



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

**KRÖFLUELDAR
STAÐA OG HORFUR Í OKTÓBER 1984**

Axel Björnsson
Kristján Sæmundsson
Benedikt Steingrímsson

OS-84077/JHD-31 B

Október 1984



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

KRÖFLUELDAR
STAÐA OG HORFUR Í OKTÓBER 1984

Axel Björnsson
Kristján Sæmundsson
Benedikt Steingrímsson

OS-84077/JHD-31 B

Október 1984

EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP	3
1 INNGANGUR	4
2 JARÐFRÆÐILEGT YFIRLIT	4
3 MÝVATNSELDAR 1724-1746	6
4 UPPHAF KRÖFLUELDA - RANNSÓKNIR OG VIÐBRÖGÐ	6
5 ATBURÐARÁS Í KRÖFLUELDUM 1975-1984.	8
6 FRAMTÍÐARHORFUR ELDSUMBROTA OG JARÐHRÆRINGA	12
7 HÆTTA Á TJÓNI Í UMBROTUM	12
8 VARNARAÐGERÐIR OG EFTIRLIT	20
EFNISFÖNG	21

ÁGRIP

Reikna verður með að jarðhræringar haldi áfram um einhver ár enn í eldstöðvakerfi Kröflu. Eftir eldgos í september s.l. hefur land risið hratt á Kröflusvæði, eins og jafnan fyrst eftir hrinur. Með sama áframhaldi verður kvikuþrýstingur undir Kröflu innan fárra mánaða orðinn meiri en hann var fyrir síðasta gos. Haldi land þá enn áfram að rísa má fastlega búast við nýrri goshrinu. Síðan 1975 hefur slaknað á togspennu í jarðskorpunni á Kröflusvæðinu. Þess vegna þarf þrýstingur í kvikuhólfinu (landhæð) að vaxa umfram fyrri mörk til þess að koma umbrotahrinu af stað. Hlé milli goshrina hafa þess vegna lengst. Síðast liðu tæp þrjú ár á milli hrina.

Flest kvikuhlaupin í Kröflueldum hafa stefnt norður í Gjástykki og þar hafa öll stærstu gosin orðið síðan í júlí 1980. Í byrjun gosa hafa runnið þunnfljótandi hraun í nokkra klukkutíma úr gossprungu, sem nær norðan úr Gjástykki suður í Leirhnjúk. Verði gos í grennd við Leirhnjúk er Kröfluvirkjun nú meiri hætta búin af hraunrennsli en áður, þar sem rennislisleiðin er greiðari í átt að virkjuninni eftir síðustu gos. Kísiliðju og byggð norðaustan við Mývatn er vart hætta búin af hraunrennsli nema í kvikuhlaupi til suðurs eða í langvarandi eldgosi á Leirhnjúkssvæðinu. Um líkur á þessu er ekkert unnt að segja ákveðið.

Tjón hefur hlotist af sprunguhreyfingum, aðallega í Bjarnarflagi. Verði aftur kvikuhlaup til suðurs er mannvirkjum í Bjarnarflagi, t.d. Kísiliðju, gufufafstöð Landsvirkjunar og gufuveitu Jarðvarmaveitna ríkisins, hætta búin vegna sprunguhreyfinga. Vinnsluholur og kísilþrær eru nú utan virka sprungustykkisins og því í minni hættu.

Verulegt tjón varð af gasflæði inn í jarðhitakerfið við Kröflu fyrstu ár Kröfluelda. Síðan 1977 hefur mjög dregið úr gasmagninu og er nú minni ástæða til að óttast tæringu og útfellingar af þeim sökum en áður.

Lagt er til að eldri áætlanir um varnargarða norðan Kröfluvirkjunar verði endurskoðaðar. Æskilegt er að fylgjast áfram með umbrotasvæðinu, t.d. með rekstri jarðskjálfta- og hallamæla og með landhæðarmælingum. Slíkar athuganir segja til um kvikustreymi inn í kvikuhólfið undir Kröflusvæðinu og eru nauðsynlegar við að meta stöðu mála á hverjum tíma og sjá hvenær umbrotum muni vera lokið.

1 INNGANGUR

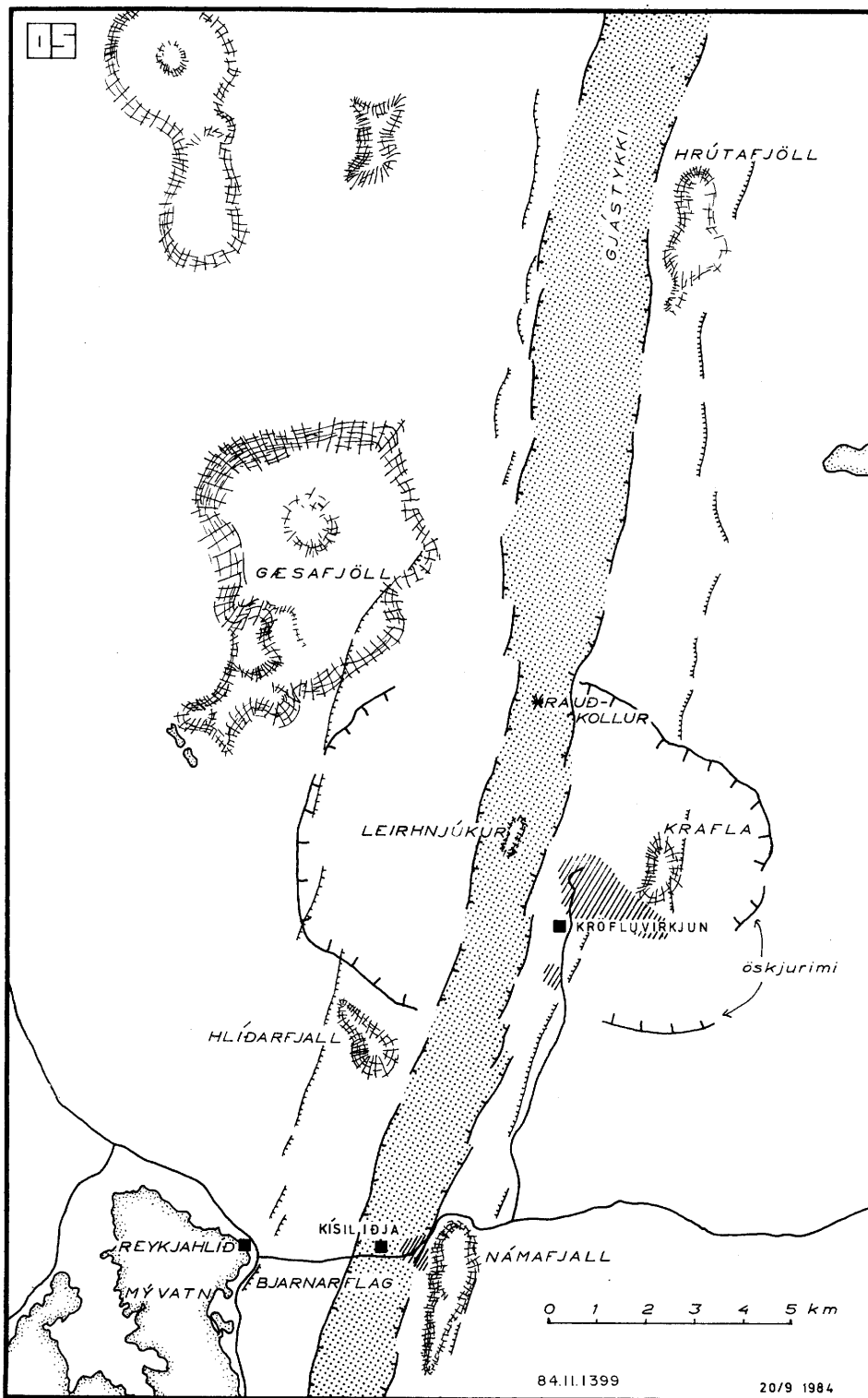
Með bréfi dagsettu 24.9.1984 fól iðnaðarráðherra Orkustofnun að semja greinargerð um stöðu mála við Kröflu eftir nýlokið eldgos þar. Þess var farið á leit að Orkustofnun legði mat á hættu á nýju eldgosi og afleiðingum þess, einkum fyrir Kröfluvirkjun og byggðina í Mývatnssveit.

2 JARÐFRÆÐILEGT YFIRLIT

Virkt eldgosa- og sprungukerfi liggur um Ísland frá suðvestri til norðausturs. Er það hluti af s.k. Miðatlantshafshrygg, en eftir honum liggja skil tveggja platna í jarðskorpunni. Plöturnar mjakast hvor frá annarri, að meðaltali um 2 sm á ári. Er það nefnt landrek. Jafnframt kemur upp bráðin kvika úr iðrum jarðar á plötuskilunum og myndar nýtt land. Landrekið verður ekki jafnt og þétt heldur í rykkjum með nokkurra alda hléum. Eitt slíkt tímabil örrar gliðunar og eldvirkni gengur nú yfir Norðausturland.

Eldvirka svæðið á Norðausturlandi má greina sundur í nokkur eldstöðvakerfi. Í miðju hvers kerfis er eldvirkni mest. Þar hefur því hlaðist upp hálandisbálgur. Er hann nefndur megineldstöð. Megineldstöðvarnar eru skornar af miklum sprungustykkjum, sem hafa norðlæga stefnu. Þau geta verið um 100 km löng, en breiddin er 5-10 km. Jarðhitinn og eldvirknin eru nátengd. Háhitasvæðin á Norðausturlandi eru öll innan megineldstöðvanna eða í sprungustykkjunum. Helstu eldstöðvakerfi á Norðausturlandi eru samnefnd háhitasvæðunum í megineldstöðvum þeirra. Þau eru Þeistareykja-, Kröflu-, Fremrináma-, Öskju- og Kverkfjalla-kerfi.

Í Kröflu-megineldstöðinni er askja eða sigdæld, 8-10 km í þvermál, sem myndast hefur við öra tæmingu á kvikuhólfi í störgosi fyrir einum 100 þúsund árum. Leirhnjúkur er lítið móbergsfjall nálægt miðju öskjunnar. Kröflu-sprungustykkið nær frá sunnanverðri Mývatnssveit um Bjarnarflag og Leirhnjúk og liggur þaðan um Gjástykki norður í Kelduhverfi. Mynd 1 sýnir Kröflusvæðið og helstu kennileiti og örnefni, sem notuð eru í þessari skýrslu.



Mynd 1. Yfirlitskort af Kröflusvæði. Skyggða svæðið á miðri myndinni er hið virka sprungustykki. Vinnslusvæði Kröfluvirkjunar og borsvæði í Bjarnarflagi eru skástrikuð.

3 MÝVATNSELDAR 1724-1746

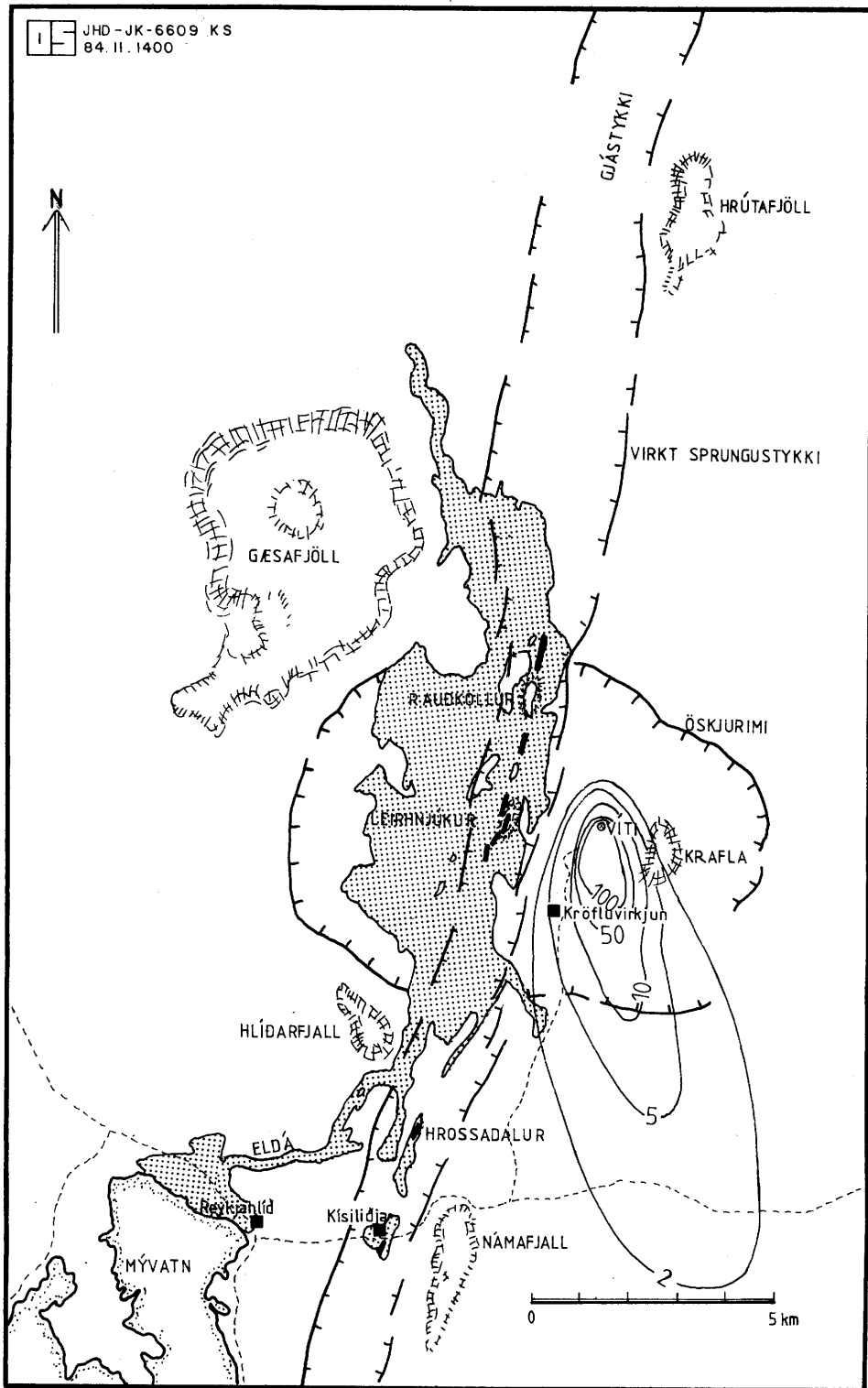
Skráðar heimildir eru aðeins til um eitt gos á Kröflu-Námafjallssvæði, þ.e. Mývatnselda svoefnda, er stóðu aðallega frá 1724-1729 en með eftirhreytum til 1746 eða í 22 ár. Þeir hófust með jarðhræringum og sprengigosi í maí 1724 og varð þá til gígurinn Víti. Skjálftar og sprunguhreyfingar héldust næstu árin en hraungos hófust ekki fyrr en seinni hluta árs 1727 og stóðu fram í september 1729. Þá rann Leirhnjúkshraun svo og tvö smærri hraun í Bjarnarflagi og Hrossadal. Hraunin þekja alls um 35 km² lands. Mývatnseldahraun eru sýnd á mynd 2. Virkustu gígarnir voru innan öskjunnar á sprungum, sem náðu frá norðurríma öskjunnar skammt norðan Rauðkolls, og suður fyrir Leirhnjúk. Hraun rann því jafnt til norðurs og suðurs.

Af skráðum heimildum er ljóst að eldgos og skjálftavirkni komu í hrinum árin 1724-1729, en kyrrt var á milli. Eftir 1729 greina heimildir ekki frá gosum fyrr en 1746. Ekki er alveg ljóst hvort kyrrt var á svæðinu þar á milli.

4 UPPHAF KRÖFLUELDA - RANNSÓKNIR OG VIÐBRÖGD

Á miðju ári 1975 jókst skjálftavirkni verulega á Kröflusvæði. Náði hún hámarki hinn 20. desember er eldgos varð norðan við Leirhnjúk. Miklar sprunguhreyfingar og landskjálftar fylgdu í kjölfar gossins, aðallega í Kelduhverfi og Axarfirði, en einnig á Kröflusvæði. Þetta var upphaf Kröfluelda svonefndra.

Jarðhitadeild Orkustofnunar hafði þá í nokkur ár gert ýmsar jarðvísindalegar rannsóknir, er nauðsynlegar voru vegna virkjunarframkvæmda við Kröflu og reksturs mannvirkja í Bjarnarflagi. Í janúar 1976 ákvað deildin að koma á fót auknu og reglubundnu eftirliti á óróasvæðinu, þar sem fyrirsjáanlegt var að áframhaldandi jarðhræringar gætu haft veruleg áhrif á virkjunarframkvæmdir og rekstur mannvirkja. Þetta var gert í samvinnu við Norrænu Eldfjallastöðina, Raunvísindastofnun Háskólans, Veðurstofu og Almanna- og Almannavarnir.



Mynd 2. Hraun runnin í Mývatnseldum 1724-1729 (Leirhnjúkshraun, Hrossadalshraun og Bjarnarflagshraun). Breiðu strikin sýna megingígaraðir. Kortið sýnir einnig gjóskuna frá Víti, sem féll 17.mái 1724. Tölurnar sýna þykkt í sm.

Tilgangur rannsóknanna var frá upphafi tvíþættur:

- a) Í fyrsta lagi að fylgjast sem nánast með öllu því sem sagt gæti fyrir um framvindu jarðhræringa og áhrif þeirra á mannvirki og framkvæmdir. Voru einkum höfð í huga mannvirki Kröfluvirkjunar, Kísiliðjan, gufuveitan í Bjarnarflagi og byggðin norðaustan við Mývatn. Framkvæmdaaðilum og Almannavörnum á óróasvæðinu var nauðsyn að fá nákvæmar upplýsingar um þróun mála, hvenær mætti búast við óróahrinum og hvenær mætti búast við að látum linnti.
- b) Í öðru lagi að reyna að safna sem flestum og almennustum gögnum um þennan viðburð til að öðlast meiri skilning á eðli háhitasvæða og tengslum þeirra við eldvirkni. Umbrot sem þessi hafa orðið áður á Kröflusvæði og víðar í gosbelti landsins og geta hafist nær hvenær sem er innan þess. Gætu þá fyrirhugaðir og núverandi virkjunarstaðir eins og t.d. við Jökulsá á Fjöllum, Tungnaá, Nesjavelli, Svartsengi og Reykjanes orðið í hættu.

Í yfirstandandi hræringum gefst í fyrsta skipti tækifæri til að kanna náíð slíkan náttúruviðburð síðan farið var að stunda jarðhitarannsóknir og jarðvísindi hér á landi. Langtímagildi slíkra athugana er því ómetanlegt fyrir framtíðarrannsóknir á þessu sviði. Rannsóknir á umbrotum í Þingeyjarsýslum hafa skilað miklum árangri. Niðurstöður sýna skýra mynd af eðli jarðhræringanna og hafa aukið skilning manna á eðli háhitasvæðanna. Einnig hefur tekist að vara við óróahrinum og hættuástandi með nokkurra klukkustunda fyrirvara, þannig að framkvæmda- og rekstraraðilar á svæðinu svo og Almannavarnir hafa getað brugðist við yfirvofandi hættu í tæka tíð.

5 ATBURDARÁS Í KRÖFLUELDUM 1975-1984.

Undir Kröfluöskjunni er kvikuhólf, sem liggur á um það bil 3-7 km dýpi í jarðskorpunni. Kvika hefur streymt að neðan úr iðrum jarðar inn í kvikuhólfið, a. m. k. síðan 1975. Við það lyftist land og er miðja landlyftingarinnar nálægt Leirhnjúki. Ein afleiðing þess er að á stöðvarhúsinu í Kröflu verða mælanlegar hallabreytingar og eru þær notaðar til þess að fylgjast með hraða kvikustreymisins inn í hólfið. Það virðist hafa verið nokkuð jafnt eða um 5-6 m³/s, a.m.k. fram á mitt ár 1981. Samsvarandi meðalrishaði lands í grennd við Leirhnjúk var um 8 mm á sólarhring. Þessi tímabil hægrar landlyftingar stóðu yfirleitt vikur eða mánuði. Árið 1981 varð nokkur breyting á. Land reis þá mun hægar en áður, eða innan við 1 mm á sólarhring, og liðu þá um 9 mánuðir á milli hrina. Síðan hefur tími milli hrina lengst og var síðasta goshlé nærri þrjú ár.

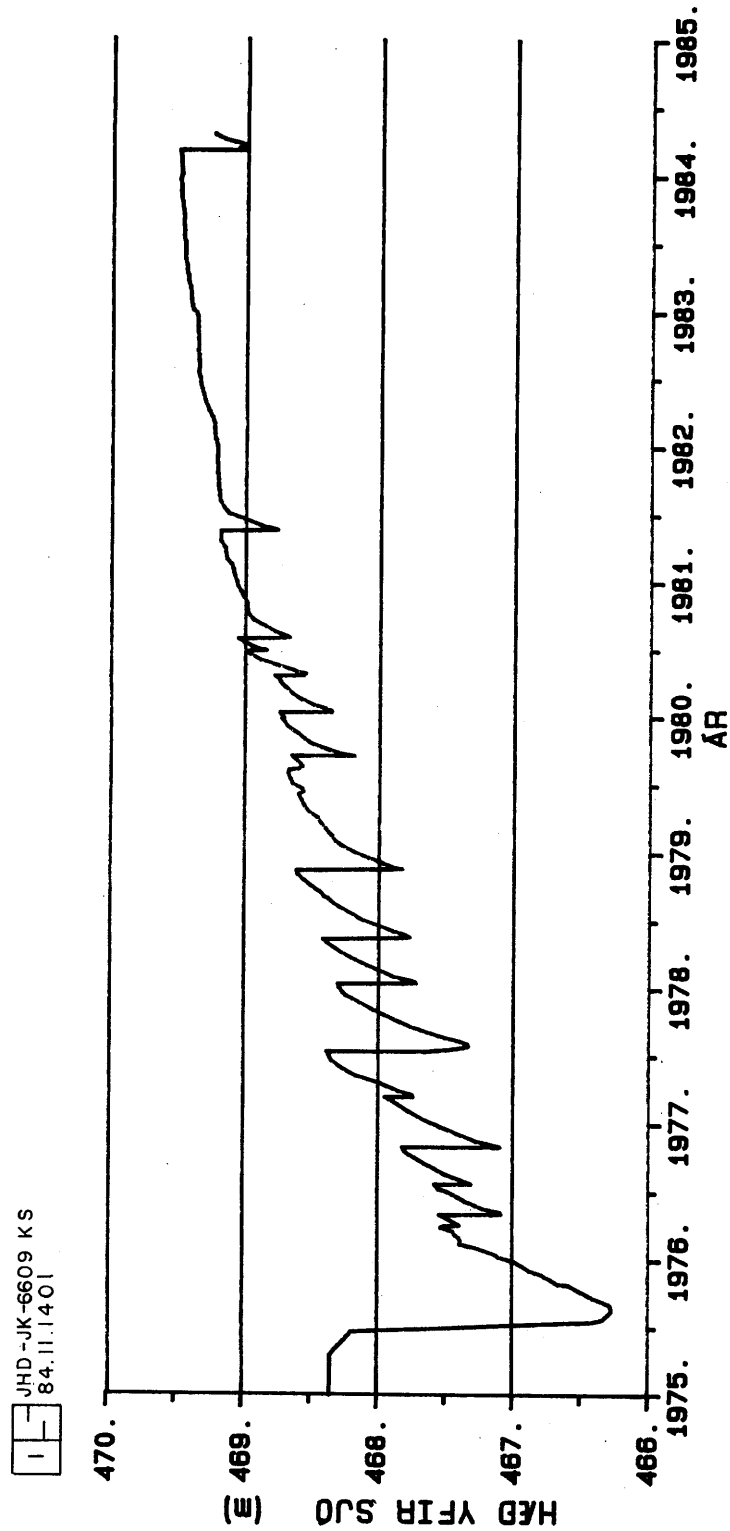
Þegar ákveðnum þrýstigi er náð í kvikuhólfinu brotnar sprungustykkið og gliðnar til norðurs eða suðurs út frá Leirhnjúkssvæðinu. Við það rennur hluti kvikunnar í hólfinu út í sprungukerfið og skyndilegt landsig verður innan öskjunnar. Samfara kvikuhlaupinu verða landskjálftar, stöðugur órói kemur fram á skjálftamelum og sprungur myndast í sprungustykkinu á því svæði, sem kvikan leitar til. Land gliðnar og sígur í virka sprungustykkinu en lyftist og þjappast saman austan og vestan við það. Ný gufusvæði mynduðust af völdum kvikuhlaupanna í Gjástykki og verulegar breytingar hafa orðið á hverum í Bjarnarflagi og á Kröflusvæði.

Hegðun Kröfluelda fram til þessa bendir til að fylgni sé á milli togspennu í jarðskorpunni og kvikuhreyfinga. Við landrek myndast togspenna í jarðskorpunni á plötuskilunum, en þrýstingur í kvikuhólfinu kemur sprunguhreyfingum og gliðnun af stað, þar sem jarðskorpan er veikust í grennd við hólfið. Mynd 3 sýnir síhækkandi landhæð í byrjun hrina allt frá 1975 og þar með síhækkandi þrýsting í kvikuhólfinu. Smám saman hefur slaknað á upphlaðinni togspennu og við hverja nýja hrinu þarf meiri þrýsting í kvikuhólfinu, áður en það brestur og kvikan streymir úr því út í sprungur og til yfirborðs. Þar kemur að þrýstingur í kvikuhólfinu dugur ekki til að losa um sprungur, eða aðstreymi kviku að neðan inn í kvikuhólfið hættir. Þá má búast við að kyrrð komist á.

Síðan 1975 hafa orðið 21 kvikuhlaup með tilheyrandi brestum og hræringum. Oftast hefur kvikan hlaupið til norðurs í Gjástykki. Aðeins fá meiri háttar hlaup hafa orðið til suðurs. Í apríl og september 1977 ollu suðurhlaup miklu tjóni á borholum í Bjarnarflagi og á Kísiliðju. Níu sinnum hefur eldur verið uppi samhliða kvikuhlaupum og landgliðnum. Síðasta gosið varð 4.-18. september 1984.

Tafla 1 inniheldur upplýsingar um öll kvikuhlaup Kröfluelda. Getið er um stærð hrauna og heildarsig lands í miðri sigskálinni, en út frá því má meta lágmarks rúmmál þeirrar kviku sem rennur út úr kvikuhólfinu í hverri hrinu.

Að loknu síðasta eldgosi og kvikuhlaupi við Kröflu tók land að rísa á ný og hefur risið nokkuð jafnt síðan eða um 6-7 mm á sólarhring á miðju rissvæðinu við Leirhnjúk. Haldi land áfram að rísa með svipuðum hraða, stígur kvikuþrýstingur umfram fyrra hámark innan fárra mánaða.



Mynd 3. Landhæðarbreytingar við Kröfluvirkjun 1975-1984. Hæðarbreytingar eru mælikvarði á kvikurennslí inn í kvikuþró undir Kröfluöskjunni og út úr henni aftur í kvikuhlaupum og þar með vísbending um stöðu mála í Kröflueldum.

TAFLA 1. KVIKUHLAUP OG ELDGOS Í KRÖFLUELDUM 1975-1984

Hrina (tímabil)		Mesta landsig í miðri öskju (sm)	Stefna kvikuhlaups (norður/suður)	Flatarmál hrauna (km ²)
1975 des	20 - feb 1976	230	N+S	0,036
1976 sep	28 - okt 4	17	N	
- okt	31 - nóv 1	51	N	
1977 jan	20	32	N	
- apr	27 - apr 28	81	S	0,001
- sep	8 - sep 9	24	S	0,5
- nóv	2	3	N	
1978 jan	7 - feb 8	119	N	
- júl	10 - júl 12	64	N	
- nóv	12 - nóv 15	72	N	
1979 maí	13 - maí 18	88	N	
- des	6 - des 10	3	S ?	
1980 feb	10 - feb 13	11	S	
- mar	16	53	N+S	1,3
- jún	20	2	?	
- júl	10 - júl 18	43	N	5,3
- okt	18 - okt 23	29	N	11,5
- des	22 - des 27	16	N	
1981 jan	30 - feb 4	44	N	6,3
- nóv	18 - nóv 23	47	N	17
1984 sep	4 - sep 18	55	N	24
Heildarlandsig		10,84 m	Flatarmál alls 36 km ²	
Heildarrúmmál öll kvika (lágmarksmat)		0,6 km ³	Hraun 0,25 km ³	

6 FRAMTÍÐARHORFUR ELDSUMBROTA OG JARÐHRÆRINGA

Hér á eftir verður bent á nokkur atriði, sem styðjast má við, þegar reynt er að meta líkur á framtíðarþróun í Kröflueldum.

Horfur næstu ár

Í yfirstandandi Kröflueldum sjást engin merki um að kvikustreymi að neðan inn í kvikuhólfið fyrst eftir umbrotahrinur sé nú minna en var framan af. Hins vegar hefur mikið dregið úr innstreyminu, þegar lengra hefur liðið frá hrinu eins og sjá má á aðdraganda nóvembergossins 1981 og septembergossins 1984 (mynd 3). Búast má við hræringum á svæðinu einhver ár enn ef mið má taka af Mývatnseldum, en langt getur liðið á milli umbrotahrinanna, jafnvel enn lengri tími en síðast, þegar tæp 3 ár liðu, áður en þrýstingur í kvikuhólfinu undir Kröfluöskjunni var orðinn nægur til að losa um sprungur og hleypa gosi af stað.

Horfur næstu vikur og mánuði

Samkvæmt nýjustu mælingum á landhæð og hallabreytingum rís land innan Kröfluöskjunnar með svipuðum hraða og áður fyrst eftir hrinur. Ef þróunin verður söm og fyrr verður þrýstingur kvikunnar búinn að ná fyrra hámarki eftir fáa mánuði (sjá mynd 3). Goshætta skapast þá á ný, einkum ef land heldur áfram að rísa upp fyrir þá stöðu. Hver þróunin verður þaðan í frá er óljóst en benda má á nokkra möguleika, sem allir koma til greina. Fyrirliggjandi gögn nægja ekki til þess að meta tölulega líkur á einstökum möguleikum.

- 1) Landsig verður skyndilega innan Kröfluöskjunnar vegna kvikuhlaups til norðurs undan henni út í sprungustykkið, og eldgos stuttu síðar. Beinist athyglin í þessu sambandi einkum að svæðinu norður undir Gjástykki, þar sem gosið hefur hin síðustu ár.
- 2) Virknin færir suður í sprungustykkið í átt að Bjarnarflagi og Hverfjalli. Sá hluti sprungubeltisins hefur áður gliðnað og brotnað í yfirstandandi hræringum. Samfara slíku kvikuhlaupi gæti orðið eldgos sunnan Leirhnjúks og suður í Bjarnarflag.
- 3) Eldgos nálægt Leirhnjúki án verulegrar gliðunar. Mætti þá búast við mun meira hraunrennsli en hingað til hefur orðið, vegna þess að kvikan nær ekki að renna til suðurs eða norðurs út í nýjar sprungur og verður því að leita upp á yfirborðið.
- 4) Landrís hættir og kyrrð kemst á.

7 HÆTTA Á TJÓNI Í UMBROTUM

Helstu skaðvaldar sem ógna mannvirkjum eru: 1) sprunguhreyfingar í jörð, 2) hraunrennsli, 3) öskufall, 4) kvikugasflæði inn í jarðhitakerfin, 5) innskot hraunkviku í borholur og 6) jarðskjálftar. Verður hér nokkuð fjallað um hvern þessara þátta.

Sprungur

Kortið á mynd 1 sýnir 1-2 km breiða spildu í miðju sprungustykkinu, sem liggur gegnum Kröflueldstöðina. Innan spildunnar hafa sprungur haggast í Kröflueldum, bæði gliðnað og misgengið. Virkasti hluti sprungukerfisins er í óbyggðum, en á árunum 1975-1978 höggudust sprungur í byggð bæði í Mývatnssveit, Kelduhverfi og í Axarfirði. Utan virku spildunnar hafa sprungur hreyfst á mjóu beltí í suðurhlíðum Kröflufjalls og nær beltíð inn á vinnslusvæði Kröfluvirkjunar. Höggudust þessar sprungur í upphafi Kröfluelda á árinu 1976 en lítið síðan.

Virka spildan liggur gegnum Bjarnarflag og eru Kísiliðjan, gufufurafstöðin og gufuborholur innan hennar. Verulegar skemmdir urðu á mannvirkjum Kísiliðjunnar í umbrotahrinum á árinu 1977. Þá skemmdust einnig og eyðilögðust allflestar vinnsluholur Jarðvarmaveitna ríkisins í Bjarnarflagi. Auk þessa urðu skemmdir á vegum, lögnum (vatns- og hitaveitu) og á línun (síma- og raflínun) í Bjarnarflagi 1977.

Kröfluvirkjun stendur austan virku spildunnar. Hins vegar urðu í upphafi Kröfluelda sprunguhreyfingar innan núverandi vinnslusvæða virkjunarinnar og skemmdust þá tvær borholur (KW-1 og KG-3^b). Á árunum 1975-1978 teygðist sprunguvirknin norður í Axarfjörð og urðu þar allnokkrar skemmdir á vegum og línun.

Síðan 1978 hefur umbrotasvæðið að mestu verið takmarkað við þann hluta virku spildunnar, sem nær norðan úr Gjástykki suður á móts við Hlíðarfjall. Í mars 1980 hreyfðust þó sprungur verulega suður að Bjarnarflagi. Engin mannvirki eru á þessu svæði, og ef virknin heldur sig innan þeirra marka til loka Kröfluelda er þess ekki að vænta að frekara tjón verði af völdum sprungna. Hinsvegar gætu suðurhlaup þýtt ný áföll fyrir skrifstofu- og verksmiðjubýggingar Kísiliðjunnar, rafstöð Landsvirkjunar, gufuveitu Jarðvarmaveitna ríkisins og önnur mannvirki í Bjarnarflagi. Ný þró og tvær nýjar gufuholur eru nú utan við virku spilduna og því í minni hættu.

Hraunrennsli

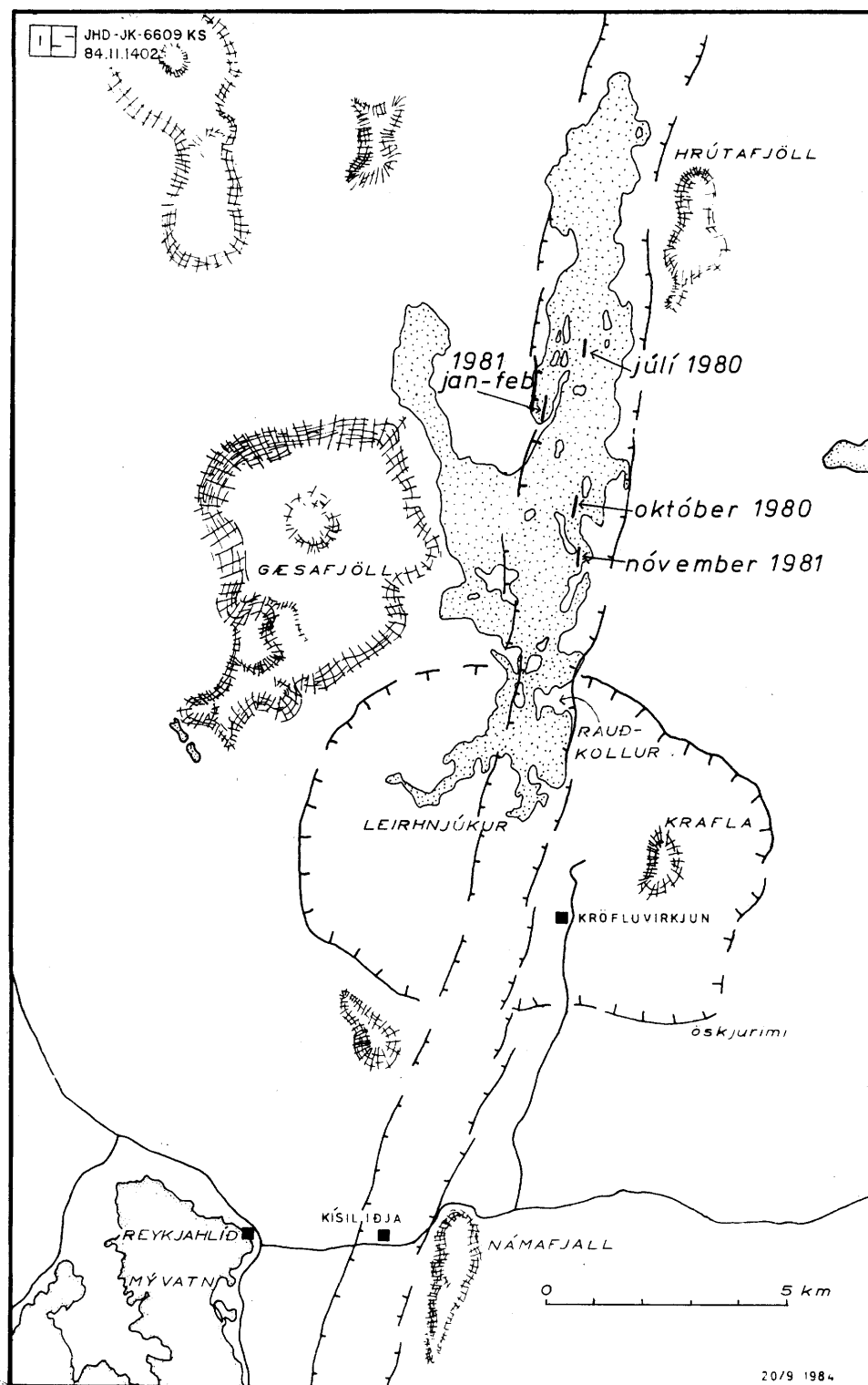
Í Kröflueldum hefur hraun komið upp á rúmlega 10 km löngum kafla í sprungustykkinu frá Leirhnjúki norður á móts við fellið Snaga í Gjástykki. Mynd 4 sýnir útbreiðslu hraunsins eftir nóvembergosið 1981 og mynd 5 hraunið, sem rann í septembergosinu 1984. Þar sem jafnan hefur gosið á sömu slóðum hafa hraunin runnið hvert á annað ofan auk þess sem hvert nýtt hraunflóð hefur runnið út fyrir það sem fyrir var. Mynd 6 sýnir hraunbreiðuna alla að afloknu septembergosinu 1984. Hraunið, sem þá rann er það stærsta (24 km²), sem runnið hefur í Kröflueldum. Það jók um 5-6 km² við heildarflatarmálið, sem nú er um 36 km².

Innan öskjunnar hafa gosin, allt frá desember 1975, er fyrst gaus, orðið á sömu sprungunni. Norðan öskjunnar hafa gossprungurnar dreifst á breiðara belti, allt að 1000 m þar sem mest er sunnantil í Gjástykki.

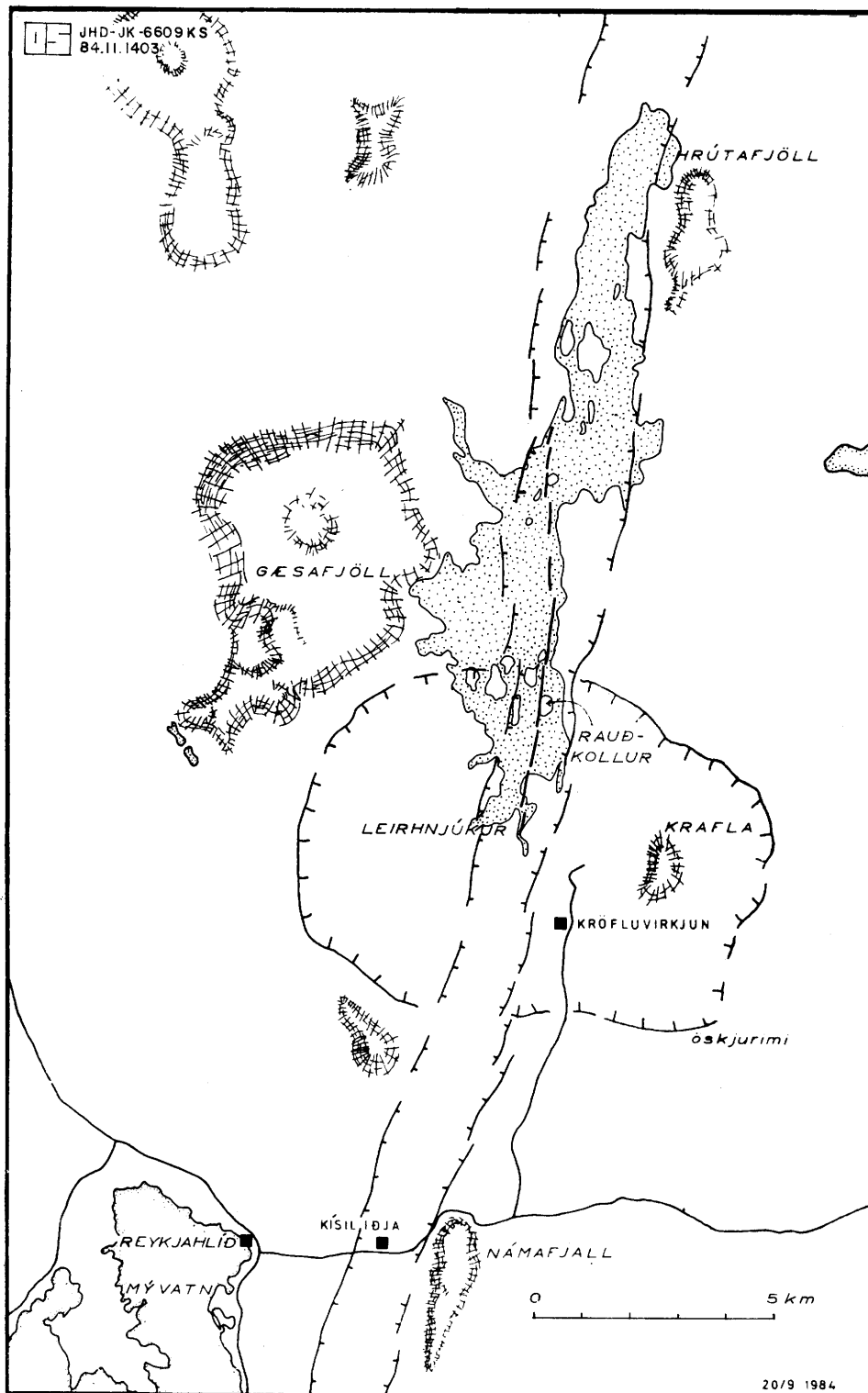
Hraunrennslið hegðar sér þannig að fyrstu klukkutímana sem gýs, flæða þunnfljótandi hraun með miklum hraða út frá sprungunni allri. Síðan dregur úr gosvirkninni og einungis gýs á stuttum kafla, oftast á einum stað syðst í Gjástykki. Þar hafa gosin staðið frá 5 dögum og upp í 2 vikur (sept. 1984). Hraunin renna þá oftast í hrauntröðum (hraunám) langa leið, tapa úr sér gasi og kólna. Við það eykst seigjan og apalhraun myndast, þar sem áin breiðir úr sér.

Kröfluvirkjun stafar hætta af hraungosum, sem koma upp á kaflanum á milli Leirhnjúks og Rauðkolls (mynd 1). Gosin þar hafa verið áköf einungis í fáeina klukkutíma í byrjun og hafa þá runnið þunnfljótandi hraun. Hraunin sem komið hafa upp á svæðinu sunnan við Rauðkoll hafa aðallega runnið til vesturs, því að sigstallar héldu lengi vel að þeim austan megin. Eftir septembergosið 1984 er fyrirstaða orðin lítil við sigstallana, þannig að leiðin hefur greiðst fyrir hraunrennsli í átt að Leirbotnum og Kröfluvirkjun. Þar á milli er gamalt hraun með gjám. Líklegt er að þær hefti framrás þunnfljótandi hrauns að einhverju marki vegna rennslis þar ofan í. Í september 1984 náði hraunið ekki að renna lengra til austurs en að gjá í hraunjaðrinum suðaustur af Rauðkollu, þar hvarf það niður.

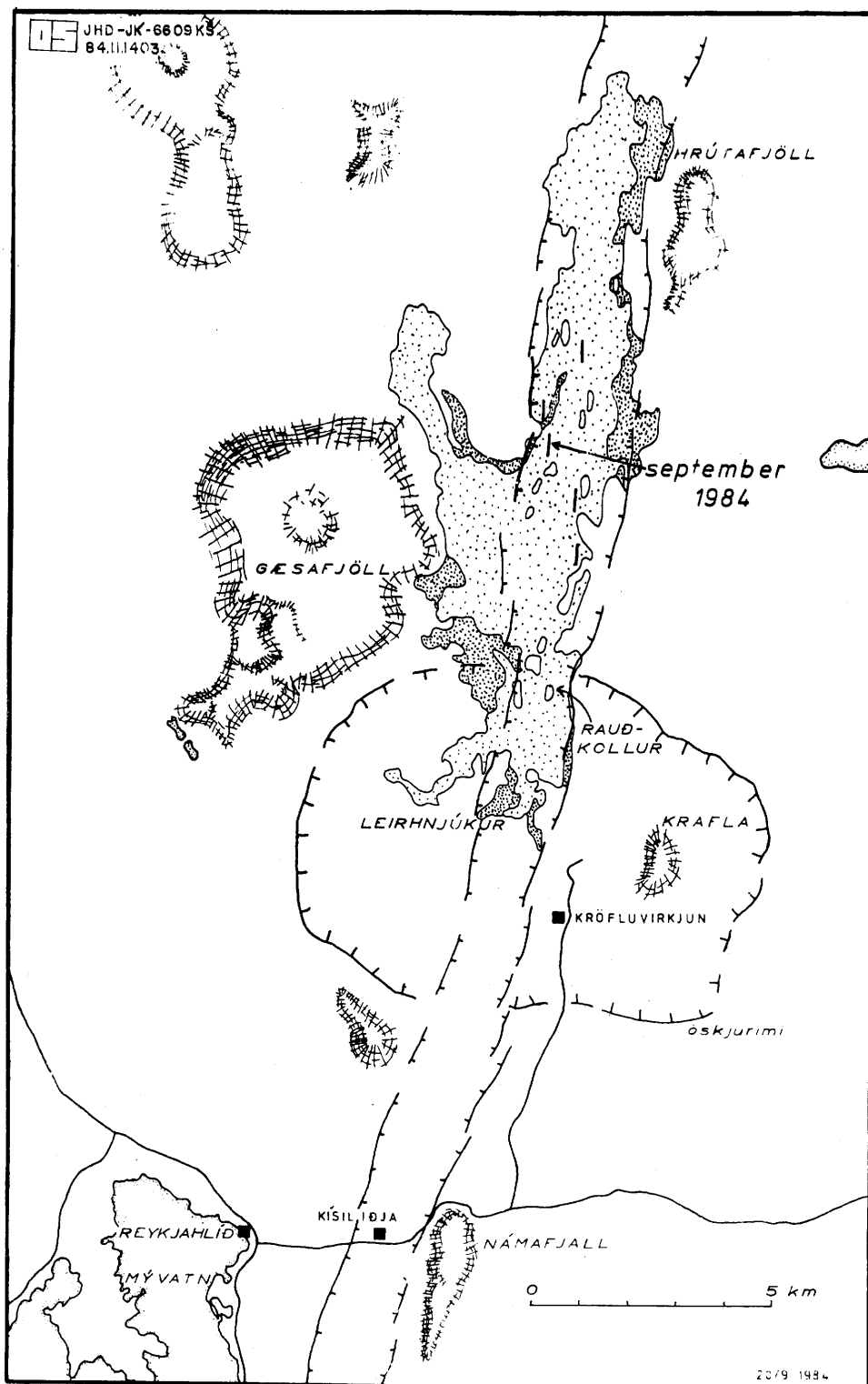
Kísiliðjuni og byggðinni norðaustast í Mývatnssveit stafar hinsvegar ekki teljandi hætta af hraunrennsli verði gosin á líkum slóðum og rennslishættir svipaðir og í fyrri goshrinum. Verði breytingar þar á þannig að gosvirknin færist suður í sprungustykkið eða langvarandi gos verði nærri Leirhnjúki gegnir öðru máli. Ekkert ákveðið verður sagt um líkur á slíkri þróun.



Mynd 4. Hraun runnin í Kröflueldum 1975-1981. Örvarnar vísa á þá staði, þar sem lengst gaus og mest hraun kom upp hverju sinni (sígosastaðir).



Mynd 5. Hraun runnið í Kröflueldum í september 1984. Breiðu strikin í miðju sprungustykkinu marka gossprunguna, er var öll virk í upphafi goss.



Mynd 6. Öll hraun, er runnið hafa í Kröflueldum. Dökku jaðarsvæðin sýna stækkun hraunbreiðunnar í september 1984. Ürin bendir á aðalgíginn, sem lengst var virkur.

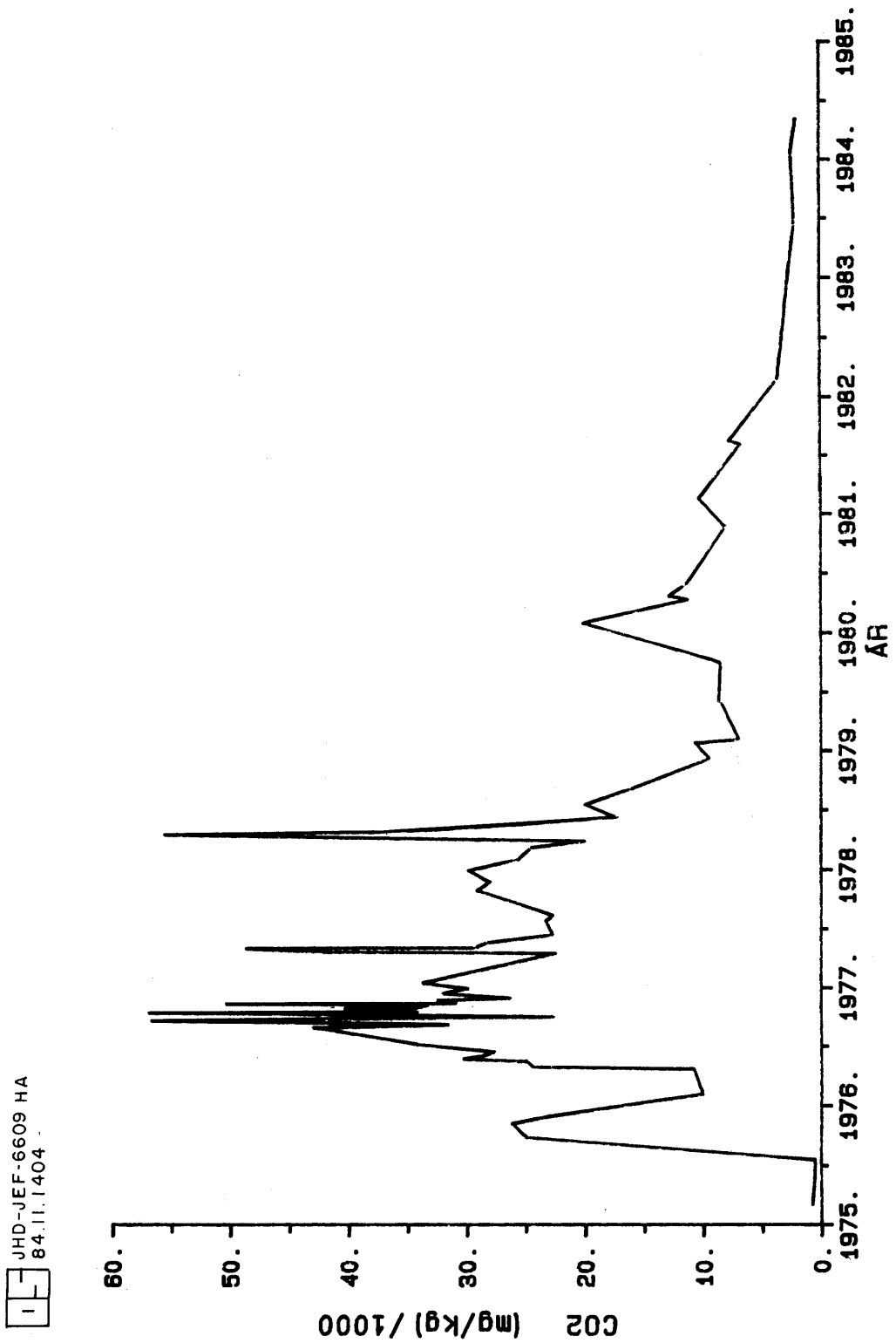
Öskufall

Gosin í Kröflueldum hafa verið hraungos og lítil sem engin aska fylgt þeim nema hvað gjall hefur sáldrast úr hraunstrókum í byrjun gosa án þess að valda skemmdum. Öskugos hafa stundum orðið úr einstaka gígum eftir að hraungos úr þeim hætti, og grunnvatn komst í gossrásina. Þá hefur orðið kröftug suða og kastast upp leir, grjót og aska. Þessi gos hafa þó verið smá og askan borist stutt frá gígnum. Sprengigos í líkingu við það, sem varð í upphafi Mývatnselda, er Víti varð til, myndi vafalítið spilla jarðhitakerfinu og valda tjóni á mannvirkjum í óheppilegri vindátt. Það gos varð við upphaf Mývatnselda. Líkur á slíku gosi nú, þegar Kröflueldar hafa staðið fast að áratug, hljóta að teljast fremur litlar. Engan veginn er þó hægt að útiloka að aðstæður til sprengigoss geti skapast á Kröflusvæði.

Gasflæði inn í jarðhitakerfi

Innan Kröfluöskjunnar er stórt (10 km²) jarðhitasvæði auk nokkurra smærri. Meginkerfið er ílangt í stefnuna NV-SA og teygir sig frá suðurhlíðum Kröflufjalls norðvestur fyrir Leirhnjúk. Þrjú jarðhitauppstreymi eru innan svæðins og hluta það í undirkerfi. Þau eru: Leirhnjúkur, Leirbotnar og Suðurhlíðar. Tvö síðastnefndu kerfin nýttir Kröfluvirkjun til gufuvinnslu. Þriðja vinnslusvæði Kröfluvirkjunar er Hvíthólar, lítið jarðhitakerfi við öskjurimann í Hlíðardal. Í upphafi Kröfluelda streymdu kvikugös inn í Leirhnjúks- og Leirbotna- kerfin. Þessa varð vart í Leirbotnum í ársbyrjun 1976 eða um svipað leyti og sprungur höggubust í Suðurhlíðum og Leirbotnum. Er talið að hraunkvika hafi komist inn í jarðhitakerfið. Gas jókst gífurlega í borholum, auk þess sem sýrustig vatnsins lækkaði mjög. Olli þetta útfellingum í borholum og tæringu fóðurröra. Hóla KG-4 blés óbeisluð um þetta leyti og eyðilagðist hún endanlega vegna kvikuáhrifa í ársbyrjun 1976. Er hugsanlegt að bráðin hraunkvika hafi komist í námunda við holuna.

Gasaukningin í Leirbotnum hefur ekki verið varanleg heldur tímabundin. Mynd 7 sýnir breytingar í gasstyrk vökva úr holum KG-3 og KJ-7. Fyrir gosið 1975 var gasstyrkur KG-3 um 200 ppm (mg/kg). Í ársbyrjun 1977 mældist hann um 50000 ppm í KJ-7, en hefur síðan lækkað og er nú um 2000 ppm. Vegna hærri innstreymishita er eðlilegt að gasstyrkur KJ-7 sé hærri en í KG-3. Núverandi styrkur bendir til að kvikugös séu að mestu eða öllu leyti horfin úr KJ-7. Athuganir á öðrum borholum sem og mælingar á gasstyrk í hverum og gufuaugum benda til þess að kvikugös í Leirbotnum séu í mikilli rénun. Breyting varð ekki við septembergosið 1984.



Mynd 7. Gasmagn (CO₂) í holu 3 fram á mitt ár 1976 og síðan í holu 7 við Kröflu. Gasmagn hefur minnkað nær stöðugt síðustu 8 árin. Gas jókst ekki í septembergosinu 1984.

Á Námafjallssvæðinu urðu smávægilegar breytingar á efnainnihaldi vökva í borholum í Bjarnarflagi í sambandi við umbrotin 1977. Þær breytingar voru einnig tímabundnar og höfðu lítil sem engin áhrif á vinnslueiginleika jarðhitavökvans.

Innskot hraunkviku í borholur

Bæði í Kröflu og Bjarnarflagi hafa holur stíflast eða skaddast vegna innskots hraunkviku. Fyrst varð vart við þetta í Bjarnarflagi í septemberhrinunni 1977. Þá gaus ein af vinnsluholum Kísiliðjunnar (Hóla 4, 1100 m djúp) gjalli. Eftir gosið mældist holan aðeins 630 m djúp. Hún er samt enn vinnsluhæf, en afköstin mun minni en áður. Hún sér nú Hitaveitu Reykjahlíðar og Voga fyrir hitaorku. Ein af holum Kröfluvirkjunar (hóla KJ9) fékk í sig hraunkviku í umbrotahrinu í maí 1979. Við hreinsun 2 mánuðum seinna fannst feskt basaltgler í 550-850 m dýpi í bland við kalkútfellingar. Öruggt má telja að kvikuinnskot hafi átt mestan þátt í eyðileggingu holu 4 við Kröflu.

Jarðskjálftar

Tjón hefur ekki hlotist beint af jarðskjálftum í Kröflueldum, enda skjálftarnir yfirleitt litlir. Þeir stærstu hafa verið um 5 stig á Richter kvarða og er vart við því að búast að mun stærri skjálftar verði í Kröfluöskjunni eða í sprungustykkinu, sem liggur í gegnum hana. Ástæðan er einkum sú að jarðskorpan er þunn og veik á þessum slóðum og brotnar hún eða gliðnar áður en mikil spennan nær að hlaðast upp. Hins vegar var samband á milli gliðunar í Kröflusprungustykkinu og jarðskjálftans mikla, sem varð í Axarfirði veturinn 1976, en upptök hans voru í brotabelti, sem liggur norðvestur-suðaustur út af Norðurlandi.

8 VARNARAÐGERÐIR OG EFTIRLIT

Með framanskráða atburðarás í huga má telja líklegt að jarðhræringar haldi áfram um einhver ár enn í eldstöðvakerfi Kröflu.

Á Kröflusvæðinu stafar mannvirkjum mest hættan af hraunrennsli. Við hættu á hraunrennsli má bregðast með því að byggja varnargarða og koma upp kælibúnaði og reyna þannig að beina hrauninu frá þeim stöðum þar sem það gæti valdið tjóni. Við Kísiliðjuna var á sínum tíma komið upp varnargarði og dælubúnaði til hraunkælingar. Einnig hefur verið gerður einn garður til varnar byggðinni í Mývatnssveit, lítill garður á brekkubrúninni norðan Kröfluvirkjunar og vegarstæði í Leirbotnum

hækkað. Auka þessar aðgerðir eitthvað öryggi mannvirkja á þessum svæðum. Æskilegt væri að taka eldri áætlanir um þetta til endurmats og kanna hvort gera ætti þá varnargarða, er mest myndu draga úr hættu á hraunrennsli í átt að Kröfluvirkjun. Vart er ástæða til að gera fleiri varnargarða í Bjarnarflagi að svo stöddu, enda sé þeim haldið við.

Mikilvægt er að áfram verði fylgst sem best með framvindu Kröfluelda. Eftirlit hefur í fyrsta lagi þann tilgang að gera menn viðbúna náttúruhamförum og hæfa til að bregðast við aðsteðjandi hættu á eigna- og manntjóni á sem skjótastan og skynsamlegastan hátt. Í öðru lagi er afar mikilvægt að safna áfram upplýsingum um umbrotin, einkum að fylgjast með á hvern hátt þeim muni ljúka og kyrrð komast á aftur. Slíkar upplýsingar verða ómetanlegar, er fram líða stundir og Íslendingar standa í næsta sinn frammi fyrir svipuðu óvissuástandi og ríkt hefur í Kröflueldum og þurfa að taka ákvarðanir um framkvæmdir á eldvirkum svæðum landsins.

Á umbrotasvæðinu eru nú reknir nokkrir jarðskjálftamælar og síritandi hallamælar, sem stöðugt er fylgst með. Landhæð er mæld nokkrum sinnum á ári og reglulega er fylgst með breytingum á sprungum, hverasvæðum og gasinnihaldi í jarðhitavökva. Auk þess eru gerðar margvíslegar athuganir og mælingar af ýmsum aðilum. Verulega hefur verið dregið úr þessari starfsemi á undanförunum árum eftir því sem vitneskja um eðli jarðhræringanna hefur aukist. Það er mikilvægt að ekki verði dregið frekar úr mælingum og eftirliti með umbrotunum verði haldið áfram. Ella er hætta á að sú keðja athugana, sem hafin var 1975, rofni og ónýttist.

EFNISFÖNG

Höfundar þessarar skýrslu hafa einkum leitað fanga í ýmsum óbirtum gögnum Orkustofnunar svo og eldri skýrslum, greinargerðum og tímaritsgreinum Orkustofnunar, Norrænu Eldfjallastöðvarinnar og Raunvísindastofnunar Háskólans. Einnig var leitað til Karls Grönvolds, Norrænu Eldfjallastöðinni og Páls Einarssonar, Raunvísindastofnun Háskólans, sem lásu handritið yfir og gáfu mikilvægar ábendingar. Halldór Ármannson, Orkustofnun, lagði til efni í mynd 7 og Oddur Sigurðsson, Orkustofnun, tók loftmyndir af septemberhrauninu 1984, sem flatarmál þess var metið eftir.