

ETT OCH ANNAT OM TEFROKRONOLOGI

SIGURDUR THORARINSSON

THORARINSSON, S.: Ett och annat om tefrokronologi. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1969*, side 9–28. København, 7. januar, 1970.

Tefrokronologi er en ung disciplin inden for geologien, men har hurtigt fået stor betydning blandt andet for studier af de enkelte vulkaners udbrudshistorie, for datering af geomorfologiske processers forløb og gletschervariationer. Her præsenteres en oversigt over tefrokronologiens udvikling på Island, og der gives eksempler på den vulkanske askes betydning for datering inden for mange forskellige felter.

»På en mängd platser, som icke är enbart steniga, påträffar man i öppningar och skärningar i jordtäcket först ett lager aska som där bildar ett jämnt och tätt lager i mulen, en å två tum, ja till och med en tvärhand mäktigt. Detta är ett oomtvistligt bevis för att aska från eldsprutande fjäll har täckt största delen av landet. Närmast nedanför detta asklager finner man i dylika skärningar jordmån med humusfärg innehållande trädrester så att den är brännbar och fullt användbar som bränsle. Sedan följer ett annat asklager, mer än tvärhand i mäktighet och överst i detta bitar av ganska grova trädstubbar som är ännu lämpligare som bränsle, så under ett nytt lag av sammanpressad mull framträder det tredje asklagret, en spann eller fjärdedels alen mäktigt och däri också rester av större träd, så litet ruttnade, att man av dem kan förfärdiga små redskap. Allt detta bevisar, att vulkanisk aska upprepade gånger förstört detta land» (*De mirabilibus Islandiæ*, cap. XXVIII, *Islandica X*, 1917, sidan 69).

Denna rediga och korrekt tolkade beskrivning av skärningar i isländsk jordmån står att läsa i den lilla skriften *De mirabilibus Islandiæ*, författad av biskopen i Skálholt, Gísli Oddson, under senare hälften av april månad i det Herrans år 1638, d. v. s. det år i vilket föddes några månader tidigare den sedermera biskop vilkens banbrytande geologiska skildringar och tolkningar från ett annat vulkaniskt område vi i dag har i tankarna.

I de fakta som biskop Gísli berör i ovan anförda citat har vi i själva verket grundlagen för den geologiska daterings- och arbetsmetod som för ett kvartsekel sedan döptes till tefrokronologi, en term baserad på grekiskans *τεφρα*, aska, som i Aristoteles' *Meteorologica* användes om vulkanisk aska i den sannolikt äldsta bevarade skildringen av ett vulkanutbrott där även askans härkomst förklaras. Utbrottet ägde rum på ön Hiera eller Vulcano,

som ju givit upphov till termerna vulkan och vulkanologi och denna tefra fördes, enligt Aristoteles, till Italiens fastland. Termen tefra har därför anknytning både till klassisk tid och klassisk vulkanisk miljö och går ordmässigt bra ihop med den från grekiskan kommande termen magma och den sicilianska termen lava. Vid ett vulkanutbrott bildar magman antingen lava eller tefra eller bådadera. Tefra är altså, gaser undantagna, den del av magman som under ett utbrott transporteras luftvägen från en vulkan. Den är, för att citera en nyutgiven amerikansk lärobok »a collective term designating all particles ejected from volcanoes irrespective of size, shape or composition». Men gränsen mellan lava och tefra kan vid enstaka tillfällen, t. ex. i fråga om lava-fountaining bli, nästan i bokstavlig mening, flytande. Både vid Hekla utbrottet 1947 och Askja-utbrottet 1961 kunde man iakttaga hur ett regn av bomber var tätt nog för att resultera i en flytande ström, alltså bilda lava, som gått luftvägen den första sträckan från kratern.

Tefralager uppfyller i synnerligen hög grad geologers krav på goda lednivåer. De har en geologiskt sett momentan bildningstid och deras laterala utbredning är utomordentligt stor i förhållande till den vertikala, samt ofta även absolut sett. Tefran från Mt. Mazamas utbrott för ca. 6000 år sedan, då Crater Lake blev till, täckte stora delar av nordöstra USA samt angränsande delar av Kanada. Tefran från Krakataus utbrott 1883 spreds över ca 800 000 km², bortsett från det finaste stoftet, som i stratosfären spreds jorden runt. Den 30. marz 1875 fördunklades skenet från gaslyktorna på Stockholms gator av aska från Askjas utbrott (Fig. 1) och tefra från Hekla-utbrottet den 29. marz 1947 uppsamlades i finska Karelen efter att ha svävat omkring 4000 km i troposfärens högre skikt.

Härtill kommer att tefralagren ofta ha sådana karakteristiska egenskaper, fysiska, makroskopiska och mikroskopiska såväl som kemiska, att de kan med säkerhet identifieras.

Tefralagren är därför ypperliga för relativa dateringar men icke mindre viktigt är att de kan, kombinerade med hjälp av dateringsmetoder ss. C¹⁴ metoden eller K/Ar metoden eller med hjälp av historiska eller arkeologiska forskningar ge mer eller mindre exakta absoluta dateringar, en absolut tefrokronologi.

De med hjälp av historiska källor daterade tefralagren kan ge åldersbestämningar som är exakta på året, månaden eller t. o. m. dagen. De går emellertid ej långt tillbaka i tiden. Det äldsta genom historiska källor daterade utbrottet i Medelhavsländerna, i Etna, inträffade ca. 700 f. Kr. och dateringen torde vara rätt osäker. I Japan kan man gå tillbaka ca 1300 år, på Island ca 1070 år men på västra hemisfären endast till mitten av 1400-talet (Atitlan i Guatemala 1468). Och tefralagren från de äldsta genom historiska källor kända utbrotten har ännu ej identifierats. Det äldsta

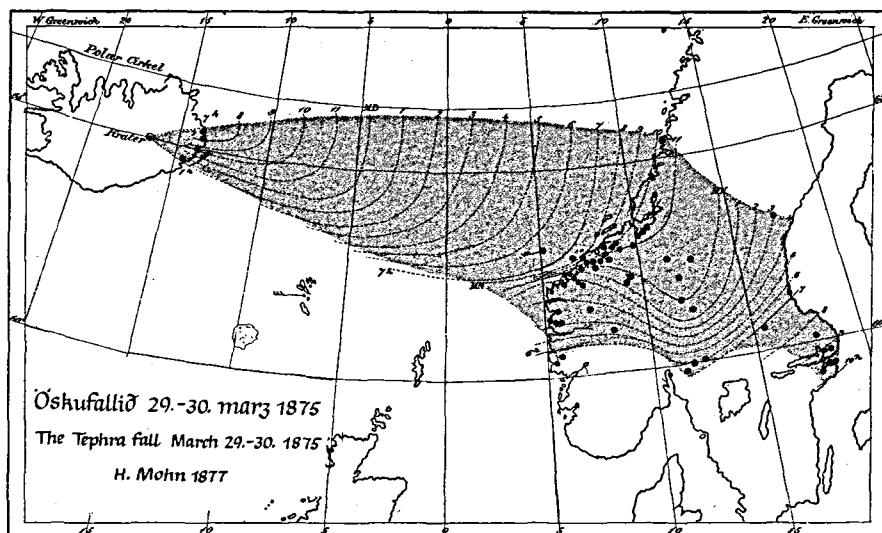


Fig. 1. Tefrasektor från Askja-utbrottet 1875. De brutna linjerna är isokroner för tefrafallets början.

sådana som identifierats i Medelhavsområdet är Vesuvius tefran ifrån 79 e. Kr. som identifierats både på land och i borrhärlor från havsbotten. På Oshima i Japan har K. Nakamura identifierat ett lager från utbrott år 838 eller 886 e. Kr. Det äldsta exakt daterade på Island är Hekla 1104. Däremot är det äldsta lagret från västra hemisfären märkligt nog från året 1064 e. Kr. Detta tefralager är från Sunset Crater nära Flagstaff, Arizona, och är daterat på ett halvår när med den av A. E. Douglass utvecklade dendrokronologiska metoden, d. v. s. genom mätandet av trädringar, i detta fall på träd inbäddade i tefran.

Tefrokronologien har under de senaste decennierna fått en starkt ökad tillämpning inom flera av jordens vulkanområden, ss. i Alaska, västra USA och New Zealand, men framför allt i Japan.

Tefrokronologiens tillämpning på Island

De syften tefrokronologien främst tjänat på Island undan de senaste decennierna är:

- 1) Att studera enskilda vulkaners utbrottshistoria och eruptionsprodukter
- 2) Att försöka tidfästa förloppet av geomorfologiska processer, främst markförstörelsen genom vind och vattenerosion
- 3) Att tidfästa glaciärernas oscillationer

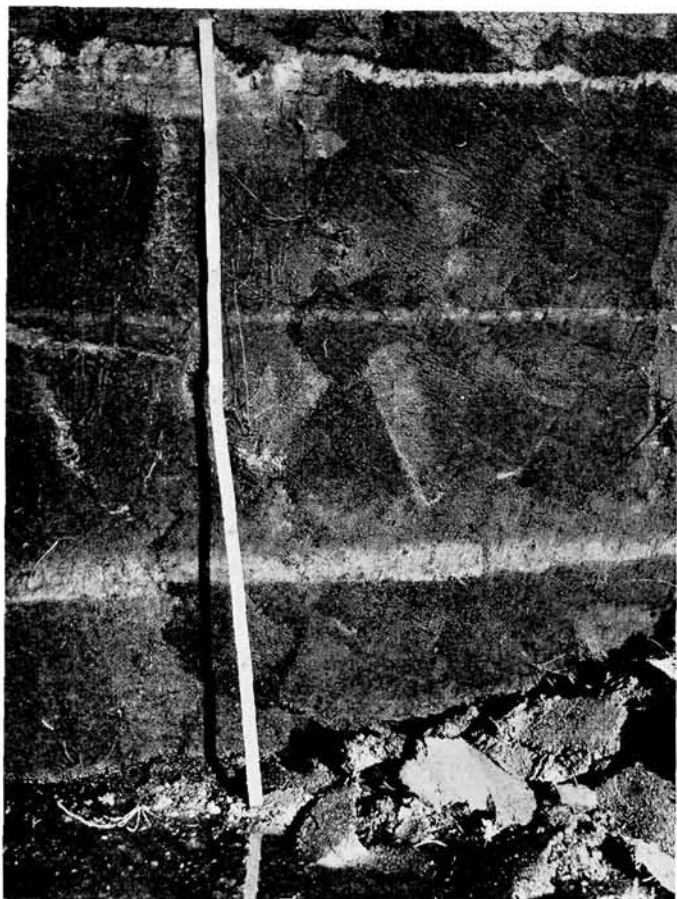


Fig. 2. De liparitiska tefralagren H_1 , H_3 och H_4 i en torvgrav nära Skagaströnd, norra Island. Tumstockens längd 1 m.

- 4) Att tjäna som hjälpmedel vid pollenanalytiska studier av vegetations- och klimatutveckling
- 5) Att datera gårdar utgrävda av arkeologer
- 6) Härtill kommer så de berörande Island, men huvudsakligen utanför Island bedrivna, försöken att etablera en tefrokronologisk telekonnektion mellan Island och andra länder.

I de på tefrokronologien baserade vulkanhistoriska studierna samt i tefrokronologiskt arbete på Island ö. h. t. har landets mest berömda vulkan, Hekla, spelat en central roll. Morfogenetiskt en mellanform mellan en spaltvulkan och en centralvulkan hör Hekla petrogenetiskt till de centralvulkaner med differentierade utbrottsprodukter som spelat en betydligt större

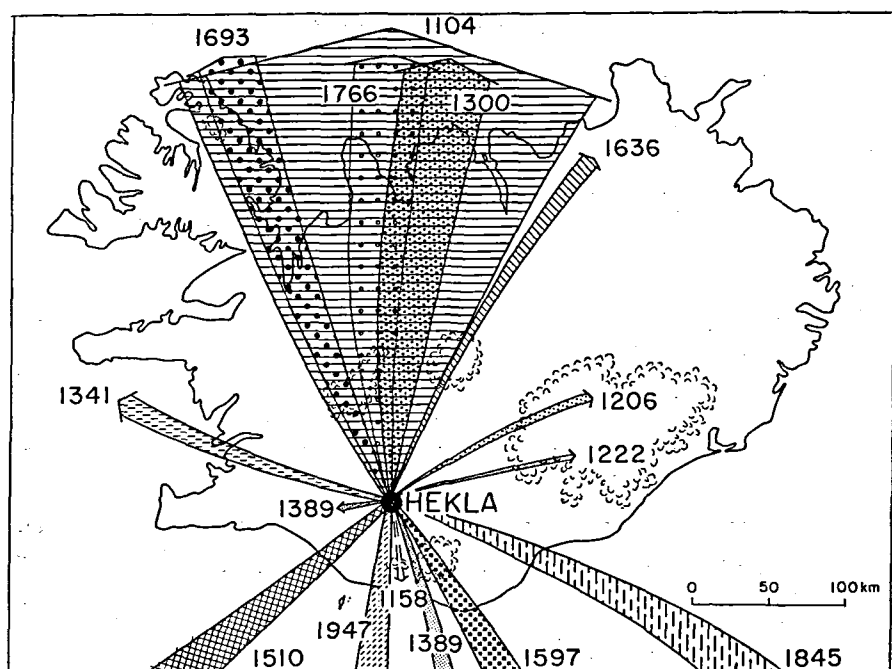


Fig. 3. Karta som visar i vilken riktning tefran spridits under initialfasen av varje Hekla-utbrott i Islands historiska tid. Pilarnas bredd är ungefärligt proportional mot tefravolymen.

roll i Islands uppbyggande under både Tertiär och Kvartär än man tidigare föreställt sig. Tar man postglaciertiden som helhet har Hekla varit den största tefraleverantören bland Islands vulkaner och de liparitiska tefralagren H_1 (1104 e. Kr.), H_3 (ca 2.800 år gammalt), H_4 (ca 4.000 år gammalt) och H_5 (ca 6.600 år gammalt) är de viktigaste tefrokronologiska lednivåerna i landets postglaciala jordtäckte och påträffas vart för sig över större delen av landet. (Fig. 2).

Genom kombinerade historiskt-källkritiska studier och detaljerade tefrokronologiska sådana har Heklas verksamhet i historisk tid blivit någonlunda tillfredsställande utredd. Att man försökt åstadkomma detta är icke enbart av geologiska skäl utan också därför att Heklas historia är också en del av det isländska folkets historia, historien om den 1000 åriga kampen mot oblida naturmakter, som våra historiker något försummat.

Genom systematiskt uppmätande av tefralager i markprofiler runt omkring Hekla har man kunnat urskilja de enskilda Hekla-lagren, samt i vilken riktning tefran förts under utbrottens kortvariga initialfas, varande några timmar till någon dag, under vilken vanligen produceras över 80 %

av den totala tefraproduktionen under ett helt Hekla-utbrott, som dock varar i genomsnitt ett år.

Genom dessa undersökningar har antalet av Hekla utbrott i historisk tid reducerats från 19, som de skulle varit enligt Thoroddsens klassiska *Geschichte der isländischen Vulkane*, till 14. Fig. 3 visar i vilken riktning tefran transporterats under initialfasen av varje enskilt utbrott och pilarnas bredd är någonlunda proportionell mot volymen av tefra producerad.

Det framgår av denna bild att det första utbrottet var det ojämförligt största i frågan om tefraproduktion. Den uppgick till ca $2\frac{1}{2}$ km³ nyfallen tefra. (Fig. 4). Det utbrott som producerat den största mängden lava var däremot utbrottet 1766/68, tillika det längsta utbrottet. Det producerade ca 1.3 km³ lava. Kalkulerar man både lava och tefra som fast berg har Hekla i historisk tid producerat ca 8 km³ lava eller drygt fjärdedelen av den lava som producerats i landet, och omkr. 1 km³ tefra, eller ca 10 % av tefra produktionen. Orsaken till att Heklas andel i tefraproduktionen inte är ännu större är, att så många av våra vulkaner, som under normala omständigheter skulle vara effusiva, är rent explosiva på grund av att de är istäckta.

Ur geologisk synpunkt var det viktigaste resultatet av denna Heklaundersökning konstaterandet av att upp till en gräns liggande nära, 65 % SiO₂ tycks differentiationen av Hekla-utbrottens initial-produkter vara en nästan linjär funktion av föregående viloperiods längd. Detta innebär att ett utbrott efter en viloperiod på 200 år eller mera blir ett rent explosivt liparitutbrott, men att utbrott efter kortare vila blir blandutbrott, producerande andesitisk lava och tefra, som under utbrottets gång blir allt mera basiska.

I varje bebott aktivt vulkanområde är det ett naturligt önskemål att kunna förutsäga vulkanutbrott. Detta förutsätter i flesta fall en dyr instrumentell utrustning och ständig observation. Vi har inte råd med mycket av det slag på Island. Men en detaljerad kunskap om en aktiv vulkans historia kan lära oss något om dess framtida beteende. Här gäller omvänt det Huttonska diktumet, här är »the past the key to the present«. Eksemplifierat med Hekla kan vi med ledning av vad vi nu vet om vulkanens historia genom 1000 år icke garantera dem som nu bygger ett 210 MW kraftverk i vulkanens omedelbara närhet, att Hekla håller sig tyst de närmaste decennierna. Det är redan 22 år sedan sista utbrottet ägde rum. Men vi kan lova med tämligen god säkerhet, att om det blir ett utbrott de närmaste åren, så blir det ett relativt lindrigt sådant. Övervägande effusivt, och sålunda med liten produktion av tefra.

En slående motsats till Heklas beteende har vi i en annan av Islands mest aktiva vulkaner, den av Mýrdalsjökull täckta Katla, som har utbrott ungefär två gånger varje sekel. Katlas verksamhet kan genom asklager följas genom hela postglacialtiden och det ser ut som om dess utbrotts-

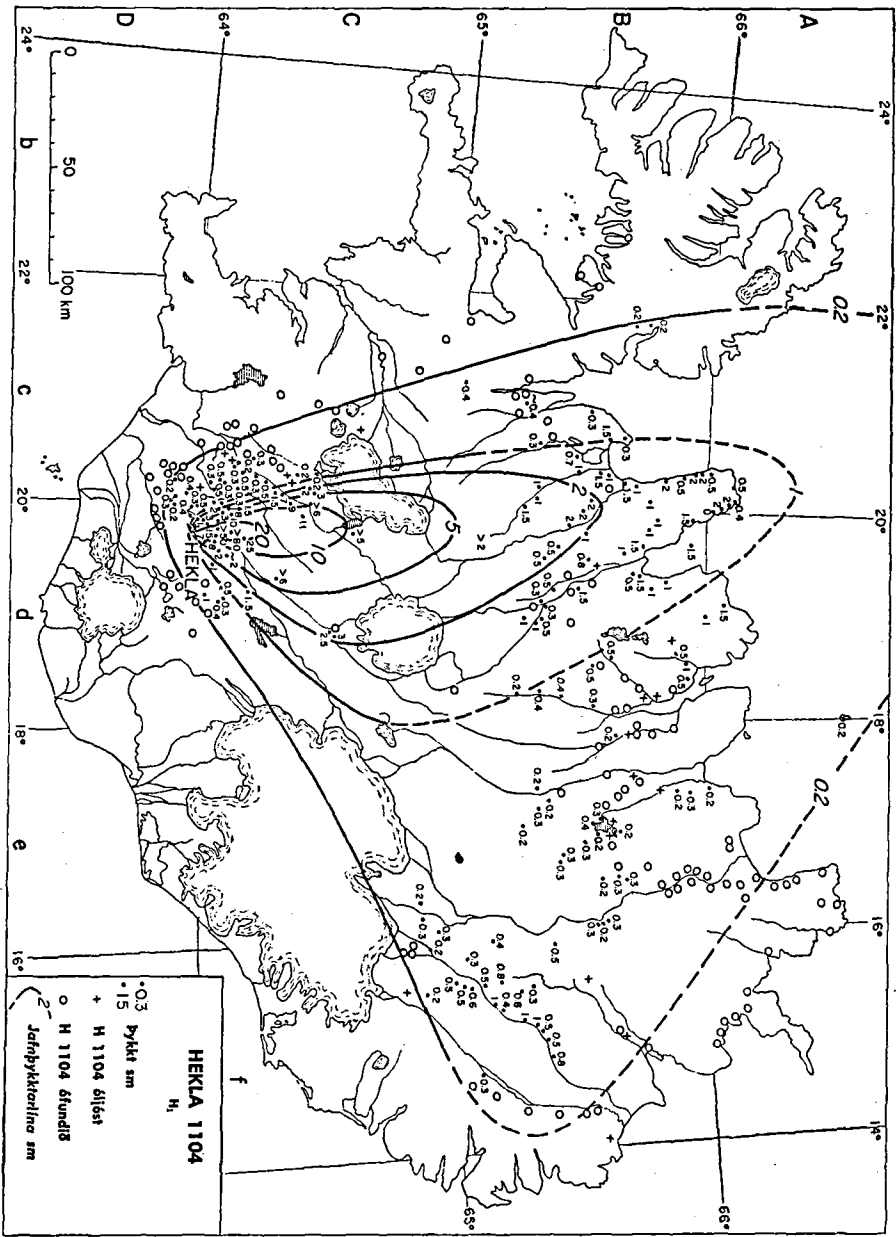


Fig. 4. H₁ (= Hekla 1104). Isopachkarta. Mæktighet i cm.

produkter alltid är praktiskt taget de samma, med hänsyn till kemisk sammansättning, nämligen närmast alkali-olivin basalt. Förklaringen torde vara den, att Hekla matas från en relativt grunt belägen magmareservoir, men att Katla matas direkt genom en spalt som går mycket djupare ned, till en mera primär magma.

Som förut nämnts har antalet Heklautbrott i historisk tid reducerats från 19 till 14. Å andra sidan har man på tefrokronologisk väg uppsårat många utbrott, som ingenstades är omnämnda i litteraturen. Ett av dessa, som ägt rum i Grímsvötn eller inom Kverkfjöllområdet, troligen sent på 1400-talet, har spritt tefra över landets östra och nordöstra delar och varit ett av de allra största explosiva basaltutbrotten i landet i historisk tid. Ett annat har varit ett av de stora Katlautbrotten i historisk tid och spritt tefra över större delen av sydisländska låglandet (Fig. 10). Det kan med ganska god säkerhet tidfästas till omkr. 1485.

Jag övergår så till att nämna några andra exempel på tillämpning av tefrokronologi på Island. Först ett par geologisk-geomorfologiska:

Tefrokronologi och fluvial erosion

Islands näst-längsta älv, jökälven Jökulsá á Fjöllum, har i sitt nedre lopp eroderat landets ståtligaste kanjon, Jökulsárgljúfur. Jökulsárgljúfur har en längd av omkring 30 km, men den mittersta tredjedelen är inte en kanjon utan en glacialeroderad dal. Ståtligast är kanjonens sydligaste tredjedel, ca. 140 m djup, bildad genom bakåtskridande erosion. Berggrunden är basalt med sedimentära mellanskikt, som underlättar erosionen, och kanjonen är tydligt tektoniskt anlagd. Älven bildar tre vattenfall där den faller ned i kanjonen, det mittersta är Islands väldigaste, Dettifoss, 44 m. Den norra kanjonen, 10 km lång, är av liknande typ, men något grundare, och berggrunden där är ännu mera lätteroderad, enär sedimenten mellan de interglaciala basaltskikten är grövre och mindre konsoliderade. Denna nordliga kanjon utmynnar på Axarfjörður-Kelduhverfis stora sandurslätt, där stora block strödda över sandurytan vittnar om flera jökellopp. Stora sådana har ägt rum i historisk tid, särskilt under 1700-talets förre hälft, och vållat svåra skador. De ha orsakats av subglaciala utbrott i Vatnajökull.

På båda sidor av kanjonens mynning är döda, nu vattenfria kanjons och döda fall. Det ojämförligt ståtligaste är Ásbyrgi på västra sidan, en 2.5 km lång kanjon med tvärbranta väggar, delat i två av en bergrygg. (Fig. 5).

Det är naturligt att tänka sig att Ásbyrgi bildades under sista glacialsens avsmältningsskede och att ett jökellopp från Ódáðahraunområdets vulkaner bidragit, samt att älven använt de senaste 10 000 åren eller så för att gräva ut den norra kanjonen. Men tittar man på markprofiler och studerar

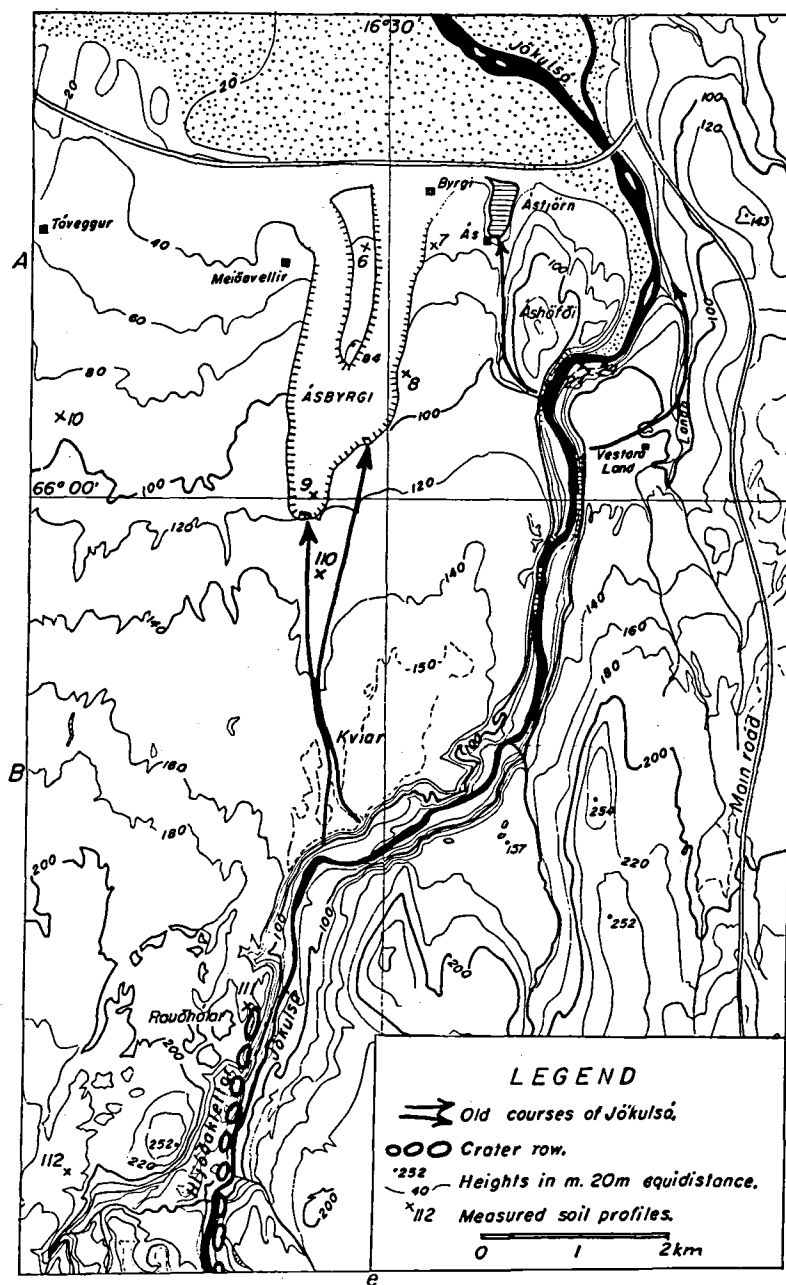


Fig. 5. Ásbyrgi samt Jökulsárkanjónens norra del.

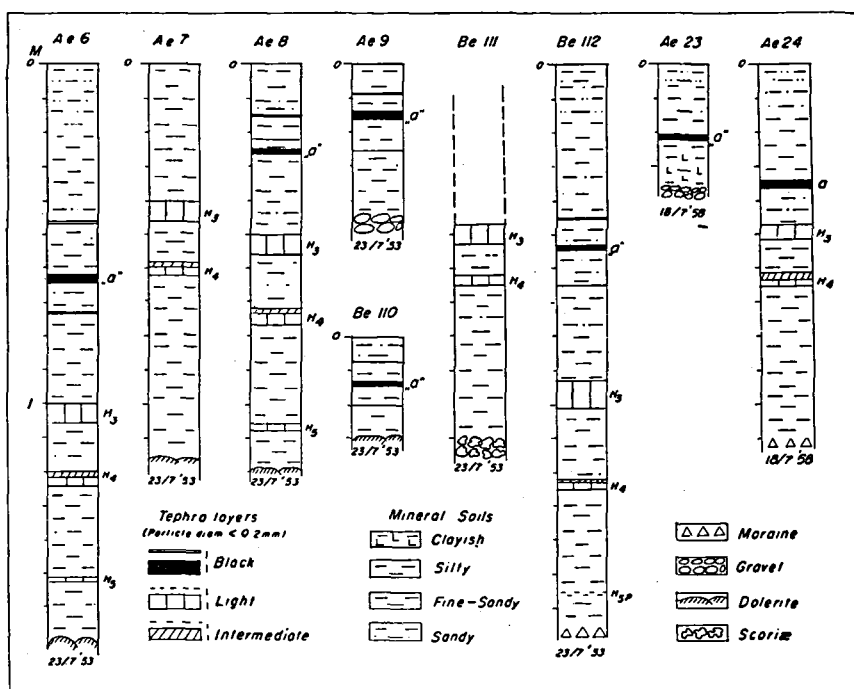


Fig. 6. Jordprofiler i Ásbyrgi och närbelägna områden. Lokalisering av profilerna framgår av Fig. 5.

asklagren, blir man något förvånad. På Ásbyrgi-väggarnas krön finner man alla de större asklager som här fallit i postglacial tid, däribland Hekla lagren H₃ och H₄, 2800 resp. 4000 år gamla, men på Ásbyrgis botten finner man endast ett tunt jordäcke där H₃ och H₄ saknas (Fig. 6). Det samma gäller älvfåran söder om Ásbyrgi och går man söderut till dalen är jordtäcket tunt och utan Heklalager tills man kommer i den höjd på sluttningarna, som motsvarar passpunkten mellan Ásbyrgi och dalen. Man kommer inte undan den slutsatsen, att ännu så sent som ca 700 år f. Kr. har Jökulsá flödat genom Ásbyrgi. Antingen är den 10 km långa kanjonen eroderad under de senaste 2700 åren eller så har någon gång efter 700 f. Kr., troligen för ca 2500 år sedan, ägt rum ett jökellopp, stort nog att fylla den del av norra kanjonen som då kan ha funnits, samt flödat över till Ásbyrgi och sopat bort allt jordtäcket där. Det måste ha varit ett jökellopp med vattenföring på 100-tusentals m³/sek. En ung isländsk forskare (H. Tómasson) med erfarenhet från staten Washington State i nordvästra U.S.A. där man har väldiga döda kanjons bildade genom avtappning av issjöar, anser sig ha påvisat att ett dylikt jökellopp verkligen ägt rum och menar att det varit

stort nog att erodera hela Ásbyrgi samt större delen av Jökulsás kanjon. Jag vidhåller alltjämt den uppfattningen, att Ásbyrgi är till största delen mycket äldre, men i varje fall har tefrokronologien här ställt oss inför ett ganska fascinerande problem och det är främst genom fortsatta tefrokronologiska studier som detta problem kan definitivt lösas.

Tefrokronologi och glaciärernas ändringar

Asklagen har visat sig vara mycket användbara vid studiet av glaciäroscillationer i Island, enär både moräner och sediment i issjöar kan ofta dateras med deras hjälp. Ett par exempel må anföras. Söder om Langjökull, landets näststörsta platåis, blev en sjö uppdämd genom glaciären Hagafellsjökulls framryckning (fig. 6). Denna sjö avgränsas på sydöstsidan av en subglacialt uppbyggd móbergrygg. Denna rygg genomdras av två pass, det östligare djupare än det västligare. Under detta sekel var båda passen isdämda fram till 1929. Då hade glaciären dragit sig såpass tillbaka, att sjön fick avlopp genom det västra passet och ytan sänktes omkr. 6 m. 1939 fick sjön avlopp genom det östligare passet och sänktes 9 m, varvid västra delen helt torrlagdes. På den torrlagda sjöbotten var tydligt årsvarviga sedi-

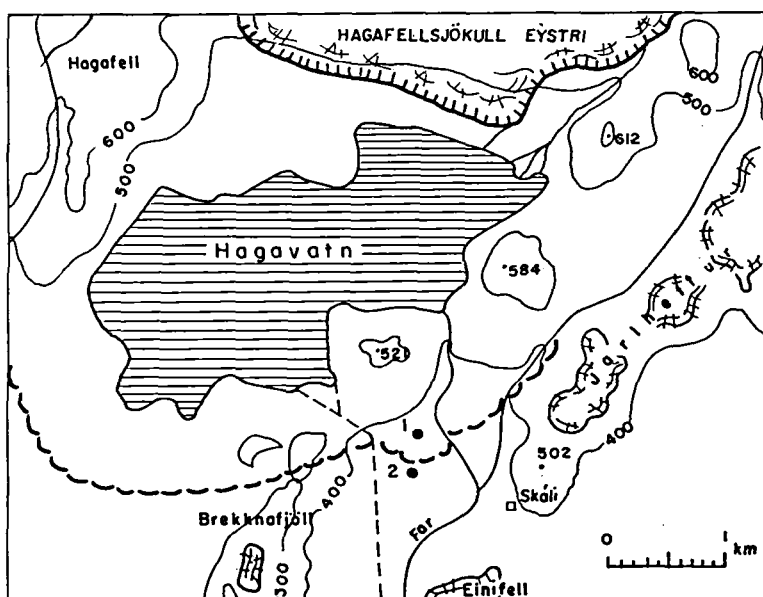


Fig. 7. Hagavatn och Hagafellsjökull eýstri, enligt flygbilder från 1960. Den brutna linjen visar glaciärens maximala utbredning.

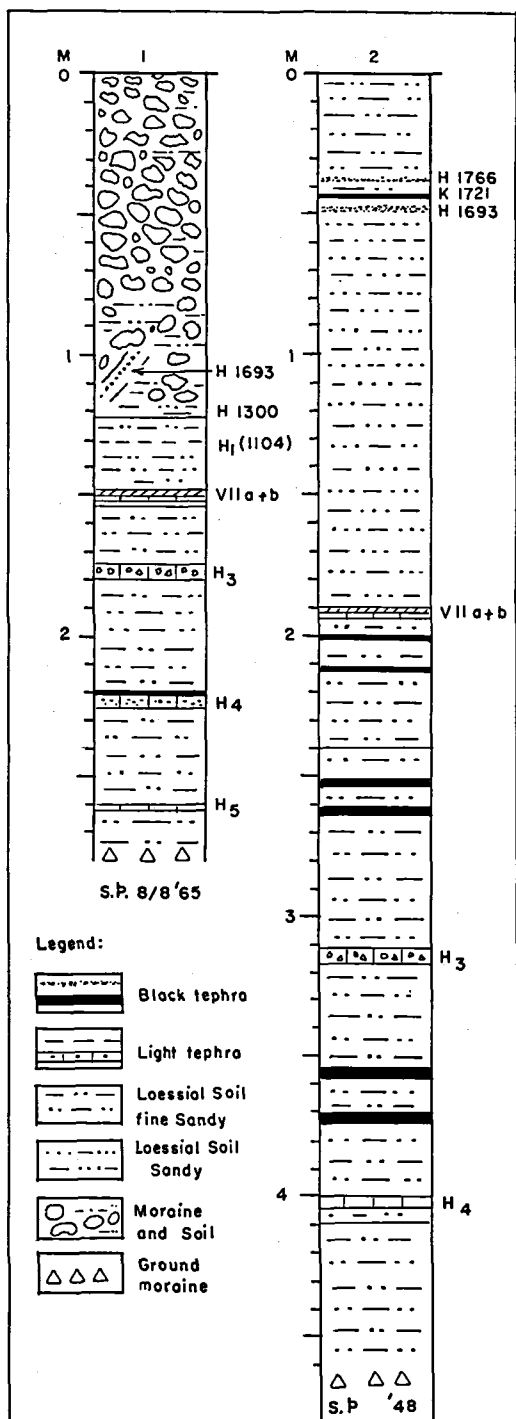


Fig. 8. Två jordprofiler, den ena belägen strax utanför, den andra något innanför Hagafellsjökull's yttersta ändmorän. Profilernas läge framgår av Fig. 7.

ment med tefralager emellan. Det äldsta av dessa var Hekla 1693, underlegat av ett tjugotal varv, vilket visar, att först efter mitten av 1600-talet hade glaciären nått den utbredning som den hade 1939, då östra passet öppnades. Sedan breddade glaciären sig utöver móbergstryggen och ned på slätten sydöst om den. Vid början av detta sekel hade den ett läge som är ungefär markerat på kartan fig. 7. Något tiotal meter utanför dessa moräner är en erosionsrest av lössjord och granskar man asklagren i denna finner man, att de går tillbaka i varje fall till mitten av postglacial värmetid (fig. 8). Med andra ord, glaciärens utbredning under 1800-talets senare del var med absolut säkerhet den största i postglacial tid.

Om man sen gräver i bottenmoräntäcket närmare móbergstryggen finner man under det lössjord med tefralager som kan identifieras ända upp till 1693-lagret. Det betyder, att glaciären ryckte fram till detta läge betydligt senare, troligen först under 1800-talet, ty 1693 lagret måste ändå ha skyddats av något jordtäckte när glaciären ryckte fram över det, eljes hade det sopats bort.

Genomgående finner vi, att de flacka lobformade utlöparna av våra platåisar nått sin maximala postglaciala utbredning under de senaste 2–3 hundra åren. Går vi däremot till de branta glaciärererna av alpin typ, så finner vi nästan alltid med hjälp av asklagerstudier att de yttersta postglaciala moränerna är prehistoriska. Det förefaller som om dessa moräner går tillbaka till järnålderns första århundraden, vilket visar, att den stora klimatförsämring som då ägde rum var tillräcklig för att bringa de alpina glaciärererna till deras maximala utbredning i postglacial tid, men förmådde inte att bringa de flacka platåisernas utlöpare så långt, vilket huvudsakligen beror på, att de flacka glaciärererna reducerats mycket mera under värmetiden än de branta alpina.

Tefrokronologi och vinderosion

Ett av de mest frapperande och för många utländska geologer och geomorfologer mest överraskande dragen i Islands geomorfologi är vinderosionens stora roll. Denna vinderosion, oftast sammanverkande med en fluvial sådan, är också av vital betydelse för Islands lantbruk. Man räknar med att hälften av landets jordtäckta areal, eller omkring 20 000 km², har berövats sitt jordtäckte sedan kolonisationen. Av de björkskogar, som troligen täckte ca 20 000 km² för 1100 år sedan återstår knappast 1000 km². Mycket har skrivits om orsakerna till denna markförstörelse och meningarna har varit delade. Bönderna skyller på vulkanutbrott och klimatförsämring, många vetenskapsmän skyller på människan och de gräsätande djur hon förde till detta förut daggdjurfria land, om man undantar räv och sälar.

Med hjälp av daterade asklager har man kunnat följa vinderosionens gång, tidfästa förloppet. Tillväxthastigheten i jordtäckets mäktighet är en funktion av erosionen, enär den lössjord bemängd med tefra som vinden river upp, avsättes till en del på de områden som ännu är jordtäckta. Och studerar man denna tillväxt får man den bild som visas som fig. 9.

Längst till vänster en markprofil med sina tefralager. Extraherar man dessa, eftersom de ej ha något med den normala lösssedimentationen att göra, får man profilen till höger och kan bestämma hur hastig tillväxten varit i medeltal mellan varje två daterade tefralager. Och vad är resultatet? Fram till en viss punkt på kurvan, har tillväxten varit ganska jämn, dock troligen med någon ökning omkr. 500 f. Kr., när klimatförsämringen inträffade. Men den stora ökningen i sedimentationshastigheten sker kort efter människans ankomst. Där ha vi huvudorsaken.

Tefrokronologi i arkeologiens och vegetationshistoriens tjänst

Allt sedan de samnordiska arkeologiska utgrävningarna ägde rum i Thjórsárdalur sommaren 1939, då bl. a. Aage Roussell med hjälp av Kristján Eldjárn, vår nuvarande president, grävde den ståtliga Stöng gården fram ur Hekla-tefran från 1104, har det varit ett intimt samarbete mellan arkeologer och geologer på Island. Med hjälp av asklager har man kunnat någonlunda exakt datera gårdsruiner från olika tider och på så sätt följa den isländska gårdstypens utveckling.

Tendensen i utvecklingen har varit från få stora långhus till klungor av mindre hus. Detta på grund av den med tiden allt svårare bristen på timmer.

Den ursprungliga avsikten med mina asklagerstudier var att använda asklagren som lednivåer vid pollenanalytiskt arbete och fast detta asklagerstudium kom att bli för mig ett självändamål, så har andra fortsatt med det pollenanalytiska arbetet och dragit därvid nytta av de daterade tefralagren. Av särskilt intresse på Island är att studera effekten av kolonisationen av ett jungfruligt land som före människans ankomst inte ens hade några gräsätande däggdjur. Nu vill det sig så väl, att man har ett vidsträckt och lätt igenkännligt asklager, bildat just vid tidpunkten för kolonisationen (jfr. fig. 10). Med hjälp av det skulle man på pollenanalytisk väg kunna kartlägga landets vegetation strax före människans ankomst och konstatera vilka växter med säkerhet fanns där före människan.

Fig. 9. Jordprofil och diagram visande tillväxthastigheten av jordtäckets mäktighet i distriktet Land på södra Island. 1: mörka, 2: ljusa tefralager, 3: sandig, 4: moig, 5: mjällig jord.

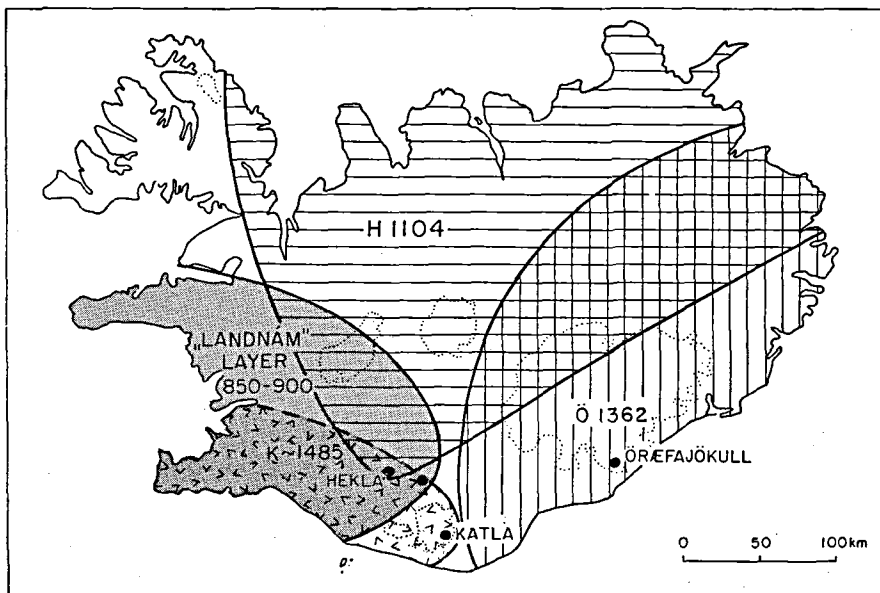


Fig. 10. Utbredning av fyra tefralager som utgör viktiga lednivåer i isländsk jordmån.

Tefraproduktion och klimatändringar

Sedan Benjamin Franklin i sinom tid skylldes den kalla vintern 1783/84 på vulkanisk aska från Lakagígur på Island och Asama i Japan har frågan om ett eventuellt samband mellan tefraproduktion och klimatändringar då och då dykt upp, nu senast i detta års upplaga av Longwell-Flint Sanders Physical Geology, där det säges, att en varm period 1912-1952 och gradvis temperatursänkning sedan dess kan sättas i samband med att inga stora explosiva utbrott ägt rum under nämnda 40 års period, men några sådana sedan dess. Även om detta påstående förefaller mig dåligt grundat är frågan om eventuell klimatisk inverkan av vulkanisk aktivitet värd beaktande. Men enligt min uppfattning måste man ha flera fakta att bygga på än ännu står till buds. Två framgångsvägar synes mig främst komma i fråga. Den ena är att med till buds stående mättningsmöjligheter söka kvantitativt bestämma de lokala klimatiska verkningar, eller större sådana, som orsakas av enskilda vulkanutbrott i vår tid. En annan är att söka tidfästa så noggrant som möjligt de perioder av massproducerande vulkanism, som inträffat under de yngre skeden av jordens historia och se om det finns någon korrelation mellan dem och de klimatförändringar som ägt rum. Den massproducerande vulkanismen är huvudsakligen av två slag: 1) den som bildat jordens stora platåbasaltområden och 2) den som bildat de väldiga

förekomster av ignimbriter som under de senaste decennierna upptäckts på flera håll på jorden, de största troligen i västra USA. Härvid bör det beaktas, att de väldiga effusiva utbrott, som uppbyggt basaltplatåerna, ej producerat tefra i någon större grad utom möjligen under det skede då platåernas submarina underlag byggts upp nästan till havsytan, så att förutsättningen för freatiska utbrott förelåg. Deras eventuella klimatiska inflytande beror sålunda på deras produktion av vulkaniska gaser. Utgår man ifrån att gasernas procentuella sammansättning och mängd varit ungefär den samma som i Surtsey-lavan kan man räkna med att under Lakagígar utbrottets 1783 första månader produktionen av respektive SO_2 och CO_2 varit 2–3 tus. m^3/sek vid 1 atm. tryck. Annat exempel: Räknar man med att de isländska platåbasalternas stratigrafiska medelmäktighet är omkr. 8 km, så bör produktion av denna »pile« ha utlöst omkr. 400 tusen km^3 koldioxid. d.v.s. mer än 50 % av atmosfärens nuvarande CO_2 innehåll. Och när man vet, att gaserna och det blå diset från Lakagígar utbrottet, som producerade 565 km^2 lava, märktes över hela Europa och angränsande delar av Asien och Afrika kan man föreställa sig verkningarna av ett utbrott som det som bildade the Rosa flow i staten Washington, men detta lavaflöde täcker 25000 km^2 . Vad de ignimbritbildande jätteutbrotten beträffar, så ger skildringar av utbrott som Katmali 1912 och ännu mera det väldiga Bezymianny utbrottet på Kamtchatka den 30. marz 1956, en föreställning om vad som skett under de gigantiska ignimbrit-utbrott, som ägt rum i äldre tider. Om man ö. h. t. har att räkna med klimatiska effekter av tefraproduktion, så borde den främst vara att söka i samband med dylika utbrott, vilka förutom gaser har fört oerhörda mängder vulkaniskt stoft till stratosfären. Det samma gäller de största freatiska utbrotten av typen Santorini eller Krakatau, men de torde dock i det stora och hela ha spelat mindre roll än ignimbrit-utbrotten.

Vad de senaste årtusendernas klimatiska variationer beträffar, så borde det på tefrokronologisk väg vara möjligt att konstatera om produktion av tefra på jorden har varit särskilt stor, låt oss säga vid tiden för den markante klimatförsämringen i början av nordisk järnålder eller den på 1200-talet.

Tefrokronologiska telekonnektioner

På grund av Islands relativt begränsade areal måste nödvändigtvis ganska mycket av den tefra som isländska vulkaner producerar falla utanför landet, huvudsakligen på kringliggande hav. Men den kan också föras till andra öar och länder, antingen sjövägen eller luftvägen. Vi har samtida, skrivna vittnesbörd om nio utbrott som avsatt tefra luftvägen antingen på öar längre österut i Atlanten eller på europeiska fastlandet. I min doktorsavhandling

1944 påpekade jag möjligheten av att i samband med pollenanalytiskt arbete under mikroskopet kunna identifiera isländsk aska i skandinaviska torvmarker på grund av det vulkaniska glasets karakteriska utseende. Det dröjde emellertid nära två årtionden innan en ung svensk kvartärgeolog, Christer Persson, efter deltagande i en exkursion till Island började förverkliga denna tanke. Persson har påträffat asklager i flera svenska och norska torvprofiler, ss. Askja 1875, Hekla 1104 och det prehistoriska H_3 . Andra asklager har med sannolikhet identifierats som Öræfajökull 1362 och H_4 . På Färöarna har både Persson samt Waagstein och Johansen påbörjat samma slags undersökningar och där ha de sistnämnda bl. a. påträffat ett asklager 9500 år gammalt, äldre än något ännu identifierat på Island.

En annan möjlighet till telekonnekationer är genom den tefra som inte är luftburen utan havburen, d. v. s. förd av havsströmmar till fjärran belägna kuster. Som bekant förekommer pimpsten på kuster flerstädes kring Norra Atlanten och angränsande delar av Arktis. De finns på Spitzbergen, Nordostlandet, i Norge, England, Danmark och på sydvästra Grönland. Jag skall inet här ingå på denna pimstens ursprung. Ursprungsställen kan vara många, men som framhållits bl. a. av Noe-Nygaard, är Island det sannolikaste ursprunget för en del av denna pimsten, och där är det inte endast fråga om isländska fastlandet utan också om pimsten från submarina utbrott utanför Island. Men ännu återstår mycket arbete innan denna pimstensfråga kan sägas vara definitivt löst.

Det må också påpekas, att det är endast den grova pimstenen som driver långt men den finkorniga tefran sjunker till botten och därmed har marin-geologerna fått lednivåer som efterhand fått allt större betydelse.

Det bästa exemplet är kanske östra Medelhavet. Där har man nu kartlagt utbredningen av ett tiotal väldiga tefraskikt från de senaste 10 000 åren eller så. Det yngsta lagret är från det utbrott som förstörde Pompeii 79 e. Kr. Ett av dessa tefralager, karterat av Heezen och Ninkovich, har av dem påvisats härröra från ett av de kraftigaste utbrott som ägt rum på jorden i postglacial tid, det utbrott som bildade den väldiga kalderan på Santorini, med en areal på 82 km² och till volym många gånger större än Krakataus. Lagrets utbredning i östra Medelhavet är ca 200 000 km², och då det påvisats att utbrottet ägt rum ca 1500 f. Kr. torde detta utbrott ha haft en icke ringa andel i den plötsliga starka nedgången i den lysande Minoanska bronsålderskulturen på Kreta och närbelägna öar och alltflera lutar åt den uppfattningen, att om Atlantis-legenden har en verklighetskärna, så är den att finna i detta utbrott. De som deltog i ett nyligen avslutat symposium om dessa problem på Kreta och Santorini var ense om att kombinerade arkeologisk-tefrokronologiska studier skulle ge de största möjligheterna till att komma närmare lösningen av detta fascinerande problem.

Sedan den tefrokronologiska metoden utarbetats har andra dateringsmetoder tillkommit och en av dem, C^{14} metoden, har fått en synnerligen stor användning särskilt för postglacialtiden och historisk tid. Man kan därför fråga sig om tefrokronologien blivit föråldrad nästan strax efter födelsen. Därtill är att svara, att även om C^{14} metoden och andra dateringsmetoder ss. användandet av termoluminescens kan eller kommer att kunna ersätta tefrokronologien i betydande grad, så fortsätter den sistnämnda att ha betydelse. För det första är den en viktig metod för studiet av vulkaner och deras historia. Som dateringsmetod kan den i lyckliga fall ge betydligt exaktare resultat än andra metoder och ett tefralager är, vare sig det är daterat eller inte, en synnerligen användbar ledhorizont, icke minst för arkeologiska studier.

Jag vill särskilt understryka betydelsen av att kombinera tefrokronologien med andra dateringsmetoder. Har man med C^{14} eller på annat sätt daterat ett tefralager, så kan man sedan använda denna datering överallt där detta lager förekommer, alltså även i minerogena sediment som ej kan C^{14} dateras. Isotopiska dateringsmetoder som kan användas på tefran som sådan blir ständigt mer förfinade och exakta och bör så småningom kunna tillämpas även på postglacial tefra. Mätandet av termoluminescens är en dateringsmetod som öppnar möjligheter även för datering av tefra.

Ja, mina damer och herrar. I detta rapsodiska föredrag har jag försökt att glimtvis belysa vad tefrokronologi är för något. Den är en ung och ganska spinkel gren på geologiens stora träd, men jag hyser den förhoppningen, att den ej kommer att vissna utan få ett med tiden växande antal blad.

(Foredrag holdt ved Dansk geologisk Forenings årsmøde 11. oktober af modtageren af Steno-medaljen 1969)

*Raunvísindastofnun Háskólans Jarðvísindadeild
Hringbraut, Reykjavík, Ísland*

APPENDIX

I ett normalt supramarint basaltproducerande utbrott är produktionen av tefra relativt liten. Även ett så väldigt lavautbrott som Lakagígar utbrottet 1783, det största lavautbrottet på jorden i historisk och möjligen i postglacial tid, producerade knappt 1 km³ tefra och stor del av denna var grövre än aska. Förutsättningen för att basaltutbrott producerar en relativt stor mängd tefra är att de är freatiska och det faktum, att basaltisk tefra utgör troligen mer än $\frac{2}{3}$ delar av all tefra i Islands postglaciala jordar är först och främst orsakat av att några mycket produktiva basaltvulkaner, ss. Katla, är istäckta.

Mot bakgrund av detta är de eocena asklagren i Danmarks moler ganska anmärk-

ningsvärda. Fördelningen mellan sura och basiska lager samt den eocena åldern röjer sammanhang med det tertiära nordatlantiska basaltområdet. Enbart av de isopachkartor som föreligger kan man dra den slutsatsen, att de tefraproducerande vulkanerna svårigen kan ha legat mycket mer än 100 à 150 km N eller NV om Limfjordsområdet, enär väsentligt större avstånd förutsätter så väldiga volymsiffror för tefran, att de förefaller mycket osannolika. Men för att producera ett basaltiskt asklagar som t. ex. nr. +101, krävs ett supramarint utbrott många gånger större än 1783-utbrottet. Sköldvulkaner producerer endast små mängder tefra. Slutsatsen blir, att antingen har de största basaltiska eocena lagren bildats genom supramarina spaltutbrott som varit enorma, eller – vilket förefaller troligare – har i varje fall en del av utbrotten varit av Surtsey typ, fast vida större, d.v.s. spaltutbrott inom ett havsområde med ringa vattendjup. De sura och intermediära lagren härrör troligast från centralvulkaner av isländsk typ.