



23

**Mold og endurheimt
landgæða – vistheimt**



„... að moldu skaltu aftur verða.“

Mynd 23.1. Vistheimt í Stóra-Klofa í Landsveit. Búrfell í baksýn. Hér var áður sandauðn vegna ágangs sands. Birki var sáð upp úr miðri síðustu öld og elstu reitirnir mynda nú vöxtulegan skóg. Birkið er tekið að breiðast ört út og víðibrúskar einkenna suma hluta svæðisins. Melgresi sem sáð var til að stöðva sandfokið er víkjandi.

Kjarrið safnar snjó og snjóbráð skilar sér ofan í moldina. Lífræn efni eru tekin að safnast fyrir í jarðveginum og miðla vatni. Til svipaðra aðgerða má grípa á víðfeðmum svæðum sem nú eru illa gróin, ekki síst á landi sem er í eigu þjóðarinnar, t.d. á Suðurlandi. Myndin er tekin árið 2020.

Landgræðslan: elsta starfandi stofnun heims helguð jarðvegsvernd

Slæmt ástand íslenskra vistkerfa hefur lengi verið augljóst þeim sem bera sæmilegt skynbragð á náttúru landsins. Landgræðslan var stofnuð árið 1907, þá sem Sandgræðsla ríkisins, til að takast á við ógnvænlegan ágang sands og landeyðingu.

Stofnunin telst vera meðal elstu stofnana á sviði jarðvegsverndar og landgræðslu í heiminum – jafnvel sú elsta – sem endurspeglar sérstöðu landsins á þessu sviði. Hnignun vistkerfa hefur óviðá verið meiri á hnettinum.

Ástand vistkerfa jarðar er sannarlega víða bágborið (sjá UN-CCD 2022) og það á ekki síst við á Íslandi. Meðal brýnustu viðfangsefna umhverfisvísinda samtímans er að bæta ástand lands (UN-CCD 2022, IPBES 2019). Moldin er miðlæg fyrir skilning á ástandi lands og því eru margvísleg viðfangsefni sem tengjast hnignun og hruni vistkerfa skýrð í síðasta hluta þessa rits. Moldin kemur einnig mjög við sögu í tengslum við styrk gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu, eins og fjallað var um í kaflanum hér á undan (22. kafli). Í þessum síðasta kafla ritsins er fjallað um endurheimt vistkerfa – vistheimt – sem má segja að sé ein mikilvægasta áskorun náttúrufræða nú á dögum.

Með vistheimt er stefnt að endurheimt hringrásu vatns og næringar, sem og orkunámi, miðlun orku og útöndun (sjá ÓA og Ásu L. Aradóttur 2015). Vistheimt er í raun ferli sem felur í sér að koma á að nýju virkum vistkerfisferlum og um leið þeirri þjónustu sem vistkerfi veita. Ekki nægir að líta aðeins til gróðurþekju, sem of oft er raunin þegar ástand lands er metið, heldur vistkerfisins í heild. Hrunin vistkerfi hafa losað ógrynni

gróðurhúsalofttegunda, bæði úr gróðri og mold, sem mikilvægt er að færa aftur inn í vistkerfin (sbr. 22. kafla). Áður var fjallað um einkenni slæms ástands vistkerfa, m.a. þætti moldarinnar og frjósemi landsins. Aðrar afleiðingar hruns vistkerfa eru neikvæð áhrif á vatnshag og aukin tíðni alvarlegra flóða, fyrir utan neikvæð áhrif á lífsafkomu fólks. Einnig hefur maðurinn breytt árfarvegum, þrengt að þeim, gert þá beinni o.s.frv., sem eykur á flóðahættu og svo mætti lengi telja.

23.1. Landgræðsla og vistheimt

Landgræðsla og vistheimt eru margþætt viðfangsefni – í raun sérstakt fagsvið innan vistfræðinnar og fleiri greina. Umfjöllun þessa kafla tekur aðeins til hluta viðfangsefnisins vistheimtar: athyglin beinist fyrst og fremst að jarðvegspáttum og útjörð. Þessu breiða viðfangsefni verða vonandi gerð viðtækari skil af öðrum einhvern tíma á næstunni.

23.1.1. Hvað er vistheimt?

Endurheimt náttúrulegra vistkerfa er nefnd vistheimt (e. ecological restoration) og þá er miðað við að koma á fót vistkerfi sem líkist því sem var til staðar áður en hnignun varð, eftir því sem hægt er, í öllum lögum vistkerfisins svo sem er varðar gróður, mold og dýr (sjá Ásu L. Aradóttur og Hagen 2013). Rétt er að vísa til skilgreiningar Alþjóðlega vistheimtarfélagsins (Society for Ecological Restoration – SER) sem tekin hefur verið upp af mörgum öðrum alþjóðasamtökum og stofnunum á borð við IUCN (Gann o.fl. 2019).

Vistheimt¹ er ferli sem stuðlar að endurheimt vistkerfis sem hefur hnignað, skemmst eða eyðilagst.



Mynd 23.2. Nemendur Landgræðsluskóla GRÓ-UNESCO við mat á ástandi lands. Þau koma frá Afríku og austanverðri Mið-Asíu og eru sérfræðingar á sínu sviði í heimalandinu. Mynd: Arnar Þórisson.

Hér er vísað til ferlis sem stuðlar að endurheimt eða batavistkerfis. Hugtakið kom inn í íslensku seint á síðustu öld (ÓA 1988) sem þýðing á „ecological restoration“. Ítarleg umfjöllun um vistheimt í íslensku samhengi má finna í riti sem ritstýrt var af Ásu L. Aradóttur og Guðmundi Halldórssyni (2011). Hröð þróun á sér stað á þessu sviði hérlendis sem og á alþjóðavettvangi. Í ritinu *Að lesa og lækna landið* (ÓA og Ása L. Aradóttir 2015) er stutt og aðgengileg umfjöllun um vistheimt sem vert er að benda á – ríkulega myndskreytt, sem m.a. er ætluð námsfólki á öllum stigum auk almennings.

Vistheimt er sú vísindagrein sem vex einna örast á sviði vistfræði almennt. Þing Evrópudeildar „Alþjóðlegu vistheimtarsamtakanna“ (e. Society of Ecological Restoration – Europe) var haldið á Íslandi árið 2018, með yfir 400 þátttakendum frá 49 löndum, sem gefur til kynna hvað vísindastarf tengt vistheimt er orðið öflugt á heimsvísu. Þessi vísindagrein hefur mikið gildi á Íslandi í ljósi bágrar stöðu íslenskra vistkerfa. Sömuleiðis eiga rannsóknir á vistheimt á Íslandi erindi á alþjóðlegum vettvangi. Vert er að gefa því gaum að Landgræðsluskóli Sameinuðu þjóðanna (UNESCO – GRÓ Land Restoration Training Program) er á Íslandi þar sem nemendur frá þróunarlöndum sækja sér þekkingu á öllum sviðum landgræðslu og vistheimtar (mynd 23.2).

23.1.2. Lög um landgræðslu

Sett voru ný lög um landgræðslu árið 2018 þar sem áhersla á endurheimt er í forgrunni. Rétt er að víkja aðeins að þessum lögum nú enda þótt það sé eðli laga að þróast með aukinni þekkingu og breytingum í takt við viðhorf samfélagsins og svo verður eflaust um þennan lagabálk. Með lögum um landgræðslu setur þjóðin sér markmið um endurheimt landkosta og að tryggja sjálfbæra nýtingu landsins.

Lögin nota ekki hugtakið „vistheimt“ heldur „endurheimt vistkerfa“ sem skilgreint er sem: „Það ferli að koma vistkerfum, vistkerfisferlum, eiginleikum vistkerfa og vistkerfaþjónustu í það horf að vistkerfið nái að þróast án hnignunar“, sem er nokkuð annarrar merkingar en hin markvissa alþjóðlega skilgreining á vistheimt hér á undan.

Skilgreining laganna er að sumu leyti ógreinilegri, jafnvel ekki alveg í takt við markmið laganna í fyrstu grein – síðasti parturinn „að vistkerfið nái að þróast án hnignunar“ verður að teljast sérkennilegur í ljósi þess að stærsti hluti vistkerfa landsins er í afar hnignuðu ástandi. En efnisatriði í 2. og 3. grein laganna eru mun skýrari og það er ástæða til að birta hér báðar greinarnar sem setja eins konar ramma um framtíðarstarf á sviði landgræðslu á komandi árum eða áratugum. Segja

Lög um landgræðslu, 1. gr. Markmið.

Markmið laga þessara er að vernda, endurheimta og bæta þær auðlindir þjóðarinnar sem fólgnar eru í gróðri og jarðvegi og tryggja sjálfbæra nýtingu lands.

1. Ecological restoration is the process of assisting the recovery of an ecosystem that has been degraded, damaged, or destroyed.

2. gr. Markmið um vernd og sjálfbæra nýtingu lands.

Til að stuðla að vernd og sjálfbærri nýtingu lands skal stefnt að því að:

- a. nýting lands taki mið af ástandi þess og stuðli að viðgangi og virkni vistkerfa,
- b. stöðva eyðingu jarðvegs og gróðurs,
- c. komast hjá spjöllum á gróðri og jarðvegi,
- d. hver sá sem veldur spjöllum á gróðri og jarðvegi bæti fyrir það tjón,
- e. nýting lands verndi líffræðilega fjölbreytni og orku- og næringarforða og nauðsynlega jarðvegseiginleika fyrir virkni vistkerfisins,
- f. auka þátttöku almennings og hagsmunaaðila í stefnumótun og aðgerðum sem varða gróður- og jarðvegsvernd,
- g. auka þekkingu á mikilvægi jarðvegs og gróðurs og sjálfbærrar nýtingar lands,
- h. fram fari reglubundin vöktun á gróðurlendi, jarðvegi og landnýtingu.

3. gr. Markmið um endurheimt og uppbyggingu vistkerfa á landi.

Til að efla vistkerfi landsins skal stefnt að því að:

- a. byggja upp og endurheimta vistkerfi sem hafa raskast og líffræðilega fjölbreytni þeirra,
- b. auka viðnámsþrótt og þanþol vistkerfa gagnvart náttúrulegum áföllum og náttúruvá,
- c. auka kolefnisbindingu með endurheimt vistkerfa,
- d. virkja almenning og hagsmunaaðila til þátttöku í endurheimt og uppbyggingu vistkerfa.

má að allur síðasti hluti þessa rits – og jafnvel allir kaflar þess – leggi til þekkingu sem nauðsynleg er þeim sem vinna við að tryggja framgang þessara laga.

Í orðskýringum laganna er skilgreining á ástandi lands sem vert er að gefa gaum. Hér er hugsunin um vistgetu höfð að leiðarljósi sem ítarlega var rædd í 19. kafla um ástand lands. Um leið er reynt að sporna við heilkennum breyttra grunnviðmiða (samdaunasýki) sem rætt var um í kafla um rætur landhnignunar (21. kafla). Við það aukast kröfur á viðeigandi fagstofnanir að tryggja að nægjanleg þekking sé til staðar til að sinna þessum verkefnum samkvæmt lögunum. Þá er og mikilvægt að sporna við „stofnanayfirtöku“ (e. agency capture) hagsmunaaðila í stjórnslunni (sjá 21. kafla).

Í lögunum (9. gr.) segir einnig: „Nýting lands skal vera sjálfbær þannig að ekki sé gengið á auðlindir þess og þær endurheimtar eins og unnt er, og jafnframt að viðgangur og virkni vistkerfa haldist.“ Hér er enn á ný heldur óskýrt orðalag því þar sem vistkerfi eru hrúnin – þar sem hringrásir orku, vatns og næringar eru rofnar – er varla hægt að tala um að halda áfram að viðhalda „viðgangi og virkni“ við þær

aðstæður sem færu í bága við markmið laganna sem getið var um hér á undan. Landgræðslunni er falið að setja viðmið um sjálfbæra nýtingu – en þau hafa ekki enn verið birt við ritun þessa bókarkafla (júní 2022).

23.2. Undirstöðuatriði vistheimtar

23.2.1. Alþjóðleg viðmið

Alþjóðlega vistheimtarfélagið (SER) gaf út ítarlega grein um meginreglur og viðmið við framkvæmd vistheimtar (e. International standards for the practice of ecological restoration; Gann o.fl. 2019) í vísindatímariti sem tileinkað er vistheimt (e. restoration ecology). Í inngangi að viðmiðunum er lögð áhersla á hvernig vistheimt stuðlar að vernd líffjölbreytileika, bættum lífsskilyrðum fólks, fæðuöryggi, hagsæld og minnkandi áhrifum loftslagsbreytinga. Um leið eykst þanþol vistkerfa og samfélaga fólks – m.a. gagnvart loftslagsbreytingum. Vistheimt er lausnamiðuð nálgun sem virkjar samfélagið, vísindafólk, stjórnslu og landnotendur til að bæta skaða á vistkerfum – og skapar heilbrigðari tengsl á milli fólks og náttúru, eins og segir í grein Gann o.fl. (2019) um viðmið vistheimtar.

Alþjóðasamtökin (SER) leggja áherslu á átta undirstöðuatriði vistheimtar sem ástæða er til að áréttar hér (Gann o.fl. 2019).

1. Að virkja hagaðila og samfélög á sem breiðustum grunni. Þessi samtenging stuðlar að auknu þanþoli vistkerfa og samfélagsins í heild. Þátttökuaðferðir geta haft í för með sér bætt aðgengi að fjármagni til framkvæmda og stuðlað að því að sátt náist um verkefni, aðferðir og markmið. Þetta skref er iðulega tímafrekt, ekki síst ef eitthvert hlutmengi hagaðila, jafnvel mjög lítið

mengi – telur að hagsmunum sínum sé ógnað. Vel heppnuð verkefni geta verið til eftirbreytni fyrir fleiri slík og dregið úr tortryggni (sjá umfjöllun um þátttökuaðferðir í 19. og 21. kafla).

2. Að beitt sé þverfaglegri nálgun á fjölbreyttum þekkingargrunni og besta fáanlega þekking nýtt á hverjum tíma. Hér er bæði átt við vísindalega þekkingu sem og staðarþekkingu. Vísindaþekking getur verið í örri þróun og það á ekki síst við um vistheimt og landgræðslu þar sem hugmyndir hafa tekið örum breytingum á undanförunum áratugum (sjá Ásu L. Aradóttur o.fl. 2013). Einnig er mikilvægt að virkja staðarþekkingu í slíkum verkefnum, t.d. við að finna náttúrulegan efnivið o.s.frv. – en mat á ástandi eða skilningur á viðmiðunarvistkerfum (vistgetu) má þá ekki vera litaður af „samdaunasýki“ (sjá hér á eftir um 3. atriðið).

3. Að miða skuli við náttúruleg vistkerfi (Viðmiðunarvistkerfi – vistgeta, sjá umfjöllun í 19. kafla um ástand lands). Slík aðferðafræði er vitaskuld einnig undirstaða sjálfbærrar landnýtingar. Í frekari skýringum SER (Gann o.fl. 2019) er m.a. fjallað um hættuna af „heilkeni breyttra viðmiða“ við skoðun á ástandi lands og val á viðmiðunarvistkerfum. Þar kemur „stofnanayfirtaka“ einnig við sögu (sjá 21. kafla) í umfjöllun er varðar vandamál sem tengjast breyttum grunnviðmiðum (mjög lausleg þýðing):

„Þetta vandamál er auk þess mikilvægt þar sem gerð er krafa um vistheimt (t.d. vegna laga, reglugerða og í tengslum við framkvæmdir, innskot ÓA) vegna þess að stofnanir geta sett lág viðmið sem byggjast á röngum skilningi á eðlilegu ástandi lands sem ekki hefur hnignað. Þetta getur verið mikilvægt er varðar verkefni til verndar líffjölbreytileika, því ef skipulag þeirra er lélegt getur hnignun haldið áfram auk þess sem dregur úr líffjölbreytileika.“²

4. Að vistheimt styðji við náttúruleg ferli við bótun kerfisins. Hér er m.a. átt við framvinduferla og hvernig stutt er við þá með skynsamlegum hætti – sem m.a. tekur mið af ástandi landsins á hverjum tíma. Inngrip eru vitaskuld háð ástandi landsins og þeim markmiðum sem sett eru. Aðferðir sem miða við náttúruleg ferli reynast alla jafna langsamlega hagkvæmastar – en geta tekið lengri tíma en þegar inngrip eru mikil. Mikil inngrip (t.d. of mikill áburður eða röng notkun plöntuefniviðar) geta komið í veg fyrir að settum markmiðum sé náð. Notkun ágengra erlendra tegunda samræmist ekki undirstöðuatriðum vistheimtar.

5. Að sett séu skýr mælanleg markmið. Það er mikilvægt að áhrif aðgerða og aðferða séu þekkt og að sýn á endanlega útkomu sé skýr. Þá er hægt að mæla árangurinn. Skýr markmið eru ennfremur undirstaða þess að velja hentugar aðferðir til að ná settum markmiðum.

6. Að ná sem bestum mögulegum bata. Samtökin (SER) settu fram stjörnukerfi í umfjölluninni um viðmiðin (Gann o.fl. 2019), sem nær frá einni stjörnu til fimm stjarna, til að meta árangur vistheimtarverkefna. Við eina stjörnu er búið að stöðva frekari eyðingu en við fimm stjörnur hefur vistheimtin endurskapað flesta meginþætti kerfisins sem miðað var við. Það er misjafnt eftir aðstæðum hvaða árangri er raunhæft að ná – t.d. er mjög erfitt að endurheimta kerfi á þurum svæðum sem hafa „farið í sand“. Á Íslandi er mjög víða hægt að ná „fimm stjörnu bata“ – t.d. með endurheimt birkivistkerfa – jafnvel á landi sem nú er að mestu auðn, og með endurheimt votlenda.

7. Að ávinningur miðist við stærri mælikvarða. Landhnignun á einu svæði getur haft áhrif langt út fyrir viðkomandi svæði og eins getur vistheimt haft áhrif langt út fyrir aðgerðasvæðið (sbr. áhrif á

Mögulegar landbætur réttlæta ekki skaða!

Á það er lögð áhersla að möguleikar til vistheimtar megi aldrei nota sem réttlætingu fyrir því að skaða eða eyðileggja náttúruleg vistkerfi.

En vistheimt getur jafnframt falið í sér sjálfbæra nýtingu náttúrulegra vistkerfa.

2. „In addition, this problem is important for mandatory restoration programs, as agencies may aim for lower standards based on erroneous ideas of what constitutes a nondegraded ecosystem. This may be of importance for biodiversity offset programs, which, if poorly designed, may contribute to continued degradation and loss of biodiversity.“

Áratugur vistheimtar 2021–2030

Vistheimt (e. ecological restoration) miðar að endurheimt náttúrulegra vistkerfa. Stór hluti vistkerfa jarðar er í hnignuðu ástandi og mörg hafa hrunið vegna óhóflegrar landnýtingar. Vistheimt stuðlar jafnframt að því að tryggja lífsviðurværi fólks, vatnsmiðlun og aðgang að drykkjarvatni og ótal öðrum þáttum.

Vistheimt er lykilaðgerð til að varðveita og endurheimta líffjölbreytileika og til að minnka styrk gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu. Vistheimt snertir öll heimsmarkmið Sameinuðu þjóðanna. Áratugurinn 2021–2030 er tileinkaður endurheimt vistkerfa á vettvangi Sameinuðu þjóðanna. Heimsmarkmið Sameinuðu þjóðanna og vistheimt eru í aukum mæli þáttur í stefnu stjórnvalda í heiminum, þ. á m. sveitarstjórna, fyrirtækja og almennings. Vistheimt er óvísða jafnmikilvæg og hérlandis vegna bágrar stöðu íslenskra vistkerfa.



vatnshag). Þá stuðlar vistheimt iðulega að bindingu kolefnis úr andrúmsloftinu og eykur líffjölbreytileika – sem eru þá hnattræn áhrif af vistheimt á tilteknu svæði.

8. Að aðgerðir séu þáttur í samfellu „endurbóttaaðgerða“. Land er í ákaflega mismunandi ástandi hérlandis sem annars staðar og vistheimtaraðgerðir þurfa að fara fram á öllum stigum ástands og aðgerða. Samfellan tekur til þess að minnka ágang og áhrif á

land í samræmi við ástand þess, bæta landnýtingu, koma inn náttúrulegum efniviði og endurheimta landgæði – á þeim tíma sem til þarf.

23.2.2. Samnefnari umhverfissáttmála Sameinuðu þjóðanna – og Ísland

Segja má að vistheimt sé samnefnari allra umhverfissamninga Sameinuðu þjóðanna, þ.e. um loftslagsmál, líffjölbreytileika og varnir gegn landeyðingu, og jafnframt mikilvægur hlekkur í heimsmarkmiðum Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun. Ritið *Vistheimt á Íslandi*, sem var ritstýrt af Ásu L. Aradóttur og Guðmundi Halldórssyni (2011), gefur aðgengilegt yfirlit yfir hin fjölbreyttu vistheimtarverkefni á Íslandi. Sögu vistheimtar með hliðsjón af þróun í hugmyndafræði landgræðslu voru gerð skil af Ásu L. Aradóttur o.fl. (2013) og Þórunni Pétursdóttur o.fl. (2013). Þar kemur fram að eftir að tókst að stöðva mestu hamfarirnar sem fylgdu hraðfara jarðvegsrofi færðust áherslur í landgræðslu smám saman yfir í uppgræðslu til landbúnaðarnota, einkum beitar, um miðja síðustu öld. Á undanförunum ártugum hefur þungi landgræðslustarfs færst yfir á endurheimt landkosta – vistheimt – með fjölbætt sjónarmið að leiðarljósi.

Sem áður gat á landgræðsla á Íslandi sér langa og merkilega sögu sem hlotið hefur alþjóðlega athygli. Upplýsingar um sögu og eðli landgræðslu á upphafsárunum á Íslandi má finna í ritinu *Sandgræðslan 50 ára* sem ritstýrt var af Arnóri Sigurjónssyni (1958). Nýrri rit eru m.a. *Sáðmenn sandanna*, samið af Friðriki G. Olgeirssyni 2007, bók um sögu landgræðslu á Íslandi, *Healing the land*, sem Roger Crofts færði í letur (2011), sem og Árbækur Landgræðslu Íslands, *Græðum Ísland*, í ritstjórn Andrésar Arnalds o.fl. (1987–1997). Einnig skal bent á fyrrgreint rit um vistheimt á Íslandi (Ása L. Aradóttir og Guðmundur

Halldórsson 2011) og *Að lesa og lækna landið* eftir ÓA og Ásu L. Aradóttur (2015). Um vistheimt og framvindu er rétt að benda á yfirlitsgrein Ásu L. Aradóttur og Dagmar Hagen (2013). Þá voru margar málstofur á Fræðþingum landbúnaðarins og Ráðunautafundum tileinkaðar landgræðslu, en það efni er aðgengilegt í greinasafni landbúnaðarins og eru áhugasamir lesendur hvattir til að leita fyrir sér þar. Ritryndum greinum um vistheimt á Íslandi hefur fjölgað á síðustu árum, m.a. um sjálfgræðslu á Skeiðarársandi (Þóra Ellen Þórhallsdóttir og Kristín Svavarsdóttir 2022, Guðrún Óskarsdóttir o.fl. 2022). Þegar þetta er ritað (2022) er starfrækt stórt rannsókn- og þróunarverkefni, BirkiVist, sem beinist að endurheimt birkivistkerfa frá fjölbreytilegum sjónarhornum, allt frá jarðvegspáttum, framvindu gróðurs, til DNA-rannsókna, lista og mats á gildi birkis í landslaginu (birkivist.is).

23.3. Vistheimt og jarðvegspættir

Þekking á mold er mikilvæg til að geta útskýrt ástand lands, hnignunarferli, jarðvegsrof, kulferli og ísnálamyndun, vatnshringrás, kolefni og næringarefni í mold og hvað það er sem skerðist við hnignun lands. Endurheimt vistkerfa felst m.a. í því að byggja upp fyrri virkni jarðvegspáttu og örva jarðvegsmýndun. Rétt er að áréttu að allir fyrri kaflar bókarinnar hafa gildi fyrir landgræðslu, skógrækt og vistheimt og hér er byggt á því efni sem þar var sett fram. Áður var m.a. fjallað um þætti sem notaðir eru til að leggja mat á ástand lands. Sömu þættir jarðvegs koma við sögu við endurheimt vistkerfa.

Rof – vatnsrof/vindrof

Þegar hafist er handa við uppgræðslu og vistheimt er mikilvægt að stöðva jarðvegsrof þar sem þess gætir. Yfir-

borðsstöðugleiki er nauðsynlegur til að plöntur geti fest rætur og þrifist – og þar með tekið að nema orku inn í kerfið með ljóstillífun. Oft er mikilvægt að mynda lífræna jarðvegsskán þar sem land er ógróið til að gera yfirborðið stöðugt (sjá 3. og 16. kafla og myndir 23.3 og 23.4). Sandsvæði eru erfið að þessu leyti því svörfun kemur í veg fyrir landnám gróðurs, ásamt öðrum þáttum á borð við skort á vatnsmiðlun og lítið fræframboð. Kanna þarf upptök sands þar sem það á við og minnka eða stöðva flæðið. Það var m.a. gert þegar yfirborð Sandvatns á Haukadalsheiði var gert stöðugt, sem minnkaði sandflæði frá vatnsborðinu (Sigurður Greipsson 2012).

Hér á eftir verður vikið stuttlega að aðgerðum í árdaga landgræðslu, m.a. hleðslu sandvarnargarða til að reyna að hamla flæði sands. Melgresi er lykiltegund til að binda sand í upphafi, en melhólar eru síkvik kerfi og það er nauðsynlegt að taka þróun þeirra áfram: að binda sandinn varanlega, t.d. með birkiskógi. Mikilvægt er að binda yfirborð samfelldra svæða á svipuðum tíma, annars er hætt við meira áfoki yfir þau svæði sem reynt er að græða upp, eins og „Landbótartilraunin“ á Geitasandi sýnir glögglega (ÓA o.fl. 2012, 2015). Einnig getur verið skynsamlegt að hefja uppgræðslu í jaðri sandsvæða og vinna síðan undan meginátt sandfoksins, sé þess kostur. Mikilvægt er að stöðva færslu sands inn á vistheimtarsvæði þar sem náttúruleg framvinda á sér stað, eins og t.d. í Dimmuborgum í Mývatnssveit, með því að örva endurreisn birkiskóga á víðfeðmu svæði utan Dimmuborga á leið sandsins því annars gæti illa farið síðar.

Margar aðferðir eru árangursríkar við að binda yfirborð auðna í upphafi aðgerða. Í raun má segja að flest það sem gert er geti haft jákvæð áhrif, t.d. að nota heyrúllur og lífrænan úrgang sem og að dreifa tilbúnum áburði og grasfræi. Þessar aðferðir mynda iðulega jarðvegsskán sem víða er mikilvæg

fyrir framvindu vistkerfisins. Mikilvægt er að ákvarða hversu stór inngrip eru hentugust til þess að tryggja framvindu í átt til náttúrulegra vistkerfa – of stórir skammtar geta tafið slíka þróun með því að mynda samfélög gróðurs og jarðvegslífs sem hrynur síðan aftur. Þannig tíðkast víða að nota litla áburðarskammta til að örva náttúrulega framvindu á tiltölulega stórum samfelldum svæðum, m.a. í verkefnum Landsvirkjunar, Landgræðslunnar og bænda á áhrifasvæði Háslóns (sjá t.d. Gústaf M. Ásbjörnsson og Sigríði Þorvaldsdóttur 2021).

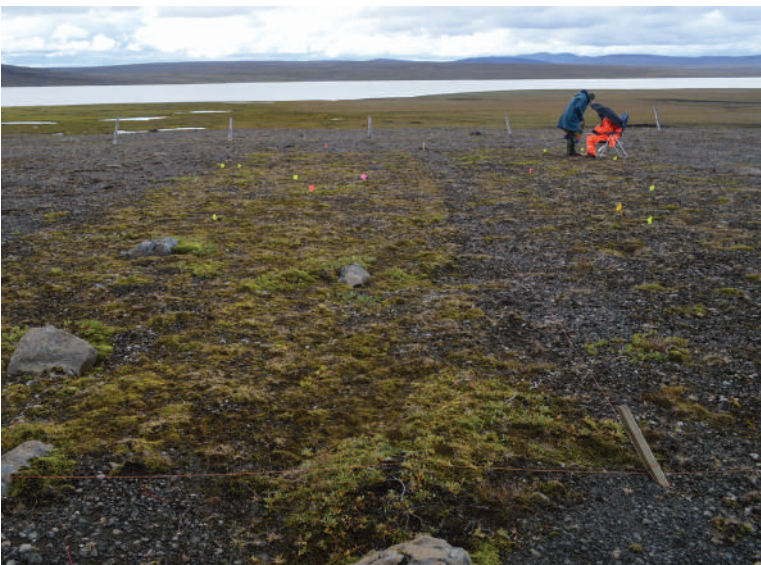
Stundum gætir þess misskilnings að það sé slæmt að sáðgrös, sem oft eru af erlendum uppruna, t.d. danskur túnvingull, sem notuð eru með áburði í upphafi aðgerða til að binda yfirborðið drepist þegar áburðaráhrifin hverfa. En það er öðru nær – tilgangurinn er að gera yfirborðið stöðugt og búa í hagnin fyrir náttúrulega framvindu (mynd 23.3). Túnrækt og fóðurframleiðsla á illa grónu landi geta hins vegar ekki talist til vistheimtarverkefna – heldur til landbúnaðarverkefna sem hagnýta sér aðferðir landgræðslu – en vissulega verður yfirborðið stöðugra og margir þættir vistkerfisins ná virkni á ný við slík fóðurframleiðsluverkefni.

Ísnálar

Fjallað er um ísnálar í kaflanum um kulferli og kaflanum um rof. Þær hafa gríðarlegt afl og lyfta upp nýgræðingi og koma í veg fyrir frumframvindu gróðurs. Jarðvegsskán er mjög mikilvæg til að koma í veg fyrir ísnálamyndun. Kornastærð moldarinnar hefur áhrif á ísnálamyndunina, en siltríkri mold er hættast við myndun ísnála og holklaka. Mikilvægi lífrænnar jarðvegsskánar verður vart gert nægjanlega hátt undir höfði fyrir frumframvindu og niturnám inn í vistkerfin (mynd 23.3 og 23.4).

Ísig

Hægt eða takmarkað ísig veldur afrennsli á yfirborði og jarðvegsrofi. Jafnframt nýtist vatnið ekki í þágu vistkerfisins. Ísig er hægst á vetrum á auðnum þar sem myndast þéttur holklaki sem veldur yfirborðsrennsli og tjóni. Einnig er hætt við að yfirborðsvatn frjósi og myndi þétt svellalög (sjá kafla um kulferli). Mold undir ákveðnum gróðursamfélögum getur myndað ógegndræpan holklaka, m.a. í barrskógum og lúpínubreiðum (mynd 23.4). Vistheimt miðar m.a. að því að ísig verði með eðlilegum hætti allt árið um kring og því er ljóst að forðast ætti að nota erlendar ágengar tegundir á borð við lúpínu.



Mynd 23.3. Tilraunasvæði við Háslón í um 640 m hæð yfir sjávarmáli. Sáð var í óstöðugan mel. Myndirnar eru teknar um 16 árum síðar (árið 2018). Til vinstri er horft til vesturs yfir svæðið sem fékk mestan áburð, Háslón í bakgrunni. Sáðgrösin eru horfin en náttúruleg framvinda á sér stað innan reitsins. Til hægri er nærmynd af skáninni sem hefur myndast. Tilraunin er friðuð fyrir búfjárbætt. Sjá ÓA o.fl. 2010.



Mynd 23.4. Ísnálar lyfta upp nýgræðingi að vetri og viðhalda ógrönu ástandi (efsta myndin). Skánin dregur úr myndun ísnála og býr í haginn fyrir nýgræðing (myndin fyrir miðju). Uppgræðsla skilar iðulega skán sem gerir yfirborðið stöðugt þar sem staðargróður á borð við víði getur tekið að nema land. Það er oft tilgangur uppgræðsluaðgerða í upphafi. Neðsta myndin: Ísnálar hafa lyft upp litlum plöntum sem eru að nema land. Mynd: Ása L. Aradóttir.

Vatnsheldni/vatnsrýmd

Það eru lífræn efni og leir sem geyma og miðla vatni í moldinni. Vatnsskortur er mest áberandi þar sem unnið er með sendinn jarðveg, en þar er mikilvægt að safna upp lífrænum efnum til að kerfið miðli vatni og næringu. Þegar lítil úrkoma er takmarkandi þáttur þarf regnvatnið að nýtast vel. Jarðvegsskán dregur úr uppgufun úr illa förnu landi þar sem hún er til staðar. Hávaxinn gróður minnkar hitaöfgar og vind við yfirborðið sem dregur úr uppgufun og stuðlar að því að snjór safnast saman og skýlir yfirborðinu. Á auðnum þar sem snjór blæs að mestu af yfirborðinu á vetrum nýtist stór hluti ársúrkomunnar ekki í þágu ferla vistkerfisins, en með snjósöfnun sem bráðnar ofan í jarðveginn eykst framboð vatns í moldinni, svo fremi að leir og lífræn efni séu til staðar til að binda vatnið.

Kolefni

Án gróðurhulu kemst engin orka inn í kerfið. Magn lífrænna efna er klárlega einn besti mælikvarðinn á árangur landgræðslu og vistheimtar og í raun væri skynsamlegt að gera lágmarks-

kröfu um kolefni í jarðvegi (t.d. >3% að meðaltali í efstu 15 cm moldarinnar) fyrir útjörð sem nýtt er til beitar, jafnvel 6–10% ef miðað er við að endurheimta frjósamt land.

Heildarmagn kolefnis í jarðvegi er góður mælikvarði á árangur landgræðsluverkefna. Land sem hefur „farið í sand“ er alla jafna viðkvæmast þar sem hringrásir vatns, næringar og orku eru skertar (og orkunám er ekkert ef gróður vantar á yfirborðið). Þar ætti tvímælalaust að gera mjög miklar kröfur um uppbyggingu kolefnis í efstu lögum moldarinnar, t.d. >6% C í efstu 15 cm moldarinnar ásamt kröfum um sterka gróðurhulu af ákveðinni lágmarkshæð (kjarr). Ekki ætti að afhenda landgræðsluland til beitarnýtingar að nýju þar sem ógróið land er ennþá í yfirborði, sérstaklega þar sem sandur hefur gengið yfir (Starfshópur Lbhí 2016). Að hefja nýtingu að nýju á landi sem einkennist af sandi og er skammt á veg komið í ferli framvindu mætti telja slæm mistök, en því miður eru dæmi um slíkt hér á landi á undanförunum áratugum.



Mynd 23.5. Mynd til vinstri: Röð fyrir ísig í lúpínubreiðu að vetri í Garðabæ. Vatni er hellt ofan í rörið og mælt hve hratt það streymir niður í moldina. Hér er klaki á yfirborði en undir er ógegndræpur ís svo vatnið kemst ekki niður. Mynd: Tarek A.M. Zaqout. Mynd til hægri: Ógróinn svörður í lúpínubreiðu að vetrarlagi. Hér myndast þéttur klaki og ísnálar í yfirborði á vetrum.

Jarðvegsörverur og umsetning næringarefna

Miklu skiptir að lífið í jarðveginum sé öflugt til að brjóta niður lífræn efni og skila næringarefnum í moldina á nýtanlegu formi fyrir rætur plantna. Heilbrigði næringarumsetningar sem keyrð er af jarðvegsörverum er mælikvarði á frjósemi kerfa. Hafa verður í huga að landgræðsluaðgerðir geta stuðlað að háu C/N-hlutfalli í upphafi aðgerða vegna þess að örverur teppa nitrið við niðurbrot á nýfengnum forða af lífrænum efnum, sem minnkar framboð á nitri fyrir rætur plantna. Það tekur tíma að byggja upp vistkerfin að þessu leyti svo að C/N verði hagstætt og nóg framboð af kolefni, nitri og öðrum næringarefnum fyrir hringrásina. Dreifing á hvers konar lífrænum áburði hefur þann kost að örva jarðveglífið.

Nitur er oft mest takmarkandi næringarefnið. Mikilvægt er að safna saman nitri og öðrum næringarefnum í moldina áður en kemur til nýtingar að einhverju marki, sem getur tekið áratugi. Uppbygging niturforðans tengist mörgum þáttum, t.d. hvort áburðargjöf eigi sér stað. Það hægist á nituruppsöfnun eftir því sem kólnar með aukinni hæð yfir sjó. Eins og með kolefni væri hægt að gera lágmarkskröfu fyrir nitur í vistkerfum fyrir það land sem nýtt er til beitar, t.d. 1 000–1 500 kg N/ha, m.a. með tilliti til stuðnings almennings við landbúnað eða fyrir nýtingu á útjörð í eigu sveitarfélaga og þjóðarinnar.

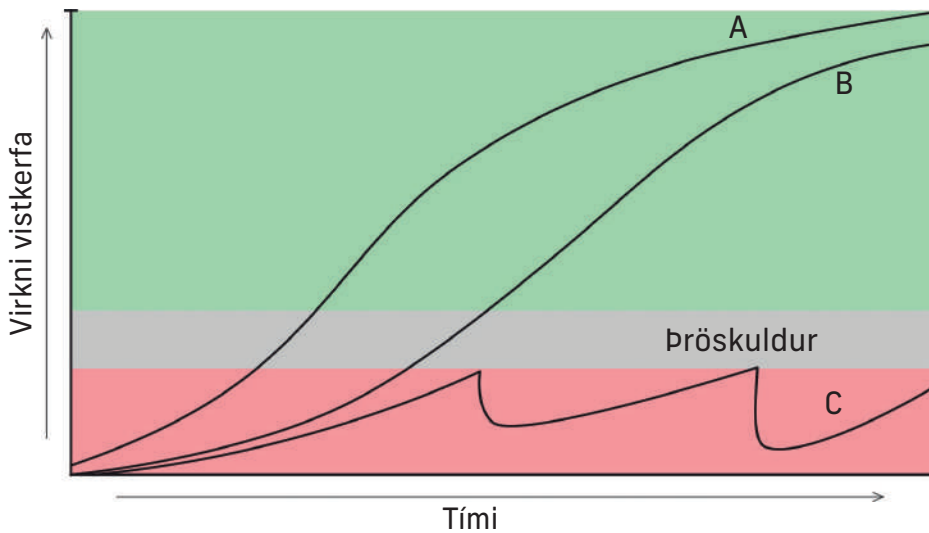
Uppbygging jarðvegspátta sem hér hefur verið fjallað um – ekki síst niturs – fylgir stigvaxandi aukningu þar sem lítið gerist í upphafi en hraðinn vex síðan eftir því sem kerfinu vindur fram. Þar sem eru fyrir hendi þröskuldar sem koma í veg fyrir þróun kerfisins, svo sem skortur á yfirborðsstöðugleika og myndun ísnála, nær þróun kerfisins aldrei nægjanlegum þrótti og það hrynur jafnharðan til baka við rof, ísnálamyndun o.s.frv. (lína C á mynd 23.7).



Mynd 23.6. Uppsöfnun kolefnis á nýlegu landgræðslusvæði í Mosfellsbæ.

Uppsöfnun niturs og þróun jarðvegs-eiginleika er mishröð á milli landslags-eininga innan sömu svæða. Sé landið beitt á viðkvæmum stað í þessu ferli kemur það niður á þeim spildum þar sem uppsöfnun er komin vel á veg en einnig þeim sem eru komnar stutt áleiðis. Uppvöxtur birkis fylgir svipaðri kúrfu og færa má fyrir því rök að verst sé að nýta landið neðst á kúrfunni, neðan þröskuldans sem sýndur er á myndinni. Þekking á framvindufærlum er lykilatriði til að skilja uppbyggingu vistkerfa og til að ákvarða markvissar aðferðir og leiðir til að komast yfir þröskulda á leiðinni að settum markmiðum.

Jarðvegsskán er talin geta numið 5–30 kg N/ha í náttúrulegri framvindu og því gegnir hún lykilhlutverki í uppbyggingu næringarforðans. Mikilvægi næringarefna á borð við nitur fyrir framvindu vistkerfa kemur skýrt fram í rannsóknum í Surtsey þar sem mávar flytja samtals tugi kg N/ha á ári til eyjarinnar frá hafi og búa í haginn fyrir gróin vistkerfi. Eftir því sem hreiðrum



Mynd 23.7. Tilgátulíkan fyrir þróun vistkerfa frá illa grónu landi gerir ráð fyrir stigvaxandi falli (línur A og B). Lítið gerist nema þróunin nái upp fyrir ákveðna þröskulda sem halda aftur af henni (lína C), t.d. skortur á yfirborðsstöðugleika, fræframboði o.fl. þættir.

Íðulega er þróunin mjög hæg í fyrstu, t.d. gerist lítið áratugum saman, en síðan verða breytingarnar örvar þegar stöðugleika er náð og næringarumsetning og fræframboð verður örvara. Gera má ráð fyrir að breytingar á vatnseiginleikum fylgi svipuðum kúrfum, m.a. vatnsmiðlun jarðvegsins. Unnt er að hraða þróuninni með markvissum inngrípum (lína A).

fjölgar eykst þessi innflutningur næringarefna (Borgþór Magnússon o.fl. 2020, Aerts o.fl. 2020). Rannsóknirnar sýna einnig að selir flytja umtalsvert af næringu til eyjarinnar.

Leir

Leir tekur áhrundruð og árpúsundir að myndast í moldinni við efnaveðrun, jafnvel á Íslandi þar sem efnaveðrun er mjög ör. Lífræn efni og stöðugt umhverfi örva myndun leirs. Gróðurhula getur margfaldað hraða leirmyndunar við íslenskar aðstæður, en gefa verður vistkerfum tíma til að byggja upp þanþol, sem m.a. felst í þeim leir og lífrænu efnum sem safnast fyrir í moldinni.

Hiti, hitasveiflur og einangrun

Miklar hitasveiflur einkenna efstu lög moldar í illa grónum kerfum, en þær sveiflur jafnast út eftir því sem gróður á yfirborðinu veitir betri einangrun.

Landslagið er ekki einsleitt

Þar sem unnið er við endurheimt landgæða er landslagið sjaldnast einsleitt heldur samsett af margvíslegum flákum eða reitum (e. patches) með mismunandi eiginleika. Efnaferlar í mold geta verið

mishraðir og framboð á næringarefnum breytilegt. Sum svæði geta haft mun hagstæðari skilyrði en önnur, t.d. fyrir landnám plantna á borð við blómplöntur, grös eða tré og runna. Slík svæði hafa vaxandi áhrif á nærumhverfið og búa í hagginn fyrir stærri fláka. Rök svæði þar sem mýrlendi getur myndast hafa þá strax áhrif á vatnshag í nærumhverfinu og heilu vatnasviðanna þegar stundir líða fram. Breytileikinn, sé honum náð með vistheimt á landslagsskala, er síðan afskaplega mikilvægur eiginleiki í náttúrunni og stuðlar að auknum líffjölbreytileika og þanþoli vistkerfa gagnvart áföllum.

Mikilvægt er að efla og miðla skilningi á þeim ferlum sem móta endurheimtina, svo sem hlutverki jarðvegsskánar og örugga seta, uppbyggingu næringarforða og einnig hvernig hægt er að örva framvinduna. Þannig byggjast stór landgræðsluverkefni á því að unnið er með birkieyjar sem dreifast smám saman út af sjálfu sér. Sú aðferðafræði er notuð í „Heklusógaverkefninu“ (sjá Ásu L. Aradóttur og Guðmund Halldórsson 2011). Sums staðar nægir friðunin ein og sér, eins og sjá má í nágrenni margra þéttbýlisstaða og í sumar-bústaðalöndum vítt um landið. Það hefur verið á brattann að sækja að auka áhuga samfélagsins á endurheimt birkiskóga (Ása L. Aradóttir og Þröstur Eysteinnsson 2005) en það er óðum að breytast og á áratugi Sameinuðu þjóðanna um endurheimt vistkerfa mun vægi endurheimtar skóglendis væntanlega aukast ört.

23.4. Náttúra, þéttbýli, votlendi og vegagerð

23.4.1. Vistheimt í þéttbýli bætir og kætir

Hugmyndir um endurheimt landgæða hafa verið áberandi í tengslum við

illa farin vistkerfi í útjörð, ekki síst hér á Íslandi þar sem yfrið nóg er af landi í slæmu ástandi (sjá Bryndísi Marteinsdóttur o.fl. 2021, Isabel C. Barrio og ÓA 2022). Á síðustu árum hafa augu vistfræðinga beinst í æ ríkara mæli að þéttbýlinu. Unnt er að beita margvíslegum aðferðum til að auka náttúrulegt yfirborð í borgum. Slíkar aðgerðir geta haft afar fjölbreytt og jákvæð áhrif sem sjá má í boxi hér til hægri.

Nú er lögð aukin áhersla á borgarvistfræði í kennslu í skipulagi og landslagsarkitektúr við Landbúnaðarháskóla Íslands. Mikilvægt er að verkefni sem miða að því að auka náttúrugæði í þéttbýli styðjist sem mest við aðferðafræði vistheimtar – sem eykur bæði varanleika og gagnsemi slíkra verkefna. Þéttbýliskjarnar ættu m.a. að fara varlega í að nota erlendar ágengar tegundir á borð við lúpínu – sem getur haft veruleg neikvæð áhrif á umhverfið til langframa. Að öðru leyti verður ekki fjölyrt um þessi mikilvægu og jákvæðu áhrif „náttúruvæðingar“ í þéttbýli á þessum vettvangi.

23.4.2. Endurheimt votlendis

Eins og fram hefur komið í þessu riti hefur um helmingi votlenda landsins verið raskað með framræsluskurðum og um 70% votlendis á láglandi (ÓA o.fl. 2016). Votlendi eru meðal mikilvægustu vistkerfa jarðar vegna vatnsmiðlunar og fjölbreytts lífríkis auk þess sem þau binda ókjörin öll af kolefni (sjá síðasta kafla). Framræst votlendi losa mikið magn kolefnis – hægt er að miða við 20 t CO₂ á hektara á ári umfram náttúrulega losun – en þetta er þó án efa mjög breytilegt. Við endurheimt stöðvast þessi umframlosun á skömmum tíma, vatnsmiðlun eykst og lífríkið nær fyrri styrk á fáum árum.

Áður hefur verið bent á að íslensk votlendi hafi sérstakan jarðveg sem sé óalgengur utan Íslands þar sem saman

Möguleg jákvæð áhrif af aðgerðum eru m.a. að:

- Bæta vatnshag – minnka yfirborðsrennsli og flóð (m.a. svokallaðar bláar og blágrænar ofanvatnslausnir – sjá 4. kafla um vatnshag).
- Minnka mengun vatns sem berst til tjarna, vatna, grunnvatns og strandsvæða.
- Auka líffjölbreytileika – bæði ofanjarðar og í moldinni.
- Bæta loftgæði – ekki síst vegna mengunar frá útblæstri bíla og sliti á malbiki vegna nagladekkja í íslensku þéttbýli.
- Minnka hávaða, t.d. frá umferð. Umferð þungra flutningabíla veldur iðulega mestum hávaða. Meiri hávaði myndast þar sem umferðin er hröð.
- Mynda og auka skjól. Veðurfar í þéttbýli breytist eftir því sem skógar vaxa upp í þeim. Þetta þekkja þeir sem hafa kynnst því hvernig aðstæður breytast eftir því sem skógarnir hafa vaxið upp í þéttbýli hérlendis, t.d. í Reykjavík og nágrenni. Erlendis er skjól fyrir geislum sólar víða mikilvægt.
- Minnka viðhald á opnum svæðum og bæta nýtingu þeirra. Grasmanir eru dýrar í viðhaldi og þær mynda iðulega slétt yfirborð. Hjúft yfirborð, t.d. stórgrýti og kjarr, dempar hljóð og vindhraða betur en slétt yfirborð en um leið getur viðhaldskostnaður minnkað verulega.
- Auka dýralíf – t.d. fuglalíf, en einnig skordýralíf á borð við býflugur o.fl. sem er mikilvægt fyrir vistkerfi jarðar.
- Tempra hita og hitasveiflur í borgum, ekki síst á heitum svæðum jarðar.
- Bæta fæðuöryggi (ræktun heima við). Eykur hollustu, börn alast upp við kunnáttu á ræktun og að bera virðingu fyrir náttúrunni.
- Bætt heilsufar borgarbúa. Grænt umhverfi minnkar streitu og hefur áhrif á andlega líðan auk þess að draga úr mengunarvöldum.
- Auka útivistarmöguleika og yndi af umhverfinu. Grænt umhverfi er líklegt til að auka á útivist.
- Auka fegurðargildi, fallelgra umhverfi.



Mynd 23.8. Vistheimt í Landsveit. Birkiskógur breiðist út frá nokkrum brúskum sem sáð var til á síðustu öld og sums staðar hefur myndast vöxtulegur skógur með >5 m háum trjám. Þarna var áður sandeyðimörk eftir að áfoksgæjar gjöreyddu vistkerfum á svæðinu. Áætlað er að þekja mörg hundruð ferkílómetra í nágrenni Heklu með birkiskógi (svokallað Hekluskógaverkefni), m.a. til að koma í veg fyrir stóráföll vegna öskufalls í Heklugosum. Mynd tekin árið 2020.

fara sortueiginleikar *eldfjallajarðar* (sjá 10. kafla um *eldfjallajörð*) og eiginleikar *mójarðar* (e. Histosols). Gjóskuefni í íslenskum mýrum veðrast fremur hratt og stuðla að bindingu kolefnis auk bindingar sem hlýst af minni rotnun vegna skorts á súrefni og í sumum tilfellum kulda. Rúmpýngd moldar í votlendi á Íslandi er yfirleitt meiri en í mómýrum Norðurlanda, svo dæmi sé tekið, sem gerir það að verkum að jafnmikið eða meira getur verið af kolefni í íslenskum mýrum enda þótt kolefnishlutfallið (%) sé iðulega lægra en í arktískum mómýrum (sjá 22. kafla).

Mikilvægt er að þekking sé til staðar á vatnseiginleikum jarðvegs sem og lífríki kerfanna þegar votlendi eru endurheimt, sem og verkfræðikunnátta. Þá er æskilegt að mælingar á losun fyrir

endurheimt hafi farið fram, en þær eru flóknar og kostnaðarsamar. Með tímanum er þó unnt að fá upplýsingar um breytileika í losun miðað við gerð votlenda og hvar þau eru á landinu. Votlendissjóður stuðlar nú að endurheimt votlendis með fulltingi sérfræðinga Landgræðslunnar og Landbúnaðarháskóla Íslands.

23.4.3. Endurheimt vegna vegagerðar og jarðrasks

Aðferðir vistheimtar eiga ekki síður við í þéttbýli en á útjörð og einnig þegar vanda skal frágang við nauðsynlegar framkvæmdir á borð við vegagerð. Hér verða aðeins tekin dæmi um þá möguleika sem í boði eru – en þetta efni er skylt þælingunum um þéttbýli sem settar voru fram hér á undan.

Skæruliðar í þágu náttúruverndar

Á árunum fyrir 1995 fór fram umfangsmikil efnistaka á mól og sandi í nágrenni Varmárskóla við miðbæ Mosfellsbæjar í Ullarnesbrekkum. Í þurrviðrum barst mikið ryk að skólanum sem spillti loftgæðum þar og í bænum verulega. Varð stundum að loka sundlauginni sem þar er af þessum sökum sem og gluggum á skólastofum. Segja má að á þessum tíma hafi Íslendingar ekki velt loftgæðum mikið fyrir sér eða mjög svo skaðlegum áhrifum svifryks á lýðheilsu. Umhverfissinnar í Mosfellsbæ reyndu ítrekað að fá þessum gryfjum lokað eftir lögformlegum leiðum þar sem leitað var liðsinnis viðkomandi stjórnsýslustofnana. Það bar engan árangur.



Mynd 23.9. Virk námavinnsla veldur rykmengun í Mosfellsbæ sem berst yfir skólasvæðið árið 1991 og 1992. Á myndinni til vinstri sjást íþróttavöllurinn og íþróttahúsið á góðviðrisdegi. Mynd t.h: Andrés Arnalds.

Eitt fallegt sumarkvöld laumuðust nokkrir tugir sjálfboðaliða á aldrinum 4–80 ára inn á gryfjusvæðið með umtalsvert magn af áburði og grasfræi. Á skömmum tíma var þessu efni dreift vítt um námurnar. Landeigandi kallaði til lögreglu og fjölmiðlar sýndu myndir af vettvangi „glæpsins“ og tóku viðtöl við forsprakkana. Aðgerðasinnarnir færðu rök fyrir því að ekki yrði lengur unað við þetta ástand: nauðsyn bryti lög. Málið vakti athygli fjölmiðla og í kjölfarið samdi Mosfellsbær um kaup á gryfjusvæðinu. Það var grætt upp og þar vex nú skógur af ýmsu tagi. Þarna hefur verið útbúið sannkallað ævintýraland í jaðri skólabygginganna í hjarta bæjarins þar sem Varmá liðast niður til sjávar. Á svæðinu er „ævintýragarður“ með góðri aðstöðu til dægradvalar í aðlaðandi umhverfi. Þarna eru m.a. fjölbreytt leiktæki, samkomu- og íþróttastaða, grillhorn á skjólsælum stöðum, frísí-golfvöllur o.m.fl. Svæðið bindur nú umtalsvert kolefni og er samastaður margra fuglategunda. Jafnframt dregur svæðið úr svifryki og hljóðmengun sem berst frá Vesturlandsvegi.



Mynd 23.10. Ullarnesbrekkur í Mosfellsbæ – hluti svæðisins. Hér voru áður malargryfjur sem ollu því að sandfok og rykmengun gekk yfir byggðina, ekki síst skólann sem hér er í bakgrunni. Þarna er nú fjölnota svæði, vinsælt til útivistar og veitir skólasvæðinu skjól gegn vindi og hávaða frá Vesturlandsvegi. Myndin er tekin árið 2022.



Mynd 23.11. Framengjar í Mývatnssveit – endurheimt votlendi. Endurheimtin hefur jákvæð áhrif á vatnsmiðlun og hið fjölbreytta fuglalíf á svæðinu og um leið dregur mikið úr losun gróðurhúsalofttegunda.

Á þessum vegi (mynd 23.12), sem er innan Þjóðgarðsins á Þingvöllum, voru torfur sem fjarlægðar voru vegna vegagerðarinnar og notaðar eins fljótt og auðið var við frágang í jaðri vegarins. Sú aðferðafræði minnkar umhverfisáhrif vegarins og lætur hann falla betur að umhverfinu. Framkvæmdaaðilar sem læra inn á þessa tækni geta náð mikilli leikni við þetta verklag – sem vonandi verður beitt í æ ríkara mæli hérlendis.

23.5. Framtíðin: vistheimt á stórum samfelldum svæðum

Það er mikið verk óunnið við að endurheimta landgæði á Íslandi. Skilningur á ástandinu og viðurkenning vandans eru mikilvæg fyrstu skref á þeirri leið, en þar eru enn mörg ljónin í vegi, eins og fram hefur komið



Mynd 23.12. Vandaður frágangur eftir vegagerð í Þjóðgarðinum á Þingvöllum. Torfur sem áður voru í vegarstæðinu voru notaðar við endurheimt á náttúrulegu gróðurfari í vegkantinum til að lágmarka umhverfisáhrif vegagerðarinnar. Landbúnaðarháskóli Íslands (Ása L. Aradóttir o.fl.) hefur unnið með Vegagerðinni við að þróa þessa aðferð (sjá Steinunni Garðarsdóttur 2021). Mynd: Ása L. Aradóttir.



Mynd 23.13. Séð inn í Skyndidal í Lóni, Skyndidalsá fyrir miðju. Hér var áður vöxtulegur skógur beggja megin árinna en það hefur orðið alvarleg skógareyðing sem enn sér stað. Sæmilegar torfur tóra þó enn hér og hvar í dalnum. Einnig er gróður víða ákaflega rýr nema þar sem jarðvegur er rakur og víða er berangur þar sem jarðvegurinn hefur skolast burt. Hlíðin sunnan ár (t.v.) er orðin alveg skóglaus.

Úrelt fjallskilalög hafa valdið nokkru um ósjálfbæra landnýtingu – hér á sér stað beit á víðfeðmu landi að hluta til í einkaeigu gegn því að þeir sem fá að reka á landið sinni fjallskilum. Enda er það ekki á færi einnar fjölskyldu, svo dæmi sé tekið, að sjá um smölun á fé annarra (sem iðulega er beitt án leyfis landeigenda) eins og núverandi túlkun laga gerir ráð fyrir. Hér er auðvelt að endurheimta birkiskóginn á landslagsskala – einvörðungu þyrfti að fríða dalinn fyrir beit um tíma en nýta markviss inngrip eftir atvikum, t.d. með því að sá sums staðar í hlíðarnar sunnan ár. Kolefnisuppsöfnun yrði mjög mikil. Myndin er tekin 2021.



Mynd 23.14. Skyndidalsá rennur út úr dalnum sínum; horft til baka miðað við næstu mynd á undan. Mikið rof hefur orðið og skógurinn að eyðast. Torfurnar gefa til kynna horfin landgæði beggja megin árinna – landgæði sem má endurheimta. Ástandið er sýnu verra sunnan ár (efst t.h.). Auðveldara er að endurheimta landgæði þar sem fræfall er af birki og öðrum gróðri á svæðinu. Aurarnir verða fyrir síendurteknum flóðum en þó má færa fyrir því rök að ef vöxtulegt birki væri í jöðrunum myndu þeir gróa upp að hluta eftir áföllin sem verða við flóð í ánum.



Mynd 23.15. Svæði á Biskupstungnaafretti sem áður var vaxið vöxtulegum birkiskógi sem var nýttur til kolagerðar. Landið er þjóðlenda – í eigu allra landsmanna. Það hentar ákaflega vel til endurheimtar birkiskóga á landslagsskala, sem myndi skila nærsamfélaginu atvinnutækifærum og tekjum í formi fjölbreyttrar starfsemi í þágu kolefnisbindingar auk jákvæðra umhverfisáhrifa.

Hér ætti hagur þjóðarinnar að veða þyngra en stundarhagsmunir þeirra örfáu sem nytja landið til beitar. Með vistheimt yrði til margbreytilegt nytjaland, birkiskógar, votlendi og móar – með fjölbreyttu lífríki – sem nýta mætti með ýmsum hætti þegar frjósöm mold hefur myndast á svæðinu á ný. Fátt er mikilvægara fyrir fæðuöryggi þjóðarinnar í framtíðinni en að endurheimta frjósöm vistkerfi – m.a. þar sem nú á sér stað ósjálfbær sauðfjárbreit.

í köflunum hér á undan. Rétt er að áréttu hér að endurheimt landgæða er í þágu fæðuöryggis þjóðarinnar í framtíðinni. Það er mun mikilvægara að endurheimta vistkerfi á mjög illa förnu landi en að viðhalda slæmu ástandi lands með ósjálfbærri landnýtingu – m.a. með hliðsjón af fæðuöryggi auk umhverfissjónarmiða. En sem betur fer er eðli náttúru landsins með þeim hætti að víðast hvar er hægt að endurheimta landgæði neðan hálendisbrúnarinnar með hagkvæmum hætti. En það tekur sinn tíma (myndir 23.13, 23.14 og 23.15).

Með vistheimt er unnt að ná fjölbreyttum samfélags- og umhverfislegum markmiðum, svo sem auknum líffjölbreytileika, endurbættum vatnsbúskap auk þess sem tækifæri skapast til margs konar nytja í framtíðinni (sjá

Ásu L. Aradóttur og Hagen 2013). Talið er að vistheimt hafi þýðingu fyrir öll heimsmarkmið Sameinuðu þjóðanna, sem ofin eru inn í stefnumótun þjóðríkja, sveitarfélaga og fyrirtækja í æríkara mæli. Beitarnot og jarðrækt koma vitaskuld til greina á endurheimtum svæðum þegar jafnvægi er náð á ný eftir því sem þörf fyrir fæðu og aðrar afurðir skapast hverju sinni. Sum endurheimt vistkerfi munu jafnvel henta vel til jarðræktar gerist þess þörf í framtíðinni. Mikilvægt er að vistheimt taki til landslagsheilda og þar eru afréttarsvæði eða stór afmarkaður hluti þeirra mjög eðlileg eining.

Mörg af þeim stóru og samfelldu svæðum sem hér koma til álita eru sameiginleg eign þjóðarinnar, þau eru þjóðlendur. Það þýðir að landið er í eigu



Mynd 23.16. Vistheimt á landslagsskala í Þórsmörk. Horft niður í Langadal og inn Krossáraura til hægri. Hér á sér stað mjög ör uppsöfnun kolefnis úr andrúmsloftinu. Stærsti hluti svæðisins sem sést á myndinni voru ógrónar moldir og melar en birkileifar tórðu hér og þar (sjá næstu mynd). Á myndinni sést landnám birkis og víðis en sums staðar var þó sáð grasi o.fl. til að gera yfirborðið stöðugra í upphafi. Kerfinu fylgir mikil fjölbreytni annarra plantna, að ekki sé talað um fjölbreytileika lífsins í moldinni sem einnig byggist upp. Ferðalangur nútímans gerir sér sjaldnast grein fyrir þeim breytingum sem hér eru að eiga sér stað. Í framtíðinni þurfa verkefni af þessu tagi að verða að meginþætti í landverndarstarfi á Íslandi.

Haghafar eru ekki bara fjáreigendur. Þeir eru margir!

Þar koma til álitá almenningur, ríkisstofnanir, grunnskólar, framhaldsskólar, rannsóknastofnanir, háskólar, sérfræðingar á ýmsum sviðum, frjáls félagasamtök, faggreinafélög (t.d. sem tengjast vistfræði, fornleifafræði, skógrækt, garðyrkju, fuglum, útivist o.s.frv.), sveitarfélög, ferða- og útivistarfélög og aðrir, auk bænda (sjá Britu Berglund o.fl. 2015, Þórunni Pétursdóttur o.fl. 2013, 2017, 2019, 2020, ÓA 2019a, 2020).

Þjóðarinnar allrar en ekki þeirra bænda sem nýta landið til beitar – jafnvel ekki heldur í eigu viðkomandi sveitarfélaga. Hefðbundinn nýtingarréttur á borð við afréttabeit fylgir þá því aðeins að landið sé talið hæft til beitar. Við ákvörðun á nýtingu þessara svæða er beinlínis rangt að líta aðeins til einnar nýtingar – beitarnýtingar – þar sem svæðin hafa mikla þýðingu út frá öðrum sjónarmiðum, t.d. vistheimtar og kolefnisbindingar, en einnig útivistar, ferðaþjónustu o.s.frv. Almennig er rétt til þessara svæða og sauðfjárbændur enda þótt nýtingin sé önnur.

Sem dæmi um vistheimtarverkefni á landslagsskala má nefna aðgerðir til að endurheimta vistkerfi í Þórsmörk (mynd 23.16). Friðun Þórsmerkur fyrir sauðfjárbreit hefur leitt til vistheimtarverkefnis sem á vart sinn líka, en fæstir þeirra ferðamanna sem þangað koma gera sér grein fyrir þeim gríðarlegu breytingum sem orðið hafa á svæðinu. Landið var áður í mjög slæmu ástandi – berangur að mestu (mynd 23.17). Það sama á við um Skeiðarársand þar sem einn stærsti skógur landsins vex nú upp úr sandinum (mynd 21.18).

Mikilvægt er að gera sér grein fyrir þeim tíma sem endurheimt þarf að taka; nitur byggist hægt upp í kerfinu og getur tekið áratugi eða árhundruð að ná því magni sem æskilegt er fyrir öflugna næringarhringrás. Skammtíma-hagsmunir eiga ekki við, heldur þarf að hugsa í mörgum áratugum og jafnvel árhundruðum þegar komið er upp fyrir láglendið. Uppbygging illa farinna afrétta eftir friðun þeirra tekur aldrei en stytta má ferlið verulega með vel ígrunduðum aðgerðum á faglegum grunni. Þessi hugsun þarf að finna sér stað í hugmyndum okkar um nýtingu landsins. Hún endurspeglar nú þegar í lögum er lúta að nýtingu lands, vistheimt og náttúruvernd en síður í framkvæmd laga og reglugerða enn sem komið er (ÓA 2019a,b, 2020). Til dæmis

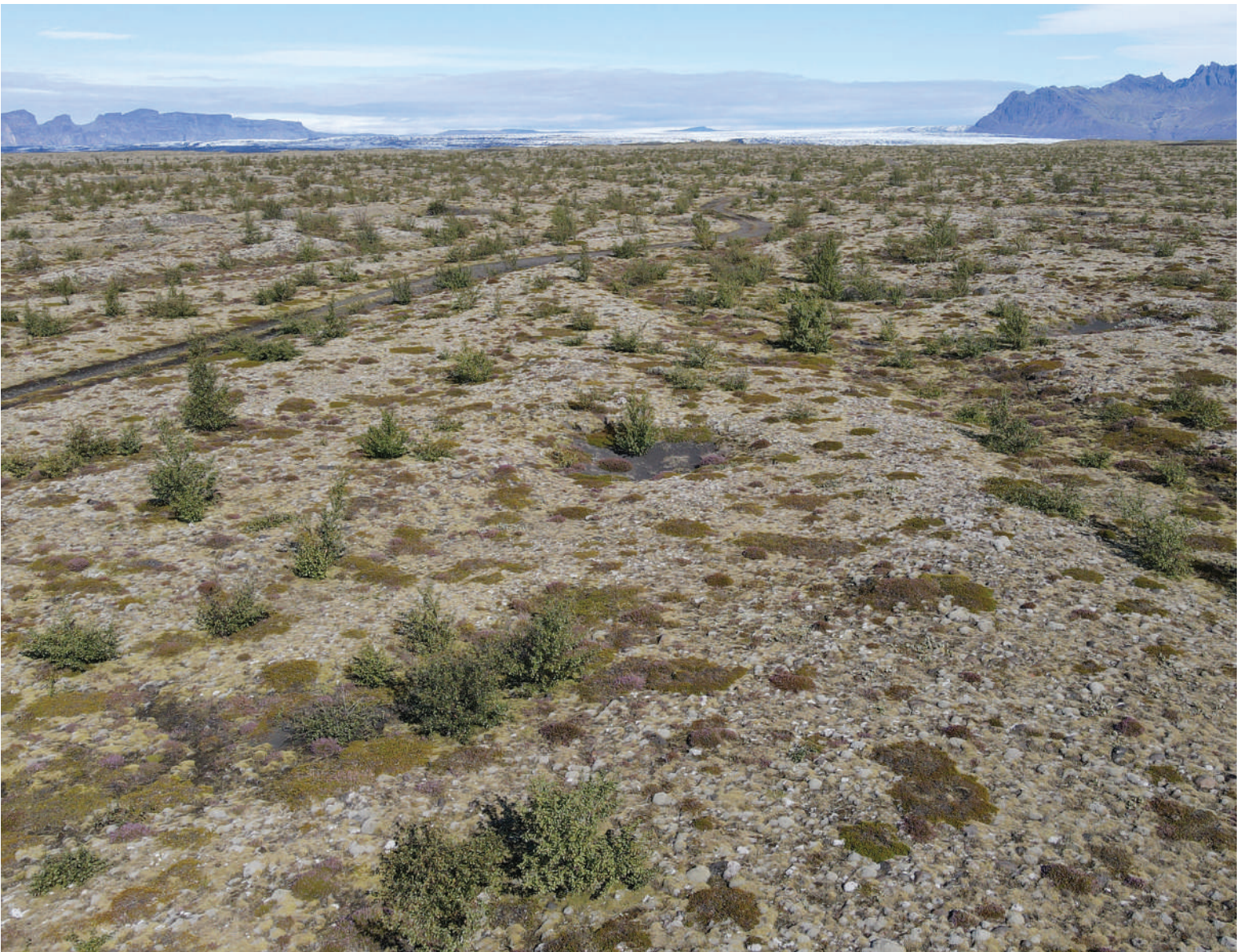
má færa rök fyrir því að beitarnýting svæða í slæmu ástandi fari í bága við náttúruverndarlög (ÓA 2019a) og nýrri lög um landgræðslu. Rannsóknir sýna vel að stuðningskerfi við sauðfjárrækt með tilliti til landnýtingar stenst ekki væntingar (Jónína Þorlákssdóttir 2015, Jóhann Helgi Stefánsson 2018, Þórunn Pétursdóttir o.fl. 2019, 2020, ÓA 2019a,b). Beit á illa förnum svæðum felur aftur á móti í sér gríðarlega hátt kolefnisspor á hvert kíló kjöts (hundruð kg CO₂-ígilda á hvert kg kjöts, sjá 22. kafla).

Farsælast er að vistheimtarverkefni á stórum samfelldum svæðum séu byggð á grunni „samlaga“ – að sem flestum greinum samfélagsins sé boðið að borðinu. Reyndar er kveðið á um það í lögum um landgræðslu (155/2018) að virkja beri almenning og hagsmunaaðila til þátttöku í endurheimt og stefnumótun er varðar gróður- og jarðvegsvernd. Hér er einnig mikilvægt að minna á að Árórsamningurinn svokallaði veitir almenningi rétt til að koma að ákvarðanatöku er varðar náttúruna og að upplýsingum og réttlátri málsmeðferð í umhverfismálum.

Vistheimtarverkefni sem rekin eru á grunni samlaga byggjast ekki á hagsmunagæslu heldur breiðri samvinnu þar sem sett eru markmið með langtímasýn að leiðarljósi í samræmi við bestu mögulegu vísindabekkingu hvers tíma (Cash o.fl. 2003). „Heklusógaverkefnið“ sem miðar að endurheimt birkiskóga í nágrenni Heklu (hekluskogar.is) er traustur vísir að verkefni af þessu tagi. Fagleg þekking á ástandi lands og vistheimt verður að ráða för. Mörg dæmi eru um slík samlög um endurheimt landgæða á grunni „þátttökuaðferða“ erlendis, m.a. í suðvesturhluta Bandaríkjanna, þar sem einnig hefur orðið hrun vistkerfa vegna búfjárbættar, sbr. mynd 23.19 og myndatexta sem henni fylgir (sjá einnig Caves o.fl. 2013, Sheridan o.fl. 2013).



Mynd 23.17. Frá þórsmörk 1953. Valahnúkssvæðið er gróðurlaus berangur, m.a. svæðið sem sést á myndinni á undan og á mynd 23.20. Mynd: Einar Þ. Guðjohnsen – úr safni Skógræktarinnar.



Mynd 23.18. Birki nemur land á Skeiðarársandi. Súlutindar til vinstri en Skeiðarárjökull efst fyrir miðju. Sum trén eru yfir 4 m á hæð. Myndin er tekin við réttina rétt norðan Þjóðveggarins yfir sandinn. Nota má slóða í gegnum svæðið til vinstri sem mælikvarða fyrir myndina (2020).



Mynd 23.19. Dæmi um opinn samráðsfund á grunni þátttökuaðferða á Las Cienegas-verndarsvæðinu suðaustan við Tucson í Arizona. Hér er verið að vernda mjög sérstakar gerðir graslendis sem hlutu ekki sömu örlög og flest önnur í suðvesturhluta Bandaríkjanna vegna ofbeitar. Á fundinn komu um 40 manns, m.a. fulltrúar bænda og annarra íbúa á svæðinu, fulltrúar háskólasamfélagsins (prófessorar og framhaldsnemendur við University of Arizona), aðilar frá opinberum stofnunum á borð við Bureau of Land Management (BLM), USDA-NRCS og USDA-ARS (Landgræðslustofnun og Landbúnaðar-rannsóknastofnun Bandaríkjanna), Forest Service, Department of Fish and Wildlife, sagnfræðingar, sérfræðingar í villidýralífi (allt frá skordýrum og froskum til antilópa) og vel menntaðir sérfræðingar í vatnsvernd og vistkerfum frá sýslunni (Pima County – Tucson) og hreppnum (dalnum). Sem og einn Íslendingur.

Fundinum stýrði menntaður vistfræðingur með sérþekkingu í samráði og „samlögum“ (e. participatory and stakeholder management). Hér er verið að ræða sókn „mesquite“-kjarrs (trén í bakgrunni) inn á graslendið en ennfremur eru innfluttar ágengar grastegundir ógnun við kerfið. Fjallað er um þetta samráð í Caves o.fl. 2013.

Stórverkefni á grunni afrétta skapa atvinnutækifæri fyrir menntafólk heima í héraði, m.a. við skipulag, rannsóknir og þróun, kortagerð, framkvæmd, eftirfylgni og mælingu á kolefnisuppsöfnun. Góðir möguleikar eru til tekjuöflunar við sölu á kolefnisbindingu (kolefnisjöfnun) sem getur skilað fjármunum til samfélaga á breiðum grunni. Slíkum verkefnum fylgja gjarnan námsverkefni fyrir nemendur í framhaldsskólum heima í héraði sem og á háskólastigi (BS, BA, MS, MA, ML og PhD) sem iðulega verður til þess að námsfólkið snýr til baka til heimahaganna og fæst við margvíslega nýsköpun í viðkomandi samfélagi.

Stuðningur við vistheimtarverkefni og samlög af þessu tagi er um margt eðlilegri en stuðningur við sauðfjárframleiðslu sem byggist á beit á

hrundum vistkerfum. Hann leggur til fleiri þátta mannlífs og byggðar í héraði en stuðningur við þrönga framleiðslugrein sem er iðulega ekki í samræmi við ástand landsins.

Ferðalok

Í þessu riti hefur verið fjallað um grunneiginleika moldar og hlutverk jarðvegs í náttúrunni með áherslu á aðstæður hérlendis. Moldin er mótuð af eldvirkni sem ásamt sandumhverfinu, loftslaginu og miklum áhrifum frosts á moldina gerir náttúru landsins afar sérstæða á heimsvísu. Það má færa rök fyrir því að hvergi séu áhrif frosts á mold og vistkerfi meiri en hérlendis. Það má líka álykta sem svo að sandfok,



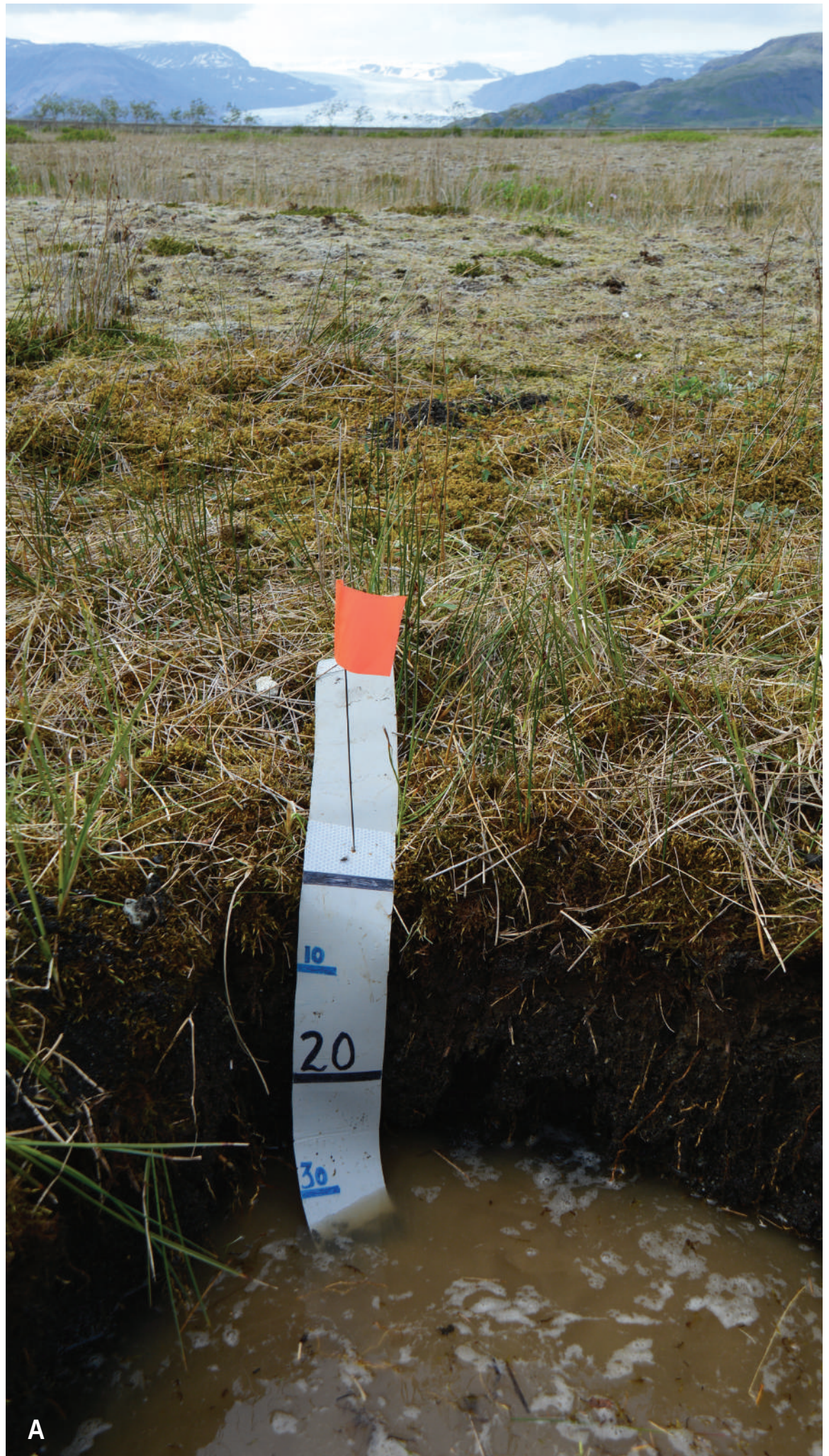
Mynd 23.20. Birkið breiðist út í Þórsmörk. Ekki eru nema 10–20 ár síðan þetta yfirborð var þakið melum og moldum (sjá mynd 23.17 hér á undan). Framvindan er orðin mjög ör en hún var mjög hæg í upphafi. Beit, jafnvel mjög lítil, getur hægt á eða stöðvað framvinduna í upphafi og því er mikilvægt að koma þróun vistkerfisins vel af stað án beitar þegar unnið er með landslagsheildir. Hins vegar er unnt að nýta ófluga birkiskóga til margvíslegra nota, m.a. beitar. Endurheimt landkosta í Þórsmörk er stórfenglegt vistheimtarverkefni á alþjóðavísu – og skýr vísbending um hvaða árangri er unnt að ná með samstilltu átaki margra ólíkra aðila með vel skilgreind markmið.

rykmengun og áfok á Íslandi eigi sér vart hliðstæðu í veröldinni vegna mikils magns efna, eðlis þeirra og mótun náttúrunnar í heild. Líklega hafa áhrif mannsins á vistkerfi verið víðtækari og alvarlegri hér á landi en annars staðar á jörðinni. Þó er það svo að mikið vantar upp á skilning okkar á þessari náttúru og fyrirbrigðum hennar.

Með landlæsi greinum við ástand landsins og um leið skynjum við þörf fyrir breytingu á viðhorfum til nýtingar á illa förnu landi. Við þurfum að vera upplýst um áhrif nýtingarinnar á loftslag – á kolefnisspor framleiðslu sem fer fram á raskaðri útjörð eða framræstum votlendum. Fyrri kaflar bókarinnar mynda faglegan grunn þar sem fjallað er

um eðli moldarinnar almennt – þekking sem er nauðsynleg til mats á ástandi lands og aðgerðum til að bæta stöðu vistkerfa. Í seinni hlutanum koma undirbyggjandi rætur landhnignunar einnig við sögu. Það er síðan mjög vel við hæfi að þessi síðasti kafli bókarinnar sé helgaður landgræðslu og vistheimt. Vonandi hafa lesendur ritsins getað sótt sér þangað fróðleik sem nýtist.

Höfundur elur þá von í brjósti að senn aukist áhugi og skilningur almennings á slæmri stöðu íslenskra vistkerfa og að það fjölgi vel menntuðu fagfólki sem getur tekist það á hendur að auka þekkingu sem nýtist til að endurheimta landgæði með hag komandi kynslóða að leiðarljósi.



Mynd 23.21 A og B.

Jarðvegsmyndun og gróðurframvinda við endurheimt votlendis eftir landgræðsluaðgerðir í Hornafirði. Fjölbreytt vistkerfi eru tekin að myndast á svæðinu – en það telst afar sérstakt á heimsvísu að votlendisjarðvegur myndist þar sem áður var svartur sandur.

C. Jarðvegsmyndun og gróðurframvinda með landnámi birkis á Skeiðarásandi.
Mynd: Ása L. Aradóttir.



Heimildir

Aerts, R., R.S.P. Van Logtestijn, N.I.W. Leblans og Bjarni D. Sigurðsson 2020. Effects of sea birds and soil development on plant and soil nutritional parameters after 50 years of succession on Surtsey. *Surtsey Research* 14:85–90.

Arnór Sigurjónsson (ritstj.) 1958. Sandgræðslan. Minnt 50 ára starfs Sandgræðslu Íslands. Búnaðarfélag Íslands og Sandgræðsla ríkisins, Reykjavík.

Ása L. Aradóttir og D. Hagen 2013. Ecological Restoration: Approaches and Impacts on Vegetation, Soils and Society. *Advances in Agronomy* 120:173–222.

Ása L. Aradóttir og Guðmundur Halldórsson (ritstj.) 2011. Vistheimt á Íslandi. Landbúnaðarháskóli Íslands og Landgræðsla ríkisins, Reykjavík.

Ása L. Aradóttir og Þröstur Eysteinnsson 2005. Restoration of birch woodlands in Iceland. Í: J.A. Stanturf og P. Madsen (ritstj.), *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. CRC Press, London, UK. Bls. 195–209.

Ása L. Aradóttir, Þórunn Pétursdóttir, Guðmundur Halldórsson, Kristín Svavarsdóttir og Ólafur Arnalds 2013. Drivers of restoration – lessons from a century of restoration in Iceland: a review. *Ecology and Society* 18:Doi: 10.5751/ES-05946-180433.

Borgþór Magnússon, Guðmundur A. Guðmundsson, Sigmar Metúsalemsson og Sandra Granquist 2020. Seabirds and seals as drivers of plant succession on Surtsey. *Surtsey Research* 14:115–130.

Brita Berglund, Lars Hallgren og Ása L. Aradóttir 2015. Stakeholder in participatory land restoration in Iceland: Environmental officers' challenges and strategies. *Environmental Management* 56: 519–531.

Bryndís Marteinsdóttir, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Guðmundur Halldórsson, Jóhann Helgi Stefánsson, Jóhann Þórsson, Kristín Svavarsdóttir, Rán Finnsdóttir og Sigbrúður Jónsdóttir 2021. GroLind-Sustainable Land Use Based on Ecological Knowledge. The XXIV International Grassland Congress / XI International Rangeland Congress. Virtual conference, Kenya Agricultural and Livestock Research Organization, Nairobi, Kenya.

Cash, D.W., W.C. Clark, F. Alcock, N.M. Dickson, N. Eckley, D.H. Gutson, J. Jäger og R.B. Mitchell 2003. Knowledge systems for sustainable development. *PNAS* 100:8086–8091.

Caves, J.K., G.S. Bodner, K. Simms, L.A. Fisher og T. Robertson 2013. Integrating collaboration, adaptive management, and scenario-planning: Experiences at Las Cienegas National Conservation Area. *Ecology and Society* 18:43. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05749-180343>.

Crofts, R. 2011. Healing the Land. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti.

Friðgeir G. Olgeirsson 2007. Sáðmenn sandanna. Landgræðslan, Gunnarsholti.

Gann, G.D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C.R. Nelson, J. Jonson, J.G. Hallett, C. Eisenberg, M.R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E.K. Gonzales, N. Shaw, K. Decler og K.W. Dixon 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. 2. útg. *Restoration Ecology* 27:S1–S46.

Guðrún Óskarsdóttir, Þóra Ellen Þórhallsdóttir, Anna Helga Jónsdóttir, Hulda Margrét Birkisdóttir og Kristín Svavarsdóttir 2022. Establishment of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) on a glacial outwash plain: Spatial patterns and decadal processes. *Ecology and Evolution* 2022;12:e9430.

Gústaf M. Ásbjörnsson og Sigríður Þorvaldsdóttir 2021. Landbótasjóður Norðurhéraðs. Ársskýrsla 2021. Landgræðslan, Gunnarsholti.

IPBES 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E.S. Brondízio, H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneeth, P. Balvanera, K.A. Brauman og 20 fleiri (ritstj.), Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES secretariat, Bonn, Þýskaland.

Isabel C. Barrio og Ólafur Arnalds 2022. Agricultural land degradation and ecosystem collapse in Iceland. Í: P. Pereira, I. Bogunovic, M. Munoz Rojas and W. Zhao (ritstj.), *Global Agricultural Land Degradation, Volume I, The Handbook of Environmental Chemistry Series*. Springer, Berlin, Heidelberg. doi.org/10.1007/698_2022_920.

Jóhann Helgi Stefánsson 2018. Of sheep and men. Analysis of the agri-environmental cross-compliance policies of the Icelandic sheep grazing regime. MA-ritgerð, Félagsvísindasvið, Háskóli Íslands, Reykjavík.

Jónína Þorlákúsdóttir 2015. Connecting sustainable land use and quality management in sheep farming: effective stakeholder participation or unwanted obligation? MS-ritgerð, Umhverfis- og náttúruvísindasvið, Háskóli Íslands.

Ólafur Arnalds 1988. Uppgræðsla, hugtök, markmið og árangur. *Náttúrufræðingurinn* 58:81–85.

Ólafur Arnalds 2019a. Á röngunni. Alvarlegir hnökra á framkvæmd landnýtingarþáttar gæðastýringar í sauðfjárrækt. *Rit Lbhí nr. 118*. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.

Ólafur Arnalds 2019b. Development of perverse environmental subsidies for sheep production in Iceland. *Agricultural Sciences* 10:1135–1151, 10.4236/as.2019.109086.

Ólafur Arnalds 2020. Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa. *Rit Lbhí nr. 130*. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.

Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 2015. Að lesa og lækna landið. Landvernd, Landgræðsla ríkisins og Landbúnaðarháskóli Íslands, Reykjavík.

Ólafur Arnalds, Berglind Orradóttir og Ása L. Aradóttir 2013. Carbon accumulation in Icelandic desert Andosols during early stages of restoration. *Geoderma* 193–194:172–179.

Ólafur Arnalds, Fanney Ósk Gísladóttir og Berglind Orradóttir 2012. Determination of aeolian transport rates of volcanic soils in Iceland. *Geomorphology* 167–168:4–12.

Ólafur Arnalds, Ása L. Aradóttir og Kristín Svavarsdóttir (ritstj.) 2010. Gróðurrannsóknir vegna hættu á áfoki frá Háslóni. *Rit Lbhí nr. 27*, Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.

Ólafur Arnalds, Hlynur Óskarsson, Jón Guðmundsson, Sigmundur Helgi Brink og Fanney Ósk Gísladóttir 2016. Icelandic inland wetlands: Characteristics and extent of draining. *Wetlands* 36:759–769.

Sheridan, T.E., N.F. Sayre og D. Sibert 2013. Beyond “stakeholders” and zero-sum game: towards community-based collaborative conservation in the American West. Í: S. Charnley, T.E. Sheridan og G.P. Nabhan (ritstj.), *Stitching the West Back Together*. The University of Chicago Press, Chicago, USA. Bls. 53–75.

Sigurður Greipsson 2012. Catastrophic soil erosion in Iceland: Impact of long-term climate change, compounded natural disturbances and human driven land-use changes. *Catena* 98:41–54.

Sigurður Reynir Gíslason, E.H. Oelkers, Eydís Sigurdís Eiríksdóttir, M.I. Kardjilov, Guðrún Gísladóttir, Bergur Sigfússon, Árni Snorrason, Sverrir O. Elefsen, Jórunn Harðardóttir, P. Torssander og Niels Ö. Óskarsson 2009. Direct evidence of the feedback between climate and weathering. *Earth and Planetary Science Letters* 277: 231–222.

Starfshópur Lbhí 2016. Að meta landgræðsluland með hliðsjón af því hvort það er „tilbúið til afhendingar“ til landbúnaðarnota. Ása L. Aradóttir, Fanney Ósk Gísladóttir, Hlynur Óskarsson og Ólafur Arnalds, Umhverfiseild Landbúnaðarháskóla Íslands, greinargerð unnin fyrir Landgræðslu ríkisins. Reykjavík.

Steinunn Garðarsdóttir 2021. Endurheimt staðargróðurs á framkvæmdasvæðum. Þingvallavegur. Landbúnaðarháskóli Íslands, skýrsla til Vegagerðarinnar.

UN-CCD 2022. The Global Land Outlook. 2. útg. United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD, Bonn, Þýskaland.

Þóra Ellen Þórhallsdóttir og Kristín Svavarsdóttir 2022. The environmental history of Skeiðarársandur Outwash Plain, Iceland. *Journal of North Atlantic* 43(12): 1–21.

Þórunn Pétursdóttir 2020. Governing land use and restoration: The long-term progress of environmental and agricultural policies on sustainable rangeland management and restoration in Iceland. PhD-ritgerð, Landbúnaðarháskóli Íslands, Náttúra og skógur, Hvanneyri og Reykjavík.

Þórunn Pétursdóttir, S. Baker og Ása L. Aradóttir 2020. Functional silos and other governance challenges of rangeland management in Iceland. *Environmental Science and Policy* 105:37–46.

Þórunn Pétursdóttir, Ólafur Arnalds, S. Baker, L. Montanarella og Ása L. Aradóttir 2013. A social-ecological system approach to analyze stakeholders' interaction within a large-scale rangeland restoration program. *Ecology and Society* 18:29.

Þórunn Pétursdóttir, Ása L. Aradóttir, S. Baker, Guðmundur Halldórsson, B. Sonneveld 2017. Successes and failures in rangeland restoration: An Icelandic case study. *Land Degradation and Development* 28:34–45.