

Laharit, tulivuorten tuhovirrat

OLAVI HEIKKINEN

Maantieteen laitos, Oulun yliopisto



Heikkinen, Olavi (1986). Laharit, tulivuorten tuhovirrat (Lahars, volcanic devastators). *Terra* 98: 1, pp. 45–59. English summary.

The term *lahar* is an Indonesian word meaning a flow of volcanic material mobilized by water. Hot lahars are caused by volcanic events such as eruptions and ejections of crater lakes, and cold or rain lahars generally result from heavy rains. This article discusses the terminology related to lahars and describes three sets of lahars: one on Mount St. Helens in 1980, another on Mount Rainier in 1947, and the third on Nevado del Ruiz in 1985. The lahars following volcanic blasts, in particular, are extremely dangerous. Fortunately, predicting volcanic eruptions has gradually become more accurate and dependable.

Olavi Heikkinen, Department of Geography, University of Oulu, SF-90570 Oulu, Finland.

Termi *lahar* on indonesialainen sana, joka tarkoittaa veden liikkeelle panemaa vulkaanisen aineksen virtaa. Lahar on siis märän liejuvirtauksen (mudflow) tai murevirtauksen* eli jätevirtauksen (debris flow) erikoistapaus. Usein lahar katsotaan lähes synonyymiksi käsitteelle vulkaaninen liejuvirta. Hieman laajemmin ottaen laharit ovat sellaisia veden käynnistämiä massaliikuntoja, joissa maankamaraan aines kulkeutuu virtauksina painovoiman vaikutuksesta rinnettä alas (Crandell 1968). Usein laharilla tarkoitetaan myös niitä kerrostumia, joita laharvirta on kasannut.

Laharin mobilisoinut vesi voi olla peräisin sateesta. Tällöin on kyseessä kylmä lahar tai sadelahar (cold lahar, rain lahar). Mikäli liejuvirtauksen käynnistänyt vesi on tulivuoren purkaustuotteiden sulattamaa ja lämmittämää tai mikäli itse vesi on peräisin tulivuoren höyryistä tai kraatterijärven purkautumasta, puhutaan kuumasta laharista (hot lahar). Yleisimpiä laharit ovat sellaisilla jyrkkärinteisillä aktiivisilla tulivuorilla, missä on runsaasti löyhää kallio- ja maaperäainesta ja missä sataa ajoittain runsaasti ja missä maaperää suojaa vain niukka kasvillisuus. Lahareita sattuu erityisen paljon Indonesiassa ja Japanissa mutta

* Murevirta ja murevyöry ovat kirjoittajan ehdottamia suomenkielisiä vastineita englanninkielisille termeille debris flow ja debris avalanche.

myös lukuisten Amerikan tulivuorten rinteillä (esim. Crandell 1968; Uusinoka 1981a: 76–82).

Monet Islannin jäätikköjuoksut (isl. jökulhlaup, engl. glacier burst) ovat luonteeltaan lahareja sillä nekin liittyvät vulkanismiin. Tällöin vulkaaninen lämpö sulattaa tulivuorta peittävää jäätä ja aiheuttaa lopulta veden purkauksen, jonka mukana syöksyy laaksoon mm. valtavia jää- ja kalliolohkareita (Thorinsson ym. 1959: 148).

Laharien olemus ja suhde muihin samantapaisiin massaliikuntoihin

Joskus voi sattua, että kokonainen tulivuoren seinämä lähtee liikkeelle yhtenä massana. Vähitellen liike ehkä muuttuu kiihtyvän valumisen eli hiipumisen (creep) kautta maanliukumaksi (rockslide). Tuolloin aines syöksyy nopeasti alaspäin yhtä tai useampaa verrattain kapeaa väylää pitkin, ja niin rikkoutuneen ja rikkoutuvan aineksen liike muistuttaa virtausta. Tuollaisesta suhteellisen kuivan irtaimen aineksen nopeasta etenemisestä voidaan käyttää suomen kielessä termiä murevyöry, sovinmaisemmin jätevyöry. Englannin kielessä tästä vyörystä käytetään nimityksiä debris avalanche, rockslide-avalanche ja rock-fragment flow (esim. Voight ym. 1983: 243–244). Viimeksi mainittu termi tuntuu sikäli huonolta,

että siinä sana flow saattaa luoda mielikuvan veden oleellisesta läsnäolosta.

On syytä korostaa, että edellä mainitut massaliikuntotyypit eivät edusta lahareja, vaikkakin niiden esiintyminen saattaa johtaa laharien muodostumiseen. Esimerkiksi kuiva mure- eli jätevyöry (debris avalanche) voi muuttua lahareiksi eli määräksi vulkaaniseksi virraksi, kun murevyöryn sisältämä jää ja lumi sulavat nestemäiseksi vedeksi tai kun murevyöryyn sekoittuu ulkopuolista vettä. Näin sai alkunsa mm. vuoden 1980 Mount St. Helensin purkaukseen liittynyt suuri ja tuhoisa lahar (Janda ym. 1981; Fairchild & Collins 1982; Voight ym. 1983).

Lahar on erittäin käyttökelpoinen termi niille nopeille veden mobilisoimille massaliikuntovirtauksille, jotka ovat peräisin tulivuorilta. Tätä termiä käyttämällä vältytään mm. sellaisilta aineksen tekstuuriin viittaavilta termeiltä kuin murevirta (debris flow) ja liejuvirta (mud-flow) (Crandell 1971: 3–4).

Termiä liejuvirta käytetään usein kuvaamaan virtauksia, joissa siltti- ja savipitoisuus on niin suuri, että se kykenee antamaan koko ainekselle koossa pysyvän matriksin (cohesive matrix) ja tyypillisen liejuisen ulkonäön. Liejuvirran todellinen liejupitoisuus voi tosiasiassa olla varsin vähäinen. Murevirroissa, kuten nimikin sanoo, aines on vähemmän koossa pysyvää ja karkeampaa kuin liejuvirroissa (Janda ym. 1981: 461).

Edellä todetun pohjalta voidaan Mullineaux'n ja Crandellin (1962) seuraavassa siteerattua laharin määritelmää pitää varsin sattuvana. »The term lahar includes all of the broad textural range of debris flows and mudflows of volcanic origin . . . any unsorted or poorly sorted deposit of volcanic debris that moved and was deposited as a mass and owed its mobility to water.»

Massaliikuntovirtauksille annetut nimet perustuvat osittain virtaavan materiaalin vesipitoisuuteen. Murevyöryissä nestemäisen veden osuus on pienempi kuin lahareissa. Mureja liejuvirroissa, joita laharitkin ovat, vesipitoisuus on 10–60 % virtaavan tavaran kokonaispainosta. Vesipitoisuuden ollessa 20–60 % puhutaan joskus ns. hyperkonsentroituneesta virrasta (hyperconcentrated flow), jolla tarkoitetaan aidon liejuvirran ja normaalin virran väliastetta. Jos vesipitoisuus on yli 60 % eli jos sedimenttien paino-osuudeksi jää alle 40 %, on kyseessä normaali, enemmän tai vähemmän sedimenttejä kuljettava virta, puro tai joki (Crandell 1968, 1971: 4).

Laharin aines ja rakenne sekä kulutus- ja kuljetuskyky

Pääosa laharien aineksesta on hienojakoista, heikosti lajittunutta ja huonosti kerrostunutta materiaalia. Paikoin tavattava puolinainen lajittuneisuus lienee useimmissa tapauksissa vain osoituksena laharvirtaan tempautuneiden tefrakerrosten osittaisesta säilymisestä (Uusinoka 1981b: 244). Tavallista karkeampaa ainesta löytyy kuitenkin laharkerrostuman pohjalta (Crandell 1968). Laharien sivustoilla on joskus vallimuodostumia (levée), jotka koostuvat siitä keskimääräistä karkeammasta liejuvirtausaineksesta, joka on jäänyt jälkeen päävirtauksesta. Kyseisten vallien synty johtuu virtauksen laidoilla vaikuttavista hiertovoimista (Uusinoka 1981a: 81).

Joissakin tapauksissa laharkerrostuman tekstuuri on moreenille, joissakin fluviaaliselle kerrostumalle luonteenomaisia piirteitä. Lukuunottamatta keskimääräistä karkeamman materiaalin kasaantumista laharin pohjalle ja reunoille lahareilla ei ole juuri koskaan sisäistä kerrostuneisuutta, koska kukin lahar liikkuu ja pysähtyy lähes yhtenä massavirtausyksikkönä.

Lahareja muodostuu usein toisiaan taajasti seuraavina pulsseina. Etenemisnopeus vaihtelee muutamasta kilometristä yli 100 kilometriin tunnissa (esim. Janda ym. 1981). Nopeasti-kaan kiitävät laharvirrat eivät ole kovin voimakkaasti alustaansa kuluttavia.

Sen sijaan laharien kuljetuskyky on valtava. Tämä johtuu aineksen suuresta viskositeetista ja korkeasta »ominaispainosta». Laharit kiidättävät suuriakin kivenjätkäleitä kevyesti kuin rasvatuilla kuulalakeilla (Crandell 1971: 4–5).

Laharien ikä on monissa tapauksissa mahdollista ajoittaa. Laharkerrostumista ja niiden alta löytyy usein puuta tai muuta orgaanista ainesta, joka on kasvanut tai kasaantunut ennen heikosti alustaansa kuluttavaa laharia. Tuon aineksen radiohiiliajoitus saattaa paljastaa varsin tarkasti laharin iän.

Lahar on kenties vioittanut reitilleen sattuneita eläviä puita mutta jättänyt puut kuitenkin henkiin. Tuolloin puiden vuosilustot paljastavat kohtalonvuoden. Onhan ajateltavissa, että puun paksuuskasvu on jyrkästi vähentynyt tuhon jälkeisenä kasvukautena. Mutta jos lahar tappaa henkiin jääneen puun ympäriltä runsaasti puita, saattaakin tuo kilpailijostaan eroon päässyt eloon jäänyt puu kasvattaa laharin aiheuttamista vaikeuksista huolimatta

leveämmät lustot tuhon jälkeisinä kuin sitä edeltäneinä vuosina (ks. kuva 10).

Laharkerrostumalla kasvavien puiden vuosilustojen lukumäärät antavat minimi-ään lahavirtaukselle. Näin luonnollisesti vain siinä tapauksessa, että kyseiset puut edustavat met-sän ensimmäistä virtauksen jälkeistä sukupolvea. Puulustojen avulla tapahtuvien tuhojen ja alustan äänmäärittysten mahdollisuuksista ja rajoituksista kertovat mm. Alestalo (1971: 69–70) ja Heikkinen (1984).

Laharien syntytavat ja synnyn syyt

Laharien syntytavat voidaan Crandellin (1971: 8–10) tapaan jakaa kolmeen luokkaan. Jotkut laharit (1) liittyvät välittömästi tulivuorten purkauksiin, jotkut laharit (2) ovat vain välillisessä suhteessa tulivuoren purkaukseen ja tapahtuvat vasta purkauksen jälkeen, eräät laharit (3) eivät seuraa ajallisesti mitään tiettyä tulivuoren purkausta tai eivät ole missään tekemisissä vulkanismin kanssa.

(1) Laharilla on välitön yhteys vulkaaniseen toimintaan esimerkiksi silloin, kun kraatterijärvi tyhjentyy tulivuoritoiminnan vuoksi. Esimerkiksi Jaavan pahamaineisen Kelutin tulivuoren purkautuminen johti kraatterijärven tyhjentymiseen ja tuhoisien laharien muodostumiseen vuonna 1919. Tulivuoren purkautuessa kraatterijärven pohjalta lensi 30 miljoonaa kuutiometriä vettä vuoren rinteille. Vesi huuhtoi irtainta ainesta ja loi lahareita, jotka tuhosivat täysin tai osittain 104 kylää ja tappoivat 5500 ihmistä. Liejuinen kiviaines voi kohota suoraan itse tulivuoren sisältäkin. Tällaisia tapauksia tunnetaan mm. Japanista.

Usein tulivuoren purkauksen liikkeelle panemat, alkuaan verrattain kuivat mure- eli jätavyöryt (debris avalanches) aiheuttavat lahareita samaan tapaan kuin vuonna 1980 Mount St. Helensillä, missä mm. murevyöryt sulattivat hautaamansa jään ja lumen. Myös kuuma vulkaaninen tuhka sulattaa tulivuoren laelta lunta ja jätää lahareja luoden. Näin kävi Andien Nevado del Ruizin tulivuoren purkauksessa vuonna 1985. Sekä Nevado del Ruizin että Mount St. Helensin tapaukseen palataan vielä tarkemmin tuonnempana.

Murevyöryt voivat toimia laharien lähteinä myös niin, että laharin alulle paneva vesi tulee tulivuorikeilan ulkopuolelta. Esimerkiksi Japanin Asaman tulivuoren purkautuessa vuonna 1783 kuuma murevyöry patosi läheisen joen. Tunnissa joen vesi nousi vyörypadon yli, kasteli sen ainesta, erodoi sitä ja aiheutti lopulta padon puhkeamisen. Irtaantunut aines syöksyi kuumana laharina alavirtaan ja surmasi siellä yli 1300 ihmistä.

(2) Tulivuoren purkauksiin välillisesti liittyvät laharit ovat lähes aina ns. kylmiä lahareita eli sadelahareita. Rangat sateet aiheuttavat helposti erodoituvilla tulivuorten rinteillä liukumia, huuhtoutumista ja liejuvirtoja vulkaanisesti rauhallisinkin aikoina. Rinteet sortuvat erityisen herkästi voimakkaiden satunnaisen sateiden aikana. Nopeat massaliikunnat, kuten laharit, tapahtuvat yleisimmin muutamia tunteja sen jälkeen kun sadannan intensiteetti on saavuttanut maksiminsa (Okimura 1983).

(3) Kaikilla murevirroilla (debris flows) ja liejuvirroilla ei ole minkäänlaista vulkaanista alkusyytä, vaikka ne sattuvatkin alueella, missä vulkaaniset piirteet ovat suhteellisen nuo-

Kuva 1. Steinholtshlaup oli vuoden 1967 vuorensortumasta alkunsa saanut jäätikköjuoksu (isl. jökulhlaup, engl. glacier burst) Islannin etelärannikolla. Jäätikköjuoksu kuljetti mukanaan yli bussin korkuisia kiviä. Valokuva: Olavi Heikkinen 21. 7. 1975.

Fig. 1. Steinholtshlaup was a so-called glacier burst (Icel. jökulhlaup) that occurred on the southern coast of Iceland in 1967. The hlaup, which was generated by a mountainslope failure, carried and dispersed boulders larger than a bus. Photo: Olavi Heikkinen, July 21st, 1975.



ria. Ottakaamme jälleen esimerkiksi Islanti ja sen jäätikköjuoksut eli jökulhlaupit (ks. Thorarinnsson ym. 1959).

Monet Islannin korkeat tulivuoret ovat jäätiköiden peittämiä. Aktiivisimpia subglasiaalisia tulivuoria ovat Grimsvötn ja Katla. Tulivuorten lämpö tai varsinaiset purkaukset sulettavat päällä olevaa jäätä. Ennen pitkää patoutunut vesi purkautuu laharimaisina hlaupina laaksoihin. Vedet saattavat purkautua melko säännöllisin väliajoin eli aina silloin kun jäätikön alla oleva veden varastoitumiseen sopiva tila on täyttynyt sulamisvesillä.

Subglasiaalisten tulivuorten purkaukset ovat usein räjähdysmäisiä ja ne saattavat aiheuttaa valtavia tulvia, joista niistäkin käytetään islanninkielistä nimeä jökulhlaup. Noiden veden syöksyjen virtaama on jopa 100 000 m³s⁻¹.

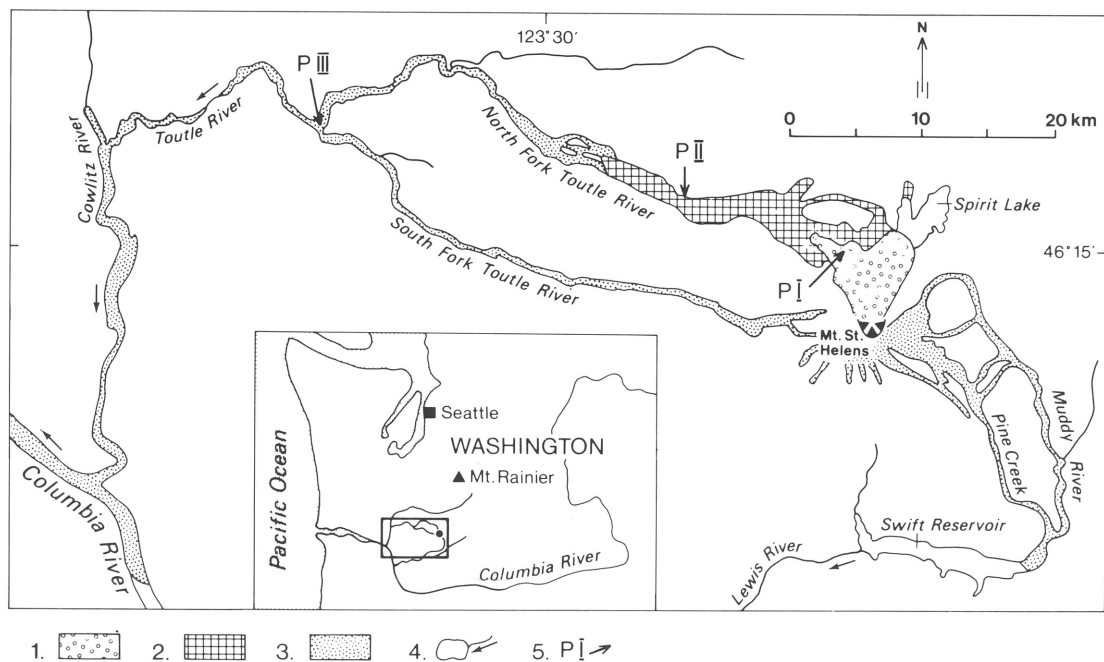
Monet jäätikköjuoksut eli jökulhlaupit eivät ole »vulkanis-glasiaalisia» vaan »limnoglasi-

aalisia», jolloin jökulhlaup purkaa ilman vulkaanista toimintaa sulaneen normaalin jääjärven vesiä. Esimerkiksi Skeidararjökullin äärelä olevasta Grænalónin järvestä purkautuvat »limnoglasiialiset» jökulhlaupit, joiden virtaama voi olla jopa 6000 m³s⁻¹, aiheuttavat tulvia Skeidararsandurin länsiosassa.

Jökulhlaupeilla on suuri kuljetuskyky. Ne voivat kuljettaa suuria lohkkareita (kuva 1). Islannista tiedetään vuodelta 1918 tapaus, jossa noin 400 m³:n kalliolohkkare on siirtynyt jökulhlaupin mukana noin 14 kilometriä.

Mount St. Helensin vuoden 1980 purkaus ja siihen liittyvät laharit

Mount St. Helens on yksi Pohjois-Amerikan Kaskadivuoriston 15 aktiivisesta tulivuoresta. Tulivuoresta ja sen vuoden 1980 räjähdysmäisestä purkauksesta on annettu kiintoisa ku-



Kuva 2. Pohjois-Amerikan Kaskadivuoristossa sijaitsevan Mount St. Helensin vuoden 1980 suuri purkaus aiheutti kallio- ja maaperäaineksen kerrostumista tulivuoren ympäristöön ja kauas tulivuorelta avautuviin jokilaaksoihin. Purkaukseen liittyvistä massaliikunnoista kerrotaan seikkaperäisesti tekstissä. 1. hohkakivestä koostuneiden pyroklastisten virtausten kerrostumia; 2. mure- eli jätte- eli debrisvyörykerrostumia; 3. laharkerrostumia; 4. joki ja järvi; 5. valokuvien esittämät kohteet niin, että P I viittaa kuvaan 3, P II kuvaan 4 ja P III kuvaan 5. Karttakuva perustuu pääasiassa Jandan ja kumppanien (1981: 462) ja Collinsin ja kumppanien (1983: 105) esityksiin.

Fig. 2. The 1980 eruption of Mount St. Helens, one of the 15 active volcanoes in the Cascade Range of North America, deposited a huge quantity of material on the flanks of the volcano and far down the river valleys spreading out from the mountain. Mass movements associated with the eruption are discussed in detail in the text. 1. pumiceous pyroclastic flow deposits; 2. debris avalanche deposits; 3. lahar deposits; 4. river and lake; 5. locations illustrated by photographs so that P I refers to Fig. 3, P II to Fig. 4 and P III to Fig. 5. The map is based primarily on the presentations of Janda et al. (1981: 462) and Collins et al (1983: 105).

Kuva 3. Mount St. Helensin purkaus (18. 5. 1980) alkoi maanjäristyksellä, josta aiheutuivat vuoren rinteiden liukumat sekä tuhkaa ja kuumaa höyryä syössyt sivustan räjähdys. Näitä ensi tapahtumia seurasivat tuhkapilven purkautuminen ylös ilmakehään sekä siihen liittyneet pyroklastiset virtaukset, joita tämä kuva esittää. Valkeana erottuva pyroklastinen aines koostuu hohkakivistä, joiden läpimitta on jopa yksi metri. Pyroklastinen virta purkautui sen mure- eli jätevyöryn päälle, jota kuva 4 esittää. Ympyriäiset suppakuopat kuvan keskivaiheilla ovat noin 10 m leveitä. Ne syntyivät kun kuumen jätevyöryn ja pyroklastisen virtauksen alle hautautuneet jäälohkareet sulivat ja kun vyöryyn ja virtaukseen sulkeutunut kaasu purkautui räjähdysmäisesti. Kuva on otettu muutamia kilometrejä tuhoutuneen keilan pohjoispuolelta (kohta PI kuvassa 2). Valokuva: D.R. Peaver ja D.J. Easterbrook 8. 6. 1980.



Fig. 3. The eruption of Mount St. Helens on 18th May, 1980 was triggered off by an earthquake and started with rock slides and a lateral blast which emitted blast debris and hot vapor. These first events were followed by an ash plume reaching to the high atmosphere and pyroclastic flows as seen in this photograph. The light-coloured pyroclastic material is composed of rounded pumice blocks up to one metre in diameter. This pumiceous pyroclastic flow blanketed the darker hummocky debris avalanche, presented in Fig. 4. The kettle holes in the centre of the photograph are about 10 metres in diameter. They were formed as a result of the melting of buried blocks of ice and the explosive escape of vapour. The photograph was taken some kilometres north of the volcano, location PI in Fig. 2. Photo: D.R. Peaver and D.J. Easterbrook, June 8 th, 1980.

vaus Terran sivuilla (Koutaniemi 1982). Seuraavassa esitellään lyhyesti ja mahdollisimman oikeita termejä käyttäen se tapahtumasarja, joka alkoi maanjäristyksellä ja päättyi laharien tuhoihin, ja joka johti mm. yli 60 ihmisen kuolemaan. Kuvaus perustuu pääasiassa Voightin ja kumppanien (1983) sekä Fairchildin ja Collinsin (1982) kirjoituksiin.

Purkaustapahtuma sai alkunsa toukokuun 18. päivänä 1980 kello 8:32:11,4 Tyynenmeren kesäaikaan, jolloin voimaltaan noin 5.1 Richterin asteeseen (1) maanjäristys ravisteli Mount St. Helensia. Maanjäristystä seuranneiden 10 sekunnin aikana osa vuoren pohjoista seinämää ja sen mukana vuoristojäätiköiden massat alkoivat liikkua kohti pohjoista North Fork Toutle Riveriä (kuva 2) juuri repeytyneitä kallioperän halkeamia myöten. Tämä (2) ensimmäisen vuoren sortuma ja liukuma (slide

block I) helpotti painetta vuoren sisällä, mikä puolestaan laukaisi tavattoman nopean magman ja kuumen veden purkauksen. Tuosta purkauksesta on käytetty nimitystä (3) pyroklastinen syöksy (pyroclastic surge) ja sivustan räjähdys (lateral blast). Räjähdys ampui tulisen, puut kaataneen ja polttaneen (kuva 4) höyrypilven pohjoisen laakson suuntaan sekä kylvi tuhkaa mm. ensimmäisestä vuoren sortumasta alkunsa saaneen kallio- ja jäävyöryn sekaan ja peitteeksi.

Vain 14 sekuntia ensimmäisen vuoren syrjän liukuman jälkeen tapahtui (4) toinen samanlainen sortuma (slide block II) pohjoisella rinteellä. Kohta myös tulivuoren keila romahti. Toinen sortuma liukui pian ensimmäisen kantaan ja liukumien nyt jo vyörynä etenevä aines sekoittui vuoren sivustan räjähdyksessä alueelle levinneeseen tuhkaan.

Ensimmäinen ja toinen vuoren sortuma sekä niitä nopeasti seuranneet (5) myöhemmät rinteiden sortumat ja liukumat, joista käytetään kollektiivista nimitystä slide block III, synnyttivät yhdessä mahtavan (6) murevyöryn (debris avalanche), joka haaraantui moneksi pohjoiseen eteneväksi rintamaksi. Murevyöryn päälohko työntyi 22 kilometrin matkan North Fork Toutle Riverin latvahaaraa pitkin (kuva 2). Sen jälkeen kun vyöryyn hautautuneet jäälohkareet olivat sulaneet, alueen topografia muuttui kuoppa- ja kumpumaisemaksi (kuva 4). Murevyöryt peittivät kaikkiaan noin 60 km²:n alueen 5–195 metriä paksulla vulkaanisella ynnä muulla irtaimella aineksella (Lehre ym. 1983).

Heti varhaisimman alun tapahtumia seurasi pitkälle toukokuun 18. päivän iltapäivään kes-



Kuva 4. Mount St. Helensiltä 18. 5. 1980 alkunsa saaneet vuoren rinteet liukumat muuttuivat alempana mure- eli jätevyöryiksi. Vyöryyn hautautuneen jään ja lumen sulamisen jälkeen paikalle muodostui kuoppa- ja kumpumaisemaa. Monien suppakuoppien pohjalla on vettä. Kuvan keskivaiheilla erottuva vaalea sedimenttitananne syntyi Mount St. Helensin vuoden 1982 kevättalvisen purkauksen tuloksena (Waitt ym. 1983). Vuoren sivustan räjähdyksessä (18. 5. 1980) laaksoon syöksynyt tulikuuma höyry kaatoi pääosan alarinteen puista. Rinteen yläosassa puut paloivat mutta jäivät pystyyn. Aivan selänteen laella on muutamia elossa säilyneitä puita; ne jäivät laaksoon suuntautuneen kuumen höyrystuuhkun yläpuolelle. Kuva on North Fork Toutle Riverin laaksosta, noin 20 kilometriä tulivuoresta (kohta PII kuvassa 2). Valokuva: Olavi Heikkinen 27. 6. 1982.

Fig. 4. Massive slope failures (often referred to as slide blocks) of the 1980 eruption of Mount St. Helens were converted farther down into debris avalanches. The melting of buried ice and snow created the hummocky topography. At present, water covers the bottom of the many kettle holes. The deposition of the light-grey terrace in the centre of the photograph is the result of an eruption of Mount St. Helens in March 1982 (Waitt et al. 1983). The lateral blast of debris and hot vapour on 18th May, 1980 toppled most of the trees on the lower slopes. Higher up on the flanks trees were buried but remained standing. A few of the topmost trees survived because they perch on the crest that stayed above the fatal lateral blast. The photograph introduces the North Fork Toutle River valley, about 20 kilometers from the volcano, location PII in Fig. 2. Photo: Olavi Heikkinen, June 27th, 1982.

tänyt vulkaaninen purkaus, joka syöksi (7) tuhkapilven 20 kilometrin korkeuteen ja joka tuotti (8) lukuisia pääasiassa hohkakivistä koostuneita pyroklastisia virtauksia (pumiceous pyroclastic flows). Hohkakivivirrat levisivät murevyöryjen päälle yli viiden kilometrin päähän tulivuoren keskustasta (kuvat 2 ja 3).

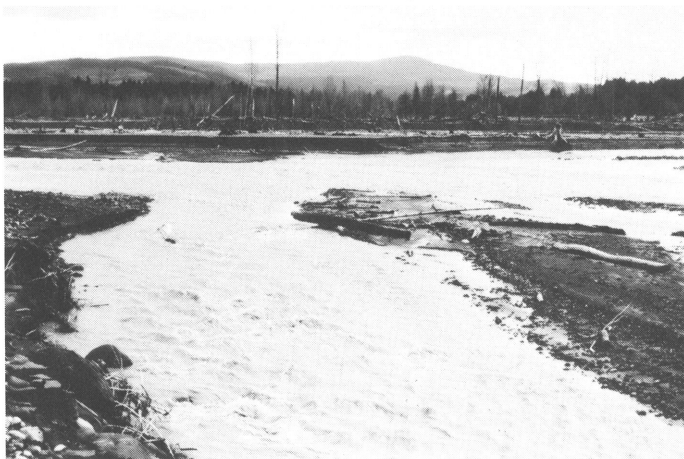
(9) Laharit olivat oleellinen osa Mount St. Helensin tuhoja. Monet laharit olivat pieniä, sulaneesta jäästä ja lumesta joko kraatterin sisä- tai ulkosivustaa alasvirranneita liete- tai murevirtoja. Jotkut laharit etenivät kauaksi tulivuorelta alkavia laaksoja pitkin (kuva 2). Mahtavimpia mutta alkuperältään ja olemukseltaan erilaisia olivat South Fork Toutle Riverin lahar ja North Fork Toutle Riverin lahar

(Janda ym. 1981; Fairchild & Collins 1982; Collins ym. 1983).

Niin sanottu South Forkin lahar alkoi noin kello 8:33 eli vain vajaa minuutti tulivuoren purkaussarjaan johtaneen maanjäristyksen jälkeen, kun sivustan räjähdyksestä eli pyroklastisesta syöksystä peräisin olevan kaasupilven kondensoituma sekä vettynyt hienojakoinen irtain aines valui nopeasti tulivuoren länsisivustaa South Fork Toutle Riveriin. Joki-laaksoon päästyään tämä veden kyllästämä aines muodosti hyvin terävähuippuisen liejuvirtauksen, laharin. Neljän kilometrin päässä Mount St. Helensistä laharin nopeus oli 33 m s^{-1} , suurin virtaama $68\,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tilavuus 13 milj. m^3 ja kokonaiskesto yli 6 minuuttia.

Kuva 5. Tässä kohdassa yhtyvät North Fork Toutle Riverin ja South Fork Toutle Riverin uomat (kohta PIII kuvassa 2), jotka kokivat valtavan, joskin alkuperältään toisistaan poikkeavan laharin 18. 5. 1980, Mount St. Helensin suuren purkauksen päivänä. Laharien tuhoisat jäljet eivät ole vielä arpeutuneet. Valokuva: Olavi Heikkinen 27. 6. 1982.

Fig. 5. The confluence of the North Fork Toutle River and the South Fork Toutle River, location PIII in Fig. 2. These rivers underwent tremendous lahars on the day of Mount St. Helens' »big bang» in 1980. Photo Olavi Heikkinen, June 27th, 1982.



Toutlejoen suulla eli paikassa, missä tämä joki yhtyy Cowlitzjokeen (ks. kuva 2), laharin nopeus oli laskenut muutamaan metriin sekunnissa, eikä huippuvirtaamakaan ollut enää enempää kuin $2900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Koska liejua oli kerrostunut ja takertunut jokivarsiin, oli laharin kokonaistilavuus Toutlejoen suulla vain 7,8 milj. m^3 . Laharin kesto oli venynyt 90 minuutiksi.

North Fork Toutle Riverin lahar sai alkunsa vasta purkautumispäivän (18. 5. 1980) iltapäivällä ylärinteen vyörykasaantumista. Pohjoisen vuorensinämän sortumista ja kuumista pyroklastisista purkauksista peräisin olevan kiviaineksen liukumata ja vyöryt olivat haudanneet sekaansa Mount St. Helensin peittäneiden jäätikköiden kappaleita. Nuo lohkaaret sulivat jo 18. päivän aamutunteina siinä määrin, että vyöryjen aines vettyi. Kun sitten vuoren torso koki samana päivänä noin kello 11:40 alkaneita ja tuntikausia kestäneitä tärähtelyjä, vettyneet vyörykasaantumata häiriintyivät ja nesteytyivät, minkä johdosta kasaantumien pinnalle erkani ja puristui vettä. Vedet hakeutuivat yhteen, sekoittuivat sedimentteihin, lähtivät virtaamaan alarinnettä ja synnyttivät North Forkin laharin. Tämä tapahtui kello 13:10 toukokuun 18. päivänä.

North Forkin lahar eteni South Forkin laharia hitaammin. Neljän kilometrin päässä lähialueeltaan North Forkin laharin huippuvirtaama oli vain hieman yli $7000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Mutta koska laharin tilavuus oli peräti 140 milj. m^3 , laharvirtaus kesti siellä täydet seitsemän tuntia; vertaa yllä mainittuja liki vastaavia South Forkin laharin arvoja.

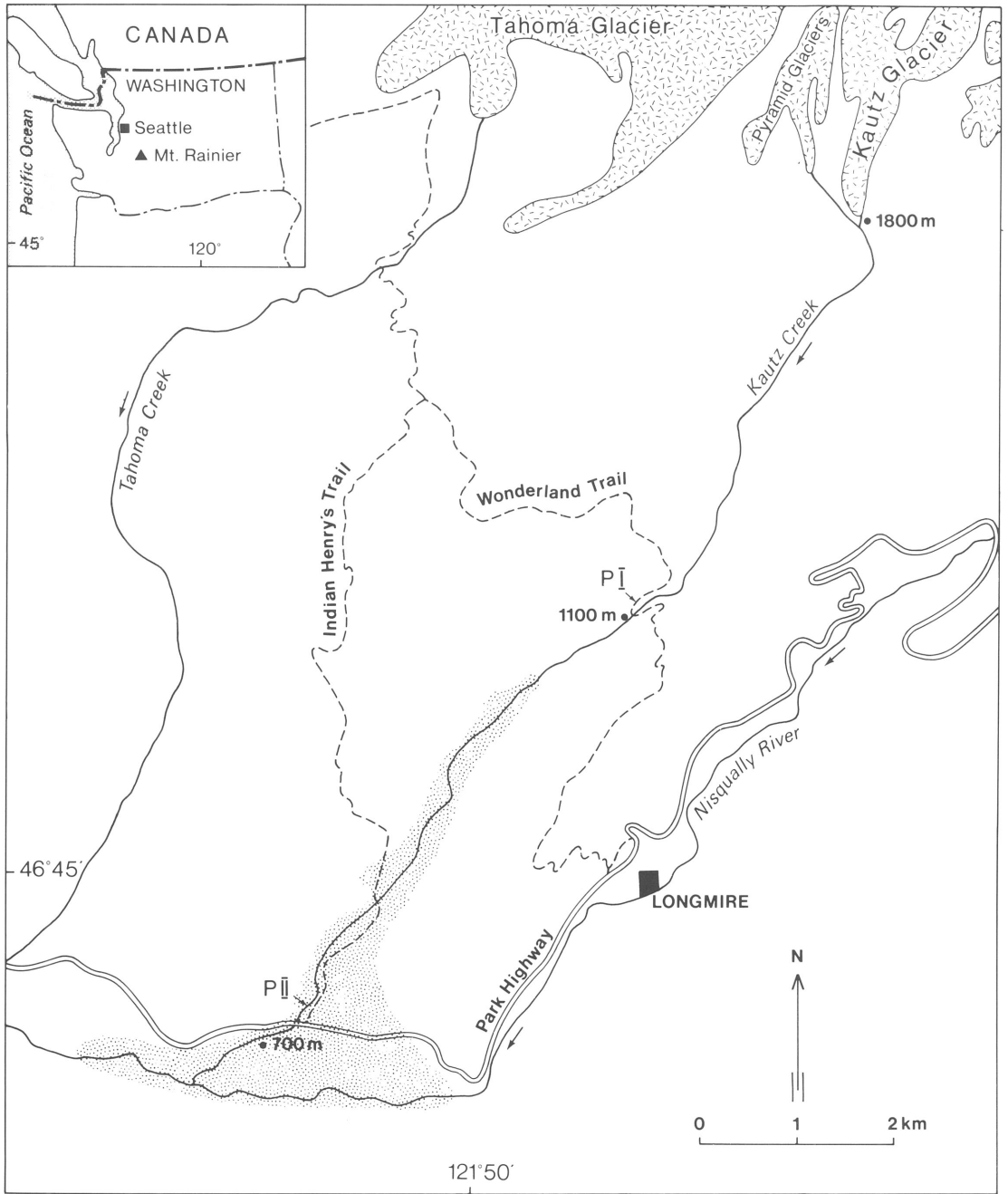
Toutlejoen suulle North Forkin laharia tuli noin 120 milj. m^3 . Koska laharin kesto oli venynyt täällä yli 11 tunniksi, huippuvirtaamaksi jäi tässä tapauksessa noin $6000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Fairchild & Collins 1982).

South ja North Forkin laharien reitit yhtyivät Toutlejoen uomassa (kuvat 2 ja 5), mistä liejuvirrat jatkoivat matkaansa Cowlitzjokea myöten Kolumbiajokeen. Tämän suurjoen alajuoksu liettyi pahoin aina Tynnelmerelle saakka.

Vuoden 1947 Kautz Creekin laharit Mount Rainierillä

Päin vastoin kuin edellä kuvatut Mount St. Helensin tulivuoren purkaukseen liittyneet kuumat laharit Kautz Creekin laharit olivat ilmeisesti täysin ns. kylmiä lahareita eli sade-lahareita. Noin 6 km pitkän Kautz Creekin laakson (kuva 6) pohjalla on monia eri-ikäisiä lahar- ja fluviaalikerrostumia (Nelson 1958: 4). Niitä on esimerkiksi vuosilta 1926, noin 1700 ja noin 1360 jKr. (Ballard 1963).

Nuorin lahartyypinen liejuvirtaus tai itse asiassa sarja liejuvirtauksia tapahtui lokakuun 2. ja 3. päivän välisenä yönä vuonna 1947. Nuo mm. Crandellin (1971) kuvailemat laharit ovat hyvin tunnettuja, koska ne sattuivat Mount Rainierin suosituksessa kansallispuistossa. Laharit tuhosivat Kautz Creekin yli johtaneen puistotien sillan (kuva 7). Puistossa vierailevat voivat nyt kummastella lähes 40 vuoden taikaisten liejuvirtojen tuhoja ja 4392 m korkean Mount Rainierin kauneutta (kuva 8) uudelleen



1. 2. 3. 4. 5. 6. • 1800m 7. P I, P II

Kuva 6. Kautz Creekin laharit (liejuvirrat) 2.–3. 10. 1947 olivat ainakin ensisijaisesti ns. kylmiä eli sadelahareita. Laharit saivat alkunsa rankkasateista ja Mount Rainierin Kautzjäätiköltä nopeasti purkautuneista vesistä. Laharit aiheuttivat erodoitumista erityisesti Wonderland Trailin yläpuolisella jokioman osuudella (ks. kuva 9) ja akkumulaatiota varsinkin puistotien alapuolisella alueella. 1. jäätikkö, 2. vuoden 1947 laharkerrostumia; 3. Mount Rainierin kansallispuistoon johtava maantie; 4. puistopolku; 5. joki; 6. korkeuslukema; 7. valokuvien esittämät kohteet niin, että P I viittaa kuviin 9 ja 10, ja P II kuviin 7 ja 8.

Fig. 6. The Kautz Creek lahars (mudflows) of October 2–3rd, 1947 were originally, at least, so-called cold or rain lahars. They were mobilized by long-term downpours and probably also by glacier bursts from the Kautz Glacier on Mount Rainier. The lahars steepened the valley upstream from Wonderland Trail (see Fig. 9) but deposited both coarse material and fine downvalley, especially downstream from the bridge of the entrance road to the National Park. 1. glacier; 2. lahar deposits from the year 1947, 3. entrance road to the Mount Rainier National Park; 4. trail; 5. river or creek; 6. elevation metres above sea level; 7. locations shown in photographs so that P I refers to Figs. 9 and 10, and P II to Figs. 7 and 8.

Kuva 7. Alajuoksullaan Kautz Creek uoma on kaivautunut vuoden 1947 laharkerrostumiin, joiden paksuus lähentelee paikoin kymmentä metriä. Kuva on otettu tuhoutuneen maantiesillan kohdalta, hiemän etelään nykyisestä Mount Rainierin kansallispuistoon johtavan tien sillasta (kohta PII kuvassa 6). Valokuva: Olavi Heikkinen 27. 7. 1984.

Fig. 7. In its lower reach Kautz Creek has cut its channel into the 1947 lahar aggradation, in places 10 m thick. The photograph was taken from the site of the destroyed Kautz Creek bridge, a little southwards from the new bridge, location PII in Fig. 6. Photo: Olavi Heikkinen, July 27th, 1984.



Kuva 8. Kautz Creekin alaosuudella laharit tuhosivat jokivarsimetsiä. Monet puut tempautuivat juuriltaan, lukuisat keloutuneet rungot seisovat yhä paikoillaan. Maaperän huokosten ilmasta tyypeä sitova pioneeriipuulaji punaleppä (*Alnus rubra*) on valloittanut karuimmat ja pahimmin tuhoutuneet alueet. Taustalla häämöttää lumi- ja jäälakinen Mount Rainier. Kuva on otettu Mount Rainierin kansallispuistoon vievältä uudelta sillalta (kohta PII kuvassa 6). Valokuva: Olavi Heikkinen 27. 7. 1984.

*Fig. 8. In the lower section of Kautz Creek the lahar destroyed forests on river banks. Even though the lahar rooted up countless trees many dead trees still remain standing. Red alder (*Alnus rubra*), which is capable of fixing nitrogen in the soil by its root nodules, has occupied the poorest and most seriously devastated positions. In the background the ice-capped Mount Rainier stands out. The view is to the north from the new Kautz Creek bridge, location PII in Fig. 6. Photo: Olavi Heikkinen, July 27th, 1984.*



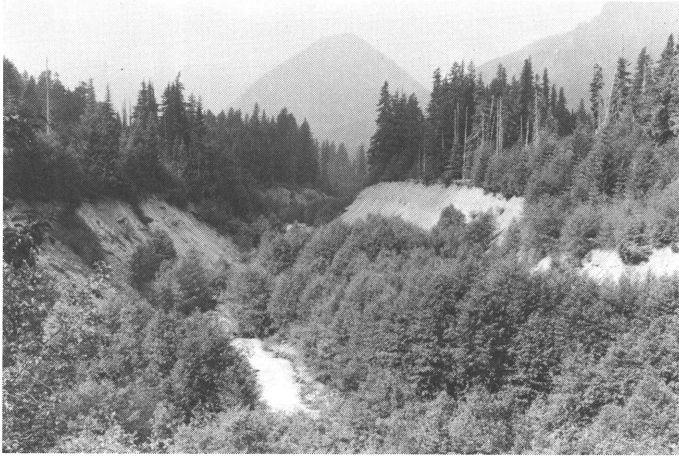
mm. Ylhäällä vuorella lieenee satanut tätäkin enemmän. Ankara sade aiheutti ilmeisesti jäätikköjuoksua, jotka lisäsivät Kautz Creekin virtaamaa.

Lokakuun 2. päivän iltapäivällä joen vedenkorkeus kohosi nopeasti ja joskus kello 19–20 tulva huuhtoi pois puistoon vievän sillan (kuva 7). Ensimmäinen lahar pyyhkäisi pitkin jokilaaksoa kello 22–23 samana vuorokautena. Lietevirran syöksyminen laaksoon ilmeni kumeana jylynä ja maan vavahteluna.

Yön aikana Kautz Creek koki lukuisia lahareita, viimeisen noin kello 8 lokakuun 3. päivän aamuna. Silminnäkijöiden kuvausten mukaan laharit olivat kuin märkää betonivelliä, joka kuljetti mukanaan puiden kappaleita ynnä muuta kasvillisuuden jäännettä sekä kivien järkäleitä, suurimmat nelimetrisiä läpimitataan (Crandell 1971).

rakennetulta puistotieltä. Washingtonin osavaltiossa sijaitseva Mount Rainier on Kaskadien korkein, nykyään vain heikosti aktiivinen tulivuori.

Kautz Creekin lahareihin johtaneet tapahtumat käynnistyivät jo päivää paria ennen varsinaista luonnon näytelmää. Pitkäaikainen vesisade alkoi kohta lokakuun 1. päivän varhaisimpina tunteina. Suurimman voimansa se sai noin kello 5–9 lokakuun 2. päivän aamuna. Sateen rankkuutta osoittaa se, että viereisellä Paradise Parkin asemalla, noin 1680 m mpy, sadanta oli yhden vuorokauden aikana (aika- välillä 1.10. klo 4:30–2. 10. klo 4:30) noin 150



Kuva 9. Vuoden 1947 laharit olivat eroivoivia Kautz Creekin yläjuoksulla. Tosin myös täällä lahartulvien puita tappava ja tukahduttava aines levisi jokipenkan takaisille maille. Monet laharien koettelemat puut jäivät kuitenkin henkiin; niin myös ne kolme puuyksilöä (kuva 10), jotka kasvavat tämän kuvan ottopaikalla Wonderland Trailin vieressä (kohta PI kuvassa 6). Punaleppä on vallannut varsinkin karun jokilaakson. Jokiterasseille, missä laharit harventelivat metsää, on juurtunut runsaasti valoa kaipaavaa douglaskuusta (*Pseudotsuga menziesii*). Valokuva: Olavi Heikkinen 28. 7. 1984.

*Fig. 9. Although the 1947 Kautz Creek lahars were mainly erosive in the upper course of the river they spread mud to the terrains beyond the river banks. If mud did not suffocate trees it at least affected their growth. However, some conifers affected by lahars survived and recovered to an excellent annual growth as did those conifers (Fig. 10) which grow on the river bank at Wonderland Trail (location PI in Fig. 6). Red alder has conquered the sterile valley bottom. The river terraces, where the lahar thinned forests, have been mostly occupied by the light-demanding Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). Photo: Olavi Heikkinen, July 28th, 1984.*

Kautz Creekin laharit eivät ilmeisesti olleet kovin eroivoivia, vaikka laajensivatkin jokiuomaa sen jyrkällä yläjuoksulla (kuva 9). Yläjuoksun syöpyminen saattoi olla paljolta seurausta myös vesitulvistä eli niistä jäätikköjuoksuista, jotka syntyivät rankkasateiden seurauksena. Ehkäpä juuri jäätikköjuoksujen laakson seinämiin kohdistama kulutus sekä siitä aiheutuneet reunamien sortumat oleellisesti edistivät, kenties loivatkin lahareita.

Ilmeisesti juuri jäätikköjuoksuihin liittyneestä kaaostilanteesta johtuen Kautz Glacierin puolitoistakilometrinen alaosa oli paljolta hävinnyt ja jäätikköön oli leikkautunut 100 m syvä ja 300 m leveä rotko. Onkin otaksuttu (Nelson 1958: 3–4; Crandell 1971: 47–48), että jäätikköön patoutuneiden vesimassojen purkautuminen paikkasi alarinteelle jäälohkareita ja jäätikköperäistä maaperäainesta sillä seurauksella, että Kautz Creekin uoma tuk-

keutui heti yläjuoksullaan. Tästä aiheutui veden tulvimista. Lopulta tulva johti padon laukeamiseen ja vedellä kyllästyneiden maamassojen syöksymiseen laharina laakson alaosaan. Vuorelta toistuvasti valuneet jää- sekä maa- ja kallioperämassat tukkivat aina uudelleen Kautz Creekin uoman, mikä synnytti vastaavasti perättäisiä lahareita ja tulvia.

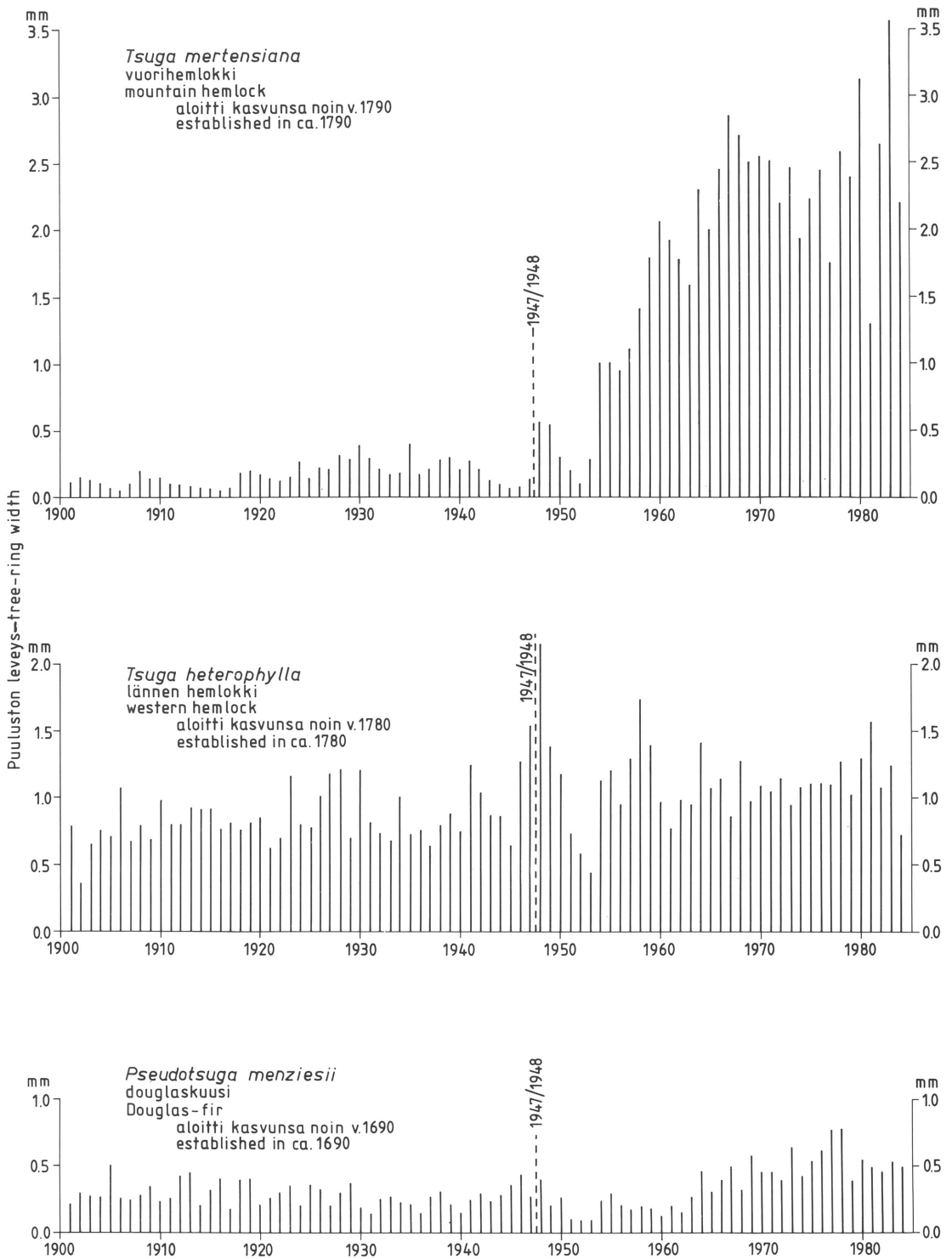
Laharaines kerrostui Kautz Creekin alasuudella erityisesti puistoon johtavan sillan alapuolisella tasaisella laakson osalla del-

Kuva 10. Tätä vuosisataa koskevat lustonleveysdiagrammit kolmesta puusta, jotka kasvavat Kautz Creekin jokiterassilla Wonderland Trailin vieressä (kohta PI kuvassa 6; vrt. myös kuva 9). Nämä 200–300-vuotiaat havupuut selvisivät mainiosti vuoden 1947 lokakuun lahareista. Sädekasvu oli melkein poikkeuksellisen suurta vuonna 1948. Tämä johtunee siitä, että laharit tappoivat suurimman osan kilpailevista naapuripuista, minkä vuoksi jäljelle jääneet puut saivat enemmän auringon valoa ja ehkäpä ravinteitakin. Seuraavina vuosina juuristojen päälle levinneen lahara-aineen vaikutus kuitenkin jo ilmeni kasvun heikkenemisenä. Vuoden 1953 jälkeen sädekasvu onkin sitten keskimäärin suurempaa kuin ennen laharien esiintymisvuotta; näin on laita erityisesti tutkitun vuorihemlokin tapauksessa. Kasvun kiihtyminen puiden ikääntymisestä huolimatta johtunee siitä, että henkiin jääneet puut olivat sopeutuneet 5–6 vuodessa muuttuneisiin maaperäoloihin mm. kasvattamalla uutta juuristoa laharpitteeseen.

Fig. 10. Ring-width series for this century representing three conifers growing on the terrace of Kautz Creek at Wonderland Trail (location PI in Fig. 6; see also Fig. 9). These 200 to 300 year old trees revived excellently from the October, 1947 lahars. Radial growth was exceptionally rapid in 1948. This was possibly caused by the fact that the lahars killed most of neighbouring trees so that survivors, freed from their rivals, received more solar radiation and maybe also more nutrients. However, in the following years the suffocating effect of the lahar cover resulted in a decreasing growth rate. Since 1953 the radial growth has once more been faster than in the decades prior to the lahars. This is especially true in the case of the mountain hemlock studied. The acceleration in growth, despite the ageing of the trees, may be due to the adaptation of the surviving trees over 5 to 6 years to changed soil conditions, for example by growing new root system into the lahar deposits.

tamaiseksi viuhkaksi (kuva 6). Kerrostuman paksuus on paikoin jopa 9 metriä. Ainesta kulkeutui runsaasti myös Nisquallyjokeen.

Kautz Creekin vuoden 1947 laharien kuljettamaksi sedimenttimääräksi on arvioitu lähes 40 milj. m³.



Vuoden 1947 laharit kaatoivat ja tuhosivat jokivarsimetsät Kautz Creekin alajuoksulla. Hieman kauempana laakson laidoilla puut kuolivat mutta jäivät pystyyn (Frehner 1957: 8). Yleisesti ottaen laharit ovat yksi vaikkakin melko merkityksetön metsäntuhoaja Mount Rainierilla (Hemstrom & Franklin 1982).

Joen yläjuoksullakin laharit tuhosivat joen reunatasanteen puita (kuva 9). Monet liejuvirran kokeneet ja sen alle osittain peittyneet puut jäivät kuitenkin eloon. Joidenkin puiden kasvu romahti laharien jälkeisenä vuonna tai vuosina. Toisten puiden kasvu vain parantui, kun laharit olivat tuhonneet ympäristöstä kilpailevat puut ja helpottaneet siten eloon jääneiden puiden valon ja ravinnon saantia (kuva 10).

Laharien jälkeistä kasvillisuuden paluuta alueelle on tutkittu (Frehner 1957; Ballard 1963; Brubaker ym. 1982). Nopeinta kasvillisuuden sukkessio on ollut niissä tuhoalueen kohdissa, missä on paljon pystyyn jääneitä keloja. Keloista karissut aines on edistänyt puiden ja muiden kasvien juurtumista ja kasvamista muutoin hyvin vähäravinteisella alustalla. Punaleppä (*Alnus rubra*) on kuitenkin poikkeus. Se kasvaa varsinkin hyvin avoimilla ja karuimmillakin paikoilla (kuvat 8 ja 9), koska se pystyy sitomaan juurinyströittensä sädesienten (*Actinomyces*) avulla tyypeä maassa olevasta ilmasta. Näin punaleppä parantaa maaperää ja valmistaa tietä esi-

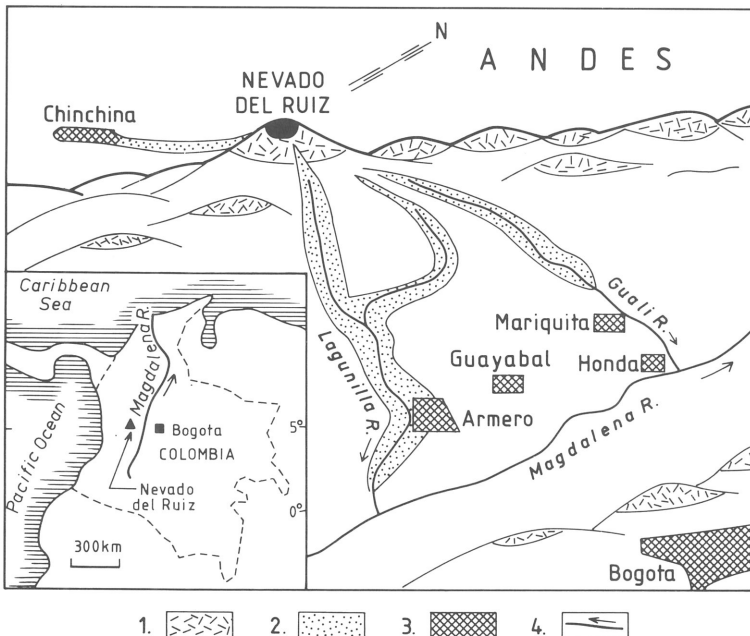
merkiksi vaateliaiden havupuiden saapumiselle.

Nevado del Ruizin vuoden 1985 tappavat laharit

Eteläamerikkalaisessa Kolumbian valtiossa kohoava Andien tulivuori Nevado del Ruiz purkautui tuhoisasti marraskuun 13. päivän iltana vuonna 1985. Ihmiskuolemien määrällä mitattuna tuo purkaus oli yksi historian tuhoisimmista. Tässä luonnon katastrofissa menehtyi noin 23 000 ihmistä. Uhrien suuri määrä ei johtunut itse näyttävästä, tuhkapilvet taivaalle amuneesta kahdesta räjähdyksestä vaan niitä seuranneista tuhoisista lahareista (kuva 11).

Nevado del Ruiz purkautui kunnolla edellisen kerran helmikuun 19. päivänä vuonna 1845. Sen jälkeen se oli pysytellyt hiljaisena. Vuori höyrähteli kuitenkin jo vuoden 1984 joulukuussa ja purkautuikin lievästi vuoden 1985 maaliskuussa ja varsinkin saman vuoden syyskuussa. Nevado del Ruiz purkautui pitkän unensa ja varoitustensa jälkeen räjähdysmäisesti aivan kuten Mount St. Helens viisi vuotta aikaisemmin (Russell 1985).

Niin kuin Kaskadivuoriston tulivuorten (esim. Mount St. Helens ja Mount Rainier) niin myös Andien tulivuorten (mm. Nevado del Ruiz) synty, sijainti ja toiminta liittyvät



Kuva 11. Andien 5403 m korkea Nevado del Ruiz (Kolumbiassa) purkautui 140 vuoden tauon jälkeen tuhoisasti 13. 11. 1985. Purkauksien luomat laharit tappoivat lähes 23 000 ihmistä. Valtaosa kuolleista oli Armeron kaupungin asukkaita. 1. lunta ja jäätä; 2. laharkerrostuma; 3. asutuskeskus; 4. joki. Esitys perustuu Paul J. Pugliesen karttaan, joka on julkaistu Russellin (1985) artikkelissa.

Fig. 11. Nevado del Ruiz a volcano towering to 5403 metres in the Andes of Colombia, erupted disastrously on 13th November, 1985 after a pause of 140 years. Eruption-generated lahars killed almost 23 000 people. Most of them resided in the town of Armero. 1. ice and snow; 2. lahar deposits; 3. town; 4. river. The presentation is based on the map produced by Paul J. Pugliese, published in Russell's (1985) article.

maankuoren laattojen liikuntoihin. Nuo tulivuorethan sijaitsevat vyöhykkeessä, missä raskas basalttinen merenpohjan laatta työntyy kevyemmän mantereisen laatan alle.

Nevado del Ruizin purkautumista osattiin odottaa. Varoituksia ja evakuoitupyynnöitä esittivät sekä kotimaiset että etenkin ulkomaiset asiantuntijat. Toimenpiteisiin oli aikeita ryhtyäkin. Vuori purkautui kuitenkin liian aikaisin.

Räjähdyksen syöksemät kuumat tuhkaamat sulattivat Nevado del Ruizin rinteille kasaantunutta lunta ja jäää. Muodostunut vesi sekä tulivuoren purkausainekset sekoittuivat yhteen ja vyöryivät laaksoihin sitkeinä ja tuhoisina liejuvirtauksina.

Laharit etenivät 40–50 kilometrin tuntinopeudella pitkin Lagunilla- ja Gualijokien uomia. Lagunillaa myötäillyt lahar tuhosi 80 prosenttisesti tulivuoresta lähes 50 kilometrin päässä sijaitsevan Armeron kaupungin, joka oli varsin vauraan maatalousalueen keskus.

Armeron kaupunkia kohti vyöryvä liejuvirta sai lisävoimaa monista purkausta edeltäneistä tapahtumista. Purkausta edeltänyt kolmipäiväinen sade oli kohottanut huomattavasti Lagunillajoen pintaa. Lisäksi joen uoma oli vielä osittain syyskuisten tulivuoren toimintojen synnyttämien laharien tukkima (Russell 1985).

Gualijoen lahar pyyhkäisi äyräiltään parikymmentä taloa ja huuhtoi pois joen ylittäneen sillan. Jokivarren asukkaat pakenivat Mariquitán ja Hondan kaupunkien suojiin. Tulivuoren länsipuolinen joki kuljetti paikoiltaan 300 taloa ja tappoi noin 1000 ihmistä Chinchinan kahvinviljelykeskuksessa (kuva 11; Contreras ym. 1985).

Alustavien arvioiden mukaan Nevado del Ruizin purkaus tappoi paitsi noin 23 000 ihmistä myös noin 20 000 nautaa. Lisäksi tuho hävitti yli 20 000 hehtaaria viljelysmaata ja 5000 rakennusta. Taloudelliset menetykset on arvioitu yli 3 miljardiksi markaksi (Newell ym. 1985).

Laharien ennustaminen

Tuhoisimmat laharit liittyvät tulivuorten purkauksiin ja ovat ns. kuumia lahareita. Myös sateiden laukaisemat kylmät laharit saattavat olla ihmiselle kohtalokkaita.

Laharien kenties pahin puoli on se, että ne ovat hyvin nopeita eikä niistä yleensä ehditä ajoissa varoittaa vaaravyöhykkeessä asuvia.

Tiedemiehiä ja viranomaisia vaivaavat laharien ennustamisen ja oletettujen tuhoalueiden evakuoimisen ongelmat. Miten voidaan ennakoita tulivuorenpurkaukset ja niihin liittyvät laharit? Kuinka organisoida väestön siirrot? Tiedetään, että turhat evakuoinnit ovat taloudellisesti kalliita ja tekevät ihmiset – viranomaisetkin – vähitellen välinpitämättömiksi.

Inhimillisten ja taloudellisten menetysten vähentämiseksi tulivuorten purkaukset olisi opittava ennustamaan mahdollisimman tarkasti hyvissä ajoin ennen purkausta. Lisäksi olisi pystyttävä jo ennakoon rajaamaan ne alueet, minne laharvirrat todennäköisesti tulevat etenemään. Laharien otaksutuille reiteille tulisi rakentaa suojavalleja ja virtausta jarruttavia tai salpaavia patoja. Uhanalaisten alueiden asuttamista ja niille rakentamista tulisi välttää. Vaarassa eläviä asukkaita on varoitettava ja heille on tiedotettava kaikista suunnitelmista, jotka koskevat tulivuoritoiminnan ja laharien tuhojen minimoimista.

Esimerkiksi Nevado del Ruizin vuoden 1985 tuhosta vulkanologit antoivat lukuisia varoituksia jo monia viikkoja ennen vuoren räjähtävää purkausta. He myös piirsivät kartalle tuskallisen tarkasti tulevien laharien reitit ja tuhoalueet. Niin ikään evakuoitusuunnitelmia oli laadittu. Suunnitelmat vain jäivät valitettavasti toteuttamatta (Contreras ym. 1985; Newell ym. 1985; Russell 1985).

Tulivuorten purkausten ja kuumien laharien ennustaminen ei siis ole enää epätoivoisen vaikea tehtävä. Swanson ja kumppanit (1983) kertovat Science-lehdessä (Vol. 221, No. 4618), kuinka jatkuvan monitoroinnin kohteena olevan Mount St. Helensin purkauksien ennustamisessa on onnistuttu ja opittu. Samaisen lehden kyseisen numeron lähes kaikki artikkelit käsittelevät samaa asiaa.

Mannerlaattojen liikkeistä ja syvällä tulivuoren alla tapahtuvista magman kohoavista liikkeistä aiheutuvat tärinät antavat viitteitä lähestyvistä tulivuoren toiminnan kiihtymisestä. Varsinkin lyhytaikaiset purkautumisenusteet perustuvat paljolta juuri seismiseen seurantaan. Maanpinnan kallistelut ja kohoamiset ynnä muut topografiset muutokset auttavat sekä lyhyt- että pitkäaikaisten purkautumisenusteiden luomisessa. Kraatterin pullostumisilla ja halkeiluilla sekä mannerlaattojen työnnöistä johtuvilla siirroksilla on yhteys tulivuorten purkauksiin. On myös todettu, että tietyt muutokset tulivuoresta tulevien rikkidioksidin ja hiilidioksidin määrissä enteilevät purkauksia.

SUMMARY

Lahars – volcanic devastators

The term *lahar* is an Indonesian word and refers to a water-mobilized flow of volcanic material. Mullineaux and Crandell (1962) give perhaps the aptest definition of a lahar: »The term lahar includes all of the broad textural range of debris flows and mudflows of volcanic origin . . . any unsorted or poorly sorted deposit of volcanic debris that moved and was deposited as a mass and owed its mobility to water.» The water that comes from a volcano or from the rapid emptying of a crater lake gives rise to hot lahars. Cold lahars are caused by heavy rains. In addition, glacier bursts such as jökulhlaups in Iceland (Fig. 1) are in many cases related to volcanism, and lahars in character. Lahars are common on active volcanoes for example in Indonesia, Japan, the Cascade Range of North America and the Andes in South America.

Lahars have 10 to 60 % water by weight. An advancing land mass the water percentage of which is lower than that is called a debris avalanche or some other form of dry mass movement. If the water content is more than 60 % one speaks of a stream with a more or less heavy sediment load. Sometimes the concept »hyperconcentrated flow» is used for a flow in which 20 to 60 % of the weight is water. In terms of water content the hyperconcentrated flow is a kind of intermediate flow between a real lahar and a normal streamflow.

Most lahars consist predominantly of fine-grained, poorly sorted and weakly stratified material and they move fast, sometimes 100 km h⁻¹. In spite of this, however, they are not usually particularly erosive. Their transport capacity, nevertheless, is conspicuous and they can, due to their high viscosity and high »specific gravity», carry huge rock blocks as if on ball bearings.

In spite of a lack of any historical documentation many lahars are dateable. Fragments of trees or other organic remnants which grew or accumulated before the occurrence of the lahar flow can often be found in or under lahar deposits. Radiocarbon datings from buried organic matter may provide quite relevant ages for lahars.

In places lahars have damaged living trees. The ring-width series of those trees frequently reveal the year of hazard because growth collapsed in the following growing season. Deciphering the book of annual tree rings is not always a straightforward matter as can be seen from Fig. 10.

The article describes and analyses three following cases:

(1) The 1980 eruption of Mount St. Helens in the Cascade Range with associated lahars. Figures 2–5 give an idea of the sequence of events of this volcanic scene.

(2) The cold lahars in the Kautz Creek valley of Mount Rainier in the Cascade Range in 1947. Figures 6–10 illuminate results, dimensions and scars of these lahars.

(3) The killing hot lahars on the Nevado del Ruiz volcano in the Andes in 1985. These lahars, triggered by an explosive eruption of the volcano, are presented in Fig. 11.

With respect to human losses the worst characteristic of lahars is their great velocity. If the lahar has already started to move there is generally not enough time to warn people. Therefore, building should not be expanded in those areas under the threat of lahars. People still living in the zone of danger must be informed both

of the potential disasters of volcanism and of plans to prevent or mitigate casualties and material losses. In trying to minimize volcanic disasters it is, of course, of principal importance to learn to predict volcanic eruptions and devastating lahars well before they occur. In this matter scientists have recently advanced at a promising pace.

KIRJALLISUUS

- Alestalo, J. (1971). Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia* 105, 1–140.
- Ballard, T.M. (1963). Some chemical changes accompanying soil development at the Kautz Creek mudflows, Mount Rainier National Park. Julkaisematon opinnäytetyö, University of Washington, Seattle. 75 s.
- Brubaker, L.B., P.W. Dunwiddie & S.C. Porter (1982). Holocene environmental records at Mount Rainier. American Quaternary Association. Guide to field trip A. *AMQUA* 1982. 16 s.
- Contreras, J., P. Lernoux, W.J. Cook & J. Whitmore (1985). Buried alive – a volcanic cascade of mud and lava devastates a town in Colombia and kills thousands. *Newsweek* November 25/1985, 34–40.
- Crandell, D.R. (1968). Mudflow. *Encyclopedia of Geomorphology*, toim. R.W. Fairbridge. Reinhold Book Corporation, s. 763–764.
- Crandell, D.R. (1971). Postglacial lahars from Mount Rainier volcano, Washington. *Geological Survey Professional Papers* 677, 1–75.
- Collins, B.D., T. Dunne & A.K. Lehre (1983). Erosion of tephra-covered hillslopes north of Mount St. Helens, Washington: May 1980 – May 1981. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband* 46, 103–121.
- Fairchild, L. & B. Collins (1982). Trip to Mt. St. Helens. *AMQUA* 1982. 10 s.
- Frehner, H.K. (1957). Development of soil and vegetation on the Kautz Creek flood deposit in Mount Rainier National Park. Julkaisematon opinnäytetyö, University of Washington, Seattle. 67 s.
- Heikkinen, O. (1984). Dendrokronologian menetelmiä ja sovelluksia (Methods and applications of dendrochronology). *Terra* 96, 1–22.
- Hemstrom, M.A. & J.F. Franklin (1982). Fire and other disturbances of the forests in Mount Rainier National Park. *Quaternary Research* 18, 32–51.
- Janda, R.J., K.M. Scott, K.M. Nolan & H.A. Martinson (1981). Lahar movement, effects, and deposits. *Professional Papers of U.S. Geological Survey* n:o 1250, 461–478.
- Koutaniemi, L. (1982). Mount St. Helens–Entinen Kautz (Mount St. Helens–A lost beauty). *Terra* 94, 122–129.
- Lehre, A.K., B.D. Collins & T. Dunne (1983). Post-eruption sediment budget for the North Fork Toutle River drainage, June 1980–June 1981. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband* 46, 143–163.
- Mullineaux, D.R. & D.R. Crandell (1962). Recent lahars from Mount St. Helens, Washington. *Geological Society of America Bulletin* 73, 855–870.
- Nelson, J.W. (1958). Soil properties related to vegetation and time on the Kautz Creek flood area, Mount Rainier, Washington. Julkaisematon opinnäytetyö, University of Washington, Seattle.
- Newell, D., J. Contreras & P. Lernoux (1985). Searching the valley of death – was the tragedy in Colombia avoidable? *Newsweek* December 2/1985, 30–31.

- Okimura, T. (1983). Rapid mass movements and ground-water level movement. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband* 46, 35–54.
- Russell, G. (1985). Colombia's mortal agony – a volcano unleashes its fury, leaving at least 20,000 dead or missing. *Time* November 25/1985, 12–19.
- Swanson, D.A., T.J. Casadevall, D. Dzurisin, S.D. Molane, C.G. Newhall & C.S. Weaver (1983). Predicting eruptions at Mount St. Helens, June 1980 through December 1982. *Science* 221: 4618, 1369–1376.
- Thorarinsson, S., T. Einarsson & G. Kjartansson (1959). On the geology and geomorphology of Iceland. *Geografiska Annaler* 16, 135–150.
- Uusinoka, R. (1981a). Yleinen maaperägeologia, 1. osa. Kulutusprosessit. Helsingin yliopisto, Geologian laitos, Geologian ja paleontologian osasto. Moniste n:o 2. 83 s.
- Uusinoka, R. (1981b). Yleinen maaperägeologia, 2. osa. Sedimentit ja sedimentaatioprosessit. Helsingin yliopisto, Geologian laitos, Geologian ja paleontologian osasto. Moniste n:o 6. 272 s.
- Voight, B., R.J. Janda, H. Glicken & P.M. Douglass (1983). Nature and mechanics of the Mount St. Helens rockslide-avalanche of 18 May 1980. *Géotechnique* 33, 243–173.
- Waite Jr., R.B., T.C. Pierson, N.S. MacLeod, R.J. Janda, B. Voight & R.T. Holcomb (1983). Eruption-triggered avalanche, flood, and lahar at Mount St. Helens – Effects of winter snowpack. *Science* 221: 1394–1396.