

Ágúst Guðmundsson og Kristján Sæmundsson

Heklugosið 1991: Gangur gossins og aflfræði Heklu

INNGANGUR

Hekla er næstvirkasta eldfjall landsins á sögulegum tíma. Hún hefur gosið a.m.k. 17 sinnum á þessum tíma og að auki er vitað um 5 gos í nágrenni hennar í sama eldstöðvakerfinu. Grímsvötn er eina megineldstöðin sem hefur gosið oftast, eða 40–50 sinnum. Hins vegar er heildarrúmmál gosfna úr Heklu á þessum tíma yfir 7 km³ en innan við 2 km³ úr Grímsvötnum. Til samanburðar má nefna að rúmmál hrauna í stærstu sprungugosum á sögulegum tíma, Eldgjá 934 (Guðrún Larsen 1979, Hammer 1984) og Lakagígum 1783, er 12–14 km³ (Miller 1989, Sigurður Þórarinnsson 1967).

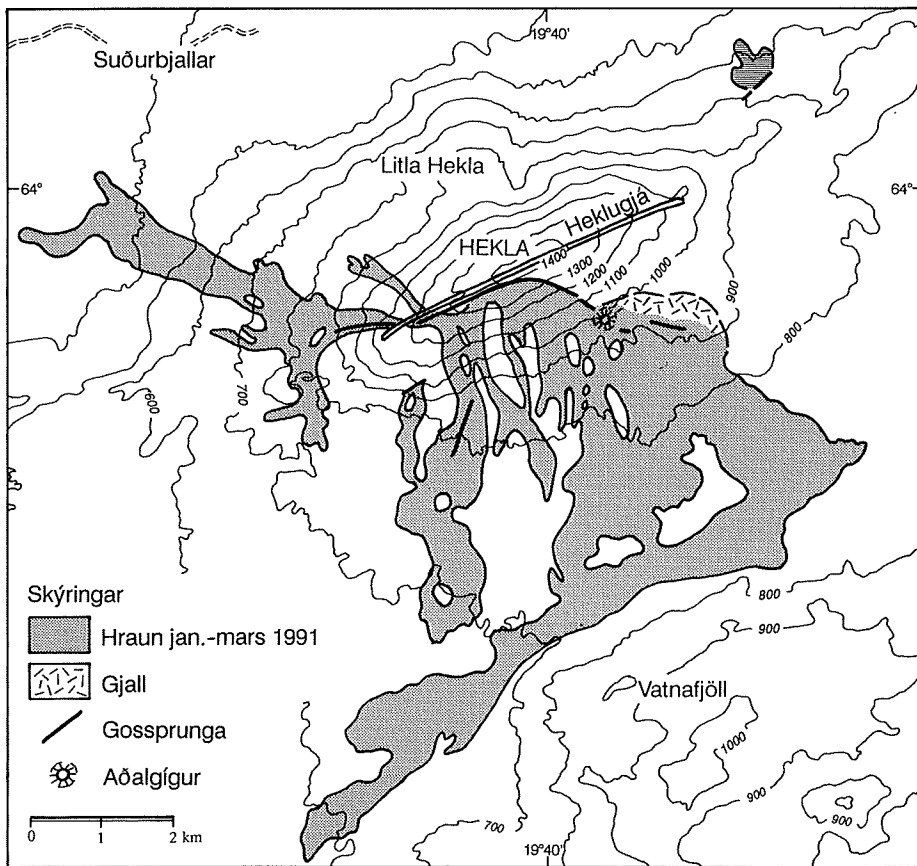
Heklugos gera yfirleitt lítil boð á undan sér og svo var um gosið sem hófst 17. janúar 1991. Fyrstu jarðskjálftar sem tengjast rifnun kvikuþróarinnar undir Heklu, svo og snöggar breytingar á streitumælum í borholum á Suðurlandi, urðu innan við hálf tíma áður en gosið hófst. Talið er að kvikuþró sé á um 8 km dýpi undir Heklu (Einar Kjartansson og Karl Grönvold 1983, Ágúst Guðmundsson o.fl. 1992). Ef fyrstu skjálftarnir sýna hvenær þakið brast og kvikan tók að streyma úr þrónni, þá hefur kvikan

farið með um 15 km hraða á klukkustund á leið sinni til yfirborðs. Þetta er 5 til 10-faldur hraði á láréttri færslu skjálftaupptaka sem fylgt hafa kviku-hlaupum í Kröflu, svo dæmi sé tekið. Undanfari gosa í Heklu er því mjög skammur.

FYRSTU SÓLARHRINGAR GOSSINS

Gosið hófst um klukkan 17 fimmtudaginn 17. janúar. Gosmökkurinn sást frá Botnum í Meðallandi kl. 17.05 og frá Eystra-Geldingaholti í Gnúpverjahreppi kl. 17.07 og hafði náð 11,5 km hæð kl. 17.10. Gosrói byrjaði um kl. 17 og var vaxandi fram til kl. 18. Líklegt er að gossprungurnar hafi aðallega opnast á tímabilinu frá kl. 17 til 18. Eftir kl. 18 dró ört úr gosróa og hann var orðinn lítill strax kl. 4 aðfaranótt 18. janúar. Síðan dró hægt úr gosróa næstu vikurnar þar til hann hætti alveg að morgni 11. mars um það leyti sem gosinu lauk.

Í fyrstu gaus í suðvesturhluta Heklugjár, sem liggur eftir háhrygg fjallsins (1. mynd), en gosið þar hætti fljótlega, líklega strax á fyrsta degi. Hvorki gaus í Toppgíg né Axlargíg, sem báðir mynduðust í gosinu 1947. Aldrei gaus í norðausturhluta Heklu-



1. mynd. Hraun og gossprungur frá gosinu 1991. Vel sést hvernig aðalgossprungan sveigir til suðausturs. Gígurinn sem lengst var virkur er sýndur.

gjár, heldur liggur gossprungan til suðausturs niður hlíðarnar rétt sunnan við Toppgíg (1. mynd). Á fyrsta degi gaus einnig á nokkrum sprungum sem stefna geislótt út frá toppi fjallsins.

Gjóskufall var lítið miðað við mörg fyrri Heklugos. Gjóskan barst fyrir suðvestanátt yfir afrétti sunnanlands norðaustur yfir landið og rétt litaði snjó í Bárðardal og Mývatnssveit seint um kvöldið fyrsta gosdaginn. Frekari

upplýsingar um gjóskufallið er að finna í grein Guðrúnar Larsen o.fl. í þessu hefti.

Hraun tók fljótlega að renna niður suðvesturhlíðar Heklu. Þegar fyrstu nóttina var þó farið að draga úr virkninni á suðvestursprungunni og hún greindist fljótlega í þrjá hluta. Kvikustrókarnir náðu mest 100–200 m hæð. Hraun hélt áfram að renna til suðvesturs þar til að kvöldi 18. janúar, eða í rúman sólarhring, en hraun-



2. mynd. Loftmynd tekin laugardaginn 19. janúar. Horft í norðaustur eftir háhrygg Heklu. Aðalgigurinn er til hægri á myndinni. Mynd Ágúst Guðmundsson.

rennsli var alveg hætt að morgni 19. janúar.

Aðalhraunflæðið var frá byrjun í suðausturhlíðum fjallsins og hélst svo út gosið (2. mynd). Fram á sunnudaginn 20. janúar hélst lítilsháttar virkni í neðri sprungunni sem gengur í suð-suðvestur sunnan við Heklugjá (1. mynd), en að öðru leyti urðu allar gossprungur óvirkar strax á öðrum degi gossins, nema aðalsprungan. Sú sprunga liggur til suðausturs frá toppi fjallsins og gígurinn sem lengst var virkur er sýndur á 1. mynd. Samkvæmt lýsingu sjónarvotta náðu kvikustrókarnir 300 m hæð fyrstu nóttina og eldveggurinn var nokkuð samfelldur. Laugardaginn 19. janúar hafði nær öll virkni færst á þann stað á sprungunni þar sem síðar hlóðst upp stærðar gígkeila (3. mynd).

Smá hraunsletta kom upp rétt aust-

an við Skjólkvíar, langt norðan við meginhraunið (4. mynd). Samkvæmt lýsingu sjónarvotta virðist hún, þótt lítil sé, hafa komið upp í tveimur smáhrinum. Fyrri hrinan varð skömmu eftir að Heklugosið hófst en sú síðari daginn eftir.

Breytingar á gosóróa og aðrar at-
huganir benda til þess að krafturinn í gosinu hafi verið langmestur fyrstu 11 klukkustundirnar. Á þessu tímabili er líklegt að hraunrennslið hafi orðið allt að 2000 m³/sek en tvo fyrstu sólarhringana var meðalrennslið um 800 m³/sek, sem er tvöfalt streymi Ölfusár við Selfoss. Rennslið minnkaði þó fljótlega í um 10 m³/sek, sem er um tvöfalt meðalstreymi Elliðaánna. Hraunrennslið var síðan á bilinu 1–12 m³/sek, með tímabundnu lágmarki í byrjun febrúar, þar til gosi lauk.



3. mynd. Loftmynd tekin sunnudaginn 20. janúar af aðalgosprungunni sem liggur til suðausturs frá toppi fjallsins. Hraunáin sést vel. Mynd Ágúst Guðmundsson.

4. mynd. Smáhraun rétt austan við Skjólkvíar (sjá 1. mynd). Mynd Ágúst Guðmundsson.





5. mynd. Horft í suður frá rótum aðalgígsins á hraunárnar 16. febrúar. Árnar voru alls 5 þennan dag en einungis 4 sjást á þessari mynd. Mynd Ágúst Guðmundsson.

FRAMHALD GOSSINS

Fyrstu vikurnar rann hraunið í einni á frá gígnum en seinna í lokaðri rás nokkur hundruð metra leið frá honum. Spratt það þá fram á nokkrum stöðum í hlíðinni neðan við gíginn. Streymi í hraunánni 29. janúar var 6–8 m³/sek en síðan dró snögglega úr því og virðist áin hafa storknað á yfirborði um stund 1. febrúar. Til er kvikmynd sem sýnir ána fyrst storknaða og svo hvernig hún ryður sig og streymi hefst í henni á ný. Ekki er vitað til þess að áin hafi storknað fyrr eða síðar í gosinu. Þess má þó geta að algengt er að hraunár storkni á yfirborði þegar lokaðar rásir myndast, eins og gerðist í gosinu 1947 (Sigurður Þórarinnsson 1976 s. 23), og hefur það vafalítið gerst í þessu gosi. Um mánaðamótin janúar-febrúar var rennsli hrauns úr gígnum orðið hverfandi lítið. Kvikmyndir teknar frá gígbarmin-

um 1. febrúar sýna að aðalvirknin í gígnum þá var gasútstreymi um tvö augu á gígbotninum sem að öðru leyti var storknaður. Gosið virðist því hafa verið að lognast út af um þetta leyti.

Gosið var áfram lítið fyrstu dagana í febrúar. Til dæmis var rennsli í hraunánni 9. febrúar aðeins um 1 m³/sek. Í kringum 13. febrúar tók það hins vegar kipp og þann dag sáust í fyrsta skipti tvær hraunár en fram að þeim tíma hafði áin verið ein. Nákvæmar mælingar gáfu heildarrennslið 10–12 m³/sek 16. febrúar, en þá spratt hraunið fram úr fimm kvikuaugum. Voru árnar aðgreindar næst upptökum en sameinuðust neðar í hlíðinni (5. mynd). Af þessum fimm var hraunrennsli mjög lítið í tveimur ystu ánum en 3–6 m³/sek í hverri hinna (6. mynd).

Þann 23. febrúar dró verulega úr gosinu og daginn eftir mældist heildar-



8. mynd. Aðalhraunáin 24. febrúar. Meðalbreidd er 6 m og dýpt um 2 m. Mesti hraði hraunstraums er 10 cm/sek og heildarrensli 1,2 m³/sek. Mynd Ágúst Guðmundsson.

komið hafa upp í síðustu þremur gosum í Heklu, og er þá litið á gosin 1980 og 1981 sem eitt, eru hvert fyrir sig lítil þegar miðað er við hraunið frá gosinu 1947.

HVAÐA LÆRDÓM MÁ DRAGA AF ÞESSU GOSI?

Lega Heklu í jaðri austurgosbeltisins þar sem það mætir brotabelti Suðurlands gerir hana sérstaklega áhuga-verða frá jarðfræðilegu sjónarmiði, einkum þar sem austurgosbeltið er framsækið rekbelti. Þar er gömul skorpa að gliðna sundur og breytast í eiginlegt rekbelti.

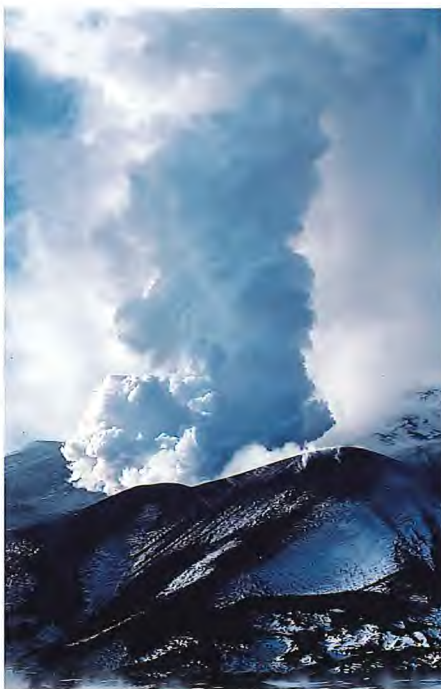
Þá má benda á að hin 5,5 kílómetra langa Heklugjá, þaðan sem flest eiginleg Hekluhraun hafa runnið, er með stefnu sem vikur um 20 gráður frá stefnu nálægra gossprungna. Hins vegar er stefna hennar sú sama og

önnur höfuðstefna sprungna á Suðurlandi (Haukur Jóhannesson o.fl. 1990). Þetta ásamt öðru gerir Heklu að sérlega forvitnilegu eldfjalli og undirstrikar nauðsyn þess að vel sé fylgst með gosum hennar sem og öðrum jarðhræringum í fjallinu og í grennd við það.

Gosið 1991 er ef til vill merkilegast fyrir þá sök að það staðfestir enn frekar jákvæða línulega fylgni ýmissa mælistærða í Heklugosum við lengd undanfarandi goshlés. Þær helstu eru (1) kísilsýruinnihald fyrstu gosefnanna og sprengivirkni í byrjun goss, (2) rúmmál hrauna og nýfallinnar gjósku, (3) lengd gossins, og (4) stærð stærstu jarðskjálfta sem tengjast gosinu (Sigurður Þórarinnsson 1968, 1970, Karl Grönvold o.fl. 1983).

Því meiri sem sprengivirknin er í byrjun goss þeim mun meira verður

9. mynd. Gosmökkur upp úr aðalgígnum 24. febrúar. Gígkeilan er allt að hundrað metra há, en rúmmál hennar er lítið miðað við rúmmál hraunsins. Mynd Ágúst Guðmundsson.



gjóskufallið. Mikið gjóskufall veldur að öðru jöfnu meira tjóni á jörðum en lítið. Að auki vex magn gosefna með lengd undanfarandi goshlés. Frá sjónarmiði byggðar í grennd við Heklu er æskilegra að hún gjósi oft, og þá litlu magni gosefna hverju sinni, en að hún gjósi sjaldan og miklu magni gosefna í hvert skipti.

Nokkur fylgni er einnig milli lengdar goss og lengdar undanfarandi goshlés. Lengd goss, að undangengnu goshléi af tiltekinni lengd, er þó talsvert breytileg. Goshlé fyrir gosin 1980 og 1991 voru til dæmis jafnlöng en gosið 1980 stóð í 3 daga (10 daga samtals þegar gosið 1981 er talið með) en gosið 1991 í tæpa 53 daga. Lengd gossins nú er hins vegar svipuð og lengd gossins 1970 sem stóð í 60 daga, en á undan því var 22 ára goshlé.

Stærð stærstu jarðskjálfta í gosi

tengist einnig lengd undanfarandi goshlés. Hléið fyrir gosið 1947 var 101 ár og stærsti skjálftinn í því gosi náði stærðinni 5 á Richterkvarða. Fram að gosinu 1970 liðu 22 ár og stærsti skjálftinn var 4. Stærstu skjálftar í tengslum við gosin 1980–81 og 1991 voru hins vegar aðeins 3 á sama kvarða. Af þessu má álykta að það þurfi meiri spennu til að brjóta skorpuna ofan við kvikuþró Heklu því lengra sem líður milli gosa.

Á 10. mynd er sígild teikning Sigurðar Þórarinssonar (1968) af sambandinu milli kísilsýrumagns í gjósku í upphafi Heklugosa og lengdar undangengins goshlés. Efnagreiningar á gosmöl úr upphafshrinu gosanna 1970 (Guðmundur Sigvaldason 1974) og 1980–81 (Karl Grönvold o.fl. 1983) falla að mynd Sigurðar, eins og sýnt er, og sama er að segja um gosið 1991

(Níels Óskarsson, munnl. upplýsingar). Teikningin sýnir jafnframt myndrænt þá breytingu sem orðin er á gos tíðni Heklu sé horft aftur um 6 aldir.

Þegar gosið 1991 er sett í samhengi við fyrri gos má draga eftirfarandi ályktanir. Ef margir áratugir eða heil öld líður fram að næsta Heklugosi er líklegt að það standi marga mánuði og framleiði mikið magn hrauns og gjösku. Allsnarpir jarðskjálftar myndu að öllum líkindum fylgja því og tjón af gosinu gæti orðið tilfinnanlegt. Ef hins vegar líða einn eða fáir áratugir fram að gosi ætti tjón af völdum þess að verða óverulegt undir öllum venjulegum kringumstæðum.

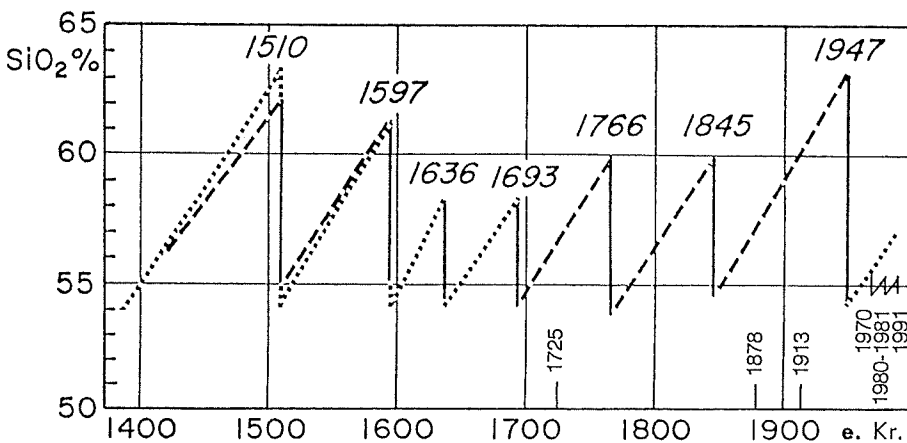
AFLFRÆÐI HEKLU

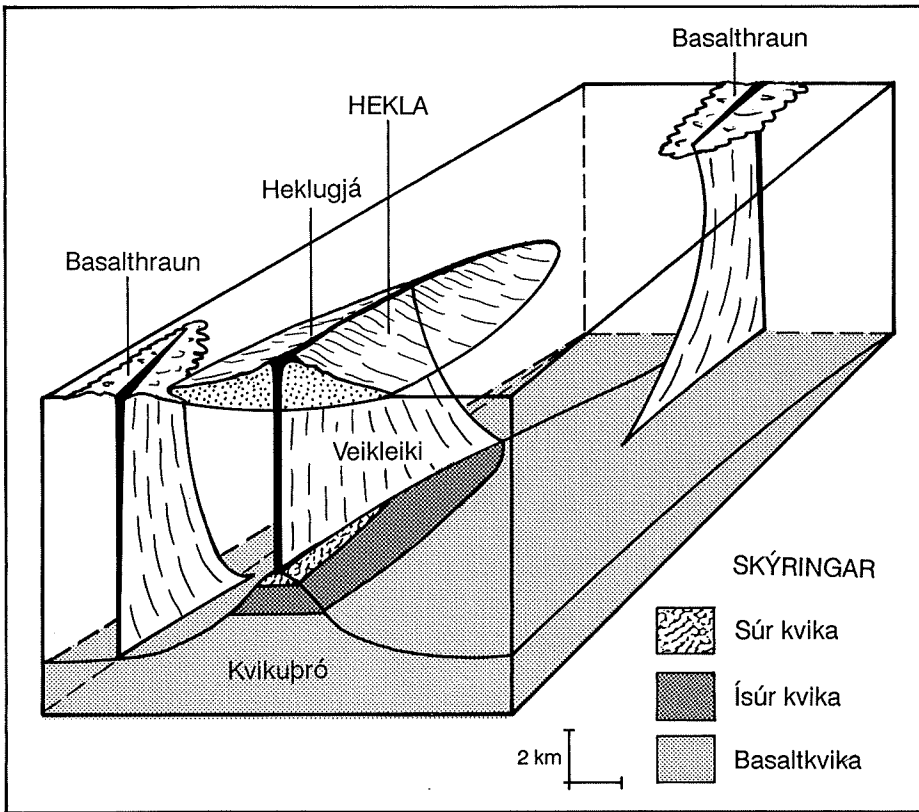
Undir öllum megineldstöðvum eru djúpstæðar kvikuþrær en að auki hafa sumar grunnstæð kvikuhólf á 1–3 km dýpi. Mælingar benda til þess að

Hekla hafi djúpstæða þró á um 8 km dýpi (Einar Kjartansson og Karl Grönvold 1983) en engar öruggar vísbendingar hafa enn komið fram um grunnstætt hólf. Því verður hér gengið út frá því að Heklukvikan komi úr djúpstæðri þró (11. mynd).

Aflfræði Heklu er í stuttu máli þessi: Þegar kvikuþrýsingur í þrónni verður svo hár að þak hennar brestur leitar kvikan út og brýtur sér leið upp í skorpuna. Það er síðan meðal annars háð eðlismassa kvikunnar og spennuástandi í skorpunni ofan við þróna hvort kvikan nær alla leið til yfirborðs og veldur gosi eða hvort hún storknar öll neðanjarðar sem innskot. Kvika Heklu er frekar eðlislétt, fylgir sömu meginsprungunni (Heklugjá) í flestum gosum, og á því fremur greiða leið til yfirborðs. Þegar þak þróarinnar beint undir Heklu brestur leiðir það því oftast til eldgoss úr Heklugjá.

10. mynd. Línurit Sigurðar Þórarinnssonar (1968) af sambandi kísilsýruinnihalds fyrstu gosefna og lengdar undanfarandi goshlés. Við höfum bætt við niðurstöðum úr síðustu þremur Heklugosum svo og ártölum fyrir nokkur basaltgos í grennd við Heklu. Athyglisvert er að basaltgos í Heklukerfinu hafa engin áhrif á samsetningu gosefna úr Heklu sjálfri.





11. mynd. Líkan af Heklukerfinu. Þróin er á 8 km dýpi og er lagskipt, með eðlisléttu súra og ísúra kviku efst undir Heklu en basaltkviku þar fyrir neðan og til jadranna. Stefna Heklugjár víkur um 20 gráður frá meðalstefnu nálæggra gossprungna.

Þegar kvika flæðir úr þrónni fellur þrýstingur í henni. Eldgosið hættir þegar kvikuþrýstingur í þrónni verður svo lítil að gosrásin í þaki hennar lokast. Lengd gossins ræðst meðal annars af stærð þróar (kvikumagni í henni), spennuástandi í skorpunni ofan við þróna og því hversu mikið magn kviku streymir úr þrónni á tímaeiningu. Milli gosa byggist upp spenna í þaki þróar jafnframt því sem kvika leitar inn í hana. Þetta, ásamt efnaþrengingum sem léttu kvikuna, eykur þrýsting í þrónni. Þróin undir eldstöðvakerfinu sem Hekla er hluti af er

líklega um 7 km breið, 40 km löng og margir kílómetrar á dýpt. Magn kviku í henni er gífurlegt, en minna en þúsundasti partur kvikunnar fer úr þrónni í tilteknu gosi. Þrátt fyrir þetta lága hlutfall er þrýstingsfallið sem fylgir kvikuflæðinu nægilegt til að loka rásinni í þaki þróarinnar og stöðva gosið.

Þegar gosi lýkur og næstu árin á eftir er gangurinn í gosrásinni í þróarþakinu og nokkuð upp í skorpuna enn hálfbráðinn. Lögun gangsins veldur því að smávægilegar spennubreytingar í eldstöðvakerfinu magnast upp við hann og geta valdið nýju gosi. Líklegt

er að stutt goshlé og eftirhreytur gosa í Heklu stafi af spennumögnun af þessu tagi. Þannig má líta á gosið 1981 sem eftirhreytur af gosinu 1980 og gosið 1768 sem eftirhreytur af gosinu sem stóð frá apríl 1766 til ágúst 1767 (Sigurður Þórarinnsson 1968). Í báðum tilvikum lá gosið niðri í meira en hálf tveggja árum en lokahrinan hófst.

Þegar gos hefst eftir stutt goshlé er umframþrýstingur (kvikuþrýstingur umfram minnsta berglagaprýsting) að öðru jöfnu lágur þar sem þróin hefur ekki náð að endurhlaða sig nema að hluta. Að auki nær mjög lítið af léttri (súrri) kviku að myndast, við bræðslu á jöðrum þróar og kristalsökk, á svo skömmum tíma. Í slíkum gosum nær því lítið magn kviku að flæða úr þrónni áður en þrýstingur í henni hefur fallið svo mikið að gosrásin lokast. Gos eftir stutt goshlé ættu því að vera lítil að rúmmáli, sem er í góðu samræmi við gossögu Heklu.

Eftir langt hlé er meiri kvika í þrónni en eftir stutt hlé og því verður rúmmál gosefna mikið. Jafnframt verður rúmmálsflæði kviku úr þrónni meira, einkum í byrjun goss, bæði vegna mikils umframþrýstings í þrónni og þess að gosrásin verður lengri og víðari en í kraftlitlum gosum. Reynslan hefur og sýnt að löng goshlé fara á undan kröftugum gosum með talsverðri sprengivirkni í byrjun, jafnframt því sem rúmmál gosefna er þá tiltölulega mikið.

GOSTÍÐNI HEKLU

Gossaga Heklu, ásamt þeim upplýsingum sem fengist hafa í gosum á þessari öld, gerir kleift að setja fram líkan af eldstöðinni. Bergfræðirannsóknir (Guðmundur Sigvaldason 1974, Sveinn Jakobsson 1979) sýna að hraun og gjóska úr Heklugjá og næsta nágrenni eru súr og ísúr (líparít og and-

esít). Í ákveðinni fjarlægð frá Heklugjá koma hins vegar einungis upp basalthraun, þótt gossprungurnar þar tilheyri sama eldstöðvakerfinu. Þetta bendir til þess að undir Heklukerfinu sé lagskipt kvikuþró, þannig að létt súr og ísúr kvika safnist við topp þróar undir Heklu sjálfri en eðlisþyngri basaltkvika sé þar fyrir neðan og efst undir jöðrum kerfisins (11. mynd).

Við gos úr Heklugjá kemur kvikan bara úr þeim hluta þróar sem er undir Heklu sjálfri. Þar sem innan við þúsundasti hluti kviku í þró flæðir úr henni við gos er ljóst að aðeins allra efsti hluti þróar veitir kviku til yfirborðs í Heklugosum og sá hluti inniheldur einungis súra og ísúra kviku. Í samræmi við þetta gýs Hekla sjálf eingöngu ísúru og súru hrauni og gjósku. Í þeim hluta þróar sem liggur undir jöðrum Heklukerfisins er hins vegar einungis basaltkvika til staðar og því kemur basalt upp í gosum utan við Heklu sjálfa. Lagskipting í þrónni skýrir því breytileikann í samsetningu gosefna innan Heklukerfisins.

Gostíðni Heklu á sögulegum tíma hefur verið óvenju há, eins og fyrr var vikið að. Að meðaltali hafa aðeins liðið um 55 ár á milli gosa. Þessa miklu gostíðni má skýra með þremur samverkandi þáttum. Sá fyrsti er lega eldstöðvarinnar á mótum framsækings rekbeltis (austurbeltisins) og brotabeltis Suðurlands. Legan felur í sér að Heklukerfið tekur á sig stóran hluta af þeirri togstreitu sem tengist bæði brotabeltinu og framsækna rekbeltinu.

Annar þátturinn er lögun þróarinnar. Ýmsir þættir í jarðfræði Heklukerfisins, svo sem lengd þess og breidd, benda til þess að þróin hafi lögun ápekka þeirri sem sýnd er á 10. mynd. Líklegt er að lengd þróarinnar