



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

Hákon Aðalsteinsson
Oddur Sigurðsson

AUSTURLANDSVIRKJUN

Áhrif á framburð og strandrof við Héraðsflóa og Öxarfjörð,
grugg og hitastig í Lagarfljóti, og ástand strandsjávar

OS-93070/VOD-07
Reykjavík, desember 1993



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 720 710/730

Hákon Aðalsteinsson
Oddur Sigurðsson

AUSTURLANDSVIRKJUN

**Áhrif á framburð og strandrof við Héraðsflóa og Öxarfjörð,
grugg og hitastig í Lagarfljóti, og ástand strandsjávar**

OS-93070/VOD-07

Reykjavík, desember 1993

ISBN 9979-827-35-1

Ágrip

Virkjun Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Dal mun m.a. hafa það í för með sér að allur grófur aur fellur út í miðlunarlónum virkjananna í stað þess að berast til sjávar. Þar með er breytt því samspili milli upphleðslu sandanna við ósa ána og rofs af völdum úthafsöldu, sem ræður núverandi ástandi þeirra.

Slík áhrif myndu koma fram hvernig sem virkjun ána yrði háttáð. Varðandi Jökulsá á Fjöllum yrðu áhrifin þó mismunandi eftir því hvort virkjað væri frá fleiri en einu lóni í farvegi árinna, eða einu tilteknu lóni, þ.e. Arnardalslóni, með veitu til Jökuldals og Fljótsdals.

Framburður grófkorna aurs ($>0,02$ mm) er skv. mælingum $4,1$ milljónir $m^3/ári$ ($M m^3/ári$) í Jökulsá á Fjöllum og $3,0$ í Jökulsá á Dal. Ef úthafsöldu gætti ekki og aurinn dreifðist jafnt niður á tiltekið dýpi, færðist ströndin út sem næmi framburði árinna. Úthafsaldan veldur því hins vegar að svo er ekki. Áhrif hennar má meta með því að mæla þekktar breytingar á ströndinni á síðustu áratugum. Samanburður á loftmyndum frá 1945/46, 1960 og 1988/90 sýnir að rof og upphleðsla á Héraðssandi er í jafnvægi á umræddu tímabili. Í Héraðsflóa jafngildir því rof úthafsöldunnar framburði grófkorna aurs og er það áætlað um $3,0 M m^3/ári$. Breytingar á strönd Öxarfjarðar eru auk samspils framburðar og rofs háðar landhæðarbreytingum. Fyrirliggjandi gögn benda til nettó upphleðslu. Auk loftmynda frá tímabilinu 1945-1990 má hafa hliðsjón af jarðsögulegum rannsóknnum, og er rofið metið um $2,5 M m^3/ári$ með hliðsjón af þeim.

Gert er ráð fyrir því að eftir virkjun muni ströndin leita í nýtt jafnvægi, sem ræðst af afli úthafsöldunnar; Héraðsflói í svipað horf og nú er úti fyrir vestanverðri suðurströnd landsins og Öxarfjörður í svipað horf og er nú í Skjálfandaflóa. Það tekur síðan úthafsölduna tiltekinn tíma að rjúfa sandana að nýju jafnvægissniði.

Vegna aðstæðna við inntaksmannvirki í svonefnt Arnardalslón, verður nauðsynlegt að skola eins miklu og unnt er af grófasta aurnum framhjá, þannig að með Jökulsá á Fjöllum berist áfram um $1,4 M m^3/ári$ til strandar upp í það sem rofnar árlega. Gert er ráð fyrir að rofið verði örast í byrjun, einkum í Héraðsflóa.

Ef Jökulsá á Fjöllum verður stífluð í lóni í Arnardal og veitt austur má gera ráð fyrir að ströndin í Öxarfirði færist inni u.þ.b. 200 m á næstu 100 árum og strandlengjan rétti úr sér þar sem hún bungar út við ósa Bakkahlaups. Þar gengur því mun meira á ströndina eða um 500 m (sjá 10. mynd). Verði áin virkjuð í farvegi sínum frá fleiri lónum er hætt við að gangi rösklega þriðjungi meira á ströndina. Hérðassandur færist inn um $500-600$ m á sama tímabili. Innan nýrrar strandlínu mun myndast ný fjara með tilheyrandi fjörुकambi. Áhrifa brimöldunnar gætir um 200 m inn fyrir ströndina (sjá 10. og 11. mynd).

Þau svæði sem nefnd eru í tengslum við skráningu viðkomandi strandsvæða á Náttúru-minjaskrá eru fjær strönd en svo að líklegt sé að þau verði fyrir áhrifum af þessum breytingum nema helst Skógalón í Öxarfirði.

Talið er að grugg muni tfaldast í Lagarfjóti miðað við venjuleg gildi, en tvöfaldast miðað við gruggun sem hefur orðið samfara hlaupi í Eyjabakkajökli.

Ekki er talið að hitastig í Lagarfjóti breytist merkjanlega við veitur úr Jökulsá á Dal og Jökulsá á Fjöllum. Vatnsmegin Fljótsins mun eftir sem áður ráða mestu um hitastig vatnsins.

Rætt er um hugsanleg áhrif minnkaðs rennslis ferskvatns til sjávar í Öxarfirði á lífríki strandsvæða út af NA-landi. Miðað við það sem rennur af landinu til Öxarfjarðar og Skjálfandaflóa næmi sú breyting um $25-30\%$ af núverandi ferskvatnsrennslis. Talið er að ferskvatnsrennslis til sjávar auki stöðugleika í strandsjó á vorin, og skapi þannig betri skilyrði til vaxtar plöntu- og dýrasvifs.

Efnisyfirlit

Ágrip	2
Aðfaraorð	5
1. Rof og framburður	5
1.1 Inngangur	5
1.2 Framburður og botngerð	5
1.3 Roföfl	7
1.4 Halli strandbotns	10
1.5 Rofdýpi	13
1.6 Sjávarstöðubreytingar	14
1.7 Breytingar á ströndinni frá 1945-1990	14
1.7.1 Breytingar á strönd Héraðsflóa	14
1.7.2 Breytingar á strönd Öxarfjarðar	14
1.8 Lfklegar breytingar eftir virkjun	17
1.8.1 Virkjun Jökulsár á Dal	17
1.8.2 Virkjun Jökulsár á Fjöllum	18
1.9 Dæmi um rof	19
1.10 Niðurstöður	20
2. Sandstrendur Öxarfjarðar og Héraðsflóa	21
3. Önnur áhrif	29
3.1 Breytingar á gruggi í Lagarfljóti	29
3.2 Breytingar á lífsskilyrðum í Lagarfljóti	30
3.3 Breytingar á hitastigi í Lagarfljóti?	30
3.4 Áhrif á strandsjó	32
3.4.1 Inngangur	32
3.4.2 Vægi hafstrauma og ferskvatnsafrennslis	32
3.4.3 Hugsanleg áhrif af virkjunum	33
3.4.4 Áhrif á rennsli	33
3.4.5 Áhrif á næringarefni	34
4. Þörf á rannsóknum	35
5. Heimildir	36
Abstract	38
Viðaukar	39

Töfluskra

Tafla	Bls.
1: Framburður af grófum aurburði í Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Dal 1963/65-1990	6
2: Skipting framburðar Jökulsár á Fjöllum á Arnardalslón og framhjärennslí	7
3: Líkindi fyrir mestu hæð úthafsöldu, sem hægt er að búast við	7

Myndaskra

Mynd	Bls.
1: Sjókort af Öxarfirði og Skjálfandaflóa með staðsetningu sniða	8
2: Sjókort af Héraðsflóa með staðsetn. sniða sem notuð voru til að meta halla strandbotns	9
3: Fjögur strandsnið í Öxarfirði	10
4: Fjögur strandsnið í Héraðsflóa	11
5: Þrjú strandsnið í Skjálfandaflóa, og meðalsnið	12
6: Nokkur strandsnið á suðurströndinni	13
7: Þversnið í gegnum bungu aurkeilu Jökulsár á Fjöllum	16
8: Hugsanleg breyting strandar í Héraðsflóa eftir að tekur fyrir aurburð	18
9: Hugsanleg breyting strandar í Öxarfirði eftir meira en helmings minnkun aurburður	19
10: Loftmynd af strandsvæði Öxarfjarðar	25
11: Loftmynd af strandsvæði Héraðsflóa	27
12: Vatnshiti úti á miðju Lagarfljóti út af Atlavík í júní og ágúst 1975	31
13: Samanburður á rennsli til sjávar í Skjálfandaflóa og Öxarfirði	33

Aðfaraorð

Í skýrslu þessari er gerð grein fyrir athugunum á þeim áhrifum sem áætlaðar virkjanir í Jökulsá á Dal og Jökulsá á Fjöllum myndu hafa við strönd Héraðsflóa og Öxarfjarðará og skiptist hún í þrjá meginkafla.

Í þeim fyrsta er lagt mat á jafnvægi rofs og upphleðslu á söndunum, og áætluð líkleg framvinda eftir að árnar yrðu virkjaðar. Árni Snorrason og Helgi Jóhannesson vatnaverkfræðingar voru til ráðgjafar varðandi forsendur og útreikninga. Tómas Jóhannesson eðlisfræðingur lagði til upplýsingar varðandi sjávarstöðubreytingar, og þær sem kunna að verða vegna aukinna gróðurhúsaáhrifa. Kristinn Guðmundsson verkfræðingur sá um að setja saman og rétta skannaðar loftmyndir af söndunum og frágang þeirra. Haukur Tómasson jarðfræðingur var okkur innan handar við úrlausn ýmissa álitamála við túlkun.

Þá eru niðurstöður nýttar til að leggja mat á það hvort rofið sjálft eða þær breytingar á strönd sem rekja má til þess hafi áhrif á þætti sem ráða mati á gildi þessara landsvæða, svo sem til náttúruverndar eða annarrar nýtingar. Stöðastliðið sumar skoðuðu skýrsluhöfundar sandströnd Öxarfjarðar og ásamt Einari Þórarinssyni, jarðfræðingi, Héraðssand.

Að lokum er kafli um aðra þætti, svo sem hugsanleg áhrif veitu út af vatnasviði Jökulsár á Fjöllum á strandsjó út af NA-landi. Dregin er upp mynd af því hvernig verði háttað hitastigi og gruggi í jökulskotnum miðlunarlónum virkjananna og í Lagarfljóti ef þangað yrði veitt vatni úr Jökulsá á Dal og Jökulsá á Fjöllum.

Þriðji kafli er alfarið á ábyrgð Hákonar.

1. Rof og framburður

1.1 Inngangur

Við virkjun Jökulsár á Dal og Jökulsár á Fjöllum er óhjákvæmilegt að verulegur hluti af aurframburði þeirra stöðvist í miðlunarlónum ofarlega á vatnasviðinu í stað þess að berast til sjávar. Þar með yrði breyting á jafnvægi milli rofs og uppbyggingar strandar við ósa ána. Hversu mikil sú breyting yrði fer eftir ýmsum þáttum, sem marga hverja er erfitt að meta miðað við núverandi vitneskju. Sandar beggja flóanna eru vel afmarkaðir, og er lengd sandstrandar í Öxarfirði um 28 km og um 25 km í Héraðsflóa.

Þeir þættir sem mestu ráða um jafnvægi rofs og uppbyggingar eru: 1) Framburður efnis til strandar, 2) öldukraftar og straumar við strönd, 3) halli strandar og lögun, 4) sjávarstöðubreytingar. Ekki er vert að gera ráð fyrir að virkjanir með því sniði, sem áætlaðar eru og þessi úttekt miðast, við standi að eilífu. Rétt þykir að miða við eitthvað um 100 ár sem gæti jafngilt endingartíma viðkomandi mannvirkja. Löngu áður verður búið að afskrifa allan stofnkostnað þeirra, og þá hægara með að breyta rekstri virkjananna ef stefna þykir í óefni með rof.

1.2 Framburður og botngerð

Mælingar á framburði ná aðeins til þess sem er upphrært. Það fer eftir straumi á sýnatöku-stað hve mikið er upphrært. Á sýnatökustöðum í Jökulsá á Dal við Hjarðarhaga og í Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði er straumhraði um 2 m/s. Ekkert eða mjög lítið botnskrið mælist í Þjórsá við straumhraða um 1,5 m/s, og því má gera ráð fyrir að allur aur í áðurnefndum ám sé

upphræður.

Meðalframburður svifaus í Jökulsá á Dal er um 9 milljónir tonna á ári og í Jökulsá á Fjöllum um 8 milljónir tonna á ári (Haukur Tómasson 1990). Rúmþyngd aurs í seti er um 1,4 (HT pers. uppl.), en það svarar til um 6,4 milljóna m^3 aurs í Jökulsá á Dal og 5,7 milljóna m^3 á ári í Jökulsá á Fjöllum. Í Jökulsá á Dal (við Hjarðarhaga) er grófur aur ($>0,02$ mm) að meðaltali 46% (317 sýni), en af honum er sandur ($>0,2$ mm) aðeins 9%. Í Jökulsá á Fjöllum (við Grímsstaði) er grófur aur að meðaltali 72% (263 sýni), og þar er sandur 20% af honum (Svanur Pálsson og Guðmundur H. Vigfússon 1991).

Engar mælingar eru til á kornastærð á strandsvæðum í Öxarfirði og Héraðsflóa, en mælingar út frá Lóni við SA-land niður á 30 m dýpi sýndu að þar var allt að 30% korna minni en 0,09 mm í þvermál (Þórólfur H. Hafstað o.fl. 1992). Á 40-50 m dýpi við suðurströndina kemur brot í hallþversnið strandarinnar (mynd 6), og það svarar til þess dýpis þar sem 50 ára alda hreyfir fínan sand ($>0,06$ mm) (Per Bruun 1986). Það virðist því vera eðlilegt að miða við að korn $>0,02$ mm dreifist á strandsvæðin niður á 50-100 m dýpi, og að miðað sé við að allur grófi svifaurinn hafi þýðingu í þessu sambandi. Það botnskrið sem kynni að hafa verið í ánum þrátt fyrir allt, væri varla meira en svo að það svaraði til þess sem árnar hlaða undir sig á láglandi, þ.e. byggir upp óseyrarnar (sandana).

Í töflu 1 eru samanteknar niðurstöður varðandi magn þess hluta framburðar, sem ætti að skipta máli miðað við ofantaldar forsendur.

TAFLA 1: Framburður af grófum aurburði í Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Dal 1963/65-1990 (M (milljónir) m^3 á ári).

	Svifaur		Alls ($>0,02$ mm)
	(0,02-0,2 mm)	($>0,2$ mm)	
Jökulsá á Fjöllum	3,0	1,1	4,1
Jökulsá á Dal	2,4	0,6	3,0

Þar sem Jökulsá á Fjöllum og Kreppa yrðu teknar inn í veitu til Arnardalslóns yrði lítið sem ekkert lón til að taka við grófkornóttari hluta aursins. Hann myndi því fljótlega valda erfiðleikum í inntaksskurðunum ef ekkert er að gert. Það er því augljóst að koma verður upp aurskolunarkerfi, sem leiðir grófan aurburð framhjá skurðum og út í Jökulsá. Arnardalslón mun ekki verða aurgildra í sama mæli og Háslón, en þar mun allur grófkorna aur falla út í suðurenda lónsins eða víðsfjarri inntaksmannvirkjum og botnrás. Það virðist einnig einsýnt að einhverju af vatni þurfi að hleypa fram hjá til að tryggja vissit lágmarksrennsli á Dettifoss. Það yrði líklega gert á u.þ.b. 3 mánaða tímabili frá júní til september, eða á þeim tíma sem megnið af jökulvatni og aur berst fram, og mest þörf er á vatni til aurskolunar.

Þar sem ekki liggja fyrir neinar áætlanir um aðgerðir varðandi aurskolun eða framhjárennsli við Arnardalslón, verður gróf nálgun að nægja. Gert er ráð fyrir að tryggt verði 160-170 m^3/s lágmarksrennsli í Dettifossi frá miðjum júní til ágústloka, þannig að framhjárennsli verði að jafnaði um 600-700 Gl/ári af um 3800 Gl, sem er áætlað meðalrennsli til virkjunar án aðgerða. Meðalaurstyrkur er gróflaga áætlaður um 2,5 g/l á þeim tíma sem vatni yrði aðallega veitt fram-

hjá, sem þýðir að með framhjárennslinu fari að jafnaði um 1,5 M tn af aur eða um 26% af heildarauframburði árinna. Auk þess má gera ráð fyrir að reynt verði að losna við sem mest af grófasta aurnum með aurskolun. Gera má ráð fyrir að sú viðleitni skili helmingi þess sands sem nú berst með ánni framhjá stíflum.

TAFLA 2: Skipting framburðar Jökulsár á Fjöllum á Arnardalslón og framhjárennsli (M m³ á ári). Skýringar á forsendum í texta.

	Svifaur		Alls
	(0,02-0,2)	(>0,2)	(>0,02)
Arnardalslón	2,2	0,5	2,7
Framhjárennsli	0,8	0,6	1,4

Ef farið yrði í ofanefndar aðgerðir myndi framburður til Öxarfjarðar skerðast um 2,7 M m³, þannig að í stað 4,1 M m³ bærust þá um 1,4 M m³ af feni til Öxarfjarðar til viðhalds strandarinnar.

1.3 Roföfl

Rof á strönd er fyrst og fremst háð bylgjukrafti, sem er háður ölduhæð og -tíðni. Per Bruun (1986) hefur lítillega velt fyrir sér hve langt niður strandrof nái ("limiting depth"), en það er það dýpi þar sem 50 ára alda hreyfir fínan sand, eins og fyrr segir. Við suðurströnd landsins frá Þorlákshöfn að Dyrhólaey, á 140 km strandlengju, verður brot í hallapversnið strandarinnar á 40-60 m dýpi (mynd 6). Hafnamálastofnun ríkisins hefur gert langtímaölduspá, sem byggð er á gögnum frá Norsku Veðurstofunni árin 1972-1977. Í þeim tilfellum þar sem hægt hefur verið að mæla öldu við tiltekinn vindstyrk hefur samsvörun reynst góð (Sigurður Sigurðarson, Hafn.m.st., pers. uppl.). Í töflu 3 eru niðurstöður úr þessari langtímaölduspá.

TAFLA 3: Líkindi fyrir mestu hæð úthafsöldu, sem hægt er að búast við; árlega, á 10 ára fresti og á 100 ára fresti. Gefin er svonefnd kennialda, sem er meðaltal hæsta þriðjungs aldnanna (Heimild: Hafnamálastofnun ríkisins, gert fyrir Staðarvalsnefnd um iðnrekstur (1983)).

	1 ár	10 ár	100 ár
Vestfirðir-Straumnes	10,6	13,0	15,0
Norðurland-Melrakkaslétta	11,2	13,7	15,8
Norðausturland-Langanes	11,3	14,4	16,4
Suðausturland-Hornafjörður	13,0	15,6	18,0
Suðvesturland-Surtsey	11,8	14,5	16,5
Vesturland-Snæfellsnes	11,4	14,0	16,0

IF
 VOD UR 710 HA
 93.10.0625 Gyða

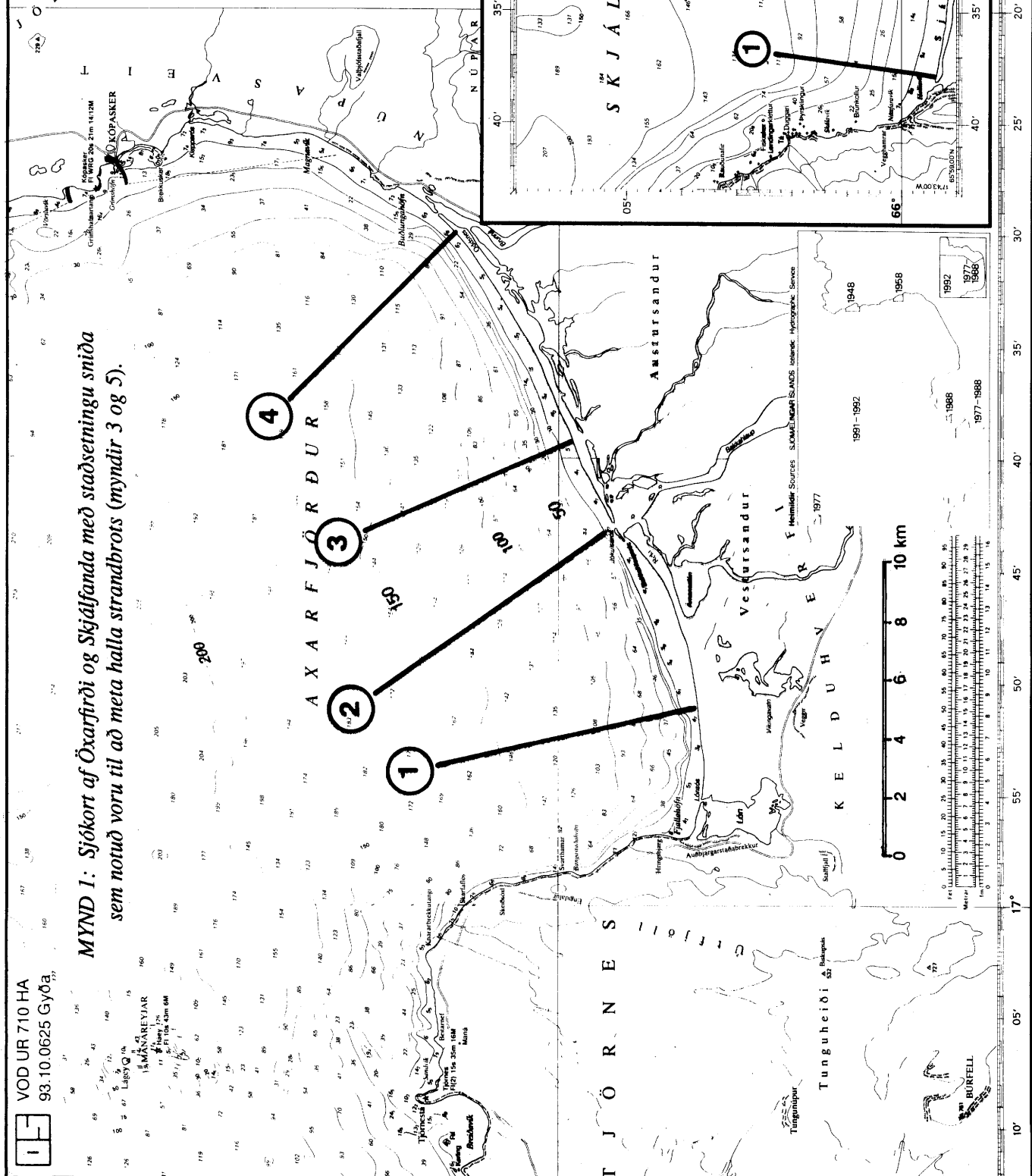
MYND 1: Sjókort af Óxarfirði og Skjálfanda með staðsetningu snída sem notuð voru til að meta halla strandbrots (myndir 3 og 5).



NORÐURSTRÖND ÍSLANDS
NORTH COAST OF ICELAND
GRIMSEY -
HRAUNHAFNARTANGI

MERCATOR VORPUN - Mercator Projection
 VIDMÁLUN WGS 84

A 65' BR.
 at Lat. 66°
 DYPI ER MIÐAD VIÐ MEÐALSTÖRSTRÁUMSEJÖRU
 Soundings at Mean Low Water Springs
 DYPI OG HÆÐIR Í METRUM
 Soundings and Heights in Meters
 TAKN OG SKAMMSTAFANIR SJÁ KORT 1
 For Symbols and Abbreviations see Chart 1
 HÆÐARLÍNUR MEÐ 200 m BILI
 Contour Interval 200 m



192 1977 1988

1948 1956 1968 1977-1988

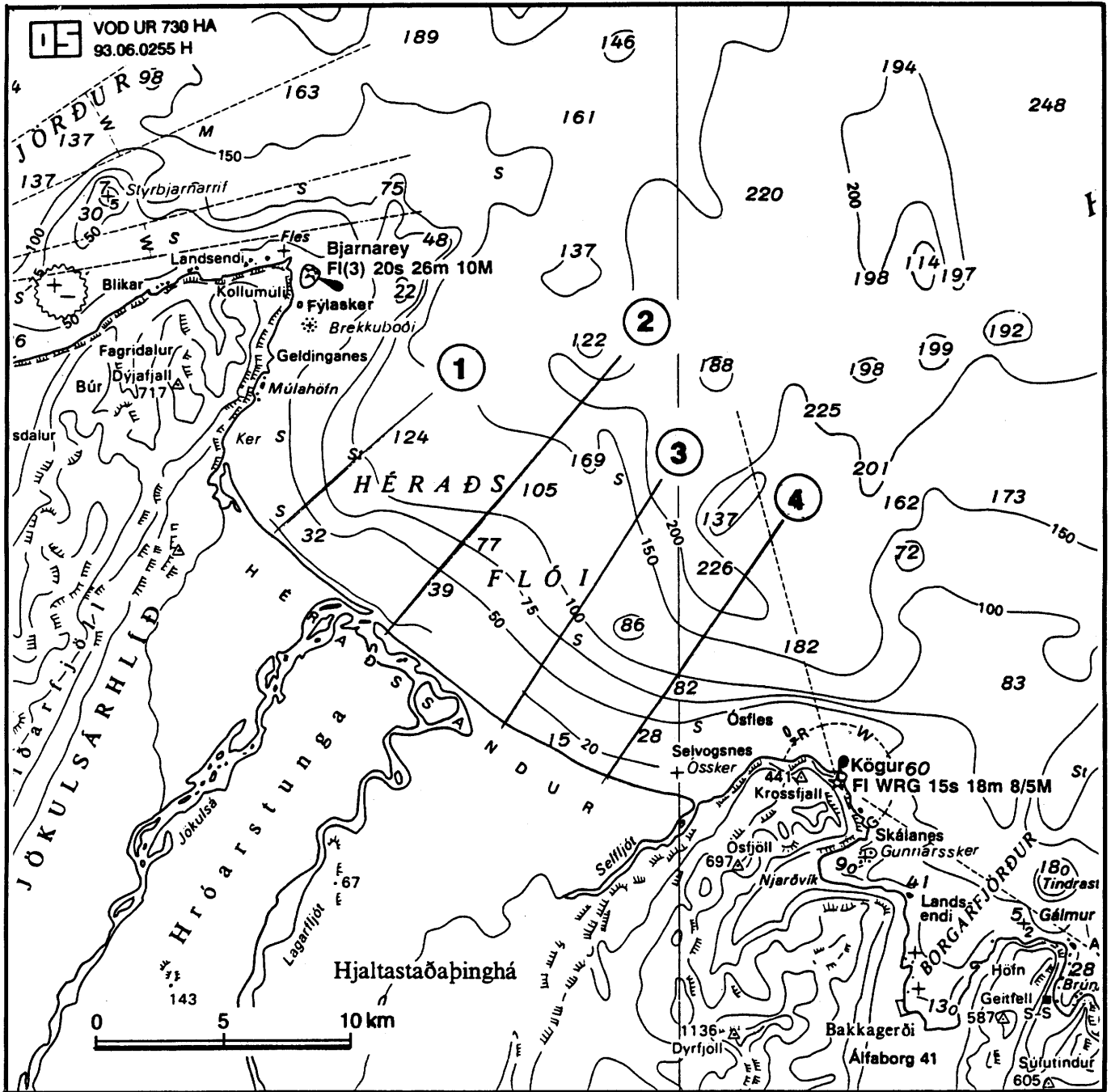
0 2 4 6 8 10 km

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95
 METERS
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
 FATHOMS

10° 05' 10' 15' 20' 25' 30' 35' 40' 45' 50' 55' 60' 65' 70' 75' 80' 85' 90' 95' 100'

17° 05' 10' 15' 20' 25' 30' 35' 40' 45' 50' 55' 60' 65' 70' 75' 80' 85' 90' 95' 100'

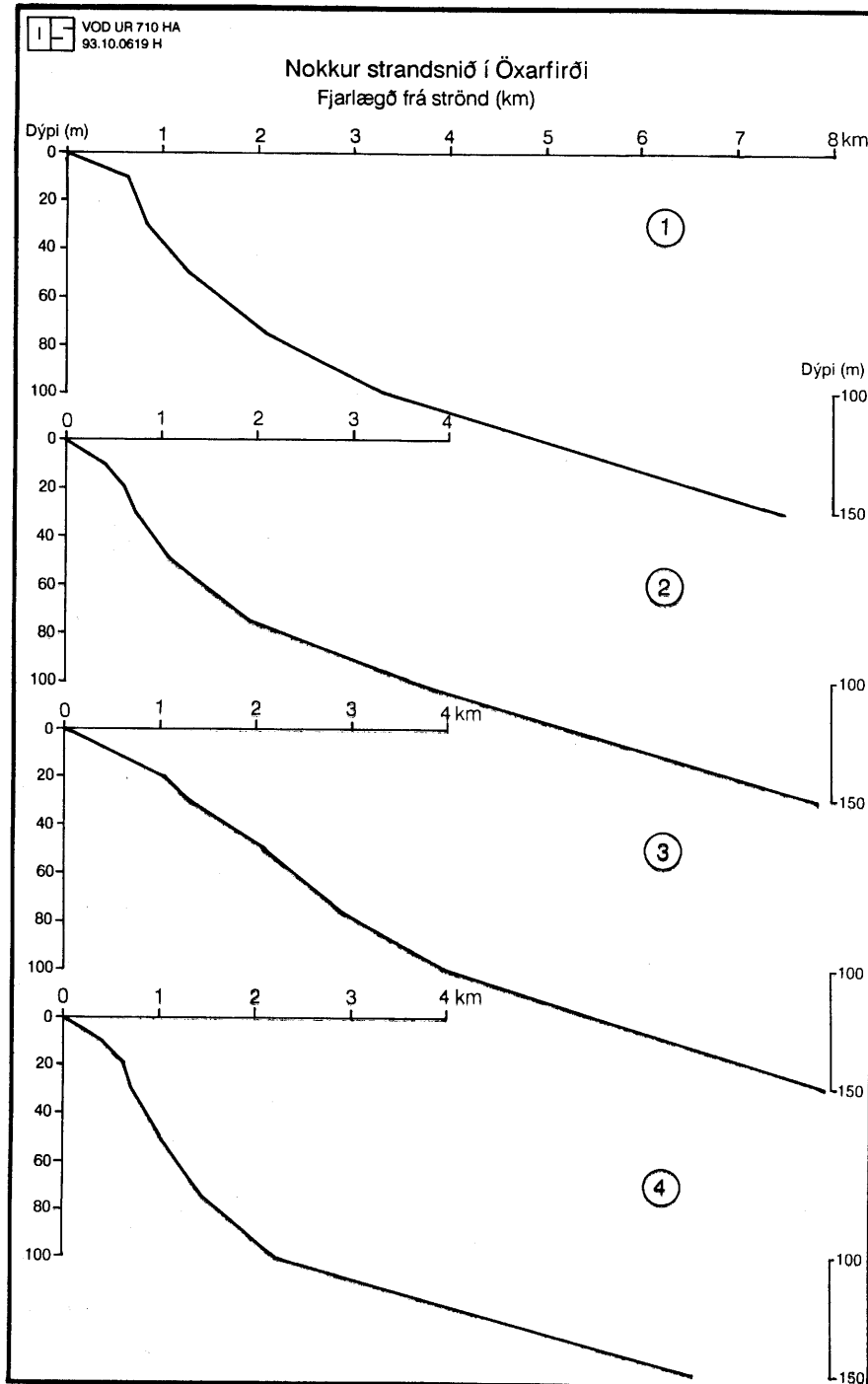
Hæð úthafsöldu er minnst út af Öxarfirði og Vestfjörðum, en álfka út af norðanverðum Austfjörðum og út af vestanverðri suðurströndinni. Í 100 ára öldu út af norðanverðum Austfjörðum er straumhraði við botn á 50 m dýpi um 2,7 m/s, og á 100 m dýpi um 1,2 m/s. Þetta er svipaður straumhraði og algengur er í ám héraendis, og augljóst að í verstu veðrum hrærist það efni sem hér um ræðir auðveldlega upp, a.m.k. niður á 100 m dýpi.



MYND 2: Sjókort af Héraðsflóa með staðsetningu sniða sem notuð voru til að meta halla strandbotns (mynd 4).

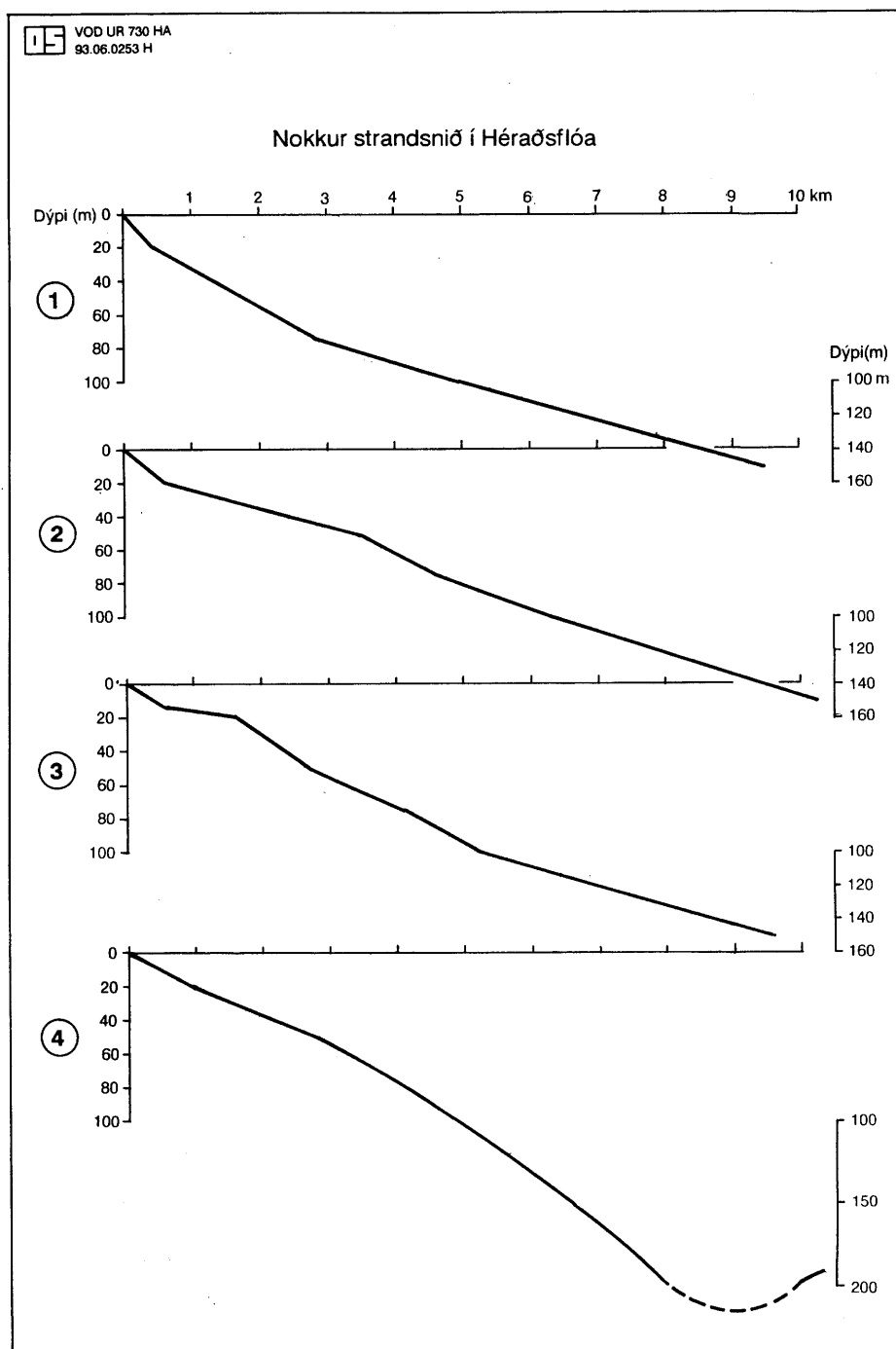
1.4 Halli strandbotns

Brött strönd gefur til kynna að upphleðsla umfram rof elgi sér stað, og enn fremur ætti grófkorna framburður að skila brattari strönd en fínkorna set. Á brattri strönd berst efni burt frá ströndinni, en þar sem halli er lítil getur efni verið að berast upp að ströndinni.



MYND 3: Fjögur strandsnið í Óxarfirði. Staðsetning þeirra er sýnd á mynd 1. Snið nr. 3 er um aurkeiluna út af ósi Bakkahlaups.

Lítill halli bendir til mikils ölduálags og rofs umfram upphleðslu. Halli strandarinnar frá sjávarmáli getur því gefið ýmsar vísbendingar varðandi rof. Af Öxarfirði hefur verið gert nýtt og nákvæmt kort (Sjómælingar Íslands 1993), og á því kortblaði er einnig Skjálfandaflói (mynd 1). Sjókort af Héraðsflóa eru ekki nákvæm en til er kort í mælikvarða 1:100.000 af flóanum (mynd 2), en það er að stofni til byggt á mælingum með handlódum frá því um aldamót (Sjómælingar Íslands 1979, með síðari leiðréttingum).

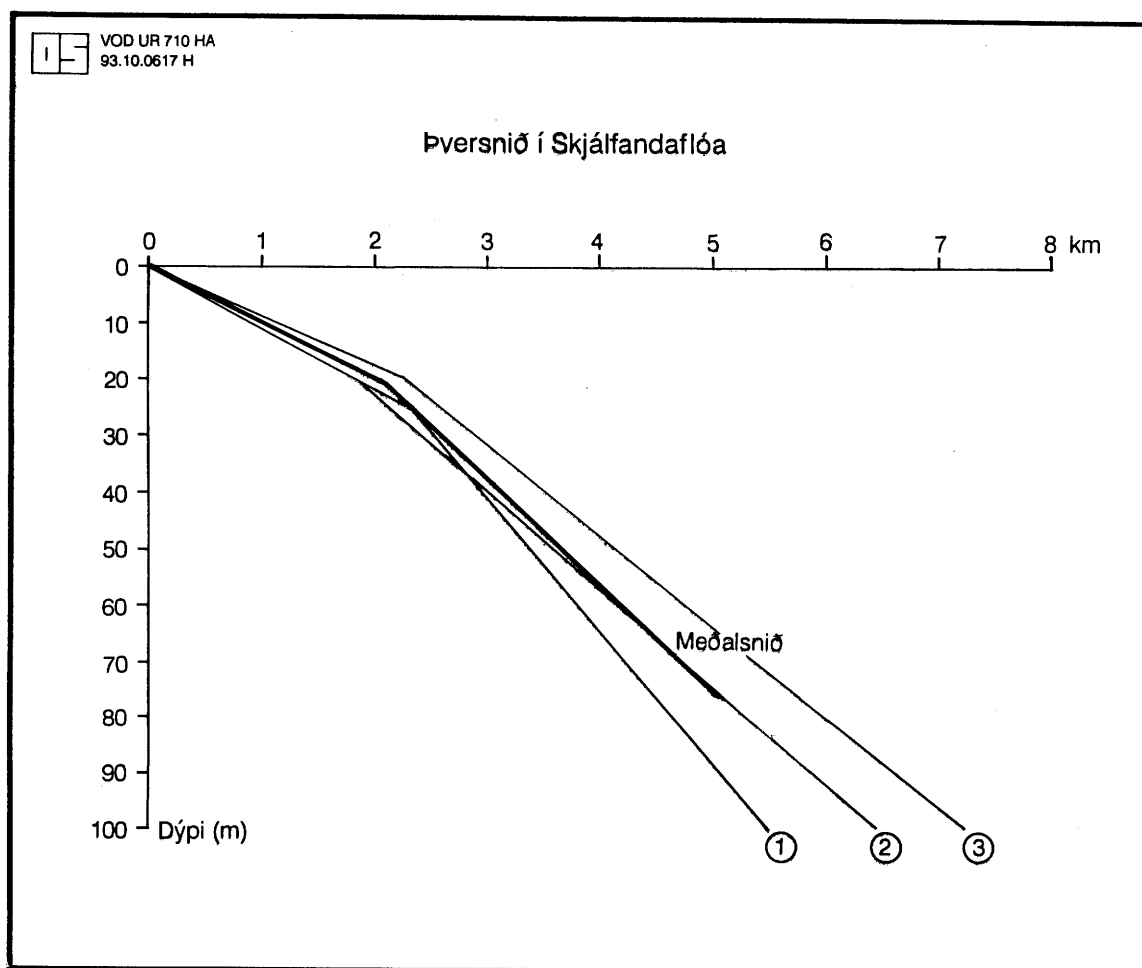


MYND 4: Fjögur strandsnið í Héraðsflóa. Staðsetning þeirra er sýnd á mynd 2.

Halli strandbotnsins er mun meiri bæði við Héraðsflóa og Öxarfjörð en í Skjálfandaflóa og við suðurströndina (myndir 3-6). Í Skjálfandaflóa er fjarlægð til 50 m dýptarlínu um 3.650 m, en við suðurströndina um 4.000 m að meðaltali. Samsvarandi fjarlægð í Héraðsflóa er um 3.000 m (1.600-3.500), og aðeins um 1.300 m (1.000-2.100) í Öxarfirði (myndir 3 og 4). Þar sem halli strandbotnsins sker botnhallann á 75-100 m dýpi er fjarlægð frá strönd um 4.000 m í Héraðsflóa og um 3.000 m í Öxarfirði. Samsvarandi dýpi við suðurströndina, vestan Vestmannaeyja, er um 60 m í um 6 km fjarlægð frá strönd. Meðalhali að 50 m dýpi er um 1:60 (1,67%) í Héraðsflóa og um 1:26 (3,85%) í Öxarfirði, samanborið við meðalhalla 1:73 (1,36%) í Skjálfanda og 1:80 (1,25%) við suðurströndina.

Í Öxarfirði snarhallar frá um 10 m dýpi niður á 75-100 m dýpi, nema rétt austan Bakka-hlaups, á bingu aurkeilunnar, en aftur á móti er hallinn mun jafnari í Héraðsflóa og einnig við suðurströndina. Kortin eru þó ónákvæmari þar. Þegar á heildina er litið er mismunur á halla strandbotns í Héraðsflóa og Öxarfirði auðsær. Neðan 80-100 m dýpis minnkar hallinn, og í Öxarfirði hallar nokkuð jafnt hvar sem er í flóanum út á um 200 m dýpi. Svipað er að segja um Héraðsflóa.

Strandbotninn er flatur niður á 10 m dýpi í Öxarfirði, og a.m.k. við ós Jökulsár á Dal í Héraðsflóa og austan hans, undan algengustu straumstefnunni.



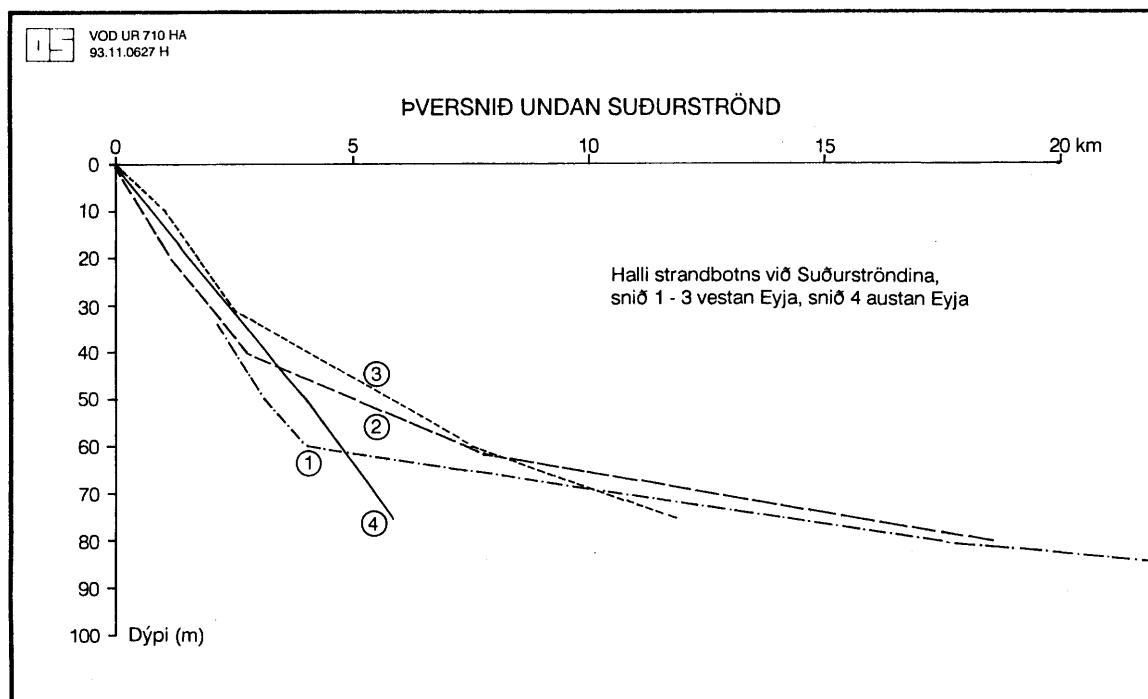
MYND 5: Þrjú strandsnið í Skjálfandaflóa, og meðalsnið. Staðsetning þeirra er á mynd 1.

Sá er munur á framburði í Öxarfirði og Héraðsflóa, að ekki er vitað til þess að stórhlaup komi í Jökulsá á Dal, einsog vitað er um í Jökulsá á Fjöllum, a.m.k. á tímaskala landmótunar. Talið er að frá því fyrir um 5000-6000 árum til u.þ.b. fyrir 2000 árum hafi komið nokkur hamfarahlaup í ána. Rennsli í flóðtoppi þess sem hefur skilið eftir sig læsileg ummmerki er talið hafi skipt hundruðum þúsunda m^3/s og hlaupið í heild ekki verið undir $10 km^3$ (Haukur Tómasson 1973, Kristján Sæmundsson 1973, Sigurvin Elfason 1977 og Guttormur Sigbjarnarson 1990). Síðan þá hafa nokkuð örugglega verið tíðar hlaupahrinur, líkt og á átjándu öld með stórhlaupum, þar sem þau mestu voru á borð við stærstu Skeiðarárhlaup (tugir þús. m^3/s í flóðtoppum). Þau tengdust líklega umbrotum í Kverkfjöllum (Sigurjón Páll Ísaksson 1985).

Boranir á sandinum austan Bakkahlaups sýna að víða er sandurinn blandaður fínni mól og malarlinsum (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1989). Halli strandar gæti bent til þess að slíkt grófkorna efni teji fyrir því að jafnvægi náist milli rofs og framburðar. Malarlinnur gætu leynst í Héraðsflóa, því að hlaup hafa einnig komið í Jökulsá á Dal, þótt ekki sé vitað um stórhlaup eins og í Jökulsá á Fjöllum.

1.5 Rofdýpi

Ef hámarksdýpi þar sem jökulaurframburður ($>0,06 mm$) losnar og flyst burtu er um 50-60 m við suðurströndina vestan Dyrhólaeyjar, má búast við að samsvarandi dýpi í Héraðsflóa sé um 50 m og um 40 m í Öxarfirði, í samræmi við mismun á mestu úhafstölu. Ef miðað er við útlit hallaþversniðanna og að mörk framburðar séu sett við 0,02 mm í stað 0,06 mm, virðist skynsamlegt að miða langtíma jafnvægisþversnið við u.þ.b. 100 m dýpi. Það tákna, að korn allt niður í 0,02 mm hafi áhrif á ströndina eins og hún er nú. Á 100 ára tímabili er þó líklegt að rof verði fyrst og fremst ofan 40-60 m dýpis.



MYND 6: Nokkur strandsnið á suðurströndinni. Snið nr 1-3 er vestan Vestmannaeyja, en snið 4 undan Skógasandi.

1.6 Sjávarstöðubreytingar

Áður en lengra er haldið með þessa jafnvægisútreikninga, verður að hafa í huga að breytt sjávarstaða hefur einnig áhrif. Per Bruun (1986) reiknaði áhrif af hækkun sjávar á suðurströndinni (3,5 mm/ári; er sennilega minni sbr. Páll Imsland (1992)). Í þeim reikningum tekur hann tillit til strandarinnar ofan fjöruborðs og gerir ráð fyrir að rofið hafi áhrif á 9.000 m breitt beltí (2.000 m á landi og 7.000 m á sjávarbotni). Af því efni sem flutt er fram fer hluti í að byggja upp land ofan fjöruborðs. Á 140 km strandlengju samsvarar 3,5 mm hækkun sjávarborðs því að árlega rofni um 4,5 milljónir (M) m^3 úr ströndinni, en það er svipað og viðkomandi jökukulár bera fram nú.

Engar upplýsingar eru til um langtímasjávarstöðubreytingar á Austur- og Norðurlandi. Ef engar aðrar breytingar eiga sér stað á sjávarstöðu í Héradssflóa og Öxarfirði en almenn hækkun sjávar, sem er um 2 mm á ári við N-Atlantshaf (Cees 1990), gæfi það tilefni til rofs sem svarar til 0,2 $M m^3$ í Héradssflóa og 0,1 $M m^3$ á ári í Öxarfirði. Hugsanlegt rof af þessum sökum er því minniháttar miðað við framburð af grófum aur (tafla 1), og í raun er ekkert vitað um slíka almenna hækkun sjávar við Norður- og Austurland.

Ef loftslagsbreytingar vegna gróðurhúsaáhrifa verða í líkingu við nýjustu spár, má búast við að sjávarborð hækki um 60-70 cm (lágmarks- og hámarksspár; 30-110 cm) vegna þenslu sjávar við upphitun og bráðnun íss fram til ársins 2100 (IPCC 1990). Áhrif þeirra á straumakerfi úthafanna gæti valdið um 35 cm hækkun sjávar til viðbótar við NV-Evrópu á næstu 50 árum (Mikolajewicz o.fl. 1990).

1.7 Breytingar á ströndinni frá 1945-1990

1.7.1 Breytingar á strönd Héradssflóa

Ekki er að sjá neinar marktækar breytingar á strönd Héradssflóa 1988 miðað við 1945. Á árabílinu 1945-1960 virðist ströndin hafa færst út um allt að 100 m á a.m.k. 5 km kafla, en sú breyting hefur gengið til baka (Skúli Víkingsson 1992). Hugsanlega má skýra breytinguna fyrir 1960 með hlýrri veðráttu á því tímabili, heldur en á síðara tímabilinu, og þar með meiri jöklaleysingu og meiri aurburði (Árni Snorrason 1983).

Aurkeila út af ósi Jökulsár á Dal er um 9 km breið og um 500 $M m^3$ að rúmmáli. Miðað við 3 $M m^3$ árlegan framburð tekur það um 170 ár að byggja upp slíka keilu. Hafa verður í huga að sjókort af Héradssflóa er mun ónákvæmara en sjókort af Öxarfirði, og sama gildir um mat á rúmmáli aurkeilunnar.

1.7.2 Breytingar á strönd Öxarfjarðar

Með samanburði á loftmyndum sem teknar voru árin 1945/46, 1960, 1976 og 1990 er sýnt að litlar breytingar hafa orðið á ströndinni fyrir botni Öxarfjarðar nema á kafla vestan núverandi óss Bakkahlaups. Þar hefur ströndin færst út um allt að 300 m. Að meðaltali um u.þ.b. 175 m á 5,5 km kafla (Skúli Víkingsson 1992).

Í Kröflueldum 1975-1980 urðu umtalsverðar breytingar á landslagi í Kelduhverfi. Mikið brot kom í landið frá Keldunesi norður um rétt austan við Bakka og út að strönd. Á loftmyndum frá 1976 sést stallur á strandlínunni og austan hans var ströndin um 30-50 m innar en vestan við stallinn. Samskonar brot varð austar í Kelduhverfi frá Veggjarenda við Lyngás norður um, en það virtist deyja út rétt norðaustan við Skóga á Austursandi. Um 5 km breið spilda milli þessara

tveggja brotstykkja seig 1-2 m en sitt hvoru megin spildunnar hækkaði land um 0,5-1 m (Oddur Sigurðsson 1980).

Ós Bakkahlaups hnegist til að færast vestur að jafnaði undan norðaustanáttinni sem er ríkjandi þarna. Árið 1975 var ósinn kominn 2 km vestur með ströndinni frá þeim stað sem liggur beint við farvegi Bakkahlaups og hafði byggt þar upp myndarlegt rif út í sjóinn eins og jafnan verður við ósinn. Við umbrotin 1975-1976 hljóp áin norður eftir landsiginu fyrir austan Bakka. Til að fá ána í sinn gamla farveg var ráðist í að grafa út ósinn og stytta þannig farveginn um 2 km í von um að ánni tækist að grafa út farveg sinn. Þetta tókst og hefur áin haldið sig að mestu í þessum farvegi þótt hún hljóti fyrr eða síðar að fara í landsigið og fylla það upp. Eftir sat þetta myndarlega rif þar sem ósinn var áður, en straumar við ströndina hafa ekki náð að jafna það út.

Jökulsá á Fjöllum rann fyrrum í farvegi Stórár til sjávar. Árið 1902 breytti hún farvegi sín-um og myndaði Bakkahlaup. Þá hefur áin byrjað að mynda granda eða rif við ósinn. Árið 1885 varð sig á vestanverðum söndunum, mest um 2 m, í tengslum við mikla jarðskjálfta (Sigurvin Elfásson 1976). Líklega hefur þá myndast bugur sá er kemur fram á loftmyndum frá 1945, og áin hefur verið að fylla síðan. Miðað við samanburð á loftmyndum af Öxarfirði frá 1945 og 1990 hefur ströndin vestan óss Bakkahlaups færst út um 175 m að jafnaði á um 5,5 km kafla. Ströndin hefur færst innar um 30-50 m frá fyrrnefndu broti um 2 km austan við ós Bakkahlaups eins og fyrr segir og a.m.k. að Skógalónsósi. Enga breytingu er að sjá við Araós, en ströndin virðist hafa færst innar a.m.k. álfka mikið enn austar (Skúli Víkingsson 1992). Eftir nákvæman samanburð loftmynda var komist að þeirri niðurstöðu að skekkjumörk í þeim séu um 50 m, sem helgast af því hve fáa punkta er hægt að hnitsetja á svona landi.

Út af Bakkahlaupsósi til austurs gengur fram aurkeila sem hefur mun meira aflíðandi þversnið en botnsniðin beggja megin (mynd 7). Að öllum líkindum hefur verið samsvarandi keila út af gamla ósnum, þar sem Árnaneslón er nú. Hún hefur nú jafnast út, flust til og samlagast núverandi keilu. Aurinn í keilunni, sem er um 7 km breið, er gróflega áætlaður um 300 M m^3 . Miðað við að til strandar berist um 4 M m^3 efnis á ári tekur það 75 ár að byggja upp slíka keilu.

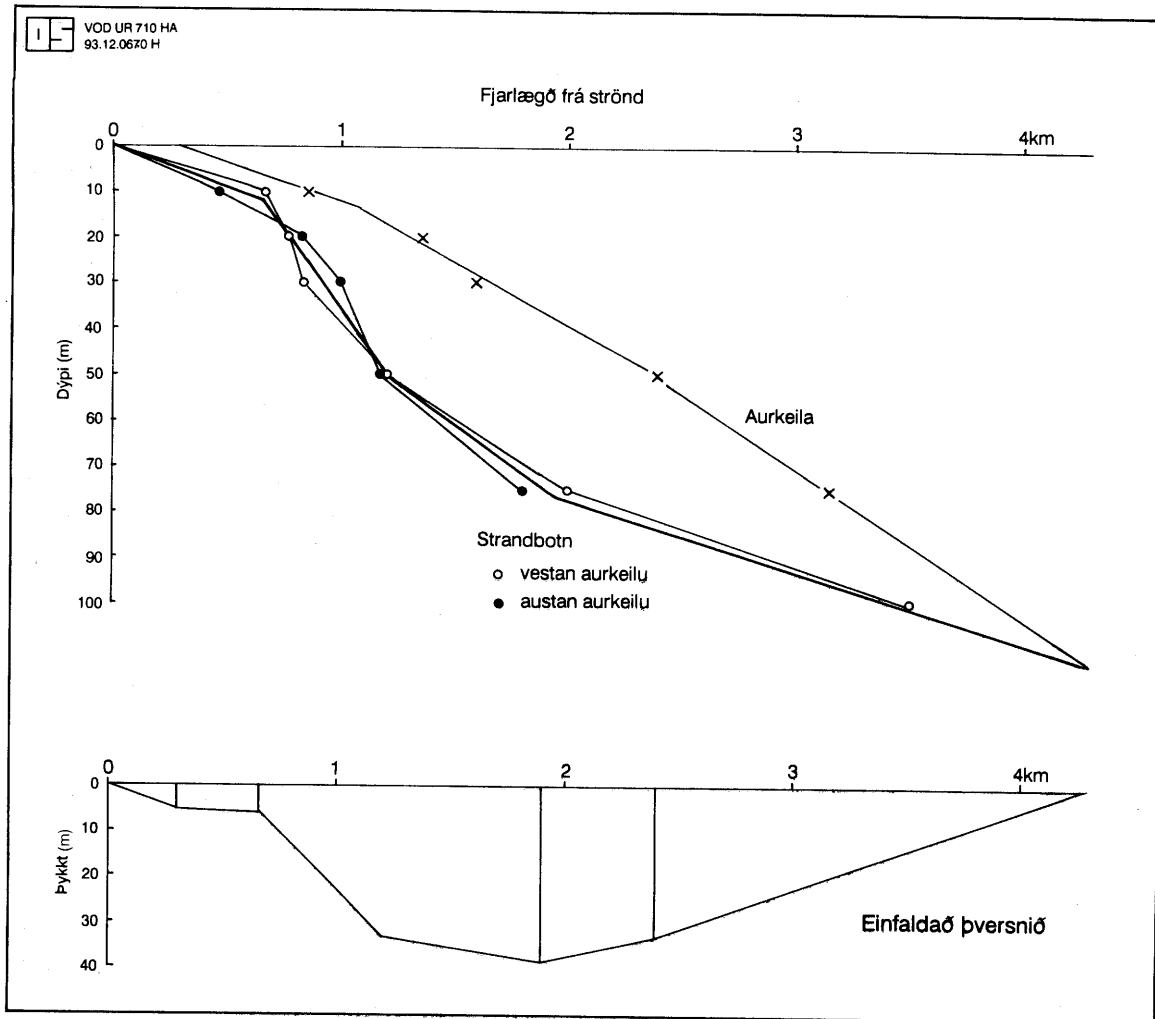
Bugurinn vestan Bakkahlaups, sá er áður er nefndur, kemur fram á loftmyndum frá 1945 og kortum sem á þeim eru byggð, svo sem strandlínunni á umræddu sjókorti Sjósmælinga Íslands (1993). Samkvæmt loftmyndum frá 1990 er þessi bugur fylltur að nokkru leyti. Gera má ráð fyrir að það efni hafi komið úr framburði árinna og aurkeilunni, en ekki verður sagt hvort skiptir meira máli. Það virðist því ekki fýsilegt að reyna að nota þær landbreytingar til vísbendingar um upphleðslu efnis.

Sem fyrr segir hafa orðið svolitlar breytingar austan Bakkahlaups, vegna sigs við Skógalón og líklega rofs austast á sandinum. Vegna landbreytingana er talið að það rof sem þarna er sé vegna flutnings efnis eftir ströndinni, en á sandströndum fyllir fljótt í ójöfnur. Þessar breytingar geta því ekki heldur talist vitnisburður um rof strandarinnar í þeim skilningi sem hér ræðir, þ.e. flutning efnis út fyrir jafnvægisdýptarmörk.

Ekkert af þeim breytingum sem sjá má á loftmyndunum virðist því henta til að áætla rof á sandinum, en jarðsögulegar rannsóknir virðast geta komið að gagni.

Samkvæmt jarðlagasniðum, sem Sigurvin Elfásson (1977) hefur rannsakað finnast öskulög frá því fyrir 4600 árum (H-4) og 2900 árum (H-3) ofan á aurkeilunni í um 6 km fjarlægð frá strönd, og H-3 finnst í sniðum í um 3 km fjarlægð frá strönd. Í sjávarseti á 70-100 m dýpi, sem kom upp við boranir við ströndina utan við Skógarlón, aldursgreindi Árný Sveinbjörnsdóttir skel og reyndist hún vera um 3000 ára gömul (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1989). Ef gert er ráð

fyrir að halli strandbotns hafi þá verið svipaður og nú, hefði ströndin átt að vera 2-2,5 km innar en nú fyrir um 3000 árum. Samkvæmt þessum gögnum ætti ströndin að hafa færst út um að jafnaði 0,6-0,8 m á ári á seinustu 3000 árum.



MYND 7: Þversnið í gegnum bingu aurkeilu Jökulsár á Fjöllum.

HELSTU NIÐURSTÖÐUR ÚR KÖFLUM 1.2 - 1.7:

- 1 a) Til strandar í Héraðsflóa berast nú $3,0 M m^3$ /ári af grófum aur ($>0,02 mm$). Fyrir þann framburð tekur alveg eftir virkjun Jökulsár á Dal.
- 1 b) Til strandar í Öxarfirði berast nú $4,1 M m^3$ af grófum aur. Án sérstakra aðgerða félli hann út í miðlunarlóni virkjunar í Jökulsá á Fjöllum. Með ýmsum aðgerðum til varnar inn-taksmannvirkjum, og framhjárennsli fyrir Dettifoss, er áætlað að um $1,4 M m^3$ /ári af gróf-asta aurnum muni áfram skila sér til sjávar, en um $2,7 M m^3$ /ári verði eftir í lóni.
- 1 c) Gert er ráð fyrir að til þessa hafi framburður jafnast yfir strandbotn niður á um 80 m dýpi í báðum tilfellum, en það svarar til um 4.000 m breiðs strandbotns í Héraðsflóa og um

3.000 m í Öxarfirði.

- 2 a) Roföfl eru talin sambærileg við Héraðsflóa og suðurströndina vestan Dyrhólaeyjar, og heldur öflugri en í Öxarfirði.
- 2 b) Halli strandbotns eftir að tekur fyrir framburð til Héraðsflóa er því talin verða svipaður og er nú við suðurströndina (er 1:60, verður 1:80). Í Öxarfirði er talið að hallinn leiti í svipað horf og er í Skjálfaflóa (er 1:26, verður 1:73).
- 2 c) Rofdýpi er talið verða um 50 m í Héraðsflóa og um 40 m í Öxarfirði.
- 3 a) Á síðustu 40 árum hefur strönd Héraðsflóa verið í jafnvægi, þ.e. þar hefur ríkt jafnvægi milli rofs og upphleðslu.
- 3 b) Samanburður loftmynda og sjókort benda til þess að upphleðsla strandar í Öxarfirði sé umtalsverð. Jarðsöguleg gögn benda til að hún hafi færst út um 0,6-0,8 m/ári seinustu 3000 árin.

1.8 Líklegar breytingar eftir virkjun

1.8.1 Virkjun Jökulsár á Dal

Litlar breytingar hafa átt sér stað á strandlengju Héraðsflóa frá 1945 til 1990. Þetta bendir til þess að á þessu tímabili jafngildi rof framburði árinna af grófara korni ($>0,02$ mm). Ef tekið er fyrir framburðinn má því búast við að rofið verði jafnt núverandi framburði Jökulsár á Dal. Gert er ráð fyrir að allur grófari aur Jökulsár í Fljótsdal setjist til í Lagarflióti, og hafi því enga þýðingu í þessu tilliti.

Til þess að áætla hve mikið rofnar af efni í Héraðsflóa og flyst út fyrir jafnvægisdýptarmörk, má reikna hve þykkt lag legðist yfir strandbotninn miðað við að efnið ($3,0$ M m³/ári) dreifist jafnt. Á 25 km löngu strandsniði niður á um 80 m dýpi eru 4 km neðan sjávarborðs.

$$3.000 * 10^3 \text{ m}^3 : (4.000 \text{ m} * 25.000 \text{ m}) = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}.$$

Ef tekið er fyrir framburð, þynnist sandurinn um jafngildi þessa eða um 3 cm á ári, þ.e. ef hann þyntist jafnt niður á 80 m dýpi.

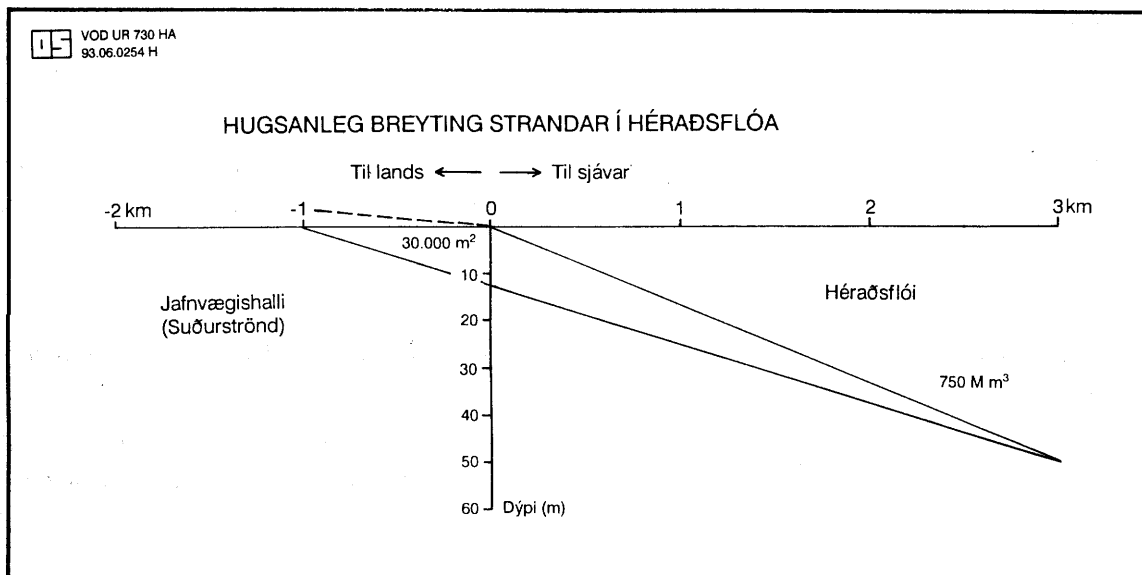
Þegar sandurinn tekur að rofna leitar strandbotninn að nýju jafnvægi með nýjum halla og nýju jafnvægisdýpi, sem fyrr segir.

Fyrir neðan jafnvægisdýptarlínu safnast það sem rofnar ofan hennar, og í besta falli nægðu roföflin sem ná strandbeltinu milli 50 og 80 m dýpis á Héraðsflóa til að flytja það efni enn utar. Í breytingum á strandlínu samsvarar það því, að ströndin færðist inn um u.þ.b. 2,4 m á ári.

$$3.000 * 10^3 \text{ m}^3 : (25.000 \text{ m} * 50 \text{ m}) = 2,4 \text{ m/ári}$$

Í byrjun einkennist rofið af því að ströndin leitar að nýju jafnvægi (mynd 7). Ef gert er ráð fyrir því að $3,0$ M m³ af aur rofni árlega tekur það um 250 ár (750 M m³:($3,0$ M m³/ári)) að ná nýju jafnvægi með ströndinni 1 km innar en nú (mynd 8). Það svarar til þess að rofið verði um 4 m á ári eða 400 m á 100 árum.

Búast má við að rofið verði mest næst fjöruborði í byrjun og þá heldur hraðar en 4 m á ári, en eftir að jafnvægi er náð hægir á rofinu, og það verður þá samkvæmt útreikningum hér að framan um 2,4 m á ári.



MYND 8: Hugsanleg breyting strandar í Héraðsflóa eftir að tekur fyrir aurburð. Núverandi halli strandbotns og væntanlegur eru látnir skerast á 50 m jafnvægisdýpi. Tölurnar inn á myndinni tákna annars vegar flatarmál í þversniði þess sem rofnar (30.000 m²), og hins vegar margfeldi þess og lengd (25 km) strandarinnar (750 M m³).

1.8.2 Virkjun Jökulsár á Fjöllum

Í Öxarfirði er samspil rofs og upphleðslu flóknara. Þó er ljóst að upphleðsla er þó nokkur eins og halli strandbotns og stór aurkeilla út frá ósi Bakkahlaups benda til. Rofi og upphleðsla er ójafnt skipt á sandinn, og fer það aðallega eftir því hvar Jökulsá rennur til sjávar á hverjum tíma. Til lengdar jafnast það þó á ströndina.

Tvær aðferðir hafa verið notaðar til að meta samspil rofs og upphleðslu í Öxarfirði. Sú fyrri byggist á breytingum á strandlínnum á seinustu áratugum, og sú síðari á breytingum sem hægt er að lesa úr jarðsögulegum gögnum. Í báðum tilfellum er gert ráð fyrir framburði eins og hann hefur mælst á seinustu áratugum.

Samanburður á loftmyndum gaf enga niðurstöðu varðandi rofmátt úthafsöldunnar í Öxarfirði. Með þeim aðgerðum sem búist er við að grípa þurfi til til þess að skola út botnskriði við inntak í Arnardalslón, og tryggja tiltekið lágmarksrennsli á Dettifoss, er áætlað að um 1,4 M m³ af grófasta hluta aursins muni skila sér til sjávar eftir virkjun (kafli 1.2, tafla 2).

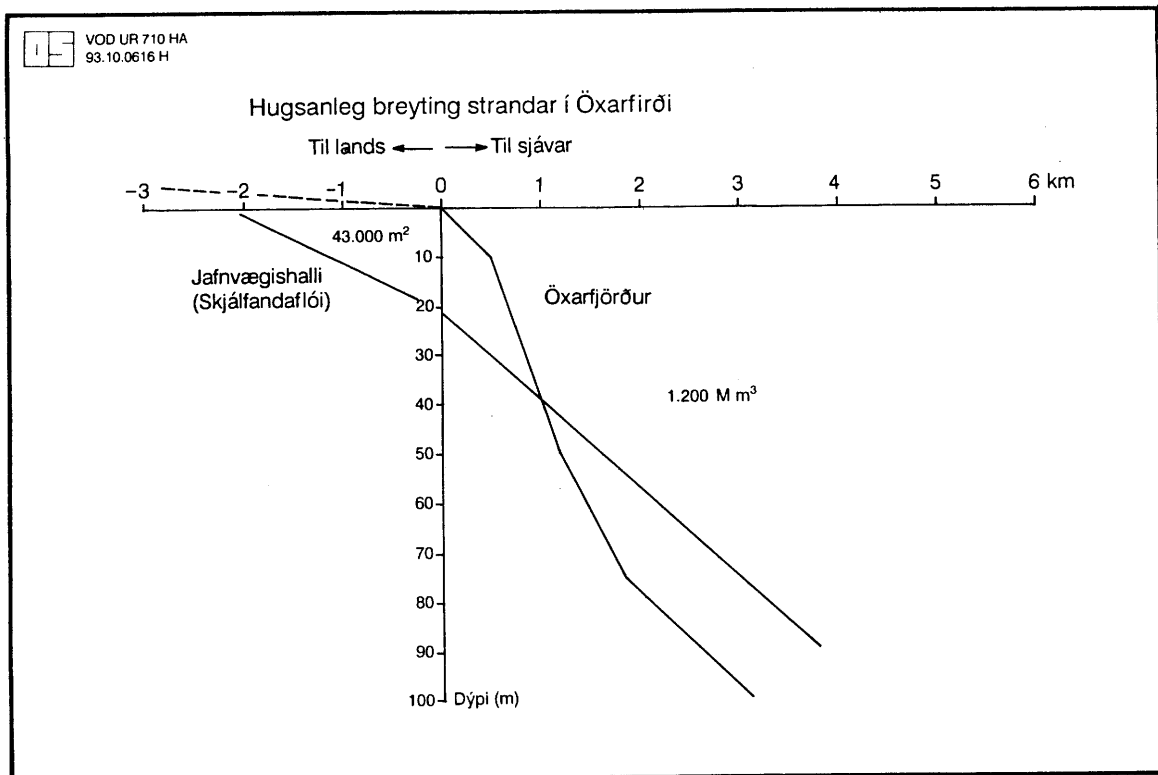
Ekki er talið líklegt að ströndin rofni jafnt niður á núverandi jafnvægisdýpi, heldur muni myndast nýr strandhalli og nýtt jafnvægisdýpi á 40 m eins og fyrr segir. Óhætt er að gera ráð fyrir að jafnvægishalli stefni í það sama í Öxarfirði og í Skjálfanda, þ.e. 1:75.

Samkvæmt hinum jarðsögulegu gögnum gæti ströndin hafa færst út um (0,6-0,8) m/ári að jafnaði á seinustu 3000 árum (kafli 1.7.2). Það svarar til þess að um 1,6 M m³/ári hafi farið til upphleðslu strandarinnar niður á 80 m dýpi.

$$28.000 \text{ m} * 80 \text{ m} * 0,7 \text{ m} = 1.570.000 \text{ m}^3/\text{ári.}$$

Ef þetta gildi sem mat á upphleðslu strandar um þessar mundir, væri rofið $2,5 \text{ M m}^3/\text{ári}$ ($4,1 - 1,6$). Ef rofkraftur öldu á Héraðsflóa samsvarar rofi $3 \text{ M m}^3/\text{ári}$ miðað við 25 km strandlengju og um 5% meiri ölduhæð í 10 og 100 ára öldu (tafla 3), er ekki ólíklegt að rofkraftur öldu í Öxarfirði á 28 km strandlengju sé svipaður eða heldur minni en í Héraðsflóa. Ef tekið er tillit til grófkornóttara efnis í Öxarfirði ætti rofið að vera minna en í Héraðsflóa.

Ef gert er ráð fyrir að árlegt rof sé $2,5 \text{ M m}^3$ og að um $1,4 \text{ M m}^3/\text{ári}$ skili sér á móti því eftir virkjun, verður árlegt rof $1,1 \text{ M m}^3/\text{ári}$. Þá tæki það ströndina um 1000 ár að færast inn um 2 km ($1.200 \text{ M m}^3 : (1,1 \text{ M m}^3/\text{ári})$), eða $2,0 \text{ m}$ á ári (mynd 9).



MYND 9: Hugsanleg breyting strandar í Öxarfirði eftir að aurburður hefur verið minnkaður um meira en helming. Núverandi halli strandbotns og væntanlegur eru látnir skerast á 40 m jafnvægisdýpi. Um skýringu á tölum inn á myndinni vísast í texta myndar 8.

1.9 Dæmi um rof

Jökulsá á Breiðamerkursandi er dæmi um á sem hætti skyndilega að bera gróft efni til strandar. Eftir að Jökulsárlón myndaðist á 3 . áratugnum fór efnið að falla út í lóni í staðinn. Rof strandarinnar, þar sem það er mest, hefur frá aldamótum verið um 700 m , eða um 8 m á ári að meðaltali (Helgi Jóhannesson 1992). Rofsvæðið er bunga um 8 km löng þannig að meðalrof fyrir svæðið í heild er um 4 m á ári. Ef þessu rofi væri jafnað á 25 km strandlengju yrði það aðeins $1,3 \text{ m}$ á ári, sem er svipað og gert er ráð fyrir að verði í Öxarfirði. Rofdýpið á Breiðamerkursandi er innan við 20 m , og efnið gróft.

1.10 Niðurstöður

Eins og fram kemur í inngangi er hér um fremur lauslega úttekt á framburði og strandrofi í Héraðsflóa og Öxarfirði að ræða, sem byggðist að miklu leyti á athugun á því hve langt mætti komast á grundvelli fyrirbyggjandi gagna. Gróft mat gefur til kynna að rof á Héraðssandi gæti orðið um 4 m á ári að jafnaði, en hraðara í fyrstu, eða þar til minnkun halla strandbotns hægir á rofinu.

Meiri halli strandar í Öxarfirði en í Héraðsflóa og mikil aurkeila bendir til þess að ströndin sé heldur á útleið í heild, og að rof sé því nú talsvert minna en sem nemur framburði Jökulsár á Fjöllum. Gróft mat á rofi í Öxarfirði gefur til kynna að það geti orðið um 2,5 m á ári. Ágætt samræmi er á milli mats á rofi í Öxarfirði og í Héraðsflóa, þótt ólíkum aðferðum sé beitt. Þar sem sandurinn í Öxarfirði er nokkuð örugglega grófari en í Héraðsflóa sem m.a. endurspeglast í því að botnsniðið er bratt (sbr. dæmi frá Breiðamerkursandi), er ekki ástæða til að ætla að það verði sérstaklega hratt í fyrstu.

Að teknu tilliti til vitneskju um stórflóð í Jökulsá á Fjöllum og malar í sandinum virðist eðlilegt að gera ráð fyrir að gróft efni tefji rofið og að fyrir muni draga úr hraða þess en í Héraðsflóa.

Vafalaust má nálgast áreiðanlegri tölur með starlegum rannsóknum; leit að öskulögum til aldursgreiningar nær ströndu í Öxarfirði en núverandi rannsóknir ná, og einnig á Héraðssandi, mælingum á botnskríði á láglandi, nákvæmari athugun á því hvaða kornastærðir skipta máli, þ.e. kornastærðardreifingu strandefnis með dýpi, og við hvaða rofdýpi eigi að miða, svo nokkur atriði séu nefnd. Fara verður varlega, því að kostnaður við nákvæmar rannsóknir gæti orðið mjög mikill, og því er vert að greina vandamálið náð frá ýmsum hliðum áður. Mikilvægast er að nálgast stærðargráðu hugsanlegra breytinga og ræða síðan hvort hún sé ásættanleg miðað við aðra hagsmuni í húfi.

Samkvæmt þeim útreikningum, sem hér er beitt, og með því að gera ráð fyrir að fyrstu áhrif séu þau að nýtt jafnvægisnið myndist, tæki það strönd Héraðsflóa um 250 ár að hopa 1 km. Rofið mun verða hraðast fyrst, en fljótlega hægir á því á meðan aldan kemur efninu það langt út, að það sé ekki sífellt að berast upp að ströndinni og meðfram henni.

Samsvarandi tæki það um 1000 ár að rjúfa strönd Öxarfjarðar inn að jafnvægislínu í um 2 km fjarlægð frá strönd.

Eins og getur um í inngangi sýnist rétt að miða breytingar við afmarkaðan tíma, sem væri í samræmi við endingartíma virkjananna. Þannig væri 100 ár hæfilegur tími til viðmiðunar. Ef gert er ráð fyrir að sjálft strandrofið verði örst fyrst, einkum í Héraðsflóa, er ekki fjarri lagi að á þeim hundrað árum sem virkjanirnar eru í rekstri gangi ströndin inn um 500-600 m á Héraðssandi og um 200 m í Öxarfirði.

Auk þess verður að gera ráð fyrir að sjálf fjaran og þeir sandgarðar, sem brimið hleður upp og eru í tiltekinni fjarlægð frá núverandi strönd færast inn, en um það er nánar fjallað í næsta kafla.

Ef spár um loftslagsbreytingar og afleiðingar af þeim fyrir sjávarstöðubreytingar ganga eftir má búast við 1 m eða meiri hækkun sjávar á næstu 100 árum. Þar sem þær breytingar yrðu samtímis auknu rofi vegna breytts jafnvægis rofs og upphleðslu er ekki talið að þær muni skipta máli. Sjávarstöðuhækkun veldur út af fyrir sig ekki auknum rofmætti, heldur hliðrun rofsins um 1 m á 40-50 m djúpu strandbotnsbelti.

Vísvitandi hefur verið gert ráð fyrir forsendum sem eru líklegri til að ofmeta rofið en hið gagnstæða. Nefna má nokkur atriði:

- Þótt straumhraði sé það mikill á sýnatökustöðum í ánum, að botnskrið sé þar hverfandi, er næsta víst að niður á láglandi þar sem verulega hefur hægt á straumhraðanum, muni hluti af framburði ánnna falla út í farveginum og hlaða hann upp. Því berist í raun nokkru minna efni til strandar en hér er áætlað og þannig hafi rof verið ofmetið.
- Líklegar almennar sjávarstöðubreytingar við N-Atlantshaf ættu að eiga sinn þátt í rofi nú, en þeirra þætti er sleppt, en þær gætu hafa vegið um 5-10% í Héraðsflóa, en minna í Öxarfirði.
- Á móti hinu síðasttalda vegur, að ekki er gert ráð fyrir auknu rofi vegna hugsanlegrar 1 m sjávarstöðuhækkunar á næstu 100 árum af völdum aukinna gróðurhúsaáhrifa á veðurfar.
- Undan ósum beggja ánnna eru miklar aurkeilur. Innan nýrra jafnvægisdýptarmarka eftir að framburður hættir að berast til strandar eru um og yfir 100 M m³ sands, sem tæki um 40 á að jafna út.

Þannig þykir líklegt að 500-600 m rof í Héraðsflóa og um 200 m rof í Öxarfirði, sé hámark þess sem búast má við á næstu 100 árum.

2. Sandstrendur Öxarfjarðar og Héraðsflóa

Strönd Öxarfjarðar frá og með Lóni í Kelduhverfi að ósum Brunnár er á Náttúruminjaskrá Náttúruverndarráðs (1991). Innan hennar eru auk Lóns, vötnin Víkingavatn, Árnaneslón, Skógalón og Skjálftavatn, sem myndaðist við umbrotin 1975-'76, auk annars votlendis og svæða upp með Stóra og Litlá. Strönd Héraðsflóa milli Lagarfjós og Selfjóts með bökkum þess, sem og Hjaltastadabla eru einnig á Náttúruminjaskrá.

Á Náttúruminjaskrá eru náttúrufarsleg fyrirbæri, einstakir staðir eða svæði, sem Náttúruverndarráð vill kanna betur með friðlýsingu í huga. Oft skortir á að fullnægjandi rannsóknir hafi farið fram til að lýsa nákvæmlega markmiði með væntanlegri ósk um friðlýsingu, eða til nákvæmrar afmörkunar á minjunum. Líklegt má telja að við gildistöku laga og reglugerða varðandi umhverfismat, muni óskir NVR um friðlýsingar framvegis verða meðhöndlaðar í svæðis-skipulagi líkt og aðrar hugmyndir eða óskir um landnýtingu.

Tilvist þessara svæða á Náttúruminjaskrá má rekja til starfa undirnefndar NVR um náttúruminjaskráningu. Sumarið 1974 var á hennar vegum aflað gagna um votlendi á landinu, og þau ásamt öðrum tiltækum gögnum og heimildum notuð til að gera "Skrá um votlendi", sem birt er án höfundar í Votlendi, riti Landverndar Nr. 4 (1975).

Þar segir m.a. "Leitast hefur verið við að skrá hér:

1. Þau votlendi sem hafa mesta þýðingu fyrir fuglalíf.
2. Votlendi sem eru óvenjuleg að gróðurfari eða lífríki, og votlendi sem eru einu fundarstaðir eða aðalstöðvar sjaldgæfra tegunda.
3. Votlendi sem eru dæmigerð fyrir ákveðnar gerðir, sérstaklega þau sem eru í verulegri hættu.

4. Votlendi sem hafa gildi vegna nágrennis við þéttbýli."

Í votlendisskránni er eftirfarandi lýsing á svæðunum og helstu rök fyrir skráningu þeirra gefin:

KELDUHVERFI-ÖXARFJÖRÐUR

1. Votlendi á svæðinu frá Lónslóni í Kelduhverfi að Araósi í Öxarfirði, N.-Þing. Alls um 25 km².
2. a) Lónslón og mýrarspilda austan þess, Kelduneshr. Um 7 km².
b) VÍkingavatn (um 2 km²) og mýrar kringum það, einkum að austanverðu. Um 7 km².
c) Árnaneslón og votlendi við Árnanes; Stórá og Litlá með bökkum. Um 7 km².
d) Lónengi, Staðarlón, Araós og nálægar mýrar, Skógakvíl. Um 6 km².
3. Sjávarlón og gróðurmikil grunn vötn. Miklar starengrjar (gulstör og mýrastör) með skjum og keldum í gömlum árfarvegum.
4. Mjög mikið verpur af öndum (sennilega alls um 1500-2000 pör) og vaðfuglum á svæðinu. Af öndum ber mest á skúfönd, rauðhöfðaönd, urtönd og stökkönd. Einnig margar aðrar tegundir, m.a. hrafnsönd (um 50 pör), skeiðönd (sennilega nokkrir tugir) og gulönd. Við Lón er stórt æðarvarp. Um 4000 grágæsir í sárum síðari hluta sumars. Af vaðfuglum ber mest á óðinshana, lóupræl, spóa og stelk.
5. Landslagsverndun er æskileg, enda þótt framræsla virðist fremur ólíkleg vegna þess hve landið liggur lágt og sandfokshætta er mikil. Nauðsynlegt er einnig að kanna áhrif minks og leiðir til úrbóta.

HJALTASTAÐABLÁ

1. Hjaltastaðablá og Eiðadokk í Hjaltastaðahr. á Fljótsdalséraði, N.-Múl. Alls um 27 km².
2. a) Flóar og tjarnir meðfram Selfjóti að vestan, frá Ósum um Miklavatn suður undir Bóndastaði, svo og spildan austan Selfjóts.
b) Eiðadokk austan Lagarfjótsóss móts við Seleyri.
3. Hjaltastaðablá er að mestu marflatir og mjög blautir flóar með keldum og tjörnum. Ríkjandi tegundir eru vetrarkvíðastör og klófffa (brok), og ljósastör í keldum, en fjölmargar mýrlendisplöntur finnast, m.a. hin sjaldgæfa fölvastör (*Carex livida*) í talsverðu magni og keldustör (*Carex magellanica*) finnst á blettum.
Norðan og austan Gagnstöðvar skiptast á tjarnir girtar ljósastör, mýrarsund með mýrastör og vetrarkvíðastör og þurrlendisrimar með runngróðri og lyngi.
Í Eiðadokk eru víðáttumikil og sendin gulstararengi með tjörnum.
4. Á öllu þessu svæði er mikið af öndum og vaðfuglum. Af öndum ber einna mest á urtönd, grafönd og hávellu. Flórgoði verpur við tjarnir í blánni, og óvenjumikið er af lóm, einkum í Eiðadokk. Af vaðfuglum er mest af óðinshana, lóupræl, spóa og stelk, en jaðrakan er að byrja að nema land.
5. Svæðið er þýðingarmikið bæði vegna sérstæðs og fjölbreytilegs gróðurfars mýrlenda og sem varpstöðvar. Framræsla virðist tilgangslaus í Hjaltastaðablá og væri athugandi að setja flóðlokur í þá skurði sem þegar eru þar. Meðal annars er skurður austan Gagnstöðvar í Selfjót til tjóns, þar eð vatnsborð hefur lækkað skaðlega í tjörnum á því svæði. Loks

má benda á að votlendisræman næst Héraðssandi er viðkvæmt svæði vegna gróðurverndar og er vafasamt að lækka grunnvatnsborð slíkra svæða. Til álita kemur að friða á sama máta votlendi í Húsey og vestan Jökulsár á Dal, en það svæði er sennilega ekki eins mikilvægt og einstætt og Hjaltastaðablá.

Virkjun Jökulsárna, sem renna til sjávar á þessum söndum, gæti hugsanlega ógnað að einhverju leyti markmiðum Náttúruverndarráðs með náttúruvinnjaskráningu þessarra votlendis-svæða. Sú ógnun stafar af hættu á rofi sandanna eftir að aurframburður ána yrði stemmdur í miðlunarlónum inni í landi. Á 100 ára tímabili er líklegt að rof vegna virkjunar ána verði um 200 m í Öxarfirði og 500-600 m á Héraðssandi. Allt að 200 m fara undir nýja fjöru myndun innan nýju strandarinnar, þ.e. fjörukambur með sandi og mölum (mynd 10).

Þá er spurningin hvað er innan 400 m frá strönd Öxarfjarðar og 800 m frá strönd Héraðsflóa.

Á Héraðssandi er ekki annað að sjá af loftmyndum en að auðn sjávarsands nái a.m.k. 1 km til lands, hvar sem á ströndina er litið (sjá mynd 11). Samkvæmt athugun sem gerð var á svæði því sem er á Náttúruvinnjaskrá 1985-'87, er ekki annað að sjá en að allt votlendi og mestallt gróðurlendi á söndunum sé a.m.k. 2-3 km frá ströndu. Hið sama á einnig við um það fuglalíf, sem ætlað er að verja með þeirri friðlýsingu sem Náttúruverndarráð stefnir að (Háldán Björnsson og Skarphéðinn Þórisson 1988). Með tímanum munu ósar Jökulsár á Dal og Lagarflióts skiljast að.

Um helmingur af Lóni í Kelduhverfi er vaðall og engar líkur á að rof hafi áhrif á hið eiginlega lón, og mun rífið að líkindum flýttast inn eftir því sem ströndin rofnar (sjá mynd 10). Frá Víkingavatni eru um 1 km til strandar, og mun rífið því ekki hafa áhrif á það. Svipuð fjarlægð eða meiri er milli strandar og þess gróðurlendis sem telst til votlendis, samkvæmt lauslegu gróðurkortum af svæðinu frá Lóni og lítið eitt austur fyrir Stórá, gert af breskum háskólaleiðangri 1973 (Mark Wilson 1974). Tæpur km er að Árnaneslóni, og það er því ekki í neinni bráðri hættu. Skógalón mun minnka, og votlendi við Staðarlón og Araós skerðast, en önnur votlendi á þeim slóðum, svo sem Lónengi og við Skógakfl yrðu ekki fyrir áhrifum. Sama gildir um Skjálftavatn, sem er um 4 km frá ströndu.

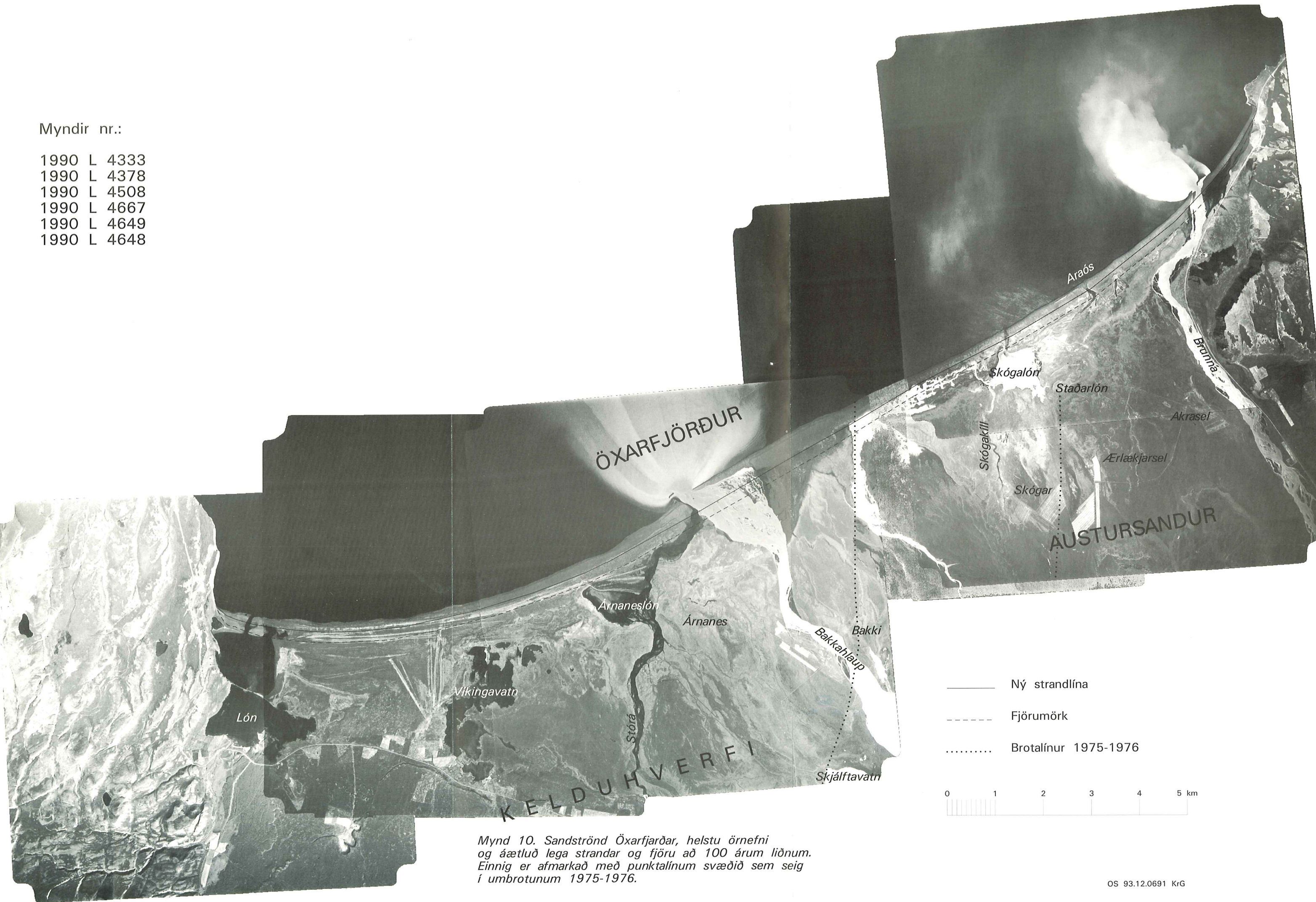
Jökulsá á Fjöllum rann fyrrum í farvegi Stórá til sjávar. Árið 1902 breytti hún farvegi sínum og myndaði Bakkahlaup, og þar rennur meiri hluti árinna til sjávar nú, en hluti hennar um farveg Brunnár (Sandár). Við umbrotin 1975-'76 seig um 5 km breið spilda austan við Bakkahlaup. Um þessa lögð hefur hluti Jökulsár runnið á sumrin síðan 1976. Láglandið í Öxarfirði er aurkeila Jökulsár á Fjöllum. Þar eru því örari náttúrulegar breytingar en víðast hvar annars staðar við strendur landsins. Allar líkur eru á því að með tíð og tíma muni Jökulsá leita í meira mæli en hingað til í þessa lögð á leið sinni til sjávar, þ.e. í Skógalón og um Araós, fylla hana, og spilla landi við Skóga og öllu því votlendi, sem talið er hafa verndargildi austan Bakkahlaups.

MYND 10: Loftmynd af strandsvæði Öxarfjarðar. Sjá síðu 25.

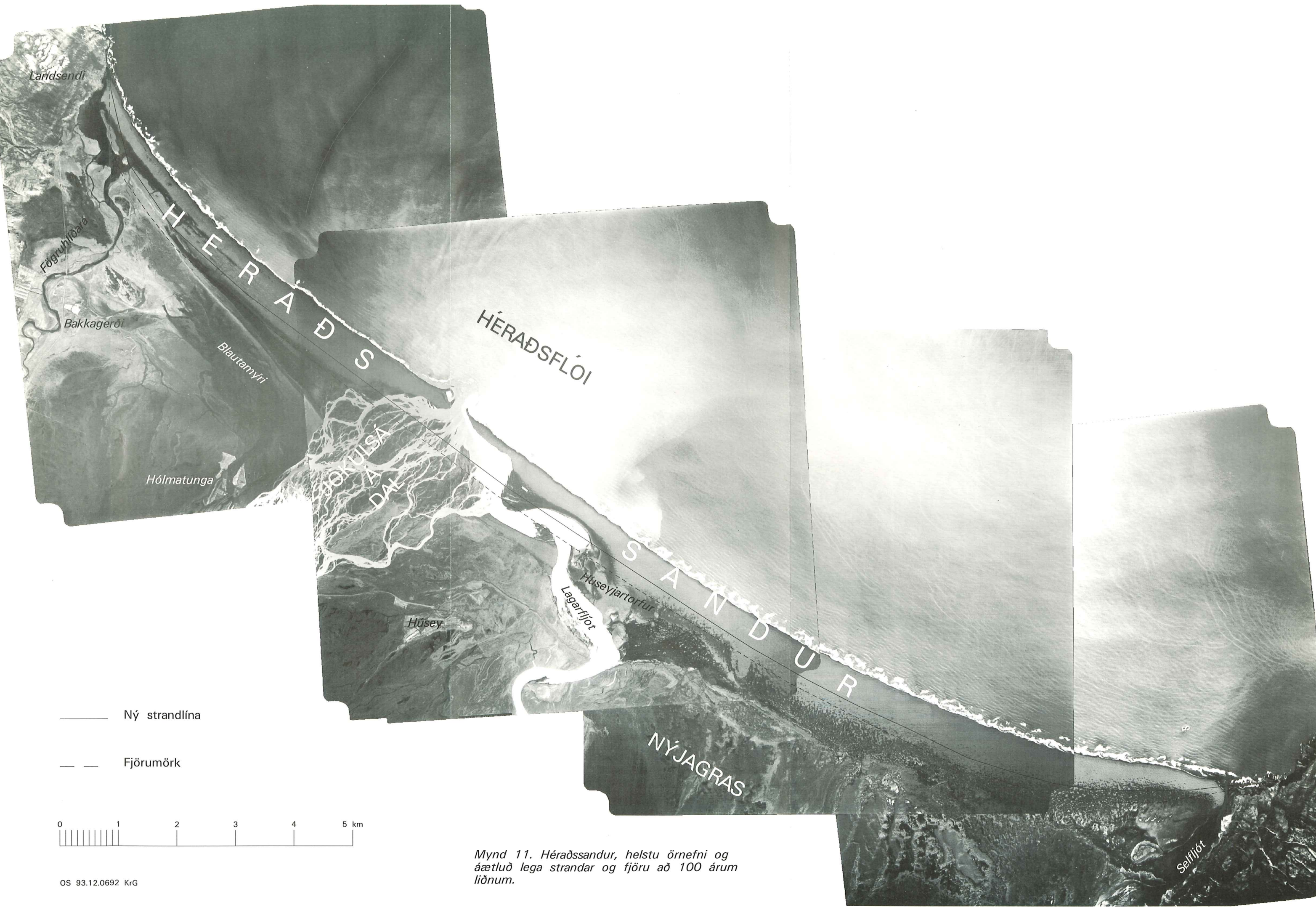
MYND 11: Loftmynd af strandsvæði Héraðsfloa. Sjá síðu 27.

Myndir nr.:

1990 L 4333
1990 L 4378
1990 L 4508
1990 L 4667
1990 L 4649
1990 L 4648



Mynd 10. Sandströnd Öxarfjarðar, helstu örnefni og áætluð lega strandar og fjöru að 100 árum liðnum. Einnig er afmarkað með punktalínunum svæðið sem séig í umbrotunum 1975-1976.



—— Ný strandlína
- - - Fjörumörk



Mynd 11. Héraðssandur, helstu örnefni og áætluð lega strandar og fjöru að 100 árum liðnum.

3. Önnur áhrif

3.1 Breytingar á gruggi í Lagarfljóti

Framburður Jökulsár í Fljótssdal er ráðandi um grugg og þar með gegnsæi í Lagarfljóti. Það eru fyrst og fremst tvö atriði sem ráða því hve mikið af framburði jökuláa berst áfram í gegn um vötn (lón) á leið ána; hlutfall fínna korna og viðstöðutími vatnsins. Ef viðstöðutími vatnsins í lónunum er 100 dagar fellur allur grófur aur ($>0,02$ mm) út og megnið af fínum ($>0,002$ mm) við 500 daga viðstöðu (Haukur Tómasson 1982). Athugun á kornastærðardreifingu aurs í jökulskotnum vötnum með meira en 200 daga viðstöðu vatns, leiddi í ljós að 75-95 % korna sem ekki höfðu sest til voru minni en 0,005 mm í þvermál (Hákon Aðalsteinsson 1976 a). Málid er þó ekki það einfalt að kornastærðardreifing sé klippt og skorin við ákveðnar kornastærðir, heldur má líta á ofantalin mörk sem nálgun varðandi það hve mikið fellur út og hve mikið verður eftir. Þegar meta á hver verður styrkur aurs í lóni verður einnig að meta hve mikið aurinn þynnist út vegna vatns af öðrum uppruna. Í eftirfarandi reikningum fæst það með því að dreifa meðalrennsli Jökulsár í Fljótssdal við Hól á meðalrennsli Lagarfljóts, en það svarar til fjórfaldrar þynningar á Jökulsá.

Frá því á söguöld er Fljótssbotn var innan við Hrafkelsstaði (Anonymus 1280) hefur Jökulsá í Fljótssdal fyllt upp um 6 km af Fljótinu. Sé gert ráð fyrir V-laga þversniði og að meðaldýpi þess hafi verið um 35 m og meðalbreidd um 700 m ($35 \cdot 700 \cdot 6000 : 2$) fæst að áin hefur á þúsund árum borið fram um 70 M m^3 af grófu efni. Það þýðir um 100.000 tonn á ári. Hlutfallslega mest af efninu hefur komið á þessari öld þar sem svo mjög hefur gengið á jöklana.

Nokkuð samfelldar mælingar eru til frá Lagarfossi á 5 ára tímabili (1966-'70), sem benda til að algengur aurstyrkur í Lagarfljóti sé á bilinu 20-30 mg/l. Meðaltal mælinga í Jökulsá í Fljótssdal á sama tímabili svarar til þess að um 300.000 tn af aur hafi borist árlega með ánni, eða heldur minna en útreiknað langtíma meðaltal, 350.000 tn (Haukur Tómasson 1990). Í þeirri tölu eru árin 1972-1975 þegar aurframburður var mjög mikill vegna áhrifa frá framhlaupi Eyjabakkajökuls haustið 1972. Þau ár bar meira á millikornastærðum á kostnað leirkornastærða. Í heildarframburði Jökulsár í Fljótssdal fram til 1990 er um 60% korna $<0,005$ mm, en fyrir tímabilið 1966-1970 er samsvarandi tala 55%.

Í eftirfarandi reikningum er miðað við að allur aur $<0,005$ mm verði eftir í Fljótinu, og að það sem stærra er falli út.

Heildarframburður * hlutfall korna $<0,005$ mm : ársrennsli í Lagarfljóti:

$$300.000 \text{ tn (aur)} * 0,55 : (3.500.000 * 10^3 \text{ m}^3) \text{ (vatn)} = 47 \text{ mg/l.}$$

Þessi einföldun bendir til að með þessari aðferð fái tvöfalt of hátt gildi. Helsta ástæða þess gæti legið í samloðun milli smárra korna, þ.e. að með tímanum bindist mörg smá korn í stærri, sem falli auðveldlega út.

Ef Jökulsá á Dal yrði bætt við þarf að taka tillit til þess að sú á hefði fyrst viðstöðu í lóni innan Kárahnúka, svonefndu Háslóni. Ef gert er ráð fyrir að það lón verði 1700 Gl og ársrennsli Jöklu um 3.500 Gl, svarar það til þess að Jökla hafi að meðaltali um hálfis árs viðstöðu í Háslóni til viðbótar við viðstöðu hennar í Lagarfljóti (2.700 Gl) eftir virkjun hennar þangað. Samsvarandi fyrir Jökulsá á Fjöllum er 1900 Gl lón (Arnardalur) og 3.900 Gl ársrennsli, sem einnig svarar til hálfis árs viðstöðu til viðbótar þeirri sem áin hlyti í Lagarfljóti verði henni einnig veitt þangað. Meðalviðstöðutími þessara vatnsfalla í lónum yrði þannig:

Jökulsá á Dal: 180 dagar í Háslóni og 140 d í Lagarfljóti.

Jökulsá á Fjöllum: 180 dagar í Arnardalslóni og 90 dagar í Lagarfljóti.

Viðstöðutími þeirra er þannig fyllilega sambærilegur við viðstöðu Jöklsár í Fljótsdal í Lagarfljóti nú (280), og því má nota sömu forsendur varðandi skil á milli þess sem fellur út og þess sem berst áfram.

Kornastærðardreifing aurs í Jökulsá á Dal og Jökulsá á Fjöllum er mjög frábrugðin því sem er í Jökulsá í Fljótsdal. 30% korna í Jökulsá á Dal eru <0,005 mm en 15% í Jökulsá á Fjöllum. Gerð er grein fyrir heildarframburði þeirra í kafla 1.2 (9 Mtn í Jökulsá á Dal og 8 Mtn í Jökulsá á Fjöllum).

Með því að beita samsvarandi útreikningum og á Jökulsá í Fljótsdal fæst að ef Jökulsá á Dal yrði veitt til Lagarfljóts (100 tn/s) fengjust 430 mg/l, og 410 væri Jökulsá á Fjöllum einnig bætt við. Ef við gerum enn fremur ráð fyrir að þessi reikniaðferð vanmeti það sem fellur út og ofmeti þar með það sem eftir verður í vatninu um helming, má gera ráð fyrir að Lagarfljóti beri áfram með sér um 200 mg/l eftir veitu ána. Þótt tiltölulega minna sé af fínni kornastærðunum í Jökulsá á Dal en í Jökulsá í Fljótsdal má gera ráð fyrir að svipað eða hærra hlutfall fínni korna renni saman í stærri og falli út, vegna hærri aurstyrks.

3.2 Breytingar á lífsskilyrðum í Lagarfljóti

Sumarið 1975 kannaði höfundur lífsskilyrði í Lagarfljóti einkum m.t.t. áhrifa af gruggi. Þá var óvenjumikið grugg í fljótinu vegna áhrifa frá framhlaupi Eyjabakkajökuls 1972-73 eins og áður getur. Í ágúst það ár voru gerðar gegnsæismælingar við annars vegar um 90 og hins vegar um 140 mg/l grugg (Hákon Aðalsteinsson 1976 a). Við 20-30 mg/l aur, sem virðist vera algengast í fljótinu við venjulegar aðstæður ætti gegnsæi (dýpi þar sem 1% af yfirborðsljósi er eftir) að vera 2-3 m yfir sumarið (Hákon Aðalsteinsson 1981).

Við mesta grugg var rýni aðeins um 20 cm og 1% af yfirborðsljósi eftir á 35 til 55 cm dýpi, mismunandi eftir því hvaða bylgjulengdir (litir) áttu í hlut (grænt og ósfað á um 50 cm dýpi).

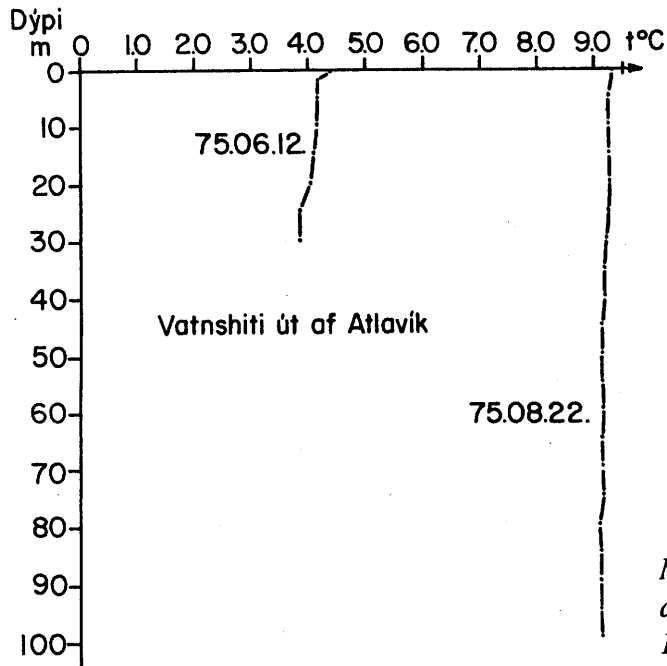
Magn svifþörungum reyndist mjög lítið í fljótinu, eða um 0,1-0,3 mg/l þegar mest var, þ.e. í ágúst. Á sama tíma var 10 sinnum meira af þörungum í Hvítárvatni. Samsvarandi munur var á framleiðni þörungum. Dýralff var að sama skapi fátæklegt í Lagarfljóti, t.d. einungis um 0,1-0,3 einstaklingar á l af dýrasvífi. Af botndýrum fundust aðeins um 60 einstaklingar af mýlirfum á fermetra steinayfirborðs, þar sem mest var, og aðeins í þörungabeltinu næst landi (Hákon Aðalsteinsson 1976 a).

Það er því hættu á að það lag í vatnsbol Lagarfljóts sem getur framleitt lífrænt efni verði mun þynnra en 50 cm eftir veitu Jökulsár á Dal. Áhrif þessa á svifframleiðslu eru auðsæ, en áhrif á strandlíf fara einnig eftir því hve stöðugt vatnsborðið verður.

3.3 Breytingar á hitastigi í Lagarfljóti?

Jökulvatn hitnar fljótar en bergvatn, þvert á það sem margir halda. Eftir því sem best er vitað eru aðeins til tvær mælingar á hitastigi í Lagarfljóti, báðar frá sumrinu 1975, önnur frá júní niður á 30 m dýpi, en hin frá ágúst niður á 100 m dýpi (Hákon Aðalsteinsson 1976 b). Margra ára mælingar eru til frá Þingvallavatni, þar sem hámarksmeðalhitastig, um 9-10 °C, er í ágústmánuði (Hákon Aðalsteinsson o.fl. 1992). Vatnsmegin Þingvallavatnis og Lagarfljóts er svipað, 2700-2900 GJ, mesta dýpi svipað, en Lagarfljót heldur dýpra að meðaltali (51 m á móti 34).

Líkt og í Þingvallavatni tekur langan tíma að verma svo mikið vatnsmagn, og í ágúst 1975 reyndist hitastig í Lagarfljóti vera um 9 °C frá yfirborði til botns (mynd 12). Þetta sumar var hlýtt á Austurlandi og ekki ástæða til að ætla að í Lagarfljóti mælist öllu hærra hitastig en þá.



MYND 12: Vatnshiti úti á miðju Lagarfljóti út af Atlavík í júní og ágúst 1975. Vatnsdýpi rösklega 100 m.

Í kyrrviðri má búast við meiri hita við yfirborð líkt og í Þingvallavatni, en ekki í dýpinu.

Ef viðbótarvatni yrði veitt úr Jökulsá á Dal og Jökulsá á Fjöllum, kæmi það annars vegar úr svonefndu Háslóni (u.þ.b. 600 m y.s.) og hins vegar úr svonefndu Arnardalslóni (u.þ.b. 550 m y.s.). Til eru hitamælingar frá Þórisvatni (570 m y.s., vatnsmegin 2900 Gl), sem sýna að í þeirri hæð er varla von á að hitastig verði hærra en um 6 °C í dýpsta hluta vatnsins, eða við svipaðar aðstæður og í Háslóni, en allt að 7-9 °C í Austurbotni, þar sem dýpi er svipað og vænta má í Arnardalslóni (sjá Viðauka V.1). Af þessu má ráða að yfir sumarið verði hitastig í Arnardalslóni svipað og í Lagarfljóti, og geti því veita úr Jökulsá á Fjöllum engin áhrif haft á meðalhitastig þess, en hitastig í Háslóni verði um 3 °C lægra en í Lagarfljóti.

Áhrif þessa hitamismunar eru háð viðstöðutíma vatnsins í Lagarfljóti. Án viðbótarvatns úr Jökulsá á Dal er viðstaða vatns í Lagarfljóti um 280 dagar en með Jökulsá á Dal um 140 dagar. Það þýðir að þrátt fyrir aukið innrennsli kaldara vatns hefur það 140 daga til að hitna um 3 °C. Lagarfljót þarf aðeins að hitna sem nemur 0,02 °C/dag hraðar eftir að Jökulsá á Dal bætist við miðað við fyrra ástand, til að halda í við kælandi áhrif frá Jökulsá á Dal. Hvort það tekst eða ekki er algerlega háð mismun á lofthita og vatnshita, inngeslun og blöndun, en ekki hitastigi innrennslisvatns. Ekki er líklegt að Lagarfljót geti orðið öllu heitara en 9 °C fremur en Þingvallavatn vegna þess hve sumar eru stutt og kalt í lofti, og vert er að benda á að 65% af innrennsli í Þingvallavatn er kalt lindavatn (2-4 °C). Yfirborðslög geta hitnað meira þegar hlýtt er í kyrrviðri, en þar um breytir kalt innrennsli engu.

Oft tala menn um jökulvatn eins og það kæli meira en annað leysingavatn eða lindavatn sem er sáralítið heitara, þar sem það rennur frá upprunastað sínum. Einnig virðist sem jökulaurinn fái oft að gjalda uppruna síns. Þannig virðist eins og margir haldi að jökulaur, þ.e. mulinn

sandur og gjóska í jökulvatni, sé meira kælandi en annað mulið íslenskt berg, t.d. í fjörusandi. Sannleikurinn er sá að þessar fínu agnir í vatninu taka upp varma frá sólarljósinu, rétt eins og fjörusandurinn, og leiða hann til vatnsins. Í tærum vötnum þar sem þörungar eru áberandi er samsvarandi orka hins vegar nýtt til efnaskipta og vaxtar. Gruggugt vatn hlýnar örvar en tært á sumrin.

3.4 Áhrif á strandsjó

3.4.1 Inngangur

Hafstraumar eru ráðandi um ástand sjávar á íslenska landgrunninu. Tunga úr Golfstraumnum, Irmingerstraumurinn, kemur upp að landinu úr suðri. Meiri hluti hans heldur vestur með landinu og skiptist út af Vestfjörðum í grein sem fer samsíða A-Grænlandsstraumnum til suðvesturs og grein sem fer austur með Norðurlandi, þar sem hún samlagast A-Íslandsstraumnum sem fer suður með Austfjörðum. Þessir straumar fara réttsælis kringum landið og hafa áhrif á strauma með ströndinni í samræmi við vægi (styrk) einstakra straumakerfa frá ári til árs.

Næringarefnaástand sjávar á landgrunninu er fyrst og fremst háð styrk viðkomandi efna í þessum straumakerfum, en ferskvatn getur haft lítilsháttar áhrif næst ströndu. Þessar upplýsingar og það sem að neðan greinir varðandi ástand sjávar eru fengnar úr samantekt Unnsteins Stefánssonar og Jóns Ólafssonar (1991), nema annað sé tekið fram.

3.4.2 Vægi hafstrauma og ferskvatnsafrennslis

Inn á íslenska landgrunnið berast u.þ.b. $1 \text{ M m}^3/\text{s}$ með hafstraumum, samanborið við $0,0055 \text{ M m}^3/\text{s}$ með ferskvatnsafrennslis af landinu.

Mikilvægustu næringarefni plantna, þ.e. þau sem oftast takmarka vöxt þeirra í sjó og vötnum eru nitur (N), fosfór (P) og kísill (Si). Unnsteinn og Jón (1991, tafla 2) hafa tekið saman tiltekar mælingar á þessum efnum í afrennslis af landinu og í sjónum umhverfis landið. Tiltölulega fá sýni liggja til grundvallar mati þeirra á næringarefnaaðburði með afrennslis landsins einkum af Norðaustur- og Austurlandi. Þrátt fyrir það virðist ekki ástæða til að ætla að umtalsverðar skekkjur leynist í þessu mati. Sá mismunur sem fram kemur á milli landshluta getur átt sér eðlilegar skýringar í jarð- og landfræðilegum forsendum.

Styrkur fosfórs er svipaður í afrennslis landsins og í sjó, styrkur niturs um þriðjungur þess sem er í sjó, en styrkur kísils í ferskvatni um fertugfaldur. Ef tekið er tillit til vægis afrennslis og hafstrauma eru ferskvatnsáhrifin hverfandi nema varðandi kísil. Kísill er þó líklega ekki takmarkandi fyrir plöntusvif í sjónum nema í sérstökum tilfellum. Á strandsvæðum má búast við að áhrifa gæti af ferskvatnsafrennslis, þ.e. lítilsháttar minnkun niturs en verulegri aukning kísils.

Styrkur næringarefna í hlýsjó (Irmingerstraumnum) er hærri og breytilegri bæði innan ársins og milli ára, en styrkur þeirra í pólsjó (A-Grænlands/A-Íslandsstraumnum). Af samanburði á hlutfallslegum styrk niturs og fosfórs á hafsvæðum við landið má ráða að nitur sé frekar takmarkandi fyrir plöntusvifframleiðslu en fosfór, a.m.k. fyrir Norðausturlandi.

Ferskvatnsafrennslis er forsenda fyrir sérstökum strandstraumi. Það á mikinn þátt í því að styrkja stöðugleika yfirborðssjávar síðla vetrar og snemma vors nærri ströndu og ósum stórfjöta, og getur þannig flýtt vorblóma þörungna í svifi. Þetta hefur verið kannað sérstaklega fyrir Suðvesturlandi, og leiddar líkur að því að þar geti þetta skipt einhverju máli fyrir afkomu þorsklaks (Jón Ólafsson 1985).

Innblöndun næringarefnaríks hlýsjávar skiptir þó eftir sem áður mestu varðandi framleiðni plöntusvifsins í heild.

3.4.3 Hugsanleg áhrif af virkjunum

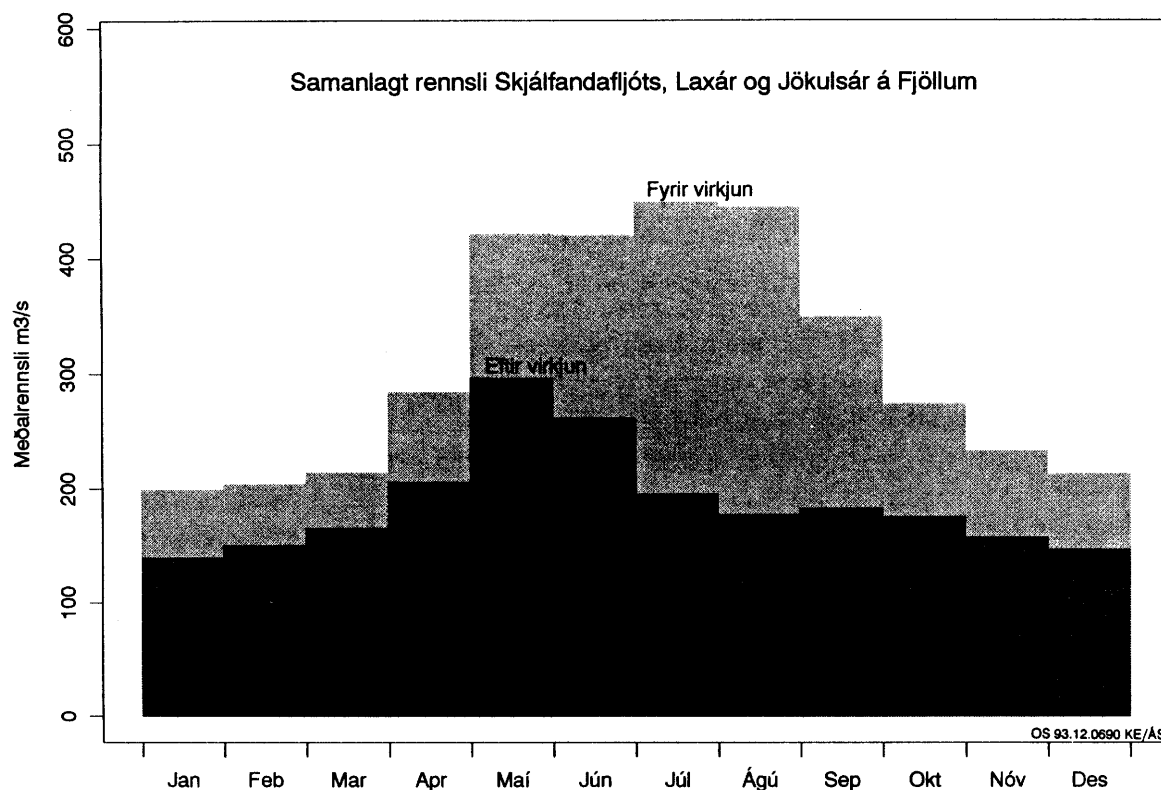
Með hliðsjón af rannsóknum á næringarefnabúskap á íslenska hafsvæðinu virðist einsýnt að áhrif af ferskvatnsafrennsli landsins séu fyrst og fremst tengd flýtingu stöðugleika í yfirborðslögum sjávar og vorblóma í plöntusvífi strandsjávar. Hækkun kísilstyrks gæti lengt blómatíma kísilþörungna á kostnað annarra, oft óæskilegri þörungna.

Hvaða áhrif munu fyrirhugaðar virkjanir hafa á rennsli til sjávar og sburð næringarefna, einkum kísil?

3.4.4 Áhrif á rennsli

Í þeim virkjunarhugmyndum sem hér eru til umræðu felst, að stórum hluta Jökulsár á Fjöllum yrði veitt úr farvegi sínum í um 550 m hæð inn í miðlunarlón, þar sem hluti af aurframburðinum félli út. Vatninu yrði veitt til virkjana á vatnasviði Jökulsár á Dal og Lagarfljóts, og bættist við það vatn sem rynni til sjávar í Héraðsflóa. Rennsli til strandsjávar fyrir Norðausturlandi mun minnka um u.þ.b. einn fjórða yfir veturinn niður í helming yfir sumarmánuðina (mynd 13), en hér er ekkert tillit tekið til skolonar framhjá lóni yfir sumartímann (sjá kafla 1.2).

Langtíma meðalrennsli 1951–1981



MYND 13: Samanburður á rennsli til sjávar í Skjálfandaflóa og Öxarfirði fyrir og eftir virkjun Jökulsár á Fjöllum með veitu til Fljótsdals. (Kristinn Einarsson og Ásgeir Sigurðsson 1993).

3.4.5 Áhrif á næringarefni

Svo virðist sem áhrif næringarefnaburðar séu aðallega háð mismun á styrk næringarefna í ferskvatni og sjó. Sé styrkurinn svipaður eins og þegar fosfór á í hlut, skiptir ekki máli þó fburður af honum minnki. Auk þess eru litlar líkur á að fosfór sé takmarkandi fyrir plöntusvif-framleiðni. Ef miklu munar á styrk getur skipt máli hve mikið rennsli minnkar til sjávar. Samkvæmt yfirliti Unnsteins Stefánssonar og Jóns Ólafssonar (1991) er styrkur niturs í ferskvatni aðeins um þriðjungur af styrk þess í sjó. Þess vegna muni minnkun rennslis ef eitthvað er draga úr þynningu niturs í sjónum. Auk þess er líklegt að nitur í afrennsli á láglandi sé meira en á hálandinu, og því muni niturstyrkur í afrennslinu aukast eftir að vatni sem upprunnið er ofan 550 m y.s., þar með talið jökulvatn, yrði veitt út af vatnasviðinu. Það er því ólíklegt að veita árinna- ar muni hafa neikvæð áhrif hvað varðar styrk niturs í strandsjó á svæðinu.

Meðalstyrkur kísils í lindum við Jökulsá á Fjöllum hefur mælst 18-19 mg/l (Sigurður R. Gíslason og Hans O. Eugster 1987, tafla 3; og Freysteinn Sigurðsson, pers.uppl.) Það samsvarar um 520 micromol/l eða meira en tvöföldu meðalgildi í ferskvatni skv. áætlun Unnsteins Stefánssonar og Jóns Ólafssonar (1991, tafla 2). Gera má ráð fyrir að um helmingur af rennsli Jökulsár á Fjöllum sé lindavatn og helmingur leysingavatn og jökulvatn. Samkvæmt mælingum Sigurðar og Eugsters er kísill í snjóbráð um 1 mg/l, sem gæfi meðalstyrk um 260 micromol/l í ánni, sem er nærri mati Unnsteins og Jóns. Gera má ráð fyrir að virkjun árinna- breyti ekki sem neinu nemur hlutfalli lindavats og jökulvats í útrennsli hennar, þannig að áhrif virkjunarinnar yrðu þau er felast í minnkuðu rennsli til sjávar. Hafa verður í huga að ferskvatn Jökulsár á Fjöllum mun blandast strandsjó frá Skjálfandaflóa (með vatni úr Laxá og Skjálfandafljóti). Afrennslissvæði þessara áa er alls 6.000 km² á móti 7.750 í Jökulsá á Fjöllum. Ef helmingi af vatni Jökulsár á Fjöllum yrði veitt burt, svarar það til þess að ferskvatnsinnrennsli á þetta svæði minnki um 25-30% á vorin, og meira yfir sumarið (mynd 13).

Samkvæmt samantekt Unnsteins Stefánssonar og Jóns Ólafssonar (1991, mynd 15) varðandi útbreiðslu næringarefna á íslenska hafsvæðinu á tímabilinu 20. maí til 15. júní á árunum 1972-'84, þá eykst styrkur kísils frá meðalstyrk á hafsvæðinu út af NA-landi, sem er u.þ.b. 2 micromol/l, í u.þ.b. 5 á stöð næst landi út af Melrakkaslétu (sjá Viðauka V.2). Þetta tímabil svarar til síðari hluta og loka vorblóma, og miðað við mælingar annars staðar í strandsjó á vorin þykir ekki ósennilegt að hæstu gildi í Öxarfirði hafi náð 10-20 micromól/l þegar mest var (Jón Ólafsson, pers.uppl.). Kísilstyrkur við Melrakkaslétu ætti að vera góður mælikvarði á styrk kísils inn á Öxarfirði skömmu áður. Eftir því mætti búast við að við um 30% minnkun ferskvatnsrennslis inn á þetta strandsvæði minnkaði styrkur kísils um u.þ.b. 1 micromol (5 - 2 * 0,3). Meðalstyrkur kísils á þessu strandsvæði yrði því vart undir 4 micromol/l á umræddu tímabili, sem eftir sem áður er með því hæsta sem mælist á strandsvæðum við Ísland á vorin í lok vorblóma. Það verður því að teljast ólíklegt að virkjunin gæti haft umtalsverð áhrif á samsetningu plöntusvifsins.

Ferskvatnsáhrif á stöðugleika í yfirborðslögum breyta engu um heildarframleiðni á íslenska hafsvæðinu, heldur fyrst og fremst tímasetningu á vorblóma plöntusvifs nærri ströndu. Það tilfelli sem mest hefur verið fylgst með, tengist hrygningu þorsks á vorin, klaki seiða og reki þeirra norður með Vesturlandi. Þá getur skipt máli að plöntu- og síðar dýrasvif hafi náð sér tím- anlega á skrið til að fæða seiðin.

Þessir mikilvægu atburðir eru á þeim tíma sem leysing stendur yfir sunnanlands, þ.e. í apríl til maí. Í byrjun tímabils er leysing af láglandi ótrufluð af söfnun í miðlunarlón á heiðum uppi.

Alls er óvíst um samskonar samspil fyrir NA-landi. Þó er líklegt að leysing, og þar með veruleg aukning ferskvatnsafrennslis, byrji ekki fyrr en um 3 vikum síðar norðanlands en sunnan. Hvað sem því líður er þó meira um vert að ekkert er vitað um það hvort stöðugleiki í strandsjó NA-lands, sem rekja megi til ferskvatnsáhrifa, skipti máli fyrir þau lífkerfi sem gætu nýtt sér afleiðingar þess, t.d. flýtingu vorblóma og hagstætt umhverfi fyrir þorsklak.

4. Þörf á rannsóknum

Gagnlegt væri að kanna betur jarðveggsnið í leit að aldurs-leiðarlögum sem næst ströndu í Öxarfirði og Héraðsflóa. Frekari rannsóknir verða að byggjast á rökstuddri gagnrýni á það sem hér er sett fram. Reynt var að vinna þannig úr forsendum, að síður væru líkur á vanmati en ofmati. Þörf á frekari rannsóknum ber að meta í ljósi þess og þeirra náttúrufarslegu verðmæta sem eru í húfi miðað við þá niðurstöðu sem fékkst.

Um grugg gegnir svipuðu máli, nema hvað ekki virðist skipta miklu máli hvort grugg verður 200 mg/l eða meira, lífsskilyrðin yrðu væntanlega jafn slæm. Hins vegar skortir þekkingu um Lagarfljót við "normal" grugg, þ.e. á bilinu 20-40 mg/l.

Hitastig frá yfirborði til botns þyrfti að mæla a.m.k. yfir eitt íslaut tímabil á einum eða fleiri stöðum í fljótinu.

Nauðsynlegt er að kanna nánar hvaða þýðingu ferskvatnsrennslis hefur á strandsjó fyrir NA-landi. Í fyrstu yrði megináhersla lögð á að kanna útbreiðslu ferskvatnsáhrifa á tímabilinu apríl til júní. Frekari rannsóknir gætu miðast við þýðingu ferskvatns fyrir plöntu og dýrasvif, og fleira eftir því sem rökstudd ástæða þykir til.

5. Heimildir

- Anonymus 1280. *Hrafinkelssaga Freysgoða*.
- Árni Snorrason 1983. *Rennslisgreining og lenging rennslisraða. Tölfræðileg aðferðafræði*. Orkustofnun, OS-83081/VOD-09, 30 s.
- Bruun Per 1986. *Sedimentary balances; land and sea, with special reference to the Icelandic South coast from Þorlákshöfn to Dyrhólaey. River nourishment of shores, practical analogies on artificial nourishment*. Í: Guttormur Sigbjarnarson (ritstj.). Iceland Coastal and River Symposium, Proceedings: 17-32.
- Cees, L. 1990. *General strategy on coastline protection - The Dutch case*. In: Pilarczyk, K.W. (ed.) Coastal Protection. Proceedings of the short course on coastal protection, Delft University of Technology/ 30 June-1.July 1990. A.A. Balkema, Rotterdam and Brookfield: 15-35.
- Guttormur Sigbjarnarson 1990. *Hlaup og hlaupfarvegir*. Í: Guttormur Sigbjarnarson (ritstj.). Vatnið og landið. Orkustofnun: 129-143.
- Haukur Tómasson 1973. Hamfarahlaup í Jökulsá á Fjöllum. *Náttúrufræðingurinn* 43:12-34.
- Haukur Tómasson 1982. *Áhrif virkjunarframkvæmda á aurburð í Þjórsá*. Orkustofnun, OS-82044/VOD-07, 39 s.
- Haukur Tómasson 1990. *Aurburður í Íslenskum ám*. Í:Guttormur Sigbjarnarson (ritstj.). Vatnið og landið. Orkustofnun: 169-174.
- Hákon Aðalsteinsson 1976 a. *Lögurinn, svifaur, gegnsæi og lifrki*. Orkustofnun, OS-ROD-7609, 47 s.
- Hákon Aðalsteinsson 1976 b. *Þórisvatn. Áhrif miðlunar og Köldukvíslarveitu á lifsskilyrði svífs*. Orkustofnun, OS-ROD-7643.
- Hákon Aðalsteinsson 1981. *Tengsl svifaurs og gagnsæis í jökulskotnum stöðuvötnum*. Orkustofnun, OS-81027/VOD-12, 30 s.
- Hákon Aðalsteinsson, Pétur M. Jónasson og Sigurjón Rist 1992. Physical characteristics of Thingvallavatn, Iceland. *Oikos* 64: 121-135.
- Hálfmán Björnsson og Skarphéðinn Þórisson 1988. *Könnun votlendis á utanverðu Fljótsdals-heraði*. Náttúrugripasafnið í Neskaupstað, 22 s.
- Helgi Jóhannesson 1992. Landbrot framan við brúna yfir Jökulsá á Breiðamerkursandi. *Tæknivísir, blað byggingatæknifræðinema* 16: 37-40.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change) 1990. *The IPCC impacts assessment*. W.J. McG. Tegart, G.W. Sheldon and D.C. Griffiths (Eds) Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Jón Ólafsson 1985. Recruitment of Icelandic cod and haddock in relation to variability in the physical environment. ICES CM 1985/G: 59.
- Kristján Sæmundsson 1973. Straumrákaðar klappir kringum Ásbyrgi. *Náttúrufræðingurinn* 43: 52-60.

- Landvernd 1975. *Skrá um votlendi*. Í Arnþór Garðarsson (ritstj.) Votlendi. Rit Landverndar Nr. 4: 206-238.
- Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Magnús Ólafsson, Ómar Sigurðsson og Þórólfur H. Hafstað 1989. *Skilyrði til fiskeldis í Öxarfirði, ferskvatn, jarðsjór, jarðhiti og rannsóknarboranir 1987 og 1988*. Orkustofnun, OS-89041/JHD-08, 61 s.
- Mikolajewicz, U., B. Santer and E. Maier-Reimer 1990. *Ocean response to Greenhouse warming*. Max-Planck Institute für Meteorologie, Report No. 49. 14 s.
- Náttúruverndarráð 1991. *Náttúruminjaskrá, 6. útgáfa*. Náttúruverndarráð, 62 s. + kort.
- Oddur Sigurðsson 1980. Surface deformation of the Krafla fissure swarm in two rifting events. *Journal of Geophysics* 47:154-159.
- Páll Imsland 1992. Strandflóð við Suðvesturland. Um tíðni þeirra og hugsanlegar orsakir. *Árbók VFÍ 1991/92, 4*: 276-302.
- Sigurjón Páll Ísaksson 1985. Stórhlaup í Jökulsá á Fjöllum á fyrri hluta 18. aldar. *Náttúrufræðingurinn* 54:165-191.
- Sigurður R. Gíslason og Eugster, H.P. 1987. Meteoric water - basalt interactions. II A field study in N.E. Iceland. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51: 2841-2855.
- Sigurvin Elfasson 1976. Landsskjálftar í Öxarfirði fyrr á tímum. *Týli* 6: 31-34.
- Sigurvin Elfasson 1977. Molar um Jökulsárhlaup og Ásbyrgi. *Náttúrufræðingurinn* 47: 160-179.
- Sjómælingar Íslands 1979. *Norðausturströnd Íslands, Grímsey-Glettinganes*. Sjókort, blað 61, leiðrétt til 1991.
- Sjómælingar Íslands 1993. *Norðurströnd Íslands, Grímsey-Hraunhafnartangi*. Sjókort, blað 62.
- Skúli Víkingsson 1992. *Ósasvæði Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Dal, breytingar á legu strandar samkvæmt kortum og loftmyndum*. Orkustofnun, OS-92044/VOD-09 B, 5 s.
- Svanur Pálsson og Guðmundur H. Vigfússon 1991. *Niðurstöður Svifaursmælinga 1963-1990*. Orkustofnun, OS-91017/VOD-03 B, 151 s.
- Staðarvalsnefnd um iðnrekstur 1983. *Staðarval fyrir orkufrekan iðnað, forval*. Iðnaðarráðuneyti, 137 s.
- Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. *Rit Fiskideildar Vol. XII No. 3*; 56 s.
- Wilson, M. 1984. *Botanical studies in the Lake Víkingavatn/Öxarfjörður area*. Report on the expedition to Iceland 1973. NCUT, Exploration Society: 38-44.
- Þórólfur H. Hafstað, Svanur Pálsson og Árný E. Sveinbjörnsdóttir 1992. *Titansteindir í sjávarsand, rannsóknir á sýnum af grunnsævi úti fyrir Suðausturlandi*. Orkustofnun, OS-92026/VOD-04, 47 s.

Abstract

The Eastern Iceland Hydropower Project (Austurlandsvirkjun) involves the harnessing of the major glacial rivers Jökulsá á Fjöllum, N-Iceland, and Jökulsá á Dal, E-Iceland. The planned power plants in these rivers will result in sedimentation of all coarse suspended material in reservoirs before it reaches the shore.

Discharge of coarse suspended material (grain size >0.02 mm) has been estimated to be 4.1 million m^3/y in Jökulsá á Fjöllum and 3.0 million m^3/y in Jökulsá á Dal. According to changes of the coastline since 1945 sea wave action transports 2.5 Mm^3/y of the coarse sediment carried by Jökulsá á Fjöllum along the coastline and outwards into deeper water in the Öxarfjörður Bay, but the rest is deposited at the coast. In Héraðsflói Bay 3.0 Mm^3/y of coarse sediment, i.e. equal to the quantity carried by Jökulsá á Dal into the bay, is carried out to deeper water.

If Jökulsá á Fjöllum is diverted over to the east coast, one third of the suspended material will pass the dams and reach the coast. In this case the coastline in Öxarfjörður is assumed to retreat about 200 m in 100 years time. Hardly any coarse grained material will pass the dams in Jökulsá á Dal. There the coast would retreat about 600 m in 100 years.

Suspended silt in lake Lagarfljót is assumed to increase up to tenfold as compared to the usual content (excluding glacial surge) if the project is carried through.

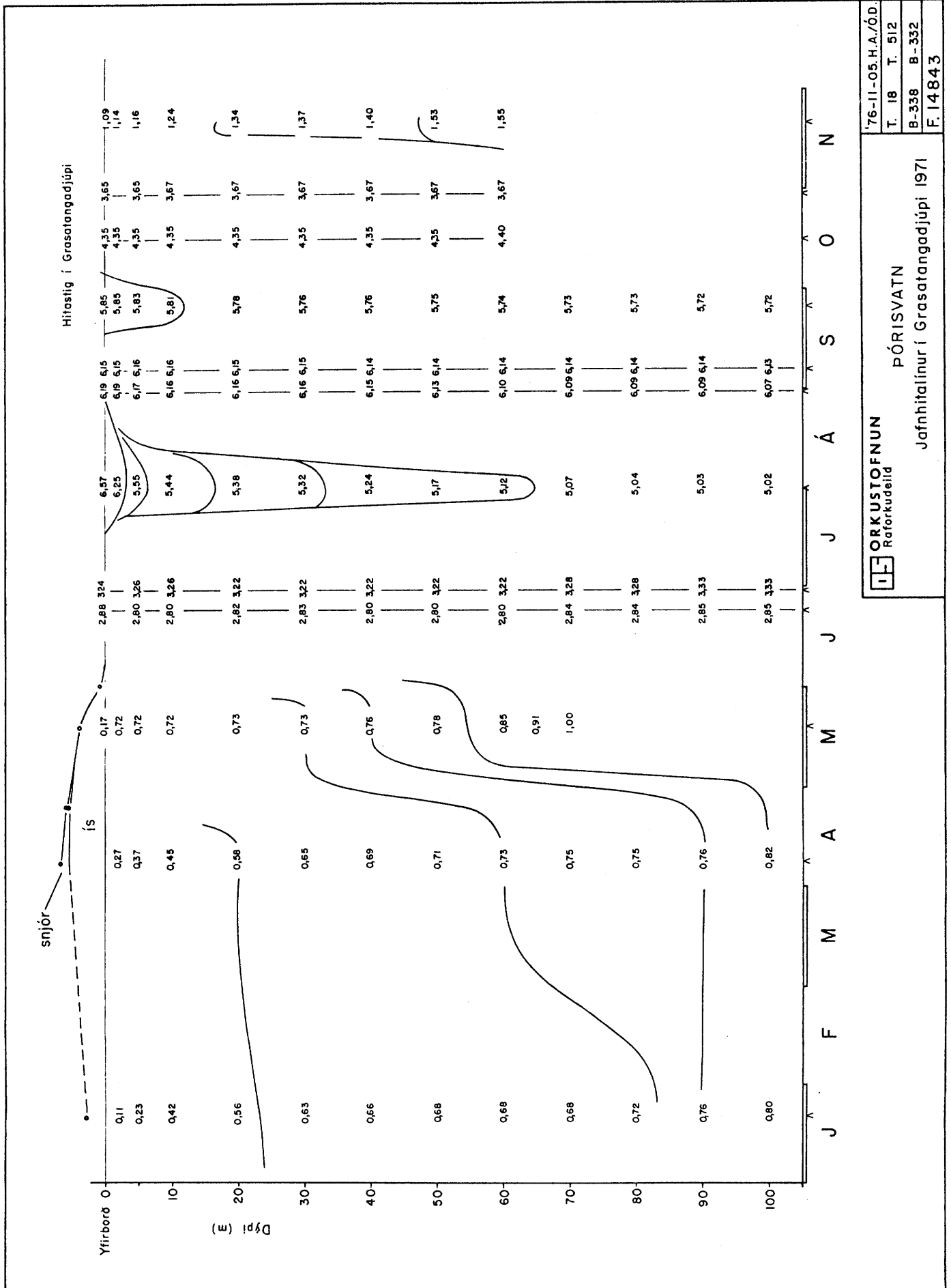
The temperature in lake Lagarfljót is not assumed to change appreciably after the diversion of rivers the Jökulsá á Fjöllum and Jökulsá á Dal.

The effect of fresh water on the biology of the coastal sea at the NE-coast is also discussed. The diversion of River Jökulsá á Fjöllum will diminish the fresh water discharge to the sea at the NE-coast by 25-30%. Fresh water is assumed to stabilize the sea water at the coast during springtime and may improve conditions for plankton.

Viðaukar

- Viðauki V.1:** Hitalínurit úr Þórisvatni, 1971. Byggt á mælingum staðarverkfræðings Landsvirkjunar við Þórisvatn (Hákon Aðalsteinsson 1976 b).
- Viðauki V.2:** Meðalgildi ýmissa þátta er varða einkenni yfirborðssjár á tímabilinu 20. maí til 15. júní 1972-1984 (Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991).

Viðauki V.1

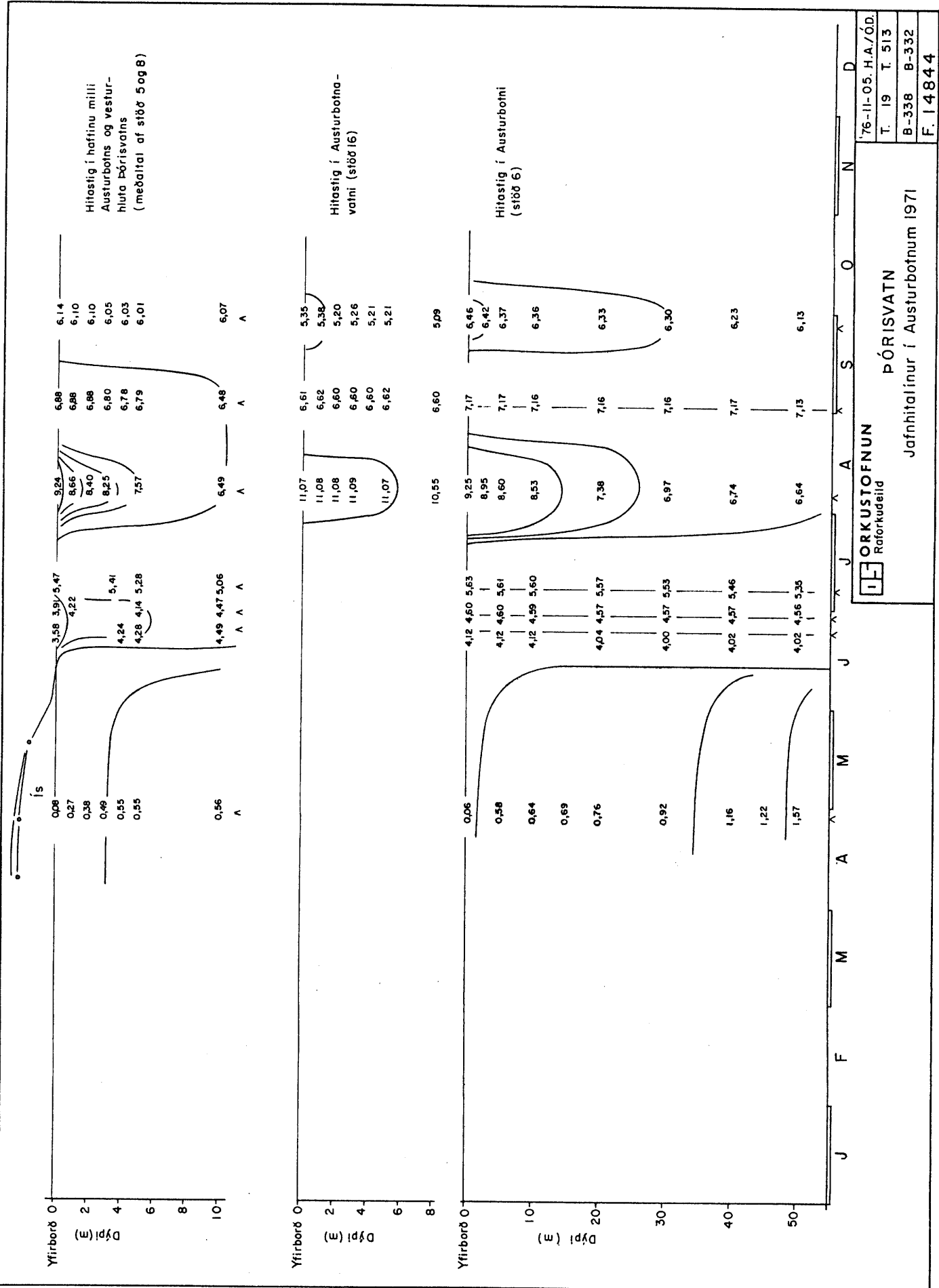


ORKUSTOFNUN
Raforkudeild

PÓRISVATN

Jafnhitalinur í Grasetangadjúpi 1971

'76-11-05. H.A./Ó.D.
T. 18 T. 512
B-338 B-332
F.14843



76-II-05. H.A./Ó.D.
T. 19 T. 513
B-338 B-332
F. 14844

ORKUSTOFNUN
Raforkudeild
PÓRISVATN
Jafnhitalínur í Austurbotnum 1971

J J A M M A J J A S S A O N D

Viðauki V.2

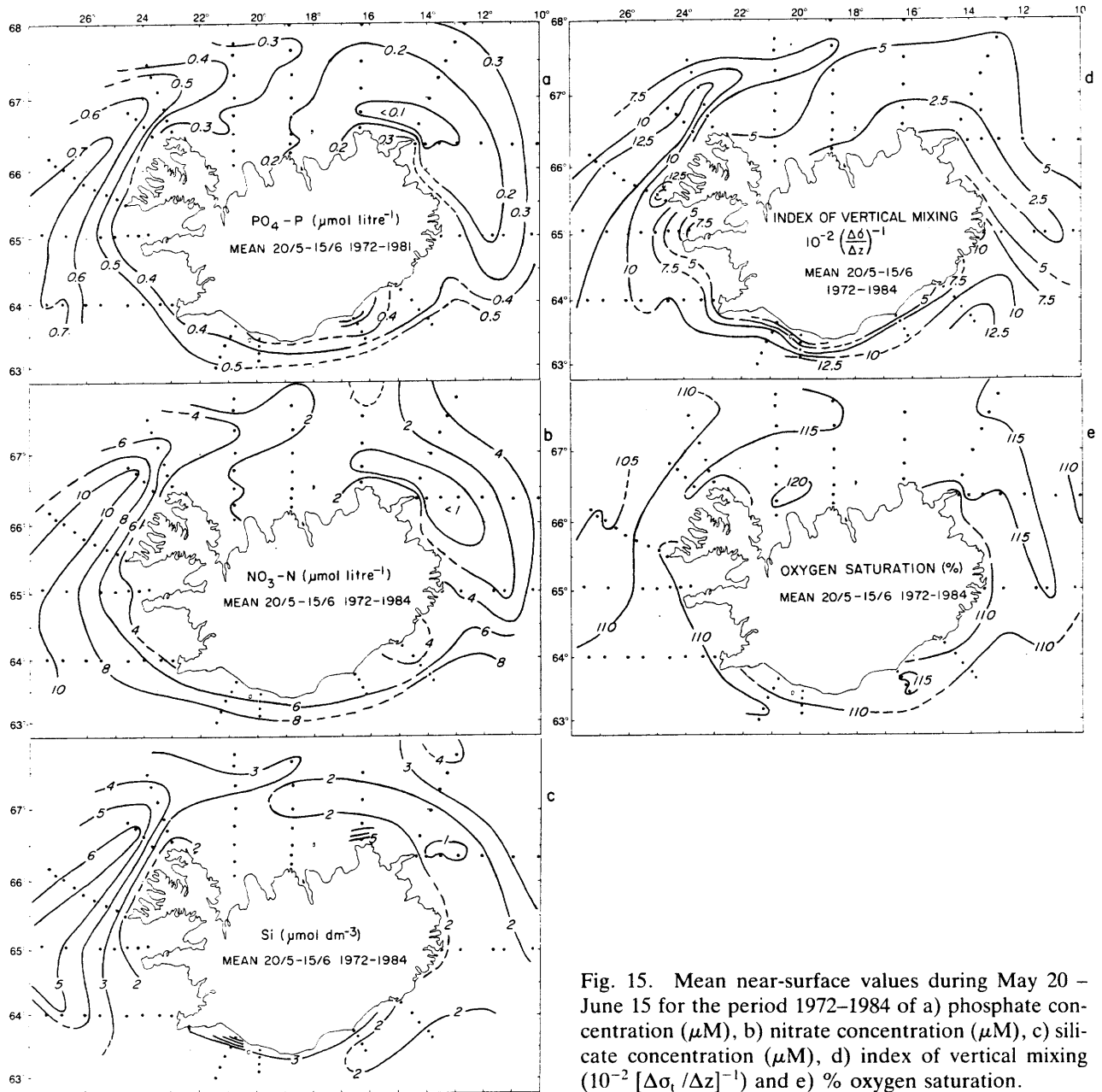


Fig. 15. Mean near-surface values during May 20 – June 15 for the period 1972–1984 of a) phosphate concentration (μM), b) nitrate concentration (μM), c) silicate concentration (μM), d) index of vertical mixing ($10^{-2} [\Delta\sigma_t / \Delta z]^{-1}$) and e) % oxygen saturation.