



12

**Eðliseiginleikar
jarðvegs – bergefni og
íslensk náttúra**



Mynd 12.1. Litadýró á háhitasvæði í Vonarskarði. Þarna er að finna fjölbreytt mengi leirsteinda og brennisteinssambanda sem gefa svæðinu lit. Mismunandi bergefni, bæði ómótuð gjóskuefni og leir sem myndast í moldinni, eru afar mikilvæg fyrir eðliseiginleika jarðvegs.

12.1. Bergefni

12.1.1. Móðurefnin

Í kafla um jarðvegsmyndun er fjallað um móðurefni jarðvegs sem einn þáttanna sem móta þróun moldarinnar. Gler (gjóska, eldfjallaaska) er hið eiginlega móðurefni íslensks jarðvegs sökum áfoksins sem breiðir teppi fokefna yfir landið og gjóskunnar sem berst út yfir landið í eldgosum. Þar sem moldin er ung er lítið veðrað gler drýgsti hluti bergefna jarðvegsins, t.d. á auðnum. Þá hefur jarðvegurinn svokallaða „vitric“ eiginleika („vitr“ merkir gler).

Magn og eðli glersins ræður miklu um eiginleika moldarinnar og þróun hennar. Gjóska í íslenskri mold er af margbreytilegri stærð og efnasamsetningu, misjöfn að útliti og lögun, holrými og yfirborðsflatarmál er ólíkt, og hún hefur breytilega efna- og eðliseiginleika. Allt eru þetta þættir sem ráða miklu um eiginleika jarðvegs og jarðvegsmyndun. Sem dæmi um afar ólík gjóskukorn í íslenskum jarðvegi má nefna þung og þétt basaltglerkorn (eðlisþyngd 2,9–3,2 g/cm³) og frauðkennd líparít-vikurkorn frá stórgosum í Heklu sem fljóta á vatni (<1 g/cm³). Sum fokefnanna eru þó

sæmilega kristölluð, ekki síst þau sem berast um vestasta hluta landsins frá Hagavatnssvæðinu og svæðinu vestan við Langjökul á Vesturlandi (sjá kafla um sandauðnir á Íslandi). Gjóskurík bergefni hafa verið flokkuð á margvíslega vegu. Hér má nefna flokkun DePaepe og Stoops (2007) þar sem tekið er tillit til jarðvegs frá Íslandi en Stoops o.fl. (2008) birtu grein um bergefnin í íslenskri mold.

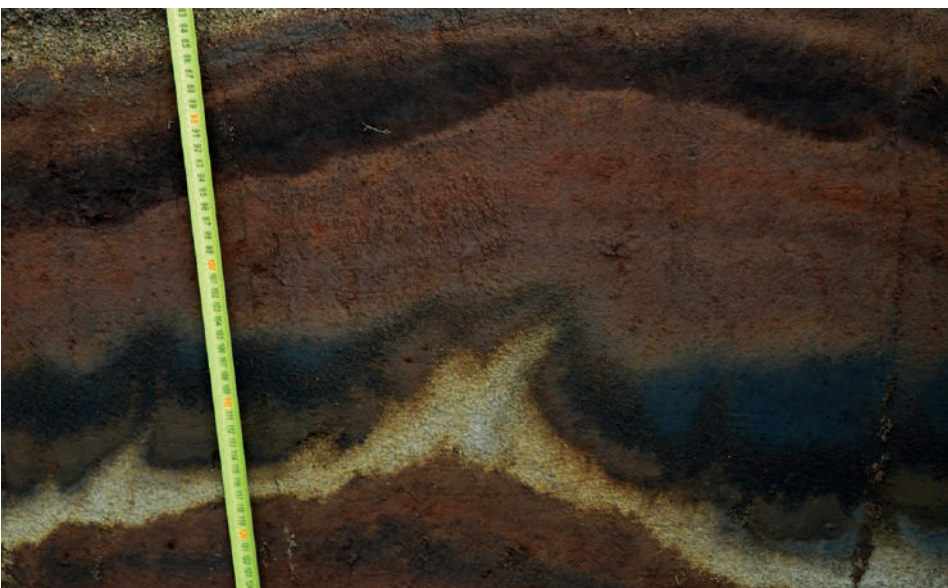
Ítarlegri upplýsingar um gjósku má m.a. finna í yfirlitsgrein sem höfundur þessa rits birti um gjósku og vistkerfi (OA 2013), m.a. um flokkun á gjóskunni og áhrif gjóskugosa á vistkerfi. Einnig má nefna grein Delmelle (2015) í *Encyclopedia of Volcanoes* þar sem er að finna mikinn fróðleik um eldgos og gosefni sem settur er fram á fremur aðgengilegan hátt (Sigurðsson 2015, ritstj.).

Líparítgjóska (ljós gjóskulög) veðrast mun hægar en sú basíska og því varðveitist hún oft vel lítið veðruð í moldinni og verður að auðþekkjalegum leiðarlögum við gjóskulagarannsóknir (mynd 12.2).

Ýtarlegar rannsóknir hafa verið gerðar á veðrun basaltgjósku og bergs héraendis af Sigurði R. Gíslasyni og samstarfsmönnum hans (t.d. Eiríksdóttir et al. 2008; Sigurður Gíslason o.fl. 2006, 2009; Kardjilov et al. 2006, Andri Stefánsson og Sigurður Gíslason 2001) en þær sýna vel öra efnaveðrun basaltkornanna.

12.2. Kornastærð

Fjallað er um gerð og magn leirs í moldinni í næsta kafla. Kornastærð moldarinnar í heild skiptir þó ekki síður máli: skipting agnanna á milli kornastærðarflokkanna leirs, silts og sands. Kornastærðin hefur afgerandi áhrif á lykilþætti jarðvegsins á borð við ísig, vatnsheldni,



Mynd 12.2. Ljós og dökk öskulög í íslenskum jarðvegi. Gjóska af ýmsu tagi er móðurefni moldarinnar og þau veðrast mishratt eftir kornastærð og efnasamsetningu. Gróf gjóskuefni hafa iðulega veðrast lítið í moldinni, ekki síst ljós líparítvikur.

vatnsleiðni auk jónrýmdar o.fl. Ákvörðun kornastærðarflokks á vettvangi með svokallaðri „handaðferð“ eða „putta-aðferð“ (e. hand texturing) gefur góða mynd af þessari dreifingu.

Svörfun jökla er ráðandi þáttur í myndun silts í heiminum í gegnum jarðsöguna. Silt fýkur frá jökuljöðrum og flóðasvæðum og getur myndað þykk setlög (löss) þar sem áfokið safnast saman, eins og fjallað var um í 8. kafla um jarðvegsmyndun. Fokið nær þó langt út fyrir hin eiginlegu löss-setlög þar sem siltið blandast öðrum jarðvegsefnum.

Það áfok sem fellur til yfirborðsins á Íslandi er að langstærstum hluta silt en sums staðar að einhverjum hluta sandur næst uppfoksstöðum. En aðstæður á hverjum stað þar sem siltið safnast fyrir eru misjafnar og ráðast einkum af því: 1. hve mikið áfok (silt) hefur borist á hvern stað, 2. hvernig efnaveðrun hefur mótað jarðvegin, 3. hve mikið af lífrænum efnum hefur safnast fyrir, og síðast en ekki síst 4. hve mikið af gjóskulögum eru í jarðveginum. Kornastærð jarðvegslaga í helstu jarðvegsflokkum er birt í töflu 12.1.

Eins og vænta mátti er siltmold langalgengasti kornastærðarflokkurinn og ríkjandi flokkur nema á auðnum og í lítið þróuðum jarðvegi (*glerjörð*). Rannsóknir Björns Jóhannessonar

Gler og efnaveðrun

Við veðrun á basalti losnar um jónir á borð við Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ og Na^+ , sem að mestu berast til sjávar, og hefur þetta ferli verið nefnt efnarof á íslensku. Kalsíum binst kolefni og súrefni á þessari vegferð og endar sem kalsíumkarbónat (kalk; CaCO_3).

Þetta ferli er afar mikilvirkt við að draga koltvísýring úr andrúmsloftinu, sem er mikilsvert í tengslum við kolefnisbúskap andrúmsloftsins og hlýnun jarðar. Sumar af þessum katjónum verða vitaskuld eftir í jónrýmdarsætum og gegna þar mikilvægu hlutverki hvað varðar sýrustig og næringarástand moldarinnar.

Önnur mikilvæg afleiða veðrunarinnar er þróun *eldfjalla* jarðar þegar allófan, ferrihýdrít og ímógólít kristallast úr jarðvegslausninni (þ.e. mynda nýjar leirsteindir) sem verður til úr þeim efnum sem losna við veðrunina. Auk þess bindast ál og járn að einhverju leyti við lífrænar fjölliður og mynda málmsímu-knippi (MHK). Veðrun og myndun jarðvegs hélendis er efni 14. kafla um jarðvegsmyndun.

(1960) leiddu þetta einmitt vel í ljós og var „silt loam“ eða siltmold ein megineiningin í kortlagningu Björns.

Gjóskulögin koma skýrt fram í *brúnjörð* þar sem grófari lög stinga í stúf við fínni jarðveg umhverfis. Sendin jarðvegslög ráða ferðinni í *glerjörð*, eins og vænta mátti. Hin votlenda *svartjörð* finnst fjærst virku áfoki og er því alla jafna mun fínkornóttari en t.d. *glerjörð*. Flest sniðin í *brúnjörð* innihalda gjóskulög og því er hluti jarðvegslaga *brúnjarðar* metinn sem

Tafla 12.1. Kornastærð í mismunandi jarðvegsflokkum fyrir mismunandi jarðvegslög í gagnagrunni Lbhí (heildarfjöldi sýna úr hverjum flokki, *mójröð* undanskilin). Samtals tæplega 400 jarðvegslög.

JARÐVEGSFLOKKUR	KORNASTÆRÐARFLOKKUR – %					
	LEIRMOLD	SILTMOLD	MOLD	SANDMOLD	MYLDINN SANDUR	SANDUR
Svartjörð	36	40	8	4	12	0
Votjörð	17	44	19	10	10	0
Brúnjörð	4	47	26	9	40 (öskulög)	3
Glerjörð	2	6	2	38	44	8

myndinn sandur. En í *brúnjörð*, fjarri virku uppfoki, er siltmoldin ráðandi. Líklega er hlutfall leirmoldar í *svartjörð* ofmetið þar sem mjög lífræn lög greinast stundum til leirmoldar með „puttaaðferðinni“ enda þótt þau séu það ekki, því rotnuð lífræn efni hafa svipaða áferð.

Vegna þess hve margar jarðvegstegundir á Íslandi myndast við áfok (löss) er moldin frekar laus við steina sem hamlað

geta ræktun með ýmsum tækjum þar sem áfokslagið er nægjanlega þykkt. Þar sem áfokið hefur verið lítið, t.d. víða á Vestfjörðum, er stutt niður á undirlagið og frost getur lyft grjóti upp á yfirborðið yfir vetrarmánuðina. Við þær aðstæður gat það verið ansi starfsamt og erfitt hér áður fyrr að tína grjót úr túnnum — og alltaf kom upp meira grjót að ári. Það sama á við þar sem sáð hefur verið til túna í melum, samspil grjóts og frostlyftingar getur orsakað grýtt yfirborð enda þótt grjót hafi verið fjarlæggt í upphafi.

12.3. Rúmþyngd

Rúmþyngd segir til um hvað hver rúmmálseining jarðvegs vegur þegar moldin er þurr. Rúmþyngd er grundvallareiginleiki jarðvegs sem hefur áhrif á loftrými, loftun og vatns-eiginleika og er jafnframt notuð við flokkun á *eldfjallajörð*. Einvörðungu er miðað við virkt efni jarðvegsins (<2 mm), steinar sem eru stærri en 2 mm eru undanskildir í útreikningum á rúmþyngd. Einingin er ýmist t/m³ eða g/cm³ sem er þó sama einingin: hvað hver rúmmetri vegur mörg tonn eða hve mörg grömm hver rúmsentimetri vegur. Rúmþyngd jarðvegs er gjarnan nálægt 1 g/cm³. Föst efni (bergefni) hafa yfirleitt eðlisþyngd frá 2,5–3 g/cm³ en gabbró (basískt djúpberg) getur verið nær 3,8 g/cm³, svo munurinn hér á milli felur í sér holrými sem léttir jarðveginn. Því minni sem rúmþyngdin er, þeim mun meira holrými er til staðar.

Lífræn efni eru afar létt í sér og þar með hefur mómold (*mójörð*) yfirleitt afar litla rúmþyngd en þeim mun meira holrými. Lítil rúmþyngd jarðvegs felur það oftast í sér að hann eigi auðvelt með að binda og miðla vatni, og slíkur jarðvegur er léttur í sér og auðveldur í vinnslu.

Íslenskur jarðvegur er *eldfjallajörð* og rúmþyngdin er því alla jafna fremur lítil.



Mynd 12.3. Mælingar á rúmþyngd jarðvegslaga í sniði nálægt Gullfossi. Dósir (frá Ora í þessu tilfalli) sem eru opnar í báða enda eru reknar varlega inn í tiltekið jarðvegslag. Síðan er skorið frá dósunum og þær teknar, moldin þurrkuð og vegin til að ákvarða rúmþyngd. Að lokum er jarðvegurinn sigtaður til að kanna hvort korn >2 mm séu til staðar en þau þarf að draga frá (vigt og rúmmál). Þetta snið einkennist af mörgum grófum gjóskulögum úr Heklu og Kötlum. Myndin tengist BSc-verkefni Rannveigar Guicharnaud (2002), en hún rannsakaði rúmþyngd moldar vítt og breitt um landið.

Mælingar á rúmþyngd hafa einkum verið gerðar í tengslum við námsverkefni en einnig ýmsar rannsóknir á jarðvegi, t.d. þær er meta kolefnisbindingu jarðvegs þar sem rúmþyngd er undirstöðuatriði. Viðamesta rannsóknin á rúmþyngd jarðvegs er BS-verkefni Rannveigar Guicharnaud (2002) en rannsóknin var gerð í tengslum við uppbyggingu á jarðvegsgagnagrunninum Ými (nú hjá Lbhí, mynd 12.3).

Almennt gildir að eftir því sem *eldfjallajörð* er þróaðri eykst holrýmið og rúmþyngdin minnkar með myndun allófans, ferrihýdríts og imógólíts annars vegar og hins vegar uppsöfnun á málm-húmus-fjölliðum (MHK), sem eru örefnin (e. colloids) sem einkenna *eldfjallajörð*. Jafnframt safnast mikið af lífrænum efnum í moldina (oft 6–12% C ef nýting er hófleg), sem er einmitt eitt af einkennum *eldfjallajarðar*. Magn lífrænna efna er þó háð landnýtingu o.fl. þáttum. Annar meginþáttur sem lækkar rúmþyngdina hérlendis er uppsöfnun lífrænna efna, sem þurfa ekki að vera tengd allófani eða MHK, einfaldlega vegna hægs rotnunarhraða af völdum kulda og vegna þess að súrefnisskortur hægir á rotnun í votlendum.

Tengsl rúmþyngdar og lífræns kolefnis sjást glögglega á meðfylgjandi grafi (mynd 12.4). Lægstu gildin eru um 0,15 g/cm³, sem telst mjög lágt. Þau finnast í *mójjörð* og *svartjörð*, en Þorsteinn Guðmundsson (1978) fékk svipuð gildi fyrir jarðvegssýni úr þessum gerðum jarðvegs á Norðvesturlandi. Svipuð og jafnvel lægri gildi finnast í mómýrum nágrennalandanna.

Niðurstöðurnar eru mjög sambærilegar þeim sem fást fyrir *eldfjallajörð* í heiminum – sýnt hefur verið fram á að þar sem mikið er af leir í *eldfjallajörð* er rúmþyngdin oft um 0,5 g/cm³ (Shoji o.fl. 1993). Um leið og lífrænt C fer yfir 10% markið fer rúmþyngd að meðaltali undir 0,4 g/cm³. Auk þess sést að rúmþyngdin

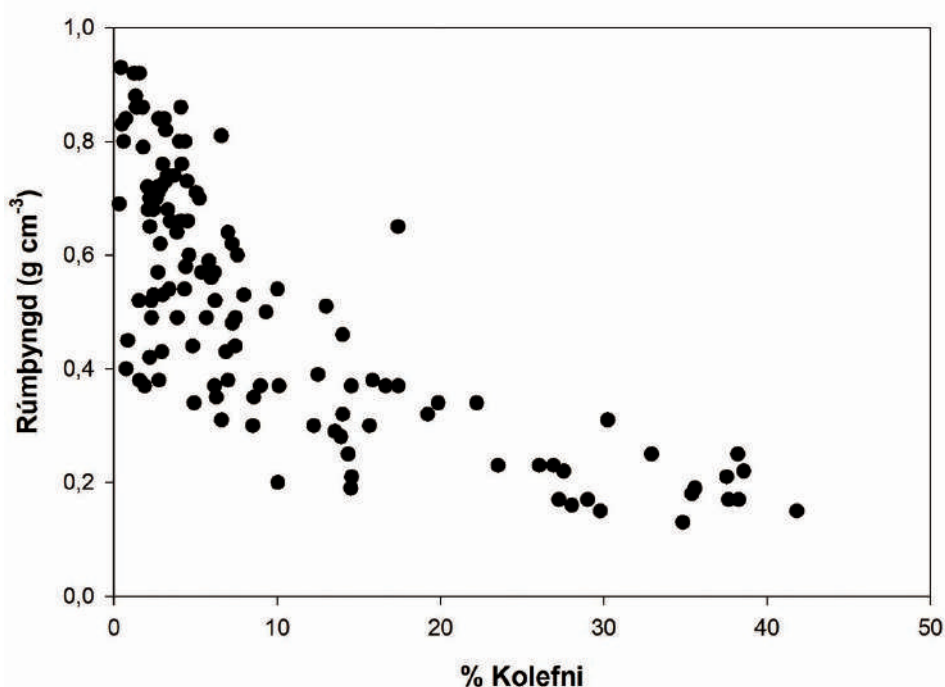
er að stærstum hluta undir 0,8 g/cm³. Hærri gildin eiga við um ólífræn öskulög og *glerjörð* þar sem vantar bæði lífræn efni og leirsteindir til að minnka rúmþyngdina.

Miðað við gögn Lbhí og niðurstöður Rannveigar Guicharnaud (2002) fylgja tengsl rúmþyngdar (BD) og lífræns efnis jöfnunni:

$$BD = 0,812 - (C\% \times 0,0203)$$

Mest óvissa er við lág kolefnisgildi þar sem einnig þarf að líta til eðlisbergefnanna.

Rúmþyngd er afar mikilvæg stærð þegar verið er að reikna út magn kolefnis í jarðvegi, t.d. sem þyngd á rúmmetra eða magn kolefnis á ha, þar sem kolefnishlutfallið er margfaldað með rúmþyngd til að fá út heildarmagn kolefnis. Fjallað er um kolefnisbindingu sérstaklega síðar í ritinu, enda tengist hún hringrás koltvísýrings og loftslagsbreytingum sem mikilvægt er að gera skil.



Mynd 12.4. Rúmþyngd og tengsl við lífræn efni í jarðvegi. Hver punktur táknar mælingu á einu jarðvegslagi. Gögn úr gagnagrunninum Ými (Rannveig Guicharnaud 2002).

12.4. Vatnseiginleikar

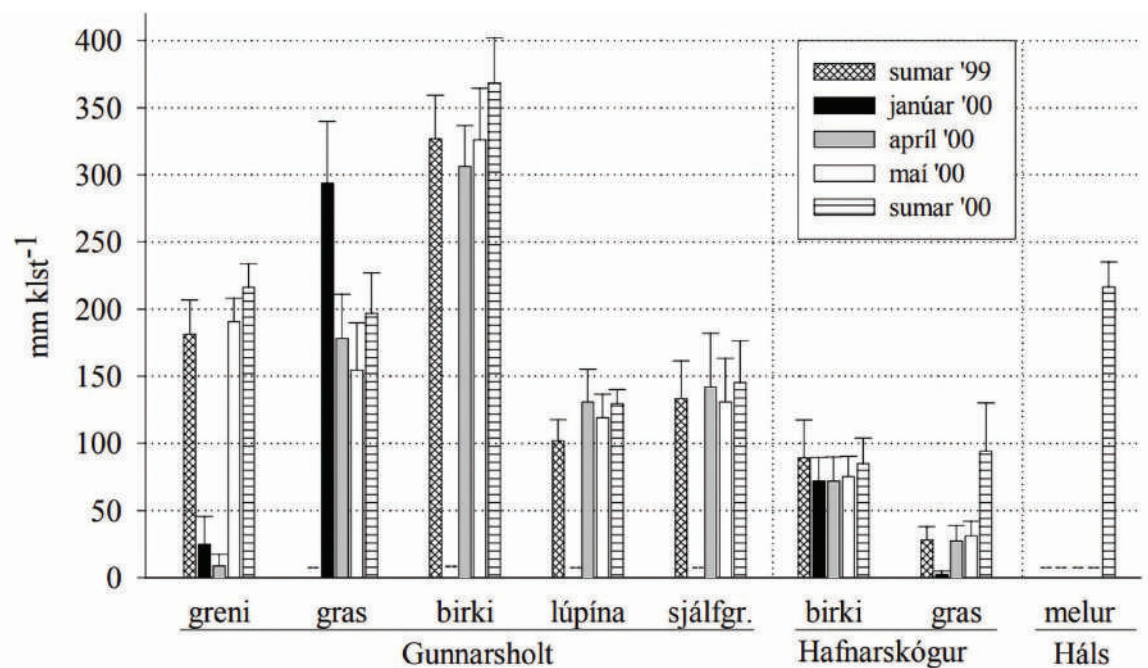
12.4.1. Ísig

Eiginleiki moldar til að taka við úrkomu og miðla henni á ný er undirstaða fyrir virkni vistkerfa og fæðuframléiðslu. Jafnframt hreinsar moldin mengun úr vatninu á leið þess til grunnvatns og straumvatna. Til þess að vistkerfi starfi með eðlilegum hætti þarf vatn að komast ofan í moldina (ísig), bindast ögnum hennar (vatnsrýmd, vatnsbinding) og berast um hana (vatnsleiðni).

Íslensk mold undir gróðri (*sortujörð*) ber glögg einkenni *eldfjallajarðar* almennt þegar kemur að vatnseiginleikum; hún getur bundið afar mikið vatn og miðlað því síðan til vistkerfisins eftir þörfum. En breytileikinn er mikill, eins og reynt verður að skýra í textanum sem hér fylgir. Ástæða er til að benda á greinar Jóns Guðmundssonar og Hlynns Óskarssonar (2006) og Jóns Guðmundsson o.fl. (2006) í *Fræðapingi landbúnaðarins* um vistkerfi og vatnasvið. Þá hafa greinar Ian Strachan o.fl. (1999a,b) að geyma mikið af upplýsingum um vatnseiginleika í gjóskuríkum jarðvegi.

Vatn þarf að komast ofan í jarðveginn eftir að það fellur sem regn á yfirborðið til þess að nýtast vistkerfum. Það er nefnt ísig á íslensku. Ísig er mælt í mm/klst, þ.e. hve mörgum millimetrum vatns moldin tekur við á klukkutíma. Ísigið í mm/klst er síðan hægt að bera saman við úrkomu (í mm) og eru algengustu gildi á milli 1 og 20 mm/klst. Ef ísigið er hægara en sem nemur úrkomunni er hætta á afrennsli og vatnsrofi. Ísig er ákaflega mismunandi á milli jarðvegstegunda almennt, en stór holrými og sprungur herða mjög á innflæðinu. Sprungur geta t.d. myndast í smektítíka mold eða sem frostsprungur. Leirríkur jarðvegur hefur gjarnan hægasta ísigið (lítið um stór holrými), en slíkur jarðvegur hefur aftur á móti mestu vatnsrýmdina. Sandur hefur aftur á móti örasta ísigið, en skortir hæfileika til að binda vatnið í moldinni.

Mikilvægar upplýsingar um ísig á Íslandi fengust með rannsóknum Berglindar Orradóttur o.fl., sem m.a. voru birtar í MSc-ritgerð hennar (2002), og öðrum



Mynd 12.5. Meðal-ísigsshraði (\pm staðalskekkja) í greniskógi, graslendi, birkiskógi, lúpínubreiðu og sjálfræddu landi í Gunnarsholti, í birkiskógi og graslendi við Hafnarskóg og í mel við Neðra-Háls í Kjós. Mynd frá Berglindi Orradóttur o.fl., 2006.

greinum (Berglind Orradóttir o.fl. 2006, 2008), en einnig úr rannsóknum Tareks Zaqout við Háskóla Íslands (2022). Rannsóknir Berglindar og Tareks leiða í ljós að ísig á Íslandi er fremur ört yfir sumarmánuðina, eins og yfirleitt þekkist fyrir *eldfjallajörð*. Rétt er að hafa í huga að jarðvegur hér er oft grófur á gosbeltunum og við þau, en þar sem mikið er af allófanleir mynda kornin stöðug samkorn af silt-stærð, sem örvar ísigið (öfugt við blaðsilíkött).

Lítil rúmpýngd gefur einnig til kynna mikil holrými sem örva vatnsflæðið innan jarðvegsins. Samkornin binda hins vegar mikið vatn. Rannsóknir sýna að ísig í jarðveg á sumrin er gjarnan á milli 30 og 360 mm/klst og er langsamlega örst í sendnum jarðvegi (100–360 mm/klst) en 28–94 mm/klst í fínni jarðvegi. Gríðarlegur munur getur verið á hraða ísigs á hverjum stað, jafnvel 25-faldur munur á milli einstakra mælinga (Berglind Orradóttir o.fl. 2006). Því er ljóst að nær öll úrkoma sem fellur á sumrin berst greiðlega niður í íslenska mold, nema þar sem halli er mikill eða jarðvegurinn of vatnsósa til að taka við öllu vatninu (mettaður).

Allt öðru máli gegnir um ísig að vetri en sumri, eins og vænta má, þar sem frost er í jörðu. Þá hægir á ísiginu, en það er afskaplega breytilegt eftir því hve mikið frost er í jarðveginum og hvers eðlis ísigið er. Ísig að vetri er mun örara þar sem gróðurþekja er öflug á borð við birkiskóg eða graslendi en á auðnum og illa förnu landi. Þar eru meiri líkur á að myndist þéttur ís í moldinni (e. concrete ice) en holklaki undir öflugum gróðri einkennist aftur á móti oft af gljúpum ís (e. porous ice). Nýjar rannsóknir í Landsveit sýna sömu niðurstöður (Erphys – ÓA óbirt gögn) sem og rannsóknir á ofanvatnlausnum við Urriðaholt (Tarek Zaqout o.fl. 2022). Þar hefur myndast ógegndræpur ís í lúpínubreiðum á veturnum, en graslendi hefur á hinn bóginn örara ísig á veturnum.

Ógegndræpur ís myndast einnig iðulega í mold greniskóga á heimsvísu sem og hérlendis, en þar er meiri hættu á að þéttur ís myndist samanborið við birkiskóga, enda yfirborðið ekki hulið gróðri eins og sést á mynd 12.6. Þó geta myndast sprungur þar sem ís er þéttur, sem hleypa þá vatni greiðlega niður á nokkurt dýpi, oft moldarmenguðu afrennsli, sem hæglega getur stuðlað að mengun vatnsbóla eða aukið á skriðuhættu.

Hægt ísig að vetri á illa grónu landi hefur gríðarlega miklar afleiðingar fyrir íslensk vistkerfi og vatnafar (myndir 12.7 og 12.8). Þegar dregur úr einangrun gróðurþekjunnar þar sem gróðurfar er rýrt eykst hættu á vatnsrofi. Rofdílar og moldir utan í rofabörðum mynda einnig þéttan ís sem veldur vatnsrofi. En mesta breytingin verður þó þegar stór landsvæði missa alveg gróðurhuluna og hinn þétti holklaki og vatnsagi (og stundum tímabundin íshella) draga mjög úr stöðugleika í yfirborði auðnanna



Mynd 12.6. Svörður í sitkagreniskógi til vinstri en í lúpínubreiðu til hægri að hausti. Stutt er í bera mold. Oft myndast þéttur ís við yfirborðið sem hleypir ekki vatni niður. Jafnframt geta myndast frostsprungur sem leiða moldarmengað vatn í grunnvatn nærri staðnum. Hættu er á afrennsli og rofi í ofsaregni eða þýðu á veturnum.



– sem er einn þeirra þátta sem veldur mjög hægri framvindu á slíkum svæðum, jafnvel eftir að þau hafa verið friðuð fyrir beit.

12.4.2. Vatnsbinding, vatnsrýmd

Í 4. kafla var fjallað um laust vatn og bundið vatn ásamt hugtökum og skýringum á því hvernig vatn binst í moldinni, sem rétt er að rifja upp. Það eru fyrst og fremst lífræn efni og leir sem binda vatn og miðla því. Silt leiðir vatn greiðlega um moldina (í allar áttir) en bindur lítið vatn. Sandur hvorki leiðir né bindur vatn nema sandefnin séu gropin, sem raunar á oft við um gjósku og gler, en þá er einhver vatnsbinding til staðar þótt takmörkuð sé. Talað er um vatnsmettun þegar laust vatn hefur hripað úr jarðveginum vegna þyngdarafis, og er það vatnsinnihaldið við t.d. 0,1 eða 0,3 bara togspennu.



Gróður visnar við u.þ.b. 15 bara togspennu og vatnsinnihaldið er þá skilgreint sem visnunarmark. Vatnsmagnið sem nemur mismuninum á innihaldi við vatnsmettun og visnunarmark er skilgreint sem nýtanlegt vatn (e. plant available water) eða möguleg vatnsbinding (e. water holding capacity), sem jafnframt lýsir vatnsrýmd moldarinnar.

Gríðarlegur munur er á vatnsbindihæfileikum hinna ýmsu jarðvegsgerða á Íslandi og þar kemur til mismunandi kornastærð (leirmagn) og mismikið af lífrænum efnum. En síðan getur einnig verið ákaflega mikill munur á milli einstakra jarðvegslaga innan hvers sniðs. Í töflu 12.2 eru dæmigerð gildi fyrir jarðvegslög í hinum ýmsu jarðvegslöggum. Hér vekur fyrst athygli hve vatnsinnihaldið getur verið feykilega mikið við mettnu, sem endurspeglast í gildum sem eru yfir 100% – þ.e. meira er af vatni en sem nemur eiginþyngd moldarinnar.

Mynd 12.7. Vatn á yfirborði auðna að vetri vegna ógegndræps holklaka (þéttur ís). Vatnsaginn getur valdið miklu vatnsrofi á veturnum í mikilli úrkomu og/eða snjóbráð. Á þessum stöðum sést aldrei vatn á yfirborði eftir að frost fer úr jörðu. Geitasandur á Rangárvöllum fyrir ofan en auðnir norðan Heklu fyrir neðan. Ljósmyndir: Berglind Orradóttir (f.o.) og Elín Fjóra Þórarinsdóttir (f.n.).

Slíkt vatnsmagn er raunar eitt af einkennum mómoldar víða um heim. En gildin fyrir *eldfjallajörð* eru einnig mjög há, hærrí en þekkist almennt fyrir annan jarðveg en *mójörð* (Histosol) í heiminum. En það er einnig mjög athyglisvert hve gildin eru há við visnunarmark; umtalsvert vatn er fastbundið í jarðveginum þegar hann er orðinn svo þurr að plöntur ná ekki að nýta meira vatn. Þessi háu gildi eru einkennandi fyrir *eldfjallajörð* og *mójörð* um heim allan og þau sýna að þessar jarðvegsgerðir geta miðlað ógrynni af vatni.



Mynd 12.8. Ísilögð auðn nærri Háslóni í aprílmánuði. Hér berst ekki mikið vatn niður í moldina í vatnsveðrum.

Allt öðru máli gegnir um *glerjörð*, gildin fyrir hana eru allt að 10 sinnum lægri en t.d. fyrir *mójörð*. Gildin fyrir *glerjörð* eru hins vegar afar misjöfn, *melajörð* með Bw-lagi (e. cambic horizon) getur bundið talsvert af vatni og miðlað því á ný. *Sandjörð* heldur einnig í töluvert vatn, mun meira en þekkist með sand sem gerður er af efnum á borð við kvars, því glerefnin hafa umtalsvert yfirborð sem vatn binst við.

Lífrænu jarðvegsgerðirnar (*mójörð* og *svartjörð*) hafa mjög há gildi fyrir nýtanlegt vatn. Hærrí gildin fyrir *votjörð* og *brúnjörð* teljast einnig mjög há, en lægri gildin sem þarna eru sýnd eiga einkum við um grófan jarðveg nærri gosbeltum eða gjóskulög innan sniðanna. Þessi mikla vatnsbinding gefur til kynna að stór hluti íslensks jarðvegs geti miðlað vatni í þurrkatíð,

jafnvel svo vikum skiptir, án þess að vatnið gangi til þurrðar.

Einnig ætti að vera hægt að hlaða miklu vatni í jarðveginn með vökvun til að vega upp á móti langvarandi þurrkum þar sem slíkar aðstæður eru fyrir hendi. Öðru máli gegnir um ræktun á *glerjörð*, t.d. á svokölluðum sandatúnum, þar sem hætt er við að vatn gangi til þurrðar

Tafla 12.2. Vatnsbinding eftir jarðvegsflokkum. Dæmigerð gildi. Allt að tífaldur munur er á milli þeirra jarðvegsflokka sem minnst halda í vatn (*glerjörð*) og þeirra sem hafa mesta vatnsbindingu (*mójörð*).

JARÐVEGSFLOKKUR	VATNSMETTUN (0,3 BÖR)	VISNUNARMARK (15 BÖR)	NÝTANLEGT VATN
	----- % vatn -----		
Mójörð	200–350	150–250	80–200
Svartjörð	100–200	75–150	50–125
Votjörð	40–100	30–70	15–40
Brúnjörð	30–100	15–70	15–40
Glerjörð	5–40	5–30	2–15

tiltölulega fljótt, eins og reynslan sýnir. Þegar litið er til heildarmagns vatns í moldinni lýsa þessi prósentugildi þó aðeins hluta myndarinnar, rúmpyngd og dýpt jarðvegsins skipta einnig miklu máli.

Glerjörð er iðulega grunn en dýpt hinna jarðvegsgerðanna er afar misjöfn. Þar sem miðað er við þurrvigt jarðvegsins er ljóst að munurinn á heildarmagni vatns í hverju jarðvegslagi minnkar því lífræna moldin er létt en bæði *votjörð* og *brúnjörð* talsvert þyngri.

Gildi á bilinu 80–200% fyrir vatnsheldni í töflunni hér fyrir framan eru margfölduð með 0,2–0,4 g/cm³ fyrir *mójörð* en gildin á bilinu 15–40% fyrir *votjörð* og *brúnjörð* með u.þ.b. 0,65 g/cm³ og nálægt 1 g/cm³ fyrir *glerjörð* (og deilt með 100 til að breyta % í hlutfallstölu); niðurstaðan er g vatns í hverjum cm³ eða t/m³. Þennan mun þarf að taka með í reikninginn þegar hugað er að vatnshag, vatnsmiðlun og rennsli til grunnvatns. Hlutfallslega

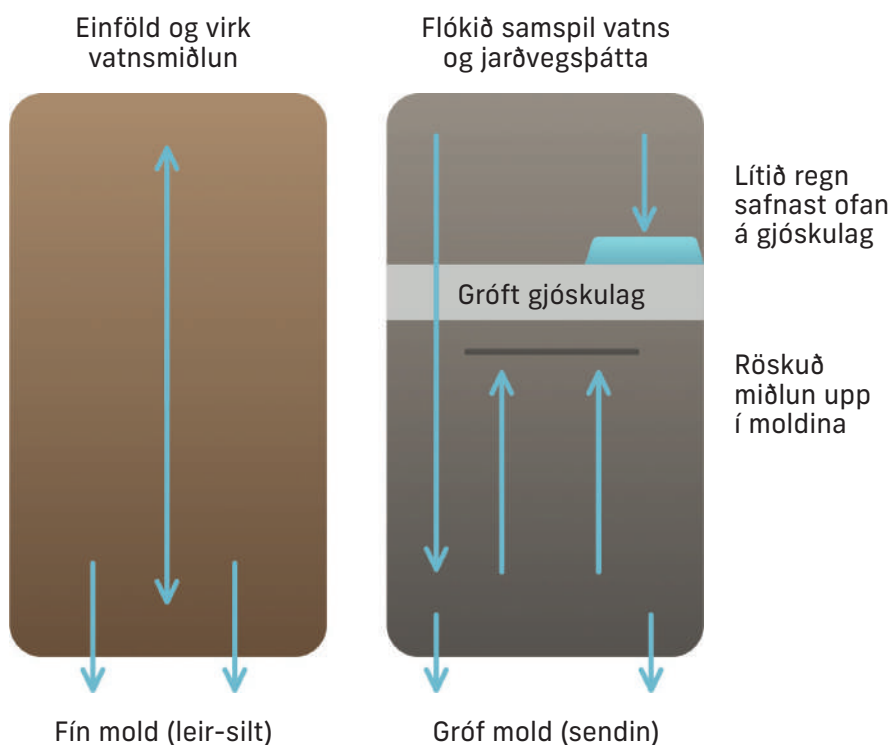
lítill vatnsmiðlun í *glerjörð* er eitt af því sem torveldar náttúrulega framvindu á auðnasvæðum, ásamt þáttum á borð við skort á yfirborðsstöðugleika, fræregni og öruggu seti, næringu o.fl. Dökkt yfirborð auðnanna hitnar auðveldlega í sólskini og uppgufun verður þá mjög ör, moldin skrælnar á mjög stuttum tíma. Hin lífræna moldarskán (lífskán – e. biocrust) er einmitt oft forsendan fyrir framvindu því hún minnkar uppgufun, gerir yfirborðið stöðugra og myndar öruggt set fyrir fræ.

12.4.3. Vatnsleiðni

Vatnsleiðni (e. hydraulic conductivity) er mjög mikilvægur eiginleiki jarðvegs sem hefur áhrif á vatnsmiðlun og vatnsbúskap vistkerfa. Þessi eiginleiki kemur að mjög miklu gagni við líkanagerð er varðar nitur og vatnsflæði og fleiri eiginleika þar sem nauðsynlegt er að nota upplýsingar um jarðveg (sjá t.d. Friðrik Pálmason o.fl. 1996; Strachan o.fl. 1999a,b).

Þá er þessi eiginleiki afar þýðingarmikill í tengslum við framræslu. Nokkrir vísindamenn hafa unnið að mælingum á vatnsleiðni á Íslandi (t.d. Sigfús Ólafsson 1974, Árni Snæbjörnsson 1982, Strachan o.fl. 1999a) og eftirtektarverð er samantekt Árna Snæbjörnssonar (1982) á eðliseiginleikum mýra. Mikið vantar þó upp á að góðar upplýsingar séu til um vatnsleiðni á landsvísu. Slíkar mælingar eru erfiðar, enda breytist vatnsleiðni með vatnsspennu í jarðveginum.

Áhrif grófra jarðvegslaga á flæði vatns um moldina geta verið mjög afgerandi. Slík lög takmarka í raun athafnasvæði rótarlagsins; vatn berst ekki upp til plantna í gegnum grófa lagið (mynd 12.9) því vatnsleiðni sem byggist á litlum moldarögnum er ekki til staðar. Næringarefni sem eru í jarðvegslausn neðan við hið grófa jarðvegslag nýtast plöntum ekki heldur og næringar-



Mynd 12.9. Í einsleitri fingerðri mold (til vinstri) dreifist vatn vel um allt sniðið og berst upp að rótum plantna þegar þornar um. Þar sem gróf jarðvegslög, t.d. gjóskulög, rjúfa vatnsleiðnina (til hægri) er miðlun vatns takmörkuð bæði upp og niður fyrir gjóskulagið. Vatn berst ekki niður í gegnum lagið fyrr en við mettnun þegar laust vatn (e. gravitational water) lekur niður í gegn. Ekkert bundið vatn berst upp eða niður í gegnum lagið því vatnsleiðni finni efna er engin.

hringrásin er í raun bundin við efsta lag moldarinnar. Þessar aðstæður eru fremur algengar í nágrenni virkustu eldfjallanna, t.d. Heklu og Kötlu (sjá mynd 12.4 hér á undan sem sýnir mælingu á rúmpýngd). Þetta kemur niður á frjósemi vistkerfisins og gerir það mun viðkvæmara fyrir áföllum, sérstaklega í kjölfar mikillar nýtingar sem minnkar lífrænan forða í rótarláginu.

Annað sem fylgir jarðvegi sem þessum er að bundið vatn kemst ekki niður fyrir hið grófa lag. Í stað þess safnast vatnið ofan gjóskulagsins uns vatnsmagnið nær mettun, en þá getur það hripað niður í grófa lagið. Leið þess eftir það er m.a. háð landhalla o.fl. þáttum. Ef járn (Fe^{2+}) er í vatninu getur það fallið út sem ferrihýdrít þegar járneið oxast við öskulagið og myndað falleg rauð litabönd.

Vistkerfi eru misvel í stakk búin til að takast á við gróf gjóskulög undir yfirborðinu. Djúpstæð rótarkerfi sem fylgja trjátegundum á borð við birki vaxa niður í gegnum gróf lög sem eru nálægt yfirborðinu (jafnvel niður fyrir 40–50 cm) og brjóta þau upp.

Framboð vatns og næringar er með allt öðrum hætti en ef gróður með grunnstætt rótarkerfi yxi á yfirborðinu. Sumir afréttir sunnanlands í nágrenni Heklu og Kötlu voru viði vaxnir hér áður fyrr, en eftir því sem skóginum hrakaði vegna nýtingar breyttust stór svæði í auðn í kjölfar landhnignunar og mikillar jarðvegseyðingar. Það ferli var vitaskuld nokkuð flókið, en þessi áhrif grófra gjóskulaga á vatnseiginleika moldarinnar hafa væntanlega ráðið töluverðu þar um.

12.4.4. Land vatnsins: moldin og vatnshagur

Fólk á stórum svæðum jarðar býr við vatnsskort og slæm vatnsgæði. Í Evrópu streyma meginvatnsföll um mörg ríki uns þau renna til sjávar. Mengun og slæm vatnsmiðlun á einu svæði hefur ekki aðeins staðbundin áhrif; mengun og flóð berast frá einu ríki til annars og hafa einnig mikil áhrif á strandsvæðin við ósa fljótanna. Flest nágrannalönd hafa sett strangar reglur um verndun vatns, ekki síst lönd Evrópusambandsins.

Vatnsland

Erlendir fræðimenn sem hafa ferðast um landið hafa sagt höfundum þessa rits að þeir álíti að vatn sé öðru fremur það sem einkenni náttúru landsins, að Ísland sé ekki land snævar heldur „Vatnsland“.

Ofgnótt vatns gerir það að verkum að margir landsmenn bera litla virðingu fyrir vatni, ekki síst vatnsgæðum – við tökum þessum verðmætum sem gefnum hlut.



Mynd 12.10. Ofsaflóð í Mosfellsbæ vegna mikillar úrkomu og snjóbráðar, en afrennslið er af landi sem er illa gróið á köflum, og þá aðallega á melum og rofdílum. Takið eftir ísnum í rofdílum neðst fyrir miðju. Horfur eru á að ástandið batni á þessu svæði þar sem landið hefur verið friðað fyrir beit og skógrækt er stunduð á hluta vatnasviðsins.

Vatnsból og gróðurfar

Hér á landi nýta flestar vatnsveitur grunnvatn sem kemur úr borholum eða vatn sem kemur fram í ferskum lindum. Á þeim svæðum er mikilvægt að gæta að því að mold sé hulin gróðri.

Birkikjarr og graslendi er heppilegt gróðurfar við vatnsból og á vatnstökusvæðum því það lokar landinu afar vel og ísig helst á vetrum (gropóttur holklaki).

Meiri hætta er á yfirborðsrennsli og innrennsli um sprungur í frosinni mold og þar með moldarmengun frá auðnum, barrskógum og lúpínubreiðum vegna minni botngróðurs og af því að þar myndast þéttari holklaki. Í dreifbýli eru vatnsból víða á yfirborði sem mikilvægt er að vernda gegn mengun.

Auðnir og vatnshagur. Sem áður sagði er ísig oft afar takmarkað um vetrartímann í auðnum og illa förnu landi. Það hefur margvísleg áhrif á vatnshag. Þar sem land er illa gróið rennur stór hluti vatnsins af landinu í ár og læki, oft verulega mengað af jarðvegsefnum; vatnið nýtist ekki í vistkerfunum, sem hamlar orkunámi og hringrás næringarefna. Illa gróin svæði hafa mikil áhrif á vistkerfi langt út fyrir hin ógrónu svæði, m.a. vatnshag á viðfeðmum svæðum (mynd 12.10).

Mikið yfirborðsrennsli getur haft áhrif á nýtingu vatns til raforkuframleiðslu. Vatnið nýtist þar sem lón eru til staðar sem grípa rennslið og jafna það en að öðrum kosti verður vatnsrennslið mjög ójafnt. Afrennsli veldur flóðum sem geta haft stórtjón í för með sér á vistkerfum og mannvirkjum. Þá er líklegt að rennslishættir á auðnum hafi neikvæð áhrif á frjósemi stöðuvatna og straumvatna, m.a. með tilliti til lífríkis og veiði. Margar bestu veiðiár landsins er einmitt að finna á vel grónum vatnasviðum, gjarna þar sem einnig eru votlendi og vötn sem jafna rennslið.

Miklar sveiflur í rennsli valda ýmsum spjöllum á farvegum auk þess sem miklar hitasveiflur verða í vatninu þegar rennslið er ójafnt. Aurburður sem fylgir flóðum getur valdið miklu tjóni á öllu vatnasviðinu, í vötnum og á haf út. Vatn frá auðnum ber ekki næringu inn

í vatnakerfin með sama hætti og frá grónu landi (sjá Jón Guðmundsson og Hlyn Óskarsson, 2006). Flóð hafa þannig bæði áhrif á efnaf lutning sem og þá tegundahópa sem búa í straumvötnum. Mikilvægt er að efla rannsóknir á þessum þáttum í framtíðinni. Að lokum ber þess að geta að eðli auðna hefur áhrif á veðurfar. Mikil uppgufun frá auðnum á sumrin og yfirborðshiti í sólskini hefur áhrif á veðurfarsþætti. Hér vantar einnig mikið upp á þekkingu sem brýnt er að bæta úr.

Vatnsból. Moldin er afar mikilvæg fyrir verndun grunn- og neysluvatns. Hún sigtar út mengun og heldur vatninu hreinu. Moldarmengun sem hlýst af ófullnægjandi gróðurhulu litar vatn og getur skilað bakteríum í drykkjarvatn, jafnvel þar sem neysluvatn er tekið úr borholum. Erlendis er stundum reynt að halda gróðri og mold frá vatnsbólum sem eru á yfirborði til að minnka moldarmengun og hættu á að saur eða mengun frá dauðum dýrum berist í vatnið. Þá geta barrskógar valdið litarmengun á yfirborðsvatni og þeim er yfirleitt haldið frá vatnsbólum.

Árhelgi. Víða erlendis er bannað að yrkja jörðina út að ám, lækjum og skurðbökkum til að koma í veg fyrir moldarmengun og að áburður berist í vatnið. Slík mengun getur haft áhrif langt út fyrir vatnasviðið, m.a. á grunnsævi. Hér á landi mætti virða vatnshelgi (e.



Mynd 12.11. Misþyrming vatns í árhelginni. Myndirnar eru teknar frá sama stað sín hvorum megin vegar. Til vinstri er mikið af mold sem berst í lækinn, sérstaklega í vatnsveðrum. Til hægri er sami lækur og vel gróið að bökkunum. Hið mengaða vatn berst út í friðlandið í Grunnafirði.

riparian zone) mun betur en gert er. Dæmi um ranga landnotkun er sýnd hér á mynd 12.11.

Þá ber einnig mikið á því að mannvirki séu reist á viðkvæmum árosasvæðum, ekki síst í þéttbýli. Staðsetning stórra hesthúsabyggða ætti að taka mið af því að afrennsli geti ekki valdið mengun á grunnvatni eða í ám, lækjum og á grunnsævi. Votlendiskerfi á ósasvæðum og leirum sem þeim fylgja eru iðulega afar mikilvæg búsvæði og njóta því sérstakrar verndar. Vegir og mannvirki yfir árosasvæði valda „slitrun“ (e. fragmentation) á búsvæðum og vatnakerfum í mold og grunnvatni sem mjög æskilegt er að forðast. Víða erlendis er unnið að því að fjarlægja vegamannvirki og annað sem þrengir að árfarvegum og veldur slitrun á ósasvæðum.

12.5. Aðrir eðliseiginleikar

12.5.1 Þjálnimörk, skortur á samloðun og skriður

Þjálnimörk gefa góða mynd af samloðun moldarinnar og hvernig hún breytist eftir því sem vatnsmagnið eykst. *Eldfjallajörð* á Íslandi einkennist af skorti á blaðsilíkötum sem annars staðar eru þau efni sem helst halda moldinni saman. Leirinn myndar klasa sem eru af siltstærð og hafa takmarkaða samloðun, en um leið getur jarðvegurinn tekið við óhemjumiklu af vatni sem dregur úr hættu á vatnsrofi þegar úrkoman fellur; nema á vetrum þegar jörð er auð og klaki hamlar írennsli.

Þjálnimörkin, sem einnig eru nefnd Atterberg-mörk, eru þjálnimark (PL, „plastic limit“), flæðimark (LL, „liquid limit“) og þjálnitala ($PI=LL-PL$; „plastic index“), en þeim er lýst nánar í 10. kafla um *eldfjallajörð*. Þessi mörk eru



Mynd 12.12. Aurugur smálækur í ofsaregni þar sem vatnsmagnið hefur margfaldast. Yfirborðsrennsli á illa förnu landi ber með sér jarðvegsefni í lækinn og það skortir á gróðurhulu til að tempra vatnsrennslið.

grundvöllur margra verkfræðilegra flokkunarkerfa fyrir laus jarðefni (sjá t.d. almennar kennslubækur um jarðverkfræði) og skipta miklu fyrir verkfræðilega eiginleika jarðvegs sem og jarðvegsrof.

Gríðarleg vatnsrýmd er eitt af megin-einkennum *eldfjallajarðar*. Þegar moldin er algjörlega vatnsmettuð getur vatnsinnihaldið numið $>150\%$, þ.e. vatnið er mun þyngra en föst efni moldarinnar. Og af því að samloðunin er lítil (vantar blaðsilíköti) verður massinn eins og deigrennandi vatn þegar moldin nær flæðimarkinu. Jafnframt er það bil sem moldin er þjál áður en hún nær flæðimarki mjög lítið, hún er í raun ýmist óþjál eða rennandi vatn (PI nálægt núlli) (myndir 10.15 og 12.13).



Mynd 12.13. Mold og flæðimark. Klumpurinn til hægri er óraskað jarðvegssýni, en til vinstri er annar klumpur sem hefur verið velt um í lófanum. Vatnsinnihaldið var það hátt að moldarsýnið náði skyndilega flæðimarkinu. Þessi jarðvegur er úr Mýrdal.



Mynd 12.14. Ein af skriðunum sem féllu í Kaldakinn vorið 2013. Mun stærri skriður féllu en þessi (sjá næstu mynd). Vel sést að skriðumassinn er á vökvaformi (yfir flæðimarki), en skriðan þornar hins vegar fremur fljótt og verður að mold með töluverðri samheldni. Myndina tók Sveinn Brynjólfsson.

Mikil vatnsheldni og hvernig *eldfjallajörð* hagar sér þegar hún nær flæðimarkinu verður til þess að skriðuföll eru algeng á eldvirkum svæðum. Svo er einnig hér á landi. Hættast er við skriðum þegar snjóbráð eða mikið úrfelli ná að metta jarðveginn fullkomlega.

Oft má rekja uppruna skriðu rétt neðan við bráðnandi snjóskafl að vori þegar öll brekkan fyrir neðan er vatnsmettuð. Þungi moldarefnanna í slíkum brekkum verður gríðarlegur og skiptir vatnið þar mestu (t.d. 150–200% vatnsinnihald). Þegar massinn gefur eftir rennur skriðan niður sem þunnfljótandi aur en „storknar“ síðan aftur sem mold.

Gjóskulög á nokkru dýpi geta truflað innflæði vatnsins og virkað sem eins konar vatnspúðar og rennslisfletir, sem væntanlega hefur verið raunin þegar stórar skriður féllu í Kaldakinn vorið 2013 (myndir 12.14 og 12.15). Mest er hættan á skriðum sem þessum þar sem moldin er nokkuð þykk og fín í sér (mikið af silti og leir) og þar sem gjóskulög á nokkru dýpi virka sem rennslispúðar.

Aurskriður sem þessar eru mjög hættulegar í byggð. Yfirleitt gróa hlíðarnar vel upp aftur, ekki síst ef umhverfið er vel gróið. Tré með djúpstæð rótarkerfi minnka hættu á skriðuföllum.

Beitþungra beitardýra í hlíðum stóreykur hættu á skriðuföllum, ekki síst á vorin og haustin. Kindagötur og annað rask í hlíðum rjúfa samfellu rótarmottunnar og geta verið upphafspunktur skriðufalla. Þær geta aukið ísig (írennsli) inn í moldina almennt og þar geta myndast sprungur í illa gróið yfirborð á vetri sem síðan leiða vatn í moldina, t.d. þegar skaflar eru að bráðna. Hafa ber í huga að upptökin eru oft hátt í hlíðum þar sem erfitt er að hafa áhrif á aðstæður nema með hóflegri landnýtingu. Þar sem byggð stafar hætta af skriðuföllum sem þessum er hægt að minnka vatnsrennsli í mold með því að veita vatni aðra leið, sem er víða gert á *eldfjallasvæðum*, gæta



Mynd 12.15. Stærsta skriðan sem féll í Kaldakinn vorið 2013. Myndin er tekin rúmum mánuði eftir að skriðan féll. Moldin er orðin þurr að mestu og landið jafnvel tekið að gróa.

hófs í beitarnýtingu og reisa leiðargarða fyrir hugsanlegar skriður.

Ástæða er til að horfa til þessara þátta þegar gróðurfar er mótað í hlíðum þar sem þykkur siltríkur jarðvegur eða siltrík setlög ráða ríkjum. Ógróið land eða yfirborð klætt gróðri sem veldur mikilli frostmyndun í moldinni getur orðið til þess að sprungur myndast sem geta síðan leitt mikið vatn niður í siltlögin í vatnsveðrum eða við snjóbráð.

Þetta á t.d. við um lúpínu (mynd 12.16) sem oft er sáð til ofan við þéttbýli og jafnvel í snjóflóðagarða. Ekki er þó víst að lúpínan eigi hlut að máli í skriðuföllunum á Seyðisfirði – en það er þó eigi að síður mikilvægt rannsóknarefni. Þéttur grassvörður er mun heppilegri gróðurþekja við þessar aðstæður – sem jafnvel má þetta með mjög hóflegri beit. Víði- og birkikjarr myndi auka enn betur á samloðun jarðvegsins. Hátt gras sem leggst niður undan halla og snjóþunga getur aftur á móti myndað „sleipt“ yfirborð sem snjóflóð geta runnið eftir.

12.5.2. Ferðamaðurinn og gönguslóðin

Ferðapjónusta er meðal undirstöðu- atvinnugreina landsins og sú stærsta samkvæmt ýmsum mælikvörðum. Þessi atvinnugrein er reist á þeirri



Mynd 12.16. Upptök stóru skriðunnar sem féll á Seyðisfirði. Lúpínubreiða hylur yfirborðið. Hætta er á að djúpar frostsprungur myndist í lúpínuyfirborðinu á veturnum þar sem vatn sem fylgir ofsaregni eða snjóbráð á greiða leið í siltríka mold og setlög undir yfirborðinu. Óvíst er hvort lúpínan hafi hér átt hlut að máli – en ástæða er til að skoða þessa þætti vel þegar reynt er að minnka hættu á skriðuföllum. Þéttur grassvörður og birkikjarr er mun heppilegra til að hylja svæði sem þessi. Myndin er tekin sumarið 2021.

auðlegð sem felst í náttúru landsins og menningu. Miklu skiptir að náttúra landsins standist hið aukna álag sem fylgir ferðamönnum, en til þess þarf mjög víða að bæta undirstöður og innviði. Mikill fjöldi gangandi fólks veldur átroðslu sem ekki verður mætt öðruvísi en með markvissri stígagerð. Graslendi þolir alla jafna mikið álag að sumri, en ef átroðslan er úr hófi og stendur einnig yfir vor og haust myndast ísnálar í rofnu yfirborðinu á veturnum, sem síðan stuðlar að eyðileggingu kerfisins og rofi ef landið er í halla (mynd 12.17) (sjá einnig 16. kafla um kulferli).



Mynd 12.17. Stígur með vaxandi umferðaralagi. Eftir að yfirborðið tók að trosna fóru ísnálar að myndast í yfirborðinu, og þær skilja eftir sig ógróna rofbletti. Í framhaldinu verður stígurinn að drullusvaði í bleytu og rof verður þar sem landinu hallar. Sjá einnig 16. kafla um kulferli.



Mynd 12.18. Reiðhjól geta valdið miklum skemmdum á útjörð, m.a. göngustígum. Áhrif þeirra geta verið margföld á við göngufólk. Það er m.a. vegna þess að þunginn (kg/cm²) er meiri en hjá gangandi fólki, hjólandi einstaklingur spyrnir af miklum krafti upp á við og því getur átakið verið margfalt meira. Síðan er bremsað og um leið rótað í sverði þegar farið er niður. Förin eru samfelld, sem stuðlar að myndun vatnsrásar í kjölfarið. Áhrif vélhjóna (svokallaðra „crossara“) eru ennþá alvarlegri.

Stígagerð kallar á verkkunnáttu. Nokkur undirstöðuatriði sem fjallað hefur verið um í þessari bók koma þar til álitu. Það þarf m.a. að veða saman halla landsins og yfirborðsgerð ásamt væntanlegu álagi.

Gróft undirlag þolir almennt betur álag, en myndin (mikið af silti) og leirkennd mold (mikið af allófanleir) þolir raskið afar illa og rennur auðveldlega til með vatni, sbr. myndina hér til hliðar. Við þær aðstæður þarf oft að skipta um undirlag við gerð stíga. Sérhæfðar plastmottur og trjákur hafa reynst vel við stígagerð hérlendis.

Miklu skiptir að koma vatnsrennsli af stígum, m.a. með svokölluðum „slagbröndum“. Þeir leiða vatnið af stígum og minnka þá vegalengdina sem vatnið rennur niður brekkurnar og þar með rennslishraða þess (sem eykst eftir því sem samfelld brekkan er lengri). „Slagbrandar“ munu vera kenndir við hinn goðsagnakennda „Vatna-Brand“ sem var brautryðjandi í notkun þeirra á fjallvegum. Oft þarf að huga að því að leggja stíga skáhallt upp brekkurnar til að minnka hallann, og þá er auðveldara að leggja slagbranda til að beina vatnsrennsli af stígum. Stíga ætti alls ekki að leggja beina leið upp hallann (mynd 12.19). Fjallahjól geta valdið miklum skemmdum í halla þar sem mikið er bremsað og ekki síður í votlendum (sjá myndir 12.18 og 12.20).



Mynd 12.19. Gönguslóði beint upp hlið. Mosfellsbær.

Langar samfelldar brekkur valda mestu vatnsrofi (sbr. kafla um líkön fyrir vatnsrof, 19. kafli). Breytilegur halli og ávalt landform (e. concave, halli minnkar niður brekku) er til bóta, sérstaklega ef inn á milli eru láréttir fletir. Íhvolf landform (e. convex) þar sem halli vex niður brekku leiðir til aukins rofs eftir því sem neðar dregur í brekkuna. Þar sem við á þarf að leggja tröppur. Mikilsvert er að koma í veg fyrir að stígurinn þrengist um of við tröppur því að það veldur auknu vatnsálagi auk

Þess sem göngumaðurinn er þá gjarn á að stíga út fyrir stíginn. Göngustígar yfir votlendi eru óheppilegir og þar ætti að leggja timburgólf (mynd 12.20 – ofan á Helgafelli). Þar sem álagið er mest þarf slitpolið yfirborð, hellulögn, timbur o.s.frv., en því getur fylgt ærinn kostnaður sem þó kann að vera hóflegur miðað við arðinn og mikilvægi þess að koma í veg fyrir skemmdir. Það fylgir því mikill kostnaður að gera við skemmdir, oft fylgja því meiri fjárútlát en að vanda til verka í upphafi.

12.5.3. Loftrými, jarðvegshiti, hitaleiðni, jarðstrengir o.fl.

Loftrými í jarðvegi verður til þegar jarðvatn rennur burt, hann þornar vegna þurrka eða rætur plantna taka upp vatn. Til þess að gróður þrífist til langframa þarf lágmarksloftrými. Ian Strachan (1999b) gerði rannsóknir á loftrými jarðvegs í Gunnarsholti, en annars eru slíkar mælingar heldur fáar (sjá Guðrúnu Nínu Pedersen og Derya Berber 2018). Þá eru rannsóknir á varmaeiginleikum jarðvegs sömuleiðis fáar. Ljóst er að *brúnjörð* leiðir hita mjög illa og því geta háspennulagnir hitnað mikið við þær aðstæður, sem m.a. hefur valdið vandræðum við lagningu raflína í jörð héraendis.

Ársmeðalhiti í jarðvegi er að mörgu leyti góður mælikvarði á loftslagsbreytingar. Langtímamælingar héraendis renna styrkum stoðum undir þá staðreynd að loftslag fari hlýnandi (sjá Guðrúnu Nínu Pedersen og Derya Berber 2018).



Mynd 12.20. Skemmdir vegna gangandi og hjólandi fólks á fjölfarinni leið yfir votlendiskafla. Stígurinn er farinn að „breiðast út“ með tilheyrandi skemmdum á stóru svæði. Hér væri æskilegt að krækja hjá votlendinu eða leggja timburgólf yfir það. „Betri er krókur en kelda.“

Heimildir

Andri Stefánsson og Sigurður Reynir Gíslason 2001. Chemical weathering of basalts, southwest Iceland: effect of rock crystallinity and secondary minerals on chemical fluxes to the ocean. *American Journal of Science* 301:513–556.

Árni Snæbjörnsson 1982. Eðliseiginleikar mýra (fyrrri rannsóknir). Í: Árni Snæbjörnsson (ritstj.), Þættir um mýrajarðveg á Íslandi. Fjölrit Bændaskólans á Hvanneyri 36:71–94.

Berglind Orradóttir 2002. The influence of vegetation on frost dynamics, infiltration rate and surface. MSc-ritgerð, Texas A&M University, College Station, Texas, USA.

Berglind Orradóttir, Ólafur Arnalds og Jóhann Þórssen 2006. Ísig vatns í jarðveg. Áhrif gróðurs og frosts. Fræðaðing landbúnaðarins 2006:102–107.

Berglind Orradóttir, S.R. Archer, Ólafur Arnalds, L.P. Wilding og T.L. Thurow 2008. Infiltration in Icelandic Andisols: The role of vegetation and soil frost. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 40:412–421.

Björn Jóhannesson 1960. Soils of Iceland. Rit Atvinnudeildar Háskóla Íslands B-12. Reykjavík.

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

Delmelle, P., S. Opfergelt, J-T. Cornelis og C-L. Ping 2015. Volcanic soils. Í: Haraldur Sigurðsson (aðalritstj.), *Encyclopedia of Volcanoes*, Elsevier, Amsterdam, Holland. Bls. 1253–1264.

Eydís S. Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason og E.H. Oelkers 2013. Does temperature or runoff control the feedback between denudation and climate? Insights from NE Iceland. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 107:65–81.

Eydís S. Eiríksdóttir, P. Louvat, Sigurður Reynir Gíslason, Niels Ö. Óskarsson og Jörunn Harðardóttir 2008. Temporal variation of the chemical and mechanical weathering in NE Iceland, evaluation of a steady state model of erosion. *Earth and Planetary Science Letters* 272:78–88.

Friðrik Pálmason, Halldór Þorgeirsson, Hólmfríður Sigurðardóttir, Hómgeir Björnsson og Ólafur Arnalds 1996. Niturlosun í jarðvegi. *Búvísindi* 10:185–208.

Guðrún Nína Pedersen og Derya Berber 2018. Jarðvegshitamælingar á Íslandi. Staða núverandi kerfis og framtíðarsýn. Veðurstofa Íslands, Skýrsla VÍ 2018–009, Reykjavík.

Haraldur Sigurðsson (aðalritstj.) 2015. *Encyclopedia of Volcanoes*, Elsevier, Amsterdam, Holland.

Jón Guðmundsson og Hlynur Óskarsson 2006. Vistkerfi og vatnasvið. Fræðaðing landbúnaðarins 2006:63–75.

Jón Guðmundsson, Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson 2006. Vatnsheldni mismunandi jarðvegsklokkna. Fræðaðing landbúnaðarins 2006:362–364.

Kardjilov, M.L., Sigurður Reynir Gíslason og Guðrún Gísladóttir 2006. The effect of gross primary production, net primary production and net ecosystem exchange on the carbon fixation by chemical weathering of basalt in northeastern Iceland. *Journal of Geochemical Exploration* 88:292–295.

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

Rannveig Guicharnaud 2002. Rúmpýngd í íslenskum jarðvegi. B.Sc.-ritgerð, Jarð- og landfræðiskor, Háskóli Íslands, Reykjavík.

Sigurður Reynir Gíslason, E.H. Oelkers og Árni Snorrason 2006. The role of river-suspended material in the global carbon cycle. *Geology* 34:49–52.

Sigurður Reynir Gíslason, E.H. Oelkers, Eydís S. Eiríksdóttir, M.I. Kardjilov, Guðrún Gísladóttir, Bergur Sigfússon, Árni Snorrason, Sverrir Elefsen, Jörunn Harðardóttir, P. Torssander og Niels Óskarsson 2009. Direct evidence of the feedback between climate and weathering. *Earth and Planetary Science Letters* 277:213–222.

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

Sigfús Ólafsson 1974. Fysiske og fysisk-kemiske studier af Islandske jordtyper. Licentiatafhandling. Hydroteknisk Laboratorium, Den Kongelige Veterina Landbohøjskole, Kaupmannahöfn, Danmörk.

Strachan, I., Bjarni D. Sigurðsson og J.H. McCaughey 1999b. Soil hydrology at the Gunnarsholt experimental plantation: Measurement and results. *Búvísindi* 12:39–46.

Strachan, I., Ólafur Arnalds, Friðrik Pálmason, Halldór Þorgeirsson, Bjarni D. Sigurðsson, Hólmfríður Sigurðardóttir og G. Novoselac 1999a. Soils of the Gunnarsholt experimental plantation. *Búvísindi* 12:27–38.

Stoops, G., M. Gérard og Ólafur Arnalds 2008. A micromorphological study of Andosol genesis in Iceland. Í: S. Kapur, A. Mermut og G. Stoops (ritstj.), *New Trends in Micromorphology*. Springer, Heidelberg, Holland. Bls. 67–90.

Zaqout, T., Hrunn Ólöf Andradóttir og Ólafur Arnalds 2022. Infiltration capacity in urban areas undergoing frequent snow and freeze-thaw cycles: Implications on sustainable urban drainage systems. *Journal of Hydrology* 607:127495.

Þorsteinn Guðmundsson 1978. Pedological studies of Icelandic peat Soils. Ph.D.-ritgerð, University of Aberdeen, Skotland.

