



20

**Hrun íslenskra
vistkerfa**



Mynd 20.1. Biskupstungnaafréttur. Hér var áður 1–2 m þykkur jarðvegur þakinn birkiskógi þar sem nú er mörg hundruð ferkílómetra auðn. Erfitt getur verið að útskýra umfangið á slíku vistkerfishruni fyrir erlendum vísindamönnum – hið algjöra hrun sem orðið hefur, svo sem fyrir þessum tveimur sem komu frá Kírgistan og Innri-Mongólíu. Íslendingar láta sér oftast fátt um finnast og svæðið er ennþá nýtt til beitar. Mynd: Guðmundur Kr. Jóhannesson / Nærmynd.

20.1. Hrun vistkerfa er alþjóðlegur vandi

Í fyrri köflum þessa rits hefur verið vakin athygli á að slæmt ástand lands og vísindi um ástand útjarðar sé alþjóðlegur vandi. Í þessum kafla er sjónum beint að vistkerfishruni á Íslandi. Auðnir og illa gróið land þekja yfir 40% landsins en gróin vistkerfi eru víða í mjög hnignuðu ástandi. Talið er að skóg- og kjarrlendi hafi áður þakið um fjórðung landsins en voru við það hverfa í byrjun 20. aldar (Snorri Sigurðsson 1977, Andrés Arnalds 1987, Sigurður Blöndal og Skúli Björn Gunnarsson 1999). Þá hefur um 70% votlendis á láglandi verið raskað með framræslu (Ólafur Arnalds o.fl. 2016).

Hrun vistkerfa hérlendis er að mörgu leyti einstakt í veröldinni og er iðulega tekið sem dæmi um svæði þar sem áhrif mannsins á náttúruauðlindir hafa verið skelfileg, svo sem í frægri bók Jared Diamond frá árinu 2005 (*Hrun, e. Collapse*) og einnig í bók David R. Montgomery frá 2007 (*Mold, e. Dirt*). Eyðilegging vistkerfa á Íslandi á ýmislegt sameiginlegt með hruni vistkerfa í vesturríkjum Bandaríkjanna, þar sem landnám hvíta mannsins með tilheyrandi beit húsdýra hefur leitt til stórkostlegra breytinga á ástandi landsins (Jakobs 1991).

Landnýting á mjög hnignuðum landsvæðum í vesturhluta Bandaríkjanna er mjög umdeild og umræðan um málefnið minnir um margt á umræðu hérlendis, sbr. bók í ritstjórn Wuerthner og Matteson (2002): *Welfare ranching; the subsidized destruction of the American West* sem og bækurnar *The western range revisited. Removing livestock from public lands to conserve native biodiversity* (Donahue 1999), *Western turf wars – The politics of public lands ranching* (Hudak 2007) og *Stitching the west back together*

(Charnley o.fl. ritstj. 2014). Náttúru-sagnaritarinn Bowden (1987) skrifaði um ofbeitina í Arizona (lauslega þýtt og stýtt af ÓA):

„Kýrnar komu og þeim fjölgaði. Ríkisstjóri Arizona áætlaði að 1,5 milljónir nautgripa stæðu á beit í fylkinu. En landið barði frá sér. Það gerði langvinnan þurrk og kýrnar féllu dauðar niður. Þær lágu sem hráviði um svæðið. Graslendið gaf eftir eða það hvarf, ár og lækir urðu að sandi ... Landið sem ég ann var skilið eftir í rúst af forfeðrum mínum ...“¹

Þegar þurrkurinn gekk í garð og gróðurinn hætti að vaxa fækkaði búfénaði ekki strax. Hins vegar óx álag ört á þann gróður sem enn tórði og varð stjarnfræðilegur vandi (mældur í fjölda eða kg beitardýra/kg uppskeru) með gríðarlega alvarlegum afleiðingum fyrir vistkerfin, sem hafa ekki náð sér síðan. Upphafsmáður náttúruheimspekinnar, Aldo Leopold, ritaði snemma á 20. öld (ÓA lausleg þýðing): „Innan við einn af hverjum þúsund þeirra sem barnfæddir eru í Suðvestrinu gerir sér grein fyrir því sem komið hefur fyrir landið – að fegurðin á sér ekki rót í lífinu heldur eyðingu² (tilvitnun í Bowden 1987). Hér birtist vitaskuld heilkennið um breytt grunnviðmið eða „samdaunasýki“ sem rætt er um í næsta kafla.

Alvarlegasta hrunið varð þar sem sandurinn tók yfir hluta kerfanna, því þá hverfur vatnsheldni úr kerfinu á svæði sem er heitt og uppgufun mikil en úrkoma lítil. Þetta á við í Arizona jafnt sem á Íslandi, enda þótt hér sé kaldara og blautara.

Íslensk dæmi eru áberandi í bók Anton Imeson (2012) um landhnignun (*Desertification, land degradation and sustainability*). Óstöðugleiki í samfélögum, jafnvel stríðsrekstur og fólks-

1. „The cows came and they did increase. But the land lashed back. In 1891, Arizona's governor estimated that 1.500.000 cattle were busy eating the Territory. Then came draught and the cows dropped dead. Old reports claim that a man in southern Arizona could skip a stone across the region from carcass to carcass. The grasslands diminished or vanished, the streams and rivers fell away into sands ... The land I have come to love is in many ways in ruin left me by my ancestors ...“

2. „Even among those who were born in the Southwest, not one in thousand realizes what has happened to it, – that much of the beauty is the beauty not of life, but of dissolution.“

Vandamál afréttanýtingar

Beitilönd í samfélagseigu eru talin sérstaklega útsett fyrir ofnýtingu, hnignun og hruni, sbr. fræga grein Garrett Hardin, „Tragedy of the commons“ í Science (1968), sem sannarlega á við víða í Bandaríkjunum og á síðustu öldum á Íslandi. Hardin taldi að skortur á eignarhaldi á landi leiddi til óábyrgrar og rangrar nýtingar. Þó kunna reglur um afréttarnýtingu í Grágás að hafa stuðlað að sjálfbærri nýtingu á Íslandi fyrr á öldum (sjá Simpson o.fl. 2001), enda urðu Íslendingar vitni að stórkostlegum breytingum á umhverfi sínu á fyrstu öld byggðarinnar, sem kann að hafa ýtt undir lagasetningu um nýtingu landsins.

Nýting sameiginlegs beitarlands er háð flóknum félagslegum, lagalegum, þjóðfélagslegum og hagrænum þáttum, rétt eins og umsýsla eignarlands, og því eru alhæfingar um afrétti af þessum toga oft ekki réttlætanlegar, sbr. umræður Derek Wall (2017) í bókinni „The commons in history“, þar sem íslensk afréttarlönd ber nokkuð á góma (sjá einnig ritgerð Lilju Jónsdóttur 2020 um lausagöngu búfjár og beitarrétt, sem og rit Landverndar 2021 um vörsluskyldu búfjár). Eignarhaldið eitt og sér er iðulega ekki aðalatriðið heldur skilningur á þeim auðlindum sem nýttar eru, sem og hvort reglur um nýtinguna haldi þegar á hólminn er komið. Það vantar mikið upp á það hér á landi.

Hér er einnig rétt að tilgreina dæmi til samanburðar frá Úganda, þar sem lög og reglur um verndun votlenda eru sannarlega fyrir hendi, en þeim er þó eigi að síður raskað sem aldrei fyrr, enda eru innviðir ekki fyrir hendi til að tryggja að lögum sé fylgt.



Mynd 20.2. Monument Valley (Utah/Arizona) í suðvesturhluta Bandaríkjanna. Víða á þessu svæði hefur ofbeit valdið því að stór hluti landsins er „kominn í sand“ með takmarkaða gróðurhulu og vatnsheldni (kunnuglegt á Íslandi). Náttúran var mjög viðkvæm fyrir beitaráhrifum sökum þurrka, mikils sands í kerfinu (mold sem hefur myndast í sandstein og mikið áfok) o.s.frv. Monument Valley og nágrenni er gríðarlega vinsælt ferðamannasvæði, en fæstir gera sér grein fyrir ástandi landsins. Miklir árekstrar eru á milli „landeigenda“ (óljóst hugtak hjá Navajo-indíánum sem búa á svæðinu), beitarhagsmuna, ferðaþjónustu og atvinnuuppbyggingar – er það ekki svolítið kunnuglegt stef?



Mynd 20.3. Dæmi um svæði sem margir fara um án þess að velta mikið fyrir sér ástandi landsins. Hér hefur átt sér stað fullkomið hrun vistkerfa og landið hægra megin á myndinni er „komið í sand“. Eftir standa torfur í landslaginu þar sem þanþol kerfanna hefur verið meira. Ástand gróna hluta landsins í mósaikinni er bágborið. Myndin er tekin á Uxahryggjaleið árið 2020; horft er til Þórisjökuls (hægra megin) og Oks (vinstra megin), en leiðin um Kaldadal liggur þar á milli.

Óhagstæð samfélagsþróun

Þróun samfélagsins frá hagrænu og pólitísku sjónarmiði er mikilvæg, hérlendis sem annars staðar. Þar má sem dæmi nefna áhrif svokallaðs „vistarbands“ í kjölfar „Píningsdóms“ árið 1490, en þar var áréttað að þeir landsmenn sem ekki höfðu efni á að reisa sér bú væru skyldugir til að vera í vist hjá bændum, söfnun jarðnæðis á fárra hendur, takmarkanir á sjávarútvegi og hindrun á myndun þéttbýlis (sjá Gunnar Karlsson 2000 og Gísli Gunnarsson 1983).

Þessi þróun kom í veg fyrir sérhæfingu í samfélaginu sem fylgir borgarmenningu og festi fábreytni í sessi. Meginþorri jarðnæðis var lengi vel á höndum leiguliða en í eigu tiltölulega fárra landeigenda. Slíkt kerfi stuðlar sjaldan að sjálfbærri landnýtingu því ábyrgð leiguliða er oft óljós, sem og hagar þeirra af góðri landnýtingu eða fjárfestingum til landbóta. Lífsbaráttan var þar að auki stöðugt hörð – hungrið sjaldan langt undan.

flutningar, á sér oft rætur í ofnýtingu, hnignun og hruni vistkerfa, m.a. í hörmungum nútímans fyrir botni Miðjarðarhafs (t.d. Serra 2015). Svo kann einnig að hafa verið á 13. öld, öld Sturlunga á Íslandi. Saga lands og þjóðar er um margt saga eyðingar náttúruauðlinda, en um leið saga baráttu fyrir því að lifa af á viðkvæmu jaðarsvæði (Gunnar Karlsson 2000); baráttu fyrir lífsviðurværi svo ekki færi fyrir Íslendingum eins og t.d. norrænum mönnum á Grænlandi (Streeter o.fl. 2012). Lífsbarátta sem var dýru verði keypt fyrir vistkerfi landsins – saga sem mikilvægt er að skilja til að unnt sé að bæta ástand og nýtingu landsins.

20.2. Hnignun og hrun vistkerfa á Íslandi – sögulegir þættir og heimildir

Slæmt ástand vistkerfa út frá mælanlegum þáttum (síðasti kafli), sem og mikil útbreiðsla auðna og illa gróins lands, er skýr vitnisburður um þá hnignun sem átt hefur sér stað á Íslandi. Sagan um hrun náttúruauðs hér á landi er afar merkileg, hvort heldur sem er á íslenskan eða alþjóðlegan mælikvarða. Hér verður leitast við að draga saman margvíslegar tegundir vísbendinga um hnignun og hrun vistkerfa hérlendis, en um leið að gefa yfirlit yfir rannsóknir og dæmi um ritaðar heimildir á þessu sviði, en áherslan er á mold og vistkerfi. Heimildalistinn er þó engan veginn tæmandi.

Eftir að jökull ísaldar hörfaði af landinu fyrir 9–10 000 árum tók gróður að nema land og jarðveguraðþróast. Smámsaman þroskuðust vistkerfi og náðu styrk, en kjarrlendi varð ráðandi gróðurfar neðan hálendismarkanna ásamt votlendum þar sem grunnvatn stóð hátt. Loftslag á nútíma (e. holocene) frá lokum ísaldar hefur sveiflast umtalsvert með sífelldum breytingum á náttúruferli, ekki síst útbreiðslu mýra og kjarrlendis, eins og rannsóknir á frjókornum hafa leitt glögglega í ljós (t.d. Þorleifur Einarsson 1962, 1994; Margrét Hallsdóttir og Caseldine 2005, Egill Erlendsson o.fl. 2009).

Aldursgreind gjóskulög (öskulög) í moldinni eru grunnurinn að slíkum rannsóknum, en Sigurður Þórarinsson (1944) og samstarfsmenn hans voru frumkvöðlar í þeim fræðum á heimsvísu. Þorleifur Einarsson (1994) skipti nútímanum upp í nokkur tímabil í samræmi við útbreiðslu votlenda og birkiskóga, í svokölluð birkiskeið og mýraskeið. Við lifum nú á tímum mýraskeiðsins síðara. Mögulegt er að

loftslagsbreytingar nútímans muni leiða landið inn í þriðja birkiskeiðið. Þessar breytingar á gróðurfari um þúsundir ára skipta vitaskuld miklu máli, en vistkerfin á Íslandi tóku þó langsamlega örustu breytingunum í kjölfar landnáms norrænna manna um miðja 9. öld. Nýting mannsins hefur sums staðar leitt til hruns vistkerfa en annars staðar eru breytingarnar mjög miklar enda þótt gróður og mold séu ennþá til staðar. Breytingarnar urðu m.a. fyrir tilstuðlan beitarnýtingar, skógarnytja (m.a. til kola- og járngerðar) og ruðnings skógar til beitar og akuryrkju á viðkvæmu landi sem verður reglulega fyrir öðrum áföllum á borð við gjóskufall og kalt árferði, eins og síðar verður vikið að.

Margir hafa ritað um bága stöðu íslenskra vistkerfa og þau skrif má rekja langt aftur í tímann. Þorvaldur Thoroddsen kemur víða að þessu í skrifum sínum um aldamótin 1900 sem og Sæmundur Eyjólfsson (sjá samantekt Arnórs Sigurjónssonar 1958a og Andrésar Arnalds 1987, 1988a,b). Vestur-Íslendingar rituðu um slæmt ástand landsins fyrir aldamótin 1900, m.a. Stephan G. Stephansson. Samhengið milli þess og landnýtingar fór ekki fram hjá þeim, enda álag á landið gríðarlegt á ofanverðri 19. öld (sjá m.a. Sigurð Blöndal og Skúla Björn Gunnarsson 1999). Að afneita vandanum er þó viðtekin venja meðal landnotenda, hérlendis sem annars staðar að fornu og nýju (t.d. Wuerthner og Matteson 2002 og Jakobs 1991 fyrir suðvesturhluta Bandaríkjana).

Er leið fram á 20. öld varð æ ljósara að þung beit sauðfjár árið um kring, sem og nýting skógarleifa til brúkonar sem eldsneyti, orsökuðu mikla landeyðingu. Vert er að geta um sögufræga grein Hákonar Bjarnasonar skógræktarstjóra frá 1942: „Ábúð og örtröð“ og tímamótagein Sigurðar Þórarinssonar (1961) í riti Skógræktarfélags Íslands: „Vindrof á Íslandi í ljósi ösku-

Vísbendingar um horfin landgæði

Hvaðan kemur vitneskjan um þessar miklu breytingar sem hafa orðið á vistkerfum landsins?

Vísbendingar og heimildir eru margvíslegar, svo sem: (i) skrifaðar heimildir frá miðöldum; (ii) gróður- og moldarleifar á auðnalandi; (iii) frjórnarannsóknir; (iv) gamlar kolagrafir og kolaleifar í auðnalandi; (v) þykkunarhraði jarðvegs; (vi) örnefni; (vii) borkjarnar í vatnaseti; (viii) fornleifarannsóknir; (ix) gróðurfur á svæðum sem eru náttúrulega varin fyrir beit (eyjar o.s.frv.); (x) gróðurfarsbreytingar og bötun við friðun lands fyrir beit; (xi) líkön fyrir útbreiðslu birkis fyrr á tímum, og (xii) samtenging sem flestra þessara tegunda heimilda.

Hér á eftir er fjallað um margar þessara heimilda um fyrrnefndar breytingar, en sú umfjöllun byggist m.a. á samantekt Andrésar Arnalds (1988a), 12. kafla bókarinnar „The Soils of Iceland“ (ÓA 2015) og öðrum skrifum sem hér eru nefnd jafnóðum.

lagarannsókna“. Þá má segja að rit sem gefið var út í tilefni 50 ára afmælis Sandgræðslu ríkisins (nú Landgræðslan) árið 1958 hafi markað viss tímamót, en bókinni var ritstýrt af Arnóri Sigurjónssyni. Landgræðsla ríkisins gaf út um margra ára skeið árbók undir heitinu *Græðum Ísland* (1987–1997) sem ritstýrt var af Andrési Arnalds og fleirum. Þar er mikinn fróðleik að finna sem fleytti áfram skilningi landsmanna á slæmu ástandi landsins.

i. Skrifaðar heimildir. Að sumu leyti er Ísland einstakt hvað það varðar hve mikið er til af rituðum sögulegum heimildum frá miðöldum, allt frá Íslendingasögum og Íslendingabók Ara fróða til annálskrifa, máldaga og Jarðabókar Árna Magnússonar og Páls Vídalíns (sjá Andrés Arnalds 1988a). Heimildirnar tiltaka m.a. byggð og gróðurlendi þar sem nú er illa gróið, getið er um skóga þar sem þeir eru ekki nú og svo mætti lengi telja. Fræg er fullyrðing Ara fróða um að landið hafi verið skógi vaxið milli fjalls og fjöru við landnám. Gott dæmi um notkun á rituðum heimildum er að finna í rannsóknum Friðþórs Sófusar Sigurmundssonar o.fl. (2014) á hnignun skóga í Þjórsárdal. Heimildir lúta m.a. að því hver átti skógaritök í skógum sem nú eru löngu horfnir. Gögn af þessu tagi sýna glögglega að sums staðar stóð áður blómleg byggð þar sem er rýrt land í dag.

ii. Gróður og jarðvegsleifar á auðnalandi. Víða finnast leifar gróðurs og jarðvegs á landi sem er annars illa gróið, jafnvel nánast auðnir einar. Gróðurtorfurnar á Biskupstungnafrétti í Sandvatnshlíðum og við Kjalveg beggja vegna Bláfellsháls eru mjög vel þekktar (myndir 20.4 og 20.5), en slíkar torfur er að finna á flestum þeim svæðum sem nú eru illa gróin á afréttum Suður-, Suðvestur- og Norðausturlands, sem og víða um Austurland. Gróðurtorfur á borð við þær sem eru á Biskupstungnafrétti eru ákaflega dramatískur vitnisburður

um horfin landgæði þar sem nú ríkir auðn á hundruðum ferkílómetra lands sem áður var sannarlega hulið þykkri mold og birkiskógum (myndir 20.4 og 20.5).

Gróðurtorfur hafa m.a. verið rannsakaðar til að rekja eyðingarsögu viðkomandi héraðs (t.d. Guttormur Sigbjarnarson 1969; Sigurður Þórarinsson 1961; Grétar Guðbergsson 1975, 1996, Fanney Ósk Gísladóttir o.fl. 2005, Guðrún Gísladóttir o.fl. 2010; Sigurður Greipsson 2012). Oft er mikilvægt að vernda torfurnar því heimildagildi þeirra er mikið. Jarðvegsleifar sem finnast í auðnum ofan í gjótum og undir sandi eru heimildir af sama meiði. Þannig finnast mold undir sandinum vítt um Ódáðahraun sem bendir til að stór hluti þess svæðis hafi áður verið gróinn (ÓA 1992).

iii. Frjórnarannsóknir. Sigurður Þórarinsson (1944) og Þorleifur Einarsson (1962) voru frumkvöðlar á sviði frjórnarannsókna og síðar Margrét Hallsdóttir (t.d. Margrét Hallsdóttir og Caseldine 2005). Miklar breytingar verða á samsetningu frjórnara í mýrum við landnám eða einhvern tíma eftir það; gróðurbreytingar sem voru afleiðing af nýtingu lands. Þessar breytingar voru afskaplega misjafnar eftir stöðum og aðstæðum (sjá t.d. Margrét Hallsdóttir og Caseldine 2005, Lawson 2007, Egil Erlendsson o.fl. 2009, Vickers o.fl. 2011, Sigrúnu Dögg Eddadóttir o.fl. 2015, 2016, 2017), sem m.a. fór eftir þanþoli svæðanna, eins og síðar verður vikið að.

iv. Leifar um gerð kola á auðnalandi. Áður fyrr var gjarnan haldið til skógar og viði safnað í holur og hann brenndur að því marki að til urðu viðarkol, sem eru létt í sér og meðfærileg (mynd 20.6). Þau voru síðan flutt til byggða og notuð heima fyrir. Leifar kolagerðar finnast víða þar sem enginn er nú skógurinn, jafnvel þar sem nánast auðnin ein er eftir. Kolaleifarnar á Biskupstungnafrétti eru t.d. afar merkilegar, en þær finnast



Mynd 20.4. Gróðurtorfur í Hvitárnesi. Kjalvegur til hægri, Hrótfell og Langjökull til vinstri; horft til norðurs. Einnig sést í gróðurtorfur í hlíðum Hrefnubúðar (sunnan Hrótfells) handan Fúlukvíslar sem enn tóra og þar finnst m.a. birki. Lítil torfa sést hægra megin við veginn. Áfoksgeiri virðist hafa gengið beggja megin stóru gróðurtorfunnar í forgrunni. Jaðarinn hefur verið græddur upp til að vernda barðið. (Myndin er tekin árið 2020.)



Mynd 20.5. Barð í Sandvatnshlíð á Biskupstungnaafrétti í miðri auðninni. Jaðrar barðsins hafa að hluta verið græddir upp til að bjarga því. Bláfell í baksýn. Hér hafa fundist leifar af kolagerð fyrri tíma þegar landið var þakið birkiskógi. (Myndin er tekin árið 2020.)

vítt um afréttinn (t.d. Arnór Karlsson 1992, Sturla Friðriksson 1991). Athygli vakti þegar kolamolar fundust fyrir tilviljun nálægt Hvítárnesi við Kjalveg í fræðsluferð með erlendum vísindamönnum árið 2013 (óbirt).

v. Þykkununarhraði jarðvegs. Eftir að búið var að aldurssetja flest megingjóskulögin í moldinni var hægt að skoða áfokshraða mismunandi öskulaga og ákvarða með hvaða hætti eiginleikar þeirra breytast á milli aldurskeiða. Mikil aukning áfoks í kjölfar landnámsins er meðal helstu einkenna moldarinnar á nær öllu landinu og því augljóst að því fylgdi aukinn uppblástur (mynd 20.7). Reyndar er aukningin oft fjórföld og jafnvel meiri (nær sums staðar að tífaldast, sjá Sigurð Þórarinsson 1961, Grétar Guðbergsson 1975, Margréti Hallsdóttur 1982, Dougmore o.fl. 2005, Guðrúnu Gísladóttur o.fl. 2010; Guðrúnu Sveinbjarnardóttur o.fl. 1982 og Gerrard 1985).

Vert er að vekja hér sérstaklega athygli á yfirlitsgrein Guðrúnar Larsen og Jóns Eiríkssonar um gjóskulagafræði



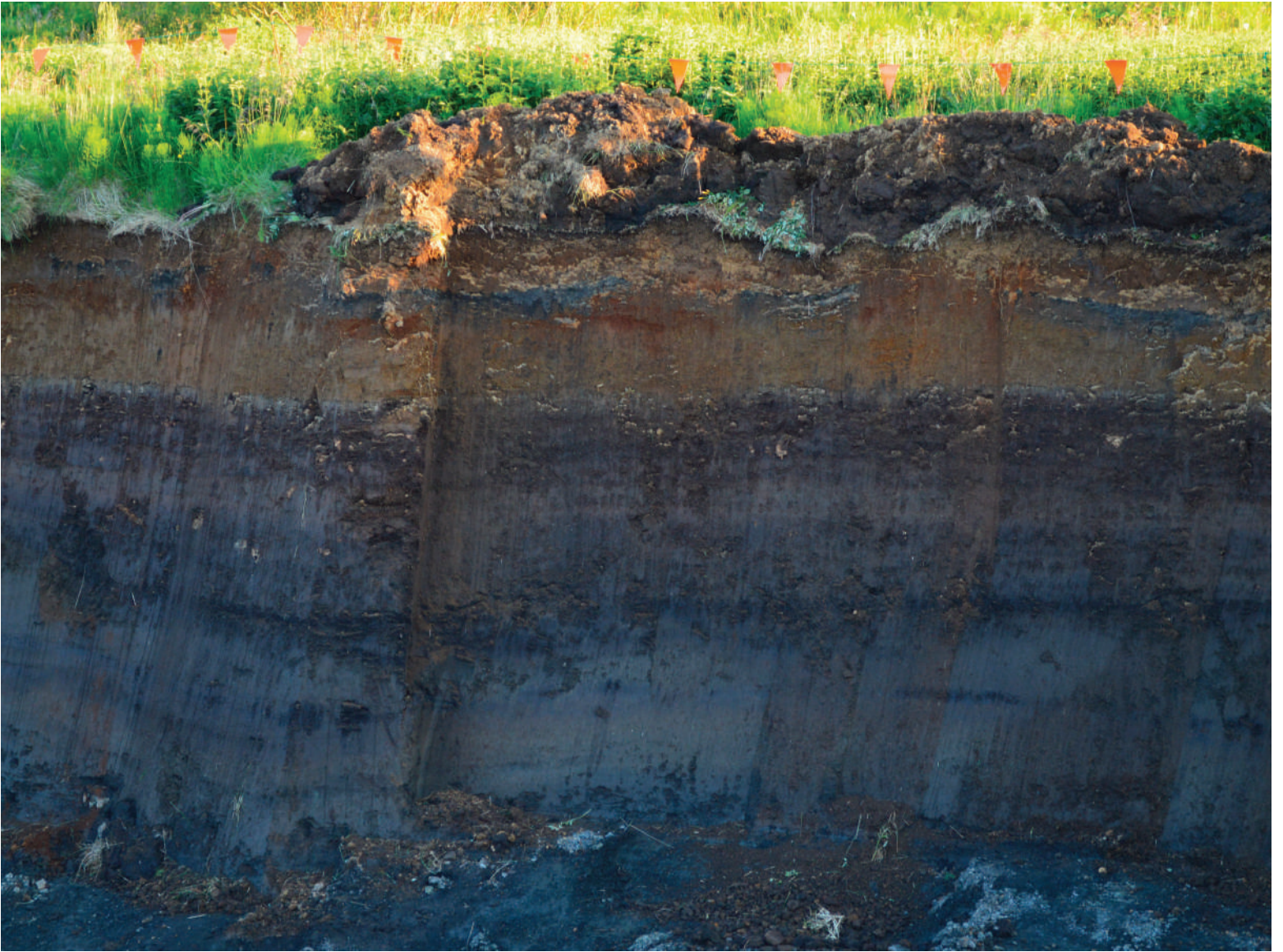
Mynd 20.6. Leifar gamallar kolagrafar í jaðri rofabarða við Rótarmannatorfur nálægt Brunnalækjum á Biskupstungnafrétti. Þarna var svæðið áður algróið og hulið skógi sem var nýttur til að gera til kola. Svarta efnið innan hringsins eru kol. Hlaðið var grjóti í kringum leifarnar til að auðvelda staðsetningu þeirra. Myndin er tekin um 1987 en kolamolarnir voru ófinnanlegir árið 2020. Sjá umfjöllun Arnórs Karlssonar 1992 um birkileifar og kolagrafir á Biskupstungnafrétti. Mynd: Andrés Arnalds.

í tímaritinu *Jökli* (2008). Streeter o.fl. (2015) bentu á að eftir pláguna miklu 1402 minnkaði áfok á sama tíma og fólki fækkaði. Í mörgum tilfellum er til-
tölulega auðvelt að staðfesta að mikið af áfokinu á uppruna í mold sem fýkur frá upprunastað, því að í áfokinu greinast korn sem rekja má til þekktra gjóskulaga (einkum ljósu Heklulögin) – korn sem áður voru varðveitt í jarðvegi (Grétar Guðbergsson 1975; Stoops o.fl. 2008).

Oft og tíðum sést að áfokshraðinn hefur verið hvað mestur síðustu 500 árin, t.d. á Norðausturlandi, þar sem miðað er við gjóskulag frá gosi í Bárðarbungukerfinu um 1480 (sjá Sigurð Þórarinsson 1961), en einnig eftir gos 1717 (McGovern o.fl. 2007). Hafa verður í huga að meginuppsprettur áfoks hafa breyst í tímans rás; minni hluti áfoks er nú vegna uppblásturs á moldarefnum en meginhlutinn er ættaður frá sérstökum upptakasvæðum ryks á auðnum (Ólafur Arnalds o.fl. 2019a,b).

vi. Örnefni. Víða um land eru örnefni sem gefa til kynna miklar breytingar á gróðurfari. Gömul merking orðsins „holt“ er skógi vaxin hæð, sbr. máltækið „oft er í holti heyrandi nær“. Staðarnafnið Mörk bendir einnig til skógar. Skógarhlíð og Hvannstöð eru örnefni þar sem nú eru auðnir og illa farið land í Suður-Þingeyjarsýslu og benda má á fjölda örnefna sem vísa til skóglendis á auðnum á Suðurlandi; Landskógar voru til að mynda í ofanverðri Landsveit (Andrés Arnalds 1988b), svo dæmi séu tekin (sjá einnig Friðpór Sófus Sigurmundsson o.fl. 2014). Hin skóglitlu héruð í Skaftárhreppi og á Síðu hétu áður Skógarhverfi en þar var birkinu nánast útrýmt (Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2015). Sigurður Blöndal og Skúli Björn Gunnarsson (1999) rituðu ágætan kafla um skógareyðinguna í bók sinni *Íslandsskógar*.

vii. Borkjarnar úr vatnaseti. Á undanförunum árum hafa vísindamenn



Mynd 20.7. Litabreyting í jarðvegi um landnám. Moldin er ljósari eftir landnámið (efri hluti sniðsins) vegna aukins uppblásturs, sem m.a. feykir burt ljósum Heklukornum í jarðvegi á hálandinu og út yfir nálæg svæði, auk þess sem lífrænt innihald hennar minnkar mikið. Myndin er frá Mosfellsbæ.



Mynd 20.8. Skógivaxin eyja í Þjórsá sem er náttúrlega varin fyrir beit. Horft er suðaustur yfir Þjórsá; Skarðsfjall til hægri en sér í Heklu til vinstri. Merki um áfoksgæira eru handan árinna og gömul rofabörð. Sjá umfjöllun Önnu Sigríðar Valdimarsdóttur og Sigurðar H. Magnússonar (2013) um eyjuna. (Myndin er tekin árið 2020.)



Mynd 20.9. Birkitorfan í Fellum á Austurlandi. Skógarleifar hanga á klettasyllum þar sem sauðfé kemst ekki að. Landið umhverfis er í slæmu ástandi. Einnig er algengt að birkihríslur tóri í þröngum giljum þar sem annars er ekkert birki að finna. (Myndin er tekin árið 2021.)

sótt borkjarna úr botnum stöðuvatna og með hjálp gjóskulaga og fleiri þátta notað þá til að ráða í sögu umhverfisbreytinga í tíma. Má þar nefna rannsóknir í Hvítárvatni á Kili (Larsen o.fl. 2011), vötnum á Norðvesturlandi (Doner 2003), nærri Reykholti í Borgarfirði (Gathorne-Hardy o.fl. 2009) og í Haukadalsvatni í Dölum (Áslaug Geirsdóttir o.fl. 2009). Þessar rannsóknir sýna m.a. að hnignun og hrun hafa verið háð þanþoli og náttúru landsins og því hafist á misjöfnum tíma, auk þess sem þær sýna að áföll hafa einnig dunið yfir í kjölfar gjóskugosa á forsögulegum tíma.

viii. Forleifarannsóknir. Nákvæmar fornleifarannsóknir á mörgum stöðum á landinu varpa ljósi á forna lifnaðarhætti og nýtingu landsins. Má þar nefna uppgröft í Mývatnssveit (McGovern o.fl. 2007, Egill Erlendsson o.fl. 2009, sjá einnig yfirlit McGovern o.fl. 2007).

Byggð stóð t.d. áður þar sem nú skortir vistkerfi til að framfleyta fólki, m.a. við hálendismörkin á Suðurlandi.

ix. Gróðurfar á svæðum sem eru náttúrulega varin fyrir beit. Hér er t.d. átt við eyjar í stórfljótum (mynd 20.8) og á klettasyllum. Munurinn getur stundum verið ansi sláandi. Nefna má sérstaklega rannsóknir Ingu Svölu Jónsdóttur (1984) á hólum í Friðmundarvötnum á Auðkúluheiði og rannsókn Önnu Sigríðar Valdimarsdóttur og Sigurðar H. Magnússonar (2013) á gróðri í eyju í Þjórsá. Birkitorfan á klettasyllu í Fellum, skammt norðan Lagarfljóts, er frægt dæmi um gróðurfar þar sem sauðfjárbreitar gætir ekki (mynd 20.9).

x. Gróðurfarsbreytingar og bötun við beitarsfriðun. Þetta er þáttur sem mörgum þykir svo augljós að hann er sjaldan færður til bókar og því er hér

aðeins lengri umfjöllun um hann en ella væri. Miklar breytingar verða á vistkerfum þar sem land er friðað fyrir beit, en það er misjafnt hve örar þær eru. Þar sem land er í slæmu ástandi og yfirborðið óstöðugt er landið afar seint að taka við sér í byrjun uns stöðugleika er náð og næringarefni taka að safnast fyrir í kerfinu (sjá kafla um auðnir og gróðurtorfur í umræðu um ástandsstig í síðasta kafla).

Reynsla og rannsóknir sýna að birki getur breiðst ört út sé land umhverfis friðað og fræframleiðsla er mikil, ekki síst þar sem skán er komin í landið (Ása L. Aradóttir 2007), t.d. á Skeiðarársandi (Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2017), í Gunnlaugsskógi við Gunnarsholt, Stóra-Klofa í Landsveit, út frá ungum birkieyjum á Hekluskógasvæðinu og víðar (sjá Ásu L. Aradóttur og Guðmund Halldórsson 2011). Umhverfi Reykjavíkur tekur nú örum stakkaskiptum vegna friðunar lands. Þá eru skógræktaraðgerðir undanskildar, en þær eru umfangsmiklar, t.d. í Heiðmörk, Hafnarfirði og Mosfellsbæ. Í Mosfellsbæ vekur athygli að snarbrött

urðarhlíð í Úlfarsfelli (Hamrahlíð) hefur gróið að mestu saman á undanförunum áratugum eftir að landið var friðað (mynd 20.10), sem sýnir að gróður getur átt afturkvæmt í slíkar hlíðar. Sömu sögu má segja um umhverfi Akureyrar og fleiri bæjarfélaga. Framvinda birki-skógar í Þórsmörk er stórbrotið dæmi um breytingar sem hafa orðið við beitarfriðun (mynd 20.11).

Bati vistkerfa tekur þeim mun lengri tíma sem ofar dregur í landið. Meðal rannsókna á hálendi má nefna athuganir Sigurðar H. Magnússonar (1997) og Sigurðar H. Magnússonar og Kristínar Svavarsdóttur (2007). Eigendur sumarbústaðalanda og skógræktarsvæða hafa vitaskuld séð stórfelldar breytingar sem verða við friðun lands. Þær eiga sér einnig stað við afgirta vegi landsins. Dæmi um hraðfara breytingar á vistkerfum nú um stundir eiga sér stað innan Þingvallaþjóðgarðsins og fleiri þjóðgarða, sem og á Þórsmærkursvæðinu. Friðun Hornstranda hefur gjörbreytt gróðurfari og frjósemi moldar (mynd 20.12).



Mynd 20.10. Sjálfgræðsla í hlíðum Úlfarsfells í Mosfellsbæ þar sem áður var urðarskriða. Ljónslappi hefur reynst mikilvægur frumherji í skriðum sem þessum. Einnig hefur fugl aukist í bjarginu ofan hlíðarinnar með tilheyrandi driti, sem eykur á sjálfgræðsluna í kjölfar friðunar.



Mynd 20.11. Framvinda birkiskógar við beitarfriðun. Svæðið næst tilheyrir Þórsmerkursvæðinu og er beitarfriðað. Horft er í norður, Almenningar eru handan árinna (Þröngá) en Fljótshlíðarafréttur til vinstri, vestan Markarfljóts. Almenningar voru aðeins friðaðir í 22 ár (1990–2012) en þar var hafið stórfellt landnám birkis þegar tekið var að beita þá á ný árið 2012 (ÓA og Ása L. Aradóttir 2011). Stærsti hluti svæðisins sem er næst á myndinni var áður skóglaus en þó tóru torfur hér og þar (m.a. Hamraskógar) áður en svæðið var friðað fyrir beit (að mestu) fyrir um 100 árum.

Sums staðar var sáð og borið á og einnig var birki bæði sáð og plantað, einkum seint á síðustu öld. En meginhluti skógarins hefur vaxið upp af sjálfsdádóm við beitarfriðunina. Birkið breiðist út æ víðar og athygli vekur að það er tekið að breiðast út upp í 500 m hæð í nágrenni Rjúpnafells. Það tekur langan tíma að ná svo stórkostlegum árangri því vistheimt af þessu tagi fylgir stigvaxandi falli, lítið gerist fyrst (t.d. í 10–30 ár) en síðan æ hraðar eftir margra áratuga beitarfriðun. Þetta þekkingu sumarmúsaeigendur og aðrir sem friðað hafa land fyrir beit. Myndatexti unninn í samvinnu við Hrein Óskarsson, sviðsstjóra Þjóðskógasviðs Skógræktarinnar. (Myndin er tekin árið 2020.)



Mynd 20.12. Blómskrúð í fjallshlíð á Hornströndum eftir margra áratuga friðun fyrir sauðfjárbeit. Svæðið sem hér sést var líklega orðið illa gróið þegar það var friðað.

Rannsóknastöð Skógræktar ríkisins á Mógilsá heldur utan um aukningu skóglendis í landinu, bæði vegna plöntunar á trjám sem og aukinnar útbreiðslu birkis við minnkað beitarálag (Arnór Snorrason o.fl. 2016). Breytingar sem verða við friðun lands hafa hingað til verið taldar sjálfsgöðar og auðskildar, en hins vegar væri æskilegt að aukaverulega rannsóknir á þeim breytingum sem verða á vistkerfum í kjölfar stórfelldrar friðunar lands; slíkar rannsóknir eru mikilvægar fyrir skilning á tengslum beitarnýtingar og ástands lands, fyrir hugmyndir um vistheimt á hlutfallslega stóru landsvæði og vegna þeirrar kolefnisbindingar sem þar á sér stað.

xi. Líkön fyrir útbreiðslu birkis og annars gróðurs fyrr á tímum. Rannveig Ólafsdóttir o.fl. (2001) þróðu líkan fyrir gróðurbreytingar á Íslandi frá lokum ísaldar. Einnig má nefna námsritgerð eftir Wöll (2008). Líkön benda til þess að útbreiðsla bæði birkis og gróðurs almennt hafi sveiflast töluvert í samræmi við loftslagsbreytingar. Talið er að skóglendi myndi hylja 20–40% landsins (breytilegt eftir líkönum) ef ekki kæmu til áhrif mannsins.

xii. Samtenging allra tiltækra gagna sem lúta að vistkerfisbreytingum. Þessari aðferð hefur verið beitt í auknum mæli á undanförunum árum, m.a. í rannsóknum Egils Erlendssonar o.fl. (t.d. 2009) og Streeter o.fl. (t.d. 2015).

20.3. Hvað gerðist eiginlega? Þanþol, hnignun og hrun vistkerfanna

Af hverju hefur hrun íslenskra vistkerfa verið svo viðamikild og alvarlegt sem raun ber vitni? Hvað gerðist eiginlega? Og af hverju er eyðingin mikil á einu svæði landsins en tiltölulega lítil á öðrum? Svárið liggur í samspili margra þátta sem hafa áhrif á hvernig vistkerfum reiðir af.

Hér á undan var gerð grein fyrir heimildum fyrir hruni íslenskra vistkerfa. Það er þó vitaskuld háð þanþoli vistkerfanna hvort, hvar og hvenær vistkerfishrun á sér stað, og það alvarlega vistkerfishrun sem hér varð eftir landnám átti sér stað með mis-



Mynd 20.13. Líkan fyrir þætti sem höfðu áhrif á afdrif vistkerfa eftir landnám. Heildaráhrifin eru fall af margfeldi þessara þátta. Þar sem nokkrir þættir teljast óhagstæðir (rauð svæði fyrir hvern), t.d. mikil nýting nálægt gosbelti í mikilli hæð, er líklegt að nýtingin hafi valdið áföllum og jafnvel gróðurleysi, ekki síst á köldustu tímaskeiðunum (áföll). Þar sem þessar aðstæður fóru saman við nálægð við uppsprettur sands urðu afleiðingarnar mjög afdrifaríkar, m.a. með myndun áfoksgeira og sandsvæða. Við þær aðstæður eyddust jafnvel votlendi. Gróin svæði nú á dögum eru þar sem flestir þessara þátta eru hagfelldir (græn svæði fyrir hvern þátt). Mikilvægt er að stilla þessum þáttum saman til að átta sig á af hverju afleiðingar landnýtingar hafa verið svo misjafnlega miklar í landinu.

- **Hæð yfir sjávarmáli** – því kaldara, því minna þanþol.
- **Nálægð við kalda hafstrauma** (Vestfirðir og annes á Norðurlandi).
- **Nálægð við gosbeltin** (sem hefur áhrif á tíðni gjóskufalls og rofgirni jarðvegsins).
- **Gerð og samsetning vistkerfis** (m.a. mold og gróður, hæð, samsetning o.s.frv.).
- **Árferði og tíðni neikvæðra veðurfarsöfuga** (kuldaköst o.s.frv., breytileg áhrif á milli landshluta).
- **Halli landsins og landslag almennt**, m.a. samfelld lengd hlíða (móbergshlíðar og urðarhlíðar).
- **Útbreiðsla votlendis.**
- **Nýtingarþættir** eins og aðgengi að landinu til beitara og viðarhöggs.
- **Tíðni og ágengni náttúrulegra áfalla** svo sem gjóskugosa.
- **Nálægð við uppsprettu sands** sem gerir moldina grófa og þykka og eykur hættu á myndun áfoksgeira.

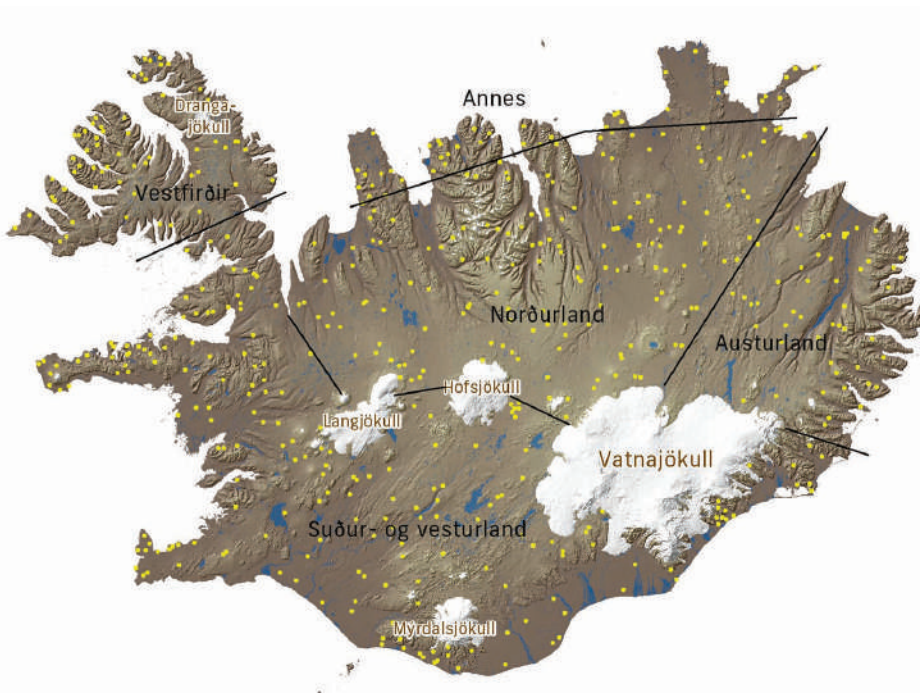
munandi hætti eftir aðstæðum (t.d. Dugmore o.fl. 2000). Þættir sem móta þanþolið gagnvart nýtingu eru taldir upp í kassa hér til vinstri:

20.4. Líkan til að útskýra mismun á núverandi ástandi vistkerfa landsins

Líkan til að meta líkur á því hvort vistkerfi hafi komist af eftir landnám eða orðið fyrir hruni tæki tillit til allra fyrrnefndra þátta og slíkt líkan er sett fram á mynd 20.13, nokkuð einfaldað. Gert er ráð fyrir að samsetning og gerð vistkerfa sé mótuð af þessum þáttum líkansins. Þar sem „gildi“ fyrir flesta þættina eru lág (græn á myndinni) eru meiri líkur á að gróin vistkerfi hafi komist af, t.d. á láglendi fjarri gosbeltum, einkanlega votlendin. Votlendi á hálendi, fjarri gosbeltum á fremur hallalitlu landi, eru enn til staðar á heiðum á Vestur- og Norðvesturlandi, svo dæmi séu tekin.

Vistkerfi á gosbelti hálendisins voru útsett fyrir tíðum skakkaföllum því moldin er þykkari og grófkorna og vatnsheldni er minni. Nálægð við sanduppsprettur varð afdrifarík þar sem aðrir þættir þessa líkans voru óhagstæðir, moldin iðulega gróf, þykk og óstöðug og því mynduðust áfoksgeirar bæði á láglendi og hálendi. Þar sem einhver þessara þátta gerir vistkerfin viðkvæm (rauðu gildin) þarf minni áhrif annars þátta, t.d. kuldakast, til að nýting hafi afdrifaríkar afleiðingar.

ÓA o.fl. (2022) gerðu tilraun til að meta gildi þessa líkans á einfölduðu formi með því að leggja út 500 reiti tilviljanakennt á landið, sem hver um sig var 500 m á hverja hlið (samtals 0,25 ha). Um 30 reitanna voru þó ekki notaðir (árfarvegir, byggt land o.fl.). Ástand innan hvers reits var fengið úr gagnagrunni GróLindar (Bryndís Marteinsdóttir o.fl.



Mynd 20.14. 500 reitum, sem hver er 500x500 m í þvermál, var dreift tilviljanakennt um landið og ástand hvers reits kannað. Landinu var svæðaskipt í einfalda flokka (ÓA o.fl. 2022). Niðurstöðurnar sýna að hæð yfir sjávarmáli er langmikilvægasta breytan en tilvist votlendis og brattrar hlíða ásamt nánd við gosbeltið hefur áhrif á núverandi ástand landsins.

2021, 2022). GróLind metur ástand lands á mælikvarðanum 1–5 þar sem land með einkunnina 1 er með mjög litla virkni og stöðugleika vistkerfa en 5 er með mjög mikla virkni og stöðugleika (sjá kafla 19.5). Meðalhæð yfir sjávarmáli, þekja votlendis, meðalhelli, magn áfoks og tilvist urðarhlíða var metið með því að skoða hvern reit fyrir sig á gervihnattamyndum í Nytjalandgagnagrunni Landbúnaðarháskólans o.fl. Landinu var skipt upp í fimm meginsvæði, eins og sýnt er á mynd 20.14 þar sem reitirnir eru einnig sýndir.

Líkanið útskýrði um 68% breytileikans á ástandi landsins í heild – sem verður að teljast ansi mikið, og náði >70% fyrir einstaka landshluta á mynd 20.14. Í heildina er líkanið einkar vel til þess fallið að skýra af hverju sum svæði landsins eru í verra ástandi nú heldur en önnur.

20.4.1. Hæð yfir sjávarmáli

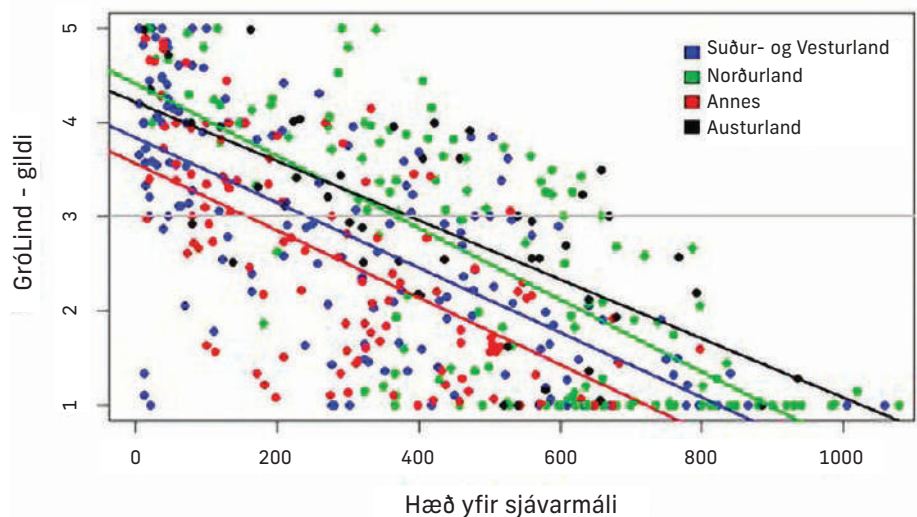
Sem fyrr sagði sýna niðurstöður rannsóknar ÓA o.fl. (2022) að hæð yfir sjávarmáli er mikilvægasti þátturinn sem útskýrir mismunandi ástand landsins í dag. Eftir því sem hærra dregur er þanþol vistkerfa gagnvart raski og nýtingu minna og þess að vænta að virkni og stöðugleiki þeirra sé minni (GróLind-gildi á mynd 20.15).

Á Vestfjörðum og annesjum norðanlands (sjá mynd 20.15) versnar ástandið mun hraðar með hæð (rauð lína) en á öðrum svæðum landsins, en mestar líkur eru á að finna land í góðu ástandi í mikilli hæð inn til landsins á Austur- og Norðurlandi. Þar er unnt að finna há gildi (gott ástand) upp í 600–700 m hæð, en slíkgildi finnast vart ofan 450 m hæðar á Suðurlandi og annesjunum samkvæmt þessu úrtaki. Þessar niðurstöður eru í góðu samræmi við rannsókn Björns Traustasonar o.fl. (2006) á gróðurmörkum sem voru í 300 m hæð á Vestfjörðum og 450 m á Tröllaskaga.

Lína er dregin þvert yfir grafið við ástandsgildið 3 þar sem land með það gildi eða hærra myndi teljast í ásættanlegu ástandi. Meðaltalið sker þessa línu í u.þ.b. 200 m hæð á Vestfjörðum og annesjum norðanlands (mynd. 20.15), í tæplega 300 m hæð á Suður- og Vesturlandi en í rúmlega 400 m hæð á Norður- og Austurlandi. Meðal þeirra reita sem mynda punktana á grafinu eru sandar og önnur ógróin svæði sem koma fyrir í flestum hæðarbeltum og hafa áhrif á hvar línurnar skera GróLindar-gildið 3, ekki síst á Suðurlandi. Skoða ætti nýtingu ofan þeirra hæðarmarka sem hér voru nefnd fyrir hvern landshluta með gagnrýnum augum – færa má rök fyrir því að hún sé ekki sjálfbær nema að ljóst sé að nýtingin einskorðist við vel gróið land í góðu ástandi.

20.4.2. Votlendi hafa þanþol

Votlendi hafa mikið þanþol (mynd 20.17). Þau eru einmitt áberandi í þeirri gróðurþekju sem eftir er á landinu, og þau héruð sem nú eru best gróin eru votlend í eðli sínu: Suðurlandsundirlendið, Vesturland og Norðvesturland.



Mynd 20.15. Tengsl ástands lands og hæðar yfir sjávarmáli. Hver punktur tákna 500x500 m reit, en alls eru reitirnir 472. Landið er flokkað í fjögur mismunandi svæði sem sýnd eru á mynd 20.14. Ástand lands er meðalgildi GróLindar fyrir hvern reit. Línur tákna tengsl hæðar og ástands fyrir hvert svæði. Ástandið versnar hratt með hæð yfir sjávarmáli. Ástandsgildið 3 er dregið á grafið, sem segja má að skilji á milli ásættanlegs og óásættanlegs ástands með tilliti til beitar. Að meðaltali skera línurnar þetta gildi í um 200 m hæð (Vestfirðir og annes norðanlands), um 250 m hæð (Suður- og Vesturland) og 400 m hæð (Norður- og Vesturland). Byggt á ÓA o.fl. 2022.



Mynd 20.16. Illa farið land með virku rofi sem stendur fremur lágt á annesi norðaustanlands. Loftslag á slíkum svæðum er kaldara en inn til landsins – sem hefur áhrif á þanþol þessara svæða – enda benda niðurstöður rannsókna (mynd 20.15) til þess að þau séu iðulega í slæmu ástandi þó svo að mörg svæðanna séu votlend og ekki innan gosbelta – sem einnig hefur áhrif á hvert ástand landsins er nú á tímum eftir nýtingu síðustu þúsaldar.



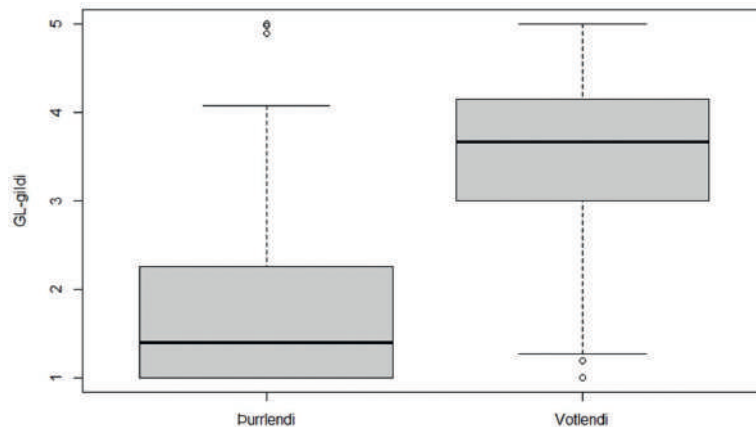
Mynd 20.17. Votlendi á Mýrum á Vesturlandi með mikið þanþol. Svæðið telst meðal best grónu svæða landsins er varðar þekju (gróðurhulu). Jarðvegur þurrlendisins er grunnur en hann hefur sums staðar látið undan síga í aldanna rás, en ekki í sama mæli og þurrlendisjarðvegur gosbeltanna.

Vesturland og Norðvesturland eru einnig tiltölulega fjarri gosbeltinu sem minnkar líkur á eyðingu þeirra, sbr. líkan á mynd 20.13.

Rannsóknir ÓA o.fl. (2022) sýna einmitt að líkur á góðri ástandseinkunn (GróLind) eru mun meiri fyrir votlendissvæði en þurrlandissvæði, en dreifing GróLindar-einkunnar er sýnd á mynd 20.18. Votlendi hafa ennfremur áhrif á byggðamynstur og þéttleika byggðar, sem getur hafa haft áhrif á mynstur landhnignunar. Rannsóknir Árna Einarssonar (2019) á fornaldargörðum sýna einmitt að mörg svæði sem eru í eðli sínu þurrland voru afar þéttsetin á þjóðveldisöld (930–1262/1264) – sem hefur víða haft slæmar afleiðingar fyrir þurrlandisvistkerfi sem voru viðkvæm fyrir.

20.4.3. Halli lands og núverandi ástand þess

Ljóst er að halli lands skiptir meginmáli fyrir þanþol og stöðugleika vistkerfa. Mest verður rof þegar hlíðar hafa langan samfelldan halla og þar sem hann er mestur. Tertíer-stafllinn einkennist af stuttum brekkum með palli á milli og þar



Mynd 20.18. Dreifing meðaltalseinkunnar innan rannsóknareita samkvæmt mælikvarða GróLindar, skipt á milli þurrlandis og votlandis. Votlandin eru að meðaltali með umtalsvert hærri einkunn enda þanþol og stöðugleiki þeirra mun meiri en þurrlandissvæða.

hefur rof orðið minna en í hlíðum innan gosbeltisins. Einnig skiptir lögun hallans máli, sbr. umfjöllun um rof á Íslandi í 18. kafla. Við framkvæmd rannsókna ÓA o.fl. (2022) var litið til hallaþátta. Hæðarmunur innan rannsóknareita (meðalhalli) leiddi ekki til marktækra niðurstaðna, m.a. vegna fjölda svæða innan hraunlagastaflans frá Tertíer þar sem heildarmunur á milli lægsta og hæsta punkts er mikill í mörgum rannsóknareita en í heild fremur stuttar brekkur á milli palla. Tilvist urðarhlíða skilaði hins vegar marktækum niðurstöðum – ástand vistkerfa er víða bágborið í þeim. Þar hafa verið fyrir



Mynd 20.19. Urðarhlíð á Austurlandi. Líparítskriðurnar, þær sem voru á annað borð grónar, misstu líklega gróðurhuluna snemma og gróður á mjög erfitt með landnám í þeim vegna ófrjósemi. Gróður tórir þar sem bergið virðist basískara, eins og sést til vinstri við miðja mynd. Torfur hér og þar í hlíðunum bera vitni um gróðurhulu fyrri daga.

langar samfelldar brekkur sem hafa verið afar viðkvæmar fyrir nýtingu. Þegar rof hefst í slíkum hlíðum getur vatnsrof orðið gríðarlegt (mynd 20.19). Vissulega eru margar urðarhlíðar fagrar ásýndum en ástand þeirra er langt frá því að geta talist „náttúrulegt“.

20.4.4. Nálægð við gosbelti og aðrir þættir

Ljóst er að ástand lands innan gosbeltisins er almennt verra en utan þess. Þar fer saman lítið af votlendum (gropinn berggrunnur), rask vegna hraunrennslis og gjóskufalls, þykkur óstöðugur jarðvegur og sums staðar ágangur sands (áfoksgeirar o.fl.). Skipting landsins eftir magni áfoks var notuð sem nálgun á þessum þáttum og leiddi til marktæks munar innan gosbelta og utan í rannsókn ÓA o.fl. 2022. Það kemur vitaskuld ekki á óvart. Hér á eftir fer almenn umræða um alla þessa framangreinda og fleiri þætti til að fá fyllri mynd af hnignun og hruni íslenskra vistkerfa.

20.5. Þanþol, vistkerfi, loftslag og sagan

20.5.1. Hvar og hvenær?

Í upphafi byggðar hefur landnýting fyrst og fremst stuðlað að gróður-farsbreytingum, en rof þarf alls ekki að fylgja í kjölfarið nema þar sem kerfin eru veikust fyrir, sbr. líkanið hér að ofan. Það er ljóst að jarðvegur sem stóð hæst í nágrenni við gosbeltið eða innan þess var viðkvæmastur fyrir landnýtingu (mynd 20.20), eins og rannsóknir Grétars Guðbergssonar (1975, 1996) og Hjalta Guðmundssonar (1997) leiða glögglega í ljós.

Gróður og mold í bröttum samfelldum hlíðum hafa einnig staðið hlutfallslega veikar en önnur vistkerfi, ekki síst þar sem aðstæður eru með þeim hætti að mjög stórir úrkomuatburðir (>100 mm á sólarhring) geta orðið (mynd 20.19). Rannsóknir (t.d. Áslaugar Geirsdóttur o.fl. 2009) sýna að hnignunin hófst



Mynd 20.20. Uppgræddur reitur í um 800 m hæð yfir sjárvarmáli við Nýjadal á Sprengisandi, einn svokallaðra „Sturlu-reita“, nefndur eftir Sturlu Friðrikssyni sem gerði tilraunir með uppgræðslu á hálendi á nokkrum svæðum á landinu (Sturla Friðriksson og Jóhann Pálsson 1970). Borið var á reitinn í átta ár eftir sáningu upp úr 1960, sem telst ansi mikið inngríp. Gróðurinn hefur verið að breiðast mjög hægt út síðan (fáeinir cm á ári). Athyglisvert er hvernig inngríp af þessu tagi koma landinu til baka yfir ákveðinn þröskuld og þanþolið er nægjanlegt til að viðhalda þessari þekju. Stöðugleiki og næringarefni gera útslagið, sem m.a. greiddu leið fyrir myndun jarðvegsskánar. Náttúrulegur gróður er tekinn við og breiðist hægt út. Myndin er tekin sumarið 2014, Tungnafellsjökull í baksýn.

mun síðar þar sem þanþolið er meira, t.d. á Vesturlandi þar sem votlendi eru útbreidd og jarðvegurinn þynnri og fínkornóttari en á gosbeltinu og við það. Þá jókst rof mjög misjafnlega hratt á Norðausturlandi eftir svæðum. McGovern og félagar (2007) tóku eftir því að neikvæðar breytingar á vistkerfum urðu einkum í hluta Mývatnssveitar eftir 1717 (aldurssett öskulag), en Rannveig Ólafsdóttir og Hjalti Guðmundsson (2002) hafa bent á að breytingar hafi orðið fljótlega eftir landnám á svipuðum slóðum.



Mynd 20.21. Deyjandi skógur innarlega í Skyndidal í Lóni. Ástæðan er ofbeit. Á þessu svæði eyðist nú stórt samfellt skóglendi þar sem skógurinn nær ekki að endurnýja sig, en beitarálagið er mjög mikið. Þegar skógar sem þessir verða gamlir án endurnýjunar undir miklu beitarálagi verða þeir útsettir fyrir sjúkdómum, sem stundum er ranglega kennt um eyðingu þeirra. Mynd: Friðþór Sófus Sigurmundsson.

Hnignun og eyðing skóglendis á landinu var e.t.v. afdrifaríkasta breytingin, a.m.k. á láglandi, því skógurinn léði kerfunum mikið þanþol og batt jarðveginn saman en hin skóglausu svæði voru víða afar viðkvæm fyrir frekara raski. Eitt lykiltríði í viðhaldi birkiskóganna er endurnýjun, en umtalsverð beit kemur í veg fyrir hana, sem verður til þess að skógar deyja smám saman. Auk þess eru gamlir beittir skógar, þar sem endurnýjun á sér ekki stað, útsettir fyrir sjúkdómum, sem síðan er jafnvel ranglega kennt um skógareyðingu (mynd 20.21). Því miður á það sér stað enn þann dag í dag. Um hnignun skóganna er að öðru leyti ekki fjallað hér, en benda má á bók Sigurðar Blöndal og Skúla Björns Gunnarssonar (1999): *Íslandsskógar*.

Mikið af þeim rannsóknum sem taka á umhverfisbreytingum eftir landnám byggjast á áfokshraða í jarðvegi. Áfokshraðinn endurspeglar hins vegar ekki nema að hluta stórfelldar breytingar á gróðurfari og eiginleikum moldarinnar, ekki síst ef landhnignun fylgir ekki uppfoð á efnunum. Þá er vatnsrof virkari þáttur en uppfoð á mörgum svæðum, ekki síst þar sem moldin er grunn. Virkni vindrofs er ákaflega mismunandi á landinu eftir veðurfari og landgerðum (m.a. útbreiðslu votlendis, halla lands, nálægð við hálendi, nálægð við auðnir, kornastærð, þykkt jarðvegs, sbr. líkanið á mynd 20.13). Þá hefur uppruni áfoks

breyst mikið í tímans rás og er núna að stórum hluta bundinn sérstökum „heitum reitum“ uppfoðs (sjá ÓA o.fl. 2019 a,b), sem m.a. má rekja til þess að jöklar hafa hörfað síðustu öldina og að nánast allur viðkvæmasti jarðvegurinn er þegar eyddur.

Því er mikilvægt að reyna að beita sem fjölbreyttustu rannsóknaaðferðum, eftir því sem við verður komið, samhliða t.d. frjókornarannsóknum, skoðun á margvíslegum sögulegum heimildum o.s.frv., eins og gert var af Vickers o.fl. (2011) á Suðurlandi, í Þjórsárdal af Friðþóri S. Sigurmundssyni o.fl. (2014) og á Vesturlandi af Gathorne-Hardy o.fl. (2009). Enda eru heimildir og vísbendingar um landhnignun á Íslandi afskaplega fjölbreytilegar, eins og tekið var saman hér á undan.

20.5.2. Loftslag, þanþol og hrun

Loftslag fór kólnandi þegar fyrir landnám, sem sést m.a. af því að birki var tekið að láta undan síga (t.d. Lawson o.fl. 2007), sem hefur einmitt dregið úr þanþoli birkiskóga og gert þá viðkvæmari fyrir nýtingu mannsins. Rannveig Ólafsdóttir o.fl. (2001)

ályktuðu að trjáhula sem og gróðurhula almennt hafi farið hnignandi fyrir landnám vegna kólnunar loftslags sem hófst fyrir tæplega 3 000 árum, þróun sem leiddi til kuldaskeiðs sem stóð sem hæst u.þ.b. 1 300–1 900. Hin svala tíð „litlu ísaldarinnar“ var þó ekki samfelldur kuldatími.

Rannsóknir á vatnaseti leiða í ljós að „litla ísöldin“ skiptist í samfelld hagstæð loftslagstímabil með kuldatímabilum á milli sem gátu varað nokkra áratugi (Áslaug Geirsdóttir o.fl. 2009). Náttúruleg vistkerfi sem ekki eru nýtt af mannum laga sig að breytingum á loftslagi, þau nýta m.a. góðu árin til að endurnýja styrk sinn, og flest íslensk vistkerfi, nema þau sem stóðu hæst, höfðu að öllum líkindum nægt þanþol til að ganga í gegnum kuldatímabil og ná sér síðan aftur á strik þegar hlý ár gengu í garð. Samspil skerts þanþols og kaldara loftslags hefur verið afdrifaríkast fyrir vistkerfi hálendisins, þar sem jafnvel lítil nýting (t.d. fuglar og búfénaður) samfara öðrum áföllum á borð við eldgos hefur getað valdið stórfelldri eyðingu, sbr. umfjöllun um suðvesturríki Bandaríkjanna og beitarumræðu hér fremst í kaflanum. Streeter og Dugmore (2013) bentu á að jarðvegsrof minnkaði t.d. í kjölfar fólksdauða af völdum plágunnar miklu 1402, sem sést af minna áfoki, en slík skammtímaáhrif vega þó minna en langtímaáhrif nýtingar í margar aldir (Streeter o.fl. 2012).

Slæmu árferði er gjarnan kennt um hnignun landkosta hér á landi, enda hefur loftslag mikil áhrif á starfsemi vistkerfa. Vísindamenn eru alls ekki allir á sama máli um hversu alvarleg áhrif árferðisins voru á vistkerfi í samanburði við aðra þætti (Ogilvie 2005). Áhrifin eru háð ástandi vistkerfa, þanþoli – þ.e. samspili margra þátta sbr. líkan á mynd 20.13.

Þar sem landnýting er þung og/eða þanþol skert af einhverjum orsökum eru áhrif langvarandi kulda mun meiri

en ella. Eyðing skóga, sem breytir nærveðurfari og næringarhringrásinni í moldinni, hefur örugglega haft mikil áhrif á útreið þurrlandisvistkerfanna á gostbeltunum og í nágrenni þeirra og þar hefur slæmt árferði og gjóskugos í kjölfar skógarfellis haft slæm áhrif. Doner (2003) taldi að þung landnýting yfirskyggði áhrif af köldu árferði, en þá ályktun byggði hann á rannsóknum á vatnaseti á Vestfjörðum. Streeter o.fl. (2012) fjölluðu um hvernig öflugt þanþol seinkar áhrifum af köldu árferði. Það er ávallt mikilvægt að hafa í huga að minni framleiðni í köldum árum, þegar mjög hefur reynt á þanþolið, leiðir til veldisvaxandi álags á vistkerfi. Í kjölfarið fylgir iðulega hinn þekkti „vítahringur landhnignunar“ með sífellt auknu álagi á þær auðlindir sem eftir eru. Hafís fylgdi köldustu árunum, sem lokaði meðal annars höfnum svo ekki var hægt að róa til fiskjar (sjá Ogilvie og Trausta Jónsson 2001), og þar með óx álag á auðlindir á landi. Ogilvie og Trausti Jónsson (2001) telja að áhrif slæms árferðis á „litlu ísöldinni“ hafi í raun verið lítilvæg miðað við áhrif landnýtingarinnar. Í þessu riti er lögð áhersla á samspil þáttanna, sbr. líkan á mynd 20.13. Spurningin um áhrif loftslagsbreytinga í samanburði við áhrif landnýtingar er vitaskuld í brennidepli eftir því sem áhrif gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu verða meiri (sjá Herrick o.fl. 2013).

20.6. Þanþol og jarðvegseiginleikar

Aðalástæðan fyrir ólíkum örlögum vistkerfa á Íslandi má rekja til samspils álagsins á þau, annarra álagspátta á borð við gjóskugos og mismunandi þanþolsvistkerfanna, sbr. líkanið á mynd 20.13. Þau sem tæpast stóðu þoldu ekki að þanþolið minnkaði og þegar fleiri áföll dundu yfir (slæmt árferði og gjóskufall), ásamt áframhaldandi beit, fylgdi eyðing í kjölfarið. Hæð yfir

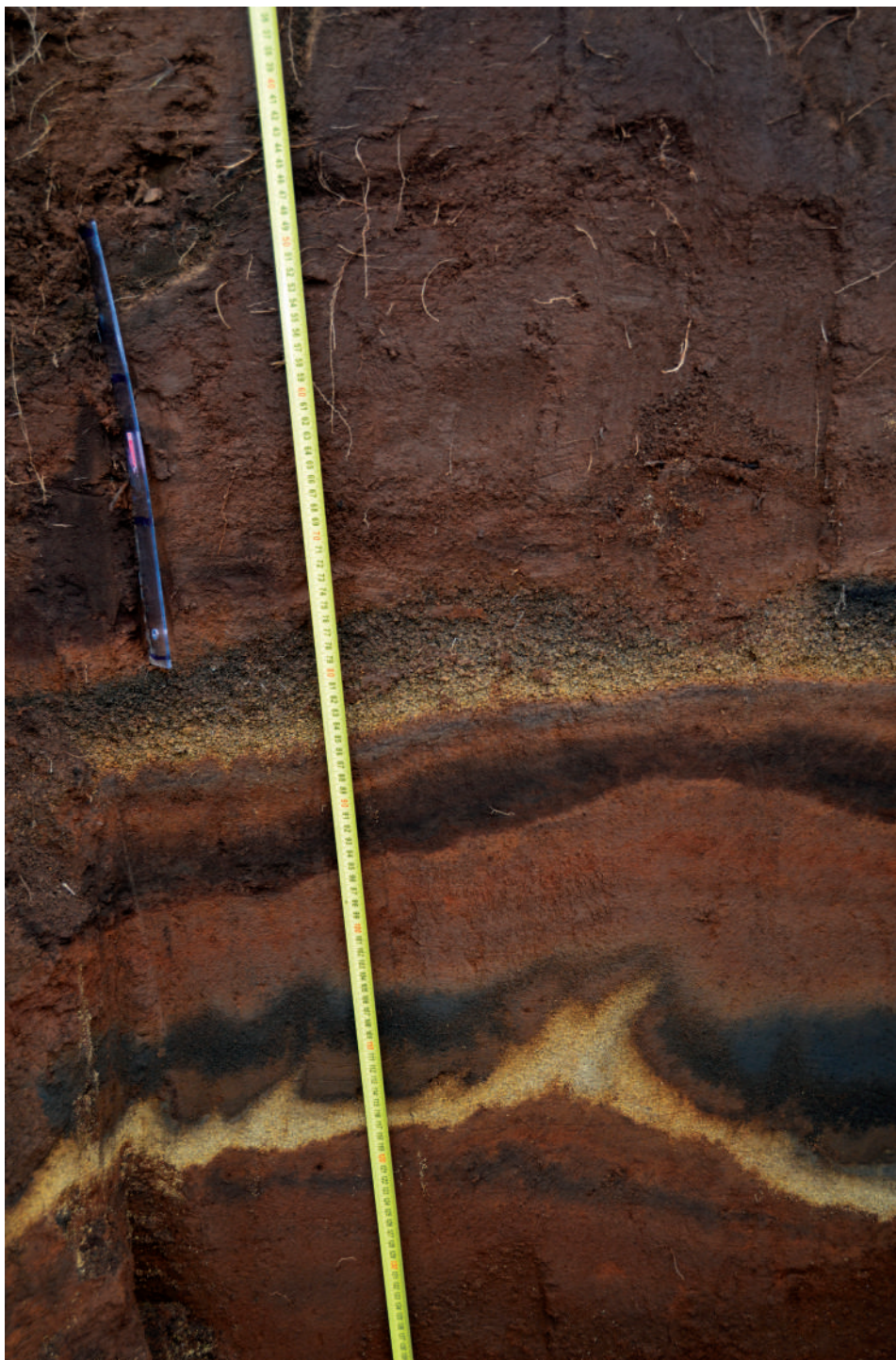
sjávarmáli, sem endurspeglar loftslag, er mikilvægasti þátturinn samkvæmt líkani ÓA o.fl. (2022), eins og áður var rakið. Gerð moldarinnar hefur einnig megináhrif á þanþol vistkerfa ásamt ýmsum gróðurþáttum, svo sem hæð gróðurs og samsetning hans (sem m.a. er háð loftslagi/hæð yfir sjávarmáli), en vitaskuld spila gróður- og moldarþættirnir saman, þeir eru háðir hver öðrum.

Það er mikilvægt að hafa í huga að landhnignunin fól ekki aðeins í sér rof á jarðvegsauðlindinni (þ.e. að moldin var fjarlægð) heldur hnignun moldarinnar (m.a. minna kolefni, nitur og hægari umsetning næringarefna), sem og stórfelldar breytingar á gróðurfari. Allir þessir þættir hafa áhrif á þanþol. Fimm eiginleikar moldarinnar eru hvað mikilvægastir í þessu samhengi: rakastig og vatnsheldni, kornastærð, samloðun, þykkt jarðvegsins og lífrænt innihald (oftast metið eða mælt sem % C).

20.6.1. Grófur og þykkur jarðvegur er viðkvæmur fyrir rofi

Grófum jarðvegi gosbeltisins er hættast við uppblæstri og vatnsrofi. Það er vegna þess að samloðun í honum er lítil, kornin sjálf hafa mikinn rofmátt þegar vindur eða vatn ná að hreyfa við þeim, auk þess sem slíkur jarðvegur þornar auðveldlega. Á það sérstaklega við þar sem þykk, gróf gjóskulög eru í moldinni, enda samloðun nánast engin í þeim jarðvegslögum. Þar er lífrænt innihald jarðvegsins jafnframt oft lágt, ekki síst í kjölfar langvarandi nýtingar.

Þykka, grófa mold var helst að finna í nágrenni virkustu eldstöðvanna, svo sem Heklu, Kötlu, Grímsvatna og Bárðarbungu. Vikurkennd gjóska er gróf og létt í eðli sínu og fýkur mjög auðveldlega. Gróf gjóska er áberandi í þeirri mold sem eftir er á afréttum sunnanlands, m.a. á milli Hofsjökuls og



Mynd 20.22. Jarðvegur með grófu gjóskulagi. Þegar gróðurhulan opnast hafa þessi grófu korn afskaplega mikinn rofmátt. Sniðið er úr ofanverðri Árnessýslu.

Langjökuls, sem og víða á Suðurlandi (mynd 20.22). Vindur hreyfir jafnvel vikurkorn sem eru yfir 1 cm í þvermál, en rofafl slíkra korna þegar þau berast með hvössum vindi er gríðarlegt. Þar sem mikið er af grófri gjósku þegar moldin rofnar leggst til nægur efniviður til að valda miklu tjóni. Þegar vistkerfi með jarðvegi af þessu tagi standa tæpt vegna landnýtingar á borð við beit og skógarnytjar eru þau mjög viðkvæm fyrir frekara raski og eyðing getur þá orðið ör

og jafnvel leitt til myndunar áfoksgeira. Þá fara saman margir þættir í líkaninu á mynd 20.13.

Þykkur jarðvegur leggur til mikinn efnivið til rofs þegar landið opnast og því er honum mikið hættara við rofi og víðtækum áhrifum þess í samanburði við svæði þar sem jarðvegurinn er þunnur. Rofabörð myndast einkum þar sem jarðvegur er þykkari en u.þ.b. 30 cm, þannig að óvarið lag myndast á milli rótarmottu og berggrunnis (sjá ÓA 2000). Sé moldin orðin þykkari en t.d. 1,5–2 m á þurrlandi eru gróf gjóskulög venjulega til staðar. Moldaryfirborðið verður óstöðugra, bæði vegna hæðarinnar og tilvistar þessara grófu öskulaga. Enda er það svo að það er einkum grófur og þykkur þurrlandisjarðvegur sem hefur orðið eyðingaröflum að bráð, vistkerfi sem voru á og við gosbelti landsins. Á

mörgum svæðum þar sem svo háttar til eru vistkerfin sem þar voru áður algjörlega eydd.

20.6.2. Eldgos og hnignun landsins

Eldgos og gjóskufall sem þeim fylgir eru orlagavaldar í sögu hnignunar vistkerfa á Íslandi en áhrif þeirra eru þó samofin þanþoli kerfanna. Áföll eru einn meginþáttanna í líkaninu á mynd 20.13 fyrir afdrif íslenskra vistkerfa. Hæð gróðurs hefur megináhrif á þol kerfa gagnvart öskufalli – neikvæð áhrif öskunnar vaxa ört eftir því sem gjóskan hylur meira af gróðrinum (sjá ÓA 2013), en einnig er samsetning gróðurs og strúktúr mikilvægir þættir (Cutler o.fl. 2016). Rannsóknir Sigrúnar Daggar Eddudóttur o.fl. (2015, 2016, 2017) sýna m.a. að þar sem birkikjarr var fyrir stóðust vistkerfin vel gríðarlegt



Mynd 20.23. Búrfellsskógur í austurhlíðum Búrfells, skammt frá Heklu. Þjórsá í forgrunni en bergvatnsáin Bjarnarlækur rennur út í hana til hægri á myndinni. Skógurinn hefur lífað af mikið gjóskufall, jafnvel þótt hann standi í brattri hlíð. Hallinn kann jafnvel að hafa hjálpað, nýfallin gjóska hefur runnið ofan af svarðlaginu niður brekkuna í vatnsveðrum. Svæðið er fremur óaðgengilegt, sem hefur dregið úr líkum á mikilli nýtingu af völdum skógarhöggs og beitar. (Myndin er tekin árið 2020.)

áfall sem varð af völdum H4 eldgossins (risastórt gjóskugos í Heklu fyrir 4 200–4 300 árum, vikurmökkinn lagði til norðurs; Guðrún Larsen og Jón Eiríksson 2008). Gjóskufallið olli þó miklum gróðurfarabreytingum í átt til mólendis, sem er tiltölulega stöðugt en á lægra stigi en þau vistkerfi sem voru til staðar fyrir gosið, enda var komið álag á kerfin vegna kólnandi loftslags. Slík færsla er dæmigerð fyrir ástandsstig og breytingar í samræmi við þanþol.

Á 19. öld jókst byggð víða á jaðarsvæðum, eins og uppi á Jökuldalsheiði, sem hafði áhrif á hæð og samsetningu gróðurs sem og næringarástand moldar á heiðinni. Öskjugosið 1875 dreifði gjósku út yfir svæðið og í kjölfarið fylgdi mikil landeyðing – byggðin lagðist smám saman af (sjá Sigurð Þórarinsson 1979). Í þessu riti hefur verið lögð áhersla á að aska sem fellur á illa gróið land sé óstöðug og fjúki á ný. Strúktúr gróðursins hefur áhrif á hvar askan getur safnast fyrir, t.d. í viðibrúskum (sjá m.a. Cutler o.fl. 2016). Gjóskufall hefur ennfremur áhrif á þanþol kerfanna og endurtekið gjóskufall er talinn mikilvægur þáttur í eyðingu svæða á Íslandi, eins og Dugmore o.fl. (2007) bentu á í tengslum við eyðingu Þjórsárdals þar sem gosið í Heklu 1104 veikti kerfin, en gosið árið 1300 gerði víða útslagið (tíð áföll í líkaninu á mynd 20.13).

Stóru Heklugosin sem dreifðu ösku yfir stóran hluta landsins höfðu áhrif á sögu vistkerfanna, ekki aðeins í kjölfar landnámsins heldur einnig á forsögulegum tíma. Þar má t.d. nefna gjósku frá Heklu sem féll fyrir landnám í risastóru gjóskugosi fyrir um 3 100 árum og nefnt er H3, en rannsóknir á borkjörnum í Hvítárvatni sýna að mikið rof hefur orðið í umhverfi þess í yfir 100 ár eftir gosið (sjá Larsen o.fl. 2011). Gjóska úr þessu gosi er áberandi í jarðvegi víða um land. En vistkerfin náðu sér smám saman eigi að síður, jafnvel á svæðum

þar sem gjóskan var meira en 10 cm þykk. Gróskumiklir birkiskógar verja sig t.d. vel fyrir áföllum af þessu tagi (mynd 20.23). Öðru máli gegnir um land þar sem nýting á borð við beit á sér stað í kjölfar stórra áfalla af völdum eldgosa.

20.7. „Og hvað með það?“

Ísland er meðal þeirra landa sem hafa orðið fyrir hvað mestri hnignun og hruni landkosta, eins og ljóst má vera af efni þessa kafla. Það er meðal mikilvægustu verkefna jarðvegsfræðinnar og fleiri fræðigreina á Íslandi að skilja ferli landhnignunar á Íslandi svo unnt sé að takast á við vandann með skilvirkum hætti. Núverandi ástand vistkerfa er þó afar breytilegt, allt frá mjög öflugum og stöðugum vistkerfum til fullkomlega hruninna kerfa. Ástand landsins var rætt í 19. kafla en hér voru tilgreindar fjölbreyttar heimildir fyrir vistkerfishruninu. Þá var lagt fram sérstakt líkan sem lýsir því hvaða þættir voru hvað mikilvægastir og útskýra að hluta ástand kerfanna í dag (ÓA o.fl. 2022).

Ljóst er að draga þarf úr beitarnýtingu á þeim svæðum sem viðkvæmust eru – þeim sem standa hátt yfir sjávarmáli og eru í bröttum hlíðum, og sérstaklega þarf að huga að kerfunum á Vestfjörðum og annesjum norðanlands þar sem gróðurmörk standa sérstaklega lágt. Einnig ætti að ganga út frá því að dregið sé markvisst úr nýtingu gróinna vistkerfa innan gosbeltanna – ekki síst við framtíðarskipulag landbúnaðar og stuðning við hann (Isabel Barrio og ÓA 2022, ÓA o.fl. 2022). Augljóst er að ekki ætti að nota illa farið land til beitar – auðnir, illa gróið land og rofsvæði. Sérstaklega ætti að hlífa sendnum svæðum við beit nema að öflugt vistkerfi sé til staðar sem verndi moldina.

Heimildir

Andrés Arnalds 1987. Ecosystem disturbance in Iceland. Arctic and Alpine Research 19:508–513.

Andrés Arnalds 1988a. Landgæði á Íslandi fyrr og nú. Í: Andrés Arnalds (ritstj.), Græðum Ísland I. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti. Bls. 13–31.

Andrés Arnalds 1988b. Brautin rudd. Saga landgræðslu á Íslandi fyrir 1907. Í: Andrés Arnalds (ritstj.), Græðum Ísland I. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti. Bls. 33–39.

Anna Sigríður Valdimarsdóttir og Sigurður H. Magnússon 2013. Gróður í Viðey í Þjórsá. Náttúrufræðingurinn 83:49–60.

Arnór Karlsson 1992. Birkileifar og kolagrafir á Biskupstungnafrétti. Í: Andrés Arnalds (ritstj.), Græðum Ísland IV. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti. Bls. 93–98.

Arnór Sigurjónsson 1958a. Ágrip af gróðursögu landsins til 1880. Í: Arnór Sigurjónsson (ritstj.), Sandgræðslan. Minnt 50 ára starfs Sandgræðslu Íslands. Búnaðarfélag Íslands og Sandgræðsla ríkisins, Reykjavík. Bls. 5–40.

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

Arnór Snorrason, Björn Traustason, Bjarki Þór Kjartansson, Lárus Heiðarsson, Rúnar Ísleifsson og Ólafur Eggertsson 2016. Náttúrulegt birki á Íslandi – Ný úttekt á útbreiðslu þess og ástandi. Náttúrufræðingurinn 86:97–111.

Árni Einarsson 2019. Tíminn sefur. Fornaldargarðarnir miklu á Íslandi. Mál og menning, Reykjavík.

Ása L. Aradóttir 2007. Restoration of birch and willow woodland on eroded areas. Í: G. Halldorsson, E.S. Oddsdóttir and O. Eggertsson (ritstj.), Effects of afforestation on ecosystems, landscape and rural development. TemaNord 2007: 508, Reykholth, Iceland, June 18–22, 2005. Bls. 67–74.

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

Áslaug Geirsdóttir, G.H. Miller, Þorvaldur Þórðarson og Kristín B. Ólafsdóttir 2009. A 2000 year record of climate variations reconstructed from Haukadalsvatn, West Iceland. Journal of Paleolimnology 49:95–115.

Björn Traustason, Sigmar Metúsalemsson, Einar Grétarsson, Fanney Ósk Gísladóttir og Ólafur Arnalds 2006. Gróðurmörk á Íslandi utan eldvirka beltisins. Fræðapening landbúnaðarins 2006: 295–298.

Bowden, C. 1987. Frog Mountain Blues. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA.

Bryndís Marteinsdóttir, Kristín Svavarsdóttir og Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2017. Multiple mechanisms of early plant community assembly with stochasticity driving the process. Ecology 99:DOI: 10.1002/ecy.2079.

Bryndís Marteinsdóttir, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Guðmundur Halldórsson, Jóhann Helgi Stefánsson, Jóhann Þórsson, Kristín Svavarsdóttir, Rán Finnsdóttir og Sigbrúður Jónsdóttir 2022. 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.

Bryndís Marteinsdóttir, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Guðmundur Halldórsson, Jóhann Helgi Stefánsson, Jóhann Þórsson, Kristín Svavarsdóttir, Magnús Þór Einarsson, Sigbrúður Jónsdóttir og Sigmundur Helgi Brink 2020. Stöðumat á ástandi gróður- og jarðvegsauðlinda Íslands. Aðferðafræði og faglegur bakgrunnur. Drög. Landgræðsla ríkisins. groLind.is. Júní 2020.

Charnley, S., T.E. Sheridan, G.P. Nabhan (ritstj.) 2014. Stitching the West Back Together. The University of Chicago Press Ltd. Chicago, USA.

Cutler, N.A., R.M. Bailey, K.T. Hickson, R.T. Streeter og A.J. Dugmore 2016. Vegetation structure influences the retention of airfall tephra in a sub-Arctic landscape. Progress in Physical Geography 40:661–675.

Diamond, J. 2005. Collapse. Penguin, New York, USA.

Donahue, D.L. 1999. The Western Range Revisited. Removing Livestock From Public Lands to Conserve Native Biodiversity. University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma, USA.

Doner, L. 2003. Late-Holocene paleoenvironments of northwest Iceland from lake sediments. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 193:535–560.

Dugmore, A.J., A.J. Newton, Guðrún Larsen og G.G.T. Cook 2000. Tephrochronology, environmental change and the Norse colonisation of Iceland. Environmental Archaeology 5:21–34.

Dugmore, A.J., M.J. Church, K-A. Mairs, T.H. McGovern, S. Perdikaris og Orri Vésteinnsson 2007. Abandoned farms, volcanic impacts, and woodland management: revisiting Þjórsárdalur, the „Pompeii of Iceland“. Arctic Anthropology 44:1–11.

Dugmore, A.J., M.J. Church, P.C. Buckland, K.J. Edwards, I.T. Lawson, T.H. McGovern, E. Panagiotakopulu, I.A. Simpson, P. Skidmore og Guðrún Sveinbjarnardóttir 2005. The Norse Landnám on the North Atlantic Islands: An environmental impact assessment. Polar Record 41:21–37.

Egill Erlendsson, K.J. Edwards og P.C. Buckland 2009. Vegetational response to human colonisation of the coastal and volcanic environments of Ketilsstaðir, southern Iceland. Quaternary Research 72:174–187.

Faney Ósk Gísladóttir, Ólafur Arnalds og Guðrún Gísladóttir 2005. The effect of landscape and retreating glaciers on wind erosion in South Iceland. Land Degradation and Development 16:177–187.

Friðþór S. Sigurmundsson, Guðrún Gísladóttir og Hreinn Óskarsson 2014. Decline of birch woodland cover in Þjórsárdalur Iceland from 1587–1938. Human Ecology 42:577–590.

Gathorne-Hardy, F.J., Egill Erlendsson, P.G. Langdon og K.J. Edwards 2009. Lake sediment evidence for late Holocene climate change and landscape erosion in western Iceland. Journal of Paleolimnology 42:413–426.

Gerrard, A.J. 1985. Soil erosion and landscape stability in southern Iceland: a tephrochronological approach. Í: K. Richards, R. Arnett og S. Ellis (ritstj.), Geomorphology and Soils. George Allen and Unwin Ltd, UK. Bls. 78–95.

Gísli Gunnarsson 1983. Monopoly trade and economic Stagnation: Studies in the foreign trade of Iceland 1602–1787. Ekonomisk-historiska Institutionen, Lund, Meddelande XXXII.

Grétar Guðbergsson 1975. Myndun móajarövegs í Skagafirði. Íslenskar landbúnaðarránnsóknir 7:20–45.

Grétar Guðbergsson 1996. Í norðlenskri vist. Um gróður, jarðveg, búskaparlög og sögu. Icelandic Agricultural Sciences 10:31–89.

Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson, R. Lal og J. Bigham 2010. Erosional effects on terrestrial resources over the last millennium in Reykjanes, southwest Iceland. Quaternary Research 73:20–32.

Guðrún Larsen og Jón Eiríksson 2008. Postglacial volcanism in Iceland. Jökull 58: 197–228.

- Guðrún Sveinbjarnardóttir, P.C. Buckland og A.J. Gerrard 1982. Landscape change in Eyjafjallasveit, Southern Iceland. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 36:75–88.
- Gunderson, L.H., C.R. Allen og C.S. Holling 2010. *Foundations of ecological resilience*. Island Press, Washington, USA.
- Gunnar Karlsson 2000. *Iceland's 1100 Years. History of a Marginal Society*. C. Hurst & Co Ltd, London, UK.
- Guttormur Sigbjarnarson 1969. Áfok og uppblástur. *Náttúrufræðingurinn* 39:68–118.
- Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science* 162:1243–1248.
- Hákon Bjarnason 1942. Ábúð og örtröð. *Ársrit Skógræktarfélagss Íslands* 1942:8–40.
- Herrick, J.E., O.E. Sala og J.W. Karl 2013. Land degradation and climate change: a sin of omission? Guest editorial. *Frontiers in Ecology* 11:213.
- Hjalte J. Guðmundsson 1997. A review of the Holocene environmental history of Iceland. *Quaternary Science Reviews* 16:81–92.
- Hudak, M. 2007. *Western Turf Wars. The Politics of Public Lands Ranching*. Biome books, Binghamton, New York, USA.
- Imeson, A. 2012. *Desertification, Land Degradation and Sustainability. Paradigms, Processes, Principles and Policies*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Inga Svala Jónsdóttir 1984. Áhrif beitar á gróður Auðkúluheiðar. *Náttúrufræðingurinn* 53:19–40.
- Isabel 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/10.1007/978-3-662-09202-2_920.
- Jakobs, L. 1991. *Waste of the West. Public Lands Ranching*. Lynn Jacobs, Tucson, Arizona.
- Landvernd 2021. *Vörsluskylda búfjár*. Landvernd, Reykjavík.
- Larsen, D.J., G.H. Miller, Áslaug Geirsdóttir og Þorvaldur Þórðarson 2011. A 3000-year varved record of glacier activity and climate change from the proglacial lake Hvítárvatn, Iceland. *Quaternary Science Reviews* 30:2715–2731.
- Lawson, I.T., F.J. Gathorne-Hardy, M.J. Church, A.J. Newton, K.J. Edwards, A.J. Dugmore og Árni Einarsson 2007. Environmental impacts of the Norse settlement: palaeoenvironmental data from Mývatnssveit, northern Iceland. *Boreas* 36: DOI 10.1080/03009480600827298.
- Lilja Jónsdóttir 2020. *Beitarréttur. Lögfestar takmarkanir í þágu náttúruverndar*. ML-ritgerð, Háskólinn í Reykjavík.
- Margrét Hallsdóttir 1982. Frjógreining tveggja jarðvegssniða úr Hrafnkeldal. Áhrif ábúðar á gróðurfar dalsins. Í: Helga Þórarinsdóttir o.fl. (ritstj.), *Eldur er í norðri*. Sögufélagið Reykjavík. Bls. 253–265.
- Margrét Hallsdóttir og C.J. Caseldine 2005. The Holocene vegetation history of Iceland, state-of-the art and future research. Í: C. Caseldine, A. Russell, Jónn Harðardóttir, Ó. Knudsen (ritstj.), *Iceland – Modern Processes and Past Environments*. *Developments in Quaternary Sciences* 5:319–334.
- McGovern, T.H., Orri Vésteinsson, Adolf Friðriksson, M.J. Church, I.T. Lawson, I.A. Simpson, Árni Einarsson og 11 fleiri höfundar 2007. Landscapes of settlement in northern Iceland: historical ecology of human impact and climate fluctuation on the millennial scale. *American Anthropologist* 109:27–51.
- Montgomery, D.R. 2007. *Dirt. The erosion of civilizations*. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Ogilvie, A.E.J. 2005. Local knowledge and travellers' tales: a selection of climate observations in Iceland. Í: C. Caseldine, A. Russell, Jónn Harðardóttir, Ó. Knudsen (ritstj.), *Iceland – Modern Processes and Past Environments*. *Development in Quaternary Sciences* 5:257–287.
- Ogilvie, A.E.J. og Trausti Jónsson 2001. „Little Ice Age“ research: A perspective from Iceland. *Climate Change* 48:9–52.
- Ólafur Arnalds 1992. Jarðvegsleifar í Ódáðahrauni. *Græðum Ísland IV, Árbók Landgræðslu ríkisins, Andrés Arnalds (ritstj.)*. Bls. 159–164.
- Ólafur Arnalds 2000. The Icelandic 'rofabard' soil erosion features. *Earth Surface Processes and Landforms* 25:7–28.
- Ólafur Arnalds 2013. The influence of volcanic tephra (ash) on ecosystems. *Advances in Agronomy* 121:331–380.
- Ólafur Arnalds 2015. *The Soils of Iceland*. World Soils Book Series, Springer, Dordrecht, Holland.
- Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 2011. *Almenningar. Ástand jarðvegs og gróðurs*. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.
- Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 2015. *Að lesa og lækna landið*. Landvernd, Landgræðsla ríkisins og Landbúnaðarháskóli Íslands, Reykjavík.
- Ólafur Arnalds og Jón Guðmundsson 2020. Loftslag, kolefni og mold. *Rit LbhÍ nr. 133*. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.
- Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir og Fanney Ósk Gísladóttir 2019a. Sandauðnir, sandfok og ryk á Íslandi I. *Sandar og fok*. *Náttúrufræðingurinn* 89:5–47.
- Ólafur Arnalds, Pavla Dagsson-Waldhauserová og Sigmundur Helgi Brink 2019b. Sandauðnir, sandfok og ryk á Íslandi II. *Áfok og ryk*. *Náttúrufræðingurinn* 89:132–145.
- Ólafur Arnalds, Bryndís Marteinsdóttir, Sigmundur Helgi Brink og Jóhann Þórsson 2022. A framework model for current land condition in Iceland. *Í ritryningu*.
- Ólafur Arnalds, Hlynur Óskarsson, Sigmundur Helgi Brink og Fanney Ósk Gísladóttir 2016. Icelandic inland wetlands: Characteristics and extent of draining. *Wetlands* 36:759–769, DOI 10.1007/s13157-016-0784-1.
- Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemsson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson og Arnór Árnason 1997. *Jarðvegsrof á Íslandi*. Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík.
- Rannveig Ólafsdóttir og Hjalte J. Guðmundsson 2002. Holocene land degradation and climate change in Northeastern Iceland. *The Holocene* 12:159–167.
- Rannveig Ólafsdóttir, P. Schlyter og Hörður V. Haraldsson 2001. Simulating Icelandic vegetation cover during the Holocene. Implications for long-term land degradation. *Geografiska Annaler* 83(A):203–215.
- Serra, G. 2015. Over-grazing and desertification in the Syrian steppe are the root causes of war. *The Ecologist* 5:1–7.

- Sigrún Dögg Eddudóttir, Egill Erlendsson og Guðrún Gísladóttir 2015. Life on the periphery is tough: Vegetation in Northwest Iceland and its responses to early-Holocene warmth and later climate fluctuations. *Holocene* 25:1,437–1,453.
- Sigrún Dögg Eddudóttir, Egill Erlendsson og Guðrún Gísladóttir 2017. Effects of the Hekla 4 tephra on vegetation in Northwest Iceland. *Vegetation History and Archaeobotany* 26:389–402.
- Sigrún Dögg Eddudóttir, Egill Erlendsson, Leone Tinganelli og Guðrún Gísladóttir 2016. Climate change and human impact in a sensitive ecosystem: the Holocene environment of the Northwest Icelandic highland margin. *Boreas* 45:715–728.
- Sigurður Blöndal og Skúli Björn Gunnarsson 1999. Íslandsskógar. Mál og mynd, Reykjavík.
- 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 H. Magnússon 1997. Restoration of eroded areas in Iceland. Í: K.M. Urbanska, N.R. Webb, P.J. Edwards (ritstj.), *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Bls. 188–211.
- Sigurður H. Magnússon og Kristín Svavarsdóttir 2007. Áhrif beitarfriðunar á framvindu gróðurs og jarðvegs á lítt grónu landi. *Fjölrít Náttúrufræðistofnunar* 49.
- Sigurður Þórarinsson 1944. Tefrokronologiska studier på Island. *Geografiske Annaler* 26:1–217.
- Sigurður Þórarinsson 1961. Uppblástur á Íslandi í ljósi öskulagarannsókna. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands 1960–1961*:17–54.
- Sigurður Þórarinsson 1979. On the damage caused by volcanic eruptions with special reference to tephra and gases. Í: P.D. Sheets og D.K. Grayson (ritstj.), *Volcanic Activity and Human Ecology*. Academic Press, New York, USA. Bls. 125–159.
- Simpson, I.A., A.J. Dugmore, A. Thomson og Orri Vésteinsson 2001. Crossing the thresholds: human ecology and historical patterns of landscape degradation. *Catena* 42: 175–192.
- Snorri Sigurðsson 1977. Birki á Íslandi – útbreiðsla og ástand. *Skógarmál, útgefendur vinir Hákonar Bjarnasonar*. Bls. 146–172.
- Stoops, G., M. Gerard og Ólafur Arnalds 2008. A micromorphological study of Andosol genesis in Iceland. Í: S. Kapur, A. Mermut, G. Stoops (ritstj.), *New Trends in Micromorphology*. Springer, Heidelberg, Þýskaland. Bls. 67–90.
- Streeter, R.T. og A.J. Dugmore 2013. Reconstructing late-Holocene environmental change in Iceland using high-resolution tephrachronology. *Holocene* 23:197–207.
- Streeter, R., A.J. Dugmore og Orri Vésteinsson 2012. Plague and landscape resilience in premodern Iceland. *PNAS* 109:3664–3669.
- Streeter, R., A.J. Dugmore, I.T. Lawson, Egill Erlendsson og K.J. Edwards 2015. The onset of the palaeoanthropocene in Iceland: Changes in complex natural systems. *The Holocene* 25:1662–1675.
- Sturla Friðriksson 1991. Kolagrafir við Bláfell. *Lesbók Morgunblaðsins* 42. tbl. (23.11.1991). Bls. 6–8.
- Sturla Friðriksson og Jóhann Pálsson 1970. Landgræðslutilraun á Sprengisandi. *Íslenzkar landbúnaðarránnsóknir* 2:34–49.
- Vickers, K., Egill Erlendsson, M.J. Church, K.J. Edwards og J. Bending 2011. 1000 years of environmental change and human impact at Stóra-Mörk, southern Iceland: A multiproxy study of a dynamic and vulnerable landscape. *The Holocene* 21:979–995.
- Wall, D. 2017. *The commons in History*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Wuerthner, G. og M. Matteson 2002. *Welfare Ranching. The Subsidized Destruction of the American West*. Foundation for Deep Ecology/Island Press, Sausalito, California, USA.
- Wöll, C. 2008. Treeline of mountain birch (*Betula pubescens* Ehrh.) in Iceland and its relationship to temperature. Diploma thesis in Forest Botany, Technical University Dresden, Department of Forestry, Þýskaland.
- Þorleifur Einarsson 1962. Vitnisburður frjógreiningar um gróður, veðurfar og landnám á Íslandi. *Tímaritið Saga* 162:441–469.
- Þorleifur Einarsson 1994. Myndun og mótun lands. *Jarðfræði. Mál og menning*, Reykjavík.
- Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2015. *Saga gróðurs og umhverfis á Brunasandi*. Dynskógar, Héraðsrit Vestur-Skaftfellinga 2015. Bls. 1–70.

