

BS ritgerð

Maí 2010

Öryggi faðernisfærslna í íslenska kúastofninum

– mat með samanburði örtunglagreininga og skýrsluhaldsgagna

Guðný Harðardóttir



Landbúnaðarháskóli Íslands
Agricultural University of Iceland

Búvísindadeild

BS ritgerð

Maí 2010

Öryggi faðernisfærslna í íslenska kúastofninum
-mat með samanburði örtunglagreininga og skýrsluhaldsgagna

Guðný Harðardóttir

Leiðbeinandi: Margrét Guðrún Ásbjarnardóttir

Landbúnaðarháskóli Íslands

Búvísindadeild

Yfirlýsing höfundar

Hér með lýsi ég því yfir að ritgerð þessi er byggð á mínum eigin athugunum, er samin af mér og að hún hefur hvorki að hluta né í heild verið lögð fram áður til hærri prófgráðu.

Guðný Harðardóttir

Ágrip

Ræktunarstarf í íslenskri nautgriparækt felur meðal annars í sér að meta kynbótagildi gripa. Kynbótagildi er metið með BLUP-aðferðinni þar sem nýttar eru allar fáanlegar upplýsingar um hvern grip, s.s. eiginleika hans ásamt öllum upplýsingum um forfeður hans og afkvæmi. Mikilvægt er því að faðernisupplýsingar séu nákvæmar þar sem rangar ætternisfærslur leiða til skekkju í kynbótamati og geta þannig dregið úr framförum í ræktunarstarfinu.

Bændasamtök Íslands hafa nýlega hafið faðernisgreiningar með notkun örtungla á þeim nautum sem eru á nautastöð. Markmið þessa verkefnis var að nýta þessar greiningar til að meta tíðni rangra faðernisfærslna meðal nauta á nautastöð og bera niðurstöðurnar saman við tíðni rangra faðernisfærslna meðal stofnúrtaks. Einnig var erfðabreytileiki metinn hjá nautunum með algengum breytileikastuðlum og skyldleikaræktarstuðul þeirra reiknaður bæði út frá örtunglagreiningum og ætternisgögnum. Þar að auki var samræmi milli burðar- og fangfærslna í skýrsluhaldinu skoðað fyrir tvö aðskilin ár.

Helstu niðurstöður verkefnisins voru þær að tíðni rangs faðernis (metin með samanburði á skráðu faðerni og niðurstöðum örtunglagreininga með 11 örtunglum) var 0,03 meðal 284 nauta á stöð og 0,17 í stofnúrtaki (47 kýr). Mat á erfðabreytileika nautanna sýndi að meðal séð arfblendni (H_O) var 0,697 og væntanleg arfblendni (H_E) 0,686. Skyldleikaræktarstuðull nautanna út frá örtunglagreiningum var -1,4% en út frá ætternisgreiningum 4,7%. Virk stofnstærð var metin 78 einstaklingar (95% öryggismörk voru 68,95 og 101,16).

Samanburður burðar- og fangfærslna sýndi að hlutfall rangra faðernisfærslna var 2,7% og 3,1% ásamt því að hátt hlutfall burða höfðu óvísst faðerni á bakvið sig.

Þessar niðurstöður sýna að auka þarf nákvæmni skráninga í skýrsluhaldi og haga sæðingarstarfi á þann veg að lágmarka megi óvissu um faðerni kálfa.

Faðernisgreining með örtunglum eru nákvæm aðferð og á hún fullkomlega rétt á sér við að sannreyna rétt faðerni nauta sem tekin eru á nautastöð og mæðra þeirra.

Lykilorð: nautgripir, örtungl, faðernisfærslur, erfðabreytileiki, virk stofnstærð

Þakkir og tileinkun

Ég vil veita leiðbeinendum mínum, Margréti Guðrúnu Ásbjarnardóttur og Gunnfríði Elínu Hreiðarsdóttur þakklæti mitt fyrir öll gögn ásamt liðveislu þeirra og leiðsögn við skrif þessarar ritgerðar.

Ég þakka unnusta mínum Þórarni Páli Andréssyni fyrir það mikla umburðarlyndi, stuðning og hjálp sem hann sýndi mér.

Þakkir til móður minnar, Guðbjargar Pálsdóttur, fyrir þá óendanlegu hjálp og stuðning sem hún veitti mér, en án hennar hefði þessi ritgerð ekki litið dagsins ljós.

Þakkir til frænku minnar Söndru Einarsdóttur fyrir yfirlestur hennar.

Ég tileinka þessa ritgerð dóttur minni, Sólveigu Björgu Þórarinsdóttur, sem fæddist er þessi vinna stóð yfir og fékk lítinn tíma frá móður sinni er lokahönd var lögð á skrifin.

Efnisyfirlit

Yfirlýsing höfundar.....	ii
Ágrip.....	iii
Þakkir og tileinkun.....	iv
1. Inngangur.....	1
2. Markmið.....	2
3. Staða ræktunarstarfs í íslenska kúastofninum.....	3
3.1. Uppbygging skýrsluhalds og kynbótaeinkunnar.....	4
4. Ætternisgreiningar nautgripa.....	7
4.1. Aðferðir.....	7
4.1.1 Greiningar með blóðflokkum og próteinum.....	7
4.1.2 Greiningar með erfðæfni.....	8
4.1.3 Aðrar greiningaraðferðir.....	9
4.2. Mikilvægi ætternisgreininga.....	10
5. Efni og aðferðir.....	13
5.1. Gögn.....	13
5.1.1 Sýni Bændasamtaka Íslands úr gripum á nautastöð.....	13
5.1.2 Sýni úr stofnúrtaki.....	13
5.1.3 Ætternisgögn.....	13
5.1.4 Gögn yfir burðar- og fangfærslur.....	13
5.2. Aðferðir.....	14
5.2.1 Örtunglagreiningar á sýnum Bændasamtaka Íslands.....	14
5.2.2 Úrvinnsla örtunglagreininga.....	14
5.2.3 Burðar- og fangfærslur.....	16
6. Niðurstöður.....	16
6.1. Faðernisgreiningar.....	16
6.1.1 Gripir á nautastöð.....	16
6.1.2 Stofnúrtak.....	16
6.2. Örtunglagreiningar á nautum.....	17
6.3. Samanburður burðar- og fangfærsla.....	19
7. Umræður.....	21
7.1. Faðernisgreiningar.....	21
7.1.1 Gripir á nautastöð.....	21
7.1.2 Stofnúrtak.....	22
7.2. Örtunglagreiningar.....	22
7.3. Samanburður burðar- og fangfærsla.....	24
8. Ályktanir.....	26
9. Heimildaskrá.....	27
Viðauki.....	31

1. Inngangur

Á Íslandi er einn kúastofn sem hefur verið einangraður síðan land byggðist eða í rúmlega þúsund ár. Slíkar aðstæður eru sérstakar á heimsvísu og er því af mörgum álitnið mikilvægt að viðhalda stofninum með tilliti til mögulegrar erfðafræðilegrar sérstöðu hans. Þeir gripir sem mynda núverandi stofn eru að öllum líkindum afkomendur tiltölulega fárra gripa sem hingað voru fluttir við landnám. Frá landnámi hefur stofninn gengið í gengum sveiflur í stofnstærð í kjölfar náttúruhamfara og samfélagsbreytinga. Þegar unnið er með slíkan stofn í kynbótastarfi er mikilvægt að framkvæmd ræktunarstarfsins sé unnin á markvissan hátt svo unnt sé að ná viðunandi ræktunarframförum en jafnframt að stemma stigu við óæskilegri aukningu í skyldleikarækt til lengri tíma lítið.

Kynbótastarf í nautgriparækt hefur verið öflugt hér á landi frá byrjun 20. aldar. Í dag hafa Bændasamtök Íslands (BÍ) yfirumsjón með kynbótastarfinu ásamt því að reka nautastöð að Hesti í Borgarfirði. Árið 2009 ákváðu Bændasamtökin að hefja faðernisgreiningar á þeim sæðingarnautum sem eru í notkun eða hafa nýlega verið tekin inn á nautastöðina. Aðferðin sem valin var byggir á erfðagreiningum með 11 örtunglum en örtunglagreining er útbreidd aðferð við ætternisgreiningar hjá spendýrum og hefur m.a. verið notuð í íslenska hrossastofninum um tíma. Mikilvægi þess að gripir séu rétt ættfærðir er gífurlegt þar sem kynbótastarfið í núverandi mynd byggist að stórum hluta á útreikningum sem grundvallast á ætternisupplýsingum. Sé ætterni gripa ekki rétt skráð er hættu á að kynbótamat þeirra skekkist og geti orðið annað hvort of hátt eða of lágt miðað við raunverulegt gildi. Það getur svo m.a. leitt til þess að naut sem eru í raun með hátt kynbótamat séu lítið notuð og/eða ekki tekin inn á nautastöð og naut með lágt kynbótamat notuð meira en æskilegt væri sem hvoru tveggja getur orsakað tap, bæði erfðafræðilegt og hagfræðilegt.

Hér á eftir verður byrjað á að gera grein fyrir tilgangi og markmiðum þessa verkefnis. Því næst verður fjallað um hvernig ræktunarstarfi í íslenskri nautgriparækt er háttað í dag og hvaða þættir ráða þar mestu. Þar á eftir verður vikið að ætternisgreiningum í nautgriparækt, helstu aðferðum sem beitt er við slíkar greiningar og mikilvægi þeirra í kynbótastarfi. Síðan verður greint frá efniviði og aðferðum þessarar rannsóknar og að lokum skýrt frá og lagt mat á niðurstöður hennar.

2. Markmið

Markmið þessa verkefnis eru fjölbætt. Í fyrsta lagi að vinna úr niðurstöðum þeirra erfðagreininga sem Bændasamtök Íslands hafa nú þegar fengið fyrir naut sem eru á nautastöð. Bera þær saman við ætternisupplýsingar sem liggja fyrir úr skýrsluhaldi nautgriparæktar hér á landi með tilliti til faðernis og fá þannig mynd á hlutfall rangra faðernisfærslna innan þess hluta stofnsins sem hefur mest áhrif á framfarir í kynbótum hérlendis. Til hliðsjónar verður skýrslufært faðerni þeirra gripa sem erfðagreindir voru vegna M.S. verkefnis Margrétar G. Ásbjarnardóttur, „Erfðafjölbreytileiki í íslenska kúastofninum“ einnig skoðað og sannreynt.

Um er að ræða frumtilraun við að faðernisgreina íslenska nautgripi með þeim aðferðum sem hér er beitt og í ljósi þess verður lagt mat á kosti og galla aðferðarinnar og mögulegar úrbætur ræddar.

Í öðru lagi er markmið verkefnisins að nota þau gögn sem fást með ætternisgreiningum til að leggja mat á erfðabreytileika og skyldleikaræktarstuðul sæðingana og bera þær niðurstöður saman við útkomur úr eldri rannsóknum, bæði fyrir sæðingarnaut og stofnúrtak fyrri rannsóknar.

Í þriðja lagi að gera samanburð á fang- og burðarfærslum tveggja ára sem valin voru fyrir og eftir breytingar á skýrsluhaldskerfinu. Með því móti er hægt að kanna hlutfall ósamræmis í þessum skráningum hvað varðar mögulega feður kálfa og skoða þróun þess hlutfalls í kjölfar breytinga á skráningarkerfinu. Þessi nálgun getur jafnframt varpað ljósi á orsakir rangra faðernisskráninga í stofninum.

3. Staða ræktunarstarfs í íslenska kúastofninum

Uppruni íslenska kúastofnsins hefur verið rakinn til gripa sem ættaðir voru frá norðurhluta Noregs og Norður-Svíþjóð og fluttir voru hingað til lands á árunum 874 til 930 (Kantanen o.fl., 2000). Það er í samræmi við sögulegar heimildir um landnám Íslands og hefur stofninn haldið nokkuð einangraður síðan fyrir utan örlítinn innflutning á gripum frá Danmörku og Noregi um 1800. Talið er að þeir gripir hafi lítið náð að blandast íslenska stofninum (Jón Torfason & Jón Viðar Jónmundsson, 2001).

Saga ræktunarstarfs í nautgriparækt hér á landi nær allt aftur til byrjunar 20. aldar þegar Guðjón Guðmundsson var ráðinn sem búfjárræktarráðunautur hjá Búnaðarfélagi Íslands árið 1902. Honum var ljóst mikilvægi þess að safna upplýsingum um gripi, bæði ætterni þeirra og eiginleika til að árangur gæfist af kynbótum. Að hans tilstuðlan voru nautgripafélög sett á stofn víðsvegar um landið. Hlutverk þeirra var að annast skráningu upplýsinga um ættir og afurðir kúa og halda naut fyrir nærsveitir sínar. Hann hafði til fyrirmyndar eftirlitsfélög sem stofnuð höfðu verið í Danmörku árið 1895, þau fyrstu sinnar tegundar í heiminum (Jón Torfason & Jón Viðar Jónmundsson, 2001). Árið 1928 hóf Páll Zophoníasson störf hjá Bændasamtökum Íslands og lagði hann áherslu á að vanda nautavalið með því að vanda val nautsmæðra ásamt því að félögin fengju kynbótanaut frá öðrum félögum til notkunar (Jón Viðar Jónmundsson, Þorvaldur Kristjánsson, & Baldur Helgi Benjamínsson, 2006).

Sæðingar með fersku sæði hófust árið 1946 í Eyjafirði og breytti það nautahaldi nautgripa-ræktarfélaganna talsvert. Næstu ár á eftir byrjuðu sæðingar í öðrum sveitum en þær voru einvörðungu bundnar við afmörkuð landssvæði hverju sinni. Má þar nefna sæðingarstöð í Borgarfirði, á Lágafelli í Mosfellssveit, á Suðurlandi og á Blönduósi. Önnur landsvæði notuðu áfram naut í eigu nautgripa-ræktarfélaganna. Djúpfrysting nautasæðis hófst árið 1969 sem leiddi til þess að eftir 1978 var aðeins ein nautastöð, staðsett á Hvanneyri í Borgarfirði, sem þjónaði allri nautgriparækt á landinu. Með því varð kúastofninn að einni ræktunarlegri einingu í stað margra lítilla sem markast höfðu af sæðingarstöðvunum áður. Afkvæmahópar nauta urðu einnig mun stærri því notaðir voru 1000 skammtar úr hverju nauti (Jón Viðar Jónmundsson, o.fl., 2006). Í byrjun árs 2009 flutti nautastöðin frá Hvanneyri í nýja aðstöðu að Hesti í Borgarfirði. Þar er einnig aðstaða fyrir uppeldi kálfa en uppeldisaðstaða var áður ekki á sama stað og sjálf nautastöðin. Sæðingar eru í dag (2010) alfarið í höndum búnaðarsambanda um allt land og eru starfandi frjótækna á þeirra vegum. Árin 2004 og 2009

voru skráðar sæðingar á 41 frjótækni, sem virðist vera fjöldinn sem þarf til að sinna sæðingum hér á land (Gunnfríður Elín Hreiðarsdóttir, samtal 19. apríl 2010).

Að jafnaði eru 100-150 nautkálfar undan nautsfeðrum og nautsmæðrum boðnir nautastöð BÍ árlega. Af þessum 100-150 kálfum eru 60-80 kálfar teknir inn á stöðina ár hvert. Þeir kálfar sem uppfylla settar kröfur (sköpulag, kynbótaeinkunn, afurðir móður o.fl.) eru valdir til afkvæmaprófana sem byggjast á afurða- og eiginleikadómum 50-70 dætra undan hverju nauti. Dómar nauta liggja fyrir 6-7 árum eftir að þau koma í heiminn og út frá þeim dómum eru 5-12 bestu nautin valin úr hverjum árgangi og þar af eru 2-6 valin sem nautsfeður (Bændasamtök Íslands, 2010a).

3.1. Uppbygging skýrsluhalds og kynbótaeinkunnar

Í kjölfar stofnunar nautastöðvarinnar á Hvanneyri árið 1974 mótuðu Magnús B. Jónsson og Jón Viðar Jónmundsson fast ræktunarskipulag fyrir íslenska kúastofninn. Þetta skipulag var í mörgum atriðum frábrugðið því sem tíðkast hafði og byggðist á kynbótaeinkunn fyrir hvern grip sem reiknað var út frá upplýsingum úr skýrsluhaldi (Magnús B. Jónsson & Jón Viðar Jónmundsson, 1974). Kynbótaeinkunnir voru reiknaðar fyrir naut en kúnum einungis gefnar afurðaeinkunnir. Kynbótaeinkunn var reiknuð eftir aðferð sem kölluð var „Samtíða samanburður“ (*e. contemporary comparison*) og var á þeim tíma notuð hjá flestum mjólkurframleiðsluþjóðum heims. Þessi aðferð byggðist á því að leiðréttar afurðatölur eftir aldri og burði „samtíða“ kúa á sama búi voru bornar saman. Aðferðin var mun fullkomnari en þær sem notaðar voru áður og leiddi hún til mikilla framfara en þó var hún ekki með öllu gallalaus. Hún tók ekki tillit til erfðaframfara í stofninum né valparana og afurðamælingar voru á ársgrundvelli sem leiddi til erfiðleika við útreikninga á kynbótagildum (Ágúst Sigurðsson, 1993).

Árið 1993 var nýtt kynbótamat tekið í notkun. Það var byggt upp á BLUP - einstaklingslíkani (*e. Best Linear Unbiased Prediction Animal Model*) sem var fyrst beitt í nautgriparækt í Norður-Ameríku og Ástralíu árið 1988. Stærsta breytingin með tilkomu þessa kerfis var sú að allar upplýsingar um eiginleika hvers grips voru nýttar ásamt öllum upplýsingum um ættingja hans eins langt og þær náðu aftur í tíma. Allir einstaklingar í skýrsluhaldskerfinu fá með líkaninu samtímis kynbótaeinkunn sem er reiknuð út frá öllum þeim upplýsingum sem eru til um gripinn og alla hans ættingja. Þetta gerir það að verkum að hægt er að bera einkunnir allra gripa saman, sama hvenær þeir eru fæddir. Leiðrétting vegna valpörunar er líka inn í

aðferðinni sem leiðir til þess að ekki skiptir máli hvernig kúahópa nautin fá við afkvæma-
prófanir. Einn stærsti ávinningurinn með notkun líkansins er sá að val nautsmæðra er mun
nákvæmara og öruggara þar sem allar upplýsingar um gripinn sjálfan eru nýttar ásamt öllum
upplýsingum um ættingja hans. Auðveldara og fljótlegra er einnig að finna afburðakýr því
einungis þarf að bíða eftir að fyrsta mjólkurskeiði þeirra ljúki til að gefa þeim
kynbótaeinkunn en ekki heilt ár eins og tíðkaðist með gamla kerfinu (Ágúst Sigurðsson,
1993).

Notkun BLUP - líkansins getur leitt til aukningar í skyldleikarækt vegna þess að gerðar eru
kröfur um ákveðið lágmarks kynbótagildi við val á ræktunargripum. Með því móti eru skyldir
gripir valdir vegna þess hve kynbótagildi þeirra eru lík, sökum þess að við útreikninga þeirra
eru notaðar upplýsingar um alla ættingja þeirra. Ákveðnar fjölskyldulínur verða þar með til
og gripir úr þeim frekar valdir sem leiðir til skyldleikaræktar (Þorvaldur Kristjánsson, Jón
Viðar Jónmundsson, & Baldur Helgi Benjamínsson, 2006). Reynt er þó að hamla gegn of
mikilli skyldleikarækt með því að nota ekki skylda nautsfeður á nautsmæður hverju sinni
(Gunnfríður Elín Hreiðarsdóttir, samtal 26. apríl 2010).

Kerfisbundið skýrsluhald er forsenda alls kynbótastarfs. Upplýsingaöflun yfir gripi er að
mestu leyti í höndum bænda og eru í dag (2010) yfir 90% allra kúa hér á landi skráðar í
sameiginlegt skýrsluhald fyrir íslenska stofninn (Gunnfríður Elín Hreiðarsdóttir, samtal 19.
apríl 2010). Skýrsluhaldskerfið er aðgengilegt á internetinu og ber nafnið HUPPA
(www.huppa.is). Fyrstu hlutar þess afurða- og skýrsluhaldskerfis voru teknir í notkun í apríl
2008. Í því kerfi geta bændur skilað inn mánaðarlegum afurðarskýrslum og skráð burð og
afdrif gripa. Frjótæknar skrá einnig allar sæðingar þar inn. MARK, einstaklingsmerkinga-
grunnurinn og HUPPA eru hlutar af miðlægu neti gagnagrunna og innskráningakerfa sem
leggja til gögn í KÝR, gagnagrunn nautgriparæktarinnar (Bændasamtök Íslands, 2010b).

Þeir bændur sem taka þátt í skýrsluhaldinu þurfa að skila mánaðarlega inn afurðaskýrslum
sem byggjast á mælingum á mjólkurmagni úr hverri kú. Skýrsluhaldið gerir einnig þær kröfur
að bændur skili kýrsýnum (mjólkursýnum úr hverri kú) að minnsta kosti ársfjórðungslega til
efnagreininga hjá Rannsóknastofnun mjólkuriðnarins (Reglur um greiðslur vegna
kynbótaverkefna í nautgriparækt, frá 1. september 2009 til 31. desember 2010). Efnagreining
er gerð fyrir magn fitu og próteins í mjólkinni ásamt því að frumutala (fjöldi frumna, einkum
þekjufrumna úr júgurvef og hvítra blóðkorna) er mældur (Gunnfríður Elín Hreiðarsdóttir,
samtal 19. apríl 2010). Bændur láta í té upplýsingar um skap og mjaltir kvíga sem þeir mæla

eftir skilgreindum en huglægum skala og fara þær upplýsingar einnig inn í skýrsluhaldið. Ráðunautar dæma þá eiginleika í líkamsbyggingu kvíga sem líklegast þykir að hafi áhrif á almenna hreysti þeirra, mjaltir og endingu (Snorri Sigurðsson & Jón Viðar Jónmundsson, 1997). Bændasamtök Íslands sjá síðan um að safna öllum upplýsingum saman í einn gagnagrunn (KÝR) og reikna út kynbótagildi gripa eftir BLUP-einstaklingslíkaninu. Af kynbótaeinkunn eru það samtals 84% sem byggjast á skýrslufærðum upplýsingum um gripina (Gunnfríður Elín Hreiðarsdóttir, 2008). Tveir eiginleikar, skap og mjaltir, eru upplýsingar sem bændur veita um gripi. Hlutfall þeirra er 8% hvor um sig af kynbótaeinkunn. Afurða-upplýsingar vega þyngst af skýrslufærðum upplýsingum eða 44% (próteinmagn 85% og próteinhlutfall 15%). Aðrir þættir vega allir 8% og má þar nefna frumutölu, júgur, spena, frjósemi og endingu (Magnús B. Jónsson, 2009).

4. Ætternisgreiningar nautgripa

Þær reikniaðferðir sem notaðar eru í kynbótastarfi í nautgriparækt byggja á upplýsingum úr skýrsluhaldi og því er mikilvægt að þær upplýsingar séu réttar. Í ljósi þess og í kjölfar aukinna framfara á sviði lífvísinda hafa ætternisgreiningar nautgripa með aðferðum sameindaerfðafræðinnar færst í vöxt víða um heim.

4.1. Aðferðir

4.1.1 Greiningar með blóðflokkum og próteinum

Hinar ýmsu aðferðir hafa verið notaðar til að ætternisgreina nautgripa í gegnum tíðina. Fyrst má þar nefna blóðflokkagreiningu. Finna má heimildir um blóðflokka í nautgripum frá því 1910. Um 1940 voru gerðar miklar rannsóknir á blóðflokkum nautgripa og þróaðar aðferðir til að keyra ætternisgreiningar með þeim. Blóðflokkagreining byggir á greiningu mismunandi mótefnavaka á yfirborði rauðra blóðkorna. Fyrstu rit segja frá um 30 mótefnavakaflokkum en árið 1951 var þeim raðað í 11 flokka því nokkrir mótefnavakaflokkar sátu á sömu sætum í erfðamenginu (Fries & Ruvinsky, 1999). Með blóðflokkagreiningu er hægt að segja til um faðerni gripa í meira en 90% tilfella þar sem tvö eða fleiri naut koma til greina sem feður þeirra (Stormont, 1967). Því hefur einnig verið haldið fram að með notkun blóðflokkagreiningar einni saman sé hægt að greina 95% af röngum ætternisfærslum (Fries & Ruvinsky, 1999). Þessi aðferð er þó ekki að öllu gallalaus. Má þar helst nefna að blóði er aðeins hægt að safna úr lifandi gripum og takmarkar það gagnsemi aðferðarinnar. Skipulögð sæðingarstarfsemi hefur dregið úr fjölda nauta sem notuð eru í nautgripastofnum en vegna þess að aðferðin krefst líka greininga á blóði úr mæðrum leiðir það engu að síður til þess að taka þarf blóð úr miklum fjölda gripa. Ætternisgreiningar sem byggja á greiningu blóðflokka útheimta því talsverða vinnu og eru í heildina fremur kostnaðarsamar. Vegna þeirra fáu sæta sem notuð eru við þessar greiningar eru þær heldur ónákvæmar og geta jafnvel ekki útilokað meintan föður þó að hann sé ekki foreldri afkvæmis (Bovenhuis & Van Arendonk, 1991).

Síðar komu fram greiningar á fjölbreytileika í próteingerðum (*e. protein polymorphism*). Þar var einkum um að ræða greiningar á próteinum í blóðvökva, rauðum blóðkornum, hvítum blóðkornum og mjólk. Greindir hafa verið 13 flokkar próteins í blóðvökva, 12 blóðkorna flokkar, 8 hvítkornaflokkar og 6 mjólkurprótein flokkar. Greining flestra þessara próteina-gerða fer fram með rafdrætti sem Smithies greindi frá árið 1955 (Fries & Ruvinsky, 1999).

Mikill erfðafjölbreytileiki er í þessum próteinum sem gerir þau hentug til ætternisgreininga (Bovenhuis & Van Arendonk, 1991).

4.1.2 Greiningar með erfðaeftni

Ætternisgreiningar hafa þróast á þann veg að notkun erfðaeftnis hefur í síauknu mæli komið í stað bæði blóðflokka- og próteinagreininga. Ástæður þess eru ýmsar. Hægt er að nota ýmsar gerðir lífssýna til greiningar svo lengi sem þau innihaldi erfðaeftni (*e. DNA*). Má þar nefna sæði, munnvatn, mjólk, blóð og hár og skiptir litlu hvort sýnin séu fersk eða hafi verið geymd um árabíl, svo lengi sem geymsluaðstæður hafi ekki náð að skemma erfðaeftnið (Visscher, Woolliams, Smith, & Williams, 2002).

Greiningar á erfðaeftni grundvallast á greiningu erfðamarka. Erfðamörk (*e. markers*) eru DNA raðir eða ákveðnir staðir sem eru á einhvern hátt greinanlegir í erfðamenginu (Jakob K. Kristjánsson, Sigríður Hjörleifsdóttir, & Guðmundur Óli Hreggviðsson, 2004). Nákvæmni með notkun erfðagreininga eykst í samanburði við t.a.m. blóðflokkgreiningar vegna meiri samsætufjölda erfðamarka. Notagildi erfðaeftnisgreininga er einnig talsvert því hægt er að velja um mismunandi erfðamörk til greiningar eftir því sem hentar hverju sinni (Visscher o.fl., 2002). Þannig er hægt að nýta sama lífsýnið í margar, ólíkar greiningar.

Kostnaður við erfðagreiningar hefur lækkað eftir því sem tækjabúnaður hefur orðið sjálfvirkari og almennari í notkun auk þess sem upplýsingar og gagnagrunnar í erfðafræði eru allajafnan afar aðgengilegir á internetinu (Ron, Blanc, Band, Ezra, & Weller, 1996; Sunnucks, 2000; Weller o.fl., 2004).

Einbasabreytileikar (*e. SNP; single nucleotide polymorphism*) eru mikið nýtt sem erfðamörk. Um er að ræða stökkbreytingar á einum niturbasa í annan, ýmist á svæðum á litningum sem þýða fyrir próteinum eða ekki. Slíkar einbasabreytingar eru mismunandi eftir einstaklingum og eru t.a.m. um 500.000 slíkar þekktar í manningum (Jakob K. Kristjánsson o.fl., 2004). Tíðni þessara stökkbreytinga er afar lág, eða 1×10^{-9} í kynslóð hjá manningum. Ef einstaklingar hafa samskonar einbasabreytileika má ætla að þeir hafi erfð það frá sama forföður, sem var uppi fyrir þúsundum ára (Hartwell o.fl., 2008). Þannig er hægt að nota einbasabreytileika til ætternis- og skyldleikagreininga (Fisher, Malthus, Walker, Corbett, & Spelman, 2009)

Örtungl eru þau erfðamörk sem eru hvað mest notuð við ætternisgreiningar. Þau eru endurteknar stuttraðir, 2-4 basar að lengd sem endurtaka sig 15-100 sinnum á sama stað á litningi. Fjöldi endurtekninga er mismunandi milli einstaklinga sem gerir það að verkum að örtungl

eru hentug til ætternisgreininga. Örtungl erfast eftir lögmálum Mendels sem segja til um að helmingur gena er frá föður og hinn frá móður. Greining þessara stuttu endurteknu raða hefst með mögnun þeirra með keðjufjölliðunarhvarfi (e. *PCR, Polymerase Chain Reaction*). Til þess þarf að þekkja þær basaraðir sem eru sitt hvorum megin við endurteknu stuttraðirnar. Keðjufjölliðunarhvarfið notar síðan vísa sem eru smíðaðir eftir þessum basaröðum (Jakob K. Kristjánsson o.fl., 2004). Eftir það eru örtunglin greind og lengd þeirra metin með erfðagreiningarvél og hugbúnaði (Bredbacka & Koskinen, 1999).

Vegna fjölbreytni örtungla og lágrar tíðni stökkbreytinga (ein í hverjum þúsund kynfruma skv. Hartwell o.fl., (2008)) eru góðar líkur á því að greina faðernisvillur með því að greina sýni frá afkvæmum og nautum. Þannig minnkar einnig fjölda þeirra gripa sem þarf að greina. Á sæðingarstöðvum er alla jafna frosið sæði fyrir hendi sem hægt er að greina en sýnasöfnun úr kúm þarf að fara fram til að öðlast lífsýni úr þeim. Þannig er hægt að halda kostnaði í lágmarki (Bredbacka & Koskinen, 1999; Jakob K. Kristjánsson o.fl., 2004; Ron o.fl., 1996; Vankan & Faddy, 1999; Visscher o.fl., 2002).

Ötrunglagreiningar til faðernisgreininga reynast þó ekki hentugar í stofnum sem gengið hafa í gegnum erfðafræðilegan flöskuháls. Því ef stofn hefur litla arfblendni í örtunglasætum (fáar samsætur í hverju örtunglasæti) er mjög erfitt að greina rétt faðerni miðað við hefðbundinn fjölda örtunglasæta við slíkar greiningar. Þörf yrði á því að fjölga þeim sætum sem greind væru sem leiddi til þess að kostnaður við greiningarnar myndi stóraukast. Í slíkum tilfellum geta einbasabreytileikar reynst betur því fjölbreytileiki er meiri í þeim og þeir eru víðar um erfðamengið en örtungl (Tokarska o.fl., 2009)

4.1.3 Aðrar greiningaraðferðir

Eins og talið hefur verið upp hér á undan hafa margar aðferðir verið notaðar til ætternisgreininga. Má til gamans nefna að gerð var rannsókn á því að nota svipfarsmælingar til að faðernisgreina naut við Georgíu Háskóla í Aþenu. Líkurnar á því að greina réttan föður með þessari aðferð jukust eftir því sem arfgengi svipfarseiginleikanna var hærra og einnig eftir því sem svipfarseiginleikum sem mældir voru fjölgaði. Líkurnar á því að greina rétt faðerni ef til greina komu tvö naut voru þó aldrei meiri en 0,572 og er 4 naut áttu í hlut voru þær aldrei meiri en 0,318 (Sapp, Zhang, Bertrand, & Rekaya, 2007).

4.2. Mikilvægi ætternisgreininga

Erlendar rannsóknir hafa sýnt fram á að hlutfall rangra faðernisfærsla í nautgripum sé talsvert (tafla 1).

Tafla 1. Hlutfall rangra faðernisfærslna hjá nokkrum erlendum nautgripastofnum.

Land	Aðferð	Fjöldi og gerð sýna	Hlutfall rangfærslna	Heimild
Bretland	Örtunglagreining	568 kýr, mjólkur og hársýni	10%	Visscher o.fl. (2002)
Írland	Blóðflokka- og próteingreining	398 kálfar, blóð	8-20%	Beechinor & Kelly (1987)
Danmörk	Ákvarðað útfrá skýrsluhaldsgögnum	-	5-15%	Christensen, Madsen, & Petersen (1982)
Þýskaland	Blóðflokka- og próteingreining	1,221 kvígur, blóð	13%	Geldermann, Pieper & Weber (1986)
Þýskaland	Örtunglagreining	805 kýr, blóð	7%	Sanders, Bennewitz & Kalm (2006)
Holland	Mjólkurpróteina-greiningu	10,731 kvígur, mjólk	12%	Bovenhuis & Van Arendonk (1991)

Visscher og félagar (2002) reiknuðu út áhrif rangra faðernisfærslna á skilvirkni afkvæmarannsóknna og nákvæmni kynbótamats kúa. Með hlutfall rangra faðernisfærslna upp á 10% reiknuðu þeir út að svörun í kynbóttagildi við val á nautum á einu ári minnkaði um 2-3%. Samkvæmt Banos, Wiggans og Powell (2001) dvína erfðaframarir í nautgriparækt um 11-15% sé hlutfall rangra faðernisfærslna um 11%. Geldermann og félagar (1986) rannsökuðu hlutfall rangra faðernisfærslna í Þýskalandi og áætluðu þeir að erfðaframarir fyrir mjólkurfitugildi myndi lækka um 8,7% við arfgengið $h^2 = 0,5$ og um 16,9% við arfgengið $h^2 = 0,2$ ef hlutfall rangra faðernisfærslna væri 15% samanborið við fullkomnar faðernisfærslur. Israel og Weller (2000) beittu reiknilífunum á tilbúinn stofn 100.000 mjólkurkúa og létu líkanið spanna yfir 20 ára tímabil. Þeir áætluðu áhrif rangra faðernisfærslna á erfðaframarir en væri hlutfall þeirra 10% drægi úr erfðafrámörum um 4,3% á ári samanborið við þá framför sem fengist þegar faðerni væri fullkomlega rétt. Erfðaframarir eftir þessi 20 ár væru því 3,5% lægri miðað við ef faðernisfærslur hefðu verið fullkomlega réttar.

Rangar faðernisfærslur hafa samkvæmt þessu margvísleg neikvæð áhrif í kynbótastarfi í nautgriparækt. Þannig geta þær raskað röðun nautanna þegar kemur að kynbótagildi með því að hækka gildi óverðugra nauta og lækka gildi verðugra nauta inn á nautastöð. Sé hlutfall rangra faðernisfærslna mismunandi á milli dætrahópa nauta í afkvæmarannsóknnum aukast áhrifin til muna (Geldermann o.fl., 1986).

Þegar skoðuð eru áhrif þess að rangfeðra gripi og þess að feðra þá alls ekki kemur í ljós að rangar faðernisupplýsingar valda meiri skaða (rangt kynbótagildi reiknað á gripi og tap á erfðaframförum) fyrir kynbótastarfið en ef upplýsingar vantar, eða 1,4 sinnum meiri skaða þegar reiknað fyrir stóra afkvæmahópa (Sanders o.fl., 2006).

Margar ástæður geta verið fyrir því að rangt faðerni sé skráð. Christensen og félagar (1982) greindu frá nokkrum ástæðum fyrir því:

- 1) Mistök við merkingu sæðis á nautastöð.
- 2) Frjótæknar greina sæðisstrá vitlaust (tilgreina sæðið úr einu nauti þegar það er úr öðru).
- 3) Kýr sem hefur fest fang er sædd aftur með öðru nauti og seinna nautið skráð sem faðir.
- 4) Innsláttarvillur er nautanúmer eða nafn nauts er sett inn í sæðingarskýrslukerfið.
- 5) Notkun heimanauts á kýr sem hefur verið sædd.
- 6) Faðerni kálfs við burð skráð rangt.
- 7) Víxlun á kálfum við burð (gerist þó einungis á mjög stórum búum þar sem eru margir burðir á dag).

Gerðar hafa verið rannsóknir á hagfræðilegum ávinningi þess að stunda kynbætur í íslenskri nautgriparækt. Niðurstöður Kristínar Rósar Jóhannesardóttur (2008) gefa til kynna að ef kynbótaeinkunn fyrir bú hækkar um 1% minnkar kostnaður við mjólkurframleiðslu þess um 1,68%. Niðurstöður Daða Más Kristóferssonar og Jóns Viðars Jónmundssonar (2006) sýna svipaða hluti en þær segja að ef meðalkynbótagildi búa hækki um 1% þá aukist hagnaður búsins um 0,84%. Þessar rannsóknir undirstrika þannig mikilvægi kynbótastarfs fyrir hagkvæmni í rekstri kúabúa hérlendis.

Við rannsókn sem gerð var á ísraelska Holstein mjólkurkyninu var áætlað að erfðaframfarir í algengum afurðaeiginleikum dvínuðu um 5% við hlutfall rangra faðernisfærslna upp á 5%. Við fullkomlega skráð faðerni mátti búast við árlegum erfðaframförum er nam 100 kg. mjólkur á hverja kýr. Miðað við tap vegna 5% rangra faðernisfærslna fékkst niðurstaða um að erfðafræðilegt tap á ári væri 500.000 kg mjólkur ef miðað væri við 100.000 kýr. Með þær

niðurstöður til hliðsjónar var sýnt að erfðagreiningar allra kúa í afkvæmaprófunum með því ræktunarskipulagi sem notað var myndu borga sig upp eftir 10 ár með erfðaframtökum (Ron o.fl., 1996).

Þrátt fyrir þetta hefur lítið verið gert af því hér á landi að ætternisgreina naut að undanskildum fáum tilfellum þegar sýni úr nautum á sæðingarstöðinni á Hvanneyri voru send til blóðflokkagreiningar til Danmerkur um það leyti sem djúpfrysting sæðis hófst (1969) (Ólafur E. Stefánsson, 1970). Jón Viðar Jónmundsson (tölvupóstur, 20. apríl 2010) minnst þess að hætt hafi verið að senda sýni til Danmerkur einhversstaðar á árunum 1977-1980. Töluverður kostnaður fylgdi þessum greiningum og aldrei komu í ljós rangar ætternisfærslur og var þetta því lagt af (Jón Viðar Jónmundsson, tölvupóstur 20.apríl 2010).

5. Efni og aðferðir

5.1. Gögn

5.1.1 Sýni Bændasamtaka Íslands úr gripum á nautastöð

Lífsýni úr 465 nautum, kálfum og kúm voru send til erfðagreiningar í fimm skömmtum (5 x 93) á tímabilinu apríl 2009 til mars 2010. Sýni úr kúm voru ekki nýtt í þessu verkefni og eru því ekki til frekari umræðu hér. Sýni fyrir naut og nautkálfa (hér eftir nefnd einu nafni naut) voru fengin hjá nautastöð BÍ á Hesti, annað hvort sem djúpfryst sæði í plaströrum eða sem strokusýni úr nösum gripanna. Strokusýnin voru tekin úr lifandi nautum og safnað saman á tímabilinu apríl 2009 til apríl 2010. Tókst að einangra og greina erfðaeefni úr samtals 107 sýnum fyrir naut. Sæðissýni voru öll úr nautum sem voru fædd á mismunandi tímum eða á árunum 1990-2008. Fengust alls 177 greiningar úr sæðissýnunum. Samtals fengust 284 greiningar fyrir jafnmarga einstaklinga.

5.1.2 Sýni úr stofnúrtaki

Lífsýni úr íslenskum kúm sem Margrét G. Ásbjarnardóttir greindi vegna mastersritgerðar sinnar voru alls 91 (Margrét Guðrún Ásbjarnardóttir, 2008) en einungis reyndist unnt að faðernisgreina 47 af þeim kúm hér. Um þessi sýni og alla frekari úrvinnslu þeirra má lesa nánar í sömu heimild.

5.1.3 Ætternisgögn

Allir gripir í skýrsluhaldi Bændasamtaka Íslands eru skráðir þar með upplýsingum um ætterni. Þær upplýsingar geta verið mismiklar milli einstakra gripa. Í þessari rannsókn voru fengnar faðernisupplýsingar úr skýrsluhaldi BÍ fyrir 284 sæðinganaut annars vegar og 47 kýr hins vegar.

5.1.4 Gögn yfir burðar- og fangfærslur

Bændasamtök Íslands veittu aðgang að gögnum yfir fangfærslur og skráða feður fyrir hvern burð árin 2004 annars vegar (fyrir tíð skýrsluhaldskerfisins HUPPA) og 2009 hins vegar. Kerfið tekur ekki sjálfkrafa mið af fangfærslum þegar burður er skráður og þarf því alltaf að skrá faðerni kálfs er hann fæðist en frá september 2009 kom sá viðauki inn í HUPPA að skráðar fangfærslur voru til hliðsjónar fyrir bændur við burðarskráninguna. Fyrir tíð HUPPA var ekki mögulegt að skrá fang með heimanauti en sá möguleiki býðst í kerfinu.

5.2. Aðferðir

5.2.1 Örtunglagreiningar á sýnum Bændasamtaka Íslands

Við faðernisgreiningu á sýnum voru valin 11 örtungl, sömu 11 örtunglin sem fyrri rannsókn hafði leitt í ljós að hentaði við rannsóknir á íslenska kúastofninum og eru jafnframt á lista alþjóðlegra stofnana yfir þau erfðamörk sem mælt er með að séu notuð við erfðarannsóknir á nautgripum (Margrét Guðrún Ásbjarnardóttir, 2008). Þetta eru eftirfarandi örtungl: BM1824, BM2113, INRA023, SPS115, TGLA122, TGLA126, TGLA227, ETH10, ETH225, TGLA53 og ETH3. ISAG (*e. International Society for Animal Genetics*) mælir með 9 þeirra sérstaklega til ætternisgreininga.

Einangrun erfðaeftnis og örtunglagreiningar fyrir sýni BÍ voru framkvæmdar af Mátis-Prókara (<http://www.matis.is/prokaria/>) á eftirfarandi hátt: Erfðaeftnið var einangrað með segulkúlum (AGOWA midi DNA isolation kit 40420) og styrkur metinn á agarósageli og/eða mældur með Nanodrop ljósmæli. Keðjufjölliðunarhvörf voru svo framkvæmd með vísun fyrir fyrrgreind 11 erfðamörk. Afurðir þeirra hvarfa voru síðan undirbúin fyrir keyrslu í ABI3730 erfðagreiningarvél. Aflestur gagna var gerður í GeneMapper forritinu bæði sjálfvirkt og einnig var hvert sýni lesið af reyndum sérfræðingi. Niðurstöðutöflur yfir samsætur voru að lokum útbúnar í Microsoft Office Excel (Sigríður Hjörleifsdóttir, tölvupóstur 9. apríl 2010).

5.2.2 Úrvinnsla örtunglagreininga

Niðurstöður örtunglagreininga voru settar upp í Microsoft Office Excel og gripum raðað saman eftir skýrslufærðum upplýsingum um faðerni þeirra þannig að niðurstöður úr örtunglagreiningu afkvæmis voru bornar saman við niðurstöður úr örtunglagreiningu skráðs föður. Faðerni var útilokað ef tvö eða fleiri örtunglasæti voru ósamstæð milli föður og afkvæmis.

Tíðni rangra ætternisfærslna var reiknuð á eftirfarandi hátt: Fjölda greindra sýna/fjölda rangra ætternisfærslna.

Breytileikastuðlarnir séð arfblandni (H_O), væntanleg arfblandni (H_E) og breytileikagildi erfðamarka (*e. PIC; Polymorphism information content*) sem notaðir eru til að leggja mat á erfðabreytileika stofns voru reiknaðir fyrir sýni BÍ með tölvuforritinu POWERMARKER (Liu & Muse, 2005)

Heildarfjöldi samsæta var einnig reiknaður með POWERMARKER ásamt tíðni þeirra.

Séð arfblendni er hlutfall arfblendinna einstaklinga (ekki með sama gen í báðum sætum) í stofni (Liu & Muse, 2005).

Væntanleg arfblendni eru líkurnar á því að tvær samsætur sem valdar eru handahófskennt úr stofni séu ekki þær sömu (Liu & Muse, 2005).

PIC eða breytileikagildi erfðamarka segir til um hversu fjölbreytilegt viðkomandi erfðamark er og tekur mið af fjölda og tíðni samsæta fyrir hvert erfðamarkasæti (Guo & Elston, 1999). Sæti sem hefur PIC gildi $>0,5$ hefur mikinn fjölbreytileika og sæti með PIC gildi $<0,25$ hefur lítinn fjölbreytileika. Með öðrum orðum gefur örtunglasæti meiri upplýsingar eftir því sem PIC þess er hærra (Margrét Guðrún Ásbjarnardóttir, 2008).

Skyldleikaræktarstuðull (F) (*e. inbreeding coefficient*) var reiknaður fyrir nautin 284 í POWERMARKER (hér eftir skilgreint sem F_{O}). F er skilgreint sem hlutfall sæta þar sem báðar samsætur eru komnar frá sama forföður og er með öðrum orðum mat á hlutfall arfhreinna einstaklinga innan stofnsins (Simm, 1998).

Til samanburðar var F einnig reiknað útfrá ætternisgögnum (hér eftir skilgreint sem F_{AE}) fyrir nautin 284. Til þess var tölvuforritið EVA_inbred notað (Berg, 2004) en forritið byggir á aðferð Meuwissen og Luo (1992). Veik fylgni hefur fundist á milli F og arfblendni sem reiknuð er útfrá fáum erfðamörkum (10-20) nema um sé að ræða stofn sem hefur mjög mikinn breytileika í F (Balloux, Amos, & Coulson, 2004; Slate o.fl., 2004). Mögulega gefa F-gildi sem reiknuð eru útfrá arfblendni erfðamarka annars konar nálgun á skyldleikaræktarstuðul en þau F-gildi sem reiknuð eru útfrá ætternisgögnum.

Jákvætt F bendir til aukningar á arfhreinum einstaklingum innan stofnsins og þar af leiðandi skyldleikaræktun. Neikvætt F bendir til þess að fleiri arfblendnir einstaklingar séu innan stofnsins en búist var við. Það getur til dæmis gerst í fyrstu kynslóðum eftir að tveir einangraðir stofnar verða að einum (National Biological Information Infrastructure, 2010).

Forritið ONeSAMP 1.2 (<http://genomics.jun.alaska.edu/>) var notað til að leggja mat á virka stofnstærð (N_e) ræktunarstofnsins útfrá niðurstöðum örtunglagreiningar.

5.2.3 Burðar- og fangfærslur

Tölvudeild BÍ gerði árið 2010 samkeyrslu á burðar- og fangfærslum þar sem teknar voru saman allar fangfærslur sem skráðar voru 270-300 dögum fyrir hvern burð árin 2004 og 2009. Þetta 30 daga bil var tekið því meðganga kúa er að meðaltali 287 (240-310) dagar og lengd á milli gangmála þeirra er 18-24 dagar (Bændasamtök Íslands, 2007). Gögnin voru fyrst flokkuð eftir því hvort og þá hve margar fangfærslur lágu að baki hverjum burði. Síðan var skoðaður fjöldi misræmisfærslna, þ.e. hversu margir burðir höfðu fangfærslu með einu nauti en voru með annað naut skráð sem föður kálfs. Slík tilfelli voru meðhöndluð sem rangar faðernisfærslur. Í sumum tilfellum voru fleiri en ein fangfærsla skráðar á burð þar sem þetta átti einnig við. Fjöldi þeirra burða sem höfðu fleiri en eina fangfærslu með mismunandi nautum var tekinn saman, því ekki er hægt að segja með fullri vissu hver faðir viðkomandi kálfs er í þeim tilfellum. Auk þess var tekið saman í hve mörgum tilfellum faðerni var ekki skráð eða skráð sem óþekkt (99999) þar sem var til fangfærsla fyrir burðinn. Gögnin voru sett upp í Microsoft Office Excel og allar stærðir voru fengnar með úrvinnslu í því forriti.

6. Niðurstöður

6.1. Faðernisgreiningar

6.1.1 Gripir á nautastöð

Alls fengust niðurstöður úr örtunglagreiningu fyrir 284 naut. Af þeim fjölda var hægt að sannreyna faðerni 198 gripa. Greiningar vantaði fyrir skýrslufærða feður (30 talsins) þeirra 86 nauta sem af stóðu og því reyndist ekki unnt að faðernisgreina þau. Vafi lék á faðerni 26 nauta vegna ófullkominna örtunglagreininga (vantaði niðurstöður fyrir 2 örtunglasæti ýmist hjá sonum eða feðrum). Fjöldi rangt feðraðra nauta reyndist vera 7. Niðurstöður gagnasafnsins sýndu að tíðni rangt feðraðra nauta inn á sæðingarstöð var 0,03.

6.1.2 Stofnúrtak

Tiltækar voru örtunglagreiningar á 91 kú úr verkefni Margrétar (2008). Af þeim voru 59 kыр undan sæðingarnauti og með skráðar faðernisupplýsingar. Ekki fengust örtunglagreiningar á öllum þeim nautum sem skráð voru feður þeirra og var því einungis hægt að sannreyna faðerni á 47 kúm. Fjöldi rangt feðraðra kúa reyndist 8 og vafasýni voru 3. Tíðni rangt feðraðra kúa í stofnúrtaki var því 0,17.

6.2. Örtunglagreiningar á nautum

Árangur örtunglagreininganna var nokkuð góður. Alls voru 206 sýni greind fyrir öll 11 örtunglin. Greiningu á einu eða tveimur örtunglum vantaði fyrir 78 sýni. Ef fleiri en tvö örtungl vantaði í fyrsta skipti sem sýni var greint var greining endurtekin eða sýninu hent út úr gagnasafninu. Algengast var að greiningu vantaði á örtunglunum ETH225 (30 sýni) og TGLA53 (33 sýni). Fyrir örtunglið TGLA 26 vantaði 10 greiningar og fyrir ETH3 vantaði 8 greiningar. Aðeins skorti tvær greiningar á örtunglinu BM2113 og eina á TGLA227. Fullkomnar greiningar fengust á hinum fimm örtunglunum.

Meðalfjöldi samsæta í hverju örtungli var 6,545 og var samsætufjöldi á milli 4 (BM1824) og 9 (TGLA227). Tíðni hvernar samsætu má sjá í töflu 2. Að meðaltali reyndist séð arfblandni (H_O) fyrir öll örtunglasætin vera 0,697 en væntanleg arfblandni (H_E) 0,686.

Skyldleikaræktarstuðull ($F_{\hat{O}}$) reiknaðist að meðaltali -1,4% út frá örtunglagreiningum.

Þegar skyldleikaræktarstuðull ($F_{\hat{E}}$) var reiknaður út frá ætternisgögnum fyrir sömu 284 naut var hann að meðaltali 4,7%. Alls voru 11 naut með $F_{\hat{E}} \geq 10\%$. Hæsta $F_{\hat{E}}$ hafði Stöðul 05001 sem var með $F_{\hat{E}}$ upp á 27,8%.

Virk stofnstærð ræktunarstofnsins var metin sem 78 einstaklingar (95% öryggismörk voru 68,95 og 101,16).

Tafla 2. Breytileikastuðlar reiknaðir fyrir 284 naut á nautastöð. Númer litnings (Litn.), fjöldi samsæta (N_O), stærðarröðun samsæta, tíðni hversrar samsætu, arfblendni (H_O , séð og H_E væntanleg), breytileikagildi (PIC) og skyldleikaræktarstuðull (F). Samsætur hvers örtungls sem hafa hæsta tíðni eru skáletraðar ásamt tíðni þeirra. Hæstu og lægstu gildi H_O og H_E eru undirstrikuð.

Örtungl	Litn.	N_O	Stærðarröðun samsæta	Tíðni samsæta	H_O	H_E	PIC	F
BM1824	1	4	178; 180; 182; 188	0,199; 0,407; 0,005; 0,389	0,680	0,644	0,568	-0,054
BM2113	2	6	125; 131; 133; 135; 137; 141	0,403; 0,042; 0,148; 0,094; 0,136; 0,177	<u>0,802</u>	<u>0,755</u>	0,724	-0,060
ETH10	5	6	213; 215; 217; 219; 223; 225	0,048; 0,109; 0,090; 0,518; 0,199; 0,037	0,683	0,669	0,633	-0,019
ETH225	9	6	132; 140; 144; 146; 148; 150	0,002; 0,397; 0,060; 0,105; 0,370; 0,066	0,686	0,686	0,632	0,002
ETH3	19	7	109; 117; 119; 125; 127; 131; 133	0,002; 0,184; 0,260; 0,329; 0,222; 0,002; 0,002	0,733	0,741	0,694	0,013
INRA23	3	7	192; 206; 208; 212; 214; 216; 218	0,012; 0,019; 0,190; 0,157; 0,460; 0,160; 0,002	0,711	0,702	0,660	-0,012
SPS115	15	6	236; 248; 252; 254; 256; 260	0,002; 0,637; 0,018; 0,053; 0,178; 0,113	<u>0,507</u>	<u>0,546</u>	0,507	0,074
TGLA122	21	7	143; 147; 149; 151; 153; 171; 173	0,447; 0,180; 0,229; 0,040; 0,002; 0,004; 0,099	0,732	0,704	0,660	-0,039
TGLA126	20	6	115; 117; 121; 123; 125; 129	0,273; 0,352; 0,153; 0,056; 0,165; 0,002	0,767	0,749	0,707	-0,023
TGLA227	18	9	69; 81; 87; 89; 91; 93; 95; 97; 99	0,002; 0,028; 0,002; 0,221; 0,044; 0,240; 0,007; 0,454; 0,002	0,710	0,685	0,633	-0,036
TGLA53	16	8	154; 160; 162; 164; 170; 172; 176; 178	0,139; 0,047; 0,257; 0,014; 0,022; 0,014; 0,492; 0,016	0,655	0,669	0,623	0,023
Meðaltal		6,545			0,697	0,686	0,640	-0,014

6.3. Samanburður burðar- og fangfærslna

Alls voru 24.137 burðir skráðir árið 2004 og 27.776 árið 2009. Skráðir burðir sem höfðu fangfærslur á bakvið sig á því 30 daga tímabili sem hér var til athugunar voru 13.758 árið 2004 og 17.983 árið 2009. Niðurstöður samanburðar á burðar- og fangfærslum fyrir þessi tvö ár leiddu í ljós að stórt hlutfall burða hafði enga fangfærslu á bakvið sig eða 43% árið 2004 og 35% árið 2009. Um helmingur burða hvort ár hafði eina fangfærslu á bakvið sig. Nokkur hluti burða hafði fleiri en eina fangfærslu á bakvið sig eða 7,9% árið 2004 og 7,3% árið 2009.

Faðerni var talið vera rangt skráð miðað við skráðar fangfærslur í 2,7% tilfella árið 2004 en 3,1% tilfella árið 2009. Í fleiri tilfellum var óvissa um skráð faðerni eða í 4,1% tilfella bæði árin. Óvisst faðerni var samanlagður fjöldi tilfella þegar annars vegar heimanaut hafði verið skráð sem faðir þó á bakvið burðinn lægi fangfærsla með sæðingarnauti og hins vegar þegar fang var skráð oftast en einu sinni með mismunandi nautum. Þegar fjöldi fangfærslna með fleiru en einu nauti lá á bakvið burð var ekki hægt að segja til um með nægjanlegu öryggi hvaða sæðingu kýrin hafði haldið á þessu 30 daga bili sem miðað var við. Það reyndist vera í 3,5% tilfella árið 2004 en í 3,2% tilfella árið 2009. Óskráð faðerni eða faðerni skráð sem 99999 (faðir óþekktur) var árið 2004 2,6% af fangfærslum en árið 2009 1,6% af fangfærslum. Í töflu 3 má sjá þessar stærðir sem hlutfall af öllum burðum og sem hlutfall af burðum með fangfærslur.

Tafla 3. Niðurstöður samanburðar á burðar- og fangfærslum fyrir árin 2004 og 2009.

	2004			2009		
	Fjöldi burða	% af burðum	% af fangfærslum	Fjöldi burða	% af burðum	% af fangfærslum
0 fangfærsla finnst	10.384	43,0%		9.793	35,3%	
1 fangfærsla finnst	11.856	49,1%	86,2%	15.961	57,5%	88,8%
1< fangfærsla finnst	1.897	7,9%	13,8%	2.022	7,3%	11,2%
Faðerni skráð rangt miðað við fangfærslur ¹	369	1,5%	2,7%	562	2,0%	3,1%
Óvissa um skráð faðerni ²	564	2,3%	4,1%	741	2,7%	4,1%
Skráð fang með 1< nauti	482	2,0%	3,5%	580	2,1%	3,2%
Faðerni óskráð eða skráð 99999	363	1,5%	2,6%	283	1,0%	1,6%
Alls burðir	24.137			27.776		
Alls burðir með fangfærslur	13.758			17.983		

¹Fang skráð með einu nauti (einu sinni eða oftar) en annað naut skráð sem faðir.

²Summa fjölda þeirra burða sem hafa heimanaut skráðan sem föður en hafa fangfærslur með sæðingarnauti á bakvið sig og fjölda burða með fangfærslur með fleiru en einu nauti.

7. Umræður

7.1. Faðernisgreiningar

7.1.1 Gripir á nautastöð

Útfrá þessum niðurstöðum má álykta að tíðni rangra faðernisfærslna hjá nautum sem valin eru til ræktunar og send á nautastöð sé fremur lág (0,03) enda má gera ráð fyrir því að frekar sé vandað til þess skýrsluhalds er varðar nautsfeður en hinn almenna stofn. Koma má í veg fyrir að naut fari inn á nautastöð sem hafa rangar faðernisfærslur með því að gera erfðagreiningar á þeim eins og hér hefur verið lýst. Þannig er tryggt að kynbótamat þeirra nauta sé hvað réttast og komið í veg fyrir tap á erfðafrámförum. Til að auka nákvæmni kynbótamats enn frekar væri kostur að erfðagreina allar nautsmæður og tryggja þannig að þær séu rétt feðraðar.

Ástæður fyrir röngum faðernisfærslum geta legið á mörgum stöðum eins og Christensen (1982) bendir á. Hægt er að koma í veg fyrir eða draga úr flestum mistökum með nákvæmu skýrsluhaldi og staðfestingarkerfi við sæðingar. Sem dæmi má nefna að sé tekið mið af sæðingarfærslum má koma í veg fyrir að kýr sem hefur fang sé sædd aftur með öðru nauti (3) og að heimanaut sé notað á kýr sem hefur verið sædd (5). En slík tilfelli leiða oftast til þess að nautið sem sætt var með í seinna skiptið er skráð sem faðir kálfs eða í seinna tilfallinu heimanautið. Séu sæðingar- og burðarfærslur bornar saman má koma í veg fyrir að faðerni kálfs sé skráð rangt við burð (6). Hægt er að draga úr mistökum við merkingu sæðis (1) og að sæðisstrá séu greind vitlaust (2) með því að bæta gæðaeftirlit á nautastöð og hjá frjótæknum (Visscher o.fl., 2002). Samkvæmt Weller og félögum (2004) reyndust mistök hjá frjótæknum við að greina sæðisstrá (2) og við skráningu í sæðingarskýrslukerfi (4) vera algengustu orsakir rangra faðernisfærslna. Þeir mátu að í 20% tilfella rangra faðernisfærslna væri um að ræða kýr sem var með fangi en var sædd aftur með öðru nauti (3) og seinna nautið skráð sem faðir. Einnig vildu þeir bæta við áttundu ástæðunni við lista Christensen og félaga; þegar faðerni er greint rangt með erfðamörkum en er í raun rétt. Slíkt geti gerst þegar um er að ræða svokallaðar núll samstæður eða stökkbreytingar í erfðamörkum en einnig við greiningarmistök eða víxlun á sýnum hjá greiningaraðila. Allar ástæður Christensen geta verið líklegar hér á landi nema ein, víxlun á kálfum við burð (7), þar sem hjarðir eru ekki mjög stórar.

Hagkvæmni faðernisgreininga byggist á því að útlagður kostnaður við þær ætti að skila sér til baka í hagnaði vegna erfðaframtara eftir nokkur ár. Niðurstöður Ron og félaga (1996) sýndu að kostnaður við faðernisgreiningar á öllum kúm sem voru notaðar við afkvæmaprófanir getur borgað sig til baka eftir 10 ár í formi hagnaðar vegna aukinna erfðaframtara í nythæð kúnna. Slíkar niðurstöður styðja hagkvæmni faðernisgreininga á nautum inn á nautastöð.

7.1.2 Stofnúrtak

Tíðni rangra faðernisfærslna hjá stofnúrtaki er frekar há (0,17) miðað við önnur lönd eins og sjá má í töflu 1. Þær rannsóknir sem byggðust á örtunglagreiningum á kúm sýndu hlutfall rangra faðernisfærslna upp á 7% í Bretlandi annars vegar (Visscher o.fl., 2002) og 10% í Þýskalandi hins vegar (Sanders, Bennowitz & Kalm, 2006). Írska rannsóknin gaf hlutfall sem spannaði breitt bil (8-20%) en hún byggðist á blóðflokka- og próteinagreiningu (Beechinor & Kelly, 1987).

Ástæður rangra faðernisfærslna innan stofnúrtaks geta verið þær sömu og fyrir nautin ásamt því að gera má ráð fyrir að síður sé vandað til þess skýrsluhalds er varðar hinn almenna stofn. Christensen o.fl. (1982) nefna að ein ástæða þess að rangt faðerni sé skráð við burð sé sú að heimanaut sé notað á kýr sem þegar hefur verið sædd. Notkun heimanauta ein og sér leiðir því til rangra faðernisfærslna að einhverju leiti. Hér á landi er notkun heimanauta þó nokkur, út frá faðernisupplýsingum um ásettar kvígur var hlutfall kvígna undan skráðum heimanautum árið 2007 13,2% og árið 2008 13,4% (Gunnfríður Elín Hreiðarsdóttir, tölvupóstur 5. apríl 2010). Þar með er ekki talið það hlutfall sem var undan óskráðum og óættfærðum heimanautum en 34% allra heimanauta eru óættfærð (Magnús B. Jónsson, 2008). Séu nautin óættfærð getur það skekkt kynbótagildi allra ættingja þeirra og þær kvígur sem eru settar á undan óskráðum heimanautum nýtast ekki við ræktunarstarfið, eins og við afkvæmaprófanir sæðingarnauta.

7.2. Örtunglagreiningar

Árangur örtunglagreininganna var mismunandi. Þar sem örtunglin ETH225 og TGLA53 greindust ekki í um 30 sýnum gæti þurft að endurskoða notkun þeirra tveggja örtungla við faðernisgreiningar í íslenska kúastofninum. Visscher og félagar (2002) notuðu í upphafi sinnar rannsóknar sömu 11 örtungl og notuð voru við þessa rannsókn en tóku þegar leið á rannsóknina TGLA53 út vegna þess að ósamræmi á milli nauta og afkvæma reyndist töluvert meira hjá því en hjá hinum örtunglunum og meira en ef um hreina tilviljun væri að ræða. Af þeim 400 feðgum og feðginum sem könnuð voru í þeirri rannsókn fannst ósamræmi á milli

50 para bara í þessu eina örtungli. Geta verður þess að TGLA53 er ekki hluti af þeim 9 örtunglum sem ISAG mælir með til ætternisgreininga (Roslin Institute, 2010). Einnig er vert að endurskoða notkun örtunglsins BM1824 vegna lítills fjölda (4) samsæta og þar af leiðandi lítills breytileika. Rannsókn Margrétar (2008) sýndi einnig lítinn fjölda (5) samsæta þessa örtungls.

Niðurstaða fyrir væntanlega arfblendni (H_E) (0,686) var mjög lík niðurstöðu fyrri rannsóknar (0,685), aftur á móti mældist séð arfblendni (H_O) mun hærra eða 0,697 miðað við fyrri rannsókn (0,626) (Margrét Guðrún Ásbjarnardóttir, 2008). Kantanen o.fl.(2000) reiknuðu út væntanlega og séða arfblendni upp á 0,560 og 0,550 fyrir íslenska kúakynið en Tapio og félagar (2006) fengu samsvarandi stærðir fyrir stofninn út sem 0,608 og 0,607.

Skyldleikaræktarstuðull sem reiknaðist út frá örtunglagreiningum ($F_{\sigma} = -1,4\%$) vakti mikla eftirtekt. Óeðlilegt er að fá neikvæðan skyldleikaræktarstuðul nema um sé að ræða fyrstu kynslóð stofns sem ræktaður var úr tveimur óskyldum stofnum (National Biological Information Infrastructure, 2010). Ekki er það tilfellið hér en skýringin getur verið að val nauta inn á nautastöð fer eftir settum viðmiðum og er mjög stíft, þ.e. mjög er varast að nota nautsfeður sem eru mjög skyldir á nautsmæður ár hvert. Mæður nauta inn á stöð eru einnig mjög óskyldar innbyrðis sem getur leitt til þessa skyldleikaræktarstuðuls. Taka verður þó fram að rannsóknir benda til þess að rétt mat á skyldleikaræktarstuðul út frá erfðamarkagögnum fæst ekki nema þegar um er að ræða mikinn fjölda erfðamarka og stofn sem er mikið skiptur í undirhópa (*e. strong population substructure*), er lítill eða þar sem strangt kynbótaskipulag hefur valið saman systkini til pörunar (Balloux o.fl., 2004).

Ágúst Sigurðsson og Jón Viðar Jónmundsson (1995) notuðu ætternisgögn og reiknuðu F fyrir sæðingarnaut upp á 2,39% að meðaltali árið 1995. Í sömu rannsókn var skyldleikaræktaraukning á ári fyrir sæðingarnaut metin sem 0,08%. Það F_{AE} sem hér var reiknað úr frá ætternisgögnum fyrir þau sæðingarnaut sem voru arfgerðagreind var 4,7% en hefði samkvæmt þeim Ágústi og Jóni átt að vera 3,59%. Segir það okkur að skyldleiki er að aukast meira en áætlað var á meðal sæðingarnauta inn á stöð. Vakti athygli að sjá naut með F_{AE} upp á 28,7% inn á nautastöð, það þarf þó ekki að hafa neikvæð áhrif á stofninn í heild því það getur verið lítið skylt þeim nautum sem eru í notkun á nautastöðinni. Í ljósi þess að of mikil skyldleikarækt hefur þekktar neikvæðar afleiðingar (skyldleikaræktarhignun) er þó ávallt varasamt að para saman gripi sem eru mikið skyldir og fá þar af leiðandi gripi með hátt F_{AE} .

Árið 2000 var meðalskyldleikaræktarstuðull íslenska kústofnsins 2,4% reiknaður fyrir alla gripi. Með auknum kröfum um þéttleika ætternisgagna hækkaði F upp í 3,5%. Það sýnir að eftir því sem ætternisgögn eru betri hækkar útreiknað F. Gildi þess að hafa skráningar um ætterni gripa nákvæmar er því einnig mikilvægt svo hægt sé að leggja rétt mat á skyldleikarækt í stofninum (Þorvaldur Kristjánsson o.fl., 2006)

Virk stofnstærð ræktunarstofnsins var metin frekar lág (78 einstaklingar) en eldri rannsóknir hafa sýnt virka stofnstærð upp á 111 (Margrét Guðrún Ásbjarnardóttir, 2008) og 118 (Þorvaldur Kristjánsson, o.fl., 2006) einstaklinga. Efri öryggismörk stærðarinnar (101 einstaklingur) sem hér voru reiknuð reyndust þó ekki mjög fjarri fyrri gildum. Þetta þykir þó sýna að skyldleikarækt er meiri innan þess hluta stofnsins sem nýttur er mest í ræktunarstarfinu en hjá hinum almenna stofni. Það verður að teljast eðlilegt miðað við það ræktunarskipulag sem hefur viðhafst hér á landi og byggir á BLUP-aðferðinni, þar sem upplýsingar um alla ættingja eru teknar inn í kynbótagildi þeirra. Skyldir einstaklingar fá þar af leiðandi mjög lík gildi sem verður til þess að skyldir gripir geta verið paraðir saman því þeir reynast með hæstu gildin. Einnig geta naut sem eru skyld fengið mikla notkun sem leiðir til þess að ákveðnar línur verða til innan stofnsins (Þorvaldur Kristjánsson o.fl., 2006).

Minnkun í virkri stofnstærð og aukin skyldleikarækt leiðir til þess að erfðabreytileiki tapast (Þorvaldur Kristjánsson o.fl., 2006). Brýnt er því að umsjónaraðilar ræktunarstarfsins fylgist með þróun skyldleikaræktar hjá helstu ræktunargripum.

7.3. Samanburður burðar- og fangfærsla

Í skýrsluhaldi nautgriparæktar hér á landi er greinilega nokkuð um rangar faðernisfærslur og enn meira um óvissu faðernis (sjá töflu 3). Alvarlegast þykir þó að hlutfall burða sem hafa enga fangfærslu 270-300 dögum fyrir burð er mjög hátt (43% og 35%). Ástæður fyrir því að engar fangfærslur liggja að baki burðum á þessu dagabili geta verið nokkrar og má þar einfaldlega nefna að kýrnar geta hafa gengið með styttra eða lengur en þetta dagabil segir til um. Einnig gæti kýrin hafa fengið með heimanauti og það ekki verið skráð, eða að skráningin hafi misfarist hjá frjótækni. Sú aðferð að sæða kýr með mismunandi nautum á sama gangmáli (tvísæðingar), virðist vera fremur útbreidd meðal kúabænda en hún leiðir til þess að ekki er hægt að skrá með vissu réttan föður kálfs. Sama á við ef heimanaut hefur verið notað á kýr eftir að hún var sædd á sama gangmáli. Í þeim tilfellum er einungis hægt að komast að réttu faðerni með erfðagreiningu.

Séu niðurstöðurnar úr töflu 3 teknar saman sést að heildarhlutfall rangra, óskráðra/óvissra faðernisfærslna af burðum með fangfærslur á bakvið sig á umræddu dagabili er 9,4% árið 2004 og 10,4% árið 2009. Áætla má að séu burðir með enga fangfærslu teknar með aukist hlutfall óvissra faðernisfærslna til muna. Til að leggja nákvæmt mat á það þarf að lengja dagabilið sem er til skoðunar því þá fást inn þær kýr sem hafa aðra meðgöngulengd en stofninn að meðaltali.

Samkvæmt þessu virðist þurfa að vanda betur til fang og burðarskráninga. Gildi þess að hafa slíkar skráningar réttar getur endurspeglast sem hagfræðilegur ávinningur til kúabænda þegar litið er til rannsókna sem metið hafa fjárhagslegt mikilvægi kynbótastarfs í nautgriparækt. En þær sýna að við hækkun kynbótagildis gripa á býlum minnkar kostnaður við mjólkurframleiðsluna eða hagnaður eykst (Kristín Rós Jóhannesardóttir, 2008; Daði Már Kristófersson & Jón Viðar Jónmundsson, 2006).

Í þau skipti sem kýr er sædd oft á einu og sama gangmáli (tvísæðingar) er besta leiðin til þess að lágmarka óvissu um faðerni að nota alltaf sama nautið. Þurfi bændur einhverra hluta vegna að nota heimanaut á kýrnar er mjög mikilvægt að nota skráð og ættfært heimanaut. Eins er varðar sæðingarnar skal ekki blanda notkun heimanauts við sæðingar á einu og sama gangmáli til að lágmarka óvissu um faðerni. Almenn skyldi þó frekar nota sæðingarnaut en heimanaut.

Með tilkomu HUPPA hefur orðið mest breyting á hlutfalli óskráðs og óþekkt (99999) faðernis eða minnkun um 1% frá 2004 til 2009, af burðum með fangfærslu að baki sér. Má það rekja til þess að í HUPPA er möguleiki að skrá heimanaut og þar af leiðandi fang og faðerni að kálfi með þeim. Bændur þurftu þar með ekki lengur að hafa faðerni að kálfi undan heimanauti sem óskráð eða óþekkt. Í september 2009 kom síðan sú viðbót við skýrsluhaldskerfið að allar fangfærslur eru hafðar til hliðsjónar við skráningu burðar. Ekki er komin reynsla á hvernig það reynist, en það ætti að draga úr röngum faðernisfærslum, því bændur geta ekki komist hjá því að hafa fangfærslurnar til hliðsjónar og ættu því að skrá rétt faðerni kálfs (að því gefnu að aðeins komi eitt naut til greina á hverju gangmáli). Líklegustu ástæðurnar fyrir röngu faðerni ættu því bara að vera mistök á sæðingarstöð við merkingu sæðis, mistök hjá frjótækni við greiningu sæðisstrás, mistök við sæðingarskýrsluskráningu eða notkun heimanauts á kýr sem er einnig sædd.

8. Ályktanir

Þær niðurstöður sem hér birtast sýna að tíðni rangt feðraðra nauta á nautastöð er mælanleg þrátt fyrir að þar sé um að ræða þann hluta stofnsins þar sem hvað mest er vandað til skýrsluhalds. Tíðni rangra faðernisfærsla metin fyrir stofnúrtak kúa er þó hærri en hjá nautum á stöð eins og búast mátti við.

Hægt er að draga úr röngum faðernisfærslum í skýrsluhaldi með vönduðum vinnubrögðum allra þeirra sem að skráningum koma. Einnig með því að halda uppi virku gæðaeftirliti á nautastöð og á starfi frjótækna. Ef kýr er sædd oft á einu og sama gangmáli (tvísæðingar) er besta leiðin til að lágmarka óvissu um faðerni að nota alltaf sama nautið. Þurfi bændur einhverra hluta vegna að nota heimanaut á kýrnar er mikilvægt að þau séu hvorki óskráð né óættfærð. Almenn skyldi þó frekar nota sæðingarnaut en heimanaut.

Sú ákvörðun Bændasamtaka Íslands að faðernisgreina alla nautakálfa sem teknir eru á nautastöðina virðist réttmæt og til þess fallin að auka nákvæmni í ræktunarstarfi samtakanna. Með notkun slíkra greininga aukast líkur á að aðeins séu tekin inn á stöð þau naut sem eiga þangað erindi samkvæmt kynbótamati og þannig megi draga úr tapi á erfðaframförum. Hagkvæmni faðernisgreininga byggist á því að útlagður kostnaður við þær ætti að skila sér til baka í hagnaði vegna erfðaframfara eftir nokkur ár.

Skyldleikaræktarstuðull nauta á nautastöð reyndist hér hærri en stofnsins í heild sinni sem metinn var í eldri rannsókn og var árleg skyldleikaræktaraukning þeirra meiri en gert hafði verið ráð fyrir. Til að viðhalda erfðabreytileika er því mikilvægt að taka einnig mið af skyldleikaræktarstuðlum gripa er þeir eru teknir inn á stöð, ekki bara kynbótagildi þeirra.

Greiningar þær sem unnið var með við þetta verkefni fýrnast ekki og munu nýtast við faðernisgreiningar á gripum í framtíðinni. Þörf er á því að meta tíðni rangra faðernisfærslna innan hins almenna stofns útfrá mun stærra stofnúrtaki en gert var hér til að fá raunverulegra mat á þá stærð.

Þessi rannsókn sýnir að veikir hlekkir eru í ræktunarstarfi nautgriparæktar hér á landi. Faðernisgreiningar allra nauta á nautastöð ásamt faðernisgreiningum á nautsmæðrum eru því mikilvægur þáttur í því að styrkja drifkeðju ræktunarstarfsins.

9. Heimildaskrá

- Ágúst Sigurðsson (1993). Nýtt kynbótamat í nautgriparækt. *Ráðunautafundur 1993*, 231-241.
- Ágúst Sigurðsson & Jón Viðar Jónmundsson (1995). Inbreeding and its impact in the closed population of Icelandic dairy-cattle. *Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science*, 45(1), 11-16.
- Balloux, F., Amos, W., & Coulson, T. (2004). Does heterozygosity estimate inbreeding in real populations? *Molecular Ecology*, 13(10), 3021-3031.
- Banos, G., Wiggans, G. R., & Powell, R. L. (2001). Impact of Paternity Errors in Cow Identification on Genetic Evaluations and International Comparisons. *Journal of Dairy Science*, 84(11), 2523-2529.
- Beechinor, J. G., & Kelly, E. P. (1987). Errors of identification amongst cattle presented as progeny of some bulls used in the artificial insemination service in Ireland. *Irish Veterinary Journal*, 41(10), 348-352.
- Berg, P. (2004). Evolutionary Algorithm for Mate Selection (Version 1.5) [User's Guide, Draft 26.10.2004]
- Bovenhuis, H., & Van Arendonk, J. A. M. (1991). Estimation of milk protein gene-frequencies in crossbred cattle by maximum-likelihood. *Journal of Dairy Science*, 74(8), 2728-2736.
- Bredbacka, P., & Koskinen, M. T. (1999). Microsatellite panels suggested for parentage testing in cattle: Informativeness revealed in Finnish Ayrshire and Holstein-Friesian populations. *Agricultural and Food Science in Finland*, 8(3), 233-237.
- Bændasamtök Íslands (2007). Gangmál og meðgöngutími búfjár. *Handbók bænda*, 57, 92-93.
- Bændasamtök Íslands (2010a). Val nauta í ræktunarstarfinu. Skoðað 31. mars á <http://bondi.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=316>
- Bændasamtök Íslands (2010b). Huppa - Nýtt veflægt skýrsluhaldskerfi í nautgriparækt.. Skoðað 14. apríl 2010 á <http://bondi.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=1229>
- Christensen, L. G., Madsen, P., & Petersen, J. (1982). *The influence of incorrect sire-identification on the estimates of genetic parameters and breeding values*. Paper presented at the Proceedings of the 2nd World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Madrid, Spain.
- Daði Már Kristófersson, & Jón Viðar Jónmundsson. (2006). Hagfræðilegt vægi eiginleika í ræktunarstarfi nautgripa. *Fræðaping Landbúnaðarins*. 123-132. Reykjavík:

- Bændasamtök Íslands, Landbúnaðarháskóli Íslands, Landgræðsla ríkisins og Skógrækt ríkisins.
- Fisher, P. J., Malthus, B., Walker, M. C., Corbett, G., & Spelman, R. J. (2009). The number of single nucleotide polymorphisms and on-farm data required for whole-herd parentage testing in dairy cattle herds. *Journal of Dairy Science*, 92(1), 369-374.
- Fries, R., & Ruvinsky, A. (1999). *The genetics of cattle*: CABI Publishing.
- Geldermann, H., Pieper, U., & Weber, W. E. (1986). Effect of misidentification on the estimation of breeding value and heritability in cattle. *Journal of Animal Science*, 63(6), 1759-1768.
- Gunnfríður Elín Hreiðarsdóttir. (2008). Nokkur orð um skýrsluhald í nautgriparækt. *Nautaskrá nautastöðvar BÍ árin 2007-2008*. Reykjavík: Bændasamtök Íslands.
- Guo, X. Q., & Elston, R. C. (1999). Linkage information content of polymorphic genetic markers. *Human Heredity*, 49(2), 112-118.
- Hartwell, L. H., Hood, L., Goldberg, M. L., Reynolds, A. E., Silver, L. M., & Veres, R. C. (2008). *Genetics, From Genes to Genomes* (3 ed.). New York: McGraw Hill.
- Israel, C., & Weller, J. I. (2000). Effect of misidentification on genetic gain and estimation of breeding value in dairy cattle populations. *Journal of Dairy Science*, 83(1), 181-187.
- Jakob K. Kristjánsson, Sigríður Hjörleifsdóttir & Guðmundur Óli Hreggviðsson (2004). Erfðatækni til nota við kynbætur. *Fræðaping landbúnaðarins 2004*, 187-190. Reykjavík: Bændasamtök Íslands, Landbúnaðarháskóli Íslands, Landgræðsla ríkisins, Rannsóknarstofnun Landbúnaðarins, Skógrækt ríkisins.
- Jón Torfason & Jón Viðar Jónmundsson (2001). *Íslenska mjólkurkýrin*. Hjaltadalur: Bókaútgáfan Hofi.
- Jón Viðar Jónmundsson, Þorvaldur Kristjánsson, & Baldur Helgi Benjamínsson. (2006). Erfðaframlag þekkttra kynbótagripa í íslenska kúastofninum á síðari hluta 20. aldar. *Rit LbhÍ*, 21-32. Reykjavík: Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Kantanen, J., Olsaker, I., Holm, L. E., Lien, S., Vilkki, J., Brusgaard, K., o.fl. (2000). Genetic diversity and population structure of 20 North European cattle breeds. *Journal of Heredity*, 91(6), 446-457.
- Kristín Rós Jóhannesdóttir (2008). *Áhrif kynbóta á afkomu íslenskra kúabúa*. Óútgefin BS ritgerð. Háskóli Íslands, Reykjavík.
- Liu, K., & Muse, S. V. (2005). POWERMARKER: Integrated analysis environment for genetic marker data. *Bioinformatics*, 21, 111-118.

- Magnús B. Jónsson & Jón Viðar Jónmundsson (1974). Kynbótaskipulag fyrir íslenska kúastofninn. *Íslenzkar lanbúnaðarrannsóknir*, 6, 49-63. Reykjavík: Rannsóknastofnun Landbúnaðarins.
- Magnús B. Jónsson (2008). Orsakir kálfadauða hjá fyrsta kálfs kvígum. *Fræðping landbúnaðsins 2008*. Reykjavík: Bændasamtök Íslands, Landbúnaðarháskóli Íslands, Landgræðsla ríkisins, Skógrækt ríkisins, Hólaskóli, Veiðimálastofnun, Matvælastofnun, Hagbjónusta Landbúnaðarins og Matís ohf.
- Magnús B. Jónsson (2009). Kynbótastarfið skilar árangri til allra framleiðenda. *Nautaskrá Nautastöðvar BÍ sumarið 2009*. Reykjavík: Bændasamtök Íslands.
- Margrét Guðrún Ásbjarnardóttir (2008). *Genetic variation within the Icelandic cattle breed*. MS ritgerð, Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Meuwissen, T.H.E. & Luo, Z. (1992). Computing inbreeding coefficients in large populations. *Genetic Selection Evolution*, 24, 305-313.
- National Biological Information Infrastructure (2010). Population Genetics: Variability. Skoðað 6. apríl á http://www.nbio.gov/portal/server.pt/community/population_genetics/403/variability/
- Ólafur E. Stefánsson (1970). Nautastöð Búnaðarfélags Íslands-Önnur skýrsla, *Freyr*, 66(13-14), 328-333.
- Reglur um greiðslur vegna kynbótaverkefna í nautgriparækt, frá 1. september 2009 til 31. desember 2010 nr. 648/2009. <http://bondi.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=2403>
- Ron, M., Blanc, Y., Band, M., Ezra, E., & Weller, J. I. (1996). Misidentification rate in the Israeli dairy cattle population and its implications for genetic improvement. *Journal of Dairy Science*, 79(4), 676-681.
- Roslin Institute (2010). CaDBase Genetics Diversity in Cattle. Skoðað 27. apríl á <http://www.projects.roslin.ac.uk./cdiv/markers.html>
- Sanders, K., Bennewitz, J., & Kalm, E. (2006). Wrong and missing sire information affects genetic gain in the Angeln dairy cattle population. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 315-321.
- Sapp, R. L., Zhang, W., Bertrand, J. K., & Rekaya, R. (2007). Genetic evaluation in the presence of uncertain additive relationships. I. Use of phenotypic information to ascertain paternity. *Journal of Animal Science*, 85(10), 2391-2400.
- Simm, G. (2000). *Genetic Improvement of Cattle and Sheep*. Tonbridge: Farming press.

- Slate, J., David, P., Dodds, K. G., Veenvliet, B. A., Glass, B. C., Broad, T. E., o.fl. (2004). Understanding the relationship between the inbreeding coefficient and multilocus heterozygosity: theoretical expectations and empirical data. *Heredity*, 93(3), 255-265.
- Snorri Sigurðsson, & Jón Viðar Jónmundsson (1997). Útlitsdómar íslenskra kúa. *Rit bívísindadeildar*. Hvanneyri: Landbúnaðarháskólinn.
- Stormont, C. (1967). Contribution of blood typing to dairy science progress. *Journal of Dairy Science*, 50(2), 253-260.
- Sunnucks, P. (2000). Efficient genetic markers for population biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(5), 199-203.
- Tapio, I., Varv, S., Bennewitz, J., Maleviciute, J., Fimland, E., Grislis, Z., o.fl. (2006). Prioritization for conservation of northern European cattle breeds based on analysis of microsatellite data. *Conservation Biology*, 20(6), 1768-1779.
- Tokarska, M., Marshall, T., Kowalczyk, R., Wojcik, J.M., Pertoldi, C., Kristensen, T.N. o.fl. (2009). Effectiveness of microsatellite and SNP markers for parentage and identity analysis in species with low genetic diversity: the case of European bison. *Heredity* 103, 326-332.
- Vankan, D. M., & Faddy, M. J. (1999). Estimations of the efficacy and reliability of paternity assignments from DNA microsatellite analysis of multiple-sire matings. *Animal Genetics*, 30(5), 355-361.
- Visscher, P. M., Woolliams, J. A., Smith, D., & Williams, J. L. (2002). Estimation of pedigree errors in the UK dairy population using microsatellite markers and the impact on selection. *Journal of Dairy Science*, 85(9), 2368-2375.
- Weller, J. I., Feldmesser, E., Golik, M., Tager-Cohen, I., Domochoovsky, R., Alus, O., o.fl. (2004). Factors affecting incorrect paternity assignment in the Israeli Holstein population. *Journal of Dairy Science*, 87(8), 2627-2640.
- Þorvaldur Kristjánsson, Jón Viðar Jónmundsson, & Baldur Helgi Benjamínsson. (2006). Þróun skyldleikaræktar í íslenska kúastofninum. *Fræðaping landbúnaðarins*, Reykjavík: Bændasamtök Íslands, Landbúnaðarháskóli Íslands, Landgræðsla ríkisins, Skógrækt ríkisins.

Viðauki

Númer og nafn 284 nauta sem örtunglagreiningar voru notaðar frá.

Nafn	Einstaklingsnúmer	Nafn	Einstaklingsnúmer	Nafn	Einstaklingsnúmer
Sorti	199016626810007	Völustakkur	200116672810026	Ári	200416627411040
Ljóri_I	199115283510003	Giljagaur	200116672810032	Bursti	200416673410276
Kjarni	199116389810009	Aspar	200116672811003	Standur	200513436110898
Negri	199116626810002	Glæðir	200213385110001	Stöðull	200513438610167
Smellur	199215244610028	Alfons	200213439410008	Gimli	200513440210304
Móses	199216307410010	Sírfus	200213594110032	Bifur	200513472410384
Hvammur	199216388210012	Pontíus	200213608710028	Sláni	200513608710293
Geisli	199216543710018	Bangsi	200213985610015	Grallari	200513613910221
Tjakkur	199216682710022	Hjaltalín	200215241510018	Þrjótur	200513787410135
Breiði	199413627910037	Ófeigur	200215241910016	Herkúles	200514410110195
Kaðall	199413787410017	Börkur	200215283510023	Frami	200514648610244
Spakur	199415263410021	Sendill	200215377110013	Rútur	200515255610351
Pinkill	199415265710013	Aðall	200215392310039	Vindill	200515283510627
Völsungur	199415348010006	Gislungur	200215809110022	Hnappur	200516376010434
Klaki	199416639210005	Skurður	200216381010012	Renningur	200516452811129
Soldán	199516498110010	Ás	200216530710048	Þengill	200516516710587
Túni	199516530620024	Fleygur	200216548810031	Gegnir	200516546910423
Hvítungur	199613316710032	Skjanni	200216549910030	Goði	200516622810365
Fróði	199613385310028	Hlekkur	200216549910036	Gaukur	200516622810368
Íri	199615232410010	Þrymur	200216556710042	Röskur	200516622810380
Prakkari	199616389910007	Flói	200216622810029	Oddgeir	200516626811028
Hófur	199616452810027	Lykill	200216656910003	Ferðalangur	200516645910248
Teinn	199716506210001	Stórsteinn	200216682710024	Hávarður	200516649410708
Pverteinn	199716516710032	Skandall	200313390810204	Birtingur	200516672511229
Stígur	199716626810010	Depill	200313613910198	Hryggur	200516673410295
Randver	199716633010029	Öðlingur	200313620510002	Brandur	200516673510153
Hersir	199716672810033	Leiknir	200313694110217	Baugur	200516679410339
Umbi	199813607310036	Brunnur	200313784710159	Bauti	200516680910205
Príor	199815233410042	Hegri	200314637810014	Ljúfur	200516681110205
Trölli	199815239010023	Brekkan	200314655410004	Sjómaður	200613390810266
Þrasi	199815384510052	Hvinur	200315265610486	Dynjandi	200613594110309
Fontur	199816762910027	Birkir	200315283510005	Hjarði	200613613910244
Mímir	199914655410007	Bani	200315384510003	Hali	200613985610015
Ábætir	199915294110002	Mjöllnir	200316367210017	Völusteinn	200615199210382
Pöllur	199916516710008	Akur	200316381010009	Baldi	200615229810327
Trandill	199916626310042	Draumur	200316390610015	Raftur	200615255610388
Duggari	199916762910022	Finnur	200316418611016	Töfri	200615283510668
Júdas	200013630410031	Tópas	200316549010027	Dreitill	200615342310322
Golli	200015259810012	Arfur	200316654910011	Viðkunnur	200615402710553
Náttfari	200016390610035	Gyllir	200316673510007	Leistur	200616403810423
Gosi	200016646110032	Trukkur	200316679410012	Stjóri	200616452811228
Lás	200016656910045	Máni	200316707610575	Baggalútur	200616618610442
Kistill	200016673410017	Vængur	200316826110021	Taktur	200616633010467
Laski	200016673510010	Kútur	200414635510355	Darri	200616646510719
Lói	200115238910008	Stássi	200415244610335	Kambur	200616682810280
Villingur	200115284210036	Stíll	200415244610341	Koli	200616683110279
Taumur	200116007510024	Dagur	200415247110880	Gullomli	200712565610314
Grjóti	200116401210010	Hlaupari	200415265610496	Framherji	200712565610329
Kolskeggur	200116403810006	Þynur	200415283510587	Rjómi	200713384210168
Snotri	200116454610027	Ingjaldur	200415377110169	Bólstri	200713476610277
Stokkur	200116527010035	Bloti	200416333010321	Stafur	200713491010109
Völlur	200116550010007	Jaki	200416333010329	Stakkur	200713617310242
Spotti	200116622810028	Hengill	200416452811096	Blámi	200713619410174
Husi	200116646910001	Hjálmur	200416623510521	Kastali	200713694110275
Kappi	200116659810031	Búsæll	200416626310531	Húni	200714547510265

Nafn	Einstaklingsnúmer
Prímus	200714597910083
Svaki	200715191210328
Laukur	200715263411019
Klaufi	200715267810684
Lukki	200715278610430
Dúllari	200715284210239
Lögur	200715758010778
Baukur	200716310710171
Húfur	200716367210446
Keipur	200716372810952
Hóll	200716451310603
Selur	200716454710713
Dallur	200716546910456
Gári	200716637310441
Humall	200716649210628
Sandur	200716649410807
Blængur	200716672410463
Toppur	200716679410407
Blómi	200813384210187
Gói	200813436111042
Basli	200813601710550
Kauði	200813602010501
Þjakkur	200813620510402
Skottí	200813979510166
Hosi	200814471610276
Eitill	200814597910120
Teningur	200814597910132
Strengur	200814642810561
bændalúr	200815264611467
Posi	200815265710830
Slóði	200815267810742
Drengur	200815281910414
Ingpór	200815283510741
Krani	200815307410585
Bambi	200815322510508
Laufás	200815345910337
Skúmur	200815377110216
Þróttur	200815384510566
Hrói	200815715210451
Röndólfur	200815896910600
Svanur	200816367210454
Númi	200816367210459
Flekkur	200816379410288
Pollur	200816381010612
Þáttur	200816393210400
Loki	200816396910650
Klettur	200816401210185
Kraftur	200816403810507
Sámur	200816406010390
Pokki	200816454710769
Krúsi	200816496610440
Páski	200816513710549
Þjónn	200816515510855
Kaldi	200816549610341
Bliki	200816622810573

Nafn	Einstaklingsnúmer
Fáni	200816622810582
Leikur	200816626310666
Frakkur	200816633010540
Vegbúi	200816633010552
Mói	200816646510792
Takki	200816646510801
Rammi	200816659810603
Höldur	200816660310405
Skúfur	200816681110254
Snúður	200816681110259
Bakki	200912565610387
Kjarri	200913369810384
Stólpi	200913436111061
Jurti	200913602010505
Jónsi	200913602010506
Freyr	200913602010523
Ra	200913617310233
Grímur	200913617310253
Nausti	200913665010256
Háls	200913694110311
Rafall	200914100610481
Ferill	200914124210693
Skagi	200914587210355
Gustur	200914597910139
Rómur	200914597910156
Tínus	200915238910404
Steypir	200915244610416
Rótari	200915244610417
Rósant	200915244610427
Stimpill	200915244610429
Gæi	200915278610458
Þræll	200915278610463
Þulur	200915278610464
Dráttur	200915281610540
Marri	200915289410831
Jarl	200915347310165
Spegill	200915353910209
Þjassi	200915646310460
Silfri	200915720810246
Rauðgrani	200915809110363
Jökull	200916007510462
Merkúr	200916381010632
Tungli	200916381010689
Brestur	200916381110333
Stuldur	200916387010461
Kíll	200916506210226
Síll	200916506210228
Hrímnir	200916548010324
Hvellur	200916622810612
Kraki	200916633010555
Polli	200916637310500
Strumpur	200916649210675
Stubbur	200916672511452
Bolti	200916672810690
Ljóri_II	200916672810780

Nafn	Einstaklingsnúmer
Fantur	200916672810784
Glymur	200916672810786
Víllir	200916673110457
Strimill	200916673510288
Foss	200916674610469
Hruni	200916683110339
Korkur	200916710410605