

Ísig vatns í jarðveg: Áhrif gróðurs og frosts

Berglind Orradóttir¹, Ólafur Arnalds¹ og Jóhann Þórsson²

¹Landbúnaðarháskóla Íslands, Keldnaholti, 112 Reykjavík

²Department of Rangeland Ecology and Management, Texas A&M University, USA

Inngangur

Þegar ástand lands er metið eru oft notaðir mælikvarðar sem lýsa virkni vatnsferla vistkerfisins. Geta vistkerfis til að taka við, geyma og miðla úrkomuvatni, og stöðugleiki þessara ferla er mikilvægur hluti af vatnshringrás hvers vistkerfis (Pellant et al., 2000). Góður áviti á getu vistkerfis til að taka við úrkomu og leysingavatni er svonefnt ísig (e. infiltration), þ.e. það ferli þegar vatn sígur ofan í jarðveginn. Þættir sem hafa áhrif á ísig eru m.a. veðurfar, landslag, jarðvegur og gróður. Landnotkun getur valdið breytingum á ísigi vegna áhrifa hennar á jarðvegseiginleika og gróðurfar.

Jarðvegsbygging, kornastærð og lífrænt efni í jarðvegi hafa afgerandi áhrif á holurým jarðvegs og þ.a.l. einnig á ísigshraða. Gróður eykur ísig með því að auka hrjúfleika yfirborðs, minnka neikvæð áhrif regndropa á jarðvegsyfirborð og með því að bæta jarðvegsbyggingu (Thurrow, 1991). Áhrif gróðurs eru þó breytileg eftir gróðursamfélögum, þannig er ísigshraði yfirleitt mestur í skógi og kjarrlendi, lægri í graslendi og minnstur í gróðursnaudu landi (Thurrow et al., 1986).

Á norðlægum slóðum getur ísig verið mjög ólíkt að sumri og vetri vegna áhrifa jarðvegsfrosts á holurým og vatnsflæði í jarðveginum. Þetta ræðst þó af gerð þess klaka sem myndast í jarðveginum (Fahey & Lang, 1975; Kane & Stein, 1983; Jones et al., 2001), þ.e. hve mikið klakinn minnkar virka holurým jarðvegsins. Oft er talað um tvær megingerðir jarðvegsklaka, sem er þá flokkaður út frá áhrifum hans á ísig: *Þéttur jarðvegsklaci* (e. concrete frost) einkennist af mjög mörgum, litlum og þéttum ískristöllum og getur dregið mjög úr ísigi eða hindrað það alveg og; *gljúpur jarðvegsklaci* (e. porous frost) einkennist af fáum og stórum ískristöllum og getur aukið ísig samanborið við ófrosinn jarðveg. Jafnframt er talað um *gegndræpan jarðvegsklaka* (e. porous concrete frost) sem svipar til þétts jarðvegsklaka en þéttleiki ískristalla er minni. Eins og nafnið bendir til hripar vatn í gegnum þessa klakagerð en ísig er þó gjarnan minna en í ófrosnum jarðvegi.

Gróður, vatnsinnihald jarðvegs og veðurfar hafa áhrif á hvaða gerð jarðvegsklaka myndast í jarðvegi að vetrum. Þéttur klaci myndast frekar þar sem gróðurþekja er lítil og á opnu landi þar sem snjóþekja er stopul, en gljúpur klaci í skóglendi sérstaklega í laufskógum (Fahey & Lang, 1975). Jafnframt myndast þéttur klaci frekar í jarðvegi með hátt vatnsinnihald (Kane & Stein, 1983). Þá er ljóst að umhleyningar í veðri, þar sem hlýindi og kuldakafar skiptast á, auka líkur á myndun þétts jarðvegsklaka.

Á Íslandi virðast kjöraðstæður til myndunar þétts jarðvegsklaka. Hér hefur skógareyðing verið mikil, eldfjallajörðin getur haldið ógrynni af vatni og umhleypingar í veðurfari er regla frekar en undantekning. Árin 1999 til 2000 var þetta samspil gróðurs, ísigs og jarðvegsklaka kannað í íslenskum gróðurlendum. Hér verður þeirri rannsókn lýst í stórum dráttum og sagt frá helstu niðurstöðum.

Rannsóknarsvæði og aðferðir

Rannsóknin var gerð í átta mismunandi gróðurlendum á þremur svæðum: í birkiskógi, grenireit, graslendi, lúpínubreiðu og sjálfræddu landi í Gunnarsholti á Rangárvöllum; í birkiskógi og graslendi í Hafnarskógi í Borgarfirði; og í lítt grónum mel á Hálsi í Kjós. Þessi svæði voru valin til að fá sem gleggsta mynd af breytileika ísigs eftir ástandi lands og landnotkun. Gróðurlendin í Gunnarsholti eru á uppgræddu landi en gróðurlendin í Hafnarskógi og á Hálsi hafa verið nýtt til beitarráðgjafar um langan aldur og bera þess merki. Á hverju rannsóknarsvæði voru mælingar endurteknaðar innan gróðurlendanna. Því er ekki um raunverulegar endurtekningar á gróðurlendum að ræða innan hvers svæðis, en við gefum okkur, við túlkun niðurstaðna, að þær séu einkennandi fyrir viðkomandi gróðurlendi. Þá forsendu þyrfti að endurskoða síðar þegar frekari gagna hefur verið aflað.

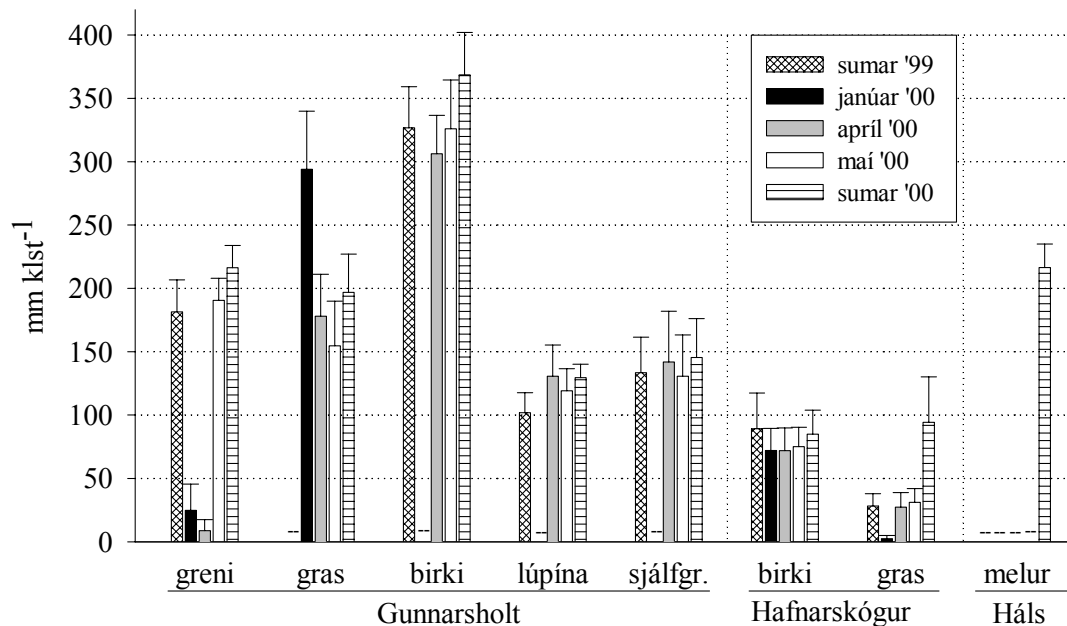
Heildarþekja gróðurs (háplöntur, mosar, fléttur og sina) var 7% í melnum á Hálsi, 67% í sjálfrædda landinu í Gunnarsholti og meiri en 90% í hinum gróðurlendum. Þekja háplantna var mjög mismunandi í gróðurlendum: Háplöntuþekjan var lægst og sambærileg í grenireitnum (2%) í Gunnarsholti og í melnum á Hálsi (3,5%); hærri í lúpínubreiðunni (19%); en hæst og sambærileg (45-68%) í öðrum gróðurlendum. Sina (barnnalar) var stærstur hluti þekjunnar (94%) í grenireitnum en steinar (54%) í mel á Hálsi.

Ísig var mælt fimm sinnum yfir rannsóknatímabilið: Sumarið 1999, í janúar, apríl, maí og sumarið 2000. Ísig var mælt í 40 cm löngum rörum sem komið var fyrir í yfirborði jarðvegs þannig að um 10 cm stóðu uppúr; sex rör í hverju gróðurlendi. Ísigið er mælt þannig að vatni er hellt ofan í rörin og vatnið sem sígur niður er mælt á 5 mín fresti í eina klukkustund. Ísigið er svo reiknað sem meðaltal seinustu þriggja mælinganna. Snjóþekja var mæld í janúar og apríl 2000, og dýpi og gerð jarðvegsklaka metin við hvert rör.

Niðurstöður

Meðalísig mældist lægst 3 mm klst⁻¹ í graslendinu í Hafnarskógi í janúar og hæst 369 mm klst⁻¹ í birkiskóginum í Gunnarsholti sumarið 2000 (1. mynd). Mikill breytileiki í ísigi var áberandi. Þannig var 25 faldur munur á ísigi milli mældidaga í grenireitnum og tvöfaldur munur í graslendinu í Gunnarsholti, og í graslendinu í Hafnarskógi var 37 faldur munur milli sumars 1999 og janúar 2000 og þrefaldur milli sumars 1999 og 2000. Í öðrum gróðurlendum var breytileiki milli mældidaga minni (1. mynd). Ísig var hæst í sumarmælingum í öllum gróðurlendum nema graslendinu í Gunnarsholti (1. mynd). Um veturinn (janúar og apríl) var ísig marktækt herra í birkiskóginum en í hinum gróðurlendum bæði í Gunnarsholti ($p < 0,001$) og í Hafnarskógi (janúar: $p < 0,001$; apríl: $p = 0,067$). Í Gunnarsholti var ísig einnig marktækt ($p < 0,001$) herra í birkiskóginum

samanborið við hin gróðurlendin í sumarmælingum (sumar 1999, maí og sumar 2000). Í Hafnarskógi var ísig í birkiskóginum aftur á móti hærra en í graslendinu sumarið 1999 ($p < 0,05$) og vorið 2000 ($p < 0,05$), en sambærilegt ($p > 0,05$) sumarið 2000. Ísig í mel á Hálsi var aðeins mælt sumarið 2000 og var þá sambærilegt við ísig í grenireitnum og graslendinu í Gunnarsholti (1. mynd).



1. mynd. Meðalísigshraði (\pm staðalskekkja) í grenireit, graslendi, birkiskógi, lúpínubreiðu og sjálfræddu landi í Gunnarsholti (G), í birkiskógi og graslendi í Hafnarskógi (H) og í mel á Hálsi í Kjós.

Veturinn 1999 til 2000 var snjóþungur og fyrsti snjór vetrarins féll á ófrosna jörð í okt/nóv. Í janúar var snjóþekja 100% í öllum gróðurlendum nema graslendinu í Hafnarskógi þar sem hún var 86%. Snjódýpi var marktækt mismunandi milli gróðurlenda ($p < 0,001$): Það var mest (72–114 cm) í birkiskóginum, lúpínubreiðunni og sjálfrædda landinu í Gunnarsholti; minnst (≤ 11 cm) í grenireitnum í Gunnarsholti, graslendinu í Hafnarskógi og melnum á Hálsi; og í meðallagi (25–35 cm) í graslendinu í Gunnarsholti og birkiskóginum í Hafnarskógi. Í apríl var snjór horfinn úr öllum gróðurlendum nema birkiskóginum í Gunnarsholti þar sem þekja var samfelld og snjódýpi um 30 cm.

Um veturinn var dýpi jarðvegsfrosts mest í grenireitnum í Gunnarsholti og í melnum á Hálsi, en minna en 6 cm í öðrum gróðurlendum (1. tafla). Dýpi jarðvegsfrosts jókst frá janúar til apríl í grenireitnum í Gunnarsholti og í birkiskóginum í Hafnarskógi (1. tafla). Í grenireitnum myndaðist þéttur jarðvegsklaki, gegndræpur í graslendinu í Hafnarskógi og í melnum á Hálsi, en gljúpur klaki var í jarðvegi í öllum hinum gróðurlendum. Gerð jarðvegsklakans breyttist ekki frá janúar til apríl (1. tafla).

1. tafla. Meðaldýpi (\pm staðalskekkja) jarðvegsfrosts í grenireit, graslendi, birkiskógi, lúpínubreiðu og sjálfgræddu landi í Gunnarsholti (G), í birkiskógi og graslendi í Hafnarskógi (H) og í mel á Hálsi í Kjós. Mismunandi bókstafir innan dálka sýna marktækan mun ($p < 0.001$) milli gróðurlenda. Stjórnur í apríldálknum sýna mun milli janúar og apríl mælinga innan gróðurlendis (** = $p < 0,01$; * = $p < 0,05$; ÓM = ómarktækt).

Meðaldýpi (cm) jarðvegsfrosts og gerð jarðvegsklaka				
	janúar 2000		apríl 2000	
	Dýpt \pm SE	Gerð klaka	Dýpt \pm SE	Gerð klaka
Gróðurgerð				
G-greni	16.7 \pm 1.3 a	þéttur	19.7 \pm 0.7 a *	þéttur
G-graslendi	1.0 \pm 0.6 c	gljúpur	2.3 \pm 0.6 cd ÓM	gljúpur
G-birki			0.6 \pm 0.9 c	gljúpur
G-lúpína			1.5 \pm 0.6 c	gljúpur
G-sjálfr. land			2.3 \pm 0.3 cd	gljúpur
H-birki	0.7 \pm 0.42 c	gljúpur	4.5 \pm 0.6 d **	gljúpur
H-graslendi	5.3 \pm 2.7 b	gegndræpur	4.3 \pm 0.2 d ÓM	gegndræpur
Háls-melur	20 ¹	gegndræpur	9.6 \pm 0.9 b	gegndræpur

¹ n = 1

Umræður

Ísigshraði að sumri og vetri var sambærilegur í birkiskógunum í Gunnarsholti og Hafnarskógi, og í lúpínubreiðunni og sjálfgrædda landinu í Gunnarsholti. Í þessum gróðurlendum var snjóþekja mikil í janúar (≥ 25 cm), dýpi jarðvegsfrost náði ekki 5 cm og jarðvegsklaki var gljúpur. Hinsvegar var ísigshraði ólíkur að sumri og vetri í grenireitnum í Gunnarsholti, og í graslendinu bæði í Gunnarsholti og Hafnarskógi. Jafnframt var breytingin ólík í þessum gróðurlendum, þ.e. ísig var lægst að vetri í grenireitnum og graslendinu í Hafnarskógi, en í graslendinu í Gunnarsholti var ísigið hæst í janúar. Í graslendinu í Gunnarsholti var jarðvegsklaki gljúpur og snjóþekja og jarðvegsfrost líkt og í gróðurlendum þar sem ísig var sambærilegt milli sumars og veturs. Aukið ísig fylgdi þó aðeins myndun gljúpa klakans í graslendinu, en þekkt er að gljúpur jarðvegsklaki getur aukið holurými jarðvegsins (Blackburn & Wood, 1990).

Þéttur jarðvegsklaki í grenireitnum í Gunnarsholti dróg verulega úr ísigi yfir veturinn. Í graslendinu í Hafnarskógi var gegndræpur klaki sem lækkaði ísig í janúar en ekki apríl þrátt fyrir sambærilegt frostdýpi. Þar er líklegt að frostdýpið hafi verið vanmetið í janúar vegna þess að vatn stóð víða uppi í graslendinu og hindraði mælingar þar. Áhrif gegndræps klaka virðist því ráðast af dýpi jarðvegsfrostsins og þar með lengd frostatímabila. Í melnum á Hálsi var klaki einnig af gegndræpu gerðinni. Þar var þykkur ís í hringjum í janúar sem kom í veg fyrir að hægt væri að meta áhrif jarðvegsklaka á ísigið. Þykkur ísinn er þó vísbending um lágt ísig yfir veturinn þar sem ís var aðeins inni í hringjum en ekki á melnum þar sem úrkomu og leysingavatn gat runnið í burtu undan halla.

Þéttur og gegndræpur klaki myndaðist í jarðvegi með mismunandi þekju: Þar sem heildarþekja gróðurs var strjál (melurinn á Hálsi), alveg samfelld (graslendið í Hafnarskógi), og þar sem gróðurþekja var samfelld en þekja háplantna mjög lítil (grenireiturinn í Gunnarsholti). Aftur á móti myndaðist slíkur jarðvegsklaki aðeins þar sem snjóþekja var þunn (≤ 11 cm). Áhrif gróðursins á myndun jarðvegsklaka virðist því felast í áhrifum gróðurs á snjóþekju. Í graslendinu í Hafnarskógi eru grös allsráðandi, en grös og blómplöntur í melnum á Hálsi þar sem gróður er á annað borð. Lágvaxinn gróðurinn safnar því ekki í sig snjó og landið er opið fyrir vindum og geislum sólar. Þunn snjóþekja í grenireitnum í Gunnarsholti má aftur á móti rekja til þess að snjór sem sest á greinar og nalar grenisins nær ekki niður á skógarbotnin (e. interception) heldur gufar upp af greinunum.

Ísigshraði að sumri var hár ($28\text{-}369$ mm klst^{-1}) eins og þekkt er í eldfjallajarðvegi (Forsythe, 1975). Ísig var nokkru meira í Gunnarsholti og á Hálsi þar sem jarðvegur er sendinn, en í jarðveginum í Hafnarskógi. Í Gunnarsholti var ísig marktækt hærra í birkiskógi en í öðrum gróðurgerðum. Uppgræðsla sem lýtur að því að koma upp birkiskógi virðist því hafa jákvæðari áhrif á vatnsferli vistkerfisins samanborið við hin uppgærddu gróðurlendin sem mælt var í. Þó verður að hafa í huga að ísig fyrir uppgærðsluáðgerðirnar er óþekkt og að aldur uppgærðslanna er mismunandi.

Breytileiki í ísigi að sumri, innan hvers gróðurlendis, var óverulegur nema í graslendinu í Hafnarskógi, þar sem þrefaldur munur var á ísigi sumarið 1999 og vorið 2000 samanborið við sumarið 2000. Graslendið var nýtt til hrossabeitar, en síðla sumars 1999 var mæltreitur í graslendinu girtur af og hafði því verið friðað í eitt ár þegar ísig var mælt sumarið 2000. Gróður innan girðingarinnar varð mun þróttmeiri en utan hennar sumarið 2000. Við álitum að friðunin hafi aukið rótarvöxt sem hafi bætt byggingu jarðvegsins eftir að beit og traðk hrossana hætti. Frost-þíðu ferli hafa hugsanlega losað um þjappaðan jarðveg og stuðlað að myndun samkorna ásamt auknum rótarþrótti, og þannig aukið holurými jarðvegsins. Þetta tvennt hafi valdið auknu ísigi sumarið 2000.

Ályktanir

Hár ísigshraði í þíðum eldfjallajarðvegi bendir til þess að yfirborðsafrennsli og vatnsrof sé ólíklegt þar sem gróðurþekja er samfelld. Aftur á móti getur lágur ísigshraði vegna ógegndræps eða lítt gegndræps jarðvegsklaka skapað aðstæður fyrir jarðvegsrof í hlýjindaköflum að vetri og vori. Slíkur jarðvegsklaki myndaðist á opnu landi, þar sem kjarr- og runnagróður var enginn og snjóþekja var lítil. Slíkar landgerðir hafa aukist til muna frá landnámi (Ása L. Aradóttir & Ólafur Arnalds, 2001). Lítt gegndræpur jarðvegsklaki myndaðist einnig í grenilundinum þrátt fyrir mikla snjóþekju þennan vetur. Þetta bendir til þess að myndun slíks jarðvegsklaka í sígrænu skóglendi, sem eru tiltölulega ný gróðurlendi á Íslandi (Jón Geir Pétursson, 1999), sé algeng. Hafa ber í huga að grenilundurinn þar sem ísigið var mælt er ekki dæmigerður fyrir nytjaskóg þar sem hann hefur aldrei verið grisjaður og er því óvenju þéttur.

Í birkiskógum myndaðist aðeins gljúpur jarðvegsklaki en hann veldur ekki lækkun á ísigshraða. Birkiskógar og kjarr safna í sig snjó og því eru minni líkur á myndun lítt gegndræps eða ógegndræps jarðvegsklaka í þeim. Hafa verður í huga að rannsóknin stóð aðeins í einn vetur og var snjóþekja óvenju mikil. Útbreiðsla og gerð jarðvegsklaka gæti því reynst nokkuð frábrugðin þegar vetur eru umhleyptingasamir. Samt sem áður bendir

hár ísigshraði, bæði að sumri og vetri, í birkiskógum til þess að skógarnir hafi jákvæðari áhrif á vatnsferla samanborið við hin gróðurlendin sem voru rannsökuð. Þetta bendir til þess að skógarnir geti tekið við úrkomu, leysingar- og afrennslisvatni (virkað sem svelgir [e. sinks]) þegar lítt gegndræpur klaki er í öðrum gróðurlendum, og þannig dregið úr vatnsrofi á öllum árstímum og bætt vatnsmiðlun til gróðurs. Niðurstöðurnar benda því til þess að eyðing skóga hafi bæði breytt vatnsferlum vistkerfisins, og kulferlum, m.a. að breyting hafi orðið á útbreiðslu og gerð jarðvegsklaka frá því sem áður var. Jafnframt benda niðurstöðurnar til þess að beit hafi mikil áhrif á ísigið. Áhrif vegna beitar og eyðingar skóganna gætu því hafa leitt til mikilla breytinga á vatns- og kulferlum. Þannig kann beit og skógeyðing að hafa haft víðtækari áhrif á íslensk vistkerfi en menn hafa talið hingað til.

Þakkir

Rannsóknin var styrkt af FS-styrk Rannís og Landgræðslunnar, Framleiðnisjóði, Rannsóknastofnun landbúnaðarins (nú LBHÍ) og Úthagavistfræðideild Texas A&M háskólans. Starfsmenn Rannsóknastofnunar landbúnaðarins og Landgræðslunnar veittu ýmsa ómetanlega aðstoð. Þessum aðilum eru færðar bestu þakkir.

Heimildir

Ása L. Aradóttir & Ólafur Arnalds, 2001. Ecosystem degradation and restoration of birch woodlands in Iceland. In Wielgolaski, F.E. (ed.), *Nordic Mountain Birch Ecosystems*. Paris: Parthenon Publishing Group, 293-306.

Blackburn, W.H. & M.K. Wood, 1990. Influence of soil frost on infiltration of shrub coppice dune and dune interspace soils in southeastern Nevada. *Great Basin Naturalist*, 50:41-46.

Fahey, T.J. & G.E. Lang, 1975. Concrete frost along an elevational gradient in New Hampshire. *Canadian Journal of Forest Research*, 5:700-705.

Forsythe, W.M., 1975. Soil-water relations in soils derived from volcanic ash of Central America. In Bornemisza, E. & A. Alvarado, (eds.), *Soil Management in Tropical America: Proceedings of a Seminar held at CIAT, Cali, Colombia, 1974*. Raleigh, NC: Soil Science Department North Carolina State University, 155-167.

Jones, H.G., J.W. Pomeroy, D.A. Walker & R.W. Hoham, 2001. *Snow ecology. An interdisciplinary examination of snow-covered ecosystems*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 378 pp.

Kane, D.L. & J. Stein, 1983. Water movement into seasonally frozen soils. *Water Resources Research*, 19:1547-1557.

Pellant, M., P. Shaver, D.A. Pyke & J.E. Herrick, 2000. *Interpreting Indicators of Rangeland Health*. Version 3. United States Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center, Information and Communications Group., Denver, CO.

Jón Geir Pétursson, 1999. Skógræktaröldin. *Skógræktarritið 1999*, 2:49-53.

Thurow, T.L., 1991. Hydrology and erosion. In: Heitschmidt, R.K. and J.W. Stuth, (eds.), *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Portland, OR: Timber Press, Inc., 141-159.

Thurow, T.L., W.H. Blackburn & C.A. Jr. Taylor, 1986. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by livestock grazing systems, Edwards Plateau, Texas. *Journal of Range Management*, 39:505-509.