

Magnús Ólafsson, Páll Imsland og

Guðrún Larsen:

Nornahár

II. Efni, eiginleikar og myndun

Myndun nornahára og nornatára er mjög sjaldgæf, ef borið er saman við aðrar gerðir gjósku, og þau varðveitast auk þess afar illa. Þau eru brot-hætt og molna og verða því fljótt óþekkjanleg í annarri gjósku, sem myndast í mun meira magni. Því er nauðsynlegt að safna nornahárum strax við myndun þeirra, ef taka á þau til varðveislu.

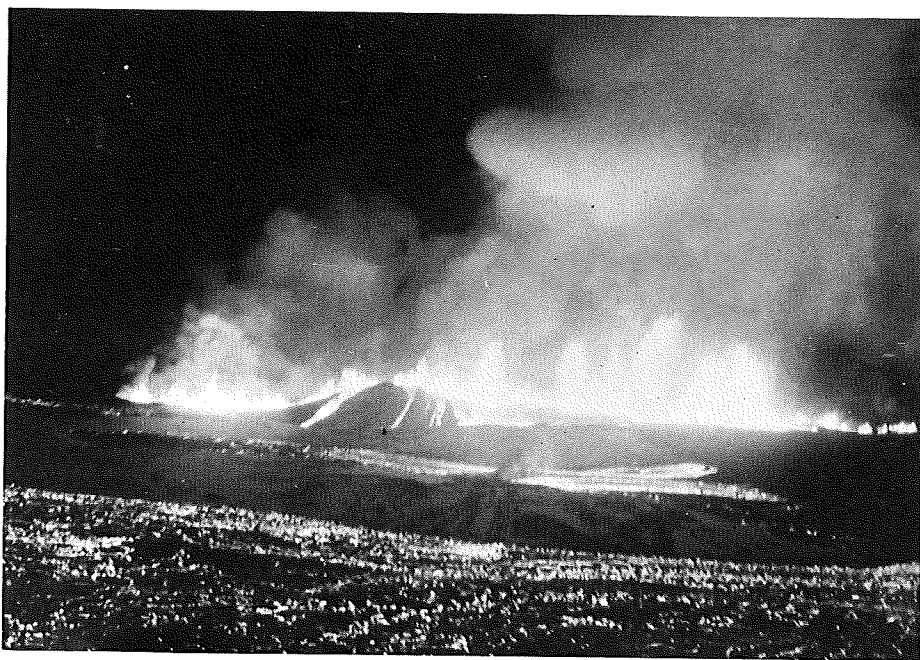
Kröflueldar hófust á árinu 1975. Á þeim tíma sem síðan er liðinn hafa orðið níu hraungos á svæðinu og enn fleiri kvikuhlaup án gosa. Í flestum gosanna varð vart við nornahársmyndun, mest í hinum fjórum seinustu. Þessi seinustu gos (mynd 1) hafa einnig staðið lengur yfir en fyrri gos og meira magn kviku hefur borist upp á yfirborðið.

Áttunda Kröflugosið hófst aðfaranótt 18. nóvember 1981, og stóð í tæpa sex sólarhringa. Hinn 21. nóvember voru starfsmenn Norrænu eldfjalla-stöðvarinnar á ferð um gosstöðvarnar á vélsleðum. Urðu þeir þá varir við vöndla af nornahári, sem ultu eftir snjónum vestan við Leirhnúk undan hægum norðanvindi. Vöndlarnir stöðvuðust er þeir ultu inn í sleðaslöðina og þar var auðvelt að tína þá upp. Hinir stærstu þeirra voru 50 cm langir og 15 til 20 cm í þvermál. Flestir vöndl-

anna voru þó eitthvað minni. Nokkrum vöndlum var safnað þarna og þeir fluttir til byggða. Eftir langan flutning og talsvert hnjask hafa þeir rýrnað nokkuð, einkum vegna þess að snjórinn bráðnaði úr þeim. Hluti af einum slíkum vöndli er sýndur á 2. mynd. Vöndlarnir eða lýjurnar eru safn af stökum nornahárum, löngum, örfinum glerþráðum, sem sumir hverjir enda í litlum glerperlum, nornatárum.

Til þess að fá nokkra vitneskju um innri gerð nornahára voru gerðar þunnsneiðar til smásjárskoðunar af hárum frá Kröflu, Surtsey, Lakagígum og af kornum úr forsögulegu öskulagi sem gengur undir nafninu „nálalagið efra“ (Guðrún Larsen 1978). Við slíka athugun kemur í ljós, að þó megin-einkennin séu sameiginleg, þá eru hárin af nokkuð breytilegri gerð, eins og meðfylgjandi smásjármyndir sýna (myndir 3–10). Nokkur hára eru svo grönn, að erfitt er að mæla þvermál þeirra, en flest eru þau þó á bilinu 0.001 til 0.01 mm. Aðeins einstaka hár hafa þvermál á milli 0.1 og 0.2 mm.

Erfitt er að meta lengd nornahára, þar eð þau eru yfirleitt brotin. Reynt hefur verið að mæla lengd nokkurra hára úr Kröflugosi í nóvember 1981. Lengsta hár, sem mælt var, reyndist

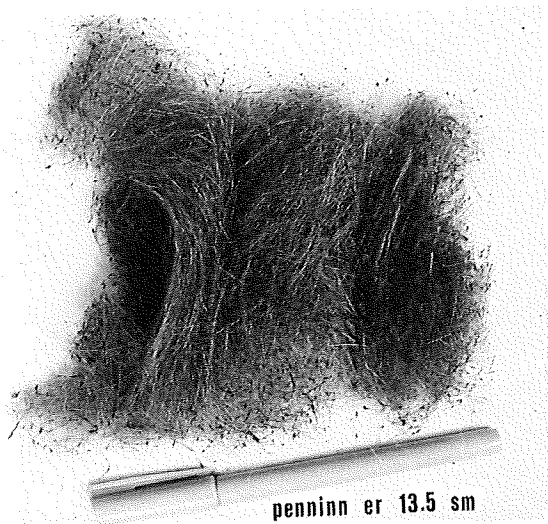


Mynd 1. Eldgos í Gjástykki í október 1980. Myndin sýnir nyrsta hluta gossprungunnar gegnt Sandmúla. Hæstu kvikustrórnir eru 70 til 80 metrar á hæð. Myndin er tekin úr flugvél kl. 01:20, hinn 19. 10. 1980. — *Lava fountains in the Krafla eruption fissure. Seen from an aeroplane at 01:20 the 19. 10. 1980 at a low angle. The maximum height of fountains is 70–80 m. Ljósmynd Páll Imslund.*

vera tæplega 10 cm langt, en flest hárunna voru á bilinu 1 til 5 cm. Hárin eru yfirleitt bein en finnast þó einnig bogin. Slíkt er fremur sjaldgæft, en þess má geta, að nornahár sem mynduðust í eldgosinu í St. Helens á vesturströnd Bandaríkjanna í maí 1980 (EOS, 61. tölubl. 1980, forsíðumynd), voru sum hver vafin upp í lykkjur og hnúta. Einnig hafa slíkar flækjur fundist í japönskum nornahárum (Sasaki o. fl. 1981), en hafa ekki sést í íslenskum nornahárum. Í þessu sambandi er rétt að hafa hugfast að kvikan sem kom upp í eldgosunum í Mt. St. Helens og einnig þeim japönsku, sem hér er vitnað til, hafði allt aðra efnasamsetningu og aðra eðliseiginleika, var bæði seig-

ari og kaldari en basaltkvikan úr Kröflu og öðrum íslenskum eldstöðvum, sem myndað hafa nornahár. Þessar erlendu bergkvikur eru mun ríkari af kísilsýru (SiO_2) en basalt. Þær eru kallaðar súrar og samsvara bergtegundunum trakýt, íslandít, dasít og rýólít.

Í sumum íslensku nornaháranna má greina örsmáa kristalla og er þá venjulega hnúður eða þykkildi á hárinu þar sem kristallinn er undir. Í nornahári frá Kröflu hafa þessir kristallar verið greindir til tegunda og eru þær tvær, plágíoklas og ólivín. Ólivín-kristallarnir hafa hreint og dæmigert kristalform (eru *euhedral*) (mynd 9). Þessir kristallar hafa verið byrjaðir að vaxa í kvik-



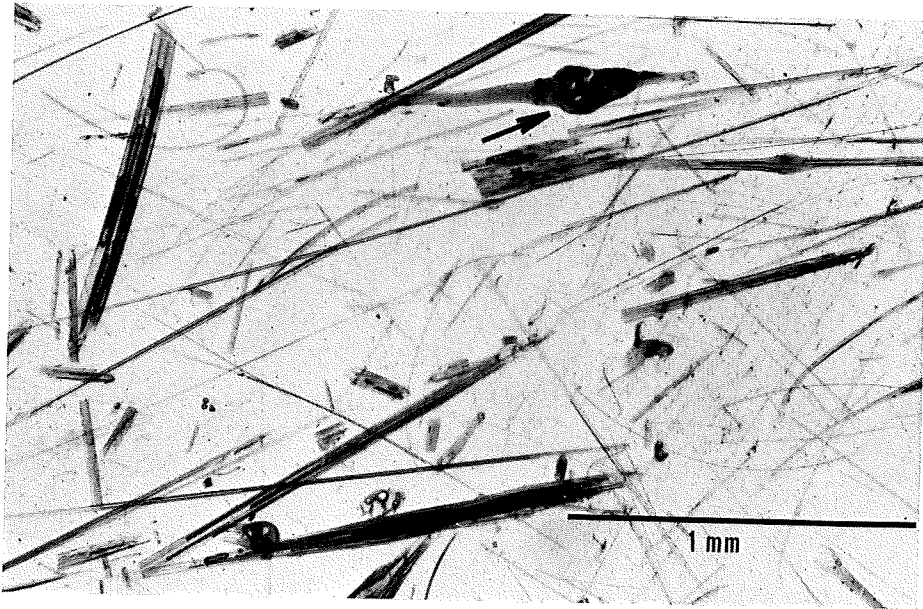
Mynd 2. Hluti af nornahárs-
vöndli úr Kröflugosinu í nóv-
ember 1981. — *Part of a
Pele's hair wisp formed in the
November eruption of Krafla
1981. Ljósmynd Páll
Imsland.*

unni áður en eldgosíð hófst. Slíkir kristallar kallast dílar (*phenocrysts*). Plagíóklaskristallarnir eru hins vegar oftast stjörnu- eða grindarlaga (mynd 10). Slíkt kristalform í gleri er merki um snöggan og skyndilegan vöxt vegna hraðkælingar. Þeir hafa því myndast í kvikunni um leið og hún byrjaði að kólna og storkna, við hin snöggu umskipti, er kvikan barst út í andrúmsloftið. Plagíóklaskristallarnir eru því ekki dílar.

Á ferð kvikunnar upp á við í eldgosum á sér stað mikil hraðaaukning nálægt yfirborði jarðar. Þetta stafar af útþenslu kvikugasa, þegar lækkandi þrýstingur umhverfisins nær ekki lengur að halda þeim uppleystum í kvikunni. Þessi hraðaaukning veldur því að kvikusúla rís upp í loftið eins og strókur. Þegar gasbólurnar í stróknum springa, myndast kvikuslettur, sem kólna og storkna um leið og þær falla til jarðar. Við storknunina verður kvikan að gleri, og geta glerkornin

tekið á sig margvísleg form. Eitt form glerkorna er nornahár. Nornahárin myndast við ákveðnar aðstæður kviku-útstreymis, þar sem útstreymisopið er þröngt, útstreymishraði kvikunnar mikill og kvikan sjálf gasrík. Hið þrönga gosop virkar þá eins og stútur eða spíss, þar sem gasútstreymið teygir kvikuna út í langa granna þræði, sem þeytast upp í loftið og storkna. Forsíðumynd þessa heftis og 2. mynd í kafla Sigurðar Þórarinssonar, hér að framan, sýna gos í gíg í Surtsey, þegar nornahár mynduðust. Stundum hanga við nornahárin droplaga perlur, sem kallast nornatár. Oftast brotna þau fljótlega af. Til þess að nornahárin myndist þarf kvikan ennfremur að vera mjög þunnfljótandi. Seigja hennar verður að vera minni en 10^3 poise samkvæmt Isard (1971). Seigja kviku lækkar almennt með hækkandi hitastigi og auknu heildarmagni kvikugasa.

Við smásjárskoðun sést að norna-



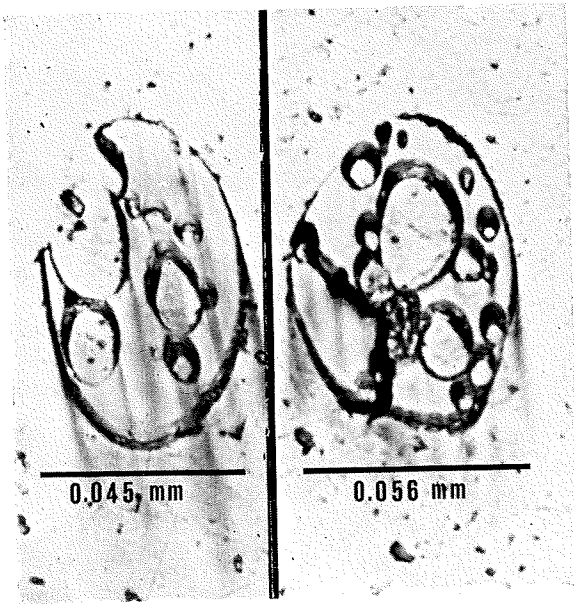
Mynd 3. Smásjármynd af nornahárum úr Kröflugosinu í nóvember 1981. Grennstu hárin eru um 0.001 mm í þvermál, en þau sverustu eru 0.08 mm. Örin bendir á örlítið gjallkorn með kúlulaga gasblöðrum. Slík korn myndast á annan hátt en nornahárin. — *Photomicrograph of Pele's hair from the November eruption of Krafla 1981. Hair diameters range from 0.001 mm to 0.08 mm. The arrow points to a knot-like thickening with spherical gas vesicles. Grains of this type are formed under somewhat different eruption mechanism than Pele's hair.* Ljósmynd Páll Imsland.

hárin eru ekki þétt og massíf, heldur liggja eins konar rör eða pípur eftir þeim endilöngum (sjá myndir 4–10). Þau röranna, sem ekki eru brotin, innihalda gastegundir úr kvikunni, sem ekki hafa náð að sleppa út. Í mörgum röranna eru enn fremur vökvabólur (sjá myndir 5, 7, 8 og 9). Örsní kristalkorn eru sjáanleg innan á veggjum sumra röranna (mynd 8), einkum virðast þessi korn vera þar sem vökvabólurnar eru.

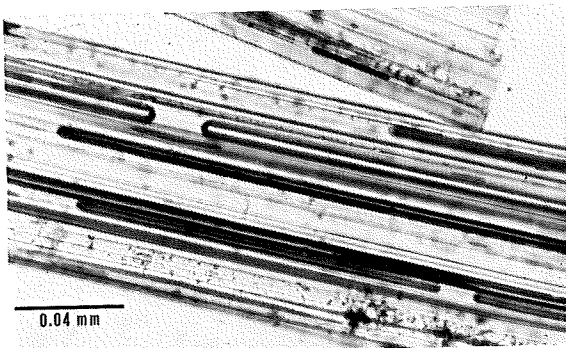
Rör þau, sem að framan er getið, eru afleiðing þess að gastegundir, sem uppleystar eru í kvikunni á miklu dýpi, losna úr upplausn og mynda sjálfstæðar gasbólur eða blöðrur í kvikunni, þegar hún nálgast yfirborð jarðar.

Þegar gasið losnar úr kvikunni þenst það jafnt til allra átta um leið og blöðruveggirnir storkna. Oftast finnast slíkar gasblöðrur í hraunum og vikri, sem meira eða minna kúlulaga holrúm. Í þeim tilvikum hefur kvikan ekki verið á neinni teljandi hreyfingu, þegar blöðrurnar mynduðust og kvikan storknaði. Rör nornaháranna eru hins vegar pípulaga vegna þess að kvikan er á hraðri hreyfingu á meðan gasið losnar og kvikan storknar. Blöðrurnar dragast því út í löng rör um leið og kvikan dregst út í löng hár.

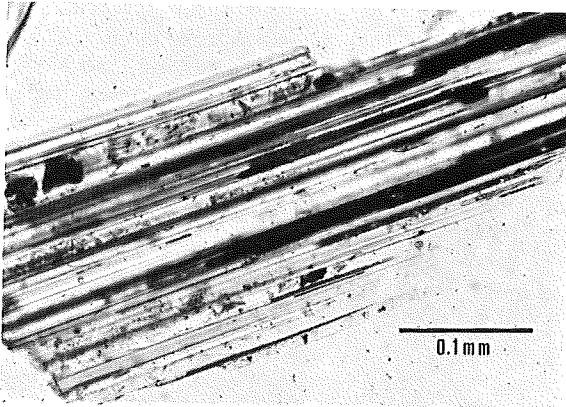
Eins og að framan er getið, skapast skilyrði til myndunar nornahára í kvikustrókum. Í Kröflugosunum hafa kvikustrókar verið algengir, einkum í



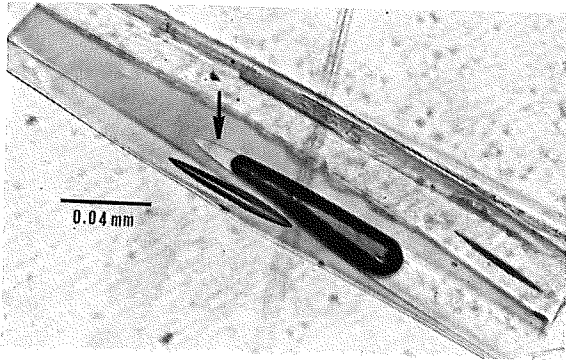
Mynd 4. Smásjármynd sem sýnir þversnið af nornahárum úr Kröflugosinu í nóvember 1981. Gasrörin, sem liggja eftir hárunum endilöngum, sjást glögg. Þvermál röranna er mismunandi, frá 0.02 mm og niður í 0.001 mm það grennsta, sem sést. Á þversniðinu vinstra megin má sjá hvernig sum gasrörin opnast út á yfirborð háraanna. Þetta gefur hárunum rifflað yfirborð. Slíkt yfirborð er mjög einkennandi á rafeindasmásjármyndum af nornahárum frá ýmsum stöðum (sbr. Heiken 1974). – *Photomicrograph of Pele's hair from the Krafla eruption of November 1981, seen in cross-section. The gas pipes shown range in diameter from 0.001 mm to 0.02 mm. To the left it can be seen how some pipes are open to the surface and this gives a characteristic grooved appearance of the threads. Ljósmynd photo Páll Imsland.*



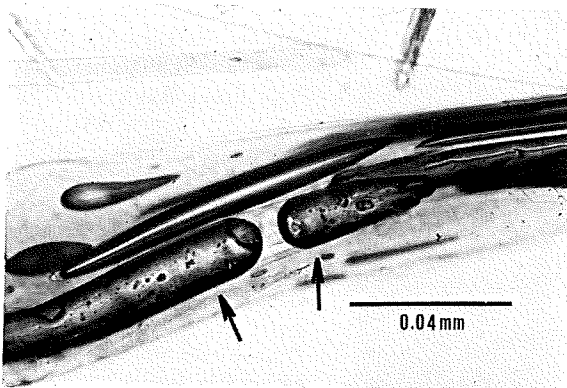
Mynd 5. Hluti af stöku nornahári úr Skaftáreldagosinu 1783. Þvermál hársins er um 0.07 mm og eftir því endilöngu liggja gasrör, sem innihalda vökvabólur. Á myndunum eru jaðrar vökvabólanna dökkir. – *Photomicrograph of a Pele's hair from the Laki eruption 1783. The diameter of the hair is 0.07 mm. Pipes containing liquid drops are visible. Ljósmynd photo Páll Imsland.*



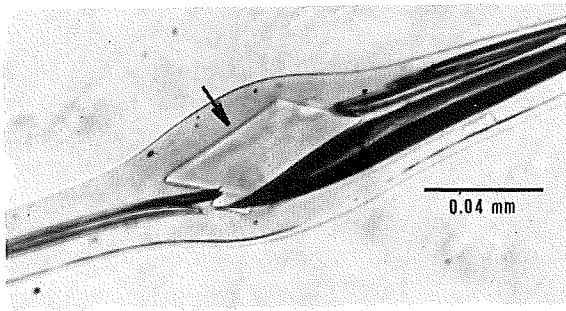
Mynd 6. Dæmigert öskukorn úr nálalaginu efra. Þó efna-samsetning þess sé önnur, minnir kornið á nornahár. Það inniheldur t. d. rörlaga gasblöðrur og hefur rifflað ytra borð, eins og þau. — *Photomicrograph showing a characteristic grain from the needle-shaped tephra. The composition of the glass is dasitic and thus strongly contrasts with the basaltic glass of the Pele's hair. Nevertheless, it contains pipe vesicles and has grooved surface as the Pele's hair. Ljósmynd. Þótt Páll Imsland.*



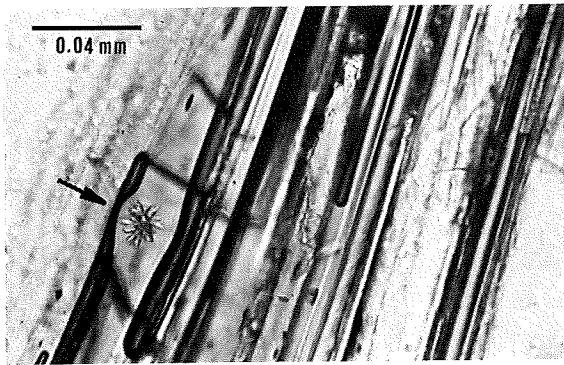
Mynd 7. Nornahár úr Kröflugosinu í nóvember 1981. Myndin sýnir að í sumum gasröranna eru vökvabólur. Samsetning vökvans er óþekkt. Örin bendir á gasból, sem vökvabóla hefur lokað af í rörenda. — *Photomicrograph of Pele's hair from the Krafla eruption of November 1981. The picture shows pipe vesicles with and without liquid bubbles. The arrow points to a gas cavity blocked by a liquid bubble. Ljósmynd. Þótt Páll Imsland.*



Mynd 8. Nornahár úr Kröflugosinu í nóvember 1981. Örv-arnar benda á vökvabólur, sem innihalda örsmáar agnir af föstu efni. Það virðist vera kristallar, sem fallið hafa út í vökvannum. — *Photomicrograph of a Pele's hair from the Krafla eruption of November 1981. The arrow points to a liquid bubble that contains minute dust-like crystals, that adhere to the glass surface. Ljósmynd. Þótt Páll Imsland.*



Mynd 9. Hluti af stöku nornahári úr Surtseyjargosinu í ágúst 1966. Örin bendir á ólivíndífl. Greinilega sést hvernig hann veldur þykkun á hárinu. — *Photomicrograph of a Pele's hair from the Surtsey eruption, August 1966. The arrow points to a small euhedral olivine phenocryst. Note the thickening of the hair around the crystal.* Ljósmynd Páll Imslund.



Mynd 10. Hluti af nornahári úr Kröflugosinu í nóvember 1981. Örin bendir á stjórnlaga þyrpingu af plagióklas kristalögnum. Þær eru afleiðing kristöllumunar við mjög hraða kælingu kvikunnar, þegar hún barst út í andrúmsloftið. — *Photomicrograph of a Pele's hair from the Krafla eruption of November 1981. The arrow points to a minute skeletal plagioclase quench-crystal.* Ljósmynd Páll Imslund.

byrjun gosa, og hafa þeir náð um það bil 60 til 70 m hæð. Í Óskjugosinu 1961 náðu kvikustrókarirnir 400 til 500 m hæð (Sigurður Þórarinnsson 1963). Á Hawaii er talið að kvikustrókar hafi náð allt að 500 m hæð (Macdonald 1972). Oftast hafa kvikustrókarirnir í Kröflu myndað nær samhangandi eldvegg eftir endilöngum sprungunum í upphafi gosanna (mynd 1). Nær alltaf sljákkar í slíkum gosum eftir ákafasta upphafskeiðið. Þá safnast kvikustrókarirnir á einstaka gíga og eftir því sem útstreymishraði kvikunnar minnkar fara kvikustrókarirnir lækkandi. Ef útstreymishraðinn gerist ójafn, púlsar eins og æðasláttur, verða kvikustrók-

arnir óstöðugir og geta jafnvel breyst í stakar sprengingar. Þá er líka allri nornahársmyndun lokið.

Lýsing sú, sem hér hefur verið gefin af innri gerð nornahára, er að flestu leyti mjög áþekkt lýsingu nornahára frá Hawaii (t. d. Duffield o. fl. 1977), en þaðan var þeim fyrst lýst. Enda stjórnaast myndun nornahára umfram allt af goshegðun, en hún er um margt lík á Hawaii og Íslandi.

Eiginlegir kvikustrókar eru ekki þekktir í gosum sem framleiða súrar bergtegundir, en þó þekkjast nornahár mynduð í slíkum gosum. Sé kvika slíkra gosa gasrík, eru gosin oftast einhver gerð sprengigosa. Sprengingun-

um fylgir alltaf öskumyndun en oft einnig vikurmyndun. Venjulega þenst kvikan nokkuð jafnt í allar áttir við gasbólumyndunina. Hún þenst þá oftast svo mikið, að blöðruveggirnir rifna og kvikan tæst í smáagnir, ösku, í stað þess að hanga saman sem storkin glerfroða, þ. e. vikur. Sé útstreymishraði kvikunnar í slíkum gosum mjög mikill og gosstrókurinn stöðugur (ekki púlsandi eða stakar sprengingar), getur það leitt til þess að kvikan þenjst og togni samtímis. Þá myndast vikur, sem hefur aflangar blöðrur. Þenjst kvikan svo mikið undir þessum kringumstæðum, að blöðruveggirnir rifna, verða öskukornin þráðlaga eða nálótt. Það er því myndunarlega séð viss skyldleiki með nornahárum og nálóttri ösku, en mikill munur er á efnasamsetningu kvikunnar. Í einstöku tilvikum fer saman svo mikill útstreymishraði súrrar kviku og svo mikið gasinnihald, að súr nornahár myndast (Sasaki o. fl. 1981). Að öllum líkindum er kvikan þá einnig óvenjulega þunnfljótandi miðað við súrar kvikur almennt. Eins og fyrr segir, eru ekki þekkt súr nornahár úr íslenskum eldstöðvum en nálótt öskulög eru hér þekkt í jarðvegi. Eins og sjá má af mynd 6 þá er mikill svipur með innri gerð nálóttu kornanna og nornaháranna.

Nornahár, sem urðu til í Kröflugosinu í nóvember 1981, í Surtseyjargosinu (ágúst 1966) og snemma í Skaftárældum 1783, hafa verið efnagreind, og er samsetning háraanna sýnd í töflu I. Einnig er þar sýnd samsetning glersins úr efra nálalaginu. Hér er um að ræða efnagreiningar, sem gerðar eru á örgreini, og sýna þær því samsetningu

glersins eins og hún er í örlitlum punkti. Samsetning glersins í nornahárunum er í öllum tilvikum nauðalík samsetningu meginhluta þeirra gosafna, sem upp komu í gosunum á sama tíma og hárin mynduðust. Það er því augljóslega ekki beint samsetning kvikunnar, sem leiðir til nornahármýndunarinnar, heldur stjórnast hún af útstreymishætti (*extrusion mechanism*) gossins og magni uppleysanlegra gasa í kvikunni.

Samsetning gasanna, sem í rörunum eru, er enn óþekkt, og sama á við um vökvabólur og hinar örfínu kristalagnir, sem í gasrörunum finnast. Líkur eru til að gassamsetningin í rörunum haldist óbreytt, þó einhver tími líði þar til samsetning þeirra verður greind. Almennt er fremur lítið vitað um samsetningu gasa í bergkviku og veldur því aðallega hversu erfitt er að safna þeim áður en þau mengast af andrúmslofti. Vonir standa til að afla megi mjög mikilvægrar vitneskju um þennan þátt, með því að greina samsetningu gasanna í rorum nornahára. Nú eru tæknilegir möguleikar fyrir hendi á greiningu gasa í svo litlu magni, án þess að þau komi nokkurn tíma í snertingu við andrúmsloft, en svo hefur ekki verið fram að þessu.

Ákvörðun á eðlisþunga glersins í nornahárinu frá Kröflu (nóvember 1981) gefur 2.79g/cm^3 . Hárin voru fínulín í agatskál og gasrörin þannig sprengd. Ákvörðunin sjálf var síðan gerð í svokallaðri „pychrometerflösku“. Niðurstaðan segir því til um eðlisþunga sjálfs glersins og um leið nokkurn veginn eðlisþunga afgasaðrar bergkvikunnar á yfirborði jarðar.

TAFLA I. Efnasamsetning nornahára (prósent af þyngd) – *Chemical composition of Pele's hairs.*

	I	II	III	IV
SiO ₂	50.5	47.6	50.1	67.0
TiO ₂	1.67	2.33	3.10	1.53
Al ₂ O ₃	14.0	14.6	13.2	14.5
FeO ^t	11.8	11.6	14.9	6.57
MnO	0.22	0.21	0.25	0.26
MgO	7.00	6.81	5.44	1.35
CaO	11.3	12.6	10.3	3.61
Na ₂ O	2.19	2.81	2.70	1.31
K ₂ O	0.20	0.37	0.41	2.73
P ₂ O ₅	0.17	0.22	0.33	0.37
Alls/Total	99.05	99.15	100.73	99.23

- I. Krafla, nornahár myndað í gosinu 18.–23. nóvember 1981. Safnað við Leirhnúk 21. nóvember 1981. – *Pele's hair from the Krafla eruption 21. 11. 1981.*
- II. Surtsey, nornahár myndað í ágúst 1966. Safnað 21. ágúst 1966. – *Pele's hair from Surtsey, 21. 8. 1966.*
- III. Lakagígar, nornahár myndað í Skaftáreldagosi 1783. Safnað úr gjóskulaginu skammt frá Laka. – *Pele's hair from the Laki eruption, 1783.*
- IV. Efra nálalagið, sýni tekið úr jarðvegssniði á norðanverðum Mýrdalssandi. Eldstöðin er óþekkt, en dreifingarmynstur gjóskulagsins bendir til Mýrdalsjökuls eða næsta nágrennis, aldur þess er forsögulegur. – *Needle-shaped tephra grains from the prehistoric upper needle-layer in the vicinity of Katla. SE-Iceland.*
- Efnagreiningar voru famkvæmdar á örgreini Norrænu eldfjallastöðvarinnar. – *Micro-probe analyses were made at the Nordic Volcanological Institute, Reykjavík.*

HEIMILDIR

- Duffield, W. A., E. K. Gibson & G. H. Heiken. 1977. Some characteristics of Pele's hair. – *J. Res. U. S. Geol. Survey* 5, 1: 93–101.
- EOS, 1980. SEM photograph of a strand of Pele's hair (photo by B. R. Frost). – *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 61, No. 29 (cover).
- Guðrún Larsen. 1978. Gjóskulög í nágrenni Kötlu. – Ritgerð til 4. árs prófs í jarðfræði við Háskóla Íslands. Reykjavík: 60 bls.
- Heiken, G. 1974. An atlas of volcanic ash. – *Smiths. Contr. Earth Sci.* 12: 101 bls.
- Isard, J. O. 1971. The formation of spherical glass particles on the lunar surface. – *Sec. Lunar Sci. Conf. Proc. Geochim. et Cosmichim. Acta, Suppl.* 3, 3: 2003–2008.
- Macdonald, G. M. 1972. *Volcanoes.* – Prentice-Hall, Inc., U. S. A.: 510 bls.
- Sasaki, T., Y. Katsui & S. Kumano. 1981. Felsic Pele's hairs produced by pumice eruptions. – *Bull. Volc. Soc. Japan* 26, 2: 113–116.
- Sigurður Þórarinnsson. 1963. Eldur í Öskju. – *Almenna bókafélagið, Reykjavík*: 91 bls.

SUMMARY

Pele's hair II. Mode of formation, composition and structure

by

*Magnús Ólafsson**, *Páll Imsland* and
Guðrún Larsen,
Nordic Volcanological Institute,
University of Iceland, Reykjavík

**Now at National Energy Authority, Reykjavík*

The eruption mechanism leading to Pele's hair formation is restricted to lava fountaining activity. A narrow vent forms a nozzle, which strongly accelerates the out-rush of magma. The magma is then drawn out into threads at the same time as the containing gases are exsolved and expanded. The magma must be relatively fluid and gas rich.

The article describes, primarily through photomicrographs, common internal features of Pele's hair from three different volcanic eruptions in Iceland, the Krafla eruption of November 1981, the Surtsey eruption (August 1966) and the Laki eruption, 1783, which all produced basalts. The primary features are pipe-like gas vesicles and crystals. The vesicles are frequently

observed to contain liquid bubbles, which in turn may contain small dust-like crystalline particles. The crystals observed are euhedral olivine phenocrysts and skeletal plagioclase microlites of quench origin. The glass of the threads has been analysed with a microprobe (Table I), but the gas, the liquid of the bubbles and the dust-like particles are of unknown composition. Pycnometer-bottle determination of the specific weight of the finely crushed glass of the Krafla eruption gives 2.79g/cm^3 , which corresponds to that of the degassed magma at the craters.

The study of the Pele's hair reveals that the threads generally range in diameter from 0.001 – 0.01 mm. Occasionally, the diameter measures between 0.1 and 0.2 mm. Around the olivine phenocrysts the threads are thicker than elsewhere. Pele's tears and irregular glass lumps with spherical gas vesicles appear in small amounts. The original length of the threads is uncertain, but threads up to nearly 10 cm have been measured.

A dacitic tephra from the prehistoric „upper needle layer“ (Guðrún Larsen 1978) was analysed, as an example of an Icelandic silicious magma, which did produce features that resemble the Pele's hair of the basalts. The grains of this tephra have a characteristic needle-shaped form. The short needles remind of the Pele's hair in many respects, they have the same grooved outer surfaces and contain elongated gas vesicles, which may contain liquid bubbles. Related features have been observed in other silicic tephtras in Iceland.