

Uniformitarismi — geotieteiden aatteellinen helmi vai vaarallinen doktriini?

ATTE KORHOLA

Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto



Korhola, Atte (1989). Uniformitarismi — geotieteiden aatteellinen helmi vai vaarallinen doktriini? (Uniformitarianism — the intellectual gem of geosciences or a dangerous doctrine?). Terra 101: 1, pp. 2–18, English summary.

Uniformitarianism, usually reduced to the maxim »the present is the key to the past«, is widely recognized as one of the basic principles of the geosciences. Since Hutton and Lyell established the concept, it has been the subject of many discussions, both for and against. In recent years its validity has been totally questioned by many scientists.

This paper attempts to show that, within classical uniformitarianism, only the methodological principle which asserts temporal continuity of the properties of matter and energy, seems to have relevance as an ideological basis for modern scientific investigations. All other specific assertions of uniformitarianism, stating something about the kind of conditions or processes which existed on earth, are refuted by modern geological and geomorphological data. There are three examples, in which the principle of uniformity is, in the author's opinion, applied too self-evidently to solve complex scientific issues: (1) a rectilinear comparison of modern and ancient glaciers and the forms caused by them in many glaciological and geomorphological studies, (2) in palaeoecological research, an assumption of unchanged ecological criteria of a species, and (3) the supposition that the rate of sedimentation is constant between a few fixed dating points in various stratigraphical investigations.

Atte Korhola, Department of Geography, University of Helsinki, Hallituskatu 11, SF-00100 Helsinki, Finland.

Kun J Harlen Bretz esitti vuosisatamme alussa suuriin tulvakatastrofeihin perustuvan selityksensä Columbiajoen platoolla sijaitsevan »Uomaisen Arpimaan« synnystä (ks. esim. Eronen 1984), kohtasi hän ankaraa kritiikkiä lähes kaikkien tuonaikaisten johtavien geologien taholta. Merkillepantavaa kritiikissä oli se, ettei se juurikaan perustunut empiirisiin havaintoihin, vaan oli luonteeltaan selkeästi apriorista: myöhemmin suurta arvostusta saavuttanut tulvateoria ei yksinkertaisesti mahtunut uniformitaristisen ajatusmallin raameihin. Kesti noin 40 vuotta ennen kuin tiedeyhteisö oli valmis hyväksymään Bretzin näkemykset (ks. Baker 1978; Gould 1978).

Esimerkki antaa hyvän kuvan siitä asemasta, mikä uniformitaristisella ajatustavalla on geotieteissä. Uniformitarismi, jolla kansanomaisesti ymmärretään käsitystä, jonka mukaan nykyään ilmenevät prosessit ovat muokanneet maanpintaa myös menneisyydessä (uniformitarismin määritelmistä ks. Hubbert 1967: 4), on epäilemättä eräs keskeisimpiä periaatteita, joiden varaan

luonnonhistoriallinen tutkimustraditio on viimeisen lähes kahden vuosisadan aikana rakentunut niin geologiassa, luonnonmaantieteessä kuin eräissä biologian lohkoissa.

Uniformitarismilla voidaan katsoa olleen jo pitkään suhteellisen kanonisoitu ja institutionaalisoitu asema geotieteissä. Ajatusmallia on kutsuttu mm. »mahdollisesti suurimmaksi yksittäiseksi anniksi, jonka geologia on suonut tieteelliselle ajattelulle« (Longwell & Flint 1955: 385), »geologisen uskon keskeisimmäksi opinkappaleeksi« (Davidson 1964: 176) tai »geologian perusprinsiipiksi« (Challinor 1968: 331, Beiser & Krauskopf 1975: 194). Dunbarin (1960: 18) mukaan uniformitarismi on saavuttanut »maailmanlaajan hyväksynnän älykkäiden ja tiedostavien ihmisten joukossa«.

Ikään kuin älykkyysosamääriään uhmaten jotkut tutkijat ovat viime vuosien aikana kuitenkin rohjenneet arvostella uniformitarismin aatetta pitäen sitä mm. »vaarallisena doktriinina« (Krynine 1956), »liian epämääräisenä periaatteena«

(Hubbert 1967: 32), »anakronistisena» (Gould 1965: 227) tai »hedelmättömänä ja hämmentävänä oletuksena» (Shea 1982: 459). Ager (1981: 46) puhuu jopa tutkijoiden aivopesusta uniformitarismin aatteellista monopoliasemaa tarkastellessaan.

Osa jyrkän antagonistisista mielipiteistä joutuu epäilemättä puhtaasti semanttisista syistä: uniformitarismin konseptuaalinen sisältö ei merkitse kaikille tutkijoille samaa. Samalla on kuitenkin ilmeistä, että kysymyksessä on voimakas kritiikki eräänlaisena lakina tai itsestäänselvyytenä pidettyä näkemystä vastaan, jolta lähemmin tarkasteltuna näyttää pohja putoavan pois. Uniformitarismin kritiikkiin liittyy myös erilaisten katastrofiteorioiden uusi henkiinelvyttäminen (ks. esim. Dury 1980 ja siinä siteerattu kirjallisuus; tähän liittyy myös Catastrophist Geology-lehden perustaminen vuonna 1976).

Meillä Suomessa, jossa filosofista keskustelua tunnutaan geotieteissä jostakin syystä vältettävän, uniformitarismi on saanut elää sakraalisessa rauhassa. Tämä siitä huolimatta, että ajatusmallia sovelletaan — tiedostaen tai tiedostamatta — lähes päivittäin monenlaisissa menneisyyteen suuntautuvissa tutkimuksissa. Tämän artikkelin tarkoituksena on pohtia kriittisesti uniformitarismin sisältöä, tarkastella sen syntyyn liittyviä tekijöitä sekä osoittaa joitakin tutkimuksen alueita, joissa periaatetta on kirjoittajan mielestä sovellettu liian itsestäänselvyytenä.

Klassinen uniformitarismi

Uniformitarismin synty liitetään yleensä vuoteen 1788, jolloin James Huttonin (1726—1797) kirjan »Theory of the Earth» ensimmäinen painos sai syntynsä. Mutta kuten Shea (1982: 456) osoittaa, uniformitaristista ajattelutapaa tavattiin ainakin fragmentarisena jo kauan ennen Huttonia. Aatteen airueiksi Shea (1982: 456) nimeää mm. Herodotoksen (484?—425 eKr), Leonardo da Vincin (1452—1519 jKr) ja Nicolaus Stenon (1638—1686 jKr). 27 vuotta ennen Huttonin kirjan ilmestymistä saksalainen luonnontutkija Georges Fuchsel kirjoitti seuraavasti: »Tapa, jolla luonto nykyään toimii ja tuottaa asioita, täytyy olettaa kaiken selityksen pohjaksi, emme tunne mitään muutakaan» (Fuchsel 1761: 82, Dunbar & Rodgersin 1957: 290 siteeraamana). Huttonin teoria oli moniulotteinen ja hyvin vastakkainen vallitseville näkemyksille. Kuten Simpson (1970: 46) huomauttaa, uniformitaristinen aspekti muodosti vain osan, eikä aikanaan kovin merkittävänkään, Huttonin laajasta teorias-

ta. Teorian päähuomio oli geologisessa syklissä, joka käsitti etupäässä lämmön seurauksena tapahtuvan maankuoren liikkeen ylöspäin ja tämän vastavoimana maanpinnan tasoittumisen erityisesti jokien aiheuttaman eroosion toimesta. Jälkimmäinen oli Huttonin mukaan luonteeltaan gradualistista, minkä vuoksi juuri Huttonin »denudaatiomalli» assosioitui luontevasti uniformitarismin kehikkeen.

Huttonia voidaan pitää providentialistina, sillä hän uskoi vahvasti sallimuksen ylläpitämään järjestykseen luomakunnassa: jokaisella eroosiosyklin vaiheella on oma tarkoituksensa ja päämääränsä. Kaiken takana on ensimmäinen liikuttaja, alkusyy, jonka Hutton aikalaistensa tavoin paikansi kaikkeuden Luojaan. Huttonin ajattelussa ilmeni siten sekä selkeä teleologinen että finalistinen tendenssi. Aikansa muista luonnontutkijoista hän poikkesi kuitenkin siinä, että hän piti geologisten tapahtumien tarkoitusten ja lopullisten syiden pohtimista luonnontutkimuksen kannalta irrelevanttina. Hutton hylkäsi eksplisiittisesti yliluonnolliset selitysmallit ja avasi näin oven naturalistiselle luonnontieteelle. Eräs hänen naturalistiseen näkemykseensä kuuluva piirre oli käsitys ns. dynaamisesta syklisestä kehityksestä (steady-state -malli, Simpson 1970: 66), joka luonnehti koko universumia. Kuten Hutton itse asian ilmaisee: »Nykyisen tietämyksemme lopputulos on, ettemme löydä mitään merkkejä alusta emmekä mitään näkymää lopusta» (Hutton 1788: 304).

Huttonin gradualistis-naturalistinen selitysmalli toimi tienaukaisijana systemaattiselle uniformitaristiselle näkemykselle, joka puhkesi kukkaan Charles Lyellin (1797—1875, kuva 1) merkittävässä teoksessa »Principles of Geology» (1830—1833). Kirjan ensimmäisen painoksen alaotsikko oli lyelliläisen uniformitarismin ohjelmajulistus: »Yritys selittää maan pinnalla menneisyydessä tapahtuneet muutokset nykyisin vallitsevien syiden valossa.» (»Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface by Reference to Causes Now in Operation»).

Kirjansa alaotsikossa ilmaisemaansa näkemystä Lyell kutsui yksinkertaisesti »luonnon yhdenmukaisuudeksi» (uniformity of nature) tai »syiden yhdenmukaisuudeksi» (uniformity of causes). Kirjansa myöhemmissä painoksissa hän pyrki tarkemmin määrittelemään, mitä yhdenmukaisuudella tulisi ymmärtää kuvaten sitä mm. »opiksi, jonka mukaan luonteeltaan ja voimakkuudeltaan nykyisen kaltaiset syyt (causes) ovat vastanneet myös menneisyydessä tapahtuneista muutoksista maan pinnalla» (1875, Vol I: 88). Kirjeessään geologiystävälleen (K.M. Lyell 1881,



Kuva 1. Sir Charles Lyell (1797—1875) esitti uniformitarismin periaatteen ensimmäisenä systemaattisessa muodossa. Muotokuvapiirros vuodelta 1836. (lähde: Wilson 1972).

Fig. 1. Sir Charles Lyell (1797—1875) represented uniformitarian principle first time in a systematic way. Portrait drawing from the year 1836. (source: Wilson 1972).

Vol I: 234) Lyell pingottaa uniformitarisminsa äärimmilleen: »*Minkäänlaisia* muita syitä (causes) nykyisten lisäksi ei ole *koskaan* ollut voimassa» (kursivointi kirjoittajan).

Vaikka Lyellin äärimmäisen uniformitarismin terä on suunnattu epäilemättä tuona aikana luonnontieteissäkin suhteellisen yleisesti esiintyviä yliluonnollisia selitysmalleja vastaan (Simpson 1970: 49), toistuu käsitys nykyisten geologisten ilmiöiden luonteen ja voimakkuuden temporaalisesta invarianssista siksi usein hänen kirjoituk-

sissaan, että sitä on aihetta pitää hänen ajatusmallinsa eräänä oleellisena osana (ks. esim. Bailey 1962: 202—205; Wilson 1967: 52; Flint & Skinner 1977: 84): Avoimeksi jää kuitenkin se, mitä Lyell varsinaisesti tarkoittaa nykyisenkaltaisilla »syillä» (causes)?

Lyell itse erottaa pääteoksessaan »Principles of Geology» kahdenlaisia »syitä». Tavalla tai toisella veden kanssa tekemisissä olevia ilmiöitä Lyell kutsuu »vesiperäisiksi syiksi» (aqueous causes). Maan uumenista syntyviä ilmiöitä, joihin Lyell lukee mm. tulivuoritoiminnan ja maanjäritykset, hän nimittää »tuliperäisiksi syiksi» (igneous causes). Näyttää ilmeiseltä, että Lyell käyttää termiä 'syy' (cause) modernin käsitteen 'prosessi' vastineena (Austin 1979: 31). Lyellin uniformitarismin pääväättämä voitaisiinkin tiivistää ajatukseen, jonka mukaan maan pinnalla menneisyydessä tapahtuneet muutokset voidaan selittää nykyisin havaittavien *prosessien* avulla.

Geologisten prosessien jatkuvuus edellyttää loogisesti, että erilaiset aineen ja energian luontaiset ominaisuudet, joiden tuloksena prosessit syntyvät, ovat myös pysyneet muuttumattomina ajan funktiona. Tämä päättely johti Lyellin ristiriitaan yleisen mielipiteen kanssa, joka piti luonnonlakeja (mitä tahansa niillä ymmärrettiinkin!) sidoksissa yliluonnollisiin voimiin ja sen vuoksi labiileina (yleisellä mielipiteellä ei tarkoiteta välttämättä katastrofiteorioiden kannattajia, joista monet uskoivat luonnonlakien pysyvyyteen!). Lyell näki luonnossa vain yhden katkaisemattoman fyysisten tapahtumien perättäisyyden, jota nykyään ilmenevät luonnonlait ovat pitäneet jatkuvasti yllä (1830: 144).

Vielä kaipaava selvennystä Lyellin esittämä näkemys siitä, että geologiset ilmiöt (= prosessit) ovat olleet ej ainoastaan luonteeltaan vaan myös energialtaan (voimakkuudeltaan) samankaltaisia läpi geologisen historian. Lyellin elinaikana oli yleisesti vallalla käsitys, jonka mukaan luonnonvoimat ovat taannoin, maapallon nuoruusvaiheessa, temmeltäneet huomattavasti nykyoloja tehokkaammin, minkä jälkeen niiden intensiteetti on radikaalisti laskenut (Hooykaas 1970: 316). Tästä Lyell ei katsonut löytyvän todisteita, vaan näki ajatuksessa myyttisiä sävyjä. Lyellin mukaan senhetkiset havainnot vahvistivat geologisten prosessien olevan paikallisista fluktuaatioista huolimatta globaalisesti yhtäläisiä. Lyell omaksui Huttonilta käsityksen syklisestä kehityksestä, jossa materia ja energia sekä niiden vaikutuksesta syntyvät konfiguraatiot ovat jatkuvassa kiertokulussa ilman alkua ja loppua (Simpson 1970: 67—68). Geologisten prosessien uniformisuuden ja syklisen aikakäsityksen siitokses-

ta Lyellille syntyi näkemys geologisten olosuhteiden ja ympäristöjen temporaalisesta stabiliteetista, joka Rudwickin (1970: 24) mukaan on Lyellin tuotannon keskeisintä sisältöä.

Klassisen uniformitarismin aatteellinen syntymiljö

Yleisen käsityksen mukaan geotieteissä vallitsi esitieteellinen, spekulatiivinen katastrofismi aina siihen asti, kunnes todellinen tieteellinen ajattelutapa Huttinen ja Lyellin välityksellä sen syrjäytti. 1800-luvulle asti geotieteissä vallitsi pimeys, kunnes valo alkoi loistaa. Tapana on puhua myös erityisestä uniformitarismin triumfista, voittoasatosta (esim. Wilson 1967: 35; Haines-Young & Petch 1986: 100—103).

Syytä on kuitenkin korostaa, ettei uniformitarismi noussut aatejalustalle mitenkään katastrofistisesti. Uniformitarismi ja katastrofismi elivät pitkään rinnakkaiselossa, joka ei tosin ollut kovinkaan rauhanomainen. Hooykaas on monissa kirjoituksissaan (esim. 1959, 1970) pyrkinyt osoittamaan, ettei katastrofismin ja uniformitarismin välisessä mittelyssä ollut kyse kahden eriarvoisen ajattelutavan välisestä kiistasta, vaan tieteelliseltä kompetenssiltaan yhtäläisten katsontakantojen taistosta. Uniformitarismi ei jäänyt eloon ainoastaan tieteellisesti vahvempana, kyseessä oli voitto myös propagandasodassa (Canon 1976: 109).

On totta, että katastrofismi sisälsi nykyisen tieteellisen ajattelutavalle kyseenalaisia ja myyttisiä aineksia. Esimerkiksi vielä 1800-luvulle asti esitettiin yleisesti maanpinnan muotojen olevan peräisin Raamatun kuvaaman vedenpaisumuksen jäljiltä. Myös ns. luonnonteologien käsitykset maapallon iästä elivät pitkään sisäänrakennettuina katastrofistiseen ajattelutapaan. Tunnetuin ikälaskelmista lienee englantilaisen piispan James Ussherin (1581—1656) arvio, jonka mukaan maapallon luominen olisi tapahtunut vuonna 4004 eKr. Anekdoottina voisi mainita, että oppi-isä Luther päätteli luomisen tapahtuneen keväällä, enintään 6000 vuotta sitten. Pisimmälle meni kuitenkin Cambridgen piispa Lightfoot, joka esitti maapallon luomisen tapahtuneen lokaan lopulla vuonna 4004 eKr ja Aatamin luomisen saman kuukauden 23. päivänä kello yhdeksän aamulla (Young 1982: 24).

Syyllystymme kuitenkin karkeaan historian vääristämiseen, mikäli rajoitumme pitämään katastrofiteorioiden kannattajia em. kaltaisten ajatusten propagandisteina. Täysin riippumatta siitä teoreettisesta viitekehityksestä, jonka mukaan

katastrofistien ajattelu oli orientoitunut, heidän metodejaan voidaan pitää legitimeinä (Hooykaas 1970: 311). Itse asiassa monet katastrofistit tekivät päätelmiään täysin aktualismin hengessä, ts. nykyisenkaltaisten (aktualististen) syiden katsottiin olevan riittäviä selittämään menneisyyden tapahtumia (Hooykaas 1970: 285—291; Austin 1979: 33). Erona uniformitaristeihin katastrofistit käsittivät nykyiset luonnontapahtumat menneiden kanssa analogisiksi, ei identtisiksi. Siksi geologisen historian aikana prosessit ovat voineet olla intensiteetiltään ja energialtaan täysin eri suuruusluokkaa kuin nykyään.

Taipumus yliluonnollisiin selitysmalleihin ja metafysiisiin spekulatioihin ovat tyypillisiä assosiaatioita 1700- ja 1800-lukujen katastrofisteista puhuttaessa. Erityisesti tämä koskee uskonnollisten ennako-oletusten käyttöä tieteellisenä ohjenuorana. Tavallisesti uskonnon vaikutus ulottui kuitenkin vain yleisten periaatteiden tasolle (puhuttiin esim. luonnon »tarkoituksesta» ym.), ja suoria deduktioita esim. Raamatusta vältettiin. Lyellin opponenteista Déodat de Dolomieu (1750—1801) ja Count Gregor Razumovsky (1759—1837) lukeutuivat maailmankatsomukseltaan lähinnä aikansa »filosofeihin», ja G. Cuvier (1769—1832) oli varsin liberaali protestantti (Hooykaas 1970: 308). Jopa puhdasoppinen anglikaanikirkonmies Adam Sedgwick, joka oli eräs kiivassanaisimpia Lyellin opin vastustajia, hyväksyi täysin Francis Baconin ajatuksen, ettei tieteellistä totuutta tule etsiä Raamatusta (Sedgwick 1831: 314).

Metafysiisiä selitysmalleja on helppo niin halutessaan löytää myös uniformitaristien leiristä. Jo Huttonin »Theory of the Earth» sisälsi paljon outoa ja myyttistä ainesta (Hooykaas 1966: 55—66), eikä Lyellikään ollut niistä täysin vapaa (Porter 1976: 92). Erityisesti Huttonin alullesaatama ja Lyellin jalostama oppi maapallon tapahtumien syklisestä kiertokulusta synnytti lähes uskonnollista liikehdintää uniformitaristien riveissä. Esimerkiksi G.H. Toulmin satoi uniformitarismin tiukasti yhteen luonnon ikuisuusopin kanssa, ja saksalainen geologi Otto Volger (1822—1897) rakensi käsityksensä maapallon luonteesta ja historiasta juuri syklisen aikakäsityksen pohjalle. Kirjassaan »Erde und Ewigkeit» (1857) Volger esittää, että se mikä on nyt on ollut aina ja tulee aina olemaan: ei ole koskaan ollut aikaa ilman orgaanista luontoa, eikä milloinkaan ole kehittynyt minkäänlaisia uusia lajeja kasvi- tai eläinmaailmaan (Volger 1857: 555—559).

Myöhemmin, kun termodynaamiset mallit osoittivat rajoittamattoman ajan mahdolliseksi

ja kun prekambriksen kerrostumien myötä tieto maapallon varhaisista olosuhteista lisääntyi, hämärtyi myös raja katastrofismiin ja uniformitarismin välillä (Hubbert 1967: 17—26). Kuva katastrofisteista ylikuonnollisiin selityksiin taipuvaisina todellisen »tieteen» vastustajina on kuitenkin jäänyt sitkeästi elämään geotieteiden historiaan. Tätä kuvaa ei olennaisesti ole auttanut muuttamaan Velikovskin ja kreationismin kaltaiset ilmiöt, jotka päinvastoin toimivat maini-
oina lyömäaseina kaikenlaista katastrofeja korostavaa ajattelutapaa vastaan.

Uniformitarismin asema tänään

Siirtyessämme pohtimaan uniformitarismin sisältöä ja merkitystä tänään joudumme jättämään väliin sen keskustelun, jota teemasta käytiin 1800-luvun puolivälistä 1900-luvun alkuun. Toimme vain, että termi 'uniformitarismi' alkoi saada osin uusia tulkintoja, ja joidenkin ajattelijoiden kohdalla voidaan puhua jopa käsitteen sisällöllisestä metamorfoosista: toisaalta uniformitarismiin sisällytettiin sellaisia piirteitä, joita sillä ei alkuperäisesti ollut (ks. esim. Shea 1982) ja toisaalta taas jotkut Lyellin väittämistä unohdettiin ja uniformitarismi muuttui astetta lievemmäksi. W.M. Davis (1895: 8) puhui uniformitarismin »elastisesta ymmärtämisestä» ja Chamberlin (1899: 980) »rajoitetusta uniformitarismista».

Ajatusmallia on tällä vuosisadalla ymmärretty ainakin kolmella eri tavalla. Ensiksikin on joukko tutkijoita, joiden mukaan lyelliläinen uniformitarismi on edelleenkin alkuperäisessä muodossaan validi konsepti, eikä tutkimus ole viimeisen parin vuosisadan aikana tuonut esiin mitään sellaista, joka olisi ratkaisevasti ristiriidassa tämän lähtökohdan kanssa. Tällaista näkemystä näyttävät edustavan mm. Hawkes (1957), Chalinor (1968), Wilson (1973) ja Small (1978). Hawkesin (1957: 309) mukaan »lyelliläinen uniformitarismi on sovellettavissa koko maapallon geologisen historian ajalle».

Toiseksi jotkut tutkijat (esim. Hooykaas 1956, 1970; Rudwick 1970; Dott 1974) käyttävät käsitettä 'uniformitarismi' historiallisessa merkityksessä kuvaamaan niitä teemoja, joista käytiin kiihkeintä väittelyä 1800-luvulla. Käytännössä uniformitarismilla tarkoitetaan silloin erityisesti Lyellin spesifejä näkemyksiä prosessien ja olosuhteiden luonteesta. Dott & Batten (1971: 47) käyttävät tässä yhteydessä myös termiä »jyrkkä uniformitarismi» (strict uniformitarianism).

Kolmas tapa ymmärtää uniformitarismi on sisällyttää käsitteeseen vain niitä osia alkuperäises-

tä teoriasta, jotka ovat tieteellisen keskustelun aikana jääneet hedelmällisinä jäljelle nykyaikaista geohistoriallista tutkimusta silmälläpitäen. Tämä näkemys on selvästi laajimmalle levinnyt ja sen edustajista mainittakoon mm. Barghoorn (1964), Nairn (1965), Spencer (1972) ja Holmes (1978). Epäspesifisyydessään näkemys on samalla myös ongelmallinen. Koska se jättää pois tärkeän osan uniformitarismin alkuperäisestä sisällöstä, on tällaista näkemystä alettu kutsua mm. »miedoksi uniformitarismiksi» (Parks 1925: 435) tai »Cuvier/Lyell-synteesiksi» (von Bülow 1960: 173). Myös termi »neokatastrofismi» (Schinewolf 1962) liittyy tähän yhteyteen.

Kaiken kaikkiaan uniformitarismin periaate näyttää muuttuneen tällä vuosisadalla selvästi abstraktimpaan suuntaan. Tätä kuvaa hyvin tendenssi redusoida uniformitarismi yleiseksi maksimiksi »nykyisyys on menneisyyden avain», joka on usein otettu tutkimuksen viitekehyydeksi ikään kuin annettuna ja itsestäänselvästä filosofisena lähtökohdasta. Lause »nykyisyys on menneisyyden avain» on kuitenkin sitä lähemmin tarkasteltaessa vähintäänkin yhtä monimerkityksinen kuin itse termi 'uniformitarismi' (vrt. Gould 1965: 225—226). Herää välittömästi kysymys, missä määrin ja kuinka suoraviivaisesti nykyisyys on avain menneisyyteen? Jos nykyisen ja menneen suhde täytyy määritellä erikseen jokaisen tutkimuksen kohdalla, eikä tällöin yleiseksi lähtökohdaksi tarkoitettu periaate ole menettänyt teränsä ja muuttunut triviaaliksi tautologiaksi?

Uniformitarismin nykyistä asemaa ja merkitystä pohdittaessa näyttääkin järkevimmältä abstrahoida klassisen uniformitarismin teorias-
ta esiin erillisiä väittämiä ja pohtia kunkin väittämän relevanssia erikseen nykytietämystä vasten. Kuten aiemmin esitetystä lyhyestä historiikista on käynyt ilmi, sisälsi lyelliläinen uniformitarismi monia erillisiä väittämiä ja olettamuksia, jotka koskivat luonnossa vallitsevien lakien ja maankamaraa muokkaavien voimien luonnetta. Gould (1965) jakaa Lyellin uniformitarismin kahteen erilliseen osaan: *metodologiseen uniformitarismiin*, joka käsittää Lyellin luonnonlakeja koskevat väittämät ja *substanttiiviseen uniformitarismiin* (substantive uniformitarianism), joka pitää sisällään Lyellin spesifit väittämät prosessien ja niiden synnyttämien konfiguraatioiden ajallisesta luonteesta.

Austin (1979) vie Lyellin teorian sisällöllisen erittelyn vielä pitemmälle ja erottaa tämän ajattelussa neljä osateoriaa, jotka hän nimeää seuraavasti: *metodologinen uniformitarismi* on Lyellin periaate, joka edellyttää materian ja energian luontaisten ominaisuuksien ajallista pysyvyyttä

luonnonlakien kuvaamalla tavalla (vrt. Gould 1965); *kausaalinen uniformitarismi* (causal uniformitarianism) on Lyellin väittämä, jonka mukaan nykyisen kaltaiset geologiset prosessit ovat vallinneet myös menneisyydessä; *aktionaalinen uniformitarismi* (actional u.) on Lyellin käsitys geologisten prosessien suuruusluokan ja nopeuden muuttumattomuudesta; *konfiguraationaalinen uniformitarismi* (configurational u.) on Lyellin näkemys geologisten olosuhteiden temporaalisesta yhdenmukaisuudesta.

Mainitut neljä osateoriaa näyttävät muodostavan hierarkkisen järjestelmän, jossa edellinen on aina jälkimmäisen edellytys. Pysyvin on käsitys aineen ja energian, ts. luonnonlakien, muuttumattomuudesta ajan suhteen. Kausaalinen uniformitarismi ei ainoastaan oleta aineen fysio-kemiallisten ominaisuuksien pysyvyyttä, vaan lisäksi sen, että aineen ja energian vuorovaikutuksesta on maapallolle syntynyt tiettyjä fyysisiä ilmiöitä, jotka voidaan luokitella geologisiksi prosesseiksi. Aktionaalinen uniformitarismi edellyttää tunnistettujen prosessien intensiteetin ja etenemisnopeuden vakioluonnetta. Konfiguraationaalinen uniformitarismi lisää vielä ominaisuuksien, prosessien ja prosessien intensiteetin muuttumattomuuteen väittämän geologisten ympäristöjen ja olosuhteiden ajallisesta samankaltaisuudesta. Viimeksi mainittu on teorioista selvästi spesifisin.

Seuraavassa tarkastellaan kutakin neljää väittämää erikseen. Huomautettakoon kuitenkin vielä varmuuden vuoksi, että Lyell puhuu vain yleisesti uniformitarismista: erilaiset sisäiset jaottelet ovat perua myöhemmiltä kommentaattoreilta.

Metodologinen uniformitarismi: Oletus, että aineen ja energian ominaisuudet ovat pysyneet muuttumattomina ajassa taaksepäin mentäessä, on ilmeisesti a priori välttämätön edellytys menestyksekkäälle geohistorialliselle tutkimukselle. Jos olettaisimme, että jokin yliluonnollinen voima tms. olisi muutellut luonnonlakeja haluamallaan tavalla, olisimme päättelyssämme näiden voimien armoilla, ja meillä olisi syytä muuttaa puolet yliopistoistamme rukoushuoneiksi. Samaa hengenvetoon on kuitenkin todettava, ettei meillä ole mitään keinoa lopullisesti ja aukottomasti verifioida olettamustamme luonnonlakien pysyvyydestä. Vai voisimmeko kenties kuvitella rankaisevamme kylmää ilmaa, jos se ei suostuisikaan laskeutumaan maaston alavimpiin kohtiin tai kohdistaa sanktioita jokeen, joka ei pyöristäkään kuljettamaansa materiaalia?

Puhuessamme luonnonlaeista meidän tulee huomata, että kyseessä on vain yrityksemme tehdä universaaleja johtopäätöksiä siitä kuinka

luonto käyttäytyy. Kuten Kemeny (1959: 38) huomauttaa, »luonnonlaki ei ole enempää eikä vähempää kuin huolellinen huomiomme siitä mitä ympärillämme tapahtuu» (ks. myös Goodman 1967: 96—99). Puhe erityisistä laeista, jotka hallitsevat luontoa, on ymmärrettävä puhtaaksi metaforaksi. Emme näin ollen voi vaatia luonnotta, että sen olisi menneisyydessä pitänyt käyttäytyä määrättyllä tavalla. Ilmeisesti järkevää ja tieteellisen kehityksen kannalta mielekäästä on kuitenkin olettaa — ainakin kunnes toisin osoitetaan — että nykyään havaitsemamme luonnon systemaattinen käyttäytyminen tietyllä tavalla on ollut sille luonteenomaista läpi historian. Tässä voimme soveltaa esim. Occamin partaveitsen periaatetta (vaikka sen terä onkin suunnattu muualle), jonka mukaan oletettavien entiteettien lukumäärä on hyvä säilyttää mahdollisimman vähäisenä.

Käsitys luonnonlakien spatiaalisesta ja temporallisesta invarianssista ei ole geotieteiden yksityisomaisuutta, vaan se muodostaa perustan kaikille empiirisille tieteille. Geotieteissä ongelma oli erityisen ajankohtainen uniformitarismin synnyn aikoina, jolloin maapalloa saatettiin vielä yleisesti pitää yliluonnollisten voimien temmelyskenttänä (esim. Buckland 1837). Hooykaas (1959, 1970) ja Rucwick (1967, 1971) varoittavat kuitenkin yleistästä tätä käsitystä kaikkiin katastrofisteihin tai edes suurimpaan osaan heistä. Jotkut Lyellin vastaväittäjistä olivat erityisen kiihkeitä luonnonlakien pysyvyyden puolesta puhujia (esim. Adam Sedgwick 1831: 304). Lyell ruoski siten osittain jo kuollutta hevosta. Nykyään, kun immanenttinen naturalistinen näkemys dominoi tieteellistä ajattelua, ei em. kaltaisia konflikteja useinkaan enää esiinny.

Metodologisen uniformitarismin tarpeellisuudesta erityisenä geotieteiden opinkappaleena on esitetty eriäviä mielipiteitä. Gould (1965) ja Goodman (1967) pitävät yleisen filosofisen prinssiin, ts. oletuksen luonnonlakien pysyvyydestä, nimeämistä erityisesti geotieteisiin soveltuvaksi uniformitarismiksi puhtaana tautologiana. Heidän mukaansa metodologinen uniformitarismi on käytännössä sama kuin yleinen tieteenfilosofinen induktion periaate, ja mikäli geotieteet määritellään induktiivisiksi tieteiksi, sisältyy metodologinen uniformitarismi jo intrinsisesti lauseeseen »geotieteet ovat tiedettä». Se ei siten toisi lisää mitään, mikä ei jo sisältyisi tieteen määrittelyyn. Tämän vuoksi metodologinen uniformitarismi (tai uniformitarismi ylipäänsä tässä merkityksessä) on käsitteenä tarpeeton. Tähän johtopäätökseen tulevat myös Ager (1963: 34), Austin (1979: 37) ja Shea (1982: 456).

Simpson (1970: 58—60, 63—66) puolestaan kritisoi ajatusta tyypistä metodologinen uniformitarismi pelkäksi induktion periaatteeksi, ja esittää näin julistavien ymmärtäneen induktion periaatteen väärin. Simpsonin mukaan vasta tiettyjen fysikaalisten ja biologisten lainalaisuuksien olettaminen tekee induktion mahdolliseksi, joten edellinen on selvästikin jälkimmäisen perusta. Usko induktioon nousee partikulaaristen ilmiöiden välille oletetun uniformisuuden pohjalta. Todellisuutta on mielekästä havainnoida ja yleistyksiä kerättyjen faktojen pohjalta on järkevä tehdä vasta silloin, kun tutkijalla on riittävä usko joihinkin lainomaisiin säännönmukaisuuksiin, jotka vaikuttavat yhtäläisesti tutkittavina olevissa ilmiöissä. Tässä merkityksessä uniformitarismia tarvitaan Simpsonin mukaan yhä.

Oman lisänsä tähän keskusteluun tuo luonnollisestikin itse induktioon liittyvät kysymykset. Ensinnäkin kun induktiota sovelletaan historialliseen tutkimukseen, mitä geo- ja biohistoria faktisesti ovat, kohdataan tiettyjä rajoituksia. Tällöin joudutaan suorittamaan ekstrapolointia havaittavan ja havaitsemattoman välillä. Tämä ei ole ongelmatonta ja erityisen vaikeaa se on tapauksissa, joissa menneellä ilmiöllä ei ole vastinparia nykyisyydessä (esim. sukupuuttoon kuolleet lajit). Induktion voidaankin katsoa soveltuvan paremmin tulevaisuuden ennustamiseen (Reichenbach 1948).

Toiseksi voidaan ottaa esille induktion perustelun ongelma. Aistihavaintomme antavat meille tietoa vain yksittäisistä tosiseikoista. Yleiset totuudet saavutetaan yleistyksen, induktion, tietä. Mutta kuten jo edellä kävi ilmi, yleistyksen tekeminen edellyttää uskoa yksittäisiä ilmiöitä yhdistäviin lainalaisuuksiin. Nämä lainalaisuudet olemme tulleet tuntemaan havainnoinnin kautta, eli olemme käyttäneet niiden löytämisessä jo induktiota. Toisin sanoen olemme oppineet tuntemaan luonnonlait induktion välityksellä, ja koroittaneet ne tämän jälkeen totuuksien asemaan. Induktion perusteleminen näyttää siis tapahtuvan induktion avulla. Tämä ns. Humen ongelma on klassinen esimerkki kehäpäätelystä.

Metodologisen uniformitarismin redusoiminen pelkäksi induktion periaatteeksi ei nähdäkseni tee oikeutta kyseiselle periaateelle — ainakaan se ei tee asiasta yhtään ongelmattomampaa. Vaikka metodologinen uniformitarismi sivuaakin läheltä »Occamin partaveitsessä» ilmaistua säästäväisyyden periaatetta ja yleistävän induktion periaatetta, olisi ehkä sittenkin suotavaa, että ajatuksen sisältö edelleen säilyisi erillisen käsitteen muodossa geotieteissä. Tätä puoltaa geohistoriallisen tutkimuksen oma erityisluonne ja spesifit ongel-

mat (Simpson 1970: 58—60, 63—66). Samalla muistaisimme myös oman tieteenalamme teoria-sidonnaisuuden: tutkimuksellamme on aina jokin perustavaa laatua oleva teoreettinen viitekehys, jota emme voi lopullisesti todistaa oikeaksi. »Arviomme geologisen todistusaineiston todellisesta arvosta on suoraan verrannollinen siihen luottamukseen, mikä meillä on luonnonlakien pysyvyydestä», kirjoitti Charles Lyell vuonna 1830 (vol. I: 165). Kutsuimmepa tätä vakuumusta 'metodologiseksi uniformitarismiksi' (Gould 1965) tai 'aktualismiksi' (Hooykaas 1956), ei ole merkittävää. Tärkeämpää on ymmärtää vakaumuksen olennainen sisältö ja sen tutkimusta ohjaava luonne.

Kausaalinen uniformitarismi: Tämä uniformitarismin kuuluva periaate esittää, että nykyisiä geologisia (ja geomorfologisia) prosesseja ja niiden jättämiä jälkiä (muotoja) tulee käyttää menneisyydessä tapahtuneiden prosessien ja niiden synnyttämien muotojen tulkinnassa. Vielä nykyäänkin periaate esiintyy kaikkein jyrkimmässä muodossa, jonka mukaan *vain* nykyään ilmenevät prosessit ovat vaikuttaneet menneisyydessä (esim. Gilluly et al. 1959: 24; Challinor 1968: 332; Small 1978: 14; Tarbuck & Lutgens 1982: 175).

Radikaalimmassa muodossaan periaate on sekä epistemologisesti että empiirisesti vaikeasti perusteltavissa. Ensinnäkin siihen sisältyy implisiittisesti oletus, että tiedossamme olisivat kaikki luonnossa vaikuttavat geologiset ja geomorfologiset prosessit, jolloin väite ei enää koskekaan itse luonnossa tavattavia prosesseja ja niiden luonnetta, vaan tietoaamme niistä. Geotieteiden historia kuitenkin osoittaa, että erilaisia prosesseja löytyy tieteen edistyessä jatkuvasti lisää. Esimerkiksi monet 1900-luvun alun geologit tulkitsivat muinaiset meteoriittikraaterit oikullisiksi vulkaanisiksi muodostumiksi, koska suurten meteoriittien liike- ja vaikutusprosessit olivat vielä huonosti tunnettuja. Cuvier ja Lyell vastustivat Darwinin evoluutioteoriaa, koska he eivät tunneneet riittävästi luonnonvalinnan mekanismeja (Simpson 1970: 53—55). Lord Kelvin esitti maapallon jäähtymiseen kuluneen korkeintaan 100 miljoonaa vuotta, sillä hän ei tuntenut tuolloin vielä radioaktiivisesta hajoamisprosessista syntyvää termistä energiaa (Hubbert 1967: 18—22). Vastaavia esimerkkejä on historia täynnä, ja syytä on olettaa, että tietomme yhä tänäänkin on hyvin fragmentaarista.

Kausaalinen uniformitarismi on jyrkässä muodossaan myös empiirisesti kestämaton. Sen mukaan nykyään olisi havaittavissa täydellinen spektri erilaisia maapallon pintaa muokkaavia

prosesseja (Challinor 1968) ja jokaiselle historiasa ilmenneelle prosessille olisi näin olemassa vastinpari nykyajassa. Geohistoriallinen evidenssi ei kuitenkaan tue tätä oletusta. Esimerkkeinä voidaan mainita suuret meteoriitti-iskut maapallon geologisen historian aikana sekä epätavalliset prekambriset sedimenttikivet, joiden on täytynyt syntyä nykyään tuntemattomien prosessien vaikutuksesta (Austin 1979: 38). Kausaalinen uniformitarismi voidaan kyseenalaistaa myös teoreettisin perustein: miksi nykyisyyden ylipäänsä tulisi olla ainoa standardi menneisyyden tulkinalle? Jos sattuisimme elämään jäätiköitä vailla olevana interglasiaaliaikana, niin kuinka selittäisimme moreenien synnyn?

Jyrkimmässä muodossaan kausaalista uniformitarismia ei siis voida riittävän hyvin perustella. Tämä on aiheuttanut sen, että periaatetta on ollut pakko muuttaa lievemmäksi siten, että *suurimmalla osalla* tai *joillakin* menneisyydessä vaikuttaneilla prosesseilla katsotaan olevan jatkumonsa nykyajassa (Longwell 1965; Stokes & Judson 1968). Nykyisyys ei ole ainoa avain, vaan yksi suuressa avainnippussa, josta valitaan sopivin menneisyyden lukkoja avaamaan.

Lievennyksessä asussaan kausaalinen uniformitarismi on kuitenkin vaarassa muuttua triviaaliksi, sillä mihin enää tarvitaan yleistä periaatetta, jonka validiteetti on kuitenkin erikseen päätettävä jokaisen tutkimuksen kohdalla. Selvää on myös, ettei nykyisyyttä voida pitää kategorisesti edes tärkeimpänä tulkinta-avaimena menneisyyteen (Garner 1974: 440—441, 512—515). Esimerkiksi merenpohjien liikkuminen havaittiin ensin historiallisesta aineistosta (sedimenteistä) ja mitattiin vasta tämän jälkeen nykyajassa.

Eräs vaihtoehto onkin laajentaa kausaalisen uniformitarismin periaatetta suuntaan, jossa yksisuuntaisen nykyisyys/menneisyys-akselin lisäksi päätelyyn otetaan mukaan myös analogioita erilaisista teoreettisista ja matemaattisista malleista sekä yleisiä deduktioita tieteellisten lakien pohjalta. Tällaisia moniaineiksien päätelyn muotoja ovat korostaneet esim. Shantser (1970), Valentine (1973) ja Mosley & Zimpfer (1978). Alkuperäisen uniformitaristisen prinssiin kanssa ei tällä kuitenkaan enää ole paljoa yhtäläisyyttä. Cannon (1976: 112) huomauttaakin, että mm. William Buckland, joka oli Lyellin eräs ankarimpia vastustajia, olisi itse asiassa ollut tällaisen miedonnetun uniformitarismin »radikaaleimpia advokaatteja» (ks. myös Rudwick 1971: 222).

Jyrkimmässä muodossaan kausaalinen uniformitarismi on sekä epistemologisesti että empiirisesti vaikeasti perusteltavissa. Laimennettussa asussaan se taas on vaarassa muuttua käyttökelpo-

vottomaksi. Koska emme voi rajoittaa tai määrätä luonnon käyttäytymistä, ja koska tieteellisen päättelyn periaatteet (esim. analogia-, induktio- ja deduktiopäätely) ovat yleisessä käytössä kaikissa empiirisissä tieteissä, on kausaalisen uniformitarismin erityistarvetta geotieteiden omassa aatekentässä vaikea oikeuttaa (Shea 1983: 107). Periaate ikään kuin liukenee osaksi yleistä tieteen metodologiaa (Hubbert 1967).

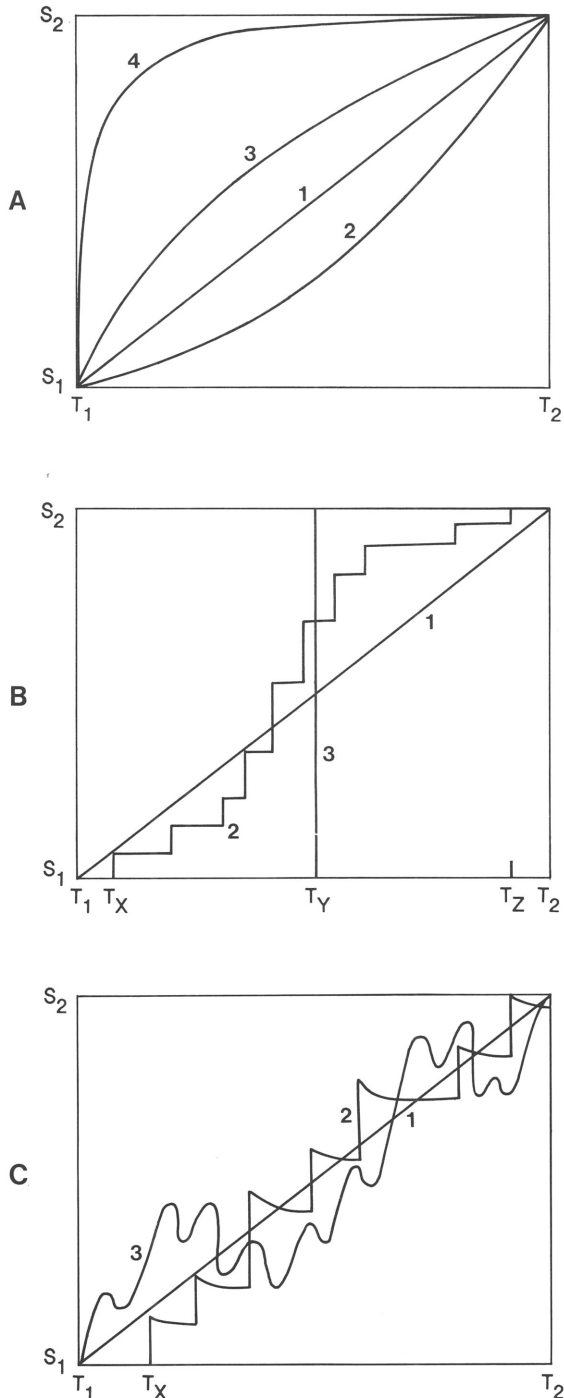
Aktionaalinen uniformitarismi: Tämä klassiseen uniformitarismiin sisältyvä periaate olettaa, että maapallolla vaikuttavat geologiset ja geomorfologiset prosessit ovat toimineet samalla nopeudella ja intensiteetillä läpi geologisen historian. Oletusta on käytetty hyväksi mm. määriteltäessä rapautumisen, eroosion ja sedimentaation tehokkuutta ja voimakkuutta menneisyydessä. Opín sovelluksista geomorfologian alueella voidaan mainita esim. W.M. Davisin (1899) eroosioyklioppi sekä Hackin (1960) teoria dynaamisesta geomorfologisesta tasapainosta. Mainittujen teorioiden eräänä perustana voidaan yleistäen pitää käsitystä luonnonmaiseman hitaasta ja tasaisesta muuttumisesta (esim. Stoddart 1960: 696; Twidale 1976: 82).

Näkemyks geologisten prosessien nopeuden ja intensiteetin vakioisuudesta elää sitkeästi vielä tämänkin päivän tieteellisessä kirjoittelussa. Esimerkiksi Bates & Jacksonin (1980) geologian sanakirja pitää oppia olennaisena osana myös tämän päivän uniformitarismia (ks. myös Flint & Skinner 1977: 84; Hurlbut 1976: 46). Bailey (1962: 204) esittää käsityksen geologisten prosessien muuttumattomuudesta olevan nykyään maailmanlaajasti hyväksytty. Kommentit tuntuivat vaikeilta ymmärtää sen valossa, että juuri tämä uniformitarismin väittäminen on kohdannut kokonaisen vuoren erilaisia empiirisiä ja teoreettisia vasta-argumentteja.

Menneisyydessä tapahtuneiden prosessien nopeuden ja voimakkuuden arvioiminen nykyisyyden pohjalta on jo periaatteessa ongelmallista. On arvioitu (Austin 1979: 40), että ensimmäisten tieteellisten sedimenttitutkimusten jälkeisenä aikana (Herodotoksesta eteenpäin) on kerrostunut vain noin 0.002 % maapallolla esiintyvistä sedimenteistä. Meillä on välittömiä havaintoja vain tämän populaation käyttäytymisestä. Käytännössä on mahdotonta soveltaa tunteja, päiviä tai parhaissa tapauksissa vuosia käsittävistä havaintoaineistosta saatuja tietoja vuosituhansien ikäisiin tapahtumiin tekemättä perusteellisia oletuksia geomorfologisten prosessien käyttäytymisestä erityisesti aikaskaalaa vasten.

Olellaista helpotusta ei tule edes radiometristä ym. sofistikoituista ajoitusmenetelmistä, sil-

lä näiden avulla saamme selville vain tietyt ajalliset kiintopisteet (virherajoineen!), emme tapah-tumia ajoitusten välillä. On suuri riski tehdä olet-tuun tasaiseen muutosnopeuteen perustuvia in-terpolaatioita tai ryhtyä ekstrapoloimaan tieto-



ja aikavälille, joka on kestoltaan moninkertainen havaintoaikaan nähden (Gage 1970: 623). Lisäksi erilaiset prosessien käyttäytymistä koskevat ennakko-oletukset näyttävät monissa tapauksissa määrävän myös radiometristen ajoitusmenetelmien käyttöä, mistä kertoo esimerkiksi se, että jokseenkin puolet Koillis-Yhdysvalloissa tehdyistä ^{14}C -ajoituksista hylättiin ainakin vielä 1970-luvun lopulla »kuvioihin sopimattomina» (Ogden 1977: 172).

Gage (1970) on onnistuneesti pohtinut geomorfologisen muutoksen suhdetta aikaan. Muutos voi olla perusluonteeltaan joko jatkuva tai epä-jatkuva, mutta molempien perusvaihtoehtojen sisällä on runsaasti erilaisia variaatioita (kuva 2). Kuten Gage (1970: 622) oikein huomauttaa, edellyttävät kenttähavainnot vain aniharvoin juuri määrättyä vaihtoehtoa. Tärkeimmät ratkaisut tehdään intuition pohjalta. On olemassa jatkuvasti vaara että suljemme silmämme virheil-tä, jotka eivät niinkään synny numeerisen aineiston puutteellisuudesta, vaan niistä olettamuksista,

Kuva 2. Joitakin kuviteltavissa olevia malleja geomorfologisen prosessin etenemiselle tilasta S_1 tilaan S_2 aikavälillä t_1 ja t_2 (molemmat asteikot lineaarisia). A. Jatkuvan muutoksen malli: (1) muutosnopeus täysin vakio (kuvaaja edustaa keskiarvoista nopeutta aikavälillä t_1-t_2); (2) muutoksen nopeus kasvaa jatkuvasti; (3) muutoksen nopeus vähenee jatkuvasti; (4) muutoksen nopeus vähenee jatkuvasti hidastuen lähes olemattomaksi jossain historian vaiheessa. B. Epäjatkuvan, progressiivisen muutoksen malli: (1) keskiarvokäyrä; (2) portaattainen, hitaiden ja nopeiden jaksojen luonnehtima muutos ajankohdasta t_x ajankoh-taan t_z ; (3) yhtäkkinen muutostapahtuma. C. Epäjatkuvan tai jatkuvan, mutta ei välttämättä progressiivisen muutoksen malli: (1) keskiarvokäyrä; (2) muutos muodostuu etenevien ja taantuvien kehitysvaiheiden summasta; (3) muutos etenee jatkuvasti oskilloiden valitsevan suunnan ollessa progressiivinen. (lähde: Gage 1970, Fig. 1).

Fig. 2. Some conceivable patterns of geomorphic change between states S_1 and S_2 known to exist respectively at times t_1 and t_2 (both scales linear). A. Continuous change: (1) change rate constant (slope represents average rate between t_1 and t_2); (2) change rate increasing continuously; (3) change rate decreasing continuously; (4) change rate decreasing continuously but reduced to minimal rate some time in the past. B. Discontinuous, continually progressive change: (1) slope represents only average rate between t_1 and t_2 ; (2) progressive increments commencing at t_x , ceasing at t_z ; (3) instantaneous completion of change. C. Discontinuous or continuous change but not continually progressive: (1) average rate; (2) change is the sum of discontinuous gains and losses; continuous oscillatory but generally progressive change. (source: Gage 1970, Fig. 1).

joita meillä on geologisten ja geomorfologisten prosessien käyttäytymisestä (Gage 1970, ks. myös Tipperin (1988: 476—479) pohdiskelua samasta aiheesta).

Tässä yhteydessä on mahdotonta luetella kaikkia niitä yksityiskohtia, joissa aktionaalisen uniformitarismin periaate on osoittautunut virheelliseksi. Esimerkkeinä mainittakoon kuitenkin episodiset vulkaaniset purkaukset (Mogi 1968), muutokset merenpohjien liikenopeuksissa (Press & Siever 1982: 446), oseaanisissa sedimentaatioissa tapahtuvat globaalit fluktuatiot (Davies et al. 1977), joukkotuhojen mahdollinen sykliisyys (Raup & Sepkoski 1986), pleistoseenikauden jäätikön käyttäytyminen (Shea 1982: 457) ja geomorfologisten prosessien periodisuus (kuva 3). Pienemmässä mittakaavassa prosessien intensiteetin epävakaisuus näkyy esim. turpeen akkumulaationopeuksissa ilmenevinä eroina (Zurek 1976) tai gelifluktion intensiteetin vaihteluna (Washburn 1979: 204). Goodman (1967: 93—94) on torjunut periaatteen sisältämän väittämän fyisiikan pohjalta ja Gretener (1967) taas on käyt-

tänyt todennäköisyyslaskentaa osoittamaan, ettei katastrofeja voi kieltää edes teoriassa.

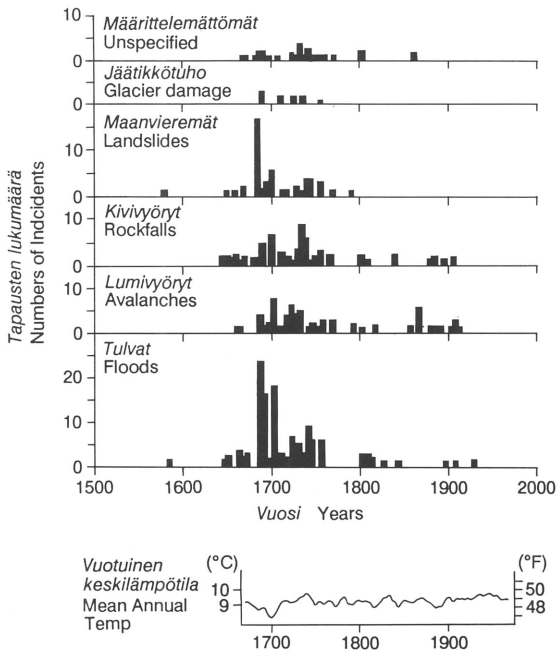
Suurin epäluottamuksen osoitus aktionaaliseksi uniformitarismiksi kutsumaamme näkemystä kohtaan tulee paleontologian taholta. Fossiilianeisto osoittaa, että eliöiden joukkotuhot ovat geologisen historian arkipäivää. Raup (1986: 1529) on arvioinut, että vajaata prosenttia luukuunottamatta kaikki maapallolla eläneet eliölajit ovat nyttemmin sukupuuttoon kuolleita.

Darwin katsoi sukupuuttoon kuolemiset evoluution kulkuun luonnostaan kuuluviksi ja piti niiden syitä etupäässä biologisina (kilpailu ym.). Nykyään kuitenkin ajatellaan (Allmon 1987 ja siinä siterattu kirjallisuus), että massatuhot olivat luonteeltaan destruktiivisia ja niiden yhteydessä on tapahtunut dramaattisia muutoksia koko biosfäärissä. Eliöiden kohdalla ei ollutkaan välttämättä kyse »vahvimman» (Darwin) vaan »onnekkaimman» (Hsü et al. 1982: 252) eloonjäämisestä. Geologinen historia on kriisien historiaa (Hsü 1986: 534).

Vielä kannattaa kiinnittää huomiota erääseen seikkaan. Tutkimustyön ekspansiivinen lisääntyminen ja tutkijoiden suuri liikkuminen on tehnyt mahdolliseksi nykyisten luonnonilmiöiden aiempaa seikkaperäisemmän rekisteröinnin ja tarkkaamisen. Sen myötä on tullut ilmeiseksi, että erilaiset katastrofit ja muut ekstreemit tapahtumat näyttävät keskeistä roolia luonnonmaailman kehityksessä (Brunsdon & Thornes 1979: 469—471; Dury 1980: 397—403). Niilläkin alueilla, jotka nykyään ovat ns. matalan energian alueita, katastrofit ovat saattaneet olla avainasemassa nykyisen maisemakuvan synnyssä (esim. viimeisimmän jäätiköitymisen vaikutukset oman maamme luonnonmaisemaan!).

Starkel (1976) on korostanut poikkeuksellisten sääolojen merkitystä reliefin kehityksessä, Schick (1974) ja Kloosterman (1976) ovat painottaneet suurten tulvien vaikutusta jokiuoman morfologiaan (ks. myös Gage 1970; Born & Ritter 1970; Beaty 1974; Womack & Schumm 1977) ja Thornes (1976: 283) äärimmäisten olosuhteiden osuutta maanvieremäprosesseissa. Oma lukunsa ovat lisäksi erilaiset »populäärit» luonnonmullistumat kuten maanjäristykset, tulivuoritoiminta, tsunamit, laharit, hirmumyrskyt ym., joiden tuloksena saattaa hyvin nopeassa ajassa syntyä erehdyttävästi vanhojen geomorfologisten muotojen kaltaisia jäänteitä (esim. Scheidegger 1975).

Oppi geologisten ja geomorfologisten prosessien tasaisesta etenemisnopeudesta näyttää kaatuvan sekä teoreettiseen että empiiriseen mahdottomuuteen. Jos ajatusmalli halutaan kuitenkin säilyttää jonkinlaisena geohistoriallisen tutki-



Kuva 3. Esimerkki ilmastotekijöiden ajallisten muutosten vaikutuksesta joihinkin geomorfologisiin ilmiöihin pienen jääkauden aikana Norjassa. (eri lähteistä Brunsdon & Thornesin (1970, Fig. 4) mukaan).

Fig. 3. An example of geomorphological unsteadiness caused by temporary shift in value of climatic parameters of the Little Ice Age in Norway. (from the different sources according to Brunsdon & Thornes (1979, Fig. 4)).

muksen teoreettisena lähtökohtana, joudutaan pakosta tilanteeseen, jossa alkuperäistä lyelliläistä mallia olisi lievennettävä siinä määrin, että koko opin käyttökelpoisuus ja kompetenssi tulee kyseenalaiseksi. Liian kategorisesti sovellettuina tällaiset ajatusmallit voivat olla lisäksi uusien innovaatioiden pahoja esteitä.

Konfigurationaalinen uniformitarismi: Tämä klassisen uniformitarismin teoria olettaa, että olosuhteet ja ympäristöt, jotka ovat vallinneet maapallon historian aikana, syntyvät yhä tänäänkin, ja että menneet ympäristöt voidaan näin ollen rekonstruoida nykyisten avulla. Ajatusmallia on sovellettu erityisesti ilmastohistorian, luonnonmaiseman kehityksen ja muinaisten sedimentaatioympäristöjen tulkinnassa (esim. Weller 1960: 27). Myös paleoekologinen tutkimus on hyödyntänyt erityisesti juuri tätä uniformitarismin spesifiä haaraa (Rymer 1978; Birks & Birks 1980: 7; Lowe & Walker 1984: 4).

Ainakin pitkällä aikavälillä tarkasteltuna geoja biohistoriallinen tutkimusaineisto viittaa vääjäämättömästi siihen, että ympäristöissä ja olosuhteissa on tapahtunut merkittäviä muutoksia läpi geologisen historian. Esimerkiksi prekambrikaudella (josta uniformitarismin synnyn aikana ei paljoakaan tiedetty) maapallon olosuhteet olivat pelkistävän ilmakehän vuoksi suuresti nykyisestä poikkeavia, ja raudan saostumista happipitoisuuden kasvaessa voidaan pitää hyvällä syyllä ainutkertaisena tapahtumana maapallon historiassa. Paleotsooisella ajalla kerrostumisjärjestöt olivat monien muutoksien alaisia (Bambach et al. 1980). Sedimentaatio ja eroosio muuttuivat suuresti kasvillisuuden peittäessä manneralueet devonikaudella. Myös merenpintojen vaihtelut, ilmaston muutokset ja maan magneettikenttään liittyvät muutokset kertovat omaa kieltään maapallon olosuhteiden ja ympäristöjen jatkuvasta labiiliisuudesta.

Viime vuosina tärkeäksi tutkimuskohteeksi ovat nousseet erilaiset kosmiset katastrofit, jotka ovat epäilemättä vaikuttaneet tuntuvasti maapallon biologisiin ja geofysikaalisiin olosuhteisiin (Clube & Napier 1982). On esitetty väitteitä (Alvarez & Muller 1984; Rampino & Stothers 1984), joiden mukaan maapallolle olisi osunut huomattavia määriä meteoriitti-iskuja, vieläpä säännöllisin väliajoin. Ehkä kuuluisin väitteistä koskee liitukauden ja tertiäärinajan rajalta löydettyjä merkkejä suuresta meteoriitti-iskusta, jonka tiliin on viety tältä ajankohdalta osoitetut laajat mariiniset ja terrestriiset ekstinktiot (Alvarez et al. 1980; Raup & Sepkoski 1982). Löytö on merkittävä, sillä todistusaineisto luonnonmullistumasta löytyy suoraan stratigrafiasta ns. ra-

jasaven muodossa. Oli tapahtumassa sitten kyse meteoriitti-iskusta tai äärimmäisen voimakkaasta vulkaanisesta aktiivisuudesta, löydöt stratigrafiassa viittaavat selvästi nykyään havaitsemattomaan dramaattiseen luonnonkatastrofiin.

Nykyisyyttä itseään voidaan myös monessa suhteessa pitää epätyypillisenä periodina maapallon historiassa. Aikaamme on kutsuttu mm. »lämpimimmäksi interglasiaalikaudeksi pleistoseenin aikana» (Austin 1979: 40). Ihmistoiminta on muuttanut nykyisiä olosuhteita ja ympäristöjä siksi radikaalisti (esim. Goudie 1981), että varovaisuutta nykyisen ja menneen rinnastamisessa tulisi syntyä jo pelkästään tästä syystä. Kaiken kaikkiaan käsitys ympäristöjen ja olosuhteiden vakaisuudesta tulee ilmeisesti Gagen (1970: 620) tavoin leimata »geologian vanhaksi hereksiaksi».

Joitakin esimerkkejä

Kuten aikaisemmin on todettu, uniformitarismin periaatetta käytetään joko tiedostaen tai tiedostamatta monenlaisen luonnonhistoriaan liittyvän tutkimuksen viitekehyyksinä. Seuraavassa otan esille joitakin periaatteellisia esimerkkejä sellaisista, lähinnä suomalaista lukijakuntaa kiinnostavaksi katsomistani tutkimuksen kohteista, joissa mielestäni uniformitarismia näytetään usein sovellettavan liian mekaanisesti ja itsestäänselvänä tutkimuksen lähtökohtana. Esimerkkien on tarkoitus olla vain virikkeitä lukijan omalle pohdiskelulle.

Glasiaalimuotojen tulkinta: Nykyisten jäätiköiden tutkimus ja sitä mukaa tieto niistä on edennyt pitkin harppauksin viime vuosien aikana. Suuri vaara piilee kuitenkin siinä, jos tietoa nykyisistä jäätiköistä ja niiden jättämistä jäljistä aletaan liian suoraviivaisesti soveltaa menneisyydessä esiintyneisiin jäätiköihin ja niiden jälkiin. On hyvä palauttaa mieleen, että suurin osa maassamme nykyään havaittavista glasiaalimuodoista syntyi viimeisimmän mannerjäätikön nopean perääntymisen, deglasiation, vaiheessa. Esimerkkejä jäätiköistä, joilla olisi edes lähellekään vastaavaa negatiivista tasetta kuin maattamme viimeksi peittäneellä jäätiköllä, ei nykyään yksinkertaisesti ole olemassa. Tämän vuoksi suorat ekstrapolaatiot nykyisiltä jäätiköiltä menneisiin ovat riskialttiita.

Negatiivisen taseen lisäksi ekstrapolaatioon liittyy myös muita ongelmia. Suurin osa nykyisistä jäätiköistä sijaitsee jokseenkin jyrkkäreliiefisillä seuduilla, kun taas muinaiset mannerjäätiköt ovat peittäneet hyvinkin tasaisia alueita. Lisäksi

nykyisillä jäätiköillä syntyy runsaasti moreeneja mutta vähän harjuja. Tällaisten tekijöiden tulisi synnyttää ainakin lievää varovaisuutta rinnastusten tekemisessä ja etenkin nöyryyttä tulosten esittämisessä.

Eliöyhteisöjen käyttö paleoympäristöjen rekonstruktiossa: Muinaiset ympäristöt ovat monella tavalla kiinnostavia tutkimuksen kohteita. Erilaiset makro- ja mikrofossiilit ovat osoittautuneet suureksi avuksi tulkittaessa aiemmin vallinneita olosuhteita ja ympäristöjä (Birks & Birks 1980; Lowe & Walker 1984; Berglund 1986). Tavallisesti rekonstruktio suoritetaan fossiiliaineiston avulla siten, että etsitään ensin fossiilista assosiaatiota eniten muistuttava nykyinen eliöyhteisö (lajikoostumus ym.), jonka jälkeen muinainen elinympäristö tulkitaan nyky-yhteisön elinympäristön valossa.

Päätelyyn liittyy kuitenkin joukko ongelmia. Oletus, että samankaltaisuus lajikoostumuksessa indikoisi myös samankaltaisuutta elinympäristössä, on osoittautunut paikkaansapitämättömäksi useimmissa tutkituissa tapauksissa (Douglas 1979). Emme yksinkertaisesti tunne riittävästi nykyisten yhteisöjen menneitten eliöyhteisöjen ekologiaan liittyviä vastaavuuksia (Lipps 1981: 189). On useita viitteitä siitä, että eliöiden ekologis-klimaattinen amplitudi on saattanut olla menneisyydessä huomattavasti nykyisestä poikkeava (esim. Wheeler et al. 1977). Kun evoluutiobiologian puolella eliöiden sopeutumista ja muuntelua pidetään itsestäänselvyytenä, niin kuinka yhtäkkiä paleoekologisen tutkimuksen teossa voisimme olettaa eliöiden pysyneen ekologisilta vaatimuksiltaan ja ominaisuuksiltaan muuttumattomina? Tarkoituksellinen varovaisuus ei voi olla ainakaan pahe tutkijalle, joka operoi menneiden ympäristöjen kanssa.

Kerrostumisnopeuden määrittäminen: Sedimenttejä ajoitettaessa saadaan selville tiettyjä ajallisia kiintopisteitä; sen sijaan se, mitä näiden kiintopisteiden välillä tapahtuu, jää usein hämärän peittoon. Vasta riittävän tihein välein tehdyt ajoitukset paljastavat sedimenttien akkumulaationopeuksissa esiintyviä eroja. Tiheisiin ajoitusarjoihin ei ole aina kuitenkaan mahdollisuuksia eikä varaakaan. Tällöin käytetään yleensä tasaisen sedimentaation malliin perustuvia keskimääräisiä kerrostumisnopeuksia, jotka saattavat poiketa ratkaisevasti todellisesta tilanteesta (Tipper 1988; kuva 2). Harvoista ajoitustuloksista lasketuihin keskimääräisiin kerrostumisnopeuksien esittämiseen tulisi aina suhtautua skeptisesti. Kun nyt näin määritettyjä kerrostumisnopeuksia käytetään vielä muiden analyysimenetelmien lähtökohtana (esim. laskettaessa siltäpölyjen tai eri-

laisten mikro-organismien vuotuisia laskeumia), voidaan tulkinnessa ajautua kauas todellisuudesta. Termin 'absoluuttinen' käytön tällaisten analyysimenetelmien yhteydessä ei pidä antaa mielikuva siitä, että tuloksista voitaisiin päätellä kuinka luonto »varmuudella» tai »todella» on käyttäytynyt.

Useissa tapauksissa kerrostumisnopeus olisi syytä jättää mielummin laskematta kuin yrittää keinotekoisesti määrittää sitä. Vaarallisia ovat yritykset, joissa vain muutaman ajoitustuloksen avulla määritetään sedimentaationopeuksia pitkille aikaväleille. Tällaiseen syyllistytään usein. En malta olla mainitsematta juuri käteeni osunut esimerkkiä tuoreesta tutkimuksesta (Lemmen et al. 1988), jossa erään Baffinin saarella sijaitsevan järven sedimentaationopeuden todetaan olleen holoseenin alkupuolella 4–5-kertainen nykyiseen verrattuna. Johtopäätös syntyy kahden radiohiiliajoituksen perusteella! Tällaiset päätelmät edellyttävät jo lujaa uskoa sedimentaation tietynlaiseen käyttäytymiseen. Päällisin puolin homogeeniseltä näyttävä sedimentti ei ole suinkaan vielä tae tasaiselle akkumulaatiolle. Tämä käy ilmi myös jo mainitusta, muilta osin erinomaisesta Lemmenin et al (1988) tutkimuksesta, jossa järven lustomaisissa pintasedimenteissä havaittiin suuria epäsäännönmukaisuuksia. Lambert & Hsü (1979) ovat jo aikaisemmin osoittaneet, että yleisesti luotettavina pidetyissä lustosedimenteissä saattaa tietyissä olosuhteissa kerrostua useita »vuosilustoja» saman vuoden sisällä.

Epilogi

Painen (1985: 1) mukaan geomorfologin suurin ongelma on se, ettei hänellä ole riittävästi aikaa havainnoida maiseman kehitystä. Tämä on aiheuttanut tarpeen luoda joitakin perusolettamuksia siitä, kuinka luonto on menneisyydessä käyttäytynyt. Eräs tällainen on uniformitarismi, joka syntyi 1700–1800 lukujen vaihteessa vastalauseeksi geotieteissä aikaisemmin vallinnutta katastrofijattelua vastaan. Periaatteen mukaan nykyään ilmenevät luonnonlait, prosessit ja ympäristöt ovat hyvä lähtökohta menneisyyden tapahtumien tulkitsemiselle. Vaikka periaate on alusta alkaen saanut voimakasta kritiikkiä osakseen, voidaan sen katsoa hallinneen geohistoriallista tutkimusta aina nykypäiviin asti.

Viime vuosina uniformitarismi näyttää ainakin klassisessa asussaan tulleen tiensä päähän. Lyellin monista uniformitaristiseen teoriaan liittämistä olettamuksista ainoastaan käsitys luon-

nonlakien pysyvyydestä vaikuttaa hedelmälliseltä lähtökodalta modernille geohistorialliselle tutkimukselle. Sen sijaan kaikki uniformitarismin muut erityisväittämät, koskivatpa ne maapallolla vallinneiden prosessien tai olosuhteiden luonnetta, voidaan hylätä yleispätevinä sääntöinä sekä teoreettisin että empiirisin perustein. Kuten Garner (1974: 39) on todennut, »nykyisyys on menneen kaltainen vain niissä puitteissa kuin ihminen on ameeban kaltainen».

Thorn (1988: 51) varoittaa yksipuolisesti kritisoimasta uniformitarismia, ellei samalla tuoda jotakin uutta tilalle. Uudella on kuitenkin taipumus nousta esiin vasta vanhan raunioilta. Historia osoittaa, että tieteessä tapahtuvat vallankoukset ovat seurausta vallitsevissa paradigmoissa ilmenevien anomalioiden akkumuloinnista (Kuhn 1970). Uusia paradigmoja luodaan, kun entiset ovat tulleet epäilyn kohteiksi. Ilmassa on jo selviä enteitä tähän. Uniformitarismin vastapainoksi ollaan geologian puolella kehitetty mm. erilaisia punktualistisia (termi lainattu evoluutiobiologian puolelta, Eldredge & Gould 1972) katastrofisykleihin perustuvia tulkintamalleja (esim. Anderson et al. 1978; Parker 1985), ja geomorfologiassa on pohdittu mm. tilastollisesta mekaniikasta peräisin olevan »ergodian» periaatteen sovellusmahdollisuuksia menneisyyden tutkimuksessa (Paine 1985).

Kaiken sanotun jälkeen olisi kuitenkin absurdiä väittää, ettekö nykyisellä luonnonmaisemalla ja menneisyyden olosuhteilla olisi mitään tekemistä keskenään. Monissa tapauksissa uniformitarismi on ollut varmasti hyödyllinen ja käyttökelpoinen apparaatti menneen tutkimiselle. Mekaanisesti ja kategorisesti sovellettuna se voi kuitenkin olla — otsikkoon palaten — vaarallinen doktriini, joka pahimmillaan luo mielikuvan siitä kuinka luonnon *pitäisi* käyttäytyä. Syytä on lisäksi huomata, että vaikka päätyisimmekin hylkäämään uniformitarismin yleisenä tulkintaohjeena emme voi kuitenkaan astua ulos mihinkään aatteelliseen tyhjiöön. Tutkimustamme ohjaa aina jonkinlainen näkemys todellisuuden luonteesta, sillä kuten tunnettua (Brown 1974: 456), »tiede ei voi perustua singulariteetteihin».

SUMMARY

Uniformitarianism — the intellectual gem of geosciences or a dangerous doctrine?

Uniformitarianism, usually codified by the maxim »the present is the key to the past», has been for almost 200 years the major method of thinking when trying

to obtain information about the earth's history and processes. Although widely extolled, the principle has in recent years come under growing attack. There are two main criticisms: There has been a tendency to re-establish the ideas of catastrophists, who very commonly are thought to represent the opponents of »true» science. In fact, many uniformitarians used metaphysical arguments and many catastrophists did not use them at all. Even though the catastrophists' theoretical system was not always valid, at least their method was legitimate in most cases. Secondly, the specific assertions of uniformitarianism about the kinds of conditions and processes which existed during the earth's history are shown to be false according to modern scientific knowledge. The purpose of this study was to analyze the conceptual character of uniformitarianism, trace its history, and assess its status in a modern scientific milieu.

In a classical sense, described by Hutton and Lyell, uniformitarianism involves at least four different concepts: (1) a methodological principle asserting temporal continuity of properties of matter and energy as described by scientific laws, (2) causal principle requiring temporal continuity of the kinds of processes acting on the earth, (3) an actional theory affirming temporal uniformity of rates of processes, and (4) a configurational theory alleging temporal uniformity of environments and conditions in the geologic history of the earth.

Of these four concepts, only the methodological principle seems to have remained vital in the course of the years. The author does not agree with interpretations, which claim that methodological uniformitarianism transforms into general principles of induction or simplicity. Quite the contrary, uniformity is seen to form a basis for induction, i.e. faith in induction arises from the experience of uniformity. A person can make observations about reality in a reasonable way only when he has sufficient belief in the certain conformity that binds all the singular events together. There is good reason still to preserve methodological uniformitarianism as a part of the philosophy of geohistory, although its absolute truth-value can not be proved.

Modern knowledge is showing that the other three concepts should be qualified to such an extent that they finally turn out to be trivial in applications. There is an enormous amount of evidence that speaks against concepts of identity of ancient and modern causes, against constancy of rates or conditions, and against various specific assertions about the earth's processes. Episodic volcanic eruptions, crises in the evolution of life, variations in the rates of sea-floor spreading and extensive Pleistocene glaciation are examples of counter-arguments.

However, scientists still use the present as the main key to the past. The author gives three examples in which he thinks that the investigators take — consciously or unconsciously — the uniformitarian principle too self-evidently as the starting-point for their reasoning: (1) a rectilinear comparison of modern and ancient glaciers and the forms caused by them in many glacio-

logical and geomorphological studies (We have not a single example among modern glaciers that has such a great negative balance as for example the Pleistocene glaciers had during their retreat), (2) an assumption of unchanged ecological criteria of a species in palaeoecological research (We simply do not know enough about the ecological relationships of modern and fossil biotas), and (3) a supposition of constancy of rates of sedimentation in various stratigraphical investigations (In most investigations, the situation of at some precise dates may be known, but the distribution of change between them is usually unknown, and it is hazardous either to make interpolations based on supposed continuing uniform change in the interval or to extrapolate over time several orders of magnitude greater than the duration of the observation period).

If the principle of uniformity is rejected as a universal rule, it should be borne in mind that no neutral field or ideological continuum exists. Scientific work always starts from certain basic theoretical starting-points, because as well known »there is no science of singularities«.

KIRJALLISUUS

- Ager, D.V. (1963). *Principles of Paleocology*. 371 s. McGraw-Hill. New York.
- Ager, D.V. (1981). *The nature of the stratigraphical record*. 2. painos. 122 s. John Wiley & Sons. New York.
- Allmon, W.D. (1987). Mass Extinctions Past and Present. *Journal of Geological Education* 35, 197—202.
- Alvarez, L. W., Alvarez, F. Asaro & H. V. Michel (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208: 1095—1108.
- Alvarez, W. & R. A. Muller (1984). Evidence from crater ages for periodic impacts on the earth. *Nature* 308, 718—720.
- Anderson, E.S., P.W. Goodwin & B. Cameron (1978). Punctuated aggradational cycles (PACS) in Middle Ordovician and Lower Devonian sequences. *New York State Geological Association, 50 th Annual Meeting, Guidebook*, 204—244.
- Austin, S.A. (1979). Uniformitarianism — a doctrine that needs rethinking. *The Compass of Sigma Gamma Epsilon* 56: 2, 29—45.
- Bailey, E. (1962). *Charles Lyell*. 214 s. Thomas Nelson & Sons. London.
- Baker, V.R. (1978). The Spokane flood controversy and the martian outflow channels. *Science* 202, 1249—1256.
- Bambach, R.K. & C.R. Scotese & A.M. Ziegler (1980). Before Pangea: The geographies of the Paleozoic world. *American Scientist* 68, 26—38.
- Barghoorn, E.S. (1964). Discussion. In A.E.M. Nairn (ed.): *Problems in paleoclimatology*, 594. Interscience. London.
- Bates, R.L. & J.A. Jackson (eds.) (1980). *Glossary of geology*. 2. painos. 749 s. American Geological Institute. Falls Church, Va.
- Beatty, C.B. (1974). Debris flows, alluvial fans, and revitalised catastrophism. *Zeitschrift für Geomorphologie. Suppl.* 21, 39—51.
- Beiser, A. & K. Krauskopf (1975). *Introduction to earth science*. 359 s. McGraw-Hill. New York.
- Berglund, P.D. (ed.) (1986). *Handbook of Holocene Palaeoecology and Paleohydrology*. 968 s. John Wiley & Sons. Chichester
- Birks, H.J.B. & H.H. Birks (1980). *Quaternary Palaeoecology*. 289 s. Edward Arnold. London.
- Born, S.M. & D.F. Ritter (1970). Modern terrace development near Pyramid Lake, Nevada, and its geologic implications. *Geological Society of America, Bulletin* 81, 1232—1242.
- Brown, B.W. (1974). Induction, deduction, and irrationality in geologic reasoning. *Geology* 2, 456.
- Brunsdon, D. & J.B. Thornes (1979). Landscape sensitivity and change. *Transactions, Institute of British Geographers* 4, 463—484.
- Buckland, W. (1837). *Geology and mineralogy considered with reference to natural theology*. 2 vol. 443, 131 s. Carey, Lea and Blanchard. Philadelphia.
- Bülow, K. von (1960). Der Weg des Aktualismus in England, Frankreich und Deutschland. *Geologische Gesellschaft der Deutsche Demokratische Republik, Berichte* 5, 160—174.
- Cannon, W.F. (1976). Charles Lyell, radical actualism, and theory. *British Journal of the History of Science* 9, 104—120.
- Challinor, J. (1968). Uniformitarianism — the fundamental principle of geology. *XXIII International Geological Congress* 13, 331—343.
- Chamberlin, T.C. (1899). Lord Kelvin's address on the age of the earth as an abode fitted for life, part I. *Science, new series* 9, 889—901.
- Clube, V. & W.M. Napier (1982). *The cosmic serpent*. 299 s. Universe Books. New York.
- Davidson, C.F. (1964). Uniformitarianism and ore genesis. *Mining Magazine* 110, 176—185.
- Davies, T.A., W.W. Hay, J.R. Southam & T.R. Worley (1977). Estimates of Genozoic oceanic sedimentation rates. *Science* 197, 53—55.
- Davis, W.M. (1895). Bearing of physiography on uniformitarianism. *Geological Society of America, Bulletin* 7, 8—11.
- Davis, W.M. (1899). The geographical cycle. *Geographical Journal* 14, 481—504.
- Dott, R.H. Jr. (1974). The geosyncline concept. In R.H. Dott Jr. & R.H. Shaver (eds.): *Modern and ancient geosynclinal sedimentation. Society of the Economic Paleontology and Mineralogy, Special Publication* 19, 1—13.
- Dott, R.H. Jr. & R.L. Batten (1971). *Evolution of the earth*. 649 s. McGraw-Hill. New York.
- Douglas, R.G. (1979). Benthic foraminiferal ecology and paleoecology: A review of concepts and methods. In J.H. Lipps (ed.): *Foraminiferal Ecology and Paleocology*, 21—53. Society of Economic Paleontology and Mineralogy. Houston.

- Dunbar, C.O. (1960). *Historical geology*. 2. painos. 500 s. John Wiley & Sons. New York.
- Dunbar, C.O. & J. Rodgers (1957). *Principles of stratigraphy*. 356 s. John Wiley & Sons. New York.
- Dury, G.H. (1980). Neocatastrophism? A further look. *Progress in Physical Geography* 4: 3, 391—413.
- Eldredge, N. & S.J.: Gould (1972). Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism. In T.J.M. Schopf (ed.): *Models in Paleobiology*, 82—115. Freeman, Cooper & Co. San Francisco.
- Eronen, M. (1984). Yhdysvaltain luoteisosan geologinen kehitys ja Columbiajoen altaan suuret luonnonkatastrofit. (Geological evolution of the northwestern United States and catastrophic events in the Columbia River Basin). *Terra* 69: 2, 95—106.
- Flint, R.F. & B.J. Skinner (1977). *Physical Geology*. 2. painos. 594 s. John Wiley & Sons. New York.
- Gage, M. (1970). The tempo of geomorphic change. *Journal of Geology* 78, 619—625.
- Garner, H.F. (1974). *The origin of landscapes, a synthesis of geomorphology*. 734 s. Oxford University Press. Oxford.
- Gillispie, C.C. (1951). *Genesis and Geology*. 306 s. Harvard University Press. Cambridge, Mass.
- Gilluly, J., A.C. Waters & A.O. Woodford (1959). *Principles of geology*. 2. painos. 534 s. W.H. Freeman. San Francisco.
- Goodman, N. (1967). Uniformity and simplicity. In C.C. Albritton (ed.): *Uniformity and simplicity*, 93—99. Geological Society of America Special Paper 89.
- Goudie, A.S. (1981). *The Human Impact: man's role in environmental change* 326 s. Blackwell. Oxford.
- Gould, S.J. (1965). Is uniformitarianism necessary? *American Journal of Science* 263, 223—228.
- Gould, S.J. (1978). The Great Scablands Debate. *Natural History* 87: 7, 13—18.
- Gretener, P.E. (1967). Significance of the rare event in geology. *American Association for Petroleum Geologists, Bulletin* 51, 2197—2206.
- Hack, J.T. (1960). Interpretation of erosional topography in humid-temperate regions. *American Journal of Science* 258a, 80—97.
- Haines-Young, R. & J. Petch (1986). *Physical geography: its nature and methods*. 230 s. Harper & Row. London.
- Hallam, A. (1983). *Great geological controversies*. 214 s. Oxford University Press. Oxford.
- Hawkes, L. (1957). Some aspects of the progress in geology in the last fifty years, part I. *Geological Society of London Quarterly Journal* 113, 309—321.
- Holmes, A. (1978). *Principles of physical geology*. 3. painos. 730 s. Van Nostrand Reinhold. Berkshire.
- Hooykaas, R. (1956). The principle of uniformity in geology, biology and theology. *Journal of the Transactions of the Victoria Institute* 88, 101—106.
- Hooykaas, R. (1959). *Natural Law and Divine Miracle, a historical-critical study of the principle of uniformity in geology, biology and theology*. 237 s. Brill. Leiden.
- Hooykaas, R. (1966). Geological uniformitarianism and evolution. *Archives Internationales Histoire des Sciences* 19, 3—19.
- Hooykaas, R. (1970). Catastrophism in geology, Its Scientific Character in Relation to Actualism and Uniformitarianism. *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, afd. Letterkunde, Meddelanden* 33: 7, 271—316. Reprinted in C.C. Albritton (ed.) (1975): *Philosophy in Geohistory*, 310—356. Dowden, Hutchinson & Ross. Stroudsburg.
- Hsü, K.J. (1986). Darwin's three mistakes. *Geology* 14, 532—534.
- Hsü, K.J., Q. He & J.A. McKenzie (1982). Environmental and evolutionary consequences of mass mortality. *Science* 216, 249—256.
- Hubbert, M.K. (1967). Critique of the principle of uniformity. In C.C. Albritton Jr (ed.): *Uniformity and simplicity*, 3—34. Geological Society of America, Special Paper 89.
- Hurlbut, C.S. (1967). *The planet we live on*. 527 s. H.N. Abrams. New York.
- Kemeny, J.G. (1959). *A philosopher looks at Science*. 273 s. N.J. Van Nostrand Reinhold. Princeton.
- Kloosterman, J.B. (1976). Overnight valley formation in Sao Nicolau. *Catastrophist Geology* 1: 2, 44—45.
- Krynine, P.D. (1956). Uniformitarianism is a dangerous doctrine. *Journal of Paleontology* 30, 1003—1004.
- Kuhn, T.S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. 2. painos. 162 s. University of Chicago Press. Chicago.
- Lambert, A. & K.J. Hsü (1979). Non-annual cycles of varve-like sedimentation in Walensee, Switzerland. *Sedimentology* 26, 453—461.
- Lemmen, D.S., R. Gilbert, J.P. Smol & R.I. Hall (1988). Holocene sedimentation in glacial Tasikutaag Lake, Baffin Island. *Canadian Journal of Earth Sciences* 25: 810—823.
- Lipps, J.H. (1979). What, if anything, is micropaleontology? *Paleobiology* 7: 2, 167—199.
- Longwell, C.R. (1965). Comment on S.J. Gould's paper »Is uniformitarianism necessary?« *American Journal of Science* 263, 917—918.
- Longwell, C.R. & R.F. Flint (1955). *Introduction to physical geology*. 432 s. John Wiley & Sons. New York.
- Lowe, J.J. & M.J.C. Walker (1984). *Reconstructing Quaternary Environments*. 389 s. Longman. Essex.
- Lyell, C. (1830—1833). *Principles of Geology*. § vol. 511, 330, 398 s. + appendices. John Murray. London.
- Lyell, C. (1875). *Principles of Geology, or, the modern changes of the earth and its inhabitants considered as illustrative of geology*. 12. painos. 2 vol. 655, 652 s. John Murray. London.
- Lyell, K.M. (1881). *Life letters and journal of Sir Charles Lyell*. 2 vol. 475, 489 s. John Murray. London.
- Mogi, K. (1968). Sequential occurrences of recent great earthquakes. *Journal of Physics of the Earth* 16, 30—36.
- Mosley, M.P. & G.L. Zimpfer (1976). Explanation in

- geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie* 20: 381—390.
- Nairn, A.E.M. (1965). Uniformitarianism and environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 1, 5—11.
- Ogden, J.G. III (1977). The use and abuse of radio-carbon dating. *Annals of the New York Academy of Science* 288, 167—173.
- Paine, A.D.M. (1985). 'Ergodic' reasoning in geomorphology: time for a review of the term? *Progress in Physical Geography* 9: 1, 1—15.
- Parker, R.B. (1985). Buffers, energy storage, and the mode and tempo of geologic events. *Geology* 13, 440—442.
- Parks, W.A. (1925). Cultural aspects in Geology. *Nature* 116, 432—435.
- Porter, R. (1976). Charles Lyell and the principles of the history of geology. *British Journal of the History of Science* 9, 91—103.
- Press, F. & R. Siever (1982). *Earth*. 3. painos. 613 s. W.H. Freeman. San Francisco.
- Rampino, M.R. & R.B. Stothers (1984). Geological rhythms and cometary impacts. *Science* 226, 1427—1431.
- Raup, D.M. (1986). Biological extinctions in earth history. *Science* 231, 1528—1533.
- Raup, D.M. & J.J. Sepkoski Jr (1982). Mass extinctions in the marine fossil record. *Science* 215: 1501—1503.
- Raup, D.M. & J.J. Sepkoski Jr (1986). Periodic extinction of families and genera. *Science* 231: 833—836.
- Reichenbach, H. (1949). *The theory of Probability*. 238 s. University of California Press. Berkeley.
- Rudwick, M.J.S. (1970). The strategy of Lyell's Principles of Geology. *Isis* 61, 5—33.
- Rudwick, M.J.S. (1967). A critique of uniformitarian geology: a letter from W.D. Conybeare to Charles Lyell, 1841. *Proceedings of the American Philosophical Society* III, 272—287.
- Rudwick, M.J.S. (1971). Uniformity and progression: reflections on the structure of geological theory in the age of Lyell. In D.H. Roller (ed.): *Perspectives in the history of science and technology*, 209—227. University of Oklahoma Press. Norman.
- Rymer, L. (1978). The use of uniformitarianism and analogy in palaeoecology. In D. Walker & J.C. Cuppy (eds.): *Biology and Quaternary Environments*, 245—258. Australian Academy of Sciences. Canberra.
- Scheidegger, A.E. (1975). *Physical aspects of natural catastrophes*. 289 s. Elsevier. New York.
- Schick, A.P. (1974). Formation and bliteration of desert stream terraces — a conceptual analysis. *Zeitschrift für Geomorphologie. Suppl.* 21, 88—105.
- Schinewolf, O.H. (1962). Neokatastrophismus? *Deutsche Geologische Gesellschaft, Zeitschrift* 114, 430—445.
- Sedgwick, A. (1831). Address to the Geological Society, delivered on the evening of the 18th of February 1831. *Philosophical Magazine* 9, 281—317.
- Shantser, Y.V. (1970). On the methodology of research in historical geology. *Geotectonics* 4, 69—74.
- Shea, J.H. (1982). Twelve fallacies of uniformitarianism. *Geology* 10, 455—460.
- Shea, J.H. (1983). Creationism, Uniformitarianism, Geology and Science. *Journal of Geological Education* 31, 105—110.
- Simpson, G.G. (1970). Uniformitarianism. An Inquiry into Principle, Theory, and Method in Geohistory and Biohistory. In M.K. Hecht & W.C. Steere (ed.): *Essays in evolution and genetics*, 43—96. Appleton-Century-Crofts. New York. Reprinted in C.C. Albritton (ed.) (1975): *Philosophy and Geohistory*, 256—309. Dowden, Hutchinson & Ross. Stroudsburg.
- Small, R.J. (1978). *The study of landforms*. 2. painos. 502 s. Cambridge University Press. Cambridge.
- Spencer, E.W. (1972). *The dynamics of the earth*. 649 s. Crowell. New York.
- Starkel, L. (1976). The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes. In E. Debyshire (ed.) *Geomorphology and climate*, 203—246. John Wiley & Sons. London.
- Stoddart, D.R. (1966). Darwin's impact on geography. *Annals of the Association of the American Geographers* 56, 683—698.
- Stokes, W.L. & S. Judson (1968). *Introduction to geology*. 530 s. Prentice-Hall. Englewood Cliffs.
- Tarback, E.J. & F.K. Lutgens (1982). *Earth science*. 3. painos. 506 s. Charles E. Merrill. Columbus, Ohio.
- Thorn, C.E. (1988). *Introduction to theoretical Geomorphology*. 247 s. Unwin Hyman. Boston.
- Thornes, J.B. (1976). Discussion on paper by R.J. Chandler and others. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*. 283, 556.
- Tinkler, K.J. (1985). *A short history of geomorphology*. 164 s. Croom Helm. London.
- Tipper, J.C. (1988). Techniques for quantitative stratigraphic correlation: a review and annotated bibliography. *Geological Magazine* 125(5): 475—494.
- Twidale, C.R. (1976). On the survival of paleoforms. *American Journal of Science* 276, 77—95.
- Valentine, J.W. (1973). *Evolutionary paleoecology of the marine biosphere*. 511 s. Prentice-hall. Englewood Cliffs.
- Washburn, A.L. (1980). *Geocryology. a survey of periglacial processes and environments*. 406 s. Edward Arnold. London.
- Weller, J.M. (1960). *Stratigraphical principles and practise*. 725 s. Harper and Brothers. New York.
- Wheeler, E., R.A. Scott & E.S. Barghoorn (1977). Fossil dicotyledonous woods from Yellowstone National Park. *Journal of the Arnold Arboretum* 58, 280—302.
- Wilson, L.G. (1967). The Origins of Charles Lyell's uniformitarianism. In C.C. Albritton (ed.): *Uniformity and simplicity*, 35—62. Geological Society of America Special Paper 89.
- Wilson, L.G. (1972). *Charles Lyell; the years to 1841; the revolution in geology*. 553 s. Yale University

- Press. New Haven.
- Wilson, L.G. (1973). Uniformitarianism and catastrophism. In P.P. Wiener (ed.): *Dictionary of the history of ideas*, 417—423. Scribners. New York.
- Volger, O.G.H. (1857). *Erde und Ewigkeit. Die natürliche Geschichte der Erde als kreisender Entwicklungsgang in Gegensatz zur naturwidrigen Geologie der Revolutionen und Katastrophen*. 389 s. Krumfer Verlag. Frankfurt.
- Womack, W.R. & S.A. Schumm (1977). Terrace of Douglas Creek, north western Colorado, an Example of episodic erosion. *Geology* 5, 72—76.
- Young, D.A. (1982). *Cristianity and the age of the earth*. 188 s. Zondervan. Grand Rapids.
- Zurek, S. (1976). The problem of growth of the Eurasian peatlands in the Holocene. *Proceedings of the 5th International Peat Congress, Poznan, Poland* 2, 99—122.