



2 Bergefni í moldinni



Mynd 2.1. Bergefni mynda móðurefni moldar. Þau eru af margvíslegri gerð, stærð, efnasamsetningu og kristalbyggingu. Sum bergefnanna – leirsteindir – myndast í moldinni. Á myndinni ber mikið á líparíti sem bergefni, en jarðvegsrof hefur fjarlægt mikið af þeirri mold sem hér hafði þróast og aukið á berangurinn sem opnar sýn á bergefnin.

Bergefni og lífræn efnasambönd eru grunneiningar moldarefna – en moldarefni teljast þær agnir sem eru minni en 2 mm í þvermál. Grófari bergefni taka lítinn þátt í starfsemi moldarinnar. Inn á milli þeirra er holrými sem ýmist er þurr og fyllt lofttegundum á borð við súrefni og koltvísýring eða að hluta eða öllu leyti fyllt vatni (mynd 2.2).

Í vatninu eru margvísleg efni sem taka þátt í lífsstarfsemi og efnahvörfum í moldinni. Bergefni eiga sér uppruna í því bergi sem var til staðar þegar jarðvegurinn tók að myndast eða eru steindir og önnur efnasambönd sem myndast við lífsstarfsemi og efnaveðrun í moldinni sjálfri (sjá 8. kafla um jarðvegsmyndun). Að auki geta bergefni bæst við moldina við setflutninga með vatni og vindi, t.d. með áfoki, sem er heldur betur ráðandi þáttur í jarðvegsmyndun á Íslandi.

Bergefni í jarðvegi eru flokkuð eftir gerð þeirra og kornastærð. Smæstu bergefnin teljast til svokallaðra örefna (e. colloids – sem einnig teljast lífræn efni). Meginhluti bergefna í þessum flokki eru leirsteindir. Örefnin, þ.e. leirsteindir ásamt lífrænum efnasamböndum, ljá moldinni flesta af mikilvægustu eigin-

leikum hennar, svo sem efnavirkni og vatnsheldni. Því er lögð áhersla á leirsteindir í þessum kafla um bergefni en síðar fjallað um lífræn efni.

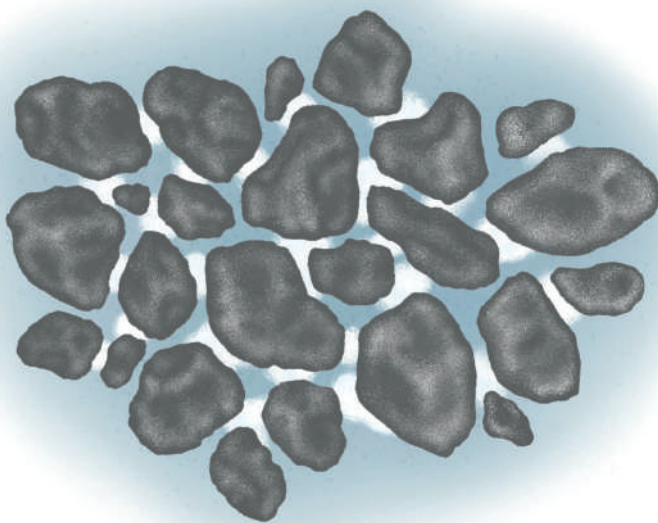
Efnistöð í þessum kafla eru almenns eðlis, en svipaða kafla er að finna í flestum kennslubókum og alfræðiritum um jarðveg (t.d. Weil og Brady 2017) – en sjónarhóllinn er þó íslenskur. Sjónum verður einkum beint að kornastærð og leirsteindum en í 8. kafla er fjallað um jarðfræði og bergtegundir í tengslum við jarðvegsmyndun. Leirsteindafræðin stendur traustum fótum innan jarðvegsfræðinnar, enda myndast flestar algengustu leirsteindirnar fyrst og fremst í jarðvegi.

Ummyndun bergs stuðlar einnig að myndun leirsteinda. Hérlendis myndast leirsteindir enn fremur á háhitasvæðum – steindir sem algengar eru erlendis, t.d. götheit, klórít og smektít. Að auki myndast margvíslegar holufyllingar í bergi, t.d. geislasteinar (e. zeolites).

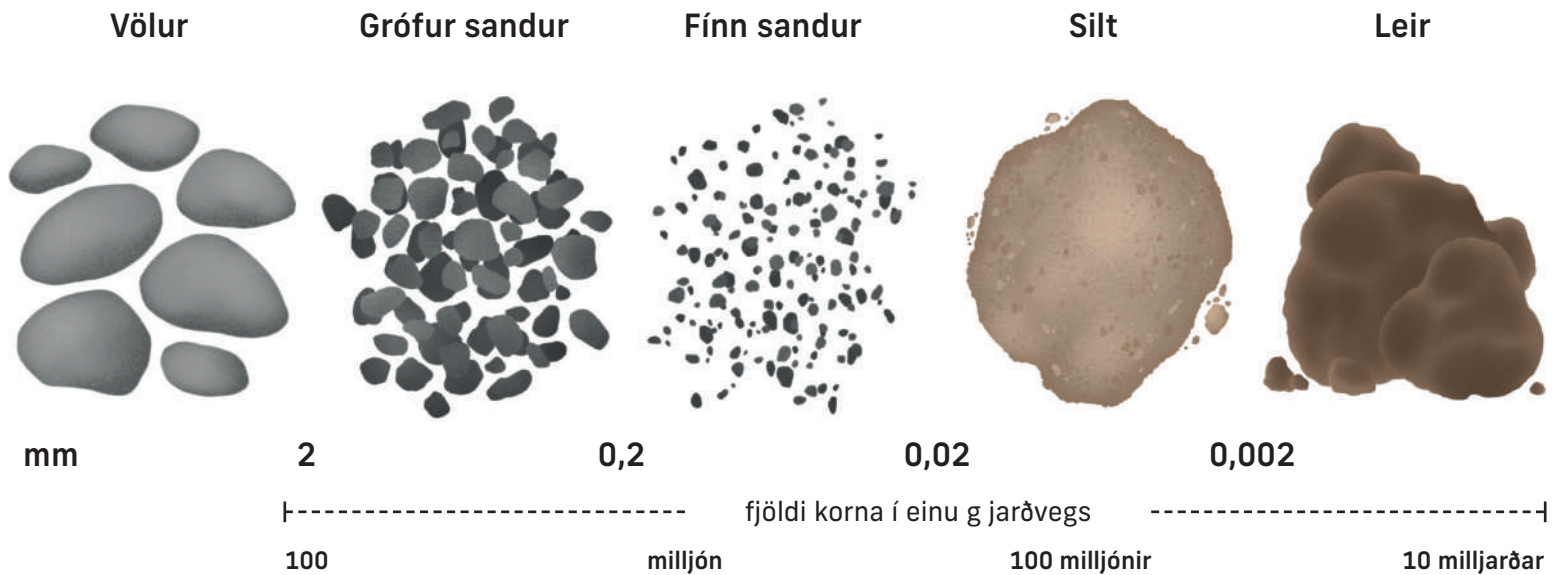
2.1. Kornastærð

Bergefnum í jarðvegi er skipt í fjóra flokka eftir kornastærð: vödur, sand, silt og leir (mynd 2.3). Stundum er því haldið fram að silt verði fyrst og fremst til við svörfun jökla en leir við efnaveðrun í mold.

Mörg ferli geta af sér sandinn, m.a. svörfun vatnsfalla, sjávar, jökla sem og hitabrigði og frostveðrun. Þá geta allar þessar kornastærðir losnað við veðrun og rof á setlögum, þ.e. sandsteini, siltsteini eða ýmsum setlögum ríku af leir. Hugtakið „silt“ er notað um millistærð korna (0,002–0,02 mm) en heitið „méla“ hefur einnig verið notað á íslensku, líklega til að endurspeglar tilurð þessa efnis við svörfun jökla, að „mylja bergið mélinu smærra“. Hugtakið „méla“ hefur því ákveðna kosti og Þorsteinn Guðmundsson (2018) notar



Mynd 2.2. Inn á milli bergagna og lífrænna efna er loftrými sem rúmar vatn og gas.



Mynd 2.3. Flokkun bergefna í mold eftir stærð (mm). Eins og sjá má er skalinn stigfallandi, kornin verða tífalt minni með hverjum flokki. Eins og sjá má eru um 100 milljónir korna í hverju grammi silts en tugir milljarða í hverju grammi leirs.

Það í jarðvegsfræðibók sinni. Orðið „silt“ fellur hins vegar betur að alþjóðlegum hefðum en orðið méla og auðveldar nemendum að tileinka sér fræðin. Þetta er þokkafullt nafn og vinsæl rokkhljómsveit að nafni „Botnleðja“ tók einmitt upp enska hljómsveitarnafnið „Silt“, sem var vel við hæfi. Siltkorn sjást ekki með berum augum og áferðin minnir á hveiti. Íslenskir jöklar eru gríðarlega mikilvirkir við framleiðslu á silti (mynd 2.4) og þeir endurspeglar aðstæðurnar sem einkenndu jökla-umhverfi norðurlands jarðar á ísöldum sem m.a. gáfu af sér víðáttumikil og þykk setlög sem einkennast af silti (löss, e. loess). Lösslögin mynda nú frjósömustu ræktarsvæði Evrópu og Bandaríkjanna og er fjallað nánar um þau síðar í þessu riti. Fjallað er um silt með tilliti til frostnæmi og jarðverkfræði í 6. og 16. kafla.

Völur eru stærri en 2 mm í þvermál (steinar, grjót) og ekki taldar til virkra moldarefna og því er horft fram hjá þeim þegar kornastærð er flokkuð samkvæmt kornastærðarþríhyrningi (sjá síðar). Grjótvölur hafa eigi að síður mikil áhrif á moldina; þær minnka hlutfall og þar með heildarrúmmál virkra moldarefna. Grjótið hefur áhrif á frosthreyfingu og

ýmsa eðlisþætti jarðvegsins sem og ræktunarhæfni hans.

Nokkuð er á reiki hvar skilin eru dregin milli sands og silts í ólíkum flokkunarkerfum fyrir laus jarðefni. Hér er miðað við 0,02 mm en stundum eru skilin dregin við 0,05 mm. Hlutföll sands (>0,02 mm), silts (0,002–0,02 mm) og leirs (<0,002 mm) eru notuð til þess að flokka kornastærð jarðvegs í 12 flokka. Þá er stuðst við svokallaðan kornastærðarþríhyrning (mynd 2.5). Hann er alls ekki eins flókið fyrirbrigði og kann að virðast við fyrstu sýn. Þrjár ásar þríhyrningsins endurspeglar hlutfall hvers kornastærðarflokks. Ásinn sem vísar upp gefur til kynna hlutfall leirs (%), hlutfall sands er sýnt niðri til vinstri á þríhyrningnum en hlutfall silts til hægri.

Blanda allra kornastærða er nefnd „loam“ á ensku en viðskeytið -mold er notað sem þýðing á „loam“, þannig að „silt loam“ er þýtt sem siltmold en „loamy“ sem myldinn, sbr. myldinn leir (e. loamy clay). Það er þó ókostur að orðið „mold“ er einnig notað í sömu merkingu og jarðvegur, en hér er verið að lýsa mismunandi „mold“ út frá kornastærð sem styður þessa notkun

Silt mótar náttúru landsins

Silt er víðast hvar ráðandi kornastærð í íslenskum jarðvegi. Siltinu fylgja mikilvægir eðliseiginleikar, svo sem ör vatnsleiðni, sem veldur því að jarðefni verða viðkvæm fyrir frosti og hætta er á skriðuföllum.



Mynd 2.4. Jökulmhverfið. Gríðarlega mikið magn fokefna getur borist frá jökuljöðrum og myndað áfok – þykk setlög fjarri upprunastað sem nefnd eru löss. Áfok hefur afgerandi áhrif á myndun íslensks jarðvegs. Myndin sýnir Mælifellssand og Mýrdalsjökul, Mælifell vinstra megin við miðju. Nokkuð fok á sér stað í fremur stilltu en þurru veðri (2020).

á hugtakinu. Finnist annað betra orð er sjálfsagt að breyta til.

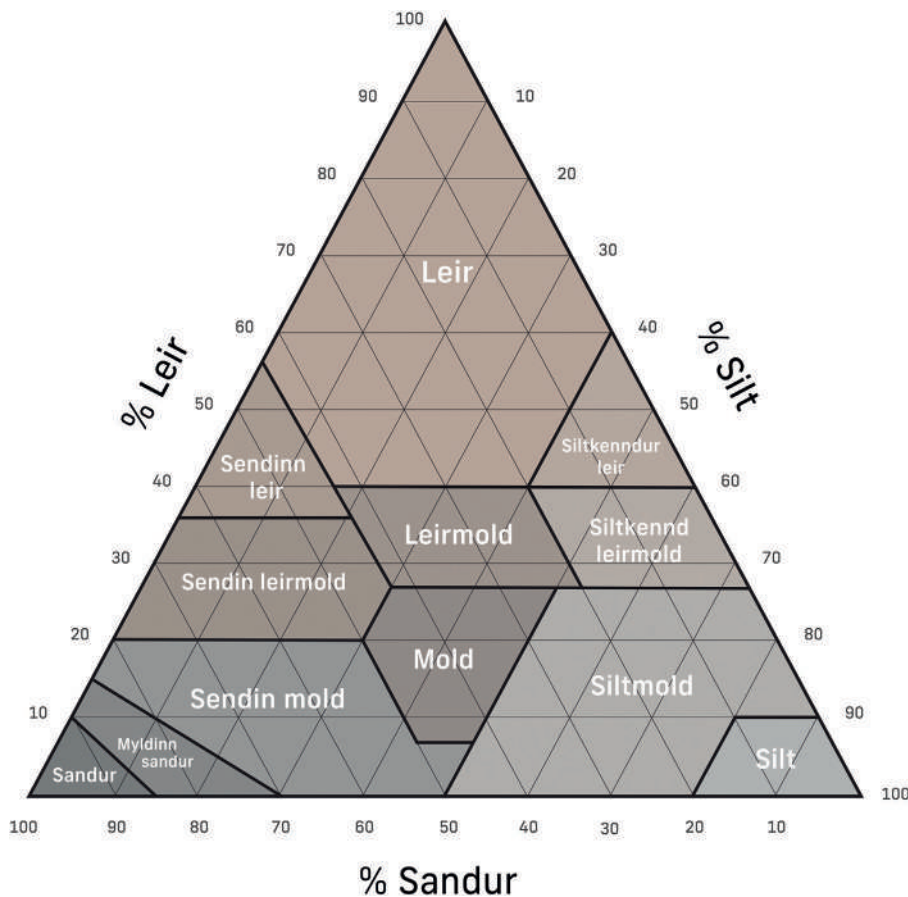
Kornastærðarþríhyrningurinn (mynd 2.5) (ósköp er þetta langt orð!) er mikilvægt tæki í jarðvegsfræði því að með því að tiltaka kornastærðarflokkinn fást hagnýtar upplýsingar um moldina. Erlendir bændur sem plægja jörðina hafa gjarnan ýmis önnur hugtök um

kornastærð á hraðbergi, enda eru ræktunarskilyrði mjög breytileg eftir því hver kornastærðin er.

Tungumál þjóða sem búa yfir ríkri hefð í akuryrkju eiga gnótt hugtaka sem lýsa eiginleikum þessara flokka (t.d. þung *leirjörð*). Leirríkur jarðvegur (leir, sendinn leir, siltkennd leirmold) er oft erfiður í ræktun, mikla orku þarf t.d. til að plægja slíka mold en hún varðveitir raka mjög vel.

Bestu skilyrðin til ræktunar eru að jafnaði í moldarflokkunum (e. loam), þ.e. mold, leirmold, siltmold og sandmold. Sendinn jarðvegur loftar vel en helst illa á vatni og hentar því illa til ræktunar á þurrum svæðum. Silt leiðir vatn greiðlega um jarðveginn, sem getur verið mikill kostur en veldur því að þar sem jörð frýs verður frostverkan mikil (frostnæmi, e. frost susceptibility, sjá 16. kafla um frost og mold). Af þessum dæmum má sjá að hegðun jarðvegs er afar misjöfn eftir kornastærð.

Kornastærð hefur afgerandi áhrif á hversu hætt moldinni er við rofi af völdum vatns og vinda. Siltkornum ásamt fínum sandi er hættast við bæði vatns- og vindrofi. Siltkornin eru létt og því þarf lítinn vind eða vatnsrennsli til að hreyfa við þeim. Að auki skortir þau samloðun sem gæti hamlað rofi. Leirkornin loða yfirleitt vel saman sem minnkar hættu



Mynd 2.5. Kornastærðarþríhyrningurinn. Kornastærðin er flokkuð eftir hlutföllum leirs, silts og sands. Hugtakið mold er notað um „loam“, sökum vöntunar á betra íslensku hugtaki. Mold er blanda kornastærðanna. Leirmold er blanda sem er rík af leir, siltmold er blanda sem er rík af silti o.s.frv. Siltmold er algengasta kornastærðin á Íslandi.

á rofi. Því minnkar rofgirni með auknu hlutfalli leirs í moldinni. Fínum sandi er almennt hætt við rofi en hættan minnkar með vaxandi kornastærð því þá þarf sífellt meiri orku til þess að hreyfa við kornunum. Kornastærð er mikilvægur þáttur í alþjóðlegum líkönum sem notuð eru til að spá fyrir um vatnsrof eða vindrof við mismunandi aðstæður.

Kornastærð er lykilþáttur í líkönum um afdrif regnvatns og vatnshag (e. hydrology). Kornastærð kemur jafnvel fyrir sem þáttur í gríðarlega flóknum útreikningum veðurspálíkana sem keyrð eru á ofurtölvum samtímans. Rakaheldin mold skilar t.d. uppgufun á heitum dögum, sérstaklega ef vatnsleiðnin er góð (siltkennd mold), sem getur haft áhrif á þróun veðurkerfa og veðurfars yfir landi. Jarðvegsgögn eru því notuð við gerð veðurspáa, m.a. í líkönum sem notuð eru fyrir Ísland.

2.2. Leirsteindir

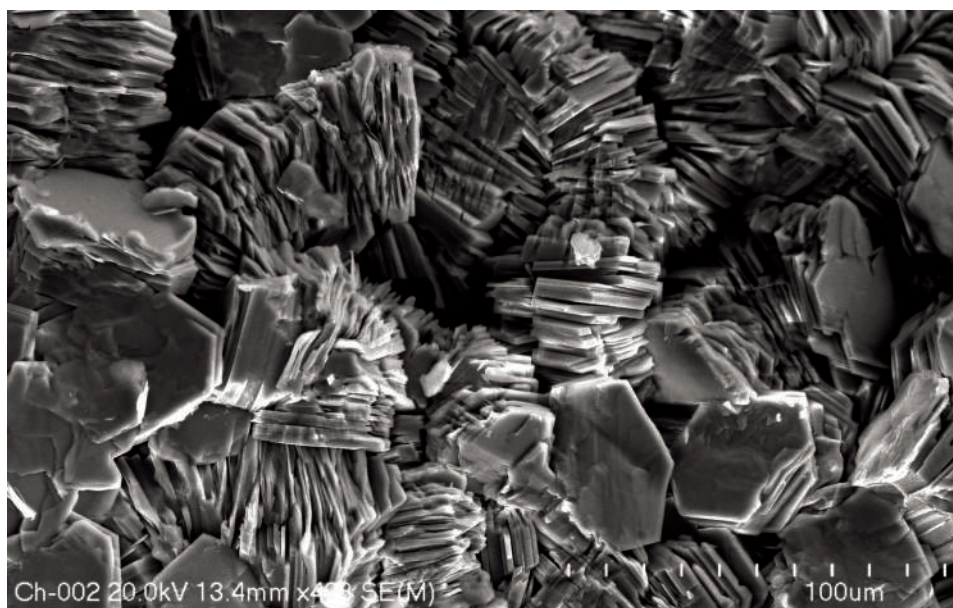
Sem dæmi um mikilvægi leirs má nefna að þótt leirinnihald jarðvegs sé aðeins 1% er nær öll efnavirkni moldarinnar bundin við leirinn – nema umtalsvert magn lífrænna efna sé til staðar. Á hinn bóginn ber að geta þess að yfirborð og efnavirkni leirsteinda er misjöfn eftir því hvaða leirsteind á í hlut, en þær eru afar fjölbreytilegar að gerð. Sem fyrr sagði myndast leirsteindirnar við efnaveðrun í jarðveginum, en þær geta einnig verið til staðar sem hluti bergefnanna sem jarðvegurinn myndast í (t.d. leirrík setlög og leirsteinn).

Ástæðuna fyrir hinni miklu efnavirkni leirs má rekja til smæðar leiragnanna. Flestar leirsteindir sem finnast í mold erlendis eru blaðlaga silíkött (ýmist nefnd blaðsilíkött eða lagsilíkött, e. phyllosilicate, layer silicate) þar sem grunneiningar, nokkur atóm á þykkt, raðast upp í tvær áttir og öðlast þá gríðarlegt yfirborðsflatarmál miðað við

þykkt. Eins og nafnið silíkat gefur til kynna er kísill (e. silica) grunneining í þessum lögum. Reyndar eru einnig til leirsteindir þar sem ál og járn eru uppistaðan í grunneiningunum, eins og síðar verður vikið að.

Lögin í steindunum raðast hvert ofan á annað svo að úr verður hlaði örmjorra blaða (mynd 2.6). Á milli hvers lags er rými sem er oftast nægjanlegt til þess að vatnssameindir geti smogið inn á milli grunneininganna. Þessum hlaða mætti líkja við bók í stóru broti með mjög mikið flatarmál (margir hektarar ef réttum hlutföllum er haldið) en inn á milli blaðsíðnanna væri rými sem vatn og uppleyst efni gætu borist um. Þetta veldur því að leirsteindir af þessu tagi hafa ótrúlega mikið yfirborðsflatarmál. Þannig getur 1 g af smektíti (algengur leir) haft allt að 800 m² yfirborð! Eitt gramm efnisins samsvarar botnfylli í teskeið. Það er mjög erfitt að sjá fyrir sér eða skynja hvað þetta yfirborðsflatarmál er rosalega mikið.

Til skýringar mætti taka sem dæmi furunál sem væri lögð við hlið Hallgrímskirkju. Ef við ímyndum okkur að sandkorn sé á stærð við Hallgrímskirkju



Mynd 2.6. Hlaðar af lögum leirs (blaðsilíkat). Járnríkt klórít. Myndin er tekin með rafeindasmásjá. Inn á milli laganna eru bil sem vatn getur borist um. Yfirborðsflatarmál leirsins er því gríðarlegt á hvert gramm efnis. Mynd: Michal Skiba. Myndin er fengin af vef „Images of Clay Archive“ of the Mineralogical Society of Great Britain & Ireland and The Clay Minerals Society (<https://www.minersoc.org/images-of-clay.html>).

Leir ræður efnavirkni og vatnsheldni í mold

Efnavirkni og vatnsheldni moldarefna er mjög háð kornastærð. Sandur og silt hafa lítið yfirborð á hverja þyngdareiningu (m²/g) og því hafa þessar kornastærðir mjög litla efnavirkni og halda litlu vatni.

Leirinn hefur aftur á móti mjög mikla efnavirkni og getur bundið ógrynni vatns. Því eru leirsteindir mikilvægastar af bergefnunum með tilliti til efnaeiginleika moldarinnar og vatnsheldni.

þá væri stærð leiragnar svipuð og furunálarinnar við hliðina. Það væri hægt að koma býsna mörgum furunálum inn í Hallgrímskirkjuturn!

Áður en lengra er haldið er rétt að geta þess að það eru ekki aðeins eiginlegar leirsteindir sem falla undir kornastærðina leir í jarðvegi. Mulið berg getur talist til leirs sem kornastærðarflokks ef kornin eru <0,002 mm í þvermál. Þar má nefna ýmsar steindir í berginu, t.d. kvars, glerkorn, ólivín, pýroxen og plagíóklas, sem eru algengar steindir í íslensku bergi, ýmist sem einstakir kristallar eða hluti af bergbroti með mörgum tegundum steinda. En rétt er að ítreka að það eru fyrst og fremst blaðlaga steindir og aðrar leirsteindir sem hafa myndast í jarðveginum við jarðvegsmyndun sem gefa honum efnaeiginleika (steindir sem hafa kristallast úr vatnslausn í mold).

Leirsteindir falla undir flokk ummyndunarsteinda og síðsteinda í jarðfræði, þ.e. þær eru ekki til staðar í frumberginu heldur myndast við veðrun á móður-efninu. Sem fyrr segir eru margvíslegar leirsteindir algengar á hverasvæðum

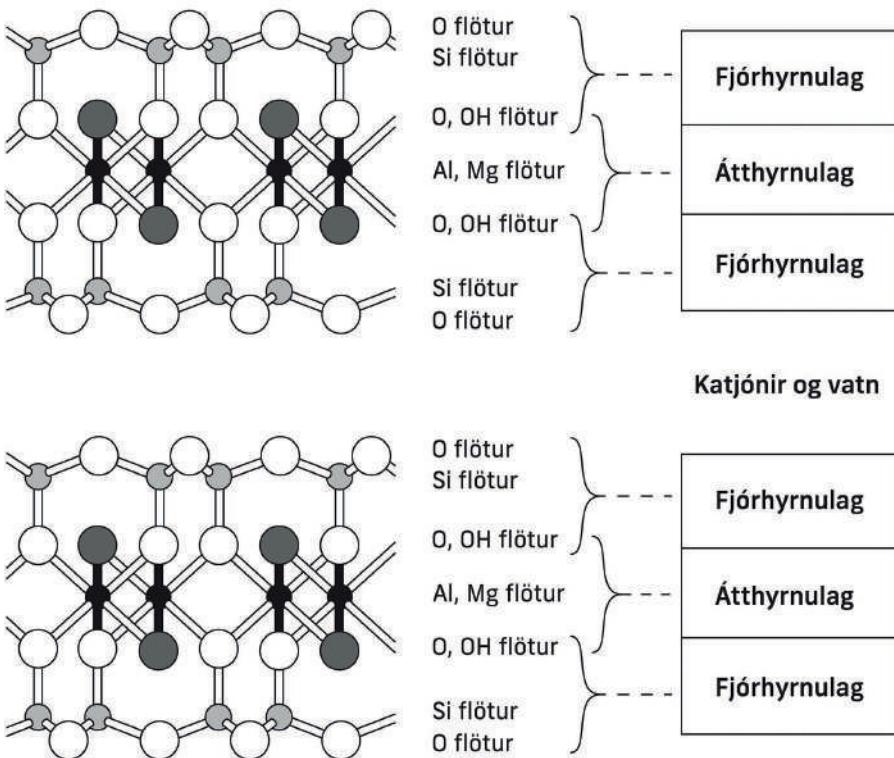
landsins þar sem aðstæður eru til örrar veðrunar á bergefnum, en þeim verður ekki gerð frekari skil hér.

2.2.1. Byggingareiningar leirsteinda og hleðsla

Kísill (Si) og ál (Al) ásamt súrefni (O) og vetni (H) eru langalgengustu frumefnin í jarðskorpunni. Það er því engin tilviljun að þessi efni eru uppistaðan í mörgum algengustu steindum í bergi – og þar með í moldinni. Þó er það svo að við langvarandi efnaveðrun verður veðrunarleifin (moldin) æ ríkari af járn (Fe) og áli (Al), en kísill (Si) veðrast smám saman úr jarðvegi, sérstaklega í hitabeltinu.

Grunneiningar blaðsilíkata eru tvenns konar: fjórhyrningur myndaður af Si^{4+} og O^{2-} í svokallaðri tetrahedra-einingu (fjórhyrna) og hins vegar átthyrningur úr Al^{3+} og OH^{-} í svonefndri oktahedra-einingu (átthyrna) (mynd 2.7). Hvor eining um sig raðast saman í tvívítt rúm, örmjóar þynnur, sem leggjast hvor að annarri. Þær hafa sem fyrr sagði gríðarlegt flatarmál (lengd og breidd) miðað við þykkt. Blaðsilíkat hafa eitt átthyrnulag (oktahedra; Al-OH) en ýmist eitt eða tvö fjórhyrnulög (tetrahedra; Si-O) og eru því oft nefndar 1:1 eða 2:1 steindir. Kaólínít er dæmi um 1:1 blaðsilíkat með eitt átthyrnulag og eitt fjórhyrnulag en smektít er 2:1 leirsteind.

Aðrar katjónir geta tekið sæti kísils (Si^{4+}) og áls (Al^{3+}) í kristalgrindinni og því myndast nokkrar tegundir leirsteinda með svipaða byggingu eftir því hvernig þessum sætaskiptum er háttað. Þannig getur Al^{3+} tekið sæti Si^{4+} í fjórhyrnunni en t.d. Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} eða Ca^{2+} sæti Al^{3+} í átthyrnu grindinni. Þetta eru nefnd sætaskipti eða stöðuskipti (e. isomorphic substitution) en hugtakið „isomorphic“ gefur til kynna sömu kristalbyggingu en mismunandi efna-samsetningu. Þetta leiðir til þess að leirinn tekur á sig neikvæða hleðslu



Mynd 2.7. Byggingareiningar blaðsilíkata.

(Al³⁺ er minna jákvætt hlaðið en Si⁴⁺). Ójafnvægið hverfur við það að jákvætt hlaðnar jónir, katjónir (plúsjónir), raðast með vatnslausn utan á steindina og jafna út hleðsluna. Na⁺, K⁺, Ca²⁺ og Mg²⁺ eru algengustu katjónirnar sem loða við leirsteindir.

Jónrýmd (CEC) gefur miklar upplýsingar um eðli jarðvegsins, frjósemi hans og stundum vandamál sem tengjast söltum jarðvegi. En það er einnig svo að sumar steindir geta tekið á sig jákvæða hleðslu og þá geta neikvætt hlaðnar jónir (anjónir – mínusjónir) fest sig við leirinn og moldin fær þá anjónrýmd (e. anion exchange capacity, AEC).

2.2.2. Algengur leir í mold

Nokkrar leirsteindir eru algengastar í jarðvegi heimsins. Þær segja yfirleitt mikið um moldina sem þær myndast í, sumar bera þess merki að vera unglingar á meðal jarðvegsgerða – ómótaðs jarðvegs – en aðrar eru einkenni moldar sem hefur veðrast í langan tíma – öldunga. „Miðaldra“ mold hefur gjarnan sitt lítið af hverju þegar kemur að leirsteindum. Moldin segir sögu og leirsteindir eru mikilvægar persónur í frásögninni. Eiginleikar jarðvegsins eru mismunandi eftir því hvaða steindir eru ráðandi í moldinni – eiginleikunum mætti líkja við skapferli manna sem mótast af umhverfinu.

Illít (2:1 steind) er mjög algeng leirsteind, skyld múskvóvíti og bíótíti (mica steindir). Illít er sérstaklega algeng leirsteind á norðurslóðum þar sem áfoks gætti frá meginlandsjöklum ísaldarinnar og hún er talin einkennandi fyrir ungan eða lítið veðraðan jarðveg. Þessi steind er mikilvæg á kornræktarsvæðum Norður-Evrópu og Norður-Ameríku. Illít var töluvert notað áður við leirbrennslu því það brennur við tiltölulega lágan hita og myndar þá efni svipað postulíni. Þessari steind fylgir sá vandi í ræktun að hún bindur bæði K⁺ og NH₄⁺ í jarðvegi sem

verða þá ekki aðgengileg rótum plantna. Það er þó ekki vandamál hérlendis enda steindin ekki í íslenskum jarðvegi. Falleg græn steind sem nefnist seladónít og finnst sem holufylling í íslensku bergi er mjög skyld illíti (Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson, 1999).

Vermikúlít er 2:1 steind með mikla jón- og vatnsrýmd og því hefur vermikúlít afar jákvæð áhrif á frjósemi jarðvegs. Það finnst gjarnan á svipuðum slóðum og illít. Vermikúlít springur út við mikinn hita og þannig má framleiða létt og frauðkennt efni sem hefur mikið einangrunargildi gagnvart hita og hljóði. Vermikúlít er einnig mikið notað við garðrækt til að bæta eiginleika jarðvegs o.fl.

Smektít (2:1 steind) einkennir iðulega jarðveg sem hefur sæmilega hátt pH-gildi og þá sérstaklega Ca-ríkan jarðveg (mynd 2.8). Þetta er afar virk steind með mikið yfirborð. Smektítíkan jarðveg er einkum að finna þar sem moldin þróast í leirríkum setlögum, t.d. á óshólmasvæðum (forsögulegum eða óshólmum nútímans). Smektít hefur þann eiginleika að bólgnar út ef það er vatnsmettað, jafnvel svo mikið að það verður að eins konar geli. Það skreppur hins vegar saman og verður grjóthart ef það þornar. Af þessum sökum er jarðvegur ríkur af smektíti



Mynd 2.8. Smektít. Dæmigerðir litir, gráir og gulleitir, sem einkenna smektít. Mynd: Wikipedia, frjáls afnot (public domain).

þungur í vinnslu (*leirjörð*). Vegalagning í smektítríku yfirborði er erfið sökum óstöðugleika, og oft er það augljóst þegar ekið er á ósléttum vegum erlendis að ekið er yfir smektítrík svæði. Smektít er útbreidd steind, sérstaklega í tempraða og heittempraða belti jarðar. Það er notað í iðnaði sem efnasía o.fl. Smektít er algeng steind á hverasvæðum hérlendis sem og í rauðum millilögum basaltstaflans, ásamt kaólíníti, járn- og álsteindum.

Kaólínít er meðal algengustu steinda í mold og telst einkennissteind heittempraða beltisins þótt hún sé algeng bæði á kaldari og heitari svæðum jarðar. Hún hefur eina fjórhyrnu og eina átthyrnu (tetrahedra og oktahedra; 1:1 steind). Steindin er einnig kölluð kaólin, en strangt til tekið tekur það heiti til hóps steinda með svipaða eiginleika og kaólínít (White og Dixon, 2002). Postulín er unnið úr kaólíni. Leirbrennsla er hins vegar flókið ferli og rétt að hafa í huga að það tók Kínverja árpúsund að fullkomna sitt postulín, en það er brennt við afar háan hita, 1200–1400°C, og blandað öðrum efnum. Postulín er vitaskuld afar mikilvægt efni í hreinlætistækjum o.fl. sem kemur við sögu í daglegu lífi.

Kaólínít er mikið notað sem íblöndunar-efni, t.d. til að binda saman ís, í súkk-

ulaðihjúp (bráðnar síður), tannkrem (loðir saman), pappír (pappírsgljái) og ótal margt annað. Kaólínítámur eru því afar verðmætar. Því miður hefur örplast verið notað í stað kaólíns í vaxandi mæli sem bindiefni, en á því verður vonandi breyting á næstu árum.

Járnsteindir og álsteindir. Ál og járn er unnið í stórum stíl úr leir sem myndast hefur í jarðvegi. Það var því ekki að ósekju að jarðveginum var líkt við mikilvirka efnaverksmiðju í fyrsta kafla, efnaverksmiðju sem m.a. framleiðir leir. Margar tegundir járnsteinda og álsteinda eru algengar í jarðvegi, sérstaklega í mjög veðraðri mold (mynd 2.9). Þær eru ekki allar blaðsilíkött því sumar innihalda engan kísil, en margar hafa svipaða byggingu, svo sem gibbsít. Það er raunar eitt mikilvægasta einkenni jarðvegsmyndunar að hlutfall áls og járn eykst í jarðvegi með tímanum.

Ef veðrun gengur mjög langt og moldin er orðin mjög gömul og mikið veðruð í heitu og röku loftslagi er orðið lítið eftir af öðrum steindum en þeim sem gerðar eru af járn og áli. Götheit (e. goethite, heitir eftir skáldinu Goethe) er ein algengasta járnsteindin. Nokkuð er misjafnt hvornig hún er rituð á íslensku, m.a. götít og goethít, en mikilvægt verður að teljast að halda nafni Göthe í heiti steindarinnar, eins og Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson (1999) gera í Íslensku steinabókinni og því er götheit notað hér. Hematít, maghemít, magnetít og lepidókrósít (blaðsilíkat) eru einnig algengar járnsteindir í jarðvegi, en kristalbygging er breytileg (ekki eru allar blaðsilíkött).

Ferrihydrít er algeng járnsteind á Íslandi, en um hana er fjallað sérstaklega síðar. Orðið brúnjárnsteinn (límonít) hefur verið notað sem eins konar samheiti yfir margs kyns járnsteindir sem koma fyrir í íslenskum jarðvegi (Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson, 1999). Járn er unnið í töluverðum mæli



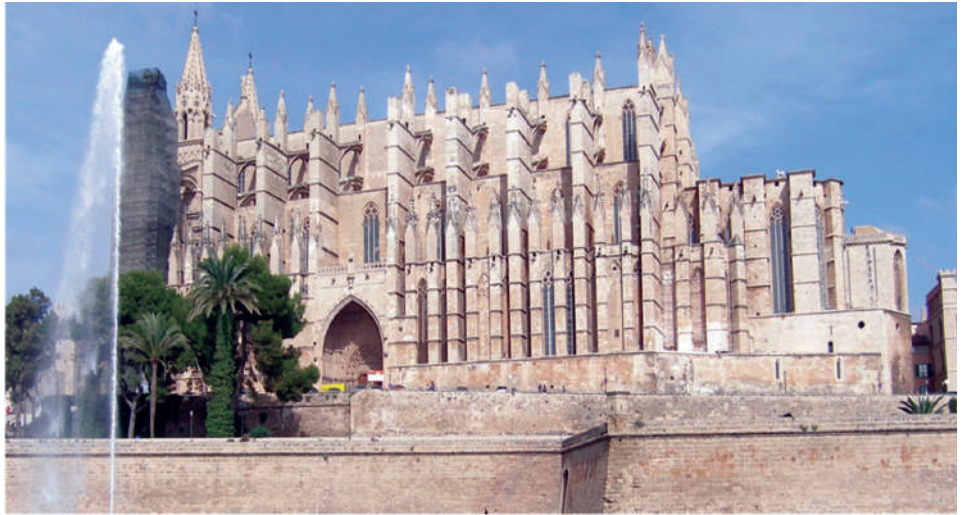
Mynd 2.9. Mikið veðruð mold í Úganda sem einkennist einkum af járn- og álsteindum ásamt breytilegu magni af kaólíníti.

úr járnríkum leir, m.a. var það gert hér á landi langt fram eftir öldum.

Gibbsít er álsteind (oktahedra-grind) sem er mjög algeng í hitabeltinu. Baxít er mikið veðraður gibbsítjarðvegur og er notað sem hráefni við álvinnslu. Steindir hitabeltisins, svo sem gibbsít og götheit, hafa takmarkaða jónrýmd. Þessi litla jónrýmd (fjallað er ítarlegar um jónrýmd síðar) er ein af ástæðum þess að mold hitabeltisins er ekki eins frjó og mold norðurslóða, en þar koma vitaskuld fleiri þættir við sögu.

Mikilvægi leirs sem einnar af grunneiningunum í náttúru jarðarinnar annars vegar og sem auðlindar sem notuð er á ótalmarga vegu hins vegar verður vart ofmetin. Leirinn ljær moldinni efnaeiginleika sem eru undirstaða fyrir frjósemi vistkerfa. Maðurinn hagnýtir sér leir með margvíslegum öðrum hætti. Leir er notaður í fjölbreytilegum iðnaði og svo hefur verið frá örófi alda. Um þriðjungur húsa heimsins er byggður úr leir, ýmist brenndum eða þurrkuðum (mynd 2.10). Þegar hann er blautur er auðvelt að móta leirinn í hæfilega stórar einingar til að stafla upp í vegg og annað þarflegt sem síðan þorna í sólinni í þróunarlöndunum eða eru hertar í ofnum eins og víða þekkest á Vesturlöndum.

Þá má geta þess að saga menningarinnar er að hluta til skráð í leir. Í fornöld var leir mótaður í plötur sem stafir og tákn voru rist í, líkt og gerist með bækur nútímans. Þannig hafa varðveist upplýsingar um sögu mannkyns þúsundir ára aftur í tímann. Leirplöturnar eru mikilvægur minnisvarði um að helgisögur á borð við Nóaflóðið eru síendurtekin minni í sagnaheimi og trúarbrögðum mannkyns um víða veröld og eru sem slíkar mikilvæg gögn til að andmæla bókstafstrú og hindurvitnum sem eru í mótsögn við vísindalega þekkingu (Montgomery 2012).

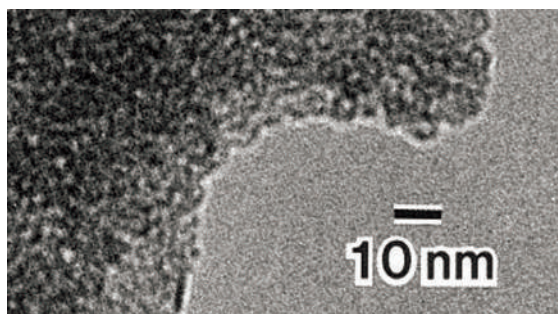


Mynd 2.10. Dómkirkja reist úr gamalli mold – múrsteinum. Stór hluti bygginga heitari svæða er byggður úr múrsteinum sem oft eru þurrkaðir og jafnvel brenndir moldarkögglar ríkir af leirsteindum.

2.2.3. Leir í eldfjallajörð

Mikilvægt er að fjalla sérstaklega um þann leir sem einkum finnst á eldfjallasvæðum jarðar, en það verður þó gert ítarlegar þegar rætt verður um *eldfjallajörð* og íslenskan jarðveg.

Allófan er einkennissteind *eldfjallajarðar*. Það er ekki blaðsilíkat heldur steindin kúla sem er um 5 nm í þvermál (mynd 2.11). Byggingareiningar kúlunnar eru þó mjög svipaðar byggingareiningum kaólíníts að gerð en kristalgrindin er ófullkomin, sérstaklega oktahedra-lagið. Steindin hefur ekki fasta efnasamsetningu, Al/Si-hlutfallið í grindinni reikar á milli <1 til >2. Allófan er stundum kallað „illa kristölluð steind“ (e. poorly crystalline mineral) en einnig steind með stutt efnatengi (e. short-range order mineral). Þá hefur allófan einnig verið nefnt ókristallaður leir (e.



Mynd 2.11. Allófan í íslenskum jarðvegi. Leirinn myndar holar kúlur sem eru um 5 nm í þvermál (50 Angström). Myndin er tekin með rafeindasmásjá í Japan.

non-crystalline clay) eða „structured nanomineral“ (sjá Churchman og Lowe, 2012). Allófan myndast þar sem gjóska veðrast hratt í fremur röku loftslagi. Vatnslausnin í moldinni mettast af Al^{3+} og Si^{4+} vegna örrar veðrunar glersins sem einkennir gjóskuna svo út fellur eða „kristallast“ þessi sérkennilega steind. Segja má að hröð veðrun valdi því að ekki er nægjanlegur tími til að mynda „almennileg“ blaðsilíkött. Steindin er ekki stöðug til langframa (oftast í styttri tíma en 10 000 ár), en veðrast yfirleitt áfram og verður að halloysíti sem síðar ummyndast í kaólínít, en einnig getur myndast smektít. Allófan er ýmist talið litlaust eða dökkrauðbrúnt (einkennislitur *brúnjarðar*).

Ímógólít er önnur einkennissteind *eldfjallajarðar*. Í stað kúlulögunar allófans er ímógólít nárlaga og Al/Si-hlutfallið er jafnara og yfirleitt mjög nálægt 2.

Ferrihýdrít (mýrarauði) er afar algeng steind í íslenskum jarðvegi. Hún gefur jarðveginum hinn rauða lit (mynd 2.12), en dökkt basaltglerið, lífræn efni og rauðbrúnt allófan hafa einnig áhrif á lit moldarinnar. Ferrihýdrít myndar eins konar gel; það er yfirleitt illa kristallað og

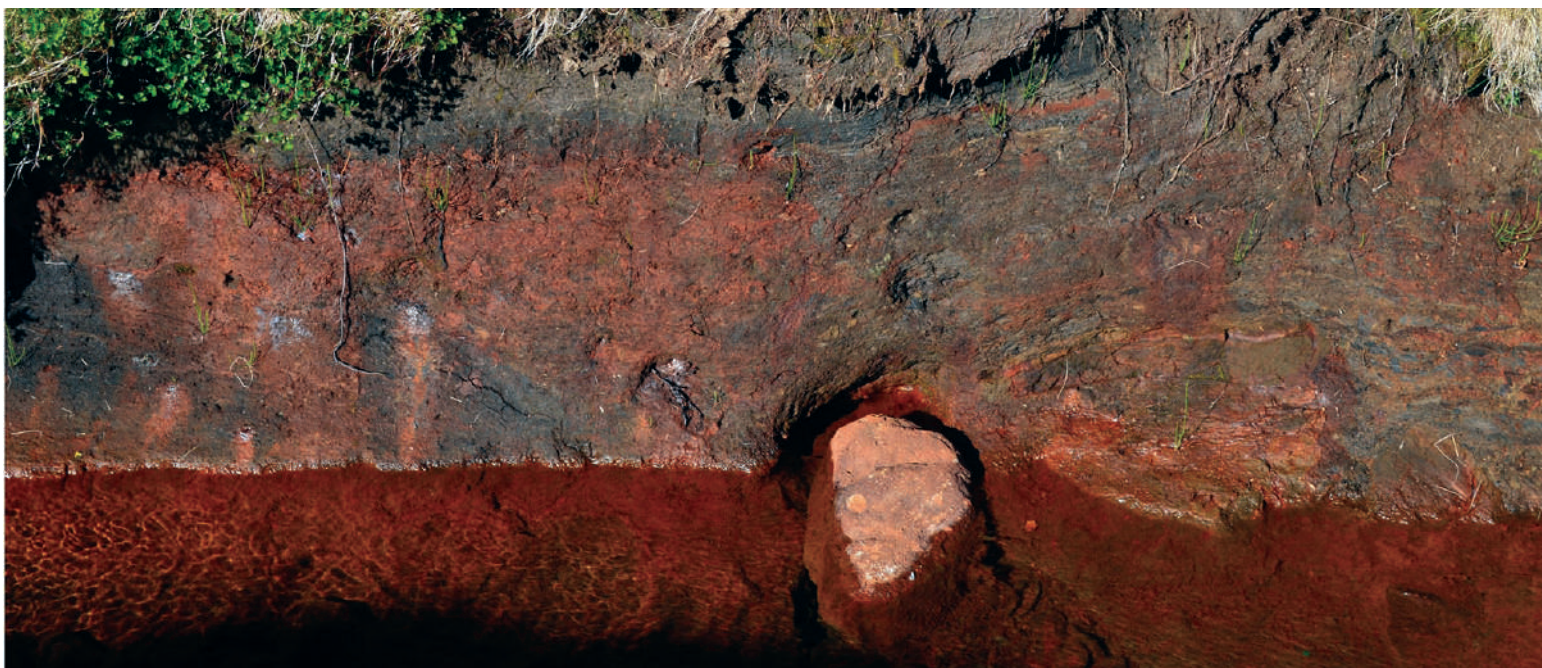
telst ekki stöðugt til langframa í jarðvegi. Þó er það svo að ferrihýdrít varðveitist vel í íslenskri mold og einkennir mörg þúsund ára gömul jarðvegslög neðst í jarðvegssniðum.

Halloysít er algengt í eldfjallajarðvegi hitabeltisins. Það er náskykt kaólíníti og telst til kaólínsteinda. Líklega er það skilyrði fyrir myndun þess að jarðvegur þorni vel á milli þess sem hann helst vel rakur, sem einkennir t.d. loftslagið við Miðjarðarhaf.

2.3. Mælingar á kornastærð og leir í jarðvegi

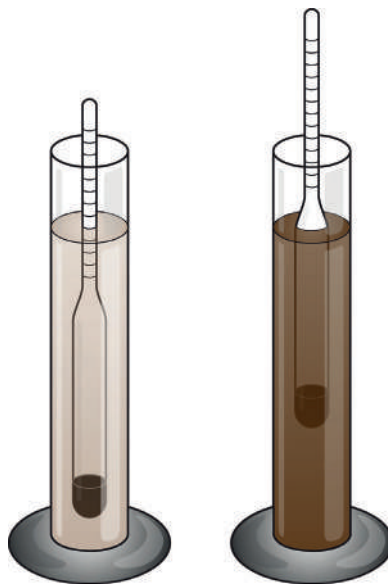
2.3.1. Kornastærðarmælingar

Það er vitaskuld mikilvægt að geta mælt eða metið kornastærð jarðvegs. Með æfingu er unnt að meta hlutfall kornastærðarflokkanna nokkuð nákvæmlega í mörkinni með því að velta rökum jarðvegi á milli fingra (e. hand-texturing). Við vissar aðstæður, m.a. á eldfjallasvæðum, er þessi aðferð áreiðanlegri en aðrar venjulegar mælingar á kornastærð. Því er „fingraaðferðin“ mikilvæg hér á landi.



Mynd 2.12. Talið er að mýrarauði í skurðum á Íslandi sé að stórum hluta ferrihýdrít sem einnig litur jarðveginn á myndinni rauðan.

Það er algengt að sigta jarðveg til að fá hugmynd um kornastærðardreifingu, en sú aðferð er aðeins nothæf niður að u.þ.b. 0,05 mm sem marka efri stærðarmörk silts. Því er sigtun fyrst og fremst hentug aðferð fyrir sand eða sendinn jarðveg. Bæði þekkist að blautsigta og þurrsigta jarðveg. Við blautsigtun er vatn notað til þess að hjálpa til við að koma kornunum niður í gegnum sigtið. Þurrsigtun hentar vel fyrir mælingar í tengslum við rannsóknir á vindrofi en blautsigtun brýtur yfirleitt samkornin betur niður. Ef mæla á silt og leir verður að beita öðrum aðferðum.



Mynd 2.13. Mæling á kornastærð með flotholti. Eftir því sem kornin falla til botns léttist lausnin og þar með sígur flotholtið dýpra. Stærri kornin setjast til fyrst en leirinn er lengi að botnfalla.

Yfirleitt er kornastærð mæld á rannsóknastofum með því að láta jarðveg setjast til í vatni. Aðferðin byggist á því að setja lítið jarðvegssýni í vatnslausn í háu mæliglasi og síðan er hrært vel í. Jafnframt er calgon (natríum-metáfosfat, algengt sápuæfni) bætt í lausnina, en það efni stuðlar að því að sundra jarðvegsögnum sem annars vilja loða saman. Smám saman falla kornin til botns í bikarnum. Við það breytist eðlisþyngd vatnsins, það léttist í réttu hlutfalli við magn efnanna sem fellur til botns úr lausninni. Stærstu kornin eru þyngst og falla fyrst til botns, sandur á innan við tveimur mínútum en leirinn tefur í upplausn mjög lengi.

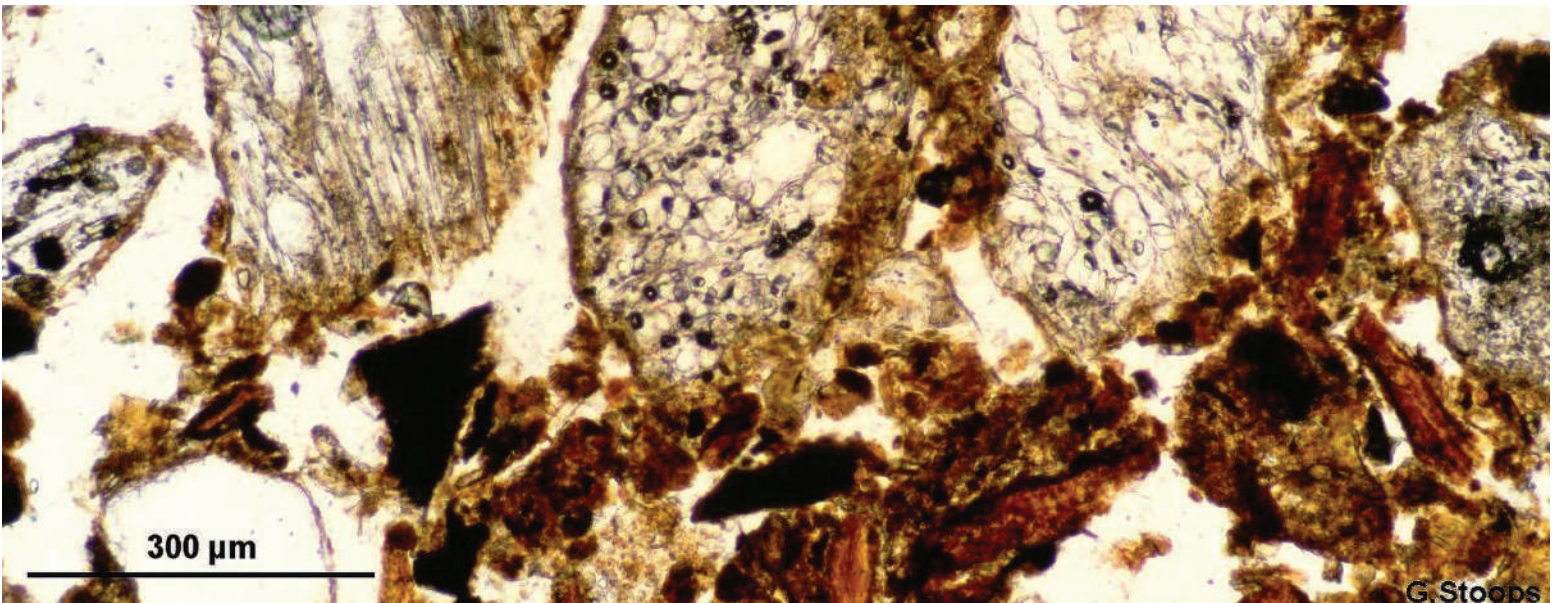
Hægt er að reikna samhengi tímans og stærðar kornanna sem eftir eru í vökvasúlunni, og því er hægt að ákvarða kornastærð með því að mæla eðlisþyngd vökvans með vissu millibili. Þessi aðferð er nefnd flotaðferð (e. hydrometer) og byggist á því að lesa af flotholti sem flýtur ofan á lausninni. Flotholtið hefur verið kvarðað fyrirfram (mynd 2.13). Það sekkur æ dýpra eftir því sem vatnslausnin léttist og jarðvegsefnin setjast til í henni. Þessi aðferð var einmitt notuð til að ákvarða styrk alkóhóls í brugghúsum því það hefur annan eðlisþunga en vatn.

Með pípettuaðferð er sýni dregið upp úr lausninni með vissu millibili, en það síðan þurrkað og vegið. Ef mikið er af jarðvegi í lausninni löngu eftir að hrært var í henni inniheldur jarðvegssýnið mikið af leir. Pípettuaðferðin þykir nákvæmari en flotaðferðin, en þó er það umdeilt (sjá t.d. Skopp 2000). Þessar aðferðir eru einfaldar, fljótlegar og ódýrar og mikið notaðar víða um heim við kornastærðarmælingar. Þær henta þó ekki fyrir mold á eldfjallasvæðum á borð við Ísland, eins og síðar verður vikið að.

Nokkrar aðrar aðferðir eru notaðar við kornastærðarákvörðun. Nú er m.a. beitt flóknum leysigeislabúnaði við kornastærðarmælingar og eru þær aðferðir taldar mun nákvæmari en hefðbundnar mælingar en hafa þó sína annmarka.

2.3.2. Röntgengeislar (XRD)

Blaðlaga leirsteindir hafa mjög regluleg bil á milli byggingareininganna. Unnt er að greina þessi bil með því að beina röntgengeislum (bylgjum) skáhallt að leirnum með bylgjulengd sem er svipuð og þykkt byggingareininga leirsins. Við



Mynd 2.14. Mold séð með bergfræðismásjá. Fremur lífrænn jarðvegur frá Auðkúluheiði. Gróf gjóskukorn (ljós Heklugjóska) með kápu af leir sem hefur myndast á yfirborðinu við efnaæðrun. Einnig smærri og dekkri glerkorn.

ákveðið horn endurkastast geislarnir og er það horn háð bilinu á milli byggingareininganna og bylgjulengdinni sem er notuð við mælingarnar (Braggs-líking). Tæki til þessara mælinga eru nokkuð algeng á rannsóknastofum og þessum mælingum er einnig beitt við bergfræðirannsóknir í jarðfræði og rannsóknir á lífrænum sameindum. Þó fylgir þessari aðferð sá annmarki að hún dugar ekki á þann leir sem oftast finnst í íslenskum jarðvegi (allófan, imógólít og ferrihýdrít) því þar er lítið um blaðsilíkköt (sjá einnig ÓA 1993).

2.3.3. Ammoníum-oxalat-skolun

Sú aðferð sem algengast er að beita við ákvörðun á leir í *eldfjallajörð* er að leysa jarðvegssýni upp í súrri ammoníum-oxalat-laun. Aðferðir af þessu tagi eru nefndar „selective dissolution“ á ensku. Ammoníum-oxalat-launin leysir auðveldlega upp hringlaga leirsteindir og illa kristölluð efni, en hún leysir ekki upp blaðsilíkköt og aðrar vel kristallaðar steindir. Á þessu eru nokkrar undantekningar sem sjaldan skipta máli við mælingar á leir í *eldfjallajörð*. Með því að mæla Al, Si og Fe sem leysast upp í ammoníum-oxalat-launinni (nefnt Al_{ox} , Si_{ox} og Fe_{ox}) fæst mælikvarði á magn

leirsins í sýninu. Nánar er fjallað um þessa aðferð í köflum um *eldfjallajörð* og íslenskan jarðveg, en henni hefur verið lýst m.a. af Parfitt (1990) og Parfitt og Childs (1988).

2.3.4. Smásjárskoðun

Fjórar meginaðferðir eru notaðar við að skoða mold í smásjá: áfallandi ljós (víðsjá), bergfræðismásjá (þunnneiðar), rafeindasmásjá með áfallandi ljósi (e. scanning electron microscopy, SEM) og rafeindasmásjá með gegnumlýsandi ljósi (e. transmission electron microscopy, TEM). Leir sést illa í bergfræðismásjá, en notkun rafeindasmásjár er mikilvæg við staðfestingu á tilvist allófans eða imógólíts í jarðvegi. Ekki er ástæða til að fjalla um þessar aðferðir að sinni, en þess ber að geta að þeim hefur lítið verið beitt við rannsóknir á íslenskum jarðvegi.

Örbygging (e. micro-morphology) er ein undirgreina jarðvegsfræðinnar, en þar er ekki aðeins bergfræði jarðvegsins ákvörðuð, heldur einnig lífræn efni, holrými og á hvern hátt helstu byggingareiningar jarðvegsins raðast saman. Á mynd 2.14 er sýnt dæmi um mynd sem tekin er með bergfræðismásjá af jarðvegi á Auðkúluheiði.

Heimildir

Rétt er að benda hér sérstaklega á „biblíu“ um leirsteindir í jarðvegi, Minerals in Soil Environments, sem mikið er vitnað til (ritstýrt af Dixon og Schulze, 2002) og langan en aðgengilegan kafla um myndun og eðli leirsteinda í Handbook of Soil Sciences (Churchman og Lowe, 2012). Þeim sem hafa áhuga á frekari upplýsingum um allófan og ímógólít er bent á yfirlitsgreinar eftir Dahlgren (1994), Harsh o.fl. (2002) og McDaniel o.fl. (2012), en einnig má geta umfjöllunar ÓA í Náttúrufræðingnum (1993) um leir í íslenskum jarðvegi.

Churchman, G.J. og D.J. Lowe 2012. Alteration, formation and occurrence of minerals in soils. Í: P.M. Huang, Y. Li og M.E. Sumner (ritstj.), Handbook of Soil Sciences. Properties and Processes. 2. útg. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

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

Dixon, J.B. og D.G. Schulze (ritstj.) 2002. Soil Mineralogy with Environmental Applications. Soil Science Society of America Book Series 7, Madison, Wisconsin, USA.

Harsh, J.B., 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 7, Madison, Wisconsin, USA. Bls. 291–322.

Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson 1999. Íslenska steinabókin. Forlagið, Reykjavík.

McDaniel, P., D.J. Lowe, Ólafur Arnalds og C-L. Ping 2012. Andisols. Í: P.M. Huang, 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.

Montgomery, D.R. 2012. The Rocks Don't Lie: A Geologist Investigates Noah's Flood. W.W. Norton & Co, New York, USA.

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

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

Parfitt, R.L. og C.W. Childs 1988. Estimation of forms of Fe and Al: A review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Moessbauer methods. Australian Journal of Soil Research 26:121–144.

Skopp, J.M. 2000. Physical properties of primary particles. Í: M.E. Sumner (ritstj.), Handbook of Soil Science. Bls. A3–17.

Weil, R.R. og N.C. Brady 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson, Boston, USA.

White, N.G. og J.B. Dixon 2002. Kaolin – Serpentine minerals. Í: J.B. Dixon og D.G. Schulze (ritstj.), Soil Mineralogy with Environmental Applications. Soil Science Society of America Book Series 7, Madison, Wisconsin, USA. Bls. 389–414.

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