



9

**Moldin er misjöfn –
helstu jarðvegsflokkar
heimsins**



Mynd 9.1. Jarðvegssúlur (e. soil monoliths) af fjölbreytilegum jarðvegsgerðum í safni University of Idaho í Bandaríkjunum – en aðeins lítill hluti safnsins sést á myndinni. Þessi kennslustofa er afar vinsæl fyrir kennslu í listtengdum fögum auk moldarfræða. Mynd: Ása L. Aradóttir.

9.1. Flokkun jarðvegs

Moldin er flókin veröld lífs og efna-sambanda – heimur sem er afar breytilegur frá einum stað til annars.

Það er mjög mikilvægt að skipuleggja þekkingu mannsins á jarðvegsauðlindinni, greiða fyrir samskiptum á milli vísindamanna, menningarheima og landsvæða og ekki síst að auðvelda flutning á þekkingu á mold á milli svæða. Til þess er nauðsynlegt að flokka jarðveginn. Flokkun jarðvegs er þrepaskipt, efsta þrepið safnar saman jarðvegi sem hefur svipaða eiginleika en á neðri þrepunum er ýmsum einkennum sem skilgreina hverja jarðvegsgerð lýst ítarlegar.

Í þessum kafla er fjallað um flokkun jarðvegs og helstu jarðvegsflokka heims. Af því tilefni eru kynnt ýmis hugtök sem þeim tengjast og vikið að sögu jarðvegsflokunar, sem er t.a.m. gott veganesti til að öðlast skilning á þeim mismun sem er á milli jarðvegsflokunarkerfa og margra þeirra hugtaka sem notuð eru við flokkun á jarðvegi. Fyrri hluti þessa kafla er að nokkru leyti hliðstæður texta sem var birtur í grein í *Náttúrufræðingnum* um flokkun íslensks jarðvegs (ÓA og Hlynur Óskarsson, 2009).

Jarðvegsheiti voru lengst af óalgeng í skrifum um íslenska náttúru. Að baki hverju hugtaki er ákveðin skilgreining sem lýsir eiginleikum moldarinnar. Víðast hvar erlendis eru þessi heiti jarðvegsflokka rituð með upphafsstaf til að leggja áherslu á sérstöðu þeirra (t.d. Andosol) en almenn lýsandi heiti, t.d. mýrajarðvegur, eru þá rituð með litlum staf. Hér verður notuð sú hefð að skrifa heiti jarðvegsflokka með skálettri í samræmi við það sem sett var fram í áður nefndri grein ÓA og Hlynur Óskarssonar (2009).

Notaður er upphafsstafur þegar um er að ræða alþjóðaheitin (t.d. Podzol) en lítill stafur fyrir íslenska jarðvegsflokka (t.d. *eldfjallajörð*) í samræmi við íslenska stafsetningarhefð.

9.2. Þróun flokkunarkerfa

Flokkun moldar má telja sem eina undirgrein jarðvegsfræðinnar sem leitast við að koma skipulagi á þekkingu manna á jarðvegsauðlindinni. Uppruna flokkunarinnar má rekja til frumkvöðlastarfs Rússa á seinni hluta 19. aldar þar sem áhersla var lögð á tengsl loftslags og jarðvegsgerða.

Sú flokkunarfræði þróaðist áfram í Bandaríkjunum og endaði með svokallaðri Zonal-flokkun jarðvegs árið 1938 (Baldwin o.fl. 1938). Mörg hugtök sem notuð eru í dag um jarðveg má rekja til þessa kerfis. Flokkunarfræðin stóðu síðan með miklum blóma langt fram eftir síðustu öld, ekki síst samhliða þróun á nýju viðamiklu flokkunarkerfi í Bandaríkjunum (US Soil Survey Staff, 1999; Wilding o.fl., 1983a,b).

Þetta kerfi nefnist „Soil Taxonomy“ og er notað víða um lönd og hefur auk þess lagt drjúgan skerf til undirstöðu annarra flokkunarkerfa, m.a. flokkunarkerfis FAO – WRB (IUSS, 2006, 2014), ýmist ritað hér sem WRB/FAO eða WRB. Fjallað verður um flokkun á íslenskum jarðvegi síðar.

Við flokkun jarðvegs nú á tímum er almennt leitast við að styðjast við mælanlega eða auðþekkanlega þætti moldarinnar. Það hefur verið ríkjandi skoðun að farsælt sé að flokka jarðveg með því að nota vísilög (e. diagnostic horizons), sem eru jarðvegslög með ákveðin greiningareinkenni sem unnt er að skilgreina á grunni mælanlegra eiginleika. Ennfremur er æskilegt að

vísilögin endurspeglir myndunarsögu jarðvegsins (e. soil genesis), sbr. klassískar greinar Cline (1949) og Arnold (1983) sem mikið er vitnað til.

Dæmi um slík greiningareinkenni og vísilög er „spodic horizon“ (Soil Taxonomy og WRB/FAO-kerfin) sem eru oft einkennandi fyrir jarðveg barrskóga og notuð til að skilgreina sérstakan flokk jarðvegs (Podzols eða Spodosols – *barrskógajörð* hjá okkur). „Andic“ jarðvegs- eða sortueiginleikar (Soil Taxonomy, WRB) eru notaðir til að skilgreina „Andosol“-jarðveg (*eldfjallajörð*), einkennismold Íslands.

Í upphafi þróunar á flokkunarkerfum fyrir meira en 100 árum var reynt að fylgja sem mest þeirri kennisetningu að loftslag og gróðurfar væru helstu þættirnir sem mótuðu þróun jarðvegs (svokallaðir Zonal-flokkar jarðvegs, jarðvegsgerðir fylgja beltaskiptingu í náttúruferli jarðar) en aðrir þættir á borð við landslag, móðurefni (bergefni) og tímann (aldur jarðvegs) valdi síðan breytileika innan kerfisins (Intrazonal-flokkar; fylgja ekki beltaskiptingu jarðvegs).

Þetta reyndist ekki nóg og til varð þriðja „fylkingin“, jarðvegur án skýrra jarðvegslaga (Azonal). Íslenskur jarðvegur passaði einna best þar inn, þ.e. sem Azonal-jarðvegur. Orðfæri í tengslum við þessar jarðvegsflokkunir varð nokkuð sérstakt og þess sér enn stað í rússneskum vísindaskrifum, t.d. um *eldfjallajörð*, sbr. mynd 9.2.

Með þróun á nýju bandarísku kerfi var alfarið horfið frá þessum hugmyndum, en ummerki þeirra sjást ennþá víða í mörgum flokkunarkerfum, ekki síst í nafngiftum. Nöfn sem Rússar gáfu jarðvegi eru ennþá mjög áberandi – nöfn á borð við Podzol (WRB, jarðvegur einkennandi fyrir barrskógasvæði, sjá hér á eftir) og Chernozem (jarðvegur einkennandi fyrir gresjur Sovétríkjanna). Bandaríkjamenn (Soil Taxonomy) endurbættu nafnakerfin til muna og margt sem þeir þróuðu hefur síðan verið tekið upp eftir þeim af öðrum, m.a. í WRB/FAO-kerfinu. Almenn má segja að við mótun nafngifta sé reynt að nota hugtök sem lýsa tilteknum eiginleikum jarðvegs en ekki ytri aðstæðum á borð við jarðfræði, loftslag eða gróðurfar, en jarðvegurinn mótast þó vitaskuld af þeim.

Jarðvegssnið – einstaklingurinn

Jarðvegssnið eru yfirleitt undirstaða flokkunar, eins konar grunneining jarðvegs. Við flokkun á jarðvegi er kappkostað að taka mið af ráðandi eiginleikum, þeim sem hafa áhrif eða tengjast sem flestum öðrum þáttum (e. accessory properties).

Andisols as Representatives of Abnormal Soils

L. O. Karpachevskii, L. S. Il'ina, and E. T. Rodionova

Soil Science Faculty, Moscow State University, Vorob'evy gory, Moscow, 119899 Russia

Received October 6, 1995

Abstract—The input of material at the surface of soils results in the development of abnormal (according to V.V. Dokuchaev) soils. The slow rate of this process favors for intensive humus accumulation in added material and for formation of deep-humus soils. Catastrophic burying of soils causes the formation of humusless layers within a soil profile. Reworking of geological deposits by a pedogenic process can be defined as pedolysis, i.e., the impact of developed soil on geological substratum.

Mynd 9.2. Dæmi um skrif um *eldfjallajörð* (Andisol) í rússnesku vísindatímariti. Hér er *eldfjallajörðin* dæmi um afbrigðilegan (abnormal) jarðveg, þ.e. hann fellur ekki að beltaskiptingu gróðurs og loftslags. Fengið úr Eurasian Soil Science 29, bls. 309.

9.3. Helstu flokkunarkerfi heims

Tvö alþjóðleg flokkunarkerfi hafa hlotið langmesta útbreiðslu. Það er annars vegar Soil Taxonomy (US Soil Survey Staff, 1999), sem er tiltölulega einfalt og lýsandi á efstu stigum kerfisins en verður ítarlegt og flókið eftir því sem moldinni er lýst nánar.

Hugmyndafræði Soil Taxonomy hefur haft mikil áhrif á þróun flestra annarra flokkunarkerfa, sem fyrr sagði. Hins vegar er um að ræða flokkunarkerfi FAO, alþjóðasamtaka jarðvegsfræðinga (IUSS), og fleiri alþjóðlegra stofnana sem er skammstafað WRB (stendur fyrir „World Reference Base“). Fyrsta útgáfa þess er frá 1998 (FAO-UNESCO, 1998) en ný útgáfa leit dagsins ljós 2014 (IUSS, 2014) þar sem m.a. er tekið tillit til íslensks jarðvegs við flokkun *eldfjallajarðar*.

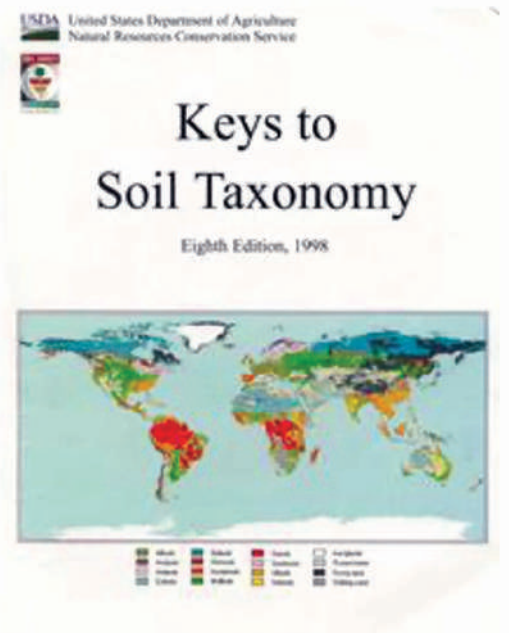
Gallinn við bandaríska kerfið frá íslenskum sjónarhóli er sá að stærsti hluti íslensks jarðvegs flokkast sem sami jarðvegurinn langt niður flokkunarkerfið (Vitricryands). Af öðrum flokkunarkerfum má t.d. nefna það

nýsjálenska, kanadíska, rússneska og franska.

Við skrif á þessum kafla um helstu jarðvegsflokka heims stóð valið um að nota WRB- eða Soil Taxonomy-kerfið. Það varð úr að styðjast við hið bandaríska Soil Taxonomy því að það hefur færri flokka á efsta stiginu sem hentar fyrir stutta umfjöllun á borð við þá sem hér fer á eftir. Jafnframt eru þessum flokkum gefin íslensk heiti.

WRB hefur mun fleiri flokka á efsta þrepi kerfisins, sem flækir umfjöllun af þessu tagi til muna, og reyndar er umtalsvert flækjustig á kerfinu þegar jarðvegur er flokkaður meira niður. Hartemink (2015) gerði könnun á notkun flokkunarkerfa sem sýndi vel að Soil Taxonomy og WRB væru útbreiddustu kerfin. Þekking á einu kerfi hefur þó í för með sér að auðvelt er að kynna sér önnur hliðstæð kerfi – hér er lögð áhersla á að lesandinn fái yfirsýn yfir mismunandi jarðveg jarðar með fremur einföldum hætti.

Það færast þó í vöxt að nota hugtök sem tengjast eiginleikum við skrif um mold en ekki eiginleg jarðvegsfræðileg hugtök, ekki síst á sviði lífvísinda – hugtök á borð við „landbúnaðarjarðveg“,



Mynd 9.3. Forsíður að lyklu fyrir helstu flokkunarkerfi heimsins. Ný útgáfa WRB til vinstri en eldri útgáfan fyrir miðju, Soil Taxonomy til hægri. Á kápu WRB er m.a. mynd af íslenskum jarðvegi fyrir miðju.

„votlendisjarðveg“, „dalamold“ o.s.frv. Þetta getur verið til boga því slík hugtök eru oft og tíðum harla merkingarlaus, en að sumu leyti er þetta því að kenna að mörg flokkunarkerfi fyrir mold og hugtök sem þeim fylgja eru of flókin.

9.4. Soil Taxonomy

Fyrsta útgáfan af Soil Taxonomy leit dagsins ljós 1961 og var hún kölluð „the 7th Approximation“. Fyrsta heildarútgáfan kom út 1975 (Soil Survey Staff 1975) en síðan hefur kerfið verið í stöðugri endurskoðun, sem m.a. hefur leitt til þess að tveir nýir jarðvegsflokkar hafa bæst við kerfið: *eldfjallajörð* (Andisol) og *frerajörð* (Gelisol). Í töflu 9.1 er listi yfir nöfnin í Soil Taxonomy en einnig íslensku heitin sem notuð eru hér að neðan.

Á neðri stigum kerfisins erfist hluti heitisins á efsta stigi, t.d. -and fyrir Andisol *eldfjallajörð*, -ox fyrir Oxisols, -id fyrir Aridisols, -oll fyrir Mollisols o.s.frv., eins og dæmin hér fyrir neðan

Tafla 9.1. Efsta stig Soil Taxonomy-kerfisins og sú þýðing á jarðvegsflokkum sem er notuð hér.

ENSK HEITI	ÍSLENSK HEITI
Gelisols	Frerajörð
Histosols	Mójörð
Spodosols	Barrskógajörð
Andisols	Eldfjallajörð
Oxisols	Hitabeltisjörð
Vertisols	Leirjörð
Aridisols	Eyðimerkurjörð
Ultisols	Heitempruð jörð
Mollisols	Graslendisjörð
Alfisols	Laufskógajörð
Inceptisols	Ungjörð
Entisols	Frumjörð

gefa til kynna. Vísilög eru notuð til að flokka jarðveginn á þessu efsta stigi flokkunarinnar. Á næsta þrepi ræður loftslag miklu (loftslagsflokkar, t.d. kalt loftslag; e. cryic).

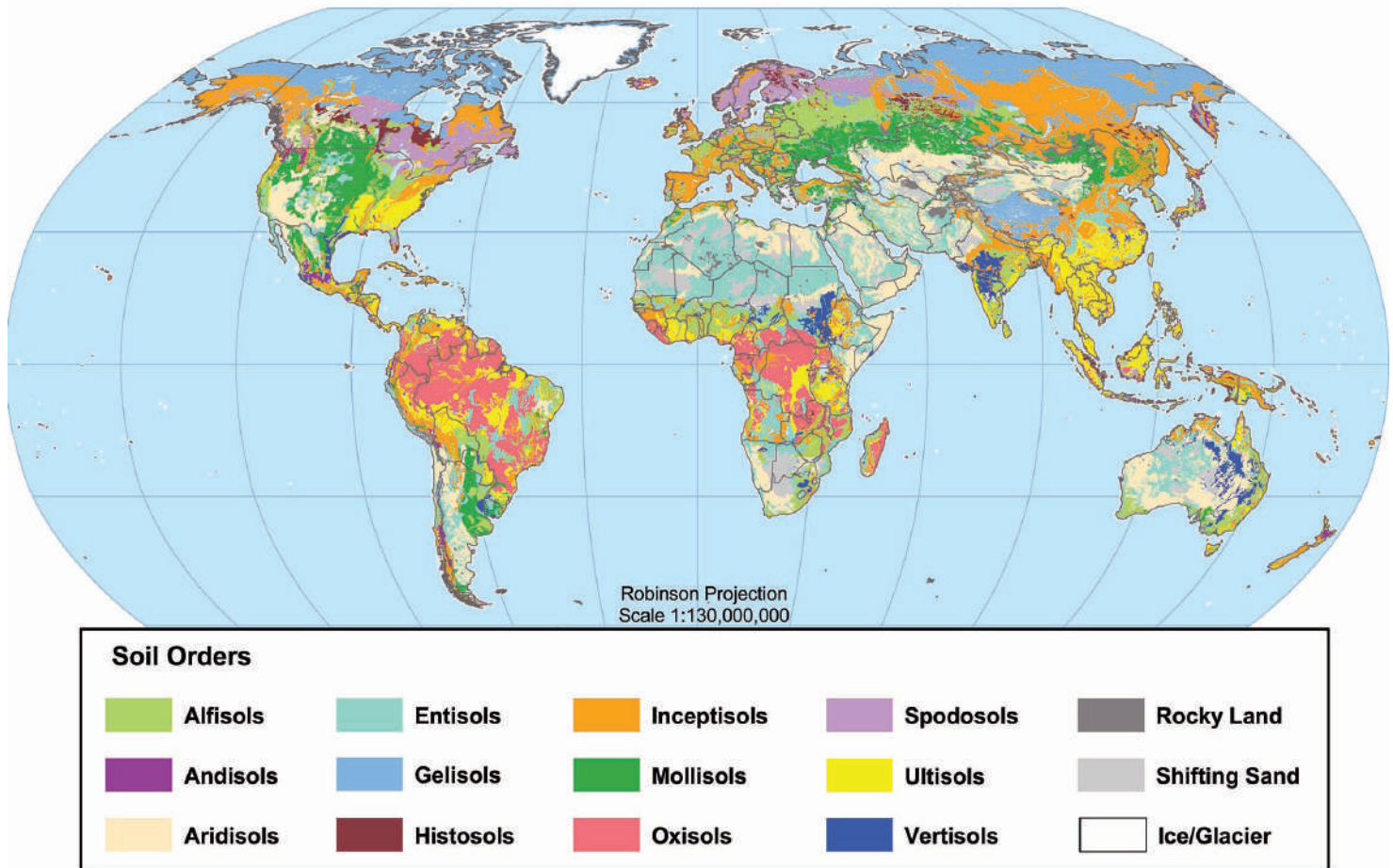
Stærsti hluti Íslands fellur undir „cryic“-loftslag; hér er jarðvegurinn Andisol svo að íslenskur jarðvegur fellur að stórum hluta undir Cryand, þ.e. kalda *eldfjallajörð*. Áherslan á loftslag endurspeglar áherslu á landbúnað og ræktun, en möguleikar til ræktunar á hinum ýmsu tegundum er einkum háð loftslagsþáttum (sé nóg af vatni og næringu í jarðveginum). Síðan er rakastig jarðvegsins tekið til skoðunar, en takmarkist jarðvegurinn ekki af kulda (Cryand) ræður rakastigið (frá blautri til þurrar *eldfjallajarðar*: Aquand, Udand, Ustand, Xerand). Þar á eftir koma ýmsir aðrir jarðvegsþættir, t.d. fyrir *graslendisjörð* og *eyðimerkurjörð*: Argiustoll (fremur þurr *graslendisjörð* með Bt-lagi (e. argillic horizon) og Arigid (*eyðimerkurjörð* með Bt-lagi).

Engin ástæða er til að velta sér upp úr öllum þessum smámunum nema að nauðsyn beri til í vísindalegum samskiptum eða ef einlægur áhugi skyldi kvikna (höfundurinn finnst þetta t.d. býsna skemmtileg fræði). Aðalatriðið er að jarðvegsflokkunin er afar skipuleg og eftir því sem neðar dregur í þrepaskipt kerfið fást æ meiri upplýsingar um moldina sem auðvelt er að ráða í, sé til staðar grunnþekking á kerfinu.

9.4.1. Frumjörð (Entisol)

Í upphafi jarðvegsmyndunar er aðeins óveðrað bergefnið (móðurefnið) til staðar. Slíkt efni myndar þó eigi að síður jarðvegsyfirborð – lítið þróaður jarðvegur sem fær heitið *frumjörð*. Aðstæður geta ennfremur verið með þeim hætti að jarðvegsmyndun sé afar hæg, jarðvegurinn er því óþroskaður í langan tíma og ber fyrst og fremst svipmót bergefnanna.

Global Soil Regions



Mynd 9.4. Gróft jarðvegskort af heiminum samkvæmt Soil Taxonomy. Forsíðumynd bókarinnar „Keys to Soil Taxonomy“.

Jarðvegssnið í *frumjörð* einkennist af A-C-jarðvegslögum og oft er lítið um lífræn efni í A-laginu. Fjörusandar og sandeyðimerkur Sahara teljast til *frumjarðar* að stórum hluta (en ekki íslensku sandauðnirnar, eins og síðar er fjallað um). Þessi jarðvegur hefur oftast mjög takmarkaða hringrás næringarefna og vatns, lífrænu efnin skortir og ef jarðvegurinn er sendinn skortir vatnsheldni og nýtanlegt jarðvegsvatn. En með vatnsmiðlun á borð við áveitur og með áburðargjöf er iðulega auðvelt að fá góða uppskeru úr slíkum jarðvegi, sem er raunin víða um heim.

Frumjörð þekur ansi stóran hluta jarðaryfirborðsins (16% lands), m.a. vegna þess hve sandyfirborð eyðimarkanna er víðáttumikið. *Frumjörð* er einnig algeng á flóðasvæðum og í bröttum hlíðum, hraunum og fjalllendi sem stendur hátt (hæg jarðvegsmýndum

og mikið rof). Súr gjóska (hátt SiO_2 -innihald, oft mjög stór eldgos) veðrast enn fremur hægt í þurru eða köldu loftslagi og telst *frumjörð* í langan tíma (oft þúsundir ára) eftir gjóskufallið samkvæmt erlendum flokkunarkerfum.

9.4.2. Ungjörð (Inceptisol)

Það sem einkennir þennan jarðveg er tilvist Bw-lags (e. cambic horizon; gelgjulag). Hér er jarðvegsmýndun komin vel af stað en skýrt afmörkuð jarðvegslög þroskaðrar moldar eru ekki til staðar.

Flokkurinn er afar fjölbreytilegur og er að því leyti hálfgerð ruslakista fyrir jarðvegstegundir sem passa ekki annars staðar. *Ungjörð* er jarðvegur fjallendis og flóðaslétta þar sem rask er algengt og því verður moldaryfirborðið ekki mjög gamalt. *Ungjörð* er einnig jarðvegur

á köldum svæðum þar sem hægir á jarðvegsmyndun vegna kuldans. Þessi jarðvegsflokkur er talinn þekja um 10% þurrlendis. Í upphafi var *eldfjallajörð* talin sem undirflokkur *ungjarðar* og flokkaðist sem Andept.

9.4.3. *Eyðimerkurjörð* (Aridisol)

Eyðimerkurjörð er jarðvegur eyðimerkur-svæða, eins og nafnið ber með sér. Eyðimerkur eru ákaflega útbreiddar á jörðinni og þessi jarðvegsgerð er talin þekja um 13% þurrlendis. Það er mikilvægt að hafa í huga að gróður er umtalsverður í yfirborði flestra eyðimarka nema þeirra allra þurrustu eða þar sem sandur verður ríkjandi yfirborðsgerð (m.a. sandöldur), sem þá teljast reyndar frekar til *frumjarðar*. Það sem einkennir þennan jarðveg fyrst og fremst er skortur á úrkomu. Uppgufun veldur því að katjónir á borð við Ca^{++} eru við yfirborðið og sýrustig er hátt (>7, oft nálægt 8).

Takmarkað er af lífrænum efnum í yfirborðinu miðað við t.d. *graslendisjörð* vegna örrar rotnunar og skertrar ljóstillífunar og A-lagið er því mun ljósara en í öðrum jarðvegsgerðum. Sökum þess hve sölt eru ofarlega í jarðveginum og uppgufun mikil eru ekki skilyrði fyrir myndun leirlags (Bt). Því er athyglisvert að víða hefur *eyðimerkurjörðin* Bt-lag (Argids) sem hefur þá myndast við önnur loftslagsskilyrði en nú ríkjja, t.d. á ísaldartímanum. Ef gróðurhulan er takmörkuð fjarlægir vindrof oft fínefnin svo að eftir situr malar-yfirborð sem nefnist „desert pavement“ (eyðimerkurmol; auðnaskrápur). Það er oft grábláleitt vegna þess að örverur hafa unnið járn og mangan úr moldinni og litað yfirborð steinanna („desert varnish“ – „auðnalakk“).

9.4.4. *Graslendisjörð* (Mollisols)

Graslendisjörðin er hin dökka mold gresjunnar og einn mikilvægasti jarð-

Viðkvæm vistkerfi

Eyðimerkurvistkerfi eru aðlöguð að þurrkum og að nýta vel þá litlu úrkomu sem til fellur. Hins vegar er áveitur víða að finna þar sem *eyðimerkurjörð* er ríkjandi, sem er þá frjó mold ef rétt er staðið að vatnsveitunni og vatnsgæði eru góð. Annars er hætta á uppsöfnun salta (m.a. NaCl) í yfirborðinu, sem getur í því tilfalli eyðilaggt vistkerfið algjörlega.

Stór hluti vistkerfa með *eyðimerkurjörð* er notaður til beitar, en þessi kerfi hafa víða þróast með hóflegri beit villtra dýra um þúsundir ára þar sem hún er hluti vistkerfanna. En vegna takmarkaðrar næringar og vatns eru kerfin vandmeðfarin og stór landflæmi af þessum toga hafa beðið óbætanlegan skaða vegna ofbeitar eftir að búfé var flutt inn á þau og einnig með stjórnlausri útbreiðslu ágengra tegunda, t.d. í Bandaríkjunum, Ástralíu, Austur-Asíu og Afríku.

Framleiðslugetan er takmörkuð, t.d. skortir nitur sem þarf að framleiða með jarðvegsskán og jarðvegsörverum. Því er framleiðnin iðulega háð heilbrigðri jarðvegsskán sem er mjög viðkvæm fyrir traðki beitardýra (sjá Belnap, 2003). Með hnignandi gróðurhulu hafa þessi svæði orðið æ meiri uppsprettur rykmengunar í heiminum.



Mynd 9.5. Sendinn jarðvegur. Mynd: NRCS/USDA.



Mynd 9.6. Eyðimörk og „auðnaskrápur“ (e. desert varnish). Kofa-fjöll í suðvesturhluta Arizona í Bandaríkjunum. Líparít og kalksteinn eru dökklituð af manganhúð en ljósari mold er undir.

vegsflokkurinn á jörðinni með tilliti til fæðuframléiðslu. Hana er að finna á fremur þurrum svæðum þar sem úrkoma er þó nóg til að viðhalda graslendinu en þurrt loftslagið stuðlar að góðu næringarástandi (katjónir) og sýrustigi (yfirleitt >6). Gnótt lífrænna efna safnast fyrir í yfirborðslögunum, basamettun er >50%, jarðvegurinn hefur góða samkornabyggingu o.s.frv. Einnig skiptir það máli að mikið af *graslendisjörðinni* hefur þróast í útbreidd áfokslög (lösslög) kaldtempraða beltisins, bæði á norðurhveli (Bandaríkin og Mið-Evrópa til Asíu um Kasakstan, Úkraínu og Rússland) og á suðurhveli (t.d. sléttur Argentínu). Segja má að *graslendisjörðin* liggja á belt milli *eyðimerkurjarðar* og *laufskógajarðar* (Alfisols).

Graslendisjörð má kalla kornforðabúr jarðar, en þó fyrst og fremst í Evrópu og Norður-Ameríku. *Graslendisjörðin* er talin þekja um 6% þurrlendis jarðar. Hún tekur yfir allmarga flokka WRB, svo sem Chernozems sem er algengt heiti á hinni frjóu jörð gresjunnar. Vegna þess hve frjósöm hún er hefur nánast hver fermetri hennar verið brotinn til ræktunar. Í fyrstu þurfti engan áburð á meðan gengið var á mikinn næringarforða sem var til staðar í moldinni. Í BNA er nú reynt að vernda þau fáu óröskuðu vistkerfi gresjunnar sem eftir eru, en sem áður voru ákaflega útbreidd.

9.4.5. Laufskógajörð (Alfisols – meðalþróuð jörð)



Mynd 9.7. Aquolls og Udolls (*graslendisjörð*). Dökk, rök, lífræn og frjósöm *graslendisjörð*. Þessi akur er í Norður-Dakóta (BNA) rétt vestan við hin rakari laufskógabelti (sunnar) og barrskógabelti (norðar) sem ríkjá síðan allt austur til strandar Atlantshafsins. Löss-bergefni eru undir. Mynd: Ása L. Aradóttir.

Laufskógajörð (Alfisols) er meðalveðraður jarðvegur, basamettun er lægri en í *graslendisjörð* og A-lagið er ljósara og inniheldur minna af lífrænum efnum. *Laufskógajörð* er einkennandi fyrir kaldtemprað loftslag. Leirkennt Bt-lag hefur myndast með tímanum. Gott íslenskt orð vantar fyrir þennan jarðveg. Alfisols kemur fyrir í mörgum loftslagsbeltum, allt frá norðurhveli til hitabeltisins þar sem leirinn einkennist að hluta af ál- og járnsteindum („alf“ í Alfisol er dregið af Al og Fe), en veðrunin er eigi að síður mun skemmra á veg komin en í *hitabeltisjörð* (Oxisol) og *heittempraðri jörð* (Ultisol). Þessi jarðvegur hefur mikla útbreiðslu fyrir sunnan barrskógabeltið í Evrópu og Bandaríkjunum. *Laufskógajörð* þekur um 10% alls lands og er almennt ágætur ræktunarjarðvegur enda þótt upphafleg frjósemi hennar sé allmiklu minni en *graslendisjarðarinnar*. Alfisols getur verið sendin jörð (jafnvel með E-lagi) og er þá hætt við jarðvegsrofi þegar hún er brotin til ræktunar.

9.4.6. Heittempruð jörð (Ultisols)

Frá *laufskógajörð* færast umfjöllunin um jarðveg heimsins að meira veðruðum eða þróuðum jarðvegi þar sem basamettun er orðin lág og oftast fremur lítið af lífrænum efnum í A-laginu. „Ulti“ í heitinu Ultisol er dregið af „ultimate“

(endastöð) sem gefur til kynna að moldin hafi þróast á enda og fái ekki viðbætur vegna jöklunar, foks eða af öðru raski. E-lagið er stundum þykkt en Bt-lagið einkennist gjarnan af kaólíníti. Ál- og járnsteindir eru einnig áberandi og jarðvegurinn er rauðlitaður. Þó eru ennþá til staðar steindir sem viðhalda meiri jónrýmd en finnst í *hitabeltisjörð*. Þessi jarðvegstegund er ákaflega útbreidd beggja vegna miðbaugs, ekki síst í suðausturluta Bandaríkjanna og Suðaustur-Asíu, en útbreiðsla á jörðinni er um 8,5% þurrlendis.

Heittempruð jörð (Ultisol) þróast yfirleitt í fremur röku loftslagi (sbr. útbreiðsluna) og finnst á gömlu yfirborði sem ekki hefur orðið fyrir afgerandi raski. Hún er gjarnan hulin laufskógi sem iðulega er grænn árið um kring þar sem yfirborðinu hefur ekki verið raskað (mynd 9.8). Þessi jarðvegsgerð er notuð til ræktunar á mörgum mikilvægum ræktartegundum, t.d. soja- og pálmolíum, en gæta þarf þess að bæta við lífrænum efnum í jarðveginn og áburðarþörf getur verið mikil.

9.4.7. Hitabeltisjörð (Oxisols)

Hér er átt við mikið veðraða mold hitabeltisins utan eyðimerkursvæðanna. Jarðvegur hitabeltisins, þar sem rask á borð við eldgos eða fellingafjallamyndun er ekki til staðar, einkennist af járn-



Mynd 9.8. Hinir stórfenglegu Iguazu-fossar á landamærum Brasilíu og Argentínu falla fram af þykkum basalhraunstafla (t.v.). Yfirborðið er hulið regnskógi (e. Atlantic rainforest). Moldin á svæðinu hefur verið að þróast á þessu undirlagi mjög lengi, jafnvel í milljónir ára. Myndast hefur djúp *heittempruð jörð* og *hitabeltisjörð* (Ultisol og Oxisol) með hinum dæmigerða rauða lit (t.h.). Skógurinn hefur verið fjarlægður af stórum svæðum í þágu landbúnaðar (t.h.) en víða er unnið að endurheimt þeirra og endurheimt líffjölbreytileika (skógur í bakgrunni).

Næring í hitabeltisjörð

Hitabeltiskerfin einkennast oft af því að nær öll lífrænu efnin í kerfinu eru í ofanjarðarhlutanum, þ.e. gróðrinum. Þau lífrænu efni sem falla til, t.d. við það að lauf, greinar og tré falla til jarðar, eru brotin hratt niður og berast aftur inn í lífkerfið.

Lítill næring er geymd að staðaldri í moldinni þar sem jónrýmdin er lítil. Slíkur jarðvegur er vitaskuld afar viðkvæmur fyrir raski á borð við akuryrkju því fljótt gengur á lífræna forðann.

Að ekki sé talað um ef regnskógurinn er brenndur til að skapa ræktarland – þá tapast stór hluti þeirra næringarefna sem safnað hefur verið í kerfið á löngum tíma nánast í einni svípan. Þess vegna er algengt að nota ýmiss konar skiptirækt á slíkum svæðum og láta kerfið jafna sig á milli.

og álsteindum. Kaólínít kemur einnig fyrir, en steindir með mikla jónrýmd (t.d. smektít) hafa veðrast og brotnað niður; kísill (Si) hefur veðrast að stórum hluta út úr kerfinu. Leirhlutfallið er oftast hátt, jónrýmdin afar lítil en jarðvegurinn djúpur (hefur verið lengi að þróast). Náttúrulegt vistkerfið er oftast regnskógur en inn á milli er *heittempruð jörð* (Ultisols) og fleiri jarðvegsflokkar. *Hitabeltisjörðin* hylur aðeins hluta hitabeltisins.

Hitabeltisjörð er fremur stöðug og auðvelt að rækta hana með áburðargjöf. Sums staðar hagar því þannig til að járnrikur jarðvegurinn, sem helst rakur meira og minna árið um kring í röku hitabeltisloftslaginu, harðnar ef hann nær að þorna og blotna á víxl þegar skógurinn er felldur. Gerist það er jarðvegurinn nánast ónýtilegur á eftir.

Dæmi um slíkar harðpönnur er víða að finna sunnan Sahara-eyðimerkurinnar þar sem loftslag hefur verið rakara á öldum áður, t.d. á ísöld. Þessi járnriku lög í jarðveginum (bæði í *heittempraðri- og hitabeltisjörð*) eru jafnframt notuð til þess að móta í múrsteina, eitt algengasta byggingarefnið í heiminum. Þar sem álsteindin gibbsít safnast fyrir myndast vinnanleg jarðlög sem notuð eru í áliðnaði (báxít).

9.4.8. Barrskógajörð (Spodosols)

Í kaflanum um jarðvegsmyndun var fjallað um ferlið „podzolization“ sem einkennir myndun *barrskógajarðar*. Sá jarðvegur er iðulega nokkuð sendinn með sendnu E-lagi undir yfirborðinu, Bh-lagi þar fyrir neðan og síðan Bt-lagi. Jarðvegssnið í *barrskógajörð* er því alla jafna litríkt með skýrum andstæðum, dökku yfirborðslagi, ljósu E-lagi, dökku Bh-lagi og rauðbrúnleitu Bt-lagi (sjá mynd 9.10).

Jarðvegurinn er yfirleitt súr, sem stafar m.a. af því að *barrskógajörð* myndast iðulega í kísilríku móðurbergi (hátt í SiO₂, lágt í bösum sem viðhalda hærra sýrustigi) en barrnálarnar virka ennfremur sýrandi á jarðveginn. Þó er rétt að halda því til haga að *barrskógajörð* myndast einnig í lösöslögum þar sem ákefð veðrunar í barrskóginum er mikil. Hið sendna E-lag verður til vegna mikillar veðrunar í yfirborðslögum, m.a. vegna lágs sýrustigs, sem leysir upp bergefni í þeim. Loftslagið er fremur kalt og rakt.

Dreifing *barrskógajarðar* er einkar athyglisverð en langsamlega stærstu svæðin er að finna í norðvestanverðri Evrópu (Noregur, Svíþjóð, Finnland



Mynd 9.9. Djúp *hitabeltisjörð* í Úganda. Í raun er moldin á þessum stað mun dýpri en hér sést. Mikil er af járn- og álsteindum í moldinni. Á þessu svæði er víða verið að þurrka mold til að búa til múrsteina.

og inn í Rússland vestan Úralfjalla og einnig í austanverðu Rússlandi) og norðaustanverðri Norður-Ameríku (Kanada og Bandaríkin) en einnig í Mið-Kanada og syðst í Suður-Ameríku. Heildarútbreiðslan telst ekki mikil (um 2,5% landsvæða jarðar).

9.4.9. Leirjörð (Vertisols)

Á mörgum stöðum á jörðinni hagar svo til að leirfni, sem að mestu er smektítleir, hafa safnast fyrir vegna setmyndunar þar sem stórflijt runnu til sjávar á einhverju skeiði í jarðsögunni. Við það hafa bergefnin, móðurefni jarðvegsins, orðið afar leirrík og þar myndast sérstæður jarðvegur: *leirjörð*. Í kaflanum um bergefni var rætt nokkuð um eiginleika smektítleirs.

Hann er afar smágerður og með gríðarlega mikið og virkt jarðvegsyfirborð (allt að 800 m²/g). Þessi leir getur tekið til sín feykilega mikið vatn en um leið bólgnar smektít-jarðvegurinn út, ekki ósvipað því sem gerist þegar jarðvegur frýs. Samloðun smektíts er afar mikil og þegar hann er vatnsmettaður er hann t.d. nánast ófær yfirferðar vantí gróðurhuluna (t.d. á ökrum), enda festist hann við allt yfirborð sem hann kemst í tæri við, svo sem skóbúnað eða hjólbarða. Þegar smektítleir þornar skreppur bilið á milli grunneininga leirsins saman og moldin harðnar og verður að lokum nánast eins og hart grjót. *Leirjörð* er af þessum sökum afar erfið í vinnslu, en er að öðru leyti frjósamur jarðvegur.

Í Bandaríkjunum er slíkur jarðvegur oft unninn með jarðýtum af stærstu gerð, en í þróunarlöndum hefur þróast tækni við ræktun sem lágmarkar jarðvinnsluna. Þegar jörðin verður vatnsmettuð og leirinn þenst út lokast fyrir ísig sem getur valdið yfirborðsrennsli, en þegar hann er þurr myndast sprungur í yfirborðið sem hleypa yfirborðsvatni mjög greiðlega inn.

Sökum útpenslu smektíts er slík jörð afar óhentugt burðarlag fyrir byggingar og vegi. Fjarlægja þarf yfirborðsmoldina og kalka jarðveginn vel til þess að smektítið þenjist síður út. Við náttúrulegar aðstæður myndast öldótt landslag, eins konar þúfur sem nefnast „gilgai“ (orðið kemur frá frumbyggjum Ástralíu og stendur fyrir polla sem myndast á milli „þúfnanna“ á slíku landi, samkvæmt færslu um gilgai á wikipedia). Vegir sem liggja um þessi svæði eru oft öldóttir og iðulega myndast holur í malbikið, líkt og þar sem óheppilegt burðarefni lendir undir samgöngumannvirkjum héraendis.

Leirjörð er talin þekja um 2,5% land-yfirborðs jarðar. Útbreiddustu svæðin eru á Indlandi, í Súdan, Ástralíu, Úrúgvæ, Chile og Texas í Bandaríkjunum.

9.4.10. Frerajörð (Gelisols)

Frerajörð (eða frostjörð) er jarðvegur sífrerasvæða á pólsvæðunum og hátt til fjalla þar sem frost fer aldrei úr jörðu.



Mynd 9.10. Barrskógajörð á norðurslóðum.
Mynd: Otto Spaargaren.

Sífreri er afar útbreiddur og talinn þekja um 9% lands á jörðinni (mynd 9.11). Hluti yfirborðsins þiðnar á hverju sumri, misþykkt lag eftir loftslagsaðstæðum. Lagið sem þiðnar er kallað „virka lagið“ (e. active layer). Gróður þrífst á yfirborðinu og hefur aðgang að næringarefnum og vatni í virka laginu sé hitastig sumarsins nægilega hátt til að gróður fái þrífist.

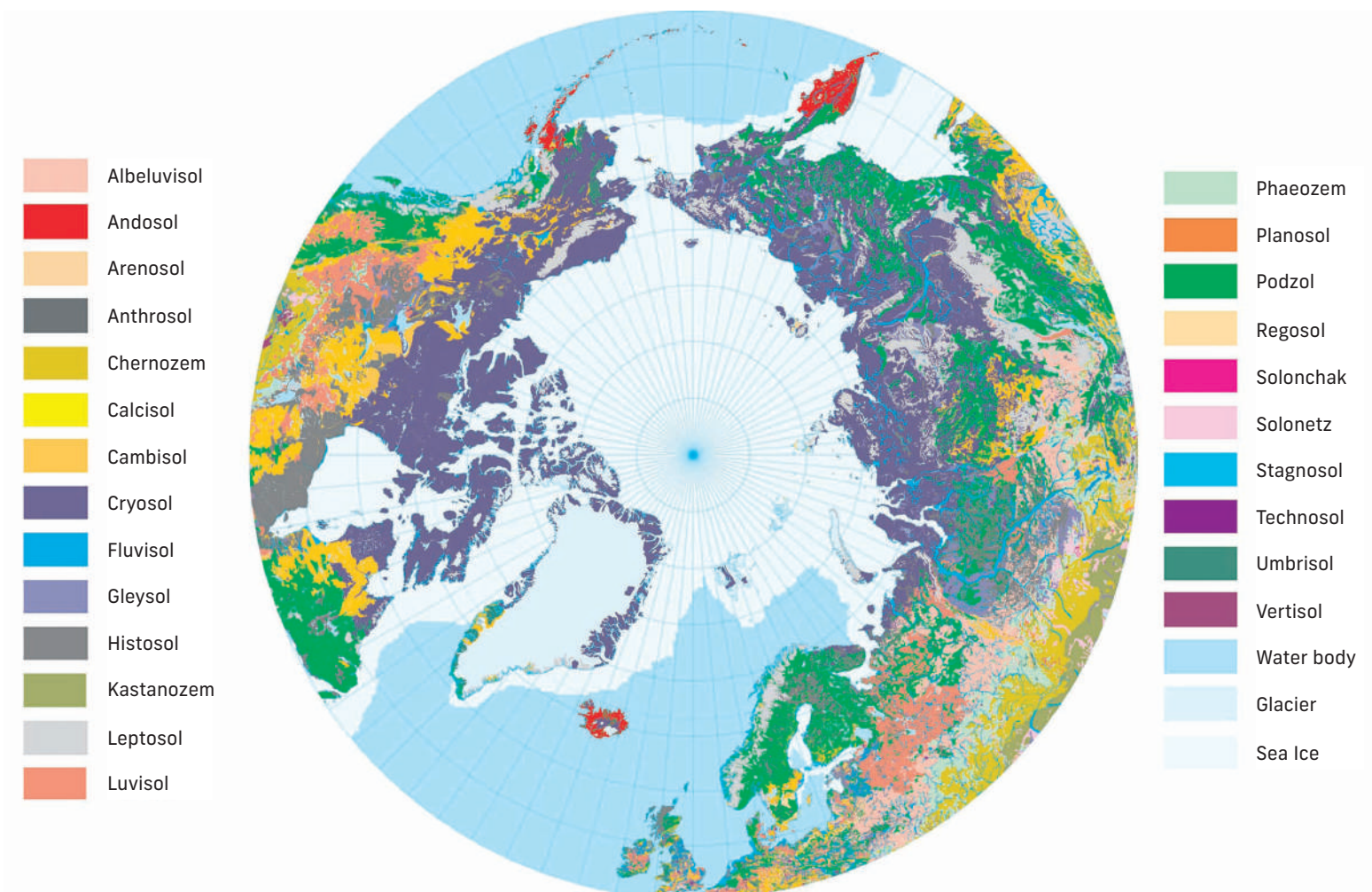
Mörg sífrerasvæði eru ákaflega þurr, t.d. í Kanada og Síberíu, en uppgufun er lítil og vatnsnýting góð. Þar sem sífrerinn hleypir takmörkuðu vatni niður fyrir holklakann myndast gjarnan afoxað ástand í moldinni og þar getur safnast fyrir mikið af lífrænum efnum. Þessi vistkerfi eru nýtt af stofnum dýra á borð

við hreindýr sem halda norður á bóginn í alsnægtir á sumrin. Margir fuglastofnar eru enn fremur sérhæfðir í nýtingu heimskautasvæðanna og hlutar þeirra hafa viðkomu á Íslandi á leið sinni til og frá slíkum svæðum, m.a. gæsir.

Frerajörðin er vitaskuld mótuð af áhrifum kulferla (áhrif frosts og þýðu) sem mynda alls kyns fyrirbrigði í landslaginu og jarðvegssniðinu. Kulferli eru enn fremur afar mótandi í íslensku landslagi og því er fjallað um þau sérstaklega í öðrum kafla síðar.

Þar sem gróðurhula er til staðar á sífrerasvæðum hefur hún áhrif á hitastig í moldinni með því að einangra og jafna

Helstu flokkar jarðvegs á norðurhjaranum samkvæmt WRB



Mynd 9.11. Jarðvegur heimskautasvæðanna samkvæmt flokkun WRB. Útbreiðsla *frerajarðar* (Cryosols samkvæmt WRB) sést vel á korti með póllægri kortavörpun (blár litur), en takið einnig eftir *mójröð* (grár litur) og *barrskógajörð* (Podzols samkvæmt WRB, grænn litur). *Eldfjallajörðin* er rauð. Heimild: Circumpolar Soil Atlas, Jones o.fl. 2010.

þar með hitasveiflur. Þar sem gróðurhulan er rofin, t.d. með raski af völdum umferðar ökutækja, getur ísinn undir tekið að bráðna, sem veldur miklum spjöllum á vistkerfinu. Um leið getur jarðvegurinn tekið að þorna og þá fara lífrænu efnin að rotna (oxast), sem losar um mikið magn CO₂ og stundum metangas sem er mjög öflug gróðurhúsalofttegund.

Þetta ferli getur undið upp á sig þar sem sífellt meiri spjöll verða vegna tiltölulega lítills rasks í upphafi. Norðurslóðir hafa orðið fyrir hvað mestum áhrifum af völdum hlýnunar vegna loftslagsbreytinga á jörðinni og um leið losnar gríðarlegt magn gróðurhúsalofttegunda úr jarðvegi sem hraðar hlýnuninni. Því má segja að sífrerasvæði séu meðal viðkvæmstu vistkerfa jarðar. Vitaskuld eru einnig til víðfeðm pólsvæði þar sem gróðurhula er takmörkuð og sífreri í jörðu. Svo er trúlega einnig á hálendinu norðanlands, ofan u.þ.b. 1000 m hæðar.

9.4.11. Mójörð (Histosols)

Mójörðin er hluti af votlendisvistkerfum jarðar sem sannarlega teljast meðal mikilvægustu vistkerfa hnattarins. Samkvæmt almennri skilgreiningu er *mójörðin* jarðvegur með yfir 12% lífræns kolefnis (O-lög). Þó vex gildið fyrir % C sem þarf til að moldin teljist *mójörð* með leirinnihaldi og verður 18% C þar sem mikið er af leir, sbr. skilgreiningu á O-lögum. Einnig er undantekning hvað varðar *eldfjallajörð* sem getur innhaldið >20–25% C án þess að teljast *mójörð*. Sem fyrr sagði (sjá 7. kafla um jarðvegs-snið) eru hin lífrænu efni ákaflega mismikið rotnuð, en víða á köldustu hlutum útbreiðslusvæðis *mójarðar* rotna þau afar hægt. Mómold er vinsæl söluvara fyrir pottaræktun. Rúmpýngd jarðvegsins er mjög lítil (vegna lífrænu efnanna, oft aðeins 0,1–0,3 g/cm³, sem þýðir að rými fyrir vatn er gríðarlega mikið (jafnvel >200% vatnsinnihald) og



Mynd 9.12. Orkuframleiðsla með mó í Finnlandi. Orkan er notuð til húshitunar og rafmagnsframleiðslu. Heildaraflíð sem fengið er með móbrennslu í Finnlandi nemur nokkur hundruð MW. Framleiðslunni fylgir mikið rask á vistkerfum og gríðarleg losun gróðurhúsalofttegunda – hún er því mjög umdeild. Mynd: Wikipedia – opinn aðgangur (public domain).

jónrýmdin er enn fremur mikil. Jafnframt er efnið létt í flutningi sé það þurrt.

Dreifing þessarar jarðvegsgerðar er afar slitrótt en einna samfelldustu svæðin eru á heimskautasvæðunum sunnan sífrerasvæða, t.d. í Alaska, Kanada, Skandinavíu, Rússlandi og Suður-Ameríku, en heildarþekja er þó talin <1% af landyfirborði. Finnar búa yfir stórum svæðum sem teljast *mójörð*. Mór er unninn úr jörðu víða um heim og notaður sem orku- og hitagjafi, og svo hefur verið lengi, m.a. á Íslandi fyrr á öldum. Á krepputímum eða þegar tekur fyrir skipaflutning á olíu og kolum, t.d. þegar heimsstyrjaldir geisuðu í Evrópu, varð mórinn afar mikilvægur hitagjafi víða um lönd. Yfirleitt fylgir brennslu hans gríðarleg loftmengun. Víkið er að landbúnaðarnotkun votlendissvæða hér á eftir.

9.4.12. Eldfjallajörð (Andisols)

Jarðvegur sem myndast á eldfjallsvæðum öðlast afar sérstæða eiginleika, svokallaða „sortueiginleika“ (e. andic soil properties), sem veldur því að slíkur jarðvegur er flokkaður sérstaklega. Íslenskur jarðvegur er að

Ósjálfbær nýting votlenda

Með framræslunni er um leið raskað afar viðkvæmum vistkerfum sem hafa gildi langt út fyrir útbreiðslusvæði votlendisins, m.a. vegna áhrifa á dýralíf, vatnsmiðlun, hitamiðlun og næringarframboð í vatnakerfum o.s.frv.

Sjónir manna hafa því mjög beinst að afleiðingum röskunar á votlendisvistkerfum, ekki síst losun gróðurhúsa-lofttegunda. Setning í bók Weil og Brady 2017 er eftirtektað en þar er getið um að yfirborð *mójarðar* í kringum hús á Flórída hafi lækkað um 1,2 m á 60 árum, og þar segir „... but artificial drainage that lowers the water table and continually dries out the upper horizons is an unsustainable practice on any Histosol“.

Með öðrum orðum, það er sama hver nýtingin er, hún getur aldrei talist sjálfbær á meðan gengið er á lífrænan forða votlendisins. Hugað verður að framræslu votlendis á Íslandi síðar í þessu riti (22. kafli).

meginhluta *eldfjallajörð* og er henni því gefið rúm í sérstökum kafla, jafnframt því sem fjallað er um íslenskan jarðveg síðar í ritinu.

9.5. Votlendisvistkerfi (*mójarð* og önnur votlendiskerfi)

Votlendi með minna en 12% C í yfirborðslögum eru skilgreind sem undirflokkar annarra jarðvegsgerða samkvæmt Soil Taxonomy að *frerajörð* undanskilinni. Sem dæmi má nefna Aquolls (votlend *graslendisjörð*) og Aqualfs (votlend *laufskógajörð*). WRB skilgreinir votlendisjarðveg sem sérstaka jarðvegsgerð, Gleysols, sem að sumu leyti er eðlileg skipting, og þar með er unnt að halda utan um votlendi jarðar á efsta stigi flokkunarinnar.

Flest votlendi eru rík af lífrænum efnum, einnig þau sem ekki ná 12% C lágmarkinu fyrir *mójarð*. Mikil ástæða er til að gefa votlendisjarðvegi jarðar sérstakan gaum vegna mikilvægis hans á heimsvísu.

Víða um heim hefur votlendum verið raskað með framræslu. Við þekkjum

þessa sögu vel á Íslandi, eins og síðar verður vikið að, en sem dæmi má nefna að um helmingur votlendis í Bandaríkjunum hefur verið ræstur fram (Weil og Brady, 2017). Við framræsluna kemst súrefni að hinum lífrænu efnum og þau taka að rotna – þau oxast og til verður CO₂. Þá verða nitur og önnur næringarefni sem bundin eru í jarðveginum aðgengileg og jörðin því mjög frjó. Það er því skiljanlegt að bændur allra tíma hafi seilst til þess ráðs að ræsa fram votlendi sér til viðurværis. En um leið og jarðvegurinn tekur að oxast gengur á auðlindina og yfirborðið getur hreinlega tekið að lækka. Lækkunin getur numið allt að 5 cm á ári í hlýju loftslagi og lækkun getur einnig átt sér stað hérlendis, samanber mynd 9.13.

Þessi rotnun á lífrænum efnum í moldinni losar gríðarlegt magn gróðurhúsalofttegunda og er enn þann dag í dag meðal afkastamestu uppsprettu þeirra á jörðinni. Dæmi er um að land með margra metra þykkri *mójarð* sem ræst var fram fyrir einni öld eða svo sé orðið að þunnri skán á yfirborðinu, t.d. á Bretlandseyjum.

Mótekja í fjölbreyttum tilgangi (t.d. gróðurhúsamold) er stór atvinnuvegur sem stuðlar einnig að geigvænlegri



Mynd 9.13. Sig jarðvegs í kringum hús í Norðurmýri í Reykjavík vegna losunar kolefnis við framræslu jarðvegsins.

losun gróðurhúsalofttegunda. Mór er notaður til brennslu víða um heim, eins og áður sagði, og svo hefur verið lengi (mynd 9.14). Mótekja í þessu skyni er ennþá mjög mikil í Rússlandi, Finnlandi og víða í Kanada. Mótekja og brennsla mós er mjög hliðstæð notkun annars jarðefnaeldsneytis á borð við olíu en umhverfisáhrifin eru iðulega margfalt meiri vegna rasks á yfirborði og reykmenngunar því mórinn er mun óhreinna brennsluefni en olía, gas og jafnvel kol.

Víða um heim er lögð vaxandi áhersla á verndun votlendiskerfa og t.d. er í gildi bann við frekari röskun votlendisjarðvegs í sumum ríkjum Bandaríkjanna. Þess vegna þarf að kenna nemendum á tæknisviðum að þekkja einkenni votlendisjarðvegs, m.a. afoxunareinkenni á borð við gráma, díla o.fl.

9.6. WRB – FAO-kerfið

Soil Taxonomy-flokkunin þykir nokkuð flókin í notkun þegar moldin er flokkuð ítarlega niður eftir kerfinu og hefur því hlotið margvíslega gagnrýni, enda þótt flestir séu sammála um að hinir fáu flokkar á efsta þrepi kerfisins séu mjög lýsandi og gagnlegir. Og það skal ítrekað að önnur kerfi byggjast mikið á þeirri grunnvinnu sem lögð var í Soil Taxonomy. Raunar eru tvö og jafnvel þrjú efstu þrep Soil Taxonomy yfirléitt auðveld í notkun. Það eru einkum neðri þrepin sem þykja erfið, eins og áður segir, og flokkunin krefst þá oft viðamikilla efnagreininga.

Alþjóðlegur hópur sem tengist Sam-einuðu þjóðunum (Food and Agriculture Organization, FAO) og ýmsum alþjóðlegum samtökum jarðvegsfræðinga hefur smám saman verið að byggja upp annað kerfi sem er hugsað til notkunar hvar sem er í heiminum og á almennt að vera auðveldara í notkun. Það nefnist WRB-kerfið (sem stendur fyrir

„World Reference Base“) og var minnst lítillega á það hér í upphafi þessa kafla. Alþjóðasamtök jarðvegsfræðinga (International Union for Soil Science) standa nú að baki kerfinu. WRB-kerfið hefur reynst vel á alþjóðavísu og heimskort og Evrópukort styðjast orðið að stórum hluta við þetta kerfi. Flokkar kerfisins á efsta þrepi eru mun fleiri en í Soil Taxonomy, sem gerir það erfiðara til að gefa einfalt yfirlit, t.d. við kennslu. Flokkunin byggist á um 40 vísilögum og getur hver flokkur haft mörg vísilög. Þar eru votlendi flokkuð sérstaklega sem „Gleysols“ (*votjörð*), sem er mikilvægt frávik frá Soil Taxonomy (*eldfjallajörð* þó undanskilin). Raunar er það svo að vinna er hafin við að búa til sérstakan flokk fyrir „Gleysols“ í bandaríska kerfinu.

Margir flokkar eru sameiginlegir með WRB og Soil Taxonomy, svo sem *leirjörð* (Vertisols), *frerajörð* (ST: Gelisols, WRB: Cryosols), *eldfjallajörð* (ST: Andisols, WRB: Andosols) og *ungjörð* (ST: Inceptisols, WRB: Cambisols). Reynt er að hafa samræmi á milli kerfanna, t.d. við flokkun *eldfjallajarðar*, þ.e. hvernig flokkarnir eru skilgreindir. Þó telur höfundur þessa rits að nú sé svo komið að WRB sé orðið flóknara í notkun en Soil Taxonomy, sbr. umfjöllun um flokkun íslensks jarðvegs.



Mynd 9.14. Mótekja í Laugarnesi í Reykjavík árið 1924. Mönnum er hreykt á barmi mógrafarinnar þar sem hann þornar. © Peter J. Sörå /Ljósmyndasafn Reykjavíkur.

Heimildir

Umfjöllunin um jarðvegsflokka er að hluta til byggð á kennsluriti Weil og Brady (2017), Handbook of Soil Science (Huang o.fl., 2012) og Encyclopedia of Soil Science (Chesworth, 2008) en ítarlega umfjöllun um jarðvegsflokkan má finna í bókum Wilding o.fl. (1983a,b) um jarðvegsmyndun og Soil Taxonomy. Wilding var raunar annar aðalleiðbeinandi ÓA í doktorsnámi við Texas A&M University. Þá eru afar fróðlegir kaflar í The Soils of the USA (West o.fl. 2016) sem hér eru einnig hafðir til hliðsjónar.

Arnold, R.W. 1983. Concepts of soils and pedology. Í: L.P. Wilding, N.E. Smeck og G.F. Hall (ritstj.), Pedogenesis and Soil Taxonomy I. Concepts and Interactions. Elsevier, Amsterdam, Holland. Bls. 1–21.

Baldvin, M., C.E. Kellogg og J. Thorp 1938. Soil Classification. Í: Knight o.fl. (ritstj.), Soils and Men. Yearbook on Agriculture 1938. USDA, Washington, USA. Bls. 979–1001.

Belnap, J. 2003. The world at your feet: desert biological soil crusts. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1:181–189.

Chesworth, W. 2008. *Encyclopedia of Soil Science*. Springer, Dordrecht, Holland.

Cline, M.G. 1949. Basic principles of soil classification. *Soil Science* 67:81–92.

FAO-UNESCO 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports No. 84. FAO, Róm, Ítalía.

Hartemink, A.E. 2015. The use of soil classification in journal papers between 1975 and 2014. *Geoderma Regional* 5:127–139.

Huang, P.M., Y. Li og M.E. Sumner (ritstj.) 2012. *Handbook of Soil Science* 2. útg. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, USA.

IUSS Working Group WRB 2006. *World Reference Base for Soil Resources 2014*. World Soil Resources Reports No. 103, FAO, Róm, Ítalía.

IUSS Working Group WRB 2014. *World Reference Base for Soil Resources 2014*. World Soil Resources Reports No. 106, FAO, Róm, Ítalía.

Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, New York, USA.

Jones, A., V. Stolbovov, C. Tarnocai, G. Broll, O. Spaargaren og L. Montanarella (ritstj.) 2010. *Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region*. European Commission, Publications Office of the EU, Luxemburg.

Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson 2009. Íslenskt jarðvegskort. *Náttúrufræðingurinn* 78:141–153.

Soil Survey Staff 1975. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Agriculture Handbook No. 436. SCS-USDA, U.S. Government Printing Office, Washington DC, USA.

Soil Survey Staff 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2. útg. Agriculture Handbook No. 436. USDA-NRCS, U.S. Government Printing Office, Washington DC, USA.

Soil Survey Staff 2003. *Keys to Soil Taxonomy*. 9. útg. USDA-NRCS, Lincoln, Nebraska, USA.

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

West, L., M.J. Singer og A.E. Hartemink (ritstj.) 2016. *The Soils of the USA*. World Soils Book Series. Springer, USA.

Wilding, L.P., N.E. Smeck og G.F. Hall (ritstj.) 1983. *Pedogenesis and Soil Taxonomy I. Concepts and Interactions*. Developments in Soil Science 11A. Elsevier, Amsterdam, Holland.

Wilding, L.P., N.E. Smeck og G.F. Hall (ritstj.) 1983. *Pedogenesis and Soil Taxonomy II. The Soil Orders*. Developments in Soil Science 11B. Elsevier, Amsterdam, Holland.

