

17a

TRAUСТИ EINNARSSON

EDLISPÆTTIR JARÐARINNAR

OG

JARÐSAGA ÍSLANDS

DB

ALMENNNA BÓKAFÉLAGIÐ

1972

## EFNISYFIRLIT

FORMALI .....	bls. 7
INNGANGUR .....	9
I. Yfirlit yfir heildarástand jarðar .....	9
II. Uppruni jarðar og stjórnufræðilegur bakgrunnur .....	13
III. Flokkun jarðfræðinnar og jarðeðlisfræðinnar í undirgreinar	20
KRYSTALLAFRÆÐI (KrySTALLÓGRAFÍA og mÍNERALÓGÍA) .....	24
I. Bygging og greining krySTALLanna .....	24
II. Nokkrir samhverfuflokkar og forn krySTALLA .....	31
III. Nokkrar þýðingarmiklar steindir .....	34
Kvarz 34. Silúrít 35. Atrar steindir 37.	
IV. Yfirlit um uppruna helztu steindaflokkna í náttúrunni .....	39
I. Hæg storkun 39. II. Veðrunarsteindir 39. III. Zeólítasvæði 39.	
IV. Ummyndunarsviðið 39. V. Annað 41.	
BERGFRÆÐI (PETRÓGRAFÍA, PETRÓLÓGÍA) .....	42
Gosberg, Storkuberg .....	42
I. Samsetning og myndun .....	42
II. Yfirlit yfir útbreiðslu gosbergs hér á landi og ýmis hagnýt	51
sjónarmið .....	
1. Náttúrn 51. 2. Kvartert gosberg 58. 3. Tertíert gosberg 63.	
III. Setlög hér á landi .....	66
IV. Jarðgöng gegnum ýmskonar berglög .....	73
JARÐSKORPUHREYFINGAR .....	74
1. Epirogen hreyfingar 75 2. Fjallmyndandi (orogen) hreyfingar 76.	
3. Selgja, teygjanleiki og spennur 78. 4. Flokjafræðisvæðing 82.	
5. Evstatískar hreyfingar 83.	
JARÐSAGAN .....	84
1. For-kambrískt berg 86. 2. Þrjú fjallmyndunarskeið eftir Kambrium:	
a. Kaledóníska jarðtrogið (jarðsaga Norgs) 88. b. Hercyníska (Varis-	
íska) jarðtrogið 90. c. Alpa-jarðtrogið 90. 3. Tertíer-saga Evrópu 91.	
4. Danmörk 91.	
JARÐSAGA ISLANDS .....	96
1. Upphaflið 96. 2. Eldri og yngri hitar basaltplötunar 98. 3. Rask	
basaltplötunar 98. 4. Sléttun hins umbyrta lands (panepíanation) 99.	
5. Jarðlagabyltingin síðari 101. 6. Dalaskelðin 103. 7. Eldgosmyndunir	
yngri en basaltplatan 104. 8. Náttúrn 115.	
HAGNÝT JARÐEFNI .....	118
Fjölbreytni hagnýtra jarðefna í ljósi jarðsögunnar .....	118
I. Sérstakar gerðir seibergs .....	118
1. Kalksteinn 119. 2. Matarsalt 119. 3. Gips 120. 4. Mör, brúnkol og	
steinkol 120. 5. Jarðgas, olla og asfalt 120.	
II. Mýndbreytt berg .....	121
III. Málmar og nánnur .....	122
A. Veðrun og myndun áf- og járngrýtis 123. B. Eldleija og áhrif frá	
henni. C. Frekara yfirlit yfir málmámmur. Brennisteinsámmur 125.	

Setning og prentun: Leiftur h.f.  
 Bókband: Nýja bókbandið  
 Kápa: Torfi Jónsson  
 Copyright 1972 (c) by Almenna bókafélagið  
 Printed in Iceland



SIORINN OG STRÖNDIN .....	bls. 127
Afstæða láðs og lagar í lok Ísaldar og á Nútíma. Verk sjávar við ströndurnar .....	127
Eyðing af völdum sjávar 132. Ahrlif frostslms. Froststallar 134. Sand- og malarmyndanir 137. Hafnargert við sandströnd 142.	
YFIRBOÐSVAÐIN OG GRUNNVATN .....	147
I. Yfirboðsvaðin .....	147
Framburður og ágróftur. Jökulsvörfun 151. Könnun á Íslenzkum ári 155.	
II. Grunnvatn .....	159
Nokkur dæmi um öflun vatns hér á landi 165. Ahrlif stíflugerðar á grunnvatn 168. Stírost og frostverkun í jarðvegi 169.	
INNRI HITI JARÐAR .....	172
I. Hitappstreymi og hitagjafi .....	172
II. Jarð-ið .....	177
III. Uppruni basaltanna .....	178
JARÐHITI .....	181
I. Úthreðsla jarðhittans, vatnsmagn, hiti, nokkur o. fl. ....	183
II. Eðni uppleyst í hveravatni .....	187
1. Lottegundir 187. 2. Uppleyst steinheli í vatni 189. 3. Tvívegni (dæturum) og þrívægni (trítum) 193.	
III. Útfelling föstu efnanna, hverahröður. Saga jarðhittans .....	194
IV. Hveragös .....	196
V. Uppruni jarðhittans .....	198
JARÐSKJÁLFTAR .....	203
JARÐLAGAÐREIÐING MEÐ SKJÁLFTUM FRÁ SPRENGINGUM	214
ÞYNGDARMÆLINGAR .....	220
I. Mæling, afleiðir o. fl. ....	221
II. Nokkrar meginúrstöður þyngdarmælinga. Flotjafnvægi ..	223
III. Niðurstöður mælinga hér á landi .....	225
IV. Geóð. Raunveruleg lögun jarðaryfirborðs miðað við, að það væri hafstödur .....	227
BROTTLINUR ÍSLANDS OG SPENNUSVIÐ, SEM ÞÆR	229
JARÐSEGULSVIÐIÐ .....	236
I. Segulsviðið á Hörunum tímum .....	238
II. Segulkort. Hagryt sjóharmið .....	241
III. Vesturfærsla aukasviðanna og frumrösk segulsviðsins ..	242
IV. Segulræmur á hafsböllum. Kenningin um bofnskrið og landflutninga .....	243
V. Nokkur fyrirbrigði, sem tengd eru jarðsviðinu .....	246
NOTKUN GEISLAVIRKRA EFNNA .....	250
I. Aldursákvörðun með geislavirkum efnum .....	250
II. Ákvörðun hita í sjó og lofti á fyrri tímum .....	251
JARÐEÐLISFRÆÐILEG KÖNNUN .....	253
1. Selsmök könnun 253. 2. Þyngdarmælingar 253. 3. Segulmælingar 253. 4. Mótstöðumælingar 254. 5. Smáskjálftamælingar 255. 6. Neistamælingar 255.	
HEIMILDIR sem vitnað er í eða bent á .....	257
STÁÐA- OG SVÆÐANÖFN, LÖND, HNETTIR .....	261

## FORMÁLSDRÖG

Fyrstu drög að þessu yfirliti eða þáttum um jarðfræði og jarðeðlisfræði, má segja að séu nokkuð gömul. Haustið 1958 var mér falið að kenna stúdendum í bygginguverkefni jarðfræði og jarðeðlisfræði. Hentuga kemsnubók vuntaði, enda þótti rétt að miða efnið meira við Ísland en eðlilega er gert í erlendum bóksamum um verkefni-lega jarðfræði. Tok ég þá samam fjölrítt að græpa til stuðnings við kemsluna, en kemslustundin notaði ég mest til að klæða þá deingriá haldi. Mér stóð rannar til bóða að prenta Ágrvipið, þar eð það þótti eiga erindi til fleiri en þröngs hóps stúdenta, en ég taldi það ekki undir slíka útgáfu bóði.

Ereytt og endurbætt útgáfa Ágrvipsins (1963) var einnig fjölrituð, en dreyfðist þó eitthvað. Upplaggið þraut með kemslustúnum 1971-72, og handrit að 3. útgáfu samdi ég þann vektor. Hafði ég þá einn fjölritun í huga. Sú leið hefði reynt kampanimast fyrir mig; ég hefði vitað, hvaða kunnattu maetti reikna með hjá lesendum, og skýringar hefðu mátt vera stuttarðar, þar eð ég hafði kemslustundarnar til að fylla upp í eyður eftir þörfum.

Prentuð útgáfa hluti hinsvegar að hafa tvömann tilgang, þann gróði fræðslarit fyrir áhuganemum um jarðfræði og jarðeðlisfræði, og hlálp-artækni við kemslu í háskólanum, líkt og Ágrvipið hafði verið. Þeim, sem ég ráðfærði mig við, fannist tími til þess konunn, að ég ræðist í prentaða útgáfu, og þegar Almenna bókafélagið tók þvi vel að gefa ritið út, var það ákveðið. Egu reyndi svo eftir beztu getu að unsemnia teatann þannig, að hann gróði aðgengilegur fyrir þann almenna lesanda. Vonu ég, að það hafi tekið viðunamlega.

En sjaldan tekst allt eins og að er stefnt. Í kemslustundum hef ég reynt að gæta þeirrar skýlðu mínar að reða hlutlaust og frá gmsum hlíðum þau ágreiningsmál og kenningar, sem uppi eru í þessum fræðum, og stúdentar hafa verið örvaðir til að mynda sér sjálfstæðar skóðanir. Umreður við glöggskýggna og gagnrýna stúdentia um slík ágreiningsmál hafa verið mér til mikillar ánægju. En slíkar umreður veru mjög rannfrækar á prenti, og ég hef stundum orðið að afgreiða ágreiningsmál á fjólflegrí málta með því að segja umboða-

lítið, hvað ég teldi réttast í máli, án langrar greinargerðar um and-  
stæður skoðunar. En þess er yfirleitt getið, um hvaða atriði sé ágrein-  
ingur — og þá gefst lesandanum tilvalið tækifæri til að vegea og meta  
og mynda sér sína eigin skoðun.

Til þess að bæta nokkuð upp það, sem umræðum er átt, og of  
fleiri ástæðum, hef ég vitað í allanagrar ritgerðir, elski sátt varðandi  
Ísland, en í þeim er aftur að finna miklu fleiri tilvitnanir. Á þann  
hátt gerir listinn komið þeim á sporið, sem vildu reikja málin nánar.  
En listinn á einki að vera og getur einki verið neinn mælikvarði á  
framlag einstakera höfundar til íslenskra jarðfræða.

Í sambandi við heimildir verður mér hugsað til þess, sem ég hef  
notið af viðkjömmingu við margna samverkamenn á sviði jarðfræða,  
eins og jarðfræði og jarðbæðisfræði hafa verið kallaðar einu nafni og  
fram kemur í félagsheitinu Jarðfræðafélag Íslands. Bæði innan og  
utan þess félags hef ég fengið munulegar upplýsingar og átt viðræð-  
ur við menn, sem hafa reynst mér gagnlegar og hafa að einhverju  
leggi mótad afstöðu mína til mála.

Áð því er snertir íslenskt rit um jarðfræði, er sérstök ástæða til  
að geta hins gítalega rits, Jarðfræði — saga bergs og lands eftir dr.  
Poreif Einarsson jarðfræðing, en það kom út 1968, hefur náð miklu  
tillí útbreiðslu og valið áhuga á jarðfræði. Við Poreifur fjöllum um  
talsvert ómiki efni og af mánamandi sjónarhóli, og því vona ég, að  
það verði dómur lesenda, að þessi rit bæti fremur hvort annað upp  
en að öðru hvoru sé ofalkið.

Þegar skrifa skal á íslensku um alþjóðleg fræði, eins og þessi,  
stendur höfundur frammi fyrir þeim vanda, hve langt skuli ganga í  
notkun eða smíði nýjra og hvernig skuli stofsetja þau alþjóðlegu  
heiti, sem elski kemur til greina að þjóða. Algengt er að sleppa *c* með  
s-hljóði úr síkum orðum og nota *s* í staðinn. Við umhugsun um þetta  
varð mér þó ljóst, að þetta geti verið óhæpulegt og þannig geti t. d.  
tapað fræðandi tilvísun í uppruna heitanna. Einnig getur slíkt um of  
háð framhaldslestri á erlendium málum. Ég hef því allhöfða haldið *c*-  
þar sem mér virstist það eiga við, og skoða það sem innlegg í um-  
ræður um það, hvaða leið sé hæpplægust í þessu efni.

Útgáfufélaginu þakka ég þá alið, sem það lagði í lesur handrits  
og prófarka, en það varð til margra endurbóta á fyrstu gerð hand-  
ritsins.

Transti Einarsson.

## INNGANGUR

### 1. Yfirlit yfir heildarstand jarðar.

Í sólinni og öðrum gleandi stjörnum, sem allar eru í loft-  
kenndu ástandi sökum hitans, eru tvö létustu frumefnin, vetni  
og helium, yfirgnæfandi að efnismagni. Þau mynda um 98,5%  
efnismagnsins, en öll hin frumefnin, yfir 90 talsins, svara sam-  
anlagt til aðeins um 1,5 hundraðshluta.

Efnasamsetning jarðar er ákaflega frábrugðin þessu. Vetni  
og helium eru hér hlutfallslega í mjög litlu magni, en í þeirra  
stað eru súrefni og sílicíum aðalafni, aðallega í sambandinu  
SiO<sub>2</sub> (kísilsýra) og auk þessa eru sambönd nokkurra málna  
og súrefnis veigamikil byggingarefni. Til bráðabirgðagöggvun-  
ar sýnir tafla 1 hundraðshluta helztu frumefna, sem jarð-  
skorpun er gerð úr, miðað við þunga (massa), en 1. mynd sýn-  
ir þverskurð af jörðinni.

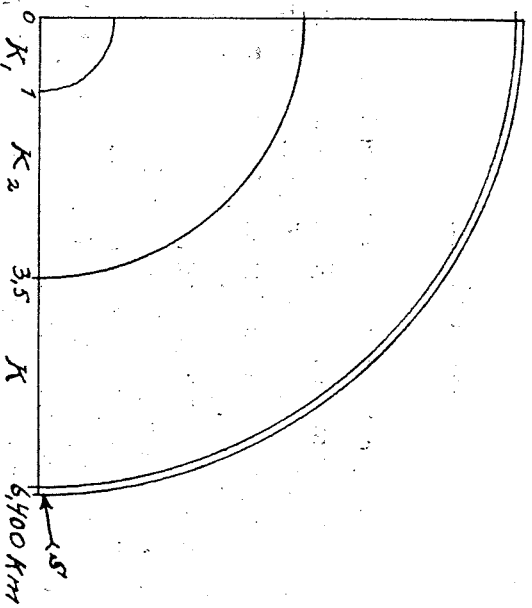
Tafla 1.

Súrefni .....	46,5 %	Kalcíum .....	3,6 %
Sílicíum .....	27,6—	Kalíum .....	2,6—
Al (alúmíníum)	8,1—	Natríum .....	2,8—
Járn .....	5,1—	Magnesium	2,1—
Samtals .....	98,4 %		

Eðlispungi jarðskorpunnar er nálægt 2,7 g/cm<sup>3</sup>, en í heild  
hefur jörðin meðaleðlispungann 5,52 g/cm<sup>3</sup> (efnismagn hennar  
má með öryggi ráða af göngu tunglsins, og deling með hinu  
þekhta rúmmáli gefur þá þessa tölu). Af þessu er augljóst, að  
jörðin er miklu þéttari hið innra en á yfirborði.

Efst undir skorpunni má telja eðlispungann um 3,3, en hann  
fer síðan vaxandi í *móttímann* upp í 5—6 á 2900 km dýpi, sem

eru mörk *kjarnans*. Þar verður snöggbreyting á eðlisþunga upp í nálæga 10 (hér og eftirleitis er einingu eðlisþungans sleppt, auk þess talið kunnugt, að eðlisþungi miðast við vatn sem einingu).



1. mynd. Everskurður af jörðinni.  $K_1$  innri kjarni, fastur.  $K_2$  fljófandi ytri kjarni.  $K$  kápan eða móttullinn; fastur, en ytri hlutar hans renna undan langvarandi átaki.  $S$  skorpan; 30–40 km þykk undir meginjörðum, 5–8 km undir djúpum úthöfum. Tölur sýna fjarlægð frá jörðmiðju.

Þessi eðlisþungaukning stafar að nokkru leyti af vaxandi þrýstingi, sem veldur samþjöppun efnanna, og því hefur jafnvel verið haldið fram, að hugsanlega kynni öll aukningin að vera af þeirri rót. Er þá bent á, að vetni öðlast málmeiginleika við nálæga  $\frac{1}{2}$  milljón loftþyngða þrýsting, en þeim þrýstingi er náð á 1300 km dýpi í jörðinni. Telja sumir þá ekki óhugsandi, að efni móttulsins geti á líkan hátt breytt við háan þrýsting og þá sér í lagi við mörk móttuls og kjarna. Þrýstingur er þar  $1,3 \cdot 10^6$  (milljón) loftþyngdir, en tæplega  $4 \cdot 10^6$  í jarðmiðju. Eftir þessari hugmynd væri kjarninn einskonar háþrýsti-form móttulefnisins, sem öðlast hefur málmeiginleika. Almennt er þó talið, að eðlisþungi í jörðinni vaxi ekki sízt vegna þess, að þung efni aukist með dýpinu, og kjarninn sé

aðallega gerður úr járn, en helzta aukaefnið sé nikkell. Nýlega hefur þess þó verið getið til, að brennisteinn sé helzta aukaefnið í ytri, fljófandi hluta kjarnans, en nikkell í hinum fasta innri kjarna.

Lögin milli kjarnans og skorpuinnar, móttulsins, fela semnilega í sér mun meira járn og magnesíum en skorpan, svo að í heild verður jörðin auðugri að járn og magnesíum en tafla 1 segir til um skorpuina.

Um skorpu jarðar er raunar varla hægt að tala sem heild, hún skipstist í tvær megingerðir: 1) meginlandaskorpu, sem víða er 30–35 km þykk, en þó harla þrytleg. Efri hluti þeirrar skorpu, svo sem 15 km að þykkt að meðaltali, er tiltölulega kísilsýrurík og oft kallaður *sial*, sem er stytting úr efnahettunum sílicíum og alúmíníum. Neðri hlutinn er talinn kísilsýrunnaðari og oft kallaður *basaltlagið*. 2) úthafsskorpu; hún er víða ekki öllu þykkari en 5 km, eftir því sem lengi hefur verið talið. Efst eru þar setlög, þá lausleg gosefni, að talið er, og loks er þétt lag, *óthafslagið* (oceanic layer). En alveg nýlega kom í ljós, að víða á Kyrrahafssvæðinu má greina enn dýpra skorpulag, um 3 km að þykkt að meðaltali (1).<sup>1)</sup>

Móttlinum má skippta í nokkur lög á þeim grundvelli, að hraði jarðskjálftabygna tekur breytingum við viss dýptarmörk. Fyrst er að geta um það bil 70–100 efstu kílómetrana og er eðlisþungi þar víða milli 3,3 og 3,6, metinn á grundvelli jarðskjálftahraðans. Næst tekur við *laghrvaðalagið*, v. þ. b. 100–150 km þykkt, og bylgjuhraðinn er þar greinilega lægri en ofar í móttli; einnig er lagið nokkru linara en ofar, þótt bæði lögin séu raunar krystallað fast berg. Nú tekur við *neðri móttull*, allt niður að skörpunum móttum við kjarnann, en lagskipting er þó ofan til, þannig að lagarnót eru á um 400, 600 og 900 km dýpi. En einnig hér er dýpið nokkuð ójafnt eftir svæðum eins og á efri laga-móttum. Álitnið er, að bæði málmar og brennisteinssambönd aukist niður eftir móttli, þar eð ekki sé auðvelt að skýra eðlisþungaukninguna í honum, eða nákvæmar sagt bylgjuhraðaaukninguna, með vaxandi samþjöppun einni saman.

Kjarninn skipstist í ytri og innri hluta og er sá ytri þunnfljófandi en hinn í föstu ástandi. Þessar upplýsingar eru einnig

1) Þýðir tilvitnun í heimild eða er bending um frekari lestur.

fengnar með rannsókn á jarðskjálftabylgjum, sem farið hafa í gegnum jörðina, eða endurkastast og brotnað við skörp lagamót. Að ytri kjarninn sé fljótandi, leiðir beint af því, að ein bylgjuegund (þverbylgjur), sem eðli sínu samkvæmt getur ekki farið í gegnum fljótandi efni, kemst ekki í gegnum kjarnann. Að innri kjarninn sé fastur, er torfengnari vitneskja, enda ekki mörg ár síðan hennar var aflað og hún talin örugg.

Hvað skylði ytri kjarninn vera þunnfljótandi, hver er seigja hans (viskositet)? Eftir nýjustu aðferð til að leysa þessa flökrnu gátu, eru dýpstu lög hans 3—18 sinnum þykkari en vatn við 20°C; þetta er hreinasta lap. Það sést best á því, að við 20°C er glycerin 850 sinnum þykkari vökví en vatn. Þessi lága seigja í ytri kjarnanum hefur auðveldlega í för með sér strauuma, sem snúningur jarðar hefur áhrif á, og sé efnid rafhladið, hafa þeir aftur í för með sér rafstrauuma og segulsvið. Það er nú talið alveg vafalaust, að segulsvið jarðar, sem stýrir áttavitanum, orsakist af strauumum í ytri kjarna. Segulsvið, sem þannig er til komið, hefur segulás, sem liggja ætti nærri snúningsás jarðar, en heiti segulskautanna, norður- eða suðurskaut sviðsins, ættu að geta skipst á, þ. e. sviðið ætti að geta umþólast. Sem stendur, og undanfarin mörg þúsund ár, hefur suðupóll sviðsins verið nærri norðurpól jarðar, en sviðið hefur verið missterkt, og það hefur snúist við fjölmörgum sinnum í sögu jarðarinnar. Þetta má lesa út úr segulmögnum bergs, og sýnileg berglög Íslands, sem tóku að myndast fyrir um 15—20 milljón árum, sýna okkur yfir 50 umþólanir jarðsegulsviðsins.

Aður var á það bent, að jörðin í heild yrði að teljast auðugri að járn og magnesíum en jarðskorpan. En við sérhverja tilraun til að ráða í meðalsamsetninguna verður einnig að hafa í huga samþjöppunina í hinum dýpri lögum. Hún er svo mikil, að í kjarnanum er eðlisþunginn yzt um 10, en járn hefur á yfirborði jarðar eðlisþungann 7,5. Í heild er áætlað, að meðaleðlisþungi jarðar mundi verða um 4 í stað 5,52, ef samþjöppunarinnar gætti ekki. Í þessu sambandi má benda á, að í miðju tunglsins svarar þrýstingurinn til um 150 km dýpis í jörðinni, og slukur þrýstingur hefur hverfandi litla samþjöppun efnanna í för með sér. Mældan meðaleðlisþunga tunglsins, 3,34, á því að bera saman við nálega 4, ef raunhæfan samanburð á að gera á meðaleðlisþunga beggja hnattanna.

Ekki er ýkjatalangt síðan völkvar voru taldir ósamþjappanlegir, enda höfðu allar tilraunir fyrri tíðar eðlisfræðinga til að þjappa þeim saman mistekizt. En það er til marks um heljarangreipar aðdráttarafisins djúpt í jörðu, að í þeim eru völkvar og hin hörðustu efni eins og mjúkur gúmbolti í mannshendi.

Jörðin er nú mjög heit hið innra, vart undir 3000°C í miðju, en allt að 6000°C eftir áætlunum sumra. Hittin felur hægt út á við, umz nálgast skorpuna, og er enn um 1000°C á svo sem 50 km dýpi, en fellur þaðan nokkuð jafnt og ört til yfirborðs. Með hiðsjón af háum aldri jarðar, um 4500 milljón ár, kemur ekki til greina að innri varminn sé eftirstöðvar frá fyrsta skeiði jarðar, hver svo sem uppruni hennar er, heldur hlýtur varminn að mjög verulegu leyti að koma frá geislavirkum efnum (úranjum, þóríum og kalíum) jafnharðan og hann leiðist út úr jörðinni. Eví má bæta hér við, að uppruni hrauna á talsverðu dýpi í jörðinni er flóknara mál en svo, að hægt sé að reifa það í inngangi.

## II. Uppruni jarðar og stjörnufræðilegur bakgrunnur.

Eftir þetta yfirrit um núverandi ástand jarðar og einkum það, hve frábrugðin hún er glóandi stjörnunum að efnasamsetningu, vaknar spurningin um orsakir þessa mikla munar. Við hljóttum að álta efnasamsetningu sólar og sólstjarna upprunalegri en samsetningu jarðar. Jörðin er væntanlega með einhverjum hætti afsprengi efnis, sem að minnsta kosti líktist sólnni, og auðvelt er að öðlast nokkra innsýn í það, hvernig slíkt hefur mátt verða. Vetni og helíum eru léttust allra frumefna, og í blöndu úr lofttegundum (öll frumefni eru loftkennd í sólnni) hafa eindir þessara tveggja lofttegunda (frum eind (atóm), sameind (mólekúl)) meiri meðalhraða en aðrar hiðstærðar efniseindir. Hitafæðilegt lög má segja, að í lofttegund fari fram sífellir áreksstrar frjálstra hraðfleygra einda og að hreyfirkann,  $\frac{1}{2} m v^2$  (hálf efnismagn (massi) sinnum hraðinn í öðru veldi), verði að meðaltali jöfn hjá sérhverri lofttegund í blöndu. Efnismagn vetnisameindar er sem næst  $\frac{1}{16}$  af efnismagnni súrefnisameindar, og hraði vetnisagnanna verður því að meðaltali um 4 sinnum meiri en hraði súrefnisagnanna. Af þeim sökum mundi vetni auðveldlegar losna undan aðdráttarafli hnattar en súr-

efnið. Slíkur flótti vetnis og heliums út frá litlum hnötti svipt-ir því að nokkru leyfi hulumi af því, hve lítið þessara megin-efna sólarinnar gæti á jörðinni. Við yfirborð sólar er aðdrátt-araflíð um 25 sinnum meira en á yfirborði jarðar, og því losnar hvorki helíum né vetni auðveldlega frá sólinni. Júpíter og aðrar hinna efnismiklu ytri reikistjarna hafa getað haldið í miklu meiri loftþjúp en jörðin, þar á meðal vetrissambönd eins og metan (CH<sub>4</sub>, mýragas) o. fl. Á Mars er aðdráttaraflíð 2/3 af því sem er á jörðinni og loftþrýstingur þar aðeins 1/100 af meðal-loftþrýstingi á jörðu. Tunglið og Merkúrjús hafa með öllu misst loftþjúpin. Allt bendir þetta til einhverskonar vinnslu eða þróunar jarðar úr loftkendu efni, sem að minnsta kosti hef-ur getað verið harla líkt sólarrefninu.

Verður nú leitast við annarsvegar að víkka sviðið út í efnis-geiminn og hinsvegar þrengja svið hinna hugsanlegu þróunar-rása, er leitt gátu til myndunar jarðar, tungls og annarra reiki-stjarna sólkærfisins, og er þó rúmsins vegna aðeins hægt að stíkla á stóru.

Eftir margra áratuga rannsóknir á litrófum sólstjarna og annars efnis í heimgelminum, hefur stjörnufræðin á síðustu árum komið að þeirri niðurstöðu (2a), að svo til allt efni í þeim hluta alheimsins, sem rannsóknir ná til, hafi mjög svip-aða efnasamsetningu og sólín. Í töflu 2 er sýnt hlutfallslegt magn þeirra frumefna (atóma), sem mest kveður að í þessu alheimsefni, en önnur efni eru í svo litlum mæli, að þau hafa samantlagt hverfandi lítil áhrif á heildarsvipinn. Sýnt er hlut-fallslegt magn efnanna eftir atómfjölda og eftir efnismagni.

Niðurstaðan verður sú, að atómfjöldahlutföll eru þessi: H: 86,1%, He: 13,8% og öll önnur efni samantlagt gera 0,14%. Sé miðað við efnismagnið (massann) verða hlutföllin þessi: H: 60,2%, He: 38,2% og öll önnur efni samantlagt 1,65%.

Aðrir höfundar (2b) gera þó meira úr vissri flokkun efnisins eða efnahlutfallanna og fari þau nokkuð eftir því, hvort um sé að ræða gamlar stjörnur (í kúluböpunum og verulegum hluta sveipþoka) eða miklu yngri stjörnur (í örmum sveipþokanna), en í þeim flokki er sólín. Hér verður þó ekki farið frekar inn á þennan efnismun.

Inni í stjörnunum er hitinn mjög háur, um 15 milljón gráður í miðju sólar, en meiri eða minni í stjörnunum, sem teljast til

Tafla 2.

Nr.	Tölken	Atómfjöldi	Massahlutföll
1	H	100	100,8
2	He	16	64,0
6	C	0,032	0,384
7	N	0,0085	0,119
8	O	0,060	0,96
10	Ne	0,05 (?)	1,01
11	Na	0,0002	0,0046
12	Mg	0,0030	0,085
13	Al	0,00016	0,0043
14	Si	0,0035	0,098
16	S	0,0016	0,051
20	Ca	0,00021	0,0084
26	Fe	0,00063	0,035

Tafla 3.

KOLFENISHRINGURINN

$$C_{6}^{12} + H_{1}^{1} \rightarrow N_{7}^{15} + E$$

$$N_{7}^{15} \rightarrow C_{6}^{13} + e^{+} + (e^{-})$$

$$C_{6}^{13} + H_{1}^{1} \rightarrow N_{7}^{14} + E$$

$$N_{7}^{14} + H_{1}^{1} \rightarrow O_{8}^{15} + E$$

$$O_{8}^{15} \rightarrow N_{7}^{15} + e^{+} + (e^{-})$$

$$N_{7}^{15} + H_{1}^{1} \rightarrow C_{6}^{12} + He_{2}^{4}$$

$$4 H_{1}^{1} \rightarrow He_{2}^{4} + E$$

annarra stjörnuflokkna en sólín. Við þennan háa hita fara fram kjarnabreytingar, þar á meðal samruni léttu kjarna í þyngri. Einkum er að geta framleiðslu á helíum úr vetni í hinum svo-nefnda kolefnishring, sem sýndur er í töflu 3.

Lokaniðurstæða breytinganna í einum slíkum hring eða umferð er sú, að 4 vetrissatón með samantöguðum atómpunga 4,032 hafa breytt í helíumatóm með þunga 4,000. Efnistapið hefur breytt í geislaorku, sem reikna má eftir þinni kunnu líkingu Einsteins,  $m \cdot c^2 = E$  (massi · ljóshraði í 2. veldi = orka). Það

er fyrst og fremst þessi orka, sem vegur upp á móti tapi sólar-orku við útgeislunina.

Þar sem þannig er ljóst, að inni í stjörnunum eru skilyrði til myndunar þyngrri frumefna úr létum, var það um tíma hald manna, að vetnið, ásamt nokkru af heljum, væri hið eiginlega upprunaefni í heiminum, en hin frumefnin hefðu orðið til inni í stjörnunum. Eftir þessari skoðun varð að búast við breytilegu hlutfallsmagni efnanna eftir stjörnuflökku, innri hita og aldri stjarnanna. En þar sem þessu er ekki þannig hátt- að í höfuðatriðum samkv. áðursögðu, er nú ályktað, að upphafsefnið, sem stjörnurnar hafa orðið til úr, hafi í aðalatriðum verið samsett af öllum frumefnum í nokkurn veginn sömu hlutföllum og nú gilda, þ.e. að lítið hafi munað um nýmyndun efna inni í stjörnunum. Sólstjörnur eru myndaðar með samdrætti dreifðs efnis og eru algerlega í loftkenndu ástandi vegna hita síns.

Nú er komið að spurningunni um myndun sólkerfisins, eða sólkerfa almenn, þar er þau eru sennilega æði-álgeng, enda þótt aðeins okkar eigið sólkerfi sé þekkt.

Aðalvandinn við ráðningu þessarar gátu, sem verið hefur ofarlega á baugi í meira en tvær aldir, hefur jafnan verið sá að skýra þá staðreynd, að efnismagn kerfisins liggur að hér um bil 99,9% í miðhnetinum, sólnni, en skriðbungavægið,  $m \cdot r \cdot v$  (þar sem  $m$  er massi agnar í sól eða minni plánetu,  $r$  geisli (á hringbraut) og  $v$  brautarhraðinn), liggur að 99% í reikistjörnunum. Aðgengilegast er að gera ráð fyrir, að sólin hafi, á kostnað eigin snúningshraða, gefið efni í kringum sig svo mikinn hlíðarhraða, að nægði til þess að það gæti haldist á brautum um sól. Þetta gat gerzt, ef efnið kringum sól var rafhlaðnar agnir, jafnframt því sem sólin hefði haft sterkt segulsvið. Viðburðarásin hefur getað verið sú, að sólin sjálf hafi á berneskuskeiði geislað frá sér miklu af hlöðnum ögnum, en slíkt gerist í minna mæli nú og birtist í hinum svokallaða sólvindi, sem síðar verður vikið að. Þannig gat ef til vill myndazt frumský, sem snerist um sól, kastkringulaga loftþjúpur, er margir hafa gert ráð fyrir sem frumstigi sólkerfisins.

Í þessari kenningu hefur þó gleymt mjög veigamikil atriði: Hvar var sólin þegar sólkerfið myndaðist fyrir um 4500 · 10<sup>6</sup> árum? Sólin er í einum armi venjulegrar sveipþoku, sem í þessu

tilviki er kölluð Vetrarbrautin eða vetrarbraut okkar. Sveipþokan snýst, en ekki sem fastur hluttur, heldur líkt og reikistjörnur í sólkerfinu: Umferðartíminn vex með fjarlægðinni frá miðju þokunnar (en hún er að langmestu leyti gerð úr einstökum, vel aðgreindum lýsandi stjörnum). Hér ríkjá í aðalatriðum lögmál Keplers varðandi hreyfingar innan sólkerfisins og sér í lagi segir 3. lögmál hans, að alstaðar í kerfinu sé  $T^2 = k \cdot a^3$ , þ.e. umferðartíminn í 2. veldi í beinu hlutfalli við „geislann“ í þriðja veldi, því  $k$  er föst stærð.

Fjarlægð sólar frá miðju sveipþokunnar er um 1% hlutar geislans (þvermál vetrarbrautar er um 100 000 ljósár), og í þessari fjarlægð er umferðartíminn um 200 milljón ár og að öllu óbreyttu hefði sólkerfið þá farið rúmlega 20 umferðir frá upphafi.

En nú sýnir gormlögun sveiparmanna, að hreyfingin er ekki einföld Keplers-hreyfing á loknuðum sporbaugum, heldur er efnið jafnframt að færast lengra og lengra frá miðju með hverri umferðinni. Sólkerfið hefur því óefað farið miklu fleiri en 20 umferðir í sveipþokunni meðan það var nær miðju en nú. Var sólin ef til vill inni við eða jafnvel inni í stjörnuskarra kjarnans þegar sólkerfið varð til? Tímans vegna gæti þetta látið nærri, þótt ekki sé hægt að kveða á um það fortakslaust. Nú eru armnar sveipþokanna myndaðir í fyrstu við það, að miklu efni er, af óþekktum ástæðum, spúið út frá kjarnanum í tvær gægnstæðar áttir. Þarna virðast hafa verið sérstök skilyrði fyrir tilveru loftkækkja, sem áttu eftir að dragast saman í stjörnur, svo og fyrir rafhlaðnar agnir. Hér hefði sólin sjálf ekki endilega þurft að spúa út rafhlöðnu efni til að sveifla kringum sig, heldur gat verið nóg af slíku efni í nágrenni hennar. Og með áþendingunni um stað sólar er sólkerfið myndaðist, falla til grunnna forsendur mjög margra fyrri kenninga.

Við horfumst nú á ný í augu við kringlulega frumský, sem umlykur sól og snýst um hana eftir lögmálum Keplers.

Í þessu skýi hlýtur hitt að hafa verið svo lágur, að flest efnanna þéttust og mynduðu dropa eða korn í föstu ástandi, en aðalefnið, vetni og heljum, og nokkur fleiri efni héldust í loftkenndu ástandi. Einn tegund loftsteina, chondrítar eða grjónasteinar, er talin sennileg leif slíkra frumkorna í skýinu.

Vegna hvirflamyndunar í lofiskýinu (innri hlutar fara hrað-



ar en þeir ytri) hefur það hlaupið saman í kekki undir áhrif- um aðdráttararfsins. Í upphafi hefur loftsins gætt mikið í þess- um kekkjum, en lofttegundir eins og vetni og heljum töpuðust brátt, einkum frá hinum efnisminni kekkjum eða hnoðrum, eins og fyrir var bent á. Gagnkvæm aðdráttaráhrif hnoðranna réðu því einnig, að reikistjórnurnar skipuðu sér á brautir eftir reglu (reglu Bodes).

Eftir þessu verður vart hjá því komizt að álykta, að jörðin hafi í upphafi verið að verulegum hluta gerð úr lofttegundum. Við samdrátt slíks loftnattar gat innri hiti hennar orðið svo hárt, að öll efnin urðu aftur loftkennð. En með tímanum tap- aðist vetni og heljum, innri hitinn féll, og þá tóku efnin aftur að þéttast og rigna niður. Kennur mjög vel til greina, að járn og nikkel hafi orðið fyrst til og þannig myndað kjarnann. Síðan hafi ýmis sambönd kislisýru þétt og myndað möttulinn. Síðast þéttist vatnið og myndaði síðinn. Eftir þessari mynd hafa öll aðallög jarðar í byrjun verið fljótfandi, en megnið af efninu síðar storknað.

Óvissan í þessari mynd felst einkum í því, að ekki er vitað, hve lofttegundir hafa verið mikill hluti hnattarins í upphafi. Sumir gera lítið úr loftinu, en þeim mun meira úr samsöfnun fastra grjóna. Jörðin hefði þá myndast sem fremur kaldur hnöttur, en síðan hinná af völdum geislavirkni. Skiping jarðar í járnkjarna og möttul hefði þá orðið að gerast í mjög seig- fljótfandi eða að verulegu leyti fastri jörð. Þessi mynd virðist ekki aðgengileg, en enginn endanlegur úrskurður skal felldur um það hér, hvor hinna tveggja útmarka skýringanna á frum- ástandi jarðar, sem hér voru nefndar, sé nær sann.

Þó skal þess getið, að smástirninn milli Mars og Júpfers gefa merkilega bendingu. Langflest eru þau óregluleg í lögun, að því er greint verður, enda talin brot eftir áreksstra fyrir hnatta á þessu svæði. En um 4 smástirnir er vitað, að þau eru algerlega hnattlaga, og eru þvermál þeirra frá 193 km upp í 770 km. Það jaðrar við vissu, að þetta sýni að þau eru mynduð í fljótf- andi ástandi, því að aðdráttaraflið á yfirborði þeirra er frá  $\frac{1}{1.5}$  til  $\frac{1}{4}$  af aðdráttarafliinu á yfirborði jarðar, ef eðlisþungi tunglanna er reiknaður 4, og er ólíklegt að brosttykki hefði öðlæzt hnattlögum í svo veikum aðdráttarsviði, sbr. og hin smá- stirnir. En sjálfstæð sköpun hinna hnattlaga smástirna, og fljótf-

andi ástand þeirra, útheimtir loftþjúp í upphafi. Fer það þá líka að jaðra við vissu, að jörðin var sköpuð með mikim loftþjúp og var um skeið þunnfljótfandi.

Myndun tveggja-hnatta kerfisins jörð-tungl skipir að sumu leyti máli fyrir jarðsöguna. Tvær aðalkenningar eru uppi um tilkomu þess: 1) tunglið klofnaði frá fljótfandi jörð er hún hafði mikinn snúningshraða; 2) tunglið kom sem aðvifandi hnöttur og jörðin batt hann við sig. Í báðum tilvikum hefði sköpun kerf- isins verið stórviðburður í sögu hvors hnattar og elzta tungl- berg hlýtur að vera yngri en sá viðburður. Nú er elzta sýni frá tunglinu úr rúmlega 4000 milljón ára gömlu bergi, og eins er þetta á jörðinni, og liggur sköpun kerfisins því svo nærri upphafi sjálfrar jarðarinnar, að kerfismyndunin er ekki skrjóð- ur atburður í elzta bergi, sem fundizt hefur á jörðinni, og er að því leyti utan við sögu jarðfræðinnar.

Hinsvegar færast tungl hægt og hægt fær jörð vegna áhrifa flóðbylgjunnar, og hefur því snemma í jarðsögunni verið miklu nær en nú. Flóðkraftarnir eru í öflugum hlutfalli við 3. veldi fjar- lægðar milli hnattanna, og snemma í jarðsögunni hafa áhrif þeirra á jörðina því verið miklu meiri en nú. Þess er því að vænta, að brot og umturnun jarðskorpunnar af völdum flóð- krafta hafi þá verið verulegur þáttur í jarðsögunni. Í öðru lagi má telja vafalaust, að á tímum elzta lífvera á jörðinni hafi bæði sólarhringurinn og mánuðurinn verið mun styttri en nú. Jafnvel í „aðeins“ 400–500 milljón ára gömlum sjávardyra- leifum virðist munurinn koma skýrt í ljós (3). Þá var sólar- hringurinn 21 klst. og mánuðurinn um 31 þáverandi dagar, en þessi niðurstaða er ráðin af fjölda vaxtarlaga í svo fornum skeljum.

Loks má geta þess, að 1937 var sett fram sú tilgáta (4), að aðdráttarstuðullinn G í hinni kunnu aðdráttarformúlu  $K = G \frac{Mm}{r^2}$ , væri breytileg stærð og hefði minnkað með tímanum allt frá upphafi heims, fyrir um 10000 milljónum ára. Öðrvísi orðað svarar þetta til þess, að aðdráttaraflið milli tiltekinnna hluta í óbreyttri innbyrðis afstöðu hafi minnkað með tímanum. Við upphaf jarðar hefði aðdráttaraflið átt að vera um 1,8 sinn- um meira en nú, og fyrir 500 milljón árum 5% meira en nú. Þessi hugmynd er enn á tilgátustigi. Hana er að vísu hægt að sannprófa á grundvalli vitneskju um lengd ársins, mánaðarins

og sólarhringsins fyrir um 500 milljónum ára, ef því má treysta, að aðeins flóðkraftar hafi áhrif á breytingu dags og mánaðar og að massi sé ekki einnig stærð sem breytist samfara G. Þá hefur breytingin á G orðið minni en 1% á þessum tíma. En þessu er ekki til fulls hægt að treysta. Tilgátan um breytingu aðdráttarafélisins stendur því enn sem fjarlægur möguleiki. Sé tilgátan rétt, verður að hafa hlífðsjón af henni við samnanburð á elztu og yngstu skeiðum jarðar, þ.e. kraftarnir, sem jarðfræðin fjallar um, voru þá ekki alveg hlínr sömu fyrir og síðar, en áhrifanna gættir tæplega við samnanburð verkandi krafta á síðari helmingi eða þriðjungi jarðsögunnar.

### III. Flokkun jarðfræðinnar og jarðeðlisfræðinnar í undirgreinir.

Samkvæmt áðursögðu má telja líklegt, að efnasamsetning kjarna og möttuls jarðar sé tiltölulega einföld. En í skorpunni, sem er aðalvettvangur jarðfræði og hagnýttar jarðeðlisfræði, ægir saman öllum frumefnum og efnasamsetningar eru ákaflega margþrotar. Margþreynin er ekki sízt af völdum silícíums, sem hér gegnir ekki ósvipuðu hlutverki og kolefnit í hinni margslungnu lífrænu efnaræði, enda eru þessi tvö frumefni náskyld.

Frumefni og einfaldar sameindir koma sjaldnast fyrir í skorpunni í hreinu ástandi, heldur er fyrst og fremst um að ræða margþrotin efnasambönd, þar sem kísilsýran ( $\text{SiO}_2$ ) er oftast aðalhluti hverrar efnaræðilegrar einingar, en sýringar (oxýd) af málnum koma til viðbótar í þessum einingum. Slík efnasambönd heita silíkköt. Bræðslumark silíkkata liggur í flestum tilvikum yfir  $1000^\circ\text{C}$  og því eru þau fyrst og fremst kunn í fóstu ástandi, eða með öðrum orðum, þess vegna höfum við fasta jöð til að standa á. Þótt silíkkötin séu yfirleitt í krystilluðu ástandi, getur myndlausu formið (hið amorf) komið fyrir sem undartekning og kallast það gler. Efn grein jarðfræðinnar verður þannig *krystallafræði* (krystallógrafa og mîneralógía), fræðin um eiginleika hugsanlegra krystalla annarsvegar og eiginleika og uppruna hinna ýmsu krystalla, sem koma fyrir í náttúrunni eða *bergtegnunáðinnar* eru yfirleitt gerðar úr.

Ef við athugum gagnsæja þynnun úr hrauni í smásjá, sjáum

við, að hún er samsett úr smáum krystillum, og við mundum komast að raun um, að þar er um 3 eða 4 tegundir silíkkata að ræða svo og oft korn úr krystilluðu seguljárni (magnetít). Hraunið nefnum við bergtegund. Hraun geta haft æði-mismunandi efnasamsetningu og um leið mismunandi krystallásamsetningu og gerð, eins og grófelka o. fl.

Bergtegundum má skipta í 3 aðalflokkka: 1) Gosberg eða storkuberg, þ. e. storknuð hraunleðja (hraunkvoða, kvíka, magna), sem streynt hefur í þykkflötandi ástandi af jafnvel tugklómetra dýpi upp á yfirborð (hraun, aska og gosmöl), eða upp í efri hluta skorpunnar (innskot, sem geta haft margvísleg form). 2) Setberg (sediment). Gosberg eða eldra harðnað setberg leysist sundur við veðrun, frostsprengingar, árgroft o. fl. og er flutt með vatni eða vindi eða stundum jöklium í meira eða minna fingerðu ástandi til svæða, þar sem það sezt fyrir, pressast ef til vill og harðnar og verður að nýrri bergtegund. Við veðrunina, einkum í heitara loftslagi en hér á landi, er bergið jafnframt brotið þannig niður, að krystallar eyðast og nýjar krystallategundir myndast í staðinn, leirkrystallar. 3) Myndbreytt berg (metamorf berg). Þar er um að ræða gosberg eða setberg, sem orðið hefur fyrir mikilli upphitun, einkum er það hefur grafit djúpt undir öðrum lögum og hitnað verulega og pressast. Við slíkar aðstæður verða oftast til ný efnasambönd, nýjar krystallategundir og þá um leið nýjar bergtegundir. Elztu bergtegundir jarðarinnar eru myndbreytt setberg og gosberg og þær, sem eldri eru en um 1000 My, eru yfirleitt krystallaðar. (Hin alþjóðlega stytting My fyrir milljón ár verður víða notuð eftirléiðis). Hvergi hafa fundizt leifar upphaflegrar storkunnarskorpu jarðar, og ekki eldra berg en 3500 til 4000 My. *Bergfræðin* er ein af aðalgreinum jarðfræðinnar. Hún lýsir gerð hinna ýmsu bergtegunda, flokkar þær (petrógrafa) og skýrir hvernig þær eru til orðnar á lögmálsbundinn hátt (bergmyndunarfræði, petrólógía).

Auk krystallagerðar og efnasamsetningar bergs hafa eiginleikar eins og harka, styrkleiki, vatnsleiðni o. fl. margháttæða þýðingu, bæði hagnýta og fræðilega.

Við tilfærslu setfnis með vatni, vindum o. fl., og með stöðnun þessa flutta efnis á hafsbötni eða í vötnum og dældum á landi, svo og með tilkomu hrauna eða sundurlausra gosefna,

verður til lagskipting, sem svo einkennir nýtt berg við hörðnum laganna. *Berglagafraeðin* (stratigrafía) fjallar um aðgreiningu slíkra laga, flokkun þeirra og myndun, rekur útbreiðslu þeirra og kortleggur, raðar þeim í aldursröð út frá þeirri grundvallarreglu, sem venjulegast á við, að efra lag er yngra en það neðra. Undantekningarnar frá þessari reglu (innskotsög, kollsteyping) eru yfirleitt auðþekktar. Frekari aldursgreining fer svo fram á grundvelli steingervinga, þar eð jurta- og dýrategundir einkenna tímabilin í sögu jarðar síðustu 500–600 milljón árin. Sumar tegundir hafa lifað stutt en jafnframt náð mikilli útbreiðslu, og eru þær sérstaklega heppleg leiðsúra, enda hlotið nafn eftir því (leiðiform, Leiðfossil, index fossil o. fl.). *Steingervingafraeðin* (paleontólógía) er mjög umfangsmikil sérgrein, en liggur að langmestu leyti utan við ramma þessa rits. Á síðari áratugum hafa jarðlög mikilð verið aldursgreind á grundvelli geislavirkni, eins og lýst verður í sérkaflla.

Jarðfraeðin fjallar um þau öfl sem valda breytingum á skorpunni og yfirborðsformi jarðar. Hér má tala um innri og ytri öfl (endogen og exogen öfl). Innri öflin hreyfa jarðskorpuna, umturna stærri og minni hlutum hennar (tektoník). Landsvæði lyftast eða síga, og hefur það einnig í för með sér afstöðubreytingar láðs og lagar. Sprungur opnast eða spildur misganga eða snarast, og jarðskjálftar eða stundum eldsambrot fylgja í kjölfarið. Ytri öflin eru fólgin í veðrun, jökul- og árgrefti, uppblæstri og öðru *rofi* (erosion, denudation) og svo flutningi hinna losnuðu efna frá einum stað til annars. Þannig mófast landslagið bæði af innri og ytri öflum, *landmótunarfraeði* (morfólógía).

Þessi öfl eru flest afar seinvirk á mælistíku mannsævinnar. En þau hafa tímann fyrir sér og á milljónum og tugmilljónum ára eru þau afar mikilvirk, afná himinháa fjallgarða og hafagert slíkt líklega 50–100 sinnum í hinni löngu sögu jarðar. Að sumu leyti snerta þessi öfl ekki viðburði eða aðgerðir manna á líðandi stund, enda hafa fjöllin verið tákn hins óumbreytanlega. En sum þessara afla hafa þó mjög áberandi og afdrifaríkar afleiðingar á líðandi stund, svo sem jarðskjálftar, eldgos, uppblástur, áframburður og stundum árgroftur, sandburður með ströndum fram og landeyðing af sjávarrofi. En óbeint hafa öll hin virku öfl grundvallarþýðingu frá hagnýtu sjónarmiði. Efni eins og málmur og olía og mörg önnur nauðsynleg efni eru því

aðeins vinnanleg, að virku öflin hafa safnað þeim saman hægt og hægt á vissum stöðum á ýmsum tímum jarðsögunnar. Framleiðsla sements og postulíns byggist til dæmis á því, að hin réttu efni hafa botnfallið í sjó eða orðið eftir við veðrun í svo ríku um mæli og hreinu ástandi, að þau mynda vinnsluhæf lög, námur, og þannig mætti lengi telja.

Til könnunar á berggrunninum, bæði frá hagnýtu og freðilegu sjónarmiði, hafa á síðari áratugum þróazt aðferðir, sem teljast til jarðeðlisfraeði. Má þar nefna þyngdarmælingar, segulmælingar, rafviðnámsmælingar og mælingar á útbreiðsluhraða þeirra jarðþylgna, sem framkallaðar eru með sprengingum (sprengi-seisnik). Slíkar mælingar segja fyrst og fremst til um ýmsa eðlisfræðilega eiginleika undirgrunnisins, en það getur gefið meira eða minna ákveðnar bendingar varðandi jarðölgin. Bæði jarðfræðilegar og jarðeðlisfræðilegar kannanir þykja nú orðið sjálfsgætur undanfari hinna mjög kostnaðarsömu borana, sem annaðhvort eiga að vera til enn frekari könnunar eða loka-stigið til vinnslu á jarðolíu, jarðgasi, brennisteini, eða, sér í lagi hér á landi, jarðvarma.