

Myndun á grunnerfðahópi fyrir erfðamengisúrval í íslenska kúastofninum

Skýrsla til fagráðs í nautgriparækt

Baldur Helgi Benjamínsson
Verkefnisstjóri

Bændasamtök Íslands

Desember 2018

1. Inngangur

Í mars 2016 stóðu Emma Eyþórsdóttir, dósent við Landbúnaðarháskóla Íslands og Jón Viðar Jónmundsson, þáverandi búfjarræktarráðunautur hjá Ráðgjafarmiðstöð landbúnaðarins (RML) fyrir námskeiði um erfðamengisúrval í búfjarrækt, sem á ensku kallast „genomic selection“. Auk þeirra tveggja, komu Guðmundur Jóhannesson, ábyrgðarmaður nautgriparæktar hjá RML og Baldur Helgi Benjamínsson, þáv. framkvæmdastjóri Landssambands kúabænda að skipulagningu þess. Fyrirlesarar á námskeiðinu voru Dr. Peer Berg frá Danmörku, þáverandi forstöðumaður húsdýradeildar NordGen (Norræna erfðalindasetrið) og nú prófessor við norska umhverfis- og lífvísindaháskólann, Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, og Dr. John McEwan, kynbótafræðingur hjá AgResearch á Nýja-Sjálandi, sem er rannsóknastofnun landbúnaðarins þar í landi. Námskeiðið sátu hátt í 20 manns.

Á aðalfundi Landssambands kúabænda sem haldinn var 31. mars og 1. apríl 2016 var samþykkt svohljóðandi ályktun:

1. Erfðamengisúrval.

Aðalfundur Landssambands kúabænda, haldinn í Reykjavík 31. mars og 1. apríl 2016, felur fagráði í nautgriparækt að kanna möguleika á innleiðingu úrvals á grunni erfðamengis í kynbótastarf nautgriparæktarinnar, svo og hagkvæmni þess ef til kemur. Í því skyni verði:

- Gerðar greiningar á arfgerð helstu ættfedra íslenska kúastofnsins undanfarin ár, sem og aðrar greiningar sem að gagni koma að mati fagráðsins.
- Undirbúin skipuleg vefjasýnataka úr íslenska kúastofninum til greiningar á arfgerð.
- Líklegur ávinningur aðferðarinnar metinn, svo og sá kostnaður sem henni fylgir.

Verði niðurstöður úr framantöldu jákvæðar verði erfðamengisúrval tekið í notkun í íslenskri nautgriparækt.

Greinargerð:

Erfðamengisúrval, sem á ensku kallast "genomic selection", er um þessar mundir að ýta hefðbundnum afkvæmaprófunum í nautgriparækt til hliðar um nær allan heim og valda þannig einni mestu byltingu í kynbótastarfi nautgripa sem orðið hefur í áratugi. Með aðferðinni er ætliðabilið stytt um meira en helming og þannig hefur víða tekist að tvöfalda erfðaframfarir. Mikilvægt er því að fá úr því skorið hvort úrval á grunni erfðamengis gagnist íslenskri nautgriparækt enda ljóst að án þess skerðist samkeppnishæfni íslenskrar mjólkurframleiðslu verulega á ári hverju. Því leggur aðalfundurinn þunga áherslu á að verkefnið fari af stað svo fljótt sem verða má. Fundurinn leggur einnig til að kannaðir verði möguleikar á aðkomu fjölpjódlegra sjóða sem stuðla eiga að verndun sérstæðra búfjárstofna, að fjármögnun þessa verkefnis.

Þann 1. október 2016 var Baldur Helgi Benjamínsson, kynbótafræðingur, ráðinn verkefnisstjóri til að hrinda ályktuninni í framkvæmd. Þar sem Bændasamtök Íslands eru ábyrgðaraðili ræktunarstarfs búfjár hér á landi skv. búnaðarlögum 70/1998 er hann starfsmaður BÍ. Stýrihóp verkefnisins skipuðu Sigurður Eyþórsson, framkvæmdastjóri BÍ, Margrét Gísladóttir, framkvæmdastjóri LK og Jón Hallsteinn Hallsson, lektor við Landbúnaðarháskóla Íslands. Eitt af fyrstu verkum verkefnisstjóra var að sækja um framlag af þróunarfé úr samningi um starfsskilyrði mjólkurframleiðslu, til að undirbúa myndun á grunnersfðahópi í íslenska

kúastofninum og fylgja eftir framangreindri ályktun aðalfundar LK. Fyrstu skref þessa verkefnis voru stigin í nánú samráði við vísindamenn við Árósháskóla á Foulum í Danmörku og naut verkefnisstjóri þar nánna kynna sinna við lykilmenn á þessu fræðasviði, sem hann stofnaði til í námsdvöl sinni þar fyrir rúmlega 15 árum. Þar ber helst að nefna Dr. Bernt Guldbrandtsen, sem er í fremstu röð vísindamanna á þessu sviði í heiminum. Einnig hefur verið náið samstarf við Guðmund Jóhannesson, ábyrgðarmann nautgriparæktar hjá RML. Skal með skýrslu þessari gera grein fyrir framgangi verkefnisins.

2. Undirbúningur verkefnisins

Dagana 4.-7. desember 2016 fór verkefnisstjóri ásamt Guðmundi Jóhannessyni, ábyrgðarmanni nautgriparæktar hjá RML og dr. Jóni Hallsteini Hallssyni, dósent við LBHÍ í námsferð til Danmerkur. Tilgangur fararinnar var að kynna stöðu á erfðamengisúrvali í danski nautgriparækt og hvaða ályktanir mætti draga af henni við þróun og mögulega innleiðingu á slíkum aðferðum í hérlendri nautgriparækt. Við heimsóttum rannsóknamiðstöð Árósháskóla á Foulum á Jótlandi en um þær mundir vann einn íslenskur meistaranemi í búfjárrækt, Kári Gautason að lokaverkefni sínu á Foulum og var hann með okkur í ferðinni. Einnig tókum við hús á yfirmanni Norræna kynbótamatsins (Nordisk Avlsværdivurdering) og ræddum við einn af yfirmönnum kynbótafélagsins VikingGenetics, sem er samvinnufélag nautgripabænda í Danmörku, Svíþjóð og Finnlandi. Einnig var fyrirtækið Genoskan A/S heimsótt en það sérhæfir sig í meðhöndlun og greiningu á DNA sýnum úr búpeningi, allt frá nautgripum til býflugna. Til að fá sýn bænda á þessa aðferðafræði, heimsóttum við dr. Morten Hansen, sem ásamt fjölskyldu sinni rekur 260 kúa bú í Vrå á Norður Jótlandi.

Það sem stendur uppúr eftir að hafa farið yfir helstu atriði í ræktunarstarfinu hér á landi; kúafjölda, skýrsluhald og ættfærslur, fyrirkomulag afkvæmaprófana, virka stofnstærð o.s.frv. með þeim sem gerst þekkja í þessum fræðum, var samdóma álit þeirra að erfðamengisúrval ætti að vera mögulegt í íslenska kúastofninum. Í umræðum um þessi mál beindum við sjónum okkar talsvert að Jersey stofninum, sem er lang fáliðaðastur af þeim þremur megin kúastofnum sem eru undirstaðan í mjólkurframleiðslu Norðurlandanna, með um 65.000 kýr, rúmlega tvöfalt fleiri en hér á landi.

Þegar þessar aðferðir voru að ryðja sér til rúms í nautgriparækt fyrir tæpum áratug, var gengið út frá að sk. viðmiðunarstofn, þ.e. gripir sem bæði hafa skráningar á svipfarsmælingum (afurðir, útlitsdómur, heilsufar o.s.frv.) og greiningu á arfgerð, myndi nær eingöngu samstanda af afkvæmaprófuðum nautum. Helsta ástæðan var sú að traust mat á kynbóttagildi var vitanlega lang mest hjá þessum gripum, auk þess að kostnaður við greiningu arfgerðar var verulegur á þessum tíma. Hafa skal í huga að megin markmiðið með erfðamengisúrvali er að geta *mælt* kynbóttagildi gripa nánast um leið og þeir eru komnir í heiminn, í gegnum greiningu á arfgerð þeirra. Í dag er staðan orðin sú, að fjöldi afkvæmaprófaðra nauta í viðmiðunarstofni Holstein er um 33.000 gripir, enda hefur hann verið ræktaður sameiginlega á heimsvísu í áraraðir. Þessi fjöldi afkvæmaprófaðra nauta er hliðstæður því, ef núverandi kynbótaskipulag hér á landi hefði verið við lýði allt frá landnámsöld.

Þegar farið var að huga að uppbyggingu á viðmiðunarstofni Jersey kúnna í Danmörku, var í byrjun ákveðið að nýta upplýsingar um afkvæmaprófuð naut, sem fædd voru 1985 og síðar, reyndust þau á þeim tíma vera um 1.000 talsins. Ekki stoðar að nýta eldri einstaklinga, þar sem þeir eru orðnir fjarskyldari núlifandi stofni, auk þess sem ýmsir eiginleikar í ræktunarstarfinu

voru metnir með öðrum hætti fyrr á tímum en nú er; afurðir voru t.d. eitt sinn metnar á ársgrunni, í stað mjaltaskeiða, horfið var frá notkun hefðbundins dómskala yfir í línulegt útlitsmat o.s.frv. Niðurstaðan var sú að 1.000 naut í viðmiðunarstofni danskra Jersey kúa gæfi einungis 0-10% auknið öryggi á kynbótamatinu, m.v. hefðbundið æternismat. Það eitt og sér var talið of lítið til að tækt væri að innleiða aðferðina í ræktunarstarfið. Hliðstæðar tölur úr Holstein, með sinn heljarstóra viðmiðunarstofn, voru 20-30% aukning á öryggi kynbótamatsins frá hefðbundnu æternismati, hátt í tvöföldun, enda var erfðamengisúrval innleitt þar um leið og mögulegt var.

Þróunin á þessu sviði hefur verið geysihröð undanfarin ár. Erfðaprófin sjálf eru þar engin undantekning. Þessum prófum má skipta í þrennt hvað nautgripina varðar: Svokölluð HD próf (High density) eru umfangsmest og dýrust, ná yfir 777.000 einbasabreytileika víðs vegar um erfðamengið. Þau eru m.a. notuð við að kanna uppbyggingu erfðahópa, skyldleika á milli stofna o.þ.h. Næst koma SNP50 próf sem ná yfir rúmlega 50.000 einbasabreytileika og eru t.a.m. notuð til að meta kynbótagildi einstakra gripa, þau skera úr um hvort taka eigi kálfa inn á nautastöðvarnar eða ekki. Síðast eru sk. LD próf (Low density) sem ná yfir um 8.000 einbasabreytileika og eru þau ódýrustu og umfangsminnstu. Þau eru í vaxandi mæli notuð af bændum sem bústjórnartæki, þannig gefst þeim kostur á að mæla kynbótagildi einstakra gripa í hjörðum sínum með mun meiri nákvæmni en áður var möguleg.

Það sem hefur tekið einna mestum breytingum varðandi þessi próf er kostnaðurinn við þau. Bóndinn sem við hittum, dr. Morten Hansen kvaðst hafa trúað á þessa aðferð frá fyrsta degi og tileinkað sér hana fljótt í búrekstrinum. Í byrjun hafi kostnaðurinn við erfðaprófin verið umtalsverður, um 2.000-2.500 danskar krónur pr. grip. Núna væri hann hins vegar kominn niður í 250 danskar krónur pr. grip (um 4.000 isk) og horfur væru á að hann færi niður í 150 dkk á næsta ári (2.400 isk). Það er meira en 90% lækkun á fáum árum. Þessi þróun hefur gert það raunhæft að greina arfgerð mikils fjölda kúa, sem síðan er bætt í viðmiðunarstofninn. Með þessu móti hefur náðst fram viðunandi öryggi á kynbótagildi sem mælt er á grunni erfðamengis, í tilfelli áðurnefndra danskra Jersey kúa þýddi þetta 10% aukningu á örygginu til viðbótar frá því sem áður var. Með lækkandi tilkostnaði færir það síðan í aukana að raðgreina erfðamengið (whole genome sequencing) þar sem allir þrír milljarðar basaparanna eru skoðaðir.

Að öllu þessu sögðu, hvernig gæti íslenski viðmiðunarstofninn litið út? Á tímabilinu frá 1990 til 2010 hafa verið afkvæmaprófuð um 500 naut hér á landi. Eins og áður hefur komið fram, er það fjarri því að vera nægjanlegur fjöldi til að skila viðunandi öryggi á kynbótamatinu. Til að ná viðunandi árangri þar, er það mat þeirra sérfræðinga sem við hittum, að bæta þurfi greiningu á arfgerð um 5.000 kúa inn í viðmiðunarstofninn, til að byrja með. Öllu máli skipti að þessir gripir gefi góða mynd af stofninum og komi frá búum með öflugt skýrsluhald; vandaðar skráningar mælinga og traustar ættfærslur. Í þessu sem öðru gildir að niðurstöðurnar verða aldrei traustari en gögnin sem þær byggja á.

3. Markmið með rannsókninni

Markmiðinu með þessari rannsókn má skipta upp í fjóra þætti:

- Að kanna stöðu skyldleikaræktar í íslenska kúastofninum með sameindaerfðafræðilegum aðferðum (Runs of Homozygosity).
- Að kanna erfðafræðilega samsetningu í íslenska kúastofninum með meginþáttagreiningu (Principal Component Analysis).
- Að kanna erfðafræðilega einsleitni í íslenska kúastofninum (Admixture analysis).

d. Að kanna skyldleika íslenska kúastofnsins við aðra kúastofna (Treemix analysis).

4. Efniviður og aðferðir

Samkvæmt Landnámabók fluttust nautgripir hingað til lands á fyrstu árum Íslands byggðar. Skipulagt kynbótastarf nautgriparæktarinnar hefst með stofnun nautgriparæktarfélaganna á fyrstu árum 20. aldar og straumhvörf urðu í því starfi með tilkomu sæðinga árið 1947. Nautastöð Búnaðarfélags Íslands á Hvanneyri tók svo til starfa árið 1969. Með stofnun hennar má segja að lokaskrefið hafi verið stigið í að rækta íslenska kúastofninn sem eina heild. Allt frá stofnun stöðvarinnar hafa verið geymdir nokkrir sæðisskammtar úr hverju nauti sem komið hefur þar til notkunar í skipulögðum afkvæmaprófunum, í samræmi við núgildandi kynbótaskipulag íslenska kúastofnsins frá árinu 1974. Alls eru nautin rúmlega 1.000 talsins og er sæði úr flestum þeirra aðgengilegt, þó er erfiðara að henda reiður á sæðisskömmtum sem teknir voru fyrir árið 1980.

Til að fá efnivið sem myndi nýtast til að ná framangreinum markmiðum rannsóknarinnar, mæltu hinir dönsku vísindamenn með því að gerð yrði ítarleg greining á arfgerð 48 gripa. Var horft til þess að þessir gripir ættu mikið erfðaframlag í stofninum en gæfu jafnframt gott þversnið af honum. Jafnframt yrði að gæta þess að lágmarka innbyrðis skyldleika þessara gripa, í hópnum væru hvorki feðgar eða hálfbræður. Við útreikninga á erfðaframlagi var árgangur 2016 lagður til grundvallar og sá Guðmundur Jóhannesson um þá útreikninga. Þau tvö naut sem eiga mest erfðaframlag í þeim árgangi eru feðgarnir Þráður 86013 og Kaðall 94017, með um 9% hvor. Þau naut sem eiga yfir 5% erfðaframlag eru Stígur 97010, Tvistur 81026, Laski 00010, Rauður 82025 og Almar 90019 (þeir tveir síðastnefndu eru feðgar). Að teknu tilliti til framangreindra skilyrða voru sæðissýni úr eftirtöldum nautum send í greiningu á arfgerð hjá GenoScan A/S sem þá hafði aðsetur á Foulum í Danmörku. Til verksins var notuð BovineHD Genotyping BeadChip frá bandaríska fyrirtækinu Illumina ® en með henni er hægt að greina 777.962 einbasabreytileika í erfðamengi nautgripa:

Nafn	Nautanúmer	Fæðingarár	Fjöldi dætra í Huppu í október 2018
Tvistur	81026	1981	822
Gígur	82011	1982	100
Rauður	82025	1982	921
Prestur	85019	1985	868
Stjóri	85045	1985	82
Bassi	86021	1986	926
Daði	87003	1987	668
Leistur	87027	1987	125
Óli	88002	1988	777
Gassi	89018	1989	99
Tuddi	90023	1990	746
Negri	91002	1991	746
Kaðall	94017	1994	918
Seifur	95001	1995	163
Vopni	95004	1995	76

Hrani	96024	1996	70
Stöpull	97021	1997	85
Þór	98010	1998	108
Gísl	98013	1998	105
Ábætir	99002	1999	130
Trandill	99042	1999	128
Guffi	00002	2000	146
Laski	00010	2000	1.108
Ljómi	00040	2000	116
Vinur	01009	2001	139
Glópur	01011	2001	98
Stokkur	01035	2001	264
Gyllir	03007	2003	900
Akur	03009	2003	191
Eldur	04001	2004	158
Farsæll	04007	2004	152
Dagur	04035	2004	186
Hlíðar	06002	2006	194
Laukur	07001	2007	142
Framherji	07022	2007	140
Keipur	07054	2007	846
Þokki*	08024	2008	28
Silfri	09004	2009	201
Þytur	09078	2009	489
Skalli	11023	2011	273
Öllari	11066	2011	146
Eitill	12022	2012	172
Milli	12051	2012	95
Strompur	13063	2013	113
Móráll	13079	2013	117
Kláus	14031	2014	150
Grundir	14088	2014	148
Dreki	15031	2015	142

*Eftir komu á Nautastöðina reyndist Þokki 08024 vera rangfeðraður og var notkun hans hætt. Faðir hans reyndist vera heimanaut á Selalæk.

Eins og sjá má er þarna að finna góðan þverskurð af stofninum, allt frá þeim nautum sem mest áhrif hafa haft á ræktunarstarfið undanfarna áratugi yfir í naut sem ekki fóru í framhaldsnotkun að loknum afkvæmadómi. Einnig eru þarna fáein naut sem ekki hafa lokið afkvæmadómi.

Stofnun í erfðafræði við háskólann í Árósum lét í té arfgerðir eftirtalinnna stofna: *Danish Holstein*, *Danish Jersey*, *Black-and-White Danish Dairy Cattle anno 1965*, *Danish Shorthorn*, *old-style Angler Cattle*, *traditional Danish Red Dairy Cattle* og *modern Red Dairy Cattle*, stofnun í matvælafræði við sama háskóla lét í té arfgerð *Jutland Cattle*, ræktunarfélag norskra kúabænda, *Geno*, útvegaði *Norwegian Red Dairy Cattle*, frá sænska landbúnaðarháskólanum kom *Swedish Red Dairy Cattle* og stofnun náttúruauðlinda í Finnlandi (LUKE) útvegaði arfgerð *Finnish Ayrshire Cattle*.

Hluti af HD arfgerðum stofnanna *new-style Angler*, *Hereford*, *Montbeliard* og *Normande* komu úr verkefninu 1000 Bull Genomes Project Run 4 data. Dr. Bernt Guldbbrandtsen sá um úrvinnslu gagna og túlkun niðurstaðna.

Úrvinnsla gagna

Arfhrein litningasvæði voru skoðuð í íslensku gögnunum og notuð til að meta stöðu skyldleikaræktar. Til þess var notaður hugbúnaðurinn Plink 1.90. Hann metur skyldleikarækt á erfðamengisgrunni með því að deila lengd arfhreins svæðis í heildarlengd svæðis milli merkja í erfðamenginu. Meginþáttagreining var gerð með hugbúnaðinu Eigensoft 6.1.4. og voru tíu keyrslur gerðar á þeirri greiningu og sjö þeirra settar upp með myndrænum hætti. Erfðafræðileg einsleitni var könnuð með hugbúnaðinum Admixture 1.3. og niðurstöður settar upp með Structure hugbúnaði. Skyldleiki við aðra stofna var metinn með Treemix hugbúnaði.

5. Niðurstöður

Arfblendni og hlutfall arfhreinna svæða

Tvær mælingar á arfblendni voru metnar og eru niðurstöður þar um í töflu 1. Þær voru í öllum megin atriðum samhljóða. Hlutfall arfblendni var hæst í *modern Red Danish Dairy Cattle* og lægst í *Danish Shorthorn*. Í sumum kynjum mælist lítil sem engin skyldleikarækt í nokkrum einstaklingum, mæld sem arfhrein litningasvæði og hún er að jafnaði lægst í rauðu nútímakynjunum, sú lægsta er í *modern Red Danish Dairy Cattle*. Sú hæsta er í *Danish Shorthorn*. Sumir einstaklingar í dönsku varðveislukynjunum (kyn sem ekki eru nýtt í hefðbundnum landbúnaði) hafa ískyggilega hátt hlutfall arfhreinna svæða. Hæst var það í *Jutland Cattle* (40%), *Danish Shorthorn* (46,9%) og *conservation Red Danish Dairy Cattle* (48,3%) en þessi kyn eru mjög fáliðuð. Íslenski stofninn sker sig ekki úr í þessu samhengi. Meðal hlutfall arfhreinna svæða er mjög svipað og gengur og gerist í framleiðslukynjunum í nágrannalöndunum.

Tafla 1: Hlutfall arfblendinna sæta af um 300.000 sætum sem metin voru í meginþáttagreiningunni, fjöldi gripa í greiningu, lágmark, meðal og hámarkshlutfall arfhreinna svæða.

Kyn	Undirstofn	% arfblendnið	Fjöldi gripa	Lágmark arfhr. sv.	Með. arfhr. sv.	Hámark arfhr. sv.
Angler	Gamall	36,8	31	2,9	9,6	20,5
Brown Swiss	Tékkneskur	34,2	39	2,1	10,1	22,7

Brown Swiss	Þýskur	34,1	24	2,9	9,9	18,8
Brown Swiss	Ítalskur	33,6	16	4,6	12,6	18,1
Brown Swiss	Bandarískur	33,0	41	7,0	13,8	24,8
Holstein Cattle	Danskur	35,7	158	3,7	10,5	11,9
Íslenska kynið		31,8	47	4,6	11,1	18,2
Jersey Cattle	Danskur	32,1	420	7,8	16,7	28,3
Red Dairy Cattle	Nútíma DK	37,9	245	0,0	4,4	16,7
Red Dairy Cattle	Finnskur	35,6	243	2,7	9,8	17,6
Red Dairy Cattle	Norskur	36,6	382	0,7	7,4	20,6
Red Dairy Cattle	Sænskur	36,6	246	0,2	7,6	18,9
Jutland Cattle	Endurgert	34,4	15	3,2	11,6	40,0
Black-and-White	Danskt 1965	34,7	42	2,1	10,6	26,6
Shorthorn Cattle	Danskt	28,1	60	0,3	28,8	46,9
Red Dairy Cattle	Gamall DK	31,7	135	0,2	19,3	48,3

Mynd 1 sýnir hlutfall arfhreinna svæða hjá þeim tveimur gripum sem sýndu hæsta og lágsta hlutfallið.

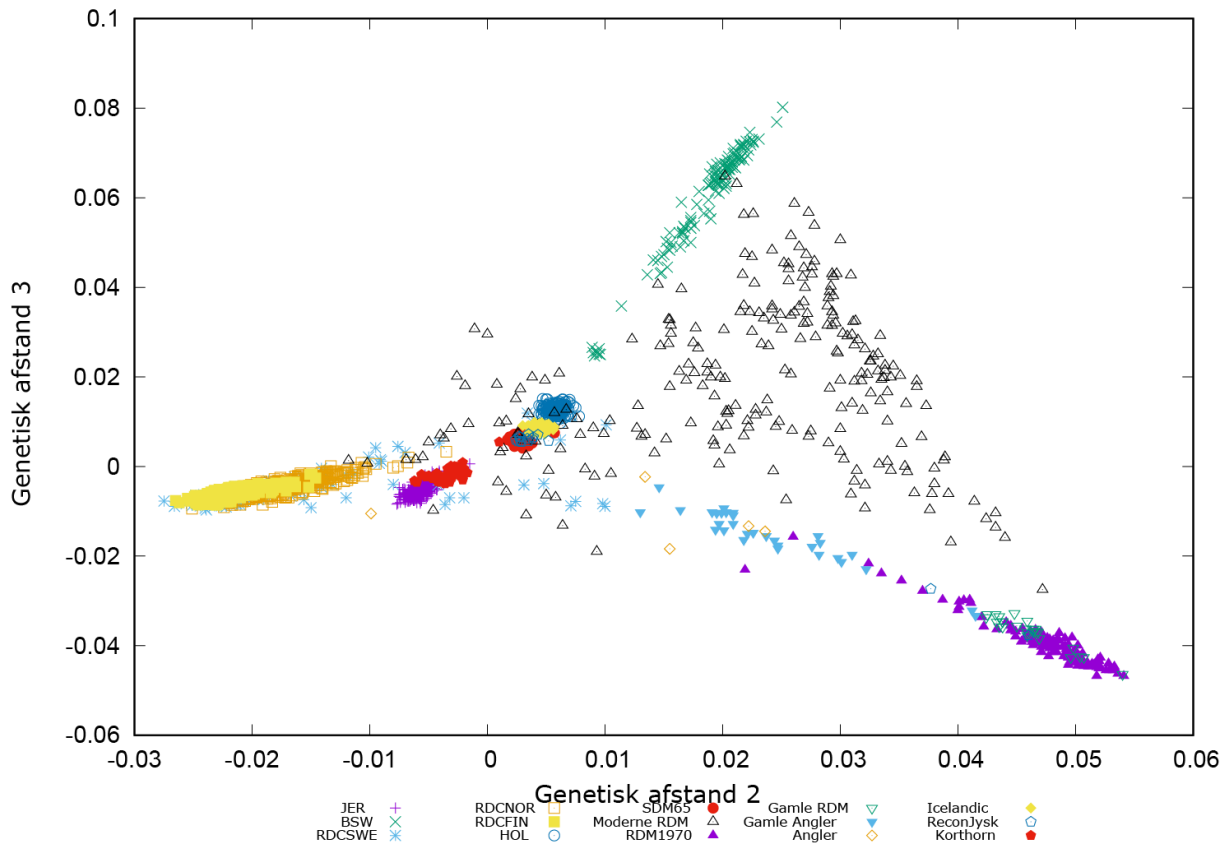


Mynd 1: Hlutfall arfhreinna svæða (runs of homozygosity) hjá gripum með lágsta (til vinstri) og hæsta (til hægri) hlutfall þeirra í erfðamenginu.

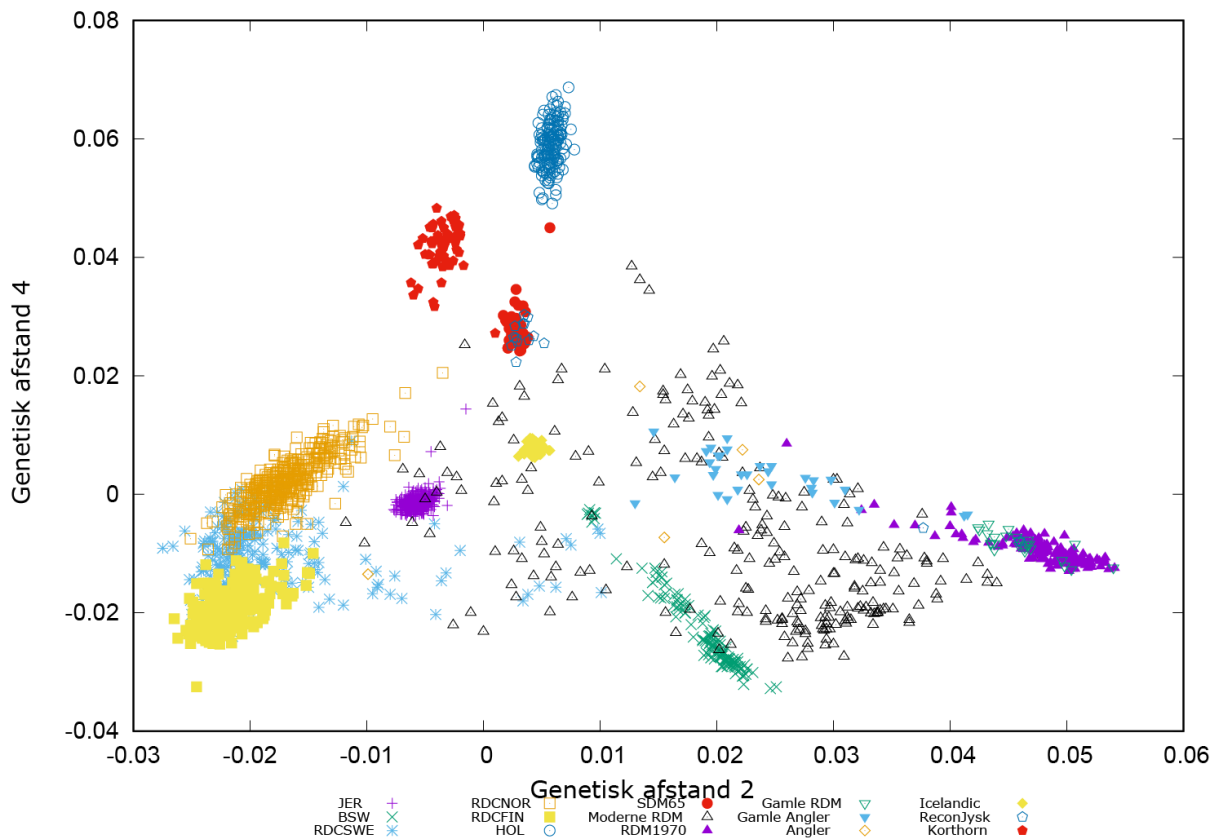
Hver lína táknar litningapar og gulu flekkirnir sýna arfhrein svæði.

Meginþáttgreiningar

Á myndum 2, 3 og 4 má sjá helstu niðurstöður meginþáttgreininga en þær sýna breytileika milli hópa í rannsókninni út frá niðurstöðum erfðagreininganna. Mynd 2 dregur fram muninn á rauðu kynjunum og Brown Swiss og mynd 3 sýnir muninn á rauðu kynjunum og svartskjöldóttu Holstein kúnum. Á báðum myndunum er íslenska kynið nálægt upprunanum, sem þýðir að þar hafa ekki orðið sambærilegar breytingar á arfgerð í gegnum ræktunaráhrif og hjá hinum kynjunum. Mynd 4 sýnir hversu frábrugðinn íslenski stofninn er öðrum norrænum kynjum. Aðeins *Black-and-White Danish Dairy Cattle anno 1965 (SDM65)*, *Jutland Cattle (Recon.Jysk)* og sumir af *Brown Swiss* gripunum gefa í skyn að framangreindir stofnar deili litlu broti af sögu sinni með íslenska kúastofninum.

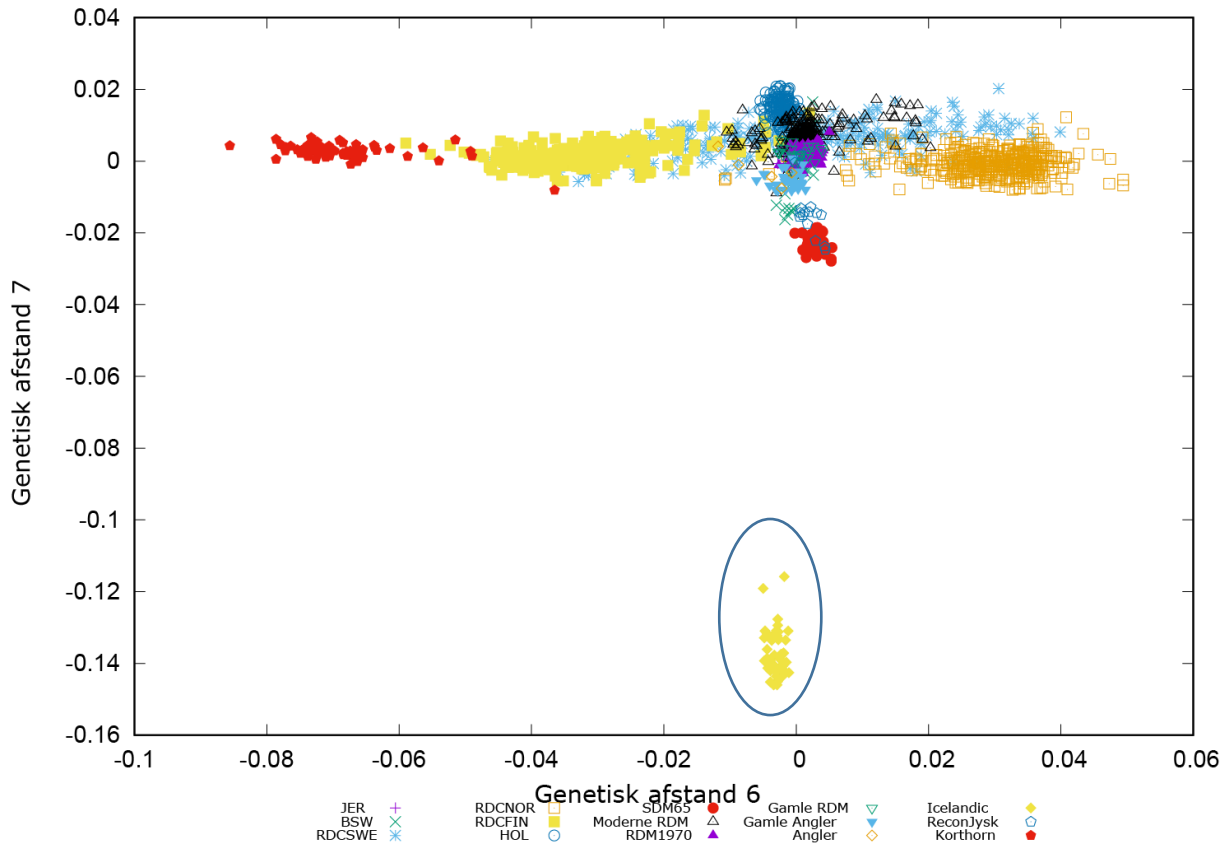


Mynd 2. Dreifing arfgerða nautgripakynja á Norðurlöndunum út frá meginþáttgreiningu. Grafið sýnir meginþætti 2 og 3. Hvert kúakyn er táknað með mismunandi merkjum, íslenska kynið er táknað með gulum tíglum.



Mynd 3. Dreifing arfgerða nautgripakynja á Norðurlöndunum út frá meginþáttgreiningu.

Grafið sýnir meginþætti 2 og 4. Hvert kúakyn er táknað með mismunandi merkjum, íslenska kynið er táknað með gulum tíglum.



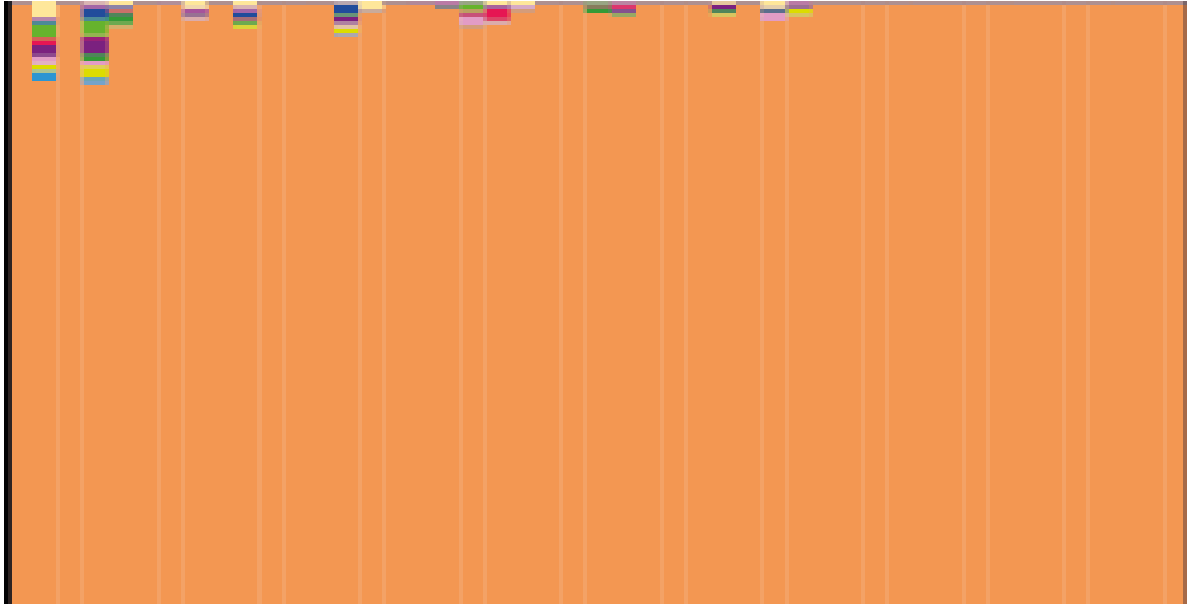
Mynd 4. Dreifing arfgerða nautgripakynja á Norðurlöndunum út frá meginþáttgreiningu.

Grafið sýnir meginþætti 6 og 7. Hringurinn á myndinni er utan um gripi af íslenska stofninum. Eins og sjá má eru þeir langt frá öðrum stofnum.

Erfðafræðileg einsleitni

Greining á erfðafræðilegri einsleitni var miðuð við 11 upprunahópa á bak við allt gagnasafnið.

Á mynd 5 eru niðurstöður fyrir íslenska stofninn teknar út úr heildarmyndinni hvað varðar erfðafræðilega einsleitni. Flestir gripanna eiga einungis einn uppruna, 29 af 47 og allir nema þrjú gripir eru af meira en 95% íslenskum uppruna.



Mynd 5: Erfðafræðileg einsleitni íslenska stofnsins.

Hver dálkur sýnir einn grip; litirnir sýna þá 11 uppruna sem teknir voru með í greiningunni. Myndin sýnir hluta af mun stærri mynd.

Í töflu 2 má sjá skörun erfðamengja erlendu kynjanna við íslensku gripina sem voru með <100% íslenskan uppruna og fjölda íslenskra gripa með sameiginlegt erfðaeftni við hvert kyn fyrir sig.

Tafla 2: Skörun erfðamengja erlendra kynja við íslenska gripina

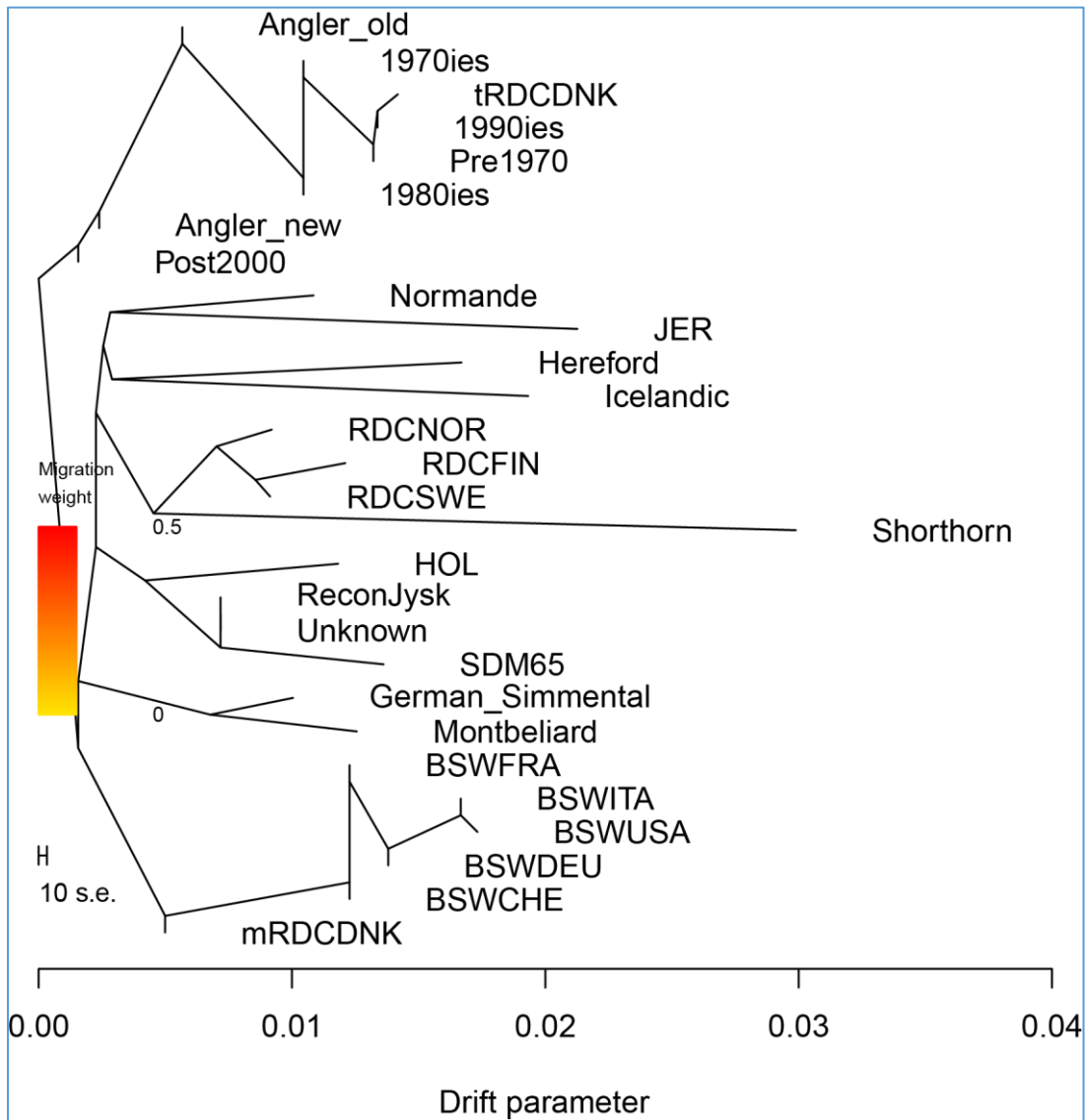
Kyn	Lágmark,%	Hámark, %	Fjöldi
Holstein	0,1	1,7	5
Old Red Danish Dairy Cattle	0,3	2,0	8
Jersey	0,2	2,9	18
SDM65	0,2	2,6	7
Shorthorn	0,2	2,0	8
Brown Swiss	0,3	2,7	7
Norwegian and Swedish Red Dairy Cattle	0,3	1,9	6
Finnish Ayrshire	0,9	1,7	11

Eins og sjá má er erfðaeftni úr Jersey kúastofninum að finna í 18 gripum, eða öllum þeim sem mældust með innblöndun af einhverju tagi. Erfðaeftni úr finnskum Ayrshire er að finna í 11 gripum.

Í viðauka 1 eru niðurstöður um hlutdeild erlendra kynja fyrir hvert og eitt þeirra íslensku nauta sem voru með í greiningunni og reyndust vera með <100% íslenskan uppruna.

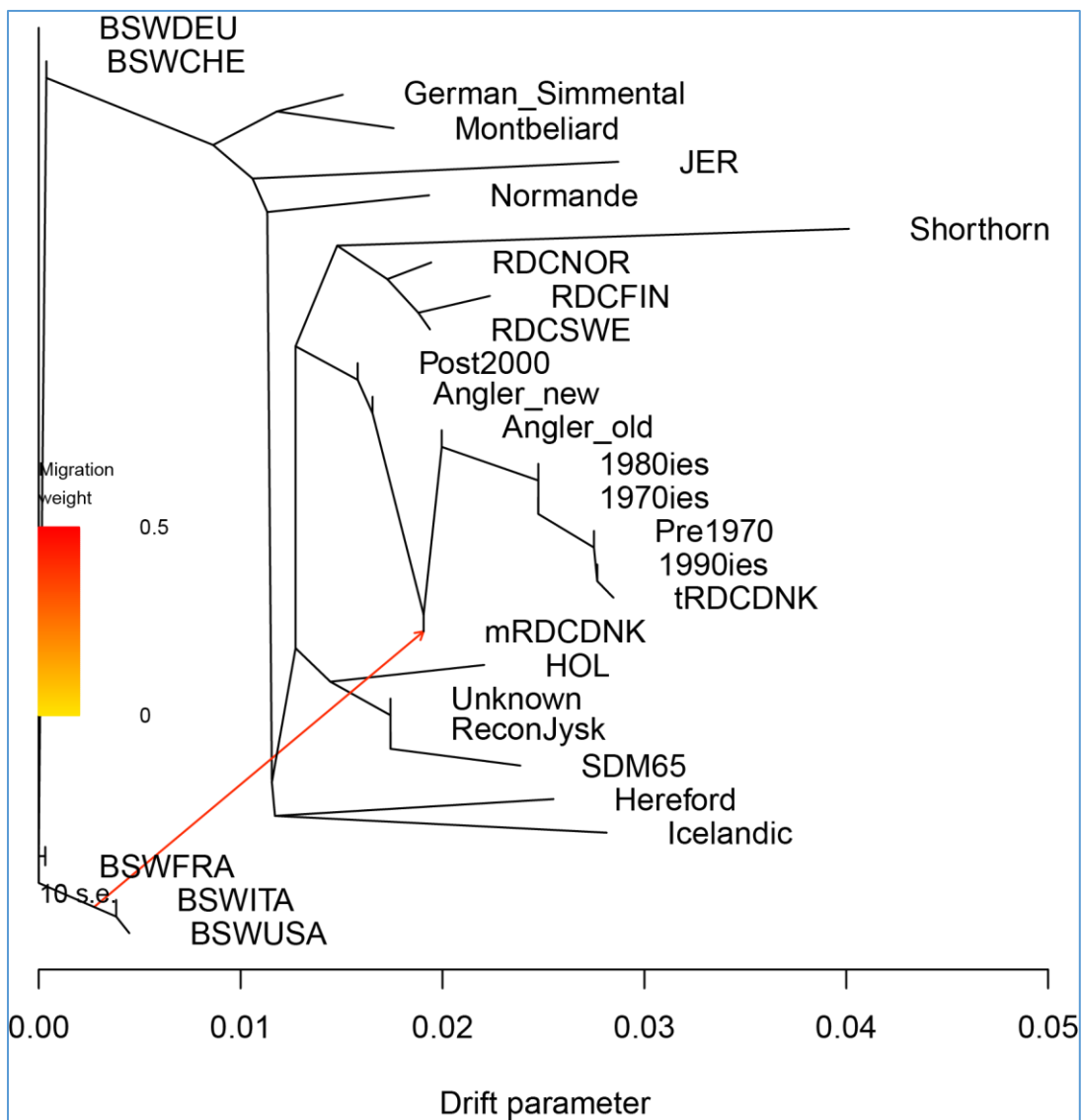
Skuldleiki við aðra stofna

Treemix hugbúnaðurinn býr til skyldleikatré fyrir stofnana. Vísbendingar um að tilflutningur erfðæfnis (e. migration) hafi gerst oftar en einu sinni til tvisvar eru litlar. Skyldleikatré sem dregin eru upp fyrir 0 eða 1 tilfelli tilflutnings má sjá á mynd 6 og 7.



Mynd 6. Skyldleikatré fyrir engan tilflutning erfðæfnis.

Þar er niðurstaðan að Hereford sé skyldastur þeim íslenska, af þeim kúastofnum sem til samanburðar eru.

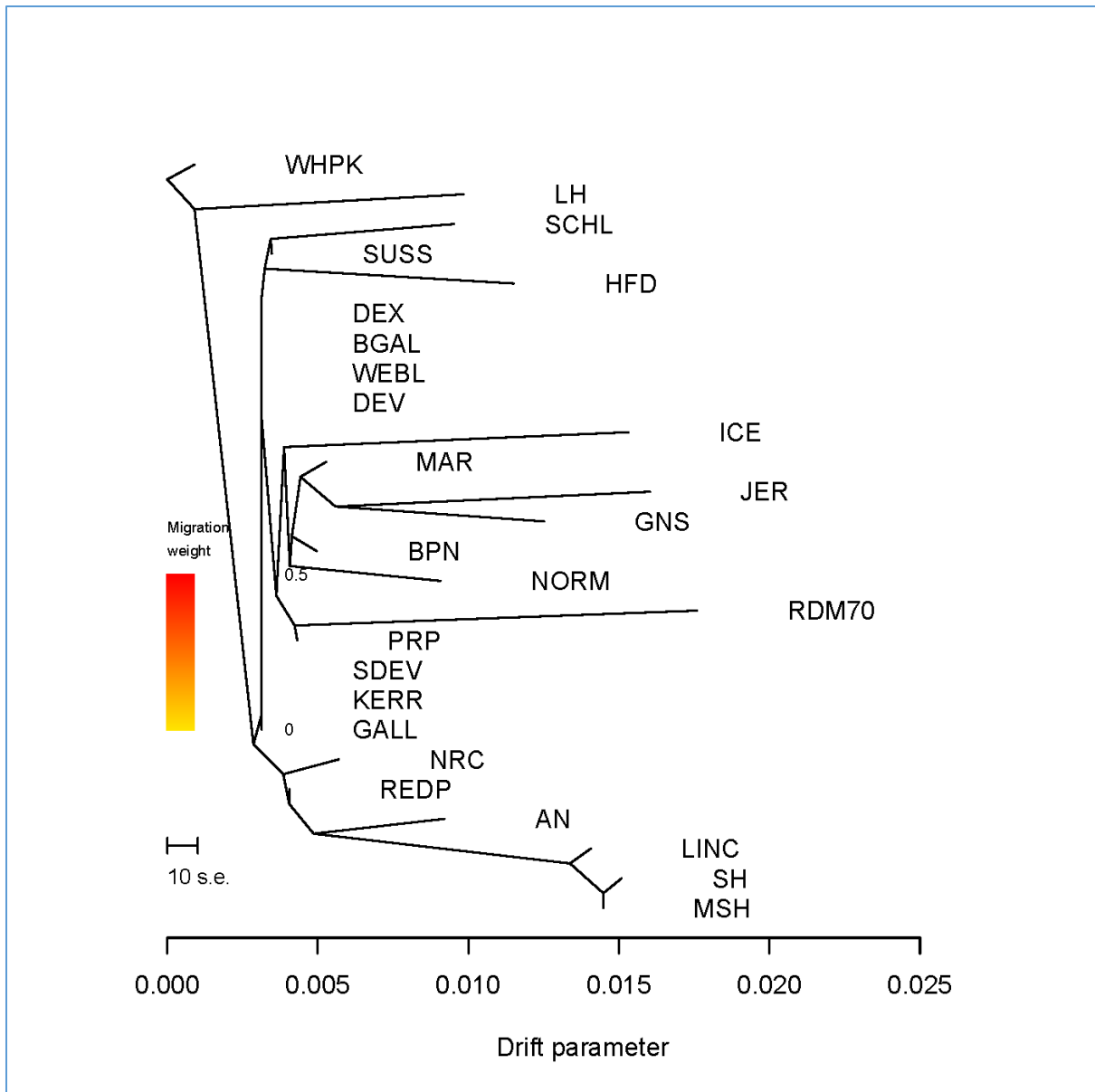


Mynd 7. Skyldleikatré fyrir einn tilflutning erfðæfnis.

Rauða örin sýnir innskot erfðæfnis úr Brown Swiss í RMD kýrnar sem átti sér stað fyrir nokkrum áratugum. Enn er nánasti skyldleikinn við Hereford.

Í tveimur framangreindum uppstillingum er staðsetning íslenska kynsins ávallt stöðug; nánasti skyldleikinn er við Hereford, af þeim kynjum sem voru með í þessum hluta rannsóknarinnar. Þess ber þó að geta að skyldleiki þessara tveggja kynja, Hereford og þess íslenska var mjög líttill.

Í ljósi þessa, var bætt við gögnum um kúastofna frá Bretlandseyjum og Norður Frakklandi. Þá varð niðurstaðan að nánasti skyldleiki íslenska stofnsins væri við stofna á borð við Normane, Bretonne Black Pied og Maraichine/Parthenaise, eins og sjá má á mynd 8.



Mynd 8. Skyldleikatré þar sem bætt hefur verið við stofnum frá Bretlandseyjum og Frakklandi.

6. Umræður og ályktanir

Niðurstaða þessarar rannsóknar er að uppruni íslenska kúakynsins virðist vera á meginlandi Evrópu, þar sem nánustu ættingja er að finna í Norður Frakklandi. Náinn skyldleiki við norsk kyn er ekki staðfestur í þeim gögnum sem hér eru lögð til grundvallar. Af norrænu rauðu kynjunum virðast rauðu dönsku kýrnar vera skyldastar þeim íslensku, en þær eiga ættir sínar einnig að rekja til frönsku kynjanna. . Hér er þó rétt að geta þess að rannsóknin náði ekki til kúakynja á öðrum Norðurlöndum sem hingað til hafa verið talin standa næst íslenska kúakyninu, t.d. Sidet Trönder og Norlandsfe frá Noregi. Sambærilegar greiningar á erfðaeefni þeirra hafa ekki verið gerðar.

Íslenska kynið er einsleitt. Hlutfall innblöndunar er mjög lágt og lang flestir gripirnir eru af einum uppruna. Tveir þeirra eru með um 14% innflutt erfðaeefni. Hinn aðflutti uppruni er að

mestu leyti Jersey og gömlu svartskjöldóttu kýrnar, SDM1965. Fyrirnefndi stofninn hefur verið fluttur hingað beint en einn Jersey uppruninn kemur frá Norður-Ameríku. Sú staðreynd að allir þrír Jersey þættirnir eru til staðar í íslenska stofninum, gefur til kynna að innflutningur Jersey sé tiltölulega nýlegur og hafi orðið eftir að innflutningur á Jersey frá Ameríku til Danmerkur átti sér stað árið 1896. Þetta byggir þó á því að erfðæfni Jersey stofnsins hér á landi hafi átt uppruna í Danmörku, en afar ólíklegt þykir að það hafi komið beint hingað frá Ameríku.

Hlutfall arfblendni í íslenska stofninum sker sig ekki úr öðrum stofnum. Arfblendni er ívið lægri en í framleiðslukynjunum á Norðurlöndum. Hlutfall arfhreinna svæða er hærra en í rauðu kynjunum og Holstein en lægra en í Brown Swiss og mun lægra en í Jersey, svo ekki sé minnst á sum af varðveislukynjunum. Tap á erfðabreytileika er mun minna en ræktunarsaga kynsins gæti gefið tilefni til að ætla.

Greining meginþátta gefur tilefni til að ætla að íslenska kynið sé lítið skylt öðrum norrænum kúakynjum. Við uppsetningu á skyldleikatré var staðsetning íslenska kynsins ávallt stöðug; nánasti skyldleikinn er við Hereford, þó lítill sé. Þegar var bætt við gögnum um kúastofna frá Bretlandseyjum og Norður Frakklandi varð niðurstaðan að nánasti skyldleiki íslenska stofnsins væri við stofna á borð við Normane, Bretonne Black Pied og Maraichine/Parthenaise Niðurstaða verkefnisins gefur til kynna að uppruna íslenska kúakynsins sé frekar að leita á Bretlandseyjum og Frakklandi en í Skandinavíu, andstætt því sem haldið hefur verið fram til þessa. Í ljósi þess er afar mikilvægt að gera frekari rannsóknir á skyldleika við gömlu norsku landkynin sem fyrri rannsóknir á borð við Kantanen o.fl. (2000) hafa leitt í ljós að eru skyldust því íslenska. Fyrir en það hefur verið gert er óvarlegt að slá neinu föstu um uppruna íslenska kúakynsins.

7. Lokaorð

Þegar umsókn vegna þessa verkefnis var send Þróunarsjóði nautgriparæktar hafði verkefnisstjóri aðeins verið við störf í nokkra daga. Áherslur innan þess tóku því nokkrum breytingum á verk tímanum. Í heild má þó segja að megin markmiðið um að undirbúa myndun á grunnerfðahópi/viðmiðunarstofni fyrir íslenska kúastofninn hafi gengið eftir. Þær greiningar á arfgerð sem stefnt var að voru framkvæmdar og línur um grunnerfðahópinn lagðar, skyldleiki við önnur kyn var rannsakaður og fengust þar óvæntar niðurstöður, sem kalla á frekari rannsóknir. Hugmyndir voru um að skoða tengslaójafnvægi en sá þáttur rúmaðist ekki innan ramma verkefnisins. Hins vegar voru aðrir þættir er lúta að erfðafræðilegri stöðu stofnsins skoðaðir mjög náið; erfðabreytileiki, skyldleikarækt og innblöndun erfðæfnis, allt lykilþættir sem snúa að framtíðarmöguleikum í ræktun íslenska kúastofnsins.

Frá 1. október 2016 hefur verið sótt um fjármuni í Þróunarsjóð nautgriparæktar, Framleiðnisjóð og samning um starfsskilyrði nautgriparæktar 2017-2026 vegna nokkurra verkefna sem leiddu af því sem hér er gerð grein fyrir. Búið er að safna DNA sýnum úr rúmlega 7.500 kúm og kvígum, sem fæddar eru á árabílinu 2004-2018 og er arfgerðargreiningum á þeim lokið. Jafnframt er búið að taka saman sæðissýni úr all flestum nautum sem farið hafa í afkvæmaprófanir á tímabilinu 1990-2018 og greina arfgerð gripanna á grundvelli þeirra, alls um 680 naut.

Þann 1. september 2018 hóf Egill Gautason doktorsnám við Árósháskóla sem áætlað er að ljúki 31. ágúst 2022. Á þeim tíma er vonast til að hægt verði að innleiða erfðamengisúrval í

Íslenska nautgriparækt. Doktorsverkefni Egils byggir að stórum hluta á þeim gögnum sem safnað hefur verið í þessu verkefni og afleiddum verkefnum.

Eyjafirði, 3. desember 2018



Verkefnisstjóri
Bændasamtök Íslands

8. Heimildir

Kantanen, J., Olsaker, I., Holm, L. E., Lien, S., Vilkki, J., Brusgaard, K., Eythorsdottir, E., Danell, B. og Adalsteinsson, S. (2000). Genetic diversity and population structure of 20 North European cattle breeds. *Journal of Heredity*, 91(6), 446-457.

Viðauki 1

Naut	Númer	Fæðingarbú	Fæðingard.	Íslenska kynið	Holstein	RDM	Jersey (US)	Danish Jersey	SDM1965	Danish Shorthorn	Brown Swiss	NRF/SRB	Dansk Jersey	FAY	Aimad
Stjóri 85045	1985_1347631_0045	1347631 Dýrastaðir	1985	86,4%	0,9%	2,0%	0,9%	1,2%	2,6%	0,4%	2,7%	1,9%	0,8%	0,3%	2,9%
Gígnur 82011	1982_1346412_0011	1346412 Gísbakkí	1982	86,6%	1,7%	1,2%	1,3%	0,0%	1,9%	1,1%	2,5%	0,5%	0,4%	2,7%	1,7%
Vopni 95004	1995_1564631_0004	1564631 Engihlíð	1995	94,4%	0,3%	1,0%	0,9%	0,0%	0,9%	0,0%	0,4%	1,9%	0,0%	0,2%	0,9%
Cassi 89018	1989_1665021_0018	1665021 Vorsaber 2	1989	95,7%	0,0%	0,6%	0,0%	0,7%	0,0%	0,4%	0,0%	0,9%	0,8%	1,0%	1,5%
Ábætur 99002	1999_1529411_0002	1529411 Svalbarð	1.6.1999	95,9%	0,1%	0,0%	1,6%	0,0%	0,2%	0,6%	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%
Prestur 85019	1985_1640381_0019	1640381 Kirkjutekur 2	1985	96,0%	0,0%	0,3%	0,0%	1,7%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,1%	0,7%	1,8%
Trandill 99042	1999_1662631_0042	1662631 Lita-Árníót	1999	96,4%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%	1,1%
Eklur 04001	2004_1537781_0136	1537781 Laugaból	11.1.2004	96,8%	0,0%	0,0%	1,3%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	1,6%
Leistur 87027	1987_1645461_0027	1645461 Seklektur	1987	97,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	1,1%	1,8%
Hlíðar 06002	2006_1465451_0366	1465451 Hraun	27.1.2006	97,7%	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	0,9%
Glópur 01011	2001_1465541_0011	1465541 Lita-Brekka	2001	97,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,7%	0,7%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,8%
Farsæl 04007	2004_1461591_0306	1461591 Dauði	30.1.2004	97,9%	0,0%	0,3%	0,0%	0,5%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,5%
Vinnur 01009	2001_1395941_0009	1395941 Hólar	1.6.2001	98,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%	0,0%	0,2%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%
Hran 96024	1996_1526521_0024	1526521 Hranastaðir	1996	98,1%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,4%
Guffi 02002	2000_1525981_0002	1525981 Garðsá	2000	98,5%	0,4%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
Þór 98010	1998_1667281_0010	1667281 Birtingaholt 4	1998	98,8%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,7%	0,0%	0,7%
Daði 87003	1987_1537241_0003	1537241 Daðastaðir	1987	99,3%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%
Gísl 98013	1998_1525981_0013	1525981 Garðsá	1998	99,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,2%