

## Snefilefni í heyi

Hólmgeir Björnsson  
Guðni Þorvaldsson  
Tryggvi Eiríksson





# Snefilefni í heyi

Sýni frá bændum 2007 og úr langtímatilraunum 1964 – 2003

*Trace elements in hay,  
samples from farmers and long-term experiments in Iceland*

Hólmgeir Björnsson  
Guðni Þorvaldsson  
Tryggvi Eiríksson

Desember 2011  
Landbúnaðarháskóli Íslands, auðlindadeild



# Efnisyfirlit

<b>I</b>	<b>Inngangur</b> .....	5
<b>II</b>	<b>Snefilefni járni, mangan, kopar og sink í heysýnum frá árinu 2007, greining á breytileikabáttum og aðhvarfsgreining</b>	
	Inngangur.....	7
	Fóðursýnin.....	7
	Greining á mismun landshluta og á breytileika milli sveita, bæja og sýna á bæ .....	8
	Niðurstöður.....	9
	Annað slembilíkan.....	13
	Tengsl milli snefilefna.....	13
	Umræða .....	14
	Snefilefni í ræktun og fóðri, skortur og eitrun.....	17
	Heimildir.....	19
<b>III</b>	<b>Snefilefni í langtímatilraunum, mælingar á 11 efnum í sýnum frá 1964–2003</b>	
	<b>1. Inngangur</b>	
	1.1 Snefilefni í langtímatilraunum.....	21
	1.2 Snefilefni í jarðvegi .....	22
	<b>2. Val á sýnum</b> .....	23
	<b>3. Aðferðir við úrvinnslu</b> .....	24
	<b>4. Niðurstöður</b>	
	4.1 Dæmigerðar niðurstöður .....	25
	4.2 Járn, Fe.....	26
	4.3 Mangan, Mn.....	27
	4.4 Sink, Zn.....	28
	4.5 Kopar, Cu.....	29
	4.6 Molybden, Mo .....	31
	4.7 Nikkel, Ni .....	32
	4.8 Selen, Se .....	33
	4.9 Kóbolt, Co.....	34
	4.10 Króm, Cr .....	35
	4.11 Kadmíum, Cd.....	36
	4.12 Blý, Pb .....	37

<b>5. Fylgni milli efna, aðhvarf</b>	
5.1 Fylgni á seinna tímabilinu, eftir 1986.....	38
5.2 Nánari greining á tengslum Fe, Ni, Mo, Cu og Co .....	39
5.2.1 Fe og Co, Ni .....	39
5.2.2 Co og log(Fe), Ni.....	40
5.2.3 Cu og Mo.....	41
5.3 Tengsl Mo og Se.....	42
5.4 Helstu niðurstöður um tengsl efna .....	42
<b>6. Snefilefni og uppskera</b>	
6.1 Breyting á upptöku snefilefna.....	43
6.2 Fylgni snefilefna við uppskeru .....	43
<b>7. Helstu niðurstöður</b> .....	44
<b>8. Nokkrar ályktanir</b> .....	46
Heimildir.....	47

#### **IV Markgildi snefilefna í plöntum, fóðri og jarðvegi**

1. Lífsnauðsynleg efni fyrir háplöntur og hæfilegt magn þeirra fyrir eðlilegan vöxt .....	48
2. Flokkun heysýna eftir styrk snefilefna (mg/kg þe.) og þörfum nautgripa .....	48
3. Markgildi þungmálma í plöntum, fóðri dýra og jarðvegi .....	49
Heimildir.....	49

#### **V Trace elements in hay in Iceland, English summary**

I Introduction.....	51
II. The trace elements iron, manganese, copper and zink in hay samples from 2007, variance components and regression analysis.....	51
III. Trace elements in long-term experiments, 11 elements in samples 1964 – 2003.....	53
IV. Tables of adequate levels and critical values in plants, feed and soil.....	55

## Inngangur

Rannsóknir á snefilefnum í gróðri og í fódri búfjár á Íslandi voru fremur litlar fram að þúsaldamótum. Tilefni þeirra var helst ákveðnir sjúkdómar í búfé eða áhrif áburðar-efna, einkum kalks, á snefilefni í gróðri. Rannsóknnum á snefilefnum hefur fjölgað og þær orðið viðameiri eftir því sem auðveldara er að fá þau mæld og á það einnig við um þungmálma.

Meginefni þessa rits er greinar með niðurstöðum úr tveimur viðamiklum rannsóknnum á snefilefnum. Niðurstöður sem tengjast upphaflegu tilefni eða markmiði verkefnanna hafa birst áður. Aðrar niðurstöður birtast hér í II. og III. hluta, en I. hluti ritsins er þessi inngangur. Í IV. hluta eru viðmiðunartöflur og í V. hluta er yfirlit á ensku yfir efni ritsins.

Fyrir um áratug hófst verkefni um riðu, styrkt af EB, og var m.a. fjallað um snefilefni í fódri sauðfjár m.t.t. uppkomu riðu. Snefilefnin Mn, Cu, Mo, Se, Co, Zn og Fe voru mæld í um 170 heysýnum frá 2001–2003 af 47 sauðfjárbúum (Jóhannesson o.fl. 2007). Birtust nokkrar greinar um þessar rannsóknir og staðnæmst var við að einkum gætu járn og mangan verið frumefni sem tengdust viðgangi riðu með einhverjum hætti (Jóhannesson o.fl. 2004, Gudmundsdóttir o.fl. 2006). Í framhaldi af því voru mæld snefilefni í heysýnum frá 2007. Áður hefur verið greint frá niðurstöðum að því er tekur til upphaflegs markmiðs rannsóknarinnar. Í grein í II. hluta ritsins er nánar skýrt frá aðferðum við uppgjör og niðurstöður ítarlegrar greiningar birtar og ræddar.

Til marks um aukna áherslu á rannsóknir á snefilefnum er ráðstefna sem haldin var hér á landi á vegum NJF 2005. Greinar sem voru lagðar fram birtust í Riti LbhÍ nr. 3. Í aðdraganda þessarar ráðstefnu tóku Guðni Þorvaldsson, þá á Rala, og Holger Kirchmann prófessor í SLU, Sænska landbúnaðarháskólanum, þá ákvörðun að mæla snefilefni og þungmálma í sýnum úr langtímatilraunum, úr hveiti í Svíþjóð og frá Íslandi úr tilraunum á túni á tilraunastöðvunum á Sámsstöðum og Skriðuklaustri. Mæld voru 11 efni. Tilgangur rannsóknarinnar var einkum að kanna breytingar sem hefðu orðið á magni snefilefna og þungmálma í uppskeru á um 30 árum og var gerð grein fyrir þeim á ráðstefnu NJF (Kirchmann o.fl. 2005). Í grein í III. hluta þessa rits eru allar niðurstöður efnamælinga á sýnum frá Íslandi birtar. Auk greiningar á því hvort þróun hafi orðið á efnainnihaldi með tímanum eru bornar saman fjórar jarðvegsgerðir og þrjár tegundir nituráburðar sem hafa haft mjög misjöfn áhrif á sýrustig í jarðvegi og þar með aðgengi sumra efna eða útskolun þeirra úr jarðvegi.

Í ýmsum heimildum má finna markgildi snefilefna til að fullnægja þörfum gróðurs og dýra, svo og vegna hættu á eitrun. Þau eru ekki alltaf sett í sama tilgangi og geta því verið misjöfn. Í IV. hluta þessa rits eru töflur með markgildum sem sóttar voru í aðgengilegar heimildir. Þessar töflur eru notaðar til viðmiðunar í umræðum um niðurstöður, einkum úr langtímatilraunum.

Loks er í V. hluta útdráttur á ensku sem nær til alls ritsins. Heimildir, sem vísað er til hér að ofan, eru skráðar í II. og III. hluta með þeim greinum sem fjalla um efnið.





## **Snefilefnin járn, mangan, kopar og sink í heysýnum frá árinu 2007, greining á breytileikabáttum og aðhvarfsgreining**

Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson  
*Landbúnaðarháskóla Íslands, Keldnaholti*

### **Inngangur**

Efnamagn og hlutföll efna í fódri þurfa að vera innan vissra marka til að tryggja heilbrigði búfjár. Mörg snefilefni gegna veigamiklu hlutverki í heildarfóðrinu, enda tengjast sum þessara efna ensímum og próteinum líkamans. Ofgnótt eða hörgull þessara snefilefna getur haft sjúkleg áhrif á starfsemi í frumum og valdið sjúkdómum. Tilgáta hafði verið sett fram um að misvægi snefilefna gæti haft áhrif á uppkomu og viðgang riðu. Fyrir um áratug hófst verkefni sem fjallaði m.a. um rannsóknir á snefilefnum í fódri sauðfjár, einkum með tilliti til áhrifa á riðu. Birtust nokkrar greinar um þetta efni, en staðnæmst var við að einkum gætu járn og mangan verið frumefni sem tengjast viðgangi riðu með einhverjum hætti (Jóhannesson o.fl. 2004, 2007, Gudmundsdóttir o.fl. 2006).

Annað stórt verkefni á liðnum áratug, sem tengist snefilefnum í fódri, var að kanna hugsanlegar ástæður fyrir þrálátum kálfadauða í íslenskri nautgriparækt. Þar var reynt að skoða samsetningu og hlutföll snefilefna í heyfóðri sem hugsanlega ástæðu fyrir kálfadauða (Grétar Hrafn Harðarson o.fl. 2006, Magnús B. Jónsson o.fl. 2008). Tilvitnanir í eldri rannsóknir er að finna í ofangreindum greinum.

Tilgangurinn með því verkefni sem hér er lýst var meðal annars að skoða hvort innihald snefilefna, einkum járn og mangans, í heyi væri frábrugðið milli riðusvæða og riðulausra svæða. Greining á niðurstöðum þess m.t.t. uppkomu riðu hefur áður birst (Tryggvi Eiríksson o.fl. 2010a,b). Í þessari grein eru birtar niðurstöður nánari greiningar, þ.e. á dreifingu mældra gilda milli sýna á sama bæ og milli bæja, hreppa og héraða, aðhvarf að þroska grassins eins og meltanleiki þess sýnir hann reiknað og mismunur slátta fundinn. Á Fræðþingi landbúnaðarins 2010 birtist veggspjaldsgrein með ágripi af helstu niðurstöðum og er það efni endurtekið hér (Tryggvi Eiríksson o.fl. 2010c).

### **Fóðursýnin**

Í rannsóknina voru notuð heysýni frá bændum af uppskeru 2007 sem voru send til efna-greiningar á LbhÍ. Alls bárust 1691 sýni þetta ár og voru snefilefnin járn (Fe), mangan (Mn), kopar (Cu) og sink (Zn) mæld í 1603 sýnum. Af grænfóðri voru 42 sýni og 4 af korni og var þeim sleppt við samanburð á magni snefilefna eftir landshlutum. Hin sýnin 1557 voru 53 úr þurrhevi, 63 úr vothevi, 1426 úr rúlluböggum og 15 úr stórböggum. Áður en til endanlegs uppgjors kom var ákveðið að fella úr 5 sýni af rúlluböggum vegna gilda sem voru dæmd afbrigðileg, 2 sýni með Fe > 5000 mg/kg, 2 sýni með Cu > 40 mg/kg og 1 sýni með Mn > 500 mg/kg. Voru þá eftir 1421 sýni úr rúlluböggum og **1552 sýni** alls í útreikninga. Voru þau tekin á 344 bæjum í 118 hreppum (gamla hreppaskiptingin). Í uppgjöri á Zn var þó einnig sleppt einu sýni með hátt gildi (110, en næsthæst var 79) og mælingar á Zn vantaði á 18 sýnum. Í þessari grein eru einnig sýndar mælingar á grænfóðri og korni þótt þær væru ekki teknar með í samanburði svæða. Eitt grænfóðursýni var fellt niður vegna hás gildis á Fe og er þá 41 sýni eftir.

Mælingarnar voru gerðar í lausnum sem jafnframt voru notaðar fyrir meginsteinefnin. Vigtuð voru tæplega 0,2 g af sýninu á nákvæmnisvog. Sýnin voru soðin yfir nótt (20 klst.) í 5 ml af fullsterkri saltpéturssýru (HNO<sub>3</sub>). Magn efna í lausninni var mælt með tæki sem mælir atómútgeislun frá plasma ICP OES (optical emission spectrometry, tæki frá Spectro Þýskalandi). Í öllum ferlinum voru mæld staðalsýni sem fá nákvæmlega sömu meðferð og fóðursýnin, en þessir staðlar eiga að staðfesta öryggi mælinganna.

## II. Fe, Mn, Cu og Zn í heyi 2007

Notaðir voru tveir staðlar með reglulegu bili í hverri suðu. Annar staðallinn er heimatilbúinn (BHA), hinn er vottaður staðall (Leaves of Poplar NCS CC 73350 frá Promochem). Mælingar voru eðlilegar og gildi staðlanna innan marka fyrir járn og mangan í öllum tilvikum. Fyrir kopar og sink bar aðeins á tilfallandi mengun, sérstaklega fyrir sink. Var hluti sýnanna endursóðinn, en þó kann að vera að einhver gildi hafi farið með sem gætu orkað tvímælis. Ekki er líklegt að það skekki heildarmyndina þar sem oftast eru nokkur sýni frá sama bæ og mælingarnar eru margar.

### Greining á mismun landshluta og á breytileika milli sveita, bæja og sýna á bæ

Landinu var skipt gróft í svæði eftir því hvort riða er á svæðinu eða ekki. Miðað er við að svæði sé riðulaust hafi riða ekki greinst eftir 1980. Flest sýni koma af Suðurlandi og miðhluta Norðurlands.

Skipting í svæði:

- Svæði I** Ekki riða. Snæfellsness- og Hnappadalssýsla, Dalasýsla, Barðastrandarsýslur, Ísafjarðarsýslur, Strandasýsla
- Svæði II** Riða greinst. Húnavatnssýslur, Skagafjarðarsýsla, Eyjafjarðarsýsla
- Svæði III** Riða greinst. Þingeyjarsýslur, Múlasýslur
- Svæði IV** Ekki riða. Austur-Skaftafellssýsla
- Svæði V** Riða óvíða greind og ekki eftir 1984 eða 1990. Vestur-Skaftafellssýsla, Rangárvallasýsla,
- Svæði VI** Riða greinst. Árnessýsla
- Svæði VII** Ekki riða. Gullbringu- og Kjósarsýsla, Borgarfjarðarsýsla, Mýrasýsla

Sýni af heyfóðri, sem send eru til efnagreingar, eru mjög misdreifð eftir héruðum, sveitum og bæjum. Sé efnamagn í fóðri á annað borð eitthvað misjafnt milli landshluta eða svæða má ganga að því sem gefnu að innan þeirra sé einnig nokkur munur héraða og sveita og meðaltöl mældra gilda á svæðum misjöfn eftir því hvernig sýnin dreifast innan þeirra. Í rannsókn á 194 sýnum frá 2003 voru sýni valin með tilliti til þess að þau yrðu nokkuð jafndreifð um sveitir landsins og þannig dregið úr hættunni á að meðaltöl gæfu skekkt mynd, og aðeins valin sýni úr fyrri slætti (Grétar Hrafn Harðarson o.fl. 2006).

Í þessari rannsókn var farin sú leið að líta á hreppinn sem einingu sem gæti sýnt svæðisbundinn breytileika innan landshluta, og innan hreppa er lítið á bæi sem einingar. Farið var með hreppa sem slembiþátt. Misdreifing sýna innan svæðis veldur því hækkunni á skekkju meðaltala. Einnig voru bæir innan hreppa slembiþáttur. Þættir í líkani til uppgjörs voru:

Landshlutar	<i>föst gildi sem á að meta</i>
Hreppar	<i>breytileiki milli hreppa, slembiþáttur</i>
Hreppar/Bæir	<i>breytileiki bæja innan hreppa, slembiþáttur</i>
Hreppar/Bæir/Sýni	<i>breytileiki milli sýna á sama bæ, slembiþáttur, afgangsbreytileiki</i>

Á bæ þar sem mörg sýni voru tekin hefur því hvert sýni um sig lítið vægi, en bærinn fær þó mun meira vægi en ef aðeins eitt sýni hefði verið tekið. Mest vægi fá einstök sýni ef aðeins eitt sýni er tekið af einum bæ í hreppi. Flest sýni voru af búum LbhÍ, 81 frá tveimur búum á Vesturlandi og 52 frá Möðruvöllum.

**Niðurstöður**

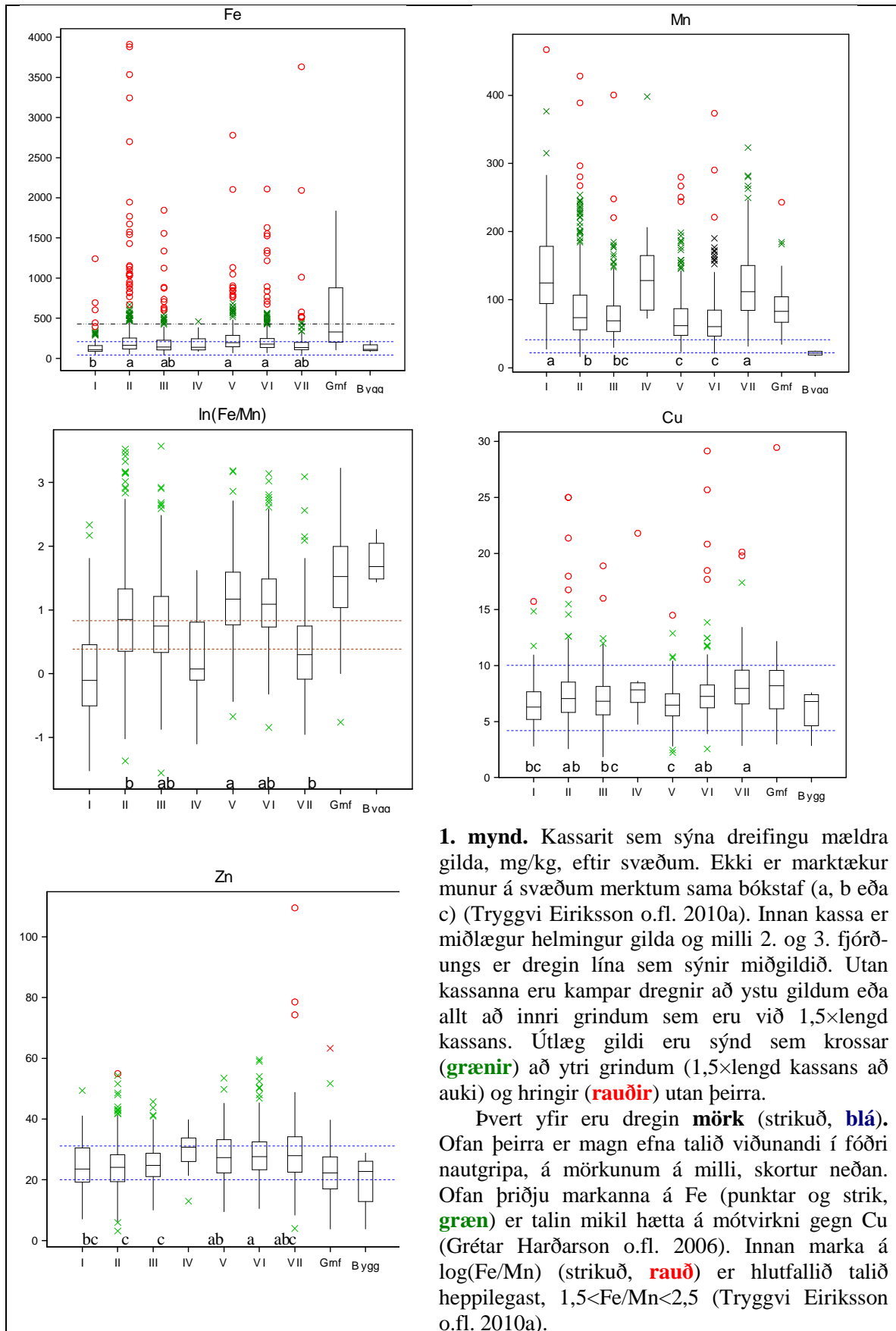
Í 1. töflu er dreifing sýna á sýslur, meðaltöl efna og auk þess miðgildi Fe. Á 1. mynd er dreifing mældra gilda snefilefna, mg/kg af þurrefni, sýnd í kassaritum. Landinu er skipt í 7 svæði og auk þess sýndar mælingar á grænfóðri og bygg. Kassaritin sýna að mælingarnar á Fe og Mn fylgja skekktri dreifingu. Í útreikningum var því unnið með  $\log(\text{Fe})$  og  $\log(\text{Mn})$ , náttúrulega lógariþma. Það nægði þó ekki til að gera dreifinguna á Fe-gildum samhverfa. Dreifingin á Cu er einnig töluvert skekkt, en samt var ákveðið að umreikna ekki gildin í uppgjöri. Neðst á hverja mynd eru færðir inn bókstafir sem sýna spönn meðaltala sem ekki fannst marktækur munur á (sjá 2. töflu í Tryggvi Eiríksson o.fl. 2010a). Ekki er marktækur munur (5% mörk) á svæðum sem eru merkt sama bókstaf. Inn í þann samanburð var ekki tekið IV. svæði og ekki grænfóður eða korn. Af IV. svæði voru aðeins 12 sýni og hvergi um marktækt vik frá meðaltali annars svæðis að ræða. Á kassaritunum hafa öll sýnin sama vægi og því gefur samanburður miðgilda þeirra í einstökum tilfellum aðra mynd en uppgjör samkvæmt því líkani sem notað var. Á það fyrst og fremst við VII. svæði þar sem meira en helmingur sýnanna var frá búum LbhÍ.

**1. tafla.** Fjöldi sýna í hverri sýslu og meðaltal og miðgildi Fe, meðaltal Mn, Cu, og Zn í heyi árið 2007, mg í kg af þe.

	Svæði	Fjöldi	Fe		Mn	Cu	Zn
			Mt.	Miðg.			
Gullbringu- og Kjósarsýsla	VII	7	214	196	94	7,92	23,3
Borgarfjarðarsýsla	VII	108	208	129	125	8,68	31,1
Mýrasýsla	VII	18	286	208	120	6,62	20,9
Snæfellsnes	I	25	133	108	125	5,42	23,1
Dalásýsla	I	24	145	112	143	7,02	24,9
Barðastrandarsýsla	I	6	426	305	99	8,96	26,1
Ísafjarðarsýslur	I	27	116	101	150	6,73	25,4
Strandasýsla	I	17	181	111	149	6,54	25,7
V.- Húnavatnssýsla	II	27	202	132	100	7,17	24,8
A.- Húnavatnssýsla	II	27	261	170	90	7,99	23,9
Skagafjarðarsýsla	II	127	210	151	112	8,01	25,8
Eyjafjarðarsýsla	II	318	294	174	77	7,03	23,7
S.- Þingeyjarsýsla	III	111	182	129	75	6,86	25,9
N.- Þingeyjarsýsla	III	4	433	155	65	6,24	28,3
N.- Múlasýsla	III	59	267	158	80	7,13	23,0
S.- Múlasýsla	III	45	206	130	89	7,14	24,9
A.- Skaftafellssýsla	IV	12	193	139	146	8,56	29,6
V.- Skaftafellssýsla	V	67	264	228	78	6,69	29,2
Rangárvallasýsla	V	205	267	184	73	6,50	27,7
Árnessýsla	VI	318	240	176	70	7,51	28,6

Græn fóður og bygg var ekki með í uppgjöri á efnagreiningum þótt gildin séu sýnd á 1. mynd. Af byggju voru aðeins 4 sýni. Mæld gildi í byggju eru svipuð því sem algengast er í heyi, nema Mn er líkt og lægstu gildi. Græn fóðursýnin voru flest af sunnan- og suðvestanverðu landinu, 13 af V., 10 af VI. og 8 af VII. svæði. Niðurstöður á 1. mynd benda ekki til mikils munar á hey- og græn fóðursýnum. Gildin á Fe virðast þó liggja heldur hærra og gildin á Zn heldur lægra í græn fóðri en í heyi, en óvíst að um marktækan mun sé að ræða.

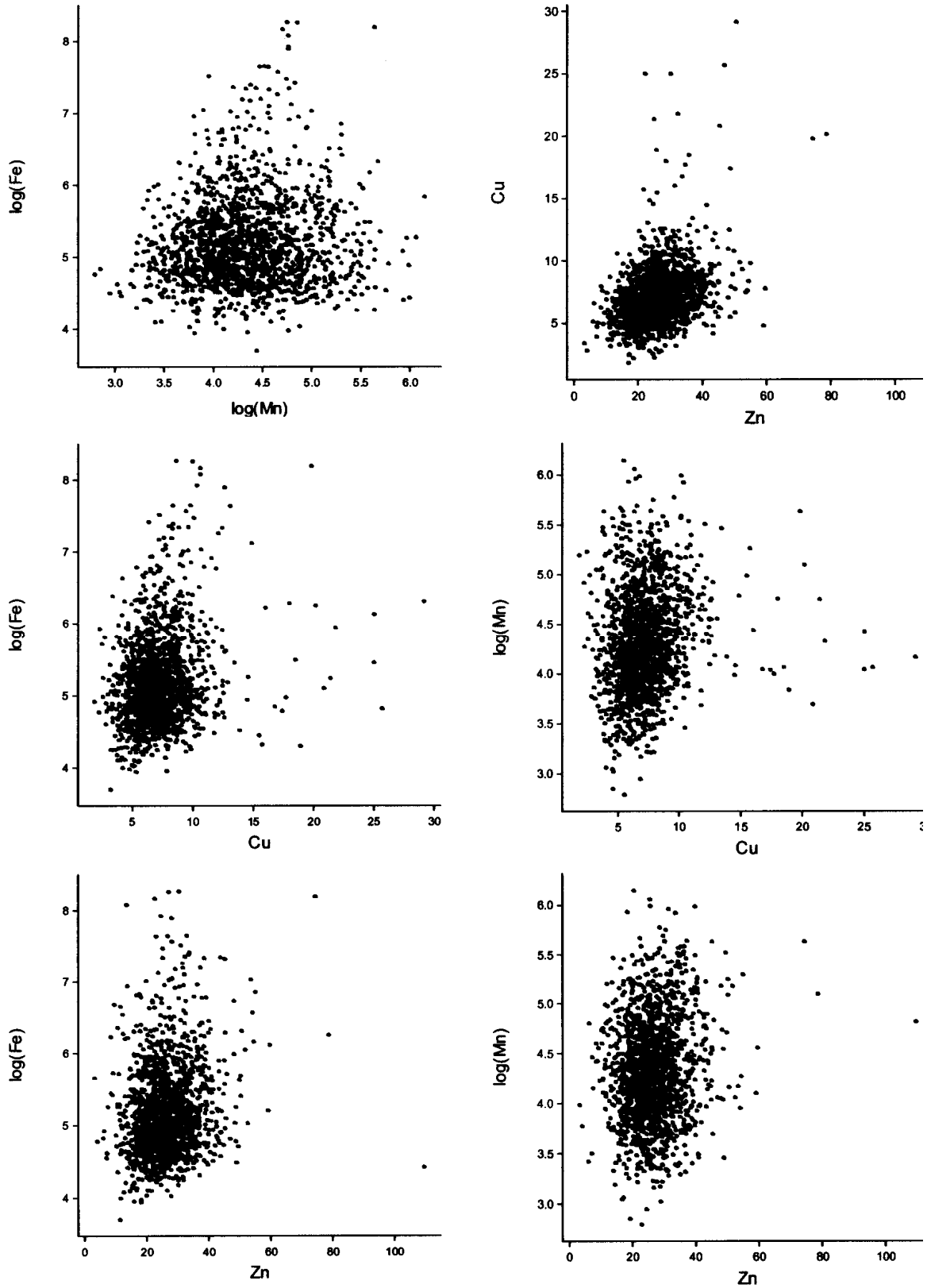
## II. Fe, Mn, Cu og Zn í heyi 2007



**1. mynd.** Kassarit sem sýna dreifingu mældra gilda, mg/kg, eftir svæðum. Ekki er marktækur munur á svæðum merktum sama bókstaf (a, b eða c) (Tryggvi Eiríksson o.fl. 2010a). Innan kassa er miðlægur helmingur gilda og milli 2. og 3. fjórðungs er dregin lína sem sýnir miðgildið. Utan kassanna eru kampar dregnir að ystu gildum eða allt að innri grindum sem eru við 1,5×lengd kassans. Útlæg gildi eru sýnd sem krossar (**grænir**) að ytri grindum (1,5×lengd kassans að auki) og hringir (**rauðir**) utan þeirra.

Þvert yfir eru dregin **mörk** (strikuð, **blá**). Ofan þeirra er magn efna talið viðunandi í fódri nautgripa, á mörkunum á milli, skortur neðan. Ofan þriðju markanna á Fe (punktur og strik, **græn**) er talin mikil hætta á mótvirkni gegn Cu (Grétar Harðarson o.fl. 2006). Innan marka á  $\log(\text{Fe}/\text{Mn})$  (strikuð, **rauð**) er hlutfallið talið heppilegast,  $1,5 < \text{Fe}/\text{Mn} < 2,5$  (Tryggvi Eiríksson o.fl. 2010a).

II. Fe, Mn, Cu og Zn í heyi 2007



2. mynd. Punktarit með öllum pörum þeirra fjögurra snefilefna sem mæld voru.

## II. Fe, Mn, Cu og Zn í heyi 2007

Í 2. töflu er skipting breytileikans á slembipætti, t.v. í líkani þar sem aðeins var metinn mismunur svæða, t.h. í líkani þar sem að auki var metinn mismunur 1. og 2. sláttar og breyting á styrk efna með auknum meltanleika (3. tafla).

**2. tafla.** Dreifni (e. *variance*) snefilefna, skipting á breytileikapætti.

	Líkan með samanburði svæða				Slætti og meltanleika bætt við			
	Hreppar	Hr./Bæir	Sýni	Alls	Hreppar	Hr./Bæir	Sýni	Alls
log(Fe)	0,027	0,119	0,271	0,416	0,033	0,103	0,264	0,400
log(Mn)	0,044	0,061	0,135	0,240	0,044	0,046	0,116	0,206
log(Fe/Mn)	0,112	0,100	0,331	0,543	0,117	0,080	0,316	0,512
Cu	0,25	0,83	4,49	5,57	0,23	0,83	4,42	5,47
Zn	2,1	17,9	39,7	59,7	2,6	17,0	38,5	58,1

Mn sker sig úr að því leyti að um fimmtí hluti samanlagðrar dreifni er milli hreppa (0,044 af 0,240 eða 0,206) en á bilinu 3–8% hjá hinum efnunum. Breytileiki milli bæja innan hreppa er mun meiri, en þó er breytileiki milli sýna á sama bæ yfirgnæfandi, á bilinu 56–66% af heild, nema 81% hjá Cu. Þar hafa endurtekin sýni á sama bæ því tiltölulega mikið vægi. Rétt er að hafa í huga að allar breytturnar nema log(Mn) víkja frá normaldreifingu á þann hátt að töluvert er um mikið stærri gildi en vænta mætti. Mest ber á því hjá Cu og veldur það töluvert um hina miklu dreifni sýna innan bæja, og næst mest ber á því hjá log(Fe). Eflaust má greina gögnin betur en gert var, t.d. nota log(Cu).

Vegna þess hve dreifni milli hreppa innan svæða er lítil mætti einnig vænta lítills munar milli svæða. Því má segja að það komi nokkuð á óvart hve greinilegur munur finnst á meðaltölum bæði Cu og Zn (1. mynd).

**3. tafla.** Mismunur slátta og stuðlar aðhvarfs að meltanleika.

	2. sl. – 1. sl.		Að meltanleika, % af þe.	
	b	$s_b$	b	$s_b$
log(Fe)	0,285***	0,044	0,0085	0,0052
log(Mn)	0,283***	0,029	-0,042***	0,0035
log(Fe/Mn)	0,006	0,048	0,051***	0,0056
Cu	0,73***	0,18	0,078***	0,020
Zn	1,89***	0,53	0,414***	0,067

$s_b$  er staðalskekkja stuðulsins b  
\*\*\* marktæk áhrif við  $\alpha=0,001$

Úr 2. sl. voru skráð 197 sýni, en ekki var skráð um 296 sýnanna hvort þau voru úr 1. eða 2. slætti og hafa þau því ekki áhrif á samanburð slátta (3. tafla). Af öllum efnunum var marktækt meira í 2. slætti og var t-gildið hæst hjá Mn, 9,8. Stuðullinn 0,283 á log-skala svarar til margföldunar um 1,33, þ.e. að styrkurinn sé 33% meiri í seinni en fyrri slætti, og Fe er með nánast sama stuðul og Mn. Aðhvarfsstuðlar svara til 10% meira Cu í 2. sl. en í 1. sl. og 7% meira Zn.

Styrkur flestra efna breytist með þroskastigi. Af þeim upplýsingum, sem tiltækar voru um sýnin, var meltanleiki talinn besti mælikvarðinn á þroska, þótt hann fari einnig eftir gróðurfari og verkun fóðursins. Hjá Cu og Zn var stuðullinn jákvæður, en það bendir til að styrkleikinn fari minnkandi með þroska líkt og algengt er um efni sem eru tekin snemma upp og eru virk í fryminu, t.d. N og P. Stuðlarnir samsvara því að Cu minnki/aukist um 11% og Zn um 15% þegar meltanleikinn lækkar/hækkar um 10 prósentustig frá meðaltalinu sem var 69,6%. Á Fe fannst ekki marktæk breyting með meltanleika eða þroska og líkist það Ca og Mg. Mn fór hins vegar vaxandi og t-gildið er hæst. Svarar stuðullinn til þess að Mn margfaldist með 1,52 (52% hækkun) þegar meltanleikinn lækkar um 10 prósentustig.

Þótt flestir stuðlar hafi reynst marktækir dregur aðhvarfið lítið úr samanlagðri dreifni (2–4%) nema hjá  $\log(\text{Mn})$  (2. tafla). Þar lækkar dreifnin um 14%, mest milli sýna en einnig milli bæja í sama hreppi. Sláttutími túnspildna á sama bæ, og þar með þroski og meltanleiki, er ekki valinn af hendingu, og því er ekki hægt að álykta með neinni vissu að samband Mn við meltanleika sé vegna þroska grassins við slátt. Helsta ástæða mismunandi styrks Mn í gróðri er sýrustig jarðvegs. Dreifnin minnkaði ekkert frekar milli bæja eða hreppa en milli sýna með aðhvarfslíkaninu. Má taka það til marks um að ekki sé mikill munur á meltanleika milli bæja og að mismunur þeirra sé einkum vegna mismunandi sýrustigs í jarðvegi. Aðhvarfið hafði ekki umtalsverð áhrif á samanburð svæða þótt skekkja meðaltala lækkaði nokkuð. Ekki þótti rétt að nota það í þeim samanburði svæða, sem var helsti tilgangur rannsóknarinnar, enda er nokkur óvissa um hvernig ætti að túlka slík áhrif.

### Annað slembilíkan

Sú skipting landsins í svæði, sem var notuð, var gerð í sérstökum tilgangi og á e.t.v. ekki við í öðru samhengi. Því var breytileikinn einnig metinn í líkani með slembiþáttum einum, þ.e. án skiptingar í föst svæði, annars vegar án annarrar flokkunar bæja en í hreppa, hins vegar með sýslur sem hæsta stig flokkunar (4. tafla). Sýni voru úr 20 sýslum skv. 1. töflu, frá 3 til 318 úr sýslu. Í þessu uppgjöri var þó farið með Dalvíkurbyggð sem sérstaka sýslu, en þaðan voru 3 sýni, og var því 21 sýsla í líkaninu. Óveruleg breyting varð á dreifni bæja innan hreppa og sýna innan bæja frá 2. töflu og er þessum þáttum sleppt í 4. töflu. Finna má samanlagða breytingu á þessum tveimur þáttum með samanburði á 2. og 4. töflu, en þess má geta að helst varð hækkun á dreifni milli bæja hjá þeim efnum þar sem frávikin frá normaldreifingu eru mest, þ.e.  $\log(\text{Fe})$ ,  $\log(\text{Fe}/\text{Mn})$  og Cu, einkum ef flokkun í sýslur var sleppt.

#### 4. tafla. Dreifni slembiþátta í líkönum sem eru án skiptingar í föst svæði.

	Án sýslna		Með sýslur sem slembibreytu		
	Hreppar	Alls	Sýslur	Sý./Hr.	Alls
$\log(\text{Fe})$	0,029	0,426	0,016	0,021	0,429
$\log(\text{Mn})$	0,081	0,278	0,042	0,040	0,279
$\log(\text{Fe}/\text{Mn})$	0,206	0,642	0,142	0,085	0,661
Cu	0,39	5,74	0,31	0,13	5,78
Zn	5,6	62,6	2,9	1,2	61,8

Hjá öllum efnum fannst marktækur munur á svæðum og því mátti vænta herra mats á dreifni milli hreppa þegar svæðum var sleppt úr líkaninu. Breytingin er þó óveruleg hjá  $\log(\text{Fe})$ , en mest hjá  $\log(\text{Mn})$  (og  $\log(\text{Fe}/\text{Mn})$ ). Þar var hreppamunur tiltölulega mestur og verður nú 29% breytileikans. Þegar hreppamun er skipt á sýslur og hreppa innan sýslna kemur oftast heldur meira í hlut sýslna og er það í samræmi við þann svæðamun sem fannst.

### Tengsl milli snefilefna

Á 2. mynd eru punktarit sem sýna einstök gildi á öllum pörum þeirra fjögurra snefilefna sem mæld voru. Vegna þess hve mjög útlæg nokkur gildi eru renna miðlæg gildi alveg saman. Eina skýra samhengið milli efna sem kemur fram er jákvætt samhengi milli Cu og Zn. Fylgnin var  $r=0,32$  í einföldu líkani. Hún lækkaði óverulega ef áhrif 2. sl. og meltanleika voru tekin með í líkanið þótt þau séu í sömu átt hjá báðum efnunum, og hún var nánast hin sama þegar reiknað var innan bæja. Ólíklegt er að frekari greining á samhengi efna í gagnasafninu muni leiða neitt sérstakt í ljós. Þó gæti það verið þess virði að leita sambands milli efna ef um góðar tilgátur er að ræða. Vænlegra til árangurs er að nota

betur skilgreint gagnasafn sem er fengið úr tilraunum eða öðrum skipulögðum rannsóknum.

Sérstök ástæða er til að skoða hvort há gildi á efni tengist frekar háum eða lágum gildum á öðrum efnum. Einkum á það við járn þar sem mikið er um há gildi og a.m.k. þau hæstu teljast mjög óvenjuleg. Engin tilhneiging er sjáanleg til að þeim hafi fylgt lítil upptaka á öðrum efnum. Þvert á móti koma þau varla fyrir með lágum gildum á Mn og Cu. Hvað Mn varðar er það ekki óvænt því að bæði þessi efni afoxast við sömu skilyrði. Þess er getið að Fe vinni gegn upptöku á Cu í meltingarvegi búfjár, en ekki er slíks getið um plöntur. Af sýnum með  $Cu > 15$ , sem eru 18, er að vísu ekki nema eitt með  $Fe > 600$ , en ekki er það nóg til að sýna neikvætt samband.

### Umræða

Hugmyndin um tengsl snefilefna við uppkomu riðu í sauðfé er í stórum dráttum sú, að mikið járn og lítið mangan í heyi sé samfara riðu, en lítið járn og mikið mangan í heyi sé fremur þar sem riða hefur aldrei verið greind eða henni verið útrýmt. Þrjár af fjórum sýslum, þar sem riða hefur aldrei komið upp, eru á I. svæði og í öðrum sýslum á því svæði hefur verið auðvelt að útrýma henni. Greiningin á snefilefnum í fódri studdi kenninguna að því leyti að hlutfallið Fe/Mn reyndist marktækt lægra að meðaltali á I. svæði en á öðrum svæðum (nema IV. svæði), enda var Mn hæst þar og Fe lægst þótt ekki væri marktækur munur á magni þessara efna á I. og VII. svæði, og ekki var heldur marktækur munur á Fe á I. og III. svæði, sjá 1. mynd.

Mangan er  $> 1$  mg/kg af ólífrænu efni í jarðvegi og er því í nægu magni. Það er þó ekki aðgengilegt nema á tvígildu formi og það sem helst ræður aðgengi að Mn er sýrustig í jarðvegi. Ef pH er hátt oxast Mn, verður fjörgilt og fellur út sem  $MnO_2$ . Ef jarðvegurinn sýrist afoxast það og fer í vatnslausn sem  $Mn^{2+}$  og upptaka plantna á efninu eykst. Súrefnisskortur í jarðvegi, t.d. í bleytu eða við umsetningu á lífrænum leifum, getur einnig haft sömu áhrif. Aukið magn Mn í grasi þegar líður á sumarið, þ.e. með lækkuðum meltanleika og í 2. sl., má e.t.v. taka til marks um að Mn sé smám saman að verða aðgengilegt og að ræturnar taki til sín það sem þær ná. Björn Jóhannesson (1960) sýndi fram á að pH í jarðvegi er misjafnt eftir landshlutum og er lægst fjarri gossvæðum, einkum á Vesturlandi þar sem áfok er minnst. Jóhannes Sigvaldason (1980) sýndi að pH er hæst í innsveitum um miðbik Norðurlands og fer lakkandi út frá þeim, einkum með aukinni hafrænu til útnesja. Þess var því að vænta að mikill breytileiki myndist milli hreppa, þótt þeir séu sennilega ekki besta flokkunin til að ná breytileika vegna legu bæja. Nauðsynlegt er að hafa þátt af þessu tagi í uppgjöri ef bera á saman styrk Mn milli svæða og sýni hafa ekki verið valin af hendingu, og jafnvel hvort sem er. Eiginleikar túns geta víða hafa breyst frá því sem var í upphafi ræktunar. pH í jarðvegi getur hafa lækkað vegna sýrandi áhrifa nituráburðar, og víða hefur verið kalkað. Upptaka á Mn hefur því ýmist aukist eða minnkað. Ekki er þó víst að þessi áhrif séu orðin svo mikil að veruleg áhrif hafi á þá mynd sem samanburður svæða gefur.

Um Fe gildir að nokkru leyti það sama og um Mn. Það er einkum tekið upp á tvígildu formi,  $Fe^{2+}$ , og afoxast úr þrígildu í tvígilt við svipuð skilyrði og Mn úr fjörgildu. Það verður þó við lægri afoxunarspennu og þess vegna, eða af öðrum ástæðum, fylgist upptaka þessara efna ekki að. M.a. er nokkur hætta á að mengunar af jarðvegi eða svarfi úr vélum gæti í sýnum og valdi óeðlilega háum gildum. Í jarðvegi þar sem efni úr basalti er ríkjandi er Mn aðeins um fimmtugasti hluti af Fe (Guðmundsson o.fl. 2005) og því hefur mengun af jarðvegi ekki veruleg áhrif á Mn í heyi. Í sýnum úr tilraunum með selenblandaðan áburð á Hvanneyri og í Hvammi í Hvítársíðu (Ríkharð Brynjólfsson 2008) var m.a. mælt Mn, Fe og Al (Ríkharð Brynjólfsson, óbirtar niðurstöður). Sterk fylgni, sem náði einnig til sýna af byggi, var milli Fe og Al og getur það bent til þess að há gildi á



járni séu vegna veðrunar, t.d. á allófani<sup>1</sup>. Á Hvanneyri fylgdust Fe og Mn að með há gildi í tilraun þar sem ekki hafði verið kalkað (mt. 516 og 231), en annars voru gildin lág (Fe < 155, Mn < 65). Í Hvammi var Mn á fremur þröngu bili, 73–123, en af Fe komu fyrir bæði há (428 og 838) og lág (<100) gildi. Þessar niðurstöður sýna að há gildi geta fengist á Fe í tilraunum þar sem gera má ráð fyrir að mengun sýna sé óveruleg og að Fe og Mn fylgjast ekki að nema sums staðar. Á norðvestanverðu landinu, þ.e. I. svæði, var hlutfallið Fe/Mn aðeins um 1,1 og marktækt lægra en í öðrum landshlutum. Liggur það bæði í minna Fe og meira Mn en á öðrum svæðum, nema helst VII. svæði sem einnig er vestanlands. Líklegt má telja að vegna minna áfoks, og þar af leiðandi minni veðrunar á fersku efni, sé minna aðgengi að uppleystu Fe norðvestanlands<sup>2</sup>. Jafnframt verður pH lægra og Mn í jarðvegi aðgengilegra.

Um samanburð á Fe milli svæða verður að hafa fyrirvara vegna þess að í langtímatilraunum kom fram greinilegur áramunur (Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2011). Ætla má að mismunur ára sé ekki sá sami alls staðar og því sé samanburður svæða að einhverju leyti háður því hvenær athugunin er gerð.

Niðurstöður um tengsl snefilefna við meltanleika eru áhugaverðar. Efni, sem fara fallandi með meltanleika, geta farið nærri því að vera stöðug í fóðrinu í heild vegna þess að meira þarf af fóðri með lágt orkugildi. Meðal annarra þátta en sláttutíma, sem hafa áhrif á meltanleika og þroska, eru áburðartími og vorbeit, en þeir hafa einnig áhrif á aðra efnasamsetningu grassins. Töku sýna í rannsókn á orsökum kálfadauða var dreift á heyskapartímann (Magnús B. Jónsson o.fl. 2008) og ættu þau því að henta vel til að meta hvernig styrkur snefilefna þróast á sama búi.

Niðurstöður frá 2007 sem hér birtast má bera saman við þrjú umfangsmikil sýnasöfn frá árunum 2001–2006. Safnið frá 2003 er sambærilegast. Þá var mælt í sýnum af öllu landinu, en þau voru þó valin á annan hátt (Grétar Hrafn Harðarson o.fl. 2006). Sýni af sauðfjárþúum 2001–2003 (Jóhannesson o.fl. 2007) og kúabúum 2006 (Magnús B. Jónsson o. fl. 2008) voru ekki tekin í öllum héruðum. T.d. voru engin sýni af austanverðu landinu frá Norður-Þingeyjarsýslu til Austur-Skaftafellssýslu. Ekki var unnið með  $\log(\text{Fe})$  og  $\log(\text{Mn})$  í þessum fyrri rannsóknum og því erfitt að bera Fe og Mn saman milli ára. Niðurstöður Mn-mælinga eru sambærilegar að því er séð verður, en gildin þó hæst í sýnunum frá 2001–2003. Erfiðara er að bera saman Fe-mælingar vegna þess hve dreifingin er mikil og há gildi algeng. Í 39 sýnum af 1557 árið 2007 var  $\text{Fe} > 1000$  en í 3 af 194 árið 2003.

Samanburður á Cu og Zn í þremur sýnasöfnum er í 5. töflu. Unnt var að reikna meðaltöl úr eldri söfnunum með sömu skiptingu á svæði og 2007 því að meðaltöl í hverri sýslu voru gefin. Í birtum niðurstöðum frá sauðfjárþúum 2001–2003 er ekki slík sundurliðun og því er það safn ekki með í 5. töflu. Árið 2006 voru sýni aðeins tekin af 45 bæjum og sýni vantaði alveg úr sumum sýslum. Af I. svæði voru aðeins sýni af Snæfellsnesi, af II. svæði úr Skagafirði og Eyjafirði og af V. svæði úr Rangárvallasýslu (Magnús B. Jónsson o.fl. 2008).

<sup>1</sup> Al var mælt í heysýnum frá 2006 og þar mætti athuga þetta sambengi (Magnús B. Jónsson o.fl. 2008).

<sup>2</sup> Í óbirtum niðurstöðum rannsókna á ösku úr gosinu í Eyjafjallajökli 2010 hefur komið fram aukinn styrkur Fe í grasi þar sem aska var breidd ofan á og í heysýnum af öskufallssvæðum er aukið Fe.

## II. Fe, Mn, Cu og Zn í heyi 2007

**5. tafla.** Cu og Zn, mg/kg, 2003, 2006 og 2007, meðaltöl eftir svæðum ásamt staðal-skekkju meðaltalsins ( $s_{mt}$ ) eða fjölda sýna (Grétar Hrafn Harðarson o.fl. 2006, Magnús B. Jónsson o. fl. 2008, Tryggvi Eiríksson o.fl. 2010a).

Svæði	I	II	III	IV	V	VI	VII	Mt. allra sýna
Cu 2003 mt.	6,92	8,40	8,36	6,39	6,00	6,97	8,67	7,59
$s_{mt}$	0,29	0,24	0,24	0,66	0,30	0,36	0,43	
Cu 2007 mt.	6,66	7,42	6,90	8,27	6,58	7,52	8,14	7,23
$s_{mt}$	0,32	0,17	0,24	0,83	0,23	0,24	0,38	
Cu 2006 mt.	8,17	9,00	8,00		7,29	7,55	9,87	8,51
Zn 2003 mt.	30,3	33,8	32,0	30,7	31,8	32,9	31,0	32,2
$s_{mt}$	1,04	0,84	0,84	2,36	1,05	1,29	1,54	
Zn 2007 mt.	24,1	24,8	24,8	28,7	28,0	28,9	26,0	26,4
$s_{mt}$	1,16	0,60	0,83	2,90	0,83	0,83	1,36	
Zn 2006 mt.	21,8	23,5	29,3		17,4	24,8	26,9	25,0
fjöldi sýna 2006	12	47	9		31	66	47	

Það hlýtur að vekja athygli að staðalskekkjan var að jafnaði lítið hærri og stundum jafnvel lægri 2003 en 2007 þótt sýni hafi verið nærri átta sinnum fleiri 2007. Ein helsta ástæðan er að mikið meira var um há gildi 2007. Hæsta gildið á Cu var 12,5 2003, en 2007 voru 24 gildi Cu>13, þar af 8 Cu>20. Hafa þessi háu gildi mikil áhrif á skekkju og var þó sleppt 2 sýnum með Cu>40. Enn fremur hækkar matið á skekkju þegar hreppar eru skilgreindir sem slembiþáttur eins og gert var 2007, og í niðurstöður frá 2003 vantar alveg í skekkjuna þann breytileika sem er milli sýslna á sama svæði. Hæsta gildið á Zn var 51 árið 2003, en 2007 voru 13 gildi Zn>50, auk þess sem einu háu gildi var sleppt í uppgjöri.

Mælingar á bæði Cu og Zn gáfu lægri niðurstöður 2007 en 2003 þrátt fyrir að árið 2007 væri nokkuð um sýni úr 2. sl. þar sem styrkur þeirra mælist meiri og að meira væri um mjög há gildi á Cu. Miðað við þá skekkju, sem reiknuð var (en ekki er víst að eigi við), má telja mismun ára á Cu marktækan á II. og III. svæði, og mismun á Zn má telja marktækan alls staðar nema á IV. svæði þar sem mælingar voru fáar. Í sýnum af sauðfjárbúum 2001–2003 var Cu = 8,73 að meðaltali eða svipað og 2006. Bæir voru mun færri 2001–2003 og dreifing þeirra um landið önnur. Í heysýnum úr langtímatilraunum á Íslandi lækkaði Cu úr 8,24 í 6,83 á um 30 árum og er breytingin marktæk, en á Zn var óveruleg breyting að meðaltali, úr 40,1 í 37,0 (Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2011). Ljóst er að Cu er efni, sem betur þarf að fylgjast með eftir því sem ræktunin eldist, og Zn getur oft verið af skornum skammti. Í sýnum frá sauðfjárbúum 2001–2003 var meðaltalið 35,6 sem er sambærilegt við aðra könnun 2003. Þótt kannanir 2006 og 2007 gæfu mun lægri gildi getur verið um tímabundin frávik að ræða og frekari vísbendingar um að Zn fari minnkandi skortir.

Þekking á skiptingu breytileika milli sýna í slembiþætti er mikilvæg við mat á niðurstöðum rannsókna og við skipulag á nýjum rannsóknum. Hún er einnig mikilvæg við mat á innihaldi fóðurs af efnum með tilliti til þess hvort það sé fullnægjandi, eða á hinn bóginn jafnvel um of. Til þess að meta hættuna á að mæling sem er nálægt mörkum (undir eða yfir) sé í rauninni til marks um að fódrið, sem sýnið er úr, sé ófullnægjandi þarf einnig að hafa þekkingu á bæði sýnitökuskekkju og mæliskekkju, þ.e. hve mikið má búast við að endurtekið sýni eða endurtekin mæling á sama sýni víki frá þeirri mælingu sem fengin er. Enn fremur þarf þekkingu á hve samsetning fóðurs getur breyst mikið milli ára. Loks er þess að gæta að í fódrun blandast hey af mismunandi gæðum meira eða minna. Við það minnkar breytileikinn í raun, auk þess sem sýnitöku- og mæliskekkja hverfur, og verður mun minni en kemur fram t.d. á 1. mynd. Mikilvægast er þó að hafa

góða þekkingu á því hvaða hætta fylgir því ef efni er stöðugt undir eða yfir viðmiðunarmörkum og hvort mörkin geti verið mismunandi eftir aðstæðum.

### Snefilefni í ræktun og fódri, skortur og eitrun

Ekki eru á þessum vettvangi tók á að fjalla til neinnar hlítar um þetta efni. Helstu heimildir eru bók um plöntunæringu (Mengel og Kirkby 2001) og erindi á norrænu mállþingi um snefilefni í Reykjavík 2005 (Rit LbhÍ nr. 3) auk þeirra ritgerða um snefilefni sem áður hefur verið vitnað til, en í þeim er fjallað um snefilefni í fódri húsdýra, einkum nautgripa. Því er ekki alltaf haldið til haga hvaða heimild er notuð hverju sinni, og auk þess má telja sumt til almennrar þekkingar. Í 6. töflu eru gefnar þarfir jörturdýra samkvæmt viðurkenndum heimildum fyrir þau snefilefni sem fjallað er um í þessari grein. Er hún til viðbótar þeim töflum sem eru í IV. hluta.

**6. tafla.** Ráðlagt magn snefilefnanna Fe, Mn, Cu og Zn í fódri jörturdýra, mg/kg af þurrefni.

		Fe	Mn	Cu	Zn	
Mjólkurkýr	Bandaríki Norður-Ameríku	50	40	10	40	NRC <sup>1</sup>
	Stóra-Bretland	30	-	10	30	ARC <sup>2</sup>
Sauðfé	Bandaríki Norður-Ameríku	30-50	20-30	6-9	20	NRC <sup>1</sup>
	Ástralía	30-40	20-30	4-6	20	AAC <sup>3</sup>

Mangan og kopar eru þau snefilefni sem helst hefur þurft að fást við í landbúnaði, ekki bara skort heldur einnig eitrun. Niðurstöður íslenskra mælinga á Mn eru að mestu innan þeirra marka sem má telja viðunandi, en þó eru allmörg á neðri mörkum. Ekki er ólíklegt að hæstu gildi á súrum jarðvegi geti valdið einhverjum vandræðum í fóðrun, en þeir gallar, sem fylgja ræktun á súrum jarðvegi, eru einkum af öðrum toga og því ber að grípa til kölkunar þótt ekki sé um Mn-eitrun að ræða. Við hátt pH fást lág gildi, en gildi sem eru svo lág að bendi til skorts eru fá. Í plöntum er skortur einna algengastur í kornrækt, enda fær súrefni aukinn aðgang að jarðvegi þegar hann er unninn. Meðal aðgerða til að auka upptöku á Mn við hátt pH er að fella áburð niður í rás. Þá súrnar ef nitur er á ammóníumformi að hluta, eins og oftast er, og upptaka á Mn eykst. Úðun með Mn-laun á kartöflugrös dró úr venjulegum kláða á kartöflum og hafði einnig áhrif á uppskeru (Zarina 2005). Kláði kemur aðallega fram við hátt pH, en þá er upptaka á Mn lítil.

Brýnt er að taka kopar í ræktun og fódri búfjár til nánari athugunar, einkum vegna þess að ótvíræðar vísbendingar eru um að styrkur hans í heyi fari minnkandi (Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2011). Þarfir fyrir kopar í fódri sauðfjár eru ekki miklar, niður í 4 mg í kg þe. (6. tafla), þannig að ekki eru líkur á skorti í heyfóðri nema í afmörkuðum tilvikum. Þarfir nautgripa eru taldar allt að 10 mg í kg af þurrefni og líkur eru því talsverðar á koparskorti sé fóðrað á heyi eingöngu. Skortsmörk í gróðri eru sambærileg og í fódri sauðfjár, 2–5 mg/kg (Kirchmann o.fl. 2005). Á þessu bili voru 191 gildi, um 12% (1. mynd), og eitt gildi (1,86) var <2. Hættan á koparskorti í gróðri virðist því lítil. Að líkindum er hún fyrst og fremst á mýrartúnum, en sýnunum fylgdu ekki upplýsingar um jarðveg. Um tíma tíðkaðist að nota mikinn kopar í fódri svína. Þá var veruleg hætta á eitrun ef svínaskítur var borinn á. Taka þarf tillit til víxlverkunar kopars við önnur efni, t.d. járn, og því er ófullnægjandi að draga ályktanir af einföldum viðmiðunarmörkum.

Járn er víðast hvar mikið í íslensku bergi og því aðgengilegt plöntum í jarðvegi. Tæplega er hætta á skorti, helst væri það á mýrartúni þar sem áfoks hefur lítið gætt.

<sup>1</sup> National Research Council

<sup>2</sup> Agricultural Research Council

<sup>3</sup> Australian Agricultural Council

## II. Fe, Mn, Cu og Zn í heyi 2007

Opinberar, erlendar þarfatölur fyrir járn eru 30–50 mg í kg af þurrefni í fóðri jórturdýra (6. tafla). Samkvæmt reglum EB, en þær gilda opinberlega á Íslandi, á sauðfé að þola 500 mg og nautgripir 700 mg Fe í kg af þurrefni (EU 2003). Gildi á bilinu 300–1000 eru talin há (Mengel og Kirkby 2001) og á því bili er talin hætta á mótvirkni gegn Cu í búfé. Gildi á þessu bili eru nokkuð algeng í íslensku heyi, mun hærri gildi koma fyrir og því er brýnt að taka járn til nánari rannsóknar. Fyrr var mengun af jarðvegi nefnd sem hugsanleg skýring. Þó skýrir hún hin háu gildi varla að öllu leyti. Kögglar af jarðvegi, sem eru svo stórir að þeir gætu margfaldað styrk járn í sýni, eru sýnilegir og fjarlægðir þegar sýni eru möluð. Í möluðum sýnum sest þó til og jarðvegmengun af botni dósa getur því orðið meiri í mældu sýni en í sýninu í heild ef innvigtun er ekki nægilega vönduð. Sýni með háum gildum má mæla aftur, en endurmæling á völdum sýnum er vandmeðfarin og getur bjagað heildarmynd mælinga ef ekki er farið að með gát. Gagnlegra er að taka fleiri en eitt sýni þar sem vænta má hárra gilda á Fe ef því verður komið við. Járn afoxast og upptaka eykst ef jörð er undir vatni eins og á hrísgrjónaekrum og getur valdið eitrun. Einkennin eru fyrst brúnir blettir á blöðum, en svo verður samfelldur brúnn litur eða brónslitur.

Í eldri rannsóknum á heyi voru gildi, sem benda til skorts á sinki í fóðri búfjár, sjaldgæf þótt allmörg væru á mörkum þess, en 2006 og 2007 voru þau algeng. Mörkin eru heldur lægri hjá nytjaplöntum. Zn < 20 telst þó lágt gildi, en skortsmörk 10–15 eftir tegundum. Skortur er best þekktur í ávaxtatrjám og sumum tegundum grænmetis, en einnig er munur á yrkjum, t.d. af korni. Lægstu gildi (1. mynd) benda til skorts í grasi. Í maís fæst ekki uppskeruauki af sinkáburði nema skortseinkenni séu greinileg (Knudsen 2005).

**Heimildir**

- Björn Jóhannesson 1960. The soils of Iceland. Rit landbúnaðardeildar B-flokkur nr. 13, 140 bls. Á íslensku: Íslenskur jarðvegur. Rannsóknastofnun landbúnaðarins, 2. útgáfa með yfirlitsjarðvegskorti og nýjum viðauka 1988.
- EU 2003. COMMISSION REGULATION (EC) No 1334/2003 of 25 July 2003 amending the conditions for authorisation of a number of additives in feedingstuffs belonging to the group of trace elements. [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/oj/2003/l\\_187/l\\_18720030726en00110015.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/oj/2003/l_187/l_18720030726en00110015.pdf)
- Grétar Hrafn Harðarson, Arngrímur Thorlacius, Bragi Líndal Ólafsson, Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2006. Styrkur snefilefna í heyi. Fræðaging landbúnaðarins 2006: 179–189.
- Gudmundsdóttir KB, Sigurdarson S, Kristinsson J, Eiríksson T, Jóhannesson T 2006. Iron and Iron / manganese ratio in forage from Icelandic sheep farms: Relation to scrapie. Acta Veterinaria Scandinavica 2006, 48: 16.
- Gudmundsson T, Björnsson H & Thorvaldsson G 2005. Elemental composition, fractions and balance of nutrients in an Andic Gleysol under a long-term fertiliser experiment in Iceland. Icelandic Agricultural Sciences, 19, 21–32.
- Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2011. Snefilefni í langtímatilraunum, mælingar á 11 efnum í sýnum frá 1964 – 2003. (*í þessu hefti*)
- Jóhannes Sigvaldason 1980. Fjölrit BRT nr. 9. Um kalkþörf norðlenskra túna, 22 bls.
- Jóhannesson T, Gudmundsdóttir KB, Eiríksson T, Kristinsson J, Sigurdarson S 2004. Copper and manganese in hay samples from scrapie-free, scrapie-prone and scrapie-afflicted farms in Iceland. Icelandic Agricultural Sciences, 16/17: 45-52.
- Jóhannesson T, Eiríksson T, Gudmundsdóttir KB, Sigurdarson S, Kristinsson J 2007: Overview: Seven trace elements in Icelandic forage. Their value in animal health and with special relation to scrapie. Icelandic Agricultural Sciences, 20: 3–24.
- Kirchmann H, G Thorvaldsson, H Björnsson and L Mattson 2005. Trace elements in crops from Swedish and Icelandic long-term experiments. Í: Essential trace elements for plants, animals and humans. NJF Seminar no. 370 Reykjavík, Iceland 15–17 August 2005. Rit LbhÍ nr. 3: 30–33.
- Knudsen L 2005. Status of micronutrient demand of Danish crops. Í: Essential trace elements for plants, animals and humans. NJF Seminar no. 370 Reykjavík, Iceland 15–17 August 2005. Rit LbhÍ nr. 3: 18–20.
- Magnús B Jónsson, Sigurður Sigurðarson og Hjalti Viðarsson 2008. Orsakir kálfadauða hjá fyrsta kálfs kvígum. Í: Magnús B. Jónsson (ritstj.) Orsakir kálfadauða hjá fyrsta kálfs kvígum. Skýrsla um rannsóknir 2006–2008. Rit LbhÍ nr. 19, 19–33.
- Mengel K & Kirkby EA 2001. Principles of plant nutrition, 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 849 bls.
- Ríkharð Brynjólfsson 2008. Áhrif selenáburðar á selenmagn grass og byggs. Í: Magnús B. Jónsson (ritstj.) Orsakir kálfadauða hjá fyrsta kálfs kvígum. Skýrsla um rannsóknir 2006–2008. Rit LbhÍ nr. 19, 59–62.
- Tryggvi Eiríksson, Holmgeir Björnsson, Kristín Björg Gudmundsdóttir, Jakob Kristinsson & Torkell Jóhannesson 2010a. The regional distribution of four trace elements (Fe, Mn, Cu, Zn) in forage and the relation to scrapie in Iceland. Acta Veterinaria Scandinavica 2010, 52:34. <http://www.actavetscand.com/content/52/1/34>
- Tryggvi Eiríksson, Hólmgeir Björnsson, Kristín Björg Gudmundsdóttir, Jakob Kristinsson og Þorkell Jóhannesson 2010b. Snefilefni í heyi – tengsl járn og mangans við riðu. Bændablaðið, 6. tölublað 2010, 18–19.
- Tryggvi Eiríksson, Hólmgeir Björnsson, Þorkell Jóhannesson, Kristín Björg Gudmundsdóttir og Jakob Kristinsson 2010c. Járn, mangan, kopar og sink í heysýnum frá árinu 2007. Fræðaging landbúnaðarins 2010, 348 – 351.
- Zarina L 2005. The role of manganese application on quality of potato tubers. Í: Essential trace elements for plants, animals and humans. NJF Seminar no. 370 Reykjavík, Iceland 15–17 August 2005. Rit LbhÍ nr. 3: 52–54.



## Snefilefni í langtímatilraunum

### Mælingar á 11 efnum í sýnum frá 1964 – 2003

Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson  
*Landbúnaðarháskóla Íslands, Keldnaholti*

## 1. Inngangur

### 1.1 Snefilefni í langtímatilraunum

Veturinn 2004–2005 voru valin sýni úr langtímatilraunum í Svíþjóð og á Íslandi til að kanna hvort orðið hefðu breytingar á styrk 11 snefilefna og þungmálma í uppskeru á um 30 ára tímabili. Valin voru sýni af hveiti úr tilraunum á 10 stöðum í Svíþjóð og heyi úr 1. sl. í 10 tilraunum og tilraunaliðum með alhliða áburði á ferns konar jarðvegi á Íslandi. Af hverjum stað eða tilraunalið voru 6 sýni, 3 frá 1964–1979 og 3 frá 1987–1996 eða 1997–2003. Efnin voru mæld í Landbúnaðarháskóla Svíþjóðar á Ultuna.

Á ráðstefnu NJF 2005 um snefilefni birtist grein úr þessari rannsókn þar sem fjallað er um breytingar á styrk efna með tíma og greint er frá aðferðum við efna-greiningu. Í heildina má telja að breytingar hafi orðið meiri í Svíþjóð en á Íslandi og ekki alltaf í sömu átt (Kirchmann o.fl. 2005). Af niðurstöðum frá Íslandi hefur breidd mælinga komið fram á öðrum vettvangi án frekari greiningar (Guðni Þorvaldsson og Þorsteinn Guðmundsson 2006). Niðurstöðurnar geyma þó, auk breytinga á styrk efna með tímanum, samanburð á tveimur tilraunastöðvum og þremur jarðvegsgerðum á annarri, áhrif N-áburðartegunda sem hafa ólík áhrif á pH í jarðvegi, og upplýsingar um breytileika þessara efna eru traustar þar sem þær eru gerðar samtímis. Má greina milli breytileika endurtekinnar mælinga á sama jarðvegi og breytileika milli ára, ef um hann er að ræða, þótt ástæður þess að niðurstöður eru breytilegar eftir árum séu ókunnar. Sú grein, sem hér birtist, er fremur rannsóknarskýrsla þar sem allar mælingar eru birtar en vísindagrein þótt úr efninu hafi verið unnið eins og kostur var. Er þess vænst að þannig komi niðurstöðurnar að mestum notum í seinni rannsóknum.

Snefilefnin voru mæld í 4 tilraunaliðum í hverri langtímatilraun í Svíþjóð (Kirchmann o.fl. 2009). Af línuritum sem birtast má lesa tilhneigingu til að styrkur efna minnki frekar á reitum með alhliða áburð en á reitum án áburðar, eða að tilhneigingin til að styrkur þeirra aukist með tímanum hafi verið minni. Sum efnin komu í margfalt meira magni úr búfjáráburði en tilbúnum áburði í Svíþjóð, þ.e. Cd, Se, Zn, Mn. Styrkur Se var marktækt meiri á reitum með búfjáráburði á fyrra tímabilinu. Zn var hins vegar meira á reitum með tilbúinn áburð á báðum tímabilunum. Ekki var marktækur munur á Mn og um Cd var ekki getið í þessu samhengi. Einnig var meira Cr og Ni í búfjáráburði og kom það fram í meiri styrk í hveiti, Ni þó aðeins á seinna tímabilinu.

Kirchmann o.fl. (2009) gera grein fyrir þeim þáttum sem gætu haft áhrif á jafnvægi þeirra efna sem mæld voru. Flest koma þau bæði með áfalli úr lofti og í áburði og þau tapast með útskolun og uppskeru. Útskolun ræður mestu um tap á Ni, Cr og sennilega einnig Fe í Svíþjóð og af þeim fóru Cr og Fe lakkandi í hveiti. Ni, Se, Cr og Co auk fleiri efna berast til rótanna uppleyst í jarðvatni og eru tekin upp án þess að þær stýri upplausn þeirra eða upptöku. Plöntur hafa óverulega þörf fyrir Ni og Se (ekki fullsannað) og ekki hefur verið sýnt fram á þörf fyrir Cr og Co<sup>1</sup>. Á hinn bóginn stuðlar

<sup>1</sup> Holger Kirchmann, Rune Andersson och Jan Eriksson. Spårelement i svensk åkermark och gröda. 27 bls. Höf. lét í té handrit á rafrænu formi, en ekki liggur fyrir hvar það birtist.

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

virgni róta að aðgengi að Zn, Mn<sup>1</sup>, Fe og Cu. Á flestum tegundum eru svepprætur sem hjálpa til við upptöku ýmissa snefilefna. Þær auka styrk Cu, Zn og Ni í plöntum sem eru ræktaðar á súrum jarðvegi (Kirchmann o.fl. 2009). Svepprætur efla niturnám belgjurta, e.t.v. vegna aukinnar upptöku á Co, Mo, Cu og Fe, en kál og fleiri tegundir vantar svepprætur (Johnston 2005).

#### 1.2 Snefilefni í jarðvegi

Guðni Þorvaldsson og Þorsteinn Guðmundsson (2006) og Ólafur Arnalds og Rannveig Guicharnaud (2008) hafa fjallað um snefilefni með tilliti til eiginleika jarðvegs og íslensks berggrunns. Mikilvægustu eiginleikar jarðvegs sem hafa áhrif á aðgengi að ýmsum næringarefnum eru sýrustig og afoxunarspenna. Aukið framboð er af Fe, Co, Cu, Mn, Mo, Ni og Zn í súrefnissnauðum jarðvegi. Ítarlegri umfjöllun er í ýmsum bókum. Hér er stuðst við Mengel og Kirkby (2001).

Heildargreining á efnum í jarðvegi var gerð á 12 sýnum úr tilraun nr. 19-54 á Skriðuklaustri, einkum með áherslu á Ca, Mg, K, Na og P (Guðmundsson o.fl. 2005a, Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2006), en úr þeirri tilraun komu 18 af 60 heysýnum í þessari rannsókn. Einnig voru mæld snefilefni, þau sömu og fjallað er um í þessari grein að undanskildu Se, og að auki efnin Si, Al, Ti og S, sem ásamt Fe og Mn eru þau efni sem eru í ríkustum mæli í jarðvegi (>1 mg/kg), og efnin As, Ba, Be, Hg, La, Nb, Sc, Sn, Sr, V, W og Y sem öll voru < 0,5 g/kg (Guðmundsson o.fl. 2005b). Á efnunum Mo, Fe, Mn, Cu, Cr og Pb, sem einnig voru mæld í heysýnum, komu ekki fram neinar breytingar í jarðvegi sem rekja má til tilraunamedferðar. Af Cu, Cr, Zn og Pb var þó aukið magn í 0–5 cm, en munurinn er hlutfallslega lítill nema á Pb. Lægstu gildin voru í sýnum af óábornu. Ef um raunverulega aukningu er að ræða er það vísbending um að efnin geti hafa komið með áburði. Um breytingar á Zn, Ni, Co og Cd í jarðvegi er fjallað í 4. kafla í samhengi við mælingar á heysýnum.

Þrjú efni voru auk þess mæld í AL-skoli á sömu sýnum, þ.e. Cd, Pb, og Mo (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2003). Cd mældist mjög líkt og í heildargreiningu, Pb heldur meira eða 6,1 mg/kg að meðaltali borið saman við 3,5 í heildargreiningu. Mo var <6 í heildargreiningunni, sem voru greiningarmörk, en 1,0 mg/kg að meðaltali í AL-skoli. Hæstu gildin voru í reit með stækju en þau lægstu í sýnum utan tilraunar án áburðar. Ekki er samt hægt að álykta um áhrif áburðar og reyndar eru þau gagnstæð því sem búast mátti við þar sem minni leysanleika er að vænta í súrum jarðvegi, sjá 4.6.

---

<sup>1</sup> Virkni róta stuðlar að afoxun og meira aðgengi að Mn á þann hátt að í rótarnánd lækkar pH og súrefni getur skort í smáskotum. Aðrir þættir skipta þó meira máli. Umræðan í undanfarandi grein bendir fremur til að Mn losni er líður á sumarið en að rætur séu virkar.



## 2. Val á sýnum

Til efnagreiningar voru valin sýni af 1. sl. úr 6 tilraunum á Sámsstöðum, Geitasandur meðtalinn, og Skriðuklaustri, alls 10 tilraunaliðum, þrjú gömul og þrjú nýleg sýni af hverjum lið, annars vegar frá árunum 1964 – 69 og hins vegar 1997 – 2003, nema 1987 – 96 í tilraun á Skriðuklaustri. Á Sámsstöðum voru að meðaltali 35,6 ár milli eldri og yngri sýna, 26 ár á Skriðuklaustri og 33,4 alls. Á Skriðuklaustri voru sýnin úr tilraun nr. 19-54 (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2003). Á Sámsstöðum voru tilraunirnar á þremur stöðum með ólíkum jarðvegi: tilraun nr. 10-45 á hól austan bæjar, nr. 8-50 og 16-56 á mýrinni undir Krosshól og nr. 11-59 og 19-58 á Geitasandi.

Tilraunir nr. 19-54 og 10-45 voru með samanburð á þremur tegundum N-áburðar sem hafa ólík áhrif á sýrustig jarðvegs og voru valin sýni úr hverjum þessara tilraunaliða. Merking tilraunaliða með bókstöfum var ekki eins í þessum tilraunum:

	land	Kjarni NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> lítið sýrandi Am_nitrat	Stækja (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> mikið sýrandi Sulfat	Kalksaltpétur Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , kalkandi Kalksp	Áburður, kg/ha			
					N	P	K	
Skriðuklaustri	19-54	Skr	B	C	D	120	62	75
Sámsstöðum	10-45	Holl	D	C	B	120	30	30

Í tilraun nr. 10-45 á Sámsstöðum var minna N borið á til 1963. Í öðrum tilraunum á Sámsstöðum voru tilraunaliðir og áburður sem hér segir:

		Land	N	P	K	
8-50	undir Krosshól	Myri	D	70	30	100
16-56	-- “ --	--“--	E	100	33	62
11-59	á Geitasandi	Sandur	D	120	40	100
19-58	-- “ --	--“--	C	150	53	100

Í tilraun nr. 19-58 var áburði skipt og 50 kg N/ha borin á eftir 1. sl.

Dreifing sýna á tilraunir og ár:

	1964	1965	1966	1967	1969	1987	1990	1996	1997	2000	2001	2003	Ár <sup>1</sup>
8-50	1	1	1						1	1		1	35
10-45	3	3	3							3	3	3	36½
11-59	1	1			1				1	1		1	34
16-56	1	1	1						1	1		1	35
19-54	3	3	3			3	3	3					26
19-58	1	1		1					1	1		1	34½

<sup>1</sup>Meðalfjöldi ára milli tímabila

Sláttutímar í tilraunum voru:

	1964	1965	1966	1967	1969	1987	1990	1996	1997	2000	2001	2003
8-50	29.6.	25.6.	5.7.						26.6.	22.6.		24.6.
10-45	3.7.	2.7.	7.7.							20.6.	29.6.	24.6.
11-59	13.7. <sup>1,2</sup>	8.7. <sup>1</sup>			15.7.				1.7.	23.6.		25.6.
16-56	29.6.	25.6.	5.7.						26.6.	22.6.		24.6.
19-54	19.6.	19.6.	25.6.			25.6.	10.7.	7.7. <sup>1</sup>				
19-58	13.7. <sup>1,2</sup>	8.7. <sup>1</sup>		19.7.					1.7.	23.6.		25.6.

<sup>1</sup>Tilraunin var einslegin árið áður.

<sup>2</sup>Tilraunin var einslegin þetta ár.

### 3. Aðferðir við úrvinnslu

Helsta markmið rannsóknarinnar var að meta hvort einhver hneigð væri til að styrkur efna hefði aukist eða minnkað frá eldri til yngri sýna. Ennfremur var prófað hvort styrkur efna væri mismunandi eftir tegund N-áburðar, þ.e. sýrustigi, eða stað og jarðvegi.

Töflur með útkomum eru oftast teknar beint úr Genstat (Payne o.fl. 2005). Leturgerð (*Courier* 10) er látin halda sér, nema uppsetning er víða löguð að formi þessa rits og heiti þáttar feitletrað. Tugakomma er sett í stað tugapunkts. Í eftirfarandi töflu eru nöfn á þáttum og stigum þeirra, sem notuð eru í uppgjöri, sýnd og skýrð.

<i>Páttur:</i>	Tímabil	Áburðartegund	Liðir í 19-54 og 10-45	Landgerð
	<b>tbil</b>	<b>abteg</b>		<b>land</b>
	1 '64-'69	Am_nitrat	B, D	Skr Skriðuklaustur
	2 '87-2003	Sulfat	C, C	Holl Á hólnum á Sámstöðum
		Kalksp	D, B	Myri Undir Krosshól
				Sandur Á Geitasandi

Yfirleitt virtist óþarft að gera ráð fyrir mismun tilrauna undir Krosshól og á Geitasandi og nýtast þær því sem endurtekningar. Fullt líkan í uppgjöri er því  $tbil * abteg * land$ . Oft mátti sleppa  $tbil$  úr líkaninu, en  $abteg * land$  var jafnan haldið.

Allar niðurstöður mælinga eru gefnar í næsta kafla og dreifing þeirra er sýnd. Stundum var hún nálægt því að vera samhverf og þá voru borin saman meðaltöl. Dreifing annarra efna er skekkt og var þá unnið með lógariþma af mæligildunum eða raðgildi, en stundum voru felld niður gildi sem virtust afbrigðilega há. Þó var oft sleppt að prófa mismun ef hann var greinilega lítill sem enginn, eða á hinn bóginn augljós. Ef niðurstöður voru breytilegar eftir árum var litið á þann breytileika sem hendingu eða slembiþátt og **Reml** (aðferð sennilegustu frávíka) notað.

## 4. Niðurstöður

### 4.1 Dæmigerðar niðurstöður

Greina mátti ákveðinn kjarna af sýnum fyrir hvert þessara 11 efna þar sem niðurstöður voru taldar dæmigerðar. Utan hans eru afbrigðileg gildi og tilraunamedferð eða staðir sem víkja frá meginsafninu, misjafnt eftir efni. Í eftirfarandi töflu eru gildi sem einkenna dreifingu dæmigerðra gilda og skýrt hver þau eru. Öll gildi eru mg/kg af þurrefni.

		Fjórðungsgildi						
		n	Mt.	Miðg.	1.	3.	s	CV %
<b>Fe</b>	Sámsstöðum, sleppt gildum $\geq 400$	40	141	135	112	166	43	30
<b>Mn</b>	Breytilegt eftir jarðvegi og pH			30–300				
<b>Zn</b>	> 1986, sleppt $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	24	38	38	35	41	6,4	17
<b>Cu</b>	>1986, sandur, mýri, $\text{NH}_4\text{NO}_3$ á Skr	18	7,02	6,81	6,40	7,58	0,96	14
<b>Mo</b>	Sleppt er sandi og $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	36	0,48	0,47	0,38	0,58	0,17	36
<b>Ni</b>	Sleppt sandi, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ og $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	24	0,94	1,02	0,73	1,11	0,23	24
<b>Se</b>	Sleppt er sandi og $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	36	0,068	0,074	0,055	0,080	0,022	32
<b>Co</b>	Sandur, mýri, $\text{NH}_4\text{NO}_3$ á Skriðuklaustri	30	0,19	0,19	0,14	0,23	0,069	36
<b>Cr</b>	>1986, sleppt gildum $\geq 1,0$	28	0,184	0,162	0,11	0,21	0,093	50
<b>Cd</b>	>1986, sleppt stækju	24	0,139	0,132	0,11	0,16	0,047	34
<b>Pb</b>	>1986	30	0,071	0,071	0,039	0,103	0,040	56

Milli fjórðungsgilda eru 50% gilda. Í normaldreifingu er bilið milli þeirra  $1,35 \times \sigma$ , en í  $t_{10}$  (t-dreifingu með 10 frítölum) er bilið  $1,40 \times s$ . Samanburður á meðaltali, miðgildi og fjórðungsgildum sýnir nokkuð samhverfa dreifingu á öðrum eignum en Mn þegar gagnasafnið hefur verið takmarkað með þessum hætti. Frávikshlutfall (CV%) 5 efna er á bilinu 32 – 36, en það sýnir að gildi geta orðið tiltölulega nærri núlli án þess að vera afbrigðileg. Lægst er það hjá Cu og Zn og mjög lág gildi því ólíkleg. Dreifing Cr og Pb nær niður í eða niður fyrir núll nema gert sé ráð fyrir skekktri dreifingu. Mismunur fjórðungsgilda Zn er minni en vænta má ef um normaldreifingu er að ræða. Breytileiki efna gæti verið vanmetinn því að sýnin, sem notuð voru við gerð þessarar töflu, voru valin, en að öðru leyti má telja þessi gögn sérlega vel til þess fallin að meta náttúrulegan breytileika vegna að mælingar voru endurteknar á sama stað.

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

#### 4.2 Járn, Fe

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	1964	1965	1966	1967	1969	1987	1990	1996	1997	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	194	124	154	*	*	*	*	*	*	189	76	150	<b>148</b>
10_45_c	162	122	122	*	*	*	*	*	*	112	81	133	<b>122</b>
10_45_d	87	102	119	*	*	*	*	*	*	173	78	200	<b>127</b>
11_59_d	237	102	*	*	150	*	*	*	126	109	*	140	<b>144</b>
16_56_e	168	124	191	*	*	*	*	*	166	165	*	143	<b>159</b>
19_54_b	60	121	60	*	*	104	96	137	*	*	*	*	<b>96</b>
19_54_c	59	184	63	*	*	118	105	181	*	*	*	*	<b>118</b>
19_54_d	64	179	52	*	*	172	106	234	*	*	*	*	<b>135</b>
19_58_c	258	100	*	489	*	*	*	*	156	86	*	141	<b>205</b>
8_50_d	410	111	137	*	*	*	*	*	218	119	*	119	<b>186</b>
<b>Mt.</b>	<b>170</b>	<b>127</b>	<b>112</b>	<b>489</b>	<b>150</b>	<b>131</b>	<b>102</b>	<b>184</b>	<b>167</b>	<b>136</b>	<b>78</b>	<b>147</b>	<b>144</b>

Dreifing gilda og meðaltöl:

-	80	8	*****
80	- 160	33	*****
160	- 240	16	*****
240	- 320	1	*
320	- 400	0	
400	- 480	1	*
480	-	1	*

Hér á eftir er gildum Fe>400 sleppt. Þá nálgast Fe samhverfa dreifingu:

-	60	3	***
60	- 90	8	*****
90	- 120	14	*****
120	- 150	13	*****
150	- 180	10	*****
180	- 210	6	*****
210	- 240	3	***
240	-	1	*

	tbil	1	2	Mt.		tbil	1	2	Mt.
<b>land</b>					<b>abteg</b>				
Skr	94	139	116		Am_nitrat	91	131	111	
Hóll	132	133	132		Sulfat	119	122	120	
Mýri	146	155	151		Kalksp	128	155	141	
Sandur	170	126	146						
<b>Mt.</b>	<b>129</b>	<b>138</b>	<b>133</b>		<b>Mt.</b>	<b>113</b>	<b>136</b>	<b>124</b>	

Innan tilraunastöðva er marktækur áramunur. Afgangsdreifni er 1143 og dreifni milli ára 1376. Dreifni athugunar, ár óþekkt, er:  $1143+1376=2519=50^2$ ,  $s=50$  (önnur niðurstaða:  $1352+1132=50^2$ , sjá 5.2.1). Allmikil fylgni fannst við Co, breytileiki milli ára fellur saman að miklu leyti. Einnig er fylgni við Ni (5.2.1). Skekkju á mismun meðaltala er erfitt að meta, en tæplega er um marktækan mun að ræða. Helst væri það milli tímabila á Skriðuklaustri.

Hæstu gildin tvö á Sámsstöðum liggja töluvert utan annarra gilda í þessari rannsókn, en í öðrum rannsóknum hafa fundist mikið hærri gildi á Fe. Nærtæk tilgáta er að áramunur og afbrigðilega há gildi séu vegna rykmengunar. Skoða má veðurfar eða mæla önnur efni (Si og Al) sem rykmengun gæti haft áhrif á og setja upp dæmi um hugsanleg áhrif hennar. Önnur skýring á áramun eða öðrum breytileika er áhrif jarðvegsraka. Þeirri tilgátu hefur verið varpað fram að mismikið áfok sem er komið frá gosbeltunum og þar af leiðandi mismikil losun efna við veðrun geti skýrt mun á styrk Fe milli landshluta (Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011).

## 4.3 Mangan, Mn

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	1964	1965	1966	1967	1969	1987	1990	1996	1997	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	25	27	33	*	*	*	*	*	*	24	22	25	26
10_45_c	186	275	258	*	*	*	*	*	*	232	237	202	232
10_45_d	95	118	89	*	*	*	*	*	*	105	93	85	97
11_59_d	103	112	*	*	78	*	*	*	134	98	*	135	110
16_56_e	282	275	194	*	*	*	*	*	267	292	*	289	266
19_54_b	52	68	65	*	*	52	74	43	*	*	*	*	59
19_54_c	131	115	127	*	*	109	123	178	*	*	*	*	130
19_54_d	27	49	21	*	*	28	27	32	*	*	*	*	31
19_58_c	75	95	*	90	*	*	*	*	125	119	*	167	112
8_50_d	336	266	195	*	*	*	*	*	352	371	*	346	311
<b>Mt.</b>	<b>131</b>	<b>140</b>	<b>123</b>	<b>90</b>	<b>78</b>	<b>63</b>	<b>75</b>	<b>84</b>	<b>219</b>	<b>177</b>	<b>117</b>	<b>178</b>	<b>137</b>

Dreifing gilda og meðaltöl:

-	50	13	*****
50	- 100	14	*****
100	- 150	13	*****
150	- 200	5	*****
200	- 250	3	***
250	- 300	8	*****
300	- 350	2	**
350	-	2	**

	tbil	1	2	Mt.		tbil	1	2	Mt.
<b>land</b>					<b>abteg</b>				
Skr		73	74	74	Am_nitrat		81	75	78
Hóll		123	114	118	Sulfat		182	180	181
Mýri		258	319	289	Kalksp		30	26	28
Sandur		92	130	111					
<b>Mt.</b>		<b>129</b>	<b>146</b>	<b>137</b>	<b>Mt.</b>		<b>98</b>	<b>94</b>	<b>96</b>

Meðaltöl eru há á mýri og sandi og hækka milli tímabila. Flest gildi eru hærri á seinna tímabilinu en því fyrra og Mann-Whitney próf gefur  $P=0,009$  á sandi,  $P=0,046$  á mýri. Tilgátunni um að dreifing gilda á fyrra og seinna tímabilið sé tilviljanakennd og miðgildi þau sömu er hafnað við  $\alpha = 0,05$ . Niðurstaðan er að skilyrði í jarðvegi hafi verið meira rýrandi (afoxandi) á seinna tímabilinu en því fyrra. Á sandinum gæti skýringin verið uppbygging yfirborðslags með miklu af lífrænum efnum og að lífrænar sýrur hafi borist dýpra í sniðið. Á mýrinni getur það verið vegna lakari framræslu og að jarðvegur hafi súrnað, en það getur einnig verið vegna sýrandi áhrifa áburðar. Athygli vekur að Mn skuli ekki hafa hækkað milli tímabila á stækjureitunum. Frá upphafi tilrauna voru liðin 19 ár (Sámsstöðum) og 10 ár (Skriðuklaustur) þegar fyrstu sýnin, sem mælt var í, voru tekin og áhrif sýringar á upplausn mangans virðast þá þegar hafa verið komin fram að fullu.

Ekki fannst neinn breytileiki milli ára innan tímabila eins og fannst hjá Fe. Prófað var hvort um gæti verið að ræða samdreifni milli Fe og Mn sem gæti bent til breytileika í rýrandi skilyrðum milli ára, og þar með aðgengi þessara efna. Reiknað var aðhvarf Fe að Mn. Í líkaninu var gert ráð fyrir mismun á tilraunum og tilraunaliðum. Reiknað var í tvennu lagi, annars vegar í tilraunum með hátt Mn, þ.e. mýri og stækjureitum en  $Fe > 400$  þó sleppt, og hins vegar öllum öðrum, en ekkert samband fannst.

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

#### 4.4 Sink, Zn

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	1964	1965	1966	1967	1969	1987	1990	1996	1997	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	39	41	48	*	*	*	*	*	*	36	32	35	38
10_45_c	55	57	60	*	*	*	*	*	*	41	38	42	49
10_45_d	54	53	54	*	*	*	*	*	*	45	42	45	49
11_59_d	30	29	*	*	23	*	*	*	36	33	*	40	32
16_56_e	46	42	37	*	*	*	*	*	33	35	*	39	39
19_54_b	35	34	38	*	*	34	39	35	*	*	*	*	36
19_54_c	39	38	39	*	*	38	38	48	*	*	*	*	40
19_54_d	33	32	33	*	*	32	36	30	*	*	*	*	33
19_58_c	31	30	*	28	*	*	*	*	32	28	*	35	31
8_50_d	42	41	40	*	*	*	*	*	37	35	*	42	39
<b>Mt.</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>44</b>	<b>28</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>39</b>

Dreifing gilda og meðaltöl eru

-	24	1	*	
24	- 30	3	***	
30	- 36	21	*****	
36	- 42	20	*****	
42	- 48	8	*****	
48	- 54	3	***	
54	- 60	3	***	
60	-	1	*	
tbil		1	2	Mt.
Skr		36	37	36
Hóll		51	40	45
Mýri		41	37	39
Sandur		29	34	31
Mt.		40	37	39

Staðskekka mismunar meðaltala er  $s_{mm}=2,6$ ,  $n=6$ . Miðað við tilraunaskekku er vísbending um að á fyrra tímabilinu hafi verið mismunur á stöðum og að frá fyrra tímabilinu til þess seinna hafi Zn breyst mismikið eftir stöðum. Á hólnum á Sámstöðum hefur styrkur Zn lækkað. Að öðru leyti sýnir þessi rannsókn ekki lækandi styrk eins og komið hefur fram í mælingum á heysýnum frá bændum (Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011). Þar voru bornar saman rannsóknir frá mismunandi árum og sýni því ekki greind samtímis. Í sænsku langtímatilraununum lækkaði Zn sums staðar milli tímabila (Kirchmann o.fl. 2005).

**Meðaltöl eftir N-áburði:**

	tbil	1	2	Mt.
Am_nitrat		45	40	42
Sulfat		48	41	44
Kalksp		38	34	36
Mt.		43	38	41

$$s_{mm}=1,9$$

Zn er marktækt minna á kalksaltpétursreitum en öðrum. Í jarðvegi á Skriðuklaustri var það lægst í 0–5 cm á stækjureitum (Gudmundsson o.fl. 2005b) sem er vísbending um að aukinn leysanleiki Zn í jarðvegi við sýringu valdi aukinni útskolun þótt upptaka hafi ekki aukist.

## 4.5 Kopar, Cu

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	64	65	66	67	69	87	90	96	97	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	6,7	7,3	8,0	*	*	*	*	*	*	5,9	5,5	6,0	6,6
10_45_c	7,4	7,6	8,4	*	*	*	*	*	*	5,2	5,1	5,4	6,5
10_45_d	7,9	8,5	8,9	*	*	*	*	*	*	7,0	6,3	6,5	7,5
11_59_d	8,1	7,6	*	*	7,7	*	*	*	8,3	8,3	*	7,9	8,0
16_56_e	9,1	8,3	7,9	*	*	*	*	*	6,9	6,0	*	6,9	7,5
19_54_b	9,2	7,8	9,7	*	*	7,6	7,5	9,2	*	*	*	*	8,5
19_54_c	9,4	9,2	9,7	*	*	8,3	7,1	9,3	*	*	*	*	8,8
19_54_d	8,8	8,2	7,6	*	*	6,4	6,4	8,0	*	*	*	*	7,6
19_58_c	7,6	8,6	*	8,7	*	*	*	*	5,6	5,8	*	6,4	7,1
8_50_d	8,4	7,4	7,4	*	*	*	*	*	6,7	6,8	*	6,5	7,2
<b>Mt.</b>	<b>8,2</b>	<b>8,1</b>	<b>8,5</b>	<b>8,7</b>	<b>7,7</b>	<b>7,4</b>	<b>7,0</b>	<b>8,8</b>	<b>6,9</b>	<b>6,4</b>	<b>5,6</b>	<b>6,5</b>	<b>7,5</b>

Dreifing gilda og meðaltöl:

-	4,8	0	
4,8	-	5,6	4 ****
5,6	-	6,4	8 ****
6,4	-	7,2	10 ****
7,2	-	8,0	16 ****
8,0	-	8,8	12 ****
8,8	-	9,6	8 ****
9,6	-	2	**

	tbil	1	2	Mt.		tbil	1	2	Mt.
Skr		8,9	7,8	8,3	Am_nitrat		8,7	7,4	8,0
Hóll		7,9	5,9	6,9	Sulfat		8,6	6,7	7,7
Mýri		8,1	6,6	7,3	Kalksp		7,8	6,4	7,1
Sandur		8,0	7,1	7,6					
<b>Mt.</b>		<b>8,2</b>	<b>6,8</b>	<b>7,5</b>	<b>Mt.</b>		<b>8,4</b>	<b>6,8</b>	<b>7,6</b>

Kopar fer lakkandi með tímanum en er að öðru leyti tiltölulega stöðugur. Þó er marktækur munur á tilraunum og tilraunaliðum og mismunur ára marktækur, sjá næstu bls. Í sænsku tilrauninum var sambærileg lakkun á Cu milli tímabila (Kirchmann o.fl. 2005).

Ar	Reiknað, LS	s <sub>mt</sub>	Tilr_lid	Reiknað, LS	s <sub>mt</sub>	Mt. liða í meðalári, Reml
1964	8,242	0,188	10_45_b	6,704	0,252	6,67
1965	8,055	0,188	10_45_c	6,655	0,252	6,62
1966	8,482	0,215	10_45_d	7,640	0,252	7,62
1967	9,288	0,649	11_59_d	8,244	0,274	8,13
1969	7,017	0,649	16_56_e	7,518	0,250	7,52
1987	6,849	0,382	19_54_b	8,338	0,271	8,35
1990	6,408	0,382	19_54_c	8,670	0,271	8,68
1996	8,226	0,382	19_54_d	7,390	0,271	7,40
1997	6,927	0,320	19_58_c	6,987	0,274	7,10
2000	6,701	0,236	8_50_d	7,192	0,250	7,19
2001	6,166	0,369				s <sub>mm</sub> =0,366
2003	6,763	0,236				

Í undanfarandi töflu eru annars vegar meðaltöl ára og tilraunaliða reiknuð með aðferð minnstu kvaðrata og hins vegar meðaltöl liða reiknuð í Reml með ár sem hendingarþátt. Í því líkani er s<sub>ar</sub>=0,88 og s<sub>afg</sub>=0,60 og staðalfrávik samanlagðs breytileika því  $s=(0,88^2+0,60^2)^{1/2}=1,06$ .

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

Eins og sést á meðaltölum ára í undanfarandi töflu og í útreikningum hér á eftir hefur Cu farið lækkaði með tímanum.

Útdráttur úr fervikagreiningu:

Change	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.
+ Ar	11	50,2517	4,5683	12,96
+ Tilr_lid	9	20,2736	2,2526	6,39
Residual	39	13,7505	0,3526	

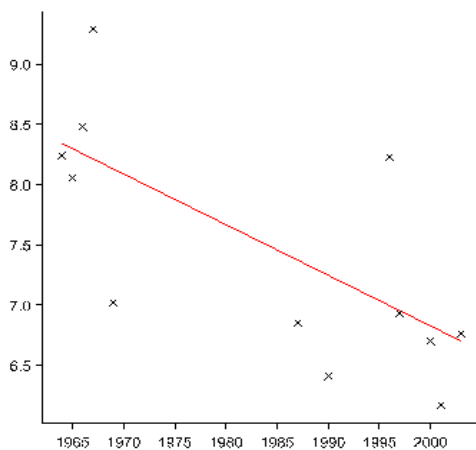
Change	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.
+ Tilr_lid	9	30,8577	3,4286	6,67
+ Artal	1	28,2388	28,2388	54,95
Residual	49	25,1793	0,5139	
<b>afgangsbreytileiki m. ára -10</b>		<b>11,4288</b>	<b>1,14288</b>	<b>3,24</b>
<b>P=0,004</b>				
Afgangur	-39	-13,7505	0,3526	

(Víxlverkun: Tilraunastöð\*Ár ekki marktæk)

Samkvæmt þessu eru frávik ára frá aðhvarfslínu marktæk, sjá línurit, og því er rétt að hafa ár í hendingarlíkani þegar aðhvarf að árum er reiknað. Árið 1996 sker sig mjög úr á seinna tímabilinu en 1969 á því fyrra. Bæði þessi ár eru athuganir fáar og vega þau því frekar lítið. Aðhvarf að árum er  $-0,042 \pm 0,0081$  (Reml). Þættir í uppgjöri voru  $land \cdot abteg$ . Breytileikinn er  $s^2_{ar} = 0,1241 = 0,35^2$  og  $s^2_{afg} = 0,453 = 0,67^2$  og staðalfrávik frá aðhvarfslínu miðað við eitt sýni á ári er því  $s = (0,1241 + 0,453)^{1/2} = 0,76$ . Víxlverkun ára og tilraunastöðva var ekki marktæk skv. uppgjöri með aðferð minnstu kvaðrata (LS). Þó var gert ráð fyrir mismunandi ársáhrifum á tilraunastöðvunum í Reml, en í niðurstöðum úr LS-uppgjöri hér að ofan og á línuriti að neðan er gert ráð fyrir sömu ársáhrifum á báðum stöðvum.

Meðaltöl leiðrétt fyrir hneigð með árum með aðferð minnstu kvaðrata eru

Skr	7,76	Am_nitrat	7,98
Hóll	6,94	Sulfat	7,65
Mýri	7,36	Kalksp	7,04
Sandur	7,62		



Cu hefur lækkað um 1,68 á 40 árum samkvæmt aðhvarfi. Ammóníumnitrat virðist gefa mestan Cu og kalksaltpétur minnstan. Mismunur milli jarðvegsgerða á Sámsstöðum er lítill borið saman við hneigð með tíma.

Samband fannst milli styrks Cu og Mo, og einnig fannst marktækt samband við Ni og Co ef öðru hvoru þessara efna var bætt við (5.2.3).

Efnagreiningar á jarðvegi á Skriðuklaustri bentu til aukningar á Cu í 0–5 cm (sjá 1.2), en munurinn er mjög lítill og telja verður ósennilegt að um raunverulega aukningu sé að ræða úr því að Cu fer minnkandi í grasi.



## 4.6 Molybden, Mo

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	1964	1965	1966	1967	1969	1987	1990	1996	1997	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	0,57	0,63	0,80	*	*	*	*	*	*	0,58	0,56	0,62	<b>0,63</b>
10_45_c	0,18	0,25	0,28	*	*	*	*	*	*	0,26	0,16	0,16	<b>0,21</b>
10_45_d	0,38	0,47	0,83	*	*	*	*	*	*	0,50	0,45	0,52	<b>0,52</b>
11_59_d	0,10	0,11	*	*	0,12	*	*	*	0,43	0,61	*	0,75	<b>0,35</b>
16_56_e	0,68	0,49	0,61	*	*	*	*	*	0,30	0,39	*	0,41	<b>0,48</b>
19_54_b	0,47	0,39	0,32	*	*	0,32	0,35	0,61	*	*	*	*	<b>0,41</b>
19_54_c	0,33	0,34	0,13	*	*	0,26	0,20	0,29	*	*	*	*	<b>0,26</b>
19_54_d	0,58	0,54	0,40	*	*	0,31	0,30	0,59	*	*	*	*	<b>0,45</b>
19_58_c	0,07	0,09	*	0,07	*	*	*	*	0,22	0,35	*	0,47	<b>0,21</b>
8_50_d	0,29	0,25	0,47	*	*	*	*	*	0,37	0,66	*	0,38	<b>0,40</b>
<b>Mt.</b>	<b>0,37</b>	<b>0,35</b>	<b>0,48</b>	<b>0,07</b>	<b>0,12</b>	<b>0,29</b>	<b>0,28</b>	<b>0,50</b>	<b>0,33</b>	<b>0,48</b>	<b>0,39</b>	<b>0,47</b>	<b>0,39</b>

Dreifing gilda og meðaltöl eru

	-	0,12	6	*****
0,12	-	0,24	6	*****
0,24	-	0,36	16	*****
0,36	-	0,48	13	*****
0,48	-	0,60	9	*****
0,60	-	0,72	7	*****
0,72	-	0,84	3	***
0,84	-		0	

<b>tbil</b>		1	2
<b>land</b>			
Skr		0,39	0,36
Hóll		0,49	0,42
Mýri		0,47	0,42
Sandur		0,09	0,47

<b>tbil</b>		1	2	Mt.
<b>abteg</b>				
Am_nitrat		0,48	0,46	0,47
Sulfat		0,25	0,22	0,24
Kalksp		0,59	0,49	0,54
Mt.		0,44	0,39	0,41

$$^1 s_{mm} 0,051^2$$

Mo hefur aukist mikið í sýnum frá Geitasandi frá fyrsta áratug ræktunarinnar þegar það var undir skortsmörkum. Að öðru leyti er ekki mismunur á bilum. Leysanleiki Mo minnkar við lágt pH og það var lágt í stækjureitum þar sem jarðvegur varð fljótt súr, þegar á fyrra tímabilinu. Einnig keppir sulfat við molybdat um upptöku. Mest er Mo á reitum með kalksaltpétri þar sem pH er hæst, þó ekki marktækt umfram Kjarna. Þótt Mo vinni gegn Cu í fódri búfjár er jákvætt samband milli upptöku á Mo og Cu í grasi (5.2.3). Einnig eru áhugaverð tengsl milli Mo og Se, e.t.v. vegna þess að þau losni saman við veðrun í jarðvegi (5.3, 5.4).

Í sænsku langtímatilraununum margfaldaðist Mo á seinna tímabilinu miðað við það fyrra í öllum tilraunum nema einni þar sem það var mjög lágt (Kirchmann o.fl. 2005). Kirchmann o.fl. (2009) tengja aukinn styrk á Mo í hveiti við minnkandi áfall af S úr lofti eða með úrkomu, en þó kom ekki fram lækkun á Mo þegar þegar farið var að nota áburð með sulfati á síðasta áratug liðinnar aldar. Brennisteinn mun hafa verið meiri í úrkomu 1964 – 1969 en síðar varð þegar upptakan á Mo var minnst á Geitasandi. Mælingar hófust þó ekki fyrr en 1980. S-skortur er mikill á Geitasandi (Hólmgeir

<sup>1</sup>  $s_{mm}$  = staðalskekka mismunarins (e.: SED).

<sup>2</sup> Þetta er vanmat á skekkju þar sem breytileiki milli ára er verulegur og athuganir á sömu tilraunastöð því ekki óháðar innan árs (5.2.3).

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

Björnsson 2007) svo að ólíklegt er að samkeppni við súlfat skýri litla upptöku á Mo. Miðað við það sem Kirchmann o.fl. (2009) gefa upp hefur Mo í P-áburði verið nálægt þriðjungi þess sem tekið var upp á Geitasandi 1964 – 69. Ekki eru tiltækar upplýsingar um þann áburð sem notaður var á Íslandi.

Mengel og Kirkby (2001) fjalla um skilyrði sem geta gert Mo óaðgengilegt í jarðvegi. Það binst járn- og áloxíðum líkt og fosfór. Leysanleikinn er háður pH svo að hann má auka með því að kalka. Þótt ekki sé hægt að gera grein fyrir þeim breytingum, sem kunna að hafa orðið á jarðvegi á Geitasandi og aukið leysanleika molybdens, má telja líklegra að þar sé að leita skýringa á auknu aðgengi að Mo en í þáttum eins og minni brennisteini í úrkomu eða breytingum á tilbúnum áburði.

Í rannsókn á heysýnum frá 2003 var styrkur Mo mikið minni en að jafnaði í langtímatilraununum og víða undir skortsmörkum (Jóhannesson o.fl. 2007). Nærtæk skýring er að í áburði sem er notaður á tún er jafnan brennisteinn þótt ekki hafi slíkra áhrifa gætt í sænsku langtímatilraununum eins og áður var getið. Hvergi var Cu/Mo < 4 svo að ekki er hætta á að Mo vinni gegn Cu í fódri búfjár. Grunur er um að Mo sé stundum ófullnægjandi fyrir ræktun krossblómategunda hér á landi og e.t.v. smára (Jóhannesson o.fl. 2007). Þá gæti verið athugandi að nota S-snaudan áburð.

#### 4.7 Nikkel, Ni

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	1964	1965	1966	1967	1969	1987	1990	1996	1997	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	0,58	0,61	0,65	*	*	*	*	*	*	0,41	0,33	0,36	<b>0,49</b>
10_45_c	1,73	1,73	2,47	*	*	*	*	*	*	1,17	1,24	1,34	<b>1,62</b>
10_45_d	1,12	1,10	1,20	*	*	*	*	*	*	1,20	1,04	1,08	<b>1,12</b>
11_59_d	1,66	1,59	*	*	1,20	*	*	*	1,55	2,03	*	1,96	<b>1,67</b>
16_56_e	0,92	0,73	0,59	*	*	*	*	*	1,05	1,17	*	1,31	<b>0,96</b>
19_54_b	0,75	1,22	0,70	*	*	0,65	0,57	0,63	*	*	*	*	<b>0,75</b>
19_54_c	1,22	1,40	1,50	*	*	1,77	1,49	2,60	*	*	*	*	<b>1,67</b>
19_54_d	0,65	0,70	0,63	*	*	0,56	0,48	2,06	*	*	*	*	<b>0,85</b>
19_58_c	1,87	1,82	*	1,68	*	*	*	*	1,21	1,33	*	1,45	<b>1,56</b>
8_50_d	1,07	0,73	0,80	*	*	*	*	*	0,99	0,99	*	1,05	<b>0,94</b>
<b>Mt.</b>	<b>1,16</b>	<b>1,16</b>	<b>1,07</b>	<b>1,68</b>	<b>1,20</b>	<b>0,99</b>	<b>0,85</b>	<b>1,76</b>	<b>1,20</b>	<b>1,19</b>	<b>0,87</b>	<b>1,22</b>	<b>1,16</b>

Dreifing gilda og meðaltöl:

- 0,6	8	*****
0,6 - 0,9	12	*****
0,9 - 1,2	14	*****
1,2 - 1,5	11	*****
1,5 - 1,8	8	*****
1,8 - 2,1	5	*****
2,1 - 2,4	0	
2,4 -	2	**

tbil	1	2	Mt.
<b>land</b>			
Skr	0,97	1,20	1,09
Hóll	1,24	0,91	1,08
Mýri	0,81	1,09	0,95
Sandur	1,63	1,59	1,61
Mt.	1,15	1,17	1,16
<b>abteg</b>			
Am_nitrat	1,01	0,86	0,94
Sulfat	1,68	1,60	1,64
Kalksp	0,64	0,70	0,67
Mt.	1,11	1,06	1,08

Ni er býsna óstöðugt. Í 4.1 voru 24 gildi notuð til að meta staðalfrávik. Ni er mest á súru reitunum (stækju) og á Geitasandi. Á Skriðuklaustri var Ni í jarðvegi minnst í 0–5 cm í súru reitunum og er það til marks um að sýringin hafi valdið útskolun á þessu efni (Gudmundsson o.fl. 2005b). Minnst er Ni á kalksaltpétursreitum á Sámsstöðum, 0,49. Vart er um hneigð með tíma að ræða. Gildi úr d-lið í tilraun nr. 19-54 árið 1996 víkur mikið frá. Sé því sleppt verður meðaltalið á kalksaltpétursreitum á seinna tímabilinu aðeins 0,43 og sýnir lækkandi hneigð með tíma. Í Svíþjóð er gert ráð fyrir að meira Ni skolist út en berst með áburði. Í búfjáráburði er þó meira Ni og styrkur þess í uppskeru verður meiri (Kirchmann o.fl. 2009).

Ni er þungmálmur og er einkum þekkt fyrir eituráhrif sem má koma í veg fyrir með því að kalka. Staðfest hefur verið að það er dýrum lífsnauðsynlegt. Í ýmsum tilvikum er það einnig plöntum nauðsynlegt og þarf styrkur þess að ná 0,1 mg/kg til að korn spíri (Mengel og Kirkby 2001). Gildin sem mældust í þessari rannsókn eru öll innan hæfilegra marka.

#### 4.8 Selen, Se

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Tilr_lid	64	65	66	67	69	87	90	96	97	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	048	090	099	*	*	*	*	*	*	050	023	103	<b>069</b>
10_45_c	027	074	072	*	*	*	*	*	*	089	059	041	<b>060</b>
10_45_d	065	061	094	*	*	*	*	*	*	075	067	093	<b>076</b>
11_59_d	058	034	*	*	002	*	*	*	051	058	*	112	<b>052</b>
16_56_e	061	024	079	*	*	*	*	*	074	043	*	008	<b>048</b>
19_54_b	087	046	059	*	*	079	057	077	*	*	*	*	<b>067</b>
19_54_c	067	070	042	*	*	043	070	043	*	*	*	*	<b>056</b>
19_54_d	053	080	077	*	*	065	074	075	*	*	*	*	<b>071</b>
19_58_c	016	000	*	036	*	*	*	*	035	083	*	109	<b>047</b>
8_50_d	051	074	080	*	*	*	*	*	092	093	*	056	<b>074</b>
<b>Mt.</b>	<b>053</b>	<b>055</b>	<b>075</b>	<b>036</b>	<b>002</b>	<b>062</b>	<b>067</b>	<b>065</b>	<b>063</b>	<b>070</b>	<b>050</b>	<b>075</b>	<b>062</b>

Vegna rýmis voru stafirnir **0**, felldir framan af. Eru öll gildi því í rauninni µg/kg.

Dreifing gilda og meðaltöl:

-	0,015	3	***
0,015	- 0,030	4	****
0,030	- 0,045	8	*****
0,045	- 0,060	12	*****
0,060	- 0,075	14	*****
0,075	- 0,090	10	*****
0,090	- 0,105	7	*****
0,105	-	2	**

	tbil:	1	2	Mt.		tbil:	1	2	Mt.
Skr		0,065	0,065	0,065	<i>abteg</i>				
Hóll		0,070	0,067	0,068	Am_nitrat	0,069	0,075	0,072	
Mýri		0,061	0,061	0,061	Sulfat	0,058	0,058	0,058	
Sandur		0,024	0,075	0,050	Kalksp	0,075	0,065	0,070	
<b>Mt.</b>		<b>0,058</b>	<b>0,067</b>	<b>0,062</b>	<b>Mt.</b>	<b>0,067</b>	<b>0,066</b>	<b>0,067</b>	

Á Geitasandi hefur Se aukist verulega frá fyrsta áratug tilraunanna, þó ekki eins mikið og Mo. Af 4 gildum undir 0,020 eru 3 af sandi fyrir 1970, en tvö hæstu gildin eru af sandi 2003. Að undanskildum mælingum á sandi má telja að ekki sé um mismun ára eða staða að ræða. Gildin á stækjureitunum eru lægst að meðaltali, en breytileikinn er tiltölulega mikill. Skekkjan á samanburði við meðaltal hinna áburðartegundanna er 0,0076 og munurinn því ekki marktækur. Stækjureitum var þó sleppt þegar niðurstöður voru dregnar saman í 4.1.

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

Miðgildi allra mælinga var 0,065. Í mælingum á 259 heysýnum frá 2006 var það 0,012 (Magnús B. Jónsson o.fl. 2008) og 0,010 í 195 sýnum frá 2003 (Grétar Hrafn Harðarson o.fl. 2006). Þó voru 10% gilda frá 2006 á mörkum þess að vera viðunandi eða  $\geq 0,1$ . Af 60 tilraunasýnum voru aðeins 3 ofan þessara marka og 2 sýni frá 2003. Aukin tíðni viðunandi gilda 2006 gæti verið vegna þess að selenblandaður áburður hafi verið notaður. Brennisteini er almennt blandað í tilbúinn áburð. Hann er skyldur Se um ýmsa eiginleika og því líklegt að þessi efni geti keppt um upptöku plantna. Það gæti skýrt frekar lág gildi á Se á stækjureitum. Se, Mo og S mætti mæla í sýnum úr eldri brennisteinstilraunum.

#### 4.9 Kóbolt, Co

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	64	65	66	67	69	87	90	96	97	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	0,05	0,04	0,05	*	*	*	*	*	*	0,06	0,00	0,04	<b>0,04</b>
10_45_c	0,21	0,24	0,27	*	*	*	*	*	*	0,12	0,12	0,15	<b>0,18</b>
10_45_d	0,08	0,11	0,09	*	*	*	*	*	*	0,17	0,11	0,15	<b>0,12</b>
11_59_d	0,22	0,22	*	*	0,12	*	*	*	0,30	0,19	*	0,19	<b>0,21</b>
16_56_e	0,17	0,07	0,26	*	*	*	*	*	0,19	0,19	*	0,26	<b>0,19</b>
19_54_b	0,10	0,17	0,09	*	*	0,09	0,16	0,16	*	*	*	*	<b>0,13</b>
19_54_c	0,18	0,35	0,36	*	*	0,27	0,18	0,35	*	*	*	*	<b>0,28</b>
19_54_d	0,08	0,20	0,07	*	*	0,17	0,08	0,31	*	*	*	*	<b>0,15</b>
19_58_c	0,15	0,19	*	0,32	*	*	*	*	0,20	0,14	*	0,14	<b>0,19</b>
8_50_d	0,29	0,09	0,23	*	*	*	*	*	0,32	0,21	*	0,26	<b>0,23</b>
<b>Mt.</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,32</b>	<b>0,12</b>	<b>0,18</b>	<b>0,14</b>	<b>0,27</b>	<b>0,25</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>

Dreifing gilda og meðaltöl:

- 0,05	3	***
0,05 - 0,10	12	*****
0,10 - 0,15	11	*****
0,15 - 0,20	14	*****
0,20 - 0,25	7	*****
0,25 - 0,30	6	*****
0,30 - 0,35	6	*****
0,35 -	1	*

tbil:	1	2	Mt.	tbil	1	2	Mt.
Skr	0,177	0,195	0,186	Am_nitrat	0,164	0,190	0,177
Hóll	0,127	0,101	0,114	Sulfat	0,267	0,197	0,232
Mýri	0,185	0,238	0,212	Kalksp	0,083	0,108	0,095
Sandur	0,202	0,193	0,197				
<b>Mt.</b>	<b>0,168</b>	<b>0,175</b>	<b>0,172</b>	<b>Mt.</b>	<b>0,168</b>	<b>0,175</b>	<b>0,172</b>

Co er minnst á hólnum á Sámstöðum. Þar dregur kalkandi áburður úr Co og styrkur Co í uppskeru hefur mælst mjög lágur, öll lægstu gildin eru þaðan. Einnig má benda á lág gildi á mýrinni 1965. Stækjan, sem er sýrandi, eykur Co í báðum tilraununum, en á hólnum á Sámstöðum hefur styrkurinn þó minnkað með tímanum á þessum reitum. Á Skriðuklaustri hefur styrkur Co minnkað í yfirborðslagi jarðvegs á stækjureit (Gudmundsson o.fl. 2005b). Niðurstöðurnar sýna að sýringin hefur aukið leysanleika Co og þar með upptöku þess, en jafnframt hefur hún valdið útskolun, á Sámstöðum í þeim mæli að upptaka á Co hefur minnkað.

Styrkur kóbólts er misjafn eftir árum og fylgir járn. Einnig er samband við nikkel (5.2.1 – 2). Þau gildi á Co, sem hér fengust, eru innan þeirra marka sem áður hafa fundist (Jóhannesson o.fl. 2007), og áður hefur komið fram að Co getur orðið lágt á kalkríku landi, m.a. með tilliti til þarfa sauðfjár (Björn Guðmundsson og Þorsteinn Þorsteinsson 1980).

## 4.10 Króm, Cr

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	64	65	66	67	69	87	90	96	97	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	0,10	0,07	0,06	*	*	*	*	*	*	0,17	0,09	0,15	<b>0,11</b>
10_45_c	0,10	0,06	0,06	*	*	*	*	*	*	0,22	0,15	0,26	<b>0,14</b>
10_45_d	0,04	0,03	0,12	*	*	*	*	*	*	0,30	0,10	0,19	<b>0,13</b>
11_59_d	0,18	0,05	*	*	0,11	*	*	*	0,09	0,12	*	0,42	<b>0,16</b>
16_56_e	0,16	0,06	0,06	*	*	*	*	*	0,09	0,36	*	0,18	<b>0,15</b>
19_54_b	0,06	1,53	0,04	*	*	0,11	0,12	0,14	*	*	*	*	<b>0,33</b>
19_54_c	0,06	0,54	0,05	*	*	0,14	0,13	1,23	*	*	*	*	<b>0,36</b>
19_54_d	0,07	0,36	0,04	*	*	0,23	0,21	2,43	*	*	*	*	<b>0,56</b>
19_58_c	0,21	0,04	*	0,31	*	*	*	*	0,09	0,19	*	0,40	<b>0,21</b>
8_50_d	0,44	0,06	0,09	*	*	*	*	*	0,20	0,20	*	0,10	<b>0,18</b>
<b>Mt.</b>	<b>0,14</b>	<b>0,28</b>	<b>0,06</b>	<b>0,31</b>	<b>0,11</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>	<b>1,27</b>	<b>0,12</b>	<b>0,22</b>	<b>0,11</b>	<b>0,24</b>	<b>0,23</b>

Þrjú gildi eru >1,0. Þau virðast afbrigðileg, e.t.v. óhreinindi eða svarf, og án þeirra er dreifing gilda

- 0,08	17	*****
0,08 - 0,16	19	*****
0,16 - 0,24	12	*****
0,24 - 0,32	3	***
0,32 - 0,40	2	**
0,40 - 0,48	3	***
0,48 - 0,56	1	*
0,56 -	0	

Miðgildi allra mælinga er 0,12 og eru enn nokkur gildi langt yfir miðgildinu, auk þeirra sem eru >1. Einföld meðaltöl eru

tbil	1	2	Mt.
Skr	0,153	0,155	0,154
Hóll	0,070	0,180	0,125
Mýri	0,144	0,189	0,167
Sandur	0,152	0,218	0,185
Mt.	0,125	0,184	0,154

Meðaltalið á Skriðuklaustri er misvísandi því að sleppt var 3 gildum af 18 og þaðan er einnig 4. hæsta gildið. Því er vísbinding um að þar sé að jafnaði meira króm en annars staðar. Áramunur er greinilegur. Á Sámsstöðum fengust há gildi 2000 og 2003, en 1965 og 1996 á Skriðuklaustri. Á Sámsstöðum hækkaði Cr úr 0,115 í 0,193 milli tímabila, meðaltal jarðvegsgerða.

Tímabil voru borin saman með Mann-Whitney prófi, engum gildum sleppt, og fékkst  $P < 0.001$ . Innan tímabila virðist áramunur og var ekki tekið tillit til þess.

Fyrir 1970			Eftir 1986		
- 0.08	17	*****	- 0.08	0	
0.08 - 0.16	5	*****	0.08 - 0.16	14	*****
0.16 - 0.24	3	***	0.16 - 0.24	9	*****
0.24 - 0.32	1	*	0.24 - 0.32	2	**
0.32 - 0.40	1	*	0.32 - 0.40	1	*
0.40 - 0.48	1	*	0.40 - 0.48	2	**
0.48 -	1	*	0.48 -	0	

Á fyrra tímabilinu voru 17 gildi <0,09 en ekkert á því seinna svo að telja má nokkuð öruggt að Cr hafi farið hækkanði þótt gildum >0,24 hafi lítið fjölgað. Í sænsku langtímatilrauninum lækkaði hins vegar Cr milli tímabila þótt meira komi með áburði, einkum með búfjáráburði, en skolast út og fjarlæggt er með uppskeru (Kirchmann o.fl. 2009).

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

#### 4.11 Kadmíum, Cd

Mæld gildi eru (á jöðrum meðaltöl liða og ára):

Ár	64	65	66	67	69	87	90	96	97	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	0,13	0,08	0,08	*	*	*	*	*	*	0,12	0,13	0,11	<b>0,11</b>
10_45_c	0,15	0,11	0,11	*	*	*	*	*	*	0,08	0,06	0,07	<b>0,10</b>
10_45_d	0,18	0,11	0,10	*	*	*	*	*	*	0,14	0,15	0,11	<b>0,13</b>
11_59_d	0,06	0,04	*	*	0,05	*	*	*	0,14	0,12	*	0,21	<b>0,10</b>
16_56_e	0,13	0,12	0,09	*	*	*	*	*	0,15	0,15	*	0,24	<b>0,15</b>
19_54_b	0,05	0,06	0,06	*	*	0,11	0,25	0,11	*	*	*	*	<b>0,11</b>
19_54_c	0,06	0,04	0,04	*	*	0,06	0,08	0,07	*	*	*	*	<b>0,06</b>
19_54_d	0,28	0,06	0,03	*	*	0,09	0,13	0,09	*	*	*	*	<b>0,11</b>
19_58_c	0,06	0,05	*	0,04	*	*	*	*	0,07	0,08	*	0,13	<b>0,07</b>
8_50_d	0,12	0,09	0,09	*	*	*	*	*	0,17	0,16	*	0,19	<b>0,14</b>
<b>Mt.</b>	<b>0,12</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,09</b>	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>

Dreifing gilda og meðaltöl:

Öll gildi	Fyrir 1970	Eftir 1986
- 0,04 2 **		
0,04 - 0,08 19 *****	- 0,05 6 *****	- 0,05 0
0,08 - 0,12 18 *****	0,05 - 0,10 13 *****	0,05 - 0,10 10 *****
0,12 - 0,16 13 *****	0,10 - 0,15 8 *****	0,10 - 0,15 12 *****
0,16 - 0,20 4 *****	0,15 - 0,20 2 **	0,15 - 0,20 5 *****
0,20 - 0,24 2 **	0,20 - 0,25 0	0,20 - 0,25 2 **
0,24 - 0,28 1 *	0,25 - 0,30 1 *	0,25 - 0,30 1 *
0,28 - 1 *		

tbil	1	2	Mt.		1	2	Mt.
Skr	0,076	0,110	0,093	Am_nitrat	0,092	0,146	0,119
Hóll	0,117	0,108	0,113	Sulfat	0,084	0,072	0,078
Mýri	0,107	0,176	0,142	Kalksp	0,113	0,110	0,111
Sandur	0,052	0,126	0,089				
Mt.	0,090	0,126	0,108	Mt.	0,096	0,109	0,103

Aukning Cd með tímanum sést best þegar tíðnidreifing er borin saman milli tímabila. Lág gildi,  $\leq 0,05$ , koma alls ekki fyrir á seinna tímabilinu og gildum  $>0,15$  fjölgar. Aukningin er þó mismikil.  $s_{mm}$  í töflunni um  $land*tbil$  er 0,033 að meðaltali, á bilinu 0,031 – 0,035 eftir fjölda athugana, áhrif áburðartegunda einangruð og **Ár** hendingarþáttur. Ef árum er sleppt úr hendingarlíkaninu er  $s=0,045$  og  $s_{mm} = 0,026$  ef  $n=6$ , en það er sennilega vanmat á skekkju.

Þegar flokkað er eftir meðferð eða stöðum hafa einstök há gildi mikil áhrif. Þannig veltur sú aukning, sem er á meðaltali á tilraunareitum með Kjarna, einkum á einu gildi á Skriðuklaustri. Á seinna tímabilinu voru öll gildi af stækjureitum  $\leq 0,08$  en  $>0,08$  í öðrum sýnum úr sömu tilraunum. Cd berst í jarðveg með P-áburði. Að slepptum tilraunaliðum með stækju og kalksaltpétur hefur Cd aukist að meðaltali úr 0,084 í 0,149 mg/kg þe. á 33,5 árum, en varla er þó hægt að greina að aukningin sé meiri í þeim tveimur tilraunum þar sem P-áburður var mestur. Í sænsku langtímatilraununum var útskolun meiri en berst með áburði. Cd í hveiti lækkaði milli tímabila og er skýringin einkum talin minnkandi áfall úr lofti (Kirchmann o.fl. 2009). Í greiningum á jarðvegssýnum úr tilraun nr. 19-54 á Skriðuklaustri kom fram að Cd hafði safnast í jarðveg, aðallega í 0–5 cm. Í stækjureit var það þó litlu minna í 5–10 cm og var jafnvel aukið í 10–20 cm líka (Gudmundsson o.fl. 2005b). Það virðist því vera aukinn styrkur í 0–5 cm sem hefur stuðlað að aukinni upptöku á Cd.

## 4.12 Blý, Pb

Tvö gildi eru mjög há, 1,9 og 4,2. Þau gætu t.d. verið vegna mengunar sýnis af bensíni, en blý var í bensíni á þeim tíma. Þessi gildi eru innan sviga í eftirfarandi töflu og þeim er sleppt úr jaðar meðaltölum og allri úrvinnslu á eftir.

Ár	64	65	66	67	69	87	90	96	97	2000	2001	2003	Mt.
10_45_b	0,24	0,18	0,32							0,03	0,00	0,06	<b>0,14</b>
10_45_c	0,29	0,23	0,26							0,03	0,02	0,08	<b>0,15</b>
10_45_d	0,35	0,11	0,25							0,12	0,09	0,10	<b>0,17</b>
11_59_d	0,24	0,14			(1,9)				0,04	0,01		0,09	<b>0,11</b>
16_56_e	0,42	0,13	0,24						0,05	0,04		0,09	<b>0,16</b>
19_54_b	0,21	0,47	0,38			0,04	0,10	0,02					<b>0,20</b>
19_54_c	0,27	0,35	0,13			0,04	0,11	0,09					<b>0,16</b>
19_54_d	0,31	0,24	0,13			0,13	0,11	0,12					<b>0,17</b>
19_58_c	(4,2)	0,08		0,35					0,05	0,15		0,06	<b>0,14</b>
8_50_d	0,35	0,11	0,26						0,12	0,08		0,04	<b>0,16</b>
<b>Mt.</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>		<b>0,07</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,16</b>

Dreifing gilda og meðaltöl (58 gildi):

Öll	<1970	>1986
- 0,06 14 *****	- 0,060 0	- 0,060 14 *****
0,06 - 0,12 15 *****	0,060 - 0,120 3 ***	0,060 - 0,120 12 *****
0,12 - 0,18 8 *****	0,120 - 0,180 4 ****	0,120 - 0,180 4 ****
0,18 - 0,24 5 *****	0,180 - 0,240 5 *****	0,180 - 0
0,24 - 0,30 7 *****	0,240 - 0,300 7 *****	
0,30 - 0,36 6 *****	0,300 - 0,360 6 *****	
0,36 - 0,42 2 **	0,360 - 0,420 2 **	
0,42 - 1 *	0,420 - 1 *	

Öll gildi >0,15 eru frá því fyrir 1970 og frá þeim tíma eru aðeins 7 gildi <0,16.

tbil	1	2
Skr	0,28	0,08
Hóll	0,25	0,06
Mýri	0,25	0,07
Sandur	0,20	0,07
Mt.	0,251	0,071

Pb í heyi hefur minnkað um meira en tvo þriðju, úr 0,251 í 0,071, eftir að farið var að selja bensín, fyrst með lítilli íblöndun af blýi, og svo blýlaust<sup>1</sup>. Á sama tíma minnkaði Pb í hveiti í langtímatilraunum í Svíþjóð úr 0,079 í 0,023 sem hlutfallslega sambærilegt við það sem það lækkaði á Íslandi (Kirchmann o.fl. 2005). Styrkur Pb virðist óháður landgerð. Tilraunirnar á Geitasandi voru lengst frá umferð en styrkurinn var þó ekki minni þar en annars staðar. Úr meðaltali á Geitasandi var þó sleppt tveimur sýnum sem virtust sérstaklega mikið menguð og þá voru aðeins 4 sýni eftir. Á Skriðuklaustri virðist Pb hafa safnast í jarðveg og er mun meira Pb í 0–5 cm en dýpra (Gudmundsson o.fl. 2005b).

<sup>1</sup> Samkvæmt greinum í Morgunblaðinu 14. nóv. 1989 og 23. mars 1996, sem Gottskálf Friðgeirsson á Umhverfisstofnun vísaði á, kom blýlaust bensín á markað snemma árs 1988 og bensín með blýi hvarf endanlega af markaði 1996. Magn blýs í bensíni hafði þó minnkað um 80% á síðustu fjórum árum áður en fyrri greinin var skrifuð, þ.e. nokkru fyrir 1987 þegar fyrstu sýnin á Skriðuklaustri á seinna tímabilinu voru tekin.

## 5. Fylgni milli efna, aðhvarf

### 5.1 Fylgni á seinna tímabilinu, eftir 1986

Nokkurt samhengi er milli mælinga á snefilefnum. Til að kanna hvar helst væri um það að ræða var reiknuð fylgni mælinga á seinni hluta tímans, en þá voru niðurstöður að jafnaði reglulegri. Frá upphafi var stækjurementum sleppt, en síðar var safnið takmarkað meira. Sleppt er Cd og Cr. Athugið að efnin eru í annarri röð en í köflunum hér að framan.

#### Fylgni reiknuð á mælingum eftir 1986, stækjurementum sleppt, n=24, ft.=22

Fe	1,000								
Ni	0,201	1,000							
Zn	0,054	-0,010	1,000						
Mo	0,077	0,241	0,145	1,000					
Pb	0,237	0,143	0,141	-0,225	1,000				
Cu	0,047	*0,405	0,081	0,333	-0,134	1,000			
Se	0,182	0,130	0,087	0,334	0,344	0,166	1,000		
Mn	0,114	0,245	0,168	-0,134	0,037	-0,099	-0,035	1,000	
Co	*0,441	**0,639	0,070	-0,106	0,265	*0,418	-0,039	**0,602	1,000
	Fe	Ni	Zn	Mo	Pb	Cu	Se	Mn	Co

Af 36 fylgnitölum eru aðeins 8 neikvæðar og 5 eru hærri en höfnunargildið 0,404 ( $\alpha=0,05$ ), það er fylgni 4 efna við Co og fylgni tveggja þeirra innbyrðis.

#### Í næstu töflu er reiknað innan staða, n=24, ft.=19

fe	1,000								
ni	0,419	1,000							
zn	-0,016	0,275	1,000						
mo	0,109	*0,402	0,033	1,000					
pb	0,247	0,250	0,216	-0,196	1,000				
cu	0,120	0,509	0,412	**0,599	-0,252	1,000			
se	0,241	0,112	0,159	0,348	0,350	0,139	1,000		
mn	-0,043	0,140	**0,614	0,055	0,379	0,154	0,437	1,000	
co	**0,587	**0,675	0,377	0,132	0,356	*0,480	0,013	0,366	1,000
	fe	ni	zn	mo	pb	cu	se	mn	co

Aðeins 4 neikvæð gildi og 7 > 0,433 (höfnunargildi), þar af 4 milli efnanna Ni, Mo, Cu, Co.

#### Og nú er kalksaltþétri sleppt, n=18, ft.=13

fe	1,000								
ni	-0,011	1,000							
zn	0,137	0,404	1,000						
mo	0,008	*0,622	0,317	1,000					
pb	-0,002	-0,276	0,006	-0,155	1,000				
cu	0,155	**0,695	0,358	**0,684	-0,385	1,000			
se	0,229	-0,034	-0,021	0,440	0,217	0,069	1,000		
mn	-0,043	-0,314	0,352	0,198	0,343	-0,153	0,459	1,000	
co	0,378	0,072	*0,526	0,077	0,073	0,492	-0,214	0,253	1,000
	fe	ni	zn	mo	pb	cu	se	mn	co

Nú eru 11 neikvæð gildi og 4 hærri en höfnunargildið 0,514. Af þessum 4 eru 3 milli efnanna Ni, Cu, Mo, öll >0,6, og að auki er fylgni milli Co og Zn. Svo virðist sem allar aðrar fylgnitölur séu óverulegar ef áhrifum áburðartegunda er sleppt.



**Með kalksaltpéttri, en áhrif hans einangruð, n=24, ft.=18**

fe	1,000								
ni	*0,478	1,000							
zn	0,142	0,226	1,000						
mo	0,107	0,417	0,099	1,000					
pb	0,270	0,264	0,264	-0,202	1,000				
cu	0,252	*0,492	0,184	**0,727	-0,300	1,000			
se	0,285	0,100	0,104	0,360	0,348	0,093	1,000		
mn	0,102	0,081	0,407	0,128	*0,449	-0,147	0,437	1,000	
co	**0,658	**0,684	0,336	0,164	0,369	*0,454	0,001	0,334	1,000
fe	ni	zn	mo	pb	cu	se	mn	co	

Þrjú gildi eru neikvæð og 7 hærri en höfnunargildið 0,444. Nú er Co aftur komið í hóp með Ni, Cu og Mo, og Fe að auki, en það hefði einnig mátt vera í hópnum í næstfyrstu töflunni.

Niðurstaðan er að 4 eða 5 efni myndi hóp sem hafi tilhneigingu til að fylgjast að í heyi, þó ekki nema sum pör þessara efna. Sterkust er fylgnin milli Cu og Mo, og Co við Fe og Ni. Athyglisvert er að ekki finnst fylgni milli Fe og Mn þótt bæði þessi efni séu einkum tekin upp sem tvígildar jónir og þurfi rýrandi skilyrði til að komast á það form.

**5.2 Nánari greining á tengslum Fe, Ni, Mo, Cu og Co**

Í 5.1 var aðeins unnið með sýni frá seinna tímabilinu. Í nánari greiningu var niðurstöðum frá fyrra tímabilinu bætt við. Í aðhvarfslíkani var landmunur og munur áburðartegunda einangraður og víxlverkun þessara þátta (land\*abteg). Aðhvarfið er því reiknað á frávikum frá þessum þáttum og sýnir hvort breytileiki efna milli ára og milli tilrauna á sama landi fylgist að.

Í greiningunni var sleppt niðurstöðum frá fyrra tímabilinu í þeim tilvikum sem orðið hefur áberandi hneigð með tíma, þ.e. Mo á sandi og Co í stækjureitum á hólum á Sámsstöðum. Til greina kæmi að sleppa fleiri tilraunum eða tilraunaliðum þar sem miklu munar á meðaltölum því að búast má við herra staðalfráviki (meiri dreifni) eftir því sem meðaltalið er herra. Gæti það átt við Co á kalksaltpétursreitum og Mo á stækjureitum.

**5.2.1 Fe og Co, Ni**

Fe hefur sérstöðu að því leytir að á fyrra tímabilinu voru tvö gildi nokkuð langt utan normaldreifingar. Annað hvort þarf að sleppa þeim eða vinna með lógariþma og var hvort tveggja prófað.

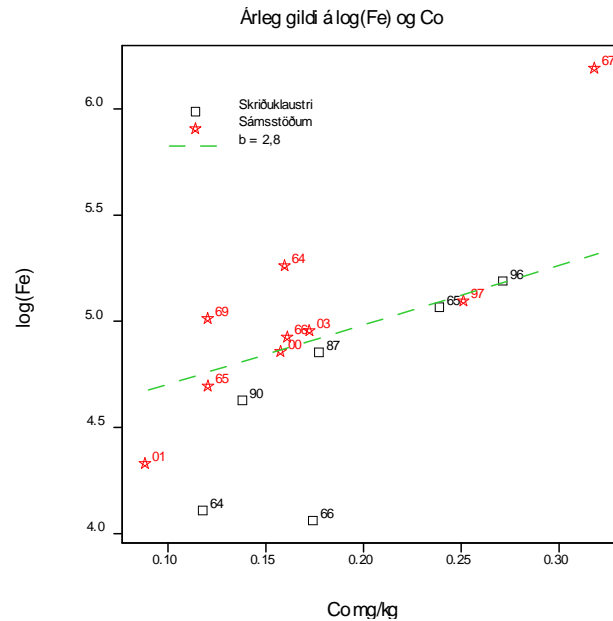
Marktækt samband fannst við Ni og Co hvort um sig eins og niðurstöður í 5.1 benda til, en ekki við Mo og Cu. Aðhvarf  $\log(\text{Fe})$  er reiknað með og án  $\text{Fe} > 400$ . Ekki finnst aðhvarf að Ni ef Co er í líkaninu svo að ekki er um sjálfstætt samband milli Fe og Ni að ræða.

	Ni		Co		Aðhvarf að Co einu
<i>Háða breytan</i>	ft.	$b \pm s_b$	ft.	$b \pm s_b$	Repl, ár innan staða hending
$\log(\text{Fe})$	51	$0,42 \pm 0,17$	48	$3,98 \pm 0,75$	$2,80 \pm 0,71$
$\log(\text{Fe}), \text{Fe} < 400$	49	$0,38 \pm 0,15$	46	$3,15 \pm 0,72$	$1,95 \pm 0,68$
$\text{Fe} (< 400)$	49	$49 \pm 18$	46	$402 \pm 96$	$325 \pm 95$

### III. Snefilefni í langtímatilraunum

Sambandið við Co er sterkt ef unnið er með lógariþma, einkum ef tvö hæstu gildin eru með. Þegar  $Fe > 400$  var Co einnig hátt. Þessi gildi á Co eru annars vegar gildið sem var næsthæst á mýri og hins vegar það sem var hæst á sandi og eru þau vel innan marka eðlilegrar dreifingar. Án hæstu gilda á Fe munar litlu á t-gildum aðhvarfs að Co ( $b/s_b$ ) eftir því hvort unnið er með mæld gildi eða lógariþma þeirra og svara þau bæði til  $r = 0,54^1$ .

Fe er breytilegt milli ára (4.2) og því var aðhvarfið einnig reiknað með ár innan tilraunastöðva sem hendingu (Reml). Við það lækkar stuðull aðhvarfs Fe að Co. Þetta aðhvarf (með öllum gildum) er sýnt á línuriti hver punktur er merktur ártali. Stöðvarnar hafa mismunandi ták og lit. Punktarnir eru LS-gildi og svara því ekki nákvæmlega til þeirra gilda sem aðhvarfið var reiknað eftir. Í eftirfarandi töflu er mat á dreifni ára og afgang (frávika) og sem sýnir að aðhvarfið að Co er einkum vegna þess að breytileiki Co og Fe milli ára fellur að einhverju leyti saman, en þó er áramunur á Fe umfram það. Einnig eru sýnd áhrif hæstu gilda á  $\log(Fe)$ .  $\log(Fe)$  er hærra á Sámstöðum en á Skriðuklaustri við sama gildi á Co og því er um samsíða línur að ræða, en meðallína er sýnd. Árið 1967 á Sámstöðum liggur lengst ofan línunnar, en þá var aðeins eitt sýni. Í því mældist Fe hæst (489) og Co var einna hæst í þessu sýni. Árið vegur nokkuð í aðhvarfinu þótt sýnið sé aðeins eitt því að um ysta gildi er að ræða (sjá stuðla í töflu að ofan).



**Dreifni  $\log(Fe)$  og Fe, bæði Ára og Afgang, án og með takmörkunum á Fe, og án og með aðhvarfi að Co**

Aðhvarf	$\log(Fe)$		$\log(Fe), Fe < 400$		Fe	
	án	með Co	án	með Co	án	með Co
Fjöldi gilda	57	57	55	55	55	55
Ár innan staða	0,1833	0,0768	0,1053	0,0614	1167	479
Afgangur	0,0664	0,0634	0,0524	0,0514	1214	1176

#### 5.2.2 Co og $\log(Fe)$ , Ni

Aðhvarf Co að  $\log(Fe)$  er reiknað í Reml, með og án  $Fe > 400$ , sleppt er stækjurementum á fyrra tímabilinu og prófað að bæta Ni í líkanið:

Co, aðhvarf og dreifni	Án			Fe < 400		
	Án	Með Ni	Með Ni	Án	Með Ni	Með Ni
Fjöldi gilda	57	57	57	55	55	55
Aðhvarf að $\log(Fe)$		0,086±0,018	0,072±0,018		0,081±0,022	0,062±0,022
Aðhvarf að Ni			0,063±0,024			0,066±0,024
Dreifni ára innan staða	0,00130	0,00025	0,00020	0,00121	0,00030	0,00023
Dreifni afgang	0,00296	0,00244	0,00219	0,00267	0,00251	0,00223

<sup>1</sup> Hjá  $\log(Fe)$   $t = 3,153/0,724 = 4,355$ ,  $r^2 = 4,355^2/(46+4,355^2) = 0,2919$ ,  $r = 0,54$ .

Aðhvarf Co að Ni er marktækt til viðbótar aðhvarfi að  $\log(\text{Fe})$  þótt Ni hefði ekki bætt neinu við í aðhvarfsgreiningu á Fe, en það skýrir ekki mikinn breytileika í viðbót og fremur afgangsbreytileika en mismun ára. Ef Fe fimmfaldast ( $\log(5) = 1,609$ ) hækkar Co um 0,138 samkvæmt einföldu aðhvarfi að  $\log(\text{Fe})$  sem má telja hátt borið saman við meðaltal allra gilda á Co sem er 0,17. Ef Ni hækkar jafnframt um 0,6 hækkar Co um 0,154 (aðhvarf að báðum efnunum). Co og Ni eru náskyld efni um bæði efnafræðilega og lífeðlisfræðilega eiginleika (Mengel & Kirkby 2001).

### 5.2.3 Cu og Mo

Cu lækkaði marktækt með tímanum (4.5) og að teknu tilliti til þess er dreifni ára ekki mikil (Reml):

	Án aðhvarfs	Með aðhvarfi
<b>Aðhvarf Cu</b> að árum		-0,0419±0,0095
Dreifni ára	0,646	0,156
Dreifni afgangs	0,437	0,445

Hér var reiknað með sömu árshrifum á Sámstöðum og Skriðuklaustri, en á eftir er dreifni ára reiknuð innan stöðva.

Reiknað var **aðhvarf Mo** að Cu (fyrra tímabilinu á sandi sleppt og gildin því 54) vegna lækkandi gilda á Cu með árum. Tengsl þessara efna skýra fremur afgangsbreytileika Mo en mismun ára. Aðhvarf að Ni eða Co að auki var ekki marktækt og er ekki sýnt.

	Án aðhvarfs	Með aðhvarfi	
Aðhvarf Mo að Cu		0,082±0,017	0,100±0,019
Aðhvarf Mo að árum		-0,0013±0,0017	0,0032±0,0016
Dreifni Mo milli ára innan stöðva	0,0053	0,0058	0,0037
Dreifni afgangsbreytileika Mo	0,0118	0,0118	0,0075

Niðurstaðan horfir nokkuð öðru vísi við ef reiknað er **aðhvarf Cu** að öðrum snefilefnum.

Fjöldi:	60	54	54	54	51	51
<b>Aðhvarf Cu</b>						
að árum	-0,042±0,008	-0,045±0,009	-0,040±0,007	-0,042±0,006	-0,041±0,009	-0,039±0,008
að Mo			3,74±0,72	3,16±0,66		3,77±0,66
að Ni				0,81±0,24		
að Co						3,43±1,40
Dreifni ára	0,124	0,133	0,091	0,043	0,114	0,118
-"- afgangs	0,453	0,472	0,297	0,255	0,468	0,224

Þótt ekki myndust marktæk víxlhrif ára og tilraunastöðva á Cu er reiknað með mismunandi ársáhrifum á tilraunastöðvum til samræmis við aðrar útreikninga. Marktækt samband fannst við Ni og Co hvort um sig í viðbót við aðhvarf Cu að Mo, en varla er hægt að gera upp á milli þessara efna og ekki er marktækt að hafa þau í líkaninu bæði í senn (ekki sýnt). Athygli vekur að aðhvarf Cu að tíma breytist lítið þótt jafnframt sé reiknað aðhvarf að öðrum efnunum, en skekkja aðhvarfsins lækkar. Aðhvarf að Mo (og Ni eða Co) lækkar því einkum breytileika afgangs, en dreifni ára lækkar þó aðeins þegar reiknað er aðhvarf að Mo og Ni í senn.

### 5.3. Tengsl Mo og Se

Í greiningu á niðurstöðum einstakra efna í 4. kafla kom fram að þessi efni, Mo og Se, áttu það sameiginlegt að á sandi var styrkur þeirra lágur á fyrra tímabilinu, einkum á Mo, en á seinna tímabilinu voru þau sambærileg við það sem gerist annars staðar. Í fylgnitöflum í 5.1, þar sem aðeins voru notuð gildi frá seinna tímabilinu, var fylgni þessara efna frekar stöðug, á bilinu 0,33 – 0,44, en ekkert þeirra yfir höfnunargildi. Þegar notuð eru öll gildi nema úr eldri sýnum af sandi, líkanið  $\text{land}^*\text{abteg}$ , er fylgni frávíka svipuð og áður eða 0,39, en frítölum hefur fjölgað í 46 og fylgnin er marktæk ( $P < 0,01$ ). Vart er um að ræða marktæk hrif af þáttunum  $\text{land}^*\text{abteg}$  nema af áburðartegundum á Mo. Því má sleppa stækju- og kalksaltþétursreitum og þá er einföld fylgni efnanna 0,41, 30 athuganir, 29 frítölur,  $P < 0,05$ . Samband Mo og Se virðist nokkurn veginn óháð sambandi Mo og Cu.

### 5.4 Helstu niðurstöður um tengsl efna

Helsta sambandið milli efna sem fannst er milli Fe og Co og milli Cu og Mo. Fyrra sambandið virðist einkum vera milli ára, en innan ára virðast Fe og Co dreifast að mestu óháð hvort öðru. Samband Cu og Mo virðist vera nokkuð að jöfnu milli og innan ára. Einnig fannst marktækt, en þó fremur veikt, samband Ni við bæði Co og Cu umfram samband þessara efna við önnur efni, þ.e. Co við Fe og Cu við Mo. Á sama hátt fannst samband Co við Cu umfram sambandið við Mo, en þó ekki ef um leið var reiknað aðhvarf Cu að Ni.

Sambandið sem fannst milli Mo og Se er einnig áhugavert. Fylgni þeirra er veik þegar bæði eru innan venjulegra marka. Meiri athygli vekur lágt hlutfall af báðum efnunum á Geitasandi meðan ræktunin var ung.

Áhugavert er að velja því fyrir sér hvað valdið geti tengslum milli styrks efna í grasi. Í 1.1 var vikið að því að sum efni berast til rótanna uppleyst í jarðvatni og stjórnað upptakan þá af vatnsnotkun plöntunnar, en virkni róta stuðlar að aðgengi að öðrum efnunum. Sum þeirra efna, sem plönturnar hafa mesta þörf fyrir, eru einkum tekin upp snemma á vaxtartímanum. Í heysýnum frá 2007 kom fram að styrkleiki Fe, Cu og Zn var meiri eftir því sem meltanleikinn mældist meiri (Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011). Virkni róta hefur áhrif á upptöku þessara efna (1.1) og sambandi þeirra við meltanleika má snúa við og álykta að styrkleikinn fari minnkandi þegar líður á sumarið. Um Mn var þessu öfugt farið. Ekki er þó víst að áhrif þroska eða sláttutíma skýri þá fylgni milli efna sem fannst. Til þess að sláttutími eða þroski grass við slátt hafi áhrif á fylgni efna þarf hann að vera töluvert breytilegur. Sláttutíminn var ekki mjög breytilegur (2. kafli) og því ólíklegt að áhrif hans hafi verið svo sterk að þau greinist. Í stað þess að nota meltanleika sem mælikvarða á þroska mætti e.t.v. nota styrk efna eins og N, P og K, sem falla ört fram eftir sumri. Áburðarnotkun er þekkt og var stöðug.

Önnur skýring á breytileika milli ára, sem einnig getur stuðlað að fylgni milli efna, er að losun efna úr jarðvegssteindum við veðrun sé misjöfn eftir árferði, t.d. hita og jarðvegsraka. Bent hefur verið á að mismunur á Fe í heyi milli héraða geti verið vegna mismikils áfoks og þar með mismikils af fersku, veðranlegu efni í jarðvegi (Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011). Aukna upptöku á Mo og Se á Geitasandi þegar ræktunin eldist má e.t.v. skýra með aukinni losun vegna veðrunar, t.d. vegna aukningar á lífrænum sýrum og lífrænni starfsemi í jarðvegi, og af svipuðum toga getur verið sú veika fylgni sem fannst milli þessara efna í öðrum sýnum.

## 6. Snefilefni og uppskera

### 6.1. Breyting á upptöku snefilefna

Í upphaflegri greiningu var metið hvort upptaka snefilefna hefði breyst marktækt milli tímabila (Kirchmann o.fl. 2005). Þetta átti vel við í greiningu á niðurstöðum frá Svíþjóð þar sem snefilefni voru mæld í korni og aðeins ein uppskera er á ári. Uppskeyra jókst milli tímabila í Svíþjóð og því gat komið fyrir að upptaka efnis, þ.e. Cu, ykist þótt styrkur minnkaði.

Sýni úr íslenskum tilraunum á grasi voru eingöngu úr 1. sl., en oftast var tvíslegið (2. kafli). Það hlutfall uppskeru alls, sem fékkst í 1. sl., er breytilegt og því sýnir upptaka í 1. sl. ekki með vissu hver þróunin hefur orðið í upptöku efna alls. Marktæk breyting varð á upptöku þeirra efna þar sem breytingin á styrk var eindregust, þ.e. lækkanði á Pb og Cu en hækkanði á Cr. Auk þess lækkaði upptaka Zn marktækt á einu tilraunalandi. Ekki þykir ástæða til að vinna frekar úr gögnunum út frá þessu sjónarmiði.

### 6.2. Fylgni snefilefna við uppskeru

Upptaka efna er notuð við útreikning á efnajafnvægi. Breyting á upptöku með tíma er gagnleg við mat á þróun á aðgengi snefilefna sé hún ekki í hlutfalli við uppskeruna. Því var reiknuð fylgni milli styrks efnis og uppskeru á seinna tímabilinu á sama hátt og í 5.1.

	Einföld	Innan lands	Sama, en kalksp. sl.	M kalksp., mismun ábteg. eytt
df	22	19	13	18
Höfnunargildi, $\alpha=0,05$	0,404	0,433	0,514	0,444
$\alpha=0,01$	0,515	0,549	0,641	0,561
Fe	0,130	0,066	-0,020	0,102
Ni	-0,271	0,407	0,407	0,404
Zn	0,217	0,345	0,441	0,359
Mo	0,226	**0,578	*0,593	**0,593
Pb	0,104	-0,015	-0,122	-0,020
Cu	0,241	0,220	0,157	0,217
Se	0,215	0,418	0,466	0,410
Mn	-0,257	0,228	0,186	0,217
Co	-0,186	-0,029	-0,329	-0,024

Ef styrkur efna lækkar verulega með auknum þroska og þar með uppskeru ætti að gæta neikvæðrar fylgni við uppskeru. Þess sér ekki merki, enda var sláttutími lítt breytilegur. Fylgni gætir líka ef styrkur efna minnkar þegar uppskera eykst af öðrum ástæðum, efnin þynnast út.

Helst vekur athygli fylgni við Mo sem sýnir vaxandi styrk með aukinni sprettu. Ein helsta ástæða þess að misjafnlega sprettur er mismunandi losun niturs úr jarðvegi (eða jafnvel niturnám). Þetta mætti tengja þeirri hugmynd að áramunur á styrk Mo kunni að vera vegna mismikillar losunar í jarðvegi, þ.e. veðrunar (5.3 – 5.4), og gæti það líka átt við Se. Fylgnin, sem reiknuð var, takmarkast við seinna tímabilið, en þá voru aðeins 3 ár á Skriðuklaustri og 4 ár á Sámsstöðum. Uppskeyran er fyrst og fremst breytileg milli ára og raunverulegar frítölur því fáar. Mikil uppskera á Skriðuklaustri 1996 hefur ríkjandi áhrif og þar næst mikill munur árána 1997 og 2003 á Sámsstöðum. Samband Mo við uppskeru var endurmetið með niðurstöðum frá fyrra tímabilinu (nema af sandi) í aðhvarfslíkani með þáttunum  $\text{land} \cdot \text{abteg}$  (sbr. 5.2.3) og hvarf þá fylgnin. Sláttutími var líka prófaður og fannst ekkert samband.

Niðurstaðan er að ekki finnst samband milli styrks snefilefna og uppskeru. Ekki þarf að vænta breytingar á upptöku með tíma umfram það sem uppskeran vex eða minnkar eða styrkur efna breytist.

## 7. Helstu niðurstöður

Hjá öllum efnum nema mangani (Mn) mátti greina hóp af niðurstöðum sem telja má dæmigerðar og fellur hjá flestum efnum um eða yfir helmingur mældra gilda í þann hóp (4.1). Hér á eftir verður vísað til gildanna **Mt.±2×s mg/kg þe.** úr 4.1 (stundum aðeins einfölduð gildi) sem **normalgilda** og einnig er tekið mið af töflum um markgildi sem eru í IV. hluta þessa rits.

Í umfjöllun um einstök efni voru greind áhrif þátta gagnasafnsins á styrk efna, en þeir eru ræktunarland, tegund N-áburðar og tími. Einnig voru greind tengsl efna. Yfirleitt er ekki mikill munur á styrk efna eftir ræktunarlandi þótt á því séu undantekningar. Mismunur var á styrk þungmálma Cr, Cd og Pb milli tímabila. Cu fer lækkandi og fleiri dæmi eru um hneigð með tíma. Breytingar á pH í jarðvegi vegna áhrifa N-áburðar hafa áhrif á styrk nokkurra efna og hætta er á tapi efna úr jarðvegi ef hann verður súr.

**Járn (Fe)** var að mestu leyti innan þeirra marka sem teljast viðunandi í fódri nautgripa. Normalgildi eru um 140±100, en þó má telja mun hærri gildi eðlileg. Vart er um marktækan mun að ræða eftir aðstæðum eða tímabilum. Breytileiki milli ára er allmikill og fellur að töluverðu leyti saman við Co. Einnig er nokkurt samband milli Fe og Ni. Í öðrum rannsóknum hefur einnig komið fram mikill áramunur og töluvert er um mjög há gildi í heysýnum sem má telja varasöm bæði í gróðri og fyrir búfé. Mikinn styrk á Fe má tengja nálægð við gosbelti og öskufalli (Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011).

**Mangan (Mn)** í gróðri fer einkum eftir sýrustigi í jarðvegi og tegundir N-áburðar höfðu mikil áhrif. Það var einnig misjafnt eftir jarðvegi og fór vaxandi með tímanum á mýrinni á Sámsstöðum og á Geitasandi. Á seinna tímabilinu var Mn orðið meira á mýrinni en á stækjureitunum á Sámsstöðum. Á kalksaltpétursreitum var Mn á mörkum þess að vera viðunandi í fódri nautgripa og fremur lágt miðað við það sem telst eðlilegt í gróðri. Skortur á Mn er þekktastur í kornrækt, sennilega vegna aukinnar oxunar eftir jarðvinnslu. Hér á landi gæti því verið hætta á manganskorti í kornrækt við hátt pH.

**Sink (Zn)** var lægst á Geitasandi. Normalgildi eru 35±13. Að meðaltali nær það rétt að teljast viðunandi í fódri nautgripa. Mestur styrkur var á hólum á Sámsstöðum á fyrra tímabilinu og þar voru vísbendingar um lækkaðan styrk á seinna tímabilinu. Í heysýnum frá bændum er Zn oft minna en æskilegt getur talist og styrkur þess hefur farið lækkandi (Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011). Vísbendingar eru um aukna útskolun á Zn úr jarðvegi á súrum reitum vegna aukins leysanleika (Gudmundsson o.fl. 2005b).

**Kopar (Cu)** var með normalgildin 7±2 um árið 2000 og fer lækkandi. Tilraunaskekkja er hlutfallslega lægri en á öðrum efnum sem mæld voru öðrum en Zn og því er hægt að greina tiltölulega lítinn mismun með tölfræðilegu öryggi. Öll gildin voru á mörkum þess að teljast viðunandi í fódri nautgripa, en magnið telst hæfilegt í gróðri. Marktækur munur var eftir jarðvegsgerðum á Sámsstöðum og lægstur var styrkurinn á kalksaltpétursreitum. Helsta niðurstaðan er að styrkur kopars fer lækkandi með tímanum og sama hneigð hefur einnig fundist í heysýnum frá bændum (Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011).

**Molybden (Mo)** mældist alltaf <1,0 mg/kg sem telst viðunandi í fódri nautgripa og í gróðri. Það var hvergi svo hátt að valdi mótverkni gegn Cu. Normalgildin eru 0,5±0,35. Á fyrra tímabilinu var Mo að meðaltali 0,09 mg/kg á Geitasandi, rétt undir viðmiðunarmörkum í gróðri. Á seinna tímabilinu hafði styrkurinn u.þ.b. fimmfaldast og var orðinn vel til jafns við það sem var annars staðar. Styrkur Mo á súrum reitum (stækjureitum) var um helmingur þess sem hann var á Kjarnareitum, en mismunur þeirra og kalksaltpétursreita, sem eru basískari, var ekki marktækur. Áhugaverð tengsl fundust við magn annarra

efna, einkum Cu og Se. Í heysýnum frá 2003 voru lág gildi tíð og einnig komu fyrir há gildi (Jóhannesson o.fl. 2007).

**Nikkel (Ni).** Normalgildin eru um  $1,0 \pm 0,5$  sem er um þriðjungur af viðmiðunargildi í háplöntum. Það var meira á súrum reitum og á Geitasandi, en minna á kalksaltpétursreitum. Hefur líkt og Zn minnkað í jarðvegi á súrum reitum (Gudmundsson o.fl. 2005b).

**Selen (Se)** var í flestum sýnum undir lægstu mörkum þess að teljast viðunandi í fódri nautgripa. Normalgildin eru um  $2/3$  af þessum mörkum,  $0,07 \pm 0,05$ . Se var mun lægra á Geitasandi á fyrra tímabilinu og einnig fremur lágt á stækjureitum miðað við aðra reiti. Í heysýnum frá bændum 2003 og 2006 var Se mikið minna. Í sýnum úr Árnassýslu 2006, sem voru 66, var það þó að meðaltali 0,062 (Magnús B. Jónsson o.fl. 2008), en verið getur að þá hafi sums staðar verið notaður Se-bættur áburður.

**Kóbolt (Co)** hefur normalgildin  $0,2 \pm 0,14$ . Það var viðunandi í fódri mjólkurkúa í meirihluta sýna. Mikilvægasta undantekningin er lág gildi á kalksaltpétursreitum á Sámsstöðum. Sýring eykur leysanleika og styrk í grasi. Á Sámsstöðum hefur styrkur Co á súrum reitum minnkað með tímanum sem er vísbending um að gengið hafi á nýtanlegan forða í jarðvegi og einnig er vísbending um það á Skriðuklaustri. Styrkur kóbólts var misjafn eftir árum líkt og járns.

**Króm (Cr)** hefur farið vaxandi. Meirihluti gilda á fyrra tímabilinu var lægri en lægstu gildin á því seinna. Nokkur gildi eru mikið hærri en meginþorrinn og gæti verið um mengun að ræða. Normalgildi (eftir 1986) eru  $0,18 \pm 0,18$ .

**Kadmíum (Cd)** berst einkum með fosfóráburði í jarðveg. Styrkur í grasi hefur aukist með tímanum. Lægstu gildin voru öll frá fyrra tímabilinu, en háum gildum hefur fjölgað. Normalgildi (eftir 1986) eru  $0,14 \pm 0,09$ . Eitrunarmörk eru lág, en það tekur þó að líkindum langan tíma að nálgast þau ef áfram verður notaður P-áburður sem er fremur Cd-snauður. P-áburður hefur verið notaður umfram þarfir á Íslandi. Í a.m.k. sumum þeirra tilraunaliða, sem mælt var í, var hann tvöfaldur eða meira miðað við þarfir. Hættan á Cd-mengun er ein af ástæðum þess að varast ber ofnotkun á P-áburði.

**Blý (Pb)** hefur minnkað í rúmlega fjórðung þess sem áður var eftir að farið var að blanda minna blýi í bensín og því síðan alveg hætt, og voru gildin á bilinu 0,01 – 0,13 eftir 1986.

## 8. Nokkrar ályktanir

Snefilefni má flokka þannig eftir mikilvægi þeirra í landbúnaði á Íslandi:

*mest:* Se, Fe, Cu, og auk þeirra sem hér var fjallað um: I, B.

*í meðallagi:* Zn, Mo,

*minnst:* Ni, Co, Mn.

**Selen (Se)** er almennt of lítið í heyi miðað við þarfir búfjár. Seleni má bæta í áburð.

**Molybden (Mo)** er oftast nægilegt, en við sérstakar aðstæður getur það skort. E.t.v. geta eiginleikar eldfjallajarðvegs eða súlfat í áburði umfram þarfir valdið.

**Se og Mo** keppa við brennistein, þ.e. súlfat, um upptöku efna í rætur. Rétt væri að endurskoða notkun áburðar með brennisteini með tilliti til þess. Til eru sýni úr tilraunum sem mætti efnagreina.

**Járn (Fe)** mælist stundum mjög hátt, stundum til jafns við sum aðalnæringarefnin. Þótt hæstu gildin geti verið vegna mengunar þarf að athuga hvort þessi háu gildi séu á einhvern hátt skaðleg.

**Kopar (Cu)** fer jafnt og þétt minnkandi og að því hlýtur að koma að hann skorti einhvers staðar. Ekki kom fram mikill landmunur, en væntanlega er mest hætta á skorti á mýrlendi.

**Sink (Zn)** er í minna lagi miðað við þarfir. Í öðrum rannsóknum hafa mörg gildi verið undir viðmiðunarmörkum og hefur þeim farið fjölgandi.

**Kóbolt (Co)** er efni sem ekki virðist ástæða til að hafa miklar áhyggjur af. Það verður þó torleyst ef mikið er kalkað og getur skolast út í súrum jarðvegi. Væntanlega er mest hætta á að útskolun valdi skorti á mýrlendi.

**Mangan (Mn)** gæti skort í kornrækt á skeljasandsjarðvegi eða ef kalkað er um of.

**Kadmíum (Cd)** safnast í jarðveg og m.a. þess vegna ætti að varast að bera fosfór áburð á umfram þarfir.

**Nikkel (Ni) og kóbolt (Co)** mælast í litlum styrk og hugsanlegt er að þessi efni geti skort.

**Blý (Pb)** mælist lágt eftir að hætt var að blanda blýi í bensín og ekki þarf að hafa áhyggjur af því eins og er.



#### Heimildir

- Björn Guðmundsson og Þorsteinn Þorsteinsson 1980. Þungmálmar í íslensku grasi. Íslenskar landbúnaðarrannsóknir 12,1, 3 – 10.
- Grétar Hrafn Harðarson, Arngrímur Thorlacius, Bragi Líndal Ólafsson, Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2006. Styrkur snefilefna í heyi. Fræðaðing landbúnaðarins 2006: 179–189.
- Guðmundsson T, Björnsson H & Thorvaldsson G 2005a. Elemental composition, fractions and balance of nutrients in an Andic Gleysol under a long-term fertiliser experiment in Iceland. Icelandic Agricultural Sciences, 18, 21–32.
- Guðmundsson T, Björnsson H & Thorvaldsson G 2005b. Trace elements and heavy metals in a long term field trial on an Andic Gleysol in Iceland. Í: Essential trace elements for plants, animals and humans. NJF Seminar no. 370 Reykjavík, Iceland 15–17 August 2005. Rit LbhÍ nr. 3: 77–79.
- Guðni Þorvaldsson, Þorsteinn Guðmundsson & Hólmgeir Björnsson 2003. Langtímaáhrif mismunandi nituráburðar á uppskeru og jarðveg. Tilraun 19-54 á Skriðuklaustri. Fjölrit RALA nr. 212, 80 bls.
- Guðni Þorvaldsson & Þorsteinn Guðmundsson 2006. Snefilefni í jarðrækt. Fræðaðing landbúnaðarins 2006: 170–179.
- Hólmgeir Björnsson 2007. Fertilization of Nootka lupin (*Lupinus nootkatensis*) for biomass production and carbon sequestration. Icelandic Agricultural Sciences, 20, 81–92.
- Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2011. Snefilefni járn, mangan, kopar og sink í heysýnum frá árinu 2007, greining á breytileikabáttum og aðhvarfsgreining. Í þessu hefti.
- Johnston J 2005. Trace elements in soil: status and management. NJF Seminar no. 370 Reykjavík, Iceland 15–17 August 2005. Rit LbhÍ nr. 3:7–14.
- Jóhannesson T, Eiríksson T, Guðmundsdóttir KB, Sigurdarson S & Kristinsson J 2007: Overview: Seven trace elements in Icelandic forage. Their value in animal health and with special relation to scrapie. Icel Agr Sci, 20: 3–24.
- Kirchmann H, Thorvaldsson G, Björnsson H & Mattson L 2005. Trace elements in crops from Swedish and Icelandic long-term experiments. Í: Essential trace elements for plants, animals and humans. NJF Seminar no. 370 Reykjavík, Iceland 15–17 August 2005. Rit LbhÍ nr. 3: 30–33.
- Kirchmann H, Mattson L & Eriksson J 2009. Trace element concentrations in wheat grain – results from Swedish long-term fertility experiments and national monitoring program. Environmental Geochemistry and Health, 31, 561–571.
- Magnús B Jónsson, Sigurður Sigurðarson & Hjalti Viðarsson 2008. Orsakir kálfadauða hjá fyrsta kálfs kvígum. Í: Magnús B. Jónsson (ritstj.) Orsakir kálfadauða hjá fyrsta kálfs kvígum. Skýrsla um rannsóknir 2006–2008. Rit LbhÍ nr. 19, 19–33.
- Mengel K & Kirkby EA 2001. Principles of plant nutrition, 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 849 bls.
- Ólafur Arnalds & Rannveig Guicharnaud 2008. Lýðheilsa og mold. Fræðaðing landbúnaðarins 2008: 59–70.
- Payne RW, Harding SA, Murray DA, Soutar DM, Baird DB, Welham SJ, Kane AF, Gilmour AR, Thompson R, Webster R & Tunnicliffe Wilson G: The Guide to GenStat Release 8, Part 2: Statistics. Oxford: VSN International 2005, 1009 pp.
- Þorsteinn Guðmundsson, Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2006. Áhrif N-áburðar á efnasamsetningu jarðvegs. Fræðaðing landbúnaðarins 2006, 190–196.

## IV. Markgildi snefilefna í plöntum, fódri og jarðvegi

### 1. Lífsnauðsynleg efni fyrir háplöntur og hæfilegt magn þeirra fyrir eðlilegan vöxt.

Frumefni	Efnatákn	Nýtanlegt form	nmol/kg	Magn í þurrefni mg kg <sup>-1</sup>
<i>Aðalefni</i>				
Vetni	H	H <sub>2</sub> O	60.000	60.000
Kolefni	C	CO <sub>2</sub>	40.000	480.000
Súrefni	O	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	30.000	480.000
Nítur	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.000	14.000
Kalíum	K	K <sup>+</sup>	250	10.000
Kalsíum	Ca	Ca <sup>2+</sup>	125	5.000
Magnesium	Mg	Mg <sup>2+</sup>	80	2.000
Fosfór	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	60	2.000
Brennisteinn	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	30	1.000
<i>Snefilefni</i>				
Klór	Cl	Cl <sup>-</sup>	3,0	106
Bór	B	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	2,0	22
Járn	Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	2,0	112
Mangan	Mn	Mn <sup>2+</sup>	1,0	55
Zink	Zn	Zn <sup>2+</sup>	0,3	20
Kopar	Cu	Cu <sup>2+</sup>	0,1	6
Nikkel	Ni	Ni <sup>2+</sup>	0,05	3
Mólybden	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,001	0,1

Hopkins 1999; Raven, Evert & Eichhorn 1999; Úr grein Guðna Þorvaldssonar & Þorsteins Guðmundssonar 2006.

### 2. Flokkun heysýna eftir styrk snefilefna (mg/kg þe.) og þörfum nautgripa. Aðlagð eftir Mortimer o.fl. 1999 og Rogers & Murphy 2000. Úr Grétar Hrafn Harðarson o.fl. 2006.

	Skortur	Á mörkum	Viðunandi	Mótvirkni gegn nýtingu Cu Nokkur	Mikil	MTC <sup>1)</sup>
Co - Kóbalt	-	< 0,1	0,1 – 1,0			10
Cu - Kopar	< 4,0	4,0 – 9,9	> 10			100
Fe – Járn	< 50		50 – 200	> 200 - 400	> 400	1000
I – Joð	< 0,2	0,2 – 0,8	> 0,8			50
Mn - Mangan	< 20	20 – 39,9	> 40			1000
Mo - Molybden	-	-	< 1	1 – 3	> 3	5
S – Brennisteinn (%)	< 0,1		0,15 – 0,20	> 0,2 – 0,3	> 0,3	0,40
Se - Selen	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3			2
Zn - Zink	< 20	20 – 29,9	> 30			500
Cu / Mo hlutfall	< 4	4,0 – 4,5	> 4,5			-

<sup>1)</sup> Eitrunarmörk - Maximum Tolerable Concentration.

3. Markgildi þungmálma í plöntum, fóðri dýra og jarðvegi. Styrkur ofan þessara marka er varasamur og efri mörkin í plöntum og fóðri eru talin eitrunarmörk. Sótt í tvær töflur á bls. 673 í Mengel og Kirkby (2001).

	Plöntur	Fóður dýra	Í jarðvegi
	mg/kg af þurrefni		mg/kg af þurru jarðv.
Cd	5 – 10	0,5 – 1	3
Hg	2 – 5	1	2
Tl	20 – 30	5	
Co	10 – 20	10 – 50	
Cr	1 – 2	50 – 3000	100
Cu	15 – 20	30 – 100	100
Ni	20 – 30	50 – 60	50
Pb	10 – 20	10 – 30	100
Zn	150 – 200	500	300

#### Heimildir

Grétar Hrafn Harðarson, Arngrímur Thorlacius, Bragi Líndal Ólafsson, Hólmgeir Björnsson og Tryggvi Eiríksson 2006. Styrkur snefilefna í heyi. Fræðingur landbúnaðarins 2006: 179–189.

Guðni Þorvaldsson og Þorsteinn Guðmundsson 2006. Snefilefni í jarðrækt. Fræðingur landbúnaðarins 2006: 170–179.

Hopkins W.G., 1999. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, Inc. New York. 512 bls.

Mengel K & Kirkby EA 2001. Principles of plant nutrition, 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 849 bls.

Mortimer R.G., Dargatz D.A. & Corah L.R. 1999. Forage analyses from cow/calf herds in 23 states. USDA:APHIS:VS, Centers for Epidemiology and Animal Health. Fort Collins, CO. #N303.499. April 1999.

Raven P.H., Evert R.F. & Eichhorn S.E. 1999. Biology of Plants. W. H. Freeman and Company, New York, U.S.A. 944 bls.

Rogers & Murphy 2000<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vantar í heimildalista í grein Grétars Hrafns Harðarsonar o.fl. 2006.



## Trace elements in hay in Iceland

### English summary

Part I of this report is an Introduction, Parts II and III are research reports, Part IV gives tables of adequate levels and critical values of trace elements, and Part V is an English summary. References in the summary are listed in Parts II and III. The unit of concentration of trace elements is mg/kg of dry matter.

#### I. Introduction

Limited research was carried out on trace elements in Icelandic agriculture in the 20<sup>th</sup> century. During the first decade of this century four surveys of trace elements in hay were published. They were parts of two broader projects. One is a study of factors that possibly could be linked to the susceptibility of sheep to scrapie. The other is a study of bovine perinatal mortality. The most extensive survey was on four elements in hay samples from 2007. The results were analysed with regard to scrapie status in different areas of the country (Tryggvi Eiriksson *et al.* 2010a). The results of a more general analysis of this survey are published in Part II of this report, including the variation of trace elements at different levels of local variation, regression on the digestibility of hay and the effect of belonging to 1<sup>st</sup> or 2<sup>nd</sup> cut, and correlation between elements. The results are compared to earlier surveys.

In 2005 a Nordic seminar on trace elements was held in Reykjavík. At the seminar trends of trace element contents in Swedish and Icelandic long-term experiments over some 30 years were presented (Kirchmann *et al.* 2005). The Icelandic results are presented in full in Part III of this publication.

#### II. The trace elements iron, manganese, copper and zinc in hay samples from 2007, variance components and regression analysis

The collection of hay samples and methods of analysis are described in Tryggvi Eiriksson *et al.* (2010a). The country was divided into seven Areas, I to VII, with regard to their scrapie status. This division was a fixed factor in the statistical analysis.

The results are shown as means for each county (sýsla) in Table 1 (**1. tafla**). For Fe the median value is also given. The Areas where the different counties belong are given.

On Figure 1 (**1. mynd**) the results are shown as Box-Plots of all values for the different Areas and for green fodder (Grnf) and barley (Bygg) samples. An association was found between the ratio Fe/Mn and the scrapie status of Areas. Blue dotted lines indicate the range of adequate levels of trace elements in cattle feed. For Fe the green dotted line marks a limit above which there is a risk that Fe counteracts Cu in cattle. The red dotted lines mark the range of favorable values of Fe/Mn. For each set of Box-Plots, Areas marked with common letters form a group of nonsignificant differences (Tryggvi Eiriksson *et al.* 2010a). Neither Area IV nor green fodder and barley were included in the tests.

The analytical model (2<sup>nd</sup> page) was hierarchical with Areas (**Landshlutar**) at the highest level as a fixed effects factor and Districts (**Hreppar**), Farms (**Bæir**) within Districts and samples within Farms as random effects (Tryggvi Eiriksson *et al.* 2010a). The variance components appear in Table 2 (**2. tafla**). The sampling density was uneven and in the hierarchical random model farms with single or few samples and Districts with single farms get increased weight. For this reason some differences between Areas in Table 2 of

## V. English summary

Tryggvi Eiriksson *et al.* (2010a) deviate from the results as they appear on Figure 1 (**1. mynd**). Regional variation as represented by Districts was most significant for Mn. The availability of Mn is especially determined by soil reaction (pH), a trait that is variable regionally. For Cu 81% of the sum of variance components is between samples within farms. The rather many extreme values of Cu may have exaggerated the variation at the lowest level. The division of the country in Areas was specific for the study of scrapie. The analysis was repeated for a totally random model without Areas, Table 4 (**4. tafla**), to the right with Counties (**Sýslur**) added as the highest level of classification.

A model including DM digestibility and the difference between cuts as fixed effects was analysed and the coefficients of regression estimated (Table 3/**3. tafla**). For all elements the contents were higher in 2<sup>nd</sup> cut than in 1<sup>st</sup> cut. The regression of digestibility on Cu and Zn was positive. Digestibility decreases as harvest is delayed and the result can be interpreted as decreased contents with increased maturity as is the case for many elements such as N, P, S. The concentration of Fe remained stable as is the case for *e.g.* the elements Ca, Mg. The concentration of Mn decreased with increased digestibility, an uncommon relationship. Since the order in which hay fields are cut on a farm is not random the effect of digestibility or cutting date could be confounded with soil factors such as pH that determine the availability of Mn. An alternative explanation is that Mn in soil is gradually released, leading to increasing availability and higher contents in late 1<sup>st</sup> cut and in 2<sup>nd</sup> cut. The extended model explained rather little of the sums of variances (Table 2/**2. tafla** to the right).

Area I was classified as scrapie-free. It stands out as the area with the lowest ratio Fe/Mn and it differed significantly from all others. The scrapie-free Area VII had also rather low ratios. Area VII and Area I in particular are farthest away from the zone of volcanic activity and receive the least eolic deposits of materials that are mostly of volcanic origin. Consequently the soils contain less fresh and easily weathered minerals and soil pH is lower than in other parts of the country (Björn Jóhannesson 1960). This explains the significantly higher Mn concentration in Area I than in other Areas except Area VII. Fe concentration was lowest in Area I although not significantly different from III and VII. This could also be due to less weathering of fresh minerals. In a number of samples the concentration of Fe was comparable to macro elements. The possibility of contamination of samples has not been evaluated. The effect of high Fe content on hay quality should be studied.

All pairs of elements were plotted, see Figure 2 (**2. mynd**). The plot does not indicate a correlation between Fe and Mn as one might expect having found a regional relationship between these elements. The only clear correlation is between Cu and Zn,  $r=0.32$ . The plots do not indicate high probability of coincidence of extremes, that a sample with an extreme value of one element has an increased probability of having extreme value of another element.

In Table 5 (**5. tafla**) three surveys of Cu and Zn in Icelandic hay are compared. The selection of hay samples differed so that the surveys are not fully comparable. Standard errors of Area means for 2003 may be underestimated and the number of samples is only known in 2006. Both elements have shown some tendency towards decreasing concentration.

### III. Trace elements in long-term experiments, 11 elements in samples 1964 – 2003

#### 1. Introduction

The elements Mo, Zn, Ni, Fe, Se, Mn, Cu, Co, Cr, Cd and Pb were analysed in 60 samples from long-term experiments; 30 from an early period 1964–69, 30 from a late period 1987–96 or 1997–2003, and trends were evaluated (Kirchmann *et al.* 2005). For each of 10 treatments there were 6 repeated samples so that the results gave solid information on the variability of trace elements in common environment, and for some elements the variation could be divided into random year effects and sampling variance (experimental error). The samples originated from two experimental stations, altogether four fields with different soil types, and N-fertilizer treatments with different effects on soil reaction.

This as a detailed research report. All measurements are listed and sometimes computer output is copied, usually somewhat edited. Tables are not numbered but can be referred to by section numbers. The outline of the report is as follows:

1. Introduction
2. Sample design
3. Analytical model
4. Results
5. Correlations among elements and regression analyses
6. Correlations of element concentrations with yield
7. Summary of results
8. Conclusions

#### 2. Sample design

There were six samples from each of 10 experiments or treatments within experiments, three of which were from the early period and the other three from the late period. The first table in the section shows the designation of three N-fertilizer treatments and their fertilization in experiments at two experimental stations, Skriðuklaustur in eastern Iceland and Sámstaðir in southern Iceland. The fertilizer chemicals were  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . The remaining four treatments come from different experiments on two soil types at Sámstaðir. For fertilization, see the second table. It was found that any two experiments on the same soil can be regarded as samples of the same environment. For designation of factor levels the font is courier, font size 10 (fertilizers=abteg, 3 levels; soil types=land, 4 levels).

The four different soil types (land) were Andic Gleysol at Skriðuklaustur (SkR) (Gudmundsson *et al.* 2005a), and at Sámstaðir they were freely drained Andosol (Holl), peat soil with high admixture of volcanic tephra, Histic Andosol (Mýri) and a sandy soil on fluvio-glacial deposits (Sandur) (Hólmgeir Björnsson 2007).

The third table shows the distribution of samples on years and the average number of years between early and late samples. All samples were from first cut, see cutting dates in the fourth table, and the experiments were cut twice in previous years, except for those referred to in footnote 1, and in the year of the sample, except for those referred to in footnote 2.

#### 3. Analytical model

The data structure is  $2 \times 3 \times 4$  three-factorial with the factors tbil (period, early=1, late=2), abteg, land, see the table for levels. The factors abteg and land are not orthogonal. The factor abteg is at the level Am\_nitrat in Myri and Sandur. The full model is tbil\*abteg\*land. Often tbil could be left out and then the model is abteg\*land. For

## V. English summary

elements with variable year effects, years within experimental stations were included as a random factor and the Reml method used for analysis.

### 4. Results

The table in 4.1 is an attempt to summarize the results for a selection of values that were considered to be normal or central for the data set. In addition to sporadic abnormal values or large deviates, results were left out for soils or treatments that differed from the others. For elements that changed with time the normal values were restricted to the late period. Thus restricted the normal values were 18 – 40 and the distribution of each element is characterized in the table by the mean and median, quartiles, standard deviation and coefficient of variation. For Mn normal values depend on the soil reaction.

For each trace element the results are arranged such that first is a table of all measurements, mg/kg, followed by a histogram of all values and least squares estimates of factor levels, usually in two-way tables, and sometimes with standard error of difference.

There was a downward trend of Cu with time and random variation of year effects around the trend line. For other elements that differed between periods histograms are shown separately for each period.

### 5. Correlations among elements and regression analyses

Results were more regular in the late period. They were used to screen for possible associations between elements. The strongest associations were between Fe, Co and Ni and between Cu and Mo. The relationship between Mo and Se was also studied.

### 6. Correlations of element concentration with yield

In a preliminary analysis, using results from the second period only, a correlation of Mo with yield was found. This was not confirmed when results from the first period were included. High yield at Skriðuklaustur in 1996 was a dominant source of the correlation observed. In summary, the concentration of trace elements was not found to be related to forage yield and it was concluded that the uptake of trace elements changes with time only if there is a trend in concentration or if yield level changes.

### 7. and 8. Summary of results and conclusions

Most **Fe** values were within acceptable limits for cattle feeding and no significant effects were found between levels of the factors in the survey. There was a considerable variation between years that coincided to a great extent with variation of **Co** between years. Correlation of **Fe** with **Ni** was eliminated if **Co** was included in the model (5.2.1). High levels of **Fe** have been much more common in surveys of hay samples than in the long-term experiments.

The levels of **Mn** were within acceptable limits. Deficiency could possibly occur at high soil pH.

The **Zn** contents were generally adequate and there were only small differences between levels of the factors in the survey. The **Zn** contents were lowest on plots with increased soil pH, i.e. plots fertilized with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . A soil study indicated leaching of **Zn** on a plot with low pH (Gudmundsson *et al.* 2005b).

**Cu** decreased with time in experimental samples so that there is an increasing risk of **Cu** deficiency. The estimated mean concentration and standard deviation were  $7 \pm 2$  in the year 2000.

The **Mo** contents were generally adequate except for low values on Sandur in the early period. The concentration of **Mo** was also reduced on acid plots.



The **Ni** contents were rather low compared to normal values in higher plants. There were higher values on plots with low pH than on plots with high pH, and the highest values were on the sandy soil *Sandur*. As for **Zn** the values of **Ni** in soil on a plot with low pH (Gudmundsson *et al.* 2005b) were reduced.

**Se** was rather low compared to the requirements of cattle. The lowest values were on *Sandur* in the early period. This coincides with low values of **Mo**. Restricted to *Am\_nitrat* plots, other than early *Sandur* (n=40), the correlation between **Se** and **Mo** was  $r=0.41$  (**5.3**).

**Co** was at adequate levels except for low values on plots with increased pH. It was correlated with the variation of **Fe** between years, see above, and there was a relationship with **Ni** within years.

**Cr** increased with time.

The P-fertilizers that have been used were supposed to be low in **Cd**. Despite this **Cd** in forage increased. In the experiments P-fertilization exceeded the requirements for maximum yield.

On the Icelandic market **Pb** in fuel was reduced to a low level around 1985 and eliminated altogether in 1996. As a result the concentration of **Pb** in samples from long-term experiments reduced to about a quarter of the previous level.

The trace elements of most concern in Icelandic agriculture appear to be **Se**, **Fe**, **Cu**. Of elements not included in this study **I**, **B** are of concern. **Zn** and **Mo** should also be given attention.

#### **IV. Tables of adequate levels and critical values in plants, feed and soil**

The tables were used as reference values in the discussion of trace elements. The first two tables were adapted from Icelandic publications.

The first table compares the magnitudes of macro- and micro-elements in plants.

The second table shows the classification of trace element levels with regard to the requirements of cattle into shortage, borderline and adequate. It also shows levels that may counteract the availability of Cu in the feed, and maximum tolerable concentrations.

The third table is a combination of two tables, one with critical values of heavy metals in plants and in animals, and the other with critical concentrations of heavy metals in soils.