

ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

FRAMLEIÐSLUKOSTNAÐUR GUFU Á HÁHITASVÆÐI.

Eftir

Guðmund Guðmundsson

## FRAMLEIDSLUKOSTNAÐUR GUFU Á HÁHITASVÆDI.

Litil reynsla er enn fengin af gufuframleiðslu með borun á íslenzkum háhitasvæðum. Kostnaður við undirbúningsrannsókn háhitasvæða er samilega þekktur eftir því sem unnt er um sílikan lið.\* Nokkur reynsla er fengin af borun og sýnir hún m.a. að mikill munur getur verið á kostnaði við jafndjúpar holur með sama bor. Hér verður fjallað um kostnað við að framleiða ákveðið magn af gufu um langan tíma.

Aðeins ein borhola á íslenzku háhitasvæði hefur blásið að staðaldri í mörg ár, holan í Krísvík. Litlar mælingar eru til á henni, en hún gefur nú af sér um 15 tonn ~~ef gufu~~ á klst. og bendir reynslan af henni því til að holan haldi lengi a.m.k. hluta af upphaflegum afköstum. Krísvík er sérdeilis kvíkur staður og bendir ending holunnar því til að borholur séu ekki bráðnar fyrir jarðskjálftum.

Reynsla hér og annars staðar bendir til að afköst holu séu mest fljóttlega eftir að hún byrjar að blása og minnki síðan með tímanum. Þetta getur stafað af því að gengið sé á vatnsforða í bergenú næst holunni og myndi afkastagetan þá aukast aftur ef holunni er lokað. Ef breytingarnar stafa af útfellingu steinefna í aðrennslisrásum að holunni verður rýrnunin varanleg. Einnig geta komið fram varanlegar breyttingar ef heildarafköst svæðisins eru meiri en aðrennsli að því. Hér verður ekki reynt að meta stærð þeirra þátta er breyta afköstum á vinnsluholum með tímanum en reynt að gera kostnaðarhlíðinni nokkur skil við ýmis konar hugsanlega hegðun svæðisins.

Helstu kostnaðarhlíðir við vinnsluholur eru borun, fóðrun og innkaup og flutningur á gufuveitum. Borkostnaður + fóðrun er nú ámtlaður 5.5 m kr. og innkaupsverð og frágangur gufuveitu á holu 3.0 m kr. Gufuveitan eyðist smám saman af tæringu meðan hún er í notkun. Verður oftast reiknað með

\*Áætlun um rannsókn háhitasvæða eftir Sveinbjörn Björnsson 1969.

20 ára endingartíma en einnig könnuð áhrif frávika frá þessum tæringartíma á kostnaðaráætlunar, Kostnaður við að flytja gufuveitu milli holna er talinn 0.9 m kr. Við eftirfarandi útreikninga verður höfð hliðsjón af núverandi gufuvinnslu við Námafjall og gert ráð fyrir að upphafleg afköst holu séu 28% af því sem þarf að fá af svæðinu.

Rýrnun á afköstum varanleg.

Það er flókið viðfangsefni að finna feril sem afköst gufuholu breytast eftir. Því verður ekki sinnt hér, en við kostnaðarútreikninga verður stuðst við formúluna

$$Q(t) = B + Ae^{-\lambda t}$$

þar sem  $t$  er tíminn sem holan er búin að blása og  $A$  og  $B$  eru konstantar. Heildarmagnið sem vinna þarf úr öllum holunum er 1 og  $A+B = 0.28$ . Með því að bora fyrst 4 holur og bæta síðan einni við jafnöðum og heildarafköstin falla niður fyrir lágmarkskröfurnar fjölgar holunum smátt og smátt í  $1/B$  holur. Fyrsta mynd, Fnr. 9536, sýnir  $e^{-\lambda t}$  fyrir nokkur gildi á  $\lambda$ . Holufjöldinn er sýndur sem fall af tíma fyrir nokkur gildi á  $B$  og  $\lambda$  á línlínum 2-9, Fnr. 9537.

Fyrstu 20 árin er kostnaður við að bora nýjar holur og kaupa og koma fyrir veitum við þær. Eftir það byrjar endurnýjun á veitum fyrir elztu holurnar. Tímabilið milli nýrra borana lengist smátt og smátt og eftir að búið er að bora  $1/B$  holur er eini kostnaðurinn endurnýjun á gufuveitum og nemur hann að meðaltali  $3.0/20B$  m.kr. á ári.

Viðhaldskostnaður vegna tæringar verður hár þegar  $B$  er lágt. Ef afköst holu minnka hægt, þ.e.a.s.  $\lambda$  lágt, getur verið hagkvæmara að nýta hverja holu aðeins ákveðinn árafjölda og bara þá nýja holu. Samkvæmt því sem nú verður ráðið um stærð  $B$  og  $\lambda$  er ólíklegt að slík tilhögun borgi sig hér.

Um afköst holu sem fellur vegna tæmingar á vatnsforða í gegndræpu bergi verður stuðst við svipaða formúlu og áður, þ.e.a.s.

$$Q(t) = B + Ae^{-\lambda(t_0+t)}$$

meðan holan fellur og afkastagetan meðan hún hvílist er  
$$Q(t) = B + A(1-e^{-\lambda(t+t_0)}).$$

Þegar opnað er fyrir holu eða henni lokað er t sett = 0 og staðin tó ákveðin þannig að Q(t) lendi á réttum stað á ferlinum

$$Q(t) = B + Ae^{-\lambda t} \quad \text{eða } Q(t) = B + A(1-e^{-\lambda t}).$$

Þegar holur ná sér að fullu eins og hér er gert ráð fyrir má reka svæðið að staðaldri við hærri afköst en B frá hverri holu sem blæs, án þess að bæta neinum nýjum holum við eftir að vissum holufjölda er náð. Endurnýjunarkostnaður við veiturnar verður þá lægri en með því að nota 1/B holur sem hver gefur gufumagnið B.

Hæstu meðalafköst holu sem blæs og bíður til skiptis eru  $Q = \frac{1}{2}(B + \frac{1}{2}A)$  og fást með því að vera stöðugt að skipta og vera um miðbik kúrvunnar, ~~þeir~~ ~~þetta~~ gildir einnig þótt A sé ekki margfaldað með expónentialfunksjón heldur einhverri funksjón f(t) sem hefur

$$\frac{d^2 f}{dt^2} > 0$$

og ferlinum snúið við meðan holan hvílist.

Við þessa tilhögun væri bezt að láta veiturnar vera um kyrrt á holunum.

Holufjöldinn yrði

$$N = 2/(B + \frac{1}{2}A)$$

og meðalviðhaldskostnaður eftir að borun lýkur

$$K = \frac{1}{2}N/nt$$

þar sem nt er endingartími gufuveitunnar.

Ef holan er látin blása og hvílast til skiptis jafn lengi flyzt hún smám saman að réttum stað á kúrvunni hvort sem byrjað er að skipta ofan eða neðan við  $Q = B + \frac{1}{2}A$ .

Holufjöldi samkvæmt þessari hegðun svæðisins er einnig sýndur á línum 2-9, Fnr. 9537.

#### Vextir og samanburður við aðrar orkulindir.

Við samanburð á gufuvinnslu og öðrum orkulindum eru vextir mikilvægur liður og sömuleiðis við að meta framleiðsukostnað

vöru sem notar þessa orku.

Ríkið hefur nánast ótæmandi lánamöguleika innanlands, annað hvort með því að auka peningamagnið með skuldasöfnun hjá Seðlabanka eða skerða hlut annara lántakanda hjá bönkum og fjárfestingalánastofnunum. Akvarðanir um lántökur ríkisins fara mest eftir mati á áhrifum þessara kosta og vaxtaprósentan skiptir litlu máli. Vegna mikillar og breytilegrar verðbólgu er erfitt að meta kostnað við innlendar lántökur og viðhorfið gjörólikt eftir því hvort um ríki, sveitarfélag eða einkaaðila er að ræða.

Kostnaður við að nota erlent lánsfé fer eftir vaxtaprósentið unni. Ef áætlaður kostnaður við gufuvinnsluna og það sem framleitt er með henni er mælt á ríkjandi verðlagi þarf að taka tillit til verðbólgu þegar vaxtakostnaður er reiknaður. Verðlag á þeim vörum sem mest gætir í utanríkisverzlinn iönaðarríkja hefur varla hækkað meira en 1-2% á ári eftir síðustu heimsstyrjöld, og er það mun minna en hækkun framfærslukostnaðar. Upp á síðkastið hefur verðbólga aukist í Bangaríkjunum og víðar og er nú líklega rétt að ræikna með nokkru meiri verðhækkun, t.d. 2-3% á ári.

Lán til langs tíma vegna gufuvinnslu til útflutningsiðanaðar rýra ekki greiðslugetu ríkisins, og þar með lánamöguleika til annarra framkvæmda eða neyzlu, svo fremi áætlun um afvakstur framkvæmdanna stenzt. Sviðað er að segja um hitaveitu sem kemur í stað olímyndingar.

Hagkvæmustu virkjanir á vatnsafli eru miklu stærri en árleg aukning á almennri orkunotkun. Þetta veldur því að mannvirki nýtast illa framan af nema unnt sé að hefja orkufrekan iönað um leið og virkjun tekur til starfa. Kostnaður við gufuvinnslu er nær því að vera í réttu hlutfalli við gufumagnið. V

Vaxtakostnaður gufuveitu er hlutfallslega læggi en annara orkungjafa jafnvel þótt hægt sé að selja alla orkuna þegar í stað. Þetta stafar af því að þótt orkuverið sé endanlega rekið með  $N=1/B$  eða  $2/(B+\frac{1}{2}A)$ , eftir því hvort afköst-in falla varanlega eða ná sér aftur, má hefja fulla orku-

vinnslu með  $1/(A+B)$  holum og bora hinar smátt og smátt.  
Pennan ávinnung má meta á eftirfarandi hátt:

Með  $A = 0.2$ ,  $B = 0.08$  og  $\lambda = 0.328$  þarf 13 holur ef þar nái sér ekki en annars 12. Ef allar holurnar varu boraðar undir eins þyrfti 110.5 eða 102 m. kr. En með 6% vöxtum varí hegt að ljúka fyrri virkjuninni ef 85 m. kr. væru til við upphaf framkvæmda og þeirri síðari með 87.5 m. kr.

#### Rannsókn meðan á virkjun stendur.

Rannsóknir sem nú er unnt að gera áður en byrjað er að nýta gufuorku af háhitasvæði veita góða vitneskju um viðáttu svæðisins. Einnig fæst nokkur þekking um upphafleg afköst hjá vinnsluholum og líkurnar á því hvort heildar- og afkastageta svæðisins minnki með langvarandi viðslu á ákveðnu gufumagni. Jarðlög og hitaástand eru og allvel þekkt. Kvantitativ þekking á langvinnnum breytingum á svæðum og einstökum holum er lítil. Ámtlanir um kostnað við orkuframleiðslu með gufu eru því miklu ónákvæmari en kostnaðarámtlanir við aðra orkugjafa. Til dæmis má nefna að ef upphafleg afköst holu eru 28 tonn/klst og falla smátt og smátt í 8 tonn/klst þarf að bora 13 holur til að fá að staðaldri  $>100$  tonn/klst af svæðinu ef holurnar nái sér ekki aftur en 12 ef þar nái sér aftur með  $\lambda = 0.328$ . Tæringarkostnaður eftir að borun er lokið er 1.9 m.kr/ár í fyrra tilfelli en 0.9 m.kr/ár í hinu síðara.

Línuritin sýna að heildarkostnaður og dreifing hans á bortimann er náður fyrir starð konstantanna sem hér hafa verið notaðir til að lýsa eiginleikum holanna. Þekking á starð þeirra er nú lítil og kostnaðarámtlanir að því skapi ónákvæmar.

Mikill áhugi er nú meðal stjórnálamanna á að auka hér iðnað er notar mikla orku. Virðist líklegt að teknar verði stórar ákvarðanir varðandi nýtingu háhitasvæða áður en löng reynsla verður fengin af Námafjallssvæðinu.

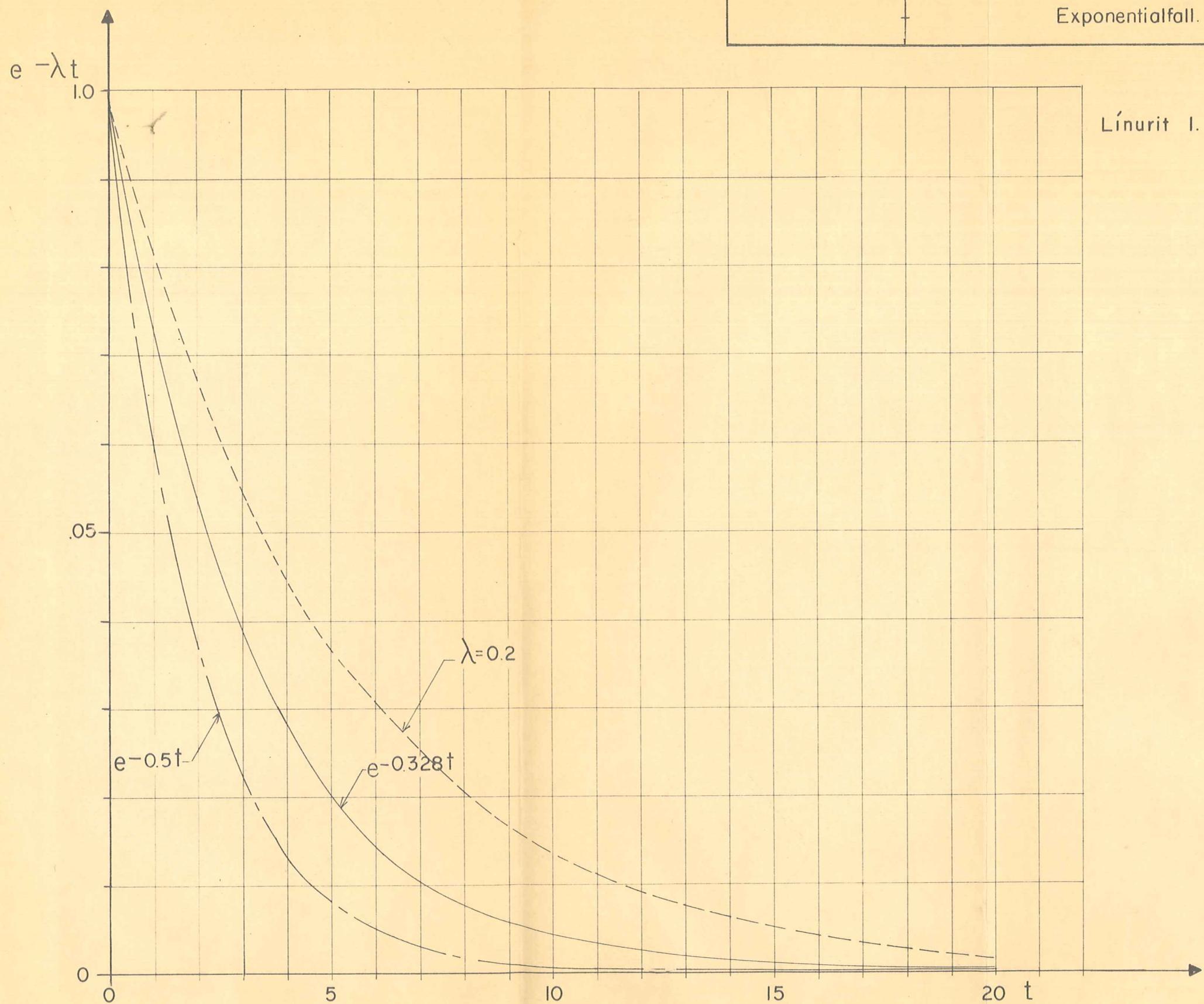
Við rekstur þess fæst smátt saman betri vitneskja um jarðhitann þar. Sjálfsagt er að gera tíðar mælingar á afköst-

um, þrýstingi, hita og efnasamsetningu við allar holurnar. Eg tel rétt að reyna að haga rekstri fyrstu holanna á sem ólíkastan hátt þannig að 2-3 holur verði stöðugt látnar blása en 1-2 holur hvíldar hvenær sem unnt er vegna árstíðasveiflu í gufunotkun.

Borhola raskar ástandi vatnsins næst holunni. Mælingar á henni eru því ekki þáin athugun á einkennum svæðisins. Það eru horfur á að gera þurfi ámtlanir um langtímapróun háhitasvæða þar sem helxtu gögn til að styðjast við séu óbeinar mælingar um stuttan tíma á eiginleikum Námafjalls-svæðisins. Það þarf því að leggja kapp á fræðilega rannsókn á háhitasvæðum. Gera þarf líkön að svæðunum sem segi fyrir þróun svæðisins við ákveðna orkuvinnslu umfram náttúrulegt varmatap. Sömu þattir í líkönunum og stjórna langtímapróun þurfa einnig að hafa áhrif á eitt hvað sem hagt er að mala. Þær fræðigreinar sem líklega kemmu þarna mest við sögu þegar búið er að kanna eftir föngum gerð jarðlaga eru hegðun vatns og gufu og jarðefnafræði. Ástæða er til að kunnáttumenn í þessum fræðum byrji nú að vinna að fræðilegum rannsóknum á vatnskerfi Námafjalls-svæðisins, m.a. til að tryggja að ekki farist fyrir að gera þar mælingar er að gagni geta komið við að gera líkön af háhitasvæðum.

September 1970,

Guðmundur Guðmundsson



HOLUFJÖLDI Í NÁMASKARDI.  
Línurit 2 og 3