

**ÁHRIF
INNÆXLUNAR OG MENGUNAR
Á VIÐKOMU ÍSLENSKA ARNARINS**

NÁTTÚRUSTOFA VESTURLANDS



Efnisyfirlit

Samantekt.....	2
Staða þekkingar.....	3
1. Inngangur.....	3
1.1. Útbreiðsla hafarnarins.....	3
1.2. Íslenski arnarstofninn.....	3
1.3. Varpárangur íslenskra arna.....	3
1.4. Fæðuval.....	4
1.5. Vöktun.....	5
1.6. Verndun.....	6
2. Stofnerfðafræði.....	6
2.1. Erfðabreytileiki og áhrif hans.....	6
2.2. Innæxlun - Hversu marga einstaklinga þarf til að viðhalda lífvænlegum erfðabreytileika?.....	7
2.3. Áhrif innæxlunar á frjósemi og lífslíkur afkvæma.....	8
2.4. Notkun stofnerfðafræði til verndunar lífvera í útrýmingarhættu.....	8
3. Mengunarefni.....	9
Hvað verður gert í þessari rannsókn?.....	11
Verkátun.....	12
1. Sýnaöflun.....	12
2. Meðhöndlun sýna og úrvinnsla.....	12
2.1. Erfðabreytileiki og aðrar erfðaathuganir.....	12
2.2. Eiturefnaþælingar.....	12
3. Frágangur og skrif.....	13
4. Aðstandendur verkefnisins.....	13
Væntanlegur ávinningur verkefnisins.....	14
1. Þekkingarlegur ávinningur.....	14
2. Umhverfislegur ávinningur.....	14
3. Hagrænn ávinningur.....	14
4. Félagslegur ávinningur.....	14
Kostnaðaráætlun og fjármögnun.....	15
1. Kostnaður.....	15
2. Fjármögnun.....	15
Heimildir.....	16

Samantekt

Íslenski arnarstofninn er smár og er enn í útrýmingarhættu þrátt fyrir alfriðun og aukna verndun í nær 90 ár. Á seinni hluta 19. aldar var stofninn mun stærri, sennilega 150-200 pör, og verpti víða um land en vegna skotveiða og eitrunar fyrir refi varð gífurleg fækkun. Um 1920 voru pörin einungis 20-25 og breyttist sá fjöldi lítið næstu áratugi. Eftir 1970 tók stofninn loks að rétta úr kútnum og hefur örnun fjölgað mjög hægt síðan. Hins vegar vaxa arnarstofnar í Svíþjóð, Noregi, Finnlandi, Eystrasaltslöndunum, Póllandi og Þýskalandi nú hratt og hafa 3-5 faldast á síðustu 20 árum. Einnig eru ernir nú farnir að verpa að nýju í Danmörku og inn til landsins í Suður-Svíþjóð. Í dag er talið að íslenski stofninn sé um 45 fullorðin pör.

Meginmarkmið tveggja ára rannsóknar, sem hér er lýst, er að varpa ljósi á þætti sem skýrt gætu ástæðu hægs vaxtar íslenska arnarstofnsins. Rannsóknin er tvíþætt og hefur því tvö aðskilin markmið. Þau tengjast hins vegar að því leyti að þættirnir sem til rannsóknar eru geta báðir haft áhrif á vöxt og viðgang íslenska arnarstofnsins:

Fyrri markmið rannsóknarinnar er að kanna erfðabreytileika, innæxlun og innbyrðis skyldleika íslenska arnarstofnsins. Mikilvægt er að fá svör við þessu í ljósi sögunnar en fáir einstaklingar stóðu undir nýliðun þegar hann var minnstur. Afleiðing þessa gæti hugsanlega verið lítill erfðabreytileiki, sem valdið gæti því að stofninn ætti erfðara með að aðlagast umhverfisbreytingum. Að auki eru líkur á að innæxlun sé fyrir hendi í stofninum sökum þess hvað stofninn er lítill en sýnt hefur verið fram á að hún hefur neikvæð áhrif á frjósemi og lífslíkur unga. Ásamt því að kanna erfðabreytileika stofnsins og reikna hlutfall innæxlunar fást einnig upplýsingar um hversu margir einstaklingar standa í raun undir nýliðun stofnsins (virk stofnstærð) og hvort innbyrðis skyldleiki hjóna hafi áhrif á frjósemi parsins.

Síðara markmið rannsóknarinnar er að kanna styrk eitrefna, s.s. PCB og DDT, í arnarfúleggjum. Mörg mengunarefni hafa alþjóðlega útbreiðslu og fyrri mælingar hafa sýnt að þau finnast í lífríki Íslands. Þá er þekkt víða erlendis að mengunarefni hafa m.a. dregið verulega úr frjósemi dýra og hafa áhrifin gjarnan verið mest hjá dýrum efst í fæðukeðjunni, t.d. ránfuglum, og sérstaklega hjá dýrum sem lifa á sjávarfangi. Áhrifin geta verið veruleg fjarri iðnaðarsvæðum, sérstaklega á háum breiddargráðum. Í ljósi sögu íslenska arnarstofnsins og breytinga á stærð hans ásamt því að talið er að ákveðin arnarpör séu ófrjó, er ákaflega mikilvægt að fá upplýsingar um styrk mengunarefna í arnareggjum, svo bera megi hann saman við erlendar athuganir þar sem neikvæð áhrif á frjósemi hafa komið fram.

Safnað verður fúleggjum úr arnarhreidrum til mælinga á styrk mengunarefna en blóð verður tekið úr stálpuðum ungum á hreiðrum og fjaðrir úr fullorðnum fuglum til erfðaathugunar. Þekking á mengunarálagi og erfðasamsetningu arnarstofnsins eru grundvallaratriði sem auka skilning okkar á afkomu arnarins. Niðurstöður verkefnisins munu nýtast í ákvarðanatökum sem varða framtíð arnarstofnsins og munu koma að góðum notum ef gripið verður til aðgerða til hjálpar erninum.

Verkefnið mun standa í rúmlega tvö ár. Heildarkostnaður vegna þess er áætlaður um 17 milljónir króna. Þar af greiðir Náttúrustofa Vesturlands 2 milljónir króna fyrra árið fyrir utan að leggja til einhverja vinnu, búnað og aðstöðu. **Sótt er um 8,5 milljónir króna úr ríkissjóði fyrir árið 2003 og 6,5 milljónir fyrir árið 2004.**

Staða þekkingar

1. Inngangur

1.1. Útbreiðsla hafarnarins

Haförninn (*Halieaetus albicilla*) verpur á Íslandi, Grænlandi og strjált í Evrópu og Asíu. Örnnum var útrýmt víða í Evrópu, fyrst með beinum ofsóknum en síðustu áratugi hefur efnamengun og eyðilegging búsvæða reynst örnnum skeinuhætt (Love 1983, Hellander 1983). Örninn er víðast hvar á válistum einstakra landa, þar á meðal á Íslandi (Náttúrufræðistofnun Íslands 2000).

Arnarstofnar í Svíþjóð, Noregi, Finnlandi, Eystrasaltslöndunum, Póllandi og Þýskalandi vaxa nú hratt og hafa 3-5 faldast á síðustu 20 árum. Ernir eru nú farnir að verpa að nýju í Danmörku og inn til landsins í Suður-Svíþjóð. Alls er talið að í Evrópu verpi nú um 4400 pör, þar af yfir 2000 pör í Noregi. Í Suður-Evrópu er hins vegar afar fátt um erni og stofnar þar í mikilli hættu (Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2000a).

1.2. Íslenski arnarstofninn

Saga arnarins hér er áþekkt og í öðrum löndum en því miður hefur íslenski stofninn ekki enn náð sér eftir ofsóknir á 19. og 20. öld. Vöxtur og viðkoma stofnsins er lítil, þrátt fyrir alfriðun í nær 90 ár.

Haförninn er afar fágætur varpfugl á Íslandi en talið er að hér séu um 45 fullorðin pör, auk ungfugla. Heildarstofninn er sennilega um eða innan við 150 fuglar með ungum og geldfuglum (Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2001). Fram á seinni hluta 19. aldar var örninn miklu algengari og varp þá í öllum landshlutum og kann stofninn þá að hafa verið 150-200 pör (Kristinn Haukur Skarphéðinsson 1994). Nú er útbreiðslan bundin við Vesturland. Örnnum fækkaði ört ár árunum 1880-1910 enda var þá gengið skipulega fram í að útrýma honum úr íslenskri náttúru. Einnig féllu margir ernir í valinn er þeir átu eitruð hræ sem ætluð voru refum. Um margra áratuga skeið (1920-1970) var arnarstofninn afar faliðaður eða 20-25 pör en hluta þess tímabils komu aðeins 7-8 pör upp ungum. Örnnum fór að fjölga aftur í kjölfar þess að eitrun fyrir refi var bönnuð árið 1964. Stofninn vex afar hægt eða 1-2% á ári og á langt í land að ná fyrri styrk og útbreiðslu.

1.3. Varpárangur íslenskra arna

Ernir verða ekki kynþroska fyrr en 5-7 ára gamlir og geta orðið 30-40 ára; þeir parast fyrir lífstíð og verpa á sömu stöðum ár eftir ár og kynslóð fram af kynslóð. Ernir verpa fáum eggjum (yfirleitt 2-3), ungarnir eru afar seinþroska og fáir þeirra komast á legg, því afföll eru mikil á eggjum og ungum. Að jafnaði hefur hvert par hér á landi komið upp einum unga annað hvert ár og er það allt að helmingi minni viðkoma (varpárangur) en í öðrum arnarstofnum í Evrópu (Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2000b, 2001).

Ekki er ljóst hvers vegna örnnum gengur svo illa að koma upp ungum hér á landi en truflun af manna völdum á þar væntanlega einhvern þátt. Hugsanlegt er að íslenskir ernir séu stýggari en ernir víða annars staðar vegna þess að þeir hafa verið ofsóttir leynt og ljóst fram á síðustu ár og eru sums staðar enn. Þar rekast meðal annars á

hagsmunir bænda, einkum æðarbænda sem átt hafa í stormasamri sambúð við örninn um aldri en ernir lifa mikið á æðarfugli og geta valdið tjóni í æðarvörpum. Einnig tóku ernir stundum lömb áður fyrr en það telst nú til undantekninga (Kristinn Haukur Skarphéðinsson 1994).

Aðrir þættir sem hugsanlega geta haft áhrif á varpárangur arnar eru meðal annars skyldleikaræktun þessa litla stofns og efnamengun. Síðarnefndi þátturinn hefur verið rannsakaður hjá mörgum arnarstofnum erlendis og hefur verið sýnt fram á að kvikasilfur og þrávirk klórefni geta dregið verulega úr varpárangri (Hellander 1983). Hér á landi eru nokkur pör sem hafa ekki komið upp ungum árum saman og virðast sum þeirra vera ófrjó.



1. mynd. *Ernir verpa oftast 2-3 eggjum en fremur sjaldgæft er að fleiri en einn ungi komist á legg (ljósm. Róbert A. Stefánsson).*

Undanfarin fimm ár (1998-2002) hafa óvenju margir arnarungar komist á legg í samanburði við mörg fyrri ár eða 22-28 ungar árlega. Vitað er um 36-37 pör sem urpu og komu 18-21 þeirra upp ungum eða ríflega helmingur þeirra para sem urpu. Þrátt fyrir þessa aukningu í ungaframleiðslu er framleiðslan engu að síður mun minni en í flestum erlendum stofnum (Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2001). Ástæðan fyrir góðum varpárangri undanfarin ár stafar að öllum líkindum af hagstæðu tíðarfari á varptíma arna og því að norðanáhlaup komu ekki á viðkvæmasta tíma, í maí og júní. Einnig hafa margir landeigendur sýnt erninum sérstaka nærgætni á undanförunum árum og forðast truflun við hreiður.

1.4. Fæðuval

Örninn tekur oftast þá bráð sem hann á auðveldast með að glíma við á hverjum stað og tíma en virðist ekki sérhæfa sig í að veiða einstakar tegundir, líkt og sumir aðrir ránfuglar (sbr. Love 1983). Ernir veiða sér til matar, stela bráð frá öðrum örnnum og fuglum og leggjast á hræ.

Fæðuval arna hefur verið rannsakað nokkuð hér á landi. Agnar Ingólfsson (1961) komst að raun um að ernir að sumarlagi ætu einkum æður, hrognkelsi, fýl og lunda. Rannsóknir á fæðuleifum við arnarhreiður á árunum 1985-1993 leiddu í ljós að ernir tóku alls 35 tegundir fugla, spendýra og fiska (Kristinn Haukur Skarphéðinsson

1994). Fæðuval arna hér er því fjölbreytt en nokkrar tegundir eru þó ríkjandi. Þær mikilvægustu skv. áætlaðri lífþyngd fæðu voru æður og fýll, 30% hvor tegund. Fuglar voru um 85% af áætlaðri lífþyngd og fiskar um 10%.

Hlutur fiska í fæðu arna hér á landi virðist vera mun minni en erlendis, þar sem fiskar eru oft meira en helmingur af þeirri bráð sem örninn tekur (sbr. Love 1983, Hellander 1983). Ekki er ljóst hvort íslenskir ernir éti minni fisk en ernir annars staðar, eða hvort mismunurinn liggi í aðferðum við ákvörðun á fæðuvali. Beinir athuganir á Grænlandi sýndu að hlutur fiska var mun hærri (90%) en fæðuleifar við hreiður gáfu til kynna (um 60%; Kampp & Willie 1979, Willie & Kampp 1983).

1.5. Vöktun

Náttúrufræðistofnun Íslands hefur í samvinnu við Fuglaverndarfélagið fylgst með arnarstofninum í hartnær 40 ár. Þekkt óðul (hefðbundnir varpstaðir) eru heimsóttir á hverju ári og hugað að varpfuglum. Flogið er yfir óðulin snemma vors og gengið úr skugga um hvort fuglar halda sig á óðalinu og hvort þeir hafi orpið eða gert tilraun til varps. Í júlí er viðkoman (þ.e. fjöldi unga sem kemst á legg) metin á sama hátt og jafnframt eru hreiður heimsótt, ungar merktir og fæðuleifum safnað til að greina fæðuval arna eftir því sem tók eru á. Einnig er haft samband við heimamenn og aðra staðkunnuga sem veitt geta upplýsingar um erni.

Fúleggjum hefur verið safnað samhliða heimsóknum í júlí en oftast nær hafa eingöngu þau hreiður verið heimsótt þar sem vitað er að varp hafi heppnast. Því hefur ekki áður verið gert sérstakt átak að safna slíkum eggjum hjá pörum sem varp misferst hjá. Ætlunin er að gera sérstakt átak í að heimsækja þessi pör og safna á næstu árum sem flestum fúleggjum til efnagreininga.



2. mynd. Hluti af vöktun arnarstofnsins felst í að heimsækja arnahreiður til að hringmerkja unga (ljósm. Sigrún Bjarnadóttir).

1.6. Verndun

Enn er langt í land að arnarstofninn hafi náð að rétta úr kútnum í kjölfar ofsókna og eitrunar um aldamótin 1900. Markmið með verndun arnarins er að honum fjölgi verulega og nái fyrri útbreiðslu um landið. Mikilvægt er að þekkja vel stöðu stofnsins á hverjum tíma og auka eftirlit með honum. Einnig þarf að kanna til hlítar ástæður þess að arnarvarp misferst jafnt oft og raun ber vitni. Íslenski örninn er enn í kreppu þrátt fyrir að varp hafi heppnast óvenju vel undanfarin fimm ár. Stofninn stækkar lítið sem ekkert, menn komast upp með að spilla varpi þessa fáliðaða fugls og enn eru 70-80% þekktara arnarsetra hér á landi í eyði.



3. mynd. Íslenski arnarstofninn á enn langt í land með að ná fyrri stærð og útbreiðslu þrátt fyrir áratuga langa friðun (ljósm. Róbert A. Stefánsson).

2. Stofnerfðafræði

Tveir þættir í erfðasamsetningu íslenska hafarnarstofnsins gætu skýrt hvers vegna stofninn vex jafn hægt og raun ber vitni. Annars vegar lítill erfðabreytileiki stofnsins í heild og hins vegar innæxlun.

2.1. Erfðabreytileiki og áhrif hans

Hafarnir eru ýmist stað- eða farfuglar og virðist það breytilegt eftir svæðum. Talið er að íslensku og grænlenku fuglarnir séu staðfuglar (Kristinn H. Skarphéðinsson 1994). Því er ekki búist við að blöndun við aðra stofna sé mikil en það er óþekkt. Nýleg athugun (Cederberg o.fl. 2000) leiddi í ljós að í Svíþjóð eru tveir aðskildir arnarstofnar, annar í suðurhluta landsins en hinn í Lapplandi.

Ef gengið er út frá því að íslenski örninn hafi að mestu leyti verið staðfugl síðan hann nam landið, má gera ráð fyrir að a.m.k. tvennt í sögu hans hafi stuðlað að því að erfðabreytileiki stofnsins í dag gæti verið lítill: Landnemaáhrif og mikil fækkun á síðustu öld (flöskuháls).

Landnemaáhrif (*founder effect*) voru fyrst skilgreind af Mayr (1963) sem myndun nýs stofns með fáum landnemunum sem bera í sér aðeins lítinn hluta af erfðabreytileika móðurstofnsins og hafa samsætur¹ oftast í öðrum hlutföllum en móðurstofninn. Þetta er aðalástæða þess að erfðafræðileg samsetning stofna á eyjum er oft mjög frábrugðin samsetningu móðurstofns á meginlandi (MacArthur & Wilson 1967). Þetta er væntanlega það sem gerðist við landnám arnarins á Íslandi. Þegar stofninn minnkaði aftur á 20. öld og aðeins örfá pör voru verpandi um tíma, má segja að landnemaáhrifin hafi aftur komið fram og erfðabreytileikinn væntanlega minnkað á ný.

¹ Samsæta (allel) er eitt af tveimur eða fleiri genum sem sæti eiga á samsvarandi stað í samstæðum litningum og hafa áhrif á sama eða sömu einkenni. Þannig má segja að samsætur séu mismunandi útgáfur af sama geninu.

Talað er um að stofn gangi í gegnum flöskuháls ef hann gengur í gegnum verulega fækkun. Hversu langur flöskuháls er, þ.e. hversu lengi stofn er lítill, skiptir miklu máli því stofnar virðast geta jafnað sig eftir að hafa verið mjög litlir í stuttan tíma en síður ef virk stofnstærð helst lág yfir margar kynslóðir því þá aukast líkurnar á að gen festist (fixerist) í stofninum (Whittaker 1998).

Vitað er að mikill erfðabreytileiki í genum sem haft geta áhrif á hæfni, gerir stofna hæfari til að bregðast við breytingum sem gætu orðið á umhverfi þeirra (Whittaker 1998, Mousseau o.fl. 2000). Sumar samsætur geta hentað vel við ákveðnar umhverfisaðstæður en aðrar ekki. Verði breyting á umhverfinu, t.d. loftslagsbreyting eða breyting á fæðuframboði, er ekki víst að ríkjandi samsætur í stofninum séu þær bestu og því verða hlutfallslegar breytingar á tíðni samsæta í stofninum vegna náttúrulegs vals. Hafi erfðabreytileiki af einhverjum ástæðum minnkað í stofni og breytingar verða á umhverfinu, er stofninn að öðru jöfnu ekki eins vel í stakk búinn til að bregðast við þeim breytingum og hann var áður en erfðabreytileiki minnkaði. Litill erfðabreytileiki getur því í versta falli leitt til útdauða tegundar í kjölfar umhverfisbreytinga, t.d. breytts loftslags eða nýs samkeppnisaðila (Whittaker 1998, Mousseau o.fl. 2000).



4. mynd. Talið er að minnkandi erfðabreytileiki í stofni geri það að verkum að hann eigi erfðara með að aðlagast breytingum á umhverfi og eigi þess vegna meiri hættu á að deyja út (ljósm. Róbert A. Stefánsson).

2.2. Innæxlun - Hversu marga einstaklinga þarf til að viðhalda lífvænlegum erfðabreytileika?

Lámarksstærð stofns til að hann sé lífvænlegur er sú stærð sem tryggir viðhald hans til lengri tíma, þ.e. um aldir og jafnvel árbúsund (Whittaker 1998).

Stofnar sveiflast á náttúrulegan og stundum tilviljanakenndan hátt. Sé stofn mjög lítill er því hættu á að erfðabreytileiki tapist eða hann deyi út vegna tilviljunar. Stofn með lítinn erfðabreytileika á ekki eins auðvelt með að bregðast við breytingum í umhverfi sínu eins og fram kom hér að framan, þ.e. hæfni hans hefur minnkað. Almenn er viðurkennt að aukin innæxlun í smáum stofnum minnki hæfni einstaklinga (Madsen o.fl. 1996). Miðað er við að stofn þoli 1% innæxlun í hverri kynslóð (Whittaker 1998). Það þýðir að virk stofnstærð, þ.e. fjöldi einstaklinga sem taka þátt í æxlun, má ekki vera minni en 50 til að tryggja hæfni til skamms tíma eins og I.A. Franklin reiknaði út og skýrt er frá í Shafer (1990). Miðað við þessa stofnstærð verður þó eitthvað tap á erfðabreytileika og taldi Franklin að 500

einstaklinga þyrfti til að jafnvægi væri milli þess breytileika sem tapast og þess sem bætist við vegna stökkbreytinga. Talan 50 kom frá dýraræktunarfólki en 500 úr rannsókn á burstafjölda í ávaxtaflugum (*Drosophila*) en þrátt fyrir að mjög oft sé vitnað í þessar tölur, eru þær grófar og aðeins til viðmiðunar (Fiedler & Jain 1992). Rannsókn á grábjörnum í Yellowstone þjóðgarðinum leiddi í ljós að þegar virk stofnstærð fór niður fyrir 220, varð innræktun meiri en 1% (Shafer 1990). Annars staðar sjást enn hærri tölur, t.d. að lágmarks stofnstærð til að vernda gegn hættulegum stökkbreytingum til langs tíma sé 5000, sem er mun meiri fjöldi en þarf til að koma í veg fyrir innæxlun (Landweber & Dobson 1999). Virk stofnstærð íslenska arnarins gæti verið í kringum 40 einstaklinga, þar sem u.þ.b. 20 pör á ári koma upp unga, sem er vel undir þeim lágmarksfjölda sem talinn er nauðsynlegur til að viðhalda erfðabreytileika. Því er ljóst að ástæða er til að hafa áhyggjur.

Önnur afleiðing lítillar stofnstærðar getur verið aukin erfðabyrði (*genetic load*) (Hedrick 2001). Erfðabyrði er það kallað þegar skaðleg gen eða genasamsetningar í stofni valda minnkun í meðalhæfni einstaklinga hans. Aukin erfðabyrði getur haft hamlandi áhrif á stofnvöxt og eykur því hættu á útdauða (Ridley 1993).

2.3. Áhrif innæxlunar á frjósemi og lífslíkur afkvæma

Eftir því sem erfðabreytileiki stofns minnkar og innæxlun eykst, minnkar einnig meðal arfblendni² (*heterozygosity*) einstaklinga. Bein tengsl virðast vera á milli þátta sem tengjast meðalarfblendni annars vegar og fæðingarþyngd og lífslíkum unga hins vegar (Pemberton 1999). Innæxlunartilraunir með mismunandi afbrigði sauðkinda hafa einnig sýnt fram á bæði lækkaða fæðingarþyngd og áframhaldandi minni þyngd afkvæma eftir því sem þau eldast (Boujenane & Chami 1997, Ercanbrack 1991). Í náttúrunni getur fæðingarþyngd (eða klakþyngd) skipt sköpum fyrir lífslíkum unga þar sem þyngri afkvæmi eiga að jafnaði meiri lífsvon.



Rannsókn á innæxlun hjá hænum, þar sem athuguð voru áhrif á eggjaframleiðslu, fjölda ófrjóvgaðra eggja, klaklíkur frjóvgaðra eggja, þyngd eggja og kynþroska fuglanna, leiddi í ljós að ólík afbrigði brugðust mismunandi við jafnmikilli innæxlun. Neikvæð áhrif komu fram á alla ofangreinda þætti hjá sumum afbrigðum. Hjá öllum afbrigðum fækkaði verptum eggjum og kynþroska seinkaði með aukinni innæxlun (Sewalem o.fl 1999).

5. mynd. Sökum þess hve íslenski arnarstofninn er lítill, er líklegt að einhver innæxlun sé fyrir hendi í honum en innæxlun getur m.a. dregið úr frjósemi og lífslíkum unga (ljósm. Róbert A. Stefánsson).

² Einstaklingur er arfblendinn ef samsæt gen í tilteknu gensæti á samstæðum litningum eru mismunandi. Séu genin eins er einstaklingurinn arfhreinn.

2.4. Notkun stofnerfðafræði til verndunar lífvera í útrýmingarhættu

Þar sem ljóst er að erfðabreytileiki getur skipt miklu máli um örlög stofna hefur aukist mjög notkun erfðafræðilegra nálgana, sem hjálpartækja til verndunar lífvera í útrýmingarhættu (*conservation genetics*) (Hedrick 2001, Landweber & Dobson 1999). Með tilkomu PCR (*polymerase chain reaction*) og uppgötvunar mjög breytilegra örtunglasvæða (*microsatellites*) í erfðamengi lífvera hafa möguleikar á rannsóknum aukist til muna frá því sem áður var (Sunnucks 2000). Skoðun örtunglasvæða hefur þannig gagnast mikið í athugunum á skyldleika og innri erfðabreytileika stofna en einnig þegar þekking þarf einstaklinga, sem mikið er notað í sakamálum, eða rekja fjölskyldubönd, svo sem að sannreyna faðerni. Þegar bera á saman fjarskylda stofna eða kanna þróun tegunda eru yfirleitt farnar aðrar leiðir, t.d. athugun á hvatbera-DNA (Sunnucks 2000).

Þróaðar hafa verið margar tölfræðigreiningar til að nota á erfðafræðileg gögn af örtunglasvæðum. Með þeim má fá upplýsingar um mismunandi þætti stofnsins sem verið er að athuga, t.d. erfðabreytileika, skyldleika, innræktun og virka stofnstærð (Luikart & England 1999). Einnig munu hratt vaxandi gagnabankar um erfðabreytileika tiltekinn stofna og örlög þeirra auka innsæi og skilning á gildi breytileikans ásamt því að auðvelda túlkun á því hvenær erfðabreytileiki er orðinn hættulega lítill. Margir sérfræðingar vilja nú meina að vöktun erfðabreytileika hjá litlum stofnum sé nauðsynlegur (Landweber & Dobson 1999). Einn kostur við slíka vöktun er að hægt er að grípa til viðeigandi ráðstafana ef erfðabreytileiki stofns reynist hættulega lítill, t.d. með því að flytja inn nýja einstaklinga (ný gen) í stofninn og þannig auka breytileikann (Hedrick 2001).



6. mynd. Erfðabreytileiki og innæxlun geta skipt miklu máli um örlög stofna og hefur notkun erfðafræðilegra nálgana aukist mjög sem hjálpartækja til verndunar lífvera í útrýmingarhættu (ljósm. Róbert A. Stefánsson).

3. Mengunarefni

Mönnum hefur lengi verið ljóst að mengun af völdum ýmissa þrávirkra klórlífrænna efna er meðal alvarlegustu umhverfisvandamála jarðarbúa (Ballschmitter og Zell, 1980; Borgá o.fl. 2001; Hargrave o.fl. 1992). Efni þessi skipta hundruðum en eru flest skyld að gerð. Best þekktu mengunarefnin eru ýmis varnarefni s.s. díklórdífenyl-tríklóretan (DDT), hexaklórsyklóhexan (HCH), hexaklórbensen (HCB), klórdan-efni, toxafen og umbrotsefni þeirra. DDT er þekktast þessara efna, en áhrif þess á frjósemi fugla urðu til þess að athygli manna beindist fyrst að skaðsemi þrávirkra efna í náttúrunni (Ratcliffe, 1967). Efni af skyldum uppruna eru póliklórbífenyl-sambönd (PCB). Þetta eru stöðug, hitabolin og óhvarfgjörn efni sem aðallega voru notuð í einangrunar- og kælivökva í þetta og spennubreyta, en framleiðslu þeirra er nú hætt. HCB myndast einnig við bruna í ýmsum iðnaðarferlum og við sorpbrennslu. Eitruðustu efnin í flokki þrávirkra lífrænna efna eru svo díoxínar, sem mikið hafa verið til umræðu varðandi fiskimjöl, en þeir hafa aldrei verið framleiddir sérstaklega, heldur hafa þeir myndast sem hliðarframleiðsla í ýmsum efnaferlum og við bruna eins og HCB. Magn þeirra í náttúrunni er því yfirleitt minna en hinna efnanna en eitrunarmáttur svipaður eða jafnvel meiri.

Flest efnanna hafa lítil bráð eituráhrif, enda hefur það stuðlað að gífurlegri notkun þeirra um allan heim og óvarkárrí förgun. Skaðsemi efnanna byggist aðallega á stöðugleika þeirra í lífverum og í náttúrunni. Efnin eru mjög fituleysanleg og eiga því greiðan aðgang inn í lífverurnar, sem geta yfirleitt ekki losnað við þau nema afar hægt, og því safnast þau fyrir og geta náð háum styrk efst í fæðukeðjunni.

Mörg efnanna hafa hormónlíka virkni og er þá aðallega um estrógen eða and-estrógen áhrif að ræða (Soto o.fl. 1995). Þannig geta efnin haft margvísleg áhrif á frjósemi og þroska. Oft eru þau til staðar í líkamanum í svipuðum styrk og hormónarnir og geta auðveldlega keppt við þá um áhrif. Sum efnanna hafa hamlandi áhrif á ónæmiskerfið og geta þannig gert dýr viðkvæmari gagnvart sýkingum (Kimbrough, 1985).

Nokkrar rannsóknir hafa farið fram á útbreiðslu þrávirkra lífrænna efna í náttúru Íslands. Fálkar, sem eru efst í fæðukeðjunni og staðbundnir á Íslandi eins og haförninn, safna í sig mjög miklu magni þrávirkra efna á fyrstu mánuðum lífsins (Kristín Ólafsdóttir o.fl. 1995). Magn PCB efna jókst 100 falt frá hreiðurunga í 10 mánaða fugl og 1000 falt hærra var það í 20 mánaða fuglum. Magn efnanna í brjóstvöðva íslenskra fálka var svipað og fundist hefur í sömu tegund í Noregi, en heldur meira en fundist hefur í sömu tegund í Norður-héruðum Kanada (Fröslie o.fl. 1986; Walker, 1977). Mun minna magn efnanna fannst í fuglum neðar í fæðukeðjunni (Kristín Ólafsdóttir o.fl. 1998; Kristín Ólafsdóttir o.fl. 2001), en þó var mest í fuglum sem lifa við sjó. Engar rannsóknir hafa verið gerðar á mengun þrávirkra efna í íslenska haferninum, enda eru sýni úr þeim enn fágætari en sýni úr fálkanum. Ernir lifa hér einkum á sjófangi og þá einkum fuglum, þ.e. æðarfugli og fýl á sumrin (Kristinn Haukur Skarphéðinsson, 1994). Af helstu fæðutegundum arna hafa mengunarefni verið mæld í æðarfugli, sem innihélt töluvert magn þeirra (Kristín Ólafsdóttir o.fl. 1998). Erlendis hafa mengunarrannsóknir á örnum aðallega verið gerðar á eggjum, oftast fúleggjum, og eru niðurstöður þá leiðréttar með tilliti til vökvataps, en vegna stöðugleika efnanna, breytist magn þeirra ekki þrátt fyrir rotnun eggisins (Fröslie o.fl. 1986; Donaldson o.fl. 1999; Peakall o.fl. 1990; Wiemeyer o.fl. 1984). Talsverð mengun hefur fundist í arnareggjum í Noregi en hún virðist ekki hafa áhrif á viðkomu þeirra (Nygard o.fl. 1998). Efnamengun hefur hins vegar haft

verulega neikvæð áhrif á viðkomu arna í Svíþjóð og víðar við Eystrasalt (Hellander o.fl. 1982).

Með því að mæla magn ákveðinna þrávirkra lífrænna efna í arnafúleggjum hér á landi fást mjög mikilvægar upplýsingar um ástand arnarstofnsins með tilliti til mengunar. Í ljósi sögu íslenska arnarstofnsins og breytinga á stærð hans ásamt því að talið er að ákveðin arnarþör séu ófrjó, er ákaflega mikilvægt að fá upplýsingar um styrk mengunarefna í arnareggjum, svo bera megi hann saman við erlendar athuganir þar sem neikvæð áhrif á frjósemi hafa komið fram.

Hvað verður gert í þessari rannsókn?

A. Örtunglasvæði í genamengi arnarins verða fundin og rannsökuð en þannig fást upplýsingar um:

- 1) Erfðabreytileika. Mældur breytileiki verður síðan borinn saman við erfðabreytileika stofna sem sýna merki um að eiga erfitt uppráttar og stofna sem sýna engin slík merki.
- 2) Virka stofnstærð, þ.e. fjölda einstaklinga sem stendur undir nýliðun stofnsins.
- 3) Innæxlun og hlutfall (%) innræktunar.
- 4) Áhrif innbyrðis skyldleika arnarhjóna á frjósemi þeirra, fjölda orpinna eggja, fjölda eggja sem klekjast og stærð unganna sem klekjast.

B. Mældur verður styrkur þrávirkra, lífrænna mengunarefna í fúleggjum arna og hann borinn saman við gildi sem vitað er að hafa neikvæð áhrif á frjósemi.

Með þessu móti ættu að fást mjög góðar upplýsingar um ástand stofnsins, hvort ofangreindir þættir eru líklegir til að hafa áhrif á vaxtarhraða hans og hvort tímabært sé að grípa til einhverra aðgerða til að koma stofninum til hjálpar.



7. mynd. Blóð er tekið úr stálpuðum arnarungum og fjöðrum úr fullorðnum fuglum safnað við hreiður. Hvort tveggja verður notað til erfðarannsókna (ljósm. Róbert A. Stefánsson).

Verkáætlun

Verkefnið verður unnið í náinni samvinnu við Kristinn Hauk Skarphéðinsson, fuglafræðing á Náttúrufræðistofnun Íslands og Kristínu Ólafsdóttur, lífefnafræðing á Rannsóknastofu Háskóla Íslands í lyfja- og eiturefnafræði.

1. Sýnaöflun

Safnað verður fúleggjum, fjöðrum og hræjum arna ásamt blóði úr ungum. Mældur verður styrkur valdra mengunarefna í fúleggjum og vef hræja sem aflast. Blóð úr arnarungum og fjaðrir úr fullorðnum fuglum verða notaðar til athugunar á erfðabreytileika.

Síðastliðin tvö ár hefur fúleggjum, fjöðrum ungra og fullorðinna arna og blóði úr arnarungum verið safnað skipulega en fjaðrir úr fullorðnum fuglum langt aftur í tímann eru varðveittar á Náttúrufræðistofnun Íslands. Nauðsynlegt er að halda söfnunni áfram a.m.k. tvö ár í viðbót til að fá nægilegan fjölda sýna.

2. Meðhöndlun sýna og úrvinnsla

2.1. Erfðabreytileiki og aðrar erfðaathuganir

Allar erfðaathuganir munu fara fram á Náttúrustofu Vesturlands en reiknað er með að þær taki tvö ár.

Erfðabreytileiki og innræktun arnarstofnsins ásamt innbyrðis skyldleika hjóna og meðalarfblandni einstaklinga eru þættir sem metnir verða með skoðun á örtunglasvæðum í erfðamengi arnarins (*DNA-fingerprinting*).

Erfðaefni verður einangrað úr sýnum jafnóðum og þeirra verður aflað.

Viðurkenndar aðferðir verða notaðar við leit að örtunglasvæðum í erfðamengi arnarins, prímerar þróaðar og þeir prófaðir m.t.t. arfblandni (Fleischer & Loew 1995). Mun fyrra ár verkefnisins fara í þennan hluta.

Er lokið hefur verið við þróun þrimera verða gerð með þeim PCR-hvörf sem fjölfalda og magna upp örtunglasvæðin fyrir hvern einstakling. Breytileiki örtunglasvæðanna verður síðan metinn með hefðbundnum rafdrætti á polýakrýlamíð geli með flúorljómuðu erfðaefni.

2.2. Eiturefnamælingar

Þrávirk lífræn klórefni eru úrhlotuð úr innihaldi eggjanna með lífrænum leysiefnum (Kristín Ólafsdóttir *et al.*, 1995). Þá er fitan brotin niður og sýnið hreinsað og loks greint með hjálp innri staðals í gasgreini tengdum ECD skynjara og massaskynjara til staðfestingar. Öll sýni verða greind með tveimur mismunandi mjósúlum. Þrávirk lífræn klórefni sem verða greind eru: p,p'-DDT, o,p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE, alfa-HCH, beta-HCH, gamma-HCH, HCB, trans-nonachlor, oxychlordane, 2-3 mismunandi toxafen afleiður og um 18 mismunandi afleiður PCB efna.

3. Frágangur og skrif

Gengið verður frá niðurstöðum um eiturefnaþælingar og þær birtar undir lok ársins 2004 en niðurstöður þeirra verða einnig birtar árlega meðan á rannsókninni stendur. Niðurstöður erfðarannsókna verða birtar fyrri hluta árs 2005.

4. Aðstandendur verkefnisins

Róbert Arnar Stefánsson (M.S.) er forstöðumaður Náttúrustofu Vesturlands í Stykkishólmi frá því í desember 2000. Hann verður verkefnisstjóri þessarar rannsóknar, sem þó verður unnin í náinni og góðri samvinnu þeirra þriggja stofnana sem að henni koma, þ.e. Náttúrustofu Vesturlands, Náttúrufræðistofnunar Íslands og Háskóla Íslands. Hlutverk Róberts verður yfirumsjón verkefnisins og fjárhags þess, að sjá um sýnaöflun úr arnarhreiðrum á norðanverðu Snæfellsnesi og eyjum á sunnanverðum Breiðafirði og að hýsa Menju von Schmalensee, sem vinna mun erfðafræðihluta verkefnisins á Náttúrustofunni.

Menja von Schmalensee (B.S.) lýkur M.S. prófi í líffræði frá Háskóla Íslands í janúar 2003. Hún mun vinna erfðafræðihluta rannsóknarinnar. Í M.S. verkefni sínu notaðist hún m.a. við greiningu á örtunglum í erfðamengi minksins til að segja til um fjölda fedra að hverju minkagoti, sem varpa mun nýju ljósi á mökunarkerfi minksins. Aðferðafræðin í því verkefni er hliðstæð við aðferðafræðina sem beitt verður í þeirri rannsókn á íslenska arnarstofninum sem hér er sótt um fjármagn fyrir.

Kristinn Haukur Skarphéðinsson (M.Sc.) er sá sem mest hefur rannsakað íslenska örninn á síðari árum og með því aflað sér víðtækrar þekkingar á tegundinni. Hann hefur yfirumsjón með vöktun arnarstofnsins og mun miðla af þekkingu sinni og reynslu til annarra þátttakenda í verkefninu. Hann mun taka virkan þátt í sýnaöflun, túlkun niðurstaðna og skrifum greina.

Kristín Ólafsdóttir (Ph.D.) mun stjórna efnagreiningum á þrávirkum lífrænum efnum. Hún hefur fengist við efnagreiningar á þrávirkum lífrænum efnum í um 10 ár og skrifað nokkrar vísindagreinar um niðurstöður sínar og annarra um tilvist þrávirkra efna í lífríki Íslands. Hún hefur tekið þátt í alþjóðlegu samstarfi á þessu sviði (Arctic monitoring assessment program, Nordtest) og tekur auk þess reglulega þátt í alþjóðlegum samanburðaræfingum til að tryggja gæði efnagreininganna. Hún mun, auk þess að stjórna efnagreiningunni, taka þátt í túlkun niðurstaðna og skrifum greina.

Væntanlegur ávinningur verkefnisins

Ávinningur verkefnisins er án nokkurs vafa verulegur, enda snertir verkefnið konung íslenskra fugla sem enn er í útrýmingarhættu þrátt fyrir nær 90 ára langa alfriðun. Ávinningurinn er fyrst og fremst þekkingarlegur og umhverfislegur, auk þess að auðvelda ákvarðanatöku um framtíð arnarstofnsins og mögulegar aðgerðir honum til hjálpar.

1. Þekkingarlegur ávinningur

Ekkert er vitað um eiturefnabyrði eða stofnerfðafræði íslenska arnarstofnsins og yrði verkefnið því veruleg og nauðsynleg viðbót við núverandi þekkingu á tegundinni og varpaði ljósi á mögulegar ástæður þess hversu hægt stofninn stækkar.

2. Umhverfislegur ávinningur

Niðurstöður rannsóknarinnar mun verða hægt að hafa til hliðsjónar við ákvarðanatöku varðandi viðhald arnarstofnsins og munu hafa veruleg áhrif á það hvort reynt verður að koma stofninum til hjálpar á einhvern hátt. Komi í ljós að hluti mengandi efna sé vegna staðbundinnar mengunar verður hægt að bregðast við því á viðeigandi hátt og komi í ljós að erfðabreytileiki stofnsins sé hættulega lítill, má koma stofninum til hjálpar með innflutningi á arnareggjum- eða ungum. Verkefnið gæti því í besta falli orðið fyrsta skrefið í að bjarga framtíð arnarstofnsins.

3. Hagrænn ávinningur

Örninn hefur mikið aðdráttarafl fyrir innlenda og erlenda náttúruunnendur, sem koma langar leiðir til að sjá hann í návígi. Viðhald stofnsins er mikilvæg forsenda fyrir ferðaþjónustu í landinu, sérstaklega á Vesturlandi.

4. Félagslegur ávinningur

Örninn er tignarlegur fugl sem fólk ber óttablandna virðingu fyrir. Tapist hann úr íslenskri fuglafánu stendur íslenska þjóðin fátækari eftir. Niðurstöðurnar munu nýtast við áframhaldandi verndun stofnsins.



8. mynd. Ávinningur rannsóknarinnar verður þekkingarlegur, umhverfislegur, hagrænn og félagslegur (ljósm. Róbert A. Stefánsson).

Kostnaðaráætlun og fjármögnun

1. Kostnaður

Gert er ráð fyrir að rannsóknin standi í tvö ár en úrvinnslu ljúki á þriðja árinu. Heildarkostnaður verkefnisins á árunum 2003-4 er áætlaður u.þ.b. 17 milljónir króna, þar af u.þ.b. tveir þriðjuhlutar á árinu 2003 (1. tafla).

1. tafla. Skipting kostnaðar vegna rannsóknar á arnarstofninum.

	Ár	
	2003	2004
Laun og launatengd gjöld	4.732.800	4.732.800
Akstur og siglingar	297.600	297.600
Efniskostnaður	1.565.000	790.000
Efnagreiningar	1.216.000	766.000
Tækjakaup	2.700.000	0
Samtals	10.511.400	6.586.400

Laun reiknast fyrir eina manneskju í fullu starfi á Náttúrustofu Vesturlands við erfðagreiningar, auk launa og dagpeninga tveggja manna við sýnaöflun. Heimsóknir á arnahreiður fela í sér talsverðan akstur og auk þess þarf að leigja bát til að komast út í mörg hreiðrana. Efniskostnaður tengist að langmestu leyti erfðarannsóknum en kostnaður við efnagreiningar innihalds fúleggjanna er einnig nokkur. Til að vinna verkefnið þarf að ráðast í kaup á viðbótartækjabúnaði, sem gerir Náttúrustofunni kleift að stunda flestar erfðarannsóknir en nú þegar hefur stærstum hluta búnaðar til þess verið komið upp í Stykkishólmi.

Kostnaður rannsókna er mun hærri fyrra árið, aðallega vegna stofnkostnaðar en einnig vegna þess að þegar hefur verið safnað 10 fúleggjum á síðustu tveim árum, sem bíða efnagreiningar.

2. Fjármögnun

Á árinu 2003 er gert ráð fyrir að ríkisframlag til Náttúrustofa hækki úr 5,6 milljónum í 7,6 milljónir (Siv Friðleifsdóttir, pers. uppl.). Þessi hækkun mun verða notuð til að kaupa mestan hluta tækjabúnaðarins sem nauðsynlegur er vegna verkefnisins. Því vantar 8,5 milljónir til að framkvæma fyrra ár verkefnisins en það er sú upphæð sem sótt er um til fjárlaganefndar vegna ársins 2003. Fyrir árið 2004 er sótt um 6,5 milljónir.

Heimildir

1. Agnar Ingólfsson 1961. The distribution and breeding ecology of the White-tailed Eagle, *Haliaeetus albicilla* (L.) in Iceland. B.Sc. (Hons.) við Aberdeenháskóla.
2. Ballschmiter K, Zell M (1980). Baseline studies of the global pollution. I. Occurrence of organohalogens in pristine European and Antarctic aquatic environments. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 8: 15-35.
3. Borgå K, Gabrielsen GW, Skaare JU (2001). Biomagnification of organochlorines along a Barents sea food chain. *Environ. Pollut.* 113: 187-198.
4. Boujenane I. & A. Chami (1997). Effects of inbreeding on reproduction, weights and survival of Sardi and Beni Guil sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics – Zeitschrift für Tierzucht und Zuchtungsbiologie* 113: 23-31.
5. Cederberg, H., C. Sandström, U. Rannug & B. Helander (2000). Genetic variation based on DNA fingerprinting in two sea eagle populations in Sweden. *Í: Helander, B. (ritstj.). Proceedings of Sea Eagle 2000 Conference, Björkö, Sweden. Í prentun.*
6. Donaldson GM, Shutt JL, Hunter P (1999). Organochlorine contamination in bald eagle eggs and nestlings from the Canadian great lakes. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 36: 70-80.
7. Ercanbrack, S.K. & A.D. Knight (1991). Effects of inbreeding on reproduction and wool production of Rambouillet, Targhee, and Columbia ewes. *Journal of Animal Science*: 69: 4734-4744.
8. Fiedler, P.L. & S.K. Jain (ritstj.) (1992). *Conservation Biology: the Theory and Practice of Nature Conservation, Preservation and Management.* Chapman & Hall, London.
9. Fleischer, R.C. & S. Loew (1995). Construction and screening of microsatellite-enriched genomic libraries. *Í: Ferraris, J. & S. Palumbi (ritstj.): Molecular Zoology: Advances, Strategies and Protocols, bls. 459-468.* Wiley-Liss, New York.
10. Frösli A, Holt G, Norheim G (1986). Mercury and persistent chlorinated hydrocarbons in owls Strigiformes and birds of prey Falconiformes collected in Norway during the period 1965-1983. *Environ. Pollut. (series B)* 11: 91-108.
11. Hargrave BT, Harding GC, Vass WP, Erickson PE, Fowler BR, Scott V (1992). Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the arctic ocean food web. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 22: 41-54.
12. Hedrick, P.W. (2001). Conservation genetics: where are we now? *Trends in Ecology and Evolution* 16: 629-636.
13. Helander, B. 1983. Reproduction of the White-tailed Sea Eagle *Haliaeetus albicilla* (L.) in relation to food and residue levels of organochlorine and mercury compounds in the eggs. Doktorsritgerð við Stokkhólmsháskóla.

14. Hellander, B., M Olsson and L. Reuthergaard 1982. Residue levels of organochlorine and mercury compounds in unhatched eggs and the relationships to breeding success in White-tailed Sea Eagles *Haliaeetus albicilla* in Sweden. *Holarctic Ecology* 5: 349-366.
15. Kampp, K. & F. Willie 1979. Föðevaner hos den grönländske Havörn *Haliaeetus albicilla groenlandicus*. *DOFT* 73:157-164.
16. Kimbrough RD (1985). Human health effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated biphenyls (PBBs). *Ann. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 27: 87-111.
17. King, W.B. 1981. *Endangered birds of the world. The ICBP Red Data Book.* Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
18. Kristinn Haukur Skarphéðinsson 1994. Tjón af völdum arna í æðarvörpum. Skýrsla unnin af Náttúrufræðistofnun Íslands fyrir Umhverfisstofnun. 120 bls.
19. Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2000a. Haförninn í uppsveiflu í Norður-Evrópu nema á Íslandi! – Fréttabréf Fuglaverndarfélags Íslands Nr. 30.
20. Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2000b. Arnarvarp gekk óvenjuvel 1998-2000. Fréttabréf Fuglaverndarfélags Íslands 1998-2000.
21. Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2001. Sea Eagles in Iceland: population trends and reproduction. Í B. Hellander (ritstj.) *Proceedings of Sea Eagle 2000 Conference*, Björkö, Sweden. *Í prentun*.
22. Landweber, L.F. & A.P. Dobson (1999). *Genetics and the Extinction of Species. DNA and the Conservation of biodiversity.* Princeton University Press.
23. Love, J. 1983. *The return of the Sea Eagle.* Cambridge Univ. Press.
24. Luikart, G. & P.E. England (1999). Statistical analysis of microsatellite data. *TREE* 14: 253-256.
25. MacArthur, R.H. & E.O. Wilson (1967). *The Theory of Island Biogeography.* Monographs in Population Biology 1. Princeton University Press.
26. Madsen, T., B. Stille, & R. Shine (1996). Inbreeding depression in an isolated population of adders *Vipera berus*. *Biological Conservation* 75: 113-118.
27. Mayr, E. (1963). *Animal Species and Evolution.* Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
28. Mousseau, T.A., B. Sinervo & J. Endler (ritstj.) (2000). *Adaptive Genetic Variation in the Wild.* Oxford University Press, New York.
29. Náttúrufræðistofnun Íslands 2000. Válisti 2, Fuglar. 104 bls.
30. Nygard, T.N and J.U. Skaare 1998. Organochlorines and Mercury in Eggs of White-tailed Sea-Eagles *Haliaeetus albicilla* in Norway 1974-1994. Bls. 501-524 í: R.D. Chancellor, B.-U. Meyburg and J.J. Ferrero (ritstj.) *Holarctic Birds of Prey.* ADENEX-WWGBP.

31. Ólafsdóttir K, Petersen Æ, Magnúsdóttir EV, Björnsson T and Jóhannesson T (2001). Persistent organochlorine levels in six prey species of the gyrfalcon *Falco rusticolus* in Iceland. *Environmental Pollution*, 112: 245-251.
32. Ólafsdóttir K, Petersen, Æ, Thórðardóttir S and Jóhannesson T (1995). Organochlorine residues in gyrfalcons (*Falco rusticolus*) in Iceland. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 55: 382-389.
33. Ólafsdóttir K, Skírnisson K, Gylfadóttir G and Jóhannesson T (1998). Seasonal fluctuations of organochlorine levels in the common eider (*Somateria mollissima*) in Iceland. *Environmental Pollution* 103:153-158.
34. Ólafsdóttir, K., Æ. Petersen, S. Þórðardóttir og T. Jóhannesson (1995). Organochlorine residues in gyrfalcons (*Falco rusticolus*) in Iceland. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 55: 382-389.
35. Padilla, J.A., M. Martinez-Trancon, A. Rabasco, J.C. Parejo, M.E. Sansinforiano & M.I. Guijo (2000). Genetic variability in the Iberian imperial eagle (*Aquila adalberti*) demonstrated by RAPD analysis. *Journal of Heredity* 91: 495-499.
36. Peakall DB, Noble DG, Elliott JE, Somers JD, Erickson G (1990). Environmental contaminants in Canadian Peregrine falcons, *Falco peregrinus*. *Canadian Field-Naturalist* 104: 244-254.
37. Pemberton, J.M., D.W. Coltman, T.N. Coulson & J. Slate (1999). Using microsatellites to measure the fitness consequences of inbreeding and outbreeding. Í: Goldstein, D.B. & C. Schlötterer: *Microsatellites. Evolution and Applications*. Oxford University Press, Oxford.
38. Queller, D.C. & K.F. Goodnight (1989). Estimating relatedness using genetic-markers. *Evolution* 43: 258-275.
39. Ratcliffe, D.A. (1967). Decrease in eggshell weight in certain birds of prey. *Nature* 215: 208-210
40. Ridley, M. (1993). *Evolution*. Blackwell Scientific Publications.
41. Sewalem, A., K. Johansson, K. Wilhelmson & K. Lillpers (1999). Inbreeding and inbreeding depression on reproduction and production traits of White Leghorn lines selected for egg production traits. *British Poultry Science* 40: 203-208.
42. Shafer, C.L. (1990). *Nature Reserves: Island Theory and Conservation Practice*. Smithsonian Institution Press, Washington.
43. Soto AM, Sonnenschein C, Chung KL (1995). The E-Screen assay as a tool to identify estrogens: An update on estrogenic environmental pollutants. *Environ. Health Perspect.* 103: 113-122.
44. Sunnucks, P. (2000). Efficient genetic markers for population biology. *TREE* 15 (5): 199-203.
45. Walker W (1977). Chlorinated hydrocarbon pollutants in Alaskan gyrfalcons and their prey. *The Auk* 94: 442-447.

46. Walsh, P.S., D.A. Metzger & R. Higuchi (1991). Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *BioTechniques* 10: 506-513.
47. Whittaker, R.J. (1998). *Island Biogeography. Ecology, Evolution and Conservation*. Oxford University Press. U.K.
48. Wiemeyer SN, Lamont TG, Bunck CM, Sindelar CR, Gramlich FJ, Fraser JD, Byrd MA (1984). Organochlorine pesticide, polychlorobiphenyl, and mercury residues in Bald eagle eggs – 1969-79 – and their relationships to shell thinning and reproduction. *Arch Environ. Contam. Toxicol.* 13: 529-549.
49. Willie, F. & K. Kampp 1983. The food of the White-tailed Eagle *Haliaeetus albicilla* in Greenland. *Holarctic Ecology* 6:81-88.