



10

**Eldfjallajörð og
glerjörð – jarðvegur
eldvirkra svæða**



Mynd 10.1. Eldfjallið Pico á Asoreyjum. *Eldfjallajörð* einkennir vistkerfi eyjanna eins og önnur virk eldfjallasvæði jarðar.

Heimkynni eldfjallajarðar

Eldfjallajörð myndast fyrst og fremst þar sem gjóska er meðal móðurefna.

Eldfjallajörð þróast einnig í basísk hraunlög og jafnvel í önnur móðurefni við sérstök umhverfisskilyrði. En víðfeðmustu svæðin þar sem eldfjallajörð er í yfirborði eru gjóskufallssvæði.

10.1. Inngangur – orð, örefni og uppruni

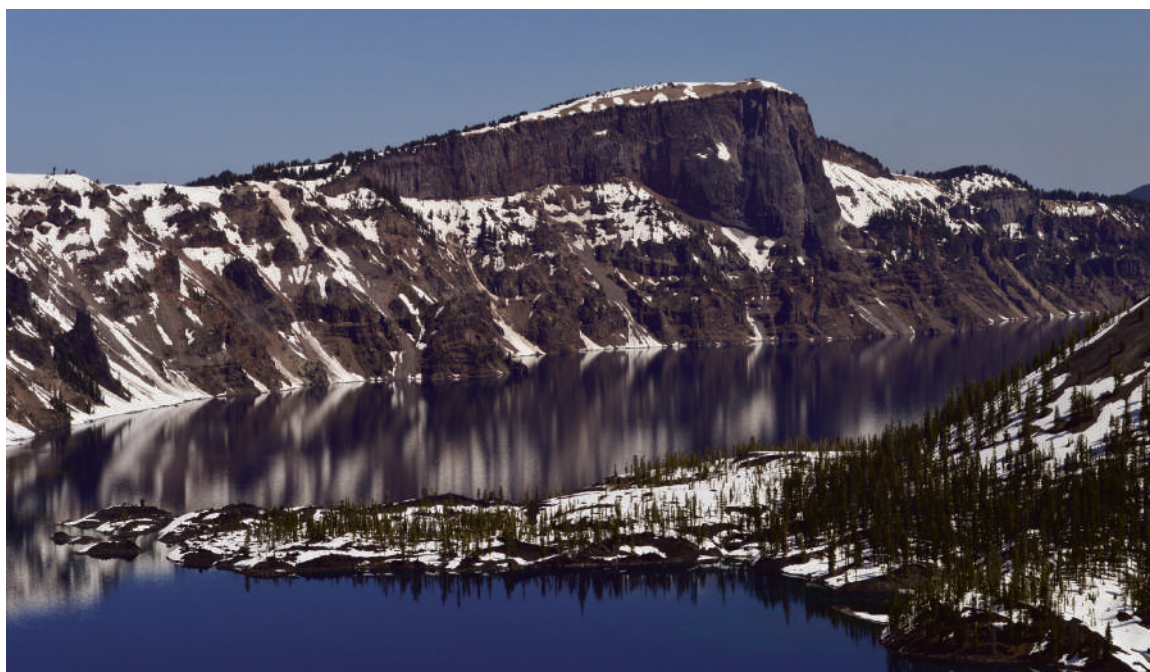
Nú má segja að umfjöllun þessa rits færist til Íslands – allt sem hér er fjallað um skiptir miklu máli fyrir íslenska mold. Mold sem þróast á eldfjallasvæðum er um margt afar frábrugðin öðrum gerðum jarðvegs. Hún er nefnd Andosol í flokkun WRB á jarðvegi heimsins en Andisol í bandaríska kerfinu (Soil Taxonomy). „Ando“ er japanska og merkir dökk (an) jörð eða mold (do). Á íslensku hefur þessi jarðvegur verið kallaður *eldfjallajörð* – sem er hugtak sem náð hefur fótfestu í málinu.

Þýðing orðsins „Andosol“ ætti helst að hafa tilvísun í eldvirkni eða gjósku, t.d. „öskujörð“, „brunajörð“ eða jafnvel „gjóskujörð“. Hugtakið „sortujörð“ er að mörgu leyti heppilegt hugtak fyrir „Andosol“ því það grípur upphaflega merkingu „Ando“ vel. Það vísar þó ekki til eldvirkinnar, sem að margra mati er mikilvægt, og því hefur heitið *eldfjallajörð* náð meiri útbreiðslu. Hugtakið „móajörð“ hefur einnig verið notað (sjá Þorstein Guðmundsson, 1994, 2018). Það vísar þó til ákveðins

gróðurfars og þess að jarðvegurinn sé þurr en hvorugt er einhlítt þegar litið er til *eldfjallajarðar* (Andosol) hérlendis. Hugtakið „mói“ í forskeyti nafnsins skortir alþjóðlega skírskotun og orðið er of líkt *mójörð*, sem er hugtakið fyrir lífrænan jarðveg.

Hugtakið „*gjóskujörð*“ hefur verið notað sem þýðing á „Vitrisols“, sem er til- tölulega ómótaður jarðvegur sem myndast í gjósku – mold sem fyrst og fremst ber einkenni gjóskunnar. „*Glerjörð*“ er einnig hugtak sem hefur verið notað um „Vitrisols“ og nær merkingunni aðeins betur (vitr = gler). Sem fyrr segir eru heiti íslenskra jarðvegsflokka skáletruð í þessu riti til að leggja áherslu á þessi hugtök sem tegundaheiti og festa þau í minni lesandans.

Gjóska veðrast yfirleitt hratt ef nægur raki er til staðar, sem veldur því að jarðvegslaunin öðlast háan styrk ýmissa jóna sem losna við veðrunina, svo sem Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} og Si^{4+} . Ál (Al) og kísill (Si) falla út (kristallast) sem föst efnasambönd með súrefni og hýdroxíði og mynda sérstakar steindir sem eru einkennisteindir *eldfjallajarðar*: allófan, imógólít og halloysít. Járnið



Mynd 10.2. Crater Lake í Oregon í Bandaríkjunum. Gígurinn myndaðist í gríðarlegu sprengigosi fyrir um 7 700 árum, magn gosefna var um 50 km³. Askan lagðist víða yfir vesturhluta Bandaríkjanna og hafði áhrif á jarðvegsmýndun. *Eldfjallajörð* er algeng í nágrenni eldfjallanna á vesturströnd landsins. Mynd ÓA 2019.

fellur út sem hýdroxíð sem nefnt er ferrihýdrít. Hinar katjónirnar, svo sem Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ og Na^+ , skolast að mestu úr yfirborðslögum og jafnvel niður úr moldinni eða falla út í neðri lögum, m.a. sem kalk (CaCO_3) en hafa þó áfram mikil áhrif á sýrustig moldarinnar. Allófan, ímógólít og ferrihýdrít eru ekki blaðsilíkköt eins og annar leir sem myndast í jarðvegi (t.d. smektít og kaólínít). Þetta eru oft illa kristölluð efni, en það hefur vafist fyrir vísindamönnum að skilgreina þau til hlítar og er fjallað nánar um þessar steindir hér á eftir.

Annað aðaleinkenni *eldfjallajarðar* er myndun sérstakra efnasambanda, málm-húmus-knippa eða fjölliða (e. metal-humus complexes, MHC). Auk þess myndast efnatengi á milli allófans og húmusefna. Það einkenni *eldfjallajarðar* að binda lífræn efni veldur því að meira er af þeim og þar með af kolefni í *eldfjallajörð* en í öðrum jarðvegi, að *mójörð* (Histosol) undanskilinni.

Það ferli sem leiðir til þess að knippi og leirsteindir á borð við allófan og ímógólít myndast er stundum nefnt „andolisozation“, sérstaklega í evrópskum heimildum (t.d. Duchaufour, 1977).

Þróun *eldfjallajarðar* svipar að hluta til þess hvernig *barrskógajörð* myndast, en í henni safnast einnig fyrir málm-húmus-knippi (Bh-lag neðan E-lags). Þó munar því að í *eldfjallajörð* er Al, Si, Fe og lífrænum sameindum ekki skolað niður í sérstakt lag þar sem steindirnar og lífræn safnast fyrir (Bt-lag og Bh-lag í *barrskógajörð*), heldur kristallast allófan og ímógólít að mestu í því lagi þar sem efnin losna þegar þau veðrast úr gjóska og frumsteindum. Það sama á við um myndun málm-húmus-fjölliðanna, þær flytjast líklega ekki til í jarðveginum.

Eldfjallajörð er yfirleitt ungur jarðvegur á eldvirkum svæðum. Endurtekin gos skila ferskum bergefnum á yfirborðið sem taka að veðrast og ummyndast.

Þannig heldur nýmyndun jarðvegs stöðugt áfram við yfirborðið eftir því sem ný gjóska fellur til. Þessu er yfirleitt algjörlega öfugt farið í öðrum jarðvegi, jarðvegurinn þróast oftast niður á við og þá er veðrun lengst komin við yfirborðið en yngsti jarðvegurinn er á nokkru dýpi (C-lag). Eftir því sem *eldfjallajörð* verður eldri (þúsundir ára eða $> 10\,000$ ár) verður hún yfirleitt óstöðugri. Aðrar steindir á borð við halloysít, smektít, kaólínít, götheit og gibbsít taka að myndast og þar með aðrar jarðvegsgerðir.

Mótun hugmynda um *eldfjallajörð* sem jarðvegsgerð byggist mjög á þróun sem átti sér stað í tengslum við bandaríska kerfið „Soil Taxonomy“. Stofnaður var sérstakur samstarfshópur til að móta skilgreiningar fyrir þennan flokk (ICOMAND, sjá Parfitt og Clayden, 1991) sem ferðaðist um heiminn um og eftir 1980, tók jarðvegssýni og greindi þau á nokkrum rannsóknastofum, og á þeim grunni voru lögð drög að nýjum jarðvegsflokki. Þróun WRB-kerfisins (FAO, IUSS) tók mið af þeirri vinnu. Því miður náði íslenskur jarðvegur ekki athygli þessa hóps, sem annars hefði örugglega haft áhrif á hvernig *eldfjallajörð* var flokkuð.

10.2. Móðurbergið – gjóska

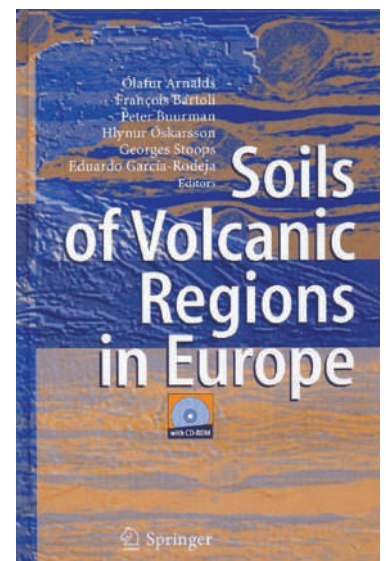
Gjóska er helsta móðurefni *eldfjallajarðar* (mynd 10.4). Hún er skilgreind sem öll loftborin gosefni en einnig gjóskuflóð (e. lahar o.fl.) og gjóska sem berst með jökulhlaupum. Gott dæmi um gjóskuflóð er að finna í hlíðum Mount St. Helens í Washington-ríki í Bandaríkjunum sem myndaðist í gríðarlegri sprengingu árið 1980 (mynd 10.5; sjá t.d. Dale o.fl. 2005).

Gjóska hefur breytilega efnasamsetningu og byggingu sem hefur síðan mikil áhrif á veðrunareinkenni.

Sortueiginleikar

Leirsteindir, lífræn efni, knippi og gjóska gefa jarðveginum sína sérstöku eiginleika sem eru notaðir til að auðkenna *eldfjallajörð* – svokallaða sortueiginleika (e. andic soil properties).

Þessir eiginleikar eru m.a. einkennandi fyrir íslenskan jarðveg.



Mynd 10.3. Yfirlitsrit um *eldfjallajörð* í Evrópu en þar er víða fjallað um íslenskan jarðveg.

Basísk gjóska veðrast hratt

Þeim mun basískari sem gjóska er, þeim mun örur veðrast hún. Raunar er efnaveðrun hraðari í basískri gjósku en í öllum öðrum móðurefnum, að undanskildum auðleystum söltum og kalki.

Kísilrík gjóska (líparít) veðrast aftur á móti mun hægar.

Hún er flokkuð á margvíslega vegu, svo sem eftir efnasamsetningu (basísk gjóska, andesít og líparít) en einnig eftir áferð gjóskunnar (t.d. gler og vikur), kornastærð og örbyggingu (sjá einnig De Paepe og Stoops, 2007). Segja má að yfirborðsflatarmál gjóskunnar skipti meira máli en eiginleg kornastærð því hvert korn kann að vera mjög holótt og með innra flatarmál sem eykur efnavirkni mikið.

Fíngerð gosaska er yfirleitt glerkennd, en glerið er í raun mjög smáar og illa kristallaðar steindir, t.d. ólivín, feldspöt og pýroxen í basískri gjósku. Áferð gjóskunnar má yfirleitt rekja til einkenna eldgossins, t.d. hversu kröftugt það var. Mikið af gleri verður til við gos undir jökli, við snögga kælingu kvikunnar þegar hún kemst í snertingu við vatn, og því er jökulsandur víða mjög glerkenndur á Íslandi (mynd 10.4).

Basísk gjóska inniheldur umtalsvert magn af Ca og Mg sem hjálpar til að viðhalda tiltölulega háu sýrustigi í jarðveginum þegar hún veðrast, sem einnig stuðlar að myndun allófans. Jarðvegur verður oft súrari (lágt pH-gildi) þegar móðurefnin eru kísilrík gjóska,

sem ýtir undir myndun málm-húmus-fjölliða, eins og síðar er vikið að. Mikið yfirborð gjóskunnar og góð vatnsleiðni örva veðrun hennar. Veðrunarhraðinn er vitaskuld einnig háður öðrum þáttum og þá sérstaklega hita, raka, lífrænum efnum, sýrustigi o.fl.

10.3. Allófan, ímógólít, ferrihýdrít og halloysít

Ör veðrun gjóskunnar veldur tiltölulega háum styrk ál og kísils (Al og Si) í jarðvegslauninni, eins og áður sagði. Þessi efni falla út eða kristallast sem allófan og ímógólít, sem eru helstu jarðvegssteindirnar í *eldfjallajörð*. Yfirleitt er mun meira af allófani en ímógólíti, m.a. í íslenskum jarðvegi. Auk þess falla halloysít og ferrihýdrít út í *eldfjallajörð* sem og blaðsilíkött á seinni stigum þróunar jarðvegsins.

10.3.1. Bygging allófans – hvenær er steind steind?

Allófan er kúlulaga steind, 40–50 Å í þvermál (4–5 nm), sem er hol að innan (Dahlgren, 1994; ÓA, 1993). Veggir kúlunnar eru um 0,7–1 nm (7–10 Å) á þykkt (mynd 10.7).

Efnasamsetning og bygging er lík samsetningu kaólíníts, en í stað þess að mynda síendurtekin lög (blaðsilíkat) skreppur grunneiningin saman í eins konar kúlu (sjá McDaniel o.fl., 2012). Ástæða þessarar byggingar er ekki ljós, en er líklega tengd því hve hratt steindin fellur út við ofgnótt af Al og Si. Hlutfall Al og Si í grindinni (Al/Si) er oft nálægt 2, en það er þó afar breytilegt og í íslenskri mold er hlutfallið oftast á bilinu 1 til 1,5.

Bygging allófans er ekki þrívíð í sama skilningi og á við um aðrar bergsteindir í náttúrunni sem geta haldið áfram að vaxa og fylla sífellt stærra rúmmál við það að kristallinn stækkar, eða þá „tvívíð“ eins og leirsteindir (blaðsilíkött),



Mynd 10.4. Eldgos í Eyjafjallajökli. Gjóskan leggst yfir landið og í henni þróast *eldfjallajörð*. Fremst er hin frjósama *eldfjallajörð* undir Eyjafjöllum, að stórum hluta *votjörð* samkvæmt íslenska kerfinu. Hér hafa stór svæði verið framræst.

þar sem hvert lagið leggst þó við hlið annars. Því vefst fyrir mörgum „hreintrúa steindafræðingum“ að skilgreina þessar einingar sem eiginlegar kristallaðar steindir. Þær hafa verið kallaðar bæði „amorf“ (myndlausar eða ógagnsæjar steindir) og „short-range-order“ (stuttar byggingareiningar).

Röntgengeislar¹ eru mest notaðir til þess að greina leirsteindir og byggist greiningin á því að ákvarða þykkt laga blaðsilfíkata. Allófan og ímógólít sjást ekki með röntgengeislum. Allófan og ímógólít sjást hins vegar ágætlega í rafeindasmásjám með gegnumfallandi ljósi (TEM) (mynd 10.7). Einnig er stundum hægt að greina allófan í þunnsneiðum með bergfræðismásjám.

Steindafræðileg uppbygging og skilgreining allófans skiptir ekki meginmáli, heldur virkni steindarinnar í moldinni – en hún er afar virk vegna smæðar sinnar, holrýmis, hleðslu og annarra eiginleika. Algengasta skilgreiningin á allófani er eftirfarandi (á ensku):

„*Allophane: A group of clay-sized aluminosilicate minerals with primarily short-range structural order that contain silica, alumina, and water in chemical combination. It occurs as small spherical particles especially in soils formed from volcanic ash*“ (Parfitt, 1990).

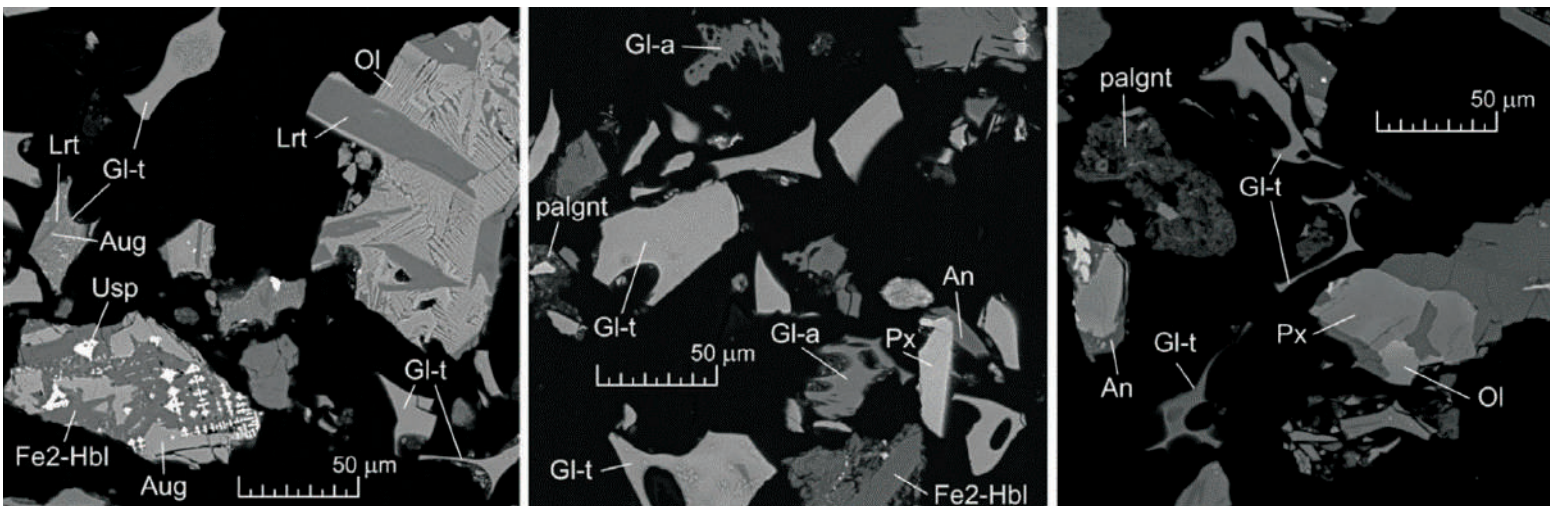


Mynd 10.5. Mount St. Helens árið 2019. Fjallið sprakk og ruddi gríðarlegu efni til vinstri og í átt að þeim stað þar sem myndin var tekin árið 1980. Gróðurframvinda er ör í gjóskuefnum. Eldský af því tagi sem þarna mynduðust geta borist tugi og jafnvel >100 km frá upprunastað, en slík gos eru fágæt á Íslandi.

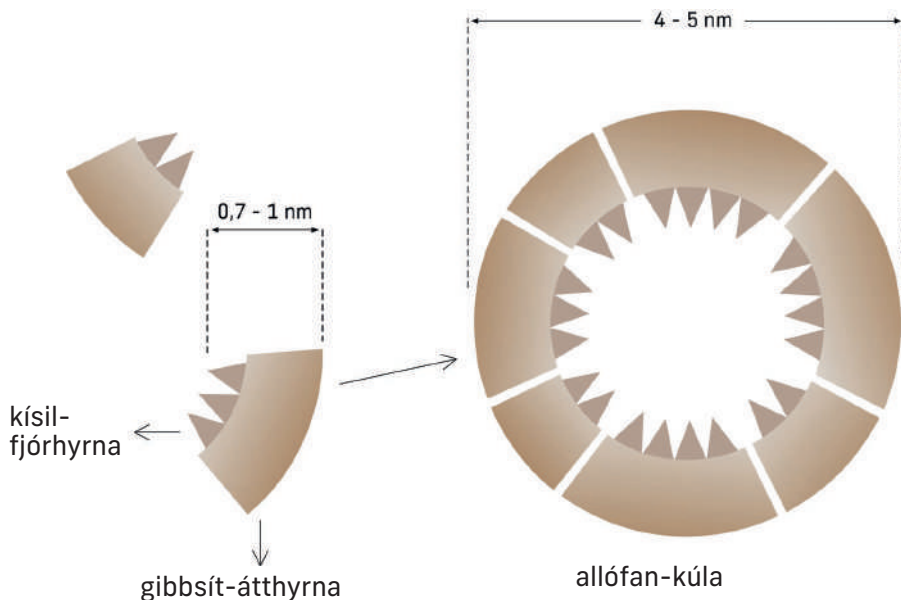
10.3.2. Myndun allófans

Sýrustig og framboð lífrænna efna ráða því hvort myndun allófans eða málm-húmus-knippa verða ráðandi ferlar við þróun *eldfjallajarðar*. Allófan myndast fyrst og fremst ef sýrustigið er hærra en 5. Ef sýrustigið er lágt kemur myndun málm-húmus-fjölliða í veg fyrir að allófan kristallist vegna þess að álið binst lífrænum efnum (mynd 10.8). Mögulega spila aðrir þættir er varða efnafræði áls og kísils þar inn í.

¹ X-ray diffraction, skammstafað „XRD“. „Amorf“ (myndlaust) er óheppilegt hugtak fyrir lýsingu á leir því það er fyrst og fremst háð því hvaða tæki er notað hverju sinni hvort efnið er gagnsætt eða myndlaust.

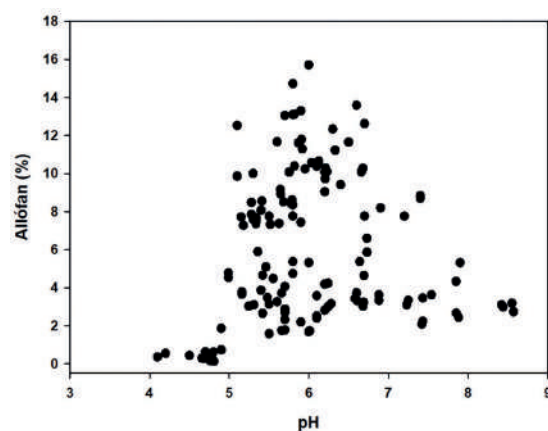


Mynd 10.6. Smásjármyndir af „öskuryki“ sem borist hefur frá söndum á Íslandi. Þessi korn eiga uppruna sinn undir jöklum sunnan við Mælifellssand (Köttlukerfið). Mismikið kristallað efni er í kornunum. Athygli vekur hve óreglulega löguð kornin eru og með hvössum hornum. Tekið úr grein Pövlú Dagsson-Waldhauserova o.fl. (2015).



Mynd 10.7. Allófan-kúlan er mynduð úr kísil-fjórhyrnum (tetrahedra) og gibbsít-líkum átthyrnum (oktahedra) sem raðast saman og mynda knött svipaðan fótbolta sem er saumaður saman úr mörgum einingum. Allófan-kúlan er með „margsprungið“ yfirborð og er hol að innan og þar bætist við holrými. Þess vegna verður yfirborðsflatarmálið gríðarlega mikið (100–800 m²/g). Ímógólít er myndað af þráðum í stað kúlu með sömu byggingu að öðru leyti. Myndin er byggð á teikningu í McDaniel o.fl. 2012.

Allófan er „illa kristölluð“ steind, eins og fyrr sagði, og efnasamsetning hennar og þar með hlutfall áls og kísils (Al/Si hlutfall) er nokkuð breytilegt. Hlutfallið er oft nálægt 2 í Japan og á Nýja-Sjálandi, en gagnagrunnar sýna þó afar breytilegt hlutfall, allt frá <1 til >3. Mismunandi Al/Si-hlutfall hefur ekki verið skýrt almennilega en hér eru tínd til nokkur atriði sem nefnd hafa verið: Þar sem mikið er af Si í jarðvegslausninni



Mynd 10.8. Tengsl myndunar allófans og sýrustigs. Lítið allófan myndast ef sýrustigið fellur niður fyrir pH 5. Gögnin sem hér eru notuð eru fengin úr yfirborðssýnum á Íslandi en svipuð gröf hafa fengist fyrir sams konar mælingar á öðrum eldfjallasvæðum – en sjaldan eins skýrt og hér sést. Gögnin eru fengin úr rannsókn á ¹³⁷Cs-geislavirkni í íslenskri mold (Sigurgeirsson o.fl. 2005).

getur það skolast ofan í neðri lög og fallið út sem „duripan“, þ.e. kísil-harðpanna.

- Al tekur sæti Si í grindinni með „isomorphic substitution“ (Harsh o.fl. 2002).
- Al/Si-hlutfall lækkar oft sem neðar dregur innan sniðs þegar pH hækkar og styrkur Si eykst miðað við styrk Al.
- Þegar sýrustig jarðvegs er 5–6 er Si hreyfanlegra í jarðvegi en ál eða járn og skolast frekar úr jarðveginum. Því verður hlutfallslega meira af áli og járn en ella. Við hærra sýrustig minnkar hreyfanleikinn sem gæti leitt til lægra Al/Si-hlutfalls.
- Þurrkur tefur útskolun á Si og ætti að leiða til lægra Al/Si-hlutfalls.
- Þar sem er mikið af lífrænum efnum er Al tekið út og þar verður hlutfallslega mikið af Si í lausninni miðað við Al.

Hún getur síðan haldist í jarðveginum, enda þótt *eldfjallajörðin* þróist áfram og verði að annarri jarðvegsgerð með myndun blaðsilíkata, en dæmi um slíkt eru algeng í hitabeltinu, t.d. í Indónesíu.

10.3.3. Ímógólít

Bygging ímógólíts er mjög sambærileg við byggingu allófans en í stað kúlu myndar ímógólít þræði (mynd 10.9). Þræðirnir eru um 2 nm í þvermál. Al/Si-hlutfallið er mjög nálægt 2.

10.3.4. Ferrihýdrít

Ferrihýdrít er járnsteind sem fellur út í *eldfjallajörð* þar sem umtalsvert magn af járn er í móðurberginu. Járn er afoxast í loftfirrð, sérstaklega þegar sýrustig er frekar lágt, og verður að Fe²⁺, og er þá

í jarðvegslaun en fellur út aftur sem ferrihýdrít þegar súrefnisstyrkurinn vex (sjá 5. kafla um oxun-afoxun).

Ferrihýdrít er skærrautt að lit og hefur mikil áhrif á heildarlit jarðvegsins. Steindin nefnist „ferrihydrite“ á ensku en nafnið er nokkuð á reiki á íslensku því hún hefur bæði verið nefnd „ferrihýtrat“ og „ferrihýdrít“. Hér er farin sú leið að nota seinna heitið, ferrihýdrít, sem er nær upphaflega heitinu. Þar sem ferrihýdrít fellur mjög hratt út myndar það illa kristallaða steind, eins konar gelkennda ferrihýdrít-klasa. Ferrihýdrít getur síðan ummyndast í aðrar járnsteindir með tímanum, svo sem götheit. Talið er að örverur í vatninu hafi ráðandi áhrif á myndun ferrihýdríts. Sá sem var frumkvöðull við rannsóknir á þessari steind, Þjóðverjinn Udo Schwertmann, tjáði höfundu bókarinnar að fyrstu og bestu sýnin af ferrihýdríti hafi hann safnað á Íslandi, líklega á Suðurlandi. Hann skilgreindi steindina sem járnhydroxíð með stutt efnatengi (e. short-range order) og efnasamsetningu sem væri nærri $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Schwertmann og Taylor, 1989).

10.3.5. Halloysít

Halloysít er algengur leir á eldfjalla-svæðum. Hann myndast einkum í Si-ríku umhverfi en þá er jarðvegurinn oft nokkuð súr. Halloysít er ál-blaðsilíkat með 1:1 byggingu (sjá kafla um leir í jarðvegi) en form þess er mjög breytilegt. M.a. eru þekkt bæði blaðlaga og kúlulaga halloysít.

Halloysít virðist bæði geta myndast við veðrun á allófani eða fallið út úr jarðvegslauninni við veðrun á gjósku, en styrkur Si í launinni verður að vera nokkuð mikill. Svo virðist sem tímabundnir þurrkar í heitari löndum hvetji til myndunar halloysíts því þá eykst styrkur Si í jarðvegslaun tímabundið, t.d. í við Miðjarðarhaf.

10.3.6. Greining leirs í eldfjallajörð

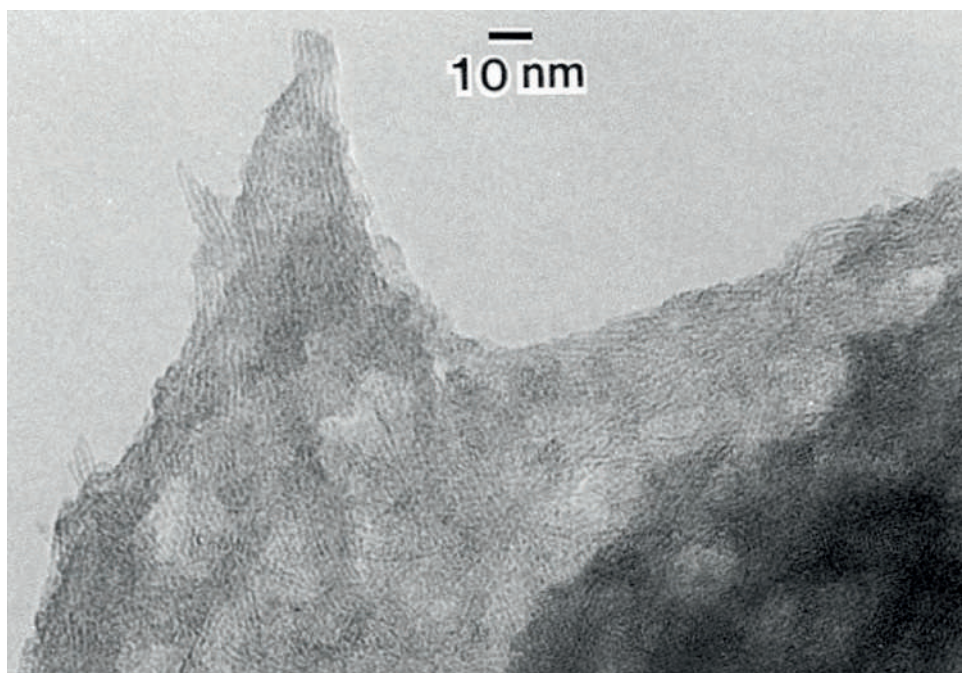
Þær aðferðir sem mest eru notaðar við greiningu á leir í jarðvegi eru kornastærðarmæling með pípettu-aðferð (sjá kafla um kornastærð) og tegundagreining með röntgengeislum. Hvorug þessara hefðbundnu aðferða er nothæf fyrir eldfjallajörð. Í fyrsta lagi bindast allófanagnir í stöðuga klasa af stærðargráðunni silt, og þessum silt-klösum er ekki unnt að sundra með hefðbundnum aðferðum. Þess vegna greinist allófanleir sem silt samkvæmt hefðbundnum kornastærðarmælingum. Dæmi um samanburð á mælingum á íslenskum jarðvegi með hefðbundnum mælingum og oxalat-skoli eru sýnd í 11. kafla.

Ál, kísill og járn sem leysast upp í ammoníum oxalati eru venjulega auðkennd sem Al_{ox} , Si_{ox} og Fe_{ox} , eða Al_0 , Si_0 og Fe_0 í prósentum, þ.e. hve mörg prósent jarðvegsins reynast vera Al, Si eða Fe sem leysast upp í ammoníum oxalati. Þessi gildi eru síðan margfölduð með hliðsjón af efnasamsetningu steindanna sem hér greinir: Hlutfall $(\text{Al}/\text{Si})_{\text{ox}}$ er notað til að áætla samsetningu allófansins, en síðan er Si_{ox} margfaldað

Að greina leir í eldfjallajörð

Langmikilvægasta aðferðin til að greina leir í eldfjallajörð er að leysa hann upp með ammoníum oxalati og mæla síðan magn Si, Al og Fe sem leysist upp (Si_{ox} , Al_{ox} og Fe_{ox}).

Ammoníum oxalat leysir ekki upp blaðsilíkat og önnur vel kristölluð efni en leysir upp illa kristölluð efni og þau sem teljast hafa kristalbyggingu sem er stutt í allar áttir (e. „short-range order“). Efnið leysir m.a. upp allófan, ímógólít og ferrihýdrít, en einnig losnar Al og Fe úr málm-húmus-fjölliðum. Þessi aðferð er notuð við jarðvegsgreiningar á eldfjallajörð víða um heim.



Mynd 10.9. Leirsteindin ímógólít í íslenskum jarðvegi. Myndin er tekin með rafeindasmásjá í Japan. Ímógólít eru þræðir sem hafa svipaða byggingu og allófan.

með stuðli sem yfirleitt er á bilinu 5–8. Landbúnaðarháskólinn hefur notað stuðulinn 6, þ.e. $\text{Si}_{0x} \times 6$, sem tekur mið af $(\text{Al}/\text{Si})_{0x}$ -hlutfallinu 1,5 (sjá Parfitt 1990).

Aðrar aðferðir eru einnig notaðar við rannsóknir á steindum sem einkenna **eldfjallajörð**. Innrauðir geislar eru notaðir til þess að ákvarða hvaða efnatengi eru ráðandi í efnunum, sem gefur vísbendingu um hvaða steindir eru til staðar, en þessi aðferð gefur m.a. sterka vísbendingu um tilvist allófans í jarðvegssýnum.

Elektrónusmásjár hafa einnig reynst gagnleg hjálpartæki við ákvörðun á leir í **eldfjallajörð** (sjá myndir 10.7 og 10.9). Þar sem **eldfjallajörð** hefur þróast það mikið að blaðsilíkköt eru til staðar eru notaðar hefðbundnar aðferðir við tegundagreiningu þeirra, ekki síst með röntgengeislum (XRD), og stundum má greina halloysít á þann hátt.

10.4. Lífræn efni

Eldfjallajörð safnar meira af lífrænum efnum í moldina en aðrar jarðvegsgerðir, að **mójjörð** (Histosol) undanskilinni. Sum hinna lífrænu efna eru afar stöðug, þau rotna lítið og hafa þar af leiðandi langan taftíma í **eldfjallajörð**, jafnvel í hundruð þúsunda ára (Dahlgren o.fl. 2004). Því er óhætt að segja að þau séu fastbundin í moldinni.

Lífrænu efnin hafa mjög mikilvæga eiginleika fyrir frjósemi og hringrás vatns; þau virka í raun svipað og lífkol (e. biochar) sem víða eru notuð til að auka frjósemi jarðvegs. Það eru einkum tvö meginferli sem binda lífrænu efnin:

- Lífrænar sameindir festast við yfirborð allófans með „útskiptingu tengihópa“ þar sem hluti lífrænu keðjunnar tekur sæti jónar í tengihópi við yfirborðið (lífræna efnið skiptir út öðrum tengihópum á allófaninu – e. „ligand exchange“).
- Ál og járn tengjast OH-hópum á lífrænum sameindum þannig að það myndast málm-húmus-fjölliður (e. metal-humus complexes, MHC). Það er oftast ál en járn sem myndar málm-húmus-fjölliðurnar (knippin).

Hafa ber í huga að hvoru tveggja getur myndast í jarðveginum en sýrustigið ræður hvort formið verður ráðandi (sjá mynd 10.8 hér á undan). Það þarf að falla töluvert til af áli við hraða veðrun gjósku til að fjölliðurnar (knippin) myndist, en einnig þarf sýrustigið að vera frekar lágt til að tryggja að styrkur áls sé nógu mikill í jarðvegslausninni (Al^{3+} ; sjá texta um pH í jarðvegi). Við hærra sýrustig er það fyrst og fremst allófan sem kristallast í **eldfjallajörð**.

Jarðvegurinn getur bundið mjög mikið af lífrænum efnum á þennan hátt. Tekið er tillit til þess þegar skilið er á milli **eldfjallajarðar** og **mójarðar**, en **eldfjallajörð** má innihalda allt að 25% C samkvæmt Soil Taxonomy en 20% í flokkun FAO-WRB. Ástæða þess að jarðvegur með svo mikið af lífrænum efnum (12–25% C) er skilgreindur sem **eldfjallajörð** en ekki **mójjörð** er sú að innan þessara marka eru það allófan og málm-húmus-knippin sem ráða eiginleikum jarðvegsins (sortueiginleikar – e. andic soil properties). Að öðru leyti liggja skilin á milli **mójarðar** og annars jarðvegs við 12–18% C, en það fer eftir því hve mikill leir er í moldinni. Þau liggja hærra eftir því sem meira er af leir í moldinni því hann hefur því sterkari áhrif á eiginleika

moldarinnar sem meira er af honum. Nokkrar ástæður hafa verið nefndar fyrir því af hverju ál-húmus-fjölliðurnar rotna svo hægt í jarðvegi. Þeirra á meðal er áleitrun sem hamlar starfsemi örvera (flestar lífverur eru mjög viðkvæmar fyrir áleitrun), fosfórskortur því fosfórinn binst einkar fast og er ekki aðgengilegur örverum, og að lífrænu efnin gagnist ekki örverum af einhverjum öðrum ástæðum.

Nokkrar aðferðir eru notaðar til þess að ákvarða magn málm-húmus-knippa. Leysa má upp ál og járn sem bundið er í knippunum með pýrófosfatlausn. Magn áls og járns sem losna á þann hátt (Al_{pyr} og Fe_{pyr} eða Al_p og Fe_p) gefur til kynna magn þessara knippa.

Pýrófosfat hefur þann eiginleika að leysa ekki upp leirsteindirnar, en oxalat leysir upp ál bundið í lífrænum efnum, allófani og ferrihydriti. Þegar búið er að mæla bæði Al_{pyr} og Al_{ox} má reikna út hve stór hluti álsins er bundinn lífrænum efnum (Al_{pyr}/Al_{ox}). Ef hlutfallið er yfir 0,5 (þ.e. meira en helmingur) má segja að ál-húmus-knippi séu ráðandi í jarðveginum en allófani, ímógólít og ferrihydrit ef hlutfallið er <0,5. Einnig eru til mun flóknari aðferðir til að leggja mat á gerð lífrænna sameinda í jarðveginum, m.a. með því að nota sterkar sýru- og basalausnir (sem leysa upp mismunandi hluta lífrænna efna), en ekki verður farið út í þá sálma hér, enda er í raun mjög óljóst hvers konar niðurstöður þessar aðferðir gefa.

10.5. Hugtök tengd eldfjallajörð

Sortueiginleikar (e. andic soil properties)

Sortueiginleikar eru lykilhugtak fyrir skilgreiningu og greiningu á eldfjallajörð. Hér er fyrst og fremst átt við eiginleika sem skapast vegna allófans, ferrihydrits

og ímógólíts annars vegar og hins vegar málm-húmus-knippa í jarðveginum. Sem fyrr sagði vísar „andic“ til hins dökka litar sem eldfjallajörð tekur oft á sig. Því er hugtakið „sortueiginleikar“ dæmi um þýðingu á þessu hugtaki. Eldfjallajörð þarf ekki að vera svört á lit, en sortueiginleiki vísar til þess hlutar jarðvegsins sem yfirleitt er dökkur og ljær honum helstu eiginleika eldfjallajarðar.

Sortueiginleikar (e. andic properties) eru notaðir við greiningu jarðvegs sem eldfjallajarðar og eru þessir helstir:

- **$(Al + \frac{1}{2}Fe)_{ox}$.** Magn áls og járns sem leysist úr jarðveginum í ammoníum oxalat-laun. Gefur til kynna magn steinda og lífrænna fjölliða.
- **Lítill rúmpyngd.**
- **Fosfórbinding** (jarðvegurinn bindur fosfór í stöðug efnasambönd).
- **Gjóska og/eða gler** (skilgreinir glereiginleika).

Svartlag (e. melanic epipedon)

Svartlag er dökkt húmusríkt yfirborðslag sem er dæmigert fyrir fremur lífrænt lag í eldfjallajörð. Húmusinn er mikið rotnaður og trúlega að stórum hluta á formi málm-húmus-knippa eða fastbundinn allófani. Yfirleitt er miðað við að svartlagið hafi >6% C og bæði gildi og ára (e. chroma) séu dekkri en 2 (Soil Taxonomy og WRB) samkvæmt Munsell-litakerfi. Orðið „epipedon“ í heitinu vísar til yfirborðslaga. Einnig er miðað við svokallað „melanic index“ sem krefst nokkuð mikilla efnagreininga

á jarðvegi. Japanir tengja svartlagið gjarnan við graslendi þar sem mikið fellur til af lífrænum efnum. Dökk lífræn mold í birkiskógum hérlendis gæti fallið undir svartlag – en þörf er á frekari rannsóknum á því.

Fölvalag (e. fulvic horizon)

„Fulvic“-jarðvegslag (fölvalag) er sama eðlis og svartlagið en ljósara (fölara). Það er þó yfirleitt dökkliða, t.d. dökkbrúnt, nema þegar ljós gjóska hefur áhrif á litinn eða ferrihýdrít litar jarðveginn mjög rauðan, sem er algengt hér á landi. Litamunurinn er yfirleitt frekar tengdur mismunandi gróðurfari erlendis og þá oftast skóglendi, t.d. beyki í Japan. Shoji, sem er einn frumkvöðla rannsókna á eldfjallajarðvegi og flokkunar hans, lagði mikla áherslu á þennan mun sem síðan endurspegladist í mismunandi gerðum lífrænna sameinda í jarðveginum. Við skilgreiningu á fölvalagi eru gerðar sömu kröfur fyrir lífræn efni (>6% C) en jarðvegurinn er ekki eins dökkur og í svartlaginu (e. melanic).

Þessi aðgreining á milli sortulags og fölvalags í *eldfjallajörð* endurspeglar



Mynd 10.10. Vatnsósa („hydric“) jarðvegur á Asoreyjum sem einkennist af miklu magni af málm-húmus-knippum. Hann inniheldur um 150% vatn við visnunarmark gróðurs (þ.e. þegar hann er „þurr“) og þessi mold sýnir sterk einkenni kvikuhegðunar. Yfirborðið dúar þegar gengið er á þessu landi.

japanskar áherslur og er e.t.v. vafasöm með hliðsjón af íslenskum aðstæðum. Ástæðan er sú að ferrihýdrít, ljós gjóska, afoxun í votlendi og áhrif jarðvegsfrots á rakastigið móta jarðvegslitinn mjög mikið án þess að eiginlegur munur á lífrænum sameindum þurfi að vera til staðar.

„Vatnsósa“ eiginleikar (e. hydric)

„Vatnsósa“ eiginleikar vísa til jarðvegs sem getur bundið gríðarlega mikið vatn. Miðað er við að jarðvegur sem telst „vatnsósa“ innihaldi >100% vatn við visnunarmark (15 bara togspenna) eða sem samsvarar því að jafnmikið vatn sé í moldinni og nemur þurrvigt jarðvegsins. Það er semsagt gríðarlega mikið vatn í jarðvegi sem telst þurr! Jarðvegur sem telst hafa vatnsósa eiginleika inniheldur yfirleitt mikið af allófani eða ferrihýdríti, eða af málm-húmus-fjölliðum. Þessum eiginleika fylgir oft kvikuhegðun („thixotropic“) jarðvegsins (kviksyndi). Vatnsósa *eldfjallajörð* kemur einkum fyrir þar sem lífrænar fjölliður einkenna moldina (aluandic), t.d. á Asoreyjum, Havái, Ekvador og Mexíkó, en þessi einkenni þekkjast einnig hérlendis. Ástæða þótti til að draga þessi einkenni fram í sérstökum jarðvegsflokki, m.a. vegna verkfræðilegra eiginleika (Parfitt og Clayden, 1991), enda geta traktorar sokkið djúpt og jafnvel horfið í svona mold, sem dæmi eru t.d. um á Havái.

Kvikuhegðun (e. thixotropy) – skriðuföll og önnur vandræði

Eldfjallajörð getur haldið gífurlega miklu magni af vatni, jafnvel við frekar þurrar aðstæður eins og áður sagði. Jafnframt skortir oftast blaðlaga leirinn sem er mikilvægur fyrir samloðun jarðvegsins. Ef jarðvegur sem er mjög ríkur af allófani og/eða málm-húmus-knippum er tiltölulega vatnsmettaður inniheldur hann mjög mikið vatn (íðulega 200–300% miðað við þurrvigt jarðvegsins, mynd 10.10). Við þær aðstæður er hann

afar viðkvæmur fyrir raski. Hann kann að virðast hafa sæmilega samloðun en við minnsta rask getur hann náð flæðimarki (sjá kafla um samloðun og Atterbergmörk hér á eftir) og hegðar sér þá sem vökvi. Slíkur jarðvegur er sagður hafa kvikuhegðun (e. thixotropic).

Glerkennd gjóskuefni (e. vitric materials)

Hugtakið „vitric“ er ættað úr latínu þar sem það þýðir gler eða eitthvað sem er glerkennt. Ekki er ljóst af hverju þetta orð var valið en ekki „tephra“ sem hefur breiðari merkingu (gjóska) og er því að mörgu leyti heppilegra, en trúlega hafði það ekki náð almennri viðurkenningu áður en „vitric“-hugtakið kom til. „Vitric“ eða glerkennt moldarlag einkennist af gjósku (þar með gleri) eða frumsteindum í gjósku.

Mold með glerkenndu jarðvegslagi í yfirborði er því yfirleitt ung (nýleg gjóska) og getur síðar þróast það mikið að leirsteindir og málm-húmus-knippi ráði jarðvegseiginleikunum. Rétt er að hafa í huga að gjóska sem móðurefni hefur allt aðra eiginleika en aðrar frumsteindir og bergtegundir, m.a. vegna þess að hún hefur oft mikið holrými og yfirborðsflatarmál (jafnvel upp í $10\text{ m}^2/\text{g}$),

öfugt við t.d. kvars sem er uppistaðan í jarðvegi á flestum sandsvæðum jarðar. Gjóska getur því haft moldareiginleika sem eru sambærilegir eiginleikum í mun þroskaðri jarðvegi af annarri gerð.

10.6. Þrjár megingerðir eldfjallajarðar

Skipta má eldfjallajörð í þrjár megingerðir: allófanríka eldfjallajörð, málm-húmusríka eldfjallajörð og gjóskuríka eldfjallajörð. Þessar megingerðir eru grunnurinn að frekari flokkun eldfjallajarðar sem mikilvægt er að hafa í huga og verða m.a. notaðar við frekari skiptingu í flokkunarkerfi fyrir íslenskan jarðveg.

Allófanríkur jarðvegur („silandic“-jarðvegur) myndast þar sem pH helst sæmilega hátt (>5) og allófanið myndast í jarðveginum við það að ál og kísill falla út með súrefni og hýdroxíði. Ef sýrustigið er lægra teppist álið í húmusknippum og fellur ekki út sem allófan. Aðstæður sem stuðla að pH 5–7 mynda hagstæð skilyrði fyrir þessa gerð eldfjallajarðar. Þar má nefna basísk móðurefni sem losa Ca^{++} og Mg^{++} tiltölulega hratt og



Mynd 10.11. Jarðvegssýni frá Asoreyjum sem sýnir kvikuhegðun. Kögglinum (til vinstri) var velt nokkrum sinnum í lófanum (rask) sem olli því að moldin náði flæðimarki (til hægri). Dæmigerð kvikuhegðun eldfjallajarðar sem m.a. útskýrir hættu á skriðum í hlíðum.

Skriður og mold á eldfjallasvæðum

Skriðuföll verða ansi mörgum jarðarbúum að aldurtíla. Skriðuföll eru því miður tíð á eldfjallasvæðum og orsakast íðulega af þeim sérstöku eiginleikum *eldfjallajarðar* sem hér hefur verið lýst, þ.e. sérstæðum Atterberg-mörkum (gríðarlega hátt flæðimark en skortur á samloðun), háu vatnsinnihaldi, vatnsósa (e. hydric) eiginleikum og kvikuhegðun. Hlíðar eldfjalla eru því íðulega viðkvæmar og hætt er við skriðuföllum.

Með vaxandi fjölgun fólks á eldfjallasvæðum í Afríku, Mið-Ameríku og Asíu hefur álag á land aukist mjög. Þetta hefur aukið hættuna á skriðum sem hafa valdið miklu manntjóni á þessum landsvæðum. Hættast er við skriðuföllum þar sem gengið hefur verið á landsins gæði, þannig að þegar miklir úrkomuatburðir verða, t.d. þegar fellibyljir ganga yfir, er geta vistkerfisins til að halda kerfinu saman skert. Mikil úrkoma fyllir síðan moldina umfram flæðimark og þyngd kerfisins miðað við samloðun þess verður of mikil í hlíðunum sem leiðir til skriðufalla. Í sumum tilfellum getur rask á borð við jarðskjálfta eða umferð komið skriðu af stað. Aurskriður eru algengar á Íslandi og þar gilda sömu lögmál og á öðrum eldfjallasvæðum.



Mynd 10.12. Til vinstri: Aurskriða sem féll í Colonia Las Colinas í El Salvador árið 2001. Yfir 700 manns fórust í skriðunni. Jarðskjálfti kom skriðunni af stað. Mynd: Jarðfræðistofnun Bandaríkjanna (USGS).

Til hægri: Aurskriða í Kinnarfjalli í Suður-Þingeyjarsýslu. Upptökin eru við snjóbráð í vorleysingum sem hefur mettað moldina sem gaf síðan undan vegna þunga, en auk þess mynda ljós öskulög úr Heklu eins konar skriðplan sem eykur á hættuna. Mynd: Halldór G. Pétursson.

jarðveg með nægjanlega mikið af ferski gjósku.

Jarðvegur þar sem málm-húmus-knippi (fjölliður) eru ráðandi („aluandic“-jarðvegur) er einkennandi þar sem sýrustig er frekar lágt og bæði ál og járn bindast lífrænum sameindum, eins og minnst var á í kafla um lífræn efni. Þessi jarðvegsgerð virðist einnig einkennandi fyrir mjög þróaða eða „eldri“ *eldfjallajörð*, enda lækkar sýrustig jarðvegsins eftir því sem innihald hans af basískum katjónum (t.d.

Ca⁺⁺ og Mg⁺⁺) minnkar með tímanum.

Með gjóskuríkum jarðveg (Vitric Andosol) er átt við tiltölulega lítið veðraðan jarðveg sem þó hefur öðlast nægjanleg einkenni til að geta kallast *eldfjallajörð*. Er þá fyrst og fremst miðað við greiningu á Al_{ox} og Fe_{ox} (>0,4%, og gnægð glers).

Við þróun FAO-WRB-flokkunarkerfisins var jarðvegi og jarðvegslögum skipt í þrjár megingerðir: „aluandic“ og „silandic“ auk „vitric“ (Shoji o.fl. 1996). „Aluandic“-jarðvegur einkennist af

málm-húmus-knippum og er oftast súrari en „silandic“-jarðvegur og inniheldur lítið af allófani. „Silandic“ *eldfjallajörð* einkennist fyrst og fremst af allófani og/eða ímógólíti (sjá mynd 10.13). Víst er að þessi tvö meginferli sem mynda leir annars vegar og knippi hins vegar eru mikilvæg fyrir þá eiginleika sem *eldfjallajörð* öðlast.

Hins vegar má efast um réttmæti þess að nota þessi tvö meginferli sem grundvöll flokkunar því langalgengast er að jarðvegur hafi einkenni beggja, og raunar hefur gjóska einnig áhrif á margar gerðir *eldfjallajarðar*. Þetta á sérstaklega við hér á Íslandi þar sem jarðvegur inniheldur mikið af öllum þessum þáttum, þ.e. gjósku og gleri, allófani og ferrihýdríti og málm-húmus-knippum.

10.7. Jónrýmd (CEC)

Leir og lífræn efni í *eldfjallajörð* hafa jónrýmd. Hvorutveggja einkennir *eldfjallajörð* og því er jónrýmd hennar yfirleitt mikil, oft 20–50 meq/100g. Það sem er sérstakt við *eldfjallajörð* er að jónrýmdin er háð sýrustigi moldarinnar. Þessi eiginleiki er fyrst og fremst bundinn við *eldfjallajörð* og jarðveg hitabeltisins (ál- og járnleirsteindir). Jónrýmd blaðsilíkata stafar alla jafna af því að jónir með minni hleðslu taka sæti jóna með meiri hleðslu í kristalbyggingu leirsteindanna, t.d. Al^{3+} í stað Si^{4+} . Við þetta verður til neikvæð hleðsla og þar með skapast katjónrýmd (CEC). Þessi hleðsla er stöðug og breytist ekki þótt pH jarðvegsins breytist.

Katjónrýmd leirefna og lífrænna efna í *eldfjallajörð* er mikil, sem fyrr sagði, en eykst hratt með pH og getur auðveldlega tvöfaldast úr pH 5,5 í pH 8,2 (mynd 10.14). Fyrirnefnda sýrustigið (5,5) gæti táknað náttúrulegt sýrustig jarðvegsins en aftur á móti er algengt að mæla jónrýmd við pH 8,2. Sú aðferð er vitaskuld ekki heppileg

fyrir *eldfjallajörð*, og er þá oftast reynt að mæla jónrýmd við pH jarðvegsins eða í stuðpúðalausn (bøffer) sem ekki er fjarri sýrustigi jarðvegsins, en betra er að nota stuðpúðalausn, m.a. til að sýrustigið breytist ekki meðan á jónaskiptum stendur við mælinguna. Landbúnaðarháskólinn mælir jónrýmd iðulega við pH 7.

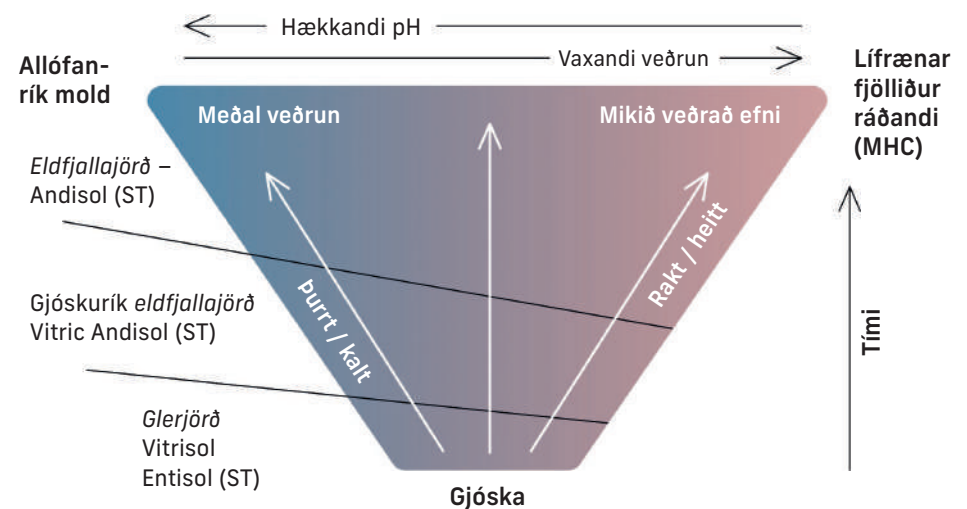
Sá eiginleiki *eldfjallajarðar* að halda í anjónir vegna anjónrýmdar er mikilvægur því að á meðal þeirra jóna sem jarðvegurinn getur haldið í er NO_3^- , en á því formi taka plöntur mest upp af nitri. Það skolest auðveldlega úr jarðvegi, og rétt er að geta þess að þrátt fyrir anjónrýmd er þessi jón mjög laust bundin í *eldfjallajörð*, en anjónrýmdin tefur eigi að síður úr útskolun á nitri.

10.8. Fosfórbinding og aðrir efnaeiginleikar

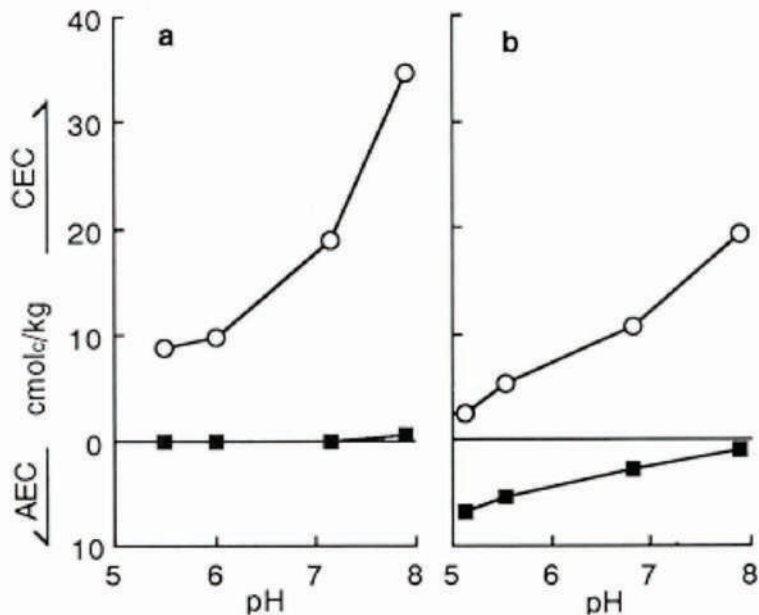
Eitt meginleiki *eldfjallajarðar* er að fosfór binst við öragnir moldarinnar. Þetta telst eitt af greiningareinkennum *eldfjallajarðar*, þ.e. fosfórbinding er notuð til að skilgreina sortueiginleika

pH-háð jónrýmd

Jónrýmd allófans, ímógólíts, ferrihýdríts og málm-húmus-knippanna er með nokkuð öðrum hætti en annarra blaðsilíkata. Hún breytist við það að OH^- -sameindir bætast við sem jónrýmdarsæti á ögnunum eftir því sem sýrustigið hækkar (mjög einfölduð framsetning!). Þar að auki geta þessar agnir einnig haldið anjónum (anjónrýmd, AEC) sem blaðsilíköt gera yfirleitt ekki.



Mynd 10.13. Þrjár ásar *eldfjallajarðar*. Gjóska (neðst á myndinni) veðrast eftir því sem umhverfið mótast, fyrst verður til gjóscurík *eldfjallajörð* (Vitric Andisol, ST; raunar oftast sem Vitrand en einnig sem Vitricryand hér á landi), en mikið af *brúnjörð* á Íslandi fellur í þann flokk. Með meiri veðrun verður til allófan-rík mold þar sem sýrustig helst sáemilega hátt, t.d. þar sem er hlutfallslega þurrt eða ekki mjög heitt loftslag (uppi til vinstri), en með meiri veðrun, t.d. í röku og heitu loftslagi eða þar sem gjóska er fremur súr (kísilrík), verða málm-húmus-knippi (fjölliður) ráðandi (uppi til hægri). Byggt á ÓA, 2013.



Mynd 10.14. Bæði anjónrýmd og katjónrýmd (CEC) er háð sýrustigi í *eldfjallajörð*. Anjónrýmdin lækkar með hækkandi sýrustigi en katjónrýmdin hækkar ört með hækkandi pH.

(e. andic properties). Fosfórsambönd komast mjög nálægt yfirborði agnanna og festast þar við lífræna og ólífræna efnahópa. Þetta veldur því að mikið af fosfóraburði er notaður við ræktun í *eldfjallajörð*, t.d. í Japan og víðar. Það á einnig við hérlandis. Fosfórinn safnast smám saman fyrir í jarðveginum í miklum mæli við endurtekna áburðargjöf. Með þessari uppsöfnun aukast þó líkur á að eitthvað af fosfór sé á lausu fyrir viðgang plantna. Þó að ókostir fylgi fosfórbindingu *eldfjallajarðar* í ræktun og landgræðslu hefur þessi eiginleiki þann kost að minni hættu er á að fosfórmengun berist í grunnvatn, ár og læki þar sem fosfór er notaður til áburðar.

Eitt sérkenni *eldfjallajarðar* er að sé veikri NaF-lausun bætt í moldina skýst sýrustigið upp úr öllu valdi. F⁻-jónin sest utan á öragnir moldarinnar, bæði leir og lífrænar fjölliður, og tekur sæti OH⁻ sem fer þá í moldarlausnina og þar með hækkar pH. Þessi eiginleiki er oft notaður til að ákvarða hvort moldin hafi sortueiginleika á vettvangi og var stundum notaður við skilgreiningu á *eldfjallajörð*.

Mikil jónrýmd gerir það að verkum að moldin bindur auðveldlega eitraðar

málmjónir í jarðveginum og getur því mengast til frambúðar. Á móti kemur að moldin getur varið grunnvatn fyrir mengun.

Eitt þeirra meginefna sem berast sem úrfelli (e. fallout) við notkun kjarnorkuvopna, eða frá kjarnorkuslysum á borð við það sem varð í Chernobyl, er lítill jón sem nefnist sesín (¹³⁷Cs⁺). Hún binst afar fast í efstu lögum jarðvegs til framtíðar. Geislavirkt sesín hefur 30 ára helmingunartíma og finnst ennþá í umtalsverðum mæli í mold, m.a. á Íslandi, eftir kjarnorkutilraunir Bandaríkjanna og Sovétríkjanna í andrúmsloftinu, og hefur þá einkum borist frá svokallaðri Tsar-vetnis-sprengju Sovétmanna 1961 (sjá Magnús Sigurgeirsson o.fl. 2005).

10.9. Eðliseiginleikar

10.9.1. Rúmþyngd

Það er eðli *eldfjallajarðar* að vera létt í sér, sem er notað sem mikilvægt greiningareinkenni fyrir *eldfjallajörð* (einn hluti sortueiginleika). Rúmþyngd *eldfjallajarðar* þarf að vera minni en 0,9 g/cm³ samkvæmt skilgreiningu til að jarðvegurinn flokkist sem slíkur. Aðrar jarðvegsgerðir eru gjarnan með rúmþyngd 1-1,3 g/cm³. Rúmþyngd *eldfjallajarðar* er yfirleitt mun minni en 0,9 g/cm³, t.d. hefur íslenskur jarðvegur iðulega rúmþyngd 0,6–0,7 g/cm³ og sjá má tölur allt niður í 0,15 g/cm³ í gögnum um íslenska og erlenda *eldfjallajörð*. Eðlisþyngd allófans er aftur á móti nálægt 2,9 g/cm³, sem og basísks móðurbergs og glers (ösku). Því er ljóst að stór hluti jarðvegsins er holrými og í því rúmast mikið vatn.

10.9.2. Vatnsrýmd

Mikil vatnsrýmd er einn af megin-eiginleikum *eldfjallajarðar*. Þetta holrými

er af mörgum stærðarflokkum þar sem vatnið er í mismikilli snertingu við agnir jarðvegsins. Því nær ögninni sem vatnið er, þeim mun fastar er það bundið. Yfirborðsflatarmál örefna í *eldfjallajörð* er mjög mikið og því er mikið vatn í henni sem er tiltölulega fastbundið. Þetta kemur skýrt fram þegar vatnsinnihald við visnunarmörk jarðvegsins (15 bör) er kannað.

Algennt er að vatnsinnihald við visnunarmark sé >40% en í sumum tilfellum jafnvel meira en 100% (miðað við þurrvigt jarðvegsins). Þetta er eitt af sérkennum *eldfjallajarðar*. Svokölluð vatnsósa-einkenni (e. hydric) eru miðuð við að jarðvegurinn innihaldi >100% vatn við visnunarmörk, sbr. umræðuna hér á undan.

10.9.3. Ísig og vatnsleiðni

Vegna þess að *eldfjallajörð* hefur mikið holrými streymir vatn greiðlega inn í jarðveginn. Sumar þær tölur sem fást við mælingar á *eldfjallajörð* eru stærðargráðu hærri en gengur og gerist um annan jarðveg á þúrlendi (ef *sandjörð* er undanskilin). Því verður oft minna vatnsrof í *eldfjallajörð* en öðrum jarðvegi, jafnvel þótt jarðveginum sjálfum sé hætt við vatnsrofi vegna skorts á samloðun.

Sá jarðvegur sem leiðir best vatn er moldarjarðvegur (e. loam), einkum sá sem inniheldur mikið af silti. Þar sem allófan-klasar eru af siltstærð virka þeir svipað og ef um siltkorn væri að ræða þegar kemur að vatnsleiðni. *Eldfjallajörð* leiðir því vatn mjög vel og betur en annar jarðvegur. Þessi eiginleiki skiptir einnig máli þegar kemur að frosti, sökum þess hve vatn leiðir vel að frostbylgjunni. Því er *eldfjallajörð* flokkuð sem frostnæm (e. frost susceptible), þ.e. mikil hætta er á myndun holklaka, rúmmálsbreytingu við yfirborðið og frostskemdum, sem jafnframt geta losað um jarðveginn í bröttum hlíðum.

10.9.4. Samloðun *eldfjallajarðar*

Fjallað var um samloðun jarðvegs og svokölluð Atterberg-mörk í kaflanum um eðlisþætti (6. kafli). Samloðun getur verið fjarskalega lítil í *eldfjallajörð*, og að þessu leyti er hún afar frábrugðin öðrum jarðvegsgerðum, en þessi skortur á samloðun skýrir um margt óstöðugleika og aðra hegðan hennar. Á næstu blaðsíðu er birt að nýju graf úr 6. kafla ásamt stuttri útskýringu á Atterberg-mörkum (mynd 10.15).

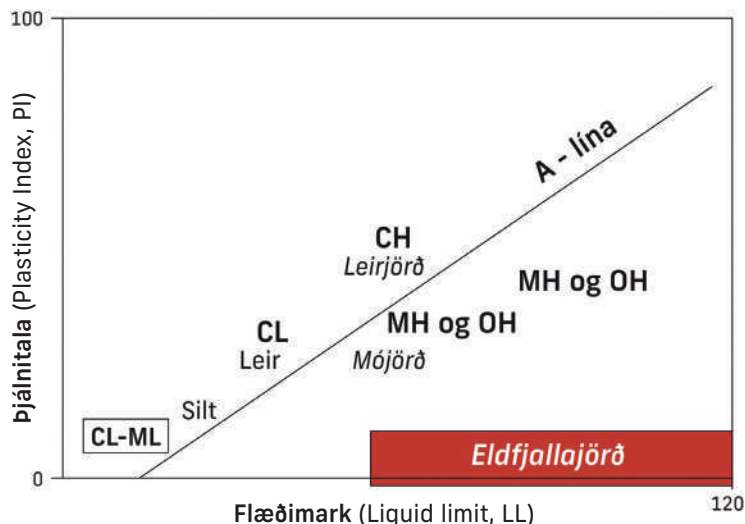
Ef tekinn er fullkomlega þurr moldarjarðvegur er hann óþjáll: það er ekki hægt að móta hann með fingrunum. Þegar vatni er bætt í verður moldin að lokum þjál og þá er hægt að hnoða hana til án þess að hún molni sem þurr efni. Þetta mark er nefnt þjálnimark (e. plastic limit) táknað með PL. Ef haldið er áfram að bæta vatni í moldina nær hún að lokum því marki að verða vatnsmettuð og tekur að renna til sem vökvi. Við þetta vatnsinnihald hefur moldin náð flæðimarki sínu (e. liquid limit), táknað sem LL. Þjálnitala (e. plasticity index), táknuð sem PI, er skilgreind sem mismunurinn á þessum tveimur mörkum: LL-PL, eða:

$$PI = LL - PL$$

(Þjálnitala = flæðimark – þjálnimark)

Flæðimarkið gefur um leið til kynna vatnsinnihald við vatnsmettun, sem eru mikilsverðar upplýsingar. Þjálnitalan er vísbending um hve mikið vatn moldin getur bundið, en er þó mun ónákvæmari aðferð en þær sem lýst er í 4. kafla um vatn. Þegar gildum fyrir þjálnitölu (PI) er varpað á y-ásinn og flæðimarki á x-ásinn virðast hinar ýmsu jarðvegsgerðir heimsins raðast á línu sem nefnd er A-lína (mynd 10.15).

Eldfjallajörð sker sig þó heldur betur frá öðrum jarðvegsgerðum að þessu leyti. Flæðimarkið er alla jafna mjög hátt



Mynd 10.15. Graf sem sýnir tengsl þjálnitölu og flæðimarks, svokallað Casagrande-graf. *Eldfjallajörðin* sker sig heldur betur frá öðrum jarðvegsgerðum, með mjög hátt flæðimark en afar lága eða neikvæða þjálnitölu. Moldin getur auðveldlega orðið að fljótandi drullumassa og runnið niður hlíðar í skriðuföllum.

(mikil vatnsheldni) en jarðvegurinn hefur ákaflega takmarkað bil þar sem hann getur talist þjáll og því er þjálntalan mjög lág – getur jafnvel orðið neikvæð samkvæmt þeim aðferðum sem notaðar eru. Því lendir rauði kassinn á myndinni að hluta til niður fyrir gildið núll fyrir þjálntölu. Í öðrum jarðvegsgerðum eru það vitaskuld blaðsilíkköt sem ljá moldinni þjálnti þegar hún er rök, sbr. leirefni sem hægt er að hnoða og móta. Það á ekki við um leir í *eldfjallajörð*.

Þessi sérstaki eiginleiki *eldfjallajarðar* sem lýst er á mynd 10.15 getur haft mikil áhrif á stöðugleika moldarinnar. Þegar flæðimarkinu er loksins náð inniheldur

moldin gríðarlega mikið vatn. Hún er þá mjög þung í sér og skortir samloðun. Verði hún fyrir raski getur hún öðlast vökvaeiginleika og þá geta fallið mjög hættulegar aurskriður. Kvikuhegðun *eldfjallajarðar* sem áður var lýst tengist einmitt þessum eiginleika. Þar sem mikil hætta er á skriðuföllum vegna þess að saman fara brattar hlíðar og *eldfjallajörð* er mikilsvert að traust gróðurhula sé á yfirborðinu, helst með djúpstæðu rötarkerfi sem heldur moldinni stöðugri allt árið um kring.

Þá er einnig mikilvægt að veita vatni frá slíkum svæðum þar sem verja þarf mannvirki, þ.e. minnka líkur á að moldin nái flæðimarki. Rask við þessar aðstæður getur verið hættulegt, s.s. beit þungra dýra (hross og nautgripir) og ofsaveður, jafnvel með snjóbráð. Á mynd 10.16. er dæmi um rándýrar verkfræðiaðgerðir til að minnka hættu á skriðuföllum samfara vegagerð á Hokkaídó-eyju í Japan.

10.9.5. Harðpönnur

Gjóska getur límst saman af ýmsum orsökum og orðið að svokölluðum harðpönnum (e. hard-pans, indurated soil horizons), en slíkt er algengast í hitabeltinu (sjá kafla um *hitabeltisjörð*). Gosefnin geta bæði hafa borist með lofti eða í eðjuflóðum. Límingin getur stafað af eins konar móbergsmýndun eða



Mynd 10.16. Verkfræðilegar aðgerðir til að hamla skriðuföllum á nýgerðan veg um hálendi Hokkaídó-eyju í Japan. Japanir reyna einnig að halda í öflugra skógarhulu í fjallshlíðum til að minnka hættu á skriðum.

að steindir á borð við allófan-ímógólít og smektít tengja kornin saman, sem og kísill og járn. Harðpönnur finnast víða á eldfjallasvæðum og geta haft afar neikvæð áhrif á vatnsbúskap og ræktunarskilyrði. Meðfylgjandi mynd (mynd 10.17 til hægri) sýnir harðpönnu í basískri gjósku á Asoreyjum, en hún minnir um margt á víðfeðmar harðpönnur sem liggja undir yfirborði á Rangárvöllum (mynd 10.17 til vinstri) og víðar. Rof sem fjarlægir mold ofan af harðpönnum veldur miklu tjóni í ræktun í Mexíkó (e. tepetates – Servenay og Pratt 2003) og víðar.

10.10. Flokkun eldfjallajarðar

10.10.1. Megineinkenni (e. central concept)

Áður var vikið að sortueiginleikum (e. andic properties) sem notaðir eru til að skilgreina *eldfjallajörð*. Það er oxalat-skolun og mæling á Al_{ox} , Fe_{ox} og Si_{ox} sem er mælikvarði á einkennisleir og málm-húmus-knippi í *eldfjallajörð*.² Það eru einmitt þessi agnarsmáu efni – örefnin – sem gefa jarðveginum flesta þá eiginleika sem við köllum sortueiginleika. Þessi mæling er því sú sem skiptir mestu máli við greiningu á *eldfjallajörð*.

Al er meginefnið í allófani og ímógólíti (leirnum) og er að finna í málm-húmus-knippunum. Því er það notað, ásamt Fe_{ox} sem er í ferrihýdríti og járn málm-húmus-knippum, séu þau til staðar.

Jarðvegur þarf að hafa $>2\%$ $(Al+\frac{1}{2}Fe)_{ox}$ til að teljast til *eldfjallajarðar*.² Undantekning er þó ef jarðvegurinn inniheldur gler (gjósku), eins og síðar verður vikið að, en þá minnka kröfurnar um innihald $(Al+\frac{1}{2}Fe)_{ox}$. Það á einmitt við um nær alla mold á Íslandi.

Það megininkenni *eldfjallajarðar* að hún bindur fosfór er einnig notað við flokkun hennar og verður fosfórbindingin að vera $>70-90\%$ samkvæmt staðlaðri aðferð (70% samkvæmt FAO-WRB og 90% samkvæmt Soil Taxonomy).

Eldfjallajörð er létt í sér og með mikið holrými, en það er leirinn og lífrænu knippin sem gefa jarðveginum þennan eiginleika. Afleiðing þess er að hann getur bundið mjög mikið af vatni. Þessi eiginleiki er einkennandi fyrir alla *eldfjallajörð* og mjög mikilvægur. Því er síðasta greiningareinkennið að rúmþyngd jarðvegsins verður að vera minni en $0,90\text{ g/cm}^3$.

Ef þessum þremur skilyrðum hefur verið fullnægt telst jarðvegurinn vera *eldfjallajörð*. Sömu einkenni eru notuð

2. Algengt er að vísa til nýsjálensks heftis eftir Blakemore o.fl. (1987) um aðferðir til að ákvarða helstu eiginleika *eldfjallajarðar*.



Mynd 10.17. Harðpönnur á Geitasandi á Rangárvöllum (til vinstri) og á Asoreyjum (til hægri). Pönnurnar koma í veg fyrir að vatn berist ofan í moldina og geta valdið miklu vatnsrofi í úrfelli og við snjóbráð á vetrum á Íslandi.

í Soil Taxonomy og WRB. Rétt er að hafa í huga þau skil sem eru á milli *eldfjallajarðar* og *mójarðar*, sem áður var vikið að. *Eldfjallajörð* getur haft allt að 25% af kolefni (Soil Taxonomy) en samt sem áður flokkast sem *eldfjallajörð*. Blaut *eldfjallajörð* á Íslandi getur fallið undir Gleysol samkvæmt WRB.

10.10.2. Glerjörð (Vitrisol)

Það er meginkenntisning við flokkun á mold að leggja beri til grundvallar eiginleika jarðvegs sem hafa mótast við jarðvegsmyndun. Þannig eiga þættir eins og loftslag, gróður eða móðurefni ekki að ráða flokkuninni einir og sér, jafnvel þótt þeir hafi áhrif á hvernig jarðvegur myndast. Þetta er þó ekki einhlítt þegar á hólminn er komið. Bandaríska kerfið notar til dæmis loftslag sem meginþátt við skiptingu í flokka eftir jarðvegsgerðum. En sú ætlan að binda jarðvegsflokka við ferli jarðvegsmyndunar er ein helsta ástæða þess að skilgreining á lítið veðruðum gjóskuríkum jarðvegi fór í umdeildan farveg í stóru flokkunarkerfunum, að mati höfundar.

Í fyrstu var gerður skýr greinarmunur á gjóskuefnum (e. vitric) og sortuefnum (e. andic materials) þar sem gjóskuefnin taka eiginleikana frá gjóskunni en jarðvegsmyndun hefur aftur á móti myndað sortueiginleikana (e. andic properties). Svo er ekki lengur, heldur er slakað á kröfunni um $>2\%$ $(Al+\frac{1}{2}Fe)_{ox}$ sé gler til staðar þegar rétt hefði verið að aðgreina þessar tvær tegundir *eldfjallajarðar* betur. Þetta atriði skiptir höfuðmáli fyrir flokkun á íslenskri mold – því stór hluti jarðvegs landsins ($>40\%$) telst vera glerkenndur (e. vitric), þ.e. jarðvegur auðna. Niðurstaðan er sú að jarðvegur auðna og mólendis er hafður í sama flokki á efstu stigum bæði Soil Taxonomy og að hluta í WRB.

Við skilgreiningu á flokknum *eldfjallajörð*³ í Soil Taxonomy (síðar tekið upp

af WRB) var ákveðið að taka með hluta þess jarðvegs sem telst vera *gjóskujörð* eða *glerjörð* (e. vitric) af því að menn höfðu það á tilfinningunni („it was felt“ ... orðrétt úr texta ICOMAND) að slíkur jarðvegur ætti heima með *eldfjallajörð* ef hann hefði ummerki sortueiginleika. Því var bætt við þeirri skilgreiningu að glerjörð sem hefði $>0,4\%$ $(Al+\frac{1}{2}Fe)_{ox}$ þ.e. mælanlega sortueiginlega í gjóskuefnunum, teldist til *eldfjallajarðar* en *glerjörð* sem næði ekki þessu marki teldist til *frumjarðar* (Entisol í Soil Taxonomy, Leptosol í WRB).

Eftir því sem glerinnihald minnkar aukast síðan kröfur um $(Al+\frac{1}{2}Fe)_{ox}$ – innihald línulega, eins og sjá má í meðfylgjandi grafi (mynd 10.18). Þess ber að geta að íslenskur jarðvegur auðna hefur oftast $>(Al+\frac{1}{2}Fe)_{ox}$ og telst því til *eldfjallajarðar* (Andisol/Andosol) samkvæmt stóru kerfunum.

Eftir að byrjað var að flokka glerkennda mold (e. vitric) með þeirri aðferð sem hér var lýst var farið að flokka *glerjörð* á grundvelli sortueiginleika, sem verður að teljast umdeilanlegt. Benda má á að samkvæmt meginhugmyndum WRB geta móðurefni ráðið flokkun jarðvegs ef það er mikilvægasta einkenni hans.⁴

Soil Taxonomy notar vatnsinnihald þurrs jarðvegs (15 bara togspenna) til að skilgreina Vitrandis (Vitric Andosols) (15% vatnsinnihald mælt í sýnum sem hafa verið þurrkuð en 30% í sýnum sem hafa ekki verið þurrkuð) (Soil Survey Staff 1999) en hafa að öðru leyti sortueiginleika ($>0,4\%$ $(Al+\frac{1}{2}Fe)_{ox}$) ef mikið er af gleri/gjósku, eins og lýst er hér að ofan. Soil Taxonomy skilgreinir Cryand á undan Vitrandis, sem þýðir að á öðru stigi fellur megnið af íslenskri mold undir Cryand en síðan sem Vitricryand á þriðja stigi. Það verður að teljast afskaplega bagalegt að svo ólíkar jarðvegstegundir og þær sem þekja auðnir landsins og gróna jörð skuli ekki vera aðskildar á efsta

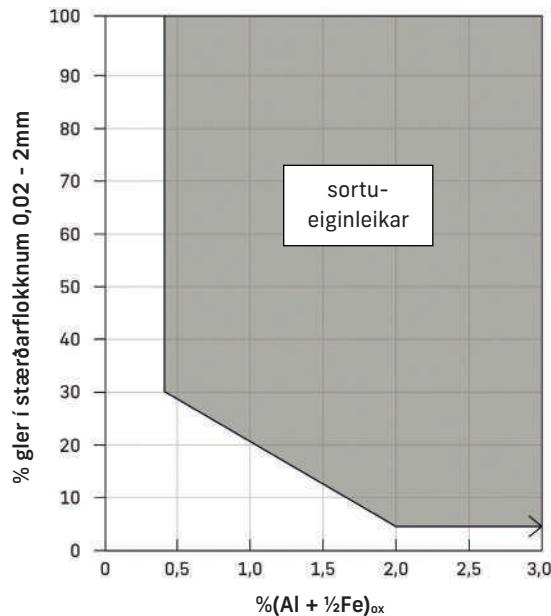
3. Settur var á fót sérstakur alþjóðlegur starfshópur til að móta flokkun *eldfjallajarðar* (Andisol) fyrir Soil Taxonomy undir forsæti Nýsjálandings. Starfshópurinn skilaði inn 10 framvinduskýrslum (ICOMAND) sem eru mjög fróðlegar heimildir um hvernig hugmyndir um flokkun jarðvegs þróuðust og um þróun þekkingar á *eldfjallajörð*. Grein Shoji o.fl. 1996 gefur til kynna hvernig flokkun *eldfjallajarðar* (Andosol) þróaðist í FAO-WRB kerfinu, en mjög er byggt á vinnu ICOMAND.

4. „... at the higher categoric level classes are differentiated mainly according to the primary pedogenetic process that has produced the characteristic soil features, except where 'special' soil parent materials are of overriding importance“. FAO-WRB, 1998.

þrepinu. WRB fer hins vegar þá leið að skilgreina „vitric vísieiginleika“ (e. vitric diagnostic properties) en auk þess að efnið skuli standast þær skilgreiningar sem settar voru fram hér á undan, svipað og Soil Taxonomy – sem er eiginlega sérkennileg hringekja. Betra er að skilgreina *glertjörðina* sérstaklega – Vitrisols á grundvelli „glereiginleika“ (e. vitric properties).

Af þessu má ráða að aðferðir WRB og Soil Taxonomy hafa ýmsa galla þegar kemur að íslenskum jarðvegi. Þær treysta um of á ammoníum oxalat-aðferðina, en ÓA og Sigurður Gíslason (2002) hafa bent á að við mælingar á jarðvegi í basískri gjósku kunni oxalatið einnig að leysa upp illa kristallað gler þannig að aðferðin mæli ekki einvörðungu allófan og húmusknippi. Kísilrík gjóska veðrast hægt, sérstaklega í þurru loftslagi, og er því ekki sérstaklega rík af allófani. En við núvarandi flokkun tapast upplýsingar um jarðveg á heimsvísu, *glertjörðin* er flokkuð sem eitthvað annað (*frumjörð*), sérstaklega ef gjóska er kísilrík í þurru loftslagi. *Glerjörð* væri hægt að skilgreina á grunni „vitric“ jarðvegseiginleika (vísieiginleika) og væri þá skilgreind á eigin forsendum en ekki þeim sem byggja á sortueiginleikum. Það er að hluta til gert í íslenska kerfinu sem kynnt er í næsta kafla.

Gjóskuefnin mynda mjög sérstæðan jarðveg með sérstaka eiginleika hvar sem er, jafnvel þótt ekki hafi myndast mikið af allófani í jarðveginum sem réttlætir sérstaka flokkun, ekki síst á Íslandi, eins og vikið er að í kafla um flokkun jarðvegs á Íslandi. Þessir eiginleikar eru mikilvægir með tilliti til landnýtingar, hættu á skriðuföllum o.fl. er leiðir af skorti á samloðun. Einnig er slíkur jarðvegur mjög mikið nýttur til hvers kyns ræktunar, t.d. á vínvið, eins og á eyjunni Santorini í gríska Eyjahafinu (mynd 10.19). Ekki hefur þessi leið verið farin í öllum flokkunarkerfum að sameina hluta



Mynd 10.18. Minnkandi kröfur um sortueiginleika mældir sem $(Al + \frac{1}{2}Fe)_{ox}$ sýndar á x-ás eftir því sem gler/gjóskuinnihald jarðvegsins vex (y-ás).

gjóskujarðar við *eldfjallajörð* en setja ómótaða gjósku í aðra jarðvegsflokka. Flokkun Nýsjálendinga, sem Alan Hewitt er aðalhöfundur að, gerir ráð fyrir lítið veðruðum gjóskujarðvegi (e. Pumice Soils) og einnig flokkunarkerfi FitzPatrick's (Vitrons). Hjá Lbhí (áður Rala) hefur þessi sama leið verið farin varðandi flokkun, enda er þessi flokkur jarðvegs sá útbreiddasti á Íslandi (sjá kafla um íslenskan jarðveg).



Mynd 10.19. *Glerjörð* á eyjunni Santorini í gríska Eyjahafinu sem þróast hefur í nokkur þúsund ára gjóskulag. Í þessari mold fer fram margvísleg ræktun, m.a. vínækt. Moldin telst ekki til Andosol (WRB) eða Andisol (ST) þrátt fyrir sérstök einkenni sín sem rekja má til gjóskunnar.

10.11. Útbreiðsla eldfjallajarðar

Það hefur verið áætlað að eldfjallajörð þeki um 1,2 milljón ferkílómetra jarðar (sjá Kimble o.fl., 2000). Miðað við þessa tölu má ætla að 5–7% eldfjallajarðar séu á Íslandi. Útbreiðslan er þó í raun illa þekkt því jarðvegur hefur ekki verið kortlagður á mörgum þeirra svæða þar sem mikið er af eldfjallajörð og dreifingin er víða slitrótt.

Helstu svæðin eru á eldvirka beltinu umhverfis Kyrrahaf og á eyjaklösum í Indónesíu. Stór svæði eru í fjallakeðjunni á Kyrrhafsströnd Alaska og Bandaríkjana en einnig í Ekvador og Chile, í Japan og á Nýja-Sjálandi. Stærsta svæðið í Evrópu utan Íslands er líklega í Frakklandi (Massif Central – Quantin 2004). Þar gekk ísaldarjökull yfir gömul (tertiér) eldvirk svæði og myndaði nýtt yfirborð með gjóskuríkum bergefnum þar sem eldfjallajörð hefur síðan þróast. Þar hefur einnig orðið eldvirkni á nútíma eftir að ísöld lauk. Víða í Evrópu er að finna afmörkuð eldvirk svæði, m.a. á fyrrnefndu svæði í Frakklandi, á Ítalíu, í Grikklandi, á Kanaríeyjum, Asoreyjum, Madeira og á slitróttu beltinu norðan Alpafjalla, m.a.

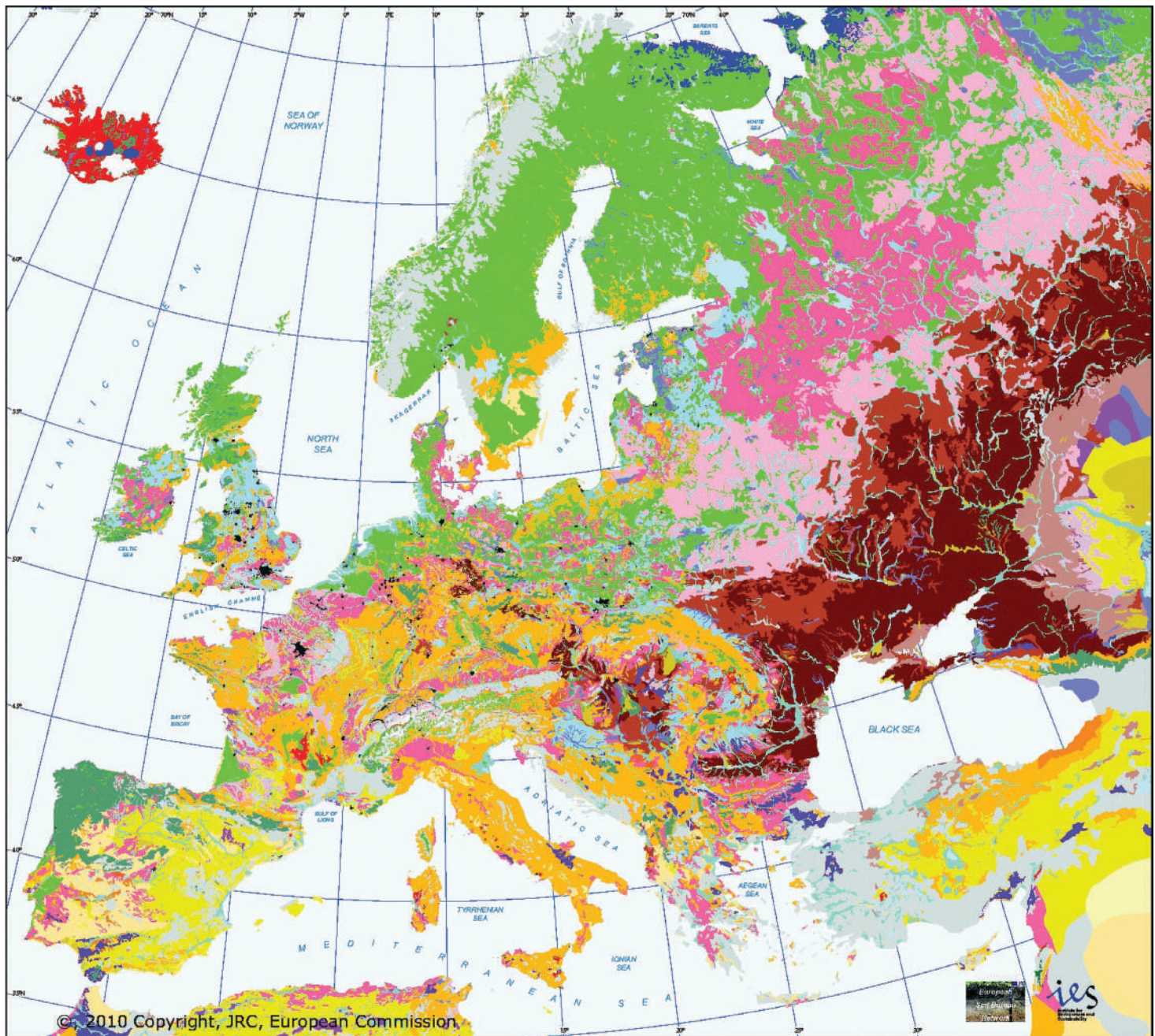
í Þýskalandi, Ungverjalandi, Slóveníu og Rúmeníu.

Eldfjallajörð kemur fyrir í öllum loftslagsbeltum. Þó hefur þurrkur í eyðimerkurloftslagi komið í veg fyrir að veðrun sé nóg til að jarðvegurinn taki eiginleika sína af allófani eða málmhúmus-knippum. Er þá ekki talað um Andosols (WRB) eða Andisols (Soil Taxonomy), heldur ómótaðan jarðveg (Leptosols, Cambisols o.fl., FAO-WRB; Entisols, Inceptisols, Soil Taxonomy). Sönnu nær væri að kalla þann jarðveg *glerjörð*, Vitrisols, Pumice soils eða Tephra soils, eins og gert er á Nýja-Sjálandi og í því flokkunarkerfi fyrir íslenskan jarðveg sem hér er notað, sbr. umfjöllun hér að ofan um flokkun eldfjallajarðar.

Eldfjallajörð er oft og tíðum frjósamur jarðvegur. Víða er þéttbýlt á þessum svæðum. Það skýrist af frjósemi jarðvegsins og þeirri staðreynd að eldfjallajörð myndast einkum þar sem loftslag er frekar rakt og því unnt að stunda jarðrækt. Mörg eldfjallasvæði eru mjög þéttbýl, og talið er að um 10% jarðarbúa búi á slíkum svæðum þrátt fyrir takmarkaða útbreiðslu þessa jarðvegsflokks.



Mynd 10.20. Um hálfrið aldar gömul *glerjörð* á Asoreyjum. Gróður hefur ekki náð fótfestu vegna óstöðugleika yfirborðsins og örrar uppgefunar (vatnsskortur) auk þess sem fræregn kann að vera takmarkað.



- | | |
|--|---|
| Albeluvisols: Súr mold, tungur af E-lagi niður í moldina þar undir. | Leptosols: Grunn mold á hörðu bergi eða grófri mól. |
| Arenosols: Sandjörð. Jarðvegur sem þróast í sand, m.a. fjörur og eyðimerkursandar. | Luvisols: Jarðvegur með leirrikt Bt-lag. Oft jarðvegur laufskóga á norðrhveli. |
| Cambisols: Ungjörð, aðeins þróuð með Bw-lag. | Phaeozems: Dökk en nokkuð veðruð mold með lífrænu yfirborðslagi. |
| Cryosols: Frerajörð. Jarðvegur með sífrera. | Vertisols: Leirjörð. Mikið af smektítleir. |
| Gleysols: Vatjörð. Grunnvatn stendur iðulega mjög hátt. | Podzols: Barrskógajörð – súr mold með E- og Bh-lagi. |
| Histosols: Mójörð. Jarðvegur með mikið af lífrænum efnum. | Regosols: Ungur jarðvegur án skýrra jarðvegslaga. |
| Andosols: Eldfjallajörð. | Solonchaks: Sölt mold vegna söfnunar við uppgefum. |
| Calcisols: Kalkjörð. | Solonetz: Mold með hátt pH og leirrik undirlög með Na. |
| Chernozems: Dökk og frjó graslendisjörð. | Stagnosols: Jarðvegur með kyrrstæðu (fúlu) jarðvegsvatni. |
| Fluvisols: Jarðvegur sem myndast í ársæt og flóðaset. | Technosols: Manngerð mold – leifar búsetu mannsins. |
| Gypsisols: Mikið af gífsi (CaSO ₄) í jarðveginum. | Umbrisols: Ung og súr mold með dökku lífrænu yfirborðslagi. |
| Kastanozems: Graslendisjörð með mikið af lífrænum efnum í yfirborðslögum. | Planosols: Mold þar sem vatn helst af og til í moldinni vegna grófra laga sem hamla vatnsflæði. |

Mynd 10.21. Jarðvegskort af Evrópu (WRB-kerfið). Eldfjallajörð er rauð á kortinu. Ísland á langsamlega mesta hlutdeild í slíkum jarðvegi. Barrskógajörðin er ljósgræn og einkennir barrskóga Fenno-Skandinavíu, hluta Skotlands og Norður-Evrópu. Heimild: Soil Atlas of Europe, Soil Bureau Network 2005.



Mynd 10.22. Þéttbýlt svæði í fjöllum Eþíópíu sem byggist á frjósemi *eldfjallajarðar*. Hver fjölskylda býr á fremur litlum jarðskika, álagið á landið er gríðarlegt en ekki enn yfir þolmörkum.



Mynd 10.23. ÓA skiptist á skoðunum við FitzPatrick, prófessor við háskólann í Aberdeen, um *eldfjallajörð* á Kanaríeyjum. FitzPatrick var meginleiðbeinandi margra evrópskra jarðvegsvísindamanna sem hafa rannsakað *eldfjallajörð*, m.a. Þorsteins Guðmundssonar sem starfaði lengi við Landbúnaðarháskólann og hefur gefið út kennslubók um jarðvegsfræði. Mynd: Hlynur Óskarsson.

Heimildir

Ritað efni um *eldfjallajörð* er af ýmsum toga og skal hér getið nokkurra heimilda sem notaðar voru við samningu þessa kafla. Bók Shoji og félaga (1993, Volcanic Ash Soils, Genesis Properties and Utilization) er ítarleg samantekt, en nokkuð torlesin og komin til ára sinna. Tvö sérhefti vísindatimarita, tileinkuð *eldfjallajörð* (Geoderma, Bartoli o.fl. 2003; Catena, ÓA og Stahr 2004), sem og ítarleg ritgerð Dahlgren o.fl. (2004) eru mikilvægar heimildir um *eldfjallajörð*. Kaflar í Handbook of Soil Science (Kimble o.fl. 2000; McDaniel o.fl. 2012) og Encyclopedia of Soil Science (ÓA 2008) eru helgaðir *eldfjallajörð*. ÓA (2013) ritaði einnig yfirlitsgrein um áhrif gjósku á vistkerfi sem stuðst er við hér að nokkru leyti. Að síðustu má nefna þykka bók með fjölda greina um *eldfjallajörð* sem gefin var út á vegum evrópsks samstarfshóps um jarðveg á eldfjallasvæðum Evrópu: Soils of Volcanic Regions in Europe (ÓA o.fl. 2007) (mynd 10.3). Svipað efni og birtist í þessum kafla er jafnframt að finna í bókinni The Soils of Iceland (ÓA 2015).

Bartoli, F., P. Buurman, B. Delvaux og M. Madeira 2003. Volcanic Soils: Properties and Processes as a Function of Soil Genesis and Land use. Geoderma 117, Special issue. Elsevier, Amsterdam, Holland.

Blakemore, L.C., P.L. Searle og B.K. Daly 1987. Methods for chemical analysis of soils. New Zealand Soil Bureau Science Report 80, Lower Hutt, New Zealand.

Dahlgren, R.A. 1994. Quantification of allophane and imogolite. Í: J.E. Amonette og L.W. Zelazny (ritstj.), Quantitative Methods in Soil Mineralogy. Soil Science Society of America Miscellaneous Publication, Madison, Wisconsin, USA.

Dahlgren, R.A., M. Saigusa og F.C. Ugolini 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. Advances in Agronomy 82:113–182.

Dale, V.H., F.J. Swanson og C.M. Crisafulli (ritstj.) 2005. Ecological Responses to the 1980 Eruption of Mount St. Helens. Springer, USA.

De Paepe, P. og G. Stoops 2007. A classification of tephra in volcanic soils. A tool for soil scientists. Í: Ólafur Arnalds, F. Bartoli, P. Buurman, Hlynur Óskarsson, G. Stoops og E. García-Rodeja (ritstj.), Soils of Volcanic Regions of Europe. Springer, New York, USA. Bls. 119–125.

Duchaufour, P. 1977. Pedology. Þýdd af T.R. Paton. George Allen & Unwin, London, UK.

FAO-UNESCO 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84, FAO, Róm, Ítalía.

Harsh, J., J. Chorover og E. Nizeyimana 2002. Allophane and imogolite. Í: J.B. Dixon og D.G. Schulze (ritstj.), Soil Mineralogy with Environmental Applications. Soil Science Society of America Book Series, Madison, Wisconsin, USA. Bls. 291–322.

Kimble, J.M., C-L. Ping, M.E. Sumner og L.P. Wilding 2000. Andisols. Í: M.E. Sumner (ritstj.), Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, USA. Bls. E209–224.

Magnús Á. Sigurgeirsson, Ólafur Arnalds, Sigurður E. Pálsson, B.H. Howard og Kjartan Guðnason 2005. Radiocaesium fallout behaviour in volcanic soils in Iceland. Journal of Environmental Radioactivity 79:39–53.

McDaniel, P., D.J. Lowe, Ólafur Arnalds og C-L. Ping. 2012. Andisols. Í: Huang, P.M., Y. Li, M.E. Sumner (ritstj.), Handbook of Soil Science 2. útg. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, USA. Bls. 33.29–33.48

Ólafur Arnalds 1993. Leir í íslenskum jarðvegi. Náttúrufræðingurinn 63:73–85.

Ólafur Arnalds 2008. Andosols. Í: W. Chesworth (ritstj.), Encyclopedia of Soil Science. Springer, Dordrecht, Holland. Bls. 39–46.

Ólafur Arnalds 2013. The influence of volcanic tephra (ash) on ecosystems. Advances in Agronomy 121:331–380.

Ólafur Arnalds 2015. The Soils of Iceland. World Soils Book Series. Springer, Dordrecht, Holland.

Ólafur Arnalds og K. Stahr 2004. Volcanic Soil Resources: Occurrence, Development and Properties. Catena 56, Special issue, Amsterdam, Holland.

Ólafur Arnalds og Sigurður R. Gíslason 2002. Validity of oxalate extraction for characterization and Al/Si calculations for vitric Andosols. Mainzer Naturwissenschaft Archiv 40:13–14.

Ólafur Arnalds, F. Bartoli, P. Buurman, Hlynur Óskarsson, G. Stoops og E. García-Rodeja (ritstj.) 2007. Soils of Volcanic Regions of Europe. Springer, New York, USA.

Parfitt, R.L. 1990. Allophane in New Zealand – a review. Australian Journal of Soil Research 28:343–360.

Parfitt, R.L. og B. Clayden 1991. Andisols – the development of a new order in Soil Taxonomy. Geoderma 49:181–198.

Parfitt, R.L. og J.M. Kimble 1989. Conditions for formation of allophane in soils. Soil Science Society of America Journal 53:971–977.

Pavla Dagsson-Waldhauserová, Ólafur Arnalds, Haraldur Ólafsson, J. Hladil, R. Skala, L. Chadimova og O. Meinander 2015. Snow-Dust Storm: Unique case study from Iceland, March 6–7, 2013. Aeolian Research 16:69–74.

Quantin, P. 2004. Volcanic soils of France. Catena 56:95–109.

Schwertmann, U. og R.M. Taylor 1989. Iron oxides. Í: J.B. Dixon og S.B. Weed (ritstj.), Minerals in Soil Environments. 2. útg. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. Bls. 379–438.

Servenay, A. og C. Pratt 2003. Erosion extension of indurated volcanic soil of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis. Geoderma 117:367–375.

Shoji, S., M. Nanzyo og R.A. Dahlgren 1993. Volcanic Ash Soils. Genesis, Properties and Utilization. Developments in Soil Science 21, Elsevier, Holland.

Shoji, S., M. Nanzyo, R.A. Dahlgren og P. Quantin 1996. Evaluation and proposed revisions of criteria for Andosols in the World Reference Base for Soil Resources. Soil Science 161:604–615.

Soil Bureau Network 2005. Soil Atlas of Europe. European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.

Þorsteinn Guðmundsson 1994. Jarðvegslögun FAO með hliðsjón af íslenskum aðstæðum. Fjölrit RALA nr. 167. Reykjavík.

Þorsteinn Guðmundsson 2018. Jarðvegfræði. Myndun, vist og nýting. Háskólaútgáfan, Reykjavík.