



# 6 Eðlisþættir jarðvegs





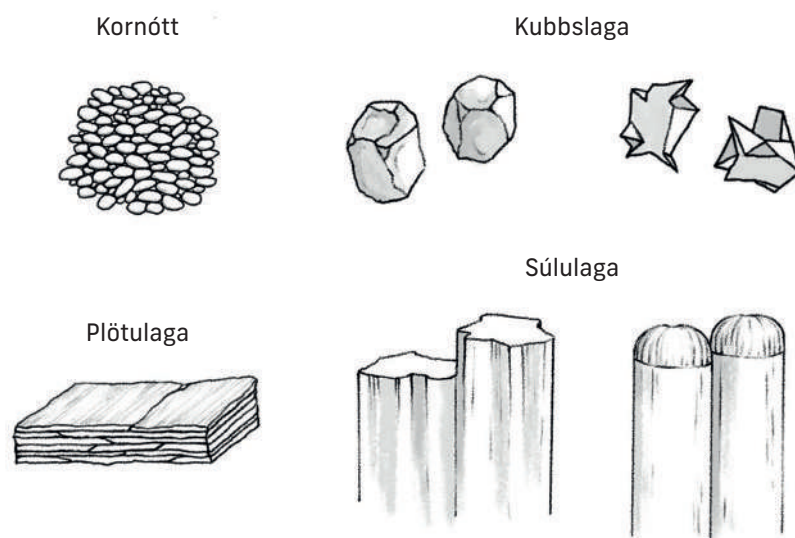
**Mynd 6.1.** Skriða í Seyðisfirði sem féll í desember 2020. Eðliseiginleikar efnisins í upptökum skriðunnar skýra skriðuhættuna. Eðliseiginleikar hafa einnig mikil áhrif á vatnshringrásina og margt annað sem mótar eðli og stöðugleika vistkerfa.

Þegar fjallað er um eðlisþætti jarðvegs fá vatnsþættir alla jafna mest vægi, en rætt er sérstaklega um vatn og mold í 4. kafla. Einnig var kornastærðareiginleikum og fleiri þáttum gerð skil í 2. kafla, sem vitaskuld teljast einnig til eðlisþátta jarðvegs. Í þessum kafla er fjallað um ýmsa aðra eðlisþætti en einnig um útlitseinkenni jarðvegsins. Eðlishegðun moldarefna hafa mikla þýðingu í verkfræði og jarðtækni og verður vikið að nokkrum slíkum atriðum í kaflanum. Þá er rætt um nokkra eðlisþætti sem hafa sérstaka þýðingu fyrir jarðveg eldfjallasvæða, þ.e. *eldfjallajörð* eða *sortujörð* (Andosol). Mun ítarlegri umræða er um *eldfjallajörð* og íslenskan jarðveg í síðari köflum.

## 6.1. Bygging og samloðun

### 6.1.1. Bygging

Jarðvegskorn raðast saman með margvíslegum hætti og mynda byggingareiningar, moldin tekur á sig byggingu (e. structure). Þessar einingar eru afar mikilvægar því rýmið á milli þeirra leiðir bæði loft og laust vatn um jarðveginn.



**Mynd 6.2.** Mismunandi gerðir byggingareininga. Kornótt bygging verður einkum til fyrir tilverknað lífvera á borð við ánamaðka. Kubbslaga bygging einkennir leirríkan og vel þróaðan jarðveg, en þessi bygging er afar veik á Íslandi. Plötulaga bygging er einkennandi á Íslandi vegna áfoks- og gjóskulaga, ekki síst í B- og C-lögum jarðvegs.

Bygging gefur einnig til kynna ýmsa aðra eiginleika moldarinnar, svo sem leirinnihald og jafnvel frjósemi.

Byggingareiningarnar eru af öllum stærðum, allt frá smásæjum einingum til köggla sem eru margir sentimetrar í þvermál (e. peds). Lífverur og lífræn efni eru oft og tíðum meginástæða þess að jarðvegurinn myndar samkorn (e. aggregates). Við sniðlýsingar eru notaðar staðlaðar aðferðir við að lýsa gerð, stærð og styrkleika samkorna (e. aggregates) og köggla. Helstu gerðir byggingar sem eru sýnilegar með berum augum eru kornóttar (kleprar), plötulaga og kubbslaga einingar (mynd 6.2).

Kornótt bygging verður til í yfirborðslögum, ekki síst þar sem ánamaðkar lífa góðu lífi, en þeir auka einmitt frjósemi jarðvegs á ýmsa lund. Í raun eru kornin þá kleprar sem gengið hafa í gegnum meltingarvef ánamaðka (mynd 6.3). Kornótt bygging er mjög algeng í yfirborðslögum á Íslandi, ekki síst þar sem mikið er um ánamaðka, t.d. í ræktunargörðum landsmanna. Frekari umfjöllun um byggingu er að finna í næsta kafla bókarinnar í tengslum við jarðvegslög og sniðlýsingar.

### 6.1.2. Samloðun

Lagslíköt og aðrar blaðlaga leirsteindir (sjá 2. kafla) mynda krafta á milli sín fyrir tilverknað skautaðra vatnssameinda sem liggja á milli „blaðanna“, þannig að moldin loðir saman svo úr verður brú á milli einstakra eininga moldarinnar. Lífræn efni hafa sömu áhrif. Að öðrum kosti myndi moldin hripa niður á milli fingra eins og sandur. Sem dæmi má nefna að hægt er að taka mold sem er rík af smektileir og búa til langa „fána“ með því að velta moldinni milli þumals og vísifingurs. Það er auðveldara að „drullumalla“ skemmtileg form þar sem blaðsilílköt eru í moldinni, eins og hvert leikskólabarn veit svo vel. Í leiriðnaði og ýmiss konar listgreinum eru hlutir



mótaðir í leir sem síðan eru formfestir með miklum hita þegar vatnið er brennt burt. Eiginleiki moldar að loða saman er einfaldlega nefnd samloðun (e. consistency). Oft er mikilvægt að leggja mat á samloðunina, sem gefur upplýsingar um leirmagn og leirgerð en einnig ýmsa vinnslumöguleika og verkfræðilega eiginleika moldarinnar.

Samkorn (e. aggregates) eru afar mikilvæg fyrir frjósemi jarðvegs vegna þess að þau hafa áhrif á loftun og vatnsleiðni sem áður sagði. Þetta á ekki síst við á ræktarlandi sem er plægt. Samkorn á yfirborðinu gera það hrjúft og þau hamla gegn rofi af völdum vatns og vinda á plægðu landi. Margs konar aðferðir hafa verið þróaðar til að meta eiginleika samkorna á yfirborði, t.d. styrk þeirra og stærð. Þau eru t.d. lögð á sigti af staðlaðri stærð og hrist í tiltekinn tíma til að kanna hve stór hluti þeirra brotnar niður. Nánari umfjöllun um lýsingu á byggi og samloðun þess er í næsta kafla en einnig í sérstöku kveri um sniðlýsingar sem Lbhí gaf út (ÓA o.fl. 2005).

## 6.2. Litur jarðvegs

Moldin tekur á sig ýmis litabrigði. Þar má nefna eldrauða mold hitabeltisins, grámóskulega mold í votlendi, ljósa mold eyðimerkursvæða, dökka lífræna mold, litríka mold barrskóga og eldfjallasvæða o.s.frv.

Jarðvegslögin (sjá 7. kafla) taka á sig mismunandi blæ eftir aðstæðum á hverjum stað. Afoxunarspenna hefur afgerandi áhrif á litinn því loftfirrið afoxar járn og mangan sem veldur grámóskulegri mold og jafnvel bláum og gulum litbrigðum. Þar sem jarðvegur þornar á ný geta myndast skærrauðir dýlar af oxuðu járn (mynd 6.4). Lífræn efni eru alla jafna dökk og jafnvel alveg svört en kalk og kvars eru ljósleit efni í



**Mynd 6.3.** Úrgangur ánamaðka mynda klepra á yfirborði og í A-lögum moldarinnar sem gjarnan eru uppistaða í kornóttri byggingu jarðvegsins. Mynd: Jóhann Þórsson.

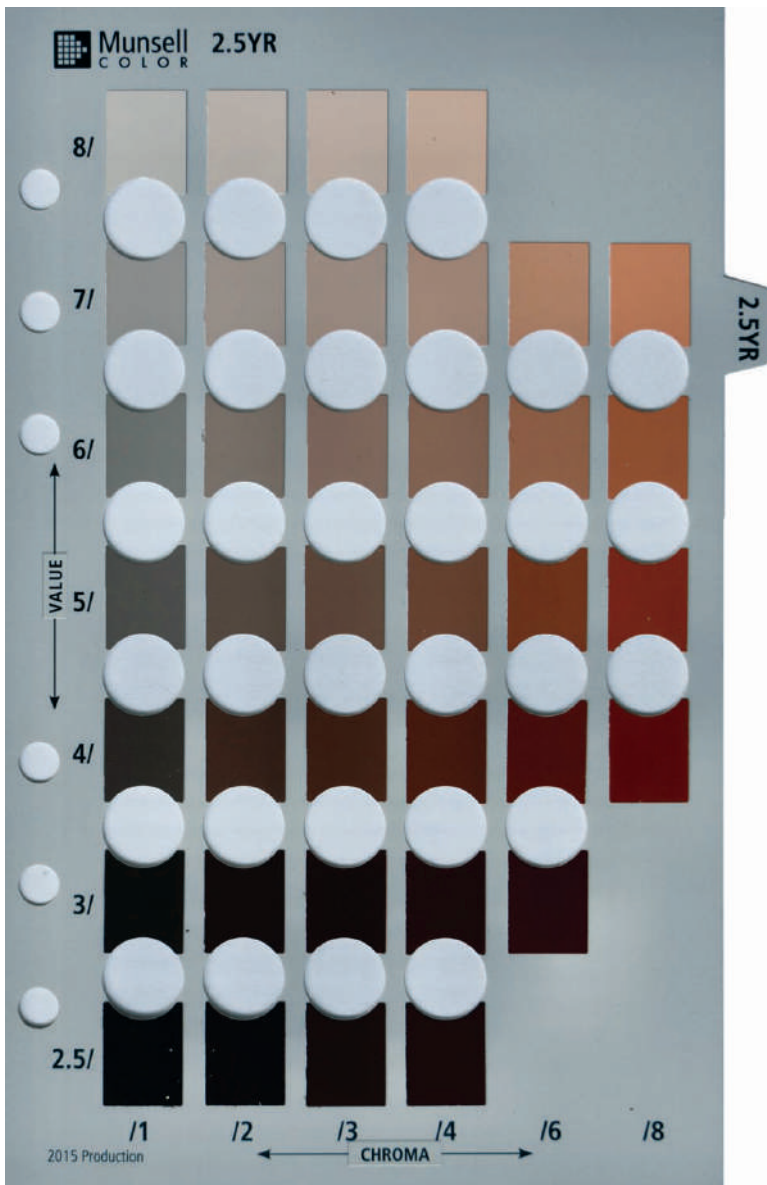
jarðvegi sem og salt (sjá t.d. bók Bigham og Ciolkosz (1993) um lit í jarðvegi). Járnsteindir verka sem rauð litarefni í jarðvegi og það þarf lítið af mörgum þeirra (t.d. ferrihýdríti og götheíti) til að moldin verði mjög rauðleit (mynd 6.4). Ýmiss konar litabrigði geta komið fyrir innan einstakra laga, svo sem áður nefndir dýlar, en á Íslandi eiga gjóskulög drjúgan þátt í að móta ásýnd jarðvegssniða.

Litur jarðvegs er metinn með aðstoð sérstakra litakorta, svonefndra Munsell-litaspjalda, en þeim svipar til litakorta sem notuð eru við val á innanhússmálningu (mynd 6.5).



**Mynd 6.4.** Rauðleitt jarðvegslag vegna járnútfellinga. Í botni sniðs sést móta fyrir rauðum dílum. Sniðið er tekið á gamalli tilraunastöð Landbúnaðarháskólans við Korpu.





Mynd 6.5. Mynd af Munsell-litakorti. Síða 25YR.

## 6.3. Eðlisþyngd og rúþyngd

Hver eining moldarinnar, t.d. einn rúmmetri, hefur ákveðna þyngd sem er afar breytileg eftir gerð jarðvegsins og ekki síður því hve mikið vatn er í moldinni. Einingin er nefnd rúþyngd jarðvegs (e. bulk density). Rúþyngd er oftast gefin upp sem grömm á rúmsentimetra ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) eða tonn á rúmmetra ( $\text{t}/\text{m}^3$ ) sem er í raun sama einingin. Miðað er við þurra mold (mynd 6.6).

Einstök bergefni, svo sem kvars eða gjóskugler í moldinni, hafa eðlisþyngd sem gjarnan er á bilinu  $2,5\text{--}3 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Kvars og mörg bergefni erlendis hafa eðlisþyngd á bilinu  $2,6\text{--}2,7 \text{ g}/\text{cm}^3$  (t.d. kvars), en basískt gler er þyngra og hefur oft eðlisþyngd nálægt  $2,9 \text{ g}/\text{cm}^3$ , enda eru þungir málmar á borð við járn í basaltinu. Þó er ýmis gjóska mjög létt í sér, t.d. grófur líparítvikur, sem getur jafnvel flotið í vatni ( $<1 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), enda er hann frauðkenndur og fullur af holrými. Holrými í jarðveginum gerir það að verkum að rúþyngd moldar er mun minni en eðlisþyngd bergefnanna, oft á bilinu  $1,1\text{--}1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$  í algengum jarðvegstegundum erlendis. Lífræn efni hafa aftur á móti afar litla rúþyngd og því lækkar hún hratt eftir því sem meira er af lífrænum efnum í moldinni.

Eitt megineinkenni *eldfjallajarðar*, svo sem á Íslandi, er lítil rúþyngd sem er oft og tíðum á bilinu  $0,5\text{--}0,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Af þessum tölum ( $2,9 \text{ g}/\text{cm}^3$  eðlisþyngd bergefna og rúþyngd moldar, t.d.  $0,7 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) sést að holrýmið er meira að umfangi í moldinni en bergefnin, sem útskýrir hvers vegna afar mikið vatn getur bundist í moldinni. Vörubílar sem flytja mold úr húsagrunnum í rigningartíð eru í raun einkum fullir af vatni. Jarðvegur auðna er aftur á móti þyngri og því minna af holrými í slíkum jarðvegi. Mómold er jafnvel ennþá léttari en *eldfjallajörð*.



Jarðvegsefni:  
0,2–2 tonn  
Kubburinn er  
1 m á hvern kant,  
1 rúmmetri.

Mynd 6.6. Rúþyngd miðar við þyngd þurrar moldar í hverjum rúmmetra ( $\text{kg}$  eða  $\text{tonn}/\text{m}^3$ ) eða í hverjum rúmsentimetra ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Mynd: Fífa Jónsdóttir.

Rúmþyngd hefur ekki aðeins áhrif á vatnseiginleika eða skiptir máli fyrir jarðverkfræði. Eftir því sem rúmþyngdin eykst verður moldin þéttari og fyrirstaðan meiri og því eiga rætur plantna erfiðara með að komast um moldina. Rótarkerfi plantna er einmitt mjög djúpt og víðfeðmt í hinni léttu *eldfjallajörð* sökum þess að fyrirstaðan er fremur lítil. Þungar vinnuvélar eða mikill ágangur búsmala getur haft veruleg áhrif á jarðveginn og valdið þjöppun (e. compaction) sem hefur skaðleg áhrif á jarðvegseiginleika.

Við þjöppun jarðvegs hægir á ísigi í moldina, sem og vatnsleiðni, auk þess sem vatnsheldni minnkar og þar með frjósemi jarðvegsins almennt. Hér á landi vegur holklaki á vetrum oft og tíðum á móti þjöppunni og losar um jarðveginn.

## 6.4. Aðrir eðlisþættir

### 6.4.1. Jarðvegshiti

Jarðvegshiti er grundvallareiginleiki sem hefur áhrif á umhverfi lífveranna í moldinni, umsetningu næringarefna og þar með vistkerfið í heild. Jarðvegshiti er enn fremur mikilvægur áhrifavaldur á jarðvegsmýndun þegar til lengri tíma er litið. Lífverur eru viðkvæmar fyrir of háum hita, t.d. þráðormar, sveppir og ýmsar örverur í moldinni. Vöxtur plantna er mestur við ákveðið hitastig, oft um 20°C, en þó er það misjafnt eftir tegundum, rakastigi og öðrum þáttum. Kuldi hefur einnig áhrif á örverur og umsetningu næringarefna og stundum er miðað við 0° eða 4°C þegar lægri mörk lífrænnar virkni eru skilgreind. Rannsóknir sýna þó að vistkerfi eru virk jafnvel þótt frost sé í jörðu; veturinn er mun mikilvægari í mörgum vistkerfum en mætti halda (Rannveig Guicharnaud o.fl. 2010a).

Margir þættir hafa áhrif á jarðvegshita fyrir utan lofthitann. Þar má nefna

**Tafla 6.1.** Dæmigerð rúmþyngd ýmissa jarðvegsgerða (A-lög nema O-lög í *mójrö*).

JARÐVEGSGERÐ	RÚMÞYNGD g/cm <sup>3</sup>
Graslendisjörð	0,8–1,3
Hitabeltisjörð	1,2–1,6
Sandur	1,5–1,9
Sendinn jarðvegur	1,3–1,6
Eldfjallajörð	0,5–0,8
Mójrö, erlend	0,1–0,4
Mójrö, íslensk	0,2–0,6

yfirborðspekjuna og þá einangrun sem í henni felst. Mikil sína getur t.d. tafið bæði hlýnun að vorlagi og kólnun að hausti. Þurr jarðvegur er iðulega lengur að hlýna en rakur jarðvegur (þó ekki vatnsmettuð mold eins og í mýrlendi) því holrýmið í þurri mold hefur einangrunargildi en rakinn í moldinni leiðir aftur á móti varmaorku á milli jarðvegslaga. Snjóalög sem safnast fyrir í skógi og kjarlendi einangra yfirborðið og draga út vetrarkólnun svo um munar. Á Íslandi er þessi þáttur einkar mikilvægur vegna mikilla frostáhrifa. Hins vegar hitnar hið dökka yfirborð íslenskra auðna mikið í sólskini og getur jafnvel orðið >40°C á heitum sólríkum dögum. Slík hitun hefur áhrif á hitastig jarðvegsins langt niður fyrir yfirborðið og raskar vatnsbúskap hans því uppgufun getur orðið ákaflega ör og jarðvegurinn þornað á skömmum tíma.

Hitunin hefur einnig áhrif á starfsemi örvera og næringarhringrás. Það er einmitt einn af kostum þess að skilja gróðurleifar eftir á moldaryfirborðinu við jarðrækt að tempru hitastig og rakastig, sem hefur jákvæð áhrif á marga jarðvegseiginleika fyrir utan að skila orku (C) til baka og næringarefnum í moldina (sjá Horton og Ochner 2012).

## Rúmpýngd, heildarmagn kolefnis og endurheimt votlendis

Lífræn efni í mold eru meginþáttur í hringrás gróðurhúsalofttegunda (GHL), eins og rætt var um í 3. kafla. Rúmpýngd er mikilvægur þáttur þegar meta á heildarmagn efna í moldinni. Sem dæmi má nefna magn kolefnis. Magnið er yfirleitt gefið sem hlutfallstala (%) en sú tala getur verið afar villandi ef rúmpýngdin er mjög breytileg. Til að reikna út heildarmagn efnis í hverjum rúmmetra jarðvegs þarf að margfalda hlutfallið með rúmpýngdinni.

Rúmpýngdin kemur mjög við sögu þegar reikna á út mögulega losun CO<sub>2</sub> frá framræstum mýrum og ábatann við að endurheimta votlendisvistkerfi og hnignuð þurrlandiskerfi.

Hér er tilgreint dæmi með tvenns konar votlendisjarðveg, annars vegar *mójörð* með hátt kolefnishlutfall (30%) og hins vegar *votjörð* með tiltölulega lágt kolefnishlutfall (10%). Fjallað er um flokka jarðvegs á Íslandi síðar í bókinni. *Mójörðin* er mjög létt í sér (t.d. 200 kg m<sup>-3</sup>) en *votjörðin* mun þyngri (t.d. 650 kg m<sup>-3</sup>, þ.e. hver rúmmetri vegur 650 kg í þessu dæmi). Heildarmagn kolefnis í hverjum rúmmetra moldar er þá í kílóum:

**Mójörð:  $30/100 \times 200 = 60 \text{ kg m}^{-3}$ ,  
þ.e. 60 kg C í hverjum rúmmetra**

**Votjörð:  $10/100 \times 650 = 65 \text{ kg m}^{-3}$ ,  
þ.e. 65 kg C í hverjum rúmmetra**

Dæmið sýnir að það getur verið svipað og jafnvel meira kolefni í *votjörðinni* en *mójörðinni* þrátt fyrir mun hærra hlutfall kolefnis í *mójörðinni*. Rúmpýngd og kolefnishlutfall eru vitaskuld breytileg, en tölurnar hér að ofan eru nokkuð dæmigerðar. Reglan er sú að með vaxandi hlutfalli (eða %) kolefnis í moldinni minnkar rúmpýngdin.

Þeir sem hafa andmælt endurheimt votlendis á Íslandi hafa gjarnan bent á lágt kolefnishlutfall víða í votlendisjarðvegi á Íslandi, svo sem á Suðurlandi, til að draga gagnsemina í efa. Slík röksemdafærsla er á miklum misskilningi byggð, eins og dæmið hér að ofan sýnir. Mýrar með hlutfallslega lágt kolefnishlutfall geta haft mikið heildarmagn kolefnis því rúmpýngdin er meiri.

Af þessu sést vel hve rúmpýngd jarðvegs er mikilvæg stærð við magn-útreikninga á mold, ekki síst þegar aðgerðir í loftslagsmálum eru vegnar, en einnig við útreikninga á heildarmagni næringarefna á borð við nitur og fosfór.

Jarðvegsvatn hefur mikil áhrif á hitafar í jarðvegi, bæði hitaleiðni og hitastig. Vatn eykur hitaleiðni til mikillar muna. Uppgufun fylgir gríðarleg kæling, sbr. svita og kælingu mannlíkamans (sjá kaflann um vatn hér á undan). Kælingin minnkar hitaáhrif á hlýjum dögum sé raki í jörðu. Mikil uppgufunarorka útskýrir m.a. kulda í yfirborði mýrlendis á vorin, sem getur verið mun kaldara en yfirborð þurrlendis. Samspil moldar við andrúmsloft er því mjög margbreytilegt, og þessa þætti þarf m.a. að hafa í huga við gerð loftslagslíkana fyrir veðurspár.

Þannig eru gildi sem lýsa yfirborði, vatnsbindingu og útöndun jarðvegs notuð í líkönum fyrir veðurspár á Íslandi sem annars staðar. Þurr mold hefur hins vegar loftrými sem virkar svipað og einangrun í veggjum húsa. Þetta getur m.a. haft áhrif á hvort unnt sé að leggja rafstrengi í jörð; mikil einangrun getur valdið ofhitnun jarðstrengja, eins og hefur orðið vart við hér á landi (Rannveig Guicharnaud o.fl. 2010b). Hitasveiflur eru vitaskuld mestar við jarðvegsyfirborðið, en þegar komið er á nokkurt dýpi, t.d. 2 m dýpi, er hitastigið farið að endurspeglar meðalhita ársins.

Jarðvegshiti er víða notaður sem þáttur í flokkun jarðvegs þar sem ræktunarmöguleikar eru snar þáttur í notkun kortlagningar á jarðvegi, t.d. í Bandaríkjunum. Þetta er jafnframt einn helsti veikleiki bandaríska kerfisins (Soil Taxonomy, sjá 9. kafla um jarðvegsflokka) því ræktunaráherslan er nokkuð yfirþyrmandi á kostnað almennra umhverfissjónarmiða. Og nú, á tímum loftslagsbreytinga, færast sumir jarðvegsflokkar norður á bóginn á jarðvegskortum af norðurhveli jarðar, en þetta eru veikleikar sem ekki voru augljósir þegar kerfið var þróað á árunum milli 1950 og 1960, á þeim tíma sem matvælaöryggi var afar mikilvægt í kjölfar heimsstyrjaldarinnar síðari.

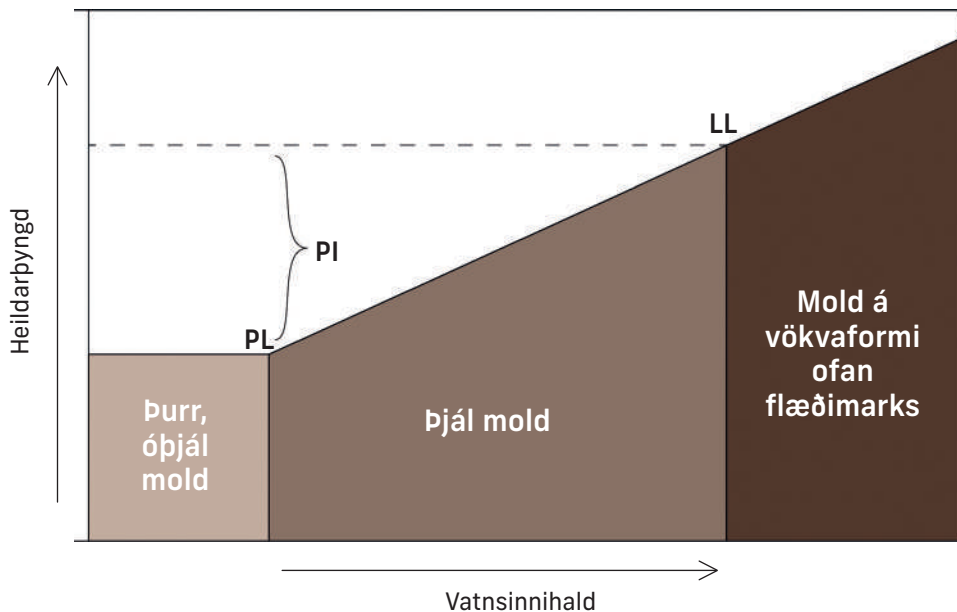
Hér á landi eru kulferli (frost-þýðu-hringir og ferli tengd frosti) einkar mikilvæg og er fjallað sérstaklega um þau síðar í kafla um kulferli. Einnig má nefna að þar sem sífreri er í jörðu er skilgreindur sérstakur jarðvegsflokkur, *frerajörð*, (Cryosol, Gelisol) en útbreiðsla þessarar jarðvegsgerðar fer nú minnkandi á norðurslóðum vegna loftslagsbreytinga. Loftslagsbreytingar hafa þó ekki aðeins áhrif á sífrerasvæði jarðar. Moldin geymir mikla hitaorku sem hún tekur við úr andrúmsloftinu. Taka þarf tillit til þessa þáttar við gerð spálíkana um þróun loftslags á jörðinni því moldin og efstu lög bergsins hafa í raun temprandi áhrif á loftslagshlýnun (sjá Horton og Ochner 2012).

## 6.5. Jarðverkfræði

Feykilega miklum fjármunum er varið í að flytja til og fjarlægja jarðvegsefni og undirbúa land undir ýmiss konar framkvæmdir á borð við vegi, stíflur, flugvelli, byggingar, hljóðmanir o.s.frv. Til þessa hefur þróast sérstök grein vísinda og tækni sem kalla mætti jarðverkfræði eða jarðvegsverkfræði, en á ensku er hún oftast nefnd „soil mechanics“ og um þetta viðfangsefni fjalla sérstakar fræðibækur. Umhverfisverkfræði er af svipuðum toga.

Jarðverkfræði tekur ekki aðeins til moldar heldur lausra jarðlaga almennt, jarðgangagerðar o.fl. Jarðverkfræðingar meta einnig hættu á skriðuföllum og vinna að margvíslegum úrlausnarefnum þar sem laus jarðlög á yfirborði jarðar koma við sögu. Á þessum vettvangi er rétt að nefna tvo mælikvarða sem jarðverkfræðin leggur á jarðvegsefni og eru mikilvæg fyrir umhverfi og moldina: svokölluð Atterbergmörk og flokkun verkfræðinga á jarðefnum.





**Mynd 6.7.** Atterbergmörk. Í byrjun er moldin þurr og óþjál en þegar ákveðnu vatnsinnihaldi er náð telst hún þjál (þjálnimark, PL). Ef meira vatni er bætt í jarðveginn nær hann að lokum flæðimarki (LL) og getur þá komist á vökvaform.

### 6.5.1. Samloðun og Atterbergmörk

Jarðvegur sem er fullkomlega þurr er óþjáll viðkomu; það er ekki hægt að móta hann með fingrunum. Þegar vatni er bætt í moldina nær hún að lokum því marki að verða þjál og þá er hægt að hnoða moldina án þess að hún molni sem þurrt 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 (mynd 6.7). Flæðimarkið gefur til kynna vatnsinnihald við vatnsmettun, sem eru mikilsverðar upplýsingar.

Þjálnitala (e. plasticity index), táknuð sem PI, er skilgreind sem mismunurinn á þessum tveimur mörkum: LL-PL, eða:

$$PI = LL - PL$$

(Þjálnitala = flæðimark – þjálnimark).

Þjálnitalan er vísbending um hvað mikið vatn moldin getur bundið, en er þó mun ónákvæmari aðferð en þær sem lýst er í kaflanum um vatn. Mjög auðvelt er að framkvæma mælingar sem ákvarða Atterbergmörkin.

Mikil nákvæmni er aukaatriði hér, meiru skiptir að fá hugmynd um eiginleika moldarinnar. Á tímum seinni heimsstyrjaldarinnar þurfti að þróa skjótar og auðframkvæmanlegar aðferðir til að flokka jarðefni, m.a. þegar byggðir voru flugvellir um allan heim á mjög skömmum tíma. Það var m.a. gert með því að gera graf þar sem þjálnitölu (PI) er varpað á y-ásinn og flæðimarki (LL) á x-ásinn (mynd 6.8), svokallað Casagrande-graf.

Í ljós kemur að jarðvegur heimsins raðar sér í námunda við línu á þessu grafi sem nefnd er A-línan. Leirinn hefur mikla vatnsheldni og því lendir leirríkur jarðvegur til hægri á grafinu, og það er breitt bil þar sem hann er þjáll (uppi á y-ásinum, tekur við vatni án þess að ná flæðimarkinu). *Eldfjallajörð* fellur hins vegar ekki að þessari línu (rauður kassi á grafinu), sem í raun sýnir sérstöðu *eldfjallajarðar* á heimsvísu en útskýrir um leið margt í hegðun hennar, eins og vikið verður að síðar í kaflanum um *eldfjallajörð* þar sem fjallað verður aftur um þetta graf (mynd 6.8).

Annað má nefna sem fagfólk, t.d. á sviði byggingarverkfræðiog landlagsmótunar, rekst oft á í sínum störfum, en það er flokkun verkfræðinga á lausum jarðefnum (e. Unified System of Classification). Þar eru Atterbergmörk og kornastærðir notuð til að móta flokka sem hafa gildi við skilgreiningu á eðliseiginleikum (tafla 6.2). Þessi flokkun ermikiðnotuðútumallanheim. Flokkarnir gefa til kynna notkunarmöguleika efnanna, hvort fjarlægja þarf efnin við vegaf framkvæmdir og aðrar byggingar framkvæmdir, hve stöðug þau eru í halla, hve auðvelt er að þjappa þeim

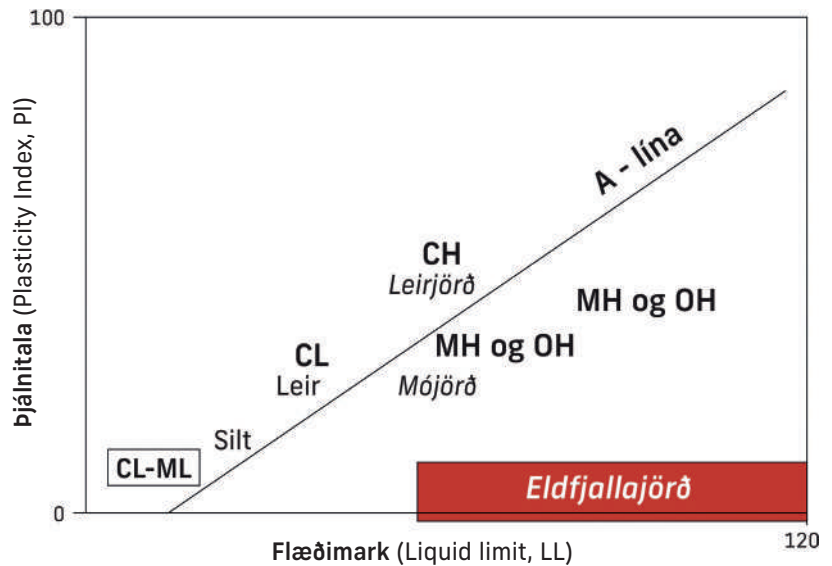
o.m.fl. Nokkrir flokkanna eru færðir inn á meðfylgjandi mynd fyrir Atterbergmörk.

### 6.5.2. Silt getur verið hættulegt – jarðverkfræði, mannvirki og silt

Silt er kornastærðarflokkur sem liggur á milli 0,02 og 0,002 mm í þvermál (sjá 2. kafla). Eins og áður hefur komið fram eru það fyrst og fremst leirsteindir sem halda moldarögnnum saman. Silt hefur ekki slíka samloðun, siltkorn hafa tiltölulega lítið yfirborðsflatarmál sem gæti stuðlað að samloðun. Silt myndast einna helst við núning sem jöklar mynda á milli bergefna undir gríðarlegum þrýstingi.

Mikið af silti í jarðvegi norðurslóða myndaðist á jökultímabilinu og var blásið suður frá jökuljöðrunum þannig að það mynduðust setlög úr silti sem nefnd eru löss. Siltrík setlög er einnig að finna í fornum vatnsbotnum frá jökultímanum og víðar. Mold sem myndast við slíkt áfok

Mynd 6.8. Casagrande-graf. Sérstaða eldfjallajörðar.



(löss) er alla jafna frjósöm (sjá 8. kafla um jarðvegsmýndun og 9. kafla um helstu jarðvegsgerðir jarðar). Ísland er ein af virkum uppsprettum silts í heiminum í dag (fok frá helstu uppfoksstöðum, sjá 17. kafla) og jarðvegurinn ákaflega ríkur af silti.

Mikið jarðskrið hefur átt sér stað, t.d. í Noregi, þar sem heilu bæjarhlutarnir

Tafla 6.2. Flokkun verkfræðinga á lausum jarðefnum. Einfölduð tafla. Sjá einnig grafið fyrir Atterbergmörk.

GRÓFKORNA JARÐVEGSEFNI	FÍNKORNA JARÐVEGSEFNI
Völur >50% Hrein malarefni	Silt og leir, LL <50%
GW – vel aðgreind <sup>1</sup> malar- og sandefni, lítið um fín efni.	ML – ólífrænt siltefni, fínn sandur og leirblandinn sandur.
GP – illa aðgreind malar- og sandefni, lítið um fín efni.	CL – ólífræn leirefni, óþjáll leir, malarkennd eða sandblandin leirefni.
Völur >50% Malarefni með fínum efnum	OL – lífræn siltefni eða leirefni sem eru óþjáll.
GM – Siltblandin malarefni, möl, sandur og silt.	Silt og leir, LL >50%
GC – leirblandin malarefni, möl, sandur og leir.	MH – þjál siltefni.
Hreinn sandur	CH – þjál leirefni.
SW – Vel aðgreindur malarkenndur sandur, lítið um fín efni.	OH – lífræn leirefni, þjál.
SP – Illa aðgreindur malarkenndur sandur, lítið um fín efni.	<b>LÍFRÆN JARÐVEGSEFNI – MÓMOLD</b>
Sandur með fínum efnum	Pt – mór og annar mjög lífrænn jarðvegur.
SM – siltblandinn sandur.	
SC – leirblandinn sandur.	

1. „vel aðgreind efni“ þýðir að kornastærð þeirra er einsleit.



## Silt bindur lítið vatn

Enda þótt silt bindi lítið vatn leiðir það vatn ákaflega greiðlega og getur innihaldið umtalsvert vatn við metnun, enda þótt það sé ekki fastbundið. Því er hreint út sagt afleitt að hafa silt í undirlagi fyrir byggingar eða vegi þar sem gætir frosts. Silt er nefnilega svokallað frostnæmt efni.

Skortur á samloðun veldur því að efnið getur auðveldlega runnið til sem væri það vatn. Engin burður er í slíku efni og það getur beinlínis verið hættulegt þar sem burður þarf að vera góður, t.d. í stíflumannvirkjum. Þá er líklegt að siltið í moldinni hér á landi ýti enn frekar undir jarðsil, sem fjallað er um í 16. kafla um kulferli.

Þegar silt þornar og því er pakkað (þrýst saman röku og látið þorna) getur það virkað sem nokkuð hart og stöðugt efni. Það brotnar þó auðveldlega niður og ef vatn kemst að því myndast auðveldlega vatnsrásir (e. piping) sem leiða stöðugt meira vatn í gegnum efnið.

hafa hvílt á siltríkum setlögum. Lössefni voruð notuð í hina frægu Teton-stíflu í Bandaríkjunum sem brast og olli miklu manntjóni árið 1977 (sjá Weil og Brady 2017, bls. 137).

Annað dæmi um afdrifarík mistök í hönnun var hluti flóðgarðanna sem áttu að vernda New Orleans fyrir flóðbylgjum sem fylgja fellibyljum. Þeir voru m.a. byggðir ofan á lagskipt jarðefni þar sem komu fyrir mólög og fleiri jarðvegslög með takmarkaða bindieiginleika (skerstyrk; e. shear strength) og binding efnisins var ekki tryggð nógu djúpt undir garðana. Þegar fellibylurinn Katrína skall á New Orleans með mikilli flóðbylgju tóku þessi mólög og fleiri lög að leka vatni og í framhaldinu gaf undirstaðan sig og þar með flóðgarðarnir með skelfilegum afleiðingum. Að auki höfðu auðrofin jarðvegsefni verið notuð í hluta stíflugarðanna í sparnaðarskyni (sjá Weil og Brady 2017, bls. 184; Anderson o.fl. 2007).

Hér á landi eru aurskriður algengar en því valda margir þættir. Í fyrsta lagi er moldin *eldfjallajörð* sem skortir samloðun en getur haldið gríðarlega miklu vatni (sjá 10. kafla). Víðast hvar er mikið af silti í moldinni, en siltmold er algengasti kornastærðarflokkurinn.

Að auki bætist það við að moldin er oft lagskipt, jafnvel með grófum gjóskulögum sem stöðva ómettað vatnsflæði og geta myndað eins konar vatnspolla í moldinni þar sem samloðun er mjög lítil (sjá kafla 4.4.2). Þessi gjóska getur um leið orðið að hálfgerðri rennibraut fyrir aurskriður. Mest hætta er á slíkum skriðum þegar moldin mettast algjörlega af vatni, en þá er hún jafnframt orðin mjög þung og nær auðveldlega flæðimarkinu.

Algengt er að við upprunastaði skriðanna sé skafl sem er að bráðna eða sprungur í siltríkum jarðvegslögum í hlíðum, t.d. ofan Siglufjarðar (myndir 6.9 og 6.10).

### 6.5.3. Rakaástand jarðvegs (e. drainage)

Rakastig jarðvegs hefur áhrif á afoxunarspennu og efnafræði hans, sem og ræktunarskilyrði. Rakastigið mótar einnig eðlisástand moldarinnar, m.a. með tilliti til notkunar við byggingarframkvæmdir og landslagsmótun. Enska hugtakið „drainage“ er notað til að lýsa rakaástandi jarðvegsins, þ.e. hve vel hann er ræstur. Hér er ekki átt við vatnsinnihaldið í sjálfu sér, heldur viðvarandi rakaástand stóran eða mestan hluta ársins – hversu vel

Tafla 6.3. Rakaástand jarðvegs, einfölduð tafla.

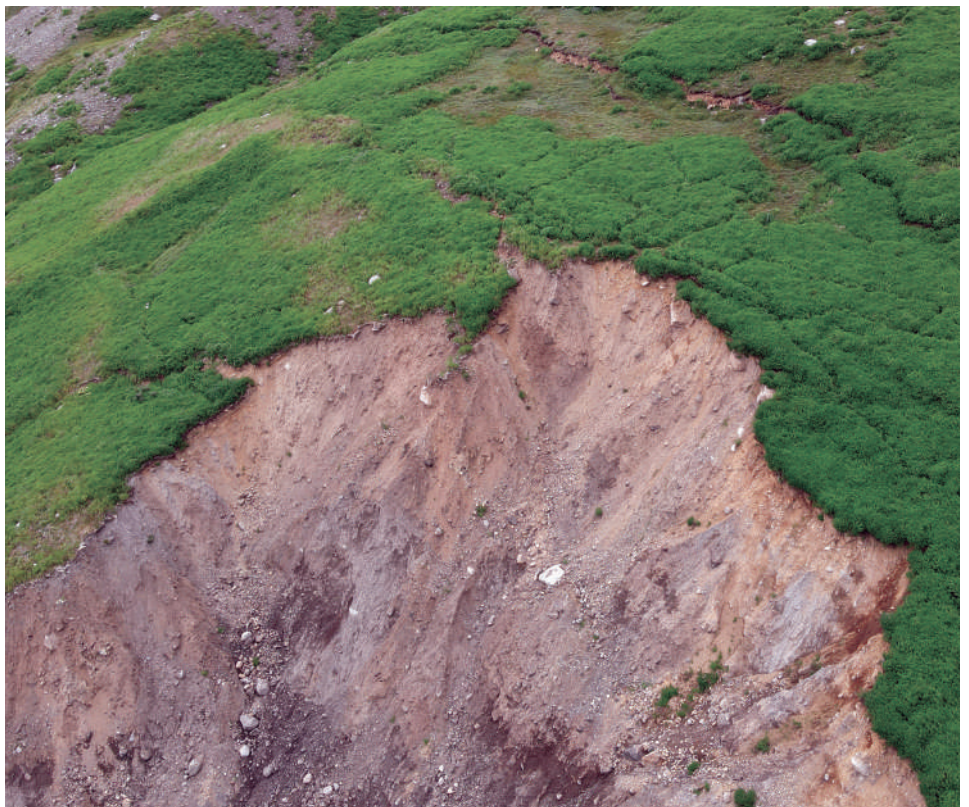
RAKAÁSTAND JARÐVEGS	
Mjög vel ræstur (þurr)	Grunnvatn stígur aldrei upp í yfirborðslag. Engin afoxunareinkenni.
Vel ræstur (fremur þurr)	Grunnvatn stígur ekki upp í yfirborðslag, vatnsmettun varir aðeins í skamma stund, t.d. í tengslum við frost. Engin ummerki um díla, gráma eða önnur afoxunareinkenni.
Slælega ræstur	Ummerki um að grunnvatn stígi til yfirborðslaga í skamma hríð eða nái að liggja nálægt yfirborði, m.a. í tengslum við jarðvegsfrost. Dílar, grámi og hnyðlingar, útfellingar við gróf jarðvegslög.
Illra ræstur (blautur)	Grunnvatn liggur í langan tíma við yfirborð, þótt það geti þornað nokkuð ef grunnvatnsborð lækkar í þurrkatíð. Mikil ummerki um gráma, díla o.fl.
Mjög illa ræstur	Mýrar, flóar og önnur viðvarandi votlendi.





**Mynd 6.9.** Skriða í Út-Kinn við Skjálfaflóa sem féll haustið 2021. Upptökin eru þar sem siltrik moldin er þykk í miklum halla. Við þær kringumstæður safnast oft mikill snjór sem hripar inn um sprungur þegar hann þiðnar. Ofsafengið regn og þýða auka á skriðuhættu við þessar aðstæður.

moldin er ræst fram af náttúrunnar hendi. Rakaástandi er yfirleitt lýst við sniðlýsingar (sjá næsta kafla). Notuð eru fremur stöðluð hugtök við ákvörðun um „ræsingu“ jarðvegs og eru þau svipuð frá einu landi til annars. Rakaástandinu er lýst sem allt frá mjög vel ræstum (þurrum) jarðvegi til illa ræsts votlendis (tafla 6.3).



**Mynd 6.10.** Upptakasvæði skriðunnar miklu á Seyðisfirði 2020. Þykk siltlög sem hafa litla sem enga samloðun og verða nánast að vökva þegar þau ná vatnsmettun (flæðimark – liquid limit). Sprungur hafa myndast í hlíðinni þar sem vatn sem fellur í ofsaregni og við snjóbráð á greiða leið niður í moldina. Lúpínuþekja er ekki æskilegt gróðurfar við þessar aðstæður því hún veitir litla vernd að vetri, það myndast þéttur klaki og hætta er á sprungumyndun.



# Heimildir

Við ritun þessa kafla var stuðst við almennar heimildir svo sem The Nature and Properties of Soils (Weil og Brady 2017), Environmental Soil Physics (Hillel 1998), Essential Soil Physics (Horton o.fl. 2016) og Soil Mechanics (Craig 1983).

Anderson, C.F., J.A. Battjes, B. Edge, W. Espey Jr., R.B. Gilbert 2007. The New Orleans Hurricane Protection System: What Went Wrong and Why. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia, USA.

Craig, R.F. 1983. Soil Mechanics. 3. útg. Van Nostrand Reinold, Wokingham, UK.

Bigam, J.M. og E.J. Ciolkosz, 1993. Soil Color. SSSA Special Publication no. 31. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press, London, UK.

Horton R.T. og T. Ochner 2012. Soil thermal regime. Í: Handbook of Soil Sciences. Properties and Processes. 2. útg. (Ritstj. P.M. Huang, Y Li, M.E. Sumner). CRC Press. Bls. 9.1–9.23.

Horton, R., R. Horn, J. Bachmann og S. Peth 2016. Essential Soil Physics. An introduction to soil processes, functions, structure and mechanics. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, Þýskaland.

Ólafur Arnalds, Bergrún Arna Óladóttir og Rannveig Guicharnaud 2005. Aðferðir við að lýsa jarðvegssniðum. Rit Lbhí nr. 5. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.

Rannveig Guicharnaud, Ólafur Arnalds og G. Paton 2010a. The effect of season and management practices on soil microbiological activities undergoing nitrogen treatments – interpretation from microcosm to field scale. Icelandic Agricultural Sciences 23:123–134.

Rannveig Guicharnaud, Berglind Orradóttir og Einar Sveinbjörnsson 2010b. Greining jarðvegs og úrkomu á Íslandi með tilliti til lagningar háspennustrengja í jörð. Landsnet nr. 10019, Reykjavík.

Weil, R.R. og N.C. Brady 2017. The Nature and Properties of Soils. 15. útg. Pearson, Boston, USA.

