

UMBROTAHRINAN VIÐ KRÖFLU 10.-14. NÓVEMBER, 1978

Bráðabirgðaniðurstöður hallamælinga

The Krafla subsidence event on November 10-14, 1978

Preliminary tiltmeter results

eftir

Eysteinn Tryggvason

Reykjavík, November, 1978

## ABSTRACT

A subsidence event in the Krafla area started at 10<sup>h</sup>00<sup>m</sup> on November 10, 1978 and lasted until November 14. Continuously recording tiltmeters at the Krafla power house (Fig. 1) and at a locality one kilometer north of Víti (Fig. 2) show that the rate of subsidence reached maximum some one to four hours after the commencement of subsidence, whereafter it subsided gradually. The maximum rate of subsidence corresponds to a flow rate of about 750 m<sup>3</sup>/sec of magma out of the Krafla magma chamber and the total subsidence corresponds to a total magma volume of 44 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> flowing out of the magma chamber. The direction of tilt at the Krafla power house and at the tilt station north of Víti indicate a displacement of the center of subsidence from a location midway between Víti and Leirhnjúkur at the beginning of the subsidence towards Leirhnjúkur on November 11 (Fig. 3).

## Inngangur

Umbrot þau er hófust 20. desember, 1975 á Kröflusvæðinu hafa nú staðið í næstum þrjú ár, og enn verður þess ekki vart að þeim sé að linna. Á þessu tímabili hefir sífellt verið aukið við þær mælingar á Kröflusvæðinu, er gefa upplýsingar um eðli þessara umbrota og framgang þeirra. Mælingar á hallabreytingum landsins eru aðeins einn þáttur þessara mælinga, en þær gefa víðtækar upplýsingar um hvernig landið rís og sígur og hve mikið efni er á hreyfingu í iðrum jarðar.

Hallamælingar þessar eru með þrennum hætti:

(1) Vatnshallamælir var settur í stöðvarhús Kröfluvirkjunar 20. ágúst, 1976, og hafa síðan verið gerðar þar mælingar daglega, með fáum undantekningum. Hér er um að ræða lítil ker í þremur hornum hússins tengd saman með fylltum vatnspípum. Nákvæm mæling á vatnsstöðu kerjanna sýnir hvernig stöðvarhúsið og þá um leið undirstöður þess hallast sitt á hvað er landið rís og sígur í nágrenninu. Höfundur þessarar greinar lagði til hallamælinn, en Orkustofnun hefir séð um rekstur hans.

(2) Á 12 stöðum í nágrenni Kröflu og Mývatns hafa verið sett fastmerki í jörð til hallamælinga með kíkishallamæli (fallmæli). Á flestum þessara staða eru fimm fastmerki á hringferli og við mælingu er kíkishallamæli komið fyrir á þrífæti í miðju hringsins en mælistöng flutt frá einu fastmerki til annars uns mælingu er lokið. Sex þessara mælistöðva voru settar upp á árinu 1976 en hinar voru settar 1977. Mælingar eru oftast gerðar einu sinni í mánuði, en þó sjaldnar á veturnum. Höfundur þessarar greinar hefir annast þessar mælingar, en Raunvísindastofnun Háskólans og síðar Norræna eldfjallastöðin hafa kostað þær.

(3) Síritandi hallamælar, sem hafa verið hannaðir og smíðaðir á Norrænu eldfjallastöðinni, hafa verið settir niður þremur stöðum á svæðinu. Tveir fyrstu mælarnir, við Kröfluvirkjun og Reynihlíð, voru settir niður síðsumars 1977, en sá þriðji, um einn kílómeter norðan við Víti,

var settur niður haustið 1978.

Sú eining sem hér er notuð til að gefa breytingar á halla lands er míkrógeisli, en einn míkrógeisli þýðir að staður í eins kílómeters fjarlægð lyftist eða sígur um einn millimeter miðað við mælistað. Við umbrotahrinurnar á Kröflusvæðinu sígur landið umhverfis Leirhnjúk vegna þess að hraunkvika, sem safnast hefir fyrir á milli hrinanna streymir til norðurs eða suðurs eftir sprungu-sveim þeim er liggur um Bjarnarflag í Mývatnssveit og norður um Gjástykki til hafs í Axarfirði. Á milli hrinanna er stöðugt aðstreymi kviku að neðan inn í kvikuhólfið (eða hólfin) við Leirhnjúk. Þetta aðstreymi er að meðaltali um  $5 \text{ m}^3/\text{sek}$  og veldur það landrasi við Leirhnjúk er nemur milli 5 og 10 millimetrum á dag, en við stöðvarhús Kröfluvirkjunar er hallabreytingin um 2 míkrógeislar á dag að meðaltali. Kvikan safnast fyrir á um 3 km dýpi, en óvísst er hve langt að neðan hún kemur. Þegar kvikuhólfið hefir þanist út að vissu marki, opnast rás fyrir kvikuna og hún streymir með miklum hraða út úr kvikuhólfinu. Þar sem kvikan nemur staðar má jafnan sjá miklar sprungur á yfirborði jarðar, en samfara þessum sprungumyndunum verða ákafar jarðskjálftahrinur.

Hér verður gerð nokkur grein fyrir hallamælingum þeim, er veita upplýsingar um umbrotahrinu þá er hófst 10. nóvember, 1978.

### Síritandi hallamælar

Fyrstu merki um að umbrotahrina væri að hefjast sáust kl. 10.00 að morgni 10. nóvember, 1978 á síritandi hallamæli við stöðvarhús Kröfluvirkjunar (1. mynd). Sýndi mælirinn að sig til norðurs hófst mjög snögglega og jókst sighraðinn fyrsta klukkutímann og náði hámarki á milli kl. 11 og 12. Sig til vesturs (efsta línuritið á 1. mynd) hófst ekki að ráði fyrr en eftir kl. 13. Eftir kl. 15 fór að draga úr sighraðanum og minnkaði hann smám saman

Næstu 4 sólarhringana og hætti að fullu 14. nóvember. Hafði þá hallabreyting orðið alls 225 míkrogeislar til norðurs og 86 míkrogeislar til vesturs. Reiknað hefir verið samræmið milli hallabreytinga við stöðvarhús Kröfluvirkjunar og kvikumagns þess er streymir út úr kvikuhólfinu við Kröflu. Neðsta línuritið á 1. mynd sýnir hraða kvikustreymisins, en það náði um 750 m<sup>3</sup>/sek milli kl. 11 og 12, 10. nóvember og var yfir 600 m<sup>3</sup>/sek frá kl. 11 til kl. 16, en minnkaði síðan nokkuð hratt niður í 250 m<sup>3</sup>/sek um kl. 22 um kvöldið.

Síritandi mælirinn norðan Vítis sýndi ekki eins snögga byrjun sigsins og við stöðvarhúsið, en helst er svo að sjá, að hægt sig hafi hafist nokkru fyrir kl. 10 og að sikhraði hafi náð hámarki kl. 14 (2. mynd). Í upphafi seig landið þar hraðar til suðurs en vesturs, en um kl. 20, 10. nóvember, breyttist stefna sigsins til vesturs. Alls varð sigið um 150 míkrogeislar til suðurs og um 173 míkrogeislar til vesturs eða um 230 míkrogeislar til suðvesturs.

Mælingar á þessum tveimur síritandi hallamælum gefa hvernig stefna sigsins breyttist á meðan umbrotahrinar stóð. Ef þessar stefnur eru settar á kort sýnir skurðpunktur línanna hvar mesta sig virðist vera á hverjum tíma, en þessi miðja sigsins virðist færast til. Á 3. mynd er sýnt hvernig sigið virðist hefjast í Vítismó um það bil miðja vegu milli Vítis og Leirhnjúks, en færast til Leirhnjúks um kvöldið 10. nóvember. Síðan virðist miðja sigsins vera í Leirhnjúk til kvölds 11. nóvember, en eftir það hreyfist hún óreglulega.

Mælirinn í Reynihlíð sýndi óreglulegar hallabreytingar á meðan hrinan stóð, en þó nokkurt sig til norðurs, alls um 15 míkrogeisla.

### Vatnshallamælir

Mælingar vatnshallamælisins í stöðvarhúsi Kröfluvirkjunar sýndi sig til norðurs, alls um 213 míkrógeisla. Annars gefur sá mælir engar upplýsingar til viðbótar þeim, sem síritandi mælarnir gefa.

### Aðrar hallamælingar

Þegar umbrotahrinunni var að ljúka voru gerðar mælingar á fjórum hallamælastöðvum til viðbótar þeim er að ofan getur. Síðasta mæling fyrir hrinuna á þessum stöðvum var gerð í lok septembermánaðar, en hægt er með samanburði við eldri mælingar og mælingar í stöðvarhúsi Kröfluvirkjunar að reikna hver hallinn var við upphaf hrinunnar. Þannig er hægt að áætla með verulegri nákvæmni þær hallabreytingar er urðu í hrinunni á þessum stöðvum. Á 4. mynd er sýnt hver hallabreyting varð við hrinuna er hófst 10. nóvember 1978 á þessum hallamælastöðvum, sem eru við Hvannstöð, við Ytri Bjarghól, rétt austan við Lerihnjúk og nyrst í Hlíðardal, við Hvíthólaklif. Einnig er sýnt á 4. mynd hverjar hallabreytingar urðu við stöðvarhús Kröfluvirkjunar og norðan Vítis. Örvarnar sýna sigstefnu hallabreytinganna, en tölur gefa hallabreytingu í míkrógeislum.

### Niðurlagsorð

Umbrotahrina á Kröflusvæðinu hófst kl. 10.00, 10. nóvember, 1978 eftir nákvæmlega 4ra mánaða hlé frá síðustu hrinu, er hófst 10. júlí, 1978. Hallamælingar í stöðvarhúsi Kröfluvirkjunar sýna hallabreytingu er nemur um 247 míkrógeislum, en það samsvarar að um  $44 \times 10^6 \text{ m}^3$  af hraunkviku hafi runnið út úr kvikuhólfinu undir Leirhnjúk. Samanburður fyrri hæðarmælinga og hallamælinga gefur að einn míkrógeisli samsvarar 3.4 til 3.5 millimetra hæðarbreytingu, svo að 247 míkrógeisla hallabreyting bendir til

að land hafi sigið um 85 sentimetra þar sem sigið var mest. Einnig má áætla að streymishraðinn hafi náð hámarki, um  $750 \text{ m}^3/\text{sek}$ , rúmlega einum klukkutíma eftir að sigið hófst. Það er augljóst, að kvikan streymdi til norðurs. Bæði hallamælingar og jarðskjálftamælingar sýna það ótvírætt, þó það sé ekki rökstutt hér.

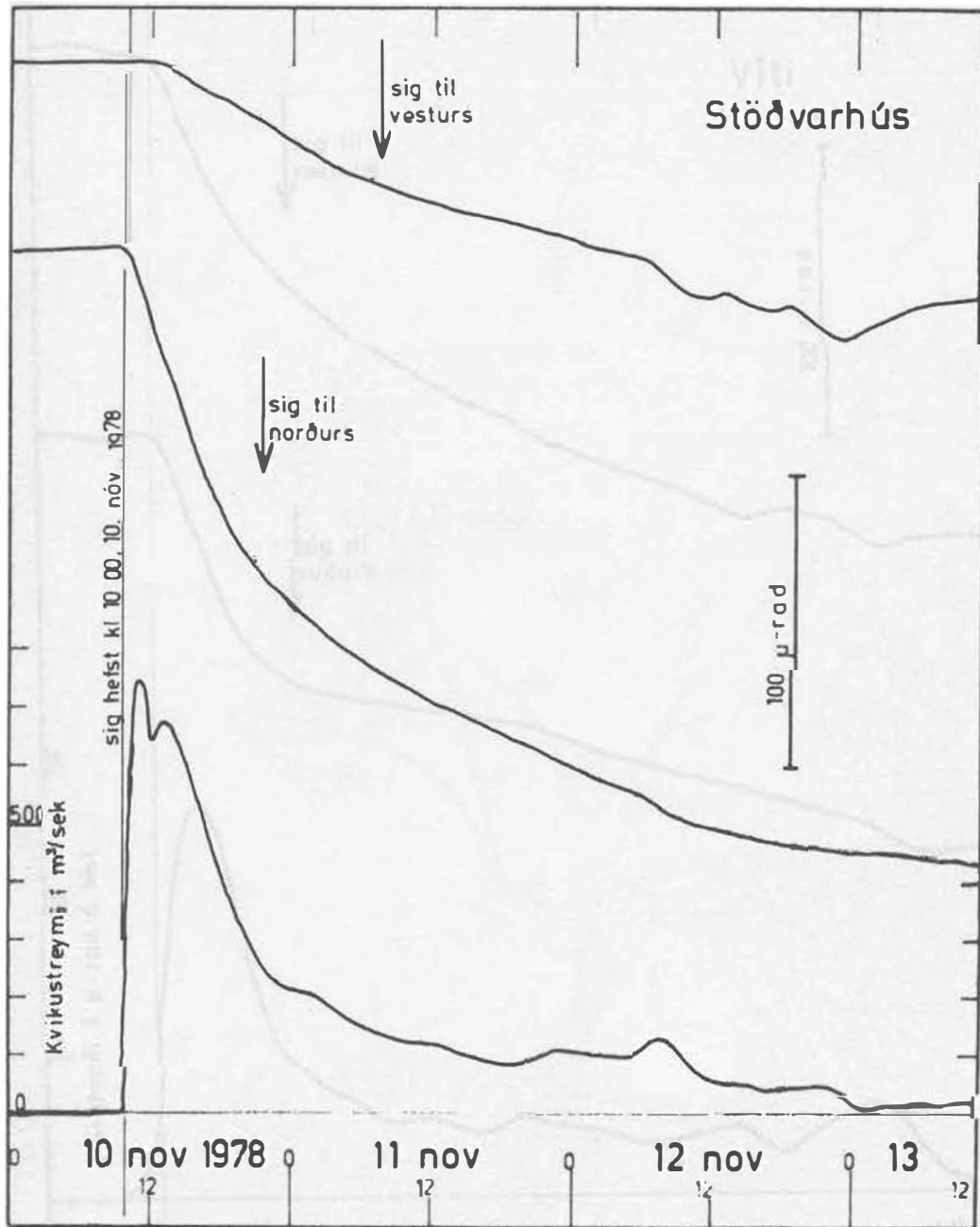
TAFLA I

Samanburður á kvikustreymi í umbrotahrinum Kröflusvæðisins.

Comparison of magma movement during the Krafla subsidence events.

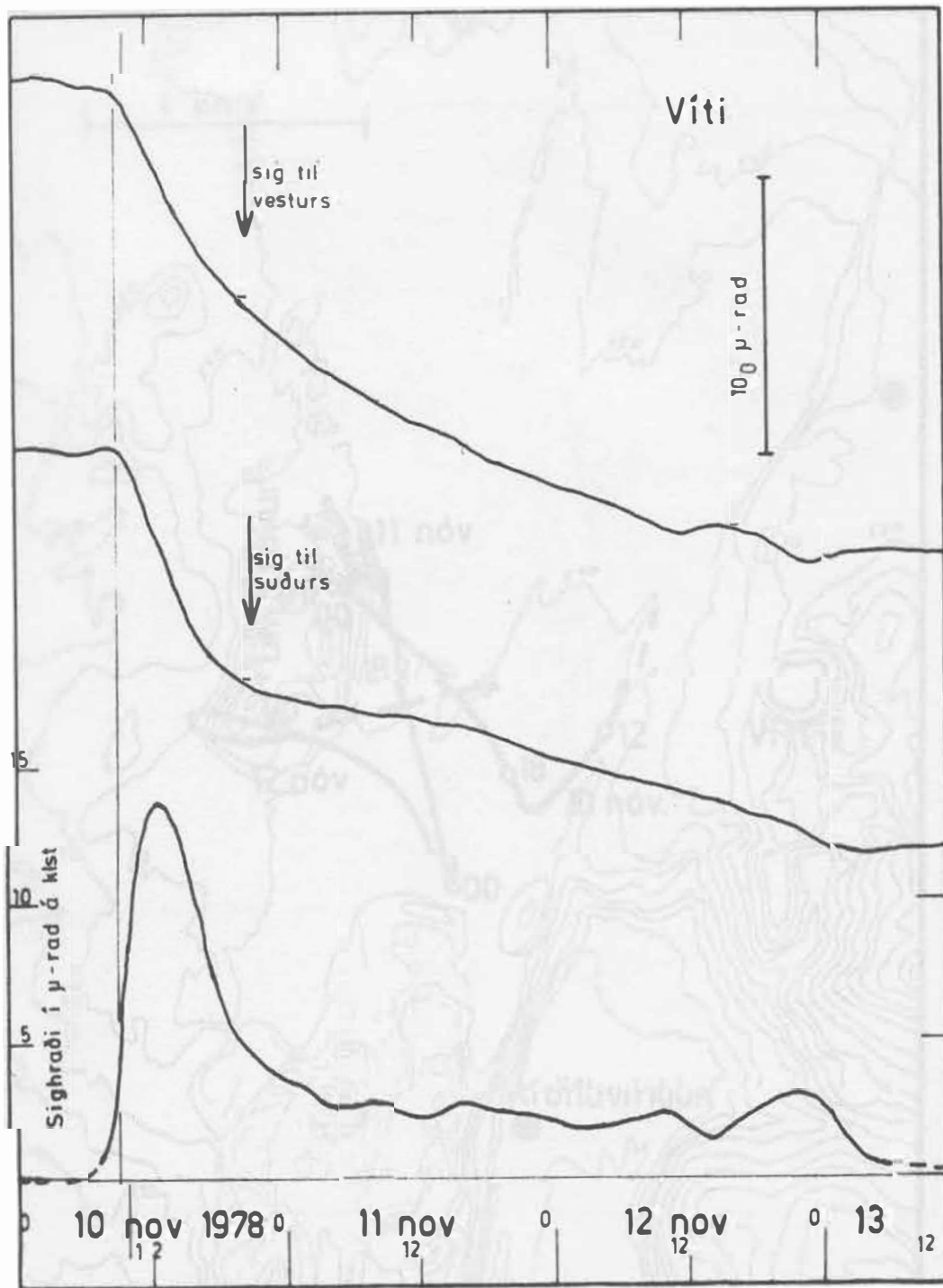
Upphaf hrinu Beginning of event	Kvikumagn Volume of moving magma ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	Mesta streymi Maximum rate of flow (m <sup>3</sup> /sec)	Hraun Lava ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	Aðalstefna streymis Direction of main flow
20. Desember 1975	150		0.4	Norður (North)
29. September 1976	2	40	0	Suður (South)
1. Október 1976	8	45	0	Norður
31. Október 1976	32	850	0	Norður
20. Janúar 1977	21	800	0	Norður
27. Apríl 1977	46	2500	0.01	Suður
8. September 1977	20	2400	2	Suður
2. Nóvember 1977	2	520	0	Norður
7. Janúar 1978	74	500	0	Norður
10. Júlí 1978	37	600	0	Norður
10. Nóvember 1978	44	750	0	Norður





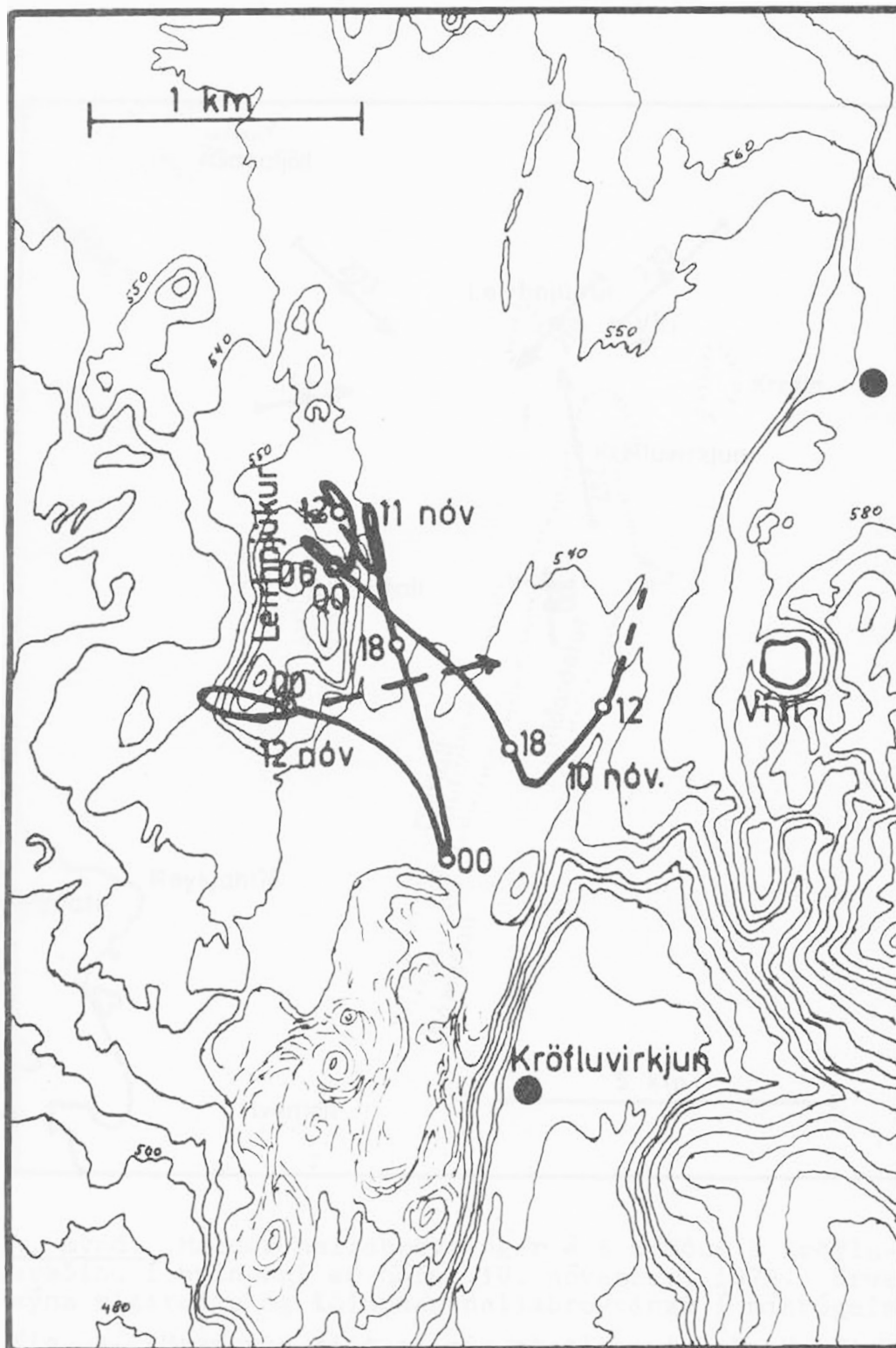
1. mynd. Hallabreytingar við stöðvarhús Kröfluvirkjunar í umbrotahrinunni er hófst 10. nóvember, 1978. Neðst er sýnt reiknað kvikustreymi út úr kvikuhólfinu undir Leirhnjúk.

Fig. 1. Variation of east and north components of tilt at the Krafla power house and calculated rate of magma flow. Top trace is the east component of tilt, the middle trace the north component and the lowest trace the rate of flow. Arrows show subsidence towards west and north.



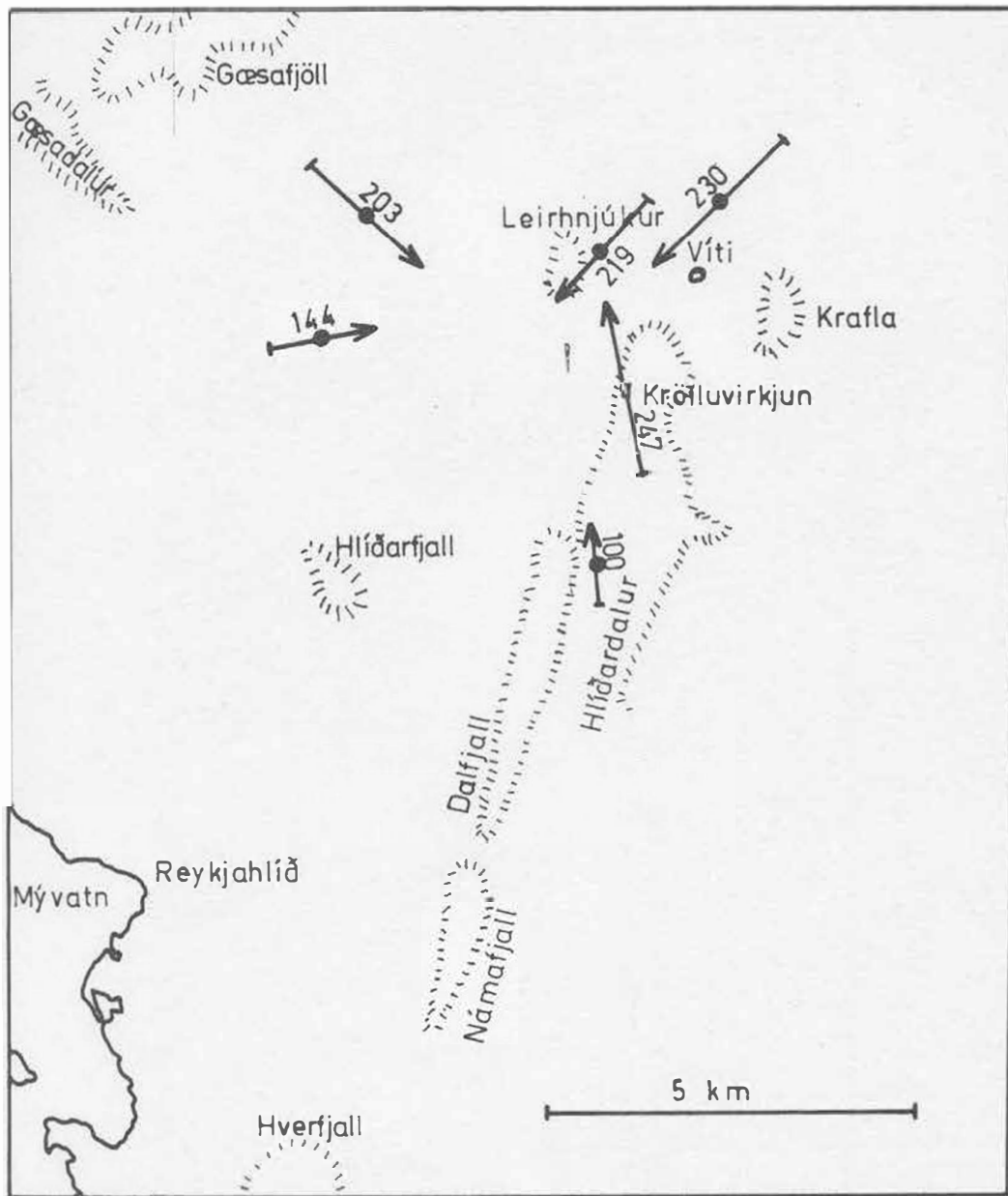
2. mynd. Hallabreytingar norðan Vítis og hraði þeirra hallabreytinga.

Fig. 2. Variations of east and north components of tilt at the tiltmeter north of Víti, and the rate of tilt in microradians per hours. Arrows show subsidence towards west and south.



3. mynd. Ferill sigmiðju í umbrotahrinunni er hófst 10. nóvember, 1978, samkvæmt mælingu við stöðvarhús Kröfluvirkjunar og norðan Víti (fylltir hringir).

Fig. 3. Apparent movement of the center of subsidence during the subsidence event of November 10 to 14, 1978, based on direction of tilt at the Krafla power house and north of Víti (filled circles).



4. mynd. Mældar hallabreytingar á 6 stöðum á Kröflusvæðinu í hrinunni er hófst 10. nóvember, 1978. Örvarnar sýna sigstefnu og löslurnar hallabreytingu í míkrogeislum.

Fig. 4. Measured tilt at six stations in the Krafla area during the subsidence event of November 10 to 14, 1978. Arrows show direction of tilt and numbers give amount of tilt in microradians.