



4 **Vatnið í moldinni – hagur lands og lífs**



Mynd 4.1. Moldin myndar eins konar svamp á yfirborði lands sem miðlar ferskvatni sem er grunnur starfsemi vistkerfa á landi.

Vatnsmiðlun moldar

Orka sólar er beisluð á yfirborði jarðar með ljóstillífun gróðurs en vatn er nauðsynlegur miðill þessa mikilfenglega orkuvers sem er grundvöllur lífsins á hnettinum.

Það er hlutverk moldarinnar að miðla vatni svo það verði nýtilegt lífríkinu. Jafnframt eru efnahvörf sem stuðla að þróun jarðvegsins og nýmyndun steinda fullkomlega háð þessari vatnsmiðlun.

4.1. Moldin og vatnsmiðlun

Úrkoma á landi staldrar við í moldinni. Það má líkja jarðvegi við svamp sem drekkur í sig úrkomu en miðlar henni síðan aftur til yfirborðsins eftir þörfum – gróðurinn „kreistir“ vatnið úr moldinni þegar þornar. Nægur raki getur verið í jörðu til þess að gagnast gróðri enda þótt ekki hafi rignt svo vikum skipti. Á meginlöndunum er stórum hluta vatnsins skilað aftur til gróðurs og andrúmsloftsins vegna öndunar og uppgufunar (e. evapotranspiration) en hluti regnsins berst áfram til grunnvatns.

Jarðvegur hefur það hlutverk að sía vatn og hreinsa það af mengandi efnum. Vatnsmiðlun jarðvegs kemur einnig í veg fyrir að úrkoma renni viðstöðulaust í burtu út í ár og læki án þess að nýtast innan vistkerfa, en mikið afrennsli á yfirborðinu veldur hættu á flóðum.

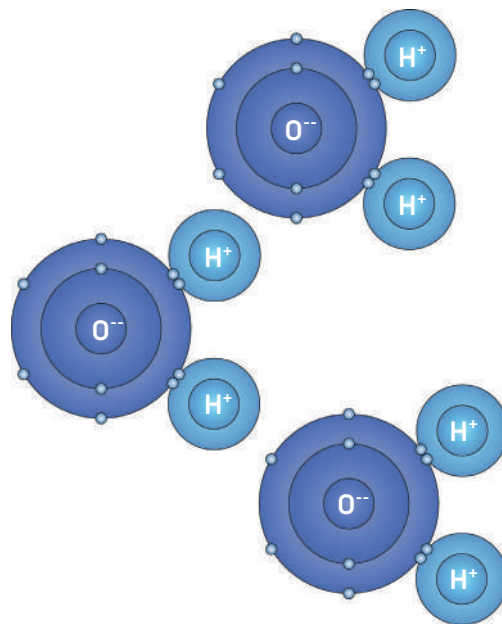
Það er einmitt eitt helsta einkenni landhnignunar, þar sem gengið hefur á jarðvegsauðlindina, að tíðni flóða

stóreykst og mikið af moldarefnum berst á braut með vatninu. Ferskvatn er takmörkuð auðlind á yfirborði jarðar. Hreint ferskvatn er ennþá takmarkaðri auðlind.

Jarðvegsvernd felur í sér verndun vatnshringrásarinnar. Á svæðum þar sem úrkoma er lítil eru áveitur iðulega undirstaða fyrir fæðuframléiðslu. Við þær aðstæður er mikilsvert að fara vel með vatnið og spilla því ekki, t.d. með mengun eða yfirborðsrennsli sem gruggar vatnið.

Vegna hlutverks moldar við vatnsmiðlun og mikilvægi vatns sem auðlindar eru rannsóknir á hegðun vatns í jarðvegi og áveitum sérstök undirgrein jarðvegsfræðinnar.

Síðast í kaflanum er fjallað um nokkur atriði er snúa að vatnshag og vatnafari (e. hydrology) en um vatn í íslenskum jarðvegi er rætt síðar í köflum um íslenskan jarðveg. Kaflinn er afar almenns eðlis og eru efnistöð svipuð og í flestum almennum kennslubókum um jarðveg, svo sem Weil og Brady 2017.



Mynd 4.2. Vatnssameindin er skautuð með neikvæðum (--) og jákvæðum (+) hliðum. Sterk binding myndast á milli sameindanna þar sem neikvæðar og jákvæðar hliðar tengjast saman (vetnistengi). Sameindirnar loða því saman, sem veldur mörgum sérkennilegum eiginleikum vatns.

4.2. Vatn er afar sérstætt efnasamband

Við tökum vatni sem sjálfsgöðum hlut – „vatn er bara vatn“. Vatn kemur ansi víða við í daglegu amstri fólks; við neytum þess og notum það á ótal marga vegu. Mannlíkaminn er að stórum hluta vatn. En vatn er fullt af sérkennilegum leyndardómum – það er sannarlega afar sérstætt efnasamband. Skýringar á virkni vistkerfa má oftlega rekja til þessara sérkennilegu eiginleika vatnsins; eiginleika sem eru nauðsynlegir til viðhalds lífsins á jörðinni. Því er rétt að veita þessu efnasambandi nánari athygli. Sameind vatnsins, H₂O, er mynduð annars vegar af tveimur vetnisatómum (prótónum,

róteindum) og hins vegar súrefnisatómi (sjá mynd 4.2). Súrefnisatómin hafa neikvæða hleðslu (O^-) en prótónurnar jákvæða (H^+) og atómunum er skipað þannig saman að hleðslurnar raðast niður gangstætt hver annarri, neikvæð hleðsla súrefnisins (O^-) er öðrum megin en jákvæðar hleðslur vetnisins (H^+) sitja hinum megin utan á súrefninu. Sameindin er því skautuð (hún hefur bæði jákvæð og neikvæð skaut utan á sér). Neikvæð hlið súrefnisatómsins (-) dregur að sér prótónu (+) í næstu vatnssameind og svo koll af kolli, þannig að vatnseindirnar loða saman enda þótt þær séu í vökvaformi, vatnið hefur samloðun (e. cohesion).

Á myndinni eru sýndar þrjár sameindir sem eru tengdar. Sú staðreynd að vatn er skautað er sannarlega heppilegt fyrir lífríkið á jörðinni. Tengingarnar á milli vatnssameinda er grundvöllur hárpípukraftsins sem tryggir flæði vatns um jarðveg og í plöntum.

Skautun H_2O veldur því að vatn er á vökvaformi við þær aðstæður sem ríkjá við yfirborð jarðar – sem verður að teljast æði mikilvæg staðreynd. Annars væri það í gufuformi (gastegund) líkt og aðrar léttar sameindir á borð við H_2S (brennisteinsvetni) og NH_3 (ammoníak).

Vetnistengingin á milli vatnssameindanna „festir“ þær saman, sem veldur því að efnið getur tekið við mun meiri orku en ella án þess að sundrast og verða að gufu. Því er hægt að dæla ótrúlega mikilli orku í vatnið án þess að það fari að sjóða. Samsagt: eðlisvarmi vatns er gríðarlega mikill, þ.e. vatn getur tekið í sig mikinn varma, sem einnig má m.a. rekja til sérkennilegrar skautunar vatnsins og tenginganna á milli vatnssameinda. Við hitun fer orkan að stórum hluta í að breyta byggingu vatnsins, það er að minnka stöðugleika tenginga á milli vatnssameinda frekar en að auka hreyfiorku þeirra. Því getur vatn tekið í sig mikinn varma án þess

að breyta um form. Með öðrum orðum: vatn helst lengi í vökvaformi við hitun án þess að taka á sig gufuform. Enda er það helsta efnið sem notað er fyrir kælingu í iðnaði, t.d. brunavélar o.s.frv. Þegar vatn kólnar losnar mikil hitaorka úr vatninu, en sú staðreynd liggur til grundvallar húshitunar með vatni. Mikil orka losnar úr læðingi þegar vatn frýs, sem er mikilvægt að hafa í huga þegar vikið verður að kulferlum (frosti) í jarðvegi.

Vatnið getur haldið umtalsverðum styrk jóna í lausn vegna skautunar þess sem gerir það að leysiefni, t.d. Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ , OH^- og H^+ . Þessi eiginleiki er undirstaða efnahvarfa í vatni. Til eru önnur leysiefni, flest búin til úr lífrænum efnum og sem hafa þá neikvætt og jákvætt hlaðin skaut. Þau eru mikið notuð í iðnaði en einnig að einhverju leyti á heimilum. Slík efni eru t.d. algeng sem hreinsiefni og í málningariðnaði. Önnur leysiefni en vatn eru flest afar eitruð og mörg þeirra eru krabbameinsvaldandi.

Einn sérstæðasti eiginleiki vatnsins er að rúmmál þess eykst við það að frjósa, þ.e. þegar vatn fer úr formi vökva yfir í fast efni. Ísinn er því léttari en vatn og hann flýtur á því. Þessu eru öfugt farið hjá flestöðrum efnum þar sem sameindirnar raða sér þéttar saman í föstum efnum en í vökvaformi, enda er mun minni hreyfiorka til staðar í föstum efnum en vökvum sama efnis. Það er í raun þversögn að ís skuli fljóta á vatni, en sú staðreynd er afar mikilvæg fyrir vistkerfi jarðar.

Auðvelt er að finna umfjöllun á netinu um það hve einkennilegt efni vatnið er, t.d. má benda á skemmtilega grein í vísindahorni breska blaðsins The Guardian (Alok Jha 2015, sjá einnig bók Alok Jha 2001). Rétt er að benda á góða umfjöllun Stefáns Arnórssonar (2017) um eiginleika vatns í bókinni *Jarðhiti og jarðarauðlindir*, en þar er einnig athyglisverð frásögn af kenningum um

Vatn sem leysiefni

Skautun vatns er einnig grunnur að öðrum mikilsverðum eiginleika: vatn er leysiefni.

Efnasambönd á borð við salt ($NaCl$) leysast upp í vatni, Na^+ tengist neikvæðum enda vatnssameindarinnar en Cl^- þeim jákvæða.

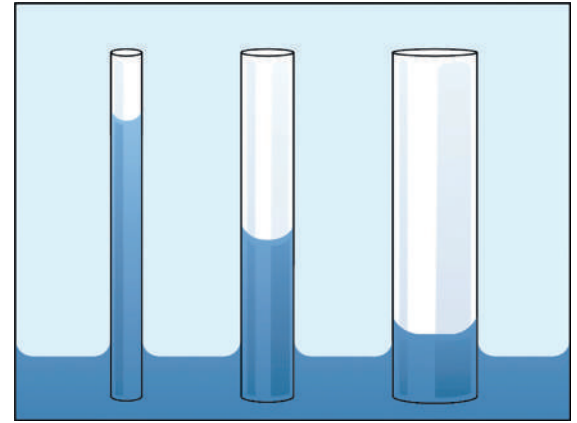
uppruna vatns á jörðinni. Þá má benda lesendum á hið magnaða rit Guðmundar Páls Ólafssonar (2013), *Vatnið í náttúru Íslands*, þar sem vatninu er gerð skil frá mörgum sjónarhornum.

Vatnssameindir loða ekki aðeins hver við aðra heldur veldur skautun vatnsins því að það loðir við nánast hvaða yfirborð sem er (viðloðun; e. adhesion). Örpunn vatnshimna þekur yfirborð allra hluta í andrúmslofti jarðar, en þessi himna er oft mjög þunn, sérstaklega þar sem loftraki er lítill og heitt er í veðri. Mikla orku þarf til þess að ná innsta vatnslaginu af yfirborði hluta. Vatn loðir sömuleiðis við yfirborð allra efna í jarðvegi – en í mismiklum mæli eftir því hversu þurr hann er.

Samloðun vatns og viðloðun við agnir í jarðvegi er undirstaða hárpípukraftsins í mold (mynd 4.3). Hann virkar jafnt í allar áttir í moldinni, hvort heldur sem er upp, niður eða til hliðanna, þ.e.a.s. hann er ekki háður þyngdaraflinu. Þegar vatn minnkar á einum stað í moldinni, t.d. vegna uppgufunar eða upptöku plantna, berst vatn að þeim stað sem er þurrari fyrir tilverknað hárpípukraftsins. Vatn smeygir sér um allt holrými sem finnst í moldinni. Þannig er vatni miðlað um jarðveginn, m.a. í rigningartíð frá yfirborðinu til neðri laga, eða að rótum og til yfirborðs löngu eftir úrkomuatburð.

4.3. Jarðvegsvatn – form og vatnsspenna

Viðloðun vatns við jarðvegskorn og samloðun þess gerir það að verkum að regnvatn helst í moldinni í stað þess að hripa niður í grunnvatnið. Ef jarðvegur mettast af vatni lekur það þó niður í gegnum grófasta holrýmið og niður úr moldinni fyrir áhrif þyngdarafilsins (e. gravitational water). Þetta gerist þar sem fjarlægð vatnssameindanna frá moldarögnum er orðin of mikil til að



Mynd 4.3. Hárpípukrafturinn. Vatn loðir við allt yfirborð og þess vegna getur það leitað upp veggi röranna, því hærra sem rörið er mjórra.

vatnið loði við yfirborð jarðvegsagna. Þetta vatn er kallað **laust vatn** til aðgreiningar frá **bundnu vatni** sem loðir við moldina. Þessu má líkja við að svampi sé dýft í vatn og hann mettaður með vökvanum en síðan tekinn upp úr aftur. Þá lekur lausa vatnið úr honum en eftir situr bundna vatnið sem losnar ekki nema við kreistum svampinn.

Eins og áður sagði helst vatn í jarðvegi vegna viðloðunar þess við moldaragnir og samloðunar vatnsins (vatnssameindir tengdar hver annarri) vegna þess að vatnssameindirnar eru skautaðar. Þær sameindir sem eru næst jarðvegskornum loða mjög fast við þau, það er ógjörningur að ná því vatni burtu, jafnvel þótt moldin sé sett í ofn. Eftir því sem fjær dregur jarðvegsgninni er vatnið lausar bundið og minna afl eða orku þarf til þess að ná því í burtu. Mælikvarðinn á hve „fast“ vatnið er í jarðveginum nefnist **vatnsspenna**. Hún er gagnstæð þrýstingi sem t.d. myndast undir djúpri vatnssúlu (laust vatn).

Hefðbundin eining fyrir vatnsspennu í jarðvegi var lengi vel bar (bör í fleirtölu, þrýstingseining). Sú eining endurspeglar algenga aðferð við að mæla vatn í jarðvegi, sem byggist á því að setja þrýsting á moldarsýni í þrýstipottum til þess að vega upp á móti hinni neikvæðu vatnsspennu sem heldur vatninu föstu, en við það losnar vatnið. Þeim mun neikvæðari sem vatnsspennan er

(t.d. frá -1 niður í -15 bör), þeim mun meiri þrýsting þarf til að ná vatninu úr jarðveginum, þ.e. þeim mun fastar er það bundið. Laust vatn er aftur á móti undir áhrifum þyngdarafldsins og hefur jákvæða spennu, og þeim mun meiri sem vökvásúlan er hærri eða eftir því sem dýpra er farið.

Í sumum tilfellum kann að vera þægilegt að skilgreina stærðirnar sem jákvæð tölugildi og er þá talað um **togspennu**, sem er jákvæð eining fyrir bundið vatn (og þá hefur laust vatn neikvæða togspennu). Mestu gildir þó að gera sér grein fyrir því að vatn í jarðvegi er bundið jarðvegsögnum og því þarf afl eða orku til að leysa það og ná því frá kornunum. Sum staðar er verið að hverfa frá því að nota eininguna bar sem grundvallareiningu til að meta vatn í jarðvegi – ekki síst í vísindagreinum.

Sú eining sem nú er æ oftast notuð er þrýstingseiningin Pa (Pascal) og þá ýmist MPa eða KPa. Sem dæmi eru -15 bör (visnunarmark) = -1 500 KPa eða -1,5 MPa, en -0,3 bör (vatnsmettun) = -30 KPa eða -0,03 MPa. Hér verður þó einkum notuð einingin bar, ekki síst vegna þess að skalinn er einkar heppilegur, nýtanlegt vatn fyrir plöntur er undir togspennu á milli 0,3 og 15 bara (sjá hér á eftir).

4.4. Vatnsheldni – vatnsinnihald

Fjögur hugtök eru mikilvæg þegar rætt er um hve mikið vatn er í moldinni: **vatnsinnihald**, **mettun**, **visnunarmark** og **vatnsheldni** (nýtanlegt vatn).

Að auki skiptir flæði vatnsins miklu, sem og ísig, hugtök sem verða rædd nánar hér á eftir.

Vatnsinnihald, eða hve mikið er af vatni í jarðvegi á hverjum tíma, er yfirleitt táknað sem hlutfall af þurrvigt

jarðvegsins, þ.e. hve mikið er af vatni deilt með þunga jarðvegsins eftir að hann hefur verið þurrkaður:

$$(g \text{ vatns} / g \text{ þurrs jarðvegs}) \times 100$$

Vatnsmettun (e. saturation eða field capacity) er vatnsinnihald moldarinnar þegar laust vatn hefur lekið úr henni en jarðvegurinn er mettaður með tilliti til bundins vatns. Oft er vatnsmettun skilgreind við tiltekna vatnsspennu og oftast við -0,33 bör (-0,033 MPa) en einnig oft við -0,1 bar. Það skal tekið fram að erfitt er að skilgreina nákvæmlega eitt viðmið fyrir vatnsmettun á þennan hátt, hún er t.d. breytileg eftir jarðvegsgerð.

Visnunarmark (e. wilting point) er það ástand í moldinni þegar lítið er orðið um vatn og það litla sem eftir er það fastbundið við moldaragnir að gróður nær ekki að nýta sér það. Alla jafna er miðað við -15 bara spennu, enda þótt það sé breytilegt eftir plöntutegundum hvenær gróður nær ekki lengur að taka upp vatn. Við visnunarmark er jarðvegurinn orðinn þurr og þá tekur gróður að visna.

Vatnsheldni (e. water holding capacity) jarðvegs er skilgreind sem mismunurinn á vatnsmagni við vatnsmettun annars vegar og visnunarmarks hins vegar – það vatn sem jarðvegurinn getur miðlað til gróðurs. Hér er einnig notað hugtakið nýtanlegt vatn (e. plant available water), þ.e. það vatn sem moldin getur geymt og miðlað til baka til plantna. Sem dæmi má nefna að ef vatnsinnihald við mettun er 80% en við visnunarmark um 20% er vatnsheldni 60% af þunga jarðvegsins, þ.e. 60% miðað við þurrvigt moldarinnar. Það er að segja: nýtanlegt vatn telst 60%. Vatnsheldni er vitaskuld afar mikilvægur eiginleiki og veigamikill mælikvarði á frjósemi moldarinnar, án hennar eru miklar líkur á að vistkerfið skrælni fljótt í þurrkum. Eða öllu heldur að litlar líkur eru á að frjósöm vistkerfi geti þróast

Hugtök

Fjögur hugtök eru mikilvæg þegar rætt er um hve mikið vatn er í moldinni:

vatnsinnihald,
mettun,
visnunarmark og
vatnsheldni.

við slíkar aðstæður – vatnsheldni er einn þeirra þátta sem móta hvers kyns vistkerfi dafna á hverjum stað.

Þeir þættir sem mestu ráða um hve miklu vatni jarðvegur getur haldið er kornastærðin og magn lífrænna efna. Þeim mun meira sem er af mjög smáum ögnum í jarðveginum (leir og lífræn efni), því stærra er yfirborðsflatarmál korna í moldinni samtals. Eins og að líkum lætur er vatnsheldni malar og sands mjög lítil því þessir kornastærðarflokkar hafa lítið yfirborðsflatarmál sem heldur í vatnið. Vatnsinnihald leirríkra og lífrænna jarðvegsflokka getur verið mjög mikið, jafnvel við visnunarmark (mynd 4.4).

Gott dæmi um þetta samhengi er að grófur sandur og mól eru notuð sem „frostfrítt“ efni vegna þess að vatnsheldni þeirra er nær engin; vatn hripar viðstöðulaust niður í gegnum mólina en það vatn sem eftir er þegar þornar um er mjög lítið. Þar af leiðandi er lítið af vatni í kerfinu þegar það frýs og því verða ekki frostsKemmdir.

Öðru máli gegnir um leir og lífræn efni. Þegar leirrík eða lífræn mold er vatns-

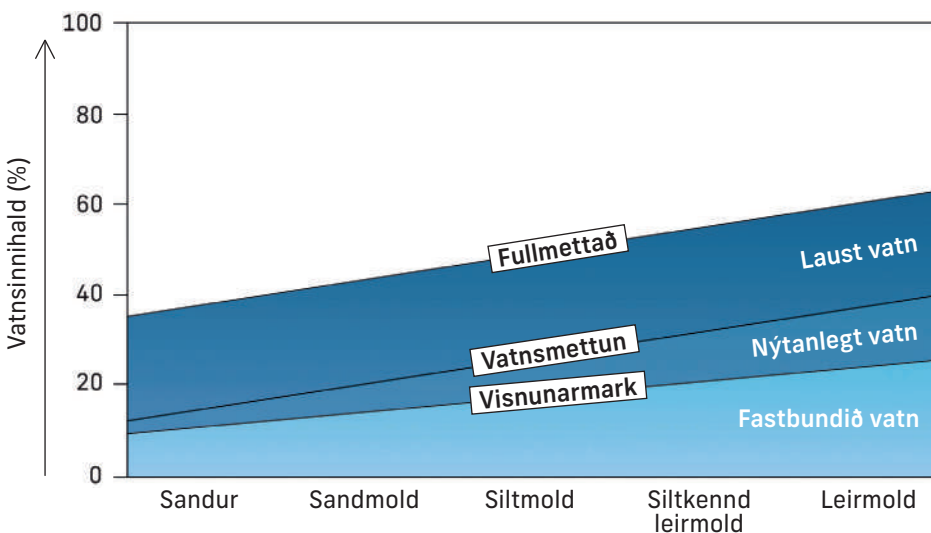
mettuð er mikið vatn í jarðveginum, jafnvel eftir að tekið er að þorna og lausa vatnið er runnið niður úr moldinni. Gott dæmi um kerfi með litla vatnsheldni eru svokölluð sandatún á Íslandi (tún ræktuð á söndum og sandríku undirlagi) sem verða iðulega fyrir miklum áföllum vegna ofþornunar í þurrkatíð.

Rúmpýngd jarðvegs og vatnsrými (vatnsrým) eru mjög tengdir þættir. Eftir því sem rúmpýngdin er minni má ætla að holrými (e. porosity) í jarðveginum sé meira. Rúmpýngd *mójarðar* (lífrænn jarðvegur votlendis) er alla jafna minnst, en vatnsinnihald við -15 bara spennu (visnunarmark) getur t.d. verið mjög hátt, jafnvel >100% (miðað við þurrvigt jarðvegsins), þ.e. moldin inniheldur jafnmikið af vatni og þurrefni jarðvegs en telst þó þurr. Það sama gildir um *eldfjallajörð* sem yfirleitt hefur lága rúmpýngd, eins og síðar verður vikið að.

4.5. Vatnsflæði í og um jarðveg

Laust vatn og bundið vatn hegðar sér á ólíkan hátt þegar það berst um jarðveg. Laust vatn streymir hlutfallslega hratt um stærri rýmin í moldinni en bundið vatn seytlar mun hægar – því rólegar sem vatnsspennan er neikvæðari (minna er af vatni) og vatnssameindirnar sem eftir eru í kerfinu eru nær moldarögnunum.

Ísig er hugtak sem notað er um flæði vatns niður í jarðveginn (e. infiltration). Þegar rignir seytlar vatnið mishratt ofan í moldina. Gróf og vel samkornuð mold (e. aggregated) hleypir vatni örur niður í moldina en mjög fínkorna jarðvegur. Sprungur á yfirborðinu, sem einkum er að finna í mjög leirkenndum jarðvegi, en einnig frostsprungur, hraða ísiginu til muna. Dæmi um algengan ísigshraða eru sýnd í töflu 4.1. Gróður og rótarkerfi hafa einnig áhrif á ísig. Víðtækt rötarkerfi graslendis tryggir jafnt ísig



Mynd 4.4. Vatnseiginleikar breytast með kornastærð. Dæmigerðar tölur fyrir jarðveg nágrannalandanna. Sandur inniheldur lítið nýtanlegt vatn en leirinn mikið af fastbundnu vatni og nýtanlegu vatni. „Fullmettað“ er kerfi áður en laust vatn (e. gravitational) rennur úr því. Votlendi getur innihaldið mikið af lausu vatni. Rétt er að hafa í huga að jarðvegur er afar breytilegur en grafið gefur góða hugmynd um stærðir og hvernig nýtanlegt vatn eykst með minnkandi kornastærð. Mælikvarðinn á myndinni (y-ás) er rúmur og nær allt upp í 100% á þessari mynd, en í umfjöllun um *eldfjallajörð* (mold á Íslandi) er dregin upp sama mynd þar sem *eldfjallajörð* hefur verið bætt við grafið til samanburðar.

Tafla 4.1. Ísigshraði er mjög háður kornastærð jarðvegsins. Byggt á Hillel 1982, 1988.

JARÐVEGSGERÐ (kornastærð)	ÍSÍG mm/klst.
Sandur	>20
Sandmold	10–20
Siltmold	8–15
Mold	5–10
Leirmold	1–5

en stólparætur (t.d. lúpína) búa oft til rennsli meðfram rótinni að sumri. Ísig er oftast ákvarðað með því að reka víð rör eða hólka, t.d. úr blikki, nokkra tugi cm ofan í jörðina. Vatni er hellt ofan á yfirborðið innan rörsins nógu hratt til að viðhalda 2–4 cm vatnsborði. Síðan er fylgst með því hve mikið vatn þarf til að viðhalda þessu vatnsborði, sem má síðan yfirfæra í vatnsflæði eða ísigshraða (mm/klst). Vatnið streymir hraðast niður fyrst en síðan verður flæðið nokkuð stöðugt og það er gildið sem skráð er fyrir ísig. Stundum eru notuð tvö rör (e. double ring method) og vatni þá hellt í innri hringinn.

Á Íslandi er yfirborðspekja meginþáttur sem ræður ísigi vatns ofan í jarðveg (Berglind Orradóttir o.fl. 2008, Zaqout o.fl. 2022). Með yfirborðspekju er m.a. átt við hvort yfirborðið sé gróið, hvernig gróðurinn sé eða hvort yfirborðið sé illa gróið. Á sumrin hripar úrkoma víðast hvar greiðlega ofan í moldina nema þegar moldin er fullmettuð í stórríningum, eins og oft vill verða á haustin, en þá tekur að gæta yfirborðsrennslis. En afar mikilvægt er að hafa í huga að stóran hluta ársins er vetur á Íslandi og jarðvegur iðulega frosinn. Holklaki hindrar ísig, en það er þó misjafnt hve mikið eftir því hvernig gróðurhulan er.

Holklaki sem myndast í gróskumiklum gróðurlendum, t.d. í birkiskógum,

frjóu graslendi eða blómlendi, er nokkuð gegndræpur, jafnvel á vetrum. Snjósöfnun í skjóli gróðursins hefur einnig áhrif á vistkerfið og dregur úr jarðvegsfrosti. Á auðnum myndast hins vegar þéttur ís sem hleypir vatni ekki niður og því getur orðið mikið yfirborðsrennsli og rof á auðnum á vetrum. Mjög þéttur holklaki getur þó einnig sprungið og sprungur leitt vatnið niður mjög ört, jafnvel án viðkomu í yfirborðslögum, sem getur valdið mengun og aukið á skriðuhættu (Zaqout o.fl. 2022). Meira verður fjallað um þennan þátt í kaflanum um Ísland og í sérstökum kafla um kulferli.

Vatnsleiðni (e. hydraulic conductivity) er mikilvægur eiginleiki moldar. Bæði er talað um **mettaða vatnsleiðni** (e. saturated hydraulic conductivity, lög-mál Darcys) og **ómettaða vatnsleiðni** (e. unsaturated hydraulic conductivity). Mettuð vatnsleiðni á við um það þegar laust vatn streymir um mettaðan jarðveg. Ómettuð vatnsleiðni tekur aftur á móti til færslu bundins vatns um moldina. Þessar stærðir eru, eins og gefur að skilja, afar mismunandi eftir kornastærð jarðvegsins (mynd 4.6).



Mynd 4.5. Mæling á ísigi á Geitasandi nærri Gunnarsholti. Vatni er hellt í hringinn og viðhaldið 2–3 cm vatnsborði. Hér er ísigið mjög hægt að vetrarlagi og hætta á yfirborðsrennsli í vatnsveðrum og snjóbráð með tilheyrandi vatnsrofi.

Mettuð vatnsleiðni er hlutfallslega ör í grófum jarðvegi. Ef vatn er bundið er það kornastærðin silt sem leiðir vatnið örst. Hins vegar hægir á ómettaðri vatnsleiðni þegar jarðvegur verður fínkorna (leirkenndur) en einnig í grófkorna mold: sandur er of grófur til að leiða bundið vatn. Þá er mikilvægt að hafa í huga að það hægir á ómettaðri vatnsleiðni eftir því sem minna er af vatni í jarðveginum (aukin togspenna) – vatnið verður þá æ fastar bundið við moldaragnirnar uns leiðnin er orðin afar takmörkuð þegar vatnsspennan nær visnunarmörkum.

4.5.2. Vatnsflæði og kornastærð

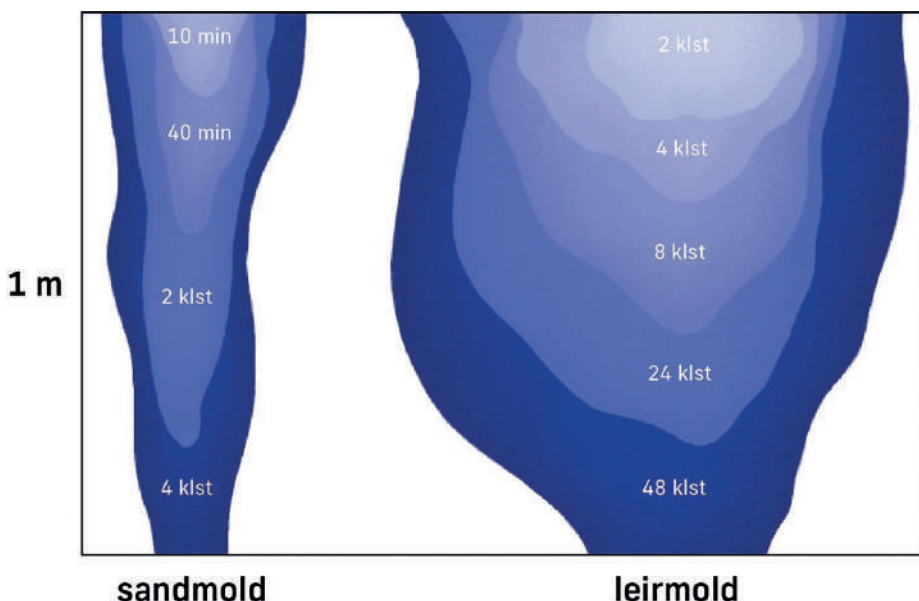
Þegar litið er til jarðvegs sem auðlindar, t.d. til ræktunar eða vatnsmiðlunar almennt, er sú mold sem hefur blandaða kornastærð, þ.e. myldin (e. loamy), yfirleitt best. Hún hefur nægjanlega hátt hlutfall silts til að leiða vatnið greiðlega um jarðveginn, en þó það mikið af leir að vatnsheldni er góð. Sandur stuðlar síðan að betri loftun jarðvegsins svo að hæfileg blanda af öllum kornastærðum gefur frjóustu moldina. Lífræn efni eru vitaskuld einnig afar mikilvæg fyrir vatnseiginleika og frjósemi. Þar sem

jarðvegur er lagskiptur er kornastærð iðulega breytileg innan sama sniðsins á milli einstakra jarðvegslaga. Miklar og skarpar breytingar í kornastærð hafa afgerandi áhrif á vatnsleiðni um moldina. Tökum sem dæmi jarðveg sem hefur myldið yfirborðslag en sendið jarðvegslag (t.d. gjóskulag) þar fyrir neðan, nokkru undir yfirborðinu (mynd 4.7).

Í rigningu hripar vatnið sæmilega greiðlega með ómettuðu flæði niður frá yfirborðinu, enda hefur myldið yfirborðslagið jafnt hlutfall leirs, silts og sands og góða vatnsleiðni. Þegar kemur niður á sandlagið stöðvast flæðið því yfirborð kornanna í sandlaginu er ekki nógu stórt til að viðhalda hárpípuflæði vatnsins – vatnið leiðir ekki á milli kornanna. Á meðan rignir heldur vatnsflæðið áfram niður á við að sandlaginu, þar sem vatn tekur að safnast fyrir, þar til vatnsspennan nálgast núll (vatn verður laust). Þá má segja að stíflan bresti, mettað flæði óbundins vatns hefst niður í gegnum lagið fyrir tilstuðlan þyngdaraflsins. Ef jarðvegslagið neðan þessa sandlags er mjög fínt hægir það svo mikið á hinu mettaða flæði að það nánast stöðvast svo að sandlagið verður að eins konar polli í moldinni. Það getur verið afar hættulegt út frá verkfræðilegum sjónarmiðum, að ekki sé talað um hættu á skriðuföllum í hlíðum, en það er önnur saga (sjá kafla 6.5.2).

Sandlagið hefur vitaskuld einnig áhrif á vatnseiginleika moldarinnar þegar hún er þurr. Þegar jarðvegur þornar og vatni er miðlað úr neðri lögum verður til hindrun þar sem sandlagið er. Það stöðvar ómettað flæði vatns til yfirborðsins – neðri hluti sniðsins virkar ekki sem vatnsgeymir fyrir allan jarðveginn, eins og tilfellið væri ef sandlagið væri ekki til staðar í moldinni.

Vert er að hafa í huga að þykkt sandlagsins þarf ekki að vera mikil til að



Mynd 4.6. Ísig og mettuð vatnsleiðni. Sandurinn leiðir vatnið greiðlega niður í moldina við vatnsmettun, en leiðnin er mun hægari í leirmold. Sandmoldin leiðir hins vegar lítið vatn þegar moldin er ekki mettuð af vatni.

hafa áhrif á ómettað sandflæði. Þetta er vitaskuld mjög mikilvægt hér á landi þar sem gróf gjósku- og áfokslög eru víða í jarðveginum sem hafa slæm áhrif á eiginleika íslensku moldarinnar. Þetta á sérstaklega við á gosbelti landsins sem gerir jarðveginn þar tiltölulega viðkvæman fyrir áföllum, moldin hefur í raun minni stöðugleika og skert þanþol (e. resilience) af þessum sökum (sjá 17. og 19. kafla).

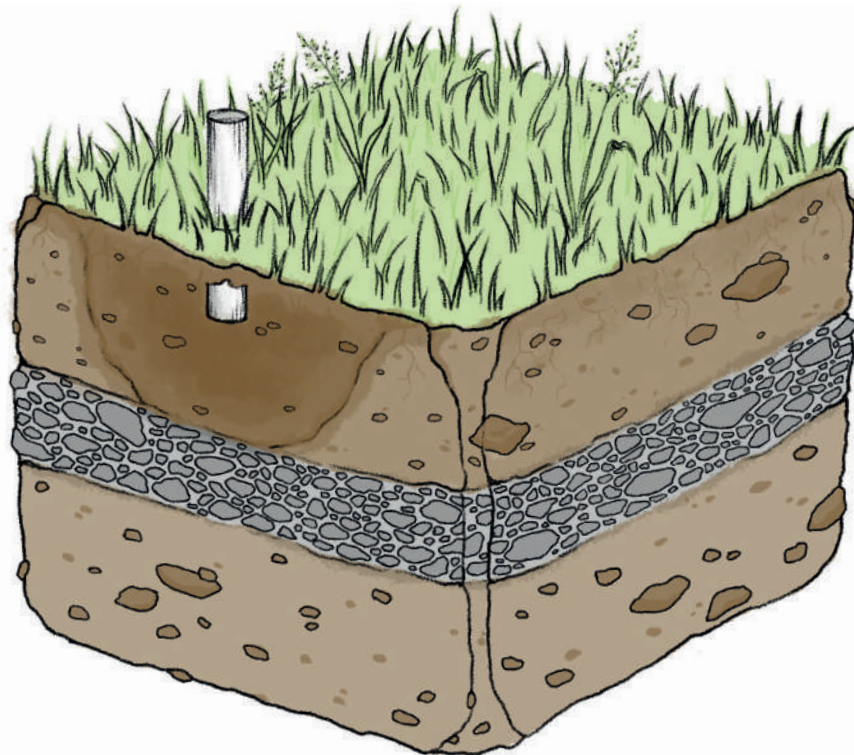
4.6. Mælingar á vatni í jarðvegi

Margar aðferðir má nota til að mæla vatn í jarðvegi, bæði á vettvangi og á rannsóknastofum. Einfaldast er að mæla vatnsinnihald sýnis með því að vigta það, þurrka það síðan (oft við 100–120°C hita) og vigta það aftur. Algengt er að mæla vatnsinnihald í jarðvegssýnum í þrýstipottum við mismunandi þrýsting. Þegar þrýstingur er settur á pottana pressast vatnið úr moldinni og það er síðan leitt út úr pottinum í gegnum sérstaka himnu. Þannig er unnt að kanna vatnsmagn í jarðvegi við tiltekinn þrýsting – þ.e. vatnsmagn við mismunandi togspennu, eins og t.d. 0,3 og 15 bör, til þess að mæla vatnsheldni (nýtanlegt vatn, e. water holding capacity).

Að auki er til fjölbreytt úrval af tækjum sem mæla bæði vatnsmagn og vatnsspennu í jarðvegi. Þessi mælitæki eru mikilvæg í ræktun, ekki síst á áveitusvæðum, en einnig sem rannsóknartæki, og þau hafa verið mikið notuð hér á landi.

4.7. Vatnshagur – vatnafar

4.7.1. Vatn og vatnasvið



Mynd 4.7. Gróf jarðvegslög hindra ómettað innflæði vatns. Þar sem gjóskulagið fyrir miðri myndinni er gróft leiðir það ekki vatn niður í neðri lögin. Það á einnig við um vatnsleiðni upp í gengum lagið, vatn berst ekki upp jafnvel þótt yfirborðslögin þorni. Gróf jarðvegslög hafa því neikvæð áhrif á vatnseiginleika og frjósemi moldar.

Hugtakið vatnshagur er hér notað sömu merkingar og enska heitið hydrology. Orðið vatnafar hefur stundum verið notað svipaðrar merkingar. Vatnshagur er fræðigreinin sem fjallar um ferla vatns í og við yfirborð jarðar, t.d. grunnvatns, rennsli straumvatna og grunnvatns, sem og ferla vatns í jarðvegi og nýtingu þess bæði í vistkerfum og af mannum sjálfum í margvíslegum tilgangi. Vatnshagur varðar einnig og ekki síst gæði vatnsins. Vatnsvernd og jarðvegsvernd eru afar tengd viðfangsefni. Mikilvægur hluti lagasetningar á sviði náttúru og umhverfis, m.a. á alþjóðavettvangi, lýtur að nýtingu og verndun vatnsauðlinda, svo sem Vatnatilskipun Evrópusambandsins (e. Water Directive) sem Ísland er aðili að.

Langstærsti hluti vatns á jörðinni er saltvatn sjávar, eða >97% vatnsins. Ferskvatnsbirgðirnar eru að mestu bundnar í jökulhvelum heimskautanna en aðeins lítinn hluti þess er að finna í jarðvegi, ám og vötnum (<1%).

Geymslugeta moldar

Moldin geymir drjúgan hluta ferskvatnsins sem er í hringrás hverju sinni, eða um 33% af því eina prósentu sem er ekki bundið í sjó eða jöklum. Mikilvægi jarðvegsins í þessu samhengi er því augljós.

Það er einnig athyglisvert hve lengi vatn dvelur í einstökum þáttum vistkerfanna, þ.e. taftími vatns. Taftími vatns er að meðaltali um 10 dagar í andrúmsloftinu, 20 dagar í vatnsföllum en 30 dagar í jarðvegi.

Við rannsóknir á vatni eru vatnasvið (e. watersheds) oft mikilvægustu einingarnar. Hægt er að skilgreina mörg stig vatnasviða, allt frá litlum svæðum, þaðan sem rennur lækur eða lítil á (t.d. dalverpi á Íslandi), að vatnasviðum stórána, svo sem Jökulsár á Fjöllum og Þjórsár, og allt til fljótanna miklu Amasón, Nílar, Gulafljóts og Mississippi o.fl. Hér er rétt að benda aftur á mikið rit Guðmundar Páls Ólafssonar, *Vatnið í náttúru Íslands* (2013), sem geymir mikinn fróðleik um vatn og vatnshag á Íslandi og á jörðinni almennt.

Á meginlöndunum er mælt hve mikil úrkoma fellur á tiltekið vatnasvið og fylgst grannt með vatnsmettun í jarðvegi til þess að meta hættu á flóðum. Til þess eru notuð gögn um jarðvegsgerðir sem segja til um hve mikil úrkoma geymist í moldinni, landslagið (einkum halli), yfirborðsgerð (t.d. skógur, graslendi, akur, malbik o.fl.), hve mikið hefur rignt ásamt spám um hve mikið muni rigna á næstunni o.fl. Þessar upplýsingar eru notaðar til að segja fyrir um hvernig úrkomunni reiðir af og hvort hætta sé á flóðum. Einnig er hægt að nota upplýsingar af þessu tagi til að spá fyrir um uppskeru á stórum landsvæðum og hvernig unnt sé að haga nýtingu áveituvatns með sem hagkvæmustum hætti. Vatnasvið eru einnig mjög mikilvægar einingar við mælingar á mengun, t.d. frá iðnaði og landbúnaði.

Það er eftirtektarvert að á stórum þéttbýlum svæðum meginlandanna er orðið afar erfitt að finna hreint og ómengað vatn í náttúrunni. Grunnvatn er víða mengað af áburðarefnum úr landbúnaði en iðnaður, skólp og námagröftur hafa mengað vatnsföllin.

Neysluvatn er því afar verðmætt á þessum svæðum og er keypt á brúsum í matvöruverslunum. Þessi menning hefur skotið rótum á Íslandi enda þótt gæði kranavatns hérlendis sé yfirleitt með því besta sem þekkist á jörðinni – það eru miklar líkur á að vatnsgæði kranavatnsins séu betri en gæði vatns sem keypt er í verslunum. Þó kunna að vera á þessu undantekningar á svæðum þar sem erfitt er að afla lindarvatns. Fjármálaspekúlantar og jafnvel þjóðríki keppast nú um að kaupa vatnsréttindi þar sem það er hægt, m.a. í þróunarlöndunum. Einhver viðamestu dómssmál samtímans má rekja til baráttu fylkja í suðvesturríkjum Bandaríkjanna um vatn og vatnsréttindi, t.d. á vatnasviðum Colorado- og Rio Grande-fljótanna.

4.7.2. Útgufun og uppgufun

Úrkoma hleður upp vatni í jarðveginum sem tapast á ný við notkun plantna. Vatnið gufar síðan upp af gróðrinum (útgufun, e. transpiration, T) ásamt beinni uppgufun úr mold (e. evaporation, E), ekki síst þar sem skortir gróðurhulu á plægðum ökrum og auðnum. Lagður er sameiginlegur mælikvarði á hvort tveggja, heildarútgufun (e. evapotranspiration, ET). Þar sem vatn er af skornum skammti er oft reiknað út hve mikil útgufun yrði ef vatn væri ávallt til staðar, svokölluð möguleg heildarútgufun (e. potential evapotranspiration, PET). Þessi stærð er háð loftslagsþáttum á borð við úrkomu, rakastig, hitastig, skýjafar, gróðurfar og vindhraða.

Þurrkasvæði og eyðimerkur einkennast m.a. af því að möguleg heildarútgufun (PET) er meiri en meðalúrkoman. Þurr vindur þurrkar moldina fljótt á auðnum en mun síður þar sem jarðvegsskán eða gróður er til staðar. Kornastærðin skiptir einnig máli, meira gufar upp úr grófri siltmold en leirmold. Uppgufun frá vel grónum svæðum getur verið allt að því

helmingi hægari en af ógrónu yfirborði. Svart yfirborð íslenskra auðna er afar óhagstætt hvað þetta varðar því það hitnar í sól. Möguleg heildarútgufun er mikið notuð til að skilgreina tegundir vistkerfa og umhverfisaðstæður (mynd 4.8). Loftslagsbreytingar sem nú hrjá vistkerfi jarðar hafa áhrif á alla þá þætti sem móta mögulega heildarútgufun (PET).

Þar sem stór hluti yfirborðs jarðar telst til þurrlendis beinist mikil athygli að því að stjórna vatnsnotkun í þéttbýli og á landbúnaðarsvæðum. Þá verða þessir þættir sem hér voru ræddir, svo sem uppgufun og útgufun, afar mikilvægir, m.a. til að hanna ræktunartækni sem takmarkar tap á vatni. Hér á landi er úrkoma það mikil og ræktarland svo lítið að þessum þáttum er minni gaumur gefinn en erlendis. Þó má ætla að vatnsskorts taki að gæta hér í vaxandi mæli á mörgum svæðum landsins ef loftslagsbreytingar auka sumarþurrka á landinu, ekki síst innan gosbeltisins og á auðnasvæðum þar sem jarðvegur hefur litla vatnsheldni.

Á þéttbýlum svæðum erlendis er neysluvatn oft framleitt með hreinsun á menguðu vatni. Víða er það jafnframt leitt langar leiðir frá ómengduðum svæðum eða því veitt frá ám sem renna um dreifbýl svæði til þéttbýlisins. Landnýting og gróðurþekja hefur mikil

áhrif á vatnshringrásina og því þarf að huga að þessum þáttum við öflun neysluvatns. Á Íslandi, t.d. í Bláfjöllum, er sú úrkoma sem sígur niður til grunnvatns það mikil að takmörkuð landnýting hefur ekki áhrif á vatnsmagnið eða vatnsgæði. En þar sem gróðurhula hefur rofnað og yfirborðsvatn rennur um moldarsvæði getur grunnvatn og þá sérstaklega vatnsból hæglega mengast. Áhrif vatnsveðra eru einnig mikil ef frost er í jörðu því þá rennur mikið vatn á yfirborði sem getur síðan mengað vatnsból, ekki síst ef yfirborðið hefur takmarkaða gróðurhulu. Það er mikilvægt að hafa í huga sem áður sagði að moldin síar mengunarefni úr regnvatni fyrir utan að miðla vatninu. Vandinn skapast fyrst og fremst þar sem vatn nær að renna á yfirborði um rofið land þannig að moldin tekur að berast með vatninu.

Það er líklegt að aðstæður þar sem myndast þéttur ís og sprungur í moldina á vetri geti stuðlað að mengun grunnvatns – t.d. þar sem eru lúpínubreiður eða sígrænn skógur á vatnsverndarsvæðum (sjá m.a. Zaqout o.fl. 2022). Nánar er fjallað um þennan þátt í 16. kafla um kulferli. Þar sem úrkoma er lítil getur yfirborðspekja, svo sem skóglendi, dregið til sín of stóran hluta vatnsins þannig að lítið vatn sígur niður til grunnvatns sem er ætlað að hlaða grunnvatnsgeyma til að afla neysluvatns, t.a.m. fyrir stórborgir.



Mynd 4.8. Tvær eyðimerkur þar sem uppgufun verður ör. Til vinstri má sjá svæði norðan Tungnár, nálægt Jökulheimum, til hægri Kofafjöll í suðvesturhluta Arizona (ársúrkoma <100 mm). Yfirboð beggja auðna hitnar mikið í sólskini og uppgufun verður ör. Undir yfirborði auðnarinnar í Arizona er þó leir sem hamlar uppgufuninni og gróðurinn er aðlagður þurrkum og hjarir af. Beit hefur skaðað kerfið í Arizona en eldgos hafa viðhaldið auðninni til vinstri. Þar skortir vatnsheldni og uppgufun er ákaflega ör í sólskini.

Vatnsmiðlun og jarðvegur

Víða um heim eru reist gríðarleg mannvirki til þess að hemja stórfjótin og minnka flóðatoppa. Þau eru gjarnan einnig notuð til þess að framleiða rafmagn. Dæmi um slík mannvirki er Hoover-stíflan í Colorado-ánni í USA og Þriggja gljúfra stíflan í Gulafljóti í Kína sem getur framleitt um 22 000 MW þegar fullt rennsli er í fljótinu. Mannvirki til að stýra rennsli eru feykilega dýr og alls ekki öll hönnuð til rafmagnsframleiðslu. Það er hins vegar vert að gefa því gaum að það sem iðulega veldur miklum þunga flóða í stórfjótum er skert geta vistkerfa ofar á vatnasviðunum til að miðla vatni. Ástæðan er landnýting, en vandamál henni tengd geta átt sér langa sögu, sbr. umfjöllun í 20. kafla.

Þar sem ástandið er verst verður rof sem skilar ógrynni moldarefna í árnar þar sem þau setjast að upp að vissu marki og breyta rennsli vatnsfalla og fylla uppistöðulón. Tjónið er gífurlegt. Sums staðar er moldin og berggrunnurinn mjög laus í sér, eins og löss-lögin á vatnasviði Gulafljóts, sem skilar kynstrum af jarðefnum út í fljótið, enda er Gulafljót sú elfur sem hefur mestan aurburðinn. Undirliggjandi vandamál er að gróðurhula hefur verið skert með nýtingu (beit, akuryrkju, skógarhöggi o.s.frv.). Af einhverjum orsökum er oft byrjað á verkfræðilegum lausnum sem iðulega skapa ný vandamál sem geta orðið mjög kostnaðarsöm, eins og algengt er við flóðavarnir þegar þrengt er að stórfjótum. Oft er margfalt ódýrara að ráðast í vistfræðilegar aðgerðir til að endurheimta vistkerfi á vatnasviðunum og vatnsmiðlun þeirra og gefa fljótum aukið rými. Kínverjar verja nú miklum fjármunum í landgræðslu á vatnasviðum stórfjótanna og hafa náð umtalsverðum árangri í að minnka setflutninga.

Því er oft reynt að laga gróðurfarið að vatnsnýtingu (t.d. með því að takmarka skógarhulu). Þá þarf einnig að hafa í huga að sé PET hátt gufar hraðar upp af illa grónum svæðum en yfirborði með gróðurhulu. Sums staðar er gróður og mold fjarlægð nálægt opnum

vatnsbólum, sem er yfirleitt gert til að koma í veg fyrir dýralíf við vatnsbólun og mengun af þess völdum. En annars staðar er gróður, m.a. skógarhula, algjörlega nauðsynlegur til þess að halda moldinni á yfirborðinu, hindra yfirborðsrennsli og stemma stigu við



Mynd 4.9. Til vinstri: Graslendi viðhaldið á miðri götu í Santa Cruz, Tenerife, til að auka innflæði vatns og minnka hættu á flóðum. Til hægri: Ofanvatnslausnir í Portland, Oregon. Grænu reitirnir safna yfirboðsvatni, síá það og hlaða grunnvatnsgeyma auk þess sem hætta á flóðum í ofsaregni minnkar. Ljósmynd. Ása L. Aradóttir.

flóðum, auk þess sem gróðurinn er nýttur með margvíslegum hætti.

4.7.3. Útskolun og framræsla

Tap á lausu vatni niður í gegnum moldina er nefnt útskolun (e. leaching). Verði útskolun tapast næringarefni með vatnslausninni sem getur valdið mengun á grunnvatni og í straumvötnum. Útskolun á nitri og fosfór frá landbúnaðarsvæðum hefur valdið gríðarlegri mengun á víðfeðmum svæðum á meginlöndunum. En það er oft einnig afar mikilvægt að koma jarðvegsvatni burtu, t.d. frá hífylum og öðrum mannvirkjum, vegna notkunar á rotþróum eða við framræslu votlendis til landbúnaðarnota. Framræsla þarf að taka mið af jarðvegsþáttum á borð við vatnsleiðni. Þá eru gróf efni notuð til þess að ræsa laust vatn frá byggingum (drenlagnir) en einnig til þess að bundið vatn leggist ekki að byggingarhlutum sem annars myndu eyðileggjast smám saman – ryðga eða grotna. Segja má að um þetta hafi þróast sérstök fræði, bæði á vettvangi verkfræði og jarðtækni og í tengslum við landbúnað.

Þeir sem móta landslag í borgum þurfa að vera afar vel að sér um þætti sem móta vatnshag, t.d. landslagsarkitektar, arkitektar og skipulagsfræðingar. Þéttbýli hefur gríðarlega mikil áhrif á afdrif regnvatns og oft afar neikvæð þar sem vatnið lendir að mestu í lagnakerfi sem síðan ræður ekki við stóratburði þegar rignir mikið eða öra snjóbráð. Í Þýskalandi eru settar hömlur við því hve stór hluti lands má teljast til yfirborðs sem skilar ekki vatni niður í mold. Á þessu sviði er ör þróun nútildags. Oft er vatn sem kemur af olíumöl mengað vegna mengunar frá umferð og undirlaginu sjálfu, sem m.a. hefur verið kannað hér á landi (Hrund Andradóttir og Vollertsen, 2015).

Skipulag borga tekur í vaxandi mæli tillit til vatnsverndar með svokölluðum

„bláum ofanvatnslausnum“ (mynd 4.9). Við byggingu Urriðaholtssvæðisins í Garðabæ var í fyrsta skipti hugað að ofanvatnslausnum á Reykjavíkursvæðinu við skipulag byggðarinnar, meðal annars til þess að vernda aðliggjandi vistkerfi á borð við Urriðavatn.

Á þéttbýlissvæðum koma víða upp vandamál þegar vatnskerfi hafa ekki undan við að koma vatni burtu í rigningartíð, og þessi vandi fer vaxandi eftir því sem byggð þéttist og æ stærri hluti moldar er hulinn malbiki og byggingum. Flóð af þessu tagi eru í raun skyld „skyndiflóðum“ (e. flashfloods) sem verða á þurrum svæðum í orkumiklum hellidembum þar sem annars þurrir vatnsfarvegir geta yfirfyllst á augabragði. Vandamál vegna skorts á nægu ísigi vatns vaxa nú hröðum skrefum í Bretlandi og víðar, m.a. vegna hönnunar frárennslis sem tekur mið af minni úrkomu, en loftslagsbreytingar með aukinni úrkomu herða enn á vandanum. Ekki verður annað séð en að sums staðar á Íslandi sé gengið ansi hart fram við að hylja stór svæði með malbiki án þess að huga að miðlun moldarinnar (mynd 4.10).

4.7.4. Vatn er mikilvæg alþjóðleg auðlind

Vatn er takmörkuð auðlind á alþjóðavísu. Það þekkja vel íbúar þeirra landa sem búa við minni úrkomu en Íslendingar. Stórfliót meginlandanna streyma í gegnum hvert ríkið á fætur öðru svo að mengun á einum stað veldur skaða í mörgum öðrum löndum neðar á vatnasviðinu.

Árvatn er mikið notað til áveitu í landbúnaði, en oft er deilt um hve mikið hvert ríki fyrir sig má taka til sín af vatninu í þessum tilgangi, deilur sem hæglega verða að styrjöldum. Colorado-áin, sem kemur upp í Klettafjöllum Bandaríkjanna, er smáspræna þar sem hún rennur á landamærunum við

Varanleg vatnsvernd

Í Bandaríkjunum er unnið að svipuðum reglugerðum um vatnsvernd, en andstaða hagsmunaaðila sem telja vegið að landbúnaði og ýmsum iðnaði er mikil. Á tímum Trumps var dregið úr gildi umhverfis- og neytendaverndar, m.a. er lýtur að vatnsvernd og vörnum gegn mengun í Bandaríkjunum.

Það sýnir vel hve mikilvægt er að renna traustum stoðum undir lagasetningu á þessu sviði þannig að vatn, umhverfið almennt sem og neytendur njóti varanlegrar verndar sem erfitt er að hrófla við í pólitísku umróti.



Mynd 4.10. Borgarnesmalbikið, nokkrir hektarar að flatarmáli. Hér á vatn ekki greiða leið niður og mikil hætta getur verið á mengunarslysum.

Mexíkó þar sem áður rann mikil móða í ólgandi boðaföllum. Vatnið er notað til landbúnaðar og af stórborgum á vatnasviðinu, en það er m.a. leitt í skurðum hundruð km vegar til borga á borð við Tucson og Phoenix í Arizona og Las Vegas í Nevada. Mexíkóbúar fá lítið af vatninu úr Colorado- og Rio Grande-fljótunum vegna mikillar nýtingar í Bandaríkjunum. Spánverjar og Portúgalir deila um vatnsréttindi, að ekki sé talað um deilurnar um vatnsnotkun fyrir botni Miðjarðarhafs. Vatnið er í sífelldri endurnotkun, enda þótt einhver telji sig eiga tiltekið vatn í heimalæknum



Mynd 4.11. Drykkjarvatn til heimabruks sótt í nærliggjandi á. Landnýting á svæðinu veldur rofi og setburði í ánni og vatnið er einnig mengað af fjölbreyttum lífrænum efnum sem valda sjúkdómum. Réttur til aðgangs er alls ekki tryggður fyrir alla. Myndin er frá Eþíópíu.

eða á flösku mun það brátt berast aftur út í mold, ár eða andrúmsloftið. Hver vatnssameind getur verið milljarða ára gömul – við erum bara með vatnið að láni eins og hverja aðra auðlind sem maðurinn nýtir sér til viðurværis.

Margar lagagreinar og reglugerðir á Íslandi fjalla um vatnsvernd, en líkt og á við um jarðvegsvernd eru málin nokkuð flókin er varða umhverfisrétt og lög. Íslendingar eru aðilar að Vatnatilskipun Evrópusambandsins (e. Water Directive) sem mun án efa hafa mikil áhrif á jarðvegs- og vatnsvernd á Íslandi í framtíðinni. Þessi tilskipun markar merkileg tímamót því hún stuðlar að samræmingu laga á milli landa og tekur til alls vatns, þ. á m. yfirborðsvatns, grunnvatns og strandsjávar.

Tilgangurinn er að tryggja aðgang Evrópubúa að góðu vatni um alla framtíð. Stórár Evrópu renna um mörg ríki og við þær aðstæður er mikilvægt að hafa ströng samræmd lög um verndun vatns á öllu vatnasviðinu. Ríkulegar kvaðir eru lagðar á ríki Evrópu um vöktun vatns og á Íslandi er hafin þróun til að fylgja öðrum Evrópuþjóðum eftir á þessu sviði. Það má m.a. gera með stjórnarskrár-bundnum ákvæðum um rétt til aðgengis að góðu vatni. Virðing fyrir vatni þarf að verða að náttúrulegum hluta daglegs lífs almennings óháð dyntum stjórná-manna sem iðulega lúta stjórn gagnstæðra skammtímahagsmuna.

4.8. Mannvirki og þéttbýli

Þekking á jarðvegi er mikilvæg við skipulag og hönnun byggðar. Oft þarf að fjarlægja alla mold af byggingarstað, en iðulega er farið offari og óþarflega mikið af moldinni er fjarlægt. Mannvirki sem ekki er ætlað að bera mikinn þunga geta auðveldlega flotið á moldarpúða, ekki þarf alltaf að grafa „niður á fast“. Í

stórum hluta þess efnis sem ekið er burt frá framkvæmdasvæðum er vatn bundið í moldinni, en tímabundin þurrkun getur stórlega minnkað vatnsmagnið og sparað þar með flutningskostnað, ekki síst ef efnið er flutt um langan veg. Þá gætir þess oft að ekki hefur verið hugsað fyrir því hvar á að setja jarðveginn sem þarf að fjarlægja. Moldin sem tekin er úr grunnum húsa er í raun lífræn auðlind sem nýta má á ýmsa vegu, auk þess sem slíkt efni er vitaskuld verðmætt efni til landslagsmótunar, ekki síst þar sem landslag er flatt.



Mold er oft notuð í hljóðmanir en sá ljóður er iðulega á þeim framkvæmdum að yfirborðið er jafnað út þar sem hrjúft yfirborð væri æskilegra og gagnlegra, auk þess sem ofnotkun á grasi er vandamál. Gras er dýrt í viðhaldi og veldur ofnæmisviðbrögðum hjá mörgum. Oft og tíðum er unnt að nota grjót, lyng og kjarrttegundir sem þarfnast lítils viðhalds í stað túnræktunarinnar. Hljóðmanir ætti ekki að hugsa sem skrudgarðyrkju einvörðungu heldur sem tilraun til að skapa náttúru sem miðlar vel vatni og krefst lítilla inngripa mannsins (mynd 4.12).

Mynd 4.12. Sléttar hljóðmanir með grasyfirborði eru iðulega ekki heppilegar: slétt yfirborðið brýtur hljóð ekki eins og hrjúft yfirborð, þær þarfnast mikils viðhalds, langar sléttar manir geta myndað vindstrengi, en á vetrum rennur vatn óhindrað niður brattann. Hrjúft náttúrulegt yfirborð með grjóti og kjarri á borð við birki og víði hefur mun betri virkni á flestum sviðum og þarfnast minna viðhalds.

Það er vandasamt að hanna íþróttavelli á borð við golfvelli og knattspyrnuvelli með tilliti til vatns. Mikilvægt er að framræsla sé góð þannig að ekki liggi vatn á yfirborði í miklum rigningum, auk þess sem slíkt getur valdið kali á vetrum. Ísig þarf því að vera ört sem og mettað flæði, sumar sem vetur. Hins vegar verður moldin bæði að halda og



Mynd 4.13. Settjarnir til að vernda vatnasvið og ósasvæði Úlfarsár komi til mengunarslyss við hin miklu umferðarmannvirki á mótum Grafarholts og Vesturlandsvegur í Reykjavík. Bætt þekking á vatnshag stuðlar að mengunarvörnum og vatnsvernd af þessu tagi í auknum mæli hérlendis.



Mynd 4.14. Árhelgi. Svæði sem árnar hafa helgað sér hafa iðulega hagstætt rakastig í moldinni og mjög mikinn líffjölbreytileika. Mikilvægt er að gefa vatnsföllum rúm og vernda vistkerfin til að koma í veg fyrir mengun þeirra, sem og vegna mikilvægis þessara vistkerfa almennt. Myndin er frá Tucson í Arizona, en umhverfis ána eru lífkerfi eyðimerkurinnar. 2018.

miðla nægjanlega miklu vatni, sem og næringarefnum, til að hún teljist nægjanlega frjósöm. Mikið af silti eykur frostáhrif – það væri heldur til vansa að fá þúfur í fótboltavöllinn. Plöntuval, áburðargjöf (magn, form, samsetning, tíðni, tímasetning o.fl.) og meðhöndlun svarðarins eru einnig mikilvæg atriði við hönnun og viðhald íþróttavalla. Íþróttavallafræði er sérstök fræðigrein þar sem jarðvegsvatn og moldarfræði gegna lykilhlutverki.

Jarðvegur er mikilvæg sía til að koma í veg fyrir að mengunarefni berist niður í grunnvatn – moldin bindur þau. Mold og gróður koma einnig í veg fyrir að eiturefni berist á braut með yfirborðsvatni. Þegar æ stærri svæði

eru tekin undir samgöngumannvirki, bílastæði o.fl. minnkar það yfirborð sem getur miðlað vatni. Það bakar margvísleg vandræði, m.a. flóð í úrfelli, auk þess sem mengunarefni berast af strætum og torgum og valda mengun í ám, vötnum, grunnvatni og á grunnsævi.

Nú eru gjarnan hannaðar sérstakar settjarnir til að taka við mengun af þessu tagi, t.d. á mótum Grafarholts og Vesturlandsvegur (mynd 4.13) til að koma í veg fyrir mengun í Úlfarsá (sem einnig er kölluð Korpa). Oft er óþarfi að malbika stór samfelld svæði, heldur hanna mannvirki á þann hátt að mold og gróður fái að njóta sín þannig að vatn komist ofan í moldina, um leið og fólki er búið aðlaðandi umhverfi.

4.9. Árhelgi

Mold og lífríki meðfram ám og lækjum mynda afar mikilvæg vistkerfi. Þau sjá um að koma í veg fyrir of ört yfirborðsrennsli að vatnsfarvegum, síá út mengunarefni, t.a.m. úr landbúnaði, og þau eru oft og tíðum mikilvæg búsvæði fjölbreyttra lífvera.

Nærsvæði vatnsfarvega veita vatnsrennslinu rými í flóðum og mynda náttúrulegar flóðavarnir. Vistkerfin á vatnsbakkanum eru jafnframt mikilvæg fyrir lífríki vatnakerfanna, þau tempra hitastig, minnka flóð og sjá þeim fyrir jöfnum og hæfilegum skammti af næringu. Þessi „árbakkakerfi“ heita „riparian zone“ á ensku en hafa verið nefnd „árhelgi“ á íslensku (mynd 4.14). Víða gilda ströng lög um verndun árhelginnar í nágrannalöndunum, ekki síst gagnvart akuryrkju, að viðlögðum sektum og niðurfellingu á búnaðarstyrkjum. Árhelgin nýtur afar takmarkaðrar verndar í íslenskum lögum nema er varðar röskun á búsvæðum laxfiska. Stefnt er að aukinni verndun í reglugerð um sjálfbæra landnýtingu samkvæmt lögum um landgræðslu frá 2018.

Ummerki um röskun árhelginnar er að finna vítt um landið (mynd 4.15). Hófleg beit er notuð víða erlendis til að viðhalda sterkum grassverði við ár og læki, en ofbeit og bullandi rof innan árhelgarinnar telst vera landniðsla af versta tagi. Vonandi fá þessi svæði aukna vernd íslenska samfélagsins í lögum, reglugerðum og með auknum skilningi landnotenda á mikilvægi árhelginnar.

„Samfella“ er mikilvægt hugtak í vistfræði. Það er brýnt að óröskuð svæði meðfram ám og lækjum fái að vera áfram óröskuð, ekki síst á árósasvæðum þar sem fléttast saman mikilvægi vatnsmiðlunar moldar, mengunarvarnir hennar, afar fjölbreytt búsvæði lífvera og flóðavarnir. Umhverfismatsskýrslur vilja stundum vera því marki brenndar að skoðaðir eru einstakir hlutar vistkerfa í sitthvoru lagi, m.a. tegundir fugla og plantna, án þess að huga að samfellunni.

Hugtakið „samfella“ hefur einnig mikið vægi í landslagsfræðum og landslagsmótun. Enn þann dag í dag eru byggð mannvirki yfir verðmæt ósasvæði við þéttbýli á Íslandi en aftur á móti er víða kappkostað að fjarlægja slík mannvirki erlendis.



Mynd 4.15. T.v.: Árhelgi er ekki virt ofan vegar, mikið flæði moldarefna út í vatnsfarveginn. Sami farvegur neðan vegar þar sem betur er farið með landið. T.h.: Nærmynd af svæði ofan vegar til vinstri. Víða erlendis liggja sektir við landnýtingu af þessu tagi. Oftast er vanþekkingu og hugsunarleysi um að kenna þegar svona á sér stað.

Heimildir

Alok, J. 2001. The Water Book. Headline Book Publishing, London, UK.

Alok, J. 2015. Water: the weirdest liquid on the planet. The Guardian.
<https://www.theguardian.com/global/2015/may/11/water-weirdest-liquid-planet-scientists-h2o-ice-firefighters>. Skoðað í nóvember 2018.

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.

Guðmundur Páll Ólafsson 2013. Vatnið í náttúru Íslands. Forlagið, Reykjavík.

Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York, USA.

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

Hrund Ólöf Andradóttir og G.E. Vollertsen 2015. Temporal variability of heavy metals in suburban road runoff in rainy cold climate. Journal of Environmental Engineering, ASCE 141:04014068.

Stefán Arnórsson 2017. Jarðhiti og jarðarauðlindir. Umhverfisrit Bókmenntafélagsins, Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík.

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

Zaqout, T., Hrund 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.

