

VATNSSTÖÐUMÆLINGAR Í BORHOLUM VIÐ ELLIDAÁR Í JÚLÍ 1968-
MARZ 1969

Eftir

Þorstein Thorsteinsson

Hitaveita Reykjavíkur

Apríl 1969

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

VATNSSTÖÐUMÆLINGAR Í BORHOLUM VIÐ ELLIDAÁR Í JÚLÍ 1968 -
MARZ 1969

Eftir

Þorstein Thorsteinsson

Inngangur

Greinargerð þessi er um vatnsstöðumælingar, sem gerðar voru í borholum við Elliðaár og nágrenni á tímabilinu júlí, 1968 til marz, 1969. Dælt var úr holum G 23 og G 26 og mælingar gerðar á vatnsstöðu þeirra og annarra nálægra hola.

Við úrvinnslu mælinganna kom í ljós, að vatnsstaðan í holunum fylgir mjög vel misvægislíkingu Theis frá 1935, og er hún notuð til útreikninga á rennslisstuðlum svæðisins og til að spá fyrir um vatnsstöðulækkun á svæðinu við mismunandi vatnsmagn úr borholunum og mismunandi staðsetningu þeirra.

Misvægislíking Theis er:
$$h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

þar sem $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

- t = Tími liðinn frá upphafi eða lokum dælingar, sek.
- h = Vatnsstöðuhækkun eða lækkun, m
- Q = Vatnsmagn úr vinnsluholu, m³/sek
- r = Fjarlægð mælingarholu frá vinnsluholu, m
- T = Heildarvatnsleiðni, m²/sek eða rennsli í m³/sek, við ríkjandi hitastig og 100% þrýstingsfall, um meters breiða ræmu sem er þykkt vatnsleiðarans, í metrum, á hæð.
- S = Geymslustuðull. Rúmmál þess vatns, sem leiðarinn missir eða fær á hvern m² við eins meters þrýstingslækkun eða hækkun. (m³/m³)

Líkingin gerir ráð fyrir fjaðurmögnuðu, eingerðu vatnsgengu jarðlagi, endalausum viðáttu, láréttu eða hallandi, milli tveggja vatnspéttra jarðlaga. Ennfremur að leiðnin, T , sé allsstaðar hin sama og að vatnið losni úr laginu vegna þjöppunar þess og þennslu vatnsins við lækkaðan þrýsting.

Lausnin á $\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$, sem til hægðarauka

er skrifað $W(u)$, er röðin

$$\left[-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} \dots \right]$$

Töflur (Smithsonian Physical Tables, 1933) eru til á prenti yfir gildi á $W(u)$ fyrir mismunandi gildi á u .

Rennslisstuðlana, T og S , er hægt að finna með samanburði á mældum ferli h á móti t og reiknuðum ferli $W(u)$ á móti $\frac{1}{u}$. Þá má einnig finna úr líkingunni

$$h = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0.5772 - \ln u \right] = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 T}{r^2 S} + \frac{2.3Q}{4\pi T} \log t$$

eftir að u er orðið lítið (< 0.02) í samanburði við $\ln u$. Ferill þessarar líkingar verður þá bein lína með hallanum $\frac{2.3Q}{4\pi T}$.

Út frá rennslisstuðlunum, S og T , er síðan, fræðilega séð, hægt að reikna vatnstöðu hvar og hvenær sem er innan áhrifasvæðis vatnsvinnsluholu.

Sé leiðari ekki endalaus að viðáttu, heldur takmarkist á einn eðan fleiri vegu t.d. af óvatnsgengum jarðlögum, má samt nota líkinguna með því að staðsetja spegilholur handan takmarkanna, þannig að þær upphefji áhrif þeirra og geri leiðarann reiknislega endalausan að viðáttu. Takmörkin má oft staðsetja eftir vatnstöðuferlum mælingarhola og þekktri jarðfræði svæðisins. (Ferris, 1949)

Borholur

Á tímabilinu nóv. 1967 - okt. 1968, voru boraðar sex holur á svæðinu með Gufubor ríkis og Reykjavíkurborgar fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Áður hafði hitaveitan látið bora fimm grynri holur og Vatnsveita Reykjavíkur eina. Tvær af holum Gufubors hafa verið virkjaðar með borholudælum, hola G 23 í jan. 1968 og G 26 í nóv. 1968. Af grynri holunum eru tvær nýttar, H 35, sem gefur 1/2 l/sek, 35°C, með sjálfrennsli og H 20, sem gefur svipað magn með barkadælu. Staðsetning holanna er sýnd á Fnr. 8511 og Fnr. 8512, en Fnr. 8793 sýnir dýpt þeirra, lengd og þvermál fóðurrörs og vatnsæðar.

Jarðlög

Ef undan er skilin hola G 24 og að nokkru leyti hola G 25, eru jarðlög þau sömu og í svipuðu dýpi í öllum holum á svæðinu. Sömu jarðlög koma einnig fram í holum G 24 og G 25, en auk þeirra koma þar fram grófkornótt, lítið ummyndað, basaltlög.

Jarðlögin eru í stórum dráttum þessi: Yngri grágrýtismyndun, sem nær niður í - 30 til - 40 m y.s., eldri grágrýtismyndun í - 400 til - 450 m y.s., grófkornótt olivín basaltmyndun, sem víða er bólstruð, í -650 til 700 m y.s., þá basaltlög með millilögum í - 840 til - 870 m y.s. Þar tekur við ummyndað túff, sem nær niður í - 980 til - 1020 m y.s. og síðan ummyndað basaltlög með millilögum.

Vatnsstöðumælingar

Reglubundnar vatnsstöðumælingar voru gerða á tímabilinu júlí 1968 til marz 1969, en í þessari greinargerð er að miklu leyti stuðzt við mælingar frá des. 1968 til marz 1969.

Vegna óreglubundnar vatnsvinnslu og ýmissa framkvæmda á svæðinu, reyndist ekki unnt að fylgja fyrirfram gerðri áætlun við mælingarnar, heldur varð að haga þeim að miklu leyti eftir aðstæðum hverju sinni. Boranir og rennslisprófanir í holum G27 og G28 stóðu fram í októberlok. Virkjunarframkvæmdum við holur G23 og G26 lauk ekki fyrr en síðari hluta nóvembermánaðar og loks olli óstöðug dæling úr vinnsluholunum erfiðleikum við mælingar og úrvinnslu þeirra.

Í upphafi tímabilsins er vatnsstaðan í öllum holum á svæðinu, að undanskildum holu H39 og holu við Gamla Klakhús, ofan við jarðaryfirborð, allt að 50 metrum í G23. Hún helzt þar allt tímabilið í holum G24, G25, H35 og H41 en lækkar niður fyrir það í holum G23, G26, G27 og G28, þegar dælt er úr vinnsluholunum, G23 og G26.

Mælingar voru gerðar með Bourdon þrýstimæli, þar sem vatnsstaðan var yfir jarðaryfirborði, en með rafmagnskapli, þar sem hún var neðar. Síritandi vatnsstöðumælar voru notaðir í holum G27 og G28.

Afkastaferill borholudælu í G26 var notaður til að reikna vatnsstöðu holunnar. Dagana 21.3. og 23.3. var reiknuð vatnsstaða holunnar -25,3 m og -10,7 m frá fóðurrörsbrún en mældist á sama tíma með rafmagnskapli -24,55 m og -10,60 m, sem er innan við meter frá reiknuðu vatnsstöðunni.

Úrvinnsla mælinga

Rennslisstuðlarnir, T og S, voru ákvarðaðir með samanburði ferilsins $W(u)$ á móti $1/u$ við melda ferla vatnsstöðulækkunar eða hækkunar í mælingarholu á móti tíma frá upphafi eða lokum dælingar úr vinnsluholu. Logaritmiskir kvarðar voru notaðir til hagræðis. Eftirfarandi tafla sýnir gildi stuðlanna í mælingarholum og vinnsluholum.

Dags.	Mælingar- hola	Vinnslu- hola	T sek.1/m	S
22.11.'68	G23	G26	2.9	2.3×10^{-4}
18.7. '68	G26	G23	2.8	2.5×10^{-4}
22.11.'68	G27	G26	2.9	2.4×10^{-4}
23.4. '69	G27	G23	4.6	3.1×10^{-5}
15.11.'68	G28	G23	2.9	1.6×10^{-4}
29.11.'68	G28	G26	4.1	5.1×10^{-4}
8.9 '68	G25	G28	0.3	4.1×10^{-5}

Nokkurs misræmis gætir í gildi stuðlanna, sérstaklega á S, en þess er að vænta, þegar tekið er tillit til þess, að haga hefur þurft mælingum eftir vatnsvinnsluþörfum og virkjunarframkvæmdum.

Rennslisstuðlar úr G25 voru fengnir við frjálst rennsli, 2.7 sek.1, úr holu G28 þegar hún var 336 metrar á dýpt. Þeir eru í samræmi við stuðla, sem fengust úr holu H41 22.-29.11.'68 og eru sennilega rennslisstuðlar eldri grágrýtismyndunarinnar, sem nær niður í 400 til 500 metra dýpt.

Innstreymisstuðlar vinnsluholanna, G23 og G26, voru reiknaðir eftir jafnvægislíkingunni (Thiem 1906)

$$h_v = h_o + \frac{2 \cdot 3 Q}{2 \pi T} \log \frac{r_o}{r_v}$$

h_v = vatnsstöðulækkun í vinnsluholu

h_o = vatnsstöðulækkun í mælingarholu

r_o = fjarlægð mælingarholu frá vinnsluholu

r_v = þvermál vinnsluholu.

Reiknuð er vatnsstaða í vinnsluholu út frá vatnsstöðu í nálægri mælingarholu og gert ráð fyrir að mismunur mældrar vatnsstöðu, h_m , og reiknaðrar vatnsstöðu, h_r , jafngildi innstreymismótstöðu vinnsluholunnar. Sé ennfremur gert ráð fyrir að innstreymismótstaðan standi í beinu hlutfalli við Q^2 , verður innstreymisstuðull holunnar $\frac{h_m - h_r}{Q^2}$. Þannig fékkst innstreymisstuðullinn 0.011 m/sek.^2 í G23 en 0.0091 m/sek.^2 í G26

Vatnsstöðuferlar mælingarhola benda til þess að víðátta vatnsgengu jarðlaganna á svæðinu sé ekki endalaus, heldur takmarkist þau á a.m.k. tvo vegu af óvatnsgengum jarðlögum. Sýnt hefur verið fram á (Ferris, 1949), að við hagstæð skilyrði er unnt að staðsetja takmörkin með staðsetningu spegilvinnsluhola handan takmarkanna, sem upphefja áhrif þeirra. Takmörkin liggja mitt á milli vinnsluholu og spegilholu hornrétt á tengilínu þeirra. Fjarlægð spegilholu frá mælingarholu má fá úr hlutfallinu $\frac{t_1}{r_1^2} = \frac{t_2}{r_2^2}$ þar sem r_1 og r_2 eru fjarlægðir mælingarholu frá vinnsluholu og spegilholu en t_1 og t_2 er tími frá upphafi dælingar, sem þarf til þess að vinnsluhola og spegilhola orsaki sömu vatnsstöðulækkun í mælingarholu. Til þess að staðsetja spegilholu og þar með endamörk vatnsgengu jarðlaganna, þarf því a.m.k. þrjár mælingarholur.

Vatnsstöðuferill úr holu G27, 23.3.'69, bendir til tveggja óvatnsgengrú takmarka. Annað í 910 metra fjarlægð en hitt í 4050 metra fjarlægð frá G27. Með vatnsstöðuferlum úr holum G23, G26 og G28 hefur tekizt með nokkurri vissu að staðsetja nálægari takmörkin um 150 metrum í norðvestur frá því sem þau eru sýnd á Fnr. 8511. Fjarlægari takmörkin hefur enn ekki tekizt að staðsetja.

Tilraun var gerð til þess að spá fyrir um vatnsstöðu í holu G23 við mismunandi vatnsvinnslu og mismunandi staðsetningu annara vinnsluhola (Fnr. 8511 og Fnr. 8778). Notaðir voru stuðlarnir $T = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sek}$ og $S = 5 \times 10^{-5}$ og gert ráð fyrir óvatnsgengum skilum nær vinnsluholunum en þau raunverulega eru, til þess að vega upp á móti áhrifum fjarlægari

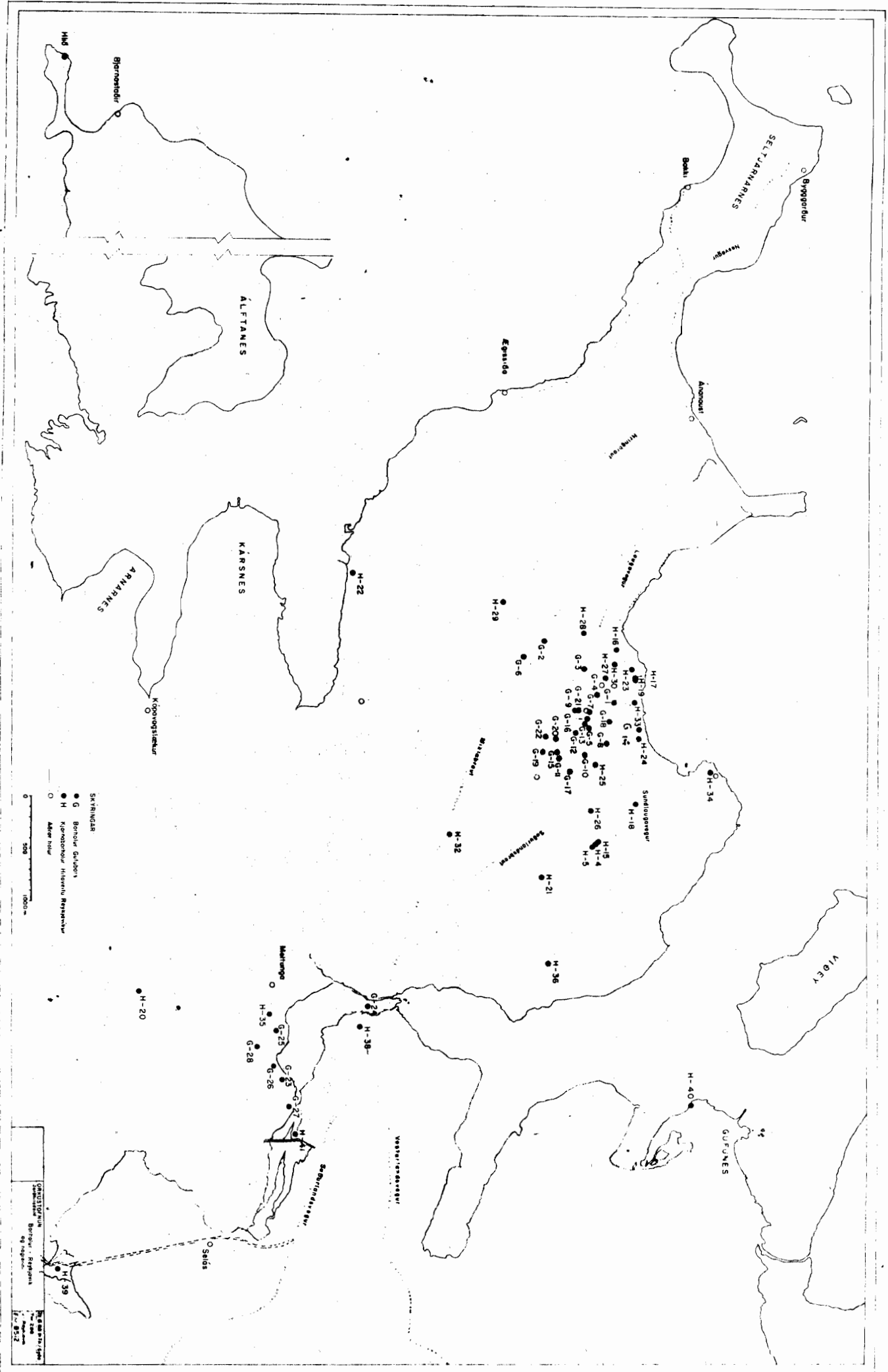
skilanna, sem enn hefur ekki tekizt að staðsetja. Þessir reikningar benda til að við 200 sek.1 vatnsvinnslu valdi vinnsluhola staðsett við A, í 80 metra fjarlægð frá G23, 10 metrum meiri vatnsstöðulækkun í G23 en vinnsluhola staðsett við C í 850 metra fjarlægð.

LOFTÞYNGD OG SJÁVARFÖLL

Áhrif loftþyngdar og sennilega sjávarfalla koma fram í holum þar sem síritandi vatnsstöðumælum varð við komið, en þar voru G 27 og G 28 við Elliðaár og H 41 í Gufunesi. Ójöfn dæling úr vinnsluholum olli þó enn sem fyrr erfiðleikum við ákvaranir þessara stærða og hvort um sjávarföll eða bein áhrif tungls og sólar var að ræða. Áhrifin sem orsakast gætu af sjávarföllum eru 1.5-2.5% af hæðarmismun flóðs og fjöru í holum G 27 og G 28 og fasafrávik 90-120 mínútur. Þau eru 22% með litlu sem engu fasafrávik í holu H 41 þar sem sjávarföll eru örugglega orsök þeirra.

Ef gert er ráð fyrir rennslisstuðlunum $T=4$ sek.1./m og $S=10-4$ í holum G 27 og G 28 og að áhrifin orsakist af mismunandi fargi á vatnshelda vatnsleiðara holanna við mismunandi sjávarhæð, gæti uppruni fargsins verið í 1400-1600 metra fjarlægð frá holunum eða í Elliðaárvogi eða Grafarvogi og áhrifin þar verið um 20% af hæðarmismun flóðs og fjöru.

Áhrif loftþyngdarbreytinga á vatnsstöðuna í holunum er um 80% þannig að hækkun loftþyngdar um 1 millibar veldur 0.8 cm lækkun á vatnsstöðu holanna.

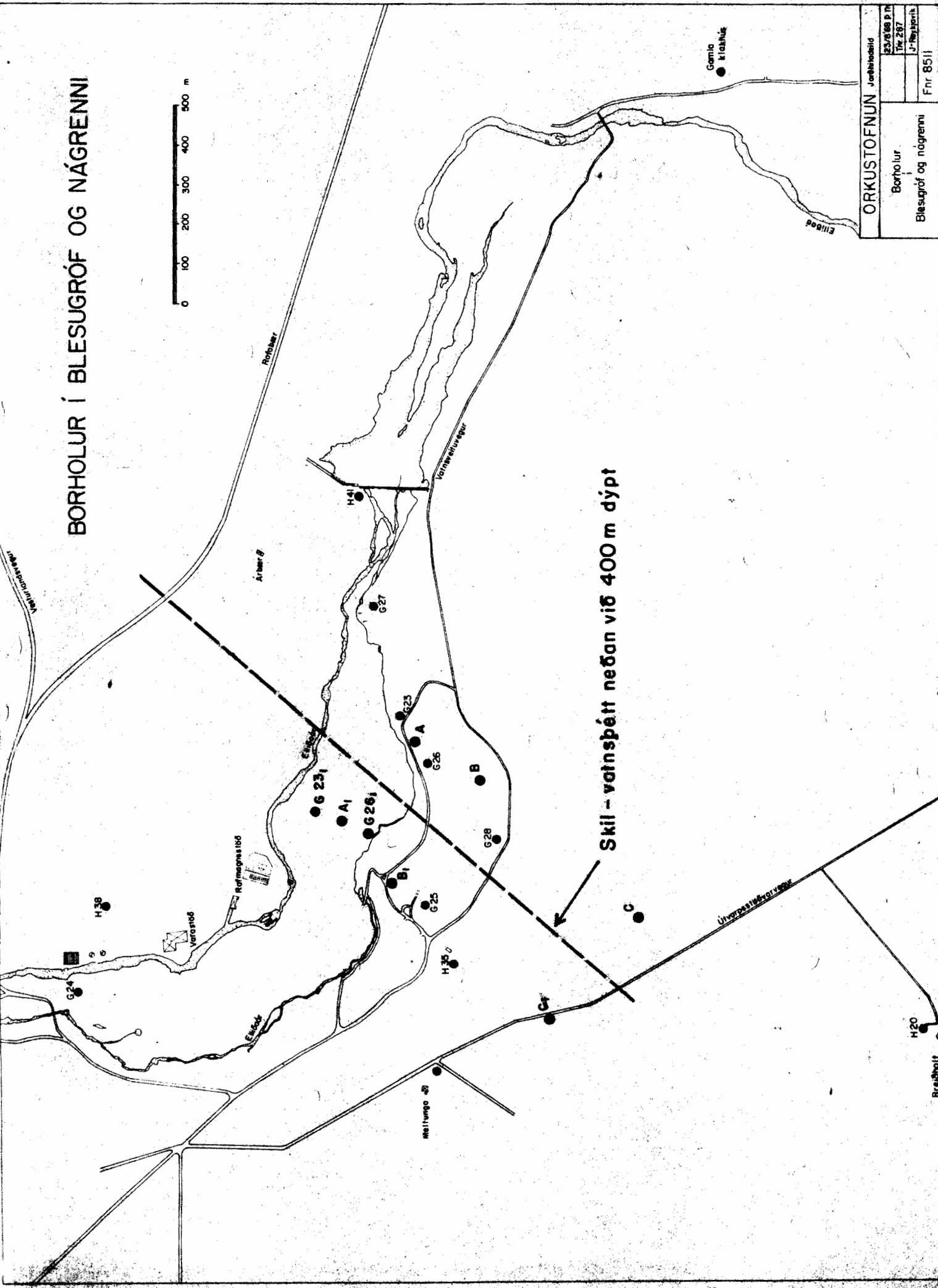


- STRIKJANAR
- G Borður Guðlaug
 - H Kjarnarborður Hrafnar
 - Aðrir þau

0 500 1000 m

STRIKJANAR
 Seljaarnaranes
 Borður - Guðlaug
 Kjarnarborður Hrafnar
 Aðrir þau
 1952

BORHOLUR Í BLESUGRÓF OG NÁGRENNI



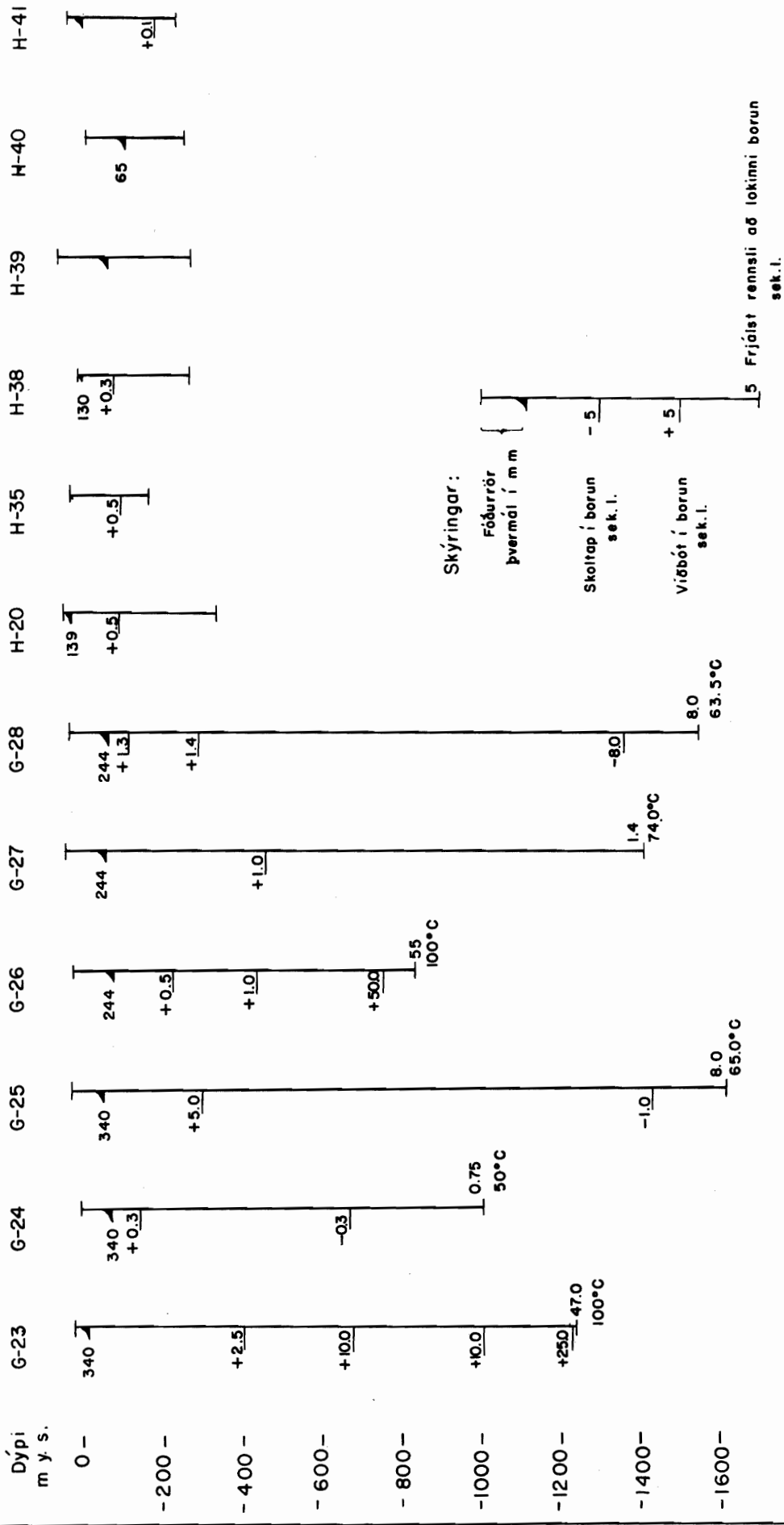
Skil - vatnspétt neðan við 400 m dýpt

ORKUSTOFNUN		Jarðhöskuld
Borholur	23/088 P.H	Fr. 287
Blesugróf og nágrenni	J. Þorstein	Fr. 8511

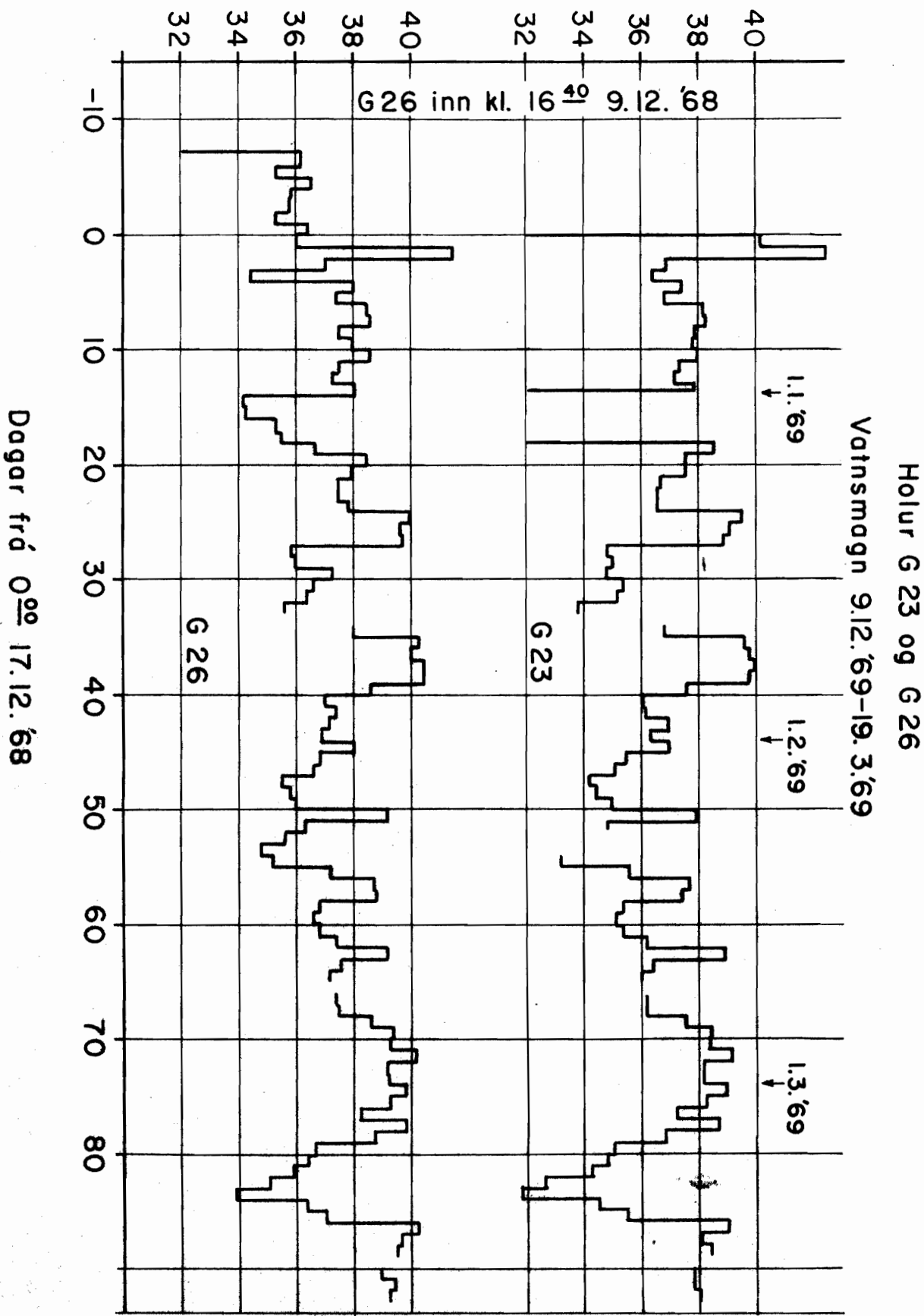
Garnla
Klekkur

H20

Breðholt

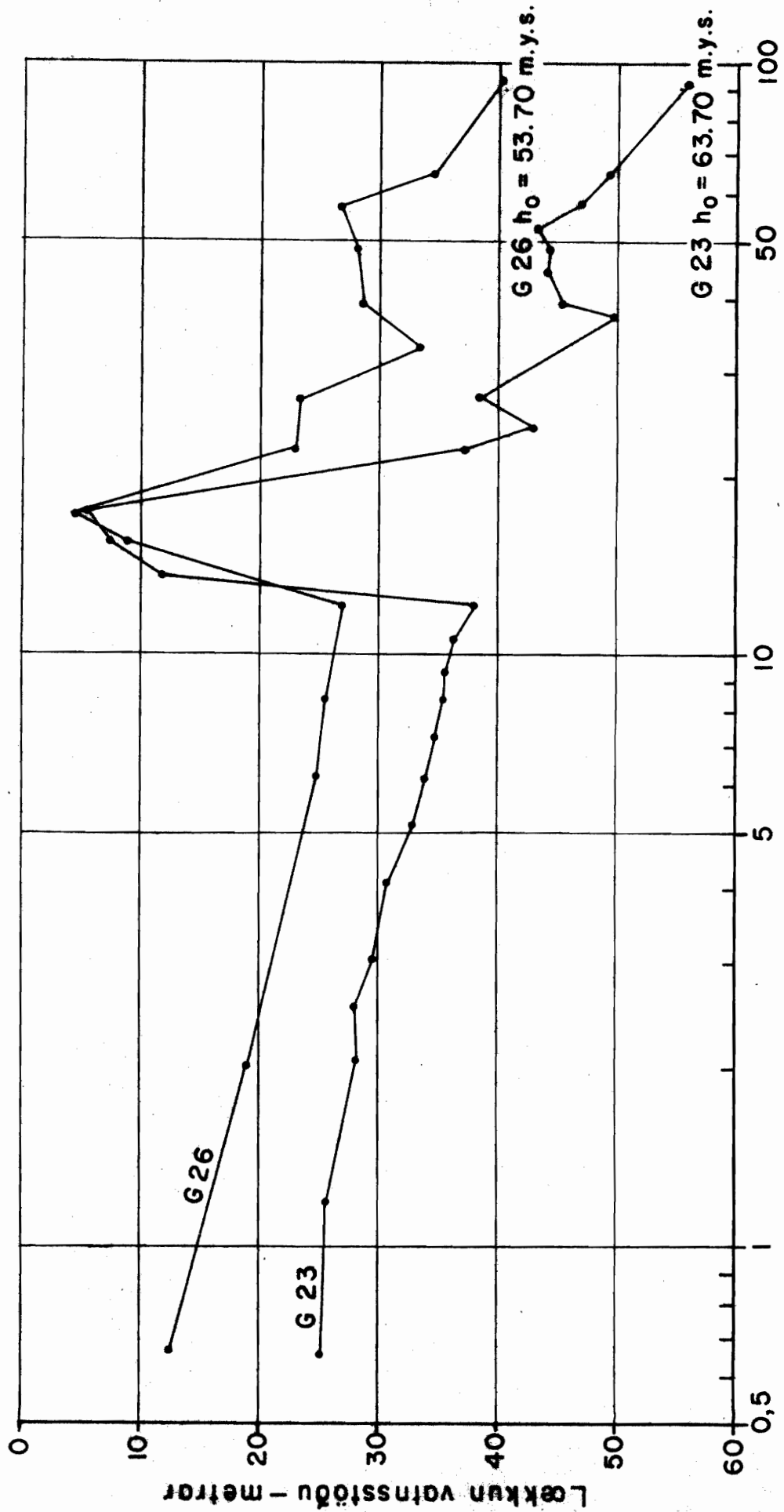


Vatnsmagn - sek. lítrar



ORKUSTOFNUN		Vatnsmagn	
Jörðindeld		Borholur við Elliðaárdar G 23-G 26	
12.3.69 Þ. Th./IS		Tnr. 310	
J-Raykjavík		Fnr. 8769	

Lækkun vatnsstöðu 17.12. '68 - 18.3. '69



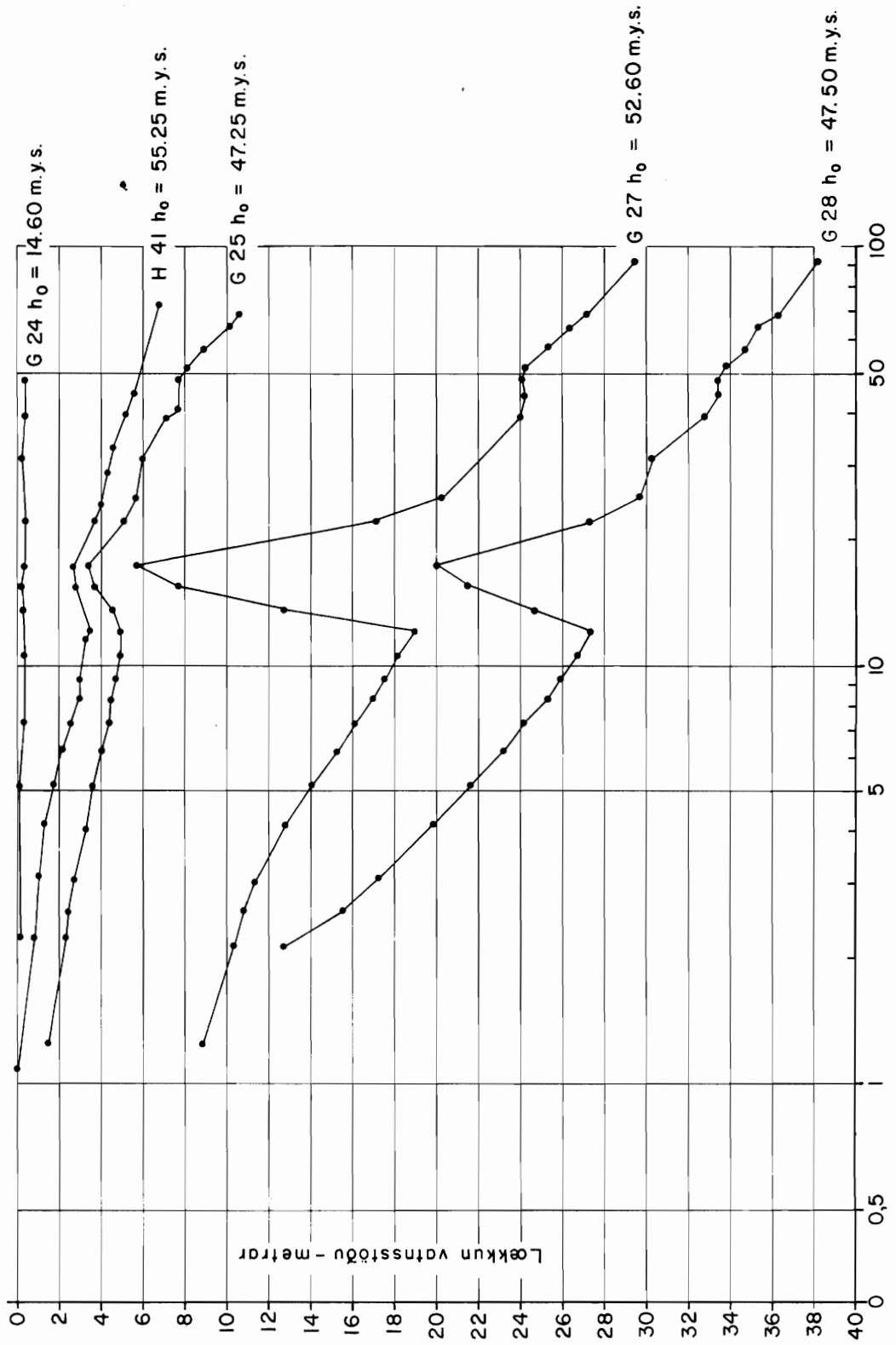
Dagar frá kl. 8:40 17.12. '68

12.3.69 Þ.Th./I.S.
Tnr. 309
J - Reykjavík
Fnr. 8768

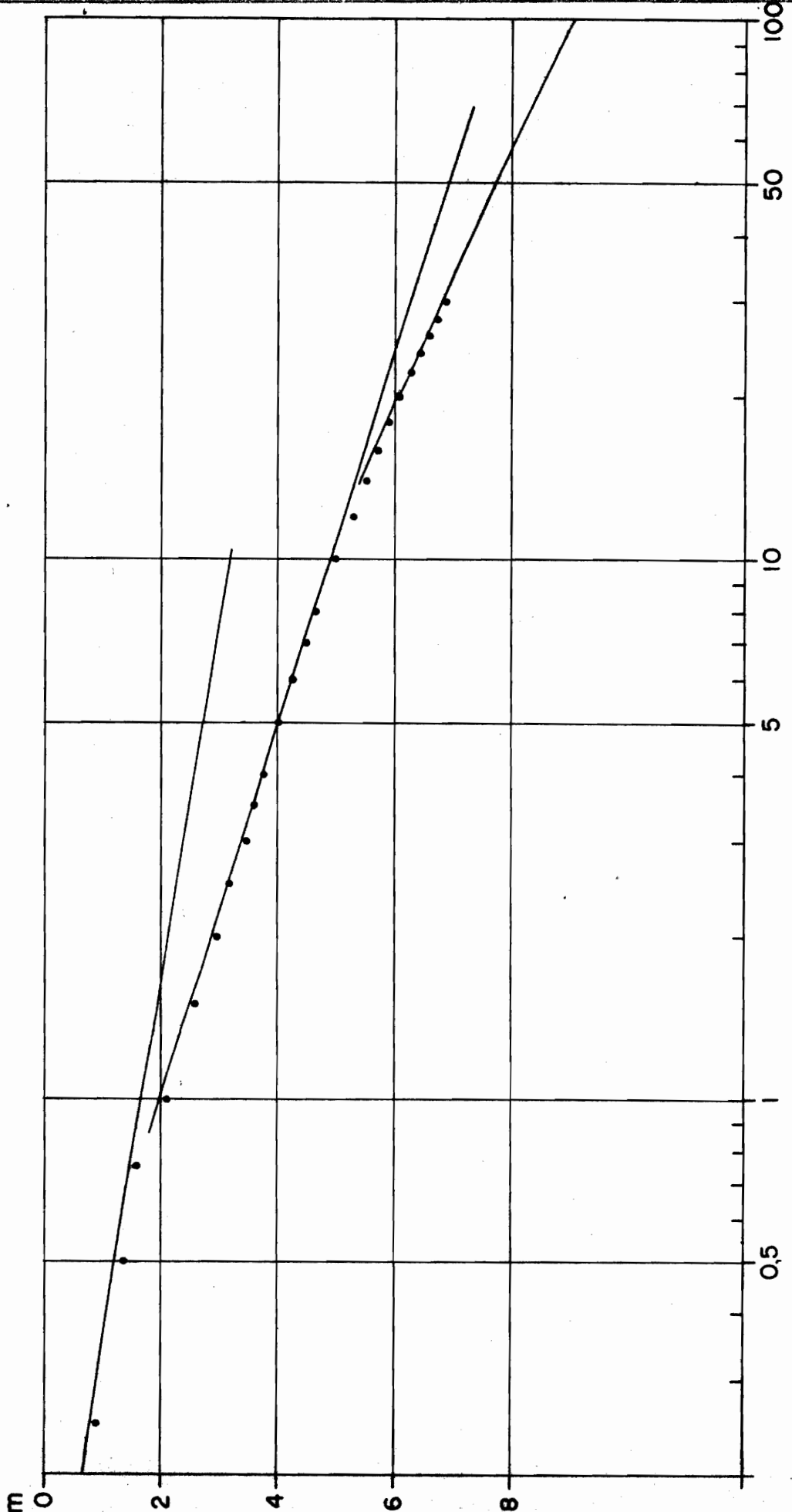
ORKUSTOFNUN
Jordhitastæðið

Borholur við Elliðaár
G 24-H 41-G 25-G 27-G 28
Lækkun vatnsstöðu

Lækkun vatnsstöðu 17.12.68 - 18.3.69



Dæla í holu G23 stöðvuð kl. 20¹⁵ 23.3'69.



Kist. frá kl. 20¹⁵ 23.3'69.

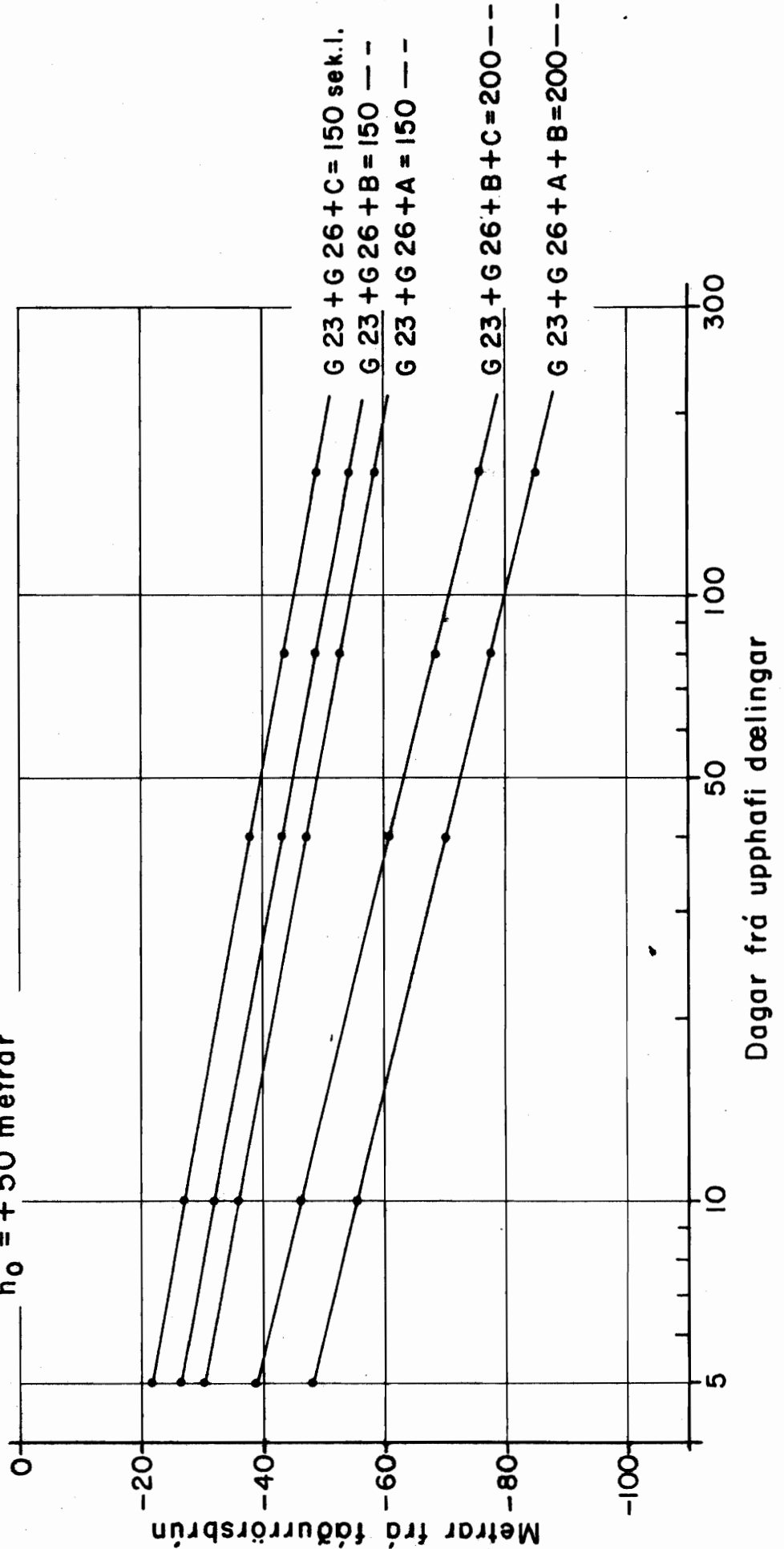
Hola G 23

Reiknuð vatnsstaða við mism. vatnsmagn hola A. B. og C

$$Q_A = Q_B = Q_C = Q_{G23} = Q_{G26} = 50 \text{ sek.l.}$$

Holuhótstaða í G 23, $0.011 \times Q_{G23}^2 = 27.5 \text{ m}$, er ekki meðtalin.

$h_0 = +50$ metrar

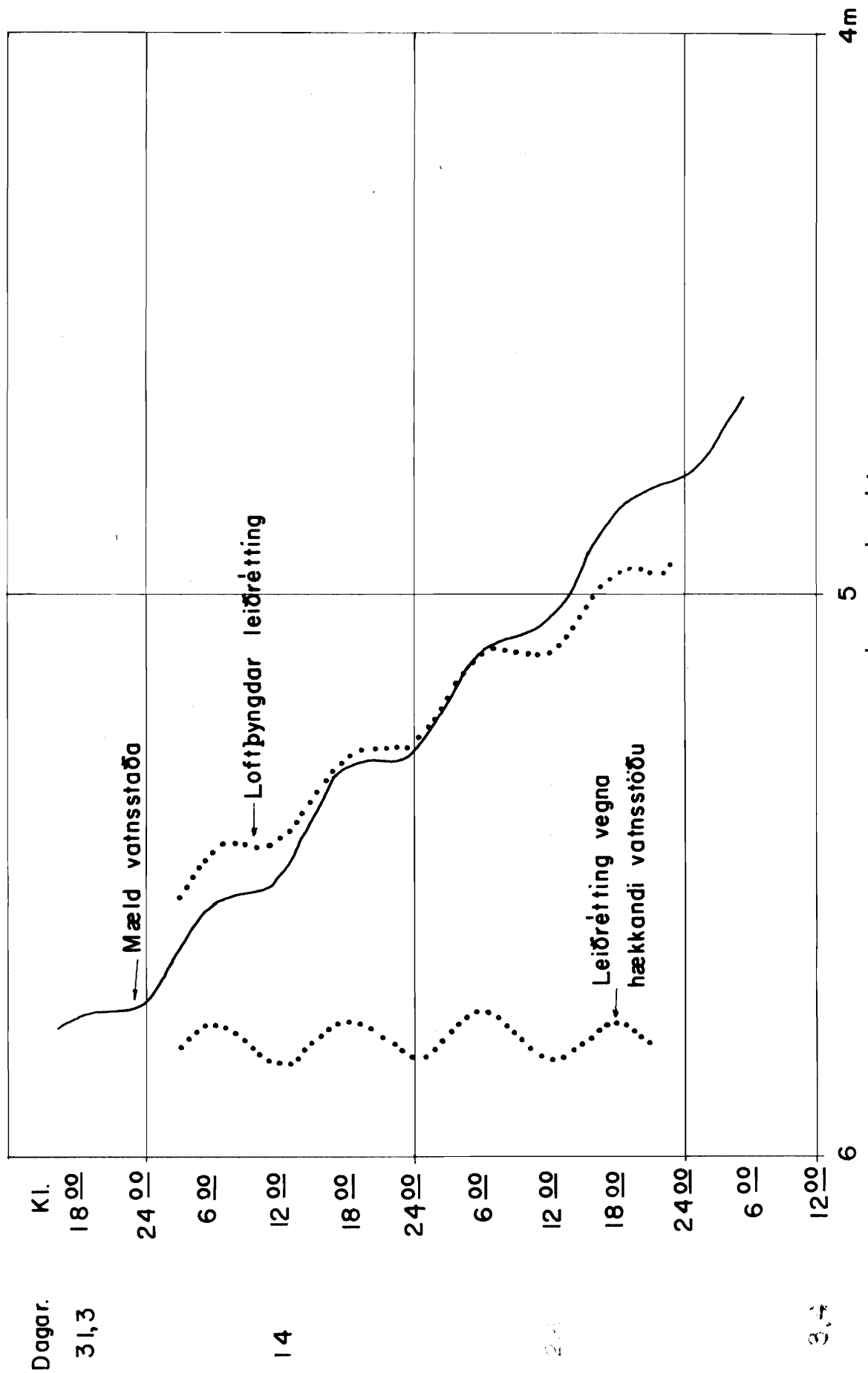


Hola G27 í Reykjavík
vatnsstaða 31.3-3.4'69

J-Reykjavík

Tnr. 314

Fnr. 8856



4m

5

6

Metrar frá efri brún fóðurrörs