðun" er þannig að bæði spennuskaut færast svipað og við Schlumberger-röðun og þeim raðað á beina línu út frá miðdepli. Eru þau svo færð eins og lausa skautið í fyrri áferðinni. Reglur um sýndarviðnám við þessa áferð eru eftirfarandi:

1. Geisla-röðun:

$$S_s = R 4 \pi r \quad (4)$$

2. Kraga-röðun:

$$S_s = R 2 \pi \left(\frac{r^2}{2a} - r \right) = R \pi a \left(\left(\frac{l}{a} \right)^2 - 1 \right) \quad (5)$$

r = fjarlægð ytra spenniskauta frá miðju, $2a$ = bil milli spennuskauta, l = fjarlægð miðju til miðs bils milli spennuskauta.

Sé áfram miðað við sýndarviðnám $S_3 = 50 \text{ } \underline{2} \text{ m}$ er með geisla-röðun hægt að mæla út í $r=400\text{m}$, en með kraga-röðun því skemra sem nemur stuðlinum S :

$$S = \frac{l}{a} - 1 = \frac{L}{a} - \frac{a}{L} \quad (6)$$

Etla má, sökum hins ^kmiðla munar viðnáms jarðar og viðnáms tengisnúra um taki og skaut, að kragaröðunin kynni að reynast hentugri.

Ekki er enn víst, hvernig túlka beri niðurstöður þessarar mælinga, en etla má, að það gerist á svip- aðan hátt og við venjulegar dýptarmælingar.

2.5. Við lengdarmælingar hefur reynst hentugast að hafa sömu hlutföll skautabíla og við Wenner-röðun, þannig að bil milli hverra tveggja skauta eru jöfn. Um sýndarviðnám við þessar mælingar gildir eftirfarandi regla:

$$S_3 = R \ 2\pi a \quad (7)$$

a = skautabil.

Athuga ber, að a við lengdarmælingar er tvöfalt lengra en a við dýptarmælingar.

Sé $S_3 = 50 \text{ } \underline{2} \text{ m}$ getur a verið mest 400m , sem samsvarar $l=800\text{m}$ við dýptarmælingar. a_{max} er því, sem fyrr greinir, tölulegt fall af S_3

$$a_{\text{max}} [\text{m}] = 8 S_3 [\underline{2} \text{ m}] \quad (8)$$

3. Takmörk malinga:

3.1. Ýmsar tæknilegar ástæður valda því, að geta jarðviðnámsmalinga nýttist ekki svo til fulls sem fræðilega væri þó mögulegt.

Skulu hér taldar nokkrar þær helstu:

B·11 Ekki er hægt að ná meira en 60 mA straum út úr takjunum og þó aðeins endrum og eins. Venjulega er mælt með 5-20 mA straum. Grumur leikur á, að þessi smáb straumsins sé því valdamá, að ekki nást nákvæmar malingar við málígildi minni en $20 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-3}$. 2

Þess skal hér getið, að öllu hærri straumur myndi ekki vera hattulaus og óvíst hverju myndi muna um nákvæmi málígilda.

·12 Yfirleitt hefur verið notuð Schlumberger-röðun við dýptarmalingar, en með þeirri röðun næst, sem fyrr greinir, minni dýpt en með Wenner-röðun. Sú er hins vegar annaðhvort tíma- eða mannfrekari. Víða mun þó réttlæt看legt að nota Wenner-röðun, fyrst og fremst á ytri hluta malinga; t.d. utan við 1-120m eða 1-240m; einkum, þegar vól er á vinnukrafti að kostnaðarlitlu, sem stundum vill til. Ber að hafa það í huga við ástlanir; sbr. lengdarmalingar.

3.2. Mikil áhrif á langdrægni malinga hefur og tengiviðnám skautastauta, en það er að miklu leyti há ástandi yfirborðslaga, svo og gerð tábna skautastauta. Þæst, að öðru jöfnu, eftir því meiri straumur úr takjunum sem viðnám tengilags er lægra. Veldur því yfirborðslag gjarnan miklu um nákvæma staðsetningu málstaða og gagnsemi malinga á þeim. Verður þá oft að hvíka frá eðkilegri einhæfni yfirborðslags, því að betri er lítið skökk maling en engin.

3.3. Miklu máli skiptir og gerð skautastauta. Járnstautar hafa gefist mjög illa og mun því betra að halda sig við "messing" sem stautaeefni. Yfirborðsflatarmál stauta getur valdið miklu um straumraun takja og væri því oft hentugra að hafa sem gildasta stauta, en með því vex og þyngd þeirra, en handhægt minnkar.

Önnur lausn er sú að fjölga stautum við straumskaut. Er sú aðgerð einkum vænleg til árangurs á ytri hluta málilína. Hvort ráðið, sem tekið verður, ber nú (vorið 1966) fulla nauðsyn til að afla fleiri messingstauta og skyldi digurð þeirra ógjarnan vera undir 1" í þvermál, en lengd um 1/2m.

3.4. Ekki er ávallt tilfellið, að jarðlagaskipan sé sem eskilegust og getur það valdið mistúlkunum á mælingum. Væri því gagnlegt að gera sér nokkra grein fyrir því, í hverja átt og helst hve mikið hin einstöku frábrögð geta brenglað mælingar, en það er oft þýna flókið mál.

Helstu frábrögð, sem til greina koma, eru:

1. Mikill jarðlagahalli samfara mismunandi jarðlögum, hvað viðnám snertir.
 2. Lárétt jarðlagaskifti.
 3. Lárétt jarðlagatruflun. Atriði 2.-3. um eina eða fleiri, meira eða minna beinar línur.
 4. "Truflunarskrokkar" af ýmsum gerðum.
- Sennilegt er, að jarðhiti sé oft þess eðlis.
5. Gapandi, loftfylltar sprungur.
 6. Ójafnt landslagsyfirborð.
 7. Afbrigðilegar straumrásir á yfirborði, eða þaktar jarðlögum.

Ágiskætar leiðréttingar vegna frábragða þessarra er því aðeins hægt og leyfilegt að gera, að sterkar líkur séu fyrir tilvist tétra frábragða. Truflanir af völdum þessarra frábragða geta að sjálfsögðu sem hagast blandast hinum eðlilega viðnámsferli og getur þá orðið erfitt að greina á milli.

Gagnsemi þessarra mögulegu leiðréttinga þykir þó nóg tilefni til sérstakrar fylgigreinar, þar sem efnt er tíð ástlaðra nálgunarreglna fyrir þau hin sennilega algengustu frábrögð.

3.5. Rétt þykir hér að geta í þessu sambandi nokkurra annmarka á málubúnaði viðnámsstakja, sem í ljós hafa komið. Í TERRAMETER sjálfum hafa aðeins komið fram þrennir gallar svo vitað sé:

1. Brotnað hafa upp lóðanir á leiðsluendum í tækinu.
2. Lampar hafa bilað.
3. Brotnað hefur upp lóðun gullhúðaðrar tengifjaðrar í skifti milli ytra- og innra viðnáms.

Má reikna með hálfri til eins dags töl í mánuði hverjum vegna lóðana þessarar að meðaltali. Litlar tafir þurfa að að verða af lampaspjöllum, sé þess gætt að hafa ávallt nægar varabirgðir fyrir hendi.

3.6. Vefjukefli (spólur) þau samsk, sem fylgdu viðnámsstakjum og smíðuð voru úr blikki og alúminíum, eru aflóga orðin sökum óhjákvæmilegrar, ómjúkrar meðferðar. Er brýn nauðsyn bráðrar úrlausnar.

3.7. Athygli skýrsluhöfundar hefur verið vakin á því, að nota myndi mega tvíþátta "lampasmúru" við lengdarmalningar, þannig að spennuskaut, tengd við annan þáttinn, en straumskaut við hinn. Er hugmyndin góð, því að lampasmúrur slíkar eru liprar í meðföllum, en óvæst er um styrkleika þeirra. Myndi með því sparast nokkur smúrubúnaður, en sá, sem nú er við lýði, er orðin fyrirferðarmikill.

3.8. Þess skal og látið getið, að mikil brögð hafa verið að því, að verkfari þau, nauðsynleg, sem viðnámsmalningar hafa haft undir höndum að samalagi, hafa verið horfin að vori og orðið að efna til nýrra áhaldna. Hefur það stundum valdið lítilsháttar vandræðum er til verkförunna skyldi taka.

Loks ber þess að geta, að mikil nauðsyn er á að hafa góðan "AVO-meter" í föllum flokksins, vegna rafhlöðnaeyðslu og smúrslita.

4. Beiting jaröviðnámsmælinga við jaröhitakönnun:

4.1. Sú staðreynd, að jaröviðnámsmælingar má nota við jaröhitakönnun byggist á tvennu: Fyrst því, að gjarnan er meira um rafleiðsluhæf jón í hveravatni en venjulegu vatni og í annan stað, að yfirleitt lækkar viðnám vatns þessa um helming við hækun hitastigs þess um það bil hverjar 30 °C. Viðnám hvera- og laugavatnsins er gjarnan 25-40 Ω m við 25 °C.

Mætti því ætla, að viðnám 100 °C vatns, og bergs gegn-
vattu í vatni þessu, væri 3-8 Ω m, sem kemur líka mjög
vel heim við gerðar mælingar.

4.2. Annað getur og valdið svo lágu viðnámi, en það er
salt, sem orðið hefur eftir í sjávarsetlögum frá ísaldar-
lokum; eða eldri, sem millilög.

Þetta atriði er svo þýðingarmikið, að ástæða þykir til að
ræða það nokkuð nánar í sérstakri fylgigrein.

4.3. Sem alkunna er streymir heita vatnið gjarnan neðan
að með göngum eða öðrum misfellum í jarölagastaflanum.
Hversu langt, hve mikið og hvernig áhrifa jaröhitans gætur
út frá uppkomurásinni veltur á ýmsu. Skulu hér talin ýms
atriði, sem þýðingu hafa:

1. Gleypni aðliggjandi jaröлага.
2. Þrýstingur heita vatnsins.
3. Mótþrýstinur jarövatns.
4. Hitastig og magn heita vatnsins.
5. Varmaleiðni aðliggjandi jaröлага með jaröraka.
6. Brottflutningur varma með jarövatni og á aðra
vegu

Skulu hér ekki settar fram neinar reglur um samband þessarar
þátta, sökum þess, hve margbreytilegir og tormalanlegir þeir
eru.

4.4. Gerð og lega rúms þess, sem jarðhitinn hefur áhrif á, getur þannig verið á ýmsa lundu. Er harðla erfitt að kanna það, þar eð jarðhitinn er nær allur undir jarðaryfirborði. Þessi tvö einkenni jarðhitans hafa hins vegar hina mestu þýðingu fyrir áhrif hans á jarðviðnámið. Sé um meiri háttar, lárétt jarðlög að ræða, sem jarðhitinn hefur mun meiri áhrif á en önnur, er um óskaskilyrði jarðviðnámsmælinga að ræða, en mælingar á þeim má leysa beint með staðalsferlum.

Það getur átt sér stað, sé um þykk greyp millilög eða yfirborðslög að ræða; einkum setlög. Einnig getur jarðhitinn; en þar þarf ekki alltaf að vera um heitt vatn undir þrýstingi að ræða; breitt það mikið úr sér, þegar neðar dregur frá yfirborði, að nálgist lárétta legu.

Annars er lögun jarðhitarúmsins umlendis uppkomurás væntanlega sú, að hana megi aðlaga, betur eða verr, einhverju frábragða þeirra frá láréttri lagaskipan, sem um getur í fylgigrein.

Einnig má ætla, að jarðhitinn geti, undir vissum kringumstæðum, t.d. í sandlögum undir hrauni, fundið sér ýmsar rásir, sem alls ekki þurfa að mynda samfellt lag.

Loks getur uppkomurás jarðhitans verið víðs fjarri uppkomustað hans á jarðaryfirborði og getur hann þá bæði verið aðrunninn í ýmsum lögum eða einhverjum þrengri rásum.

4.5. Af þessari fjölbreytni í hegðan jarðhitans leiðir bæði, að hann hefur áhrif á mælinganiburstöður á marga vegu og það annað, að jarðfræðileg spursmál, sem þýðingu hafa við lausn og túlkun jarðviðnámsmælinga, eru mjög sérstaks eðlis og verður einungis að nokkru leyti svarað með venjulegum upplýsingum um jarðfræði hvers einstaks staðar, og í heild.

4.6. Skal nú skýrt í stuttu máli, hvers konar niðurstöður fást með hverri aðferð viðnámsmælinga. Venjulegar dýptarmælingar njóta sín, eðli sínu samkvæmt, því aðeins til fulls, að jarðlagaskipan sé lárétt, eða nálægt því. Einnig má hafa þeirra not, sé vitað í hverju frábrögð frá því sé fólgin. Falli viðnám á einhverjum hluta jarðsniða samkvæmt mælingum undir 40 Ω m má oftast kenna jarðhita um, sé ekki salt, eða líkur á því, til staðar.

Séu aðstæður góðar, mætti þó gizka á hitastig jarðhitans svo að ekki skakki nema 10 - 20%

Það gefur þó auga leið, að dýptarmælingarnar geta ekki alltaf verið magnlægar.

4.7. Mælingar með 1 straumskaut í miðdepli mælingar hafa verið lítið sem ekki stundaðar. Þær eru þó vænlegar til árangurs, þar sem jarðhitinn er ekki einslægur í hinar ýmsu áttir út frá miðju. Er þá hægt, hvort sem vera skal, að mæla út eftir geislum eða á hringferlum umhverfis miðju. Yrðu slíkar mælingar, að öðru jöfnu, miður vel magnlægar, þó sennilegt sé, að setja mætti upp nálgunarreglur um þær, sambærilegar við lengdarmælingar. Sennilegt má telja, að vissara sé, að hafa hlutfallið a/r eða a/l sem stærst við þessar mælingar eða $1/3-1/6$, sökum sennilegrar dreifingar viðnámsgilda sem ella mætti vanta.

4.8. Lengdarmælingar þjóna fyrst og fremst þeim tilgangi að gefa hugmynd um lárétta afstöðu jarðhitans. Þess ber þó að gæta í því sambandi, að æði margt getur haft villandi áhrif, en eftirtalin atriði verður þó að telja mikilvægust fyrir mæligildi:

1. Viðnámsgildi jarðhita.
2. Dýpt á jarðhita.
3. Viðnám og þykkt yfirborðslaga.
4. Viðnámsbreytingar í berggrunni.

Með því að mæla net í fleir "hæðum", þ.e. með mismunandi skautabilum, má nokkuð finna, hvort hin villandi áhrif stefna. Gott dæmi um þetta eru mælingar í Blesastöðum á Skeiðum, haustið 1965.

Þar sem lengdarmælingum verður við komið, verður að telja þar árangursríkustu aðferð sem vöð er á við viðnámsmælingar. Hins vegar verður að velja skautabil vandilega, þar eð ella er hætt við hrapalegum mistökum.

Verður því alla jafna að beita fleiri en einni aðferð til að fá sem gleggsta mynd af jarðhitunum.

4.9. Til þessa hefur aðferðum þessum verið beitt á ýmsa vegu. Algengast var að framkvæma eina dýptarmælingu á uppkomustað jarðhita. Í því tilfalli mætti sennilega nota 1-skautaaðferð víða með árangri. Einnig voru jarðhitasvæði kortlögð með dýptarmælingum. Þengust þannig upplýsingar um dýpt jarðhita, jarðlagabygging og útbreiðslu jarðhitans. Hvað jarðhitannæmstertir geta upplýsingar þessar verið miður áreiðanlegar, einkum út til jaðra jarðhitasvæðisins. Höfuðannmarki þessarrar tilhöggunar er hins vegar, hversu fáir málipunktur fást miðað við tíma og fyrirhöfn.

Gott dæmi um slíka kortlagningu fékkst að Reykjaskóða í Hrótafirði sumarið 1964.

Vanlegast til árangurs verður að telja það fyrirkomulag að framkvæma frumkönnun á jarðhitasvæðinu með einni eða fleiri dýptarmælingu. Ber að ræða þeim eftir jarðfræðilegri byggingu hlutabæigandi svæðis. Fjöldi þessarra mælinga ber að stilli í hóf, eftir því sem frekast verður unnt. Síðan skyldi mæla net með lengdarmælingum í einni eða fleiri hæðum og að sjálfsögðu þar þéttir, sem hitalíkur virðast mestar. Gæta verður þess að fá aðliggjandi svæði utan jarðhitans greinilega fram. Að lokum má svo kanna álitlega jarðhitastaði og aðra þá staði, sem upplýsingar verða mikillegar um, með dýptarmælingum og nota þá 1- eða 2-skautaaðferð eftir því, sem við á.

Að sjálfsögðu getur staðið svo á, að öðru vísi þurfi til að haga, en ekki skal hér rætt nánar um þau hugsanlegu tilfalli.

5. Segulmælingar og jarðfræðikönnun.

5.1. Við venjulega jarðhitaleit og -könnun hefur einnig verið mikið beitt segulmælingum og jarðfræðirannsókn er yfirleitt óhjákvæmileg. Ekki skulu vísindi þessi tekin hér til ítarlegrar meðferðar, heldur aðallega dregið á þá þáttu þeirra, sem snerta jarðviðnámsmælingar beint.

5.2. Segulmælingar hafa aðallega beinst að berggöngum og misgenjum, sem birtast í stöllum, sýnilegum á yfirborði eða hulðum. Talið er, að hvorug þessarra fyrirbrigða megi finna nálegt því öll með segulmælingum. Hér er um línuleg fyrirbrigði að ræða og verður því framkvæmt þeirra jafnan sú, að mælt er þvert á línur þar, sem eru jarðhitalega eða jarðfræðilega grunsamlegar. Sé um ekkert slíkt að ræða, en líkur fyrir misfellum, verður að mæla eftir neti af einni eða annarri gerð.

Það gefur auka leið, að segulmælingar og viðnámsmælingar geta veitt hvorum öðrum nýtsamar upplýsingar og ber því að beita þeim samtímis, en ekki sitt í hvoru lagi og, ef til vill, á fjarlægum stöðum á sömu stundu.

5.3. Jarðfræðirannsókn á jarðhitasvæði skal hér ekki gerð að umtalsefni sem slík. Hins vegar verður að ganga út frá jarðfræðilegri vitneskju við staðsetningu jarðviðnámsmælistaða. Er því alla jafna þörf á jarðfræðilegri frumrannsókn, áður en mælingar hefjast. Gagnlegt getur verið að hafa jarðfræðing tiltakan; ef einhver þau jarðfræðileg spursmál skjóta upp kollinum, sem ekki urðu séð fyrir; meðan á mælingum stendur. Eðlilegt virðist og, að jarðfræðileg lokarannsókn fari fram, ef eitthvað það kemur á daginn við mælingarnar, sem tilefni gæfi til.

5.4. Verður þá, að öðru jöfnu, tímaröð jarðhitakönnunar sem hér segir:

1. Jarðfræðileg frunkönnun.
2. Dýptarmælingar, segulmælingar.
3. Lengdarmælingar.
4. Dýptarmælingar, segulmælingar.
5. Jarðfræðileg lokakönnun.

6. Kortlagning:

6.1. Niðurstöður jarðhitakönnunar eru gjarnan settar fram sem kort. Til þess þarf að hafa sem nákvæmst kort til umráða. Að sjálfsögðu er óskilegt að hafa einhverja hentuga mælikvarða á þessum kortum. Reynst hefur glögg og þó meðferilegt að hafa viðnámkort og afstöðumyndir í mælikvarða 1:5000. Þar sem yfirlits yfir stærri svæði er þörf, myndi mælikvarði 1:25000 vera sennilega hentugur.

Við gerð þessarra korta koma ýmsar aðferðir til greina. Kort, teiknuð eftir "augnamáli" eða eftir kortum í mælikvarða 1:50000, eru íbulega of ónákvæm. Einnig má mæla út legu ákveðinna staða með "teóðólít". Er þá náið samband milli punktafjölda og mælitíma. Þessarri aðferð er tölulvers reiknivinna samferða svo og nokkuð tímafrekur frágangur. Hins vegar má með aðferð þessarri finna út hæðarmun staða. Mest hafa hins vegar kortin verið gerð eftir loftmyndum í mælikvarða 1:5000. Er á slíkum kortum því hægt að hafa þann fjölda atriða, sem við býfum að horfa. Er þá einnig hægt að nota loftmyndirnar til glöggvunar við mælingarnar og jarðfræðirannsókn. Sá hængur er þó á, að ekki er alltaf vitað fyrirfram, hvaða svæði þarf að kortleggja og geta því myndirnar annað hvort orðið of litlar eða of stórar. Verður þó að telja loftmyndaáferðina, e.t.v. með aðstoð "teóðólits", þá bestu. 1 km^2 af loftmynd kostaði hjá Landmælingum Íslands um 1100kr. sumarið 1965. Kostar þá loftmynd af 1 km^2 lands í mælikvarða 1:5000 um 50kr. Þess er að vanta, að aðrar aðferðir, sem sama árangri eiga að ná, séu stórum mun kostnaðarsanari.

6.2. Kort þau, sem gera þarf, efnislega, eru:

1. Afstöðumynd.
2. Mælistaðir og mælihlínur.
3. Jarðfræðikort.
4. Jafnvíðnámslínur.
5. Segulmældir gangar o.p.l.
6. Niðurstöður dýptarmælinga.

Að sjálfsögðu má íbulega sleppa sumum þessarra atriða eða setja fleiri en eitt á sama kortið.

Ekki er nákvæmni þessarra kort nægileg til öruggrar staðsetningu borholna o.p.l. þá, þegar ekki má meter skakka. Þá staði verður því að merkja sérstaklega - og vandilega - með hælum eða einhverju ánáta.

6.3. Kort þessi ber að gera svo fljótt sem auðið er.

Alltaf getur þó komið fyrir, að ekki sé vitað nákvæmlega um svæði það, sem kortleggja skal, fyrr en öllum mælingum er lokið. Þrátt fyrir það verður að hafa hugfast, að dvöl á hlutaþeigandi stað getur auðveldað kortagerð, eða verið jafnvel nauðsynleg, svo og, að borholustaði o.p.l. er íbulega ekki hægt að staðsetja án stuðnings kortanna.

Fylgigrein 1.

Hámarks lengd málilínu. (sbr. II.2.3. - 2.5.): S_s

Hámarks lengd málilínu, l_{max} , fer eftir sýndarvignámi, S_s , sem er fall af l og S_1, S_2, \dots, S_n og m_1, m_2, \dots, m_n , svo og a :

$$l_{max} = f(a, S_s); \quad (1)$$

Nú er svið það, sem l spannar háð a :

$$3 \leq \frac{L}{a} \leq 25 \quad (2)$$

Út frá reglum um $S_s = f(R, K)$, þar sem K er viðeigandi rúmstuðull, en $R_{mju} = 20; 10 \sqrt[3]{\Omega}$, má svo finna reglur um l_{max} sem fall af a og S_s :

2-skauta-afferð: Wenner-röðun:

$$l_{max} = 12 \cdot S_s \quad (3)$$

Schlumberger-röðun:

$$l_{max} = \sqrt{a^2 + 32a S_s} \quad (4)$$

1-skautaafferð: Geislaröðun:

$$l_{max} = 4 \cdot S_s \quad (5)$$

Kraga-röðun:

$$l_{max} = \sqrt{a^2 + 16a S_s} \quad (6)$$

Ekki hefur l_{max} hagnýta þýðingu nema í bilinu 10-1000m.

Fari S_s mikið yfir 1000 Ω m vill jarðtengingarviðnám oft verða svo hátt, að mikið vanti á að I_{max} náist. Erfitt er að ákveða nokkrar stærðir í því sambandi.

Meðfylgjandi er línurit $I_{max} = f(a, S_s)$ fyrir bilin $10m < l < 1000m$, $1 \Omega m < S_s \leq 10000 \Omega m$

Fylgigrein 2.

Viðnám jarðhita og saltra jarðlaga (sbr. II 4.2.):

Erfitt vill stundum verða að greina milli jarðhita og saltra sjávarlaga, því að hvorutveggja hefur lágt viðnám. Hefur þó saltið yfiríð lægra viðnám, eða, þar sem vitast er um það eða grunur leikur á, að það sé til staðar, 1-20 Ω m, en jarðhitinn hefur sem fyrr segir 3-40 Ω m eða um tvöfalt hærri. Ekki er það þó gott greiningarmarki.

Mikill munur getur hins vegar verið á legu þeirra í jarðlögum. Saltið liggur í leirkenndum sjávarsetlögum frá ísaldarlokum, eða í eldri sjávarlögum, sem þá eru milli-
lög. Sjávarleir þennan er, að öðru jöfnu, aðeins að finna í lögum, en hefur veðrast og skolast brott af hæðum. Ekki er hann heldur náðar nærri alls staðar þar að finna, sem aðstæður varu þó fyrir hendi. Nærri sjávarströndum er auðvitað víða salt í lausum jarðlögum vegna brims og saltroks.

Jarðhitinn kemur hins vegar neðan að og myndar þá gjarnan meira eða minna óreglulega rúmmynd, takmarkaða í fleti, en botnlaus hvað takagetu malinga snertir. Þó getur heita vatnið breitt úr sér í lögum, en reknur þá eftir því greiðar, og gjarnar, í lögum þessum, sem setið er grófara. Er því nokkur jarðfræðilegur munur á saltlögum og rennslis-
lögum heita vatns.

Má þannig strax með jarðfræðilegri athugun segja nokkuð til um líkur á salti í jarðlögum.

Nokkur munur er og á niðurstöðum viðnámsmælinga, því að saltið kemur fram sem lárétt lag, þegar mælt er ofan á því, lárétt lag eða botnlag, ef saltlagið liggur til hliðar við, eða þvert á málilínu. Að sjálfsögðu geta söltu lögin verið mismunandi þykkt, en yfirleitt munu þau þó aðeins fæðinismetrar að þykkt. Jarðhitalögin í annan stað eru gjarnan þykkari, svo fræmi sem ekki er um rennislög að ræða. Það sem villir um er, að mælingar ná oft ekki niður úr lágviðnámslaginu og geta þá villt um og virzt vera botnlög.

Með samanburði á þriggja-laga staðalsferlum (lágildisferlar t.d. 1 - 1/39 - 1) og tveggjalaga staðalsferlum má fá hugmynd um, hver villan verður.

Við lengdarmælingar yfir sölt lög verður sýndarviðnám mun herra á ásum og holtum heldur en í lögum. Hið sama getur orðið uppi á teningunum með rennislög jarðhita. Er þess þó þá að venta, að lágviðnámið fylgi ekki eins dyggilega lögum eða jarðfræðilega sennilegum lögum.

Er þannig alltaf mikið matsatriði, hvort sé líklegra, salt eða jarðhiti.

Meðfylgjani er línurit af \mathcal{S}'_3 (villu-sýndarviðnámi) sem fall af \mathcal{V} ($\mathcal{V} = \frac{m_2}{m_1}$; (m_1 og m_2 , þykkt) efsta og næstefsta lags) fyrir 3-laga feril 1 - 1/3 a - 1.

Fylgigrein 3.

Jarðviðnám og jarðfræðileg lög (sbr. III 1.3.):

Eina og kunnugt er, er leiðni- og viðnám- í jarðlögum fyrst og fremst háð magni og hreyfanleika jóna í jarðraka og jarðvatni. Er þá ljóst, að jarðviðnám er háð jarðfræðilegri gerð jarðlaganna.

Jarðlög má greina í fóst lög, eða berg, og laus lög, eða jarðveg. Verður þá að telja sand og mál jarðveg, þótt búandmönnum myndi þykja það ef til vill of virðulegur titill.

Ekki hefur farið fram ítarleg rannsókn á sambandi bergfræði og jarðviðnáms, en nokkuð hefur verið átt við tölur frá Grjóthálsi 1963, Sogalínu 1964 og Skagafirði 1959-'64. Var þar að sjálfsögðu um ærna ágizkun að ræða með jarðfræðigreiningu. Ekki var heldur farið með tölur þessar eftir vöndubum staðtölfræðilegum reglum. Loks ber að geta þess, að skekkja á viðnámsgildum er alltaf 10-30 %.

Fengust þó úr þessum athugunum athyglisverðar niðurstöður. Það fyrst, að viðnám bergs undir jarðvatnsfleti er 25-70 % af viðnámi bergs ofan við, en oftast kringum 50 %. Annað, að viðnám hvers jarðfræðilegs bergs, þurrs eða votts, sveiflast innan ramma þáttarins 2, sem er minna en e.t.v. mætti búast við. Þriðja, að viðnámsgildi bergflokka geta verið all mjög mismunandi.

Ekki hafa enn verið athugaðar nógu margar mælingar, til þess að fá megi nákvæmar niðurstöður. Þó skulu hér tilgreindar þær niðurstöður, sem markverðastar má telja:

- 1: Blautt, tertíert basalt, norðanlands og vestan:
40-250 m (einkum 3 eða 4 flokkar.)
Rakastuðull um 0.5.

2. Blautt, tertíert berg, vantanlega súrara, af af sömu stöðum: 250-500 m. Rakastubull um 0.65.
3. Basalt í eldri grágrýtismyndun um neðri hluta Árnessýslu, blautt: 60 m. Rakastubull um 0.5.
4. Svokallað yngra grágrýti, suðvestanlands: 300-1200 m, Rakastubull óviss.
5. Móberg úr eldri grágrýtismyndun, suðvestanlands: 100-200 m, Rakastubull óviss.
6. Þjórsárhraun í Árnessýslu, eftir rakastigi, 500-3000 m. Rakastubull óviss.

Ekki er treystandi tölum yfir önnur lög, utan þau er greinir í Grjótháls- og Sogalínuskýrslum.

Ástæða væri til, ef aðstæður leyfa, að setja upp dreifingarferla yfir hin ýmsu jarðfræðileg lög svo og viðnámsgildi í bergi innan hvers héraðs. Fara mátti eins með yfirborðslög.

Æskilegt væri einnig, ef aðstæður leyfa, að jarðfræðigreina lög þau, sem viðnámsgildi eru þegar til úr, eða munu fást; svo treystandi væri.

Sam fyrr segir, ráða magn og hreyfanleiki jónanna í jarðraka og vatni mestu um jarðviðnámið.

Vatn og raki koma fyrir í glufum og hárpípum, sem kristallvatn og vatn í glermassa berglaga. Átla má, að jarðvatn sé yfirleitt snauðara að jónum en bergraki og muni því ekki eins mikið um, hve miklu meira er vatnið hlutfallslega undir jarðvatnsborði en ofan. Jónamagnið, hlutfallslegt, fer bæði eftir magni leysanlegra jóna og salta í berginu, aldri bergsins og rakamagni. Nokkur fleiri atriði munu koma til greina. Fjöldi hárpípa fer einnig mikið eftir veðrunarstigi bergsins. Sé bergið gamalt og hafi jarðvatn átt greiða rás frá því, geta jónin skolað brott og viðnámið þess hækkað.

Eftirtalin atriði ber því að athuga:

1. Bergfræði jarðlagsröðs.
2. Veðrunarstig.
3. Glufur og holur í berginu.
4. Lega þess við jarðvatni.
5. Salt og jarðhitaverkanir.

Þessi atriði koma saman í þrennir:

1. Magni jarðraka, hlutfallslega.
2. Leiðni jarðrakans.

Minni þýðingu hefur; nema í sambandi við jarðhita:

3. Hitastig jarðraka.

Um viðnám í lausum jarðlögum

Tekið var saman viðnám í jarðvegs- og malarlögum eftir gerðum viðnámsmælingum, þar sem þau koma fram sem yfirborðslög, eða nærri yfirborði.

Er þar stuðzt við 74 mælingar og auk þess eldri samantektir frá Hestvatni (33 mælingar), Grjóthálsi (40 mælingar) og Sogslínu (50 mælingar).

Þær jarðvegstegundir, sem koma fyrir í minna en 4 mælingum voru ekki teknar sérstaklega til greina, enda má yfirleitt flokka þær undir aðrar þær tegundir, sem greindar eru.

Viðnám í jarðvegi er greint í skrá 1, en malar- og sandlög í skrá 2.

Um öryggi og hlaupsvið þessarar talna er allt nokkuð á huldu, en þó munu meðalfrávik og hlaupsvið ekki fjærri lagi.

Skrá 1

Jarðvegur	Fjöldi mælinga	Meðalgildi	Meðalfrávik
Mýri	9	150 μ m	50 μ m
Mói	15	500	150
Tún	22	220	100
Ræst mýri	11	120	60
Jarðv. og urð	5	900	150
Sandb. jarðv.	4	350	100
Valllendi	8	120	50

Skrá 2

Jarðvegur	Meðalgildi	Meðalfrávik
Sandur og möl, rakt	250 Ω m	100 - 400 Ω m
Ármöl	650	400 - 1000
Gróf möl og sandur	1500	1000 - 2500
Jökulurð	5000	2000 - 7000
Þurr, gróf möl	10000	5000 - 30000

Viðnám lækkar með auknum raka, sandi og mold, en hækkar með auknum "hnullungum" og leir.