



18

Jarðvegsrof og íslenskar rofmyndir



Mynd 18.1. Jarðvegsrof er alþjóðlegt umhverfisvandamál sem veldur alvarlegum skaða á vistkerfum. Rof hefur víða um heim fjarlægt moldarhuluna af yfirborði lands.

Jarðvegsrof – losun, flutningur og setmyndun

Jarðvegsrof er meginferli á yfirborði jarðar sem fjarlægir moldina frá sínum upprunastað. Við það getur orðið stórfelld hnignun á vistkerfum eða jafnvel vistkerfishrun – jarðvegsrof er það ferli sem veldur hvað mestu tjóni á vistkerfum jarðar.

Hugtakið „rof“ (e. erosion) merkir að rjúfa úr einhverju, t.d. kroppa úr steini, og þannig er það oft notað í jarðfræði. Í jarðvegsfræði og vistfræði er hugtakið aftur á móti víðtækara; verið er að fjalla um losun jarðvegsefna (e. detachment), flutning þeirra (e. transportation) og setmyndun þegar þau stöðvast aftur (e. sedimentation).

Aflið sem flytur jarðvegskornin er ýmist vatn eða vindur, en stundum er þyngdaraflið megindrifkrafturinn þegar skriður falla. Kraftur frosins vatns (holklaki og ísnálar) getur einnig verið mikilvægt rofafl.

18.1. Hvað er jarðvegsrof?

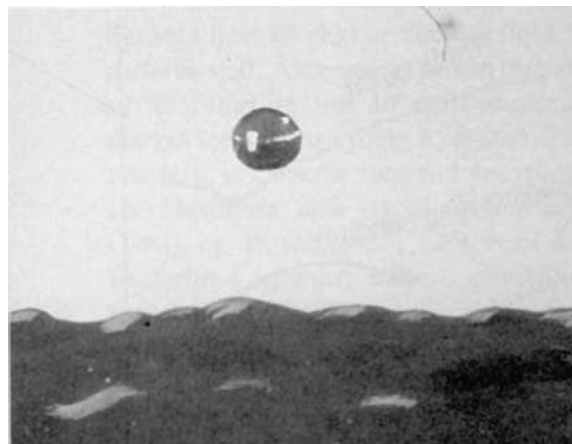
Ástæður jarðvegsrofs má einkum rekja til misnotkunar á landinu: þar sem ástand þess er gott verður sjaldan mikið jarðvegsrof. Þó ber að hafa í huga að á svæðum þar sem gróður þrífst ekki af náttúrulegum orsökum, t.d. í mikilli hæð yfir sjó, í snarbröttum hlíðum og sendnum þurrkaeyðimörkum, getur rof af náttúrunnar völdum verið mikið. Því er nauðsynlegt að skilja á milli þess sem kalla mætti „náttúrulegt rof“, sem alltaf er til staðar í einhverjum mæli, og þess sem nefnt hefur verið „hraðað rof“ (e. accelerated erosion), sem er þá aukið rof af mannavöldum. Í flestum tilfellum er munurinn svo mikill að náttúrulegt rof skiptir engu máli miðað við hraðað rof. Oftast er því hraðað rof og náttúrulegt rof lagt saman og hvorutveggja kallað jarðvegsrof.

Á Íslandi getur verið álitæfni hvað kalla eigi jarðveg í samhenginu „jarðvegsrof“: á það t.d. við um sanda sem myndast í jökulhlaupum? Jú – samkvæmt jarðvegsfræðinni hefur slíkt yfirborð líka jarðveg (sjá kafla um jarðvegsflokka), en gróðurleysið og jarðvegsrofið er þó ekki af mannavöldum, a.m.k. ekki í upphafi. En landnýting getur hamlað náttúrulegri sjálfræðslu á slíkum svæðum, m.a. komið í veg fyrir öfluga uppsprettu landnemaplantna, sem og hægt á

sjálfræðslu eftir flóð, gjóskufall og annað rask.

Þegar jarðvegsrof á sér stað glatast efsti hluti moldarinnar. Það er jafnframt sá hluti sem er auðugastur af lífrænum efnum (A-lag) og hefur þá eiginleika sem mestu skipta fyrir frjósemi vistkerfa, þá sem móta næringarframboð og vatnsheldni. Því getur lítið rof valdið miklu tjóni á mold og vistkerfum almennt. Áhrifa jarðvegsrofs gætir langt út fyrir upprunastaðinn. Vatnsborið set hefur áhrif á vatnsfarvegi langt niður vatnasviðin og á sjó út. Mengun frá jarðvegi, ekki síst ábornu landi, hefur slæm áhrif á lífríki í ám, vötnum og á grunnsævi. Nitur- og fosfórauðgun hafsvæða veldur viðfeðmum og alvarlegum vandamálum. Á undanförunum árum hefur náðst góður árangur við að minnka áburðarmengun í heiminum, m.a. með því að setja akur-yrkju strangar reglur um áburðarnotkun, vatnsrof og afrennsli, ekki síst í Evrópu. Á öðrum stöðum hefur gengið illa að setja lög og reglur og sums staðar gerist það að slíkt regluverk er afturkallað vegna þrýstings frá hagsmunahópum, sem getur haft mjög alvarlegar afleiðingar í framtíðinni. Stjórnmal, lög, regluverk og jarðvegsvernd eru samofnir málaflokkar – eins og tæpt verður á í næsta kafla.

Hér á eftir verður fjallað almennt um ferli vatns- og vindrofs og miðast umfjöllunin ekki sérstaklega við íslenskar aðstæður:



Mynd 18.2. Regndropi skellur á yfirborðinu, spýtist síðan í allar áttir og losar um jarðvegskorn sem ýmist lyftast eða flytjast til. Mynd: USDA-NRCS.

undirstöðuatriðin eru þau sömu hvar sem er í heiminum. Áður hefur vindrof verið skýrt sérstaklega í tengslum við íslenska sandumhverfið, sem er óþarfi að endurtaka, en þó verður fjallað hér stuttlega um vindrofsjöfnuna. Síðan fylgja útskýringar á jarðvegsrofi á Íslandi.

18.1.1. Vatnsrof

Vatnsrof er margslungnara fyrirbrigði en ætla mætti í fyrstu. Það má skipta rofáhrifum vatns í tvennt: annars vegar er um að ræða árekstraráhrif vatnsdropans en hins vegar rennsli vatns á yfirborðinu. Fræðin sem skýra vatnsrof þróuðust fyrst og fremst í tengslum við akuryrkju þar sem land er brotið til ræktunar og er óvarið fyrir útrænum öflum langan tíma í senn. Bæði vatnsrof og vindrof eru einnig mikilvæg ferli sem hluti landmótunarfræða (e. geomorphology). Utan akuryrkjusvæða er mikilvægt að hafa í huga að vatnsrof verður lítið sem ekkert sé gróðurhula til staðar. Jarðvegsrof og ástand vistkerfa eru því náskyldir þættir.

Hinn máttugi regndropi

Á árunum fyrir aldamótin 1900 gerðu vísindamenn sér grein fyrir því að mikið rof átti sér stað án þess að þeir yrðu varir við rennandi vatn á yfirborðinu, og þetta var þeim allnokkur ráðgáta. Lausn þeirrar gátu birtist mönnum þegar unnt varð að taka háhraðaljósmyndir sem sýndu regndropa skella á bera mold (mynd 18.2). Við það losnar hreyfiorka dropans úr læðingi. Hluti kornanna sem fyrir verða kastast í loft upp en skella síðan niður aftur. Eftir því sem orka dropanna er meiri – þ.e. fleiri og stærri dropar – þeim mun meira verður rofið. Því eru skilyrði fyrir mikið rof af völdum regndropa þar sem mikil úrkoma fellur á stuttum tíma, t.d. í þrumuveðrum þegar rignir jafnvel tugi millimetra á skammri stund – og þá eru regndroparnir bæði stórir og þungir. Gríðarleg orka leysist úr læðingi við slíka veðuratburði.



Mynd 18.3. Lagrof á frosnu yfirborði á tilraunasvæði við Ás í Noregi.

Ekki þarf nema örlítinn halla til að heildarflutningur jarðvegsefna verði mikill undan brekku; jafnvel aðeins örfáar gráður.

Vatnið sem fellur til jarðar myndar oft eins konar filmu á yfirborðinu sem flýtur hægt undan halla og tekur með sér jarðvegskornin sem droparnir hafa losað um, sérstaklega ef mikil úrkoma fellur á skömmum tíma. Af þessu fyrirbrigði er dregið hugtakið „lagrof“ (e. sheet erosion). Ummerki um lagrof eru fyrst og fremst afleiðing mikilla setflutninga, t.d. í ám, en oft sjást líka ummerki um eldra yfirborð jarðvegs áður en rofið átti sér stað, t.d. þar sem mót róta og yfirborðshluta plantna eru komin langt upp fyrir yfirborðið.

Sytrur og skorningar

Ísig, sem segir til um hversu ört vatn sígur ofan í moldina, hefur áhrif á hvort vatnsrof verður eða ekki. Falli meira vatn til yfirborðsins en sem nemur hraða ísigs verður afrennsli. Það eru þó ekki aðeins eiginleikar moldarinnar sem móta ísigið, gróðurhulan er þar einnig lykilatriði. Þar sem mikið vatn fellur á bert yfirborð og halli er á landinu tekur vatn að safnast saman í rásir, fyrst litlar rásir sem hafa fengið heitið „sytrur“ (e.



Mynd 18.4. Sytrur (e. rills). Sytrur eru grunnar vatnsrásir í yfirborðinu sem geta valdið miklu jarðvegsrofi. Mynd: USDA-NRCS/South Dakota Conservation District.

rills). Vatnið í rásunum flytur vatn frá lagrofi, en einnig grafa sytrurnar niður í jarðveginn og auka styrk moldarefna í vatninu: þær auka á rofið (mynd 18.4). Þær eru því ummerki um mikið vatnsrof. Ef moldin er þykk eða ef laus setlög eru undir moldaryfirborðinu geta sytrurnar dýpkað og myndað djúpar „vatnsrásir“ eða „vatnsskorninga“ (e. gullies), sem eru í raun aðeins djúpar sytrur (mynd 18.5). Samkvæmt gamalli skilgreiningu á vatnsskorningum sem tekur mið af landbúnaði er um að ræða svo djúpa skorninga að traktor komist ekki yfir þá.

Djúpir skorningar myndast í löss-svæði jarðarinnar (þykk áfokslög, sjá 8. kafla um löss) sem valda gríðarlega miklum setflutningum í ám og á haf út. Þar má t.d. nefna Gulafljót í Kína (sjá bók Guðmundar Páls Ólafssonar 2011 um



Mynd 18.5. Vatnsskorningar í gegnum djúpa *eldfjallajörð* í Eþíópíu. Þegar laus mold er svo þykk veldur rofið miklum setflutningum sem hafa áhrif langt út fyrir upprunastað setsins. Eyðileggingin er algjör, líkt og gerist þegar mold tapast af yfirborði lands á Íslandi.

vatnið), sem m.a. á upptök sín í afar þykkum og mjög vatnsskornum löss-setlögum. Djúpir skorningar geta einnig myndast á eldfjallasvæðum þar sem vatnsrof grefur í þykk en laus lög af gjósku, sbr. myndina frá Eþíópíu sem hér fylgir. Algengt er að lítið sem ekkert vatn streymi um vatnsskorninga á þurrari svæðum jarðar nema þegar verður úrfelli sem myndar tímabundið rennsli í farvegum og jafnvel „skyndiflóð“ (e. flashfloods). Kirkby og Bracken birtu gott yfirlit um vatnsskorninga árið 2009.

18.1.2. Líkön fyrir vatnsrof

Vatnsrof í landbúnaðarhéruðum hefur skaðað stóran hluta ræktarlands á jörðinni. Mikilvægt er að geta metið hve vatnsrofið verður mikið miðað við nýtingu landsins hverju sinni, t.d. hvað varðar ræktunaraðferðir, jarðvegsgerð og hvaða sáðjurtir eru notaðar. Á fyrri hluta 20. aldar voru víðfeðm landsvæði brotin undir ræktun í Bandaríkjunum. Í kjölfarið fylgdi jarðvegsrof sem hafði afar neikvæð áhrif á bæði uppskeru og gæði vatns. Jafnframt jókst tíðni flóða í bandarískum stórám, svo sem Missouri- og Mississippi-fljótunum (mynd 18.6). Því hófu bandarískir vísindamenn viðamiklar rannsóknir á vatnsrofi frá ökrum og þróðu síðan líkan sem var ætlað að áætla rofið. Líkanið eða jafnan fékk metnaðarfulla nafngift: „The Universal Soil Loss Equation“, skammstafað USLE, en jafnan er oft kennd við Wishmeier (sjá Mutchler o.fl. 1994). Líkanið hefur reynst afar mikilvægt tæki til að meta vatnsrof á akuryrkjulandi í heiminum. Það hefur verið uppfært og aðlagð að breytilegum aðstæðum, t.d. þar sem frost er í jörðu mikinn hluta ársins.

Með líkaninu er unnt að áætla hvað mikið af jarðvegsefnum tapast af hverjum hektara lands á ári að meðaltali (t/ha/ár). Jafnan er víða notuð til að setja skilyrði fyrir tryggingu á uppskeru; bóndi getur ekki tryggt uppskeruna nema að hætta

á rofi sé innan ásættanlegra marka. Jarðvegsverndarstofnanir nota jöfnuna til þess að vekja athygli á vandamálum og leiðbeina um skynsamlega nýtingu lands.

Jafnan í sinni einföldustu mynd er:

$$A = RKLSCP$$

þar sem **A** er magn rofs (t/ha/ár), **R** er regnþáttur, **K** er rofgirni jarðvegs, **L** er lengd brekku, **S** er halli og lögun brekkunnar, **C** er landnýtingarþáttur en **P** verndaraðgerðir. Hér á eftir verður farið lauslega yfir helstu þætti jöfnunnar, en þeir skýra vel eðli vatnsrofs og því er vert að gefa þeim góðan gaum.

R: Regnþátturinn

Eins og áður sagði skiptir máli með hvaða hætti regn fellur til jarðar. Mikið regn sem fellur á stuttum tíma er líklegra til að valda vatnsrofi en regnúði í langan tíma. Kraftur regndropans er meiri í snörpum skúrum, auk þess sem líklegra er að yfirborðsrennsli verði við slíkar aðstæður. Við notkun á USLE-jöfnunni er stuðst við líkindi á orkumiklu regni sem reiknuð eru út frá úrkomutölum



Mynd 18.6. Flóð í stórflyjóti á meginlandinu. Erica Micheli/European Soil Bureau/Joint Research Center.

eða veðurfarsgögnum fyrir viðkomandi landsvæði.

Tengsl regns og vatnsrofs hafa verið könnuð víða um heim, m.a. með því að koma fyrir búnaði sem líkir eftir regni á vettvangi. Notaðir eru sturtuhausar sem hægt er að stilla, bæði hvað varðar stærð regndropa og vatnsmagn (t.d. lítrar/mín/m²). Oft er sérstakur búnaður notaður til að koma fyrir margvíslegum jarðvegsgerðum undir „regninu“ og jafnvel halla undirlaginu misjafnlega mikið. Þá eru sums staðar rannsóknasvæði við háskólastofnanir þar sem fylgst er náið allt árið með veðurfarsþáttum, afrennsli og jarðvegsrofi í mörgum tilraunareitum sem hafa mismunandi halla, gróðurhulu og ræktartegundir (mynd 18.7).

K: Rofgirni

Mold sem liggur óvarin fyrir roföflunum er misjafnlega rofgjörn. Einkorna silt og finn sandur rofna t.d. auðveldlega, en

leir með mikla samloðun rofnar mun síður. Stór og stöðug samkorn (e. aggregates) veita viðnám gegn jarðvegsrofi (bæði dropanum og rennandi vatni). Lífræn efni stuðla að samkornun og lífrænar trefjar binda jarðveginn saman. Af þeim sökum er frjósamur lífrænn jarðvegur oft stöðugri gagnvart roföflunum en margplægð mold og þar sem gengið hefur á lífrænan forða jarðvegsins. Algengt er að mæla stærð og styrkleika samkorna til að meta viðnám gegn vatnsrofi.

Miklu skiptir hversu auðveldlega úrkoman berst niður í moldina, eins og áður sagði (ísig). Leirjarðvegur erlendis hefur iðulega tregt ísig en sendinn jarðvegur ört ísig. Ef ísigið er ört er minni hætta á yfirborðsrennsli. Hrjúfleiði yfirborðsins er ennfremur mikilvægur hluti K-þáttarins; eftir því sem hann er meiri, þeim mun minni hætta er á yfirborðsrennsli, sérstaklega lagrofi. Stærð og styrkur samkorna er



Mynd 18.7. Tilraunasvæði við Landbúnaðarháskólann í Ási í Noregi þar sem könnuð eru tengsl halla, aðferða við jarðrækt, ræktartegunda og loftslags við jarðvegsrof. Til vinstri er yfirlitsmynd yfir svæðið en til hægri má sjá aðstöðu neðanjarðar þar sem afrennsli af reitunum er safnað saman og magn jarðvegsefna, efnainnihald vatnsins o.fl. er mælt. Tilraunasvæði sem þessi eru víða um heim og þau eru mikilvæg til að ákvarða gildi fyrir roflíkon.

einmitt mikilvægur þáttur í hrjúfleika yfirborðsins (mynd 18.8).

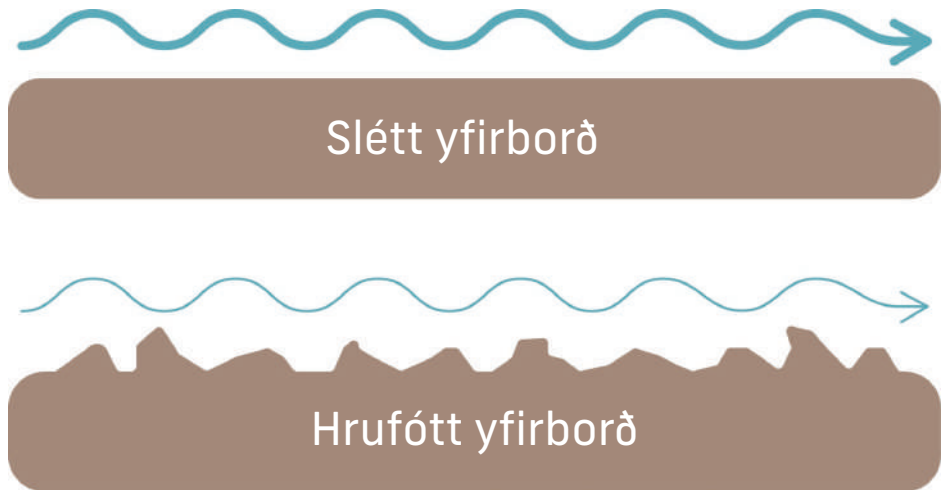
Íslenskum jarðvegi er víða hætt við vatnsrofi, einkum þar sem samkornun er lítil og moldin mjög siltblandin. Leir í íslenskum jarðvegi hefur litla samloðun sem eykur hættu á vatnsrofi. Á móti kemur hæfileiki til að safna lífrænum efnum í jarðveginn sem eykur á samloðun og minnkar rofgirni. Frjó mold með mikið af lífrænum efnum hefur töluverða mótstöðu gegn vatnsrofi. Landnýting sem minnkar lífrænt innihald minnkar mótstöðu gegn vatnsrofi. Vatnsrof getur orðið mjög mikið á illa grónu landi hérlendis, ekki síst á frosinni jörð (sjá síðar), m.a. vegna þess að þar sem gróðurhula hefur rofnað myndast iðulega nokkuð þéttur holklaki undir yfirborðinu sem dregur úr ísigi og stuðlar að vatnsrofi þegar frost er í jörðu (sjá Berglindi Orradóttur o.fl. 2008 og kafla um kulferli).

S: Halli

Það er augljóst að eftir því sem landinu hallar meira, þeim mun hraðar rennur vatn undan brekkunni og því verður vatnsrofið meira. Tengslin eru veldisvaxandi, rofið eykst sem fall af hallanum í öðru veldi. Víða erlendis er bannað að brjóta land til ræktunar ef því hallar mikið, t.d. land sem hallar umfram 8–10°. Það er gert m.a. til að koma í veg fyrir mikinn setburð frá akuryrkjulandi og vernda frjósaman jarðveg.

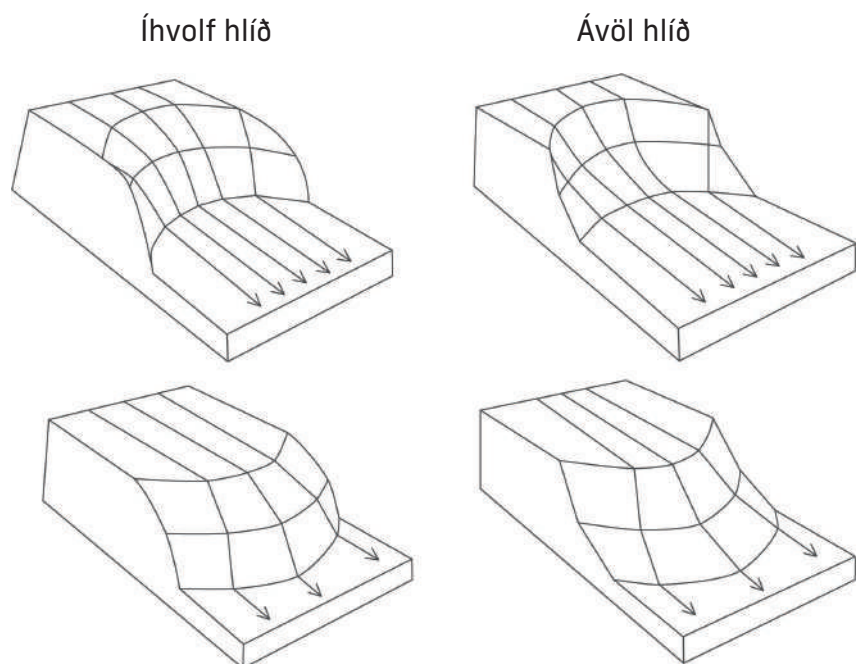
L: Lengd og lögun brekkunnar

Ef það gleymist að setja bíl í gír og handbremsu þegar hann er skilinn eftir í halla þá rennur hann vitaskuld af stað. Rennslið er hægt í byrjun en smám saman eykur hann ferðina eftir því sem brekkan lengist, og ef engin er fyrirstaðan getur hinn mannláusi bíll náð miklum hraða áður en ferðin stöðvast á einhverri fyrirstöðu með tilheyrandi tjóni. Eins er það með rennsli vatnsins, því lengri sem brekkan er, þeim mun meiri hraða nær vatnið. Um leið vex vatnsrofið því



Mynd 18.8. Yfirborðshrjúfleiki og samkornun hamla vatnsrofi. Þykkt bláu örvanna gefur til kynna vatnsrennsli frá jafnstórum úrkomuatburði. Mun minna yfirborðsrennsli verður á hrúfóttu yfirborði. Sama lögmál gildir um vindrof, minni vindhraði verður á yfirborði þar sem yfirborðið er óslétt.

með meiri hraða nær vatnið að rífa upp fleiri og stærri korn. Lögun brekkunnar er mikilvæg. Ávöl form (e. concave) verða til þess að það dregur úr hallanum eftir því sem neðar dregur, sem dregur jafnframt úr rennslisraða. Íhvolft form (e. convex) leiða til vaxandi halla niður brekkuna, rennslisraðinn eykst í sífellu eftir því sem neðar dregur (myndir 18.9 ávöl og íhvolft landslagsform). Þar sem form brekkunnar er íhvolft margfaldast



Mynd 18.9. Ávöl og íhvolft landslagsform. Halli og þar með hraði vatnsrennslis eykst niður íhvolftan (e. convex) halla en minnkar ef formið er ávalt (e. concave). Þetta er mikilvægt atriði er varðar vatnsrof. Móbergshlíðar landsins hafa iðulega íhvolft form þar sem hallinn vex niður brekkuna.

hættan á alvarlegu jarðvegsrofi í samanburði við brekkur sem eru ávalar.

Á Íslandi sjást áhrif þessa þáttar USLE-jöfnunnar mjög vel. Þar sem brekkur eru stuttar, t.d. á milli basalhraunlaga í dölum tertíer-blágrýtismyndunarinnar, er lítið rof. Þessar brekkur hafa ávala lögun og eru yfirleitt vel grónar. Gott rakaástand hjálpar ennfremur til. Móbergshlíðar eru aftur á móti mjög gjarnan með íhvolfa lögun og brekkan því löng og samfelld, enda eru þær iðulega gróðurvana. Þetta er einn þeirra þátta sem hefur stuðlað að örri eyðingu gróðurs og jarðvegs á gosbeltum landsins (sjá ÓA o.fl. 2022). Auk þess er jarðvegi gosbeltisins almennt mjög hætt við rofi, eins og rætt er um síðar (mynd 18.10).

C: Landnýting

Þessi þáttur líkansins tekur til með hvaða hætti landið er nytjað, því landnýtingin, t.d. gróðurhula, aðferðir við plægingu,

ræktartegundir o.fl., skipta miklu máli. Sáðtími er mikilvægur sem og hvort akrar eru berir yfir vetrartímamann, eða hvort landið er plægt að vori en gróðurhula skilin eftir yfir vetrartímamann. Eins og áður sagði er USLE-jafnan fyrst og fremst miðuð við akuryrkjuland en hér gildir vitaskuld almenn skynsemi: eftir því sem gróðurhulan er meiri og hylur landið lengur, þeim mun minni hætta er á rofi. Á síðustu árum hafa rutt sér til rúms aðferðir í akuryrkju þar sem leitast er við að plægja landið sem minnst upp, eða jafnvel alls ekki (e. no-till). Sumar þessara aðferða eru hluti af vistvænum eða lífrænum ræktunaraðferðum.

P: Jarðvegsvernd

Unnt er að haga nýtingu með þeim hætti að hún stuðli að verndun jarðvegsins. T.d. er mikilvægt að plægja ekki upp og niður brekkur, sem leiðir til margfalt meira rofs en ef leitast væri við að plægja þvert á hallann (mynd 18.11). Hér á einnig við að best er að skilja eftir



Mynd 18.10. Móbergshlíðar hafa víða tapað gróðurhulunni. Yfirborð þeirra er viðkvæmt fyrir raski, sem getur valdið miklu rofi því hlíðarnar hafa iðulega langan samfelldan halla með íhvolfa (e. convex) lögun. Myndin er tekin í Þingvallasveit (2020).

gróðurhulu sem lengst eftir því sem hægt er.

Ýmsir gallar USLE-líkansins

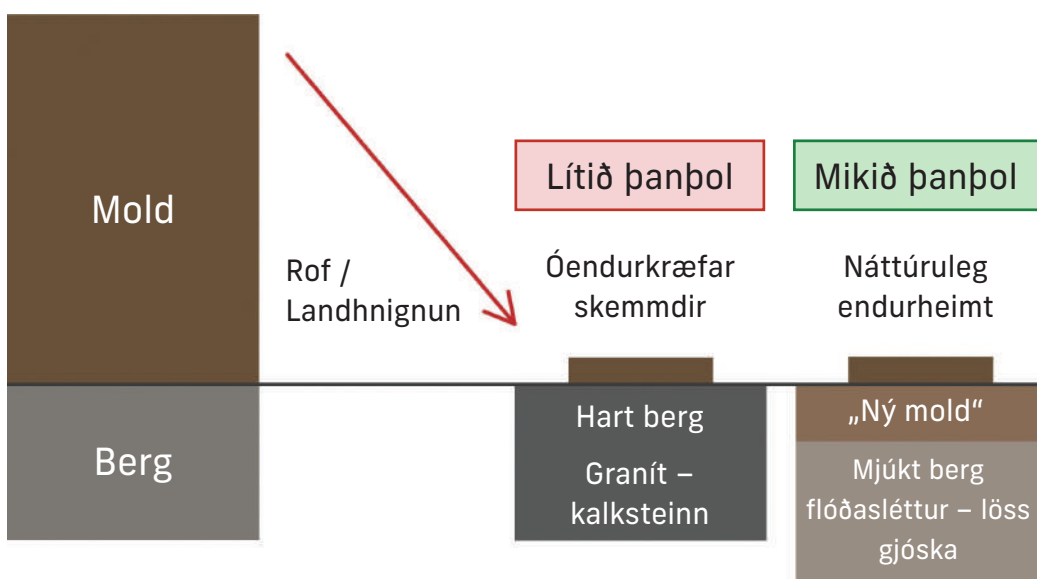
Það er engum vafa undirorpið að USLE-líkanið hjálpar til við að skýra vatnsrof. En vert er að hafa í huga að það er fyrst og fremst þróað fyrir akuryrkjuland sem er plægt reglulega. Það hentar því illa fyrir beitilönd með flókna samsetningu gróins og misvel gróins lands, en samt sem áður hefur líkanið verið notað fyrir slíkar aðstæður. Samtök úthagafræðinga í Bandaríkjunum sáu ástæðu til þess að álykta sérstaklega um að USLE-líkanið hentaði ekki fyrir beitilönd eða útjörð (SRM 1992; sjá einnig Pierson Jr. 2000). Jafnan er jafnframt ekki nothæf þar sem mörg roföfl eru að verki í einu, eins og við rofabörð á Íslandi. Upprunalegar útgáfur tóku ekki tillit til snjóbráðar og frosts í jörðu, en til eru aðrar nýrri jöfnur sem byggjast á USLE þar sem leitast er við að taka snjó og frost með í reikninginn.

Niðurstaða útreikninga með USLE og sambærilegum jöfnum er gefin upp sem tonn jarðvegs sem tapast af hverjum hektara ár hvert (t/ha/ár). Lítið rof, t.d. 2 t/ha/ár, hefur takmörkuð áhrif þar



Mynd 18.11. Hér hefur verið plægt upp og niður halla, sem leiðir til alvarlegs jarðvegsrofs. Ef plægt er þvert á halla má minnka rofið til mikilla muna. Mynd: Soil Atlas of Europe/EU, RJ.

sem moldin er frjó, til þess að gera djúp og endurnýjun (jarðvegsmyndun) nokkuð ör. Setflutningar í ám við slíkt rof verða fremur litlir og viðráðanlegir. En sama rof (2 t/ha/ár) getur verið afar afdrifaríkt þar sem jarðvegur er mjög grunnur (fáir cm) ofan á hörðu bergi þar sem jarðvegsmyndun er hæg. Slíkt rof veldur u.þ.b. 0,1 mm lækkun jarðvegs (e. deflation) á ári, sem er vitaskuld umtalsvert, sérstaklega þar sem jarðvegur er grunnur (sjá mynd 18.12).



Mynd 18.12. Gerð undirlags hefur áhrif á hversu fljótt kerfi geta brugðist við raski. Þar sem laus setlög eru undir getur jarðvegur auðveldlega myndast aftur séu loftslagsskilyrði góð, t.d. í löss-lög (áfok frá jökultíma), ársset á ársléttum og gjósku. Segja má að kerfið hafi þanþol gagnvart slíku raski (háð skilgreiningum á þanþoli). Öðru máli gegnir ef jarðvegur situr á hörðu undirlagi á borð við granít. Ef moldin tapast ofan af slíku bergi tekur afar langan tíma að mynda jarðveg að nýju (árhundruð), auðlindin er þá í raun óendurnýjanleg. Sjá frekari skýringar og dæmi í textanum.

Stallar

Íbúum fornra menningarríkja Asíu, Ameríku og við Miðjarðarhaf var ljóst að mikilvægt væri að sporna við vatnsrofi á ræktarlöndum. Á öllum þessum svæðum voru reist mannvirki þannig að brattar hlíðar urðu að einni samfelldri keðju stalla og vatnið leitt á milli þeirra af mikilli kunnáttusemi.

Mörg þessara mannvirkja eru meðal þeirra mikilfenglegustu og merkilegustu í byggingarsögu mannkyns. Þau eru einnig grunnur lífsviðurværis á bröttum eyjum, svo sem Majorka (mynd 18.14a) og Kanaríeyjum. Þessum ævafornu mannvirkum hefur verið haldið við í árþúsundir í fjalllendi, t.d. í Kína, Víetnam, Nepal og á Ítalíu, svo dæmi séu tekin. Í Evrópu eru þau víða friðuð og fjármunum veitt til viðhalds þeirra úr sameiginlegum sjóðum (umhverfistengdir dreifbýlis- og landbúnaðarstyrkir). Cinque Terre-stallarnir á Norður-Ítalíu eru á heimsminjaskrá UNESCO.



Mynd 18.13 og 18.14. Fornir stallar á Majorka (18.13) og suðurhluta Spánar (18.14) teljast til menningarverðmæta. Jarðrækt án þeirra væri ekki möguleg. Evrópusambandið styrkir viðhald stallanna sem eru afar mikilvægir fyrir fæðuframléiðslu á eyjunni, enda moldin gjöful. Stallar sem eru nýttir við Miðjarðarhafið geta verið mörg þúsund ára gamlir, m.a. frá tímum Rómverja. Mjög gamla stalla er einnig að finna í Asíu og Suður-Ameríku.

Aftur á móti er rof orðið mjög alvarlegt án tillits til jarðvegsdýptar þegar það nær 10–15 t/ha/ár. Lækkun yfirborðs er þá 1–2 mm á ári að meðaltali og setflutningar mjög miklir (1 000–1 500 tonn af ferkílómetra). Áhrif á moldina eru alltaf neikvæð, jafnvel þar sem aðstæður til jarðvegsmyndunar eru mjög góðar, því það eru efstu lögin, sem innihalda mesta lífræna virkni, sem tapast.

Frost og snjóbráð

Á norðlægum slóðum er frost í jörðu stóran hluta ársins. Frostið dregur úr ísigi vatns ofan í jarðveginn, ekki síst á illa grónu landi (sjá kafla um kulferli). Því getur yfirborðsrennsli verið mikið

yfir vetrarmánuðina. Að auki einkennist íslenskt vetrarveður af þíðuköflum allan veturinn á láglandi en bæði vor og haust á hálendi. Ör þíða á frosinni jörð veldur miklu yfirborðsrennsli og vatnsrofi. Á sumrin er ísig yfirleitt ört án tillits til yfirborðsgerðar og því er vatnsrof mun minna að sumarlagi en á veturnum.

Áhrif vatnsrofs utan upprunastaðar

Þau jarðvegsefni sem flytjast með vatni geta valdið miklu tjóni neðan upprunastaðar (e. off-site effects). Í nærumhverfinu fyllir moldin vatnsveitulón og hefur áhrif á rennsli í ám og lækjum. Þar sem moldin sest til hækkar árbotninn og landslagið og flóðahætta eykst í kjölfarið. Árfarvegir geta smám

saman risið upp fyrir umhverfið og jafnvel stíflugarða sem reistir hafa verið til varnar flóðum. Þegar svo er komið verða afleiðingar flóða sem ná yfir varnargarðana geigvænlegar. Aurburðurinn hefur afar neikvæð áhrif á lífríki straum- og stöðuvatna með margvíslegum hætti – honum fylgir mengun, hann dempar orkunám (sólarijós), breytir búsvæðum og aðstæðum til hrygningar í vatninu og lífsafkomu fiska og annarra lífvera, svo dæmi séu nefnd.

Á grunnsævi eru mikilvægar vaxtarstöðvar nytjastofna fisks, m.a. á Íslandi, sem verða fyrir skaða þegar aurburður verður mikill í ám. Moldin stíflar einnig fráveitukerfi í stórum stíl þar sem akuryrkja er stunduð á þéttbýlum svæðum, t.d. í Evrópu. Þar sem gruggugt vatn berst í stöðuvötn og á grunnsævi

getur það valdið þörungablóma sem lokar fyrir sólarijós og hefur alvarlegar afleiðingar fyrir lífríkið. Slík svæði við mynni stórfljóta (t.d. ármynni Mississippi í Mexíkóflóa) eru kölluð „dauðasvæði“ (e. dead-zones). Stærð þeirra og áhrif eru í beinu samhengi við þá tegund landbúnaðar sem stunduð er á vatnasviði þessara fljóta (mynd 18.15).

18.1.3. Vindrof

Á stórum hluta lands á jörðinni fellur fremur lítil úrkoma og þurrkaeyðimerkur eru því afar víðfeðmar. Loftslag sem telst mjög þurrt í skilningi jarðvegsfræðinnar (e. aridic) hylur um 23% lands á jörðinni (Wilding og West 2012). Vindrof er algengt á þessum svæðum og er ráðandi ferli þar sem gróður er minnstur, t.d. í Sahara, Góbí og fleiri gróðursnauðum



Mynd 18.15. Dauðasvæði við ármynni Mississippi-fljóts í Mexíkóflóa. Mold sem losnar af ökrum á vatnasviðinu hefur gríðarleg áhrif á lífríki flóans. Mynd: NASA, USA.

eyðimörkum. Sérstök undirgrein vísinda fjallar um landmótun eyðimarka (e. desert geomorphology) og nefna má klassískar bækur um efnið eins og *Desert geomorphology* (Cooke o.fl. 1993) og *Aeolian sand and sand dunes* (Pye og Tsoar 1990). Vindrofsfræðin, þar með talin þróun jöfnu fyrir vindrof, mótuðust þó ekki síður með hliðsjón af akuryrkjulandi þar sem hætta er á vindrofi. Vindrof er einnig mikið rannsakað á sendnum strandsvæðum, m.a. í vestanverðri Evrópu svo sem í Danmörku, Hollandi og á Bretlandseyjum (Derese o.fl. 2010, Sevink o.fl. 2013, Clarke og Rendell 2015).

Vindrof er á fræðimáli kennt við eyjar á Miðjarðarhafi í grennd við Sikiley, Aeolian-eyjar, og ferli vindrofs eru kölluð „aeolian processes“ á ensku (áður stundum líka „eolian“). Fjallað er um vindrof og sanda í sérstökum kafla um íslenska sandumhverfið (17. kafli) og einnig í tveimur yfirlitsgreinum í *Náttúrufræðingnum* (ÓA o.fl. 2019a,b). Rannsóknir á vindrofi eru vaxandi vísindagrein, m.a. vegna áhrifa ryks á vistkerfi, veðurfar, lýðheilsu o.fl. þætti (sjá ÓA o.fl. 2019b).

Vindrofsjafnan. Rannsóknir á vindrofi eiga sér uppruna í verkum bresks verkfræðings að nafni Bagnold sem tók þátt í hernaðarumsvifum Þjóðar sinnar í Norður-Afríku á árunum kringum 1930. Í frítímanum og síðar eftir að heim var komið þróaði hann helstu jöfnurnar sem enn þann dag í dag eru notaðar til að lýsa vindrofi, m.a. í líkanagerð. Niðurstöðurnar birtust í hinu klassíska riti *The physics of blowing sand and desert dunes* (Bagnold 1941). Eftir gríðarlegt vindrof á ökrum í vesturríkjum Bandaríkjanna á millistríðsárunum, sem sannarlega má flokka sem hamfarir og olli mikilli fátækt og fólksflutningum, var tekið að þróa líkan fyrir vindrof á vegum Bandaríkjustjórnar.

Vindgöng (mynd 18.16) voru notuð í miklum mæli við að finna gildi og samhengi vinds og foks fyrir hið nýja líkan, sem fékk einfaldlega heitið „vindrofsjafnan“ (e. Wind Erosion Equation). Í þeirri jöfnu koma fyrir svipaðir þættir og í vatnsrofsjöfnunni (USLE) sem áður var lýst, m.a. með tilliti til rofgirni jarðvegs og landnýtingar. Hér á eftir er lýst meginþáttum jöfnunnar því hún varpar ljósi á eðli vindrofs.



Mynd 18.16. Vindgöng í Big Spring í Texas sem notuð voru til að þróa áfram vindrofsjöfnuna. Þarna er verið að undirbúa tilraun með íslenska mold en niðurstöðurnar sýndu einstæða rofgirni íslenskra jarðvegsefna og gjósku.

Rofgirni. Kornum af silt-stærð er almennt hættast við vindrofi. Leir, og þá einkum lagslíköt, bindur jarðveginn saman. Korn sem eru stærri en u.þ.b. 1 mm eru orðin of stór til að vindur (eða öllu heldur skokkhreyfing) nái að yta við þeim samkvæmt þessum líkönum; reyndar er oft miðað við 0,84 mm í því samhengi. Þá hafa stöðug samkorn í jarðvegi mikla mótstöðu gegn vindrofi. Þess má geta að héraendis fjúka mun stærri korn en sem nemur viðmiðinu 0,84 mm sökum þess að gjóska og glerkorn eru iðulega fremur eðlislétt. Kornin eru jafnframt hrjúfari, sem eykur á rof. Að auki er mikill vindstyrkur hér algengari en gengur og gerist erlendis. Rannsóknir sýna að korn yfir 10 mm í þvermál geta skokkað með vindi á Íslandi (sjá yfirlitsgreinar ÓA o.fl. 2016, 2019a,b) og hin léttu og óreglulega löguðu rykkorn eru líklegri til að berast lengra með vindi en afrúnuð kvarskorn.

Yfirborðshrjúfleiki. Eftir því sem yfirborðið er hrjúfara minnkar vindstyrkur næst yfirborðinu, vindprófillinn verður flatari (minni vindhraði við yfirborðið miðað við t.d. 2 eða 10 m hæð) og því minnkar vindrof (sjá mynd 18.8). Auka má hrjúfleika með plægingu o.fl. auk þess sem stór samkorn auka hrjúfleikann. Gróður myndar yfirborðshrjúfleika og það er iðulega tilgangurinn með skjólbeltum. Skjólbelti sem mynda samfelldar beinar línur geta þó verið til boga og valdið sterkum vindsveipum. Best er að mynda sem ójafnast yfirborð, m.a. með misháum og misdreifðum trjálundum sem geta lyft vindi upp fyrir yfirborðið. Þessi aðferð var m.a. notuð á sendnum strandsvæðum Hollands og Belgíu, og segja má að trjárækt á höfuðborgarsvæðinu og í öðrum bæjum landsins hafi einmitt minnkað meðalvindhraða innan þéttbýlis.

Vindþáttur. Í stað regnþáttar í jöfnunni fyrir vatnsrof kemur vindþáttur; tíðni

þurra storma er höfuðatriði ásamt rofgirni jarðvegsins. Vindrof fer stigvaxandi með vindhraða og því geta fá en öflug óveður valdið langmestu um vindrof. Unnt er að beita tölfræðilegum aðferðum við að reikna líkindi fyrir tíðni mikils vindhraða í þurrum vindáttum út frá veðurfarsgögnum, sem var m.a. gert til að meta hættu á tíðni þurra storma á Háslónssvæðinu. Fleiri veðurfarsþættir eru teknir inn í líkanið, t.d. rakastig í lofti og mold sem og uppgufun.

Lengd – fjarlægð frá hindrun. Vegna þess að skokkefnin valda mestu um vindrof er ljóst að rofmátturinn eykst smám saman undan vindinum eftir því sem meira af skokkefnum bætist í mengi fokafna uns flæðið mettast miðað við þann vindhraða sem veldur fokinu. Þessi þáttur er líkur lengdarþætti vatnsrofsjöfnunnar; því meira vindrof verður eftir því sem lengd akra er meiri undan vindstefnu. Þetta á einnig við náttúrlegar aðstæður og oft er breiddin mikil á söndum landsins (óendanleg í skilningi reiknifræða). En allt sem dregur úr þessari lengd, m.a. kjarrgróður, skjólbelti, stórgrýti o.fl., hefur mikil áhrif á hve vindrof getur orðið mikið. Eins og áður sagði geta löng bein belti, t.d. skjólbelti, valdið vindstrengjum, en óreglulegt yfirborð dregur úr vindrofi.

Gróðurhula. Gróðurhula hindrar vindrof. Þar sem hætt er við vindrofi á ökrum er mikilvægt að skilja eftir stöngulstubbana (e. stubble) að lokinni uppskeru eftir því sem hægt er. Þeim mun smærri sem ógrónir blettir eru, þeim mun minni hætta er á vindrofi; hættan á fokatburðum í ræktarlandi er mest á stórum samfelldum ökrum. Gróður sem hylur yfirborðið og eykur um leið hrjúfleika er mikilvægur þar sem draga þarf úr vindrofi og best er að styðjast við hávaxinn gróður á borð við kjarr og trjágróður. Þetta atriði er m.a. haft í huga við mótun hugmyndafræði

um uppgræðslu til að minnka hættu á sandfoki á Heklusvæðinu þar sem leitast er við að koma á legg trjágróðri.

18.2. Rofmyndir – flokkun rofs á Íslandi

Aðstæður eru um margt aðrar á víðfeðmri útjörð Íslands en t.d. á ökrum eða í úthaga á þurru svæðum meginlandanna. Hér fylgir kafli sem tekur mið af aðstæðum og rannsóknum á jarðvegsrofi á Íslandi. Kynnt er flokkun og kortlagning sem gefur góða heildarmynd af rofi í landinu, en um leið eykst skilningur á því hvaða ferli eru virk á hverjum stað. Hér er m.a. byggt á bókinni *Jarðvegsrof á Íslandi* (ÓA o.fl. 1997). Rofi á auðnum er einnig gefinn sérstakur gaumur, enda er sérstaða íslenskra auðna mikil í alþjóðlegu tilliti, en þó er vísað til sérstaks kafla er varðar sandauðnir landsins.

Við mat á jarðvegsrofi á Íslandi upp úr 1990 var valin sú leið að skipta rofi í nokkra flokka eftir áhrifum þess á landið, í svokallaðar rofmyndir, og síðan virkninni eða hversu alvarlegt það er í 5 rofeinkunnir. Þessi aðferð hentar að mörgu leyti vel fyrir rannsóknir á rofi á beitolöndum, en svipaðri aðferð hefur m.a. verið beitt á Nýja-Sjálandi og víðar.

Jarðvegsrofi á Íslandi er skipt í tvo meginflokka, rof tengt gróðurlendi og rof á auðnum (tafla 18.1). Áður fyrr var nánast einvörðungu litið til rofs sem tengdist gróðurlendi enda voru margir sem töldu að í raun væri ekki jarðvegur á auðnum, sem er vitaskuld fjarri lagi. En segja má að rof tengt gróðurlendi valdi tapi á virkum vistkerfum, þar glatast bæði gróðurhula og moldin undir niðri, full af lífi og lífrænum efnum, en auðnirnar hafa aftur á móti takmarkaða gróðurhulu og ófrjóa mold. En rof á auðnum er vissulega einnig alvarlegt vandamál – það gerir lífsskilyrði gróðurs þar mjög erfið og kemur í veg fyrir náttúrulega framvindu, auk þess sem rofinu fylgir rykmengun, flóð, setmyndun o.s.frv.

Mjög mikill munur er á ástandi lands eftir því hver rofeinkunn (mynd 18.17) þess er, og reynslan sýnir að fremur auðvelt er að ákvarða hana. Mismunandi teikn um rofeinkunn eru notuð fyrir hverja rofmynd fyrir sig (tafla 18.2).

18.3. Rof tengt gróðurlendi

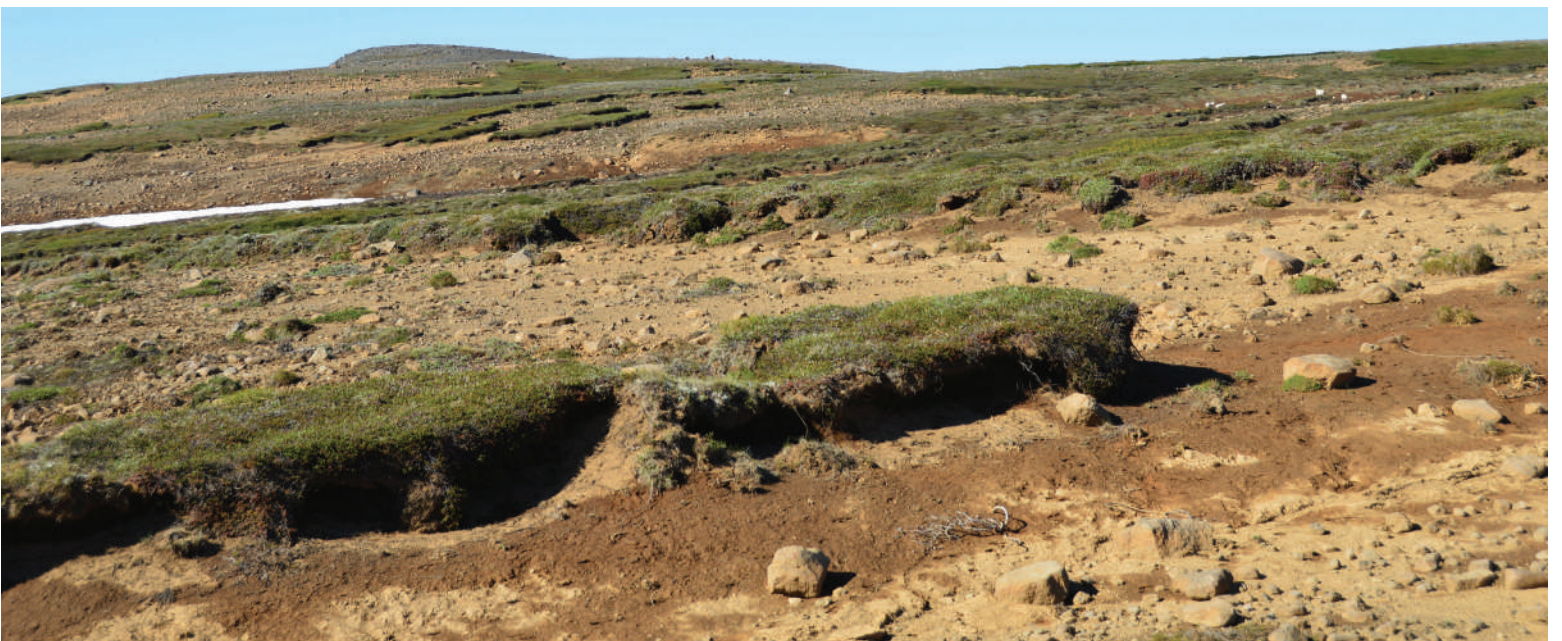
Rof sem tengist eyðingu á grónum vistkerfum var flokkað sérstaklega. Þar með teljast rofmyndir sem flestir hafa

Tafla 18.1. Rofmyndir sem voru grunnur að kortlagningu á jarðvegsrofi á Íslandi.

Rof sem veldur tapi á gróðurlendi	Auðnir
Áfoksgearar	Melar
Rofabörð	Hraun
Rofdílar	Urðarhlíðar
Rofdílar í hliðum / jarðsil	Sandar
Vatnsrásir	Sandmelar
Skriður	Sandhraun
	Moldir

Tafla 18.2. Rofeinkunnir fyrir kortlagningu á jarðvegsrofi á Íslandi.

Rofeinkunn		Almenn lýsing (hver rofmynd hefur sinn kvarða)
0	Ekkert	Engin ummerki um rof
1	Lítið	Óveruleg ummerki um rof, rofið ekki virkt
2	Nokkurt	Minniháttar rofsár
3	Umtalsvert	Virkt en hægfara rof, vaxandi eða minnkandi rof, melar
4	Mikið	Virkt rof eða laus sandur. Land ekki hæft til beitar
5	Mjög mikið	Mjög mikil eyðing, mjög virk rofsár eða laus sandur. Óbeitarhæft



Mynd 18.17. Land með mismunandi rofeinkunn. Mjög mikill munur er á landi eftir rofeinkunn. Efst: rofeinkunn 0, ekkert rof, gott skjól og land í mjög góðu ástandi. Mynd fyrir miðju: gott ástand næst en land með rofeinkunn 3–4 í hlíðinni. Neðsta myndin: rofeinkunn 5, land á lokastigi eyðingar.

tekið eftir, t.d. rofabörð, en einnig rof sem lætur minna yfir sér en er mikilvægt að taka tillit til við mat á ástandi lands, svo sem rofdílar. Rétt er að hafa í huga að ýmsar rofmyndir sem áður ollu rýrnun á gróðurhulu landsins voru mun útbreiddari þá og rofið alvarlegra, m.a. á síðustu öldum, enda hefur gengið mjög á gróðurhuluna – rofið er gengið um garð. Sterkari vistkerfi héldu velli sem og þau sem nutu verndar vegna legu sinnar í landslaginu. Síðan hefur landnýting víða minnkað (fé fækkað og beitartími styst), veðurfar verið tiltölulega hagstætt og ráðist hefur verið í miklar landgræðsluaðgerðir og friðun – allt þetta hefur skilað góðum árangri (mynd 18.18). Annars staðar er þó beit ennþá viðhaldið á svæðum sem alls ekki ætti að nýta til beitar vegna slæmrar stöðu vistkerfa.

18.3.1. Áfoksgeirar

Það rofferli sem hefur mótað ásjónu landsins hvað mest er framrás áfoksgeira. Stór svæði á landinu, bæði á hálendi og láglandi, hafa „farið í sand“

(sjá rammagrein í kafla 17.4) eftir að áfoksgeirar veltust áfram og eirðu engu – yfir land sem áður var frjósamt og gróið. Við tók auðn og sandur. Áfoksgeiri er skilgreindur sem tungulaga sand- og/ eða moldarsvæði sem gengur inn í gróið land (mynd 18.19).

Áfoksgeirar verða virkir þegar til staðar er „náma“ með miklum sandi (kornastærðirnar silt og sandur) – jafnvel uppspretta sem stöðugt bætist í, m.a. við jökuljaðra þar sem jökullænur skila sífellt meira af sandefnum vegna flóða í ám eða eldgosa. Sandurinn berst frá uppsprettunni undan ríkjandi þurrum vindáttum og inn á nærliggjandi gróðurlendi. Áfokið kæfir gróðurinn og við það losnar um jarðvegsefni undan gróðrinum og þau bætast við sandefnin sem berast að áfoksgeiranum. Fínefni (aðallega fínkorna silt) fjúka burt sem ryk svo að kornastærð þeirra verður smám saman grófari (grófkorna silt og sandur) og einsleitari eftir því sem efnin berast lengra frá upprunastað. Ferlið getur stigmagnast undan vindáttinni með stöðugt meira af lausum fokefnum,



Mynd 18.18. Land sem er að gróa saman. Héðinsfjörður.

sérstaklega þar sem moldin undir gróðrinum er gróf, eins og oft er innan gosbeltanna og í grennd þeirra. Þar er moldin jafnframt lausust í sér og því mest hættu á að áfoksgeirar vindi hratt upp á sig. Virkni áfoksgeira varð mikil þar sem bæði var til staðar virk sanduppspretta og þykk og gróf öskulög í jarðveginum, en dæmi um það má m.a. finna á Heklusvæðinu og afréttum sunnanlands þar sem ljósu öskulögin frá Heklu eru þykk (oft 3–10 cm). Þar eru nú víða auðnir sem áður var gróið land.



Mynd 18.19. Áfoksgeiri. Kringlutjörn í Suður-Þingeyjarsýslu. Dæmigerður lítill áfoksgeiri sem á uppruna sinn í lítilli tjörn sem hefur þornað upp vegna þess hve mikil mold hefur borist í hana (Þróstur Eysteinnsson 1994).

Áfoksgeirar valda því að „landið fer í sand“, sem er nefnt „sandification“ á ensku eins og rætt er um í næsta kafla. Geirarnir geta gengið fram tugi og jafnvel hundruð metra á ári og eira þá engu því sem fyrir verður (sjá ÓA o.fl. 1997, 2019a). Dæmi voru um slíka virkni á Mývatnsöræfum 1987–1989 þar sem afmarkaðir áfoksgeirar gengu 10 til meira en 100 m inn á gróið land á ári. Frægur áfoksgeiri gekk frá Hólsfjöllum og Hólssandi á síðustu öld, austan Jökulsár á Fjöllum og niður í Öxarfjörð. Landgræðslan girti áfoksgeirann af árið 1954 og skildi eftir um 300 m belti

gróins lands innan girðingar. Um haustið hafði tekist að stöðva áfoksgeirann með sáningu og áburðargjöf, en sandurinn var kominn að girðingunni (Sveinn Þórarinnsson landgræðsluvörður, munnleg heimild), þ.e. áfoksgeirinn gekk því fram um 300 m þetta ár. Segja má að þessi aðgerð hafi skipt miklu til að vernda byggð á mörgum bæjum í Öxarfirði.



Mynd 18.20. Leifar áfoksgeira ofarlega í Landsveit. Land er vel gróið til beggja handa, sandgeirinn er tungulaga frá hægri til vinstri inn í gróðurlendið. Beinir línur á mörkum geirans og sandsins eru einkennandi. Hlaðnir voru garðar úr grjóti þvert á fokstefnu sandsins með frumstæðum áhöldum og melgresi sáð. Geirinn er tekinn að gróa vel upp, m.a. er birki að sá sér út, sem er afar mikilvægt á þessu svæði til að binda sandinn varanlega, enda hefur náðst að friða svæðið frá beit um nokkra hrið. Mikil saga er að baki gördum sem þessum; þeir voru oft endurhlaðnir og iðulega gekk illa að halda sauðfé frá svæðinu (sjá Robertson o.fl. 2008 og Svein Runólfsson og Örnú Björk Þorsteinsdóttur 2018).

Áfoksgeirar voru mun meira áberandi og virkari áður fyrr og segja má að í lok 19. aldar hafi ríkt skelfilegt ástand víða í Rangárvallasýslu þar sem áfoksgeirar gengu niður Landsveit (mynd 18.20) og Rangárvelli. Þessum atburðum hefur verið lýst vel í bókinni *Sandgræðslan* (Arnór Sigurjónsson 1958). Svo mikill var atgangurinn í verstu sandbyljunum að fólk komst vart út úr húsi og sandur gróf búpening lifandi í útihúsum. Fjöldi bæja lagðist í eyði í braut áfoksgeiranna. Það er afar erfitt að ímynda sér þessar aðstæður nú þegar verstu áfoksgeirarnir hafa verið stöðvaðir. Þeir sem aka þjóðbraut um Hellu eða ofanverða Landsveit gera sér sjaldan grein fyrir því að þarna voru áður víðfeðmir sandar sem nú hafa verið græddir upp.

Menjar áfoksgeira má oft lesa af tiltölulega löngum en beinum skilum í landslaginu á milli gróins og ógróins lands undan þurrum vindáttum. Ummerki áfoksgeira má hins vegar sjá

víða á landinu, m.a. víða í Rangárvallasýslu, sunnan Langjökuls og á Skaftárvæðinu. Sár eftir áfoksgeira eru áberandi í Þingeyjarsýslum og á hálendinu (myndir 18.22 og 18.23 úr *Náttúrufraeðingnum*). Áfoksgeiri gekk niður Hítardal og var mjög virkur á síðustu öld. Þeir hafa einnig myndast uppfrá sandströndum á Vestfjörðum, t.d. í Breiðuvík á Látraströnd (mynd 18.21) og í Sauðlauksdal, en þar hóf einmitt Björn Halldórsson fyrstu skipulögðu baráttuna gegn ágangi sands í kringum 1760.

Sandgræðslan, sem síðar varð Landgræðsla ríkisins og nú Landgræðslan, var stofnuð til höfuðs sandinum á Rangárvöllum og í Landsveit árið 1907 (sjá m.a. *Sáðmenn sandanna*; Friðrik G. Olgeirsson 2007 og *Healing the Land*, Crofts 2011). Stofnunin hefur unnið mikilvæga sigra við að stöðva ágang sandsins á mörgum svæðum á landinu.

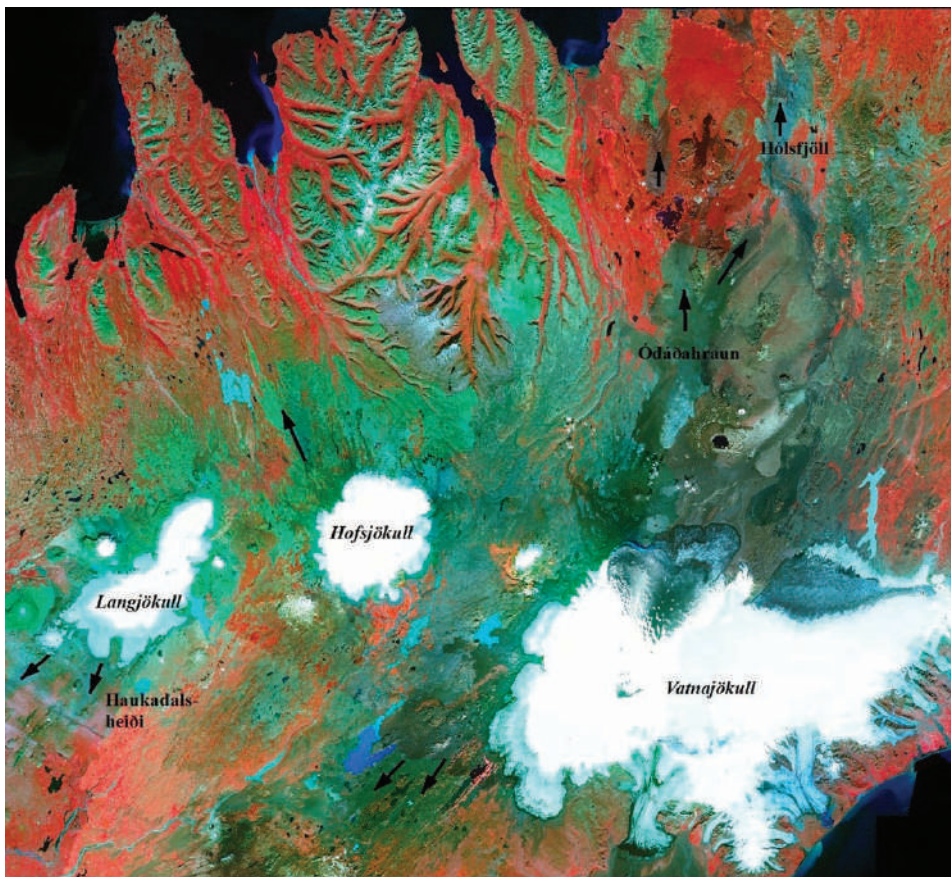


Mynd 18.21. Áfoksgeiri frá sandsvæði á Látraströnd.

Hvaðan kemur sandurinn? Af hverju verða áfoksgeirar virkir? Þegar tekist er á við áfoksgeira er mikilvægt að gera sér grein fyrir hvaðan sandurinn kemur. Sanduppsprettur sem valda framgangi áfoksgeira eru afar margvíslegar. Stundum má greina eða gera sér í hugarlund sanduppsprettu á borð við sandfyllta tjörn eða áreyri sem jökulvatn hefur lónað um. Segja má að framburður undan jöklum sé að stórum hluta frumuppsprettu sandsins, en jökulárnar bera fram mikinn sand.

Í flóðum, t.d. miklum vorflóðum og sumarflóðum, jökulhlaupum í kjölfar eldgosa eða þegar lón undir jöklum tæmast, flæmast árnar víða og leggja til sandefni. Líklegt má telja að upphaf áfoksgeiranna í Landsveit og á Rangárvöllum megi rekja til sands sem féll til þar sem Þjórsá náði að flæmast um í vorflóðum, en einnig barst aska og vikur úr Heklu undan norðanátt og með vatnsflóðum út yfir svæðin þar fyrir neðan. Jarðvegur á þessu svæði var mjög sendinn svo að ferlið vatt auðveldlega upp á sig. Mikil hlaup geta orðið í Jökulsá á Fjöllum við eldgos í norðanverðum Vatnajökli. Sandur sem berst út yfir flatlendið við ána á mjög líklega stóran þátt í myndun áfoksgeira á svæðinu, sérstaklega austan hennar og þá m.a. á Hólsfjöllum. Nokkuð er liðið frá síðasta stórhlaupi og því er minna af sandi á ferðinni nú en áður, en það gæti breyst eftir næsta stórhlaup. Fleiri jökulár mætti nefna þar sem hlaup valda myndun áfoksgeira, t.d. Skaftá.

Þar sem jökulár falla í vötn eða lón með breytilega vatnshæð er einnig mikil hættu á myndun áfoksgeira. Sandvatn sunnan Langjökuls hafði t.d. mjög óstöðuga vatnshæð í kjölfar breytinga á Hagafellsjöklum og vatnsflóða frá þeim (Fanney Ósk Gísladóttir o.fl. 2005, Sigurður Greipsson 2012) og þaðan barst sandur suður Haukadalsheiði í mjög breiðum áfoksgeira. Nú hefur verið



Mynd 18.22. Innrauð gervihnattamynd af hálendi Íslands. Gróður er rauður á myndinni en auðnir grá- eða grænleitar. Örvar sýna suma af þeim áfoksgeirum sem minnst er á í kaflanum (og einnig í 17. kafla), svo sem sunnan Langjökuls, á Eyvindarstaðaheiði, norðvestan Hofsjökuls, og í jöðrum Ódáðahrauns og Hólsfjalla. Gervihnattamynd, NASA.



Mynd 18.23. Áfoksgeirinn á Hólsfjöllum á innrauðri gervihnattamynd, en hann var stöðvaður í Óxarfirði 1954 (sjá mynd 18.24). Gervihnattamynd, NASA.

byggð stífla við útfall vatnsins þannig að vatnsborðið sveiflast ekki og þá er auðveldara að beisla sandinn. Sandur og sendin mold geta einnig borist með vatni undan halla við vatnsrof og myndað síðan uppsprettu áfoksefna. Þannig hagar oft til við tjarnir sem fyllast af seti. Áfoksgeiri í Hítardal myndaðist við mikið rof í móbergshlíðum dalsins sem skilaði sandi niður í dalbotninn sem síðan hóf framrás suður eftir dalnum. Móbergssandur hefur annað yfirbragð en sandur undan jöklum því hann er brúnn og grófur. Þá má nefna gjóskusvæði í nágrenni eldstöðva sem uppsprettur fyrir áfoksgeira.

Sterk gróðurhula er mikilvægasta vörnin gegn áfoksgeirum. Skóglendi og kjarr veita besta skjólið því hávaxinn gróður dregur mjög úr vindhraða við yfirborðið og hefur jafnframt víðtækasta rótarkerfið (mynd 18.25). Eldiviður og raftar voru verðmæti hér á árum áður

(sjá Friðþór Sófus Sigurmundsson o.fl. 2014). Þekkt er að heimafólk hafi reynt að bjarga viði undan sandinum þegar áfoksgeirar gengu yfir skóglendi á Suðurlandi, sem vitaskuld hefur hraðað eyðingarferlinu til muna. Nú á dögum er aftur á móti reynt að rækta skóg á gömlu áfoksgeirasvæðunum á Suðurlandi, m.a. í verkefni sem nefnist Hekluskógar (sjá Elínu Fjólu Þórarinsdóttur o.fl. 2014). Með því er ætlað að binda öskuna sem fellur í eldgosum í Heklu í skóglendi framtíðarinnar svo að hún valdi ekki sandfoki. Raunar ætti að huga að því að auka hlut skóglendis sem mest í nágrenni eldstöðva á borð við Kötlu, Heklu og Eyjafjallajökul (Guðmundur Halldórsson o.fl. 2017, Anna María Ágústsdóttir 2015).

Mikið vantar upp á að landgræðslusvæði á Rangárvöllum og í Landsveit séu orðin nægjanlega stöðug til að hamla hamfarafoki falli yfir þau gjóska í



Mynd 18.24. Áfoksgeirinn í Öxarfirði þar sem framrás sandsins var stöðvuð árið 1954. Sandvæðið er ljóslitað þar sem melgresi ræður ríkjum. Mikilvægt er að varanlegri gróðurþekja festi þarna rætur, helst birkiskógur – sem er ríkjandi náttúrulegt gróðurfar á svæðinu. Mynd tekin árið 2021.

eldgosum (mynd 18.26). Það á einnig við um nágrenni jökulfljótanna sem flæmast um, því birki er fljótt að nema land eftir rask af völdum flóða sé sterk fræppspretta til staðar, en það kemur í veg fyrir sandfok, ágang sands og frekari útbreiðslu auðna. Þróttmiklir birkilundir víða um land geta dreift miklu af fræi um nágrennið og þannig stuðlað að sjálfgræðslu birkis (Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2015, Þóra Ellen Þórhallsdóttir og Kristín Svavarsdóttir 2022, Guðrún Óskarsdóttir o.fl. 2022).

Einnig ætti að hraða landgræðslu-aðgerðum á Hólsfjöllum meðfram Jökulsá með kjarrtegundum á borð við birki og víði. Ennþá skortir verulega skilning á nauðsyn þess að endurheimta landkosti á þessum svæðum, m.a. með beitarfriðun, og koma upp burðugum birkilundum sem gefa af sér fræ.

Melgresi er afar mikilvæg landgræðslu-jurt til að stöðva áfoksgeira, enda eina



Mynd 18.25. Sandur gengur inn í Dimmuborgir. Birki hefur reynst öflug vörn gegn fokinu, en mikilvægt er að auka útbreiðslu þess á ógrónu landi austan og sunnan svæðisins. Á myndinni, sem tekin er að vorlagi áður en birkið laufgast, sést einnig gamall hlaðinn sandvarnargarður.

tegundin sem þolir mikið sandfok. Melur bindur ekki sandinn varanlega svo að annar gróður verður að fylgja í kjölfarið, helst birkiskógur og víðikjarr (sbr. myndir 18.25 og 18.26).



Mynd 18.26. Landgræðslusvæði kennt við Stóra-Klofa í Landsveit. Horft er til Búrfells í Þjórsárdal. Svæðið hafði áður orðið sandi að bráð en er nú óðum að gróa saman og kemur til með að verða að myndarlegum birkiskógi, svipaður þeim sem áður einkenndi svæðið og hafði staðið af sér siendurtekin áföll um þúsundir ára af völdum sandfoks frá Þjórsá og gjóskufalls frá Heklu. Mikilvægt er að skógurinn nái tryggilegri fötfestu á öllu svæðinu áður en það verður nytjað til beitar eða viðartekju á ný.



Mynd 18.27. Sandauðn í Landsveit, sunnarlega í megináfoksgeirunum frá Þjórsá, sem m.a. gengur í gegnum Stóra-Klofa-svæðið (sjá mynd 18.26 í dag). Landið er komið í sand en þó eru moldir ennþá eftir á svæðinu. Á myndinni sést bæjarstæðið á Tjörvastöðum. Skarðsfjall er fyrir miðri mynd og Búrfell sést t.h. Fjöldi bæja fór í sand. Unnin voru mikil afrek á þessum tíma við að stöðva framrás sandsins, m.a. með hleðslu sandvarnargarða vítt og breitt um hinar nýju sandauðnir, sáningu melgresis o.fl. Ferðamaður nútímans áttar sig ekki á þeim hamförum sem þarna áttu sér stað. Mikilvægt er að koma í veg fyrir áföll af þessu tagi með því að klæða slík sandsvæði með birkiskógi. Ljósmynd: G.E. Flensborg 1905. Birt með leyfi Skógræktarinnar.

18.3.2. Rofabörð

Rofabörð eru sú rofmynd sem flestir kannast við, enda geta þau verið afar áberandi í landslaginu (mynd 18.29). Margir hafa orðið til þess að rannsaka rofabörð sérstaklega, t.d. Sturla Friðriksson og Grétar Guðbergsson (1995). Sigurður Þórarinnsson notaði gjarnan rofabörð við rannsóknir á gjóskulögum og uppblæstri í landinu (Sigurður Þórarinnsson 1961). ÓA birti yfirlitsgrein um rofabörð á ensku árið 2000 sem m.a. byggist á rofkortlagningu Rannsóknastofnunar landbúnaðarins og Landgræðslunnar (ÓA o.fl. 1997).

Það sem einkennir rofabörð er að yfirborð gróðurlendisins hörfar ásamt moldinni sem er undir svo eftir verður auðn; það er annaðhvort „allt eða ekkert“ til staðar og stutt þar á milli. Rofabörð eru yfirleitt þykkari en 50 cm og oftlega >2 m að þykkt. Þau eru fremur sjaldséð utan Íslands, en það er vegna þess að aðstæður þar sem áfok er mikið eru fremur sérstakar – það myndast þykkur grófur áfoksjarðvegur.

Moldina skortir samloðun en efst er rótaflag sem hefur meira viðnám en moldin undir og heldur torfunni saman. Það grefst smám saman undan rótaflaginu – rofabarðið hörfar smám

saman. Því valda mörg ferli rofs (mynd 18.30): 1. lárétt regn hamrar stál barðsins í hvassviðri; 2. vatn rennur niður barðið; 3. vindur ber með sér skokkefni undan rötum barðsins og lemur stálið; 4. ísnálar losa um moldina svo hún rennur niður í þíðu; 5. sauðfé raskar moldinni, enda leitar það skjóls við börðin; 6. hrun verður þegar grefst undan rötarmottunni; o.fl. Það er mjög breytilegt á milli ára og landshluta hvaða ferli eru virkust. Vatnsrof er líklega virkasta aflið víða á Suðurlandi þar sem úrkoma er mikil en vindrof á þeim svæðum sem eru þurrust, svo sem á Norðausturlandi.

Rofbakkinn hörfar yfirleitt hægt hvert ár, allt frá fáum mm til >10 cm. Virknin felst ekki síst í því að lengd rofabarða á flatarmálseiningu (t.d. km lengd á hverjum ferkílómetra) getur verið mikil; þau eru jafnvel >10 km löng á hverjum km² lands og ennþá lengri ef miðað er við km² gróins lands. Því getur heildartap verið mikið á virkum rofabarðasvæðum á tilteknum tíma enda þótt hörfun stálsins á hverjum stað telji aðeins fáa cm.

Rofabörð eru afar algeng í landinu, en dreifing þeirra er þó nátengd gosbeltinu og virku áfoki þar sem moldin verður nægjanlega þykk til að mynda stall neðan

Kárahnúkavirkjun og hætta á áfoksgeirum við Háslón

Mikil hætta getur verið á myndun áfoksgeira frá fjöruborði jökullóna með misháa lónhæð. Fíngert set sest til í fjöruborðinu og getur tekið á rás undan þurrum vindum þegar lágt er í lónum fyrri hluta sumars. Áfoksgeirar hafa t.d. myndast út frá fjöruborði Blöndulóns (Borgþór Magnússon o.fl. 2009). Jökulárnar sem renna í Háslón eru meðal gruggugustu vatnsfalla landsins. Á vorin getur lónborð þess verið allt að 75 m lægra en þegar lónið er á yfirfalli síðla sumars.

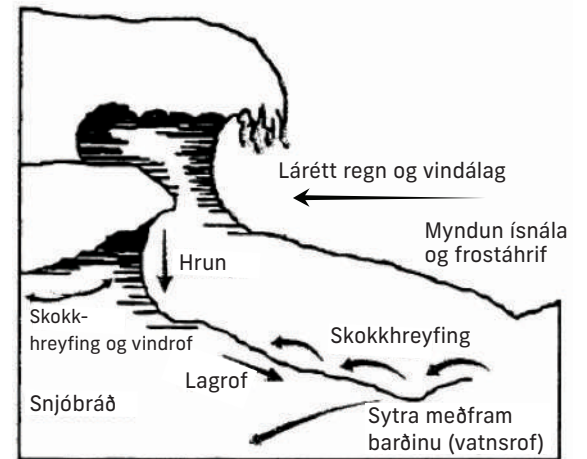
Talin var mikil hætta á myndun áfoksgeira með tilkomu Háslóns og var það ein af ástæðunum sem Skipulagsstofnun tilgreindi þegar virkjuninni var hafnað í umhverfismati. Samkvæmt úrskurði umhverfissráðherra, sem heimilaði virkjunina, ber að koma í veg fyrir myndun áfoksgeira við Háslón. Í þessu skyni hefur m.a. verið grafinn 5 m breiður skurður meðfram lóninu öllu að austanverðu og lagður vegur sem jafnframt er notaður til að varna foki (mynd 18.28)



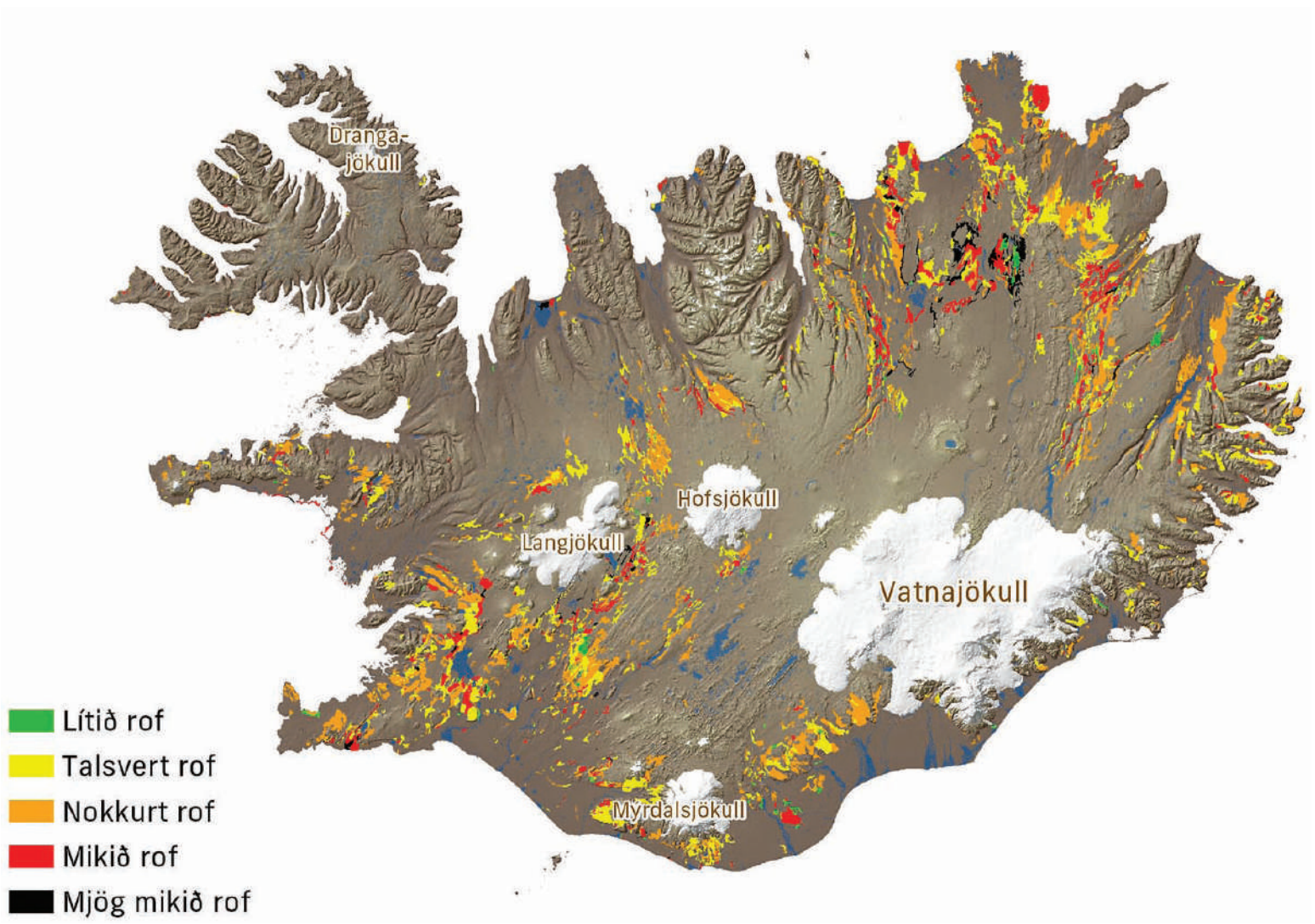
Mynd 18.28. Skurður sem grafinn var meðfram Háslóni til að taka við áfoki. Hér er skurðurinn fullur af vatni.



Mynd 18.29. Stakt rofabarð á fjallshnjúki á Suðurlandi gefur til kynna horfin landgæði. Dæmigert form stakra rofabarða. Mynd: Guðmundur Kr. Jóhannesson / Nærmynd.



Mynd 18.30. Ferli við rofabarð. Teikning úr PhD-ritgerð ÓA. Endurgerð teikning Ásu L. Aradóttur.



Mynd 18.31. Útbreiðsla rofabarða.



Mynd 18.32. Rofabarðasvæði í Þistilfirði í Norður-Þingeyjarsýslu. Rofabarðasvæði sem þessi voru mun útbreiddari hér áður fyrr og moldin hefur horfið að mestu af viðfeðmum svæðum, en einnig hafa rofabörð verið grædd upp og þau gróið í kjölfar fækkunar sauðfjár.

rótarmottunnar (mynd 18.31). Þau eru mjög áberandi á gosbeltunum, allt frá Krísuvík um Grafning í Þingvallasveit og á afréttum á gosbeltum sunnanlands og norðan. Þau eru jafnframt útbreidd í Þingeyjarsýslum, allt frá afréttum Bárðdæla, austur á Vopnafjarðarheiði og Jökuldalsheiði og út í sjó á Tjörnesi, í Öxarfirði, á Melrakkaslétu og þaðan suður, t.a.m. við norðanverðan Þistilfjörð (mynd 18.32).

Rofabörð voru líklega mun útbreiddari fyrr á öldum í samanburði við það sem nú er. Þar sem jarðvegi var hættast við rofi eru börðin, séu þau á annað borð til staðar, iðulega leifar af fyrri gróðurhulu, t.d. á afréttum sunnanlands, svo sem á Biskupstungnaafrétti og víða í Þingeyjarsýslum. Ætla má að áður fyrr hafi mikið rof átt sér stað um lengri eða skemmri tíma á hverju svæði, sem kalla mætti roftímabil. Á þeim tíma hefur lengd rofabarða verið mikil og jafnframt mikið af lausum moldarefnum í jaðri þeirra. Á roftímabilinu hafa gróf jarðvegsefni fokið upp í þann gróður sem enn tórði

og því þykknaði jarðvegur mun örar en áður og varð jafnframt grófari og ennþá hættara við rofi, sem hefur haft þau áhrif að hraða rofinu. Það sem nú sést á þessum svæðum eru torfur þar sem aðstæður hamla gegn rofi, t.d. í lægðum, í skjóli í giljum eða þar sem jarðvegsraki er meiri. Þannig hagar einmitt til með gróðurtorfur á Biskupstungnaafrétti og víðar (mynd 18.33).

Á mörgum svæðum eru rofabörð að gróa upp í kjölfar minnkandi beitar, en einnig hefur víða verið unnið að því að græða þau upp, bæði í byggð og á afréttum.

18.3.3. Rofdílar

Rofdílar eru opin moldarsár í annars heilli gróðurhulu (mynd 18.34). Þeir eru oft 10–100 cm í þvermál en geta verið stærri. Rofdílar eru algengir um land allt. Myndunarsaga þeirra er oft flókin, en rannsóknir á rofdílum má m.a. finna í doktorsritgerð Jóhanns Þórssonar (2008) þar sem samspil gróðurhulu, beitar og frosts kemur við sögu.



Mynd 18.33. Rofabörð og gróðurlendi sem enn tóra. Sandsvæði sem varð til þegar áfoksgæiri gekk til suðurs frá Langjökulssvæðinu er handan hæðarinnar. Hæðin og áin hafa hjálpað til við að hægja á framrás sandsins hérna megin árinna. En rofabörð hafa verið ráðandi rofmynd vestan árinna (t.h.) og þær torfur sem eftir eru sitja þar sem rakaástand er betra eða skjóls hefur gætt fyrir vindi.

Rofdílar myndast gjarnan í þýfðu landi en það er þó ekki einhlítt. Það sem verður til þess að rofsárin opnast er t.d. traðk beitardýra, manna og umferð farartækja, en einnig er algengt að vindnúningur og skaraveður (ísfjúk á vetrum) opni þúfnakolla. Myndun ísnála er iðulega mikilvægur liður í að herða á myndun rofdíla eftir að rask hefur losað um yfirborðið (mynd 18.35). Eftir að rofdíll hefur myndast er hann fremur

stöðugur, þ.e. rofsárið grær ekki svo auðveldlega saman á ný. Líklegt er að ísnálar valdi þar mestu um (sjá 16. kafla um kulferli) en einnig þéttur svörður og hugsanlega næringarþættir á borð við C/N-hlutfall.

Aðstæður í rofdílum ýta undir myndun ísnála vegna rakaheldni og góðrar vatnsleiðni í siltríkri mold. Ísnálarnar lyfta upp nýgræðingi sem reynir að festa rætur í rofdílunum að sumri. Einnig má nefna að yfirborð rofdíllanna er slétt og þétt sem er óhagstætt fyrir fræ margra plantna. Þá veldur frost því að vatn getur legið ofan á rofdílunum á vetrum þegar veður er umhleypingasamt; það getur jafnvel frosið og þiðnað á víxl, sem einnig drepur nýgræðing. Rofdílar lokast oft við það að gróður, t.d. lynggróður, vex smám saman út yfir rofdílinn, en síður við það að plöntur vaxi upp úr moldinni í miðju þeirra. Það getur tekið áratugi, ekki síst í nokkurri hæð yfir sjó.



Mynd 18.34. Rofdílar eru oft til merkis um ofbeit. Eftir að þeir myndast gróa þeir hægt saman því ísnálar, þéttur svörður o.fl. kemur í veg fyrir að þeir grói upp að nýju.

Á láglandi eru rofdílar yfirleitt ummerki um ofbeit, og útbreiðsla þeirra er m.a. notuð til að meta ástand beitilands, svo sem hrossa og sauðfjár (Borgþór Magnússon o.fl. 1997, Sigbrúður Jónsdóttir 2010). Oft myndast rofdílar við tímabundna ofbeit, en landið getur

síðan verið áratugi að gróa saman aftur. Þannig eru rofdílar í beitolöndum, sem mynduðust þegar sauðfé var flest í landinu um 1970, ennþá mjög algengir. Víða má þó sjá ummerki um að rofdílar séu að lokast aftur þar sem fjárfjöldi hefur minnkað, en sú lokun er oft mjög hægfara.

18.3.4. Rofsár í hlíðum/jarðsil

Við kortlagningu á rofi var ákveðið að leggja sérstaka áherslu á rofdíla sem myndast í hlíðum. Yfirborð í hlíðum landsins er jafnframt að skriða hægt og sígandi niður brekkuna – ferli sem er nefnt jarðsil (e. solifluction), en við það myndast ýmist stallar eða tungur í hlíðunum: paldrar og jarðsilstungur (sjá 16. kafla um kulferli). Þar sem opnast rofsár í hlíðum er jarðvegi mjög hætt við rofi því rennandi vatn kemst þá að sárinu. Við kortlagningu á rofi voru ummerki um jarðsil í hlíðum jafnframt

kortlögð en rofeinkunn notuð til að merkja við ummerkin um rofið.

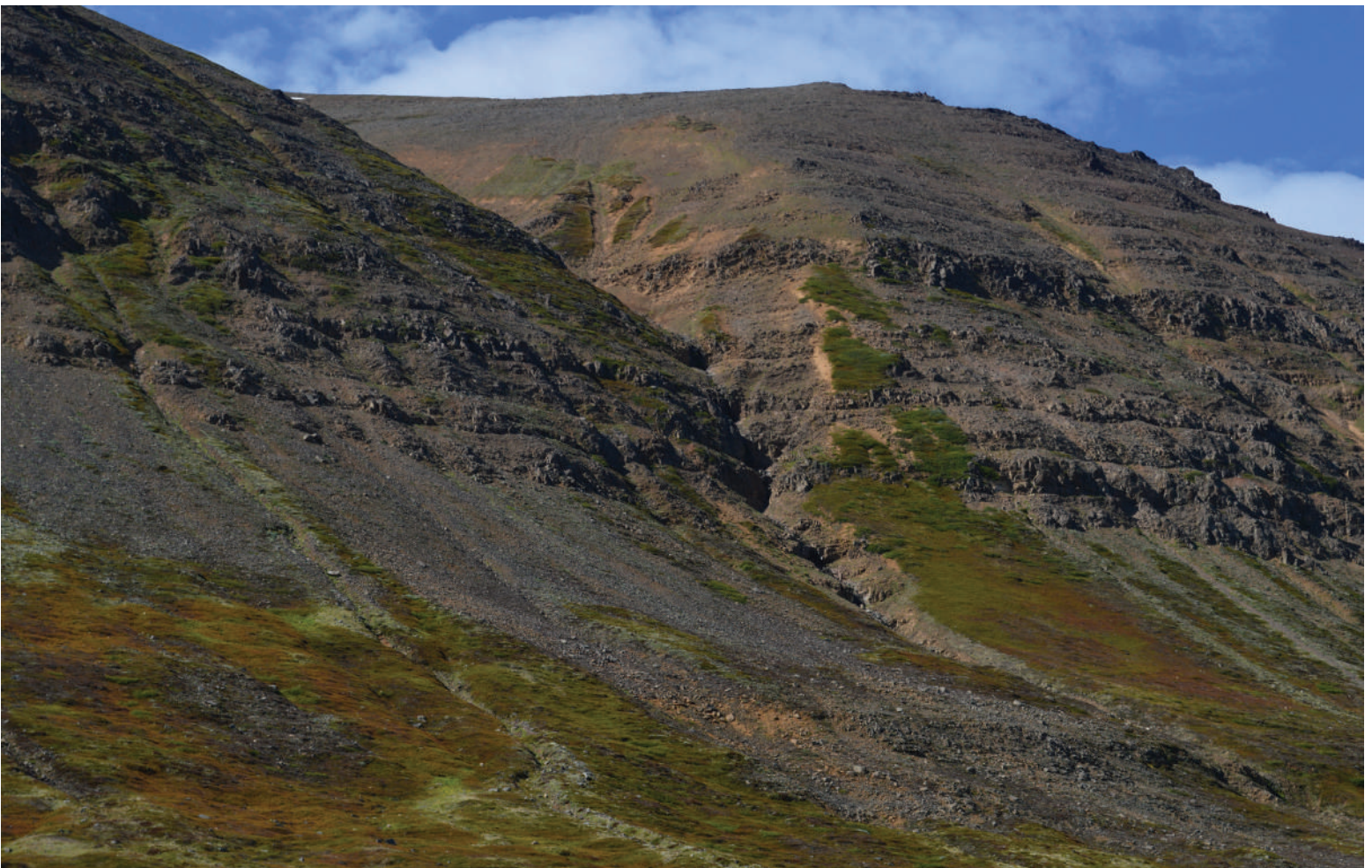
Ummerki um jarðsil eru afar algeng í landinu, en mikil einkenni um rofsár eru sem betur fer ekki eins algeng. Þá ber að hafa í huga að við þúsund ára búsetu í landinu hafa vistkerfi í hlíðum landsins látið undan síga, enda er einna mest hætta á rofi við þær aðstæður. Sums staðar má þó sjá stakar gróðurtorfur í hlíðum sem eru ummerki um horfin vistkerfi og vert að gefa þessum menjum ríkan gaum (mynd 18.36). Mikilvægt er að hafa í huga að rofsár í jarðsilshlíðum sjást iðulega ekki nema að horft sé niður eftir hlíðinni (mynd 18.37).

18.3.5. Vatnsrásir og skriður

Víða hafa myndast vatnsrásir í hlíðum landsins þar sem rennandi vatn kemst að moldinni. Þær geta síðan breikkað og orðið að rofabörðum beggja vegna. Hér



Mynd 18.35. Göngustígur þar sem rofdílar eru teknir að myndast, m.a. vegna þess að ísnálar hafa losað um yfirborðið.



Mynd 18.36. Jarðvegsleifar í hlíðum á Norðurlandi sem benda til þess að þær hafi áður verið mun betur grónar.

er rétt að hafa í huga, eins og á við um rofsár í hlíðum, að þar sem hlíðar eru brattar er moldin víða löngu horfin úr þeim og þar með ummerki um vatnsrásir. Það á ekki síst við um langar brekkur með löngum kúptum (e. convex) halla í hlíðum móbergsfjalla. Vatnsrásir eru því ekki eins algengar hér og vænta mætti þegar haft er í huga að moldin er víða þykk og laus í sér: aðstæður sem gjarna leiða til myndunar vatnsrása erlendis. Dýpstu vatnsrásirnar (e. gullies) er m.a. að finna í þykkum löss-jarðvegi, svo sem í Kína og Bandaríkjunum. Hérlandis er moldin einfaldlega runnin á braut frá viðkvæmustu svæðunum, eins og t.d. úr móbergshlíðum (mynd 18.38).

Moldarskriður eru afar algengar á Íslandi – ummerki þeirra finnast í flestum hlíðum ef vel er að gáð (mynd 18.39). Þær gróa gjarnan saman aftur á nokkrum árum, séu hlíðarnar grónar á annað borð. Íslenskum jarðvegi er almennt mjög hætt við skriðuföllum því hann skortir samloðun sem t.d. blaðsilíkött stuðla að í jarðvegi erlendis. Þá getur moldin tekið við afar miklu vatnsmagni, sem er eitt megineinkenni *eldfjallajarðar*.

Þegar vatnsmettaðri *eldfjallajörð* með sortueiginleika (e. andic soil properties) er raskað nær hún oft flæðimarki (e. liquid limit; sjá kafla um *eldfjallajörð*). Því eru skriðuföll afar algeng á eld-

fjallasvæðum jarðar. Hér á landi bætast kulferli við þær aðstæður sem stuðla að skriðuföllum. Jarðsilstungur velta gjarnan möl og grjóti á undan sér (sbr. melatígla með grjóti í jöðrunum) og hafa þannig rutt upp eins konar grjót-garði að framanverðu sem tefur skriðið en mold safnast saman aftan við. Í miklum vatnsveðrum getur þrýstingurinn orðið of mikill og þá verða skriðuföll. Landnýting hefur mikil áhrif á skriðuföll, hætta á þeim eykst hratt með vaxandi beit og svo er alls staðar í heiminum. Öflugur gróður bindur moldina saman, ekki síst skógur og kjarrgróður með víðtækt rótarkerfi. Snjóhula sem safnast að gróðri temprar einnig áhrif frosts og minnkar áhrif jarðsils. Umferð þungra beitardýra eykur hættu á skriðuföllum, t.d. þar sem hrossum eða nautgripum er beitt á brattar hlíðar. Mest eru áhrif slíkrar beitar þegar jarðvegurinn er vatnsmettaður, ekki síst á vorin og haustin.

18.4. Rof á auðnum

18.4.1. Aðstæður og útbreiðsla

Auðnir þekja um helming Íslands; þær mynda sum af útbreiddustu vistkerfum landsins. Á auðnum á sér stað mikið rof, en sandauðnir landsins teljast á meðal virkustu rofsvæða jarðar. Við flokkun



Mynd 18.37. Horft upp og niður sömu hlíðina. Jarðsilsstallar eru iðulega ógrónir að ofan og hlíðar eru metnar sem illa grónar sé horft niður eftir þeim. Sömu hlíðar geta virkað allvel grónar sé horft upp eftir þeim. Mikil losun CO₂ getur átt sér stað frá hlíðum sem þessum (sjá 22. kafla).



Mynd 18.38. Móbergshlíð í Hítardal. Löng samfelld brekka eykur á vatnsrof – móbergshlíðar eru iðulega illa grónar af þessum sökum.

á rofi á auðnum var annars vegar lagt upp með að greina í sundur helstu yfirborðsflokka auðna, en hins vegar að gefa þeim rofeinkunn. Auðnirnar eru raunar afar mismunandi að gerð, allt frá hraunum og urðarhlíðum til mela og sanda. Gjóskufall, áfok og ágangur sands hefur veruleg áhrif á þær. Þess vegna reyndist mikilvægt að greina á milli mela og sendinna mela (nefndir sandmelar) og einnig hrauna og sendinna hrauna (kölluð sandhraun). Við rofkortlagninguna (ÓA o.fl. 1997) kom í ljós að sendin svæði þekja afar stóran hluta lands (>20 000 km²). Útbreiðsla einstakra gerða auðna, þar sem einnig er greint á milli rofeinkunna, er sýnd á töflu 18.3.

Eins og sést á töflunni eru melar algengastir, en þar eru melasvæði með lítið rof (rofeinkunnir 1 og 2) með mesta útbreiðslu og eru þá innan svæða sem



Mynd 18.39. Á myndinni sjást ummerki eftir gamlar skriður, misvel grónar upp að nýju. Jarðsil er afar virkt í hlíðinni með vel fornuðum tungum. Hér sést mikið í bera mold sem bæði andar frá sér CO₂ og hleypir miklu vatni inn í rigningatið og leysingum.

eru að hluta eða mestu gróin en melar inn á milli. Hreindræktaðir melar, ef svo má að orði komast, eru tæpir 6 600 km² (rofeinkunn 3). Melar með sandi í (sandmelar) eru töluvert útbreiddari (>12 000 km² með rofeinkunn 3 eða hærri). Sendin hraun eru einnig mjög algeng. Hafa ber í huga að þessar tölur taka ekki til fjalllendis í kortlagningu á rofi, en það taldist vera um 9 794 km² og að mestu ógróið. Auðnir með rofeinkunn 3 eða hærri og fjalllendi þekja samtals yfir 40 000 km², sem er af svipaðri stærðargráðu og illa gróið og hálfgróið land samkvæmt kortlagningu Nyttjálans (Fanney Gísladóttir o.fl. 2014).

Stór hluti íslenskra auðna hefur sendið yfirborð og því beinist athyglin fyrst og fremst að vindrofi þegar stöðugleiki sandauðna er metinn. Vindrof er þó aðeins hluti þeirra ferla sem eiga sér stað á auðnum. Hafa ber í huga að á vetrum myndast ógegndræpur holklaki á auðnum. Bæði geta safnast mikil snjóalög í auðnir, en einnig eru vatnsveður fremur tíð á Íslandi á vetrum og þá einnig asahláka. Þegar svo hagar til kemst vatnið ekki ofan í jörðina, heldur

safnast fyrir á yfirborðinu og hefur í för með sér mikið yfirborðsrennsli.

Á sendnum svæðum liggja laus efni á yfirborðinu sem berast með vatninu: vatnsrof getur verið gríðarlega mikið á sandauðnum. Það er vert að taka eftir því að jafnvel í sendnum hraunum, t.d. norðan í Skjaldbreið, þar sem langt er niður á grunnvatn og jarðgrunnurinn er afar gegndræpur, verður mjög mikið vatnsrof í vatnsveðrum á vetrum og í vorflóðum (mynd 18.40).

Áður hefur verið fjallað um myndun ísnála í yfirborði auðna og rofdíla, sem rétt er að hafa í huga varðandi yfirborðsferli á auðnum. Eitt meginmarkmið fyrstu uppgræðsluaðgerða á auðnum er einmitt að koma í veg fyrir myndun ísnála.

Hið svarta yfirborð íslenskra auðna hefur mikil áhrif á vistfræði þeirra, sem og sandfok. Þegar sólin skín getur yfirborðið auðveldlega náð >40 °C, og loftrakin er þá iðulega ansi lítill. Þessir tveir þættir valda mjög örri uppgufun úr efstu lögum auðnanna í sólríku þurrviðri. Þær þorna því fljótt upp, sem stuðlar enn frekar að rofi. Þessi eiginleiki hefur

Tafla 18.3. Auðnir á Íslandi samkvæmt rofkortlagningu (ÓA o.fl. 1997), flokkaðar eftir rofmyndum og rofeinkunnum. Fleiri en ein rofmynd getur komið fyrir innan sama svæðis og því endurspeglar flatarmálistölur ekki heildarflatarmál auðna.

----- Rofeinkunn -----							
Rofmynd	1	2	3	4	5	Samtals	Samtals 3–5
----- km ² -----							
Melar	9939	8456	6580			25.065	6580
Hraun	1832	228	25			2085	25
Sandar	195	337	318	1087	2828	4765	4233
Sandmelar	8	741	5407	6217	1286	13.659	12.910
Sandhraun	10	101	1366	1757	1620	4855	4743
Moldir	17	518	350	65	36	987	451
Urðarhlíðar	64	913	2378	1255	392	5002	4025
Samtals	1265	11.294	16.424	10.381	6162	56.326	32.976



Mynd 18.40. Sandauðn norðan Skjaldbreiðar þar sem vatnsrof er mikið á vetrum. Vindur flytur sand sem borist hefur suður frá jökullænum upp í fjallsræturnar en sem berst síðan aftur með vatni niður í móti.

vitaskuld einnig mikil áhrif á hvernig nýgræðingi reiðir af. Gróðurhulan sem verður til í upphafi landgræðsluaðgerða hefur m.a. þann tilgang að draga úr þessum hitasveiflum og varðveita vatnið með því að minnka uppgufun, auk þess sem komið er í veg fyrir myndun ísnála. Hér á eftir verður fjallað um einstakar rofmyndir auðna, en athygli er vakin á því að fjallað var um sendin yfirborð og sandfok í sérstökum kafla, enda eru íslenskir sandar mikilvægur þáttur í náttúru landsins.

18.4.2. Melar

Melar eru auðnir sem hafa grjót og mól í yfirborðinu sem verndar það að einhverju leyti fyrir vindrofi (mynd 18.41), og því var melum gefin rofeinkunn 3 við rofkortlagningu (sjá innskot hér aftur um

rofeinkunnir og auðnir). Lægri einkunn var gefin þar sem melablettir komu fyrir innan um gróið land. Rannsóknir sýna að þrátt fyrir grjótyfirborðið getur töluvert vindrof átt sér stað á melum, ekki síst í aftakaveðrum. Yfirborðið er með öðrum orðum ekki stöðugt. Við vindrofið bætist vatnsrof og frosthreyfing. Á vetrum myndast ógegndræpur holklaki í melunum og í mikilli úrkomu eða við snjóbráð getur orðið mikið vatnsrof yfir vetrartímann því vatnið kemst ekki ofan í jörðina heldur rennur á yfirborðinu, jafnvel þar sem halli lands er lítill. Þá losa ísnálar um korn á yfirborðinu sem eykur hættu á vatns- og vindrofi. Ísnálarnar lækka m.a. þröskuldsvindhraða og því er mest hættu á vindrofi í kjölfar frosta. Þegar vindorf hefst á melum í aftakaveðrum (vindur >25 m/s) getur eyðingarmátturinn verið mikill; stór

korn takast á loft og lemja allt sem fyrir verður, eins og þekkt er á þeim stöðum þar sem þessar aðstæður ríkja meðfram vegum. Þá geta rúður brotnað undan grjótkasti og lakk á bílum gjöreyðilagst þegar verst lætur.

Melarnir telja margvíslegar yfirborðsgerðir, m.a. jökulurð, malarhjalla, áreyrar o.s.frv., sem vitaskuld er mishætt við rofi eftir því hve grjóthulan er mikil og hve mikið er af jarðvegsefnum í yfirborðinu.

18.4.3. Hraun

Lítil hætta er á rofi í hraunum þar sem lítið er af lausum jarðefnum. Sérstaklega er fjallað um þau svæði þar sem sandur hefur safnast saman í hraun – þ.e. sandhraun.

18.4.4. Urðarhlíðar

Víða á landinu eru brattar hlíðar þaktar grjótmulningi, svokallaðar urðarhlíðar (e. scree-slopes). Grjótið í hlíðunum er óstöðugt og skriður mjög algengar, þótt oftast séu þær litlar. Lítið er um jarðvegsefni (<2 mm) sem gerir þessar hlíðar afar ófrjósamar – jarðvegurinn telst til *bergjarðar*. Sérstaklega eru líparítskriður oft gróðursnauðar (mynd 18.42). Sem fyrr sagði má ætla að margar urðarhlíðar hafi verið mun gróðursælli áður fyrr.

18.4.5. Sandar

Sendin svæði landsins eru yfir 20 000 km² að flatarmáli. Sendin yfirborð eru flokkuð í þrjár megingerðir: **sanda**, **sandmela** og **sendin hraun**.



Mynd 18.41. Melur. Rofabörð í bakgrunnum á miðri mynd endurspeglar horfin landgæði. Nokkur sandur er í yfirborðinu sem flokkast þó sem melur, en ef meira væri af sandi yrði yfirborðið „sandmelur“.



Mynd 18.42. Urðarhlíðar á Suðausturlandi, að mestu gerðar af súru bergi (líparíti).

Fjallað er ítarlegar um sandumhverfið og sandfok í 17. kafla og því er umfjöllun um sanda afar stutt hér (sjá einnig ÓA o.fl. 2019a,b).

Sandar hafa lítið af mól og grjóti í yfirborðinu sem hamla foki. Yfirborðið er alla jafna nokkuð slétt, sem einmitt stuðlar að brattri kúrfu hvað varðar vindhraða; vindhraði við yfirborðið er mikill. Þetta eru þau svæði sem hættast er við vindrofi. Þó er mikill munur á milli svæða, minnstan vind þarf til að hreyfa sand á svæðum þar sem mikið er af siltefnum í yfirborði (oft 4–8 m/s), m.a. þar sem jökulvatn lónar tímabundið á yfirborðinu. Sums staðar hafa sandar verið skilgreindir á gjóskufallssvæðum þar sem gjóskan er tiltölulega gróf (*vikurjörð*), t.d. á Veiðivatnasvæðinu og í nágrenni Heklu, og þá þarf meiri vind til að hreyfa yfirborðið (oft >10 m/s í 2 m

hæð). Sökum óstöðugleika sandanna var þeim yfirleitt gefin einkunn 4 og 5 við rofkortlagningu en skikar með lægri einkunn áttu m.a. við um svæði þar sem sendin svæði komu fyrir innan um land af annarri yfirborðsgerð.

Svart yfirborð sandanna veldur því að þeir eru þurrir, eins og áður hefur komið fram, og ef þeir hitna geta myndast litlir skýstrokkar og rykstrókar (e. dust devils) auk annarra veðurfyrirbrigða.

18.4.6. Moldir

Þar sem gróður hefur rofist af einhverjum orsökum opnast moldarþekjan, t.d. í rofdílum. Stundum hagar því þannig til að stór svæði opnast í einu, t.d. sem stig í þróun áfoksgeira eða af einhverjum öðrum orsökum.

Vandamál einkunnagjafar við mat á rofi á auðnum

Rofkvarðinn sem hér var kynntur er barn síns tíma og ber það með sér að við mótun hans árið 1991 var m.a. lögð minni áhersla á jarðveg auðna meðal fagfólks.

Við mótun kvarðans var lögð höfuðáhersla á að ná utan um tap á gróðurlendi jafnframt því sem reynt var að hafa hann fremur einfaldan. Því voru gróin lönd og auðnir metnar á sama kvarða: melar fengu rofeinkunn 3, sandmelar 4 og sandar rofeinkunn 5. En í raun og veru er rof mun meira á auðnum en t.d. þar sem rofabörð fá sambærilega einkunn. Því hefði verið rétt að teygja mælikvarðann fyrir auðnir þannig að melar fengju einkunn 5 og sandar einkunn 7–10, sem dæmi.

Líklega yrði kvarðinn með þeim hætti ef hann væri þróaður í dag og þannig ætti að nota gögn af þessu tagi við mat á ástandi lands. Því þarf að gæta þess vel með hvaða hætti gögn um jarðvegsrof eru notuð, t.d. við mat á landi eða áætlun á magni rofefna, svo dæmi séu tekin.

18.5. Lokaorð

Jarðvegsrof er einn helsti umhverfisvandi veraldar. Það er fjölbreytilegt en alþjóðleg líkön eru iðulega notuð til að meta magn jarðvegsefna sem tapast með vatni og vindi. Röng landnýting er aðalástæða jarðvegsrofs á heimsvísu. Það er mikilvægur liður í almennri þekkingu á náttúrufræði landsins að kunna skil á einkennum jarðvegsrofs og gera sér grein fyrir því að virkt jarðvegsrof er ekki eðlilegt ástand landsins.

Jarðvegsrof var kortlagt á Íslandi á árunum 1991–1997 og niðurstöðurnar birtar í bókinni *Jarðvegsrof á Íslandi*. Það er ljóst að á fáum svæðum jarðar er jarðvegsrof jafnvirkt og á Íslandi og

afleiðingarnar því mjög afdrifaríkar, eins og fjallað er um í köflunum hér á eftir. Aðferðafræðin sem hér var kynnt fyrir flokkun rofs og einkunnagjöf er ennþá notuð, m.a. af Landgræðslunni í ýmsum verkefnum (sjá m.a. verkefnið GróLind).

Upplýsingar um jarðvegsrof sem safnað var fyrir 1997 hafa enn gildi fyrir flokkun auðna á Íslandi; þær eru undirstaða fyrir líkanagerð um sandfok og rykmyndun á Íslandi, m.a. í alþjóðlegum spálíkönnum. Þá hafa gögn um yfirborðsgerðir auðna verið notuð til að bæta grunnildi við gerð veðurspár fyrir landið í ofurtölvum. Sú þekking á jarðvegsrofi sem lagði grunninn að þessum kafla verður enn fremur undirstaðan í kaflanum um ástand lands almennt í heiminum og ástand vistkerfa á Íslandi.

Heimildir

Anderson, R.S. og S.P. Anderson 2011. *Geomorphology. The Mechanics and Chemistry of Landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Anna María Ágústsdóttir 2015. Ecosystem approach for natural hazard mitigation of volcanic tephra in Iceland: building resilience and sustainability. *Natural Hazards* 78:1669–1691.

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

Bagnold, R.A. 1941. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. William Morrow & Co, New York. Endurútg. Dover, London, UK.

Berglind Orradóttir, S.R. Archer, Ólafur Arnalds, L.P. Wilding og T.L. Thurow 2008. Infiltration in Icelandic Andisols: The role of vegetation and soil frost. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 40:412–421.

Borgþór Magnússon, Ásrún Elmarsdóttir og Björn H. Barkarson 1997. *Hrossahagar. Aðferð til að meta ástand lands. Rannsóknastofnun landbúnaðarins og Landgræðsla ríkisins*, Reykjavík.

Borgþór Magnússon, Olga Kolbrún Vilmundardóttir og Victor Helgason 2009. Vöktun á grunnvatni, gróðri og strönd við Blöndulón. *Lokaskýrsla 1993–2009. Náttúrufræðistofnun NÍ-09017*.

Clarke, M.L. og H.M. Rendell 2015. This restless enemy of all fertility: exploring paradigms of coastal dune management in Western Europe over the last 700 years. *Transactions of the Institute of British Geographers* 40:414–429.

Cooke, R., A. Warren og A. Gouide 1993. *Desert Geomorphology*. UCL Press, London, UK.

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

Derese, C., D. Vandenberghe, N. Eggermont, J. Bastiaens, R. Annaert og P. Van Den Haute 2010. A medieval settlement caught in the sand: optical dating of sand-drifting at Pulle (N Belgium). *Quaternary Geochronology* 5: 336–341.

Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Fanney Ósk Gísladóttir, Arna Björk Þorsteinsdóttir, Sigmundur Helgi Brink og Guðmundur Halldórsson 2014. *Kortlagning á áfallapoli vistkerfa í nágrenni Heklu með tilliti til öskufalls. Skýrsla til Ofanflóðasjóðs. Landgræðsla ríkisins og Landbúnaðarháskóli Íslands*.

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

Fanney Ósk Gísladóttir, Ólafur Arnalds og Guðrún Gísladóttir 2005. The effect of landscape and retreating glaciers on wind erosion in South Iceland. *Land Degradation and Development* 17:177–187.

Fanney Ó. Gísladóttir, Sigmundur Helgi Brink og Ólafur Arnalds 2014. *Nytjaland. Rit Lbhí nr. 49. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri*.

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

Friðrik G. Olgeirsson 2007. *Sáðmenn sandanna. Saga landgræðslu á Íslandi 1907–2007. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti*.

Guðmundur Halldórsson, Anna María Ágústsdóttir, Ása L. Aradóttir, Ólafur Arnalds, C. Nilsson, Hreinn Óskarsson, L. Mortensen, Emmanuel Pagneux, K. Pilli-Sihvola, K. Raulund-Rasmussen, Kristín Svavarsdóttir og A. Tolvanen 2017. *Ecosystem Restoration for Mitigation of Natural Disasters. TemaNord* 2017:546.

Guðmundur Páll Ólafsson 2011. *Vatnið í náttúru Íslands. Mál og menning*, Reykjavík.

Hudson, N. 1985. *Soil Conservation*. 3. útg. Badsford Ltd, UK.

Jóhann Þórsson 2008. *Desertification of high latitude ecosystems: Conceptual models, time-series analyses and experiments. Doktorsritgerð*, Texas A&M University, College Station, Texas, USA.

Kirkby, M.J. og L.J. Bracken 2009. Gully processes and gully dynamics. *Earth Surface Processes and Landforms* 34:1841–1851.

Kirkby, M.J. og R.P.C. Morgan 1980. *Soil Erosion*. Wiley, Chichester, UK.

Morgan, R.P.C. 2004. *Soil Erosion and Conservation*. 3. útg. Wiley-Blackwell, UK.

Mutchler, C.K., C.E. Murphree og K.C. McGregor 1994. Laboratory and field plots for erosion research. Í: R. Lal (ritstj.), *Soil Erosion Research Methods* 2. útg. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA. Bls. 11–37.

Ólafur Arnalds 2000. The Icelandic rofabard soil erosion features. *Earth Surface Processes and Landforms* 25:17–28.

Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir og Fanney Ósk Gísladóttir 2019a. *Sandauðnir, sandfok og ryk á Íslandi I. Sandar og fok. Náttúrufræðingurinn* 89:34–47.

Ólafur Arnalds, Pavla Dagsson-Waldhauserová og Haraldur Ólafsson 2016. The Icelandic volcanic aeolian environment: Processes and impacts – A review. *Aeolian Research* 20:176–195.

Ólafur Arnalds, Pavla Dagsson-Waldhauserová og Sigmundur Helgi Brink 2019b. *Sandauðnir, sandfok og ryk á Íslandi I. Áfok og ryk. Náttúrufræðingurinn* 89:132–145.

Ólafur Arnalds, Bryndís Marteinsdóttir, Sigmundur Helgi Brink og Jóhann Þórsson 2022. A framework model for current land condition in Iceland. *Grein í ritryningu*.

Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemsson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson og Arnór Árnason 1997. *Jarðvegsrof á Íslandi. Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík*.

Pierson Jr., F.B. 2000. Erosion models: use and misuse on rangelands. Í: Ólafur Arnalds og S. Archer (ritstj.), *Rangeland desertification*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland. Bls. 67–87.

Pye, K. og H. Tsoar 1990. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Unwin Hyman Ltd, London, UK.

Ritter, D.F., R.C. Kochel og J.R. Miller 2011. *Process Geomorphology*. 5. útg. Waveland Press Inc, Long Grove, Illinois, USA.

Robertson, A., Sveinn Runólfsson og Ingvi Þorsteinsson 2008. *Grjótgarðar í landgræðslu á Íslandi. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti*.

Sevink, J., E.A. Koster, B. van Geel og J. Wallinga 2013. Drift sands, lakes, and soils: the multiphase Holocene history of the Laarder Wasmeren area near Hilversum, the Netherlands. *The Netherlands Journal of Geosciences-Geologie en Mijnbouw* 92:243–266.

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 Þórarinnsson 1961. Uppblástur á Íslandi í ljósi öskulagarannsóknna. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* 1960–1961:17–54.

Sigprúður Jónsdóttir 2010. Sauðfjárhagar. Leiðbeiningar við mat á ástandi beutilanda. *Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti*.

SRM 1992. Society for Range Management Position Statements. *Trailboss News*, Desember 1992:5.

Stallings, J.H. 1957. *Soil Conservation*. Prentice-Hall, Engelwood Cliffs, New Jersey, USA.

Sturla Friðriksson og Grétar Guðbergsson 1995. Hraði gróðureyðingar við rofabörð. *Freyr* 1995(5):224–231.

Sveinn Runólfsson og Arna Björk Þorsteinsdóttir 2018. Saga sand- og landgræðslu í Skarði í Landsveit. *Rit Landgræðslu ríkisins* 2018/12.

Wilding, L.P. og L.T. West 2012. 33.1 Introduction: General characteristics of soil orders and global distributions. Í: P.M. Huang, L. Yuncong, M.E. Sumner (ritstj.), *Handbook of Soil Sciences. Properties and Processes*. 2. útg. CRC Press, Taylor Francis, New York, USA. Bls. 33.3–33.8.

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

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

Þröstur Eysteinnsson 1994. Áfoksgæiri við Kringlutjörn. Í: Andrés Arnalds (ritstj.), *Græðum Ísland V. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti*. Bls. 135–141.

