

Jarðboranir ríkisins

BRENNISTEINSRANNSÓKNIR

I.

Febrúar 1952

Jarðboranir ríkisins

BRENNISTEINSRANNSÓKNIR

I.

Febrúar 1952

E f n i s y f i r l i t.

Formáli eftir Gunnar Böðvarsson	bls.	2
Brennisteinn á Íslandi, 1951,		
eftir Þorstein Thorsteinsson.....	"	4
Efnasamsetning brennisteinsmyndana		
eftir Baldur Líndal	"	9
Myndun brennisteins á hverasvæðum		
eftir Baldur Líndal	"	12
Boranir á Námafjalli	"	30
Rannsókn á gufu úr borholum á Námafjalli		
eftir Baldur Líndal	"	32
Summary in English	"	42

Landabréf og teikningar.

INNGANGUR

og

YFIRLIT YFIR NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA ÁRÍÐ 1951.

Þorkell Þorkelsson, dr. phil., hefur sem kunnugt framkvæmt viðtækar efnagreiningar á lauga- og hveragasi hér á landi, og skýrir hann frá niðurstöðum þeirra í hinum kunnu ritum sínum um jarðhita á Íslandi. Hann hafði þó ekki aðstæður til þess að mæla hið hlutfallslega magn lofttegundanna miðað við vatn eða gufu hveranna og lauganna.

Jarðborunardeild raforkumálastjórnarinnar taldi nauðsynlegt að fylla út þessa eyðu, og fól hún Baldri Líndal, efnaverkfræðingi, sumarið 1950 að gera mælingar á gasmagni hveragufunnar og endurtaka að nokkru efnagreiningar Þorkels Þorkelssonar. Fór hann í þessu skyni um helztu hverasvæði landsins, þ.e. Reykjanes, Krýsuvík, Hengil, Kerlingafjöll, Torfajökul, Námafjall og Þeistareyki, og gerði fjölda mælinga og efnagreininga. Frá niðurstöðum þessara athugana er greint í skýrslu jarðborunardeildarinnar: EFNAGREININGAR Á HVERUM OG LAUGUM, Rvk. 1951.

Ein athyglisverðasta niðurstaða efnagreininganna var hið mikla brennisteinsvetnis- og vatnsefnismagn hveranna á Námafjalli, en gufan frá sumum þeirra inniheldur allt að 0,3 % af brennisteini. Benti Baldur Líndal þegar á þann möguleika, að brennisteinsmagnið væri það mikið, að vinnsla hans úr gufunni væri möguleg.

Um líkt leyti bárust utan úr heimi fregnir um verulegan skort á brennisteini, og gerðu m.a. mörg brezk fyrirtæki fyrirspurnir um möguleikana til brennisteinsvinnslu hér á landi og töldu sig geta greitt mjög hátt verð fyrir þessa vöru.

Jarðborunardeildin taldi hér vera um mjög athyglisvert mál að ræða, og fór hún í byrjun ársins 1951 þess á leit við atvinnuáráðuneytið, að það hlutaðist til um það, að fjárveitingarvaldið veitti nokkra fjárupphæð til þess að kanna til hlítar möguleikana til brennisteinsvinnslu úr gufunni á Námafjalli. Reyndist þetta auðsótt, og var unnið að borunum og rannsóknum á staðnum sumarið 1951.

Reyndist þegar auðvelt að fullgera 2 gufuholur í Hverarönd á Námafjalli austanverðu, og gáfu þær tilætlaðan árangur. Hafin var

borun þriðju holunnar, en ekki tókst að ljúka henni, er vetur gekk í garð, og stöðva varð verkið.

Þessi góði árangur varð til þess, að jarðborunardeildin taldi rétt, að boruninum yrði haldið áfram sumarið 1952, og einkum taldi hún nauðsynlegt að hægt yrði að fá til landsins nægilega stórvirka borvél til þess að bora dýpri og víðari holur en hægt er með þeim vélum, sem fyrir hendi eru. Var leitað til Efnahagssamvinnustofnunarinnar um aðstoð við kaupin, og standa nokkrar vonir til, að stofnunin veiti fé til þess að festa kaup á vélinni í Bandaríkjunum og hún verði komin til landsins fyrir sumarbyrjun 1953.

Á komandi sumri verður boruninum haldið áfram eftir því, sem tók verða á, og verður reynt að fullgera ekki færri en 3 holur til viðbótar.

Hér verður ekki frekar greint frá einstökum atriðum undangenginna borana og rannsókna, og skal vísað til skýrslunnar, sem á eftir fer.

Mál þetta er enn ekki komið á þann rexpöl, að hægt sé að segja fyrir með vissu um það, hvort stórfelld brennisteinsvinnsla geti hafizt á næstunni á Námafjalli. En með hliðsjón af hinum fengnu niðurstöðum virðist undirrituðum þó á þessu stigi málsins ekki óvarlegt að gera ráð fyrir því, að hægt verði a.m.k. að starfrækja vinnslu um 2.000 til 3.000 smálesta á ári, þ.e. selja brennistein úr landi fyrir um 3 til 5 milljón kr., ef miðað er við núverandi verðlag. Segja má, að vinnsla 10.000 smálesta á ári sé fræðilegur möguleiki a.m.k. um nokkurt árabil. Boranirnar og rannsóknirnar á komandi sumri munu væntanlega skera að miklu leyti úr um þetta, og ef til vill mætti hefja byggingu verksmiðju á árinu 1954.

Gunnar Böðvarsson.

B R E N N I S T E I N N Á Í S L A N D I, 1 9 5 1.

Eftir Þorstein Thorsteinsson.

R a n n s ó k n.

Brennisteinn á Íslandi er jarðhitamyndun. Hann hefur myndast á hinum súru jarðhitasvæðum landsins fyrir áhrif súrefnis loftsins á brennisteinsvetni hveragufunnar. Þar sem skilyrði eru góð, hefur hann hlaðist upp í þúfur yfir hveraaugunum. Brennisteinsþúfur, sem myndast hafa á sléttlendi eru yfirleitt hringmyndaðar, 1-4 metrar í þvermál, þykkastar yfir hveraaugunum í miðjunni, allt að 60-70 cm, en þynnast út frá miðjunni. Þúfur, sem hlaðist hafa upp í halla eru svipaðar á þykkt, en hafa lagað sig eftir hallanum. Víða eru rendur þúfnanna allt að 1-2 m undir yfirborði yzt og er þá sá brennisteinn, sem hulinn er, harður og þéttur. Sumstaðar mynda brennisteinsþúfurnar samfelldar brennisteinsbreiður, sem þó eru misþykkar, því að þykktin er mest yfir hveraaugunum.

Vegna óreglulegrar lögunar brennisteinsmyndananna og fjölda þeirra, varð nákvæmum mælingum á þykkt og flatarmáli ekki komið við. Í þess stað var lengd og breidd hvernar myndunar skrefuð og meðalþykkt áætluð með hliðsjón af víðáttu og mestu þykkt myndunarinnar. Sýnishorn voru tekin til efnagreiningar og þær myndanir, sem voru 80 % brennisteinn og þar yfir, miðað við þurefni, taldar með í áætluninni, en óhreinni myndanir eru fáar og litlar.

Leitað var að huldum brennisteinsmyndunum á Námafjalli. Voru borðar 14 kjarnaborholur, 1,5-10 m djúpar. Brennisteinsmagnið, sem fannst við þær boranir var svo lítið, að ekki þótti ástæða til að leita hulins brennisteins með borunum á öðrum svæðum. Sýnishorn voru tekin af leir á yfirborði Námafjalls til efnagreiningar. Voru þau tekin með 20 metra millibili á línu þvert yfir fjallið frá Hverarönd til Bjarnarflags. Frjáls brennisteinn í þeim var ekki teljandi.

Gips er víða á hverasvæðunum, aðallega á hæðum þar sem elzta bergið

kemur fram. Ekki var reynt að áætla magn gipsins.

Lega brennisteinssvæðanna.

Brennisteinsmyndanir á Íslandi eru á jarðhitasvæðum á allt ^{að} 100 km breiðu beltí, sem liggur í boga yfir landið frá Reykjanesi í suðvestri til Melrakkaslétu í norðaustri. Nokkurar brennisteinsmyndanir eru á flestum jarðhitasvæðum á þessu beltí, en misjafnlega miklar á hverjum stað. Staðirnir, sem brennisteinsnám kemur til greina á, eru, taldir frá norðaustri til suðvesturs: Þeistareykir, Krafla, Námafjall, Fremri-Námar (Ketildyngja), Kverkfjöll, Kerlingarfjöll og Krýsuvík.

Jarðfræði.

Frá jarðfræðilegu sjónarmiði liggja staðir þessir innan móbergsmyndunarinnar, sem er yngsta jarðmyndun landsins og er mest megnis móberg. Móbergið er breytilegt að innri gerð, en er óefað að mestu leyti eldgasamyndun. Ofan á móberginu hvíla víða nútímahraun, flest úr blágrýti en einstaka úr líparíti.

Brennisteinssvæði.

Þeistareykir.

Brennisteinsmyndanirnar á Þeistareykjum liggja norðan og norðvestan í og norðan við Bæjarfjall og vestan í Ketilfjalli. Mest er af brennisteini í krikanum milli Bæjarfjalls og Ketilfjalls, en brennisteinsblettir eru hér og þar alla leið upp á Bæjarfjall og upp í miðjar hlíðar Ketilfjalls. Brennisteinsmagn á Þeistareykjum var áætlað um 200 smálestir af hreinum brennisteini. Brennisteinsmyndanirnar eru í um 30 km fjarlægð frá Húsavík. Góður sumurvegur er fyrstu 20 km frá Húsavík en síðustu 10 km að Þeistareykjum eru ruddar traðir.

Krafla.

Brennisteinsmyndanir eru vestan í Kröflu í 550-650 m hæð yfir sjó, í djúpum og þröngum gilskorningum. Vottur af brennisteini er austan í Leirhnjúk. Brennisteinsmagnið var áætlað 220 smálestir miðað við hreinan brennistein.

Kröflusvæðið er um 15 km frá Reykjahlíð en 100 km frá Húsavík. Af vegalengdinni frá Reykjahlíð að Kröflu eru 7 km góður vegur en 8 km vegleysa.

Námafjall.

Brennisteinsmyndanir eru undir Námafjalli að austan og vestan, í fjallshlíðunum og uppi á fjallinu. Brennisteinsmagnið var áætlað 2600 smálestir, miðað við hreinan brennistein, þar af 1000 smálestir, sem eru huldar allt að eins til tveggja metra þykku leirlagi við rendur brennisteinspúfnanna og nokkurar sjálfstæðar huldar myndanir.

Boraðar voru 14, 1,5-10 metra djúpar kjarnaborholur, þar sem líklegt þótti að huldar brennisteinsmyndanir væru undir. Aðeins í einni holunni fannst 80 cm þykkt lag af óhreinum brennisteini um 50 cm undir yfirborði.

Námafjall er um 5 km austur af Reykjahlíð en 90 km frá Húsavík. Góður vegur er alla leið frá Húsavík.

Fremri Námur og Kverkfjöll.

Fremri Námur eru norðanvert við Ketildyngju, um 100 km suður frá Húsavík, ef farið er suður fyrir Bláfjall, þar af 30 km vegleysa. Hverasvæðið við Kverkfjöll er um 180 km frá Húsavík og eru þar af rúmir 100 km vegleysa.

Staðir þessir voru taldir of einangraðir og fjarlægir útflutningshöfnum, til þess að koma til greina til brennisteinsnáms og voru þess vegna ekki skoðaðir. Hinsvegar er nokkur víska fyrir, samkvæmt eldri rannsóknum Þorvaldar Thoroddsen, F. Johnstrup og fl. að brennisteinsmagn

á þessum hverasvæðum er mun minna en við Námafjall, líklega svipað og á Þeistareykjum og við Kröflu.

Kerlingarfjöll.

Brennisteinsmagnið í Kerlingarfjöllum var áætlað 50 smálestir miðað við hreinan brennistein. Brennisteinninn er aðallega á þremur blettum í Efri Hveradölum. Hann er í þunnum lögum og er því erfiður til vinnslu. Hverasvæðið er um 205 km frá Reykjavík, þar af 5 km vegleysa, ófær bifreiðum.

Krísuvík.

Brennisteinsmagnið í Krísuvík var áætlað 120 smálestir af hreinum brennisteini. Brennisteinninn er í þunnum samfelldum lögum, mest í skarðinu fyrir ofan Hveradali en lítilsháttar við Seltún. Krísuvík er um 30 km frá Hafnarfirði.

Aðrir staðir.

Af öðrum hverasvæðum, sem brennisteinn hefur myndast á, má nefna Hverahlíðar og Reykjarfell í Hellisheiði, Laugahraun og Námshraun í Landmannaafrétti, Hrúthálsa í Herðubreiðarfjöllum, Torfajökul og Brennisteinsfjöll á Reykjanesi. Brennisteinsmyndanir á þessum stöðum eru litlar og hefur brennisteinn aðeins verið numinn á einum þeirra, Brennisteinsfjöllum, en með litlum árangri.

Yfirlit.

Samkvæmt áætlun þessari er brennisteinsmagnið á þeim fimm stöðum, sem skoðaðir voru, um 3200 smálestir miðað við hreinan brennistein.

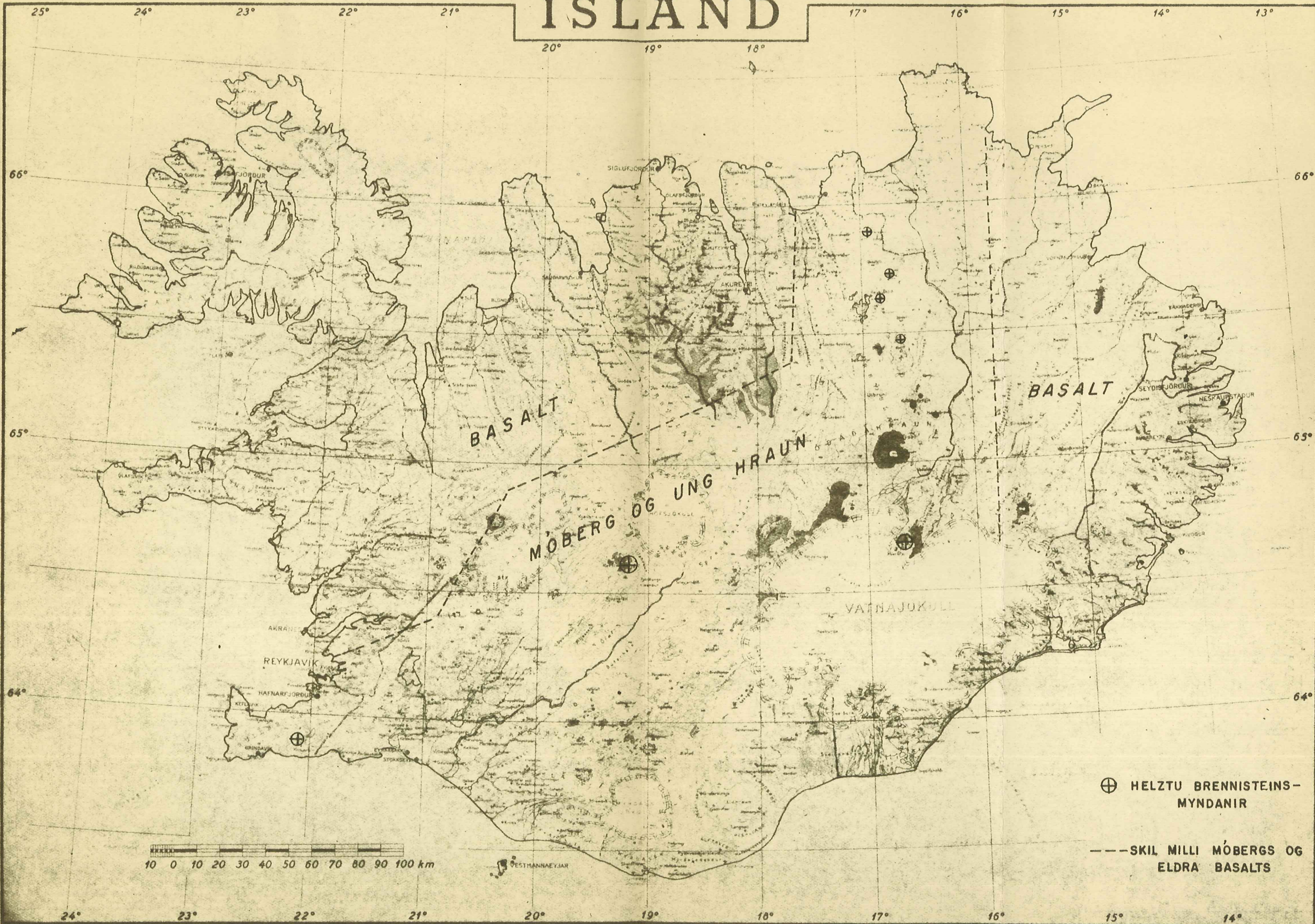
Skiptist það sem hér segir:

Þeistareykir	200 smál.
Krafla	220 "

Námafjall	2600 smál.
Kerlingarfjöll	50 "
Krísuvík	120 "

Brennisteinninn, sem áætlaður var, er 80 % og þar yfir, miðað við þurefni. Aðstæður til brennisteinsnáms eru góðar við Námafjall, þar sem bílfært er um mikinn hluta svæðisins, en mjög erfiðar samgöngur annarsstaðar.

ÍSLAND



⊕ HELZTU BRENNISTEINS-MYNDANIR

--- SKIL MILLI MÓBERGS OG ELDRÁ BASALTS

10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

Baldur LÍndal:

Efnasamsetning brennisteinsmyndananna.

Kjarni brennisteinsmyndananna er að jafnaði með hátt brennisteinsinnihald, en ytri hlutar þeirra óhreinni. Undantekningarlítið er einnig kísilríkt ljóst leirlag undir myndununum, sem inniheldur dálítið af óbundnum brennisteini (sjá meðfylgjandi skýringarmynd).

Yfirleitt má telja að aðalmyndanirnar innihaldi 95-99 % brennistein miðað við þurefni. Rakinn, sem er brennisteinssúr, er venjulega 1-13 %. Þéttasti brennisteinninn hefir minnstan raka, mjölið mestan. Önnur óhreinindi eru að mestu kísilríkur ljósgulur leir. Leirlaust sýnishorn hefir ekki verið efnagreint, jafnvel þótt sum sýnishorn hafi virzt vera það í fljótu bragði. Jafnan hefir komið í ljós svolítið af honum þegar sýnishornin voru leyst upp í CS₂.

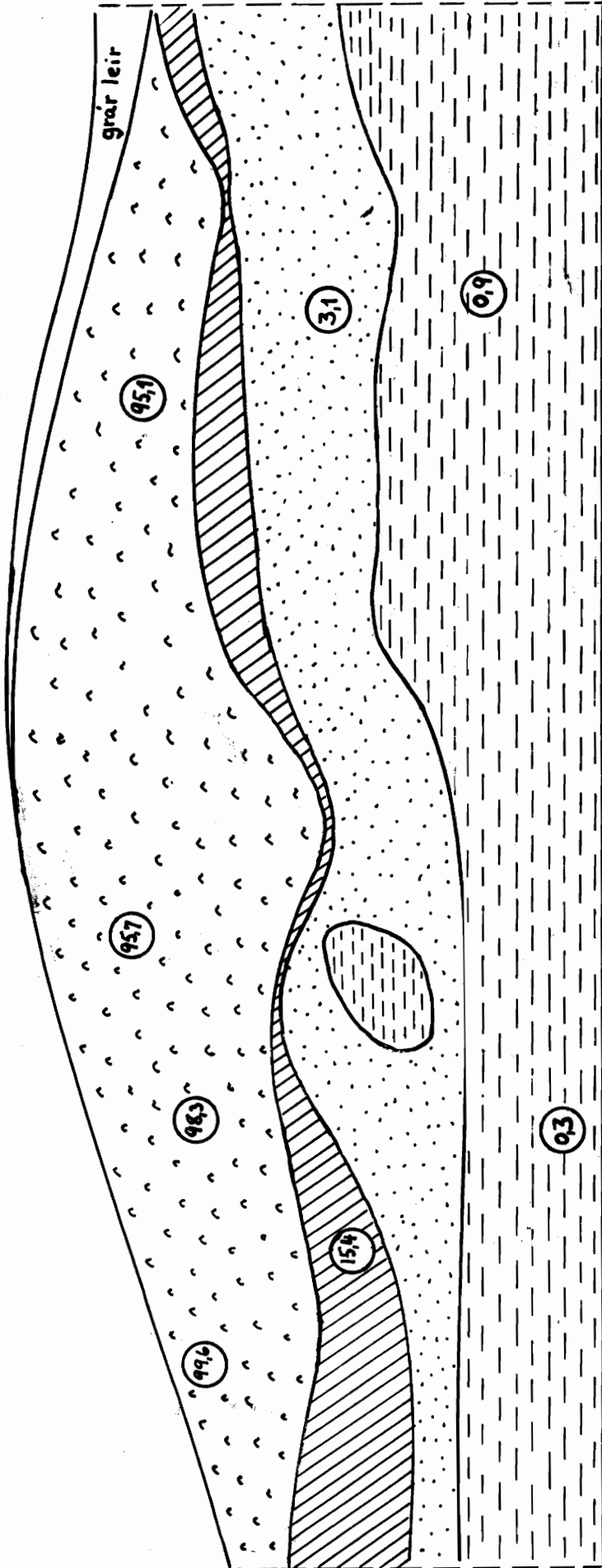
Arsen, selenium og tellúr innihald þessara myndana, sem rannsakaðar hafa verið nú, er án efa allstaðar lágt, því þessi brennisteinn allur er myndaður við tiltölulega lágt hitastig. Á Námafjalli reyndist meðal arseninnihald nú um 0,5 hluti í einni miljón. Selenium og tellúr fundust þar ekki við tekniskar efnagreiningar. Samkvæmt eldri rannsóknum (Barth) á sýnishornum frá Krísuvík fundust þar í brennisteini 10,9 ppm selenium og 378 ppm tellúr, sem hvorutveggja má telja mjög lágt.

Ef skifta ætti myndunum þessum niður eftir brennisteinsinnihaldi, yrði það nálægt því, sem hér fer á eftir:

Tegund myndunar	Brennisteinsinnihald þurefnis í %.	% af heildarmagni brennisteins.
Fylgileir brennisteinsmyndana	1 - 20	10
Leirhverir og óhrein lög	20 - 80	15
Aðalmyndanir, brennisteinsþúfur og djúpsett lög.	80 - 99	75

Nokkrar efnagreiningar á sýnishornum,
sem innihéldu brennistein.

Staður	Sýnishorn	% raki	Brennist. innih. þurefnis í %.	Ath.
Námafjall, Bjarnarflag	laust mjöl	12,6	96,8	
" " Hverarönd	blár leir	40,8	0	innihélt FeS ₂
" " Hverarönd	leðja úr pytt	-	93	" " FeS ₂
" " Suðurhlið	blál. leir	47,8	0,8	" " FeS ₂
" " Hverar.br.þúfa	br. mjöl	12,7	98,3	
" " " " "	sambr.	6,1	99,6	ekkert FeS ₂
" " " " "	br. mjöl	13,1	95,7	
" " " " "	gróf kryst.	15,3	95,1	innihélt FeS ₂
" " " " "	hvítl. leir	-	15,4	
" " " " "	hvítl. leir	-	3,1	vottur af FeS ₂
" " " " "	blál. leir	58,1	0,9	innihélt FeS ₂
" " Hverarönd	sambr.	0,4	97,2	
Peistareykir	br. mjöl	12,0	95,6	
Krísuvík, Seltún	br. mjöl	-	93,4	
" " " "	ljós leir	-	10,6	
" " " "	leðja úr pytt	-	34,8	
" " Hveradalir	leir m. br. krystöllum	-	37,7	





Brennisteinsbúfa við Hverarönd.


Tölurnar sýna brennisteinsinnihald
miðað við þurefni.


Mælikvarði: 1:10

Myndin er þversneið.

 aðalbrennisteinsmyndun

 hvítleitur leir með brennisteins-
kristöllum

 hvítur leir með dökkum dílum

 bláleitur vatnssósa leir

Myndun brennisteins á hverasvæðum.

Eftir Baldur Línadal.

Brennisteinsmyndunin. Á öllum hverasvæðum á Íslandi er meira eða minna um brennistein. Sumstaðar er magnið að vísu mjög lítið en annarstaðar skiptir það þúsundum smálesta. Þessi brennisteinsmyndun er háð vissum lögmálum, sem hér mun verða vikið að.

Brennisteinninn myndar oft óreglulegar, ávalar þúfur á þeim stöðum, þar sem gufan kemur til yfirborðsins. Þessar þúfur mynda svo stundum nær samfellda all víðáttumikla klasa af brennisteinshaugum. Samfelld lög af brennisteini eru einnig algeng einkanlega neðan yfirborðs. Slík lög hafa fundizt á 1-2 m dýpi enda þótt algengast sé að þau liggi mun grynna.

Þykkt brennisteinsins er jafnan lítil. Algengast er að hann sé 10-50 cm á þykkt. Hér er miðað við sjálft brennisteinsslagið, sem er oftast nokkuð hreint, þó það innihaldi alltaf vott af leir. Neðan við aðallagið er oftast leirlag, sem inniheldur að jafnaði 3-20 % óbundinn brennistein.

Leirinn kringum brennisteinsmyndunirnar er jafnan mikið umbreyttur frá upphaflegri samsetningu bergsins. Brennisteinssýra, sem samfara er þessum myndunum, leysir upp járn, kalk og aluminiumsambönd að einhverju eða öllu leyti. Víða má sjá gulleitt kísilmjöl eitt eftir kringum þessa staði og hafa þar auðsjáanlega önnur efni bergsins þvegizt burtu.

Efnafræðilegir eiginleikar myndunarinnar. Eins og kunnugt er stafar brennisteinninn frá brennisteinsvatnsefni í jarðgufunni. Ekki hefir samt verið hægt að finna viðunanlega skýringu á þessu fyrirbæri í ritum um þetta efni og er því gerð tilraun til að skýra það hér, einkanlega þar sem brennisteinsmyndunin hefir áður haft mikla hagræna þýðingu fyrir Íslendinga.

Við vitum að hér er um oxidation á brennisteinsvetni að ræða og einnig að ef brennisteinsvetnið er þurt er það ónæmt fyrir andrúmslofti

ef hitastigið er innan við 100 °C. Sé loftið rakt oxiderast brennisteinsvetnið greiðlega, einkum við hitastig, sem er nálægt suðumarki vatns. Þetta bendir til þess að brennisteinsvetnið þurfi að vera absorberað í vökva til þess að það gangi í samband við súrefni við þetta tiltöluléga lága hitastig. Sama er að segja um brennisteinsdioxid. Það oxiderast ekki við þetta hitastig nema vökvi sé fyrir hendi, sem það getur absorberast í. Gufan þarf því að þéttast að einhverju eða öllu leyti til þess að efnabreytingin geti farið fram, enda er þessi ályktun í samræmi við það, sem athugasir hafa sýnt að skeður raunverulega við brennisteinsmyndunina. Efnabreytingin er því þessi til að byrja með:



og síðan



og öll efnabreytingin er því



Nú er alkunna að þegar vatn, sem inniheldur brennisteinsvetni er látið standa í lofti, þá fellur út brennisteinn og vottur af brennisteinssýru myndast á sama tíma. Þessi brennisteinssýrumyndun er hliðar-efnabreyting, sem eflaust á sér stað að einhverju leyti einnig í ofangreindu tilfelli:



Nú er sjáanlegt að efnabreyting (2) þarf ekkert súrefni gagnstætt (4), sem eyðir því. Hvor þessara efnabreytinga fer fram mun því sérlega háð súrefnisinnihaldinu. Ennfremur má benda á að frjáls orka (free energy) efnabreytingar (1) er mun lægri ($\Delta F = -120 \text{ kg}^0/\text{mole H}_2\text{S}$) en efnabreytingar (4) ($\Delta F = -22 \text{ kg}^0/\text{mole SO}_2$), svo að líkur eru til að efnabreyting (1) hrifsi nærri allt súrefni til sín ef það er af skornum skammti. Ef nægilegt magn er fyrir hendi af súrefni eru hinsvegar eins miklar líkur fyrir að efnabreyting (4) gangi eins og efnabreyting (2), því sú síðar-nefnda hefir líka frjálsa orku ($\Delta F = -26 \text{ kg}^0/\text{mole SO}_2$).

En við tiltölulega hátt hitastig absorberar vatn mun minna súrefni en kalt og hlýtur því þessarar hliðar-efnabreytingar að geta gætt lítið við góð skilyrði til myndunar á brennisteini. Hinsvegar getum við vænst þess að efnabreyting (4) gangi greiðlega og jafnvel sé sú eina ef súrefni er mikið fyrir hendi eins og t.d. í köldustu hlutum myndunarinnar og vitanlega ef gufan fer upp úr jörðinni án þess að þéttast áður.

Brennisteinn sá sem myndast upphaflega mun vera hinn svokallaði γ -brennisteinn, sem er amorft afbrigði. Þessi γ -brennisteinn breytist tiltölulega ört í α -brennistein, sem er hin kristallaða heiðgula tegund er finnst aðallega í náttúrunni.

Skilyrði til brennisteinsmyndunar.

Mestu brennisteinsmyndanir Íslands eru á Námafjalls-hverasvæðinu í S.-Þingeyjarsýslu. Það er því gott að taka þetta svæði til hliðsjónar er rætt er um skilyrði til brennisteinsmyndunar.

Samkvæmt athugunum Gunnars Böðvarssonar er gufu-uppstreymið þarna lauslega áætlað 150 smál./klst. Beint gufuuppstreymi gegnum gufuaugu og hverri er talið 50 smál./klst., gufa sem þéttist í efsta yfirborði 60 smál./klst. og gufa sem þéttist neðan efsta yfirborðs 40 smál./klst. Af efnagreiningum mínum á gufu úr borholum og stórum gufuaugum (sjá töflu I) má ráða, að brennisteinsvetnisinnihald gufu, sem ekki hefir þéttst á leiðinni til yfirborðs, sé ca. 1,3 lítrar pr. kg af gufu. Brennisteinsmagn allrar gufunnar er því um 2400 smál. á ári.

Ef miðað væri við það, að brennisteinn gæti myndast úr gufu, sem þéttist neðan yfirborðs ætti brennisteinsframleiðsla gufunnar að vera 1600 smál. á ári. Hér höfum við fyrstu og algengustu ástæðuna til þess að brennisteinsmyndun fer ekki fram: Gufan streymir upp án þess að þéttast. Um 33 % af brennisteini í gufunni á Námafjalli tapast á þennan hátt.

En nú er einnig ærin ástæða til þess að brennisteinn myndast ekki heldur úr allri þeirri gufu, sem þéttist neðan yfirborðs. Yfirborðsskilyrðin segja mest þar til um sjálf. Jarðmyndunin þar sem gufan þéttist verður að vera það gljúp að hún sé ekki vatnssósa, þ.e.a.s. hún þarf að hafa lofthol til þess að súrefnið geti komist að vatninu nægilega ört. Aðeins ein undantekning virðist vera frá þessari reglu, en það er þar sem leirinn er á hreyfingu og getur þannig fengið nægilegt súrefni jafnvel þótt hann sé vatnssósa. Þetta á sér stað í leirhverum. Hin svarta eðja í þeim er sumstaðar hreinn brennisteinn. Liturinn stafar frá járn-sulfid sem sýnir, að þrátt fyrir hina öru blöndun sem á sér stað, er þessi grautur hamast í pyttunum, er samt súrefnisskortur fyrir hendi.

Það er vissulega ekki um neinar skýrar línur að ræða milli svæða, sem geta myndað brennistein og hinna, sem hafa ekki skilyrði vegna þess að jarðmyndunin í yfirborðinu er vatnssósa. Raunverulega er hver þyrping brennisteinsþúfna samsett af hvorutveggja. Um hlutfallið milli þeirra má þó fá nokkura hugmynd af rannsóknum, sem gerðar hafa verið.

Samkvæmt mælingum, sem gerðar voru á gufu, er olli sjálf brennisteinsmyndun á Námafjalli reyndist hún yfirleitt innihalda 2,3 lítra af brennisteinsvetni pr. kg. af gufu. Þetta er allmiklu herra en hin upprennanlega gufa inniheldur og stafar það frá þéttun, sem átt hefur sér stað alllangt neðan yfirborðs. (Sjá Töflu I.) Flatarmál brennisteinsmyndananna á yfirborðinu er um 20,000 m² og þar að auki má ætla að neðanjarðarmyndanir séu um 10,000 m². Magn gufunnar sem þéttist við myndunina er eitthvað misjafnt, en samkvæmt mælingum á varmatapi má reikna með að 1,2 kg af gufu pr m² sé nálægt lagi. Gufan sem þéttist í þessum myndunum er því um 36 smál./klst. og brennisteinsinnihald hennar þarna 118 kg af brennist. pr. klst. eða um 1000 smál. á ári.

Þar sem við höfum áður gert ráð fyrir að brennisteinsmagnið í þessum gufum væri alls 1600 smál. á ári, ætti hér að vera um að ræða 600 smál. á ári, sem að mestu færu forgörðum vegna vatnssósa jarðmyndana

þar sem gufan þéttist. Oxidationin fer hér fram nær öll alveg á yfirborðinu, þar sem súrefni er svo mikið að öll efnabreytingin verður samkvæmt líkingu (4).

T a f l a I.

Efnagreiningar á gufu á Námafjalli.

<u>Brennisteinsþúfur:</u>	l gas/ kg gufu	% rúmmál				
		CO ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄	Rest
Nr. 3N	13,8	37,2	17,2	42,7	0,8	2,1
" 4N	13,4	34,2	17,2	46,2	0,6	1,8
" 5N	13,3	47,7	19,8	30,2	0,4	1,9
" 6N	14,3	63,0	18,3	14,9	0,3	3,0
" 8N	14,3	63,2	21,0	9,3	0,2	6,3
" 9N	8,5	63,9	18,5	14,8	0,4	2,5
<u>Hverir og borholur:</u>						
Hver 1N	8,3	31,0	16,4	49,7	0,8	2,1
" 2N	7,1	35,3	18,3	44,2	0,9	1,3
Borhola 1	7,5	50,7	17,5	30,0	0,1	1,7
" " 2	6,1	53,0	18,5	26,0	0,1	2,4

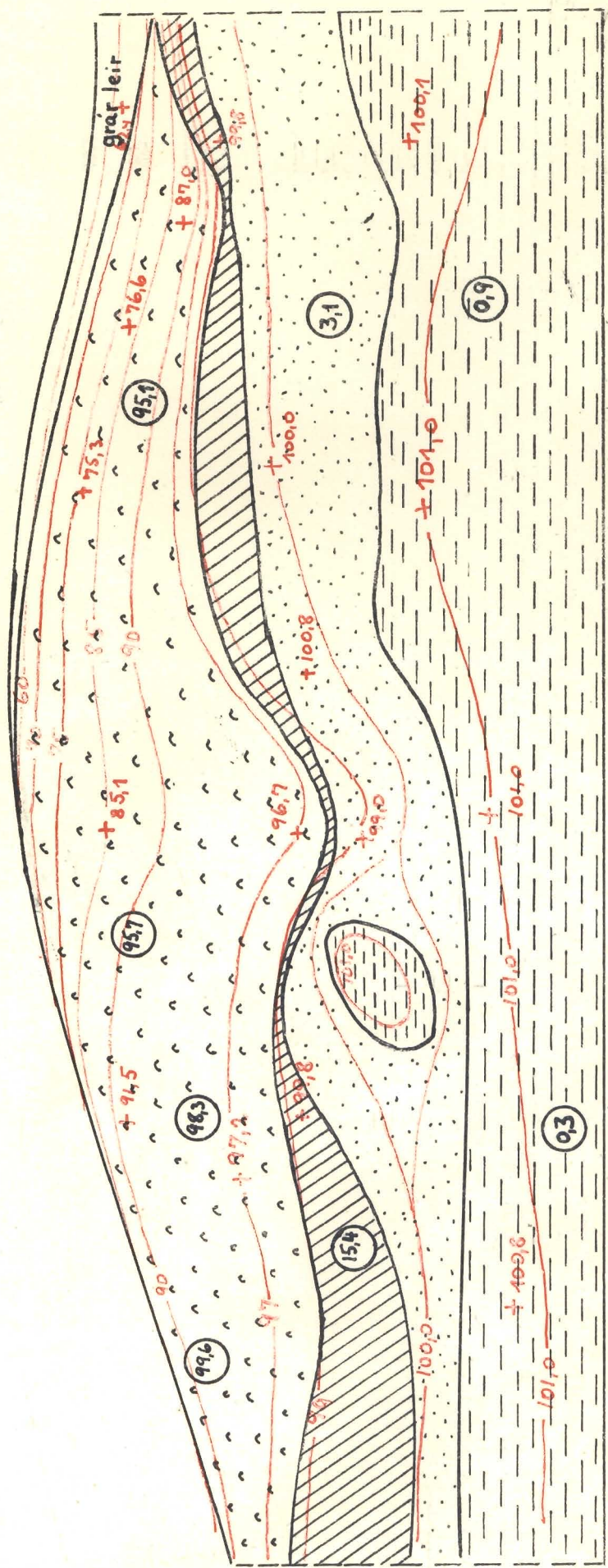
Nú eigum við eftir að athuga þá staði þar sem einhver brennisteinsmyndun getur átt sér stað, þ.e.a.s þar sem súrefnismagnið er innan þeirra takmarka sem efnabreyting (2) getur farið fram á. Samkvæmt mælingum á hita í brennisteinsmyndunum fer myndunin fram aðallega milli 70 og 97 °C en mjög lítið ofan og neðan þeirra takmarka (sjá mynd 1 ásamt skýringum). Ennfremur kemur í ljós að myndunin er örúst milli 90 og 97 °C einmitt á því hitastigi þar sem mestur hluti gufunnar þéttist. Við höfum þegar minnst á, að súrefnisinnihald vatnsins hljóti að vera lítið við svona háan hita, en við þau skilyrði sem hafa verið tekin til athugunar áður, hefir eigin þrýstingur (partial pressure) súrefnisins verið sá sami og í lofti. Þegar gufan þéttist koma samt einnig fram aðrar

lofttegundir svo sem CO_2 , H_2 og óþétt gufa, sem lækka eigin þrýsting súrefnisins að miklum mun enda þótt andrúmsloft hafi tiltölulega greiðan aðgang að því sviði, sem gufan þéttist á. Mynd 2 sýnir hlutfall gastegunda við mismunandi hitastig í brennisteinsmyndunum. Mynd 3 sýnir hvert súrefnisinnihald vatnsins getur orðið við mismunandi hitastig. Við þurfum að taka til greina að efnabreytingar við háan hita eru tiltölulega hraðari og því lítil líkindi til þess að jafnvægi myndist milli súrefnisinnihalds vatnsins og umliggjandi súrefnis, þannig að það sé jafnan undirmettað af fysiskum ástæðum. Súrefnismagn í vatni því, sem brennisteinninn myndast í, hlýtur því að vera miklum mun minna en ef andrúmsloft hefði beinan aðgang að því og jafnframt auðsær reginmunur á þeim aðstæðum, sem efnabreytingar (3) og (4) fara fram við.

Nú getur súrefnið vitanlega einnig orðið of lítið. Það er auðséð að þegar hitinn nálgast 100°C fer eigin þrýstingur súrefnisins að verða svo sem enginn vegna þess að gufan hefir ekki ennþá þéttzt nema að litlu leyti, en þetta gefur þó ekki neina möguleika fyrir neinum hliðarefnabreytingum.

Við höfum nú sýnt fram á hversvegna brennisteinninn myndast að mestu leyti innan tiltölulega þröngra hitatakmarka og skulum þá næst athuga á hvaða hátt slík skilyrði myndast.

Þar sem gufan þarf að þéttast áður en hún fer úr jarðlaginu og að við það þarf hún að losna við mikinn varma, er nauðsynlegt að hún komi dreift upp til þess að hitaflöturinn verði sem stærstur, því gufuuppstreymið til myndunarinnar verður að vera í jafnvægi við hitatap yfirborðsins. Til þess að svo geti verið þarf jarðvegurinn að vera gljúpur enda áður tekið fram að það væri eitt frumskilyrðið til brennisteinsmyndunar einnig af öðrum ástæðum. Magn gufuuppstreymis á hverja flatareiningu getur þó verið mismunandi vegna þess að varmatap yfirborðsins er því meira sem gufan þéttist nær því. Ef gufuuppstreymið er



Mynd 1. Hitamælingar í brennisteinsþúfu. Jafnhitalínur eru gerðar samkvæmt hitamælingum sem merktar eru með + á myndinni, (rauðar línur og tölur).

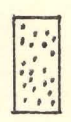
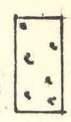
Brennisteinsþúfa við Hverarönd.

Tölurnar sýna brennisteinsinnihald

míðað við þurefni.

Mælikvarði: 1:10

Myndin er þversneið.



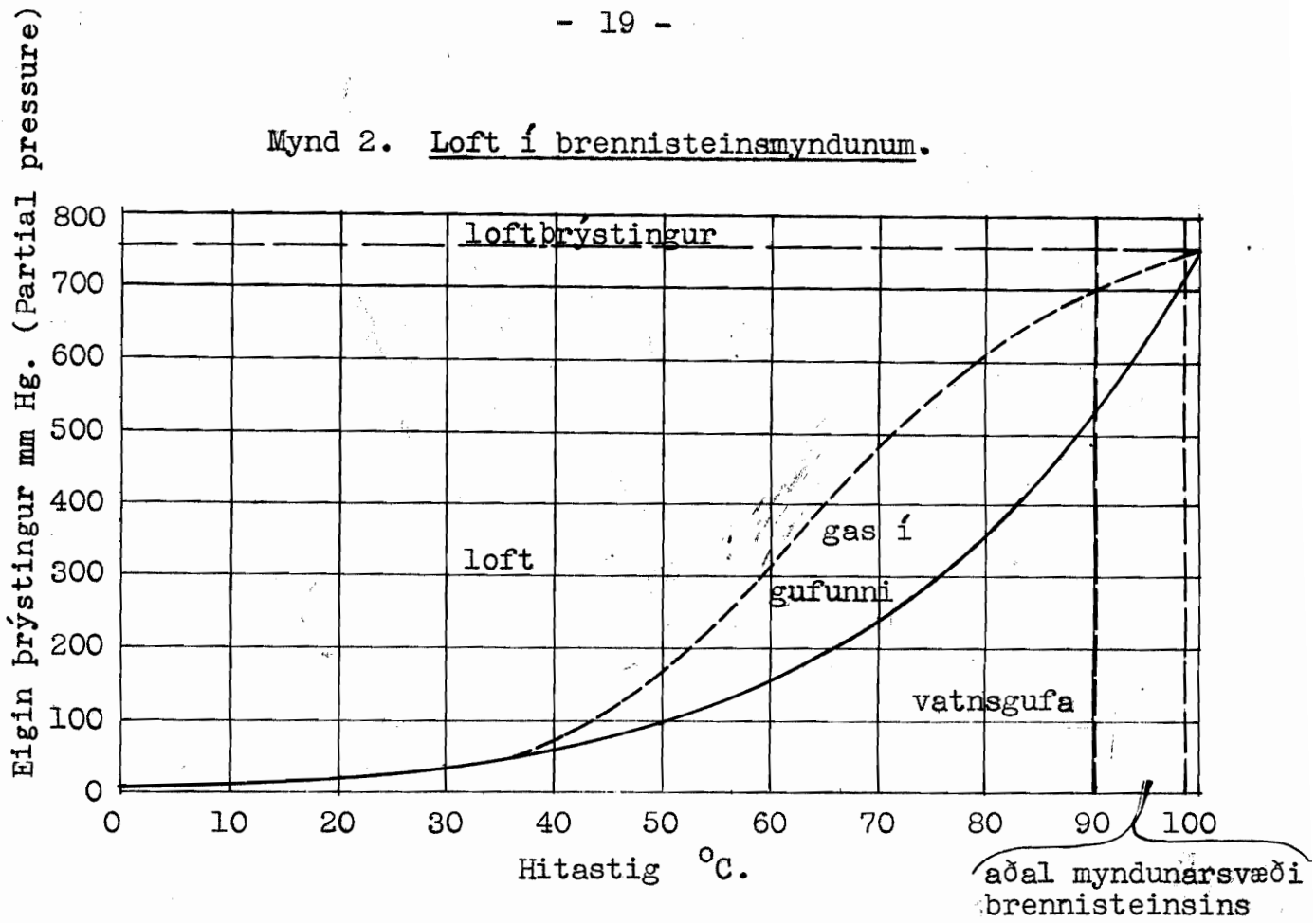
aðalbrennisteinsmyndun

hvítleitur leir með brennisteins-
kristöllum

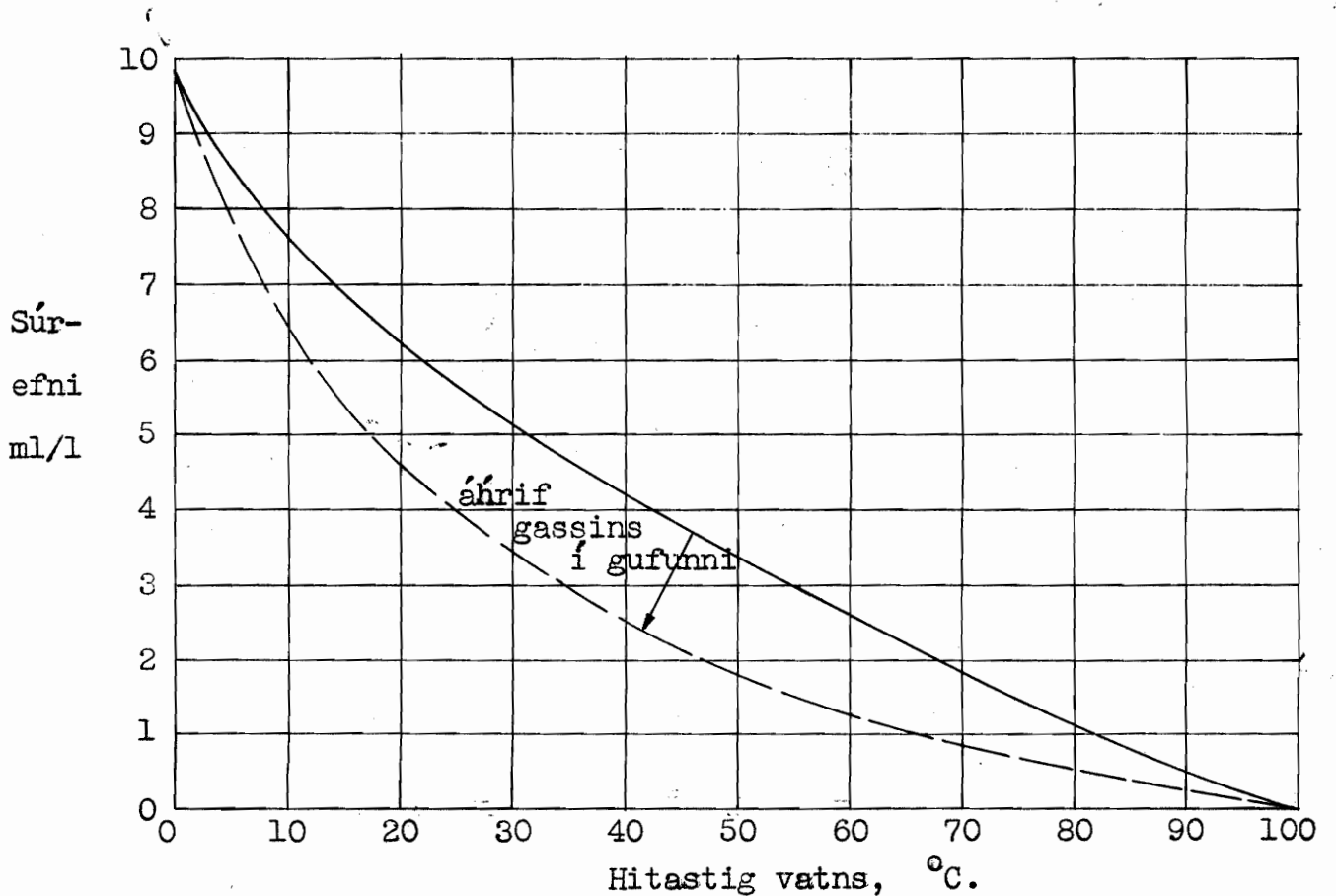
hvítur leir með dökkum dílum

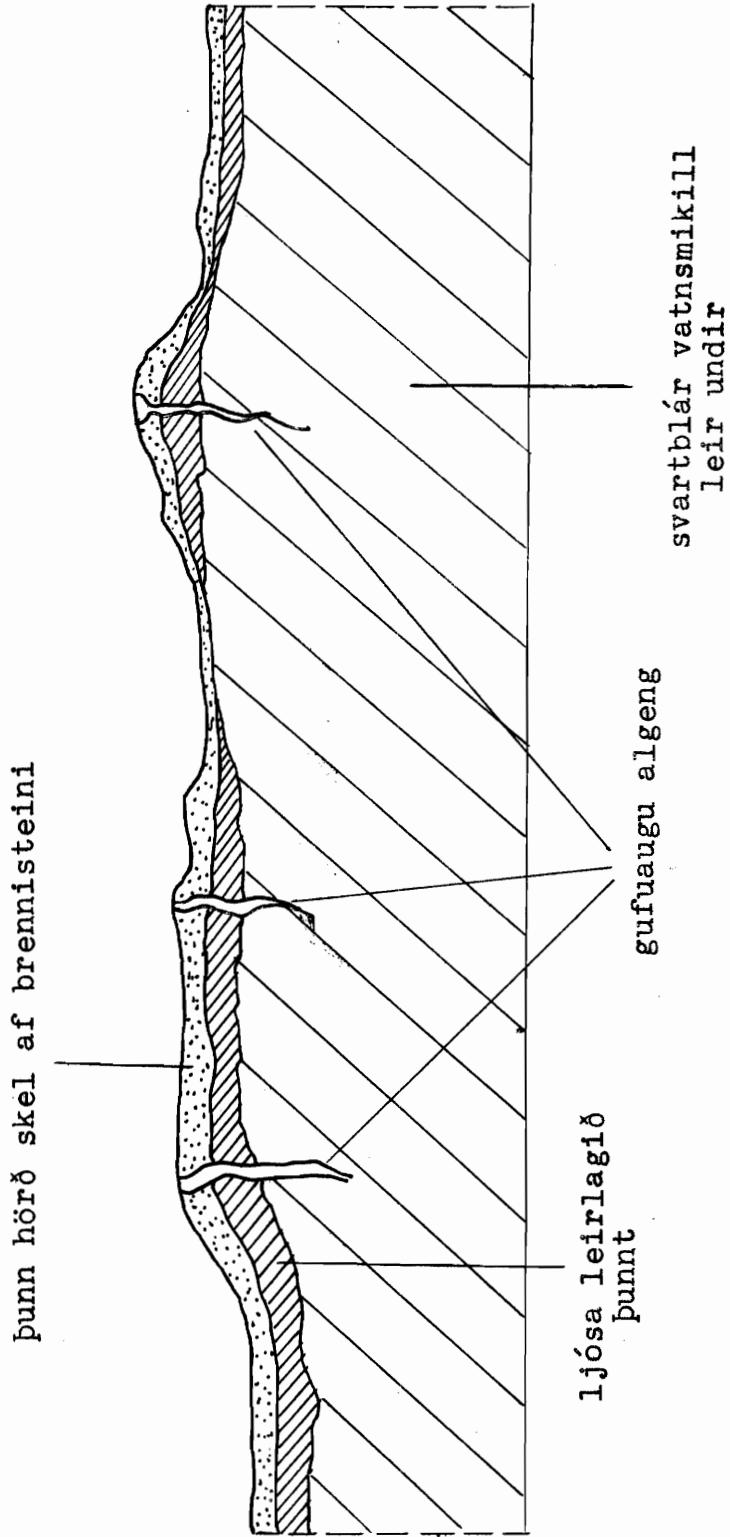
bláleitur vatnssósa leir

Mynd 2. Loft í brennisteinsmyndunum.

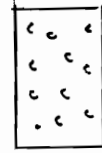
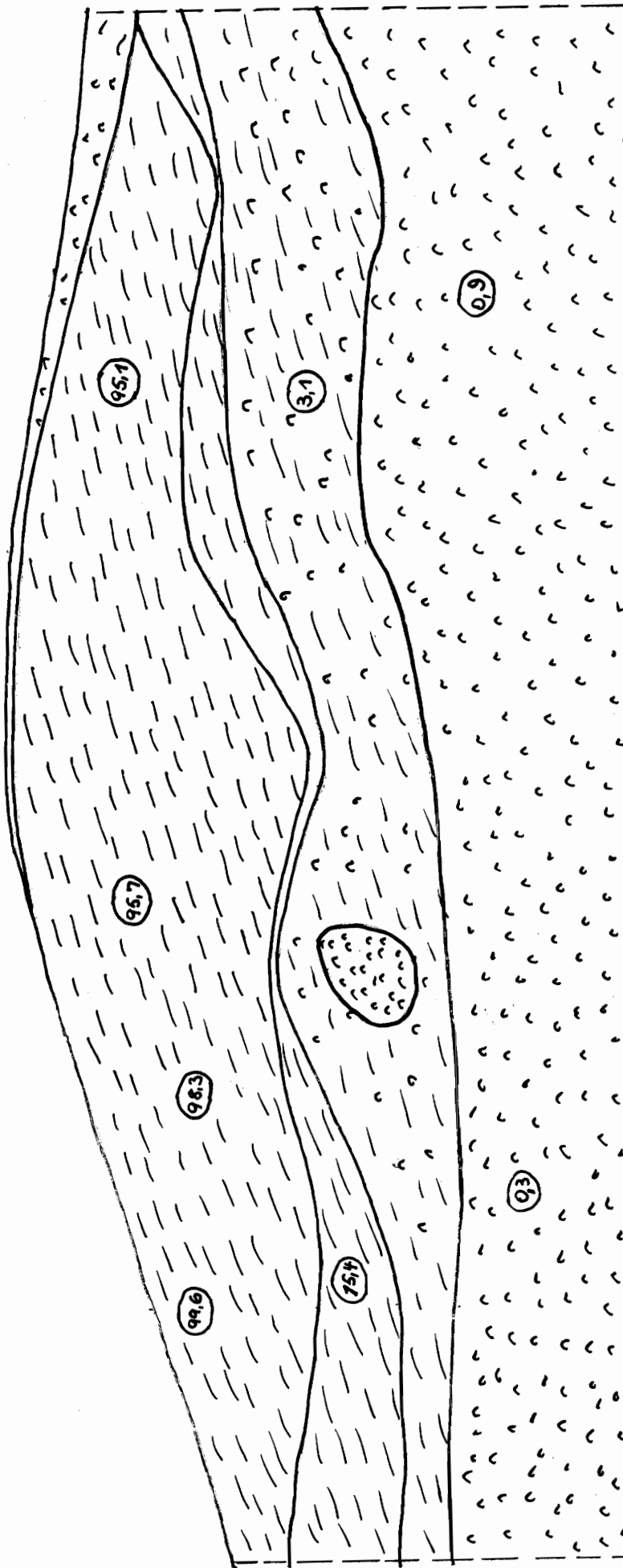


Mynd 3. Vatn mettað súrefni úr loftinu við 1 ata þrýst.





Mynd 4. Brennisteinsmyndun við háan hita.



reducerandi



oxiderandi

Mynd 5. Þar sem reducerandi skilyrði eru, myndast FeS_2 . Myndin sýnir hvar hann er að finna í brennisteinsþúfunni.

ört er myndunarlagið þunnur sambreyskingur, sem er í yfirborðinu sjálfu. Mynd 3 sýnir slíkt ástand. Eftir því sem gufuuppstreymið er hægara verður aðalmyndunarsviðið fjær yfirborði og jafnframt oftast nær þykkara vegna þess að hitagradientinn lækkar. Þar sem frárennslisskilyrði eru góð er ekki óalgengt að finna brennisteinslög á 1-2 m dýpi og eru þau iðulega sérlega þykk. Gufuáðstreymið til þessara djúpsettu laga hlýtur að vera dræmt. Að því hefur áður verið vikið að algengasta form brennisteinsmyndunar væru hinar svonefndu brennisteinsþúfur og er það raunverulega millistig þessara tveggja andstæðna. Hitaútstreymið frá þeim samsvarar þéttingu á 1-1,5 kg af gufu pr. m² pr. klst. samkvæmt mælingum Gunnars Böðvarssonar. Mynd 4 sýnir slíka þúfu og hvernig lögunin eykur hitaflötinn.

Það er ljóst af því sem hér hefur verið rætt um að líkurnar til þess að allt brennisteinsvatnsefni þeirrar gufu, sem þéttist breyttist í brennistein, séu sáralitlar. Í fyrsta lagi hlýtur eitthvað af brennisteinsvetni að renna burtu með þéttivatninu vegna þess að ónógt súrefni er fyrir hendi. Á mynd 5 eru sýnd reduktionssvæði, þ.e.a.s. svæði sem hafa ónógt súrefni. Náttúran er ekki svo nákvæm að hún skapi ideal skilyrði hvað loftaðgang snertir allstaðar í þúfunum. Í öðru lagi er gefið að súrefni er annarstaðar of mikið, og þá einkanlega í köldustu hlutum myndunarinnar. Brennisteinsvetni hlýtur að berast þangað vegna þess að vart hefir það allt absorberast í vatnið nákvæmlega á hinum ideala stað. Það er þó ekki hægt að vita nákvæmlega samkvæmt þeim rannsóknnum, sem fyrir liggja, hve mikill hluti raunverulega verður að brennisteini. Ef 1000 smál. af brennisteini berast til myndananna á Námafjalli á ári, þá er þó ekki ósennilegt að allt að 500 smálestum staðnæmist þar. Það er 1/5 hluti brennisteinsinnihalds allrar gufunnar þar.

Eyðing brennisteinsins.

Brennisteinn hefir verið að myndast á flestum þeim stöðum, sem hann finnst nú á í þúsundir ára. Hvergi er samt hægt að finna neinar verulegar námur nú. Við höfum þegar komist að þeirri niðurstöðu að myndunarhraðinn t.d. í Námafjalli geti verið allt að 500 smál. árlega. Síðan á landnámsöld ættu að hafa myndast þar allt að 500,000 lestir, en enda þótt eitthvert brennisteinsnán hafi að líkindum farið fram allan þann tíma, reikna má í hæsta lagi 50 smál. á ári til jafnaðar, þá eru það aðeins 50,000 smál., sem gætu hafa verið numdar burtu. Ennfremur má benda á það, að brennisteinn hefir ekki verið numinn í Námafjalli svo teljandi sé síðastliðin 100 ár. Brennisteinsmagn það, sem er þar nú, er um 3000 smál., en ætti að vera allt að 50,000 smál. ef ekkert hefði eyðst, jafnvel þótt reiknað væri með að svæðið hefði verið nær uppurið um 1850. Hér er því um að ræða einhver eyðingaráhrif, sem halda brennisteinsmagninu innan vissra takmarka, þ.e.a.s. jafnvægi kemst á milli myndunar og eyðingar og hættir þá brennisteinsmagnið að aukast.

Eyðing brennisteinsins getur orðið við veðrun, oxidation og af fysiskum áhrifum brennisteinsmyndunarinnar sjálftrar, sem við gætum kallað sjálfeyðingu.

Veðrun er ekki óalgengur þáttur í eyðingu. Brennisteinninn getur fokið, honum getur skolað burtu með rigningarvatni og í leysingum. Mest ber á þessu þar sem hátt ber á og til fjalla, sem eðlilegt er. Þó getur engin veðrun átt sér stað nema brennisteinsmyndunin sé á yfirborðinu og veðrun getur því á engan hátt verið aðalástæða til þess að brennisteinsmyndanir geti hvergi orðið miklar.

Oxidation mun hinsvegar vera einn aðalþátturinn í eyðingunni. Brennisteinn hefir tiltölulega háan eimprýsting (vapor pressure) jafnvel við venjulegan lofthita (sjá töflu II). Þessi náttúrulegi brennisteinn er yfirleitt mjög fínkornóttur og hefir mikið loftrúm svo að

T a f l a I I.

Eimprýstingur brennisteins.

(Int. Crit. Tabl.)

Hitastig °C	Eimprýstingur, mm Hg.	
490	1440	
444,6	760	
400	376	
300	60	
250	12	
200	2,1	
150	0,22	
100	0,010	} Ingenjörs Handboken, Stockholm 1948
80	0,0023	
60	0,0004	

súrefni hefir greiðan aðgang til þess að oxidera eiminn. Hér verður nú tekið dæmi, sem skýrir vel þetta atriði jafnvel þótt það sé ekki í samræmi við venjuleg skilyrði myndananna sjálfra.

Þegar brennisteinsverksmiðjan var byggð við Námafjall 1939, var safnað saman allmiklum byrgðum af óhreinsuðum brennisteini. Vegna þess að ekki var unnið úr nema litlum hluta hans hefir þessi forði staðið óhreyfður í um það bil 12 ár. Að vísu mun hafa kviknað í honum að utan tvisvar sinnum, en þess hefir ekki gætt nema á yfirborðinu að því að bezt verður séð. Eftir því sem næst verður komist, var hlutfallið milli leirs og óbundins brennisteins upphaflega 22 á móti 78. Samkvæmt sýnishorni sem tekið var í miðjum haugnum nú er hlutfallið 43 á móti 57. Þetta sýnir að 36 % af upphaflega brennisteininum eru eftir þegar hann hefur staðið í 12 ár. Ef við nú gerum ráð fyrir að aðstæður hafi verið eins allan þennan tíma hvað oxidation snertir og að oxidationin hafi verið jöfn, þá getum við áætlað hve mikill hluti hefir verið eftir á hverjum tíma. Köllum upphaflega brennisteininum S_0 ,

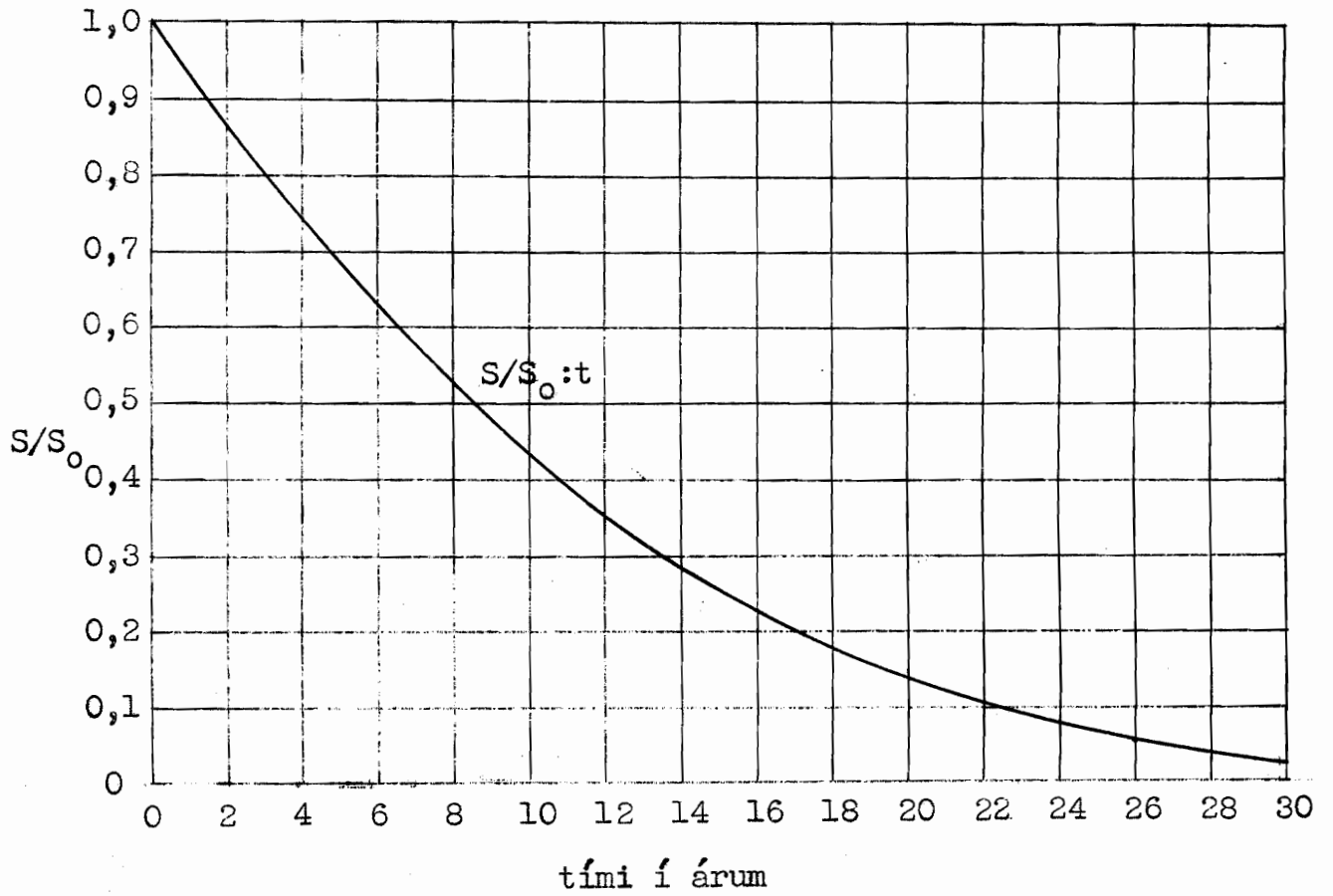
Oxidationshraðinn er $+\frac{dS}{dt}$. En þar sem þetta er nálægt því að vera í hlutfalli við $S^{2/3}$, höfum við að

$$\frac{dS}{dt} = -KS^{2/3}$$

Integration milli takmarkanna $S = S_0$ og $t = 0$ annarsvegar og $S = 0,36 S_0$ og $t = 12$ hinsvegar gefur $K = 0,072 S_0^{1/3}$. Er nú hægt að finna S/S_0 á hvaða tíma sem er. Mynd 6 sýnir gildin á S/S_0 á móti tímanum í árum frá því brennisteinninn var tekinn og hvernig líklegt er að hann breytist.

Í raunverulegum brennisteinsmyndunum er hitinn mun hærri, en súrefnið kemst þó ekki að nema í útjöðrum þeirra í nægilegri koncentration meðan þær eru virkar. En við verðum að muna að oxidation á brennisteini fer ekki fram á fasta efninu, heldur á einnum sem hann veldur. Sublimation getur átt sér stað hvar sem er í mynduninni. Lofttegundir, sem leika um hana, mettast af brennisteini, sem síðan að einhverju leyti berst út með þeim þangað sem yfirgnæfandi súrefni er fyrir hendi. Raunverulega er hitastið þessara lofttegunda þegar þær koma úr mynduninni og magn þeirra, sem um hana leika, ákvarðandi fyrir oxidationshraðann. Það er þó greinilegur mekaniskur mismunur á þessum tveimur tilfellum, sem mun vega upp á móti því að eimprýstingur brennisteins er hærri í brennisteinsmyndunum en í fyrrnefndum haug. Í honum er súrefnið í beinni snertingu við brennisteininn og sublimationshraðinn getur því orðið mun hærri að öðru jöfnu. Til þess að skýra þetta betur skulum við kalla eigin eimprýsting brennisteinsins P og eimprýstinginn í loftinu umhverfis p . Sublimationshraðinn er hlutfallslegur á hverjum tíma við $P - p$. Nú vitum við að P er háð hitastiginu en p því hve ört brennisteinseimurinn hverfur í nágrenni hins fasta forms. Við hinn lága hita í haugnum er visst magn fyrir hendi af súrefni í því lofti, sem hreyfist fram hjá, og getur það strax lækkað p niður í svo að segja 0. Við háa hitann í þúfunni inniheldur gas það, sem fram hjá kornunum

Mynd 6. Eyðing brennisteinsmjöls við
oxideringu í lofti.



fer, sáralítið eða ekki neitt súrefni og p er þó háð því eins hve mikið berst burtu með gasinu. Er því auðséð að P - p getur haft líkt gildi í báðum tilfellum enda þótt það sé að sjálfsögðu mjög breytilegt eftir aðstæðum. Við munum þó einnig hér álykta að eyðingin sé nokkurnvegin í beinu hlutfalli við yfirborð brennisteinsins í mynduninni.

Þar sem þessi oxidation er hlutfallsleg við magnið kemur greinilega í ljós hversvegna mikið magn af brennisteini getur ekki safnast fyrir á þessum svæðum. Brennisteinsmagnið á hverju svæði út af fyrir sig hlýtur að nálgast eitthvert konstant gildi þannig að jafnmikið eyðist og myndast eins og athuganir líka benda eindregið til.

Við höfum áður minnst á að brennisteinsmyndunin er háð vissu varmajafnvægi, sem er ákvarðandi fyrir fjarlægð myndunarinnar frá yfirborði og einnig fyrir þykkt hennar. Brennisteinsmyndunin sjálf hlýtur þegar hún vex að breyta þessu jafnvægi, því vegna þess að brennisteinn er sérlega góður hitaeinangrari. Þessvegna hækkar hitinn neðst í mynduninni. Við það hættir brennisteinn að myndast neðst vegna súrefnisskorts en eykst í efri hlutunum. Þetta hlýtur að valda því að brennisteinninn tekur að sublimerast ört neðst og færast þannig upp á við þar sem honum er mun hættara við miklu súrefni. Þannig geta brennisteinsmyndanirnar orðið fyrir breytingum, sem enn miða að því að takmarka þykkt þeirra. Magnið af brennisteini er um 3000 smálestir á Námafjalli og myndunin sennilega nálægt 500 lestum á ári. Þetta bendir til þess að eyðingin sé ca. 17 % á ári.

Gipsmyndun.

Hér að framan hefir verið sýnt fram á hvernig brennisteinsvetni það, sem jarðgufan ber til yfirborðsins er sífelt að oxiderast þangað til það verður að brennisteinssýru. Raunverulega er brennisteinsmyndunin aðeins smá stöðvun um stundarsakir því allur brennisteinn, sem myndast, verður fyrr eða síðar einnig að brennisteinssýru. Öll þessi

sýra berst að lokum til sjávar, en stundum verður þó önnur smástöðvun í rás þess þ.e.a.s. þegar sýran myndar gips með kalki úr berginu.

Þegar við veitum nánar athyggli/^{að}brennisteinssýruframleiðsla gufanna t.d. á Námafjalli nemur 7500 smálestum á ári, kemur okkur ekki ókunnuglega fyrir sjónir þótt berg og önnur jarðlög beri þess merki. Ýms efni hafa að miklu leyti víða þvegist úr, svo sem járn, kalk, aluminium og alkali. Bezt virðist kísillinn standa sig, enda sumstaðar einn eftir. Sem eðlilegt er inniheldur frárennsli þessara staða mikið sulfat og uppleyst steinefni. Í læk, sem rennur frá hverum á Námafjalli fundust t.d. 1060 mg/l sulfat, 12 mg/l klóríd og kalcium og magnesíum sem samsvarar 194 mg/l CaO. Fyrir aluminium og járn var ekki prófað. Sýrustigið var 2,64.

Gipsmyndanir á Námafjalli eru allmiklar en auk þess hafa þær fundist á Þeistareykjum, í Kröflu og í Krísuvík. Á þessum stöðum er algengt að finna sprungufyllingar í bergi úr gipsi. Á stað á Námafjalli, þar sem bergið hafði eyðst utan af og fyllingin stóð ein eftir, var grafið niður með henni 1 m niður báðum megin. Reyndist hún ná lengra niður. Fyllingin var 10 cm þykk. Utan með henni var laust kísilríkt mjöl, sem er einkennandi fyrir staði, sem hafa orðið fyrir mikilli átu af brennisteinssýru. Svona gipsmyndanir hljóta að vera tilorðnar þannig að kalciumsulfat upplausn, sem var upphaflega ekki mjög heit, hefir síast niður í heitt bergið, en þá fellur úr gips vegna þess að það er minna leysanlegt í heitu en köldu vatni.

Mikill hluti gipsmyndananna virðist þá vera til orðinn við beina ummyndun brennisteins. Gipshleifar og laus gipsmulningur benda til þess að það séu eftirstöðvar gamalla brennisteinsmyndana. Gipsmyndun virðist lítil eða engin meðan brennisteinsmyndunin er ör, enda eru þá slæm skilyrði vegna hins mikla þéttivatns gufunnar. En taki gufuuppreyðni að réna fer að bera á gipsmyndun í brennisteininum sökum

Þess að vatnið er minna. Stöðvist gufuuppsteymið með öllu oxiderast smám saman sá brennisteinn, sem í mynduninni var, sýran leysir upp kalciúmsambönd úr jarðefnum sem á hann falla og myndar þar með gips. Á Námafjalli má rekja þetta stig af stigi, enda eru þar slíkar myndanir á mörgum stigum.

Að lokum leysist þó einnig allt gips upp í vatni sem á það fellur og öll ummerki brennisteinsmyndunar hverfa önnur en sundurétið berg og bleik jörð. Þá hefur allur brennisteinninn horfið til sjávar sem súlfat og þangað mun mannkynið þurfa að leyta hans fyrr eða síðar.

Boranir á Námafjalli.

Nokkrar borholur voru gerðar á Námafjalli til þess að rannsaka nánar afnainnihald gufunnar og aðstæður til gufuframleiðslu. Í Hverarönd voru boraðar 3 holur, en ekki var hægt að ljúka þeirri síðustu vegna vetrar. Úr tveimur fyrri holunum fékkst gufa, sem nam 20 smálestum á klukkustund. Mesta dýpi var 57 m, en þangað skiptust á hraunlög og allþykk leirlög á milli. Í Bjarnarflagi var boruð grunnhola, en við hana varð að hætta af tæknilegum ástæðum.

Borhola nr. 1, Hverarönd.

Borað var með Höggbor I af Sigurmundi og Guðna Jónssonum. Vinna hófst 15. júní. Jarðlög:

- 0 - 4 m rauðleitur leir
- 4 - 5,5 m basalt fínkornótt og blöðrótt.
- 5,5 - 12 m rauðleitur leir
- 12 - 14 m basalt fínkornótt og blöðrótt
- 14 - 19 m rauðleitur leir
- 19 - 27 m basalt fínkornótt með kalki og brennisteinskís.

Borholan var fóðruð með 6" röri niður í 14 m dýpi. Hún gaus í 27 m dýpi og var borunum hætt hinn 23. júlí. Gufumagnið var lítið til að byrja með, en óx smám saman í fullan mánuð.

Borhola nr. 2, í Bjarnarflagi.

Borað var gegnum móberg (túff) niður í 4,5 m en síðan kom basalt. Basaltið boraðist illa og varð að hætta við holuna í 11 m dýpi.

Borhola nr. 3, Hverarönd.

Borað var með Höggbor I af Sigurmundi og Guðna Jónssonum. Vinna hófst 20. ágúst.

Jarðlög: 0 - 22 m leir, ljósleitur og gráleitur
22 - 44 m basalt, dökkleitt og fínkornótt
44 - 51 m basalt grál. með kalki og
brennisteinskís.
51 - 57 m basalt dökkleitt, fínkornótt með
kalki og brennisteinskís.

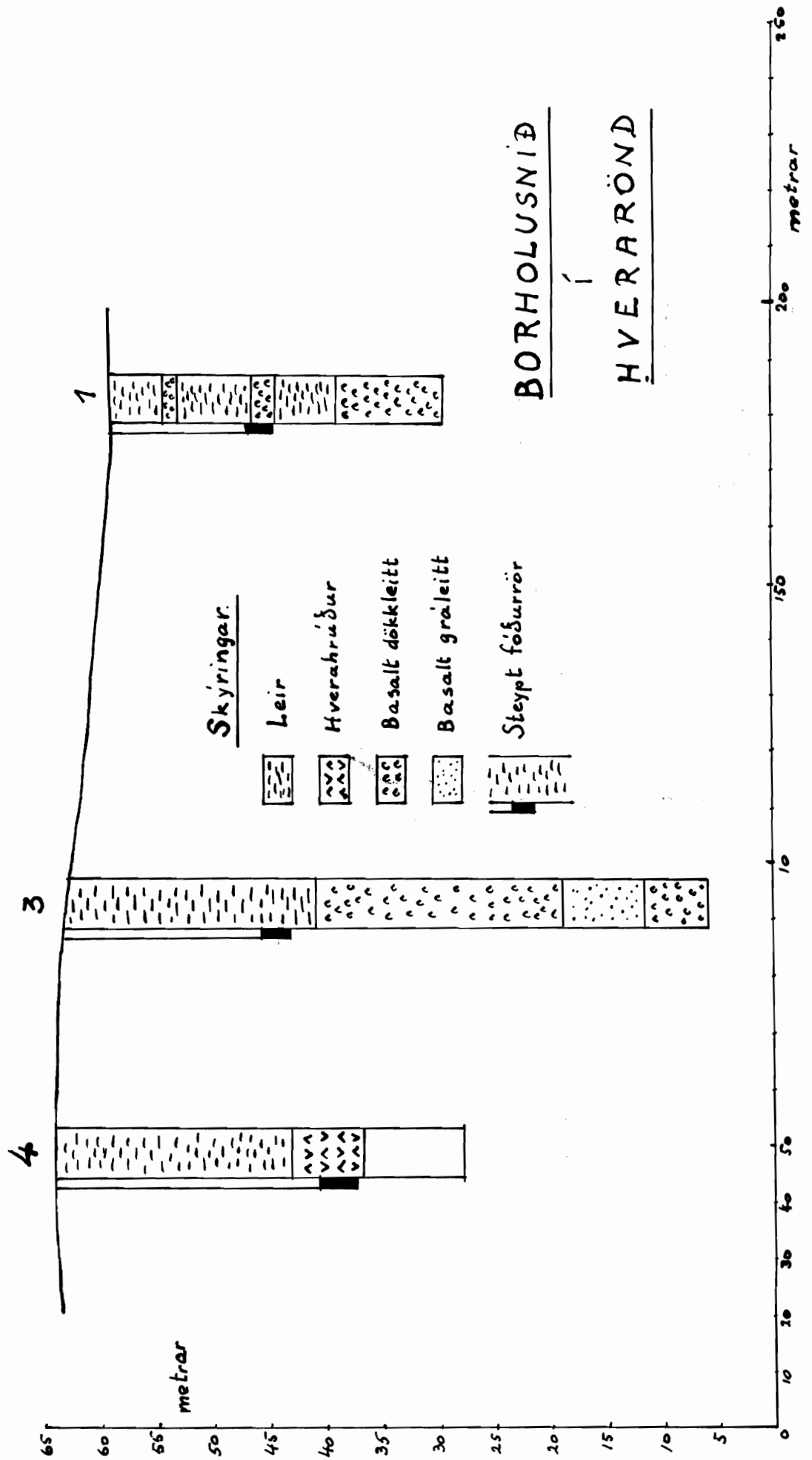
Borholan var fóðruð með 6" röri niður í 19 m dýpi. Hún gaus í 57 m dýpi 19. september. Mikið vatn var í gufunni til að byrja með, en var að mestu horfið 22. september. Gufumagnið var um 12 smálestir á klukkustund.

Borhola nr. 4, Hverarönd.

Borað með Höggbor I af Guðna og Guðmundi Jónssonum. Vinna hófst 20. október.

Jarðlög: 0 - 21 m bláleitur leir með brennist.kís.
21 - 27 m hverahrúður með brennisteinskís.

Borholunni er ólokið. Hún er fóðruð með 8" röri niður í 26 m dýpi.



Baldur Línadal:

Rannsókn á gufu úr borholum á Námafjalli.

Gufa fékkst úr 2 borholum á Námafjalli nr. 1 og 3. Hér fara á eftir efnagreiningar, sem gerðar voru á gufu og vatni, sem úr þeim kom.

Borhola nr.	1	1	1	1	1	1	1	1	3		
Dagsetning - 1951	14/7	18/7	26/7	26/7	18/7	20/8	24/8	8/10	8/10		
Gufumagn, smál./klst.	1,6	3	5	5	-	8	-	8	12		
Gufa, % af þunga.	-	-	57	-	-	59	-	62	75		
Gasmagn, lítrar/kg.gufu	6,7	7,5	7,5	-	-	6,8	-	7,5	6,1		
Hundraðshluti gastegunda innbyrðis.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2 \\ \text{H}_2\text{S} \\ \text{H}_2 \\ \text{CH}_4 \\ \text{Rest} \end{array} \right.$	CO ₂	58,8	58,2	50,7	-	-	51,0	-	49,5	53,0
		H ₂ S	4,2	7,6	17,5	-	-	16,8	-	19,6	18,5
		H ₂	34,6	31,6	30,0	-	-	30,2	-	28,7	26,0
		CH ₄	0,0	0,0	0,1	-	-	0,1	-	0,0	0,1
		Rest	2,4	2,6	1,7	-	-	1,9	-	2,2	2,4
Efna- greining á vatni og þétti- vatni.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Vatn eða þéttiv.} \\ \text{Leiðni, } 10^{-3}/\text{ohm cm} \\ \text{pH} \\ \text{Cl, mg/l} \\ \text{SO}_4, \text{ mg/l} \\ \text{SiO}_2, \text{ mg/l} \\ \text{NH}_3, \text{ mg/l} \\ \text{Harka, mg/l CaO} \\ \text{B}_2\text{O}_3, \text{ mg/l} \end{array} \right.$	V	V	P	P	-	P	P	P		
		2,06	-	1,19	-	-	1,002	2,17	0,327		
		4,44	3,90	4,20	-	-	3,93	2,9	4,4		
		13	35	15	-	-	16	15	12		
		1240	1144	668	-	-	540	460	74		
		172	160	105	-	-	250	112	250		
		15	-	9	4	-	7	7	16		
650	715	412	-	-	393	330	5				
0	0	-	-	-	0	0	-				

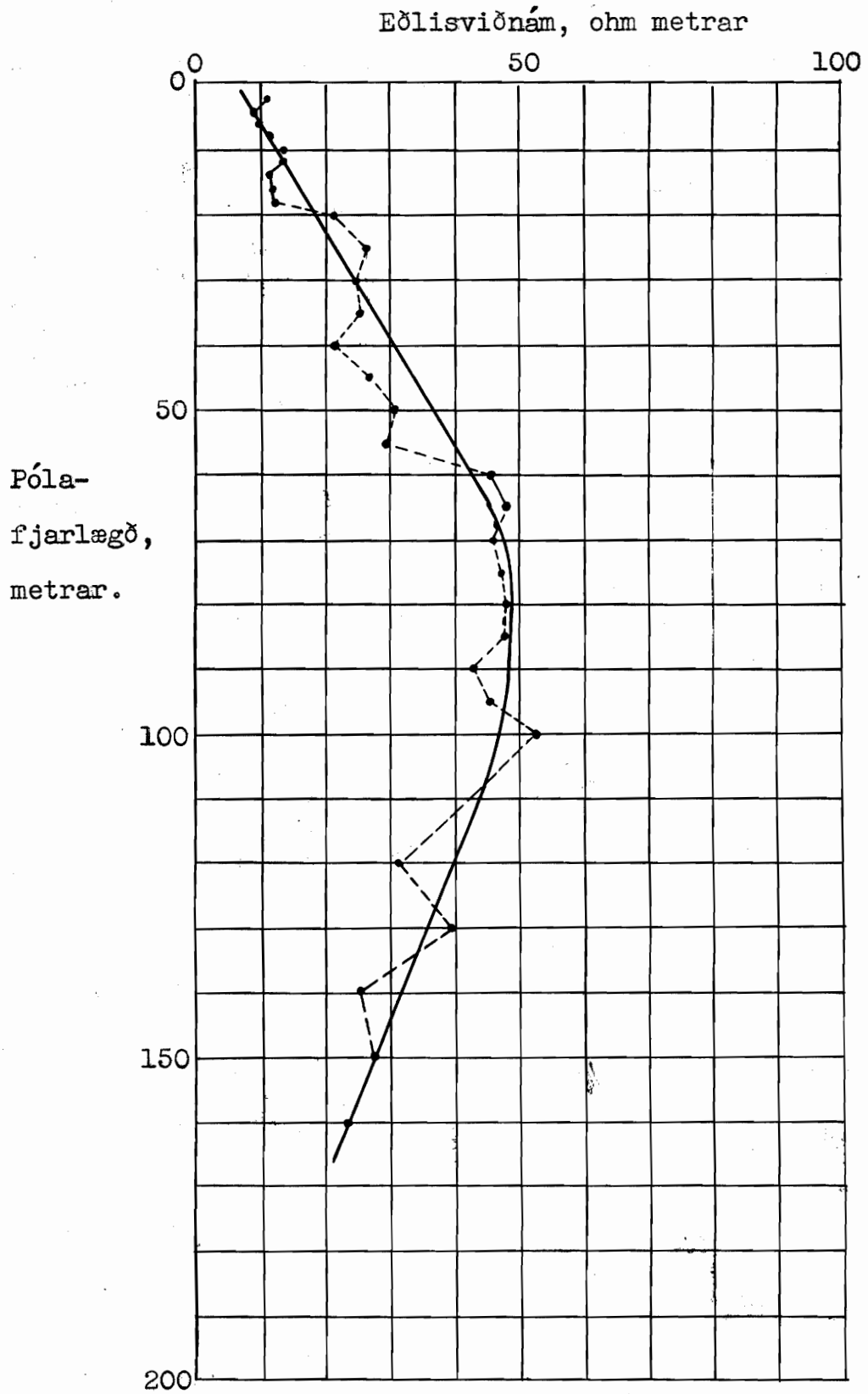
Þorsteinn Þorsteinsson:

Jarðviðnámsmælingar.

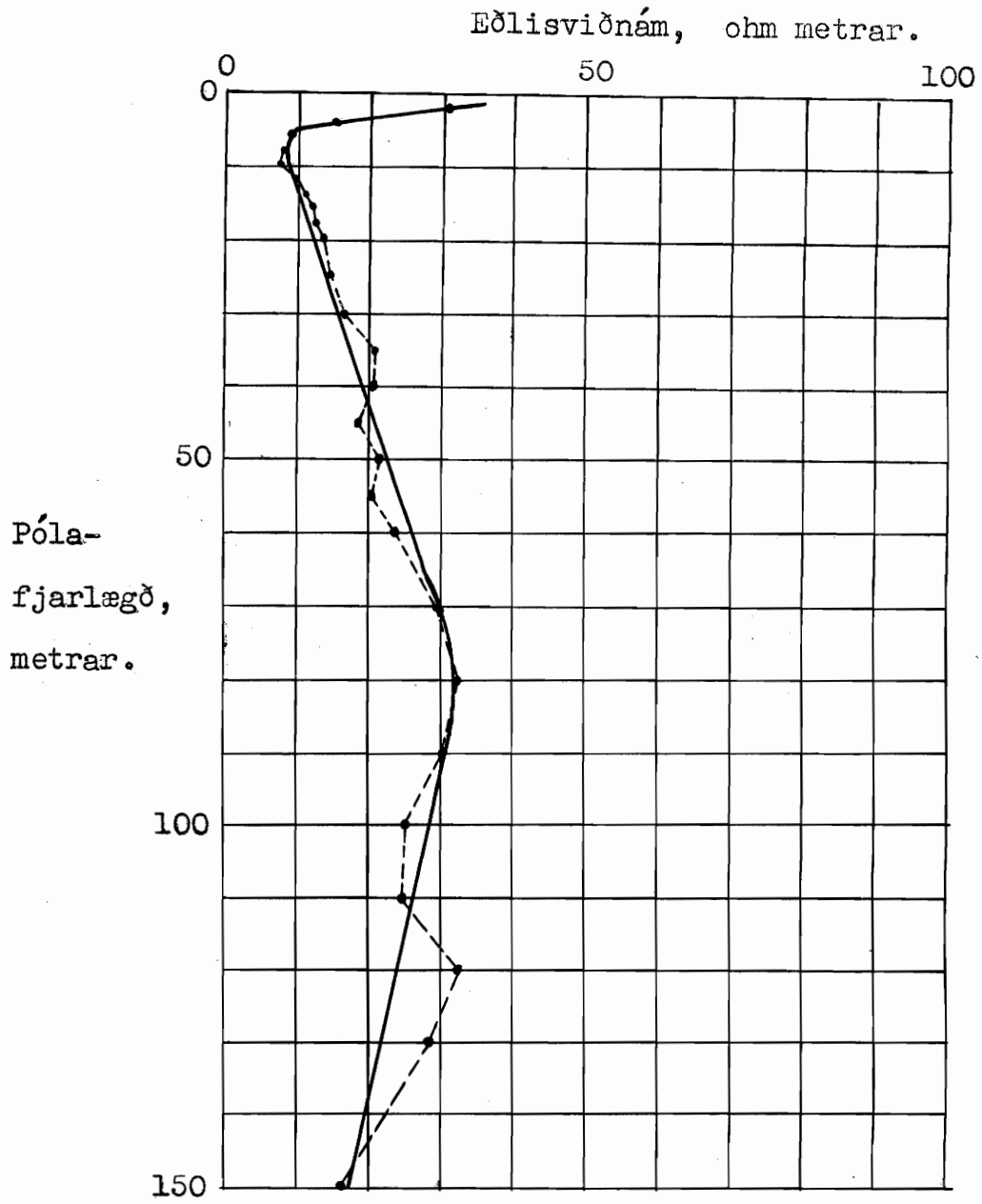
Jarðviðnámsmælingar voru gerðar í Hverarönd og Bjarnarflagi við Námafjall í júlí mánuði, 1951. Mælingarnar voru gerðar með Gish og Rooney mælitækjum og afstöðu póla, sem kennd er við F. Wenner. Mældir voru 5 dýptarprofilar í Hverarönd en 3 í Bjarnarflagi, sjá myndir 9-16, og lengdarprofilar í Hverarönd, sjá mynd 8. Bil milli póla var allt upp í 200 metra í dýptarprofilum, en 20 og 40 metrar í lengdarprofilum.

Samanburður á niðurstöðum mælinganna og borholusniðum gefur til kynna að eðlisviðnám leirs og myndbreytts bergs á jarðhitasvæðinu sé um og undir 10 ohm metrar, en viðnám basalts, annars en nútímahrauna sé yfir 20 ohm metrar. Eðlisviðnám nútímahrauns á jarðhitasvæðinu er allt upp í 200 ohm metrar.

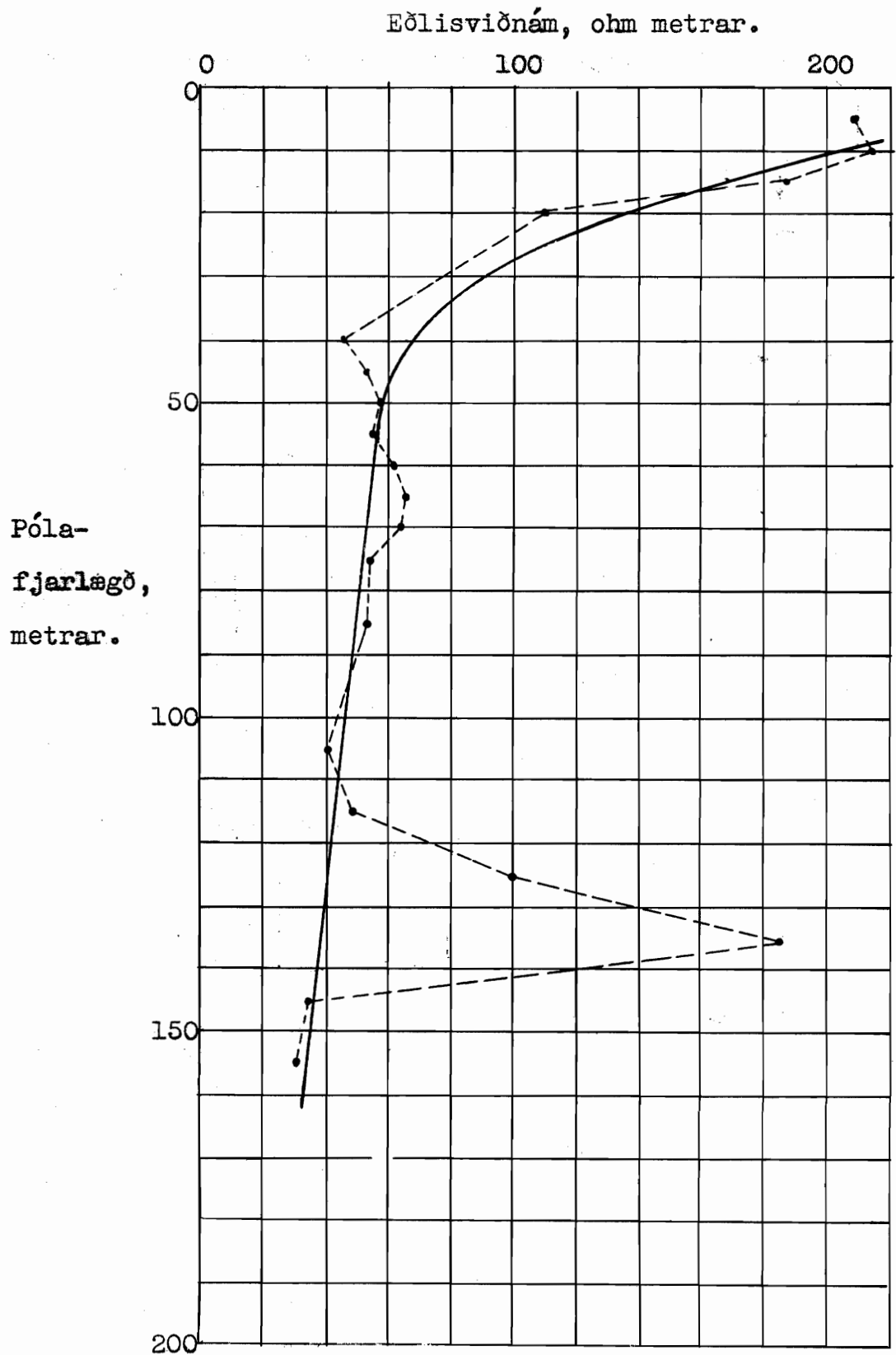
Mynd 9. Hverarönd, prófíll 1.



Mynd 10. Hverarönd, prófíll 2.

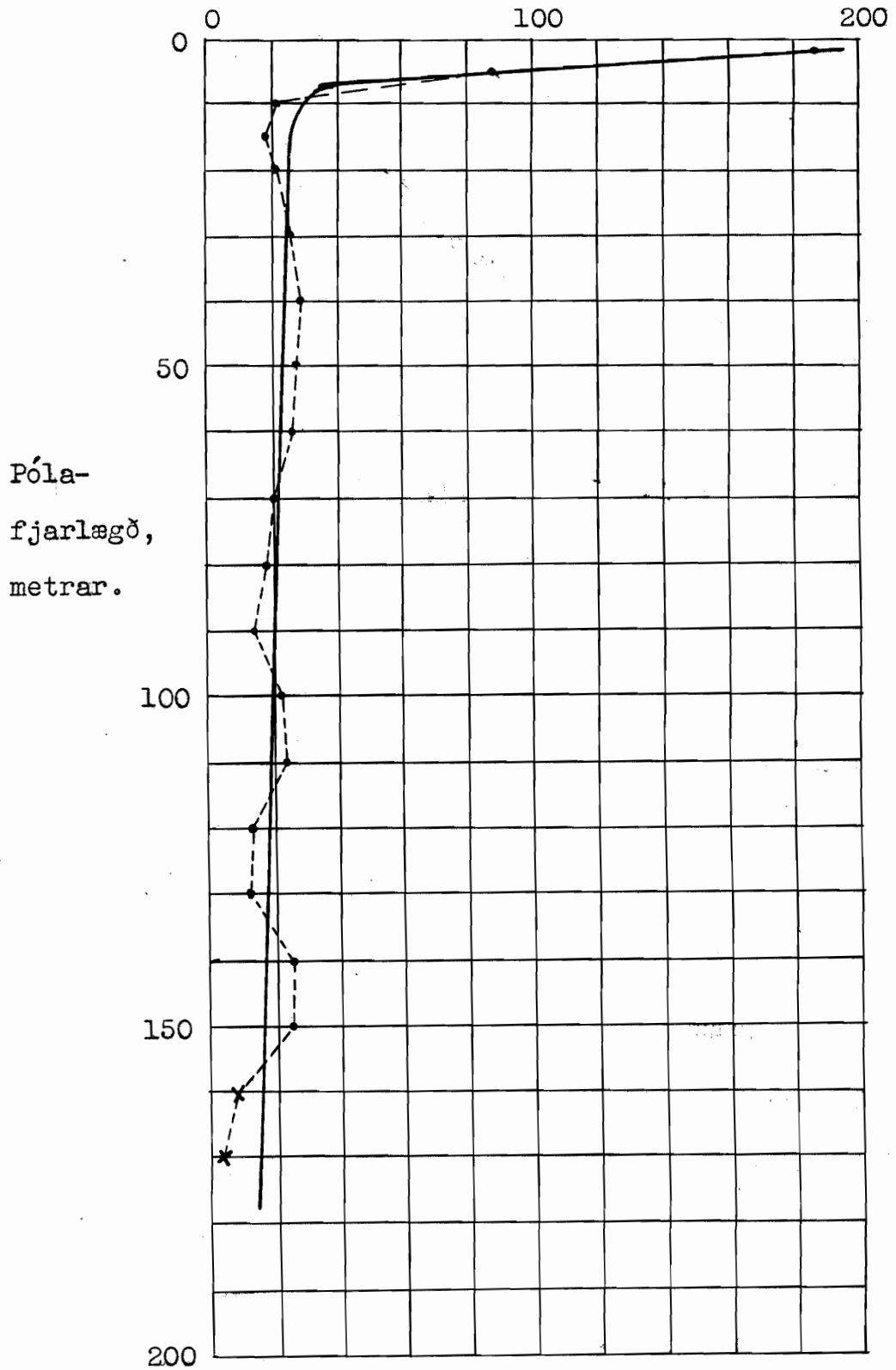


Mynd 11. Hverarönd, prófíll 3.



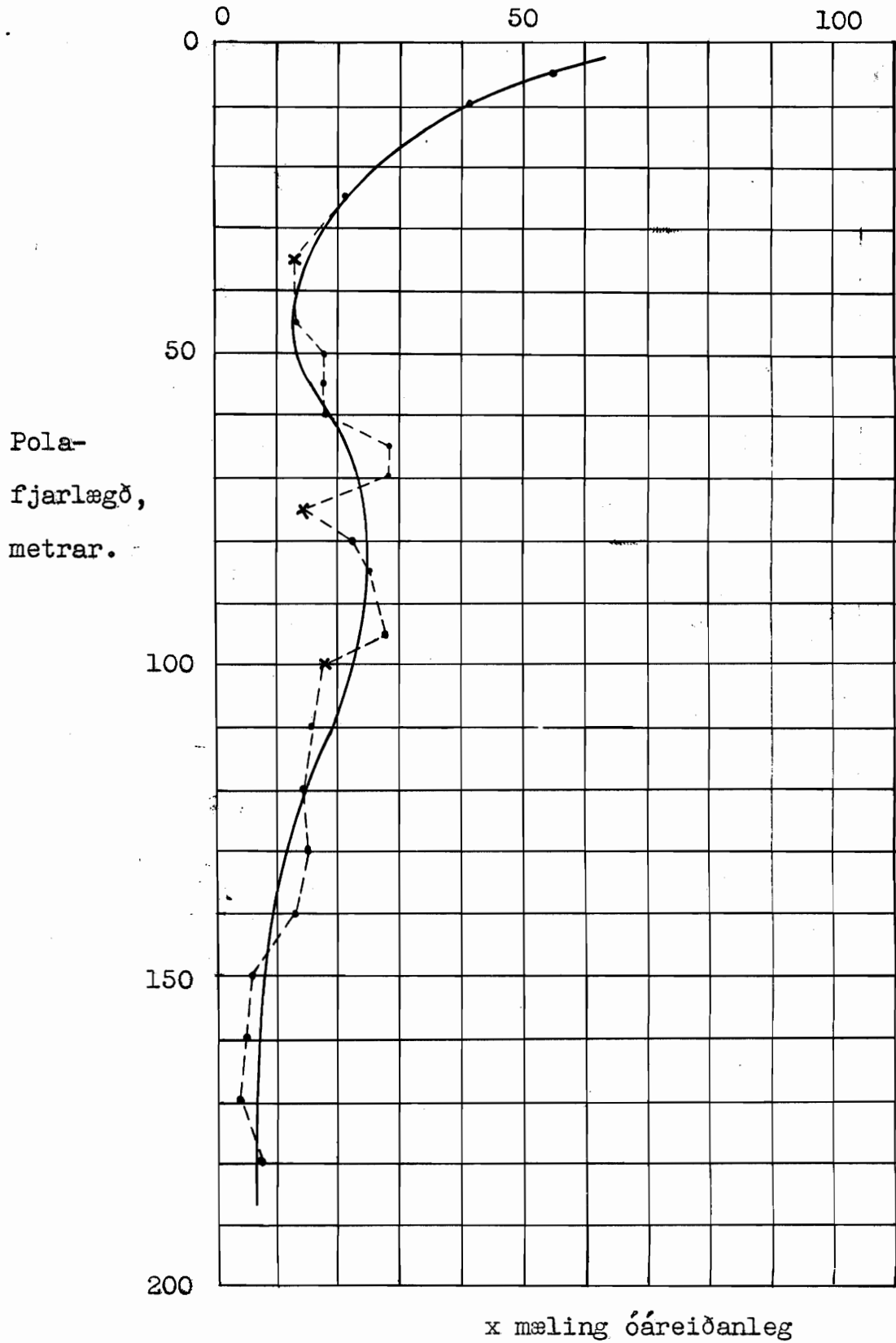
Mynd 12. Hverarönd, prófill 4.

Eðlisviðnám, ohm metrar.



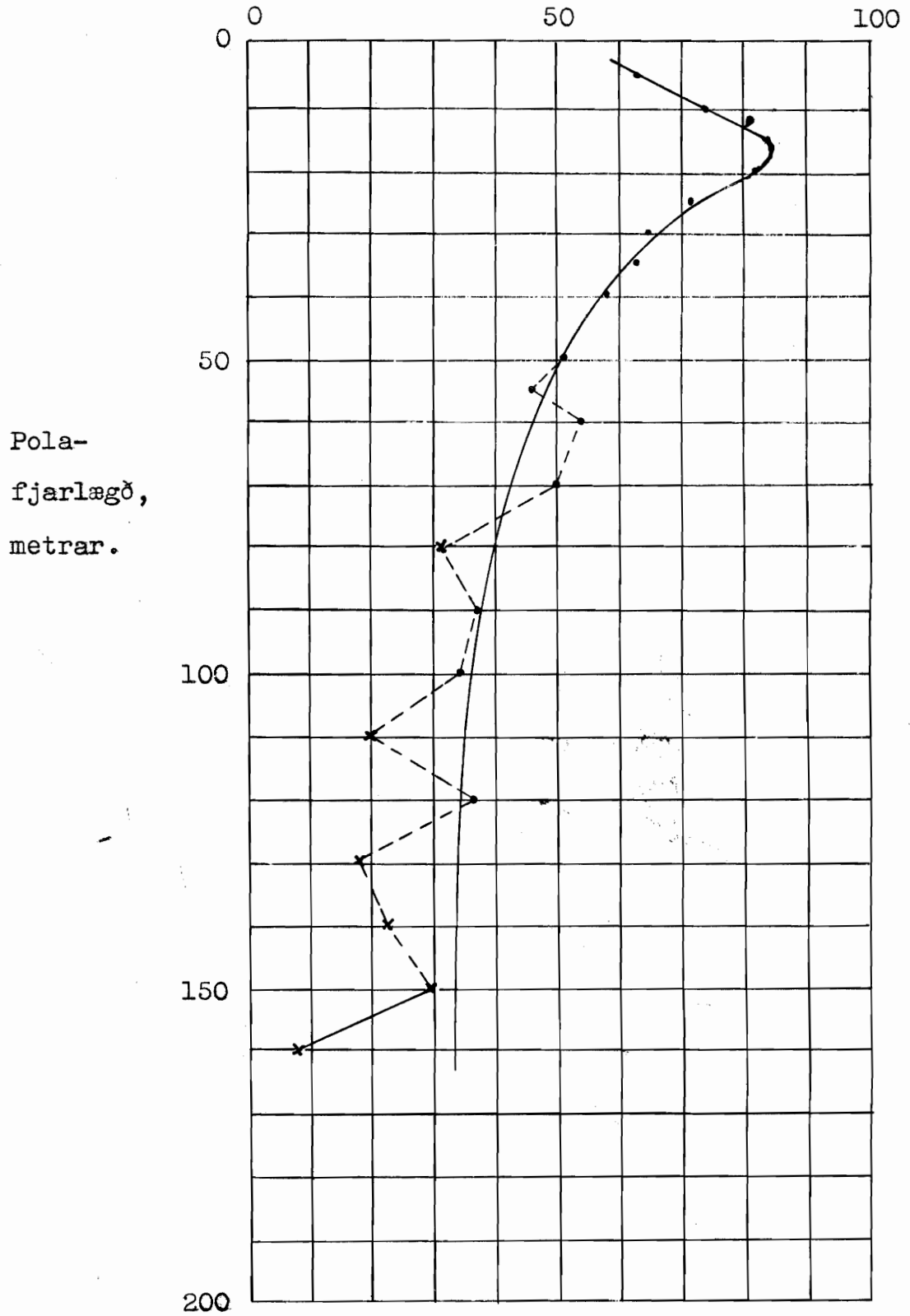
Mynd 13. Hverarönd, profill 5.

Eðlisviðnám, ohm metrar.

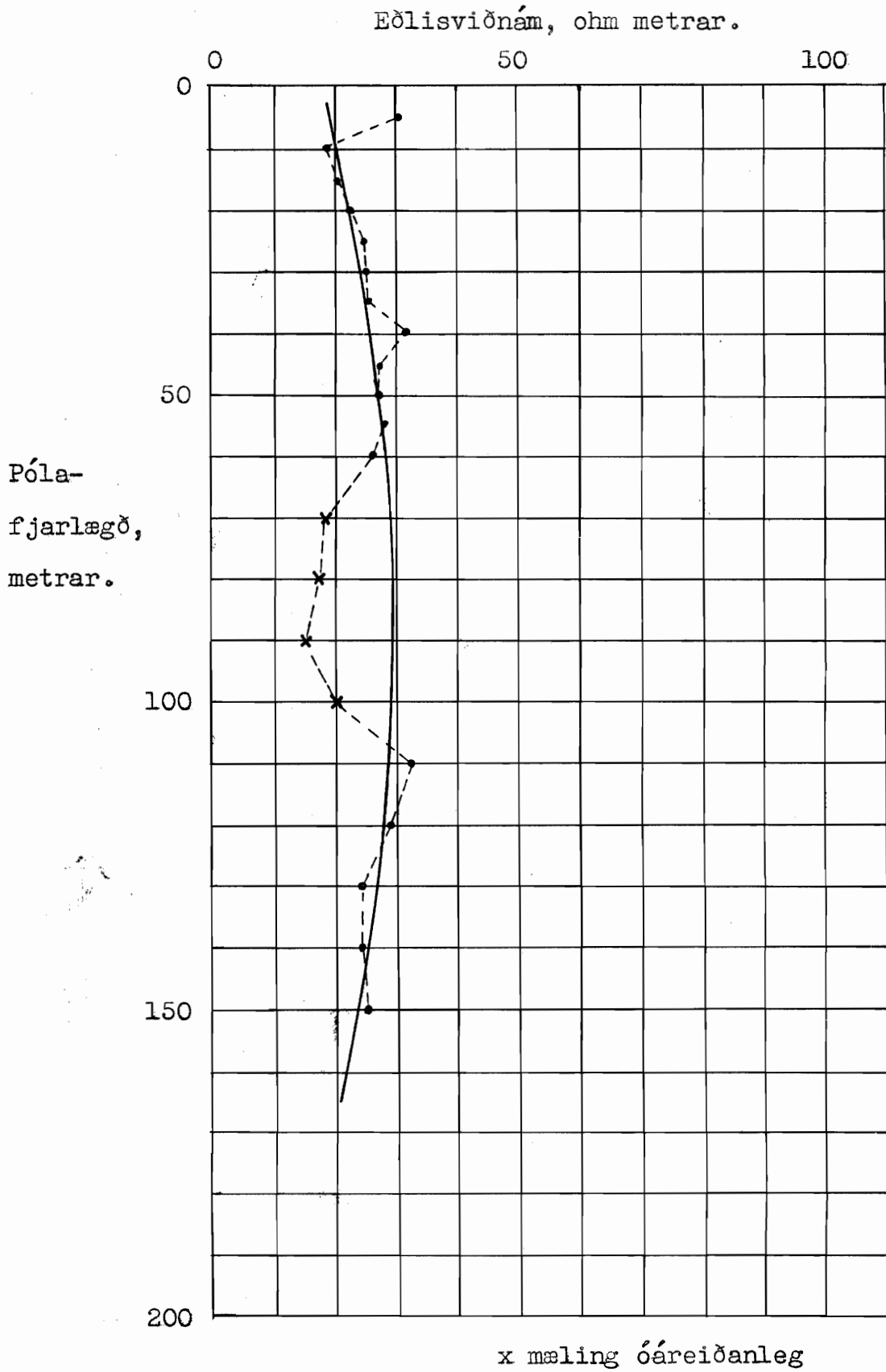


Mynd 14. Bjarnarflag, prófíll 6.

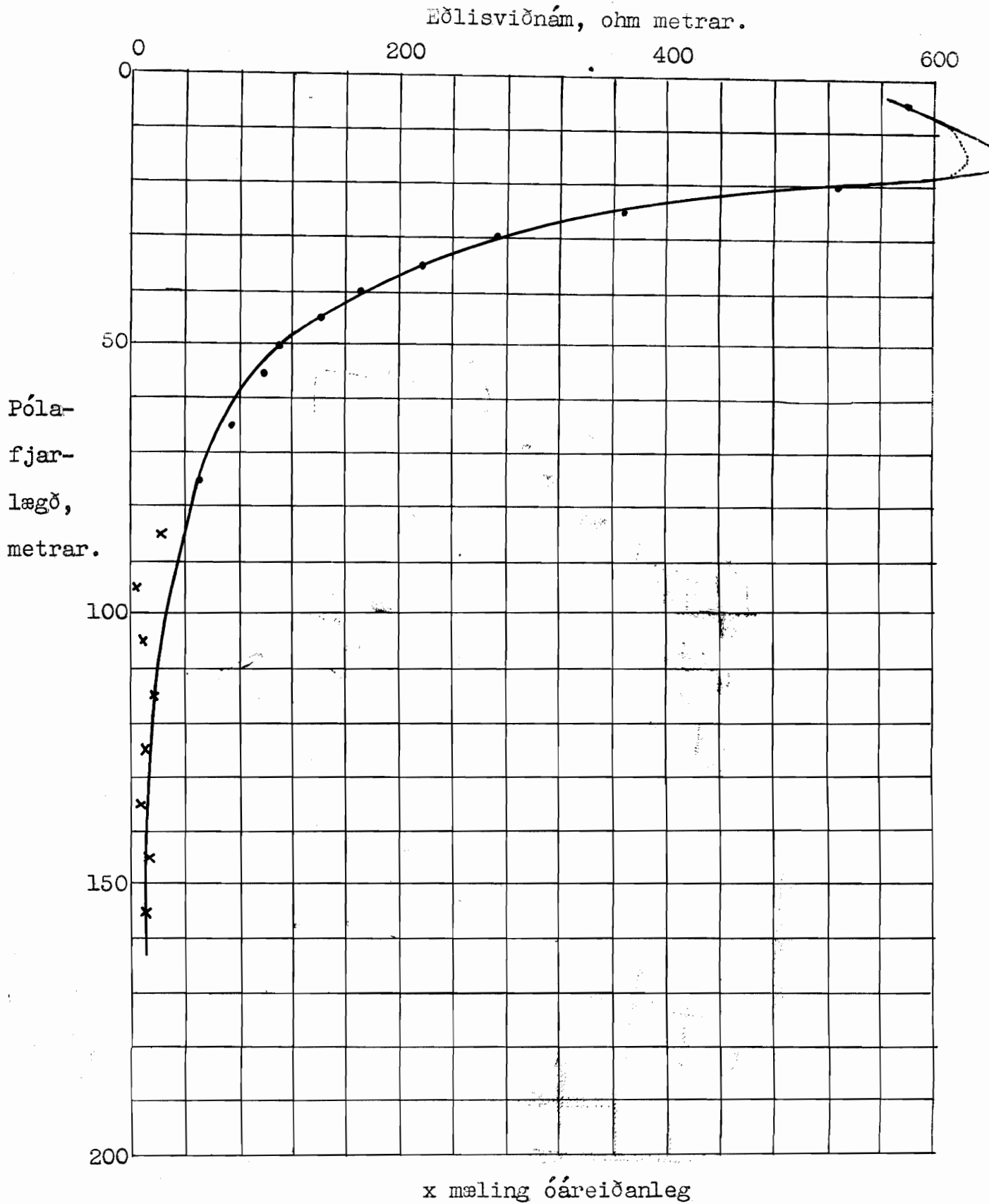
Eðlisviðnám, ohm metrar.



Mynd 15. Bjarnarflag, prófíll 7.



Mynd 16. Bjarnarflög, prófíll 8.



E n g l i s h S u m m a r y .

Elemental sulphur deposits in Iceland pp. 4-8.

The sulphur which was investigated, is formed in connection with the discharge of natural steam in some geothermal areas. The deposits are formed on or near the surface. Their thickness is usually less than 70 cm. These deposits are so irregular and scattered that exact dimensional measurements could not be made especially since their number is great. The amount of sulphur was estimated with regard to mean thickness and approximate surface area of each deposit. Covered deposits had to be estimated by digging and several shallow coredrillings were made. Samples of the deposits were analysed.

This estimate refers to beds, where the elemental sulphur content is greater than 80 % on dry basis. Elemental sulphur of noteable quantity was found in the following places in Iceland: Theistareykir, Krafla, Námafjall, Fremri Námar, Kverkfjöll, Kerlingarfjöll and Krísuvík. This investigation was confined to readily accessible areas, where the following result was obtained:

Location	Elemental Sulphur on 100% basis (Metric tons)
Theistareykir	200
Krafla	220
Námafjall	2600
Kerlingarfjöll	50
Krísuvík	120

The chemical composition of the sulphur deposits, pp. 9-10.

The main deposits contain usually 95-99% elemental sulphur on the dry basis. The moisture varies with the physical state and the amount of clay in the beds. When the beds are composed of flour-like loose crystals, the moisture is 12-13% but less in dense beds.

Even though the main deposits have relatively high sulphur contents, the surrounding clay always contains some elemental sulphur (around 10% of total sulphur in deposit). The clay may contain 1-20% sulphur on dry basis. Then there are several deposits in the intermediate range (around 15% of total sulphur in the Námafjall area), which contain 20-80% sulphur on the dry basis. The dark mud in the boiling pits contains considerable elemental sulphur.

The formation of sulphur in geothermal areas. pp. 12-29.

The sulphur in the geothermal areas is formed by partial oxidation of hydrogen sulphide from the natural steam. The process takes place on condensation of the steam and is limited to the liquid phase.

The sulphur is formed only under special conditions. The condensate has to be able to drain off freely, the rate of flow of steam has to be within narrow limits pr. unit area of cross section of path. The temperature suitable for formation has a narrow range and the rate of oxygen supply has to be slow. Under the best overall conditions which are known in Iceland (Námafjall), less than 1/5 of the hydrogen sulphide in the steam deposits sulphur.

The sulphur which deposits has a high oxidations rate. This is the main reason why great amounts of sulphur do not accumulate. An equilibrium is reached between rate of formation and the rate of oxidation, combined with some effects of weathering. This equilibrium is reached when sulphur has accumulated, but the quantity varies with conditions. The yearly loss was found to be approximately 17% in the area investigated (Námafjall). The net result of this rapid oxidation is that all the sulphur formed is sooner or later turned into sulphate compounds. The sulphate is finally carried in great dilutions by streams and rivers to the ocean.

Steam drilling at Námafjall. pp. 30-31.

The steamwells drilled at Námafjall in the summer of 1951, were made to investigate further the gas content of the natural steam and to test the availability of the gas bearing steam in this area.

Two steamwells were completed. Well nr. 1 had a discharge of 8 tons/h during the summer. It is 27 m deep and has a diameter of 6 inches. Well nr. 3 had a discharge of 12 tons/h, a depth of 57 m and a diameter of 6 inches.

Analysis of steam from the wells at Námafjall. p.32.

The steam from both wells was wet. The discharge of well nr. 1 contained in the summer 1951 43-38% liquid by weight. Well nr.3 gave 25% liquid.

Considerable fluctuations were observed during the three months of observations of well nr. 1, indicating the following trends:

1. Lowered liquid content in steam.
2. Increase in gascontent of the steam, coinciding with relative increase in hydrogen sulphide content, but lowered hydrogen content.

Electrical resistivity measurements at Námafjall. pp. 33-41.

Electrical resistivity measurements were made at Námafjall in July 1951. The measurements indicate that the resistivity of the clay and of the altered rock in the geothermal area is below 10 ohm-meters, but that of older basalt in the region is above 20 ohm-meters. The resistivity of recent lavas is up to 200 ohm-meters in the area.

Viðbætur I.

Áætlan n. r. 1

Framleiðsla brennisteins úr jarðgufu frá Námafjalli

2700 smál/ár.

Áætlun þessi er miðuð við að byggð sé byrjunarverksmiðja við Námafjall, til þess að hagnýta gufurnar meðan stendur á borunum fyrir því gasmagni, sem endanlega verður talið hagkvæmt að vinna þarna úr jörðu. Hér er miðað við að aðeins brennisteinsvetnið sé hagnýtt í byrjun og að verksmiðjan standi við Námafjall.

Það virðist að mörgu leyti æskilegt, að slík byrjunarvinnsla fari fram. Jarðboranir fyrir endanlegu gasuppstreymi munu taka þarna nokkur ár, og myndi þá gasmagn það, sem þegar væri fengið, allt fara til spillis á meðan. Haldgóð reynsla myndi þarna fást við gufuvirkjunina, sem getur orðið hornsteinn frekari framkvæmda. Loks má benda á það, að slík verksmiðja sem þessi, þótt hún sé ekki stærri, er fjárhagslega sjálfstætt fyrirtæki, þó reiknað sé með að hún verði afskrifuð að fullu á örfáum árum.

Vinnsla brennisteins á þennan hátt er fólgin í fjórum meginatriðum: jarðborunum, leiðslu gufunnar frá borholum, sundurgreiningu gass og gufu með þéttingu og loks vinnslu brennisteins úr gasinu.

Jarðboranir.

Þessi áætlun er miðuð við 200 smálestir af gufu pr. klst. Mikill hluti þessarar gufu mun fást við fyrirhugaðar rannsóknaboranir á þessu svæði, en þó verður að reikna með að það þurfi að halda henni við með nýjum borunum, vegna þess að gufan sjatnar væntanlega í eldri holum þegar frá líður.

Gasmagn það, sem fæst úr þessari gufu er ennþá nokkuð óvíst. Í fyrstu holunni, sem boruð var sumarið 1951, var gasmagnið allstöðugt meðan hún var rannsökuð. Hlutfallslegt brennisteinsvatns-

efnismagn fór þó heldur vaxandi í gasinu eftir því sem á leið. Líkur eru til þess, fræðilega séð, að brennisteinsvatnsefnismagnið í gufunni muni aukast þegar frá líður. Hér mun þó verða reiknað með því gasmagni og þeirri gassamsetningu, sem fékkst úr þessari holu sumaríð 1951 þar sem annar grundvöllur er ekki fyrir hendi.

Samkvæmt þessu er hér reiknað með að 7,5 lítrar af gasi fáiist úr hverju kg gufu og að það hafi eftirfarandi efnasamsetningu:

Brennisteinsvatnsefni (H_2S)	18 %	af	rúmmáli
vatnsefni (H_2)	30 "	"	"
kolsýra (CO_2)	50 "	"	"
köfnunarefni (N_2)	2 "	"	"

Þetta samsvarar að 1,8 kg brennisteins séu í hverri smálest af gufu.

Gufuleiðslur.

Reiknað er með, að gufunni sé safnað saman frá borholunum með asbestleiðslum. Járnleiðslur eru bæði dýrari og endingarminni vegna mikillar tæringar að utan. Þúist er við, að 3 18" asbeströr þurfi til að flytja allt gufumagnið.

Þétting gufunnar.

Til þess að ná gasinu úr gufunni er nauðsynlegt að þétta hana þ.e. gera hana að vatni. Til þess þarf mikla kælingu. Kælivatn er ekki tiltækilegt við Námafjall nema þá ef til vill með borunum, en leiðsla frá Mývatni mjög dýr.

Við samanburð á þeim kælimöguleikum, sem hugsanlegir eru þarna, hefir komið í ljós, að ódýrast muni vera að nota uppistöðu, þar sem vatn getur kólnað, sem hefir tekið í sig varma frá gufunni.

Gufan er þétt með því að leiða hana niður í ker, sem þetta vatn rennur um. Gasið skilst frá og er leitt í safngeymir brennisteinsverksmiðjunnar. Þessi aðferð til þéttunar á gufunni er tillaga

Gunnars Böðvarssonar.

Búast má við, að eitthvað af brennisteinsvatnsefni verði eftir í vatninu, en sennilega ekki mikið meira en gerist við efnagreiningar í gufunni, sem er óverulegt. Þó hlýtur þetta að valda brennisteinssýrumyndun í kælivatninu, og verður þá að taka tillit til þess við val tækja, sem notuð verða í sambandi við þetta vatn.

Eitthvað af súrefni mun einnig berast með kælivatninu inn í þróna og blandast þar gasinu. Mun það valda einhverri brennisteinsmyndun í leiðslum og safngeymi verksmiðjunnar. Lítilsháttar brennisteinssýrumyndun mun þetta súrefni einnig valda, sem þarf að taka tillit til.

Hætt er við, að kælivatnið muni hafa hátt innihald "suspenderaðra" efna vegna þess, að gufan inniheldur töluvert af föstum efnum, sem munu safnast fyrir þar sem kæling í uppistöðunni fer að miklu leyti fram við uppgufun.

Reiknað er með að 50 m² vatnsflötur í uppistöðunni þurfi á hverja smálest gufu pr. klst. Ef kólnun verður frá 96° niður í 60°C, mun þurfa að dæla til þéttikersins um 800 lítrum vatns pr. sek. Minnsta kosti aðra vatnsleiðsluna milli uppistöðu og þéttikers er hægt að hafa opna rás. Sé gert ráð fyrir að vatnsflötur kersins sé einum meter ofar en vatnsflötur uppistöðunnar, þarf um 15 hestafla orku til dælingar. Gert er ráð fyrir, að uppistaðan sé með steinsteiptum veggjum að utan, en að botninn sé þéttur með leir.

Brennisteinsverkmiðjan.

Gasmagnið, sem gert er ráð fyrir að fáist, er um 1500 m³/klst. Gasgeymir þarf að vera á leiðslunni, sem heldur jöfnum þrýstingi í þéttikerinu og auðveldar rekstur brennisteinsframleiðsluvélanna. Hentugt mun vera að hafa þennan geymi 1000-1500 m³. Þessi geymir þarf að vera hvolfgeymir, sem getur auðveldlega lagað sig eftir gas-

magninu. Grunnhlutann er ódýrast að búa til úr steinsteypu, sem að innan væri varin með lagi, sem þyldi lágt sýrustig (pH), sem óhjákvæmilega verður í þessum geymi. Hvefingin, sem gerð verður úr plötujárni, þarf að hafa sýrufasta húð.

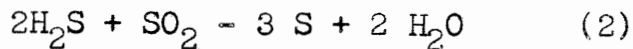
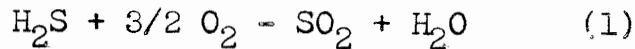
Verksmiðjan. Vinnsla brennisteins úr brennisteinsvatnsefni er mjög gömul. Sennilega var þetta fyrst gert af englendingnum Claus, sem brenndi brennisteinsvatnsefni beint í lofti. Allar aðferðir, sem nú eru notaðar við framleiðslu brennisteins úr brennisteinsvatnsefni, eru byggðar á efnabreytingum, sem fóru fram við hina gömlu Claus-aðferð.

Brennsla fór fram í ofni, sem í var mýrarauða. Ofninn var hafður mjög stór til þess að varminn, sem kom fram við efnabreytinguna, kæmist auðveldlega burtu. Gasrennslið til hans var haft það lítið, að hitinn varð ekki alltof hár, en með því móti var hægt að koma í veg fyrir hliðarefnabreytingar, svo sem myndun brennisteins-sýrlings úr brennisteini og súrefni loftsins.

Mikill hluti brennisteinsins kom úr ofninum sem bráðinn brennisteinn, en sá hluti sem ekki þéttist þar, kom fram í áföstum ryksafnara.

Nýtni Claus-aðferðarinnar var komin undir því að geta haft hitann í ofninum um 260 °C. Þessum hita var ráðið með því að stilla brennisteinsvatnsefnisstrauminn og loftstrauminn að ofninum í eldri gerðum, en seinna með því að láta einhvern hluta útstreymisins fara aftur gegnum ofninn.

Í seinni afbrigðum af þessari aðferð er lögð áhersla á að nota hvetjara við efnabreytinguna. I.G. Farben og Baehr brenna einn þriðja hluta brennisteinsvatnsefnisins í lofti og gengur svo sá brennisteinssýrlingur, sem þar myndast í samband við þann hluta brennisteinsvatnsefnisins, sem eftir er, með hjálp hvetjara:



Nú síðustu árin hefir verið lögð mikil áherzla á að fullkomna þessar aðferðir og innleiða nýjustu tækni í aðferðirnar. Stafar þetta einkum af því, að brennisteinsskorturinn knýr menn til þess að hagnýta allar þær brennisteinsslindir, sem mögulegar eru. Brennisteinssvatnsefni kemur oft upp með jarðgasi og jarðolíu, og hafa nú verksmiðjur verið reistar víðsvegar til þess að hagnýta það.

Rannsóknir á betri aðferðum til framleiðslu brennisteins úr þessu hráefni hófust í Bandaríkjunum 1941. Var það verk unnið undir umsjón Mathieson Chemical Corporation, sem loks lét byggja verksmiðju í þessu skyni 1944. Síðan hafa verksmiðjur verið reistar víðsvegar, sem grundvallast á einkaleyfum Mathiesons.

Aðferð Mathieson Chemical Corporation byggist að sjálfsögðu á sömu efnabreytingum og hin kunna Claus-aðferð, en tæknin er mikið frábrugðin. Aðferðin er sýnd á meðfylgjandi yfirlitsmynd.

Fyrsta skrefið er að brenna gasið í nokkurs konar ofni eða brennara. Brennsluefnin eru svo kæld með því að fara gegnum gufuframleiðslutæki. Þau fara síðan í gegnum tvö hvetjaralög, en á milli þeirra fer gasið gegnum kæli, því að það hitnar við efnabreytingar, sem eiga sér stað í hvetjaranum. Að lokum er gasið lát-
ið fara gegnum turn, þar sem það er kælt með bráðnum brennisteini, sem seitlar í sífellu um turninn. Brennisteinninn verður þar eftir, en gastegundir, svo sem kolsýra, köfnunarefni og vatnsgufa, fara áfram í gegnum turninn.

Í brennaranum, sem er sívalt ker varið múrsteinalagi að innan, er gasið brennt með vissu magni af lofti. Hlutfallið milli gass og lofts er haft mjög nákvæmt, þannig að einn þriðji hluti brennisteinssvæfnisins breytist í brennisteinssýrling. Hér geta einnig orðið hliðarefnabreytingar, svo sem það að óbrennt brennisteinssvæfni

sameinist brennisteinssýrling og myndi brennistein.

Aðalbreytingin, sem verður við brunann, gefur frá sér varma. Nægir það til þess að framleiða mikið af gufu.

Efnabreytingin í hvetjaralögunum gefur einnig frá sér mikinn varma, og þarf þá að kæla milli laga. Bezti hitinn þar er um 260°C.

Brennisteinsgufurnar frá hvetjaralögunum eru þéttar með fljótandi brennisteini, sem er kældur í þróm við botn kæliturnsins með kælivatnsleiðslum. Brennisteininum er haldið í hringrás gegnum turninn með miðflótttaafldsælu úr steypujárni.

Höfð er gát á efnabreytingum með því að efnagreina gasstrauminn frá hvetjaranum. Brennisteinsvatnsefnið og brennisteinssýrlingurinn er ákvarðaður með Tutweiler tæki og upplausnin frá því titreruð til þess að finna hlutfallið milli þeirra.

Verksmiðjur af Mathiesen gerðinni hafa verið byggðar með 30-150 smál. daglegum afköstum.

Fyrir skömmu kom enn fram ný gerð af tækjum til brennisteinsvinnslu úr brennisteinsvatnsefni. Þessi tæki voru teiknuð af Graff Engineering Co., Texas. Að sumu leyti líkjast þau meira hinum eldri tækjum I.G. Farben.

Einum þriðja hluta brennisteinsvatnsefnisins er hér brennt sérstaklega og eftir hæfilega kælingu er það svo sameinað aðalstraumnum. Notaður er aluminiumoxid hvetjari, en brennisteinsgufurnar eru þéttar með loftkælingu.

Þessar vélar verða á þennan hátt mun einfaldari og auðveldari í notkun. Venjulegur gufuketill er notaður við brennsluna og engar dælur þarf á fljótandi brennistein. Meðfylgjandi yfirlitsmynd sýnir fyrirkomulag véla.

Graff Engineering Co. lét nýlega smíða slíkar vélar fyrir 10 smálesta daglega framleiðslu, því að það er talinn aðalkostur þessarar aðferðar, hve lítið magn er hægt að framleiða með þeim, þótt

rekstur sé samt hagkvæmur.

Gasið kemur til þeirrar verksmiðju með 0,7 at. yfirþrýstingi og 40 °C heitt. Sjálfvirkur gasskiptir klýfur strauminn í hlutana 1:2. Einnþriðji hluti fer síðan til gufuketilsins.

Gufuketillinn er venjulegur gufuketill af járnbrautarkatlagarð, og er hann með sérstaklega gerðum brennara. Nægilegt loft er látið fara inn með sjálfvirkum hlutfallsráð milli gass og lofts, til þess að allt brennisteinsvetnið brenni. Ketillinn framleiðir um 1 smál. gufu/klst. við venjuleg skilyrði. Brennsla gassins fer fram við 0,3 at. yfirþrýsting.

Gasið frá katlinum er nú blandað því brennisteinsvetni, sem ekki fór gegnum brunann, og fer það síðan gegnum hvetjarann, sem er 5 smálestir af aluminium-oxid. Hylkið, sem hvetjarinn er í, er fódrað með eldföstum steini. Það eru rúmir 2 m í þvermál að innan, en nærri 3½ m í utanmál. Það er gert fyrir 1 atm. yfirþrýsting og um 350°C hita.

Það sem frá hvetjarahylkinu kemur, sem eru brennisteinsgufa, vatnsgufa og gastegundir, sem ekki taka þátt í efnabreytingunni, fer nú í gegnum 4 loftkælda kæla, sem er komið fyrir hverjum á eftir öðrum. Hver kæli er gerður úr 20 samsíða 3 þumlunga rörum, sem hvert um sig hefir innan í sér ½ þumlungs gufurör til þess að ráða hitanum, er tækið er að byrja vinnslu.

Brennisteinninn, sem þéttist hér, rennur niður í geymi, þar sem brennisteininum er haldið fljótandi með gufuhitun, þangað til hann er látinn renna í tankbíla.

Gas það, sem notað er, hefir eftirfarandi samsetningu að meðaltali:

Brennisteinsvatnsefni (H ₂ S)	30,2 %
Kolsýra (CO ₂)	68,0 %
Kolvetni og ónæmar loftteg.	1,8 %

Verksmiðjan mun framleiða brennistein, sem er 99,8 % hreinn. Talið er að verksmiðjan muni hafa ekki minna en 89 % nýtni, en ekki hærri en 92 % nýtni. Mun þetta komið undir því, hve vel vélunum er stjórnað. Við framleiðsluna þarf 2 vinnutíma á dag í þessari verksmiðju.

Nú hafa ennþá fleiri fyrirtæki hafið framleiðslu á þessum vélum með mismunandi fyrirkomulagi. Við sum þeirra hafa farið fram bréfaskipti vegna fyrirhugaðrar brennisteinsvinnslu úr brennisteinsvatnsefni, sem fengist úr jarðgufu.

Vegna þess, hve fyrirkomulag það sem Graff Engineering Co. notar, virðist vera hentugt og sjálfvirkt, voru þeir beðnir um álit sitt á því, hvort unnt væri að nota það gas, sem hér myndi fást til vinnslu í tækjum þeirra. Svar þeirra er á þá leið, að efnasamsetning gassins sé ekki til fyrirstöðu og að þeir séu reiðubúnir til samstarfs á þessu sviði. Höfum við síðan haft samband við fyrirtæki þetta viðvíkjandi málinu.

Kostnaður og rekstursáætlun.

Að sjálfsögðu er ekki hægt að gera nákvæma áætlun um þessa framleiðslu nú, og verða því þær tölur, sem hér koma fram, meira byggðar á dómgreind og reynslu þeirra manna, sem hafa látið þær í té, en nákvæmum verkfræðilegum útreikningum.

Boranir: Samkvæmt þeirri reynslu, sem þegar hefir fengist á Námafjalli, munu boranir fyrir gufunni ekki kosta meira en 10.000 kr. pr. smálest pr. klst. Er því gert ráð fyrir, að boranirnar kosti alls 2 miljónir króna, enda séu rannsóknaboranirnar innifaldar í því verði.

Gert er ráð fyrir, að boranirnar séu afskrifaðar á 15 árum og að stofnfé sé með 6 % vöxtum. Auk þess þarf að halda gufunni við vegna þess að búist er við að sjatna muni gufan í eldri holum, þegar

frá liður. Þessi liður er áætlaður 15 % af gufumagninu á ári.

Gufuleiðslur: Vegna þess að verksmiðja þessi er stundarfyrirtæki, sem óvíst er að hafi mikla þýðingu sem framleiðslufyrirtæki, er endanlegt fyrirkomulag á þessari framleiðslu verður ákveðið, þykir varlegra að reikna með því, að allt þetta fyrirtæki, að undanteknum borunum og húsakynnum, sé afskrifað á 7 árum.

Gufuleiðslurnar eru áætlaðar á eina milj. kr. ásamt þeim útbúnaði, sem við þær þarf. Afskrift á 7 árum og 6 % vextir af stofnfé verður þar 18 %.

Þéttikerfi: Uppistaðan er áætluð á 500 þús. kr. og leiðslur dæla og þéttitæki á 250 þús. kr. Afskriftir og vextir verða 18 %.

Framleiðsluvélar: Graff Engineering Co. hefir áætlað að aðalframleiðsluvélarnar muni kosta frá þeim \$ 50.000. Á það verð leggst flutningskostnaður, tollar og ýmiss annar kostnaður, sem mun nema um 40 % af upphaflegu verði vélanna. Uppsetningarkostnaður og raf-lagnir reiknast 20 % af innflutningskostnaði. Hjálpartæki, svo sem brennisteinsmótari og færíbönd fyrir unninn brennistein, eru áætluð 250 þús. kr. Dieselrafstöð, sem getur framleitt 80 kW, er áætluð á 240 þús. kr. Gasgeymirinn er áætlaður á 300 þús. kr. Þetta afskrifast allt á 7 árum og er reiknað með 6 % vöxtum.

Verksmiðjubyggingin þarf að vera allstór, þar sem reikna þarf með að nauðsynlegt sé að verja allar vélarnar fyrir úrkomu. Véla-samstæðan frá Graff Engineering Co. er um 35 m löng og 4 m breið. Hæðin er mest 15 m, en aðalbyggingin þarf ekki að vera nema 8 m há. Ef reiknað er með steinsteyptu húsi, sem er 40x10 m að grunnfleti og 8 metrar á hæð, ætti húsið að kosta 800 þús. kr. ef reiknað er með 250 kr. á hvern teningsmeter.

Það er venja að geyma brennisteininn úti, sé hann fyrst steypur í stöngla eða teninga eins og gert er ráð fyrir hér.

Íbúðarhús starfsmanna: Það er sennilegt, að starfslið verk-
smiðjunnar á staðnum þyrfti að vera 6-8 manns. Reykjahlíð er í
5 km fjarlægð frá verksmiðjunni og mun það auðvelða mjög húsnæðis-
málin. Samt verður ekki hjá því komizt að byggja þarna íbúðarhús,
sem að minnsta kosti ein fjölskylda geti búið í að staðaldri, auk
þess sem nauðsynlegt er að hafa þarna herbergi og mótuneyti fyrir
allt starfsliðið.

K o s t n a ð a r á æ t l u n .

Grundvöllur: 2700 smál/ár.

	Kr.
A. Jarðboranir fyrir 200 smálestir gufu/klst.	2.000.000.-
B. Gufuleiðslur úr asbest	1.000.000.-
C. Þéttikerfi	
1) Uppistaða	500.000.-
2) Leiðslur og þétti- tæki	<u>250.000.-</u>
	750.000.-
D. Framleiðsluvélar	
1) Aðalvélar	1.140.000.-
2) Aukavélar og tæki	250.000.-
3) Uppsetningar- kostnaður	280.000.-
4) Díselrafstöð	240.000.-
5) Gasgeymir	<u>300.000.-</u>
	2.210.000.-
E. Verksmiðjubygging	800.000.-
F. Íbúðarhús starfsmanna	<u>500.000.-</u>
	Samtals kr. 7.260.000.-
	=====

R e k s t u r s á æ t l u n .

	Kr.
A. Olía og viðhald rafstöðvar, 0,3 kr/kWst	200.000.-
B. Vinnulaun 1) 2 menn með 45.000 kr.	90.000.-
2) laun verkfræðings	55.000.-
C. Stjórnar- og skrifstofukostnaður	100.000.-
D. Afskriftir og vextir	
1) Framleiðsluvélar, 18 %	400.000.-
2) Gufuleiðslur, 18 %	180.000.-
3) Þéttikerfi, 18 %	140.000.-
4) Boranir, 10 %	200.000.-
5) Byggingar, 10 %	<u>130.000.-</u>
	1.050.000.-
E. Viðhald	
1) Boranir	300.000.-
2) Verksmiðjur og annað	<u>250.000.-</u>
	<u>550.000.-</u>
	Samtals kr. 2.045.000.-
	=====

Framleiðslukostnaður brennisteins: 760,- kr/smál.
=====

Lokaorð.

Ennþá er unnið að því að athuga hvort sé hentugasta fyrirkomulag við þessa byrjunarvinnslu. Þetta má því ekki skoðast sem endanleg fyrirkomulagstillaga.

Loks er nauðsynlegt að minnast á markaðsverð brennisteins. Vegna geysilegs skorts á honum hefir það undanfarið í einstökum tilfellum stigið mjög hátt, en hafa má eftirfarandi í huga:

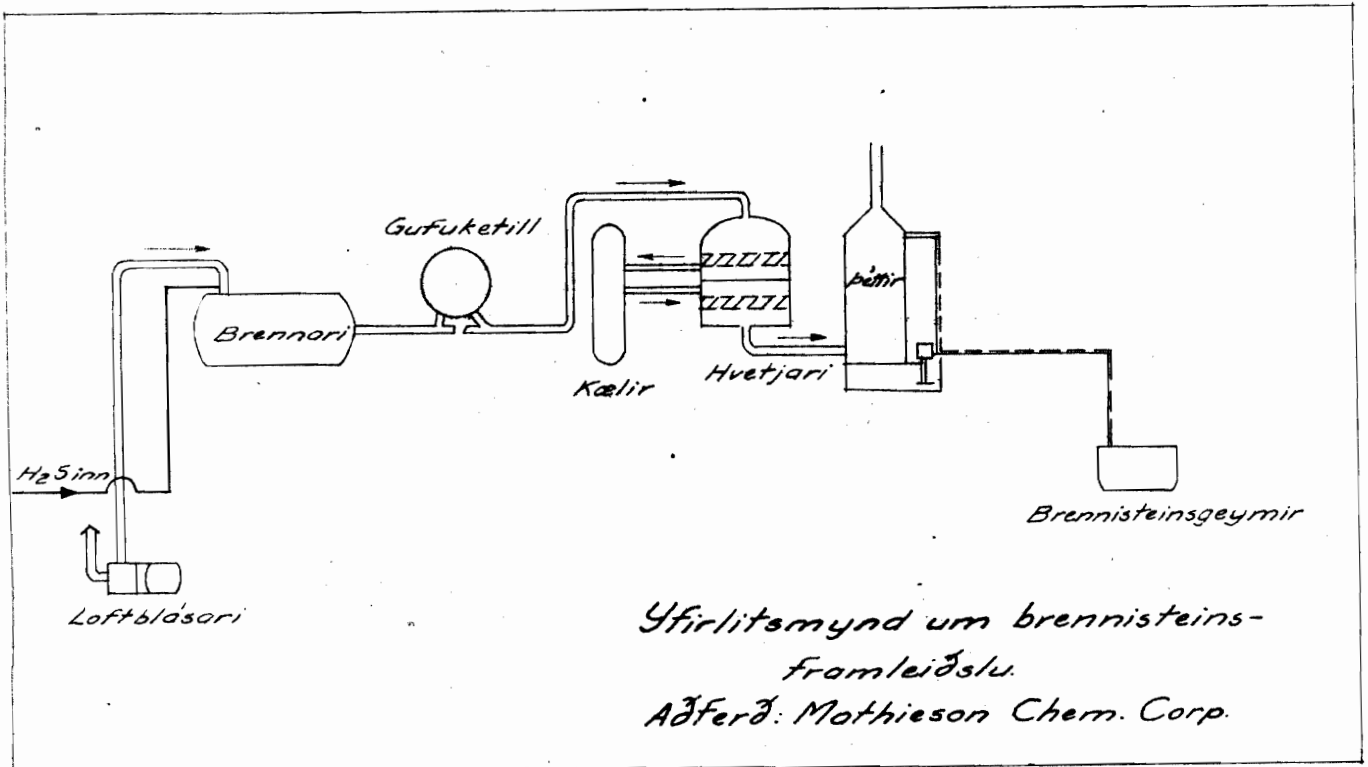
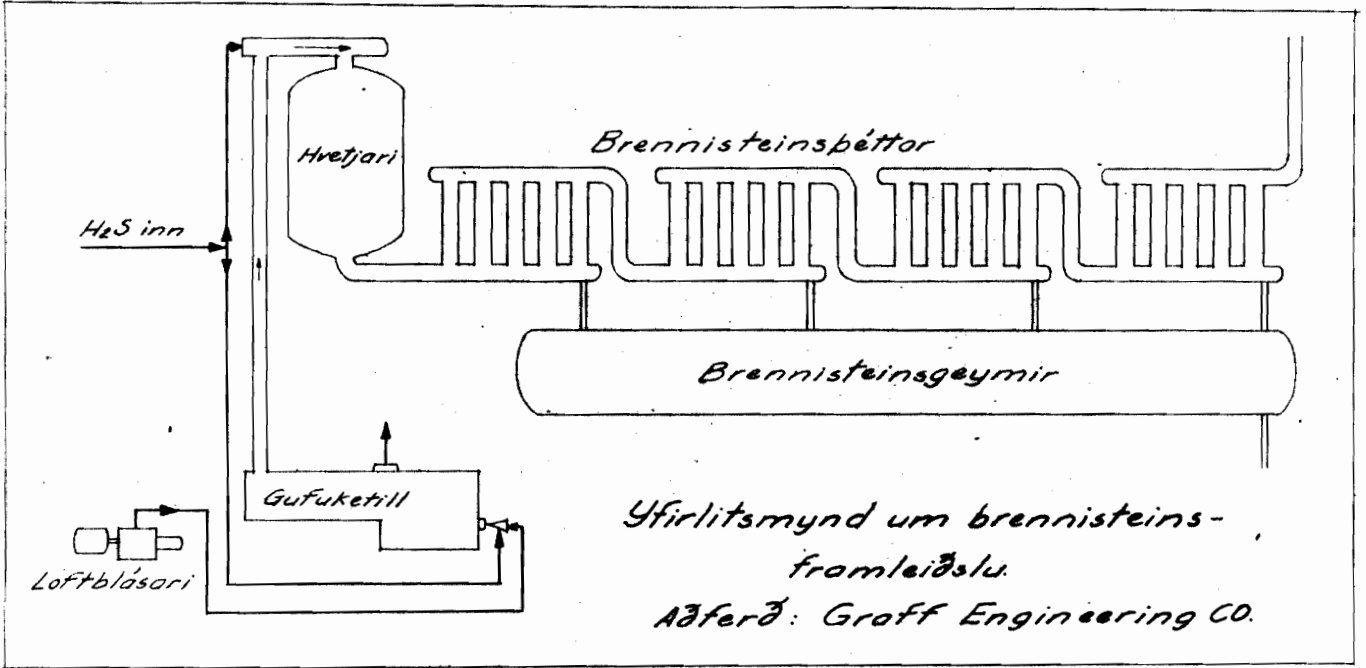
Undanfarna hálfu öld hefir obbinn af þeim brennisteini, sem notaður hefir verið í Evrópu, fluttst frá Bandaríkjunum. Hann var seldur svo vægu verði, að ítalskur brennisteinn var jafnvel ekki samkeppnisfær nema innanlands. Síðustu ár hefir brennisteinsþörf Bandaríska efnaiðnaðarins vaxið svo mjög, að fyrirsjáanlegt er að framleiðsla þeirra af brennisteini nægir ekki nema innanlandsþörfum, enda forðinn í námunum farinn mjög að réna. Þegar Bandaríkin drógu úr brennisteinsútflutningi til Evrópu á síðasta ári, fékk brennisteinsframleiðsla þar byr. Framleiðsluaukningin í Evrópu hefir einkanlega orðið í Ítalíu eins og vænta mátti. Ítalir framleiddu á síðastliðnu ári um 200 þús. smálestir. Bandaríkjamenn héldu samt ennþá áfram útflutningi á brennisteini til Evrópu, þótt það sé mun minna en þörf er fyrir.

Sá brennisteinn frá Bandaríkjunum, sem ennþá er fáanlegur í Evrópu kostar þar um £ 25 eða 1100-1200 ísl.kr./smálest.

Brennisteinsframleiðslan í Ítalíu er öll í höndum "Ente Zolfi Italiani", sem er stofnun, sem rekin er í sambandi við ítalska ríkið. Söluverð innanlands hjá þeim er 1040 kr./smálest, fobverð er 1570 kr./smálest, en cifverð í Vestur-Evrópu er um £ 40 á ítölskum brennisteini eða um 1800 ísl.kr./smálest.

Ef miðað er við áætlunina hér að framan, yrði cifverð á þeim brennisteini í Vestur-Evrópu um 1100 kr./smálest. Það verð virðist vel neðan þess, sem hægt er að fá fyrir hann.

Reykjavík í apríl 1952, Baldur Línal.



Raforkumálastjóri

Jarðborunardeild

Eng. 1587 - 26/2 '52 BL/JP

Viðbætur II.

Móvinnsla með jarðhita.

Mór á Íslandi.

Fyrir nokkrum árum lét Rannsóknarráð Ríkisins gera allvíðtækar mælingar á mólendi. Þessar athuganir voru að mestu miðaðar við það, hvort unnt yrði að afla brennsluefna fyrir þéttbýla staði á landinu. Þessar mælingar gefa því ekki heildaryfirlit yfir góðar mómýrar á landinu, en eru engu að síður mikilvæg undirstaða frekari rannsókna á þessu sviði. Rannsóknarráð hefur látið í té eftirfarandi tölur um áætlað mómagn nokkurra staða á landinu. Miðað er við loftþurran mó.

1. Árnes- og Rangárvallasýslur	yfir 20 milj. smál.
2. Nálægt Akranesi	15 " "
3. " Borgarnesi	5 " "
4. " Búðum, Snæfellsnesi	2½ " "
5. " Sauðárkróki	1 1/4 " "
6. " Húsavík	mikið

Af þessu má ljóslega sjá, að móforði landsins er mjög mikill. Sigurður Sigurðsson, fyrv. búnaðarmálastjóri, áætlaði, að 10.000 km² af mýrum væru á landinu. Af því áleit hann, að 3000 km² væru með meðalgildum mó (2½ m). Ef reiknað er með 250 kg af þvermó í m³ og 2 m þykkt, ætti hér að vera um 1500 milj. smálestir. Það er ástæða til að ætla að minnsta kosti einn tíundi hluti þess sé í aðgengilegum mómýrum, ef dæmt er út frá tölum Rannsóknarráðs.

Íslenskur mór er yfirleitt öskumikill, ef miðað er við það, sem gerist erlendis.

Samkvæmt skýrslu Trausta Ólafssonar 1938 um efnagreiningar á 90 sýnishornum víðsvegar af landinu, var askan að meðaltali 17,9 % miðað við 25 % raka í sýnishorni, en efri hitagildi að meðaltali 3360 kg^o/kg. Hitagildi hinna lífrænu efna var hinsvegar að meðaltali 5700 kg^o/kg

(efra gildi). Árið 1939 voru síðan enn efnagreind 119 sýnishorn. Reyndist meðalöskuinnihald þá 25,6 % og efra hitagildi að meðaltali 2860 $\text{kg}^{\circ}/\text{kg}$, hvorutveggja miðað við 25 % raka. Hitagildi lífræns efnis var þá að meðaltali 5320 $\text{kg}^{\circ}/\text{kg}$.

Af þessu má sjá, að ef miðað er við 25 % raka, má reikna með um 22 % meðalöskuinnihaldi, og að hitagildið sé um 3000 $\text{kg}^{\circ}/\text{kg}$. Meðalhitagildi hins lífræna efnis verður um 5500 $\text{kg}^{\circ}/\text{kg}$.

Til samanburðar má geta þess, að þýzkur mór inniheldur að meðaltali 4,5 % ösku miðað við 25 % raka. Efra hitagildi hans er 3930 $\text{kg}^{\circ}/\text{kg}$ en neðra gildi 3566 $\text{kg}^{\circ}/\text{kg}$. Ef miðað er við hið lífræna efni hans, fæst eftirfarandi:

Efra hitagildi	5574 $\text{kg}^{\circ}/\text{kg}$
Neðra hitagildi	5270 "
Gasmyndun við upphitun (900 $^{\circ}\text{C}$)	70 %

Efnagreining:

C	58,8 %
H ₂	5,7 %, frítt H ₂ 1,5 %
O ₂	33,4 %, bundið H ₂ O 37,6 %
N ₂	1,7 %
S	0,4 %

Meginmunurinn á þýzkum og íslenskum mó virðist því vera, að sá íslenski er mun öskumeiri.

Mótak og þurkun.

Hér er ekki ástæða til þess að ræða nákvæmlega um hinar ýmsu aðferðir, sem nú eru notaðar við mótak og móþurkun, enda mundi það langt mál. Hins vegar er eðlilegt að rifja upp, að framleiðsla þurmós er venjulega fólgin í eftirfarandi meginatriðum:

- 1) rannsókn mómyrarinnar
- 2) þurkun mómyrarinnar

- 3) upptaka mósins
- 4) færzla á þurkvöll
- 5) þurkun og endanleg meðferð mósins.

Ef nota á stórtækar vélar við mótak, þurfa þær að geta unnið reglulega og hindrunarlaust. Ef miða ætti við venjulega loftþurkun hér á landi, er auðséð, að geysileg skakkaföll gætu orðið á rekstri-
num vegna óþurka, hvar sem væri á landinu. Dýrar vélar þarf að nýta sem mestan hluta ársins. Með loftþurkun væri hinsvegar aðeins hægt að nýta þær seinni hluta vorsins og um hásumarið. Þurkun mósins er ekki aðeins hér heldur alls staðar annarsstaðar í heiminum höfuð-
þrándurinn fyrir hagnýtingu mósins.

Af eðlilegum ástæðum er ekki mikið um að notað sé annað en úti-
loftþurkun á mó erlendis. Þó virðist það algengt, þegar mór er notaður sem eldsneyti til raforkuframleiðslu, að loftþurka hann að-
eins niður í 50 % raka og vélþurka hann síðan niður í 10 % raka áður en hann er notaður. Gufa frá gufutúrbínunni er þá gjarna notuð sem orkugjafi, eða þá salli úr mónum.

Víða hér á landi eru hverir og laugar í grend ágættra mótöku-
svæða. Má þá einkum benda á Árnes- og Rangárvallasýslur, Borgarfjörð, Skagafjörð og Suður-Þingeyjarsýslu. Væri hægt að gizka á, að mómýr-
ar, sem gætu gefið af sér 10-20 milj. smálestir af þurmó, lægju vel við jarðhita.

Notkun jarðhita gerir móvinnsluna að sjálfsögðu óháða veðráttu, og víðast hvar á landinu mætti vinna 8 mánuði ársins að mótöku.

Til þess að hægt sé að gera sér grein fyrir því, hvort þurkun með jarðhita sé lausn á móvinnslumálinu, verður tekið dæmi hér sem sennilegt er að hafi margar hliðstæður í raunveruleikanum. Tækin, sem reiknað er með að notuð séu og fyrirkomulag vinnslu, er eflaust ekki það besta, sem völ er á. En þetta dæmi ætti að geta skýrt mál-
ið að mun.

Framleiðsla á mó með jarðhitapurkun. Grundvöllur 10.000 smál/ár.

Gerum ráð fyrir að við höfum mómýri, sem geymir $2\frac{1}{2}$ m þykkann meðalgóðan mó á svæði, sem er 1500 m langt og 700 m breitt. Ruðningurinn sé $\frac{1}{2}$ m. Mórinn í mýrinni er um 2,6 milj. m^3 . Ef við reiknum með 250 kg af þur mó í m^3 , ætti mýrin að geta gefið um 600 þús. smálestir af þur mó.

Það er sennilegt, að í nánd við þessa mýri væri holt, þar sem gott væri að byggja þurkhús. Gerum ráð fyrir, að þurkhúsið geti staðið 500 m frá mómýrinni. Frá þurkhúsinu til jarðhitasvæðisins séu 3 km.

Ef við gerum ráð fyrir, að tækin, sem við notum við mótakið krefjist lítillar framræslu á mýrinni, mætti áætla 100 þús. kr. í framræslu og annan undirbúningskostnað á mómýrinni sjálfri. Í vegagerð í sambandi við fyrirtækið skulum við áætla 200 þús. kr.

Mórinn sé tekinn upp með gröfu, sem sé með líku sniði og skurðgrafa. Stór skurðgrafa grefur $50 m^3$ pr. klst. Hún kostar 260 þús. kr. Ef við gerum ráð fyrir, að hægt sé að taka upp mó átta mánuði ársins og að unnið sé átta tíma dag hvern við gröftinn, þurfum við að taka upp sem samsvarar 50 lestum þurmós á dag, eða $25 m^3$ af blautmó pr. klst. ef miðað er við 250 kg af þur mó pr. m^3 af blautmó. Ein skurðgrafa á því mjög auðvelt með að afkasta ruðningi og mó. Í skurðum kostar hver grafinn m^3 um 3 kr., sé unnið 16 tíma á sólarhring. Hér mundi kostnaðurinn verða nálægt 4 kr. pr. m^3 af mó eða 16 kr. pr. smálest af þur mó.

Samhliða gröfunni skulum við hugsa okkur eltivél, sem gerir móinn að samfelldum graut og þynnir hann síðan út, þannig að úr verður sambland, sem inniheldur um 90 % vatn. Þetta á að vera nægilega þunnt til þess að þægilegt sé að dæla því frá eltivélinni alla leið til þurkhússins. Gerum ráð fyrir, að eltivélin og dælan kosti 300 þús. kr. og að reksturskostnaðurinn sé sá sami og á gröfunni, eða 16 kr. pr. smálest af þurru mó.

Við þurfum að dæla um 15 l/sek, og þurfum við því 5" leiðslu ef miðað er við eðlilegan hraða í leiðslunni. Ef við gerum ráð fyrir, að staður sá, sem við dælum til, standi 20 m hærra, og að leiðslurnar séu að meðaltali 1000 m langar, þarf dælan að geta dælt á móti að minnsta kosti 3 at. þrýstingi, þó ekki sé tekið tillit til núningsmótstöðu þeirrar, sem hið fasta efni í vatninu veitir. Hana er ekki hægt að reikna út með vissu, en vitað er að hún hækkar þessa tölu verulega.

Næst vinnsluvélunum er ráðgert að hafa beygjanlega leiðslu úr gúmmí eða öðru hentugu efni, en síðan asbeströr. Má hæglega koma þessu þannig fyrir, að hún geti legið á sama stað um mýrina um lengri tíma. Ef við gerum ráð fyrir, að leiðslurnar séu samtals 2000 m langar og að hver lagður meter í leiðslunni kosti 150 kr., mundu þær kosta 300 þús. kr.

Við þurkúsið mundi vatnið vera pressað úr og mórinn mótaður í teninga. Slík vél mundi kosta um 160.000 kr og við hana þyrfti einn mann. Reksturskostnaður mundi vera ca.8 kr. á smálest.

Nú er komið að þurkuninni. Til þess að þessi framleiðsla sé ekki háð veðrinu, er fyrirhugað að þurka móinn alveg með jarðhita.

Þurkari fyrir svo mikið magn af mó er að sjálfsögðu stór kostnaðarliður, og er því mikils vert, að vel takist með það atriði þessarar vinnslu.

Þegar mór er þurkaður frá 50 % vatni niður í 10 % raka, er venjulegt að nota þurkara, sem byggjast á kvikun (fluidization), en ef rakinn er meiri, þarf að láta nokkurn hluta þurra mósins fara í gegnum aftur. Ef hann er það blautur, sem hér er reiknað með, mundi slík þurkaðferð óhagkvæm.

Við samanburð á ýmsum þurkaðferðum hefur komið í ljós, að hagkvæmast muni vera hér að nota þurkara, sem þannig eru gerðir, að heitu lofti er blásið gegnum móstakka, þar sem kögglarnir hafa gott

loftbil milli sín. Hér er miðað við, að kögglar þeir, sem vélin býr til séu teningar, sem eru 10 cm á hvern kant. Kögglum þessum er raðað á vagna, sem renna á spori inn í þurkhúsið, þar sem þeim er komið fyrir hlið við hlið.

Í hverri þurksamstæðu eru 16 m löng tvísett göng. Á milli þeirra er lofthelt skilrúm. Heita loftinu er blásið inn um þessi göng á víxl, þannig að þegar loftið streymir frá hitaranum í öðrum ganginum, streymir það í áttina að hitaranum í hinum, því að opið er milli ganganna aftast. Hið raka loft er látið fara upp um stromp við hitarann.

Sé loftið hitað upp í 40 °C, og ef miðað er við 2 m/sek. lofthraða fram hjá kögglunum, mundi þurkunin taka 3-4 sólarhringa. Ef við reiknum með 50 % loftholi í þurkaranum, verða 125 kg í hverjum m³ af þurkaranum. Þarf 24-34 m³ í þurkara fyrir hverja smálest þurkaða pr. sólarhring. Ef þurkun fer fram allt árið (það er fremur auðvelt að geyma pressaðan mó blautan í kesti, þótt mótaþa sé ekki allt árið), þarf að þurka 30 lestir daglega. Þyrfti því um 1000 m³ þurkhol. Rúmtak þurkhússins þarf að vera 3 sinnum meira, eða um 3000 m³. Ef gert er ráð fyrir, að m³ í þessu þurkholi og byggingum kosti að meðaltali 300 kr., verður byggingarkostnaðurinn 900 þús. kr.

Einn mesti kosturinn við þurkarann er samt lofthitarinn og tæki í sambandi við hann. Ef við gerum ráð fyrir að hafa 90 °C heitt vatn, sem kólnar niður í 40 °C, verður meðalhitafall um 40 °C frá vatni til lofts. Þótt við göngum út frá háum lofthraða í hitaranum (5 kg loft/m², sek.), verður hitastuðullinn samt ekki nema um 40 kg^o/m², klst, °C. Við þurfum að losna við 90 lestir af vatni úr mólum pr. sólarhring, og í það þurfum við 60 milj. kg^o. Úr hverju kg af vatni fáum við 50 kg^o, og samsvarar þessi varmi því 1200 lestum af heitu vatni pr. sólarhring eða 50 lestum pr. klst., sem eru 14 l/sek. En þótt þurkunin sjálf þurfi ekki meiri varma en þetta, þarf að reikna með fremur lágri nýtni. Gerum ráð fyrir, að meðallofthiti við inntak sé 4 °C,

og að loftið sé 70 % mettað vatni. Við hitum þetta nú upp í 40 °C og hefir þá það loft daggpúkt við 18 °C. Hámarksvarmanýtni er því um 63 %. Ekki er kunnugt um að þurkunarrannsóknir, sem hægt er að styðjast við hér hafi verið gerðar á íslenskum mó. Sennilegt má þó teljast, að þurkhraðinn sé jafn frá því að mórinn kemur inn í þurkarann og inniheldur um 75 % vatn og þangað til hann er kominn niður í 50 % raka, sé miðað við sömu skilyrði allan tímann. Frá 50 % raka niður í 20 % raka mun þurkhraðinn fara þverrandi. Þremur fjórðu hlutum vatnsins mún því auðvelt að ná úr, og er þurkhraðinn þá hlutfallslegur við mismun þann, sem er á milli hitastigs loftsins í þurkaranum og daggpúktshitastigs sama lofts og lofthraðann í þurkaranum hins vegar. Hitastig yfirborðs mósins er þá það sama og daggpúkts loftsins. Milli 50 % og 20 % raka tekur yfirborð hans að hitna fram yfir það, sem daggpúkturinn segir til um.

Ef við gerum ráð fyrir, að hitinn á loftinu í þurkaranum fari hvergi niður fyrir 28 °C, verður varmanýtnin um 34 %. Vatnið sem þarf er því um 50 l/sek. Hit aflöturinn verður 4600 m². Ef miðað er við viftur, blásara, hjálpartæki og hitara, mun mega reikna með 200 kr/m², og eru þetta því 920 þús. kr.

Við þurkarann þarf 7 menn.

Nú er fyrirhugað að leiða vatnið 3 km í einangraðri asbestpípu. Ef við reiknum með 350 kr. pr. meter af leiðslu, kostar hún um eina miljón króna.

Stofnkostnaðaráætlun um 10.000 lesta móvinnslu með jarðhitapurkun.

	kr.
1. Rannsókn og þurkun á mýrinni	100.000.-
2. Vegagerð	200.000.-
3. Grafa	<u>260.000.-</u>
flutt kr.	560.000.-

	kr.
	flutt kr. 560.000.-
4. Eltívél og dælur	300.000.-
5. Móleiðslur	300.000.-
6. Móþjappa	160.000.-
7. Þurkhús	900.000.-
8. Þurkvélar	920.000.-
9. Heitavatnsleiðsla	<u>1000.000.-</u>
	Samtals kr 4.140.000.- =====

Rekstursáætlun um þurkunina:

	kr.
1. Blautur, mótaður mór	490.000.-
2. Rafmagn, 800 þús. kWst á 25 auru	200.000.-
3. Vinnulaun, 7 menn með 35 þús. kr.	245.000.-
4. Yfirumsjón og skrifstofukostnaður	75.000.-
5. Viðhald, 4% af 2,8 milj. kr.	110.000.-
6. Ýmis kostnaður	100.000.-
7. Afskriftir á 15 árum, 6% vextir af 2,8 milj. - 10%	<u>280.000.-</u>
	Samtals kr. 1.500.000.- =====

Þessi reksturskostnaður samsvarar kr 150,- pr. smálest af þurrum mó.

Það skal tekið fram, að gjald fyrir mótakið og heita vatnið er ekki reiknað með hér.

Reykjavík í apríl 1952.

Baldur Líndal.

