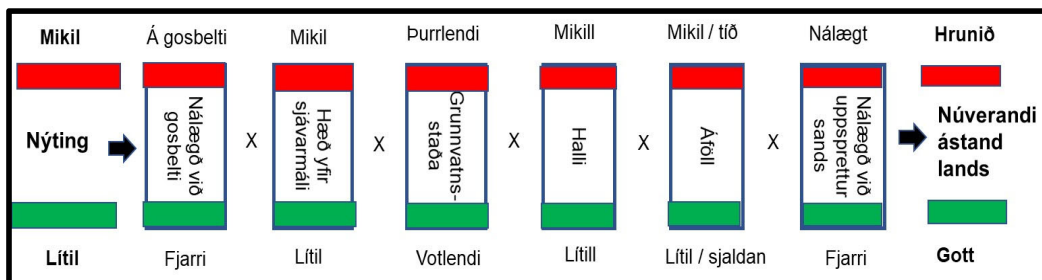


Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa

Ólafur Arnalds



Landbúnaðarháskóli Íslands, 2020.
Rit Lbhí nr. 130
ISSN 1670-5785
ISBN 978-9935-512-04-8

Ljósmynd á forsiðu: Ólafur Arnalds

Efnisyfirlit

Yfirlit.....	2
1. Inngangur	3
2. Landhnignun.....	4
2.1. Ferli – samantekt.....	5
2.2. Minnkuð frjósemi og framleiðni vistkerfa.....	6
2.3. Seltuvandi.....	8
2.4. „Að fara í sand“ (e. sandification)	8
2.5. Auðnamyndun – eyðimerkurmyndun — alvarleg landhnignun	9
3. Undirliggjandi ástæður landhnignunar	12
3.1. Lagalegir þættir og stjórnslá	12
3.2. Hagrænir þættir og landbúnaðarstyrkir	13
3.2.1. Landbúnaðarstyrkir og aðgangur að upplýsingum.....	13
3.2.2. Rangsnúnir landbúnaðarstyrkir skaða vistkerfi.....	15
4. Mat á ástandi lands.....	17
4.1. Rask, þanþol og hnignun vistkerfa	17
4.2. Ástandsmat	19
4.3. Einfaldað kerfi sem dæmi.....	25
4.4. Tíminn og breytt grunnviðmið fyrir ástand lands („samdaunasýki“)	27
5. Ísland – ástandsstig og landlæsi.....	29
6. Gæðastýring, styrkir og heilkenni breyttra grunnviðmiða.....	38
6.1. Ástand landsins og landnýtingarþáttur gæðastýringar í sauðfjárrækt	38
6.2. Heilkenni breyttra grunnviðmiða og íslensk vistkerfi – dæmi	39
7. Verkefnið „GróLind“	42
8. Hrun íslenskra vistkerfa.....	45
8.1. Hrun vistkerfa er alþjóðlegur vandi.....	45
8.2. Hnignun og hrun vistkerfa á Íslandi – sögulegir þættir og heimildir	48
8.3. Þanþol, hnignun og hrun vistkerfanna	56
8.3.1. Landnýting og þanþol.....	56
8.3.2. Þanþol og jarðvegseiginleikar.....	60
8.3.3. Eldgos og hnignun landsins	61
8.3.4. Loftslag, þanþol og hrun.....	63
9. Lokaorð.....	64
Þakkarorð	65
VIÐAUKI.....	66
Ofbeit og vandræðahugtakið „beitarþol“	66
Heimildaskrá	69

Yfirlit

Í ritinu er fjallað um núverandi ástand íslenskra vistkerfa á landi, hrun þeirra sem og ýmsar af þeim undirliggjandi ástæðum sem viðhalda skaðlegri landnýtingu enn þann dag í dag. Landhnignun er alþjóðlegt vandamál sem kemur við sögu í umhverfissamningum Sameinuðu þjóðanna. Alþjóðasamfélagið leggur mikla áherslu á að koma í veg fyrir hnignun vistkerfa: áratugurinn 2021-2030 er helgaður endurheimt vistkerfa jarðar á vettvangi Sameinuðu þjóðanna. Ástand lands (e. land condition) er lykilhugtak sem leggur grunninn að baráttunni gegn landhnignun sem og endurheimt vistkerfa. Ástand lands er þverfaglegt viðfangsefni sem leitast við að útskýra stöðu vistkerfa í samhengi við vistgetu (e. ecological potential) út frá mælanlegum þáttum vistkerfa á borð við gróðurhulu, samsetningu og gerð gróðurs og jarðvegs, frjósemi jarðvegs og þáttum sem móta vatnshringrásina.

Ferli landhnignunar eru afar fjölbreytt og fela m.a. í sér skerta næringu í mold og minni hæfileika til að miðla vatni, auk þess sem dregur úr framleiðni gróðurs og gróðurhula getur minnkað. Jarðvegsrof er alvarleg birtingarmynd landhnignunar sem og ferli sem leiða til þess að yfirborðið „fer í sand“. Illa gróin sendin svæði ætti ekki að nýta til sauðfjárbeitar.

Mörg íslensk vistkerfi teljast til jaðarvistkerfa sem eru mjög viðkvæm fyrir nýtingu. Afleiðingar búsetu mannsins í landinu allt frá landnámsöld eru ákaflega breytilegar. Birt er líkan til að útskýra af hverju áhrif nýtingarinnar hafa verið misjöfn og dregnar eru fram alþjóðlegar hliðstæður. Útskýrðir eru 6 ástandsflokkar, frá heilum vistkerfum til auðna, og hvernig helstu þættir vistkerfanna breytast við hnignun niður á neðri vistþrep (e. ecological state). Lögð er áhersla á að stór hluti vistkerfa landsins sem teljast gróin eru einnig í hnignuðu ástandi, þar sem gengið hefur á næringarforða kerfanna, vatnsheldni, líffræðilega fjölbreytni og fleiri þætti.

Hnignun lands hefur verið meiri hérlendis en flestir gera sér í hugarlund. Margvíslegar vísbendingar varpa ljósi á fyrri landkosti og breytingar eftir landnámið. Þættir, sem móta ástand lands, eru útskýrðir í alþjóðlegu fræðilegu samhengi. Hér er áherslan á „útförð“, en ekki akuryrkjuland, skógræktarsvæði eða frjóssöm afgirt beitarhólf. Varpað er ljósi á hvernig slæmu ástandi lands er viðhaldið af rangsnúnum hvötum² (e. perverse incentives) á borð við landbúnaðarstyrki sem taka ekki mið af ástandi landsins.

Slæmu ástandi landsins er oft tekið sem eðlilegum hlut með umtalsverðri afneitun. Viðhorf til slæms ástands landsins einkennast af „heilkenni breyttra grunnviðmiða“ (e. shifting baseline syndrome eða „samdaunasýki“) sem m.a. kemur skýrt fram í viðmiðum í reglugerð sem notuð er við vottun á sauðfjárbeit – en einnig víðar um stjórnkerfið. Mikilvægt er að efla skilning landnotenda, stjórnsýslu og almennings á bágrri stöðu vistkerfanna – að finna lækningu við „samdaunasýkinni“ sem einkennir viðhorf til ástands lands hérlendis. Til þess þarf að efla menntun og fræðslu á þessu sviði.

Nauðsynlegt er að breikka skilgreiningar á hagaðilum sem móta nýtingu á útförð, svo sem á afréttum og þjóðlendum – hún er ekki einkamál örfárra aðila. Nýting á hrundum vistkerfum og rofsvæðum ætti alls ekki að koma til greina og það er undrunarefni að svo sé ennþá þótt margir áratugir séu síðan skilningur á ástandinu varð almennur meðal fagfólks. Verkefnið „GróLind“ er mikilvægt skref í rétta átt til aukinnar þekkingar, þó breikka þurfi skilgreiningu á hagaðilum og tryggja aðkomu fleiri að slíkum verkefnum. Einnig þarf að gefa gaum að þeim takmörkunum sem felast í vöktun á ástandi lands innan sömu vistþrepa – sérstaklega ef ástand landsins er slæmt og fjarri vistgetu (e. ecological potential).

1. Inngangur

Á síðustu áratugum hefur orðið æ ljósara að vistkerfi jarðar hafa skaðast verulega og víða jafnvel hrunið vegna ofnýtingar. Barátta fyrir verndun umhverfisins verður æ fyrirferðameiri og tekur til æ fjölbreyttari viðfangsefna á borð við lög, félagsfræði og stjórnmál auk náttúruvísinda. Segja má að hugtökin „landhnignun“ og „ástand lands“ séu orðin meðal lykilhugtaka umhverfisfræða og þau fela í sér einhver mikilvægustu viðfangsefni vísinda samtímans. Verkefni af þessu tagi krefjast þverfaglegar vistfræðilegrar nálgunar þar sem bæði vistfræði og jarðvegsfræði eru afar mikilvægar faggreinar, en einnig er þörf fyrir aðkomu samfélagsfræða af ýmsu tagi.

Áhrif landnýtingar á íslensk vistkerfi eru meiri en víðast annars staðar í heiminum, en um leið hefur slæmu ástandi landsins verið tekið sem sjálfsögðum hlut. 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 þessu riti er gerð tilraun til að bæta úr þessari þörf.

Umfjöllunin í þessu riti kemur víða við. Fyrst er rætt um landhnignun almennt og síðan ástand lands þar sem ýmsir þættir jarðvegs eru mikilvægir. Einnig er fjallað um svokallaðar „undirliggjandi ástæður landhnignunar“ og „rangsnúna hvata“ sem drífa skaðlega landnýtingu. Landbúnaðarstyrkir eru teknir sem dæmi, enda fátt sem hefur meiri áhrif á landnýtingu á jörðinni en styrkir til landbúnaðar. Alþjóðlegar aðferðir við mat á ástandi útjarðar eru skýrðar og síðan er fjallað um núverandi ástand vistkerfa á Íslandi þar sem kynnt er einfalt skema til að meta ástandið. Ástand lands og áhrifaþættir á borð við sauðfjárbreit eru ræddir á breiðum grunni með hliðsjón af ástandi lands. Að síðustu verður fjallað um hrun íslenskra vistkerfa og sett fram líkan til að útskýra af hverju örlög kerfanna hafa verið afar mismunandi.



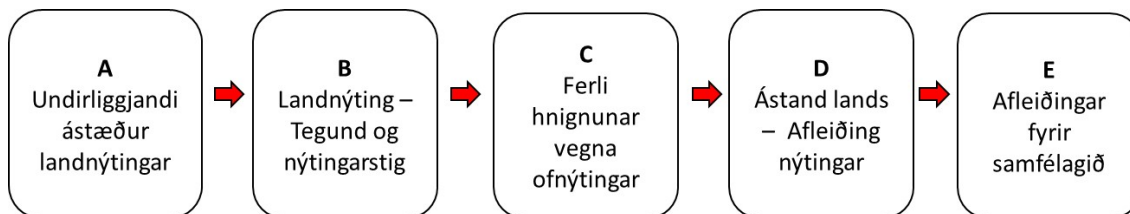
Mynd 1. Land í hnignuðu ástandi. Ofbeitt land í Lesotho sunnarlega í Afríku til vinstri en gróðurtorfur þar sem áður var gróið land á Suðurlandi til hægri. Ljósmynd t.v. Hafdís Hanna Ægisdóttir, birt með leyfi.

2. Landhnignun

Landhnignun (e. land degradation) felur í sér skerta virkni og þjónustu vistkerfa. Hnignun lands tekur til moldar, gróðurhulu og lífríkisins í heild. Líffjölbreytileiki er meðal þeirra þátta sem skaðast þegar vistkerfi hnigna. Landhnignun getur jafnframt haft áhrif á veðurfar á nokkuð breiðum skala.

Rannsóknir, sérhæfing og umfjöllun um landhnignun takmarkast oft við einstaka þætti landhnignunar, t.d. við ferli landhnignunar á borð við rof eða við þá landnýtingu sem veldur hnignun, svo dæmi séu tekin. Skilningur á landhnignun kallar þó á skoðun á mörgum þáttum, bæði náttúrulegum en ekki síður samfélagslegum þáttum (mynd 2). Þættina má flokka með eftirfarandi hætti:

- A) Undirliggjandi orsakir sem telja félagslega, efnahagslega, lagalega og/eða pólitíska þætti sem valda eða stýra skaðlegri landnýtingu og þessir þættir eru oft lyklarnir að lausnum á vandanum. Stundum kallað „hvatar“ eða „drifkraftar“ (e. incentives og drivers).
- B) Landnýting sem orsakar raskið, t.d. akuryrkja eða beit – nýting sem kemur ferlunum af stað og/eða viðheldur þeim og þar með hnignuðu ástandi þar sem það á við.
- C) Ferli landhnignunar, svo sem jarðvegsrof, söltun eða minnkandi næringarforði vistkerfa.
- D) Ástand landsins, þ.e. afleiðing hnignunarferla fyrir vistkerfi.
- E) Samfélagsleg áhrif landhnignunar, t.d. minna fæðuframboð, fátækt, mengun o.s.frv.



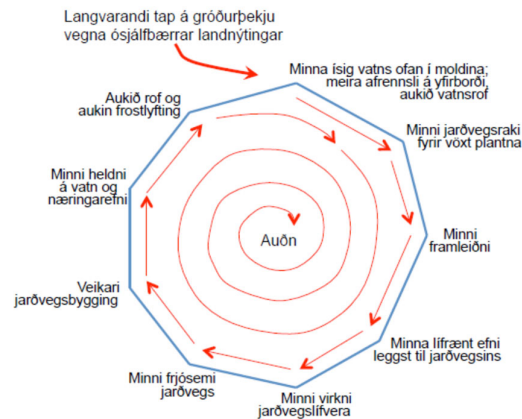
Mynd 2. Horfa þarf til margra þátta við rannsóknir á landhnignun: það er einhver tiltekin ástæða (A) fyrir þeirri landnýtingu sem á sér stað (B), sem getur leitt til ýmissa ferla landhnignunar (C). Ástand lands (D) er mælikvarði á afleiðingarnar, sem síðan hafa samfélagsleg áhrif, svo sem minnkuð framleiðni landsins og/eða aukin fátækt (E).

Heildstæðar nálganir á umfjöllun um landhnignun sem taka á flestum eða öllum þessum þáttum eru m.a. að finna í bók Antons Imeson „*Desertification, land degradation and dustainability*“, bók Evrópu-sambandsins „*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 tekur yfirgripsmikil skýrsla samningsins um líffjölbreytileika (IPBES 2019) á mörgum þessara sömu atriða. Hér á eftir verður gerð tilraun til að fjalla um mismunandi hliðar landhnignunar og byggir umfjöllunin að stórum hluta á framangreindum heimildum.

Landbúnaður skilar verðmætum sem metin eru á um 2000-4000 þúsund milljarða dollara á ári – afurðum 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 auðlindir sem eftir eru sem á endanum getur orsakað hungur, fólksflutninga og jafnvel styrjaldir. Menning er háð frjórri mold og fall 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 7000 árum, sem hnigu til viðar í kjölfar skógarhöggs, ofbeitar og eyðingar jarðvegs. Menningarríki Maya í Mið-Ameríku, Grikkland til forna og Rómaveldi eru einnig dæmi um ríki sem risu með auði moldar og hnignuðu í kjölfar ofnýtingar sem orsakaði jarðvegsrof og önnur ferli landhnignunar. Ástand þjóðfélaganna fyrir botni Miðjarðarhafsins 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 vítahringis landhnignunar (mynd 3) sem Íslendingar þekkja mætavel af sögu sinni. Vítahringurinn getur hafist á svæðum þar sem frjósemin minnkar og gróðurhulan rýrnar verulega vegna ósjálfbærrar landnýtingar. Afleiðingin er iðulega sú að minna vatn sigur 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 vatnheldni minnka. Með skertri gróðurþekju aukast einnig líkur á frostlyftingu, sem hindrar landnám gróðurs og stuðlar að rofi. Jafnframt eykst álag á þann gróður sem eftir er því minna er til skiptanna. Þar sem vegferð innan vítahringisins er hafin verða afleiðingarnar hörmulegar nema gripið sé inn í atburðarrásina í tíma.



Mynd 3 Vítahringur landhnignunar. (Mynd úr „Að lesa og lækna landið“, bls. 82; ÓA og Ása L. Aradóttir 2015; byggt á Whisenant 1999).

2.1. Ferli – samantekt

Ferli landhnignunar eru margbreytileg (tafla 1). Hér verður ekki fjallað nánar um jarðvegsrof eða rask á votlendum, sem gert hefur verið á öðrum vettvangi (Ólafur Arnalds o.fl. 1997, 2016, Ólafur Arnalds 2015). Tap á kolefni og næringarforða er eitt meginferli landhnignunar. Þá geta orðið neikvæðar breytingar á ýmsum jarðvegseiginleikum, svo sem vatnsbindingu, ísigi, sýrustigi, jónrýmd o.fl. Mengun er vaxandi vandamál víða um heiminn, ekki síst af völdum þrávirkra lífrænna efna frá iðnaði og vegna notkunar eiturefna í landbúnaði, svo sem á skordýraeitri og illgresiseyði. Allt eru þetta ferli sem raska eigindum og ferlum innan vistkerfa – landhnignun. Hér er áherslan á moldarþætti og m.a. verður fjallað nánar um tap á frjósemi jarðvegs, uppsöfnun salta í jarðvegi („söltun“ vistkerfa), „að fara í sand“ og auðnamyndun (eyðimerkurmyndun).

Tafla 1. Helstu ferli landhnignunar.

Ferli eða tegund ferla	Áhrif	Athugasemd
Minnkuð frjósemi og framleiðni vegna nýtingar	Tap á næringarforða og hæfileika til að miðla næringu og vatni.	Mörg ferli, tapast lífræn efni o.fl.
Jarðvegsrof	Tapast sá hluti moldar sem geymir og miðlar næringu og vatni.	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. Tapast hæfileiki til að miðla næringu og vatni.	E: sandification
Mengun	Áhrif háð tegund mengunar, mengun frá námu og verksmiðjum, eitri í landbúnaði, samgöngum, hernaðarumsvifum, súru regni o.fl.	Fjölbreytt ferli
Þéttbýli (mannvirki)	Mold fjarlægð eða þakin ógegndræpum efnum svo sem steypu og malbiki.	E: soil sealing
Purrkun votlenda	Áhrif á vatnsmiðlun og dýralíf langt út fyrir svæði meginrasks. Oft lækkun yfirborðs.	Smám saman eyðist lífræni forði kerfanna
Tap á lífbreytileika	Öll ferli hnignunar hafa áhrif á lífræðilega fjölbreytni; ofanjarðar og í mold.	Einnig til tap á búsvæðum og vistgerðum
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)

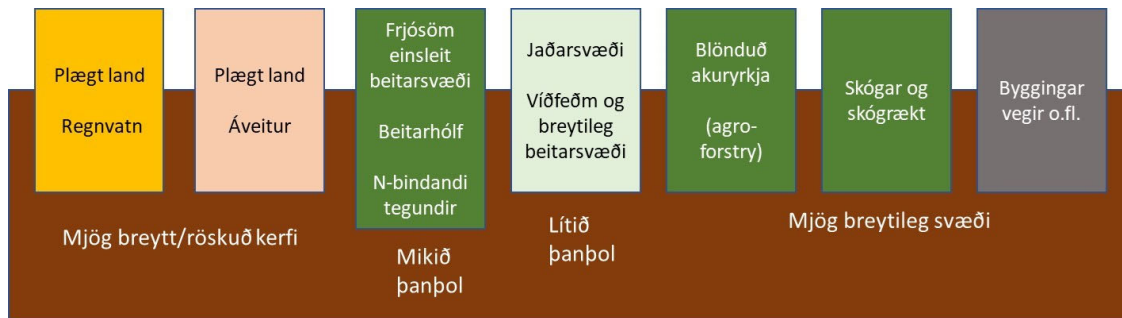
2.2. Minnkuð frjósemi og framleiðni vistkerfa

Þegar gróska gróðurs minnkar vegna of mikils álags, þá skerðist jafnframt frumframleiðni því orkunám og vinnsla á kolefni úr andrúmsloftinu fyrir tilstuðlan ljóstillífunar dregst saman. Það sama gerist við skerta gróðurhulu. Ofnýting, hvort heldur sem er af völdum beitar eða akuryrkju, veldur því að kolefnisforði og næringarforði minnka 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 4). Víðtæk landhnignun á sér stað vegna búfjárbættar á jörðinni. Í „*World atlas of desertification*“ (Cherlet o.fl. 2018) segir:

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

Öll kerfi má ofnýta – líka þau frjósömu – og það á sér einmitt stað um þessar mundir víða á frjósömustu svæðum Afríku, Asíu og Suður-Ameríku (mynd 5). Við stórfellda skógareyðingu minnkar frumframleiðnin og hrun vistkerfa getur fylgt í kjölfarið. Sums staðar er langt síðan kerfum hnignaði niður 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).

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).



Mynd 4. Mismunandi tegundir landnýtingar sem mótast af þeim kerfum sem er verið að nýta. Hnignun vistkerfa er með misjöfnun hætti á milli þessara tegunda landnýtingar. Álag, miðað við þanþol kerfanna, er iðulega mest við beitarnýtingu á víðfeðmum jaðarsvæðum með tiltölulega lítið þanþol. Miklu skiptir að mat á ástandi lands taki mið af lífheimum og tegundum landnýtingar – ekki er hægt að færa aðferðir óbreyttar á milli, enda þótt sömu grundvallaratriði gildi.



Mynd 5. Aukin landnýting í bröttum hliðum frjósamra héraða í vesturhluta Úganda. Rof vex nú örum skrefum í þessu fjalllendi.

Algengasti mælikvarðinn á hnignun í formi minnkaðrar frjósemi er kolefnisforðinn í moldinni sem endurspeglar heildarmagn lífræna efna. Lífræn ferli vistkerfisins eru háð lífrænu efnunum í moldinni. Magn helstu næringarefna, svo sem niturs, fosfórs og súlfúrs er sömuleiðis nátengt magni kolefnis. Lífrænu efnin móta einnig aðra efnaþætti og eðliseiginleika sem móta frjósemi moldarinnar. Einu gildir þá hvort um er að ræða ræktuð kerfi eða óplægð beitolönd. Síðan geta önnur form landhnignunar bæst ofan á minnkaða 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.

2.3. Seltuvandi

Alvarleg og útbreidd birtingarmynd landhnignunar er „söltun jarðvegs“ eða „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 út af jónrýmdarsætum sem skolast síðan út. Na^+ tekur þannig hægt og sígandi yfir kerfið. Vitaskuld eru 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 „saltpækla“, ekki síst í orkumiklum úrfellum sem eiga sér stundum stað á heitari svæðum jarðar. Þetta er algengt og vaxandi vandamál í Ástralíu og víðar, þar sem þurr og viðkvæm svæði hafa verið ofbeitt.

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^{++} á 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 lyklatriði 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.

2.4. „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. 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 með alvarlegum afleiðingum eiga sér stað þegar vistkerfi verða sandi að bráð. 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 undir máltakinu „að fara í sand“ (mynd 6). Vistkerfum, þar sem mikill sandur einkennir bergefnin í umhverfinu, t.d. sandsteinn, er mjög hætt við þessu ferli. Við það að fara í sand, tapast lífrænu efnin og

² Jónrýmd er mælikvarði á hæfileika jarðvegs 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.

leir úr kerfinu – kornastærðin breytist. Það orsakar stórvægilegar breytingar á vatnsheldni kerfisins, 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.d. í suðvesturríkjum Bandaríkjanna, er nánast ógjörningur að endurheimta fyrri vistkerfi við þessar aðstæður. Slíkt vistkerfishrun nær eiginlega út fyrir flesta ramma sem eru settir fyrir 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 áfoksgeirar hafa verið svo örlogaríkir fyrir íslensk vistkerfi, sem raun ber vitni, og að hluta af hverju auðnirnar hafa ekki gróið að nýju þótt langt sé liðið frá ágangi sands. Á Íslandi er mikilvægt að hylja land sem fer í sand fullkomlega með gróðri og byggja upp rótarmottu og öflugna 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.



Mynd 6. Land farið í sand. Til vinstri á Jordana rannsóknastöðinni í Nýju Mexíkó, en til hægri í Monument Valley á landi Navajo indíána í Arizona og Utah. Í báðum tilfellum er ofbeit um að kenna, en langt er um liðið síðan hrunið átti sér stað. Mikið rof einkennir svæðin. Minnir um margt á aðstæður á Hólsfjöllum og víðar á Íslandi. Næsta ómögulegt er að koma landi sem þessu aftur í upprunalegt horf vegna lítillar úrkomu sem og skorts á vatnsheldni og lífrænum efnum í moldinni. Orkunám er afar takmarkað.

2.5. Auðnamyndun – eyðimerkurmyndun — alvarleg landhnignun

„Auðnasáttmálinn“ er einn af svokölluðum meginumhverfissamningum Sameinuðu þjóðanna. Hann er helgaður alvarlegri landeyðingu og lagði áður fyrst og fremst áherslu á þurrkasvæði jarðar. Á ensku heitir hann „United Nations Convention to Combat Desertification“, skammstafað „UN-CCD“. Tilurð samningsins á rætur í miklum þurrkum sem herjuðu á Sahel svæði Afríku, sunnan Sahara eyðimerkurinnar, eftir miðja 20. öldina. Þurrkarnir takmörkuðu framleiðni svæðanna á 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

³ Áfoksgeirar myndast við það að sandur gengur inn yfir gróið land svo úr verða „snjóboltaáhrif“ með sífellt meira af lausum efnum sem berast undir þurri vindátt. Þeir eru iðulega tungulaga inn í gróna landið en í kjölfarið myndast fremur beinar línur í landslagi sem skilja á milli gróins lands og sandsvæða eða auðna.

1992) – að frekar væri um að ræða eðlilegan breytileika í veðurfari og viðbrögð vistkerfa við þessum sveiflum. Þessi atburðarrás jók tímabundið á afneitun á 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 upp úr vinnu og ráðstefnu S.þ. í Kenya árið 1977 þar sem vistfræðileg viðhorf voru ekki áberandi í umræðum. Í upphafi var samningurinn og hugtakið „auðnamyndun“ (e. desertification) einskorðað við þurrt loftslag. Aðstæður á Íslandi, þar sem sannarlega á sér stað myndun auðna í köldu og röku lofslagi, gera hugtakanotkunina ansi athyglisverða. Skilgreining á auðnamyndun (eyðimerkurmyndun) sem sett var fram í samningnum hefur háð framgangi hans allar götur síðan, en hún hefur þó aðeins þróast. Skilgreining samningsins nú er á ensku: „*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 uppruna í misskilningnum frá 1977, sem beindi augum fyrst og fremst að þurrum svæðum Afríku. Höfundur þessara orða var viðstaddur „vísindafundinn“ í aðdraganda samningsgerðarinnar í Nairobi í Kenya árið 1993.

Upprunalega hugsunin var, sem fyrr sagði, að takmarka hugtakið við hnignun vistkerfa í þurru loftslagi – það var viðmiðið með áherslu á Afríku – í ljósi þurrsins á milli 1970 og 1980. Vert er að huga nánar að hugtökunum sem hér eru notuð. Hugakið „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:

- i) yfirgefin eða strjálbýl svæði samkvæmt upprunalegri merkingu;
- ii) sérstakur lífheimur (vistfræðileg skilgreining; e. desert biome) sem er aðlagður að lítilli úrkomu og þurrkum, t.d. kaktusar og aðrir þykkblöðungar;
- iii) skortur á gróðurhulu; og
- iv) 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, Mexíkó og víða annars staðar, eru nokkuð vel gróin en auðnir eru algengar þar sem rignir mun meira, t.d. á Íslandi (mynd 7). 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 einkennist af takmörkuðu framboði á vatni en getur haft umtalsverða og jafnvel samfellda gróðurhulu, og
- auðn (e. barren en einnig desert) sem væri þá *illa gróid land* óháð skilgreiningu á lífheimi eða framboði á vatni.

Ónákvæm eða óheppileg notkun á orðinu „eyðimörk“ (e. desert) veldur síðan enn meiri vanda þegar kemur að hugtakinu „desertification“ (sjá Ólafur Arnalds 2000b) sem samkvæmt orðanna hljóðan útleggst myndun eyðimarkar. En hvers konar eyðimörk, samkvæmt hinum mismunandi skilgreiningunum sem taldar voru hér að ofan? Alvarleg landeyðing breytir t.d. ekki loftslaginu eða lífheiminum (e. biome), allavega ekki þegar hún á sér stað á smáum skala. Þá má spyrja: á eyðimerkurmyndun sér stað í eyðimörk (innan lífheims eyðimarkar)? Augljóst er að mörg vandamál fylgja hugtakinu „eyðimerkurmyndun“ („auðnamyndun“) og margir hafa orðið til að fjalla um þennan vanda (sjá Ólaf Arnalds 2000b, Imeson 2012 og færslu um „desertification“ á wikipedia).



Mynd 7. *Hvor er eyðimörkin? Á hvorum staðunum hefur átt sér stað auðnamyndun (e. desertification)? Myndin til vinstri er frá Organ Pipe þjóðgarðinum í Arizona. Gróður hylur yfirborðið, dæmi um lífheim eyðimarka (e. desert biome). Svæðið varð þó fyrir varanlegum skemmdum vegna búfjárbeitar fyrri tíma. Myndin til hægri er frá Kili, milli Langjökuls og Hofsjökuls, þar sem gróðurhulan er fjarska lítil. Gróðurleysi stafar a.m.k. að hluta af búfjárbeit fyrri tíma og rofi. Bæði svæðin eru dæmigerð fyrir viðkvæm jaðarsvæði sem þola (og þoldu) illa búfjárbeit. Eyðimörk (lífheimur) til vinstri en auðn (illa gróið land) til hægri.*

Jákvæð þróun hefur orðið á þessum skilgreiningarmálum innan samningsins – bæði hefur loftslagsskilgreiningin verið víkkuð út og hugtakið „drylands“ hefur verið tekið úr skilgreiningum („þurrlandi“ á íslensku en erfitt er að skilgreina það hugtak nánar). Áherslan hefur færst 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). Stór rannsóknarverkefni Evrópusambandsins, svo sem „Archaeomedes“ verkefnið, höfnuðu í raun skilgreiningu Auðnasamningsins og nota 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 umhverfisaðstæður geta verið mjög mismunandi. Því er rétt að hafa fremur breiða skilgreiningu á hugtakinu.

Auðnamyndun felur í sér mjög skerta þjónustu vistkerfa og oft á tíðum vistkerfishrun. Yfirleitt eiga viðkvæm vistkerfi hlut að máli – jaðarvistkerfi (e. marginal systems), sem hafa takmarkað þanþol og stöðugleika sem 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 með fólksfjölguninni á 19 öld. Rangt er að tengja auðnamyndunina 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 klassískt dæmi um alvarlega landhnignun og auðnamyndun (e. desertification) og er m.a. getið í ritum þar um (Imeson 2012, van der Leeuw 1998).

3. Undirliggjandi ástæður landhnignunar

Sem fyrr sagði er mikilvægt að skilja á milli A) undirliggjandi ástæðna eða hvata sem knýja nýtingu, B) mismunandi landnýtingar sem knýr hnignunina og/eða viðheldur henni, C) mismunandi hnignunarferla; D) mismunandi ástands lands, þ.e. afleiðingar hnignunar, og E) áhrifa hnignunar á samfélögin (mynd 2). Hér á undan var fjallað um ferlin (þáttur C sbr. mynd 2). Sú landnýting (þáttur B sbr. mynd 2) sem veldur raskinu getur t.d. verið akuryrkja, skógarhögg og skógareyðing, beit, framræsla votlendis, utanvega-akstur, ágangur ferðamanna, námarekstur, einræktun, t.d. í skógrækt (e. monoculture), fóðurframleiðsla, ofnotkun vatnsauðlinda, útpensla byggðra svæða o.s.frv. Það sem veldur mestu um ástand lands hérlendis er beitarnotkun eins og síðar verður fjallað um, enda þótt fleiri tegundir landnýtingar af þeim sem hér voru taldar upp komi við sögu. En þessi kafli er tileinkaður undirliggjandi ástæðum landhnignunar (þáttur A, sbr. mynd 2).

Undirliggjandi ástæður landhnignunar eru m.a. félagslegir, lagalegir, pólitískir og hagrænir þættir. Þar má nefna venjur, brýna þörf á fæðu í fátækari löndum, fólksfjölgun, framleiðslustyrki, búsetustyrki sem stuðla að rangri nýtingu, markaðslegar ástæður, gróðasjónamið, menningargildi (sbr. göngur og réttir) o.m.fl. Dæmi um hagræna þætti er þegar opnast markaður fyrir tiltekna vöru, t.d. nautakjöt, sem skilar miklum hagnaði á skömmum tíma og þá getur landnýting sem fylgir von um skjótfenginn gróða valdið varanlegum skemmdum á vistkerfum á fáum árum.

3.1. Lagalegir þættir og stjórnsýsla

Lagalegir þættir fela iðulega í sér úreltan, ónógan eða sértækan lagaramma sem viðheldur skaðlegri landnýtingu og verndar hana. Lagagreinar sem lúta að vatnsréttindum valda oft tjóni þar sem vatn er af skornum skammti (Schuyt 2005). Hér á landi eru gömul lög um búfjárhald, afréttarmálefni og fjallskil notuð til að viðhalda lausagöngu búfjár (Lilja Jónsdóttir 2020) sem oft leiðir til beitar fjáreigenda á land annarra án þeirra leyfis. Landeigendur geta orðið fyrir tjóni og þurft m.a.s. að leggja í mikinn kostnað við að smala eigið land og afhenda eigendum búfjárins gripina, enda þótt þeir hafi aldrei gefið leyfi fyrir beitinni. Að öðrum kosti geta eigendur búfjárins smalað eigin búfé af landi annarra á kostnað landeigenda, sem voru þó fullkomlega mótfallnir þessari beit, og höfðu engin leyfi veitt fyrir beitinni. Auk þess stuðla þessar lagagreinar að ósjálfbærri afréttanýtingu (Ólafur Arnalds 2019a,b).

Lagalegir þættir og stjórnsýsla geta valdið rofi á tengingum á milli ástands lands og samfélagslegra þátta (e. decoupling). Dæmi um það er þegar lélegt ástand landsins hefur ekki áhrif á ákvarðanatöku um landnýtingu heldur er hún keyrð óbreytt áfram – slæmt ástand hefur þá ekki afleiðingar inn í samfélagið. Þá geta styrkjagreiðslur stutt við óbreytta landnýtingu enda þótt ástand landsins sé slæmt. Stuðningurinn getur líka rofið tengsl ástands lands við samfélagið þegar fjárveitingar minnka í raun þörfina á að halda vistkerfum í góðu ástandi. Þetta eru aðeins dæmi sem sýna að taka verður þessa þætti með í reikninginn við rannsóknir á ástæðum þess að landi er viðhaldið í slæmu ástandi. Ástæða er til að benda hér sérstaklega á rannsóknir og yfirlit Þórunnar Pétursdóttur (2020, o.fl. 2013, 2017, 2020), sem kannaði m.a. áhrif stjórnsýslu og stjórnunarháttá á sjálfbærni í landbúnaði og komst að ýmsum alvarlegum vanköntum á þessu sviði. Stjórnsýsla og sértækar aðgerðir stjórnvalda hafa stuðlað að stöðnun framleiðslukerfis er varðar náttúru og umhverfi samkvæmt rannsóknum Þórunnar (sjá einnig Jóhann Helga Stefánsson 2018 og Ólaf Arnalds 2019a,b).

Færa má rök fyrir því að framkvæmd skipulagslaga sé föst í viðjum fortíðar þegar kemur að viðhorfum til lands í slæmu ástandi – sem iðulega er skilgreint sem „landbúnaðarland“ við skipulagsgerð (sjá Salvör Jónsdóttir 2012, bls. 12 og 16). Það er að vísu afar misjafnt á milli sveitarfélaga. Sums staðar er það t.d. skilgreint sem „annað land“. Ákvarðanir um landnýtingu á „landbúnaðarlandi“ og „öðru landi“ eru oftast á höndum landbúnaðarnefnda sem eru einkum skipaðar aðilum sem hafa hagsmuni að óbreyttu fyrirkomulagi. Þetta er um margt úrelt stjórnsýsla – umsýsla þessa lands sem hér um ræðir (land í slæmu ástandi) ætti ekki að flokkast sem „landbúnaðarland“ í skipulagi eða stjórnsýslu. Möguleikar til annarra nota geta verið mjög margvíslegir og því ætti breiður hópur hagaðila að koma að skipulagi á því landi sem hér um ræðir.

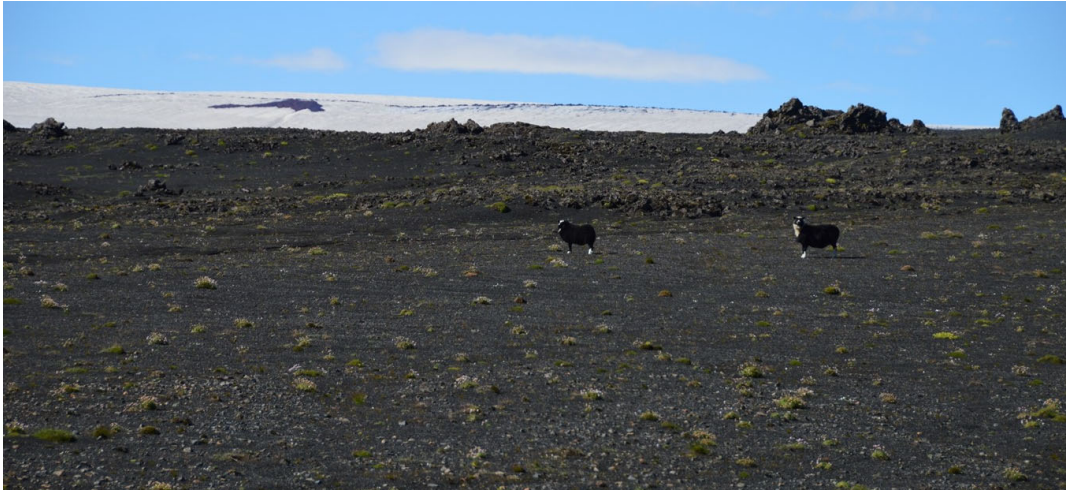
3.2. Hagrænir þættir og landbúnaðarstyrkir

Hnignun landkosta á Íslandi í sögulegu samhengi er iðulega tengd félags- og hagrænum þáttum eins og Friðþór Sófus Sigurmundsson o.fl. (2014) sýndu fram á fyrir hrun vistkerfa í Þjórsárdal eftir Siðaskipti. Hér er hvorki rúm né ástæða til að útskýra alla þessa þætti, en mikilvægt er að þeir sem fjalla um landhnignun gefi þeim gaum. Athygli verður beint að styrkjum til framleiðenda í landbúnaði – landbúnaðarstyrkjum – sem dæmi um slíka þætti. Landbúnaðarstyrkir eru meðal atriða sem móta landnýtingu á Íslandi með hvað afdrifaríkustum hætti, eins og víða er raunin annars staðar á hnettinum (Meyers og Kent 1998, van Beers og van den Bergh 2001, Schuyt 2005, Tanentzap o.fl. 2015).

3.2.1 Landbúnaðarstyrkir og aðgangur að upplýsingum

„Gagnsæi er eitt vanmetnasta stjórnþætti samtímans. Það er einfaldara en lagabálkur, ódýrara en eftirlitsstofnun og áhrifamátturinn er studdur vísindalegum rökum“ (Sif Sigmarsdóttir, „Mín skoðun“, Fréttablaðið, maí 2020).

Stjarnfræðilega miklum fjármunum er varið til stuðnings við landbúnað víða um veröld og þessar greiðslur hafa afgerandi áhrif á landnýtingu og vistkerfi. Stuðningsgreiðslur eru einn helsti undirliggjandi þáttur landhnignunar í heiminum. Á Íslandi eru einnig notuð hugtök á borð við beingreiðslur og niðurgreiðslur um landbúnaðarstyrki (e. agricultural subsidies). Stuðningsgreiðslur við landbúnað í heiminum nema 700-1000 milljörðum dollara á ári en aðeins um 1% af því fé er talið tengt umhverfismálum og náttúruvernd með einhverjum hætti (The Food and Land Use Coalition 2019). Aðeins hluti framleiðslunnar er styrktur – stuðningurinn er ekki miðaður við almannaeðl og takmarkað fjármagn rennur til umhverfistengdra verkefna (Smith o.fl. 2017). Innan Evrópusambandsins námu styrkirnir um 60 milljörðum evra árið 2019 (EU data portal). Þar hefur verið mikil áhersla á umhverfistengingu styrkja og að setja skilyrði um að nýting spilli ekki landkostum (e. cross-compliance), en deilt er um hversu vel gengur að ná slíkum markmiðum. Árangur landbúnaðarstyrkja við að tryggja fæðuöryggi og búsetu í dreifbýli er ákaflega misjafn á milli landa og tegundar styrkja. Landbúnaðarstyrkir hafa oft þau áhrif að festa ákveðnar framleiðslugreinar í sessi, sem getur komið í veg fyrir sveigjanleika, til dæmis gagnvart breyttu fæðuvali neytenda eða vegna umhverfiskostnaðar framleiðslunnar (t.d. sótspor; sjá Ólaf Arnalds og Jón Guðmundsson 2020).



Mynd 8. Ósjálfbær og skaðleg beit á þessu svæði nýtur veglegra styrkja frá almenningi.

Upplýsingar um landbúnaðarstyrki hafa á tíðum verið afar torsóttar sem hefur hamlað aðhaldi að framkvæmd búvörusamninga og könnun á áhrifum þeirra á vistkerfi og samfélagið. Með alþjóðlegri þróun, sem miðar að setningu laga til að tryggja frjálst aðgengi að upplýsingum er varða almannahag á undanförnum áratugum, hefur umfang og eðli landbúnaðarstyrkja komið æ betur í ljós víða um heiminn. Dagblaðið „*The Washington Post*“ náði að gera upplýsingar um landbúnaðarstyrki í Bandaríkjunum aðgengilegar með lögsókn og dómi árið 1996, en þar eru gögn um styrkþega nú tiltæk á heimasíðu frjálsra félagasamtaka (The Environmental Working Group, ewg.org). Upplýsingar um landbúnaðarstyrki í Evrópusambandinu eru yfirleitt aðgengilegar almenningi því lögð er áhersla á að með góðu aðgengi sé hægt að veita aðhald og opna umræðu um hvernig þessum fjármunum verður best varið (farmsubsidy.org). Í Bretlandi var það fjölmiðillinn „*The Guardian*“ (2005) sem krafðist aðgengis að upplýsingum um landbúnaðarstyrki í ljósi nýsettra upplýsingalaga þar í landi og ríkistjórnin ákvað þá að gera upplýsingarnar opinberar án frekari málareksturs. Áður höfðu upplýsingarnar verið algjörlega lokaðar. Svipuð þróun hefur orðið í öðrum löndum, t.d. Mexíkó, þar sem bandalag smábænda, háskólafélags og umhverfissinna höfðaði og vann mál um aðgengi að upplýsingum (Cejudo 2013). Þar þurfti að senda inn 30 beiðnir til yfirvalda um upplýsingar og rekin voru 16 kærurnar áður en sigur vannst. Á Íslandi unnust mál fyrir *Úrskurðarnefnd um upplýsingamál*, árið 2018 (nr. 747/2018) og 2020 (nr. 876/2020), eftir nokkrar beiðnir um upplýsingar og í kjölfarið voru gögn um landbúnaðarstyrki gerð aðgengileg (Ólafur Arnalds 2020 a,b).

Upplýsingar um landbúnaðarstyrki á heimsvísu draga fram dökka mynd af kerfunum. Í Bretlandi er það að meginhluta auðugir landeigendur, þeirra á meðal drottningin og krónprinsinn, sem fá stóran hluta styrkjanna. Sama á við í Mexíkó þar sem kom í ljós að styrkirnir runnu í miklum mæli til velstæðra landeigenda, en einnig til starfsmanna stjórnvalda – en ekki til fátækra smábænda eins og ætlunin var (The Food and Land Use Coalition 2019). Fullvíst má telja að styrkirnir nýtast víða ekki með þeim hætti sem ætlað er (Smith o.fl. 2017). Að baki stendur oftast gríðarlega sterkur hagsmunahópur sem viðheldur úreltum kerfum, svo sem landeigendur í landbúnaðarnefndum þjóðþinganna, t.d. í Bandaríkjunum (Congress). Bændur eru þá beggja megin borðsins, sem á sér skýra hliðstæðu í stjórnámum á Íslandi.

3.2.2. Rangsnúnir landbúnaðarstyrkir skaða vistkerfi

Fjárhagslegir eða stjórnsýslulegir hvatar sem hafa alvarlegar afleiðingar fyrir efnahag samfélaga eða umhverfi hafa verið nefndir „rangsnúnir hvatar“ (e. perverse incentives⁴), t.d. rangsnúnir efnahags-hvatar, rangsnúnir lagalegir hvatar eða reglugerðaákvæði sem og rangsnúnir landbúnaðarstyrkir (sjá Meyers og Kent 1998, van Beers og van den Bergh 2001, Schuyt 2005). Gríðarlegar styrkjagreiðslur til nýtingar á óendurnýjanlegum orkugjöfum á borð við kol og olíu í Bandaríkjunum og Evrópu eru dæmi um rangsnúna efnahagshvata vegna neikvæðra áhrifa á land og loftslag, styrkjagreiðslur sem hafa tafið þróun á vistvænni aðferðum við orkuframleiðslu. Landbúnaðarstyrkir eru iðulega drifkraftar landnýtingar sem valda skaða á vistkerfum eða landhnignun, eða viðheldur slæmu ástandi lands (IPBES 2019 – skýrsla vísindaráðs Samnings Sameinuðu þjóðanna um lífbreytileika, sjá einnig Meyers og Kent 1998, van Beers og van den Bergh 2001). Þannig komst Meyers (2007) að þeirri niðurstöðu að aflétting á rangsnúnum landbúnaðarstyrkjum væri áhrifaríkasta aðgerðin til að bæta umhverfið í veröldinni. Talið er að styrkir upp á u.þ.b. 100 milljarða dollara á ári (2015) hafi neikvæð umhverfisáhrif innan OECD landa en mun minni hluti styrkja hafi jákvæð umhverfisáhrif (IPBES 2019). Óbreytt framkvæmd á landbúnaðarstyrkjum mun hafa mjög alvarleg áhrif á umhverfið um heim allan, m.a. á vistkerfi, fæðuframleiðslu og loftslagsbreytingar (The Food and Land Use Coalition 2019, IPBES 2019).

Landbúnaðarstyrkir hafa marghátuð áhrif á íslenskt umhverfi – hugsanlega er þessi þáttur sá afdrifarikesti fyrir vistkerfi landsins nú um stundir (mynd 8). Upplýsingar um landbúnaðarstyrki á Íslandi sem voru gerðar opinberar árið 2020 leiddu í ljós að hér sem annars staðar hefur margt farið úrskaiðis við framkvæmdina. Þannig fengu hundruð tómsundabænda og aðila utan lögbýla styrki til að framleiða dilkakjöt (gögn frá 2016), stundum til heimabruks og oft í hróplegri andstöðu við nauðsynlegar breytingar á landnýtingu við þéttbýli, eða þar sem ástand lands er slæmt. Þá hafa vaxið upp gríðarlega stór bú sem hljóta háa styrki (allt að 20 milljónir króna á ári í heildargreiðslur á sauðfjárbú), sem er bæði andstætt byggðasjónarmiði styrkjanna (fá stór bú) og umhverfissjónarmiðum, því það getur leitt til ofbeitar að safna miklum fjárfjölda á eitt bú, sem hefur raunar gerst án tillits hvaða svæði eru heppileg til framleiðslunnar. Enda eru litlar kvaðir eða eftirfylgni með upplýsingum um hvort nægt beitiland sé til staðar (Ólafur Arnalds – óbirt gögn um umsóknir að aðild að gæðastýringu í sauðfjárrækt). Aðgerðir til að tengja styrkina við ástand landsins (e. cross compliance) hafa misheppnast hérlendis – rangsnúnir hvatar í sauðfjárramleiðslu viðhalda ósjálfbærri landnýtingu víða um landið (Ólafur Arnalds 2019a). Landbúnaðarstyrkir voru einnig drifkraftur framræslu votlendis seinni hluta síðustu aldar sem leiddi til þess að stór hluti votlenda landsins hefur verið ræstur fram með afar neikvæðum áhrifum á vistkerfi, samfara stórfelldri losun á gróðurhúsalofttegundum (Sólveig Ólafsdóttir 2013). En það má ekki gleyma því að framræslan gjörbreytti aðstæðum til fóðurframleiðslu í landbúnaði, sem þarf að vega á móti neikvæðum umhverfisáhrifum.

Rétt er að horfa til þess að nú, árið 2020, er styrkjum beint til framleiðslu á fremur fábreyttu úrvali fæðu – framleiðslu sem oft losar mjög mikið af gróðurhúsalofttegundum (Ólafur Arnalds og Jón Guðmundsson 2020). Styrkirnir skekkja samkeppnisaðstöðu við aðrar greinar. Hægt væri að beina stuðningi þjóðarinnar til aðgerða og framleiðsluhátta sem hafa minni neikvæð áhrif á umhverfið, til aðgerða sem stuðla að kolefnisbindingu og endurheimt vistkerfa. Mikilvægt er að almenningur, stjórnvöld og löggjafinn átti

⁴ Gætu einnig verið nefndir „öfugsúnir“ hvatar, en hugtakið „rangsnúnir“ varð fyrir valinu – „rangt“ og „ranglátur“ er nær ensku merkingunni en hugtakið „öfugt“.

sig á neikvæðum áhrifum landbúnaðarstyrkja á bæði land og loftslag. Þá er rétt að nefna að landeigendur um land allt búa við algjörlega úrelta löggjöf er varðar lausagöngu búfjár og afréttamálefni, sem sannarlega má nefna rangsnúin lagaleg skilyrði sem ganga gegn hagsmunum náttúruverndar (sjá Ólaf Arnalds 2019a og Lilju Jónsdóttir 2020). Þessi dæmi sem hér eru tilgreind sýna að vandamál er snerta rangsnúna hvata og umhverfið eru afar alþjóðleg í eðli sínu – hvatarnir hafa áhrif á nýtingu náttúruauðlinda um heim allan og svo sannarlega á Íslandi.

4. 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. Til þess þarf skilning á vistkerfum. Ólafur Arnalds 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. Byggt er á aðferðum sem hafa birst á alþjóðlegum vettvangi á þessu sviði (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). Æskilegt er að mat á ástandi lands styðjist við: i) mikilvæga, ii) vel skilgreinda, og iii) mælanlega og/eða auðgreinanlega þætti. Flestar aðferðir miða við að lagt sé mat á upprunalegt ástand eða „eðlilegt ástand landsins“ – vistgetu – til viðmiðunar, eins og síðar er fjallað um.

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 mjög við sögu. Skilgreining Bland o.fl. (2018) gefur góða 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 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“⁵.

4.1. Rask, þanþol og hnignun vistkerfa

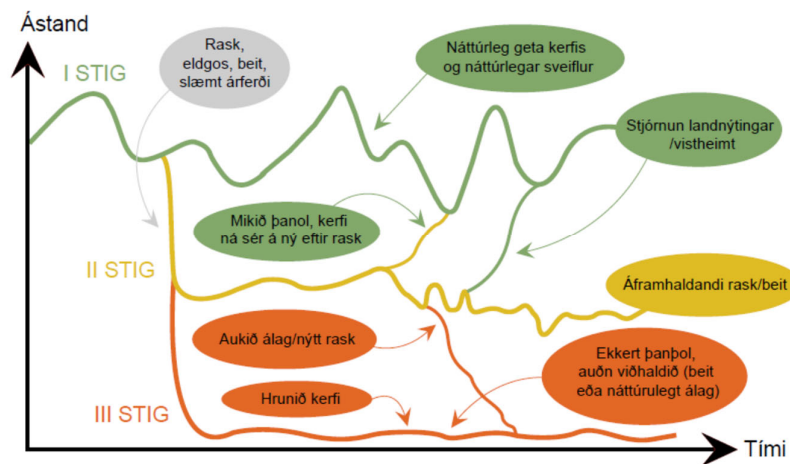
Hugtökin „rask“ (e. disturbance) og „þanþol“ (e. resilience) eru meginhugtök í tengslum við umræðu um ástand og hnignun vistkerfa. Það er nokkuð mismunandi hvernig hugtakið þanþol er notað, hér hefur það tiltölulega víða skírskotun og inniheldur að hluta hugtakið „stöðugleika“ (e. stability) sem algengt er að gera (sjá UNEP 2016). Áhugafólki um þanþol er bent á bókina „*Foundations of ecological resilience*“ sem er ritstýrt af Gunderson o.fl. (2010). Eftirfarandi undirkafla er að hluta endursögn á texta í „*Að lesa og lækna landið*“ (Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 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 eru öskufall vegna eldgosa og jökulhlaup. Margs konar landnýting leiðir til rasks á vistkerfum, til dæmis traðk manna og dýra, utanvegaakstur, vegaf framkvæmdir, 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 konar rask á sér stað, „ákefð“ þess (e. intensity),

⁵ „*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 (ie patches) lose defining biotic and abiotic features, and characteristic native biota are no longer sustained*“ (Bland o.fl. 2018).

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 viðkomandi vistkerfa en ekki síður ástandi þeirra. 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 umhverfisaðstæðum (stig I á mynd 9). 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 næringarhringrás er enn öflug. 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 það 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 gerð af raski (t.d. beit) dregið úr þanþoli vistkerfa gagnvart öðrum gerðum rasks (t.d. gjóskufalli eða áfoki). 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 því meira eftir því sem þau eru frjósamari og öflugri. Tegundasamsetning gróðurs, jarðvegsgerð sem og ytri þættir móta þanþolið. Jaðarsvæði, t.d. þurr eða köld landsvæði sem 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.



Mynd 9. Þanþol. Hér er gert ráð fyrir þremur stigum til einföldunar, efsta stig er óraskað náttúrulegt ástand en það neðsta þar sem algjört vistkerfishrun hefur átt sér stað. Ástandið sveiflast innan hvers stigs en við rask verður álag á kerfið og það hrynur niður á næsta stig sé álagið meira en sem nemur þanþolinu. Neðsta stigið er dæmi um illa gróið land og auðnir á Íslandi. Mynd: Ólafur Arnalds og Jeff Herrick, birt í UNEP 2016.

Með aðgerðum á borð við hvíld á akuryrkjulandi og friðun fyrir beit má lyfta vistkerfum aftur upp á fyrri stig – upp á hærra þrep. En kerfi á lægri þrepum eru iðulega stöðug sem slík og því þarf gjarnan inngríp 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 fögnu 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 þá er skógurinn náttúrulegt stig og viðmið. Þar sem skógurinn sækir á getur verið talið mikilvægt að viðhalda nýtingu til að auka fjölbreytni í landslagi, m.a. til verndunar á svonefndu búsetulandslagi. Það á vitaskuld aðeins við þar sem ástand vistkerfa telst viðunandi – það er rangsnúin og siðlaus notkun á hugmyndum um búsetulandslag (e. perverse arguments) þegar mjög hnignað land er verndað sem slíkt og viðhaldið með ofnýtingu.

Bati innan hvers þreps eftir að teygt hefur verið á þanþoli tekur tiltölulega skamman tíma (ár, fáir áratugir). Bati frá einu ástandsstigi eða vistþrepi til annars tekur hins vegar oft mun lengri tíma (áratugir, árhrunduð hérlendis) og oft þarf inngríp á borð við plöntun, áburðargjöf og sáningu til að koma bataferlinu af stað. Berar klappir gróa seint, en þar sem laus setlög eru á yfirborði, t.d. jökulurð og eldfjallagjóska, geta kerfin frekar gróið sára sinna. Því eru möguleikar á bata afar misjafnir.



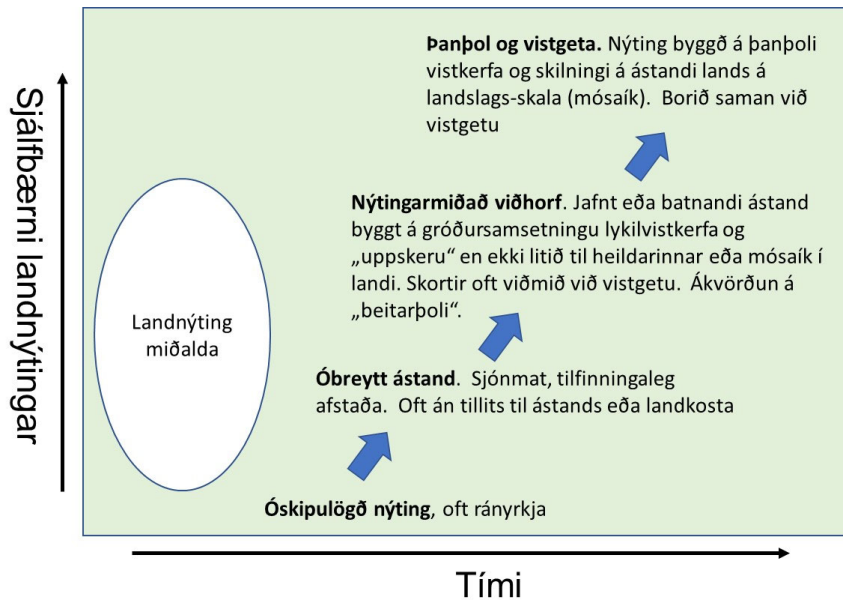
Mynd 10. Votlendissvæði á Suðurlandi til vinstri, með mikið þanþol gagnvart nýtingu aldanna. Til hægri er svæði á Snæfellsnesi þar sem vistkerfið er hrunið vegna sauðfjárbeitar og hugsanlega skógareyðingar áður fyrr – þanþolið nægði ekki. Mörg þurrlendisvistkerfi á Vesturlandi þola illa að missa skógarhuluna.

4.2. Ástandsmat

Mat á ástandi lands er æ mikilvægari þáttur umhverfisvísinda sem er grundvöllur fyrir skynsamlegar ákvarðanir á nýtingu vistkerfa, verndun þeirra og uppbyggingu. Ástandsmat felur m.a. í sér að vega virkni og stöðu einstakra þátta vistkerfisins og ferla þess, m.a. til að ákvarða hvort færsla niður á lægra þrep ástands hefur átt sér stað eða jafnvel vistkerfishrun, sbr. umræðuna hér að ofan. Fjöldi aðferða hafa verið þróaðar fyrir útjörð⁶ eins og vistkerfin sem einkenna Ísland. Þar má nefna klassískar aðferðir frá Bandaríkjunum frá því um miðja 20. öldina (e. range condition, Stoddard o.fl. 1975, Holecek o.fl. 2010), sem einkum studdust við tegundasamsetningu gróðurs miðað við upprunalegt eða æskilegt ástand. Á árunum milli 1970-1980 var beitt fremur flóknum aðferðum til að reikna út beitarþol afréttarsvæða á Íslandi, sem byggðist m.a. á gróðurkortum, uppskeru helstu gróðurlenda og meltanleikarannsóknnum (Ingvi Þorsteinsson 1980). Niðurstöðurnar gáfu klárlega allt of háar niðurstöður sem má rekja til þess að

⁶ Hugtakið „útjörð“ er notað hér um opin lönd utan heimalanda næst bæjum sem í sumum tilfellum eru nýtt til beitar, en stundum ekki, sem og land sem nú er beitt en ætti ekki að vera beitt vegna viðkvæmrar náttúru eða slæms ástand landsins. Hugtakið er því í mörgum tilfellum mun heppilegra en „úthagi“ – sem vísar til að landið sé beitt eða sé ætlað til beitar þótt það kunnir engan veginn að henta til beitar.

sá hluti uppskeru sem óhætt var talið að fjarlægja var ofmetinn sem og að rannsóknir á uppskeru helstu gróðurlenda höfðu leitt til ofmats á þekju góðra beitartegunda (sjá viðauka um beitarpól; ÓA byggt á þátttöku í beitarrannsóknum í stóru beitartilraunum Rala og öðrum rannsóknum á þessum grunni árin 1982-1987 – óbirt). Reynt var að bæta aðferðirnar við mat á beitolöndum sem Rannsóknastofnun landbúnaðarins stóð fyrir á árunum milli 1980 og 1985 og þar var höfundur einn þátttakenda, þar sem fyrri útreikningar á beitarpóli voru aðlagaðir að breytilegri tegundasamsetningu miðað við viðmiðunargróðurlendi þar sem uppskera hafði verið mæld, sem og beitavali sauðfjár (t.d. Ingvi Þorsteinnsson 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 í fullu gildi ennþá (sjá myndir 11 og 12).



Mynd 11. Þróun aðferða við mat á landi og skipulag landnýtingar frá óskiplagðri nýtingu (oft rányrkju) til mats sem byggist á þanþoli vistkerfa og samanburði við vistgetu einstakra landeininga. Teikningin er þýðing og staðfærsla á mynd Briske (2017) 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 þau skyndilega á annað stig. Slik sýn tekur heldur ekki tillit til fjölbreyttrar mósaíkur vistgerða í landslagi, sum kerfin geta verið ofnýtt eða hafa hrunið á meðan önnur viðhaldast. Nýtingarmiðað viðhorf nýtir gróðursamsetningu og uppskeru m.a. til að meta svokallað „beitarpól“ en þær aðferðir eru gengnar sér til húðar af mörgum orsökum. Nýtingarmiðað 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 miðað við vistgetu hverrar einingar í landslaginu og endurheimt landgæða, þar sem það á við.

Skipulag nýtingar á beitolöndum sem byggir á þanþoli (e. resilience) vistkerfa og samanburði við vistgetu er líklegra til að tryggja sjálfbæra beitarnýtingu en eldri kerfi eða viðhorf (myndir 11 og 12). Áður var m.a. treyst á skoðun á þrifum búfjár eða t.d. hvort vistkerfin væru stöðug með núverandi nýtingu, t.d. með tilliti til tegundasamsetningar háplantna. Ennþá er það algengt viðhorf, m.a. bænda og almennings við mat á ástandi lands að aðeins er horft til takmarkaðra gróðurbleðla og ef ástand þeirra er talið viðunandi þá sé landið allt í góðu ástandi – jafnvel þótt tiltekið afréttarland sé að meiri hluta ógróið og vistkerfin hrunin. Þetta er vitaskuld fráleitt aðferð og sýn á landið (A og B á mynd 12).

	Skynjun - Sýn	Mótíf skynjunar	Reynsla	Áhrif af nálgun	
				Frjó heil	Ófrjó breytileg
	A. Út frá beitardýri.	Afurðir og velferð dýrs	Getur leitt til notkunar á fullkomlega ónýtu landi án tillits til ástand þess eða áhrifa nýtingar á landið	Red	Red
	B. Beitardýr – gróður.	Velferð dýrs og hvort nægt fóður	Metur hvort sé nægt fóður burtséð frá ástandi landsins, sem getur leitt til nýtingar á ónýtu landi án tilliti til ástands	Yellow	Red
	C. Dýr og stök vistkerfi. Kerfi sem eru nýtt (moldin með – en ekki öll svæði landsins)	Hvort einstök kerfi nægi og velferð þeirra (tekur til moldarinnar)	Hvort nóg framleiðsla í einhverjum kerfum til að framleiða án skemmda á þeim, en ekki beitarsvæðið í heild (hlutar geta skaðast verulega)	Green	Yellow
	D. Vistkerfanálgun. Allt beitarsvæðið undir (líka lítið nýtt svæði; auðnir með).	Tekur til allra þátta og kerfa innan beitarsvæðis	Ástand lands skoðað á landslagsskala. Ef ástand stórs hluta þess er slæmt er beitardýrið ekki aðalmálið í mati á landi. Tryggir velferð landsins í heild	Green	Green

Mynd 12. Önnur framsetning á breytingum á hugmyndum um landnýtingu og ástand lands – sem höfundur hefur notað við kennslu. Áður var gjarnan aðeins litið til þrifa búfjár (A) og hvort samtals myndist nægt fóður (B) en iðulega aðeins litið til ákveðinna gróðurbletta, enda þótt nýtingin væri ekki bundin við þá (C). A-C eru dæmi um nýtingarmiðuð viðhorf. Mikilvægt er að beita heildstæðri vistkerfanálgun á landslagsskala, þar sem beit er aðeins einn þáttur sem litið er til við ákvörðun á nýtingu; verndun, vistheimt og aðrir þættir koma einnig til álitna (D). Í dálkunum lengst til hægri eru áhrif hverrar nálgunar metin fyrir lokuð beitarkerfi innan girðinga á góðu landi (frjó og heil) og opin beitolönd með fjölbreyttri mósaiik kerfa, græn táknar sjálfbæra nýtingu en rauður litur gefur til kynna hættu á ofnýtingu og skemmdum á vistkerfum.

Á undanförunum áratugum hafa breiðari vistfræðilegar nálganir við mat á ástandi lands orðið meira áberandi, þar sem jarðvegsþættir hljóta sama vægi og yfirborðsþættir. Bókin „*Methods for assessing soil quality*“ (ritstýrt af Doran og Jones 1996) var gefin út af Jarðvegsfræðifélagi Bandaríkjanna í þessum tilgangi og síðan hefur fjöldi aðferða verið settar fram, 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 (D á mynd 12) verið þróuð og notuð í Bandaríkjunum (Pellant o.fl. 2019, Herrick o.fl. 2018) (mynd 13), en þær aðferðir eiga sér samsvörun víðar svo sem í Eyjaálfa (Tongway 1994, Tongway og Hindley 2000) sem og í kerfi Ásu L. Aradóttur o.fl. frá 1992 fyrir Ísland. Þessar aðferðir leggja grunninn að umfjölluninni hér á eftir og fyrir hið 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. 2017, 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 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 á undan þróun og breytingunum á matskerfunum í Bandaríkjunum. Jóhann Þórssson (2008) og Isabel Barrio o.fl. (2018) þróuðu áfram aðferðir sem byggja á vistþrepa-líkönnum fyrir ástandsstig og færslu á milli þeirra á Íslandi.

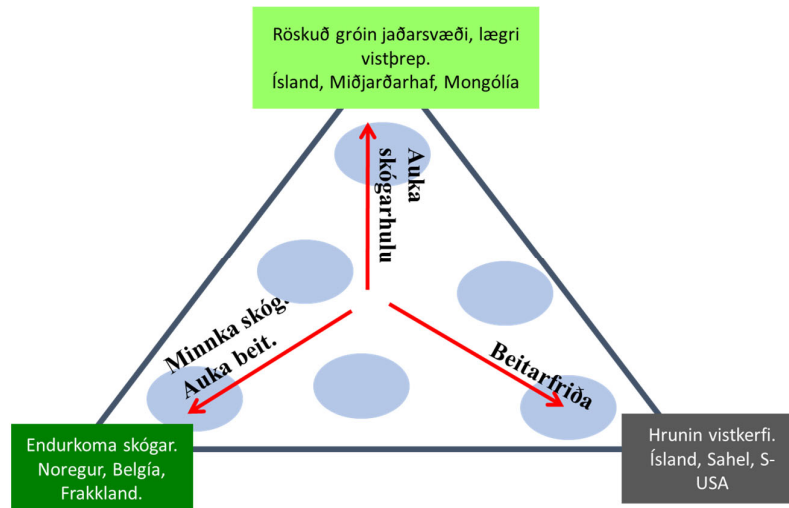


Mynd 13. Námskeið höfunda bandaríska kerfisins við að meta ástand lands á Jordana rannsóknastöðinni í New Mexico í Bandaríkjunum í apríl 2019. Námskeiðið sótti fagfólk frá margvíslegum stofnunum sem fara með forráð á þjóðlendum (e. public lands), ráðgjafastofnunum í landbúnaði, fólk í háskólanámi o.fl. Ástand landsins hér, miðað við vistgetu, er ekki gott. Jeffrey Herrick sitjandi á stól, Patrick Shaver standandi til hægri, Mike Pellant efst lengst til hægri. Jeff Herrick og Patrick Shaver hafa kennt við Landgræðsluskóla UNEP/GRÓ á Íslandi. Mynd: Ása L. Aradóttir, birt með leyfi.

Það er mikilvægt að aðferðir til að meta ástand lands taki mið af vistfræðilegum aðstæðum á hverjum stað. Eðli vistkerfa eru mismunandi, t.d. á milli jaðarsvæða sem einkennast af þurrki annars vegar eða á arktískum svæðum hins vegar; eða á milli skóglendis, akurlendis, frjósams graslendis eða opinna beiti-landa, svo dæmi séu tekin (mynd 14). Valdir eru þættir vistkerfisins sem eru mikilvægir fyrir virkni þess og breytast við hnignun. Oftast eru það yfirborðsþættir 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 þegar land fer í sand. Síendurtekið jarðvegsrof leiðir yfirleitt til hruns vistkerfa. Lífrænt innihald breytist fremur hratt við mikið álag, telst í árum ef rof fjarlægir mold, en áratugum ef ofnýting lækkar kolefnisinnihald. Lífrænt innihald er almennt mikilvægur mælikvarði á bæði hrun og uppbyggingu vistkerfa (sjá Doran og Jones 1996). Fleiri þættir verða nefndir hér á eftir í töflu 2.

Ástand lands er yfirleitt metið með hliðsjón af tilteknum viðmiðum (e. reference condition), sem gefur til kynna „eðlilegt ástand“ landsins miðað við umhverfisaðstæður. Viðmiðunarástandið hefur verið nefnt „vistgeta“ (eða „landgeta“) sem er þýðing á „land potential“ eða „ecological potential“ tiltekins fláka eða landslagseiningar. Miðað er við upprunalegt ástand landsins, áður en landnýting spillti því, ef það er þekkt, en það ástand hefur eigi að síður verið nokkuð breytilegt. Einnig er horft til mögulegrar framleiðslugetu þegar ástand akuryrkjurlands 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 svipaðri vistfræðilegri virkni: vistgetu svæðisins. Kerfi sem einkennast af bersvæðagróðri getur ekki talist í góðu eða æskilegu ástandi ef viðmiðið er t.d. kjarrlendi – kerfið er þá einfaldlega á lægra ástandsstigi eða vistþrepi – jafnvel hrunið. Stundum er höfðað til lífbreytileika til að verja tilvist hins illa gróna lands, en það fellur undir rangsnúna

notkun á hugtakinu (e. perverse arguments), sem rímar illa við önnur sjónarmið umhverfissáttmála SP og heimsmarkmið samtakanna, sem Ísland hefur skuldbundið sig til að reyna að ná.



Mynd 14. Ákvarðanir um nýtingu lands þurfa að byggjast á eðli og ástandi vistkerfa. Sums staðar getur verið talið æskilegt að auka beit til að minnka skógarhulu og opna land, annars staðar getur þurft að beitarfríða þar sem land er ekki talið beitarhæft eða þar sem vistkerfi eru hrunin, jafnvel farin í sand.

Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir (2015; bókin „*Að lesa og lækna landið*“) notuðu þrjár grunnhringrásir vistkerfa til að fjalla um ástand vistkerfa: hringrásir orku (og orkunám inn í kerfið), hringrás vatns og næringarhringrásir (mynd 15). Kerfið á sér samsvörun í bandarísku og áströlsku kerfunum sem áður gat (Tongway 1994, Ludwig o.fl. 1997, Tongway og Hindley 2000, Pellant o.fl. 2019, Herrick o.fl. 2018). Rétt er að áréttu að hringrásirnar eru sannarlega tengdar og háðar hver annarri. Gróður sér vistkerfunum fyrir orku með ljóstillifun 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 upp lífrænan 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 hafa hæfileika til að binda og miðla 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 1000 kg N á ha – sem gefur 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 glatist hann við hrun vistkerfa. Mörg önnur næringarefni eru til staðar sem hlutfall af kolefnisinnihaldi og niturinnihaldi, því meira sem er af kolefni og nitri þeim mun líklegra 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 öröskuð kerfi til samanburðar (vistgeta landeiningarinnar). Að auki koma þættir sem gefa til kynna stöðugleika umhverfisins (táknaður með gráum hring á mynd 15), t.a.m. rof, nærveður o.fl. Þar sem mikið jarðvegsrof á sér stað telst ástand vistkerfis ávallt slæmt, því þá á sér stað tap á grunneiningum kerfanna, sem getur tekið óratíma að byggja upp að nýju.

Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa

Í töflu 2 eru kynntir þættir sem algengt 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 við 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.



Mynd 15. Versnandi ástand vistkerfa felur í sér skerðingu á hringrásum orku, vatns og næringar. Grái hringurinn táknar hið eðlislæna umhverfi, svo sem rof, nærveður o.fl. þætti sem hafa áhrif á virkni kerfanna. Jarðvegsrof veldur alvarlegri skerðingu á öllum hringrásunum þremur.

Tafla 2. Þættir sem oft eru notaðir til að meta ástand lands. Miðað er við óraskað ástand landsins („vistgetu“ landsins). Unnt er 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 hagfellt nærveður, bætir ísig vatns	Mæld á línun, í römmum, með myndum (oft stafrænt), sjónmati með skema o.fl.
Gróður-samsetning	Mótar framleiðni, orkunám, ástand, rask og framvindu - ágangar tegundir o.fl. Endurspeglar jarðvegsþætti	Oftast gróðurgreiningar, margar aðferðir. Oft kortlagt fyrir samfelld svæði, flákar, vistgerðir
Lifræn efni í mold	Næmur mælikvarði á frjósemi jarðvegs, áhrif á næringarhringrás, orkuforði, áhrif á vatnsmiðlun	Greint í mælitækjum (%C). Nitur oftast líka mældur. Einnig hægt að mæla glæðitap (OM%)
Sína	Gefur til kynna að ekki sé gengið of nærri landi, hlífir landi, eykur einangrun, hindrar afrennsli	Oftast metin, í magni og/eða þekju
Jarðveggsskán	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 hindrað 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.)	Uppskeyrin tilviljanakennd úrtök af helstu gróðurlendum, tekið tillit til beitar og árstíma
Fræbærni	Mikilvæg til að helstu tegundir endurnýi sig eða lykilttegundir breiðist út, t.d. þar sem ástand er slæmt	Metið síðla sumars eða að hausti
Ísig	Mikilvægt til að regnvatn nýtist án yfirborðsrennsli (vatnsrof). Gróður minnkar afrennsli og örvar ísig	Mælt fyrir helstu landgerðir svæðis. Háð árstíð. Lítt gróið land hefur lítið ísig á vetrum
Kornastærð	Leir hefur mikla vatnsheldni, silt leiðir vatn greiðlega, sandur heldur litlu vatni og rýfur leiðni vatns til róta	Tekin sýni til kornastærðargreininga. 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 greiningaradferðir á samfellu
Ógróið yfirborð	Ástand versnar með aukinni hlutdeild ógróins lands. Rýfur hringrásir orku, næringar og vatns	Kortlagning, oft unnt að nota gervihnattamyndir. Viðmið um hámark ógróins lands
Nærveðurþættir	Skjól minnkar yfirborðsvind, eykur snjóöfnun, minnkar uppgufun og bætir vatnshringrás	Mæla veðurþætti yfir og undir yfirborði, svo sem meðalhita, vind, uppgufun o.fl.
Byggingar-einkenni gróðurs	Kjarrgróður hefur mikil áhrif á nærveður, hefur mikið þanþol og er merki um óraskað gróðurlendi víða á Íslandi. Smáfaxinn gróður veitir lítið skjól	Mælingar og kortlagning með ýmsum aðferðum, vistgerðir o.fl. Felur í sér mælingu á lagskiptingu
Ágangar tegundir	Þær geta verið mjög stóðugar og komið í veg fyrir framvindu í átt að náttúrulegu örskuðu ástandi	Hvort séu fyrir hendi og/eða mæld hlutdeild þeirra o.s.frv.

Nýleg lög um landgræðslu á Íslandi (nr. 155/2018) endurspeglar um margt nútímalega sýn á ástand lands þar sem það er skilgreint sem: „Eiginleikar og samsetning gróðurs og jarðvegs í vistkerfi viðkomandi landsvæðis í samanburði við það sem telja má eðlilegt miðað við náttúrulegar aðstæður“. Þó er það nokkuð ankannalegt að tala um eiginleika og samsetningu gróðurs og jarðvegs í vistkerfi með þessum hætti, nema að virkni sé talin til eiginleika. Óljóst er hvernig taka ber á rofi samkvæmt þessari skilgreiningu. Þá er lífbreytileiki mikilvægur þáttur sem ekki má gleymast, ofanjarðar (t.d. fuglar og minni dýr), breytileiki gróðurs og síst breytileikinn ofan í moldinni – örveruvirkni og umsetning næringarefna. Skilgreiningin er mikilvægt skref fram á við.

4.3. Einfaldað kerfi sem dæmi

Hér verður sýnt dæmi um einfalt skema til að mæla ástand lands. Teknikir 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 skalanum (0-4) nema fyrir jarðvegsrof, sem fær aukið vægi í þessu skema með því að nota skalann 0-10, sem gefur aukið vægi í meðaltalinu. Oft er rétt að nota stíglækkandi kvarða fyrir hvern þátt fyrir sig 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 7 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 kafla 7). Annars vegar eru það moldarþættir: lífræn efni, kornastærð og ísig, sem gefa upplýsingar um virkni hringrásar 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, sína, samsetning og ágengar tegundir þegar við á. Gróðurþættirnir endurspeglar orkunám og frjósemi kerfisins, en samsetning gróðurs o.fl. þættir varpa einnig ljósi á stöðugleika kerfisins. 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 3 þar sem viðmiðið fær bestu einkunnina, en síðan eru dæmi um land í æ verra ástandi, ásamt ljósmyndum (mynd 16). Varðandi ágengar tegundir, þá má benda á að víða í vesturhluta Bandaríkjanna, þar sem mikið af fræðum til að meta ástand lands hafa þróast, hefur hlutur erlendra ágengra tegunda vaxið hröðum skrefum í útjörð undanfarið árhundrað 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 hrúnin vistkerfi eftir ofbeitt 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 lykiltegundum 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, sem takmarkar ísig – vatnsrof verður þar af leiðandi mikið. Vatnsheldni minnkar vegna lækkandi forða lífræna 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.

Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa

Auðvelt er að þróa tölulegan kvarða fyrir hvern þessara þátta (t.d. að einkunn fyrir gróðurþekju sé 4 fyrir >98% þekju).

Tafla 3. Dæmi um einfalt kerfi fyrir mat á ástandi lands. Það byggir á 7 þáttum þar sem jarðvegsrofi er gefið aukid vægi með því að nota breiðari kvarða. Að baki hverrar 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 viðmið. Einnig er 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 kjarlendi	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/sína/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



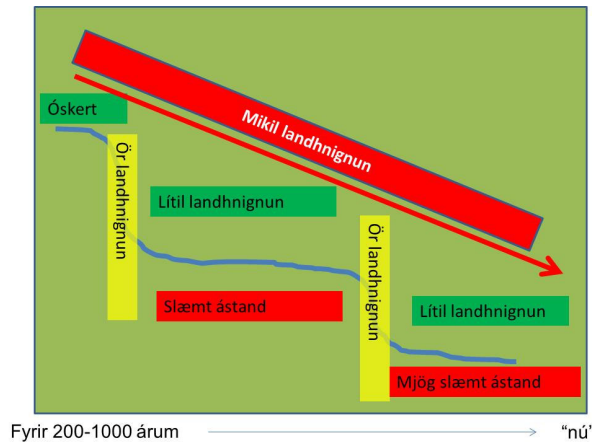
Mynd 16. Land á mismunandi ástandsstigi í dæminu sem getur um í töflu 3. Gríðarlega mikill munur er á milli þessara ástandsstiga. Svæðin þrjú á lægri ástandsstigum voru áður vaxin birkiskógum.

Hér er aðeins um að ræða dæmi til að sýna hvernig unnt er að standa að mati á ástandi lands með notkun á nokkrum lykilþáttum vistkerfisins, sbr. áður tilgreindar heimildir. 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 landsins) sem fær lægri einkunn en 66% eða 75%, svo dæmi séu tekin. Viðmið færu m.a. eftir markmiðum landnýtingar og stefnumörkum um að bæta ástand landsins.

4.4. Tíminn og breytt grunnviðmið fyrir ástand lands („samdaunasýki“)

Það er mikilvægt að horfa til langs tíma við mat á landi – ekki síst þegar kemur að eiginleikum moldar. Sums staðar liggja takmarkaðar upplýsingar fyrir um upprunalega gerð vistkerfa, þar sem landið hefur verið nýtt um árbúsundir, t.d. í Evrópu, Asíu og Afríku. Annars staðar er fyrra ástand betur þekkt, ekki síst þar sem stutt er síðan landnýting var aukin til muna, t.d. í Bandaríkjunum, Eyjaálfu og einnig hér á Íslandi. Hnignun vistkerfa er yfirleitt skrykkjótt eins og áður var rætt; miklar breytingar geta átt sér stað á skömmum tíma, en þess á milli eru kerfin stöðug á hverju ástandsstigi og breytingar fremur litlar (mynd 17; sjá einnig kafla um rask og þanþol). Við mat á landi er hætt við að of stuttur tími sé notaður til viðmiðunar – að ekki sé horft nógu langt aftur í söguna og þá aðeins horft til breytinga innan eins ástandsstigs. Það gerist t.d. iðulega þegar bornar eru saman misgamlar gervitunglamyndir, enda komu þær ekki til sögunnar fyrr en eftir 1980. Gervitunglamyndir geta aðeins gefið til kynna skammtíma-breytingar, sérstaklega þar sem breytingar á vistkerfum eru örar (mynd 17). Þær veita takmarkaða sýn á þá þróun sem hefur orðið í tímans rás. Myndirnar gefa þó glögga mynd af gróðurhulu o.fl. þáttum sem hægt er að nota við mat á ástandi; skortur á gróðurhulu þar sem umhverfisaðstæður leyfa mikla framleiðni (t.d. loftslag og jarðvegur – þ.e. vistgeta) sýnir ótvírætt fram á slæmt ástand vistkerfa; hringrás orkunnar hefur verið rofin. Við framkvæmd vöktunarverkefna er mikilvægt að ástand lands sé metið í ljósi ástandsstiga og vistgetu – að verið geti að vöktunin eigi sér stað innan lægra ástandsstigs sem getur verið stöðugt sem slíkt. Niðurstaðan getur verið að núverandi landnýting hafi lítil áhrif á vistkerfið í núverandi ástandi en að horft sé framhjá slæmu ástandi þess (breytt grunnviðmið).

Að horfa aðeins til viðmiða innan hvers ástandsstigs er birtingarmynd þess sem nefnt hefur verið „*shifting baseline syndrome*“ á ensku eða „*shifting baselines*“ („*heilkenni breyttra grunnviðmiða*“, „*breytt grunnviðmið*“). Fyrirbærið gæti einfaldlega kallast „*samdaunasýki*“, þar sem breyttu ástandi – jafnvel slæmu – er tekið sem sjálfsgögðum hlut og það haft til viðmiðunar (sjá t.d. Pauly 1995, Papworth 2009, Holl 2018). Heilkennið lýsir sér þannig að hver kynslóð tekur sífellt verra ástandi sem eðlilegu í stað þess að gera sér grein fyrir þeim breytingum sem umsvif mannsins hafa orsakað (t.d. Holl 2018). Heilkennið var fyrst notað í vísindagreinum um afneitun á hnignandi stöðu fiskistofna, þar sem könnun vísindamanna á minnkun fiskistofna tók aðeins til starfstíma rannsakendanna, en miðaði ekki við vistgetuna og ástandið áður en nýting hófst að marki (Pauly 1995). Auðvelt er að greina ummerki þessa heilkennis víða við nýtingu náttúruauðlinda, tilvist þess hefur verið augljós lengi, m.a. fagfólki hérlendis, og það birtist í því hvernig mörgum yfirsést bágt ástand vistkerfa hérlendis og tekur því sem sjálfsgögðum hlut. Heilkennið birtist glögglega í setningu beitarviðmiða og framkvæmd gæðastýringar í sauðfjárrækt (sjá Ólafur Arnalds 2019a) sem fellur að neðri stigum þróunar viðmiða í beitarvísindum sem sýnd voru á mynd 11 og nýtingarmiðuðum sjónarhornum sem taka ekki til stöðu vistkerfa á mynd 12.



Mynd 17. Hnignun lands í skrykkjum. Ef breytingar á ástandi lands eru bornar saman yfir stuttan tíma nær samanburðurinn yfirleitt aðeins til tímabils þar sem lítið er að gerast (engar breytingar, hægfara hnignun eða bati), sem gefur ranga mynd af ástandi lands miðað við náttúrulegt ástand landsins – vistgetu kerfisins (lengst til vinstri). Þegar ástand lands er metið út frá breytingum innan hvers þreps er um „óbreytt ástand“ eða „nýtingarmiðað viðhorf“ á mynd 11 eða skynjun samkvæmt A eða B á mynd 12 að ræða. Mat innan neðri þrepa án þess að líta til eðlilegs ástands eða vistgetu er gott dæmi um „heilkenni breyttra grunnviðmiða“ eða „samdaunasýki“ (e. shifting baseline syndrome – sjá texta).

Ástand lands og miðlun þekkingar

„Þátttökuaðferðum“ (e. participatory approaches, facilitation), þar sem unnið er með landnotendum á vettvangi er ætlað að tryggja að ákvarðanir eða leiðbeining um landnýtingu séu teknar í samvinnu við þá er nýta landið. Slíkar aðferðir eru oft mun heppilegri en tilskipanir ofan frá, t.d. frá stjórnvöldum (e. top-down approaches). Mikilvægt er að þó að slíkar aðferðir byggist á traustri vísindalegri þekkingu, þeirri bestu sem fyrir hendi er á hverjum tíma. Vísindamenn eru oft gagnrýndir fyrir að koma ekki þekkingu til þeirra sem þurfa, að þeir séu fastir í „fílabeinsturni vísindanna“. Það má vissulega taka undir þá gagnrýni og einnig að vísindin glími ekki nægjanlega mikið við vandamál samtímans, vanda á borð við landhnignun. Í raun er þörf á hvoru tveggja, góðu fagfólki á vettvangi landnýtingar og góðu vísindafólki sem þróar áfram þekkinguna – annars er hætt á stöðnun sem gjarnan ýtir undir ranga landnýtingu – stöðnun sem jafnvel er talin heppileg af valdhöfum hvers tíma. En vísindafólk er ekki endilega allt farsælt í samstarfi við landnotendur á vettvangi, jafnvel stundum afleitt – mennirnir eru misjafnir.

Ástand vistkerfa og landnýting eru mikilvæg viðfangsefni vísinda og þeirri þekkingu þarf sannarlega að koma á framfæri til þeirra sem nýta landið. Starf á vettvangi með landnotendum og þeim sem móta landnýtingarstefnu er lykilatridi og það er afar brýnt að þeir sem axla þá ábyrgð hafi haldgóða þekkingu á vistkerfum og landnýtingu jafnt sem skilning á samfélagslegum þáttum sem móta nýtinguna. Það er ekki alltaf raunin. Oft skortir verulega á að samstarf við landnotendur byggi á bestu fánlegu þekkingu – hún getur jafnvel einkennst af afneitun á þekkingu og vísindum – sem leiðir iðulega til að landverndarstarf er fast í viðjum „heilkennis breyttra grunnviðmiða“. Sömuleiðis getur fagfólk á vettvangi með mikla samskiptahæfileika valdið umtalsverðu tjóni ef viðkomandi hefur ekki grundvallarskilning á náttúruauðlindunum, vistkerfunum og eðli landhnignunar. Jafnvel viðhaldið rangri landnýtingu og áframhaldandi bágrri stöðu. Stundum endurspeglar lagaramminn ennfremur úrelta þekkingu á náttúru og nýtingu hennar. Þegar faglega þekkingu skortir á vettvangi, fagstofnunum og í regluverki má segja að bæði menntakerfið og þær einingar, t.d. ríkisstofnanir, sem manna stöður fagfólks á vettvangi og stjórnsýslu hafi ekki staðið sig nægjanlega vel í að lesa í og fullnægja þörfum samfélagsins fyrir þekkingu á þessum sviðum.

5. 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 öllu sanni, því er miður – heilkenni breyttra grunnviðmiða hefur þá tekið yfir. Fólk sem telur landið vera óraskað hefur ekki skilning á því sem fyrir augu ber – það er í raun ólæst á náttúru landsins – haldið „samdaunasýki“. Það er jafn mikilvægt að vera læs á ástand landsins eins og að skilja jarðfræði þess, þekjja plöntur og fugla eða skynja atferli dýra. Til þess þarf að lesa í svipmót landsins.

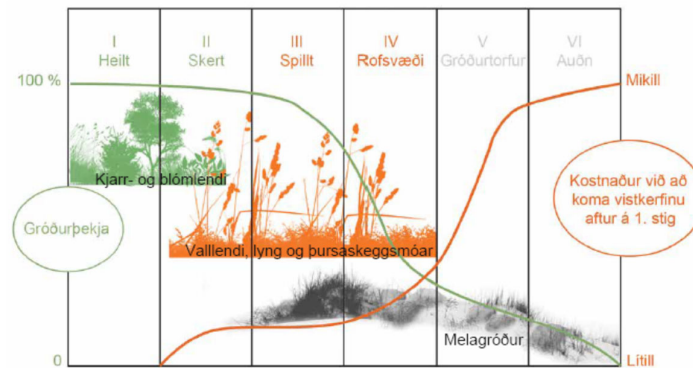


Mynd 18. Land í misjöfnu ástandi (sjá skilgreiningar á ástandsstigum í texta). A: vel gróin beitolönd en þó rofdílar næst á myndinni (II og III, skert fjær, spillt nær). B: Afréttarlönd í fremur lélegu ástandi, lítið rof en þurrlandisvistkerfin eru mjög hnignuð (mosabembur og ógrónar hæðir) – votlendiskerfin hafa lífað 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 nú (IV, rofsvæði). D: Land í mjög slæmu ástandi, einkennist af hnignuðum móum og ógrónu landi (rofsvæði – gróðurtorfur, IV og V).

Í kaflanum á undan var fjallað um hvernig nota má mælanlega þætti til mats á ástandi lands þar sem vistgeta hverrar landeiningar er höfð til samanburðar. Hér er hins vegar unnið á landslagsskala með fremur almennum hætti – en sömu grundvallaratriði gilda. Aðferðirnar voru fyrst birtar í grein Ásu L. Aradóttur o.fl. árið 1992 sem birt var í Græðum Ísland – Árbók Landgræðslu ríkisins. 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“ (vistprepa-líkön eða stöðu og tilfærslu-líkön), var nýlega birt af alþjóðlegum hópi (Bestelmeyer o.fl. 2017). Þau byggja 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. Tekið skal fram að aðferðir af þessu tagi taka ekki til allra aðstæðna, þær þurfa aðlögun að eðli þeirra vistkerfa sem unnið er með.

Samkvæmt kerfi Ásu L. Aradóttur o.fl. (1992) er ástandinu deilt í sex stig frá „heilum stigi“ (I) til „auðna-stigs“ (VI) (sjá mynd 19). Það lýsir t.d. aðstæðum á afréttasvæðum 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 á önnur svæði landsins. Gríðarlega mikill munur er á milli stigs I og þeirra stiga sem eru mjög hnignuð er varðar flesta þætti vistkerfa. Í töflu 4 er listi sem sýnir hvernig mikilvægir vistkerfisþættir breytast á milli stiganna.



Mynd 19. Ástandsstig frá heilum stigi til auðna-stigs. Gróðurhulan og frjósemi vistkerfa minnka hratt á rofstiginu. Eftir því sem gróðurhulan verður minni og gróðurfar rýrara hefur gengið meira á orku- og næringarforða kerfisins og ærfríðara verður að koma því aftur á fyrra stig (Ása L. Aradóttir o.fl. 1992, endurunnið fyrir Ólaf Arnalds og Ásu L. Aradóttur 2015).

Gildin sem gefin eru í töflu 4 endurspeglar stærðargráðu, en þau eru breytileg eftir aðstæðum og því er mörgum þeirra aðeins lýst sem „mikið“ eða „engin“ o.s.frv.

1. 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 20), 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 þurrlendi og magn niturs >10.000 kg/ha, sem endurspeglar frjósemi kerfanna og öra umsetningu næringarefna. Kolefnisinnihaldið getur auðveldlega verið 10-14% í A-lögum (yfirborðslögum) í óröskuðum birkiskógi. Hér er yfrið 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 þurkkatíma – þanþolið gagnvart áföllum er mikið.

Tafla 4. Mismunur á yfirborðsaðstæðum og moldarþáttum eftir ástandsstigum. Dæmi, en tölur geta verið mjög breytilegar frá einum stað til annars innan hvers ástandsstigs. Hér er miðað við aðstæður á láglandi.

	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 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 [€] , ^Y	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	>5000	>2500	<1000	<500	<250
Leir (%) ^Y	15-30	10-25	10-20	3-15	3-10	1-5
Vatnseldni (%) ^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. Byggir fyrst og fremst á gögnum Berglindar Orradóttur og mælingum Lbhí/Lr (Ermond verkefnið- óbirt). Sjá 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 20. Heilt vistkerfi. Meiðavallskógur í Kelduhverfi. Skógurinn er töluvert beittur en heldur helstu einkunnun vistkerfisins sem og framleiðni.

II. Skert vistkerfi. Landnýting í nokkurn tíma hefur skert eða eytt kjarrinu þar sem það var til staðar og gróðurfarið er tekið af einkennast af tegundum sem þola beit eða eru lítt bitnar (t.d. lyngtegundir) þar sem er þurr, en grastegundum, störum o.fl. þar sem er rakara (mynd 21). Gróðurhæð er lægri og því er skjólið minna; vindhraði við yfirborð eykst sem minnkar snjósöfnun samanborðið við stig I. Þúfna-myndun 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. Fyrst í kjölfar eyðingar birkiskóga hefur næringarforði moldarinnar verið mjög mikill 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 Dögg Eddudóttur o.fl. 2015, 2016, 2017).



Mynd 21. Skert vistkerfi (stig II) á Suðurlandi. Gróðurhula er enn til staðar og lítið rof, sem réttlætir stig II en lítið vantar að svæðið flokkist sem spillt vistkerfi (stig III) því gróðurhulan er afskaplega rýr miðað við vistgetu (kjarrlendi).

III. Spillt vistkerfi. Gróðurhæð er fremur lág og einkennist af tegundum sem þola beit sem og af beitarfælnum plöntum (oft rýrt mólendi og mosabemba, sjá Ólaf Arnalds og Ásu L. Aradóttur 2015 og Sigbrúði Jónsdóttur 2010). Þúfur eru áberandi og rofdílar víða í þekjunni (mynd 22). 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. Bötun lands við friðun, sem og uppsöfnun kolefnis, niturs og annarra næringarefna, gengur hægt fyrir sig og tekur því 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 sigur til grunnvatns í vatnsveðrum (einnig stig IV-VI). Sinumyndun er lítil og 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 Ólaf Arnalds og Jón Guðmundsson 2020).



Mynd 22. 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 utanum landhnignun af þessu tagi. Votlendi á efri myndinni virðist hafa verið raskað af nauðsynjalausu með skurði. Sjá einnig mynd 18 fyrir dæmi um land á stigum III og IV.

IV. Rofsvæði. Land á þessu stigi einkennist af ummerkjum um tap á mold vegna jarðvegsrofs (mynd 23). 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 (sbr. módel á mynd 45 síðar í ritinu). Þegar hér er komið sögu hefur orðið vistkerfishrun, 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 4. Það er háð jarðvegsþykkt og fleiri þáttum hvernig 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 rofabörð séu ekki til staðar og er þá oft ekki veitt athygli (mynd 23). Þetta stig varir mislengi; stutt 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 23), sem er trúlega algengara nú til dags en t.d. fyrir tveimur öldum.



Mynd 23. Land sem telst rofsvæði (IV). Rofið hefur verið mun meira áður fyrr. Nú er stór hluti landsins 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 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. Sést á Þverárkotsháls, sunnan Esju. Myndin er tekin árið 2018.

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 24). 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 25). 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 og Grétar Guðbergsson 1995). Eyjurnar og kolagrafirnar eru vitnisburður um algjört vistkerfishrun. Slíkt land ætti vitaskuld að vera skilyrðislaust 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.



Mynd 24 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 25. Gróðurtorfur við Grjótá á Biskupstungnaafretti. Þær eru vitnisburður um horfinn náttúruauð. Svæðið var áður að mestu hulið birkiskógi og þarna hafa fundist ummerki um kolagerð.

VI. Auðnir. Auðnir eru lokastig hruns vistkerfa (mynd 26). 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 nitur í mold auðnarinnar en í óraskaðri mold á stigi I (tafla 4). Plöntur sem þrífast í jarðvegi auðna (að mestu *glærjörð*) þurfa víðtækt rótarkerfi til að nema næringu og vatn úr moldinni. Til þess þarf að verja stórum hluta orkunámsins (með ljóstillífun), og þær eru einstaklega viðkvæmar fyrir skerðingu á ofanjarðarhlutum 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 þýðu og mikillar úrkomu, eru vel þekkt á svæðum sem þessum. Á öðrum tímum geta myndast ísalög vegna skorts á ísigi (mynd 27). 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

Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa

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 minnkar 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. 2017a).



Mynd 26. Auðn. Hér er orka ekki numin inn í kerfið (ljóstillifun), vatnsheldni er takmörkuð og yfirborðið afar óstöðugt.



Mynd 27. 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.

Oft kemur upp sú spurning hvort auðnir séu náttúrulegt ástand landsins (mynd 28). 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, 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 (Ólafur Arnalds 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 beit heldur ekki niðri víðitegundum (sjá Þóru Ellen Þórhallsdóttur 2015). Sums staðar er enginn vafi á að auðnir eru afleiðing eyðingar vegna nýtingar, m.a. mjög víða í afréttarlöndum sem eru neðan 5-600 m hæðar.



Mynd 28. 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).

Rétt er að hafa í huga að kerfið fyrir 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 á allar aðstæður. Því er ætlað að hjálpa til við mat á landi; að gefa viðmið sem hægt er að styðjast við – „stafróf fyrir lestur landsins“ – til að lækna „samdaunasyki“. Aftur má benda á kerfi Isabel Barrio o.fl. (2017) byggt á vistþrepa-líkönnum til að fá gleggri mynd af ástandsstigum og færslum á milli þeirra (einnig „stöðu- og færslulíkön“, e. „state and transition models“).

6. Gæðastýring, styrkir og heilkenni breyttra grunnviðmiða

Bágur skilningur þeirra er bera ábyrgð á landnýtingu á ástandi lands hefur víðtækar afleiðingar. Í þessum kafla eru færð rök fyrir þessari staðhæfingu. Þar kemur m.a. við sögu framkvæmd landnýtingarþáttar gæðastýringar í sauðfjárrækt – sem vottar hvort beit sauðfjár standist viðmið um góð landgæði. Hugtakið „beitarþol“ er tekið til nánari skoðunar og sýnt hvernig það telst úrelt út frá vistfræðilegum skilningi á ástandi og ferlum vistkerfa í fjölbreyttri útjörð. Að lokum er nefnt til sögunnar dæmi um nýtt verkefni sem hugsanlega getur bætt þekkingu á ástandi landsins og gert hana almennari.

6.1. Ástand landsins og landnýtingarþáttur gæðastýringar í sauðfjárrækt

Við mat á landi í tengslum við landnýtingarþátt gæðastýringar í sauðfjárframleiðslu var m.a. horft til gróðurþekju og útbreiðslu rofs sem eru vitaskuld sjálfsagðir þættir við mat á ástandi lands. Því miður standast þau viðmið um helstu þætti sem og sjálfbærni viðmið sem voru sett í gæðastýringarkerfi sauðfjárræktarinnar ekki skoðun – kerfið virkar ekki eins og rökstutt var ítarlega af Ólafi Arnalds (2019 a). Samkvæmt kerfinu má allt að þriðjungur lands vera í óásættanlegu ástandi (rof og ástand gróðurs) auk þess sem lítill gaumur er gefinn að ástandi lands sem telst gróið en í mjög hnignuðu ástandi – þ.e. gróið land á lægri ástandsstigum. Sérkennilegt er að stór landsvæði, t.d. heilu afréttirnir, þurfa síðan ekki að standast þessi settu viðmið, hvorki í nútíð eða fjarlægri framtíð (sjá Ólaf Arnalds 2019 a). Því er einsýnt að kerfið hefur brugðist í því að vernda land sem er óhæft til beitar – að gera skýran greinarmun á landi í góðu ástandi og því sem telst ekki gott beitiland. Allt land – öll nýting – fær vottun.

Segja má að núverandi kerfi sem á að votta að sauðfjárbeit „teljist sjálfbær“ sé eins konar sambland af stigunum „óbreytt ástand“ og „nýtingarmiða viðmið“ á mynd 11 sem sýnir þróun viðmiða fyrir mat á landi og sjálfbærni úthaganýtingar. Mikilvægt er að virkja varúðarregluna – að náttúran njóti vafans – þegar slík mörk eru dregin, en sú regla er lögfest með skýrum hætti í náttúruverndarlögum. Því ber að setja ströng viðmið fyrir nýtingu landsins. Það er og í samræmi við alþjóðleg viðmið og reglur. Varúðarreglunni er iðulega snúið á haus af þeim sem hafa hag af óbreyttu kerfi eins og algengt er við nýtingu á náttúruauðlindum almennt – ákveðinn vilji er til að nýta áfram illa farið land til beitar (óbreytt ástand á mynd 11). Þá er illa farið land talið hæft til beitar svo lengi sem landinu fari ekki meira aftur en orðið er eða fari jafnvel eitthvað fram (neðri stig þróunarinnar á mynd 11). Hér er því miður yfirleitt litið til mjög skamms tímaskala til viðmiðunar, sem flokkast undir dæmigert heilkenni breyttra grunnviðmiða eða „samdaunasýki“. Hvorki þanþol né náttúrulegar sveiflur eru teknar með í reikninginn. Beit getur vissulega verið eðlilegur hluti nýtingar vistkerfa í góðu ástandi og er það víða á Íslandi. En það er ekki réttlætjanlegt að tilgreina jákvæð áhrif beitar á lítinn hluta vistkerfa á landslagsskala í mjög misjöfnu ástandi til að réttlæta (hvað þá styrkja með almannafé) beit á landsvæði sem einkennast af hrundum vistkerfum (mynd 29).



Mynd 29. *Beit á auðn innan svæðis sem talið er friðuð samkvæmt fyrirliggjandi landbótaáætlun í tengslum við landnýtingarþátt gæðastýringar í sauðfjárrækt. Lítil eftirfylgni er með hvort landbótaáætlunirnar standist, t.d. er varðar svæði sem gefið er upp að séu friðuð fyrir beit.*

Ekki bætir úr skák við framkvæmd landnýtingarþáttarins í gæðastýringu í sauðfjárrækt að mjög þung beitarviðmið (mikill beitarþungi) voru gefin út af Landgræðslu ríkisins (nú Landgræðslan). Því er beitarálag víða allt of mikið (sjá Ólaf Arnalds 2019a, bls 71-73), jafnvel minna en 4 ha af gróðurlendi (jafnvel rýru gróðurlendi) á hverja lambá, sem viðheldur slæmu ástandi, skaðar vistkerfi og stuðlar að losun CO₂ úr jarðvegi. Átta hektarar væru eðlilegra viðmið fyrir vottun á grænum greiðslum eins og stefnt var að í upphafi. Eftirlit með beitarþunga og meðferð landsins er einnig ákaflega takmarkað. Þessar staðreyndir kalla fram þörfina á að upplýsa almenning um umhverfisáhrif þeirra framleiðslu sem styrkt er með fé úr sjóðum almennings. Fjallað er um hugtakið „beitarþol“ og gagnsleysi þess í sérstökum kafla í Viðauka.

6.2. Heilkenni breyttra grunnviðmiða og íslensk vistkerfi – dæmi

Fjallað var um svokallað „heilkenni breyttra grunnviðmiða“ (e. shifting baseline syndrome) í kafla 4.4. Heilkennið felur það í sér að taka slæmu ástandi sem sjálfsgöðu af því að ekki er horft nógu langt aftur í tímann til að sækja viðmið um eðlilegt ástand. Að veigalitlar breytingar innan hvers ástandsstigs verða að aðalatriði án skilnings á fyrri ástandsstigum eða eðlilegu ástandi landsins. Það birtist m.a. í því að þeir sem taka ákvarðanir um landnýtingu skortir vistfræðilega þekkingu til að gera sér grein fyrir raunverulegu ástandi landsins – hnignuðu ástandi er tekið sem gefnum hlut. Heilkenni breyttra grunnviðmiða er því miður ráðandi í sýn margra landnotenda og jafnvel fagstofnana á ástandi lands. Gott dæmi um það er upplýsingaskilti á vegum fagstofnana á náttúruverndarsvæði (sett upp 2006), þar sem mikil eyðing vistkerfa hefur átt sér stað og slæmu ástandi er viðhaldið með sauðfjárbeit (mynd 30). Hér eru vistkerfin hrugin; það vantar gróður til að safna orku í kerfið, næringarástand í moldinni er orðið slæmt og vatnseldni kerfisins á köflum afar takmörkuð. Rof er mjög virkt á svæðinu auk þess sem þarna á sér stað

skógareyðing þar sem mikilvægt er að halda kjarrlendi á afar viðkvæmu svæði. Á skiltinu standa m.a. eftirfarandi glefsur um landnýtingu:

„Án sauðkindarinnar hefði Ísland verið óbyggilegtHefðbundnar nytjar svo sem sauðfjárbreit er ekki í andstöðu við friðlýsingu svæðisins..... sauðfjárbreit og sauðkindin er órjúfanlegur hluti af menningu svæðisins..... Núverandi beit á svæðinu er hófleg og gengur ekki of nærri gróðrinum.“



Mynd 30 a og b. Slæmt ástand og virk eyðing vistkerfa m.a. birkiskóga vegna beitar á náttúruverndarsvæði. Umsjónaraðilar svæðisins sáu þó ekkert athugavert við ástand vistkerfa og á upplýsingaskilti er það útlistað nánar (sjá tilvitnun í texta). Gott dæmi um áhrif „heilkenni breyttra grunnviðmiða“, þar sem ástand sem þessu er tekið sem sjálfsgöðum hlut. Myndir: Þóra Ellen Þórhallsdóttir. Birt með leyfi.

Segja verður að með textanum á upplýsingaskiltinu komi „heilkenni breyttra grunnviðmiða“ fram með afar skýrum hætti. Þekking á ástandi lands leiðir fljótt í ljós að gengið hefur verið mjög nærri gróðrinum, virkt rof er á svæðinu, sem og skógareyðing. Skiltið fer því beinlínis með rangt mál í upplýsingagjöf opinberra aðila til almennings. Rótin er vitaskuld þekkingarleysi – sú sama og að baki mistaka við framkvæmd gæðastýringar í sauðfjárrækt. Afstaða fagaðila gagnvart ástandi lands er því miður iðulega afar nýtingarmiðað – en ekki verndarmiðað, hvað þá að vistheimt sé höfð til hliðsjónar – ekki er tekið tillit til vistgetu og eðlilegs ástands vistkerfa (sbr. mynd 11 um þróun viðmiða fyrir ákvörðun á landnýtingu). Augljóslega er mikið verk fyrir höndum við að auka skilning fagstofnana, landnotenda og almennings á ástandi landsins og því vistkerfishruni sem hér hefur orðið. Til þess þarf að efla menntun á þessu sviði í landinu.

7. Verkefnið „GróLind“

Á undanförnum 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 sjálfbærnisáætlingu 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 Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytis, sem fer með fjármögnun í tengslum við búvörusamninga (auk fjármagns frá Landgræðslunni).

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 á jarðvegsrofi (Ólafur Arnalds o.fl. 1997), mat á hrossahögum (Borgþór Magnússon o.fl.1997), mat á sauðfjárhögum (Sigþrúður Jónsdóttir 2010), ástandsflokkar Ásu L. Aradóttur o.fl. (1992; einnig Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 2015), sem og aðferðir til að meta áfallapol vistkerfa umhverfis Heklu vegna mögulegs öskufalls (Elín Fjóra Þórarinsdóttir o.fl. 2017). Við verkefnið er einkum blandað saman kortlagningu á vistgerðum á vegum Náttúrufræðistofnunar Íslands (Jón Gunnar Ottósson o.fl. 2016) og kortlagningu 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 æðplantna og kolefnisinnihaldi, sem allt eru þættir sem nefndir eru í töflu 4 um mögulega þætti til að meta ástand lands. Gefin var „virknieinkunn“ sem sýndar eru í töflu 5, en þeim er ætlað að endurspeglar ástand vistkerfa. Síðan voru rofeinkunnunum samkvæmt kortlagningu á jarðvegsrofi gefin gildi frá einum til tíu: 10 þar sem er ekkert rof en 1 þar sem rofið telst mjög mikið.

Tafla 5. Virknieinkunn fyrir mælibreytur úr vistgerðaflokkun NÍ og kortlagningu á rofi (Rala/Lr) við stöðumat GróLindar.

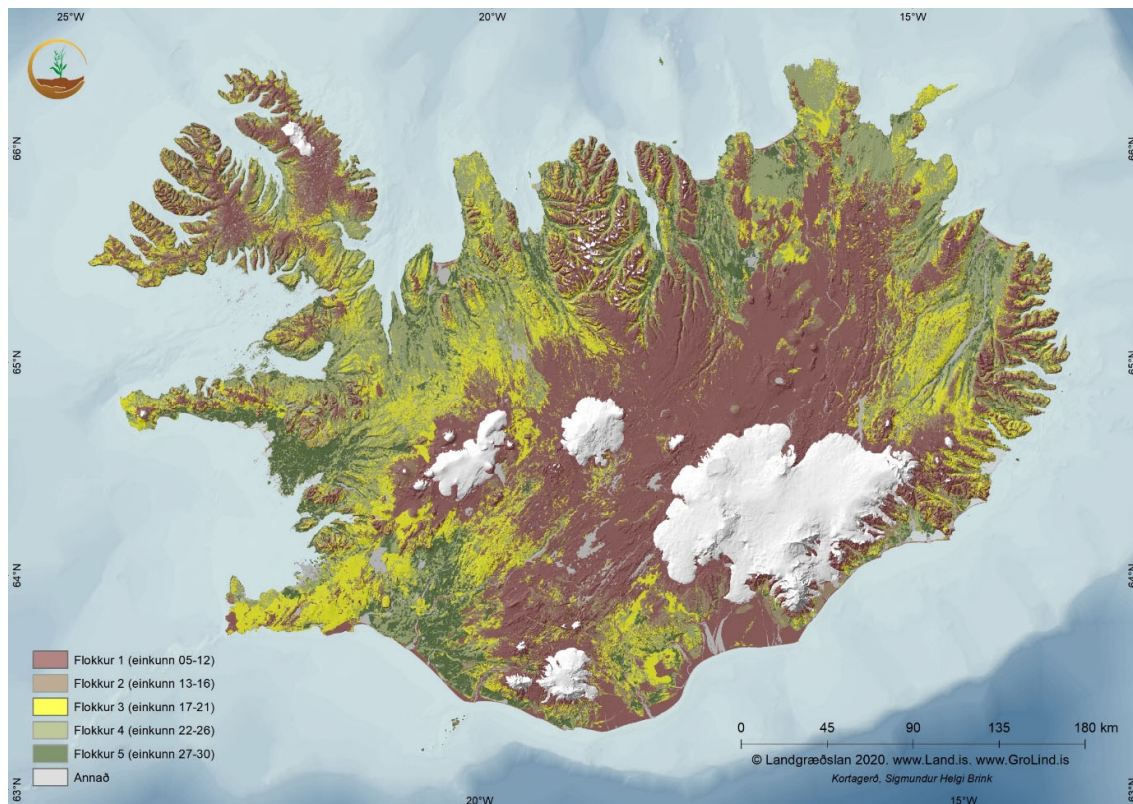
Mælibreyta fyrir vistgerðir	Virknieinkunn				
	1	2	3	4	5
Gróðurhæð (cm)	<5	5 – 9	10 – 14	15 – 39	> 40
Óvarinn jarðvegur (%)	50 - 100	30 – 49	20 – 29	10 – 19	< 10
Þekja æðplantna (%)	< 10	10 – 19	20 – 39	40 – 59	60 – 100
Kolefni í jarðvegi (%)	< 1	1 – 3,4	3,5 – 5,9	6 – 11,9	> 12

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

Í júní 2020 var birt stöðumat verkefnisins um ástand gróður- og jarðvegsauðlinda Íslands (mynd 31; Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2020). Stöðumatið fékkst með því að leggja saman virknieinkunn vistgerða (fjórar breytur með mögulegar einkunnir, 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 er getið að illa gróið land kemur einnig fram í einkunn fyrir vistgerðir. Heildareinkunn eftir samlagningu þessara fimm þátta var skipt niður í 5 ástandsflokkar (tafla 6), en litir í töflunni eiga sér samsvörun í heildarkortinu sem sýnir niðurstöðurnar (mynd 31).

Tafla 6. Ástandskvarði verkefnisins GróLind, 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.

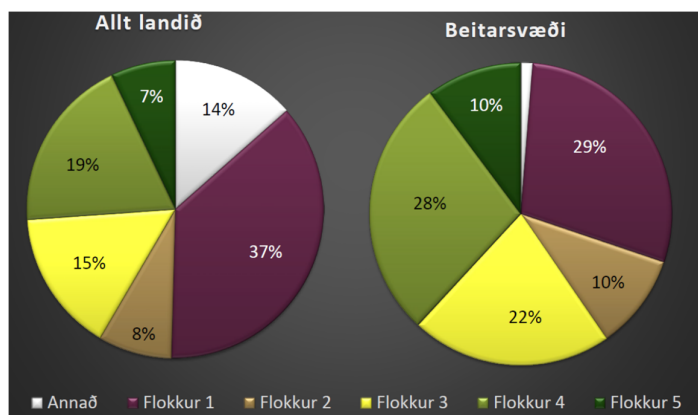
	Mjög lítil virkni eða stöðugleiki			Mikil virkni og stöðugleiki	
	Flokkur 1	Flokkur 2	Flokkur 3	Flokkur 4	Flokkur 5
Einkunn – vistgerð + rof	5-12	13-16	17-21	22-26	27-30



Mynd 31. Ástand íslenskra vistkerfa – verkefnið GróLind. Lágur einkunnir þýða slæmt ástand en háar (grænlitad) gott ástand lands. Heimild: grolind.is, júlí 2020 / Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2020.

Kortið sýnir vel að ástand beitolands 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 flokkanna fimm, sem vert er að gefa gaum (Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2020) og þeir eiga margt sameiginlegt með ástandsflokkunum I-VI sem lýst var hér á undan. Samkvæmt þessu fyrsta mati GróLindar er 29% af því svæði sem nú er skilgreint sem beitarsvæði í flokki 1, þ.e. verst farna landinu miðað við gróðurhulu og jarðvegsrof (mynd 32). Þessi tölufraði er vitaskuld langt frá því að vera ásættanleg er varðar nýtingu lands, sem í þökkabót er að stórum hluta rekin fyrir almannafé. Flokkar 1 og 2, sem sannarlega verður að telja sem óheppilegt beitoland, eru samtals 39% þess lands sem gefið er upp til beitar af sauðfjárbændum. Þó er það þannig að stærra land í flokkum 1 og 2 er nýtt til beitar en hér er gefið upp (Ólafur Arnalds 2019a). Ef gulu svæðunum (flokkur 3) er bætt við lendir ansi stór hluti lands sem nýttur er til beitar í þeim flokkum (61%). Þessar niðurstöður sýna svo ekki verður um villst að breyta þarf viðhorfum

til hvaða land er nýtt til sauðfjárbætur – ráða þarf bót á heilkenni breyttra grunnviðmiða meðal landnotenda og innan stjórnsýslunnar. Niðurstöðurnar eru í raun mjög svipaðar og áður höfðu komið fram í rofkortlagningunni sem birt var 1997 en hér liggja 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 frá rofkortlagningunni 1997, hefðu tekið mun fastar á nýtingu svæða í slæmu ástandi.



Mynd 32. „Ástand gróður- og jarðvegsauðlinda“ – fyrsta mat. Myndin er fengin úr glærुकynningu GróLindar í júní 2020 (gróLind.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 beitarsvæði er í góðu ástandi samkvæmt þessum niðurstöðum. Sumt af því landi sem hér er talið utan beitarsvæða og telst til flokks 1 (versta ástandið) er sannarlega beitt.

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. Er varðar vöktunarhluta verkefnis er mikilvægt að hafa í huga að breytingar á úthaga á hverjum stað eru líklegar til að takmarkast við hægfara þróun innan hvers vistþreps (sbr. mynd 17), en nauðsynlegt er að tengja stöðu hvers mælistaðar við ástand miðað við vistgetu (þ.e. festast ekki í heilkenni breyttra viðmiða). Höfundi þessara orða finnst mikilvægt að við frekari þróun verkefnisins verði meira tillit tekið til alvarleika sandsvæða og þegar rof er mikið. Aðferðafræðin getur dregið úr alvarleika svo ráðandi þáttar eins og áður var rætt (lægsta einkunn fyrir slæmu svæðin) – skalinn teygist ekki stigvaxandi eftir því sem ástand lands versnar.

Það er jákvætt að verkefni á borð við GróLind sé unnið í samráði við þann hagsmunahóp sem í dag hefur mest áhrif á ástand íslenskra vistkerfa: sauðfjárbændur. Ennfremur er stjórn verkefnisins á nokkuð breiðum grunni fagaðila. En framkvæmdin nær í raun aðeins til eins hagaðila að svo komnu máli. Í framtíðinni er mikilvægt að kölluð verði til breiðfylking hagaðila – beit á afréttum, ekki síst þjóðlendum, er ekki einkamál eins hagsmunaaðila, sauðfjárbænda. Sum svæði ættu í raun alls ekki að vera beitt. Tilhögun og stjórn verkefnisins GróLindar hefur ýkt upp þá hugmynd að afréttir og útjörð verði aðeins sauðfjárbændur. Þá má efast um hlutleysi framkvæmdarinnar eftir að Landssamtök sauðfjárbænda sem og Bændasamtök Íslands hótuðu verkefnaslutning, m.a. er varðar GróLind (opinber yfirlýsing 2. júní 2020; saudfe.is) eftir að Landgræðslustjóri tjáði sig um lausagöngu búfjár. Það er brýnt að verkefni sem þetta, kostað af fjármunum almennings, sé sjálfstætt og byggt á aðkomu mun fleiri aðila; það getur ekki verið selt undir aðkomu og áhrif eins hagsmunaaðila. Hér væri æskilegt að hugsa málin upp á nýtt.

8. Hrun íslenskra vistkerfa



Mynd 33. Biskupstungnaafréttur. Hér var áður 1-2 m þykkur jarðvegur þakinn birkiskógi þar sem nú er mörg hundruð ferkílómetra auðn. Erfitt getur verið að útskýra skalann á slíku vistkerfishruni fyrir erlendum vísindamönnum – hið algjöra hrun sem orðið hefur, svo sem fyrir þessum sem komu frá Kyrgyzstan og Innri-Mongólíu. Íslendingar láta sér oftast fátt um finnast og svæðið er ennþá nýtt til beitar. Mynd: Guðmundur Kr. Jóhannesson / Nærmynd; birt með leyfi.

8.1. Hrun vistkerfa er alþjóðlegur vandi

Í fyrri köflum ritsins hefur verið fjallað um hvernig slæmt ástand lands og vísindi um ástand útjarðar eru alþjóðleg. Í þessum kafla er sjónum beint að vistkerfishruni. Auðnir og illa gróið land þekja yfir 40% landsins en gróin vistkerfi eru víða í mjög hnignuðu ástandi. Talið er að skóg- og kjarrlendi hafi áður þakið um fjórðung landsins en voru við það að hverfa í byrjun 20. aldar (Snorri Sigurðsson 1977, Andrés Arnalds 1987, Sigurður Blöndal og Skúli Björn Gunnarsson 1999). Þá hefur um 70% votlendis á láglandi verið raskað með framræslu (Ólafur Arnalds o.fl. 2016). Hrun vistkerfa hérlendis er að mörgu leyti einstök í veröldinni og er iðulega tekið sem dæmi um svæði þar sem áhrif mannsins á náttúruauðlindir hafa verið skelfileg, svo sem í frægri bók Jared Diamond frá árinu 2005 („*Hrun*“, e. *Collapse*), og í bók David R. Montgomery frá 2007 („*Mold*“, e. *Dirt*). Eyðilegging vistkerfa á Íslandi á ýmislegt sameiginlegt með hruni vistkerfa í vesturríkjum Bandaríkjanna með tilkomu beitar húsdýra hvíta mannsins, sem hefur leitt til stórkostlegra breytinga á ástandi landsins (Jakobs 1991). Landnýting á mjög hnignuðum landsvæðum í vesturhluta Bandaríkjanna er mjög umdeild og umræðan minnir um margt á umræðu hérlendis, sbr. bók í ritstjórn Wurerthner og Matteson (2002): „*Welfare ranching; the subsidized destruction of the American West*“ sem og bækurnar „*The western range revisited. Removing livestock from public lands to conserve native biodiversity*“ (Donahue 1999), „*Western turf wars – The politics of*

public lands ranching“ (Hudak 2007) og „*Stitching the west back together*“ (Charnley o.fl. ritstj. 2014). Náttúrusagnaritarinn Bowden (1987) skrifaði um ofbeittina í Arizóna (ÓA lausleg þýðing og styt):

„*Beljurnar komu og þeim fjölgaði. Ríkisstjóri Arizóna áætlaði að 1,5 milljón nautgripa stæðu á beit í fylkinu. En landið barði frá sér. Það gerði langvinnan þurrk og kýrnar féllu dauðar niður. Þær lágu sem hráviði um svæðið. Graslandið gaf eftir eða það hvarf, ár og lækir urðu að sandi..... Landið sem ég ann var skilið eftir í rúst af forfeðrum mínum.....*“⁷

Þegar þurrkurinn gekk í garð og gróðurinn hætti að vaxa, þá fækkaði búfénaði ekki strax og álag á þann gróður sem enn tórði óx ört og varð stjarnfræðilegur (mældur í fjölda eða kg beitarðýra/kg uppskeru) með gríðarlega alvarlegar afleiðingar fyrir vistkerfin, sem hafa ekki náð sér síðan (sjá kafla í viðauka um beit). Upphafsmáður náttúruheimspekinnar, Aldo Leopold, ritaði snemma á 20. öld (ÓA lausleg þýðing): „*Innan við einn af hverjum þúsund þeirra sem barnfæddir eru í suðvestrinu gerir sér grein fyrir hvað komið hefur fyrir landið — að fegurðin á sér ekki rót í lífinu heldur eyðingu*“⁸ (tilvitnun í Bowden 1987). Hér birtist vitaskuld heilkennið um breytt grunnviðmið eða „samdaunasýki“ sem áður var rætt. Alvarlegasta hrunið varð þar sem sandurinn tók yfir hluta kerfanna, því þá hverfur vatnsheldni úr kerfinu á svæði sem er heitt og uppgufun mikil en úrkoma lítil. Þetta á við í Arizóna jafnt sem á Íslandi, enda þótt hér sé kaldara og blautara.



Mynd 34. Monument Valley, Navajo Nation (Utah/Arizóna), í suðvesturhluta Bandaríkjanna. Víða á þessu svæði hefur ofbeitt valdið því því að stór hluti landsins er „kominn í sand“, með takmarkaða gróðurhulu og vatnsheldni (kunnuglegt á Íslandi). Náttúran var mjög viðkvæm fyrir beitaráhrifum, sökum þurrka, mikils sands í kerfinu (mold mynduð í sandstein og mikið áfok) o.s.frv. Monument Valley og nágrenni er gríðarlega vinsælt ferðamannasvæði, en fæstir gera sér grein fyrir ástandi landsins. Miklir árekstrar eru á milli „landeigenda“ (óljóst hugtak hjá Navjo indjámum), beitarhagsmuna, ferðaþjónustu og atvinnuuppbyggingar – er það ekki svolítið kunnuglegt?

Beitilönd í samfélagseigu eru talin útsett fyrir ofnýtingu, hnignun og hruni, sbr. fræga grein Garrett Hardin „*Tragedy of the commons*“ í Science (1968), sem sannarlega á við víða í Bandaríkjunum og á síðustu öldum á Íslandi. Hardin taldi að skortur á eignarhaldi á landi leiddi til óábyrgrar og rangrar nýtingar. Þó kunna reglur um afréttarnýtingu í Grágás að hafa stuðlað að sjálfbærri nýtingu fyrr á öldum á

⁷ „*The cows came and they did increase. But the land lashed back. In 1891, Arizona’s governor estimated that 1.500.000 cattle were busy eating the Territory. Then came draught and the cows dropped dead. Old reports claim that a man in southern Arizona could skip a stone across the region from carcass to carcass. The grasslands diminished or vanished, the streams and rivers fell away into sands..... The land I have come to love is in many ways in ruin left me by my ancestors....*“

⁸ „*Even among those who were born in the Southwest, not one in thousand realizes what has happened to it, — that much of the beauty is the beauty not of life, but of dissolution.*“

Íslandi (sjá Simpson o.fl. 2001). Nýting sameiginlegs beitarrands er háð flóknum félagslegum, lagalegum, þjóðfélagslegum og hagrænum þáttum, rétt eins og umsýsla eignarlands, og því eru alhæfingar um afrétti af þessum toga oft ekki réttlætanlegar, sbr. umræður Derek Wall (2017) í bókinni „*The commons in history*“, þar sem íslensk afréttarlönd ber nokkuð á góma (sjá einnig ritgerð Lilju Jónsdóttur 2020 um lausagöngu búfjár og beitarrétt). Eignarhaldið eitt og sér er iðulega ekki aðalatriðið heldur skilningur á auðlindum sem nýttar eru, sem og hvort reglur um nýtinguna haldi þegar á hólminn er komið. Það vantar mikið á það hér á landi. Hér er einnig rétt að tilgreina dæmi til samanburðar frá Úganda, þar sem lög og reglur um verndun votlendis eru sannarlega fyrir hendi, en þeim er þó eigi að síður raskað sem aldrei fyrr, enda eru innviðir ekki fyrir hendi til að tryggja að lögum sé fylgt. Íslensk dæmi eru áberandi í bók Antons Imeson (2012) um landhnignun (*Desertification, land degradation and sustainability*). Óstöðugleiki í samfélögum, jafnvel stríðsrekstur og fólksflutningar, á sér oft rætur í ofnýtingu, hnignun og hruni vistkerfa, m.a. í hörmungum nútímans fyrir botni Miðjarðarhafsins (t.d. Serra 2015). Svo kann einnig að hafa verið á öld Sturlunga á Íslandi. Saga lands og þjóðar er um margt saga eyðingar náttúruauðlinda, en um leið saga baráttunnar fyrir því að lifa af á viðkvæmu jaðarsvæði (Gunnar Karlsson 2000); baráttu fyrir lífsviðurværi svo ekki færi fyrir Íslendingum eins og norrænum mönnum á Grænlandi (Streeter o.fl. 2012). Lífsbarátta sem var dýru verði keypt fyrir vistkerfi landsins – saga sem mikilvægt er að skilja til að unnt sé að bæta ástand og nýtingu landsins.



Mynd 35. Dæmi um svæði sem margir fara um án þess að velta mikið fyrir sér ástandi landsins. Hér hefur átt sér stað fullkomið hrun vistkerfa og landið hægra megin á myndinni er komið „í sand“. Eftir standa torfur í landslaginu þar sem þanþol kerfanna hefur verið meira. Ástand gróna hluta landsins í mósaikinni er bágborið. Af Uxahryggjaleið, horft til Þórisjökuls (hægra megin) og Oks (vinstra megin), en leiðin um Kaldadal liggur þar á milli. (Myndin er tekin árið 2020).

Þróun samfélagsins frá hagrænu og pólitísku sjónarmiði er mikilvæg, hérlendis sem annars staðar. Þar má sem dæmi nefna áhrif „vistabanda“ í kjölfar „Píningsdóms“, söfnun jarðnæðis á fárra hendur, takmarkanir á sjávarútvegi og hindrun á myndun þéttbýlis (sjá Gunnar Karlsson 2000 og Gísli Gunnarsson 1983). Þessi þróun kom í veg fyrir sérhæfingu í samfélaginu sem fylgir borgarmenningu og festi fábreytni

í sessi. Meginþorri jarðnæðis var lengi vel á höndum leiguliða en í eigu tiltölulega fárra landeigenda. Slíkt kerfi stuðlar sjaldan að sjálfbærri landnýtingu því ábyrgð leiguliða er oft óljós, sem og hagur þeirra af góðri landnýtingu eða af fjárfestingum til landbóta. Lífsbaráttan var þar að auki stöðugt hörð – hungrið sjaldan langt undan. Hagfræði og félagsvísindi eiga vaxandi hlutdeild í rannsóknum og þekkingu er lúta að hnignun og ástandi vistkerfa (Hruska o.fl. 2017; sjá einnig Þórunni Pétursdóttur 2020 og Þórunni Pétursdóttur o.fl. 2020). Þannig er talið að niðurgreiðslur á framleiðslu og annar ríkisstuðningur í landbúnaði sem getur haft neikvæð áhrif á náttúruna nemi um 100 milljörðum dollara á ári (IPBES 2019) og það á sannarlega við á Íslandi.

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

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

Eftir að jökull ísaldar hörfaði af landinu fyrir 9-10.000 árum tók gróður að nema land og jarðvegur að þróast. Smám saman þroskuðust vistkerfi og náðu styrk, þar sem kjarrlendi varð ráðandi gróðurfar neðan hálendismarkanna, ásamt votlendum þar sem grunnvatn stóð hátt. Loftslag á Nútíma (Holocene) frá lokum ísaldar hefur sveiflast umtalsvert með sífelldum breytingum á náttúrfari, ekki síst á útbreiðslu mýra og kjarrlendis, eins og rannsóknir á frjókornum hafa leitt glögglega í ljós (t.d. Þorleifur Einarsson 1962,1994; Margrét Hallsdóttir og Caseldine 2005, Egill Erlendsson o.fl. 2009). Aldursgreind gjóskulög (öskulög) í moldinni eru grunnurinn að slíkum rannsóknum, en Sigurður Þórarinnsson (1944) og samstarfsmenn hans voru frumkvöðlar slíkra vísinda á heimsvísu. Þorleifur Einarsson (1994) skipti Nútímanum upp í nokkur tímabil í samræmi við útbreiðslu votlenda og birkiskóga, í svokölluð birkiskeið og mýraskeið. Við lifum nú á tímum mýraskeiðisins síðara. Mögulegt er að loftslagbreytingar nútímans muni leiða landið inn í þriðja birkiskeiðið. Þessar breytingar á gróðurfari um þúsundir ára skipta vitaskuld miklu máli, en breytingar á gróðurfari landsins tóku þó langsamlega örustu breytingunum í kjölfar landnáms mannsins um miðja 9. öld. Nýting mannsins hefur sums staðar leitt til hruns vistkerfa en annars staðar eru breytingarnar mjög miklar enda þótt gróður og mold séu ennþá til staðar. Breytingarnar urðu m.a. fyrir tilstuðlan beitarnýtingar, skógarnytja (m.a. til kola og járngerðar) og ruðnings skógar til beitara og akuryrkju, á viðkvæmu landi sem verður reglulega fyrir öðrum áföllum á borð við gjóskufall og kalt árferði, eins og síðar verður vikið að.

Margir hafa ritað um bága stöðu íslenskra vistkerfa og þau skrif má rekja langt aftur í tímann. Þorvaldur Thoroddsen kemur víða að stöðunni í skrifum sínum um aldamótin 1900 sem og Sæmundur Eyjólfsson (sjá samantektir Arnórs Sigurjónssonar 1958 og Andrésar Arnalds 1987, 1988a,b). Vestur-Íslendingar rituðu um slæmt ástand landsins fyrir aldamótin 1900, m.a. Stephan G. Stephansson. Tengslin við landnýtingu fóru ekki fram hjá þeim, enda álag á landið gríðarlegt á ofanverðri 19. öldinni (sjá m.a. Sigurð Blöndal og Skúla Björn Gunnarsson 1999). Afneitun á vandanum er þó viðtekin venja meðal landnotenda, héraðs sem annars staðar að fornu og nýju (t.d. /Wuerthner og Matteson 2002 og Jakobs 1991 fyrir suðvesturhluta Bandaríkjanna). Er leið fram á 20. öldina varð æ ljósara að þung beit sauðfjár

árið um kring, sem og nýting skógarleifa til brúknar sem eldsneyti orsökðu mikla landeyðingu. Vert er að geta um sögufræga grein Hákonar Bjarnasonar, skógræktarstjóra frá 1942: „Ábúð og örtröð“ og tímamótagein Sigurðar Þórarinssonar (1961) í riti Skógræktarfélags Íslands: „Vindrof á Íslandi í ljósi öskulagarannsóknna“. Þá má segja að rit sem gefið var út í tilefni 50 ára afmælis Sandgræðslu ríkisins (nú Landgræðslan) árið 1958 hafi markað viss tímamót, en bókinni var ritstýrt af Arnóri Sigurjónssyni. Landgræðsla ríkisins gaf út um margra ára skeið árbók undir heitinu „Græðum Ísland“ (1987-1997) sem ritstýrt var af Andrésni Arnalds og fleirum. Þar er mikinn fróðleik að finna um gróðurfarssögu landsins og margar heimildir.

Hvaðan kemur vitneskja um þessar miklu breytingar á vistkerfum landsins? Vísendingarnar og heimildir eru margvíslegar, svo sem: (i) skrifaðar heimildir frá miðöldum; (ii) gróður- og moldarleifar á auðnalandi; (iii) frjórnarannsóknir; (iv) gamlar kolagrafir og kolaleifar í auðnalandi; (v) þykkunarhraði jarðvegs; (vi) örnefni; (vii) borkjarnar í vatnaseti; (viii) fornleifarannsóknir; (ix) gróðurfur á svæðum sem eru náttúrulega varin fyrir beit (eyjar o.s.frv.); (x) gróðurfarsbreytingar og bötun við friðun lands fyrir beit; (xi) líkön fyrir útbreiðslu birkis fyrr á tímum, og (xii) samtenging sem flestra þessara tegunda heimilda. Hér á eftir er fjallað um margar þessara heimilda um breytingarnar, sem byggir m.a. á samantekt Andrésar Arnalds (1988a), 12. kafla bókarinnar „*The Soils of Iceland*“ (Ólafur Arnalds 2015) og öðrum skrifum sem hér eru nefnd jafnóðum.

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

ii. Gróður og jarðvegsleifar á auðnalandi. Víða finnast leifar gróðurs og jarðvegs á landi sem er annars illa gróið, jafnvel nánast auðnir einar. Gróðurtorfurnar á Biskupstungnafrétti í Sandvatnshlíðum og við Kjalveg beggja vegna Bláfellsháls eru mjög vel þekktar (myndir 36 og 37), en slíkar torfur eru að finna á flestum þeim svæðum sem nú eru illa gróin á afréttum Suðurlands, Suðvesturlands og Norðausturlands, sem og víða um Austurland. Gróðurtorfur á borð við þær sem eru á Biskupstungnafrétti eru ákaflega dramatískur vitnisburður um horfin landgæði, þar sem nú ríkir auðn á hundruðum ferkílómetra lands sem áður var sannarlega hulið þykkri mold og birkiskógum (mynd 36). Gróðurtorfur hafa m.a. verið rannsakaðar til að rekja eyðingarsögu viðkomandi héraðs (t.d. Guttormur Sigbjarnason 1969; Sigurður Þórarinsson 1961; Grétar Guðbergsson 1975, 1996, Fanney Ósk Gísladóttir o.fl. 2005, Guðrún Gísladóttir o.fl. 2010; Sigurður Greipsson 2012). Oft er mikilvægt að vernda torfurnar því heimildagildi þeirra er mikið. Jarðvegsleifar sem finnast í auðnum ofan í gjótum og undir sandi eru heimildir af sama meiði. Þannig finnst mold undir sandinum vítt um Ódáðahraun sem bendir til að stór hluti þess svæðis hafi áður verið gróinn (Ólafur Arnalds 1992).



Mynd 36. Gróðurtorfur í Hvitárnesi. Kjalvegur til hægri, Hrútfell og Langjökull til vinstri; horft til norðurs. Einnig sést í gróðurtorfur í hlíðum Hrefnubúðar (sunnan Hrútfells) handan Fúlukvíslar sem enn tóra og þar finnst m.a. birki. Lítil torfa sést hægra megin við veginn. Áfoksgeiri virðist hafa gengið beggja megin stóru gróðurtorfunnar í forgrunni. Jaðarinn hefur verið græddur upp til að vernda barðið. (Myndin er tekin árið 2020).



Mynd 37. Barð í Sandvatnshlíð á Biskupstungnaafrétti í miðri auðninni. Jaðrar barðsins hafa að hluta verið græddir upp til að bjarga því. Bláfell í baksýn. Hér hafa fundist leifar af kolagerð fyrri tíma þegar landið var þakið birkiskógi. (Myndin er tekin árið 2020).

iii. Frjókornarannsóknir. Sigurður Þórarinnsson (1944) og Þorleifur Einarsson (1962) voru frumkvöðlar á sviði frjókornarannsókna og síðar Margrét Hallsdóttir (t.d. Margrét Hallsdóttir og Caseldine 2005). Miklar breytingar verða á samsetningu frjókorna í mýrum við eða einhvern tíma eftir landnámið; gróður-breytingar sem voru afleiðing nýtingarinnar. Þessar breytingar voru afskaplega misjafnar á milli staða eftir aðstæðum (sjá t.d. Margréti Hallsdóttur og Caseldine 2005, Lawson 2007, Egil Erlendsson o.fl. 2009, Vickers o.fl. 2011, Sigrúnu Dögg Eddudóttir o.fl. 2015, 2016, 2017), sem m.a. fór eftir þanþoli svæðanna eins og síðar verður vikið að.

iv. Leifar um gerð kola á auðnalandi. Áður fyrr var gjarnan haldið til skógar og viði safnað í holur og hann brenndur að því marki að til urðu viðarkol, sem eru létt í sér og meðfærileg (mynd 38). Þau voru síðan flutt til byggða til nýtingar heima fyrir. Leifar kolagerðar finnast víða þar sem enginn finnst nú skógurinn, jafnvel þar sem nánast auðnin ein er eftir. Kolaleifarnar á Biskupstungnafrétti eru t.d. afar merkilegar, en þær finnast vítt um afréttinn (t.d. Arnór Karlsson 1992, Sturla Friðriksson 1991). Athygli vakti þegar kolamolar fundust fyrir tilviljun nálægt Hvítárnesi við Kjalveg í fræðsluferð með erlenda vísindamenn árið 2013 (óbirt).



Mynd 38. Leifar gamallar kolagrafar í jaðri rofabarða við Rótarmannatorfur nálægt Brunnalækjum á Biskupstungnafrétti. Þarna var svæðið áður algróið og hulið skógi sem var nýttur til að gera til kola. Svarta efnið innan hringsins eru kol. Hlaðið var grjóti í kring um leifarnar til að auðvelda staðsetningu þeirra. Myndin er tekin um 1987 en kolamolarnir voru ófinnanlegir árið 2020. Sjá umfjöllun Arnórs Karlssonar 1992 um birkileifar og kolagrafir á Biskupstungnafrétti. Mynd: Andrés Arnalds, birt með leyfi.

v. Þykkunarhraði jarðvegs. Eftir að búið var að aldurssetja flest megingjóskulögin í moldinni var hægt að fara að skoða áfokshraða á milli öskulaga af þekktum aldri og ákvarða með hvaða hætti eiginleikarnir breytast á milli aldurskeiða. Mikil aukning áfoks í kjölfar landnámsins er meðal helstu einkenna moldarinnar á nær öllu landinu og því augljóst að landnáminu fylgdi aukinn uppblástur (mynd 39). Reyndar er aukningin oft fjórföld og jafnvel meiri (nær sums staðar að tífaltast, sjá Sigurð Þórarinnsson 1961, Grétar Guðbergsson 1975, Margréti Hallsdóttur 1982, Dougmore o.fl. 2005, Guðrúnu Gísladóttur o.fl. 2010; Guðrún Sveinbjarnardóttir o.fl. 1982 og Gerrard 1985). Vert er að vekja hér sérstaklega athygli á yfirlitsgrein Guðrúnar Larsen og Jóns Eiríkssonar um gjóskulagafræði í tímaritinu Jökli (2008). Streeter o.fl.

(2015) bentu á að eftir pláguna miklu 1402 minnkaði áfok á sama tíma og fólki fækkaði. Í mörgum tilfellum er tiltölulega auðvelt að staðfesta að mikið af áfokinu á uppruna í mold sem er að fjúka frá upprunastað, því í áfokinu greinast korn sem rekja má til þekktra gjóskulaga (einkum ljósu Heklulögin) – korn sem áður voru varðveitt í jarðvegi (Grétar Guðbergsson 1975; Stoops o.fl. 2008). Oft á tíðum sést að áfokshraðinn hefur verið hvað mestur síðustu 500 árin, t.d. á Norðausturlandi, þar sem miðað er við gjóskulag frá gosi í Bárðarbungukerfinu um 1480 (sjá Sigurð Þórarinsson 1961), en einnig eftir gos 1717 (McGovern o.fl. 2007). Hafa verður í huga að meginuppsprettur áfoks hafa breyst í tímans rás, minni hluti áfoks er nú vegna uppblásturs á moldarefnum, en meginhlutinn er ættaður frá sérstökum upptaka-svæðum ryks á auðnum (Ólafur Arnalds o.fl. 2019a,b).



Mynd 39. Litabreyting í jarðvegi um landnám. Moldin er ljósari eftir landnámið (efri hluti sniðsins) vegna aukins uppblásturs sem m.a. feykir burt ljósum Heklukornum í jarðvegi á hálendinu og út yfir nálæg svæði, auk þess sem lífrænt innihald lækkar mikið í moldinni sem þróast ofan við (eftir) landnámið. Myndin er frá Mosfellsbæ.

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

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

viii. Forleifarannsóknir. Nákvæmar fornleifarannsóknir á mörgum stöðum á landinu sem varpa ljósi á forna lífnaðarhætti og ennfremur nýtingu landsins. Má þar nefna uppgröft í Mývatnssveit (McGovern o.fl. 2007, Egill Erlendsson o.fl. 2009, sjá einnig yfirlit McGovern o.fl. 2007). Byggð stóð áður þar sem nú skortir vistkerfi til að framfleyta fólki, m.a. við hálendismörkin á Suðurlandi.

ix. Gróðurfar á svæðum sem eru náttúrulega varin fyrir beit. Hér er t.d. átt við eyjar í stórfljótum (mynd 40) og á klettasyllum. Munurinn getur stundum verið ansi sláandi. Nefna má sérstaklega rannsóknir Ingu Svölu Jónsdóttur (1984) á hólum í Friðmundarvötnum á Auðkúluheiði og rannsókn Önnu Sigríðar Valdimarsdóttur og Sigurðar H. Magnússonar (2013) á gróðri í eyju í Þjórsá. Birkitorfan á klettasyllu í Fellum, skammt norðan Lagarfljóts, er frægt dæmi um gróðurfar þar sem sauðfjárbeitar gætir ekki (mynd 41).



Mynd 40. Skógivaxin eyja í Þjórsá sem er náttúrulega varin fyrir beit. Horft suðuraustur yfir Þjórsá, Skarðsfjall til hægri en sér í Heklu til vinstri. Merki um áfoksgæira eru handan árinna og gömul rofabörð. Sjá umfjöllun Önnu Sigríðar Valdimarsdóttur og Sigurðar H. Magnússonar (2013) um eyjuna. (Myndin er tekin árið 2020).

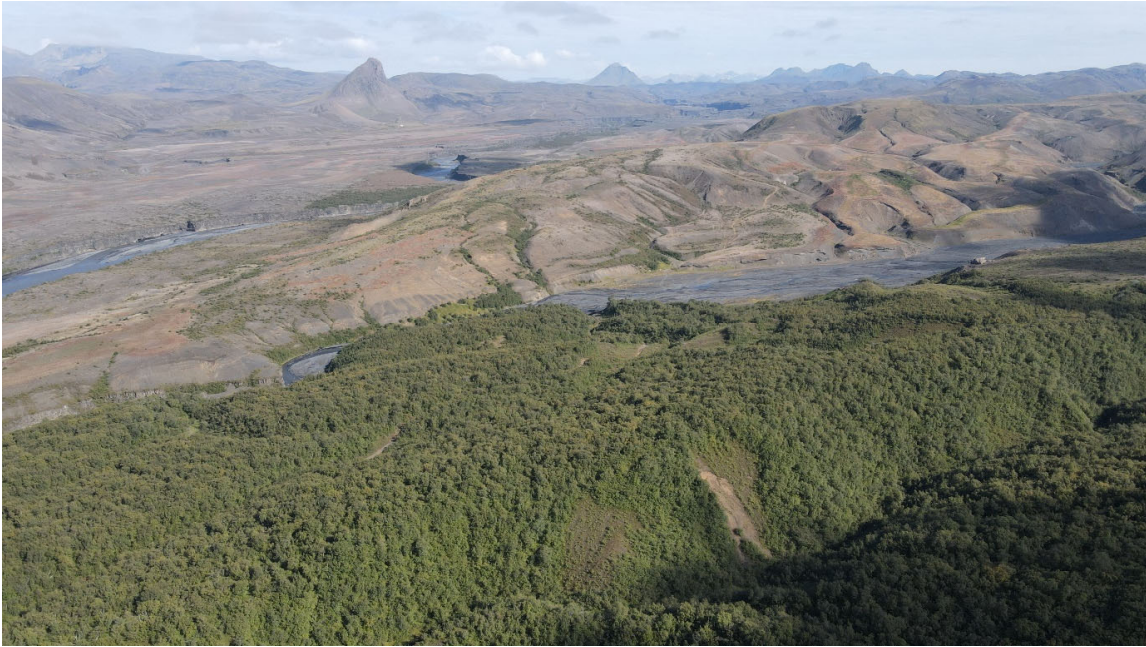


Mynd 41. Birkitorfan í Fellum á Austurlandi. Skógarleifar hanga á klettasyllum þar sem sauðfé kemst ekki að. Einnig er algengt að birkihríslur tóri í þröngum giljum þar sem annars er ekkert birki að finna.

x. Gróðurfarsbreytingar og bötnun við beitarfriðun. Þetta er þáttur sem mörgum þykir svo augljós að hann er sjaldan færður til bókar og því er hér aðeins lengri umfjöllun en ella væri. Miklar breytingar verða á vistkerfum þar sem land er friðað fyrir beit, en það er misjafnt hve örar þær eru. Þar sem land er í slæmu ástandi með óstöðugu yfirborði er landið afar seint að taka við sér í byrjun uns stöðugleika er náð og næringarefni taka að safnast fyrir í kerfinu (sjá kafla um auðnir og gróðurtorfur í umræðu um ástandsstig í kafla 5.1). Reynsla og rannsóknir sýna að birki getur breiðst ört út sé land umhverfis friðað og fræframleiðsla er mikil, ekki síst þar sem skán er komin í landið (Ása L. Aradóttir 2007), t.d. á Skeiðarársandi (Bryndís Marteinsdóttir o.fl. 2017a), í Gunnlaugsskógi við Gunnarsholt, Stóra Klofa í Landsveit, út frá ungum birkieyjum á Hekluslógasvæðinu og víðar (sjá Ásu L. Aradóttur og Guðmund Halldórsson 2011). Umhverfi Reykjavíkur tekur nú örum stakkaskiptum vegna friðunar lands. Þá eru skógræktaraðgerðir undanskildar, en þær eru umfangsmiklar, t.d. í Heiðmörk, Hafnarfirði og Mosfellsbæ. Í Mosfellsbæ vekur athygli að snarbrött urðarhlíð í Úlfarsfelli (Hamrahlíð) hefur gróið að mestu saman á undanförunum áratugum eftir að landið var friðað (mynd 42), sem sýnir að gróður getur átt afturkvæmt í slíkar hlíðar. Sömu sögu má segja um umhverfi Akureyrar og fleiri bæjarfélaga. Framvinda birkiskógar í Þórsmörk er stórbrotið dæmi um breytingar sem hafa orðið við beitarfriðun (mynd 43). Bati vistkerfa taka þeim mun lengri tíma eftir því sem ofar dregur í landið. Meðal rannsókna á hálandi má nefna athuganir Sigurðar H. Magnússonar (1997) og Sigurðar H. Magnússonar og Kristínar Svavarsdóttur (2007). Eigendur sumarbústaðalanda og skógræktarsvæða hafa vitaskuld séð stórfelldar breytingar sem verða við friðun lands. Þær eiga sér einnig stað við afgirta vegi landsins. Dæmi um hraðfara breytingar á vistkerfum nú um stundir eiga sér stað innan Þingvallarþjóðgarðsins og fleiri þjóðgarða, sem og á Þórsmörkuvæðinu. Friðun Hornstranda hefur gjörbreytt gróðurfari og frjósemi moldar (mynd 44). Rannsóknastöð Skógræktar ríkisins á Mógilsá heldur utan um aukningu á skóglendi í landinu, bæði vegna plöntunar á trjám sem og aukinnar útbreiðslu birkis við minnkað beitarálag (Arnór Snorrason o.fl. 2016). Breytingar sem verða við friðun lands hafa hingað til verið taldar sjálfsagðar og auðskildar, en hins vegar væri æskilegt að auka verulega rannsóknir á breytingum á vistkerfum á stórum skala í kjölfar friðunar lands; slíkar rannsóknir eru mikilvægar fyrir skilning á tengslum beitarnýtingar og ástands lands, fyrir hugmyndir um vistheimt á stórum landslagsskala og vegna þeirrar kolefnisbindingar sem þarna á sér stað.



Mynd 42. Sjálfgræðsla í hlíðum Úlfarsfells í Mosfellsbæ, þar sem áður var urðarskriða. Ljónslappi hefur reynst mikilvægur frumherji í skriðum sem þessum. Einnig hefur fugl aukist í bjarginu ofan hlíðarinnar með tilheyrandi driti, sem eykur á sjálfgræðsluna í kjölfar friðunar.



Mynd 43. Framvinda birkiskógar við beitarfriðun. Svæðið næst tilheyrir Þórsmerkursvæðinu og er beitarfriðað. Horft er í norður, Almenningar handan árinna (Pröngá), en Fljótshlíðarafréttur til vinstri, vestan Markarfljóts. Almenningar voru aðeins friðaðir í 22 ár (1990-2012) en þar var hafið stórfellt landnám birkis þegar tekið var að beita Almenninga á ný árið 2012 (Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 2011). Stærsti hluti svæðisins sem er næst á myndinni var áður skóglaus en þó tórðu torfur hér og þar (m.a. Hamraskógar) áður en svæðið var friðað fyrir beit (að mestu) fyrir um 100 árum. Sums staðar var sáð og borið á og einnig var birki bæði sáð og plantað, einkum seint á síðustu öld. En meginhluti skógarins hefur vaxið upp af sjálfsdádum við beitarfriðunina. Birkið breiðist út æ víðar og athygli vekur að það er tekið að breiðast út upp í 500 m hæð í nágrenni Rjúpnafells. Það tekur langan tíma að ná svo stórkostlegum árangri því vistheimt af þessu tagi fylgir stigvaxandi falli, lítið gerist fyrst (t.d. 10-30 ár) en síðan æ hraðar eftir margra áratuga beitarfriðun. Þetta þekkja sumarhúsaeigendur og aðrir sem friðað hafa land fyrir beit. Myndatexti unninn í samvinnu við Hrein Óskarsson, sviðsstjóra Þjóðskógasviðs Skógræktarinnar. (Myndin er tekin árið 2020).



Mynd 44. Blómskrúð í fjallshlíð á Hornströndum eftir margra áratuga friðun fyrir sauðfjárbreit.

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

xii. Samtenging á öllum tiltækum gögnum á vistkerfisbreytingum. Þessari aðferð hefur verið beitt í auknum mæli á undanförunum árum, m.a. í rannsóknum Egils Erlendssonar o.fl. (t.d. 2009) og Streeter o.fl. (t.d. 2015).

8.3. Þanþol, hnignun og hrun vistkerfanna

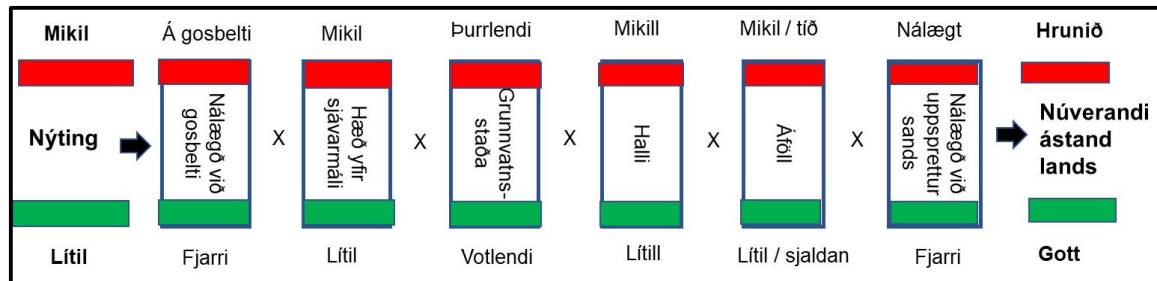
8.3.1. Landnýting og þanþol

Af hverju hefur hrun íslenskra vistkerfa verið svo viðamikíð og alvarlegt sem raun ber vitni? Hvað gerðist eiginlega? Og af hverju er eyðingin mikil á einu svæði landsins en tiltölulega lítil á öðrum? Svárið liggur í samspili margra þátta sem hafa áhrif á hvernig vistkerfum reiðir af. Rannsóknir á þykkunarhraða jarðvegs, frjókornarannsóknir og fleiri vísbendingar sýna glögglega að miklar umhverfisbreytingar verða í kjölfar landnáms á 9. öld (Sigurður Þórarinsson 1961, Grétar Guðbergsson 1996, Dugmore o.fl. 2000, 2005, Vickers o.fl. 2011, Streeter o.fl. 2015). Þessar breytingar eru ljósar öllum þeim sem skoða jarðvegssnið í og við gosbeltin, þar sem glögg litabreyting sést í moldinni við landnám. Það er þó vitaskuld háð þanþoli vistkerfanna hvort, hvar og hvenær varð alvarlegt vistkerfishrun eftir landnám, sem átti sér stað með mismunandi hætti eftir aðstæðum (t.d. Dugmore o.fl. 2000). Þættir sem móta þanþolið gagnvart nýtingu eru t.d.:

- Hæð yfir sjávarmáli – því kaldara því minna þanþol.
- Nálægð við gosbeltin (sem hefur áhrif á tíðni gjóskufalls og rofgirni jarðvegsins).
- Gerð og samsetning vistkerfis (m.a. mold og gróður, hæð, samsetning o.s.frv.)
- Árferði og tíðni neikvæðra veðurfarsöfga (kuldaköst o.s.frv., breytileg áhrif á milli landshluta).
- Halli landsins og landslag almennt.
- Útbreiðsla votlendis.
- Nýtingarþættir eins og aðgengi að landinu til beitar og viðarhöggs.
- Tíðni og ágengi náttúrulegra áfalla svo sem gjóskugosa.
- Nálægð við uppsprettu sands sem gerir moldina grófa og þykka og hætt er við myndun áfoksgeira.

Módel til að meta líkur á því hvort gróður hafi komist af eftir landnám eða orðið fyrir vistkerfishruni, tæki tillit til allra þessara þátta, og slíkt módel er sett fram á mynd 45. Gert er ráð fyrir að samsetning og gerð gróðurs sé mótaður af þessum þáttum módelsins og breytist í tíma, og er fremur hluti af útkomu líkansins en þáttur í því. Þar sem „gildi“ fyrir flesta þættina eru lág (græn á myndinni) eru meiri líkur á að gróður hafi komist af, t.d. á láglandi fjarri gosbeltum, einkanlega votlendin. Votlendi á hálendi fjarri gosbeltum á fremur hallalitlu landi eru enn til staðar á heiðum á Vesturlandi og Norðvesturlandi svo dæmi séu tekin. Vistkerfi á gosbelti hálendisins voru útsett fyrir tíðum skakkaföllum, því moldin er þykkari og grófkorna og vatnsheldni er minni. Nálægð við sanduppsprettur varð afdrifarík þar sem aðrir þættir þessa líkans voru óhagstæðir, þar er moldin iðulega gróf, þykk og óstöðug og þar mynduðust

áfoksgeirar, bæði á láglandi og hálandi. Þar sem einhver þessara þátta gerir vistkerfin viðkvæm (rauðu gildin) þarf minni áhrif annars þáttar, t.d. nýtingu eða kuldakast, til að hafa afdrifaríkar afleiðingar.

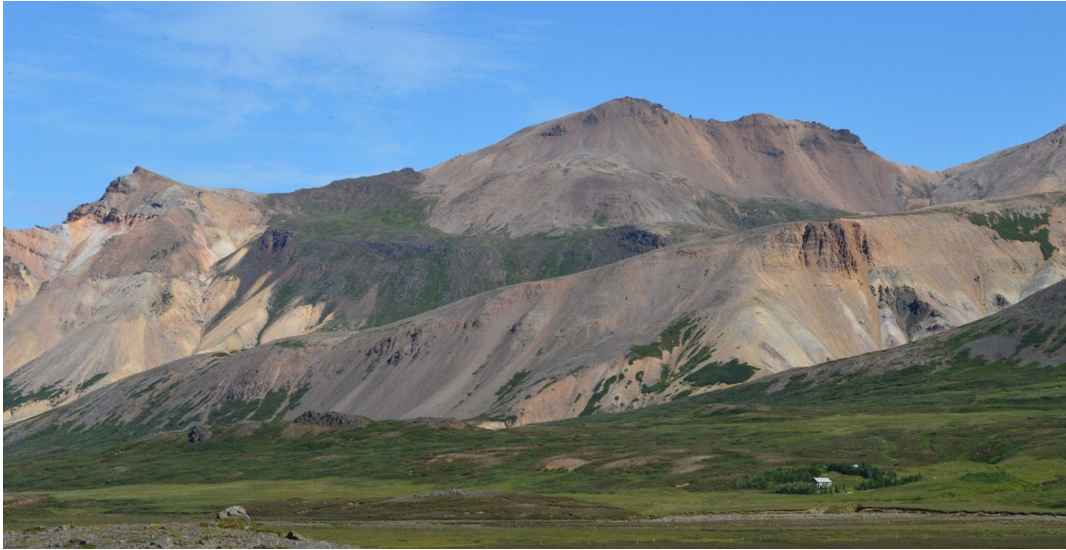


Mynd 45. Líkan fyrir þætti sem höfðu áhrif á afdrif vistkerfa eftir landnám. Heildaráhrifin eru fall af margfeldi þessara þátta. Þar sem nokkrir þættir teljast óhagstæðir (rauð svæði fyrir hvern), t.d. mikil nýting nálægt gosbelti í mikilli hæð, er líklegt að nýtingin hafi valdið áföllum og jafnvel gróðurleysi, ekki síst á köldustu tímasteiðunum (áföll). Þar sem þessar aðstæður fóru saman við nálægð við uppsprettur sands urðu afleiðingarnar mjög afdrifaríkar, m.a. með myndun áfoksgeira og sandsvæða. Við þær aðstæður eyddust jafnvel votlendi. Gróin svæði nú á dögum eru þar sem flestir þessara þátta eru hagfelldir (græn svæði fyrir hvern þátt). Mikilvægt er að stilla þessum þáttum saman til að átta sig á af hverju afleiðingar landnýtingar hafa verið svo misjafnlega miklar í landinu.

Í upphafi hefur landnýting fyrst og fremst stuðlað að gróðurfarsbreytingum, en rof þarf alls ekki að fylgja í kjölfarið nema þar sem kerfin voru veikust fyrir, sbr. líkanið hér að ofan. Það er ljóst að jarðvegur sem stóð hæst í nágrenni við eða innan gosbeltisins var viðkvæmastur gagnvart landnýtingu, eins og rannsóknir Grétars Guðbergssonar (1975, 1996) og Hjalta Guðmundssonar (1997) leiða glögglega í ljós. Gróður og mold í bröttum samfelldum hlíðum hafa einnig staðið hlutfallslega veikar en önnur vistkerfi, ekki síst þar sem aðstæður eru með þeim hætti að mjög stórir úrkomuatburðir (>100 mm á sólarhring) geta átt sér stað (mynd 46). Rannsóknir (t.d. Áslaugar Geirsdóttur o.fl. 2009) sýna að hnignunin hófst mun síðar þar sem þanþolið er meira, t.d. á Vesturlandi þar sem votlendi eru útbreidd, jarðvegurinn þynnri og fínkornóttari en á og við gosbeltið (mynd 47). Þá jókst rof mjög misjafnlega hratt á Norðausturlandi eftir svæðum. McGovern og félagar (2007) sáu að neikvæðar breytingar á vistkerfum í hluta Mývatnssveitar urðu einkum eftir 1717 (aldurssett öskulag), en Rannveig Ólafsdóttir og Hjalti Guðmundsson (2002) hafa bent á breytingar fljótlega eftir landnámið á svipuðum slóðum.

Loftslag fór kólnandi þegar fyrir landnám, sem sést m.a. af því að birki var tekið að láta undan síga (t.d. Lawson o.fl. 2007), sem hefur einmitt dregið úr þanþoli birkiskóga og gert þá viðkvæmari fyrir nýtingu mannsins. Rannveig Ólafsdóttir o.fl. (2001) ályktuðu að trjáhula sem og gróðurhula almennt hafi farið hnignandi fyrir landnámið vegna kólnunar loftslags, sem hófst fyrir tæplega 3000 árum, þróun sem leiddi til kuldaskiðs sem stóð sem hæst u.þ.b. 1300-1900. Hin svala tíð „litlu ísaldarinnar“ var þó ekki samfelldur kuldatími. Rannsóknir á vatnaseti leiða í ljós að þetta tímabil skiptist í samfelld hagstæð loftslagstímabil með kuldatímabilum á milli, sem gátu varað nokkra áratugi (Áslaug Geirsdóttir o.fl. 2009). Náttúruleg vistkerfi sem ekki eru nýtt af mannum laga sig að breytingum í loftslagi og flest íslensk vistkerfi, nema þau sem stóðu hæst höfðu að öllum líkindum nægt þanþol til að ganga í gegnum kuldatímabil og ná sér síðan aftur á strik þegar hlý ár gengu í garð (mynd 48). Samspil skerts þanþols og kaldara loftslags hefur verið afdrifaríkast fyrir vistkerfi hálandisins, þar sem jafnvel lítill nýting (t.d. fuglar og búfénaður), samfara öðrum áföllum á borð við eldgos, hefur getað valdið stórfelldri eyðingu, sbr. umfjöllun um Suðvesturríki Bandaríkjanna og beitarumræðu hér á undan. Streeter og Dugmore (2013) bentu á að jarðvegsrof minnkaði í kjölfar fólksdauða á borð við pláguna miklu 1402, sem sést af minna

áfoki, en slík skammtímaáhrif vega þó minna en langtímaáhrif nýtingar í margar aldir (Streeter o.fl. 2012).



Mynd 46. Urðarhlíð á Austurlandi. Líparítskriðurnar misstu líklega gróðurhuluna snemma og gróður á mjög erfitt með landnámi í þeim vegna ófrjósemi. Gróður tórir þar sem bergið virðist basískara til vinstri við miðja mynd. Torfur hér og þar í hlíðunum bera vitni um gróðurhulu fyrri daga.



Mynd 47. Votlendi á Mýrum á Vesturlandi, með mikið þanþol. Svæðið telst meðal best grónu svæða landsins er varðar þekju (gróðurhulu). Jarðvegur þurrlandisins er grunnur en hann hefur sums staðar látið undan síga í aldanna rás, en ekki í sama mæli og þurrlandisjarðvegur gosbeltanna.



Mynd 48. Uppgræddur reitur í um 800 m hæð yfir sjárvarmáli við Nýjadal á Sprengisandi, einn svokallaðra „Sturlureita“, nefndur eftir Sturlu Friðrikssyni sem gerði tilraunir með uppgræðslu á hálendi á nokkrum svæðum á landinu (Sturla Friðriksson og Jóhann Pálsson 1970). Borið var á reitinn í átta ár eftir sáningu upp úr 1960, sem telst ansi mikið inngríp. Gróðurinn er að breiðast mjög hægt út (fáir cm á ári). Athyglisvert er hvernig inngríp af þessu tagi koma landinu til baka yfir þröskuld og þanþolið er nægjanlegt til að viðhalda þessari þekju. Stöðugleiki og næringarefni gera útslagið, sem m.a. greiddu leið fyrir myndun jarðvegsskánar. Náttúrulegur gróður er tekinn við og breiðist hægt út. Myndin tekin sumarið 2014, Tungnafellsjökull í baksýn.

Hnignun og eyðing skóglendis á landinu var e.t.v. afdrifaríkasta breytingin, a.m.k. á láglandi því skógurinn léði kerfunum mikið þanþol og batt jarðveginn saman, en hin skóglausu svæði voru víða afar viðkvæm fyrir frekara raski. Eitt lyklatriði í viðhaldi birkiskóganna er endurnýjun, en umtalsverð beit kemur í veg fyrir hana, sem verður til þess að skógar deyja smám saman. Auk þess eru gamlir beittir skógar, þar sem endurnýjun á sér ekki stað, útsettir fyrir sjúkdómum, sem síðan er jafnvel ranglega kennt um skógareyðingu (mynd 49). Því miður á það sér stað enn þann dag í dag. Um hnignun skóganna er að öðru leiti ekki fjallað hér, en benda má á bók Sigurðar Blöndal og Skúla Björns Gunnarssonar (1999): „Íslandsskógar“.



Mynd 49. Deyjandi skógur í Skyndidal í Lóni. Ástæðan er ofbeit. Á þessu svæði eyðist nú stórt samfellt skóglendi þar sem skógurinn nær ekki að endurnýja sig, en beitarálagið er mjög mikið. Þegar skógar sem þessir verða gamlir án endurnýjunar undir miklu beitarálagi verða þeir útsettir fyrir sjúkdómum, sem stundum er ranglega kennt um eyðingu þeirra. Mynd: Friðþór Sófus Sigurmundsson, birt með leyfi.

Mikið af þeim rannsóknum sem taka á umhverfisbreytingum eftir landnámið byggja á áfokshraða í jarðvegi. Áfokshraðinn endurspeglar hins vegar ekki nema að hluta stórfelldar breytingar á gróðurfari og á eiginleikum moldarinnar, ekki síst ef landhnignun fylgir ekki uppfok á efnunum. Þá er vatnsrof virkari þáttur en uppfok á mörgum svæðum, ekki síst þar sem moldin er grunn. Virkni vindrofs er ákaflega mismunandi á landinu eftir veðurfari og landgerðum (m.a. útbreiðslu votlendis, halla lands, nálægð við hálendi, nálægð við auðnir, kornastærð, þykkt jarðvegs, sbr. líkanið á mynd 45). Þá hefur uppruni áfoks breyst mikið í tímans rás og er núna að stórum hluta bundinn sérstökum „heitum reitum“ uppfoks (sjá Ólaf Arnalds o.fl. 2019 a,b), sem m.a. má rekja til hörfunar jökla síðustu öldina, sem og að nánast allur viðkvæmasti jarðvegurinn er þegar eyddur. Því er mikilvægt að reyna að beita sem fjölbreyttustu rannsóknaaðferðum samhliða, eftir því sem við er komið, t.d. frjókornarannsóknum, skoðun á margvíslegum sögulegum heimildum, o.s.frv., eins og gert var af Vickers o.fl. (2011) á Suðurlandi, í Þjórsárdal af Friðþóri S. Sigurmundssyni o.fl. (2014) og á Vesturlandi af Gathorne-Hardy o.fl. (2009). Enda eru heimildir og vísbendingar um landhnignun á Íslandi afskaplega fjölbreytilegar, eins og tekið var saman hér í kaflanum á undan. Fjallað er nánar um þanþol, jarðvegseiginleika og aðra þætti líkansins á mynd 45 í köflunum hér á eftir, en áður var fjallað um nýtingarþáttinn: þ.e.a.s. beit og tilhneigingu til að ofmeta nýtingarþol jaðarvistkerfa eins og þau sem einkenna íslenska útjörð.

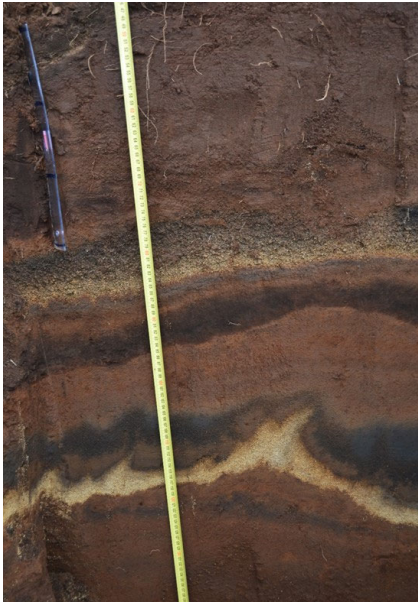
8.3.2. Þanþol og jarðvegseiginleikar

Aðalástæðan fyrir mismunandi örlögum vistkerfa á Íslandi má rekja til samspils álagsins á þau, annarra álagsþátta á borð við gjóskugos, og mismunandi þanþols vistkerfanna, sbr. líkanið á mynd 45. Þau sem tæpast stóðu þoldu ekki minnkun þanþolsins og þegar fleiri áföll dundu yfir (slæmt árferði og gjóskufall) ásamt áframhaldandi beit, fylgdi eyðing í kjölfarið. Gerð moldarinnar hefur megináhrif á þanþol vistkerfa ásamt ýmsum gróðurþáttum, svo sem hæð gróðurs og samsetning hans, en vitaskuld spila gróðurþættirnir og moldarþættirnir saman, þeir eru háðir hverjir öðrum. Það er mikilvægt að hafa í huga að landhnignunin fól ekki aðeins í sér rof á jarðvegsauðlindinni (þ.e. moldin fjarlægð), heldur hnignun moldarinnar (m.a. minna kolefni, nitur og hægari umsetning næringarefna), sem og stórfelldar breytingar á gróðurfari. Allir þessir þættir hafa áhrif á þanþol. Fimm eiginleikar moldarinnar eru hvað mikilvægastir í þessu samhengi: rakastig og vatnsheldni, kornastærð, samloðun, þykkt jarðvegsins og lífrænt innihald (oftast metið eða mælt sem %C).

Votlendi hafa mikið þanþol. Votlendi eru einmitt áberandi í þeirri gróðurþekju sem eftir er á landinu og þau héruð sem nú eru best gróin eru votlendi í eðli sínu; Suðurlandsundirlendi, Vesturland og Norðvesturland. Vesturland og Norðvesturland eru einnig tiltölulega fjarri gosbeltinu sem minnkar líkur á eyðingu þeirra, sbr. líkan á mynd 45. Rannsóknirnar sem gat um áður sýna jafnframt að hnignun kemur síðar fram á þessum svæðum. Votlendi hafa ennfremur áhrif á byggðamynstur og þéttleika byggðar, sem getur hafa haft áhrif á mynstur landhnignunar. Rannsóknir Árna Einarssonar (2019) á fornaldar-görðum sýna að mörg svæði sem eru í eðli sínu þurrland voru afar þétt setin á þjóðveldisöld.

Grófum jarðvegi gosbeltisins er hættast við uppblæstri og vatnsrofi. Það er vegna þess að samloðun í grófum jarðvegi er lítil, kornin sjálf hafa mikinn rofmátt þegar vindur eða vatn ná að hreyfa við þeim, auk þess sem slíkur jarðvegur þornar auðveldlega. Á það sérstaklega við þar sem þykk gróf gjóskulög eru í moldinni, enda samloðun nánast engin í þeim jarðvegslögum. Þar er lífrænt innihald jarðvegsins jafnframt oft lágt, ekki síst í kjölfar langvarandi nýtingar. Þykka grófa mold var helst að finna í nágrenni virkustu eldstöðvanna, svo sem Heklu, Kötlu, Grímsvatna og Bárðarbungu. Vikurkennd gjóska er gróf og létt í eðli sínu og fýkur mjög auðveldlega. Gróf gjóska er áberandi í þeirri mold sem eftir er á afréttum

Sunnanlands, m.a. á milli Hofsjökuls og Langjökuls, sem og víða á Suðurlandi (mynd 50). Vindur hreyfir jafnvel vikurkorn sem eru yfir 1 cm í þvermál, en rofafl slíkra korna þegar þau berast með hvössum vindi er gríðarlegt. Þar sem mikið er af grófri gjósku þegar moldin rofnar leggst til nægur efniviður til að valda miklu tjóni. Þegar vistkerfi með jarðvegi af þessu tagi standa tæpt vegna landnýtingar á borð við beit og skógarnytjar, eru þau mjög viðkvæm fyrir frekari raski og eyðing getur þá orðið ör og jafnvel leitt til myndunar áfoksgæira. Þá fara saman margir þættir í líkaninu á mynd 45.



Mynd 50. Jarðvegur með grófu gjóskulagi. Þegar gróðurhulan opnast hafa þessi grófu korn afskaplega mikinn rofmátt. Sniðið er úr ofanverðri Árnæssýslu.

Þykkur jarðvegur leggur til mikinn efnivið til rofs þegar landið opnast og því er honum mikið hættara við rofi og víðtækum áhrifum rofs miðað við svæði þar sem jarðvegurinn er þunnur. Rofabörð myndast einkum þar sem jarðvegur er þykkari en u.þ.b. 30 cm, þannig að óvarið lag myndast á milli rótarmottu og berggrunnisins (sjá Ólafur Arnalds 2000b). Sé moldin orðin þykkari en t.d. 1,5-2 m á þurrlendi eru gróf gjóskulög venjulega til staðar. Moldaryfirborðið verður óstöðugra, bæði vegna hæðarinnar og tilvistar þessara grófu öskulaga. Enda er það svo að það er einkum grófur og þykkur þurrlendisjarðvegur sem hefur orðið eyðingaröflum að bráð, vistkerfi sem voru á og við gosbelti landsins. Á mörgum svæðum þar sem svo háttar eru vistkerfin sem þar voru áður algjörlega eydd.

8.3.3. Eldgos og hnignun landsins

Eldgos og gjóskufall sem þeim fylgir eru örlagavaldar í sögu hnignunar vistkerfa á Íslandi en áhrif þeirra eru þó samofin þanþoli kerfanna. Áföll er einn meginþáttanna í líkaninu á mynd 45 fyrir afdrif íslenskra vistkerfa. Hæð gróðurs hefur megináhrif á þol kerfa gagnvart öskufalli – neikvæð áhrif öskunnar vaxa ört eftir því sem gjóskan hylur meira af gróðrinum (sjá Ólaf Arnalds 2013), en einnig eru samsetning gróðurs og strúktúr mikilvægir þættir (Cutler o.fl. 2016). Rannsóknir Sigrúnar Daggar Eddudóttur o.fl. (2015, 2016, 2017) sýna m.a. að þar sem birkikjarr var til staðar stóðust vistkerfin vel gríðarlegt áfall sem varð af völdum H4 eldgossins (risastórt gjóskugos í Heklu fyrir 4200-4300 árum, vikurmökkinn lagði til norðurs; Guðrún Larsen og Jón Eiríksson 2008). Gjóskufallið olli þó miklum gróðurfarsbreytingum í átt til mólendis, sem er tiltölulega stöðugt en lægra stig en þau vistkerfi sem voru fyrir gosið, enda var komið álag á kerfin vegna kólnandi loftslags. Slík færsla er dæmigerð fyrir ástandsstig og breytingar í samræmi við þanþol (sjá graf á mynd 9).

Á 19. öldinni jókst byggð víða á jaðarsvæðum eins og uppi á Jökuldalsheiði, sem hafði áhrif á hæð og samsetningu gróðurs sem og næringarástand moldar á heiðinni. Öskjugosið 1875 dreifði gjósku út yfir svæðið og í kjölfarið fylgdi mikil landeyðing - byggðin lagðist smám saman af (sjá Sigurð Þórarinsson 1979). Í þessu riti hefur verið lögð áhersla á að aska sem fellur á illa gróið land er óstöðug og fýkur á ný. Strúktúr gróðursins hefur áhrif á hvar askan getur safnast fyrir, t.d. í víðibrúskum (sjá m.a. Cutler o.fl. 2016). Gjóskufall hefur enn fremur áhrif á þanþol kerfanna og endurtekið gjóskufall er talinn mikilvægur þáttur í eyðingu svæða á Íslandi, eins og Dugmore o.fl. (2007) bentu á í tengslum við eyðingu Þjórsárdals, þar sem gosið í Heklu 1104 veikti kerfin, en gosið 1300 gerði víða útslagið (tíð áföll í líkaninu á mynd 45). Stóru Heklugosin sem dreifðu ösku yfir stóran hluta landsins höfðu áhrif á sögu vistkerfanna, ekki aðeins í kjölfar landnámsins heldur einnig á forsögulegum tíma. Þar má nefna gjósku frá Heklu sem féll fyrir landnám í risastóru gjóskugosi fyrir um 3100 árum og nefnt er H3, en rannsóknir á borkjörnum í Hvítárvatni sýna mikið rof umhverfis í yfir 100 ár eftir gosið (sjá Larsen o.fl. 2011). Gjóska úr þessu gosi er áberandi í jarðvegi víða um land. En vistkerfin náðu sér smám saman eigi að síður, jafnvel á svæðum þar sem gjóskan var yfir 10 cm þykk. Gróskumiklir birkiskógar verja sig t.d. vel fyrir áföllum af þessu tagi (mynd 51). Öðru máli gegnir þar sem nýting á borð við beit á sér stað í kjölfar stórra áfalla af völdum eldgosa.



Mynd 51. Búrfellskógur í austurhlíðum Búrfells skammt frá Heklu. Þjórsá í forgrunni en bergvatnsáin Bjarnarlækur rennur út í Þjórsá til hægri á myndinni. Skógurinn hefur lifað af mikið gjóskufall, jafnvel þó hann standi í brattri hlíð. Hallinn kann jafnvel hafa hjálpað, nýfallin gjóska rennur niður brekkuna í vatnsveðrum ofan af svarðlaginu. Svæðið er fremur óaðgengilegt, sem hefur minnkað líkur á mikilli nýtingu af völdum skógarhöggs og beitar. (Myndin er tekin árið 2020).

8.3.4. Loftslag, þanþol og hrun

Slæmu árferði er gjarnan kennt um hnignun landkosta á landinu, enda hefur loftslag mikil áhrif á starfsemi vistkerfa. Þannig tóku Áslaug Geirsdóttir o.fl. (2009) eftir því að rof jókst í umhverfi Haukadalsvatns í Dalasýslu fyrir landnámið vegna kólnandi veðurfars. Vesturland einkennist af votlendiskerfum, en víða einnig af bröttum hlíðum (t.d. í Haukadal). Þar kemur ekki fram mjög aukin setmyndun eftir landnámið. Vísindamenn eru ekki allir á sama máli um hversu alvarleg áhrif árferðisins á vistkerfi voru í samanburði við aðra þætti (Ogilvie 2005). Áhrifin eru háð ástandi vistkerfa, þanþoli – þ.e. samspili margra þátta sbr. líkan á mynd 45. Þar sem landnýting er þung og/eða þanþol skert af einhverjum orsökum eru áhrif langvarandi kulda mun meiri en ella. Eyðing skóga, sem breytir næreveðurfari og næringarhringrásinni í moldinni, hefur örugglega haft mikil áhrif á útreið þurrlendisvistkerfanna í og við gosbeltin og þar hefur slæmt árferði og gjóskugos í kjölfar skógarfellis haft slæm áhrif. Doner (2003) taldi að þung landnýting yfirskyggi áhrif af köldu árferði, en þá ályktun byggði hann á rannsóknum á vatnaseti á Vestfjörðum. Streeter o.fl. (2012) fjölluðu um hvernig öflugt þanþol seinkar áhrifum af köldu árferði. Það er ávallt mikilvægt að hafa í huga að minni framleiðni í köldum árum þar sem þanþol hefur verið teygt, leiðir til veldisvaxandi álags á vistkerfi, sbr. kaflann um beit hér á undan. Í kjölfarið fylgir iðulega hinn þekkti „vítahringur landhnignunar“ með sífelld auknu álagi á þær auðlindir sem eftir eru (sjá mynd 3; Whisenant, 1999). Hafís fylgdi köldustu árunum, sem lokaði meðal annars höfnum svo ekki var hægt að róa til fiskjar (sjá Ogilvie og Trausta Jónsson 2001) og þar með óx álag á auðlindir á landi. Ogilvie og Trausti Jónsson (2001) telja að áhrif slæms árferðis á „litlu ísöldinni“ væru í raun lítilvæg miðað við áhrif landnýtingarinnar. Í þessu riti er lögð áhersla á samspil þáttanna, sbr. líkan á mynd 45. Spurningin um áhrif loftslagsbreytinga í samanburði við áhrif landnýtingar eru vitaskuld í brennidepli eftir því sem áhrif gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu verða meiri (sjá Herrick o.fl. 2013).

9. Lokaorð

Slæmt ástand vistkerfa jarðar er, ásamt loftslagsbreytingum, alvarlegasti umhverfisvandinn sem mannkynið glímir við. Áratugurinn 2021-2030 er 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 landhnignun og ástand lands er afar mikilvægt þverfaglegt viðfangsefni, sem er lykillinn að bættri landnýtingu og endurheimt vistkerfa. Ástand lands er unnt að meta með ákvörðun á mælanlegum þáttum vistkerfa á borð við gróðurhulu, samsetningu, frjósemi jarðvegs og á þáttum sem móta vatnshringrásina, í samhengi við þanþol og vistgetu vistkerfa (e. ecological potential).

Mikið vantar upp á skilning á slæmri stöðu vistkerfa hérlendis og hér er velt upp undirliggjandi ástæðum, ferlum og afleiðingum landnýtingar sem orsaka núverandi ástand. „Heilkenni breyttra grunnviða“ (e. shifting baseline syndrome; einnig nefnd „samdaunasýki“) er alvarlegt vandamál meðal almennings, stjórnsýslu og fagstofnana – slæmu ástandi landsins er tekið sem eðlilegri og ásættanlegri stöðu. Viðmið í opinberum reglugerðum bera þess glöggt merki. Staðan minnir á afneitun samfélaga á mögulegum loftslagsbreytingum á síðustu öld. Þröng skilgreining á hagaðilum er varðar nýtingu og verndun útjarðar, m.a. þjóðlenda í eigu þjóðarinnar, er mjög takmarkandi fyrir eðlilega sýn á ástand landsins og nýtingu þess. Viðhorf og framkvæmd í stjórnsýslu verða því ákaflega nýtingarmiðuð og úrelt (myndir 12 og 13). Það er afar brýnt að breikka sýn á hverjir teljist hagaðilar þegar kemur að ástandi og nýtingu útjarðar.

Meðal undirliggjandi ástæðna fyrir nýtingu hnignaðra og hruninna vistkerfa í nútíð má telja rangsnúna hvata (e. perverse incentives) á borð við landbúnaðarstyrki sem taka ekki mið af ástandi lands – sem er alþjóðlegt vandamál. Mikilvægt er að endurskoða landbúnaðarstyrki með aukna áherslu á umhverfisáhrif og endurheimt vistkerfa, þar sem mun þrengri skorður verði settar fyrir beitarnýtingu á hnignuðum og hrundum vistkerfum. Mikilvægt er að upplýsa almenning um umhverfisáhrif þeirra framleiðslu sem styrkt er eða jafnvel kostuð af sjóðum almennings. Opna þarf fyrir aðra möguleika til fæðuframleiðslu og styrkingu byggða, sem tæki mið af breyttum neyslunum samfélagsins og því að lágmarka umhverfisáhrif landbúnaðar.

Þakkarorð

Efni þessa rits er hluti af viðameira verki, sem bíður þess að höfundur finni tíma til að ljúka því. Ég stend í þakkarskuld við marga, sem hafa hjálpað við að móta það efni sem hér er sett fram. Fyrsta ástands-módelið unnum við Ása L. Aradóttir (Lbhí), Steve Archer (nú University of Arizona) og ég 1988 - 1989 í Texas (birt 1992). Ása hefur síðan tekið þátt í mörgum verkefnum með höfundi, sem eru undirstaða þessa rits, svo sem ritun bókarinnar „*Að lesa og lækna landið*“. Jóhann Þórsson (Landgræðslan) og ég kennum um ástand lands hjá Landgræðsluskóla GRÓ/UNEP, sem er ætlaður nemendum frá þróunar-löndum, auk þess að kenna á námskeiðum á alþjóðlegum vettvangi – sem hefur ýtt undir samningu þessa efnis. Ég hef tekið þátt í starfi sem tengist jarðvegsvernd á vegum Evrópusambandsins, m.a. við ritun efnis í samvinnu við Anton Imeson (sjá Imeson 2012). Þá kom Jeff Herrick (USDA/NRCS – Jordana New Mexico) að mótun að sumu því sem hér er birt, en hann hefur meðal annars komið að þróun námsefnis og kennt við Landgræðsluskólann. Þórunn Pétursdóttir o.fl. hafa reynst afar mikilvæg við að velta áfram þekkingu á félagslegum og hagrænum þáttum er stuðla að landhnignun hérlendis. Rannsóknaleyfi við University of Arizona í Tucson reyndist drjúgt til að þróa hugmyndir áfram, enda er margt líkt með þróun ástands lands í suðvesturhluta Bandaríkjanna og hérlendis. En ritið er ekki síst heimildavinna og þeim fjölmörgu sem velt hafa áfram þekkingu á hnignun og ástandi landsins er hér með þakkað fyrir þeirra framlag. Höfundar myndefnis sem hér er fengið að láni fá kærar þakkir.

VIÐAUKI

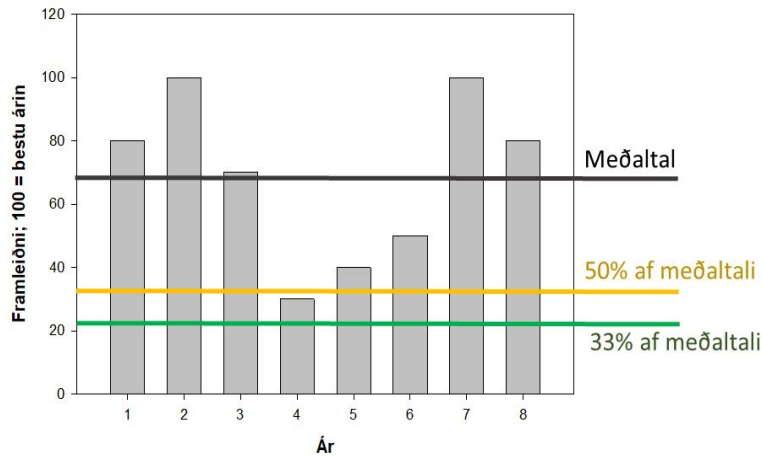
Ofbeit og vandræðahugtakið „beitarþol“

Segja má að hugtakið „beitarþol“ (e. grazing capacity, carrying capacity) hafi haft neikvæðar afleiðingar fyrir íslensk vistkerfi eins og víða annars staðar á viðkvæmum jaðarsvæðum og því fær hugtakið rúm hér. Mikil tilhneiging er að setja of mikið af búfénaði inn á viðkvæm fjölbreytt svæði og leiðbeiningar um beitarálag á Íslandi í tengslum við gæðastýringu í sauðfjárrækt eru gott dæmi um það (Ólafur Arnalds 2019a,b). Beitarhættir á Íslandi voru áður með þeim hætti sem hefur hvað verst áhrif á vistkerfi: samfelld beit allt árið; beit um vetur og vor, enda fór fólksfjöldinn að einhverju leyti eftir því hve mikill búfénaður lifði af veturinn. Afleiðingarnar voru eftir því. Reyndar eru til útreikningar og mat á fjölda búfénaðar á fyrri öldum og því hefur verið haldið fram að beitarálag hafi í sjálfu sér ekki farið fram úr því landið gaf þá af sér (Thomson og Simpson 2007). Hér er ekki fallist á þetta sjónarmið og eftirfarandi málsgreinar fela í sér rökstuðning fyrir því. Þar kemur fram að útreikningar á búfjárfjölda sem landið gæti borið og þar með talið hugtakið „beitarþol“, eru afskaplega vandmeðfarið efni og best væri að forðast hugtakið með öllu. Fyrst má nefna að erfitt er að taka tillit til þess þegar mjög fjölbreyttar vistgerðir koma fyrir í beitilandinu, sem og að taka tillit til vistfræðilegra þátta á borð við samsetningu gróðurs og breytinga á gróðurfari og uppskeru í tíma (innan hvers árs og á milli ára) við beitarþolsútreikninga. Þetta atriði er m.a. rætt af Fuhlendorf o.fl. 2017, Sayre 2012, Sayre o.fl. 2012 og í samantekt Sayre 2017 (*The politics of scale: A history of rangeland science*).

Það er miklum vafa undirorpið og reyndar breytilegt hvað mikið má fjarlægja af uppskeru hvers árs og þá af uppskeru hvernar vistgerðar fyrir sig innan mósaíkur eða fjölbreytileika úthagans, án þess að gengið sé á vistkerfið á landslagsskala (sjá t.d. McLeod 1997, Del Monte-Luna o.fl. 2004). Þetta á sérstaklega við þegar kemur að viðkvæmum jaðarvistkerfum þar sem umhverfisþættir takmarka þanþolið – þar gildir að fara mjög varlega (Sayre o.fl. 2012, Sayre 2017). Þar sem beitilandið er mjög fjölbreytt vex vandinn enn er þetta varðar því sum kerfin eða afmarkaðir blettir eru eftirsóttari en önnur svæði og það getur jafnframt verið breytilegt yfir vaxtartímann. Því verður álag innan kerfisins afar misjafnt.

Beitarvistfræðingar hafa horfið frá notkun hugtaksins „beitarþol“ fyrir fjölbreytt beitilönd, slík hugmyndafræði á einmitt síst við fyrir viðkvæm jaðarvæðum, hvort sem er á þurrkavæðum eða mjög köldum svæðum (sjá t.d. Sayre o.fl. 2012 og áður nefnda bók Sayre frá 2017). Athygli vekur að hugtakið „beitarþol“ kemur vart fyrir í nýrri meginyfirlitsbók beitarvistfræðinga „*Rangeland systems*“ (ritstj. Briske 2017). Æskilegur eða hæfilegur beitarþungi er háður þeim markmiðum sem sett eru, t.d. um framför lands og viðhald á þanþoli, sem og eftir ástandi landsins og sögu þess. Og síðan, en ekki síst, er það árferðið sem er afar mikilvægt svo vægt sé til orða tekið. Meðalárin skipta minna máli, jafnvel litlu, miðað við þau ár eða tímabil þegar illa árar. En útreikningar á beitarþoli miða iðulega við meðalár. Í köldum árum minnkar frumframleiðni og vöxtur gróðurs. Ef uppskera á tilteknum stað minnkar um t.d. 50%, en búfjárfjöldi helst sá sami, eykst beitarálagið veldisvaxandi í tíma eftir því sem líður á vaxtartímabilið (t.d. mælt í fjölda áa / magn uppskeru). Þetta veldisvaxandi samhengi er mikilvægt, eftir því sem uppskera minnkar vex álag á þann gróður sem eftir er mjög ört. Uppskeruna þrýtur fljótt alveg og algjört hrun getur fylgt í kjölfarið (sjá Sayre o.fl. 2012, Sayre 2017). Þegar svona árar, og við bætist t.d. gjóskufall, eru afleiðingarnar mjög afgerandi. Ólík kerfi í mósaík landslagsins bregðast mismunandi við eftir þanþoli þeirra. Við slík skilyrði getur gróðurfar tekið stórfelldum breytingum, tegundir sem lítið eru bitnar verða ofan á í samkeppni við eftirsóttar beitarplöntur og með tímanum minnkar kolefnis- og

næringarforði jarðvegsins (sjá Evans o.fl. 2017). Í verstu tilfellum fylgir jarðvegsrof í kjölfarið. Allt þetta sýnir vel tilgangssleysi hugtaksins „beitarþol“, sem einhver ein stærð, sérstaklega á viðkvæmum jaðarsvæðum; hugtak sem er gróflega ofnotað í umræðu um beit við aðstæður eins og þær sem ríkja á Íslandi (sjá einnig myndir 11 og 12). Andrés Arnalds benti á þetta í greinum í Frey 1994 og 1995, sem mæltust misjafnlega fyrir þá. Rannsóknastofnun landbúnaðarins dró formlega til baka beitarþolstölur fyrir afrétti með yfirlýsingu 1999 (bréf nóvember 1999 til Landgræðslu ríkisins með afriti á landbúnaðar-ráðuneytið), því þess gætti að tölurnar væru rangtúlkaðar og misnotaðar – auk þess sem þær gáfu allt of háar niðurstöður fyrir „beitarþol“ (sem í raun er ekki til sem einhver föst tala).



Mynd 50. Skematískt dæmi um breytilega uppskeru á beitarsvæði eftir árferði, t.d. þar sem þurrkar eða kuldi draga úr vexti. Byggt á svipaðri mynd frá Arizona (Sayre 2017) og reynslu frá „stóru beitarþolunum“ á Íslandi (sjá m.a. Ólafur Guðmundsson og Bement 1986, Valgeir Bjarnason og Ólafur Guðmundsson 1986). Uppskera í slæmum árum getur verið minni eða lítið meiri en 50% af meðaluppskeru sem ásetningur var oft miðaður við samkvæmt reglunni um „að fulltelja í land“. Þetta veldur gríðarlegu álagi á landið í þeim árum og veldur óafturkræfum breytingum á vistkerfunum. Í þessu tilfalli leiðir 33% viðmiðun (minni beitarþungi) einnig til ofbeitar í slæmum árum, en dæmi um slíkt eru þegar kaldast árar á Íslandi, að ekki sé talað um þau tilfalli þegar einnig kemur til öskufalls. Áður birt í riti Ólafs Arnalds 2019a.

Bent hefur verið á að beinar beitarannsóknir mættu vera meiri á Íslandi, ekki síst í ljósi gríðarlegra áhrifa beitarinnar á landið (sjá Bryndísi Marteinsdóttur o.fl. 2017b), sem er tekið undir hér. Einnig skortir verulega á birtingu á þeim beitarannsóknnum sem gerðar hafa verið með viðeigandi hætti, m.a. úr hinum svokölluðu „stóru beitarþolunum Rala“ frá árunum 1975-1985 (t.d. Ólafur Guðmundsson og Bement 1986). Rétt er þó að árétta að rannsóknir á ástandi lands, m.a. á moldarþáttum, er ein hlið beitarannsóknna sem er æði mikilvæg, þ.e. afleiðingar beitar – áhrifin á landið. Jarðvegsfræðin eru grunnstoð við mat á ástandi lands og það samhengi fær töluvert rúm í þessu riti (sjá einnig Doran og Jones 1996; UNEP 2016; Evans o.fl. 2017, Wilcox o.fl. 2017). Þá er einnig rétt að benda á að beitarannsóknir, líkt og aðrar rannsóknir (t.d. á ástandi lands), eiga sínar takmarkanir. Það er m.a. vegna:

- i. Stutts tímaskala. Beinar beitarannsóknir sem vara yfir stuttan tíma eru ólíklegar til að skila miklum niðurstöðum um breytingar sem verða einkum á löngum tíma. Bent hefur verið á að í jaðarvistikkerfum á borð við suðvesturríki Bandaríkjanna þurfi margra áratuga og jafnvel meira en 100 ára tímaskala fyrir beitarannsóknir (Sayre o.fl. 2012, Sayre 2017).

- ii. Vistkerfin geta þegar verið á stöðugu en lágu stigi þegar rannsóknir hefjast – hnignuðu ástandi er þá tekið sem gefnu, sem endurspeglar heilkenni breyttra grunnviðmiða.
- iii. Þeir atburðir sem gjarnan skila vistkerfum yfir þröskulda yfir á annað ástandsstig eða vistþrep eiga sér ekki ekki endilega stað á tilraunátímanum.
- iv. Opið beitiland eins og á Íslandi er ekki einsleitt heldur samanstendur af flókinni mósaík vistgerða. Beitarálag er mjög mismunandi á milli eininga, sem erfitt er að líkja eftir í tilraunum, sem oft fara fram innan afgirtra beitarhólfa með einsleitari vistkerfi.
- v. Yfirfærsla á niðurstöðum frá frjósömum, afgirtum og einsleitum beitarsvæðum hafa takmarkað gildi fyrir jaðarsvæði þar sem umhverfisþættir takmarka þanþol kerfanna (Sayre o.fl. 2012, Sayre 2017). Varlega þarf að fara í túlkun á beitarartilraunum yfir á land í slæmu ástandi.

Vitaskuld er hægt að skoða alla þessa mismunandi þætti með fjölþættum rannsóknum; beitarannsóknir skila ómetanlegum upplýsingum um samspil vistkerfa og beitarðýra og áhrif beitar á einstaka þætti vistkerfa og viðbrögð þeirra við beitinni – á gróðursamsetningu, viðbrögð plantna, rótarvöxt, lífræn efni í mold, um hegðun beitarðýra og svo mætti lengi telja. Það skal þó áréttað að skoðun á ástandi lands skilar niðurstöðu um langtímaáhrif nýtingar sem getur hafa varað um aldir. Á grunni upplýsinga um ástand lands er unnt að taka ákvarðanir um áframhaldandi nýtingu útjarðar, ekki síst landnotkun sem miðar að endurheimt landgæða og eðlilegt ástand landsins, þ.e. vistgetu. Rannsóknir á ástandi lands eru um leið „beitarannsóknir“ – rannsóknir á áhrifum landnýtingar.

Við leiðbeiningar vegna gæðastýringar í sauðfjárframleiðslu eftir 2015 voru því miður gefin út mjög þung leiðbeinandi gildi fyrir beitarálag – 3,3 ha fyrir hverja lambá. Áður hafði verið mælt með 8 ha/ær og hugtakið „beitargnótt“ notað í því samhengi, enda ætti sjálfbær landnýting á rýr gróðurlendi – og sem er vottuð sem slík samkvæmt gæðastýringarferli og grænum greiðslum – að miða við léttu beit (sjá Ólaf Arnalds 2019a). Þessar ráðleggingar eru ekki í takti við vistfræðileg sjónarmið; miða verður beit við slæmu árin og ef land er í slæmu ástandi ber að setja markmið um framför og/eða endurheimt vistkerfisins – aukningu lífræns forða í mold og meiri gæði gróðurs (þ.e. betra ástand landsins). Landgræðslan hefur ekki fengist til að afturkalla þetta beitarviðmið þótt eftir því hafi verið leitað með formlegum hætti.

Heimildaskrá

- Andrés Arnalds 1987. Ecosystem disturbance in Iceland. *Arctic and Alpine Research* 19: 508-513.
- Andrés Arnalds 1988a. Landgæði á Íslandi fyrr og nú. *Græðum Ísland (Árbók Landgræðslu ríkisins)* 1987: 13-31.
- Andrés Arnalds 1988b. Brautin rudd. Saga landgræðslu á Íslandi fyrir 1907. *Græðum Ísland (Árbók Landgræðslu ríkisins)* 1987: 33-39.
- Andrés Arnalds 1994. Beitarálag og ástand lands. *Freyr* 90/11: 421-424.
- Andrés Arnalds 1995. Beitarþol og vísindi. *Freyr* 91/5: 211-215.
- Anna Sigríður Valdimarsdóttir og Sigurður H. Magnússon 2013. Gróður í Viðey í Þjórsá. *Náttúrufræðingurinn* 83:49-60.
- Archer S, CJ Stokes 2000. Stress, disturbance and change in rangeland ecosystems. Í: Ólafur Arnalds og S Archer (ritstj.) *Rangeland desertification*. Kluwer Publishing Company, Dordrecht, Niðurlönd. Bls. 17-38.
- Arnór Karlsson 1992. Birkileifar og kolagrafir á Biskupstungnafrétti. *Græðum Ísland (Árbók Landgræðslu ríkisins)* 1991-1992. Ritstjóri Andrés Arnalds. Bls. 93-98.
- Arnór Sigurjónsson 1958. Ágrip af gróðursögu landsins til 1880. Í: Sandgræðslan. Minnt 50 ára starfs Sandgræðslu Íslands. Ritstj. Arnór Sigurjónsson. Búnaðarfélag Íslands og Sandgræðsla ríkisins. Reykjavík. Bls 5-40.
- Arnór Sigurjónsson (ritstj.) 1958. Sandgræðslan. Minnt 50 ára starfs Sandgræðslu Íslands. Búnaðarfélag Íslands og Sandgræðsla ríkisins. Reykjavík.
- Arnór Snorrason, Björn Traustason, Bjarki Þór Kjartansson, Lárus Heiðarsson, Rúnar Ísleifsson, Ólafur Eggertsson 2016. Náttúrulegt birki á Íslandi – Ný úttekt á útbreiðslu þess og ástandi. *Náttúrufræðingurinn* 86: 97-111.
- Árni Einarsson 2019. Tíminn sefur. Fornaldargarðarnir miklu á Íslandi. Mál og menning, Reykjavík.
- Ása L. Aradóttir 2007. Restoration of birch and willow woodland on eroded areas. Pages 67-74 in G. Halldorsson, E. S. Oddsdóttir, and O. Eggertsson, editors. *Effects of afforestation on ecosystems, landscape and rural development*. TemaNord 2007: 508, Reykholt, Iceland, June 18–22, 2005.
http://www.norden.org/en/publications/publikationer/2007-508/at_download/publicationfile.
- Ása L. Aradóttir, Guðmundur Halldórsson (ritstj.) 2011. Vistheimt á Íslandi. Landbúnaðarháskóli Íslands og Landgræðsla ríkisins.
- Ása L. Aradóttir, Ólafur Arnalds, S Archer 1992. Hnignun gróðurs og jarðvegs. *Græðum Ísland* 1991-1992: 73-82.
- Áslaug Geirsdóttir GH Miller, Þorvaldur Þórðarson, Kristín B Ólafsdóttir 2009. A 2000 year record of climate variations reconstructed from Haukadalsvatn, West Iceland. *Journal of Paleolimnol* 49: 95-115.
- Barrio IC, DS Hik, J Thorsson, K Svavarsdóttir, B Marteinsdóttir, IS Jonsdóttir 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.
- Bestelmeyer BT, JR Brown, KM Havstad, G Alexander, G Chavez, J Herrick 2003. Development and use of state-and-transition models for rangelands. *Journal of Range Management* 56: 114-126.
- Bestelmeyer BT, DP Goolsby, SR Archer 2011. Spatial perspectives in state-and-transition models: a missing link to land management? *Journal of Applied Ecology* 48: 746-757.
- Bestelmeyer BT, A Ash, JR Brown, B Densambuu, M Fernández-Giménez, J Johanson, M Levi, D Lopez, R Peinetti, L Ruumpff, P Shaver 2017. State and transition models. Theory, applications and challenges. Í: DD Briske (ritstj.) *Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges*. Springer Open, Cham, Switzerland. Bls. 303-345.

Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa

- Bland LM, JA Rowland, TJ Regan, DA Keith, NJ Murray, ER Lester, M Linn, JP Rodríguez, 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, Björn H. Barkarson 1997. Hrossahagar. Aðferð til að meta ástand lands. Rannsóknastofnun landbúnaðarins (nú LbhÍ), Reykjavík o.fl. Hrossahagar.
- Briske (ritstj.) 2017. Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Switzerland, bls. 303-345.
- Briske DD 2017. Rangeland systems: Foundation for conceptual framework. Í: DD Briske (ritstj.) Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Switzerland, bls. 1-21.
- Briske DD, AW Ilius, JM Anderies 2017. Nonequilibrium ecology and resilience theory. Í: DD Briske (ritstj.) Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Switzerland, bls. 197-227.
- Bowden C 1987. Frog Mountain Blues. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA.
- Briske DD (ritstj.) 2017. Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Switzerland.
- Bryndís Marteinsdóttir, Kristín Svavarsdóttir, Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2017a. Multiple mechanisms of early plant community assembly with stochasticity driving the process. *Ecology* 99(1) DOI: [10.1002/ecy.2079](https://doi.org/10.1002/ecy.2079)
- Bryndís Marteinsdóttir, IC Barrio, Ingibjörg Svala Jónsdóttir 2017b. Assessing the Ecological Impacts of Extensive Sheep Grazing in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences* 30: 55-72.
- Bryndís Marteinsdóttir, Elín Fjóla Þórarinsdóttir, Guðmundur Halldórsson, Jóhann Helgi Stefánsson, Jóhann Þórsson, Kristín Svavarsdóttir, Magnús Þór Einarsson, Sigbrúður Jónsdóttir, Sigmundur Helgi Brink 2020. Stöðumat á ástandi gróður- og jarðvegsauðlinda Íslands. Aðferðafræði og faglegur bakgrunnur. Drög. Landgræðsla ríkisins. grolind.is. Júní 2020.
- Cejudo GM 2013. Evidence for change. The case of Subsidios al Campo in Mexico. International Budget Partnership, Washington, USA.
- Charnley S, TE Sheridan, GP Nabhan (ritstj.) 2014. Stitching the West Back Together. The University of Chicago Press Ltd. Chicago, USA.
- Cherlet M, C Hutchinson, J Reynolds, J Hill, S Sommer, G von Maltitz (ritstj.) 2018. World Atlas of Desertification. Rethinking Land Degradation and Sustainable Management. Publication of the European Union, Luxembourg.
- Cutler NA, RM Bailey, KT Hickson, RT Streeter, AJ Dugmore 2016. Vegetation structure influences the retention of airfall tephra in a sub-Arctic landscape. *Progress in Physical Geography* 40:661-675.
- Del Monte-Luna P, BW Brook, MJ Zetina-Rejón, VH Cruz-Escalona 2004. The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography* 13: 485-495.
- Diamond J 2005. Collapse. Penguin, New York.
- Donahue DL 1999. The Western Range Revisited. Removing Livestock From Public Lands to Conserve Native Biodiversity. University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma, USA.
- Doner L 2003. Late-Holocene paleoenvironments of northwest Iceland from lake sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193: 535-560.
- Doran JW, JJ Jones (ritstj.) 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Dugmore AJ, AJ Newton, Guðrún Larsen, GGT Cook 2000. Tephrochronology, environmental change and the Norse colonisation of Iceland. *Environmental Archaeology* 5: 21-34.
- Dugmore AJ, MJ Church, PC Buckland, KJ Edwards, IT Lawson, TH McGovern, E Panagiotakopulu, IA Simpson, P Skidmore, Guðrún Sveinbjarnardóttir 2005. The Norse Landnám on the North Atlantic Islands: An environmental impact assessment. *Polar Record* 41:21-37.

- Dugmore AJ, MJ Church, K-A Mairs, TH McGovern, S Perdikaris, Orri Vésteinsson 2007. Abandoned farms, volcanic impacts, and woodland management: revisiting Þjórsárdalur, the „Pompeii of Iceland“. *Arctic Anthropology* 44:1-11.
- Egill Erlendsson, KJ Edwards og PC Buckland 2009. Vegetational response to human colonisation of the coastal and volcanic environments of Ketilsstaðir, southern Iceland. *Quaternary Research* 72: 174-187.
- Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Fanney Ósk Gísladóttir, Anna Björk Þorsteinsdóttir, Sigmundur Helgi Brink, Guðmundur Halldórsson 2017. Kortlagning á áfallaþoli vistkerfa í nágrenni við Heklu með tilliti til öskufalls. Skýrsla til Ofanflóðasjóðs, Landgræðsla ríkisins og Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Evans RD, RA Gill, VT Eviner, V Bailey 2017. Soil and below ground processes. In DD Briske (ristj.) *Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges*. Springer Open, Cham, Switzerland, bls. 131-168.
- Fanney Ósk Gísladóttir, Ólafur Arnalds, Guðrún Gísladóttir 2005. The effect of landscape and retreating glaciers on wind erosion in South Iceland. *Land Degradation and Development* 16: 177-187.
- Forse B 1989. The myth of the marching desert. *New Scientist* 4. febrúar, 31-32.
- Friðþór S. Sigurmundsson, Guðrún Gísladóttir, Hreinn Óskarsson 2014. Decline of birch woodland cover in Þjórsárdalur Iceland from 1587-1938. *Human Ecology* 42: 577-590.
- Fuhlendorf SD, RWS Fynn, DA McGranahan, D Twidwell 2017. Heterogeneity as the basis for rangeland management. Í: DD Briske (ristj.) *Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges*. Springer Open, Cham, Switzerland, bls. 169-196.
- Gathorne-Hardy FJ, Egill Erlendsson, PG Langdon, KJ Edwards 2009. Lake sediment evidence for late Holocene climate change and landscape erosion in western Iceland. *Journal of Paleolimnology* 42: 413-426.
- Gerrard AJ 1985. Soil erosion and landscape stability in southern Iceland: a tephrochronological approach. In: Richards K, Arnett R, Ellis S (eds) *Geomorphology and Soils*. George Allen and Unwin Ltd, UK, pp 78-95.
- Gísli Gunnarsson 1983. Monopoly trade and economics Stagnation: Studies in the foreign trade of Iceland 1602-1787. *Ekonomisk-historiska Institutionen, Lund, Medelände XXXII*.
- Grétar Guðbergsson 1975. Myndun móajarðvegs í Skagafirði. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir* 7: 20-45.
- Grétar Guðbergsson 1996. Í norðlenskri vist. Um gróður, jarðveg, búskaparlög og sögu. *Búvísindi / Icelandic Agricultural Sciences* 10: 31-89.
- Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson, R Lal, J Bigham 2010. Erosional effects on terrestrial resources over the last millennium in Reykjanes, southwest Iceland. *Quaternary Research* 73:20-32.
- Guðrún Larsen, Jón Eiríksson 2008. Postglacial volcanism in Iceland. *Jökull* 58: 197-228.
- Guðrún Sveinbjarnardóttir, PC Buckland, AJ Gerrard 1982. Landscape change in Eyjafjallasveit, Southern Iceland. *Norsk Geografisk Tidsskrifter* 36: 75-88.
- Gunnar Karlsson 2000. *Iceland's 1100 Years. History of a Marginal Society*. C.Hurst & Co Ltd, London, UK.
- Gunderson LH, CR Allen, CS Holling 2010. *Foundations of ecological resilience*. IslandPress, Washington, Bandaríkin.
- Guttormur Sigbjarnason 1969. Áfok og upplástur. *Náttúrufræðingurinn* 39: 68-118.
- Hardin G 1968. The tragedy of the commons. *Science* 1962: 1243-1248.
- Hákon Bjarnason 1942. Ábúð og örtröð. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* 1942: 8-40.
- Herrick JE 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology* 15: 75-83.
- Herrick JE, OE Sala, JW Karl 2013. Land degradation and climate change: a sin of omission? Guest editorial. *Frontiers in Ecology* 11: 213.

Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa

Herrick JE, JW Van Zee, KM Havstad, LM Burkett, WG 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, Bandaríkin.

Herrick JE, JW Van Zee, SE McCord, EM Courtright, JW Karl, LM Burkett 2018. Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems. 2. útg. Volume I. Core methods. USDA-ARS Jornada Experimental Range, Las Cruces, New Mexico, Bandaríkin.

Holecheck JL, RD Pieper, CH Hebel 2010. Range Management: Principles and Practices. Prentice-Hall, New Jersey, Bandaríkin.

Hjalti J. Guðmundsson 1997. A review of the Holocene environmental history of Iceland. Quaternary Science Reviews 16: 81-92.

Holl KD 2018. Primer of Ecological Restoration. Island Press, London, Bretland.

Hruska T, L Huntsinger, M Brunson, W Li, N Marshall, JL Oviedo, H Whitcomb 2017. Rangelands as social-ecological systems. Í: DD Briske (ritstj.) Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Switzerland, bls. 263-302.

Hudak M 2007. Western turf wars. The politics of public lands ranching. Biome books, Binghamton, New York.

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

Ingi Þorsteinsson 1980. Gildi úthagans og beitarþolsrannsóknir. Íslenskar landbúnaðarrannsóknir 12(2): 5-10.

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

Inga Svala Jónsdóttir 1984. Áhrif beitar á gróður Auðkúluheiðar. Náttúrufræðingurinn 53: 19-40.

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, ES Brondízio, HT Ngo, M Guèze, J Agard, A Arneeth, P Balvanera, KA Brauman og 20 fleiri (ritstj.). Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES secretariat, Bonn, Þýskaland.

Isabel C Barrio, DS 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.

Jakobs L 1991. Waste of the West. Public Lands Ranching. Lynn Jacobs, Tucson, Arizona.

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

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. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar nr. 54. Garðabær.

Juo ASR, LP Wilding 1997. Land and Civilization. Journal of Sustainable Agriculture 10:3-7.

Larsen DJ, GH Miller, Áslaug Geirsdóttir og Þorvaldur Þórðarson 2011. A 3000-year varved record of glacier activity and climate change from the proglacial lake Hvítárvatn, Iceland. Quaternary Science Reviews 30: 2715-2731.

Lawson IT, FJ Gathorne-Hardy, MJ Church, AJ Newton, KJ Edwards, AJ Dugmore, Árni Einarsson 2007. Environmental impacts of the Norse settlement: palaeoenvironmental data from Mývatnssveit, northern Iceland. Boreas 36: DOI 10.1080/03009480600827298

Lilja Jónsdóttir 2020. Beitarréttur. Lögfestar takmarkanir í þágu náttúruverndar. ML ritgerð, Háskólinn í Reykjavík.

- Ludwig JA, DJ Tongway, K Hodgkinson, D Freudenberger, J Noble 1997. Landscape Ecology, Function and Management: Principles from Australia's Rangelands. CSIRO Publishing, Melbourne.
- Margrét Hallsdóttir 1982. Frjógreining tveggja jarðvegssniða úr Hrafnkeldal. Áhrif ábúðar á gróðurfar dalsins. Í: Eldur er í norðri (ritstj. Helga Þórarinsdóttir o.fl.), Sögufélagið Reykjavík. Bls. 253-265.
- Margrét Hallsdóttir og CJ Caseldine 2005. The Holocene vegetation history of Iceland, state-of-the art and future research. Í: C Caseldine, A Russel, Jórunn Harðardóttir, O Kudsen (ritstj.) Iceland – Modern Processes and Past Environments. Developments in Quaternary Science 5:319-334.
- McGovern TH, Orri Vésteinsson, Adolf Friðriksson, MJ Church, IT Lawson, IA Simpson, Árni Einarsson og 11 fleiri höfundar 2007. Landscapes of settlement in northern Iceland: historical ecology of human impact and climate fluctuation on the millennial scale. American Anthropologist 109: 27-51.
- McLeod SR 1997. Is the concept of carrying capacity useful in variable environments? Oikos 79: 529-542.
- Meyers 2007. Opinion. Perverse subsidies. Inter Press Service, www.ipsnews.net.
- Meyers N, J Kent 1998. Perverse subsidies: their nature, scale and impacts. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Manitoba, Kanada.
- Montgomery DR 2007. Dirt. The erosion of civilizations. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Ogilvie AEJ 2005 Local knowledge and travellers' tale: a selection of climate observations in Iceland. Í: C Caseldine, A Russel, Jórunn Harðardóttir, O Kudsen (ritstj.) Iceland – Modern Processes and Past Environments. Developments in Quaternary Science 5: 257-287.
- Ogilvie AEJ og Trausti Jónsson 2001. „Little Ice Age“ research: A perspective from Iceland. Climate Change 48: 9-52.
- Ólafur Arnalds 1992. Jarðvegsleifar í Ódáðahrauni. Græðum Ísland IV, Árbók Landgræðslu ríkisins 1991-1992, ritstj. Andrés Arnalds, bls 159-164.
- Ólafur Arnalds 2000a. The Icelandic 'rofabard' soil erosion features. Earth Surface Processes and Landforms 25: 17-28.
- Ólafur Arnalds 2000b. Desertification, an appeal for a broader perspective. In: Rangeland Desertification. Ólafur Arnalds and S Archer (ritstj.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niðurlöndin, bls. 5-15.
- Ólafur Arnalds 2013. The influence of volcanic tephra (ash) on ecosystems. Advances in Agronomy 121: 331-380.
- Ólafur Arnalds 2015. The Soils of Iceland. Springer, Dordrecht, Niðurlöndin.
- Ólafur Arnalds 2016. Sauðfjárbætur og íslensk vistkerfi: Afneitun vanda. Leiðari. Náttúrufræðingurinn 86: 3-4.
- Ólafur Arnalds 2019a. Á röngunni. Alvarlegir hnökrar á framkvæmd landnýtingarþáttar gæðastýringar í sauðfjárrækt. Rit Lbhí nr. 118. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.
- Ólafur Arnalds 2019b. Development of perverse environmental subsidies for sheep production in Iceland. Agricultural Sciences 10 : 1135-1151, 10.4236/as.2019.109086
- Ólafur Arnalds 2020a. Upplýsingar um landbúnaðarstyrki eru opinber gögn. Kjarninn, 4. mars 2020; <https://kjarninn.is/skodun/2020-03-03-upplysingar-um-landbunadarstyrki-eru-opinber-gogn/>
- Ólafur Arnalds 2020b. Tímamót – Landbúnaðarstyrkir eru opinber gögn. Stuðningsgreiðslur til sauðfjárræktar. Bændablaðið 19. mars 2020. <https://www.moldin.net/uploads/3/9/3/3/39332633/grein-olafur-arnalds-.pdf>
- Ólafur Arnalds og Ása L. Aradóttir 2011. Almenningar. Ástand jarðvegs og gróðurs. Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Ólafur Arnalds, Ása L. Aradóttir 2015. Að lesa og lækna landið. Landvernd, Landgræðsla ríkisins og Landbúnaðarháskóli Íslands, Reykjavík.
- Ólafur Arnalds, Jón Guðmundsson 2020. Loftslag, kolefni og mold. Rit Lbhí. Í birtingarferli.

Ástand lands og hrun íslenskra vistkerfa

- Ólafur Arnalds, Elín Fjóla Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemsson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson, Arnór Árnason 1997. Jarðvegsrof á Íslandi. Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík.
- Ólafur Arnalds, Hlynur Óskarsson, Sigmundur Helgi Brink, Fanney Ósk Gísladóttir 2016. Icelandic inland wetlands: Characteristics and extent of draining. *Wetlands* 36:759–769, DOI 10.1007/s13157-016-0784-1
- Ólafur Arnalds, Elín Fjóla Þórarinsdóttir, Fanney Ósk Gísladóttir 2019a. Sandauðnir, sandfok, og ryk á Íslandi - I. Sandar og fok. *Náttúrufræðingurinn* 89: 35-47.
- Ólafur Arnalds, Pavla Dagsson-Waldhauserová, Sigmundur Helgi Brink 2019b. Sandauðnir, sandfok, og ryk á Íslandi - II. Áfok og ryk. *Náttúrufræðingurinn* 89: 132-145.
- Ólafur Guðmundsson, RE Bement 1986. Grazing intensity and balancing animal numbers with forage resources: sheep responses under subarctic conditions. Í: *Grazing at Northern Latitudes* (ritstj. Ólafur Guðmundsson), Plenum Press, New York, bls. 311-322.
- Orr BJ, VM Cowie, P Castillo Sanchez, ND 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, Þýskalandi.
- Papworth SK, J Rist, L Coad, EJ Milner-Gulland 2009. Evidence for shifting baseline syndrome in conservation. *Conservation Letters* 2: 93-100.
- Pauly D 1995. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends Ecological Evolution* 10: 430.
- Pearce F 1992. Mirage of the shifting sands. *New Scientist*, 12. desember 38-42.
- Pellant M, PL Shaver, DA Pyke, JE Herrick, N Lepak, G Riegel, E Kachergis, BA Newingham, D Toledo, FE Busby 2019. Interpreting indicators of rangeland health. Version 5. Tech. Ref. 1734-6. Bureau of Land Management, Bandaríkin.
- Rannveig Ólafsdóttir, Hjalti Guðmundsson 2002. Holocene land degradation and climate change in Notheastern Iceland. *The Holocene* 12: 159-167.
- Rannveig Ólafsdóttir, P Schlyter, Hörður V. Haraldsson. 2001. Simulating Icelandic vegetation cover during the Holocene. Implications for long-term land degradation. *Geografiska Annaler* 83 (A): 203-215.
- Salvör Jónsdóttir 2012. Landbúnaðarland í skipulagsáætlunum. Skipulagsstofnun. Sótt á skipulag.is.
- Sayre NF. 2012. Carrying capacity. Í: R Kundis Craig, B Pardy, JC Nagle, O Schmitz, W Smith (ritstj.), *The Encyclopedia of Sustainability, Vol. 5: Ecosystem Management and Sustainability*. Berkshire Publishing, Great Barrington, Massachusetts, Bandaríkin, bls. 54-58.
- Sayre NF. 2017. *The Politics of Scale: A History of Rangeland Science*. University of Chicago Press, Chicago, Bandaríkin.
- Sayre NF, W deBuys, B Bestelmeyer, Kris Havstad. 2012. 'The Range problem' after a century of rangeland science: New research themes for altered landscapes. *Rangeland Ecology and Management* 65: 545-552.
- Schuyt K 2005. Perverse Policy Incentives. Í: S Mansourian, D Vallauri, N Dudley (ritstj.) *Forest Restoration in Landscapes. Beyond Planting Trees*. Springer New York, bls. 78-83.
- 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, 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, 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, L Tinganelli, 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.
- Sigrún Dögg Eddudóttir, Egill Erlendsson, Guðrún Gísladóttir 2017. Effects of the Hekla 4 tephra on vegetation in Northwest Iceland. *Veget Hist Archaeobot* 26: 389–402, DOI 10.1007/s00334-017-0603-5
- Sigurður Blöndal, Skúli Björn Gunnarsson 1999. Íslandsskógar. Mál og mynd, Reykjavík.
- Sigurður Greipsson 2012. Catastrophic soil erosion in Iceland: Impact of long-term climate change, compounded natural disturbances and human driven land-use changes. *Catena* 98:41-54.
- Sigurður H. Magnússon 1997. Restoration of eroded areas in Iceland. Í: Urbanska KM, NR Webb, PJ Edwards (ritstj.) Restoration Ecology and Sustainable Development. Cambridge University Press, Cambridge, UK, bls. 188-211.
- Sigurður H. Magnússon, Kristín Svavarsdóttir 2007. Áhrif beitarfriðunar á framvindu gróðurs og lítt grónu land. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar 49.
- Sigurður Þórarinnsson 1944. Thefrokonologiska studier pa Island. *Geografiske Annaler* 26: 1-217.
- Sigurður Þórarinnsson 1961. Uppblástur á Íslandi í ljósi öskulagarannsóknna. Ársrit Skógræktarfélagss Íslands 1960-1961: 17-54.
- Sigurður Þórarinnsson 1979. On the damage caused by volcanic eruptions with special reference to tephra and gases. Í: Sheets PD, DK Grayson (ritstj.) Volcanic Activity and Human Ecology. Academic Press, New York, Bandaríkin, bls. 125–159.
- Sigprúður Jónsdóttir 2010. Sauðfjárhagar. Leiðbeiningar við mat á ástandi beutilanda. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt.
- Simpson IA, AJ Dugmore, A Thomson, Orri Vésteinsson 2001. Crossing the thresholds: human ecology and historical patterns of landscape degradation. *Catena* 42: 175-192.
- Smith VH, JW Glauber, BK Goodwin, DA Sumner 2017. Agricultural Policy in Dissaray. Reforming the Farm Bill – Overview. American Enterprise Institute, Washington DC, Bandaríkin.
- Snorri Sigurðsson 1977. Birki á Íslandi – útbreiðsla og ástand. Skógarmál, útgefendur vinir Hákonss Bjarnasonar, 146-172.
- Sólveig Ólafsdóttir 2013. Ástæður og áhrif framræslu í Mýrasýslu 1930 – 1990. BS ritgerð, Landbúnaðarháskóli Íslands, Umhverfiseild. Hvanneyri.
- Starfshópur Lbhí 2016. Að meta landgræðsluland með hliðsjón af því hvort það er „tilbúið til hafhendingar“ til landbúnaðarnota. Ása L. Aradóttir, Fanney Ósk Gísladóttir, Hlynur Óskarsson, Ólafur Arnalds, Umhverfiseild Landbúnaðarháskóla Íslands, greinargerð unnin fyrir Landgræðslu ríkisins.
- Stoddart LA, AD Smith, TW Box 1975. Range management. 3.útg. McGraw-Hill, New York, Bandaríkin.
- Stoops G, M Gerard, Ólafur Arnalds 2008. A micromorphological study of Andosol genesis in Iceland. In: S Kapur, A Mermut, G Stoops (eds) New Trends in Micromorphology. Springer, Heidelberg, Þýskaland, bls. 67-90.
- Streeter R, AJ Dugmore, Orri Vésteinsson 2012. Plague and landscape resilience in premodern Iceland. *PNAS* 109: 3664-3669.
- Streeter RT, AJ Dugmore 2013. Reconstructing late-Holocene environmental change in Iceland using high-resolution tephrochronology. *Holocene* 23: 197-207.
- Streeter R, AJ Dugmore, IT Lawson, Egill Erlendsson, KJ Edwards 2015. The onset of the palaeoanthropocene in Iceland: Changes in complex natural systems. *The Holocene* 25: 1662-1675.
- Sturla Friðriksson, Jóhann Pálsson 1970. Landgræðslutilraun á Sprengisandi. Íslenzkar landbúnaðarrannsóknir 2(2): 34–49.
- Sturla Friðriksson 1991. Kolagrafir við Bláfell. Lesbók Morgunblaðsins 42 tbl., (23.11.1991) s.6-8.

- Sturla Friðriksson og Grétar Guðbergsson 1995. Hraði gróðureyðingar við rofabörð. Freyr 1995(5): 224-231.
- Tanentzap, AJ, A Lamb, S Walker, A Farmer 2015. Resolving Conflicts Between Agriculture and the Natural Environment. PLOS Biology, 2015; 13: e1002242.
- The Food and Land Use Coalition 2019. Growing better: The critical transitions to transform food and land use. The Global Consultatin Report of the Food and Land Use Coalition. <https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2019/09/FOLU-GrowingBetter-GlobalReport-ExecutiveSummary.pdf>
- The Guardian 2005. EU fram subsidies uncovered. Royals must declare sums under freedom of information. The Guardian 7. janúar 2005. <https://www.theguardian.com/uk/2005/jan/07/freedomofinformation.monarchy>
- Thompson AM og IA Simpson 2007. Modeling historic rangeland management and grazing pressures in landscapes of Settlement. Human Ecology 35:151-168.
- 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 (ristj.) 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.
- UNEP 2016. Unlocking the Sustainable Potential of Land Resources: Evaluation Systems, Strategies and Tools. JE Herrick, Ólafur Arnalds, B Bestelmayer, S Bringezu, G Han, MV Johson, D Kimiti, YiheLu, L Montanarella, W Pengue, G Toth, J Tukahirawa, M Velayutham, L Zhang. Nairobi, Kenya, ISBN: 978-92-807-3578-9.
- Valgeir Bjarnason, Ólafur Guðmundsson 1986. Effect of some environmental factors on stocking density on the performance of sheep, cattle and horses grazing drained bog pastures. Í: Ólafur Guðmundsson (ritstj.) Grazing Research at Northern Latitudes. Plenum Press, New York, Bandaríkin, bls. 129-140.
- van Beers C, CJMJ, van den Bergh 2001. Perseverance of perverse subsidies and their impact on trade and environment. Ecological Economics 36:475-486.
- van der Leeuw SE (ritstj.) 1998. Understanding the natural and anthropogenic causes of land degradation and desertification in the Mediterranean Basin. European Communities, Belgíu.
- Vickers K, Egill Erlendsson, MJ Church, KJ Edwards, J Bending 2011. 1000 years of environmental change and human impact at Stóra-Mörk, southern Iceland: A multiproxy study of a dynamic and vulnerable landscape. The Holocene 21:979-995.
- Wall D 2017. The commons in History. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, Bandaríkin.
- Wilcox BP, D Le Maitre, E Jobbagy, L Wang, DDBreshears 2017. Ecohydrology: Processes and Implications for Rangelands. In DD Briske (ritstj.) Rangeland Systems. Processes, Management and Challenges. Springer Open, Cham, Switzerland, bls. 85-129.
- Whisenant SG (1999) Repairing Damaged Wildlands. A Process Orientated, Landscape-Scale Approach. Biological Conservation, Restoration, and Sustainability 1, Cambridge University Press, UK.
- Wright DK 2017. Humans as agents in the termination of the African Humid Period. Frontiers in Earth Sciences 5:4.doi: 10.3389/feart.2017.00004.
- Wuerthner G, M Matteson 2002. Welfare Ranching. The Subsidized Destruction of the American West. Foundation for Deep Ecology /Island Press, Sausalito, California.
- Wöll C 2008. Treeline of mountain birch (*Betula pubescens* Ehrh.) in Iceland and its relationship to temperature. diploma thesis in Forest Botany, Technical University Dresden, Department of Forestry, Þýskaland.
- Þorleifur Einarsson 1962. Vitnisburður frjógreiningar um gróður, veðurfar og landnám á Íslandi. Tímaritið Saga 162:441-469.
- Þorleifur Einarsson 1994. Myndun og mótun lands. Jarðfræði. Mál og Menning, Reykjavík.

Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2015. Saga gróðurs og umhverfis á Brunasandi. Dynskógar, Héraðsrit Vestur Skafffellinga 2015, bls. 1-70.

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

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

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

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