



19

Umsátrið um landvistkerfi – hnignun og ástand lands



Mynd 19.1. Land í hnignuðu ástandi. Hér sjást gróðurtorfur þar sem áður var gróið land á Suðurlandi.

Lykilhugtök umhverfisfræða!

Segja má að hugtökin „landhnignun“ og „ástand lands“ séu núorðið meðal lykilhugtaka umhverfisfræða og innifeli einhver mikilvægustu viðfangsefni vísinda samtímans.

19.1. Landhnignun og ástand lands – lykilhugtök umhverfisfræðinnar

Það verður æ ljósara að vistkerfi jarðar hafa víða skaðast verulega og jafnvel hrunið vegna ofnýtingar mannsins. Barátta fyrir verndun umhverfisins verður sífellt fyrirferðarmeiri hluti umhverfisvísinda og tekur til æ fjölbreyttari viðfangsefna á borð við lög, félagsfræði og stjórnmal auk náttúruvísinda.

Þekkingaröflun og verkefni er lúta að landhnignun og ástandi lands krefjast vistfræðilegrar nálgunar á þverfaglegum grunni þar sem bæði vistfræði og jarðvegsfræði eru afar mikilvægar faggreinar, en einnig er þörf fyrir aðkomu samfélagsfræða af ýmsu tagi. Í raun eru „ástandsfræðin“ að verða á meðal mikilvægustu viðfangsefna jarðvegsfræða – á breiðum vistfræðilegum grunni – í ljósi bágs ástands vistkerfa jarðar.

Áhrif landnýtingar á íslensk vistkerfi eru meiri en víðast hvar annars staðar í heiminum, en samt hefur slæmu ástandi landsins verið tekið sem sjálfsögðum hlut. Það er alþjóðlegt vandamál. Skort hefur á aðgengilega umfjöllun um landhnignun og ástand lands á íslensku, sem og aðgengilegt yfirlit um ástand og hrun íslenskra vistkerfa, m.a. fyrir nemendur, kennara og fagfólk sem kemur að nýtingu lands. Að ekki sé talað um alla þá er láta sig náttúru landsins varða. Í þessum kafla er gerð tilraun til að bæta úr þessari þörf.

Í umfjölluninni hér á eftir verður víða komið við. Fyrst er rætt um landhnignun almennt og síðan ástand lands þar sem ýmsir þættir jarðvegs eru mikilvægir. Svokallaðar „undirliggjandi ástæður landhnignunar“ eru þýðingarmikill hluti umfjöllunarefnisins sem fá sér-

staka athygli í 21. kafla þar sem m.a. er rætt um „rangsnúna hvata“ sem drífa skaðlega landnýtingu, landbúnaðarstyrki, „samdaunasýki“ og „stofnanayfirtöku“. Allt eru þetta þættir sem varpa ljósi á af hverju svo hægt miðar að taka á augljósum vanda vegna hruns vistkerfa, jafnt alþjóðlega sem og hérlendis.

Hrun íslenskra vistkerfa er síðan rætt í næsta kafla (20. kafli) á undan umfjöllun um drifkrafta hnignunar (21. kafli).

Landhnignun (e. land degradation) felur í sér skerta virkni og þjónustu vistkerfa. Hún tekur til moldar, gróðurhulu og lífríkisins í heild – þ.e. vistkerfa. Líffjölbreytileiki er meðal þeirra þátta sem skaðast þegar vistkerfum hnignar. Landhnignun getur jafnframt haft áhrif á veðurfar á breiðum grunni.

Landbúnaður aflar verðmæta sem metin eru á um 2 000–4 000 þúsund milljarða dollara á ári – afurða sem fæða og klæða jarðarbúa – en mat á verðmætasköpuninni er misjafnt eftir heimildum (sjá t.d. heimasíðu CropLife.org). Mikilvægi landbúnaðar sem starfsgreinar verður seint ofmetið. Umhverfiskostnaður framleiðslunnar er þó gríðarlegur og afleiðingin er hnignun landkosta víða um lönd í nútíð og fortíð. Yfirborð jarðar er orðið annað en áður var – áhrif mannsins eru svo gríðarleg og víðtæk. Landhnignun veldur vaxandi álagi á þær auðlindir sem eftir eru, sem á endanum getur orsakað hungur, fólksflutninga og jafnvel styrjaldir. Menning er háð frjórri mold og hnignun menningarríkja í sögu mannkyns er iðulega tengd ofnýtingu jarðvegs og rangri nýtingu áveituvatns (t.d. Juo og Wilding 1997). Í Mesópótamíu, á milli ána Efrat og Tígrís, risu 11 menningarveldi á 7 000 árum sem hnigu til viðar í kjölfar skógarhöggs, ofbeitar og eyðingar jarðvegs. Menningarríki Maya í Mið-Ameríku, Grikkland til forna

og Rómarveldi eru einnig dæmi um ríki sem risu með auði moldar og hnignaði í kjölfar ofnýtingar sem hafði jarðvegsrof og önnur ferli landhnignunar í för með sér. Ástand þjóðfélaganna fyrir botni Miðjarðarhafs nú á dögum, með tilheyrandi stríðsrekstri og hörmungum, má að hluta til rekja til ofbeitar (t.d. Serra 2015). Líkur hafa verið færðar fyrir því að landhnignun hafi orsakað breytingar á loftslagi í norðanverðri Afríku – að sandauðnin mikla sé að hluta til orðin til vegna áhrifa mannsins (Wright 2017).

Ofnýting leiðir til vítahrings landhnignunar (mynd 19.2) sem Íslendingar þekkja mætavel af sögu sinni. Vítahringurinn getur hafist á svæðum þar sem dregur úr frjósemi og gróðurhulan rýrnar verulega vegna ósjálfbærrar landnýtingar. Afleiðingin er iðulega sú að minna vatn sígur ofan í moldina og meira vatn rennur burt á yfirborði, sem leiðir til jarðvegsrofs og takmarkaðs framboðs á vatni fyrir vöxt plantna og jafnvel til neyslu í samfélaginu. Það dregur úr framleiðni gróðurs og orkunámi kerfisins þannig að minna lífrænt efni leggst til moldarinnar en áður; orkuforði, frjósemi og vatnsheldni þverr. Með skertri gróðurþekju aukast einnig líkur á frostlyftingu, sem hindrar landnám gróðurs og stuðlar að rofi. Jafnframt eykst álag á þau vistkerfi sem ennþá eru heil því minna er til skiptanna. Þar sem vegferð innan víta hringsins er hafin verða afleiðingarnar hörmulegar nema gripið sé inn í atburðarásina í tíma.

19.2. Ferli – samantekt

Ferli landhnignunar eru margbreytileg (tafla 19.1). Tap á kolefni og næringarforða er eitt meginferlið. Þá geta orðið neikvæðar breytingar á ýmsum jarðvegseiginleikum, svo sem vatnsbindingu, ísigi, sýrustigi, jónrýmd o.fl. Mengun er vaxandi vandamál víða um heim, ekki síst af völdum þrávirkra lífrænna efna frá iðnaði og vegna

Langvarandi tap á gróðurþekju vegna ósjálfbærrar landnýtingar



Mynd 19.2. Vítahringur landhnignunar. (Mynd úr „Að lesa og lækna landið“, bls. 82; ÓA og Ása L. Aradóttir 2015; byggt á Whisenant 1999).

notkunar eiturefna í landbúnaði, svo sem skordýraeiturs og illgresiseyðis. Allt eru þetta ferli sem raska eigindum og ferlum innan vistkerfa – og veldur landhnignun. Hér verður lögð áhersla á moldarþætti og m.a. rætt nánar um tap á frjósemi jarðvegs, uppsöfnun salta í jarðvegi („söltun“ vistkerfa), „að fara í sand“ og auðnamyndun (eyðimerkurmyndun). Fjallað er um jarðvegsrof og rask á votlendum í öðrum köflum ritsins.

19.2.1. Minnkuð frjósemi og framleiðni vistkerfa

Þegar gróður rýrnar vegna of mikils álags skerðist jafnframt frumframleiðni því orkunám og vinnsla á kolefni úr andrúmsloftinu fyrir tilstuðlan ljóstillífunar dregst saman. Minni orka berst í moldina (kolefni) sem skerðir örverustarfsemi og hringrás næringarefna. Það sama gerist þegar gróðurhulan minnkar. Ofnýting, hvort heldur sem er af völdum beitar eða akuryrkju, veldur því að kolefnis- og næringarforði minnkar smám saman.

Skert frjósemi vistkerfa er víðtækasta form landhnignunar á jörðinni, en það er afar misjafnt hve langt þessi hnignun hefur gengið. Yfirleitt er hún alvarlegust á jaðarsvæðum þar sem frumframleiðni er takmörkuð af náttúrunnar hendi, t.d. þar sem úrkoma eða kuldi skerða þanþol kerfanna (Cherlet o.fl. 2018). Með öðrum orðum: kerfi eru margbreytileg og þau bregðast misjafnlega við álagi og tegund landnýtingar (mynd 19.3). Víðtæk landhnignun á sér stað vegna búfjárbættis á jörðinni. Í *World atlas of desertification* (Cherlet o.fl. 2018) segir:

Búfénaður hefur mest áhrif á vistkerfi jarðar

„Það er ólíklegt að nokkur önnur mannleg starfsemi hafi meiri umhverfisáhrif á land jarðarinnar þegar litið er til gríðarlegs umfangs búfjárbættis á hnettinum.“ (lausleg þýðing ÓA)¹

1. „Given the massive scale of livestock production systems, it is unlikely that any other single human activity has a larger environmental impact on the terrestrial land mass of the planet“ (Cherlet o.fl. 2018, bls. 62).

Öll kerfi má ofnýta – líka þau frjósömu – og það á sér einmitt stað um þessar mundir víða á frjósömustu svæðum

Afríku (mynd 19.4), Asíu og Suður-Ameríku. Við stórfellda skógareyðingu minnkar frumframleiðnin og hrun vistkerfa getur fylgt í kjölfarið. Sums staðar er langt síðan kerfum hnignaði á núverandi stig, t.d. víða umhverfis Miðjarðarhafið, en styttra er síðan það gerðist á amerísku meginlöndunum. Ísland er iðulega tekið sem dæmi um land þar sem frjósöm vistkerfi hafa hrunið, m.a. vegna þess að öll moldin sem fyrir var hefur tapast á stórum svæðum (t.d. Imeson 2012, Cherlet o.fl. 2018, bls. 109, Diamond 2005).

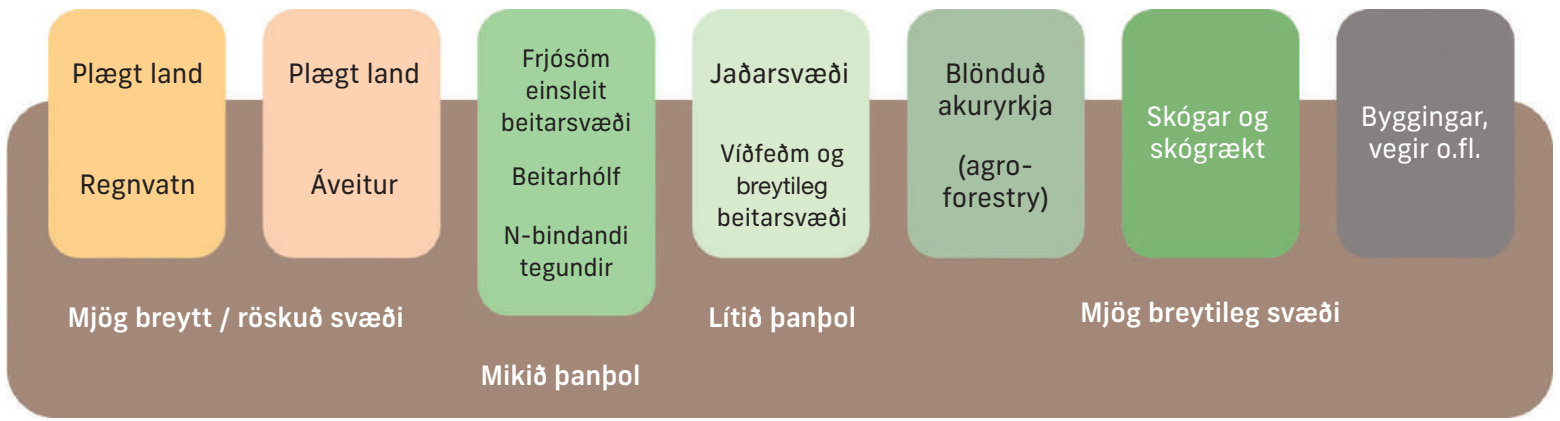
Kolefnisforðinn er góður mælikvarði bæði fyrir ræktuð kerfi og óplægð beitolönd. Síðan geta önnur form landhnignunar bæst ofan á skerta frjósemi kerfisins, m.a. þegar gróðurhula minnkar eða breytist til hins verra (á við um stærsta hluta Íslands), landið fer í sand eða sölt safnast fyrir í kerfinu, svo dæmi séu tekin.

19.2.2. Seltuvandi

Alvarleg og útbreidd birtingarmynd landhnignunar er „söltun jarðvegs“ eða

Tafla 19.1. Helstu ferli landhnignunar.

Ferli eða tegund ferla	Áhrif	Athugasemdir
Minnkuð frjósemi og framleiðni vegna nýtingar	Næringarforði tapast og hæfileiki til að miðla næringu og vatni.	Mörg ferli, tapast lífræn efni o.fl.
Jarðvegsrof	Sá hluti moldar sem geymir og miðlar næringu og vatni tapast.	Vindrof, vatnsrof, setmyndun o.fl.
„Söltun“ – seltuvandi	Sölt safnast fyrir í mold. Gróður nær ekki upp vatni og skrælnar.	Na ⁺ meginvandamálið
„Fara í sand“	Sandur tekur yfir. Skortir leir og lífræn efni. Hæfileiki til að miðla næringu og vatni tapast.	E: sandification
Mengun	Áhrif háð tegund mengunar, mengun frá námum og verksmiðjum, eitri í landbúnaði, samgöngum, hernaðarumsvifum, súru regni o.fl.	Fjölbreytt ferli
Þéttbýli (mannvirki)	Mold fjarlægð eða þakin ógegndræpum eignum svo sem steypu og malbiki.	E: soil sealing
Þurrkun votlenda	Áhrif á vatnsmiðlun og dýralíf langt út fyrir svæði meginrasks. Oft lækkun yfirborðs.	Smám saman eyðist lífræni forði kerfanna
Tap á líffjölbreytileika	Öll ferli hnignunar hafa áhrif á líffræðilega fjölbreytni, ofanjarðar og í mold.	Einnig geta búsvæði og vistgerðir tapast
Auðnamyndun/ eyðimerkurmyndun	Framleiðni minnkar mikið, oft minni hlutdeild gróðurs í yfirborðinu, geta moldar til næringar og vatnsmiðlunar verulega skert.	E: desertification (eða severe land degradation)



Mynd 19.3. Ólíkar tegundir landnýtingar sem mótast af þeim kerfum sem eru notuð. Hnignun vistkerfa er með misjöfnum hætti eftir tegund landnýtingar. Álag, miðað við þanþol kerfanna, er iðulega mest við beitarnýtingu á víðfeðmum jaðarsvæðum sem hafa tiltölulega lítið þanþol. Miklu skiptir að mat á ástandi lands taki mið af lífheimi og tegund landnýtingar – ekki er hægt að nota óbreyttar aðferðir á milli svæða, enda þótt um þau gildi sömu grundvallaratriði.

„seltuvandi“ (e. salinization). Þegar jarðvegurinn verður saltur tekur Na^+ -jónin stóran hluta jónrýmdarsæta² í moldinni. Sýrustig verður þá mjög hátt ($\text{pH} > 8,4$). Plöntur geta yfirleitt ekki nýtt sér saltan jarðveg nema mjög sérhæfðar tegundir upp að vissu marki. Söltun á sér einkum stað með tveimur mismunandi ferlum: annars vegar vegna uppgufunar vatns á áveitusvæðum og hins vegar vegna útskolunar á söltum frá jarðvegi niður í lægðir. Þegar Na^+ er í vatninu tekur það að ryðja öðrum jónum úr jónrýmdarsætum sem skolast síðan út. Na^+ tekur þannig hægt og sígandi yfir kerfið.

Vitaskuld er áveitusvæði einkum að finna þar sem loftslag er þurr og því er uppgufun alla jafna mikil. Þegar vatnið gufar upp verða söltin eftir í efsta lagi jarðvegsins og byggja þannig smám saman upp seltuvanda. Söltun verður ef mikið vatn af slæmum gæðum er látið standa uppi í moldinni í lengri tíma. Seltuvandi er tröllaukið vandamál þar sem áveitur eru notaðar í ræktun, t.d. í löndunum við Bengalflóa og víðar.

Á þurrum beitarsvæðum getur salt skolast úr mold á landi sem stendur hærra í landslaginu niður í lægðir og safnast þar fyrir í „saltþækla“, ekki síst þegar gerir orkumikið úrfelli á heitari svæðum jarðar. Þetta er algengt og vaxandi vandamál í Ástralíu og víðar þar

sem þurr og viðkvæm svæði hafa verið ofbeitt og gróðurhulan skert.

Mjög erfitt er að endurheimta vistkerfi sem hafa orðið saltinu að bráð. Þá þarf að nota mikið af hreinu vatni til að skola söltunum niður úr moldinni, sem og að kalka til að skipta Na^+ -jóninni út fyrir Ca^{++} í jónrýmdarsætum. Yfirleitt er hvorki hreint vatn né kalk fyrir hendi. Mikilvægt er að dreina svæðin vel inn á milli og skola þannig söltum niður. Áveituvatn á iðulega uppruna sinn fjarri notkunarstað, vatnið rennur um langa vegu úr fjalllendi niður á láglandssvæði þar sem það er nýtt. Landnýting þar sem úrkoman fellur er lykilatriði fyrir gæði vatns sem þaðan kemur, en einnig landnýting á leið vatnsins niður eftir vatnasviðinu. Gróskumikil og stöðug vistkerfi sía vatnið og skila því hreinu niður á láglandið en hnignuð og hrunin vistkerfi skila menguðu vatni, sem getur haft mjög alvarlegar afleiðingar þar sem vatnið er notað til áveitu. Áveitur ofarlega á vatnasviðum geta einnig mengað vatnið og dregið úr gæðum þess til vökvunar neðar á vatnasviðunum.

19.2.3. „Að fara í sand“ (e. sandification)

Áður var minnst á að margir þættir í moldinni breytast hægt enda þótt ástand vistkerfisins versni til muna, t.d. kornastærð, leirinnihald og sýrustig.

Kolefnið: mælikvarði á ástand vistkerfa

Algengasti mælikvarðinn á hnignun í formi minnkaðrar frjósemi er kolefnisforði moldarinnar sem endurspeglar heildarmagn lífrænna efna.

Lífræn ferli vistkerfisins eru háð lífrænu efnunum í moldinni. Magn og hringrás helstu næringarefna, svo sem niturs, fosfórs og súlfúrs, er sömuleiðis nátengd magni kolefnis. Lífrænu efnin móta einnig aðra efnaþætti og eðliseiginleika sem móta frjósemi moldarinnar.

2. Jónrýmd er mælikvarði á hæfileika jarðvegs til að miðla katjónum á borð við Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ og K^+ . Jónrýmdarsæti eru utan á neikvætt hlöðnum örefnum moldarinnar (leir og lífræn efni) þar sem jónirnar setjast en er síðan miðlað til róta plantna.



Mynd 19.4. Efri mynd: Dæmi um aukna landnýtingu í bröttum hlíðum frjósamra héraða í vesturhluta Úganda. Skógurinn er að hverfa en sums staðar hefur landið verið plægt upp og niður hallann – sem stóreykur á jarðvegsrof (sjá umfjöllun um vatnsrof í síðasta kafla). Rof og landhnignun vex nú almennt hröðum skrefum í þessu fjallendi. Neðri mynd: þung búfjárbéit í vesturhluta Úganda hefur fjarlæggt mest af gróðurhulunni – rof vex ört. Rofabaráð í forgrunni.

Yfirleitt beinist athyglin fyrst að gróðurþáttum við mat á ástandi lands, t.d. þekju eða tegundasamsetningu. En moldarþættirnir eru ekki síður mikilvægir og áður var vikið að lífrænum efnum og næringarefnum. Miklar breytingar eiga sér stað þegar vistkerfi verða sandi að bráð með alvarlegum afleiðingum. Hér er átt við það þegar sandur gengur inn yfir landið eða þegar fínefni tapast smám saman úr vistkerfum við endurtekna rofferla, bæði af völdum vatns og vinda. Yfirleitt á hvorutveggja sér stað: áfok sands og tap á fínefnum með uppfoki (ryk).

Þetta ferli hefur verið nefnt „sandification“ í erlendum heimildum, einkum frá Asíu (t.d. Shi o.fl. 2000) en við þekkjum ferlið af máltækinu „að fara í sand“ (mynd 19.5). Vistkerfum, þar sem mikill sandur einkennir bergefni í umhverfinu, t.d. sandsteinn, er mjög hætt við þessu ferli. Við það að fara í sand tapast lífrænu efnin og leir úr kerfinu – kornastærðin breytist. Það hefur stórvægilegar breytingar á vatnsheldni kerfisins í för með sér, möguleikar til vatnsmiðlunar verða takmarkaðir. Þegar allir ferlarnir sem hér er lýst eru lagðir saman: skortur á gróðurþekju, tap á orku, næringarefnum og hæfileika moldarinnar til að miðla vatni, má telja

að vistkerfið hafi hrunið algjörlega (sbr. skilgreiningar á vistkerfishruni, t.d. Bland o.fl. 2018). Þar sem úrkoma er takmörkuð, t.a.m. í suðvesturríkjum Bandaríkjanna, er nánast ógjörningur að endurheimta fyrri vistkerfi við slíkar aðstæður. Slíkt vistkerfishrun nær eiginlega út fyrir flest viðmið sem notuð eru til að ákvarða ástandsstig og hnignun vistkerfa og er líkt „seltuvanda“ að þessu leyti.

Mörg íslensk vistkerfi hafa farið í sand, ekki síst vegna framrásar áfoksgeira³, sem skýrir af hverju þeir hafa verið svo örlagaríkir fyrir íslensk vistkerfi sem raun ber vitni, og að hluta af hverju auðnirnar hafa ekki gróið að nýju þótt langt sé um liðið frá því að þær urðu fyrir ágangi sands. Á Íslandi er mikilvægt að hylja land sem fer í sand fullkomlega með gróðri og byggja upp rótarmottu og öfluga næringarumsetningu – helst kjarrlendi. Landgræðslusvæði sem einkennast af sandi ætti ekki að afhenda aftur til nýtingar nema landið sé hulið kjarrgróðri og með ströngum skilyrðum (Starfshópur Lbhí 2016). Lífræn jarðvegsskán er oft forsenda þess að koma framvindu á rétta braut á ný. Hún gerir yfirborðið stöðugra og leggur til næringarefni, eins konar „startkapítal“ fyrir landnám gróðurs.

3. Áfoksgeirar myndast þegar sandur gengur inn yfir gróið land og framkallar „snjóboltaáhrif“ þannig að sífellt meira af lausum efnum berst undan þurri vindátt. Þeir eru iðulega tungulaga og ganga inn í gróna landið, en í kjölfarið myndast fremur beinar línur í landslaginu sem skilja á milli gróins lands og sandsvæða eða auðna. Sjá 18. kafla.



Mynd 19.5. Land sem er farið í sand. Myndin til vinstri er tekin á Jordana-rannsóknastöðinni í Nýju-Mexíkó en til hægri má sjá Monument Valley í landi Navahó-indíána í Arizona og Utah. Í báðum tilfellum er ofbeitt um að kenna, en langt er um liðið síðan hrunið átti sér stað. Mikið rof einkennir svæðin og minnir um margt á aðstæður á Hólsfjöllum og víðar á Íslandi. Næsta ómögulegt er að koma landi sem þessu aftur í upprunalegt horf vegna lítillrar úrkomu og skorts á vatnsheldni og lífrænum efnum í moldinni. Orkunám er afar takmarkað.

19.2.4. Auðnamyndun – eyðimerkurmyndun – alvarleg landhnignun

„Auðnasáttmálinn“ er einn af svo-kölluðum umhverfissamningum Sameinuðu þjóðanna. Hann er helgaður alvarlegri landeyðingu og í fyrri útgáfum var fyrst og fremst lögð áhersla á þurrkasvæði jarðar. Á ensku heitir hann „United Nations Convention to Combat Desertification“, skammstafað „UN-CCD“. Tilurð samningsins á rætur að rekja til mikilla þurrka sem herjuðu á Sahel-svæði Afríku, sunnan Sahara-eyðimerkurinnar, eftir miðja 20. öld. Þurrkarnir takmörkuðu framleiðni svæðanna meðan á þeim stóð, en hnignunin gekk að sumu leyti til baka þegar úrkoman jókst á ný. Það varð til þess að því var haldið fram að „auðnamyndun“ (e. desertification) eða alvarleg landhnignun ætti sér almennt ekki stað (Forse 1989, Pearce 1992) – að frekar væri um að ræða eðlilegan breytileika í veðurfari og viðbrögð vistkerfa við þeim sveiflum – sem er vitaskuld ekki rétt, en úrkoma og þurrkar hafa auðvitað áhrif á viðgang vistkerfa á þurrum svæðum jarðar. Þessi atburðarás varð tímabundið til þess að það fjölgaði í röðum þeirra sem afneituðu landnýtingarvanda og alvarlegu ástandi lands.

Hugtakið „**auðnamyndun**“ (eða „eyðimerkurmyndun“, e. desertification) er vandræðahugtak sem tók mið af úreltum viðmiðum og þekkingu áður en samningi Sameinuðu þjóðanna um auðnamyndun (UN-CCD) var náð árið 1994. Samningurinn varð til að hluta í tengslum við ráðstefnu Sameinuðu þjóðanna í Kenýa árið 1977 þar sem vistfræðileg viðhorf voru ekki áberandi í umræðum. Í upphafi var samningurinn og hugtakið „auðnamyndun“ einskorðað við þurrt loftslag. Aðstæður á Íslandi, þar sem auðnir verða sannarlega til í köldu og röku loftslagi, valda því að notkun hugtaksins er um margt þvælin. Satt

best að segja hefur þessi skilgreining á auðnamyndun (eyðimerkurmyndun) sem sett var fram í samningnum háð framgangi hans allar götur síðan, en hún hefur þó tekið nokkrum breytingum. Á ensku er skilgreining samningsins nú þessi: „Land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid regions resulting from various factors, including climatic variations and human activities.“ Af hverju þessi loftslagsskilyrði fylgja skilgreiningunni er mörgum ráðgáta, en þau eiga rætur að rekja til misskilningsins frá 1977 þegar menn beindu augum fyrst og fremst að þurrum svæðum Afríku þar sem þurrkar herjuðu á landið. Höfundur þessara orða var viðstaddur „vísindafundinn“ í aðdraganda samningsgerðarinnar í Næróbí í Kenýa árið 1993, en þá hafði inntak samningsins í raun þegar verið ákveðið.

Upprunalega hugsunin var, sem fyrr sagði, að takmarka hugtakið við hnignun vistkerfa í þurru loftslagi – áherslan var á Afríku – í ljósi þurrkanna miklu á milli 1970 og 1980. Vert er að huga nánar að hugtökunum sem hér eru notuð. Hugtakið „desert“ er ættað úr egypsku og grísku, en upprunaleg merking orðsins er „yfirgefinn“, þ.e. komið í auðn – eyðimörk. Hugtakið hefur nú margar merkingar og þar má nefna:

- yfirgefin eða strjálbýl svæði samkvæmt upprunalegri merkingu;
- sérstakur lífheimur (vistfræðileg skilgreining; e. desert biome) sem er aðlagður að lítilli úrkomu og þurrkum, t.d. kaktusar og aðrir þykkblöðungar;
- skortur á gróðurhulu; og
- veðurfarsleg skilgreining – svæði með litla ársúrkomu (t.d. <200 mm) eða litla úrkomu miðað við uppgufun, sem m.a. ræðst af hitastigi.

Rétt er að hafa í huga að mörg eyðimerkurvistkerfi, t.d. í suðurhluta Bandaríkjanna og Mexíkó, eru nokkuð vel gróin en auðnir eru algengar þar sem rignir mun meira, t.d. á Íslandi (mynd 19.6). Ljóst má því vera að hugtakið eyðimörk er fremur óskýrt, nema að vistfræðilegi skilningurinn sé notaður, sem mælt er með hér. Þá væri gerður greinarmunur á:

- **eyðimörk** (e. desert) sem væri ákveðinn lífheimur sem einkenndist af takmörkuðu framboði á vatni en gæti haft umtalsverða og jafnvel samfellda gróðurhulu, og
- **auðn** (e. barren, en einnig desert) sem væri illa gróið land óháð skilgreiningu á lífheimi eða framboði á vatni.

Jákvæð þróun hefur orðið á skilgreiningum á auðnamyndun innan eyðimerkursamningsins (UN-CCD) – bæði hefur loftslagsskilgreiningin verið víkkuð út og hugtakið „drylands“ verið tekið úr skilgreiningum („þurrlendi“ á íslensku en erfitt er að skilgreina það hugtak nánar). Áherslan hefur færst yfir á alvarlega landhnignun, eins og vera ber (e. severe land degradation), og raunar sér þess merki að forðast er að hafa fókus á skilgreiningunni sem slíkri (sbr. bók Evrópusambandsins um auðnamyndun (Cherlet o.fl. 2018, sjá einnig UN-CCD 2017).

Í stórum rannsóknarverkefnum Evrópusambandsins, svo sem „Archaeomedes“-verkefninu, er skilgreiningu Auðnasamningsins í raun hafnað og notað hugtakið um alvarlega landhnignun hvar sem hún á sér stað, m.a. á Íslandi (van der Leeuw 1998 – bls. 6). Alvarleg landhnignun felur í sér mjög margvísleg ferli, ástæður og afleiðingar og jafnframt geta umhverfisaðstæður verið mjög mismunandi. Því er réttast að skilgreining á hugtakinu sé fremur

breið. Auðnamyndun felur í sér mjög skerta þjónustu vistkerfa og oft og tíðum vistkerfishrun. Yfirleitt eiga viðkvæm vistkerfi hlut að máli – jaðarvistkerfi (e. marginal systems) sem hafa takmarkað þanþol og stöðugleika og verða auðnamyndun að bráð. Oft eru það skóglaus vistkerfi jarðarsvæðanna sem verða verst úti, svo sem innan lífheims eyðimarkanna, en einnig hér á ísa köldu landi. Iðulega verður alvarlegust landhnignun í kjölfar afgerandi breytinga á landnýtingu, m.a. þegar búpeningur er fluttur inn á viðkvæm jaðarsvæði, eins og gerðist í vesturríkjum Bandaríkjanna, Mexíkó, Ástralíu – og á Íslandi með landnámi og örri fólksfjölgun á 19. öld. Rangt er að tengja auðnamyndun fyrst og fremst við skógareyðingu eins og stundum er gert, en hún er iðulega þáttur í ferlinu, t.d. á Íslandi. Landhnignun á Íslandi er eins og áður sagði klassískt dæmi um alvarlega landhnignun og auðnamyndun (e. desertification).

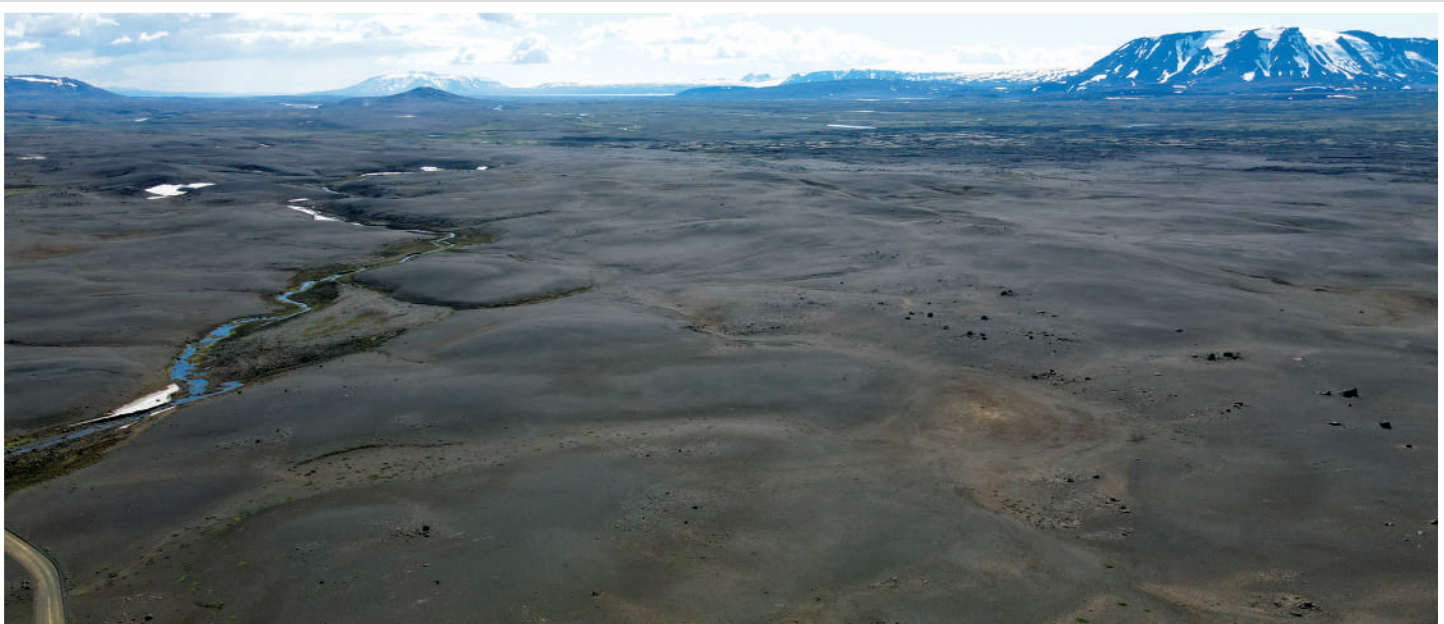
19.3. Mat á ástandi lands

Nýting mannsins á náttúruauðlindum hefur gjörbreytt ásýnd jarðar. Segja má að þekking á ástandi lands – landlæsi – sé lykilatriði í allri umsýslu og nýtingu náttúruauðlinda, en til þess þarf skilning á vistkerfum. Æskilegt er að mat á ástandi lands styðjist við: 1. mikilvæga, 2. vel skilgreinda og 3. mælanlega og/eða auðgreinanlega þætti. Flestar aðferðir gera ráð fyrir að lagt sé mat á upprunalegt ástand eða „eðlilegt ástand landsins“ – **vistgetu** – til viðmiðunar, eins og síðar er fjallað um (heimilda getið í lok kaflans).

Það er gagnlegt að skilgreina aðeins nánar hvað átt er við með „hruni vistkerfa“ (e. ecosystem collapse) áður en lengra er haldið, enda kemur vistkerfishrun þar mjög við sögu. Skilgreining Bland o.fl. (2018) gefur góða

Vandræðahugtakið eyðimerkurmyndun (e. desertification)

Ónákvæm eða óheppileg notkun á orðinu „eyðimörk“ (e. desert) veldur enn meiri vanda þegar hugtakið „desertification“ (sjá ÓA 2000b) er annars vegar, sem samkvæmt orðanna hljóðan útleggst myndun eyðimarkar. En hvers konar eyðimörk samkvæmt þeim ólíku skilgreiningunum sem taldar voru upp hér að ofan? Alvarleg landeyðing breytir t.d. ekki loftslaginu eða lífheiminum (e. biome), alla vega ekki þegar hún er hlutfallslega lítil. Þá má spyrja sig: Á eyðimerkurmyndun sér stað í eyðimörk (innan lífheims eyðimarka)? Augljóst er að mörg vandamál fylgja hugtakinu „eyðimerkurmyndun“ („auðnamyndun“) og hafa margir orðið til þess að fjalla um þennan vanda (sjá Ólaf Arnalds 2000b, Imeson 2012 og færslu um „desertification“ á wikipedia).



Mynd 19.6. Hvor myndin sýnir eyðimörk? Á báðum stöðum hefur átt sér stað auðnamyndun (e. desertification). Myndin fyrir ofan er frá Organ Pipe-náttúruverndarsvæðinu í Arizona. Gróður hylur yfirborðið, sem er dæmi um lífheim eyðimarka (e. desert biome). Svæðið hefur þó orðið fyrir varanlegum skemmdum vegna búfjárbeitar fyrri tíma. Myndin fyrir neðan er frá Kili, milli Langjökuls og Hofsjökuls, þar sem gróðurhulan er fjarska lítil. Gróðurleysið stafar a.m.k. að hluta til af búfjárbeit fyrri tíma og rofi. Bæði svæðin eru dæmigerð fyrir viðkvæm jaðarsvæði sem þola (og þoldu) illa búfjárbeit. Eyðimörk (lífheimur) fyrir ofan en auðn (illa gróið land) fyrir neðan.

hugmynd um inntak hugtaksins, enda þótt hún sé nokkuð stíð. Eftirfarandi er aðeins einfölduð útgáfa:

„Hrun vistkerfa felur í sér breytingar sem færa vistkerfisþætti, sem skilgreina eigind (e. identity), eðli og breytileika vistkerfa, yfir ákveðinn þröskuld eða þröskulda.

Við hrun vistkerfa gjörbreytist eigind kerfisins og þættir sem skilgreina kerfið glatast og/eða annað vistkerfi tekur yfir. Það gerist þegar mikilvægir lífrænir og ólífrænir eiginleikar glatast úr öllum flákum kerfisins svo náttúruleg tegundasamsetning þess viðhelst ekki lengur.“⁴

19.3.1. Rask, þanþol og hnignun vistkerfa

Hugtökin „rask“ (e. disturbance) og „þanþol“ (e. resilience) eru meginhugtök í tengslum við umræðu um ástand og hnignun vistkerfa. Það er nokkuð mismunandi hvernig hugtakið þanþol er notað; hér hefur það tiltölulega víða skírskotun og inniheldur að hluta hugtakið „stöðugleika“ (e. stability) eins og algengt er (sjá UNEP 2016). Áhugafólki um þanþol er bent á bókina *Foundations of ecological resilience* (ritstýrð af Gunderson o.fl. 2010) en hér er byggt á texta eftir ÓA og Ásu L. Aradóttur (2015).

Í vistfræði eru afmarkaðir atburðir eða röð atburða sem leiða til breytinga á vistkerfum kallaðir rask (e. disturbance). Dæmi um náttúrulegt rask sem hefur áhrif á íslensk vistkerfi er öskufall vegna eldgosa og jökulhlaup. Margt konar landnýting leiðir til rasks á vistkerfum, til dæmis traðk manna og dýra, utanvegaakstur, vegafarmkvæmdir, gerð

uppistöðulóna, breytingar á vatnafari í tengslum við virkjanir, ræktun lands og síðast en ekki síst beit búfjár. Áhrif rasks – hversu miklum breytingum það veldur á viðkomandi vistkerfum – eru mismikil eftir því hvers eðlis það er, „ákefð“ þess (e. intensity), hversu lengi það varir sem og fjölda atburða (t.d. endurtekið gjóskufall). Einnig eru vistkerfi misvel í stakk búin til að bregðast við raski og fer það bæði eftir gerð þeirra en ekki síður ástandi. Rask á borð við skógarhögg eða mikla beit getur magnað upp neikvæð áhrif af annars konar raski á borð við öskufall eða loftslagsbreytingar, minna raskað kerfi hefur meira þanþol gagnvart slíkum atburðum.

Hugtakið þanþol lýsir því hversu vel starfsemi og eiginleikar vistkerfa viðhaldast eða ná fyrra horfi í kjölfar rasks. Flest vistkerfi eru síkvik, sem þýðir að starfsemi þeirra, til dæmis framleiðni, sveiflast að ákveðnu marki með veðurfarssveiflum og öðrum náttúrulegum breytingum á umhverfis- aðstæðum (stig I á mynd 19.7).

Rask dregur gjarnan úr framleiðni vistkerfa, en ef þanþol þeirra er mikið nær landið fyrri getu tiltölulega fljótt aftur (lína frá stigi II aftur upp á stig I á grafinu), t.d. þar sem rætur eru til staðar og hringrásir vatns og næringar eru enn öflugar. Ef raskið verður hins vegar meira en sem nemur þanþoli vistkerfisins leiðir það til hruns. Kerfið nær þá ekki fyrri eiginleikum á borð við framleiðslugetu (sbr. skilgreiningu á hruni hér á undan) heldur færast niður á lægra **ástandsstig** eða **vistþrep** (stig II eða III). Það er ekki aðeins gerð kerfisins eða ákefð viðkomandi rasks sem hér skipta máli, heldur getur ein tegund rasks (t.d. beit) dregið úr þanþoli vistkerfa gagnvart annars konar raski (t.d. gjóskufalli, þurrki eða kuldakasti). Kjarrlendi og votlendi á Íslandi eru dæmi um kerfi á stigi I, mólendi er dæmi um stig II en auðnir og illa gróið land dæmi um stig III á myndinni. Þanþol vistkerfa er yfirleitt

4. „Ecosystem collapse: indicates a transition beyond a bounded threshold in one or more indicators that define the identity and natural variability of the ecosystem.

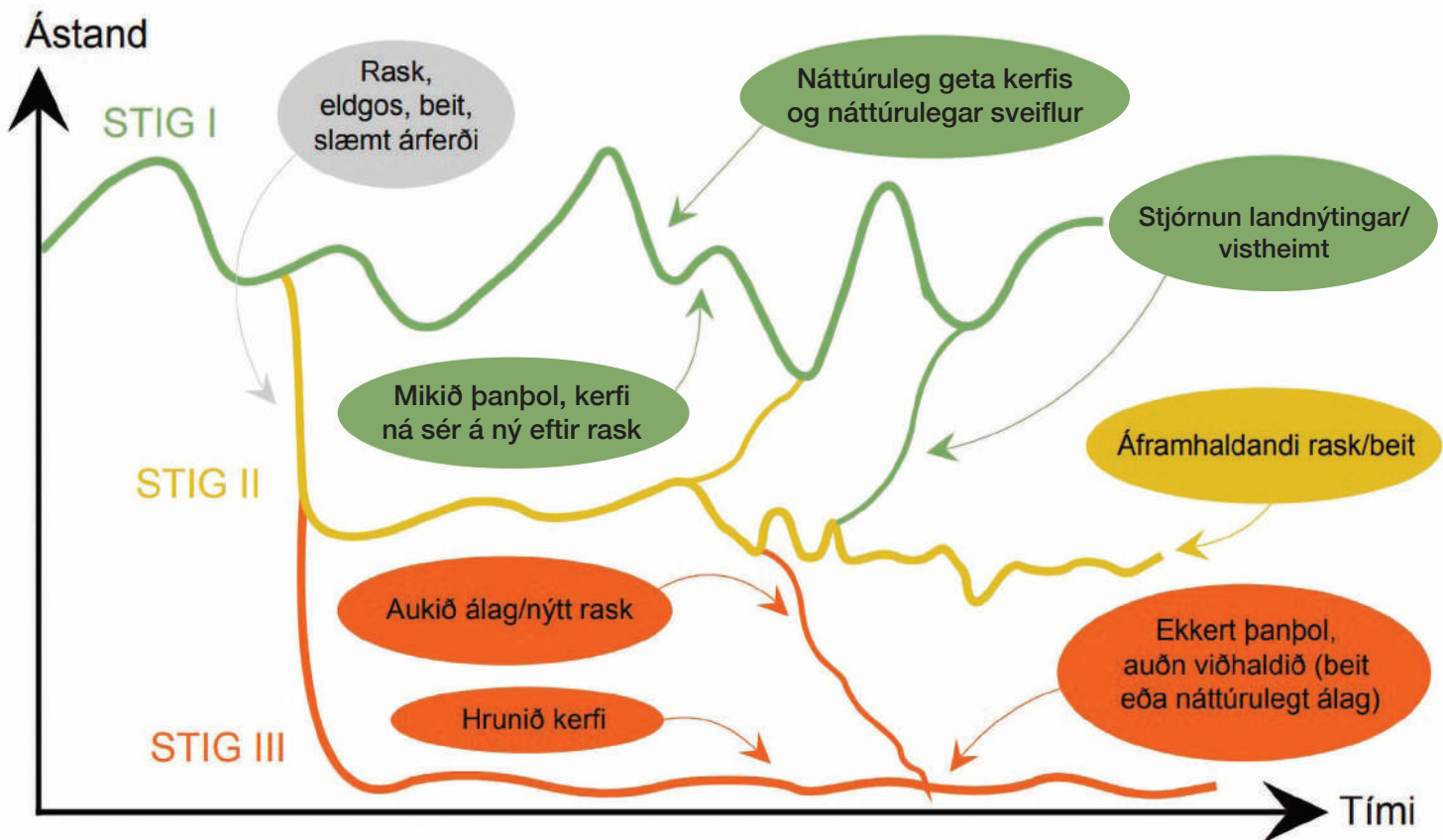
Collapse involves a transformation of identity, loss of defining features, and/or replacement by a novel ecosystem. It occurs when all ecosystem occurrences (i.e. patches) lose defining biotic and abiotic features, and characteristic native biota are no longer sustained“ (Bland o.fl. 2018).

Því meira sem þau eru frjósamari og öflugri. Tegundasamsetning gróðurs, jarðvegsgerð sem og ytri þættir móta þanþolið. Jaðarsvæði, t.d. þurr eða köld landsvæði og kerfi með sendnum jarðvegi sem hafa litla vatnsmiðlun, hafa oft lítið þanþol. Tiltölulega lítið rask getur því valdið miklum og varanlegum skemmdum á slíku landi.

Með því að hvíla akuryrkjuland, minnka beitarálag og friða fyrir beit má lyfta vistkerfum aftur upp á fyrri stig – upp á hærra þrep. Kerfi á lægri þrepum eru þó iðulega það stöðug að þau þurfa gjarnan á inngripi að halda til að ná árangri, t.d. áburðargjöf, sáningu o.fl. Víða erlendis hefur verið gripið til stórfelldra breytinga á landnýtingu til að koma í veg fyrir frekari skaða og bæta ástand lands, m.a. með banni við akuryrkju á sendnum og þurrum svæðum og friðun fyrir beit á illa förnu landi með lítið þanþol (t.d. í Bandaríkjunum og Kína). Annars staðar hafa búháttabreytingar stuðlað að aukinni útbreiðslu vistkerfa

sem fyrir voru, t.d. skóglendis í stað graslendis, ekki síst í Evrópu. Víða var landið einmitt þakið skógi áður en það var brotið til ræktunar og því er skógurinn náttúrulegt stig og viðmið. Þar sem skógurinn sækir á getur talist mikilvægt að viðhalda nýtingu til að auka fjölbreytni í landslagi, m.a. til að vernda svonefnt búsetulandslag og líffræðilegan fjölbreytileika. Það á vitaskuld aðeins við þar sem ástand vistkerfa telst viðunandi – það má hins vegartelja rangsnúna og siðlausu notkun á hugmyndum um búsetulandslag (e. perverse arguments) þegar mjög hnignað land er verndað sem slíkt og viðhaldið með ofnýtingu, eins og síðar verður vikið að.

Bati innan hvers þreps eftir að aukið hefur verið á þanþol þess tekur tiltölulega skamman tíma (ár, fáir áratugir). Bati frá einu ástandsstigi eða vistþrepi til annars tekur aftur á móti oft mun lengri tíma (áratugir, árhundruð héraendis) og oft þarf inngrip



Mynd 19.7. Þanþol. Hér er gert ráð fyrir þremur stigum til einföldunar. Efsta stigið er óraskað náttúrulegt ástand en á því neðsta hefur algjört vistkerfishrun átt sér stað. Ástandið er sveiflukennt innan hvers stigs en við rask verður álag á kerfið og það hrynur niður á næsta stig ef það er meira en sem nemur þanþolinu. Neðsta stigið er dæmi um illa gróið land og auðnir á Íslandi. Mynd: ÓA og J. Herrick, birt í UNEP 2016.

á borð við plöntun, áburðargjöf og sáningu til að koma bataferlinu af stað. Berar klappir gróa seint, en þar sem mold eða laus setlög eru á yfirborði, t.d. jökulurð og eldfjallagjóska, geta kerfin frekar gróið sára sinna. Því eru möguleikar á bata afar misjafnir.

19.3.2. Ástandsmat

Mat á ástandi lands er æ mikilvægari þáttur umhverfisvísinda og grundvöllur fyrir skynsamlegar ákvarðanir um nýtingu vistkerfa, verndun þeirra og uppbyggingu. Ástandsmat felur m.a. í sér að vega og meta virkni og stöðu einstakra þátta vistkerfisins og ferla þess, m.a. til að ákvarða hvort færsla niður á lægra ástandsþrep hefur átt sér stað eða jafnvel vistkerfishrun, sbr. umræðuna hér að ofan. Fjölmargar aðferðir hafa verið þróaðar fyrir ástandsmat á útjörð⁵, eins og vistkerfin sem einkenna Ísland nefnast. Þar má nefna klassískar aðferðir Bandaríkjamanna frá því um miðja 20. öld (e. range condition, Stoddart o.fl. 1975, Holechek o.fl. 2010) sem einkum studdust við tegundasamsetningu gróðurs miðað við upprunalegt eða æskilegt ástand.

Á árunum frá 1970–1980 var beitt fremur flóknum aðferðum til að reikna út beitarþol afréttarsvæða á Íslandi, sem byggðust m.a. á gróðurkortum, uppskeru helstu gróðurlenda og meltanleikarannsóknnum (Ingvi Þorsteinsson 1980). Niðurstöðurnar gáfu klárlega alltof háar niðurstöður sem má rekja til þess að sá hluti uppskeru sem óhætt var talið að fjarlægja var ofmetinn sem og þess að rannsóknir á uppskeru helstu gróðurlenda höfðu leitt til ofmats á þekju góðra beitartegunda (sjá ÓA 2020).

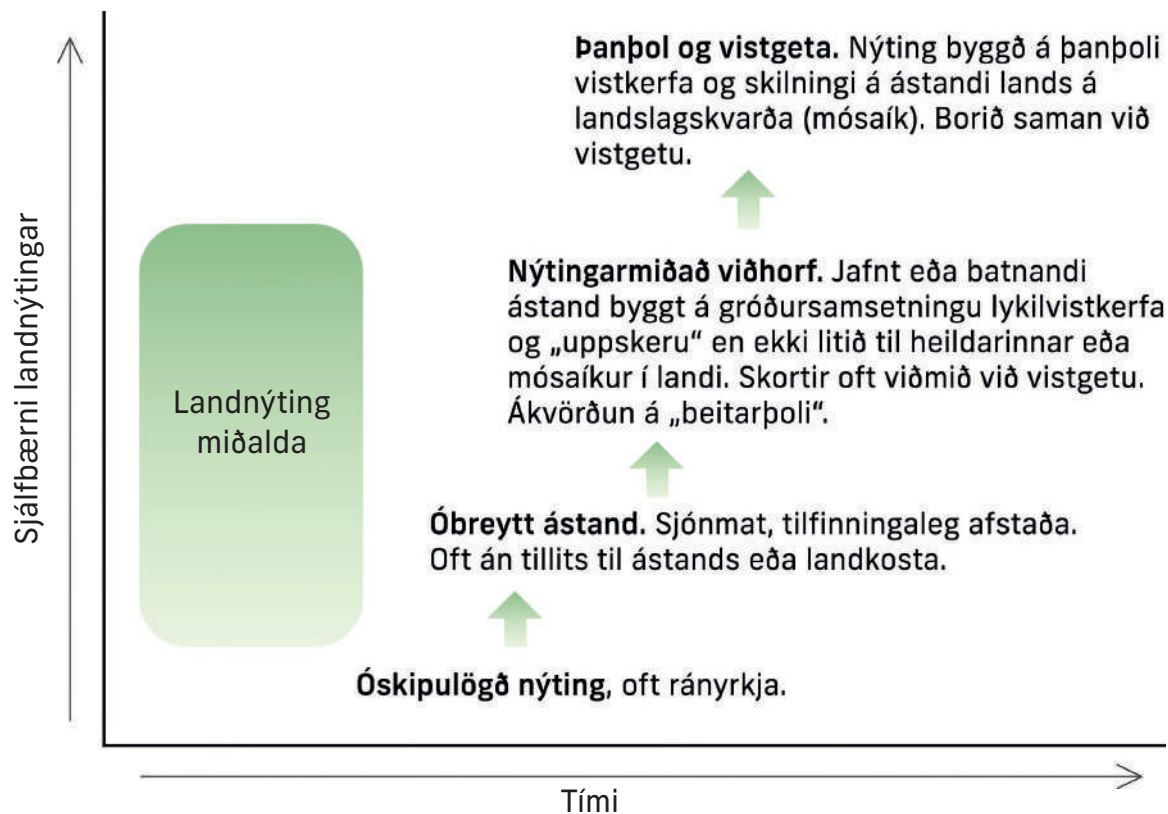
Reynt var að bæta aðferðirnar við mat á beitolöndum, sem Rannsóknastofnun landbúnaðarins stóð fyrir á árunum milli 1980 og 1990 (t.d. Ingvi Þorsteinsson o.fl. 1984). Þar var gerð fyrsta tilraunin til að taka jarðvegsrof með í reikninginn. Öll þessi kerfi, innlend sem erlend, hafa nú gengið sér til húðar enda þótt hin mikilsverða þekking sem aflað var í tengslum við þróun þeirra sé ennþá í fullu gildi (sjá mynd 19.9).

Á undanförunum áratugum hefur vistfræðileg nálgun við mat á ástandi lands orðið meira áberandi þar sem jarðvegsþættir hljóta sama vægi og

5. Hugtakið „útjörð“ er notað hér um opin lönd utan heimalanda næst bæjum sem í sumum tilfellum eru nýtt til beitar en stundum ekki. Það á einnig við um land sem nú er beitt en ætti ekki að vera beitt vegna viðkvæmrar náttúru eða slæms ástands landsins. Hugtakið er því í mörgum tilfellum mun heppilegra en „úthagi“ – sem vísar til þess að landið sé beitt eða það sé ætlað til beitar þótt það kunni engan veginn að henta til þess.



Mynd 19.8. Til vinstri er votlendissvæði á Suðurlandi, sem hefur búið yfir miklu þanþoli gagnvart nýtingu í aldanna rás. Til hægri er svæði á Snæfellsnesi þar sem vistkerfið er hrunið vegna sauðfjárbéitar og hugsanlega skógareyðingar áður fyrr – þanþolið nægði ekki. Mörg þurrlandisvistkerfi á Vesturlandi þola illa að missa skógarhuluna.



Mynd 19.9. Þróun hugmyndafræði og aðferða við mat á landi og skipulag landnýtingar frá óskipulagðri nýtingu (oft rányrkju) til mats sem byggist á þanþoli vistkerfa og samanburði við vistgetu einstakra landeininga. Teikningin er þýðing og staðfærsla á mynd Briske (2016) í inngangskafli bókarinnar „Rangeland systems“. Sjálfbærni nýtingar er ekki tryggð með því að miða við óbreytt ástand því aðstæður á borð við þurrk eða gjóskufall kunna að færa svæðin skyndilega á annað stig. Slík sýn tekur heldur ekki tillit til fjölbreyttrar mósaíkur vistgerða í landslagi; sum kerfin geta verið ofnýtt eða hafa hrunið á meðan önnur viðhældust eða komust af.

Nýtingarmiðuð viðhorf byggjast m.a. á því að nota gróðursamsetningu og uppskeru til að meta svokallað „beitarþol“ en þess háttar aðferðir eru gengnar sér til húðar af mörgum orsökum. Nýtingarmiðuð viðhorf taka ekki jarðvegsþætti, fjölbreytta mósaík eða þanþol gagnvart áföllum með í reikninginn. Þau miða ekki við getu landsins eða eðlilegt ástand þess (vistgetu). Mestar líkur á sjálfbærri landnýtingu eru þegar tekið er tillit til þanþols gagnvart breytilegum náttúruaðstæðum og fjölbreyttrar mósaíkur samfélaga í útjörð, og er þá miðuð við vistgetu hverrar einingar í landslaginu og endurheimt landgæða þar sem það á við.

yfirborðsþættir. Bókin *Methods for assessing soil quality* (ritstýrt af Doran og Jones 1996) var gefin út af Jarðvegsfræðifélagi Bandaríkjanna í þessum tilgangi og síðan hafa fjölmargar aðferðir verið þróaðar sem flestar taka tillit til ástands jarðvegsins. Hugtakið „gæði jarðvegs“ (e. soil quality) er oft nefnt til sögunnar í þessu samhengi (sjá Doran og Jones 1996, Herrick 2000, UNEP 2016). Lífræn efni og næringarhringrásir eru meðal mikilvægustu mælikvarðanna á „moldargæði“. Á síðustu árum hefur vistkerfanálgun við mat á ástandi úthaga (mynd 19.9) verið þróuð og notuð í Bandaríkjunum (Pellant o.fl. 2019, Herrick o.fl. 2018) (mynd 19.10), en þær aðferðir eiga sér samsvörun víðar, svo sem í Eyjaálfu

(Tongway 1994, Tongway og Hindley 2000) og í kerfi Ásu L. Aradóttur o.fl. frá 1992 fyrir Ísland. Þessar aðferðir leggja grunninn að umfjölluninni hér á eftir og hinu einfalda skema fyrir ástandsmat sem sett er fram sem dæmi. Aðferðirnar tengjast yfirleitt svokölluðum „vistþrepa-líkönnum“ (e. state-and-transition), líkönnum um ástand, hnignun og endurbætur á beitarkerfum sem hafa orðið áberandi á undanförunum árum (sjá Briske o.fl. 2017a,b, Bestelmeyer o.fl. 2017). Þær hafa einnig verið nefndar „stöðu og tilfærslu-líkön“, með sömu skammstöfun og á ensku: S&T-líkön. Aðferðirnar eru sama eðlis og þær sem notaðar eru til að kynna ástandsstig fyrir Ísland. Kerfi Ásu L. Aradóttur o.fl. (1992) er angi af slíkri hugmyndafræði og var

Í raun sett fram áður en matskerfin í Bandaríkjunum voru þróuð og þeim breytt. Jóhann Þórsson (2008) og Isabel C. Barrio o.fl. (2018) þróðu áfram aðferðir sem byggjast á vistþrepa-líkönnum fyrir ástandsstig og færslu á milli þeirra á Íslandi.

Það er mikilvægt að þær aðferðir sem notaðar eru til að meta ástand lands taki mið af vistfræðilegum aðstæðum á hverjum stað. Eðli vistkerfa er mismunandi, t.d. á milli jaðarsvæða sem einkennast af þurrki og arktískra svæða; eða á milli skóglendis, akurlendis, frjósams graslendis eða opinna beitilanda, svo dæmi séu tekin (mynd 19.11).

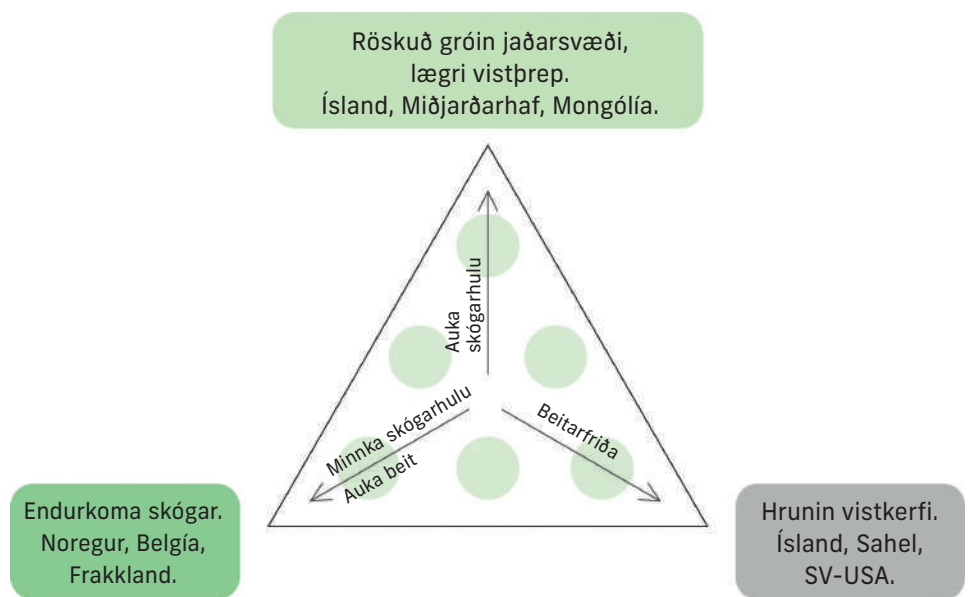
Valdir eru þættir vistkerfisins sem eru mikilvægir fyrir virkni þess og breytast við hnignun. Oftast eru það yfirborðspættir eins og gróðurhula og samsetning gróðurs sem eru góðir mælikvarðar og auðgreinanlegir. Margir þættir sem einkenna mold breytast hægt (áratugir eða árhundruð), t.d. leirinnihald, jónrýmd og sýrustig, nema stórvægilegt rask á borð við rof eigi sér stað eða ef land „fer í sand“. Síendurtekið jarðvegsrof leiðir yfirleitt til hruns vistkerfa. Lífrænt innihald breytist fremur hratt við mikið álag; það telst í árum ef rof fjarlægir mold en áratugum ef ofnýting lækkar kolefnisinnihald án jarðvegsrofs. Lífrænt innihald er almennt mikilvægur mælikvarði á stöðu, hrun og uppbyggingu vistkerfa (sjá Doran og Jones 1996). Fleiri þættir verða nefndir hér á eftir í töflu 19.2.

Ástand lands er yfirleitt metið með hliðsjón af tilteknum viðmiðum (e. reference condition) sem gefa til kynna „eðlilegt ástand“ landsins miðað við umhverfisaðstæður. Viðmiðunar-ástandið hefur verið nefnt „vistgeta“ (eða „landgeta“) sem er þýðing á „land potential“ eða „ecological potential“ tiltekens fláka eða landslagseiningar. Miðað er við upprunalegt ástand landsins áður en landnýting spillti því,



Mynd 19.10. Frá námskeiði höfunda bandaríska kerfisins þar sem ástand lands á Jordana-rannsóknastöðinni í Nýju-Mexíkó í Bandaríkjunum var metið í apríl 2019. Námskeiðið sótti fagfólk frá margvíslegum stofnunum sem hafa forráð fyrir þjóðlendum (e. public lands), ráðgjafastofnunum í landbúnaði, fólk í háskólanámi o.fl. Ástand landsins á rannsóknastöðinni, miðað við vistgetu, er ekki gott. Á myndinni sjást Jeffrey Herrick, sitjandi á stól, Patrick Shaver, standandi til hægri, og Mike Pellant, efst lengst til hægri. Tveir þeir fyrrnefndu hafa kennt við Landgræðsluskóla UNEP/GRÓ á Íslandi. Mynd: Ása L. Aradóttir.

ef það er þekkt, en það ástand hefur eigi að síður verið nokkuð breytilegt. Einnig er horft til mögulegrar framleiðslugetu þegar ástand akuryrkjulands er metið. Rétt er að árétta að sjaldnast er hægt að endurheimta „sama“ kerfi og fyrir var á hverju svæði, en miðað er við að ná



Mynd 19.11. Ákvarðanir um nýtingu lands þurfa að byggjast á eðli og ástandi vistkerfa. Sums staðar getur verið æskilegt að auka beit til að minnka skógarhulu og opna land, annars staðar getur þurft að minnka beit og jafnvel beitarfriða þar sem land er ekki talið beitarhæft eða þar sem vistkerfi eru hrunin. Punktur í þríhyrningi merkja mismunandi ástand lands.

svipaðri vistfræðilegri virkni: vistgetu svæðisins.

Kerfi sem einkennist af bersvæðagróðri getur ekki talist í góðu eða æskilegu ástandi ef viðmiðið er t.d. kjarrlendi – kerfið er þá einfaldlega á lægra ástandsstigi eða vistprepi – jafnvel hrundi. Stundum er höfðað til líffjölbreytileika til að verja tilvist hins illa gróna lands, en þá er um að ræða rangsnúna notkun á hugtakinu (e. perverse arguments), sem rímar illa við önnur sjónarmið umhverfissáttmála Sameinuðu þjóðanna og heimsmarkmið samtakanna sem Ísland hefur skuldbundið sig til að reyna að ná.

ÓA og Ása L. Aradóttir (2015) notuðu þrjár grunnhringrásir vistkerfa til að fjalla um ástand vistkerfa: hringrásir orku (og orkunám inn í kerfið), hringrás vatns og næringarhringrásir (mynd 19.12). Kerfið á sér samsvörun í bandarísku og áströlsku kerfunum sem áður gat um (Tongway 1994, Ludwig o.fl. 1997, Tongway og Hindley 2000, Pellant o.fl. 2019, Herrick o.fl. 2018). Rétt er að árétta að hringrásirnar eru sannarlega tengdar og háðar hver annarri.



Mynd 19.12. Versnandi ástand vistkerfa felur í sér skerðingu á hringrásum orku, vatns og næringar. Grái hringurinn táknar hið eðlissæna umhverfi, svo sem rof, nærveður o.fl. þætti sem hafa áhrif á virkni kerfanna. Jarðvegsrof veldur alvarlegri skerðingu á öllum hringrásunum þremur.

Gróður sér vistkerfunum fyrir orku með ljóstíllífur plantna og þessari orku er miðlað ofan í moldina þar sem lífríkið sér um niðurbrot og endurmiðlun orku og næringar. Því er nauðsynlegt að nægjanlega öflug gróðurþekja sé á yfirborðinu til að sjá kerfinu fyrir orku og til að byggja upplífrænan forða í moldinni.

Virk vatnshringrás er nauðsynleg. Ísig þarf að tryggja að regnvatn komist ofan í moldina, vatnið þarf að leiða um moldina og jarðvegurinn þarf að geta bundið og miðlað vatni. Þar skipta leiragnir og lífræn efni mestu.

Næringarhringrás er drifin áfram af lífverum í moldinni og líffjölbreytileiki örvera í jarðvegi er mikilvægur í því samhengi. Nauðsynlegt er að hafa nægan forða lífræns efnis (orku) og næringar. Oft er það nitur (N) sem er mest takmarkandi, en talað er um að það þurfi að lágmarki um 1 000 kg N á ha – sem gefur til kynna stærðargráðuna – til að viðhalda eðlilegri virkni, en magnið er þó háð aðstæðum, m.a. er það misjafnt á milli lífheima (e. biomes). Það tekur langan tíma að byggja upp nægjanlegan forða lífræns efnis og niturs glattist hann við hrun vistkerfa. Mörg önnur næringarefni eru til staðar sem hlutfall af kolefnis- og niturinnihaldi, því meira sem er af kolefni og nitri, þeim mun líklegra er að nóg sé af öðrum efnum á borð við súlfúr (brennistein, S) og fosfór (P). Þættir sem eru mælikvarðar á virkni þessara þriggja hringrása – orku, næringar og vatns – henta vel til að gefa til kynna ástand lands, og þá er miðað við óröskuð kerfi til samanburðar (vistgeta landeiningarinnar).

Að auki koma til þættir sem gefa til kynna stöðugleika umhverfisins (táknaður með gráum hring á mynd 19.12), t.a.m. rof, nærveður o.fl. Þar sem mikið jarðvegsrof á sér stað telst ástand vistkerfis ávallt slæmt, því við það tapast grunneiningar kerfanna sem getur tekið óratíma að byggja upp að nýju.

Í töflu 19.2 eru kynntir þættir sem alengt er að nota til að meta ástand lands (t.d. Ludwig o.fl. 1997, Tongway og Hindley 2000, Pellant o.fl. 2019, Herrick o.fl. 2018). Allt eru þetta þættir sem eru nauðsynlegir fyrir hringrásirnar sem skýrðar voru hér að ofan.

Bandaríkjamenn nota m.a. þá aðferð að telja saman frávik á metnum þáttum frá viðmiðinu (vistgetu) til að sýna ástand landsins en einnig er hægt að leggja saman, gefa meðaleinkunn o.s.frv. út frá mælingum eða mati á þessum þáttum.

Tafla 19.2. Þættir sem oft eru notaðir til að meta ástand lands. Miðað er við óraskað ástand landsins („vistgetu“ þess). Unnt er að mæla eða leggja tölulegt mat á þættina, sem er mikilvægt fyrir hvers kyns úrvinnslu á gögnum.

Þáttur	Dæmi um hlutverk og mikilvægi	Mælingar
Gróðurhula	Nauðsynleg til að hlífa fyrir rofi, til orkunáms og til að skapa hagfelld nærveður, bætir ísig vatns	Mæld á línunum, í römmum, með myndum (oft stafraent), með sjónmati, með skema o.fl.
Gróðursamsetning	Mótar framleiðni, orkunám, ástand, rask og framvindu – ágengar tegundir o.fl. Endurspeglar jarðvegspætti	Oftast gróðurgreiningar, margar aðferðir. Oft kortlögð fyrir samfelld svæði, fláka, vistgerðir
Lífræn efni í mold	Næmur mælikvarði á frjósemi jarðvegs, áhrif á næringarhringrás, orkuforði, áhrif á vatnsmiðun	Greind í mælitækjum (% C). Nitur oftast líka mældur. Einnig hægt að mæla glæðitap (OM%)
Sina	Gefur til kynna að ekki sé gengið of nærri landi, hlífir landi, eykur einangrun, hindrar afrennsli	Oftast metin í magni og/eða þekju
Jarðvegsskán	Mikilvæg fyrir endurheimt vistkerfa, kemur N inn í kerfið, býr til örugg set og minnkar frostáhrif/ísnálar. Mikilvægur þáttur á illa grónum svæðum í heiminum	Þekja, tegundahópar, þykkt, byggingareinkenni o.fl.
Rof	Jarðvegsrof raskar hringrásunum orku, næringar og vatns og getur komið í veg fyrir að vistkerfi nái sér aftur	Mælingar á rofi, mat á ummerkjum um rof, roflíkön, hlutdeild ógróins lands
Uppskeyra	Gefur til kynna framleiðni, álag, orkunám og orkugjöf til moldarinnar, sem og beitargildi (o.m.fl.)	Uppskorin tilviljanakennd úrtök af helstu gróðurlendum, tekið tillit til beitar og árstíma
Fræbærni	Mikilvæg til að helstu tegundir endurnýi sig eða lykiltægundir breiðist út, t.d. þar sem ástand er slæmt	Metin síðla sumars eða að hausti
Ísig	Mikilvægt til að regnvatn nýtist án yfirborðsrennslis (vatnsrof). Gróður minnkar afrennsli og örvar ísig	Mælt fyrir helstu landgerðir svæðis. Háð árstíð. Lítt gróið land hefur lítið ísig á veturnum
Kornastærð	Leir hefur mikla vatnsheldni, silt leiðir vatn greiðlega, sandur heldur litlu vatni og rýfur leiðni vatns til róta	Tekin sýni til kornastærðargreiningar. Hægt að meta á vettvangi með töluverðri nákvæmni
Örveruvirkni í mold	Nauðsynleg fyrir umsetningu næringarefna og gefur til kynna frjósemi landsins sem og líffjölbreytileika	Mæla örverumassa, en einnig hægt að meta virkni með efnafræðilegum aðferðum
Samfella gróðurs	Ef gróðurlendi eru mjög dreifð um land í slæmu ástandi er ástand slæmt fyrir heildina	Kortlagning, oft gervihnattamyndir. Tölfræðilegar greiningaraðferðir á samfellu
Ógróið yfirborð	Ástand versnar með aukinni hlutdeild ógróins lands. Rýfur hringrásir orku, næringar og vatns	Kortlagning, oft unnt að nota gervihnattamyndir.
Nærveðurþættir	Skjól minnkar yfirborðsvind, eykur snjósöfnun, minnkar uppgufun og bætir vatnshringrás	Mæla veðurþætti yfir og undir yfirborði, svo sem meðalhita, vind, uppgufun o.fl.
Byggingareinkenni gróðurs	Kjarrgróður hefur mikil áhrif á nærveður, hefur mikið þanþol og er merki um óraskað gróðurlendi víða á Íslandi. Smávaxinn gróður veitir lítið skjól	Mælingar og kortlagning með ýmsum aðferðum, vistgerðir o.fl. Felur í sér mælingu á lagskiptingu
Ágengar tegundir	Þær geta verið mjög stöðugar og komið í veg fyrir framvindu í átt að náttúrulegu óröskuðu ástandi	Athugað hvort þær séu fyrir hendi og/eða mæld hlutdeild þeirra o.s.frv.

19.3.3. Einfalt kerfi sem dæmi

Hér verður sýnt dæmi um einfalt skema til að mæla ástand lands. Teknir eru þættir sem hafa ótvírætt mikilvægi með hliðsjón af hringrásum orku, næringar og vatns. Kvarði er gerður fyrir hvern þátt út af fyrir sig á mælikvarðanum 0–4 nema fyrir jarðvegsrof, sem fær aukið vægi í þessu skema með því að notaður er mælikvarðinn 0–10 sem gefur aukið vægi í meðaltalinu. Oft er rétt að nota stíglækkandi kvarða fyrir sérhvern þátt þar sem einkunnir falla hratt í fyrstu, sem er lýsandi fyrir hnignun vistkerfa. T.d. er mikill munur á 95% og 100% gróðurþekju en minni á milli 20 og 25% í samhengi við ástand lands.

Stuðst er við sjö þætti í þessu kerfi sem allir eru mjög mikilvægir og lýsandi fyrir ástand útjarðar eða úthaga. Þeir eru um margt sambærilegir við þættina sem notaðir eru í verkefninu „GróLind“ til að meta ástand og virkni beitilanda (sjá umfjöllun aftast í þessum kafla). Annars vegar eru það moldarþættir: lífræn efni, kornastærð og ísig, sem gefa upplýsingar um virkni hringrása vatns,

orku og næringar. Kornastærð varpar ljósi á stöðugleika kerfisins, og land sem er „komið í sand“ fær lægstu einkunn. Hins vegar eru það gróðurþættir: gróðurhula, gróðurhæð, uppskera, sina, samsetning og ágengar tegundir þegar við á. Gróðurþættirnir endurspeglar orkunám og frjósemi kerfisins, en samsetning gróðurs o.fl. þættir varpa einnig ljósi á stöðugleika þess. Nærveður endurspeglar í gróðurhæð. Jarðvegsrof er síðan haft sem sérstakur þáttur. Dæmi um niðurstöður fyrir mat á landi samkvæmt þessu einfalda kerfi er í töflu 19.3 þar sem viðmiðið fær bestu einkunnina, en síðan eru dæmi um land í æ verra ástandi. Sjá einnig mynd 19.13.

Varðandi ágengar tegundir má benda á að víða í vesturhluta Bandaríkjanna, þar sem fræði til að meta ástand lands hafa þróast umtalsvert, hefur hlutur erlendra ágengra tegunda vaxið hröðum skrefum í útjörð undanfarið áhrundrað eða svo, sem hefur haft mikil og neikvæð áhrif á ástand kerfanna. Sumar þessara tegunda voru notaðar í upphafi til að reyna að minnka rof og endurheimta hrunin vistkerfi eftir ofbeit

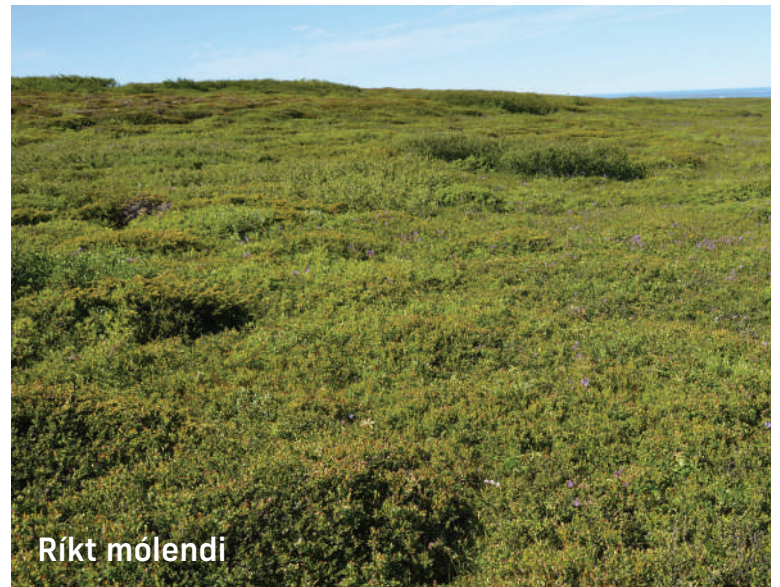
Tafla 19.3. Dæmi um einfalt kerfi fyrir mat á ástandi lands. Það byggist á sjö þáttum þar sem jarðvegsrofi er gefið aukið vægi með því að nota breiðari kvarða. Að baki hvernar einkunnar eru töluleg gildi (t.d. % þekja o.s.frv.) í samræmi við aðstæður og markmið ástandsmats hverju sinni. Viðmið fær fulla einkunn fyrir hvern þátt og heildareinkunn er reiknuð sem hlutfall af einkunn fyrir viðmiði. Einnig væri hægt að snúa kvarðanum við þannig að slæmt ástand fengi hæstu gildin, sem er eðlilegra þegar gefa þarf ákveðnum þáttum meira vægi (auðveldara að auka vægi með háum gildum en að lækka mjög lágar tölur).

Kvarði	Þáttur	Viðmið – kjarrlendi	Ríkt mólendi	Rýrt mólendi	Illá gróið land
0–4	Lífræn efni í mold	4	3	2	0
0–4	Vatnsheldni	4	4	2	1
0–4	Ísig vatns í mold	4	4	2	0
0–4	Gróðurþekja %	4	4	3	0
0–4	Hæð og uppskera	4	3	1	0
0–4	Samsetning/sina/ág.teg. [§]	4	3	1	0
0–10	Jarðvegsrof	10	9	6	0
	Samtals	34	30	17	1
	Heildareinkunn (%)	100	88	50	3

§: ágengar tegundir



Viðmið – kjarrlendi



Ríkt mólendi



Rýrt mólendi



Auðn

Mynd 19.13. Land á mismunandi ástandsstigi í dæminu sem getur um í töflu 19.3. Gríðarlega mikill munur er á milli þessara ástandsstiga. Svæðin þrjú á lægri ástandsstigum voru áður vaxin birkiskógum.

og þurrka fyrir meira en hundrað árum. Tegundirnar, t.d. „lovegrass“ frá Suður-Afríku – *Eragrostis plana*, hafa síðan lagt undir sig víðfeðm svæði. Þeim hafa fylgt margs kyns vandamál, svo sem minni frjósemi, minni líffjölbreytileiki með tapi á lykiltægundum í flóru og fánu, erfiðari og afdrifaríkari gróðureldar, minni framleiðni og verri nýting úrkomu.

Svipaðar sögur má rekja frá öðrum svæðum heimsins, m.a. er varðar fyrrgreinda tegund í Ástralíu. Hérlandis er umræða um ágengar tegundir á borð við lúpínu með nokkuð öðrum og sérstakari hætti en víðast erlendis enn sem komið er.

Lág einkunn fyrir ísig í rýru mólendi og illa grónu landi er vegna holklaka sem myndast á vetrum og takmarkar ísig – vatnsrof verður þar af leiðandi mikið. Vatnsheldni minnkar vegna lækkandi forða lífrænna efna, en jarðvegur illa gróins lands er yfirleitt sendinn með skerta vatnsheldni. Ef land er „komið í sand“ fær þátturinn fyrir vatnsheldni einkunnina núll og þá væri heildareinkunnin sömuleiðis núll. Auðvelt er að þróa tölulegan kvarða fyrir hvern þessara þátta (t.d. að einkunn fyrir gróðurþekju sé 4 fyrir >98% þekju).

Hér er aðeins um að ræða dæmi til að sýna hvernig unnt er að standa að mati á ástandi lands með því að nota nokkra



Mynd 19.14. Land í misjöfnu ástandi (sjá skilgreiningar á ástandsstigum í texta). A: vel gróin beitolönd en þó eru rofdílar fremst á myndinni (II og III, skert fjær, spillt nær). B: Afréttarlönd í fremur lélegu ástandi, lítið rof en þurrlendisvistkerfin eru mjög hnignuð (mosapembur og ógrónar hæðir) – votlendiskerfin hafa lifað af (III, spillt). C: Land í slæmu ástandi, mikið af ógrónu landi og rofið virkt, en landið er smám saman að taka við sér vegna minni beitar (IV, rofsvæði). D: Land í mjög slæmu ástandi, einkennist af hnignuðum múum og ógrónu landi (rofsvæði – gróðurtorfur, IV og V).

lykilþætti vistkerfisins. Síðan er hægt að setja viðmið um lágmarkseinkunn fyrir tiltekna landnotkun á borð við beit sauðfjár, hrossa eða nautgripa. Hér er þó ekki tekið á þeim aðstæðum þegar landið er mjög fjölbreytilegt (fjölbreytt mósaík), allt frá vel grónum blettum til ógróins lands. Þá þarf að setja viðmið um hve stór hluti landsins má vera með einkunn undir tilteknum viðmiðunarmörkum, t.d. að ekki sé meira en 15% landsins (þ.e. mikill minnihluti þess) sem fær lægri einkunn en 66% eða 75%, svo dæmi séu tekin. Viðmið færu m.a. eftir markmiðum landnýtingar og stefnumörkun um að bæta ástand landsins. Samkvæmt lögum um landgræðslu hérlendis ber að

setja viðmið um sjálfbæra landnýtingu þar sem aðferðafræði af þessu tagi kemur við sögu.

19.4. Ísland – ástandsstig og landlæsi

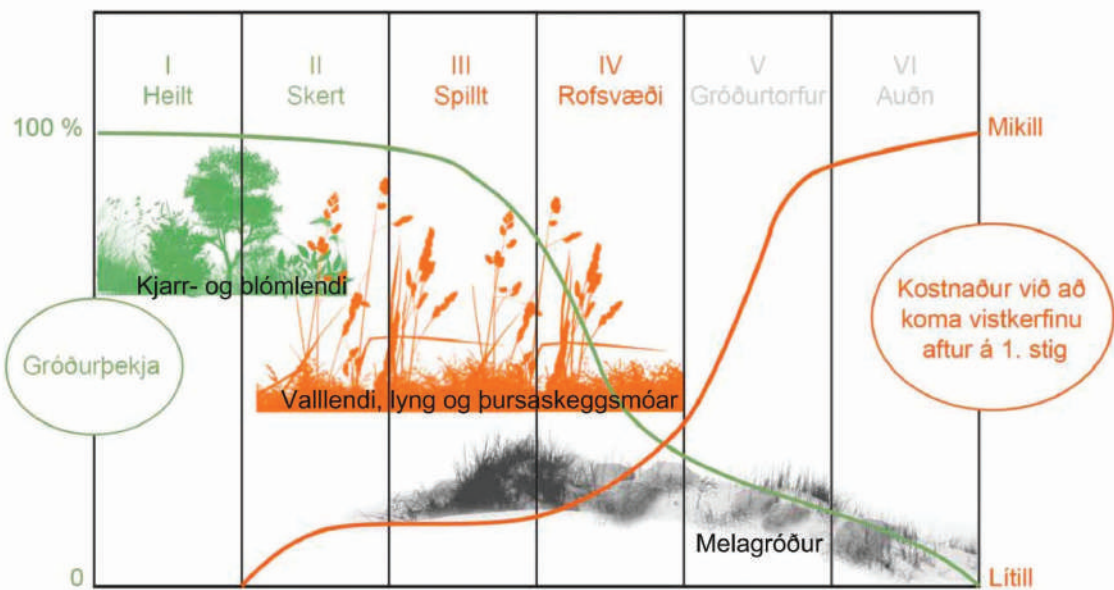
Náttúra landsins er sannarlega heillandi. Ferðamaðurinn, erlendur sem innlendur, er gjarnan í þeirri góðu trú að landið sé óraskað og náttúrulegt – eins fallett og það er; að hina óspilltu náttúru beri fyrir augu. Það kemur raunar vel fram í auglýsingum fyrir ferðamenn. Fagurt er landið en óraskað er það ekki – það er oft fjarri öllum sanni, því er miður –

„heilkeni breyttra grunnviðmiða“ hefur þá tekið yfir (21. kafli). Fólk sem telur landið vera óraskað hefur ekki skilning á því sem fyrir augu ber – það er í raun ólæst á náttúru landsins. Það er jafnmikilvægt að vera læs á ástand landsins eins og að skilja jarðfræði þess, þekkja plöntur og fugla eða skynja atferli dýra. Til þess þarf að lesa í svipmót landsins.

Í kafla 19.3.2 var fjallað um hvernig nota má mælanlega þætti til mats á ástandi lands þar sem vistgeta hvefrrar landeiningar er höfð til samanburðar. Hér er hins vegar notast við landslagsskala með fremur almennum hætti – en sömu grundvallaratriðin gilda. Aðferðirnar voru fyrst kynntar í grein Ásu L. Aradóttur o.fl. árið 1992. Svipaðar aðferðir hafa verið notaðar erlendis, m.a. af Archer og Stokes (2000). Bestelmeyer o.fl. (2011) notuðu sambærilegt kerfi fyrir opna úthaga sem og Jóhann Þórsson við rannsóknir á landhnignun á Íslandi (2008). Ítarleg samantekt á slíkum kerfum, stundum kölluð „state-and-transition models“ eða „S&T-líkön“ (vistþrepa-líkön eða stöðu og tilfærslulíkön), var birt af alþjóðlegum hópi árið 2017 (Bestelmeyer o.fl.). Þau byggjast m.a. á mismunandi ástandsstigum eða

vistþrepum, þröskuldum og þróun kerfa á milli vistþrepa. Isabel Barrio og félagar (2018) birtu athyglisverða tilraun til þess að tengja betur ástand lands á Íslandi við slík kerfi, en með mun flóknari hætti en hér er gert. Líkanið þeirra gefur ítarlegri mynd af því hvernig mismunandi staða vistkerfa endurspeglar ástand sem hlýst af nýtingu og öðru raski, auk þess sem ferlum sem einkenna færslu á milli vistþrepa er lýst. Hafa skal í huga að aðferðir af þessu tagi taka ekki til allra aðstæðna; þær þarf að aðlaga að eðli þeirra vistkerfa sem unnið er með.

Samkvæmt kerfi Ásu L. Aradóttur o.fl. (1992) er ástandinu deilt í sex stig frá „heilu stigi“ (I) til „auðnastigs“ (VI) (sjá mynd 19.15). Það lýsir t.d. aðstæðum á afréttarsvæðum sunnanlands, neðan hálendisbrúnarinnar, nokkuð vel og náttúrufari sem einkennist af þurrlendi; ekki síst þar sem hnignunin hefur verið hvað mest, en auðvelt er að heimfæra það upp á önnur svæði landsins. Gríðarlega mikill munur er á milli stigs I og þeirra stiga sem eru mjög hnignuð hvað varðar flesta þætti vistkerfa. Í töflu 19.4 er listi sem sýnir hvernig mikilvægir vistkerfisþættir breytast á milli stiganna.



Mynd 19.15. Ástandsstig frá heilu stigi til auðnastigs. Gróðurhulan og frjósemi vistkerfa minnka hratt á rofstiginu. Eftir því sem gróðurhulan er minni og gróðurfar rýrara hefur gengið meira á orku- og næringarforða kerfisins og ærferðara verður að koma því aftur á fyrra stig (Ása L. Aradóttir o.fl. 1992, endurrunnið fyrir ÓA og Ásu L. Aradóttur 2015).

Gildin sem gefin eru í töflu 19.4 endurspeglar stærðargráðu, en þau eru breytileg eftir aðstæðum og því er mörgum þeirra aðeins lýst sem „mikið“ eða „engin“ o.s.frv.

I. Heilt vistkerfi. Þetta stig endurspeglar vistgetu hvers svæðis (e. ecological potential, land potential). Á láglendi hafa óröskuð vistkerfi heila gróðurhulu sem er kröftug og hávaxin, jafnvel kjarrgróður (mynd 19.16), skógur eða öflug óröskuð votlendi. Nærveður

er hagstætt; það er fremur skýlt við yfirborðið og snjór safnast fyrir í skjóli gróðursins sem bætir einangrun við yfirborðið og skilar snjóbráð ofan í moldina. Ekkert rof á sér stað, hvorki af völdum vatns eða vinda. Regnvatn berst ofan í moldina sumar sem vetur. Hitasveiflur eru hægar í moldinni og ísnálar myndast ekki. Kolefnishlutfall er >6% (jafnvel >12%) á þurrlandi og magn niturs >10 000 kg/ha, sem endurspeglar frjósemi kerfanna og öra umsetningu næringarefna. Kolefnisinnihaldið getur

Tafla 19.4. Mismunur á yfirborðaáðstæðum og moldarþáttum eftir ástandsstigum. Gildi geta verið mjög breytileg frá einum stað til annars innan hvers ástandsstigs. Hér er miðað við aðstæður á láglendi.

	I Heilt	II Skert	III Spillt	IV Rofsvæði	V Gróðurtorfur	VI Auðn
Yfirborðið						
Gróðurhula (%)	100	90 – 100	75 – 95	40 – 80	5 – 40	<20
Gróðurhæð (cm)	20 – 200+	5 – 15	3 – 10	0 – 10	0 – 10	0
Hámarksvindhraði (m/s) [§]	<2	>5	>15	>20	>20	>25
Sina	Mikil	Nokkur	Lítill	Lítill	Lítill	Engin
Snjósöfnun	Mikil	Nokkur	Takmörkuð	Takmörkuð	Engin	Engin
Vindrof	Ekkert	Ekkert	Lítið – mikið	Mikið	Mikið +	Mikið +
Vatnsrof	Ekkert	Ekkert	Lítið – mikið	Mikið	Mikið +	Mikið +
Myndun ísnála	Engin	Lítill	Nokkur	Mikil	Mikil +	Mikil +
Hitaöfgar á 2 cm dýpi (°C) [#]	1 – 5	3 – 6	5 – 10	10 – 30	>30	>30
Uppgufun úr mold	Lítill	Tempruð	Tempruð	Nokkur	Mikil	Mikil +
Ísig að vetri (mm/klst) ^{&}	>10	>10	2 – >10	<2 – 10	<2 – 10	<2
Yfirborðsmold						
C % í efstu 30 cm [€]	6 – 15	3 – 7	1,5 – 4	0,5 – 3	0,2 – 2	0 – 0,5
N í efstu 30 cm (kg/ha) [€]	>10 000	>5 000	>2 500	<1 000	<500	<250
Leir (%) ^Y	15 – 30	10 – 25	10 – 20	3 – 15	3 – 10	1 – 5
Vatnsheldni (%) ^Z	50 – 100	30 – 70	20 – 50	10 – 40	5 – 15	1 – 10

§: Í 20 cm hæð í stormum. Byggt á óbirtum samanburðargögnum Lbhí og Lr (Ólafur Arnalds og Guðmundur Halldórsson).

#: Mögulegar breytingar á hitastigi (°C) á 1–2 cm jarðvegisdýpi á einum sólarhring.

&: Miðað við frost í jörðu. Byggist fyrst og fremst á gögnum Berglindar Orradóttur og mælingum Lbhí/Lr (Ermond-verkefnið – óbirt). Sjá 16. kafla um kulferli.

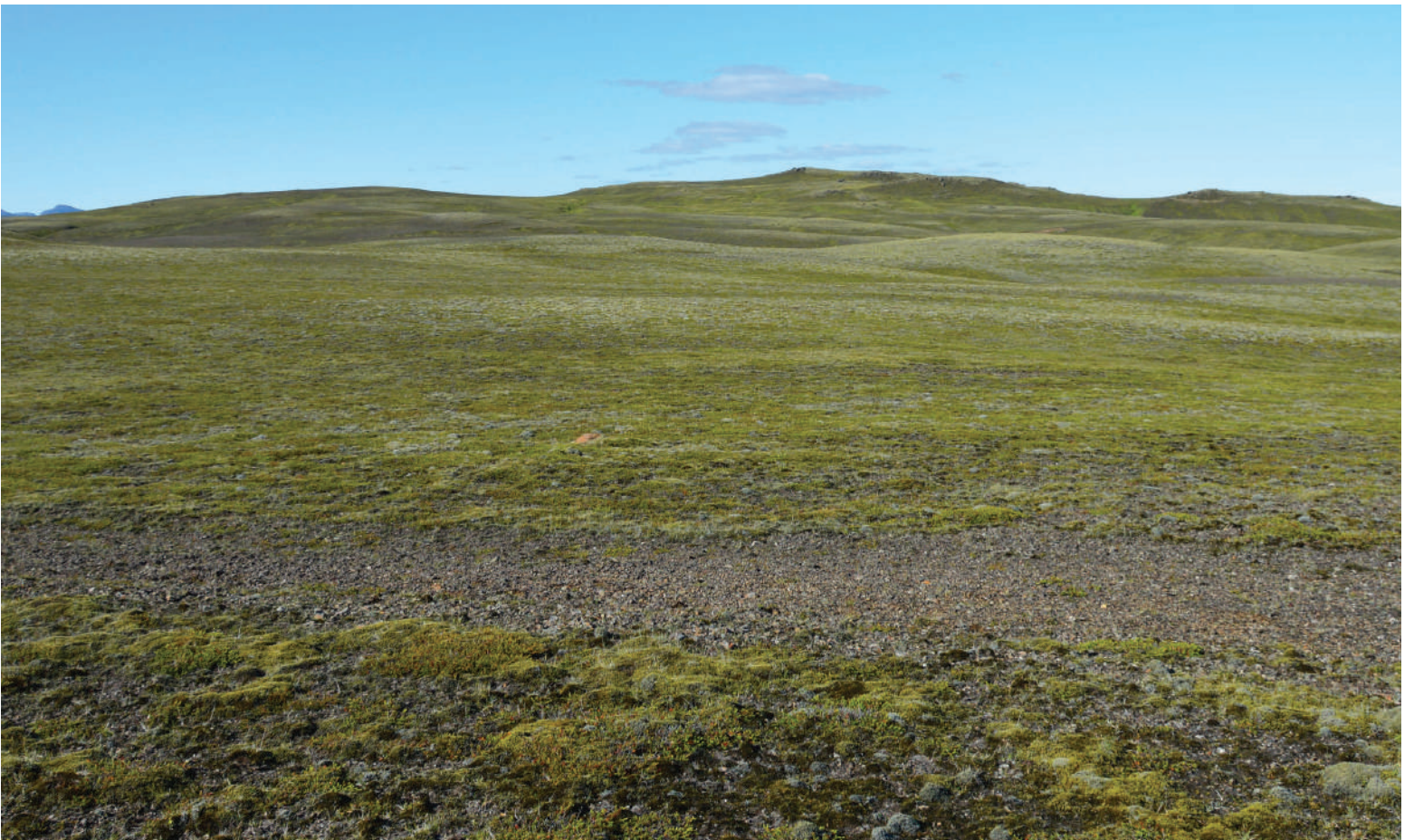
€: Byggt á gögnum LULUCF-verkefnis (Lbhí).

Y: Byggt á gagnagrunni Lbhí (Ýmir, COST 622) og birtum greinum ÓA (sjá Ólaf Arnalds 2015).

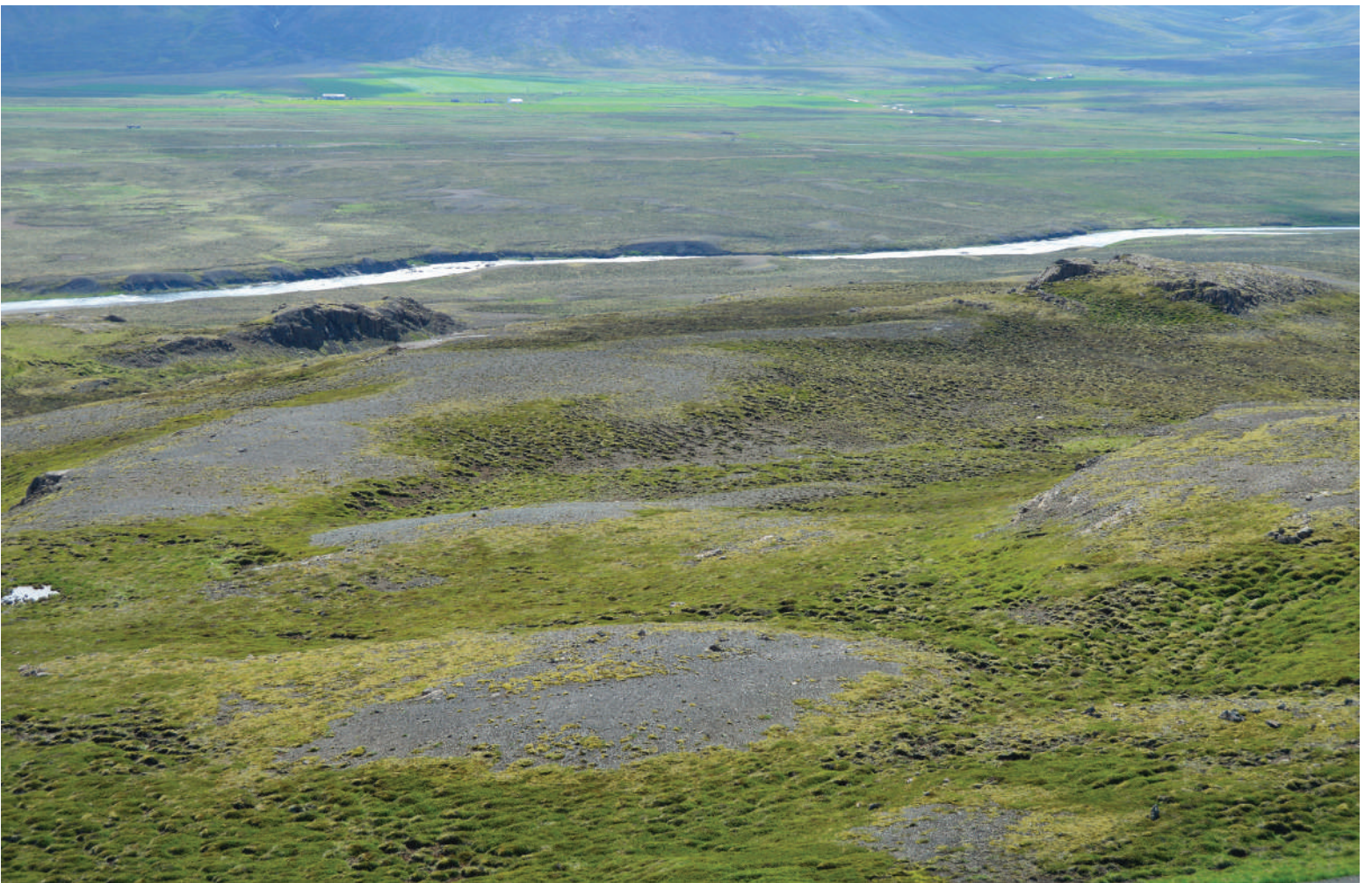
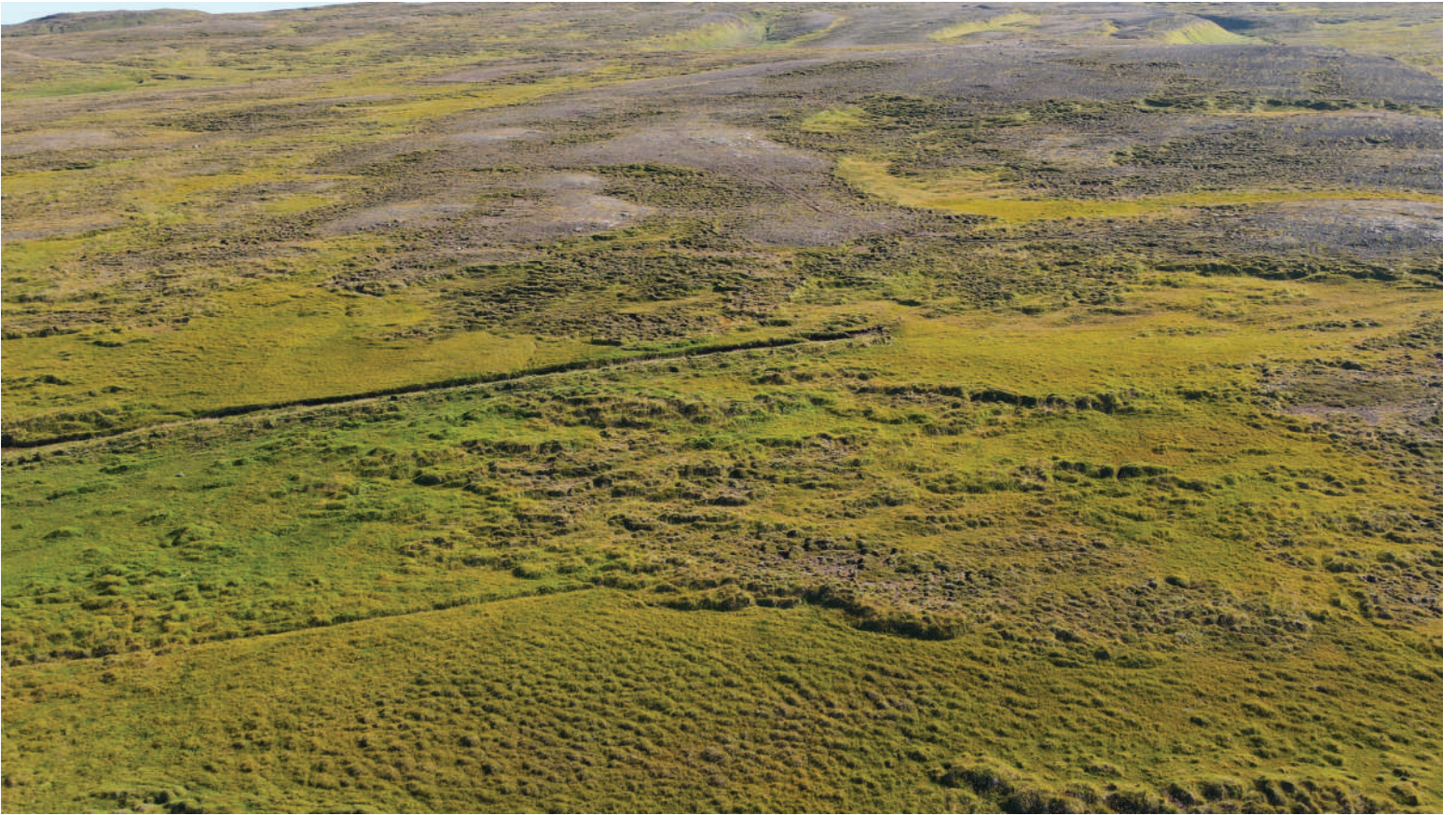
Z: E: water holding capacity. Miðað við þurrvigt moldar, meðaltal í landslaginu. Gögn úr Ými (Lbhí) og frá Ólafi Arnalds 2015.



Mynd 19.16. Heilt vistkerfi. Meiðavallaskógur í Kelduhverfi. Skógurinn er töluvert beittur en heldur helstu einkunnum vistkerfisins sem og framleiðni.



Mynd 19.17. Skert vistkerfi (stig II) á Suðurlandi. Gróðurhula er enn til staðar og lítið rof, sem réttlætir stig II, en lítið vantar upp á að svæðið flokkist sem spillt vistkerfi (stig III) því að gróðurhulan er afskaplega rýr miðað við vistgetu (kjarrlendi).



Mynd 19.18. Spillt kerfi (stig III) á Norðvesturlandi (báðar myndirnar). Talsvert hefur gengið á gróðurþekjuna og hún er víða opin. Svæðin hafa verið mikið beitt. Ástand lands telst ekki gott en svæði sem þessi eru þó iðulega metin sem svo að þau séu í ásættanlegu ástandi. Mikilvægt er að nýjar aðferðir til að meta ástand lands nái utan um landhnignun af þessu tagi. Votlendi á efri myndinni virðist hafa verið raskað að nauðsynjalausu með skurði. Sjá einnig mynd 19.19 sem dæmi um land á stigum III og IV.

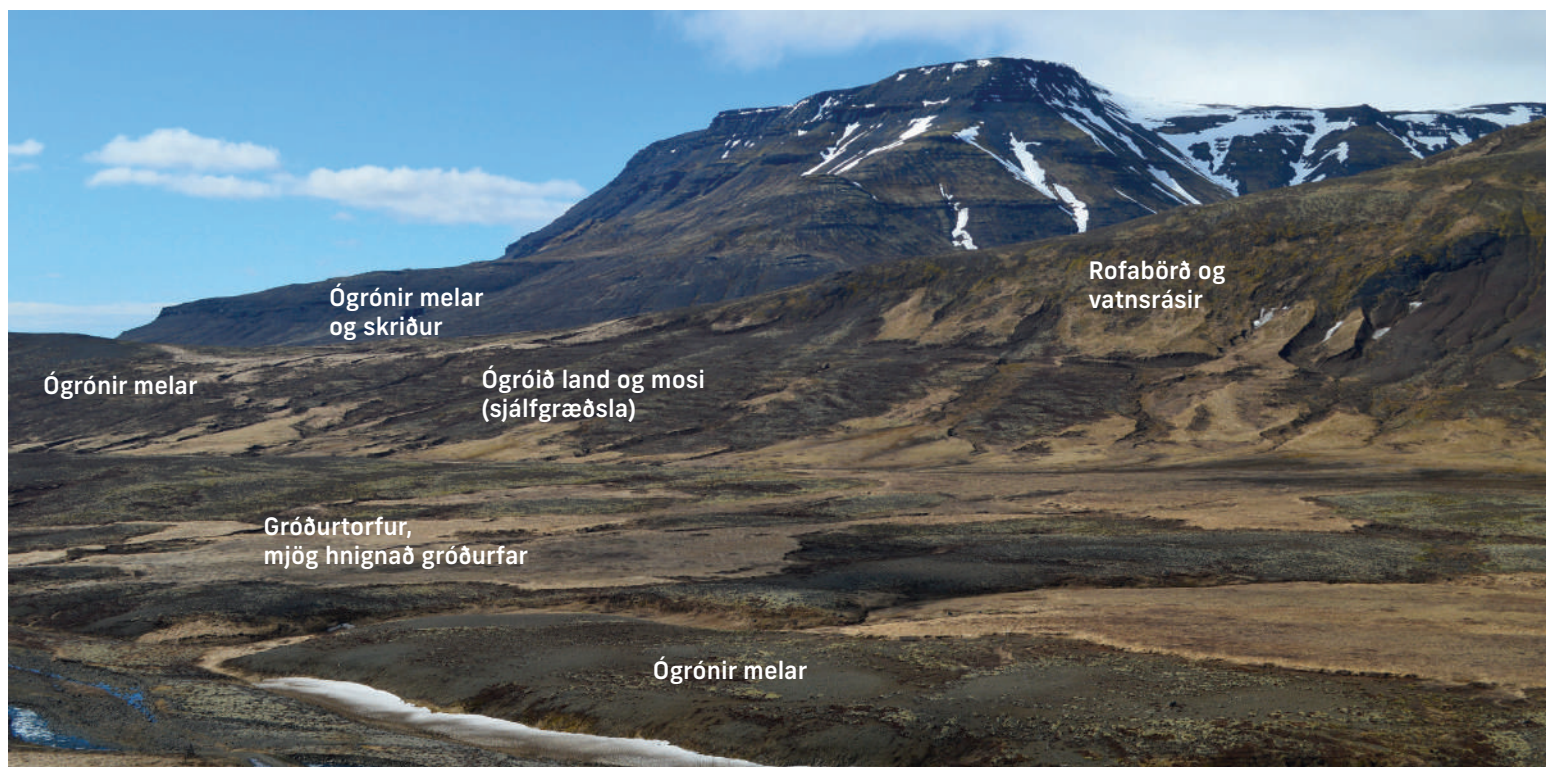
auðveldlega verið 10–14% í A-lögum (yfirborðslögum) í öröskuðum birkiskógi. Hér er yfrið nóg af næringu og orku fyrir kröftug vistkerfi. Auk þess er nóg af leir og lífrænum efnum til að halda í vatn og miðla því yfir þurrkatíma – þanþolið gagnvart áföllum er mikið.

II. Skert vistkerfi. Landnýting í nokkurn tíma hefur skert eða eytt kjarrinu sem fyrir var og gróðurfarið er tekið að einkennast af tegundum sem þola beit eða eru lítt bitnar (t.d. lyngtegundir) þar sem er þurrt, en grastegundum, störum o.fl. þar sem er rakara (mynd 19.17). Gróðurhæð er lægri og því er skjólið minna; vindhraði við yfirborð eykst sem dregur úr snjósöfnun samanborið við stig I. Þúfnamyndun er oft áberandi.

Hitasveiflur í jarðveginum hafa aukist en vatn kemst enn ofan í moldina að vetri. Frjósemi er umtalsverð en þó er mun minni lífrænn forði en í heilu vistkerfi. Rofdílar eru teknir að sjást í gróðurhulinni. Vistkerfi geta haldist stöðug á þessu stigi á sléttlendi og

hafa umtalsvert þanþol. Í kjölfar eyðingar birkiskóga hefur næringarforði moldarinnar verið mjög mikill til að byrja með og þanþolið samkvæmt því, en með langvarandi nýtingu gengur á þennan forða. Kólnandi veðurfar eða náttúruleg áföll á borð við gjóskugos geta í sumum tilfellum skilað vistkerfum niður á þetta stig, sem er síðan viðhaldið sem slíku ef landnýting er til staðar (sbr. rannsóknir Sigrúnar Daggar Eddudóttur o.fl. 2015, 2016, 2017).

III. Spillt vistkerfi. Gróðurhæð er fremur lítil og einkennist af tegundum sem þola beit sem og af beitarfælum plöntum (oft rýrt mólendi og mosapemba, sjá ÓA og Ásu L. Aradóttur 2015 og Sigprúði Jónsdóttur 2010). Þúfur eru áberandi og rofdílar víða í þekjunni (mynd 19.18). Melar og ógróið land er komið til sögunnar á milli gróinna svæða á landslagsskala – mósaík sem einkennist af miklum andstæðum. Mjög hefur gengið á lífrænan forða moldarinnar og umsetning næringarefna er hægari en í landi á stigum I og II.



Mynd 19.19. Land sem telst rofsvæði (IV). Rofið hefur verið mun meira áður fyrr. Stór hluti landsins er ógróinn vegna ofnýtingar og hnignunar vistkerfa. Margir álíta að land sem þetta sé í eðlilegu ástandi, það er fjarri lagi. Hér hefur skógur verið ráðandi áður fyrr ásamt votlendi, en nú er landið í tötrum. Gróðurinn tórir þar sem þanþol var mest, t.d. í brekkurótum og hálfdeigju úti á flatlendinu. Landið er heldur að gróa saman aftur, enda lægra nýtingarstig en áður var, m.a. hefur sums staðar myndast mosapemba á ógrónum melum. Á myndinni, sem er tekin árið 2018, sést á Þverárkotsháls, sunnan Esju.



Mynd 19.20. Gróðurleifar í hlíðum. Það er afar misjafnt hvernig gróðri í hlíðum landsins hefur reitt af. Mest hefur rofið verið þar sem eru langar samfelldar hlíðar. Myndin til vinstri er frá Miðnorðurlandi en sú til hægri frá Vestfjörðum.



Mynd 19.21. Gróðurtorfur við Grjóta á Biskupstungnafrétti. Þær eru vitnisburður um horfinn náttúruauð. Svæðið var áður að mestu hulið birkiskógi og þarna hafa fundist ummerki um kolagerð.

Framþróun lands við friðun, sem og uppsöfnun kolefnis, niturs og annarra næringarefna, gengur hægt fyrir sig og því tekur langan tíma að ná fyrra stigi (oft nokkrir áratugir, hægast fyrst). Víða myndast ógegndræpur holklaki vegna skorts á einangrun, sem leiðir til yfirborðsrennslis, vatnsrofs og taps á vetrarvatni úr kerfinu. Slíkt ástand getur einnig valdið mengun vatnsbóla þegar moldarmengað vatn sígur til grunnvatns í vatnsveðrum (einnig stig IV–VI). Sinumyndun er lítil og hún veitir því ekki einangrun, sem eykur enn á hitastigssveiflur. Jarðvegsrof er nokkuð, m.a. frá rofdílum og ógrónum svæðum, en einnig eru rofabörð algeng þar sem moldin er nægjanlega djúp. Vatnsrásir eru teknar að einkenna hlíðar. Losun kolefnis sem CO₂ getur verið umtalsverð um leið og kolefnisforði kerfisins fer minnkandi (sjá ÓA og Jón Guðmundsson 2020).

IV. Rofsvæði. Land á þessu stigi einkennist af ummerkjum um tap á mold vegna jarðvegsrofs (mynd 19.19). Landgerðin er oft tvískipt: annars vegar gróin kerfi en hins vegar illa gróið land. Grónu blettirnir eru þar sem meira þanþol hefur tafið eyðinguna, t.d. þar sem rakastig er hagstætt miðað við aðstæður á svæðunum sem eru orðin illa gróin. Moldin sem fyrir var er hins vegar horfin af þeim stöðum þar sem kerfin voru viðkvæmari, t.d. í halla, á hæðum eða þar sem rakaskilyrði voru hlutfallslega lakari. Þegar hér er komið sögu hefur orðið vistkerfishrun og slíkt land ætti ekki að nýta til beitar (né svæði á stigum V og VI), jafnvel þótt vel grónir blettir séu til staðar. Auðnasvæðin hafa mjög skert gildi fyrir þættina sem sýndir eru í töflu 19.4. Það er háð jarðvegsþykkt og fleiri þáttum hver ásýnd landsins er.

Rofabarðasvæði eru táknræn fyrir þetta stig við gosbelti landsins þar sem moldin er nægjanlega djúp. En mörg svæði eru hálfgróin og í slæmu ástandi þótt þau séu án rofabarða og er því oft

ekki veitt athygli (mynd 19.19). Þetta stig varir mislengi; í stuttan tíma þar sem moldin er viðkvæm, þar sem moldin er gróf og þar sem lítið er um votlendi og hálfdeigur. Annars staðar er þetta stig nokkuð stöðugt þar sem eftir sitja gróðurleifar á stöðum með mikið þanþol gagnvart raski og rofi (mynd 19.19), sem er trúlega algengara nú til dags en t.d. fyrir tveimur öldum.

V. Gróðurtorfur. Víða eru svæði sem einkennast af illa grónu landi en eftir standa stakar gróðureyjar sem eru til vitnis um þau vistkerfi sem áður voru til staðar. Torfurnar hafa því „heimildagildi“, og raunar er það svo að stakar torfur í auðnalandi vekja undrun, t.d. í bröttum hlíðum þar sem annars er lítið um gróður (mynd 19.20). Þessar eyjur geta líka verið gróður í giljadrögum og annars staðar þar sem þanþolið var meira, en almennt er landið fremur illa gróið á þessu ástandsstigi. Dæmi um land á stigi V er víða á afréttum sunnanlands þar sem fátt bendir annars til að landið hafi verið gróið (mynd 19.21). Á þessum svæðum má jafnvel finna kolagrafir – þar sem nú er auðn var gert til kola í birkiskógi fyrr á öldum (t.d. Sturla Friðriksson 1991, Sturla Friðriksson og Grétar Guðbergsson 1995). Eyjurnar og kolagrafirnar eru vitnisburður um algjört vistkerfishrun. Slíkt land ætti vitaskuld skilyrðislaust að vera friðað fyrir beit. Gróðurtorfur í auðnum eru mikilvægar fræuppsprettur þegar landið fær frið og tekur að gróa upp að nýju. Land á þessu ástandsstigi er mikilvægt til kolefnisbindingar samhliða endurheimt landgæða á landslagsskala.

VI. Auðnir. Auðnir eru lokastig hruns vistkerfa (mynd 19.22). Þær telja land þar sem hin lífræna *sortujörð* (*brúnjörð*, *votjörð*, *svartjörð*) er ekki lengur til staðar. Stundum hafa jafnvel votlendi eyðst. Lífræn efni og næringarefni eru aðeins í takmörkuðum mæli og nægja ekki fyrir samfelldan gróður; það er jafnvel 100 sinnum minna kolefni og



Mynd 19.22. Auðn. Hér er orka ekki numin inn í kerfið (ljóstillífun), vatnsheldni er takmörkuð og yfirborðið afar óstöðugt.



Mynd 19.23. Klaki á yfirborði auðnar. Ísig er takmarkað á vetrum og því geta myndast mikil svellalög sem hafa neikvæð áhrif á umhverfið. Úrfelli á freðna jörð auðna geta orsakað mikil flóð í ám.

nitur í mold auðnarinnar en í óraskaðri mold á stigi I (tafla 19.4). Plöntur sem þrífast í jarðvegi auðna (að mestu *glerjörð*) þurfa víðtækt rótarkerfi til að nema næringu og vatn úr moldinni. Til þess þarf að verja stórum hluta orkunámsins (með ljóstillífun), og þessar plöntur eru einstaklega viðkvæmar fyrir því að ofanjarðarhluti þeirra skerðist af völdum beitar.

Segja má að auðnastigið sé nokkuð stöðugt – landið grær ekki svo auðveldlega upp að nýju – en því valda margir þættir. Ísnálar koma í veg fyrir að fræplöntur festi rætur. Þéttur holklaki undir yfirborðinu á vetrum hamlar ísigi, sem veldur miklu afrennsli og vatnsrofi. Flóð á vetrum, í kjölfar snöggrar þíðu og mikillar úrkomu, eru vel þekkt á svæðum sem þessum. Á öðrum tímum geta myndast ísalög vegna skorts á ísigi (mynd 19.23). Á sumrin er oft skortur á vatni, jafnvel í stuttum þurrkaköflum, því hæfileikinn til að miðla vatni hefur glatast. Hitabreytingar eru afar miklar og uppgufun getur orðið mjög ör þegar dökkt yfirborðið hitnar í sólskini. Auk þess er ekkert sem hamlar miklum vindi við yfirborðið, snjósöfnun er lítil – nærveður er óhagstætt.

Skortur á stöðugleika er mikið vandamál, ekki síst þar sem sandur er í yfirborðinu. Oft þarf lífræna jarðvegsskán til að koma af stað framvindu, en hún dregur úr uppgufun sem og myndun holklaka og ísnála, en jafnframt nemur hún nitur úr andrúmsloftinu og býr til fræbeð („örugg set“) fyrir fræ háplantna. Skánin er afar viðkvæm fyrir traðki búfjár og vindrofi, ekki síst þar sem sandur er í yfirborði. Þar sem langt er í uppsprettur fræs frá gróðureyjum er fræskortur einn þeirra þátta sem hamla endurgræðslu, jafnvel þar sem svæði hafa verið friðuð fyrir beit. Mjög mikil fræframleiðsla, t.d. þar sem öflugir birkiskógar eru í nánd, hefur hins vegar mjög jákvæð áhrif á framvindu, eins og rannsóknir á Skeiðarársandi og víðar sýna ljóslega (Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2015, Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2017, Þóra Ellen Þórhallsdóttir og Kristín Svavarsdóttir 2022).

Oft kemur upp sú spurning hvort auðnir séu náttúrulegt ástand landsins (mynd 19.22). Þær eru gjarnan settar í samhengi við óspillt víðerni eða ósnerta náttúru. Vissulega eru margar auðnir landsins náttúrulegar, t.d. auðnir sem liggja mjög hátt yfir sjávarmáli,



Mynd 19.24. Auðn vestan upptaka Köldukvíslar við vestanverðan Vatnajökul. Svæðið stendur hátt en gróður lifir í lægðum þar sem rakaástand er gott. Skil á milli svæða sem eru auðnir frá náttúrunnar hendi eða að hluta myndaðar vegna nýtingar á afar viðkvæmum kerfum eru iðulega óljós. Myndin er tekin árið 2020.

gjóskusvæði (t.d. Veiðivatnasvæðið, a.m.k. að hluta) og flóðasléttur eftir hamfarahlaup (t.d. Krepputungu). Sumar auðnir hafa myndast vegna margra samverkandi þátta. Það eru þó afar sterkar vísbendingar um að mörg auðnasvæði landsins hafi áður verið gróin en síðar orðið fyrir eyðingu. Þetta á t.d. við um víðáttur Ódáðahrauns þar sem moldarleifar finnast undir sandinum sem nú hylur svæðið (ÓA 1992). Þá er líklegt að margar flóðasléttur á láglendi væru betur grónar, þrátt fyrir hamfarahlaup í jökulám, ef sterkur gróður myndi þekja svæðin umhverfis, m.a. víðáttumiklir fræberandi birkiskógar, eins og reynslan á Skeiðarársandi bendir sterklega til, og einnig þar sem víðitegundir eru til staðar í sverði (sjá Þóru Ellen Þórhallsdóttur 2015). Sums staðar er enginn vafi á að auðnir eru afleiðing eyðingar vegna nýtingar; þess sér m.a. mjög víða stað í afréttarlöndum sem eru neðan 5–600 m hæðar.

Rétt er að hafa í huga að kerfið til að meta ástand lands sem hér var lýst er almennt og nær í raun aðeins upp að hálendisbrúninni, en eðli landsins er ákaflega mismunandi og því er ekki hægt að heimfæra kerfið að öllu leyti upp á allar aðstæður. Því er ætlað að

hjálp til við mat á landi; að gefa viðmið sem hægt er að styðjast við – „stafróf fyrir lestur landsins“ – til að lækna „samdaunasyki“ (sjá 21. kafla). Aftur má benda á kerfi Isabel C. Barrio o.fl. (2018), sem byggist á vistprepa-líkönnum, til að fá gleggri mynd af ástandsstigum og færslum á milli þeirra (einnig „stöðu- og færslulíkön“, e. „state and transition models“).

19.5. Stöðumat á íslenskum vistkerfum – verkefnið „GróLind“

Á undanförunum árum hefur verið unnið að verkefninu „GróLind“ sem hefur það að markmiði að „(a) meta með reglubundnum hætti ástand gróður- og jarðvegsauðlinda landsins og (b) þróa sjálfbærnivísa fyrir nýtingu gróður- og jarðvegsauðlinda landsins“ (Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2020). Landgræðslan fer með framkvæmdina fyrir hönd samstarfsaðila, sem eru Bændasamtök Íslands, Landssamtök sauðfjárbænda og Matvælaráðuneytið (stjórnskipan 2022), sem fer með fjármögnun í tengslum við búvörusamninga (auk fjármagns frá Landgræðslunni).

Tafla 19.5. Virknieinkunn fyrir mælibreytur úr vistgerðaflokkun NÍ og kortlagningu á rofi (Rala/Lr) við stöðumat GróLindar.

Mælibreyta fyrir vistgerðir	Virknieinkunn				
	1	2	3	4	5
Gróðurhæð (cm)	<5	5–9	10–14	15–39	>40
Óvarinn jarðvegur (%)	50–100	30–49	20–29	10–19	<10
Þekja æðplantna (%)	<10	10–19	20–39	40–59	60–100
Kolefni í jarðvegi (%)	<1	1–3,4	3,5–5,9	6–11,9	>12

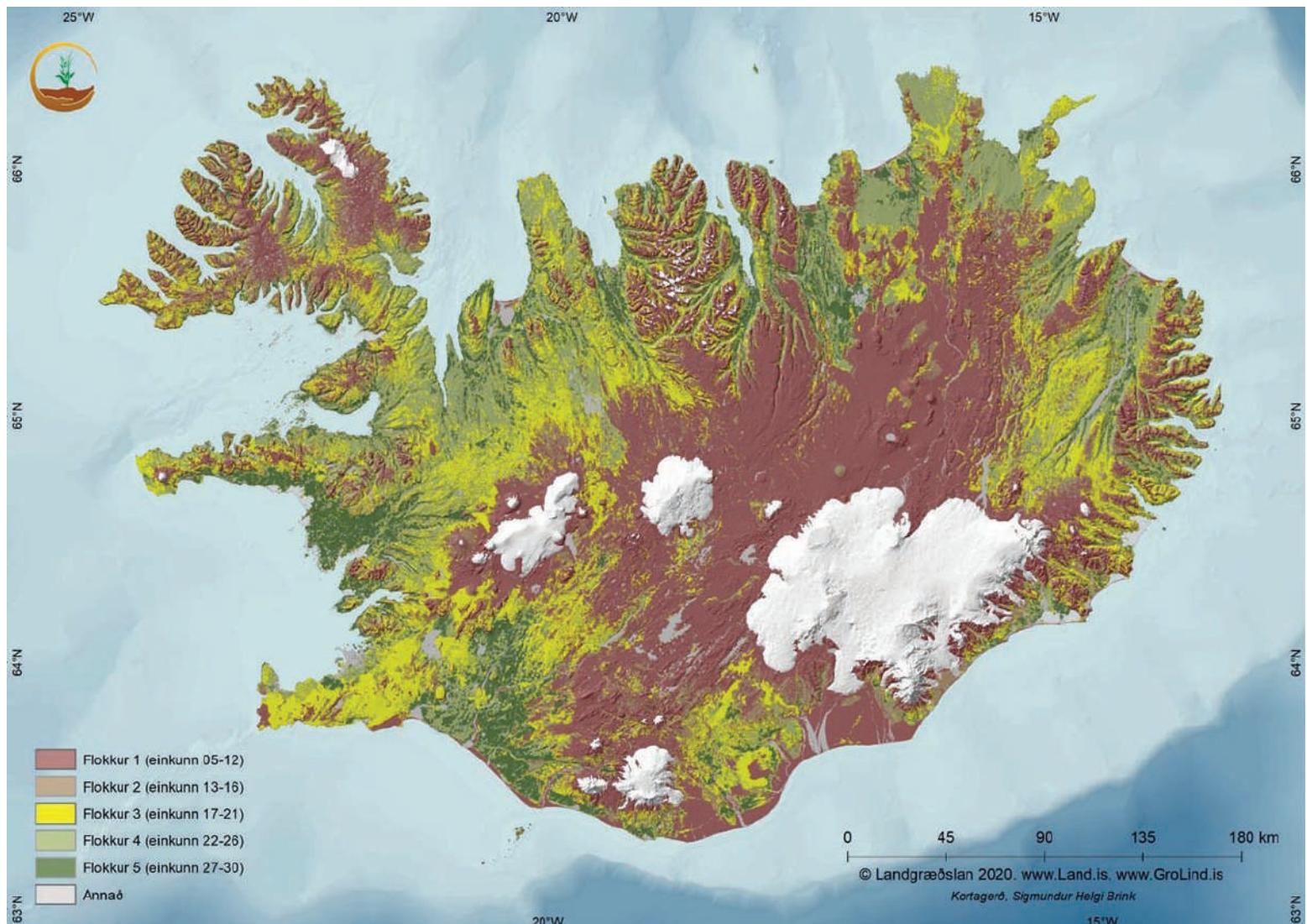
Rofeinkunn GróLind	1	3	5	7	9	10
Rofeinkunn rofkort Rala/Lr	5	4	3	2	1	0
Lýsing rofs	Mjög mikið	Mikið	Talvert	Nokkurt	Lítið	Ekkert

Verkefnið hefur að leiðarljósi svipuð sjónarmið og aðferðafræði og lýst var hér á undan þar sem vistgeta er höfð sem viðmið. Eldri íslenskar aðferðir eru hafðar til hliðsjónar, m.a. ákvörðun jarðvegsrofs (ÓA o.fl. 1997), mat á hrossahögum (Borgþór Magnússon o.fl. 1997), mat á sauðfjárhögum (Sigprúður Jónsdóttir 2010), ástandsflokkar Ásu L. Aradóttur o.fl. (1992; einnig ÓA og Ása L. Aradóttir 2015), sem og aðferðir til að meta áfallaþol vistkerfa

umhverfis Heklu vegna mögulegs öskufalls (Elín Fjóla Þórarinsdóttir o.fl. 2017). Við verkefnið er einkum ofin saman kortlagning á vistgerðum á vegum Náttúrufræðistofnunar Íslands (Jón Gunnar Ottósson o.fl. 2016) og kortlagning á jarðvegsrofi á vegum Landgræðslu ríkisins og Rannsóknastofnunar landbúnaðarins (Ólafur Arnalds o.fl. 1997). Vistgerðum eru gefnar einkunnir byggðar á gróðurhæð, þekju óvarins jarðvegs, þekju

Tafla 19.6. Ástandskvarði verkefnisins GróLindar, sem skipt er niður í fimm ástandsflokka frá mjög lítilli virkni (lág heildareinkunn; slæmt ástand) til stöðugra og virkra vistkerfa (há heildareinkunn). Litir í töflunni fylgja litum sem notaðir eru á kortinu sem sýnir ástand landsins.

	Mjög lítil virkni eða stöðugleiki			Mikil virkni og stöðugleiki	
	Flokkur 1	Flokkur 2	Flokkur 3	Flokkur 4	Flokkur 5
Einkunn – vistgerð + rof	5–12	13–16	17–21	22–26	27–30

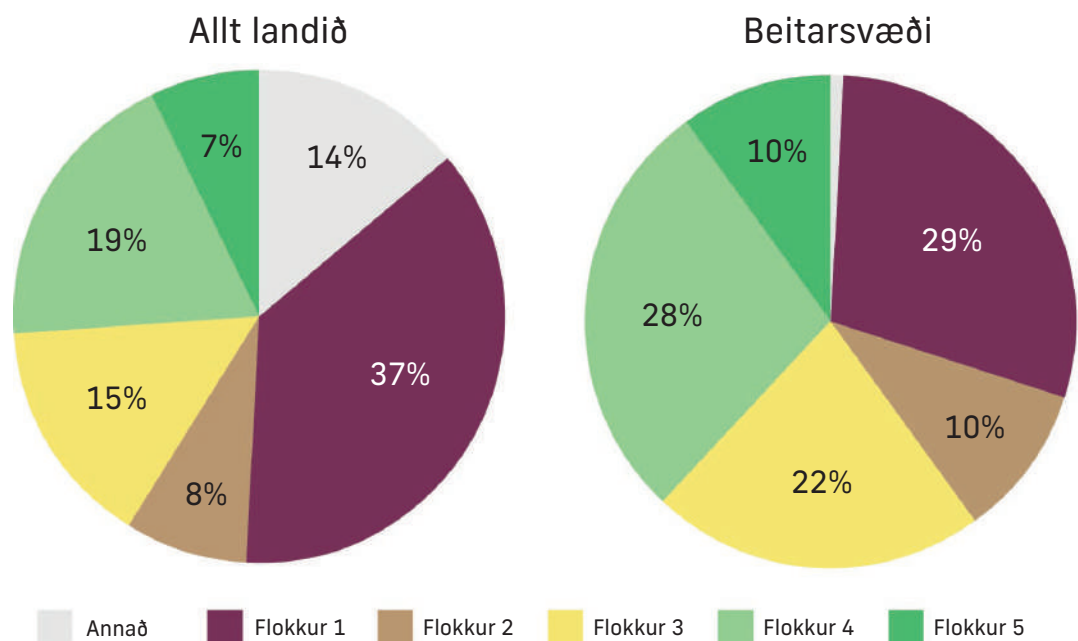


Mynd 19.25. Ástand íslenskra vistkerfa – verkefnið GróLind. Lágur einkunnir þýða slæmt ástand en háar (grænlitað) gott ástand lands. Heimild: grolind.is, júlí 2020/Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2020.

æðplantna og kolefnisinnihaldi, allt þættir sem nefndir eru í töflu 19.4 um mögulega þætti til að meta ástand lands. Gefnar voru „virknieinkunnir“ sem sýndar eru í töflu 19.5, en þeim er ætlað að endurspeglar ástand vistkerfa. Síðan voru rofeinkunnum samkvæmt kortlagningu á jarðvegsrofi gefin gildi frá einum til tíu: 10 þar sem er ekkert rof en 1 þar sem rofið telst mjög mikið.

Í júní 2020 var birt stöðumat verkefnisins um ástand gróður- og jarðvegsauðlinda Íslands (mynd 19.25; Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2020, 2021). Stöðumatið fékkst með því að leggja saman virknieinkunn vistgerða (fjórar breytur með mögulegareinkunnir, samtals 4–20) og rofeinkunn fyrir jarðvegsrof (1–10). Þar með fékk jarðvegsrof um þriðjung hlutdeildar í heildareinkunninni (með breiðari skala – hærri tölur ef land er í góðu ástandi) en þess getið að illa gróið land kæmi einnig fram í einkunn fyrir vistgerðir. Heildareinkunn eftir samlagningu þessara fimm þátta var skipt niður í fimm ástandsflokka (tafla 19.6), en litir í töflunni eiga sér samsvörun í heildarkortinu sem sýnir niðurstöðurnar (mynd 19.25).

Kortið sýnir vel að ástand beutilands með tilliti til virkni og stöðugleika samkvæmt aðferðafræði GróLindar er víða langt frá því að vera ásættanlegt – kortið sýnir vel dapurlegt ástand íslenskra vistkerfa. Í skjali sem lýsir aðferðafræðinni eru ljósmyndir, sem sýna dæmi um hvers kyns land einkennir flokkana fimm, sem vert er að gefa gaum (Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2020) en þeir eiga margt sameiginlegt með ástandsflokkunum I–VI sem lýst var hér á undan. Samkvæmt þessu fyrsta mati GróLindar eru 29% af því svæði sem nú er skilgreint sem beitar svæði í flokki 1, sem nær yfir verst farna landið miðað við gróðurhulu og jarðvegsrof (mynd 19.26). Þessi tölfræði er vitaskuld langt frá því að vera ásættanleg er varðar nýtingu lands, sem í þokkabót er að stórum hluta rekin fyrir almannafé. Flokkar 1 og 2, sem sannarlega verður að telja sem óheppilegt beutiland, eru samtals 39% þess lands sem gefið er upp til beitar af sauðfjábændum. Þó er það svo að stærra land í flokkum 1 og 2 er nýtt til beitar en hér er gefið upp (ÓA 2019). Ef gulu svæðunum (flokkur 3) er bætt við lendir ansi stór hluti lands sem nýttur er til beitar í þeim flokkum (61%).



Mynd 19.26. Ástand gróður- og jarðvegsauðlinda – fyrsta mat. Myndin er fengin úr glærुकynningu GróLindar í júní 2020 (grolind.is). Flokkar 1 og 2 eru samtals 39% lands sem nýtt er til beitar, en mest af þessu landi er ekki hæft til slíkrar nýtingar. Um 38% lands sem telst beitar svæði er í góðu ástandi samkvæmt þessum niðurstöðum. Sumt af því landi sem hér er talið utan beitar svæða og telst til flokks 1 (versta ástandið) er sannarlega beitt.

Niðurstöður GróLindar sýna svo ekki verður um villst að breyta þarf viðhorfum til þess hvaða land er nýtt til sauðfjárbætur – ráða þarf bót á heilkenni breyttra grunnviðmiða meðal landnotenda og innan stjórn-sýslunnar, sem hugsanlega ber merki „stofnanayfirtöku“ (sjá 21. kafla). Niðurstöðurnar eru í raun mjög svipaðar þeim sem áður höfðu komið fram í rofkortlagningunni sem birt var 1997, en hér liggja aftur á móti að baki fjölbreyttari upplýsingar í mun betri upplausn en áður voru til. Vitaskuld hefði verið æskilegt fyrir bændur, samfélagið og vistkerfi landsins að landnýtingarþáttur gæðastýringar í sauðfjárrækt, sem komið var á m.a. vegna niðurstaðna úr rofkortlagningunni 1997, hefði tekið mun fastar á nýtingu svæða í slæmu ástandi. Þessar niðurstöður GróLindar eru þó aðeins áfangi í vinnu verkefnisins. Það blasir við að tengja þarf allar þessar upplýsingar við núverandi landnýtingu, skilja á milli einstakra beitarsvæða og gera tillögur um úrbætur.

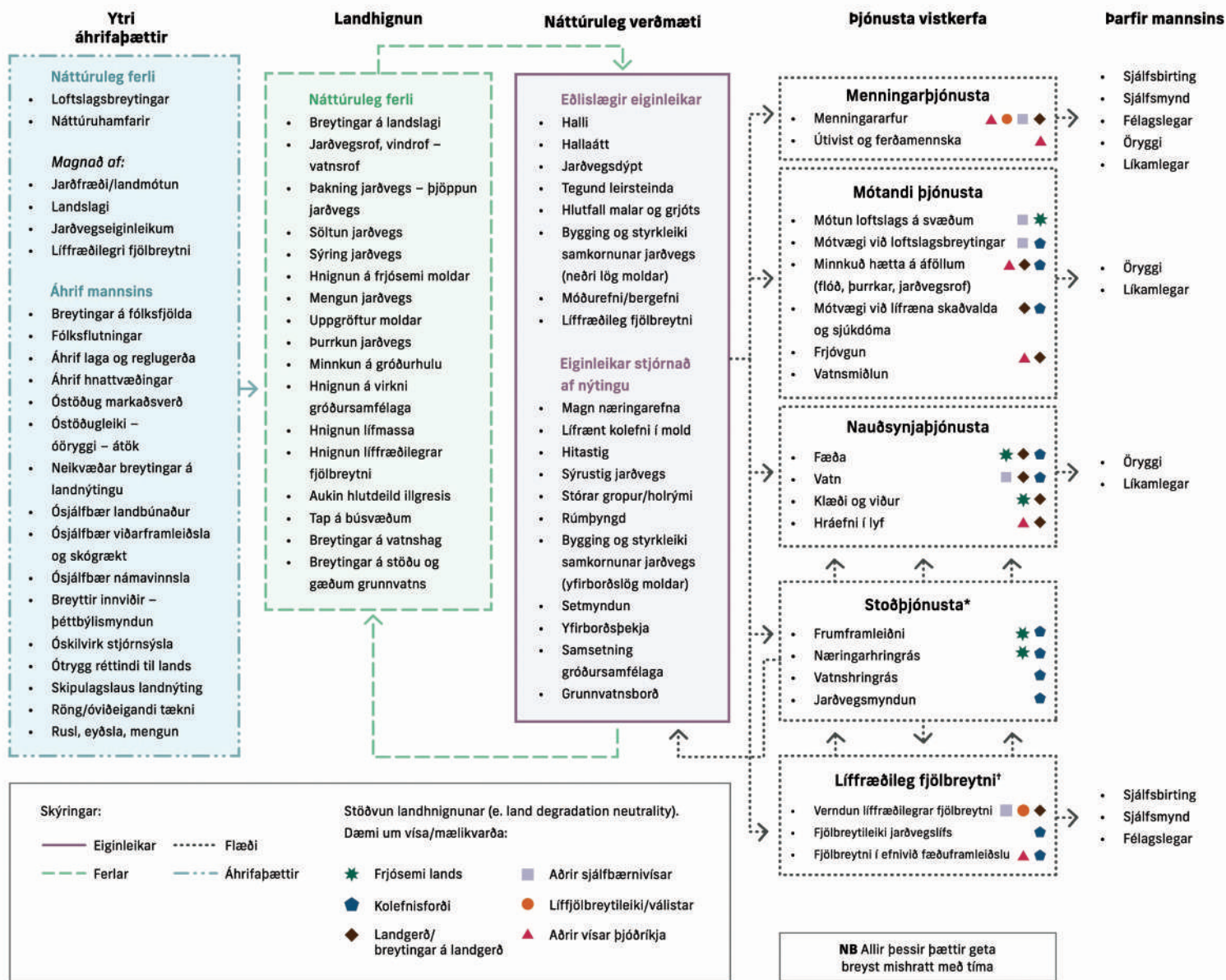
Mikilvægt er að hafa í huga hvað varðar vöktunarhluta verkefnisins að breytingar á úthaga á hverjum stað eru líklegar til að takmarkast við hægfara þróun innan hvers vistpreps (sjá 21. kafla), en nauðsynlegt er að tengja stöðu hvers mælistaðar við ástand miðað við vistgetu (þ.e. festast ekki í heilkenni breyttra viðmiða). Höfundur þessa rits (ÓA 2019, 2020) hefur bent á að víkka þurfi út hugmyndir um hverjir teljist til hagaðila við nýtingu útjarðar. Tilhögun og stjórn verkefnisins GróLindar hefur ýkt upp þá hugmynd að afréttir og

úttjörð varði aðeins sauðfjárbændur. Það er brýnt að verkefni sem þetta, kostað af fjármunum almennings, sé sjálfstætt og byggt á aðkomu mun fleiri aðila. Hér væri æskilegt að hugsa málin upp á nýtt.

19.6. Lokaorð

Slæmt ástand vistkerfa jarðar er ásamt loftslagsbreytingum alvarlegasti umhverfisvandinn sem mannkynið glímir við. Enda er áratugurinn 2021–2030 helgaður endurheimt vistkerfa – vistheimt – á vettvangi Sameinuðu þjóðanna. Á Íslandi hefur orðið mjög alvarleg hnignun landkosta og víða fullkomið hrun vistkerfa – Ísland er notað sem dæmi um hrun vistkerfa á alþjóðavettvangi. Rannsóknir á land-hnignun og ástandi lands er afar mikilvægt þverfaglegt viðfangsefni (mynd 19.27) sem er lykillinn að bættri landnýtingu og endurheimt vistkerfa.

Ástand lands er unnt að meta út frá mælanlegum þáttum vistkerfa á borð við gróðurhulu, samsetningu, frjósemi jarðvegs og þáttum sem móta vatnshringrásina í samhengi við þanþol og vistgetu vistkerfa (e. ecological potential). Þess er að vænta að ör þróun verði á næstu árum hvað varðar mat á ástandi lands og eftirfylgni sem ætlað er að tryggja sjálfbæra landnýtingu – m.a. í kjölfar nýrra laga um landgræðslu sem sett voru í lok árs 2018. Ennþá var unnið að nýrri reglugerð um sjálfbæra landnýtingu í samræmi við þessi lög þegar þessi orð voru rituð (júní 2022).



*Þjónustur sem styðja alla aðrar vistkerfisþjónustur og hafa áhrif á náttúruleg verðmæti.
 †Líffræðileg fjölbreytni rennir stöðum undir allar vistkerfisþjónustur.

Mynd 19.27. Skýringarmynd sem sýnir tengsl landhignunar við náttúrulega og félagslega vísa (e. indicators) eins og hún var lögð fram af Umhverfisstofnun Evrópu í byrjun árs 2023. Úr verður viðtækt net sem er að mörgu leyti í anda þeirrar nálgunar sem þessi bók setur fram. Unnið upp úr mynd 1.4 í *Soil Monitoring in Europe. Indicators and Thresholds for Soil Health Assessments*. Umhverfisstofnun Evrópu, nr. 08–2022, Kaupmannahöfn.

Heimildir

Heildstæða nálgun á umfjöllun um landhnignun er m.a. að finna í bók Antons Imeson „Desertification, Land Degradation and Sustainability“, bók Evrópusambandsins „World Atlas of Desertification. Rethinking Land Degradation and Sustainable Land Management“ (Cherlet o.fl. 2018) og í „Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality“ (Orr o.fl. 2017) sem var gefin út á vegum „Auðnasamningsins“ (UN-CCD – sjá umfjöllun síðar). Einnig er rétt að benda á „Global Land Outlook“ sem einnig var gefin út á vegum Auðnasamningsins (UN-CCD 2022). Yfirgripsmikil skýrsla samningsins um líffjölbreytileika (IPBES 2019) tekur á mörgum þessara sömu atriða.

ÓA og Ása L. Aradóttir (2015) rituðu kennsluefni um landlæsi og vistheimt (Að lesa og lækna landið) sem var gefið út af Landvernd, Landgræðslu ríkisins og Landbúnaðarháskóla Íslands, en ritinu var ætlað að auka almennt landlæsi. Sumt af því efni sem hér birtist er einnig að finna í því riti. Þá má nefna greinar eftir Isabel Barrio og ÓA 2022 og ÓA o.fl. 2022 þar sem ástand lands á Íslandi ber á góma. Við umfjöllun á aðferðum við mat á landi er byggt á skrifum sem hafa birst á alþjóðlegum vettvangi á þessu sviði (t.d. Doran og Jones 1996, Tongway og Hindley 2000, Bestelmeyer o.fl. 2003, Herrick o.fl. 2005, 2018, Pellant o.fl. 2019; sjá einnig Bland o.fl. 2018, Briske 2017a,b).

Archer, S. og C.J. Stokes 2000. Stress, disturbance and change in rangeland ecosystems. Í: Ólafur Arnalds og S. Archer (ritstj.), Rangeland desertification. Kluwer Publishing Company, Dordrecht, Holland. Bls. 17–38.

Ása L. Aradóttir, Ólafur Arnalds og S. Archer 1992. Hnignun gróðurs og jarðvegs. Í: Andrés Arnalds (ritstj.), Græðum Ísland IV. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti. Bls. 73–82.

Bestelmeyer, B.T., D.P. Goolsby og S.R. Archer 2011. Spatial perspectives in state-and-transition models: a missing link to land management? *Journal of Applied Ecology* 48:746–757.

Bestelmeyer, B.T., J.R. Brown, K.M. Havstad, G. Alexander, G. Chavez og J. Herrick 2003. Development and use of state-and-transition models for rangelands. *Journal of Range Management* 56:114–126.

Bestelmeyer, B.T., A. Ash, J.R. Brown, B. Densambuu, M. Ferández-Giménez, J. Johanson, M. Levi, D. Lopez, R. Peinetti, L. Ruempff og P. Shaver 2017. State and transition models. Theory, applications and challenges. Í: D.D. Briske. Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Sviss. Bls. 303–345.

Bland, L.M., J.A. Rowland, T.J. Regan, D.A. Keith, N.J. Murray, E.R. Lester, M. Linn, J.P. Rodríguez og E. Nicholson 2018. Developing a standardized definition of ecosystem collapse for risk assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16:29–36.

Borgþór Magnússon, Ásrún Elmarsdóttir og Björn H. Barkarson 1997. Hrossahagar. Aðferð til að meta ástand lands. Rannsóknastofnun landbúnaðarins (nú Lbhí), Reykjavík.

Briske, D.D. 2017a. Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Sviss.

Briske, D.D. 2017b. Rangeland systems: Foundation for conceptual framework. Í: D.D. Briske (ritstj.), Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Sviss. Bls. 1–21.

Briske, D.D., A.W. Illius og J.M. Anderies 2017. Nonequilibrium Ecology and Resilience Theory. Í: D.D. Briske (ritstj.), Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Sviss. Bls. 197–227.

Bryndís Marteinsdóttir, Kristín Svavarsdóttir, 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 Sigprúður 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.

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

Cherlet, M., C. Hutchinson, J. Reynolds, J. Hill, S. Sommer og G. von Maltitz (ritstj.) 2018. World Atlas of Desertification. Rethinking Land Degradation and Sustainable Land Management. Publication of the European Union, Luxembourg.

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

Doran, J.W. og J.J. Jones (ritstj.) 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Fanney Ósk Gísladóttir, Anna Björk Þorsteinsdóttir, Sigmundur Helgi Brink og Guðmundur Halldórsson 2017. Kortlagning á áfallapoli vistkerfa í nágrenni við Heklu með tilliti til óskufalls. Skýrsla til Ofanflóðasjóðs, Landgræðsla ríkisins og Landbúnaðarháskóli Íslands.

Forse, B. 1989. The myth of the marching desert. *New Scientist* 4. febrúar. Bls. 31–32.

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.

Gunderson, L.H., C.R. Allen og C.S. Holling 2010. Foundations of ecological resilience. IslandPress, Washington, USA.

Herrick, J.E. 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology* 15:75–83.

Herrick, J.E., J.W. Van Zee, K.M. Havstad, L.M. Burkett og W.G. Whitford 2005. Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems. Vol. I Quick start. Vol. II. Design, supplementary methods and interpretation. ARS Jornada Experimental Range, Las Cruces, New Mexico, USA.

Herrick, J.E., J.W. Van Zee, S.E. McCord, E.M. Courtright, J.W. Karl og L.M. Burkett 2018. Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems. Volume I. Core methods. 2. útg. USDA-ARS Jornada Experimental Range, Las Cruces, New Mexico, USA.

Holechek, J.L., R.D. Pieper og C.H. Hebel 2010. Range Management: Principles and Practices. Prentice-Hall, New Jersey, Bandaríkin.

Imeson, A. 2012. Desertification, Land Degradation and Sustainability. Paradigms, Processes, Principles and Policies. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.

Ingví Þorsteinsson 1980. Gildi úthagans og beitarþolsrannsóknir. Íslenskar landbúnaðarrannsóknir 12:5–10.

Ingví Þorsteinsson, Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 1984. Rannsóknir á ástandi og beitarþoli gróðurlenda á Auðkúlu- og Eyvindarstaðaheiði 1983. Skýrsla Rannsóknastofnunar landbúnaðarins til Landsvirkjunar, Reykjavík.

- 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. Arneth, P. Balvanera, K.A. Brauman og 20 fleiri (ritstj.), Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES secretariat, Bonn, Þýskaland.
- 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/10.1007/698_2022_920.
- Isabel C. Barrio, D.S. Hik, Jóhann Þórsson, Kristín Svavarsdóttir, Bryndís Marteinsdóttir, Inga Svala Jónsdóttir 2018. The sheep in wolf's clothing? Recognizing threats for land degradation in Iceland using state-and-transition models. *Land Degradation and Development* 29:1714–1725, DOI:10.1002/ldr.2978.
- Jóhann Þórsson 2008. Desertification of high latitude ecosystems: Conceptual models, time-series analyses and experiments. PhD.-ritgerð, Rangeland Ecology and Management, Texas A&M University, College Station, Texas.
- Jón Gunnar Ottósson, Anna Sveinsdóttir og María Harðardóttir 2016. Vistgerðir á Íslandi. Fjölrít Náttúrufræðistofnunar nr. 54. Garðabær.
- Juo, A.S.R. og L.P. Wilding 1997. Land and civilization. *Journal of Sustainable Agriculture* 10:3–7.
- Ludwig, J.A., D.J. Tongway, K. Hodgkinson, D. Freudenberger og J. Noble 1997. *Landscape Ecology, Function and Management: Principles from Australia's Rangelands*. CSIRO Publishing, Melbourne, Ástralía.
- Ólafur Arnalds 1992. Jarðvegsleifar í Ódáðahrauni. Í: Andrés Arnalds (ritstj.), *Græðum Ísland IV, Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti*. Bls. 159–164.
- Ólafur Arnalds 2000b. Desertification, an appeal for a broader perspective. Í *Rangeland Desertification*. Ólafur Arnalds og S. Archer (ritstj.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland. Bls. 5–15.
- Ólafur Arnalds 2015. *The Soils of Iceland*. World Soils Book Series. Springer, Dordrecht, Holland.
- Ólafur Arnalds 2019. Á röngunni. Alvarlegir hnökur á framkvæmd landnýtingarþáttar gæðastýringar í sauðfjárrækt. Rit Lbhí nr. 118. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.
- 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 og Jón Guðmundsson 2020. Loftslag, kolefni og mold. Rit Lbhí nr. 133. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.
- Ólafur Arnalds, Bryndís Marteinsdóttir, Sigmundur Helgi Brink og Jóhann Þórsson 2022. A framework model for current land condition in Iceland. Í ritrýningu.
- Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemsson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson og Arnór Árnason 1997. *Jarðvegsrof á Íslandi. Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins*, Reykjavík.
- Orr, B.J., V.M. Cowie, P. Castillo Sanchez, N.D. Chasek, A. Crossman, G. Erlewein, M. Louwagie og 6 fleiri höfundar 2017. *Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface*. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Þýskaland.
- Pearce, F. 1992. Mirage of the shifting sands. *New Scientist*, 12. desember 38–42.
- Pellant, M., P.L. Shaver, D.A. Pyke, J.E. Herrick, N. Lepak, G. Riegel, E. Kachergis, B.A. Newingham, D. Toledo og F.E. Busby 2019. *Interpreting indicators of rangeland health. Version 5*. Tech. Ref. 1734–6. Bureau of Land Management, USA.
- Serra, G. 2015. Over-grazing and desertification in the Syrian steppe are the root causes of war. *The Ecologist* 2015,5:1–7.
- Shi, P., H. Zhang, P. Wang og W. Zhou 2000. The regional patterns for combating sandification in sandy disaster affected area in China. *Journal of Natural Disasters: 2000–03*:S424.
- 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.
- Sigrúður Jónsdóttir 2010. *Sauðfjárhagar. Leiðbeiningar við mat á ástandi beitolanda*. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt.
- 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, Umhverfisdeild Landbúnaðarháskóla Íslands, greinargerð unnin fyrir Landgræðslu ríkisins. Reykjavík.
- Stoddart, L.A., A.D. Smith og T.W. Box 1975. *Range Management*. 3. útg. McGraw-Hill, New York, USA.
- Sturla Friðriksson 1991. Kolagrafir við Bláfell. *Lesbók Morgunblaðsins* 42. tbl. (23.11.1991). Bls. 6–8.
- Sturla Friðriksson og Grétar Guðbergsson 1995. Hraði gróðureyðingar við rofabörð. *Freyr* 1995(5):224–231.
- Tongway, D. 1994. *Rangeland soil condition assessment manual*. CSIRO, Melbourne, Ástralía.
- Tongway, D. og N. Hindley 2000. *Assessing and monitoring desertification*. Í: Ólafur Arnalds og S. Archer (ritstj.), *Rangeland desertification*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland. Bls. 89–98.
- UN-CCD 2017. *Global Land Outlook 1*. útg. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Þýskaland.
- UN-CCD 2022. *Global Land Outlook 2*. útg. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Þýskaland.
- UNEP 2016. *Unlocking the Sustainable Potential of Land Resources: Evaluation Systems, Strategies and Tools*. J.E. Herrick, Ólafur Arnalds, B. Bestelmayer, S. Bringezu, G. Han, M.V. Johnson, D. Kimiti, Y. Lu, L. Montanarella, W. Pengue, G. Toth, J. Tukahirawa, M. Velayutham og L. Zhang. Nairobi, Kenya.
- van der Leeuw, S.E. (ritstj.) 1998. Understanding the natural and anthropogenic causes of land degradation and desertification in the Mediterranean Basin. *European Communities*, Belgía.

Whisenant, S.G. 1999. Repairing Damaged Wildlands. A Process Orientated, Landscape-Scale Approach. Biological Conservation, Restoration, and Sustainability, Cambridge University Press, UK.

Wright, D.K. 2017. Humans as agents in the termination of the African Humid Period. *Frontiers in Earth Sciences* 5:4.doi: 10.3389/feart.2017.00004.

Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2015. Saga gróðurs og umhverfis á Brunasandi. *Dynskógar, Héraðsrit Vestur-Skaftfellinga* 2015. Bls. 1–70.

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