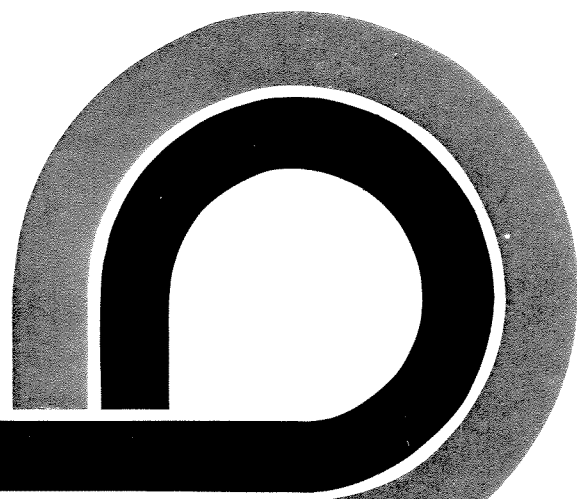
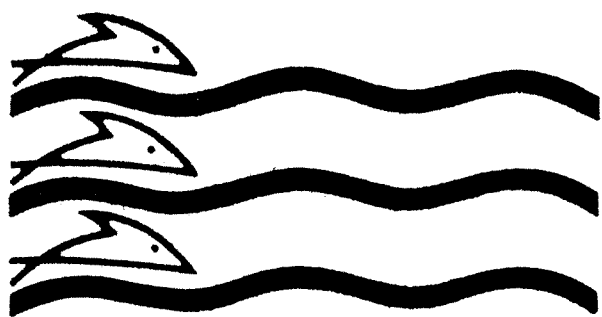
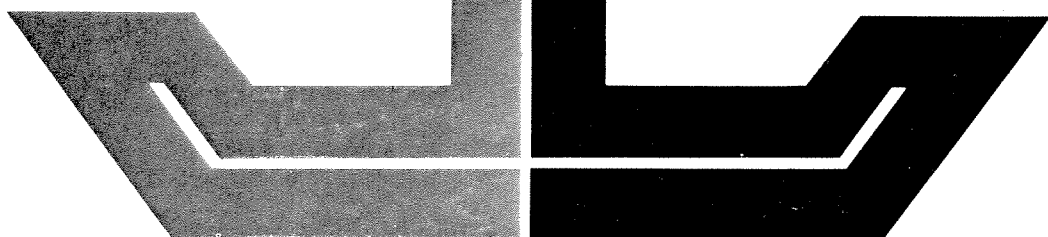


HAFRANNSÓKNASTOFNUN FJÖLRIT NR. 10



JÓN ÓLAFSSON

**Pungmálmar
í kræklingi
við suðvesturland**



*Hafrannsóknastofnunin
Bókasafn*

Jón Ólafsson

Þungmálmar í kræklingi við suðvesturland

Hafrannsóknastofnun

Desember 1983

Formáli

Rannsókn sú sem hér verður lýst fór fram sem einn liður umhverfissrannsókna vegna Járblendiverksmiðju í Hvalfirði. Verkið hófst á útmánuðum 1978, gagnasöfnun lauk haustið 1979 en efnagreiningum vorið 1980. Þó úrvinnslu gagna væri að mestu lokið ári síðar, þá ollu ýmsar hindranir því, að ekki tókst að ganga frá niðurstöðum á viðunandi hátt fyrr en nú. Margir hafa aðstoðað við verk þetta og ber sérstaklega að þakka þeim Gunnari Hilmarssyni, Jóhannesi Briem, Kristínu Hafsteinsdóttur, Sigprúði Jónsdóttur og Stefáni Einarssyni auk áhafna rannsóknaskipanna Drafnar, Bjarna Sæmundssonar og Árna Friðrikssonar.

	<u>Efnisyfirlit</u>	Bls.
	Formáli	3
	Efnisyfirlit	5
1.	Notkun viðmiðunartegunda við mat á mengun strandsvæða	7
2.	Vinnubrögð	8
2.1.	Söfnun sýna	8
2.2.	Sýnaflokkar	13
2.3.	Úrvinnsla	14
2.4.	Efnagreiningar	15
2.4.1.	Kvikasilfur (Hg)	16
2.4.2.	Járn (Fe), zink (Zn), mangan (Mn), kadmium (Cd), kopar (Cu) og nikkell (Ni)	17
2.4.3.	Blý (Pb) og vanadium (V)	17
2.5.	Nákvæmni mælinga, næmi og skekkjur.	18
3.	Málmar í kræklingi	19
3.1.	Mat á niðurstöðum	19
3.2.	Mat á áhrifum stærðar	21
4.	Niðurstöður	24
4.1.	Inngangur	24
4.2.	Fyrsti sýnaflokkur	24
4.3.	Annar sýnaflokkur	28
4.4.	Þriðji, fjórði og fimmti sýnaflokkur	34
4.5.	Aðrir málmar	41
5.	Samanturður við erlendar rannsóknir	41
6.	Helstu niðurstöður.	44
	Heimildaskrá	45

1. Notkun viðmiðunartegunda við mat á mengun strandsvæða

Eðlilegur styrkur flestra þungmálma í sjó, er mjög lágur og á strandsvæðum er hann auk þess mjög breytilegur vegna ýmissa áhrifa, svo sem frá árfram-
burði, hreyfingu á botnseti, mengun af manna völdum o.s.frv. Ef meta ætti það, með efnagreiningu á sjó, hvort mengunar gætti á strandsvæði, þá krefðist það mikillar og vandasamrar vinnu, fjölda sýna og umfangs-
mikils tækjabúnaðar. Í margar sjávarlífverur safnast þungmálmur svo að styrkur þeirra þar verður nokkur hundruð eða þúsund sinnum meiri en í sjálfum sjónum. Af heilbrigðisástæðum hafa menn því áhyggjur af mengun sjávar, því að með þessu móti kann styrkur eiturefna að fara upp fyrir æskileg mörk í sjófangi. Önnur ástæða til áhyggju af sjávarmengun er spilling lífs-
skilyrða í sjó og röskun vistkerfa.

Langt er síðan farið var að huga að tengslum milli styrks efna í sjó og í lífverum sjávar. Með auknum rannsóknum á mengun komu fram hugmyndir um viðmiðunartegundir í lífríki sjávar, sem hægt væri að mæla í styrk efna og komast þannig hjá ýmsum erfiðleikum sem því fylgja að mæla í sjávarsýnum. Góð viðmiðunartegund þarf að vera gædd ýmsum eiginleikum, svo sem þeim að safna í sig snefilefnum í samræmi við styrk þeirra í umhverfinu, vera í senn hæfilega stór með tilliti til hagræðis við söfnun og efnagreiningar, útbreidd og aðgengileg til söfnunar. Hún þarf einnig að vera harðger og þola miklar sveiflur í umhverfisaðstæðum svo sem í hitastigi, seltu og mengun, svo og staðbundin sem mest af lífsferli sínum og langlíf. Fáar tegundir komast nálægt því að hafa alla þessa eiginleika, en kostir ýmissa hafa verið kannaðir (1). Þannig hefur komið fram, að botnþörungur gefa allgóða mynd af styrk uppleystra málma í sjó (2, 3), og skeljar og burstormar sem lifa í leirum gefa allgóða mynd af mengun ósasvæða (4). Kræklingur (Mytilus edulis og náskyldar tegundir) hefur marga af kostum góðrar viðmiðunartegundar, enda

hefur hann tíðum verið viðfangsefni rannsókna hin síðari ár. Undir þessa þróun ýtti mjög tillaga frá Edward Goldberg sem fram kom 1975, um að nota krækling til að fá fram heimsmynd af mengun strandsvæða (5). Síðan hafa farið fram viðtækar rannsóknir á því, hvernig best henti að nota krækling sem viðmiðunartegund (6, 7, 8) en losna þó eftir föngum við áhrif frá öðrum umhverfispáttum en mengun, svo og við áhrif líffræðilegs breytileika.

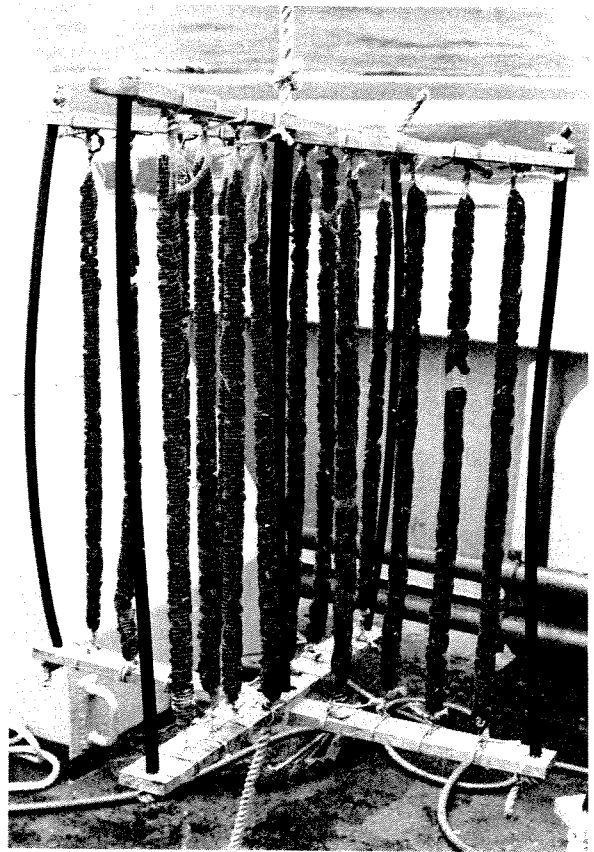
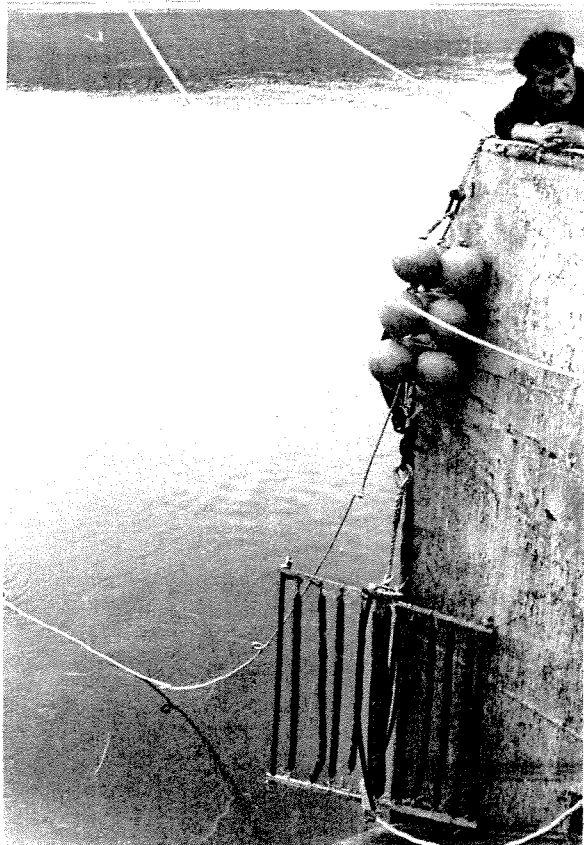
Nú þegar hafa komið fram niðurstöður yfirlitsrannsókna á viðáttumiklum (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) ellegar afmörkuðum strandsvæðum (16, 17, 18, 19, 20, 21, 37). Flestar hafa rannsóknir þessar leitt til vitneskju um útbreiðslu mengunar, sem erfitt hefði verið að sýna fram á með rannsóknum á sjávarsýnum. Þær hafa auk þess veitt vísbendingar um mengun í lífríki, en það gera rannsóknir á efnum í sjó ekki.

Þó lítið væri vitað um þungmálma í kræklingi hér við land áður en rannsókn þessi hófst 1978, og þó að einnig hafi fátta eitt verið birt um líffræði hans, þótti rétt að nota krækling sem viðmiðunartegund í Hvalfirði og Faxaflóa fremur en t.d. þang, með því líka að sýnt þótti að grunnur til mats á niðurstöðum með hliðsjón af erlendum rannsóknum yxi ört, svo sem raun hefur á orðið.

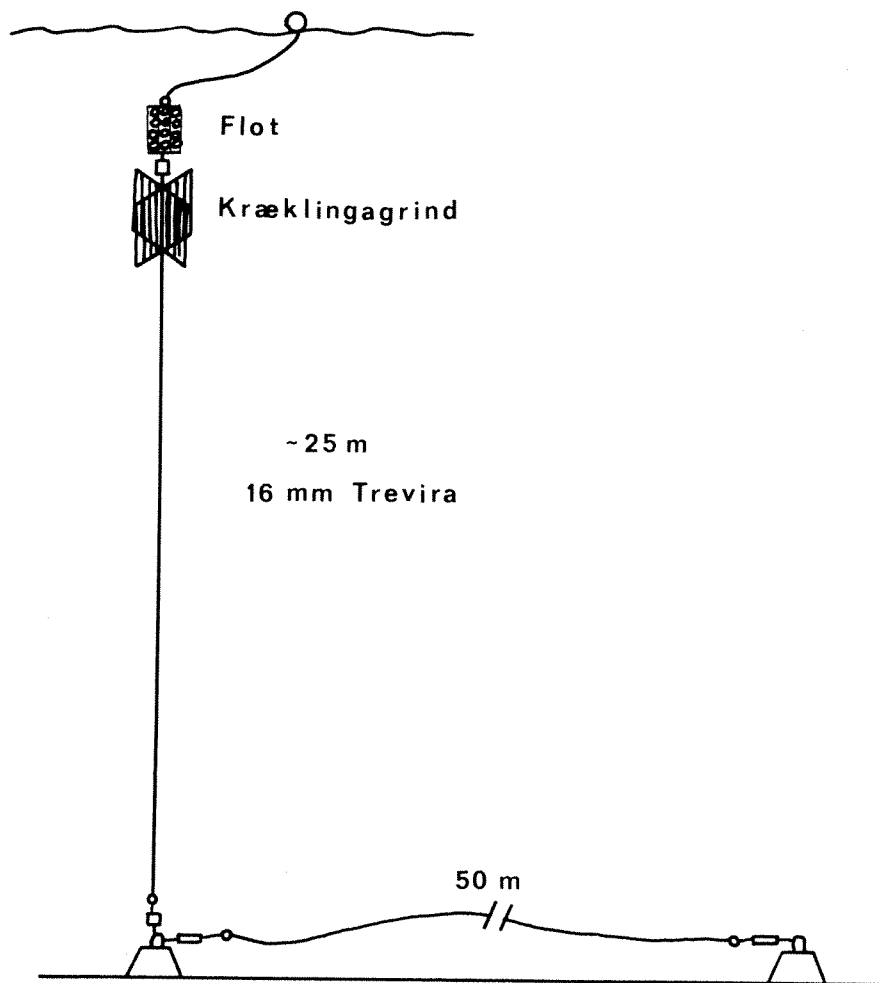
2. Vinnubrögð

2.1. Söfnun sýna

Ýmsir umhverfispáttir geta haft áhrif á styrk þungmálma í skelfiski, og er því brýnt að beita samræmdum vinnubrögðum við söfnun sýna. Hér var stuðst við leiðbeiningar frá Alþjóðahafrannsóknaráðinu (7) sem settar hafa verið til að draga úr truflunum á niðurstöður og til samræmingar:



Útbúnaður kræklingsbauja sem notaðar voru í Hvalfirði. (Ljósmynd Guðm. Sv. Jónsson).



1. tafla

Botngerð á söfnunarstöðum kræklingssýna

No.	Staður, botngerð
1	Hvaleyri, sandur, möl, grjót
2	Hvítanes, stálbryggjubitar
3	Brynjudalsvogur, sunnanv., möl, leir
4	" , norðanv., möl, leir
5	Botnsvogur, sunnanv., möl, leir
6	" , norðanv., möl, leir
7	Miðsandur, möl, þang
8	Borgarfjörður v. Seleyri, möl, leir
9	Akrar, Mýrum, klettur
10	Búlandshöfði, grjót
11	Grundarfjörður, leir, stakir steinar
12	Kolgrafafjörður, klettur
13	Hraunsfjörður, klettur
14	Álftafjörður, leir, möl
15	Stykkishólmur, þang, grjót
16	Ólafsvíkurenni, klettur
17	Hellnar, þang
18	Búðir, þang, grjót
19	Kollafjörður, möl, sandur
20	Laxárvogur, leir, möl
21	" , v. Laxárbakka, leir, stakir steinar
22	Hrafneyri, möl
23	Saurbær, þang, klettur
24	Klafastaðir, þang
25	Milli verksm. og Kataness, þang
26	Gröf, þang, klettur
27	Krossvík, klettur, skolpræsi í um 200 m fjarl.
28	Hvassahraun, klettur, grjót
29	Straumur, grjót

- 30 Sædýrasafn, klettar, grjót
31 Hafnarfjarðarhöfn sunnanverð, grjót, leir
32 Hafnarfjörður, v. sundhöll, grjót
33 Hlíðsnes, klappir, möl
34 Kópavogur, steinsbryggja
35 Nauthólsvík, steinbryggja
36 Keflavík, oliubryggja, viðarbitar
37 Þórkötlustaðir, steinbryggja
38 Herðisarvík, klettar
39 Skerjafjörður, Shellbryggjuendi, viðarbitar
40 Reykjavíkurhöfn, verbúðarbryggja við Granda,
viðarbitar
41 Reykjavíkurhöfn, Ægisgarður, viðarbitar
42 Elliðaavogur v.Klepp, grjót, þang
43 Elliðaavogur, uppfylling við vesturkvisl,
grjót, þang
44 Blikastaðakró, möl, grjót, þang
45 Gufunes, bryggja, viðarbitar
46 Straumsvík, móts við n.enda álvers, klettar
47 Fossvogur við frárennsli Málningar h/f,
sandur, möl, grjót
60 Botnsvogur sunnanverður, möl, sandur

- A) Sýnum var safnað á skömmum tíma að vorlagi (apríl), áður en hrygning hófst.
- B) Til söfnunar var farið á stórstreymi og kræklingur tekinn neðan meðalfjörumarka.
- C) Í hverju sýni voru a.m.k. 50 samlokur og á hverjum stað var leitast við að safna þeirri stærð sem mest bar á.
- D) Kræklingurinn var settur í netpoka og hann hafður í keraldi með síuðum sjó í sólarhring til að losna við leir úr meltingarvegi fisksins. Síðan var hann frystur til geymslu við -20°C .

Áður en verk þetta hófst var vitneskja um þungmálma í kræklingi hér við land næsta lítil og því þótti ráðlegt að safna sýnum víðar en í Hvalfirði til þess að kanna hæfileika kræklings sem viðmiðunartegundar við aðstæður hér.

2.2. Sýnaflokkar

1. Náð var í stórt sýni af steini einum í Straumsvíkurfjöru og því skift í fimm flokka eftir stærð kræklingsins.
2. Farið var með ströndinni milli Herðisarvíkur að sunnan og Álftafjarðar á Snæfellsnesi að norðan og kræklingur tekinn á 48 stöðum (1. tafla). Jafnframt var sjávarhiti mældur, sýni tekin til seltuákvörðunar og botngerð skráð.
3. Í júlíbyrjun 1978 var komið á R/S Bjarna Sæmundssyni í Hvalfjörð. Farið var á báti á Botnsvog og þar tekin balafylli af kræklingi. Úr balanum var valinn kræklingur 30-40 mm að lengd og hann settur í nethólka úr gerviefni, sem hver var um 1 m á lengd. Slíkir nethólkar eru víða notaðir við ræktun á kræklingi (23). Gerðar voru 3 baujur og á hverri þeirra voru 16 nethólkar strengdir milli eikarkrossa (1. mynd). Bólfærum var svo til hagað, að þar sem

dýpi væri 25 m þá yrði meginflotið og kræklingurinn ætíð neðansjávar. Baujunum var komið fyrir á þremur stöðum sem einkenndir voru með númerunum 61, 62 og 63.

Staður 61 var um 0.5 sjómíllur undan ströndinni við bæinn Saurbæ, en hinir skammt frá Járnblandiverksmiðjunni. Frá stað 62 voru 0.3 sjómíllur í stefnu 266° að Grundartangabryggju en frá stað 63 voru 0.4 sjómíllur í stefnu 33° að bryggjunni. Frá ágúst 1978 og fram í október 1979 var kræklingur tekinn af baujum þessum með því að kafa að þeim og skera af eina lengju hverju sinni. Jafnframt var þá hreinsaður af baujunum gróður og smákræklingur sem á þær safnaðist.

Sú aðferð, að flytja krækling af lítt menguðu svæði, og hafa hann í haldi til eftirlits á völdum stöðum, hefur nokkuð tíðkast og yfirleitt reynst vel (24, 25, 26).

4. Mikið af kræklingaslirfum settist á baujur þær sem að ofan er lýst, og tók þá smákræklingur að vaxa, en leitast var við að hreinsa hann af, þegar kafað var. Þó voru ákveðnir hlutar látnir óhreyfðir og kræklingnum lofað að vaxa, en sýni tekin af þessum nýliðum í júlí og október 1979.
5. Þegar komið var á R/S Bjarna Sæmundssyni í Hvalfjörð í júlí 1978 var plógur dreginn eftir botni fjarðarins og þannig náð í sýni af kolkuskel (Yoldea hyperborea) sem þar þrífst á leirnum.

2.3. Úrvinnsla

Unnið var úr sýnum í mars og apríl 1980. Í úrvinnslu voru sýnin þiðin en fiskurinn síðan skorinn úr skelinni með hnífum úr ryðfríu stáli og safnað í vegna teflonbikara til ákvörðunar á blautþyngd fisks í sýninu. Í fyrstu voru notaðir stálhnífar á málmsköfum, en er í ljós kom nikkelmengun frá sköftunum voru aðeins notaðir hnífar á plastsköftum. Í hverju sýni voru um 50

kræklingar (N) og í teflonbikurunum var þeim blandað saman með Ultra Turrax blandara og var tekið af blöndunni til efnagreininga. Þurrþyngdarhlutfall skelfisksins var fundið með því að veða hluta af blöndunni bæði fyrir og eftir þurrkun við 110° í hita-skáp. Þurrþyngdarhlutfall er því = $\frac{\text{þungi þurrkaðs sýnis}}{\text{þungi blautsýnis}}$

Skeljarnar sjálfar voru einnig vegnar og mesta lengd þeirra fundin með skíðmáli. Þá var og reiknuð meðal-lengd skeljanna og staðalfrávik (SF) hennar.

Stærð fisksins í skeljunum var allbreytileg og er holdafarsstuðull mælikvarði á það:

$$\text{Holdarfarsstuðull} = \frac{\text{þurrþyngd fisks}}{\text{þurrþyngd fisks} + \text{skelja}}$$

Niðurstöður þessarar mælinga eru skráðar í 3., 4. og 11. töflu.

2.4. Efnagreiningar

Til þess að meta áreiðanleika efnagreininga og jafnframt bera saman niðurstöður stofnana, er beitt samanburðarmælingum, en í þeim tekur einn aðili að sér að senda skammta af sama sýni til fjölda vísinda-stofnana. Alþjóðahafrannsóknaráðið hefur gengist fyrir mörgum æfingum af þessu tagi og hefur höfundur tekið þátt í þeim og notað sömu aðferðir og beitt var við efnagreiningar á kræklingi. Niðurstöður samanburðarmælinga er að finna í skýrslum frá Alþjóðahafrannsóknaráðinu (27, 28,29).

Reynt var, eftir því sem aðstæður á rannsóknarstofu leyfðu, að gæta þess að sýnin menguðust ekki í úrvinnslu og efnagreiningu. Því voru áhöld og ílát þvegin í Deacon-90 sápulegi eða í saltpéturssýru.

2.4.1. Kvikasilfur (Hg)

Kvikasilfur var mælt með atómgleyfnitæki, án loga. Aðferðin felst í því að kvikasilfur í upplausn er afoxað úr Hg^{+2} í Hg^0 með Sn^{+2} og það síðan rekið úr upplausn með argongasi. Úr gasinu er kvikasilfrinu safnað á gull með amalgammyndun, en að söfnun lokinni er kvikasilfrið allt losað af gullinu með snögg hitun og leitt inn í ljósgeisla tækisins. Aðferð þessi er mjög næm og að mestu laus við truflanir.

Við kvikasilfurmælingar voru notuð eftirtalin efni:

Saltpéturssýra HNO_3 , pro analysi.

Brennisteinssýra H_2SO_4 , pro analysi.

Kaliumpermanganatupplausn, 4% KMnO_4 var leyst upp í eimuðu vatni, upplausnin látin standa í tvær vikur, síuð þá gegnum glerfilter og geymd í pyrex glerflösku.

Tin II klóríð, 20%. 100 g af SnCl_2 voru leyst upp í 85 ml af megnri saltsýru með hitun í vatnsbaði. Þessi upplausn var síðan þynnt í 500 ml og straumi af argongasi (1 l min^{-1}) hleypt í gegnum upplausnina í klukkustund.

Askorbiksýra, 20% í eimuðu vatni.

Staðlar. Útbúinn var staðall úr HgCl_2 í 1N HNO_3 .

Styrkur hans var $100 \mu\text{g Hg ml}^{-1}$. Með þynningum var síðan útbúinn staðall í 1N HNO_3 sem var 20 ng Hg ml^{-1} .

Mæling. Vegnir voru tveir skammtar úr hverju blönduðu sýni til mælinga og var hvor þeirra á bilinu 0.4 til 1 g. Skammtarnir voru settir í keiluglös sem loka mátti með glerkúlu. Í hvorn var bætt við 1.5 ml HNO_3 og 6 ml H_2SO_4 og síðan hitað við $60-70^\circ\text{C}$, uns upplausn var fengin. Þá voru glösin kæld, í hvort þeirra bætt 15 ml af KMnO_4 lausn og þau látin standa í sólarhring. Fyrir mælingu var upplausn af hverju sýni flutt í flösku sem tengdist gasflæðibúnaði mælitækisins og við þetta notaðir 5 ml af askorbiksýrulausn til þess að leysa upp manganoxíð og afoxa permanganatleifar. Að því búnu var í bætt 10 ml

af tinklóriðlausn og kvikasilfur mælt svo sem lýst hefur verið á öðrum vettvangi (30).

2.4.2. Járn (Fe), zink (Zn), mangan (Mn), kadmium (Cd), kopar (Cu) og nikkell (Ni).

Til að útbúa upplausnir til mælinga á þessum efnum voru notaðar kísilglertúpur sem hálfloka mátti með kísilglerkúlum. Glertúpum þessum var raðað í holur á hitaplötu. Til uppleysingar var notuð saltpéturssýra, HNO_3 (Merck, Suprapure), vetnisperoxíð H_2O_2 (Merck, pro analysi) og vatn úr jónskiptatæki (Milli-Q vatn), en það er svo til laust við snefil af málmum.

Af hverju blönduðu sýni voru vegnir tveir skammtar, 0.4-0.8 g, settir á kísilglertúpu að viðbættum 2 ml HNO_3 . Sýnin voru hituð við hægt vaxandi hita sem að lokum náði um 140°C . Á síðari stigum uppleysingar var bætt í hvert sýni H_2O_2 í dropatali. Að uppleysingu lokinni voru sýnin kæld og þynnt í 20 ml og kísilglertúpunum lokað. Voru þau þá tilbúin til mælingar. Blandaðir staðlar í þynntri saltpéturssýru voru útbúnir með hæfilegri þynningu á sterkum stöðlum.

Til ákvörðunar á styrk þessara málma var notað Varian AA-6 atómgleyfnitæki. Málmarnir zink og járn voru ákvarðaðir í acetylene loga, en mangan, kadmium, kopar og nikkell í glóðarkolsofni.

2.4.3. Blý (Pb) og vanadium (V)

Þar eð mjög lítið var af þessum málmum í kræklingnum voru útbúnar upplausnir, þar sem meira magn af blönduðum kræklingi (um 2.5 g) voru leyst upp í kísilglertúpu með 4 ml HNO_3 og var lokarúmmál 20 ml. Einungis ein upplausn var útbúin af hverju sýni. Stöðlun var einnig frábrugðin, því að fyrir þessa málma var beitt „standard addition“

aðferð, sem felst í því að bæta ákveðnu magni staðals við uppleyst sýni.

2.5. Nákvæmni mælinga, næmi og skekkjur

Niðurstöður mælinga koma fram í 3. 4. og 11. töflu. Þar sést að þurrþyngdarhlutfall sýna er töluvert mismunandi og því eru niðurstöður snefilmálma reiknaðir á grundvelli þurrþyngdar. Þar eð málmar (utan Pb og V) voru ákvarðaðir með tveimur mælingum á hverju sýni var mælinákvæmni í hverjum sýnaflokki fundin samkvæmt:

$$s = \sqrt{\frac{\Delta x_i^2}{2n}} \quad \text{þar sem}$$

s = staðalfrávik

Δx_i = mismunur tveggja mælinga á sýni,

n = fjöldi sýnatvennda.

Mælinákvæmni þannig reiknuð er í 2. töflu.

2. tafla Nákvæmni efnamælinga

Sýnaflokkar

Málmur	1.		2.		3.	
	N	s	N	s	N	s
Hg	5	0.006	48	0.010	29	0.006
Zn	5	4.03	48	4.13	29	2.09
Cd	5	0.048	48	0.066	28	0.077
Fe	5	18.7	43	67.1	28	13.9
Mn	5	0.92	42	1.17	28	1.19
Cu	4	0.84	44	0.84	27	0.47
Ni	4	0.31	21	0.54	24	0.34

N = fjöldi tvennda, s = staðalfrávik

s = staðalfrávik, $\mu\text{g/g}$ (þurrþyngd)

Fyrir blý var mælinákvæmni fundin með sex endurteknum mælingum á sama sýni sem í var $1.59 \mu\text{g Pb g}^{-1}$ og var þá $s = 0.15$. Styrkur málma í kræklingi var oftast það hár að ekki hjó nærri næmimörkum efnagreininga- aðferða. Næmi við greiningu á blýi var $0.03 \mu\text{g g}^{-1}$, á nikkeli $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ og á vanadium $0.3 \mu\text{g g}^{-1}$, og fyrir kom að styrkur þessarar málma mældist rétt um þessi mörk. Þær niðurstöður eru óáreiðanlegar og var þeim sleppt í frekari úrvinnslu. Eins og fram kom í grein 2.3. komst nikkelmengun í nokkur sýni úr áhöldum og olli skekkjum. Því voru allmörg nikkelsgildi felld úr skrá.

Að öðru leyti gefa skýrslur þær, sem lýsa niðurstöðum alþjóðlegra samanburðarmælinga (27, 28, 29), vísendingar um áreiðanleika efnagreininganna.

3. Málmar í kræklingi

3.1. Mat á niðurstöðum

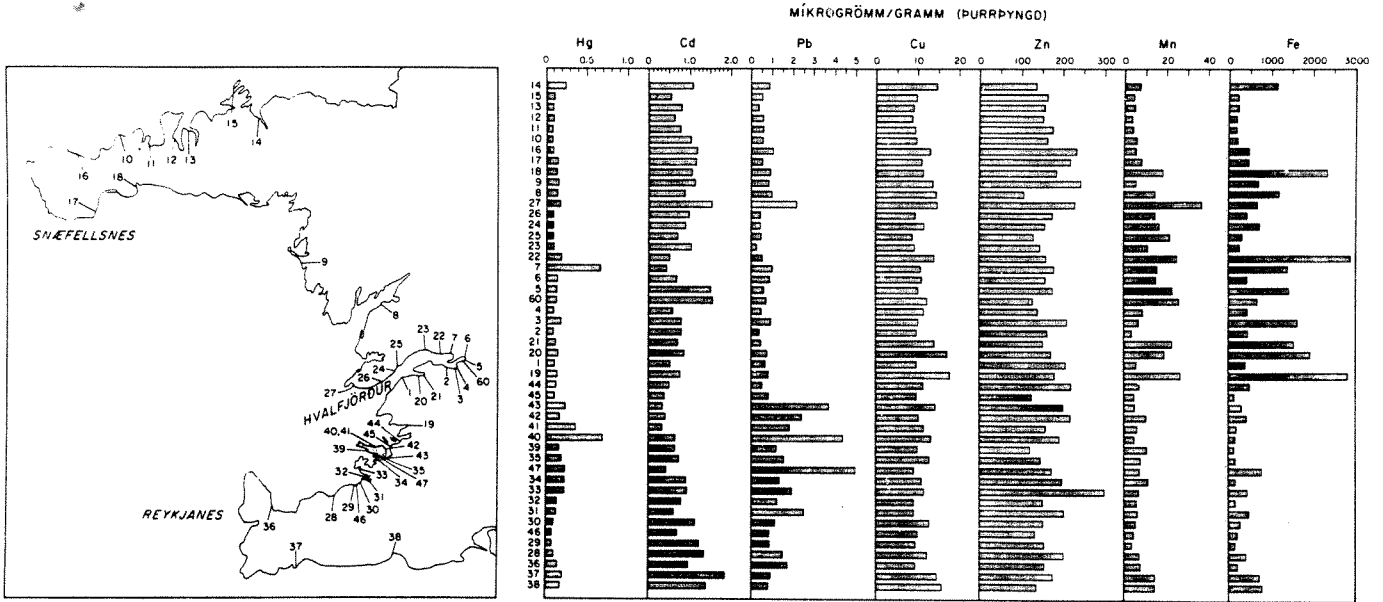
Í 3. og 4. töflu eru fram settar niðurstöður mælinga á kræklingi í 1. og 2. sýnaflokki, og kemur þar fram styrkur þungmálma í hverju grammi skelfisks. Þessar niðurstöður skýrast þegar þær eru settar fram í mynd sem tengir þær við söfnunarstaði sýnanna (2. mynd). Við skoðun þeirrar myndar kemur strax fram að styrkur þungmálma er ærið breytilegur og sá grunur kann að vakna, að í kræklingi frá Reykjavík og nágrenni sé meira af þungmálmum en eðlilegt geti talist. Í 2. mynd felst þó einungis vísending um þetta, því mismunandi styrkur málma í kræklingi getur átt rætur að rekja til þess að kræklingurinn er misstór og misþungur, eins og fram kemur í 3. og 4. töflu.

3. tafla Niðurstöður um styrk málma í fyrsta sýnaflokki.

STAD- UR	DAGS- 1978		S	O/00	N	PURR- PYNGD FISKS(G)	HOLDA- FARS- STUÐULL	PURR- PYNGD, HLUTF.	LENGD+ SF(mm)	Hs	Cd	MIKROGRÖMM/GRAMM							
	T	C										Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	V	
29	3/	5	-	-	101	0.0065	0.071	0.134	13	3	0.13	0.82	1.78	13.7	156	-	4.5	294	1.0
29	3/	5	-	-	50	0.0752	0.064	0.110	31	2	0.11	1.45	0.75	10.5	148	2.1	5.7	172	-
29	3/	5	-	-	50	0.1587	0.065	0.113	40	3	0.11	1.64	0.92	11.2	154	2.4	5.4	200	-
29	3/	5	-	-	49	0.3553	0.070	0.119	50	3	0.09	1.55	0.44	9.6	147	1.7	5.6	184	-
29	3/	5	-	-	50	0.5306	0.070	0.114	58	3	0.09	1.36	0.47	9.5	140	1.7	6.3	182	-

4. tafla Niðurstöður um styrk málma í öðrum sýnaflokki.

STAD- UR	DAGS- 1978		S	O/00	N	PURR- PYNGD FISKS(G)	HOLDA- FARS- STUÐULL	PURR- PYNGD, HLUTF.	LENGD+ SF(mm)	Hs	Cd	MIKROGRÖMM/GRAMM							
	T	C										Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	V	
1	21/	4	4.4	33.09	50	0.1207	0.072	0.120	31	12	0.11	0.54	0.70	9.9	207	-	6.1	405	1.5
2	21/	4	3.3	22.90	50	0.5507	0.100	0.145	46	19	0.09	0.79	0.39	9.9	164	0.8	4.0	460	1.7
3	21/	4	6.5	31.93	52	0.3430	0.049	0.111	53	8	0.18	0.81	0.95	10.4	212	1.8	7.5	1131	4.3
4	21/	4	8.0	32.58	45	0.4623	0.046	0.117	58	8	0.10	0.60	0.50	11.7	143	3.9	9.2	469	1.5
5	21/	4	8.0	15.66	51	0.1750	0.038	0.112	44	7	0.14	1.52	0.66	10.2	176	5.3	23.4	1446	4.6
6	21/	4	8.5	8.78	50	0.2985	0.047	0.107	50	11	0.14	0.70	0.92	11.2	159	5.1	15.8	477	1.7
7	21/	4	6.0	31.24	47	0.1067	0.062	0.132	31	7	0.67	0.45	1.04	10.9	180	3.4	16.2	902	3.0
8	22/	4	6.4	13.05	49	0.1519	0.052	0.109	42	3	0.14	0.87	1.00	14.6	106	4.2	15.0	1197	20.0
9	22/	4	5.1	34.16	50	0.1420	0.041	0.106	38	8	0.17	1.13	0.86	13.8	245	-	6.2	716	-
10	23/	4	4.3	34.20	49	0.4533	0.068	0.125	50	10	0.08	1.04	0.53	9.8	164	1.9	6.4	220	-
11	23/	4	9.5	29.86	51	0.4105	0.069	0.137	45	16	0.08	0.77	0.56	9.6	178	-	4.3	200	2.4
12	23/	4	4.3	32.77	50	0.1093	0.015	0.142	55	10	0.10	0.63	0.55	8.9	153	-	4.0	198	-
13	23/	4	7.2	33.64	50	0.7244	0.061	0.143	59	10	0.10	0.80	0.38	9.2	158	-	5.1	244	0.7
14	23/	4	9.4	31.49	51	0.0881	0.034	0.107	37	6	0.24	1.07	0.88	14.8	136	-	7.5	1154	3.0
15	23/	4	8.5	34.25	51	0.1898	0.064	0.127	39	6	0.12	0.55	0.62	9.9	163	-	4.7	228	-
16	24/	4	5.4	33.37	55	0.2516	0.063	0.110	42	12	0.10	1.18	1.02	13.2	234	-	6.0	480	1.2
17	24/	4	5.3	31.38	50	0.0218	0.068	0.130	15	7	0.16	1.15	0.52	11.1	218	-	8.8	479	1.4
18	24/	4	6.0	32.73	40	0.0630	0.042	0.110	28	9	0.14	1.05	0.92	11.5	185	-	18.9	2332	5.6
19	25/	4	5.4	24.78	48	0.1142	0.037	0.103	37	10	0.14	0.78	0.84	17.9	181	-	27.2	2825	7.9
20	25/	4	6.5	6.15	48	0.0862	0.046	0.098	35	6	0.15	0.87	0.76	17.2	172	-	19.3	1923	4.0
21	25/	4	10.0	25.01	63	0.1421	0.045	0.113	36	11	0.12	0.71	0.48	14.2	155	-	23.0	1540	3.6
22	25/	4	7.3	31.22	50	0.3833	0.073	0.127	48	8	0.19	0.51	0.54	14.1	163	-	25.3	2890	7.3
23	25/	4	6.1	31.41	49	0.1557	0.078	0.141	30	8	0.11	1.03	0.27	9.5	146	4.3	11.8	273	-
24	25/	4	4.7	33.75	50	0.1109	0.077	0.133	30	8	0.10	0.90	0.44	11.7	158	-	17.1	727	2.3
25	25/	4	6.0	33.61	49	0.0588	0.083	0.142	24	6	0.10	0.70	0.48	9.9	130	-	22.2	331	1.0
26	25/	4	4.9	29.97	49	0.1983	0.047	0.126	38	12	0.10	0.99	0.47	9.7	177	4.0	15.2	431	2.4
27	25/	4	4.9	34.02	49	0.0259	0.051	0.127	22	3	0.18	1.54	2.20	14.8	230	-	37.2	687	1.1
28	26/	4	5.3	11.60	50	0.1450	0.045	0.104	38	6	0.10	1.35	1.50	12.3	200	2.7	7.1	400	1.8
29	26/	4	4.2	8.95	50	0.2147	0.037	0.122	44	8	0.08	1.23	0.89	9.5	154	1.5	4.0	153	0.8
30	26/	4	4.2	3.51	49	0.0816	0.056	0.118	30	5	0.10	1.14	1.12	12.8	152	4.2	5.6	286	-
31	26/	4	5.0	27.62	43	0.2795	0.071	0.145	38	14	0.13	0.62	2.55	9.3	203	-	6.4	481	-
32	26/	4	4.9	29.80	50	0.4144	0.062	0.143	47	9	0.14	0.80	1.26	9.1	152	2.0	6.1	167	-
33	26/	4	6.5	33.53	41	0.0803	0.049	0.108	35	6	0.23	0.93	1.96	11.7	300	-	7.1	446	1.3
34	26/	4	6.3	32.76	50	0.1654	0.048	0.120	40	9	0.23	0.92	1.36	11.1	200	2.2	11.7	185	0.9
35	26/	4	5.9	33.80	50	0.1749	0.067	0.142	36	6	0.19	0.74	1.57	10.6	148	3.7	8.4	185	-
36	27/	4	6.1	34.60	50	0.2849	0.104	0.159	39	5	0.14	0.97	1.74	9.4	154	3.4	7.8	220	0.8
37	27/	4	6.4	33.43	50	0.0213	0.043	0.127	19	3	0.20	1.85	0.95	14.5	174	-	14.8	719	1.5
38	27/	4	6.4	27.61	99	0.0089	0.043	0.124	14	3	0.18	1.41	0.82	15.6	135	-	14.8	783	0.8
39	28/	4	8.2	22.31	50	0.1882	0.082	0.147	35	8	0.17	0.65	1.22	10.1	120	3.3	11.1	137	2.4
40	28/	4	4.7	33.13	50	0.2895	0.120	0.155	37	6	0.69	0.65	4.40	13.4	193	2.2	5.1	168	-
41	28/	4	4.9	33.57	50	0.4137	0.116	0.150	39	7	0.37	0.33	1.88	11.6	159	0.6	6.4	194	-
42	28/	4	4.8	33.63	44	0.1596	0.076	0.133	35	8	0.17	0.41	2.46	10.5	219	-	10.7	437	-
43	28/	4	7.6	1.97	50	0.1241	0.075	0.087	30	8	0.24	0.34	3.72	14.3	201	1.6	5.6	313	1.5
44	28/	4	5.7	13.05	51	0.1270	0.056	0.105	35	12	0.13	0.52	0.53	11.6	220	3.2	7.9	505	-
45	28/	4	5.0	31.16	50	0.4004	0.083	0.128	44	9	0.11	0.39	0.87	9.8	125	0.5	5.2	148	-
46	3/	5	4.8	7.20	50	0.1277	0.085	0.130	27	9	0.08	0.69	0.85	10.0	134	0.8	4.9	218	0.8
47	3/	5	8.2	33.27	49	0.0837	0.097	0.102	28	4	0.24	0.44	5.00	9.1	174	4.0	7.8	777	1.2
60	8/	7	-	-	50	0.1268	0.042	0.131	37	6	0.13	1.56	0.73	12.4	128	3.4	26.1	695	1.0



2. mynd. Söfnunarstaðir sýna og styrkur málma í kræklingi þar.

3.2. Mat á áhrifum stærðar

Bretinn Boyden hefur í tveimur ritgerðum (31, 32) lýst ítarlegum rannsóknum, sem hann gerði á tengslum þungmálma í lindýrum við stærð þeirra. Margir hafa í síðari rannsóknum stuðst við þá framsetningaraðferð sem hann beitti og verður svo einnig gert hér. Grundvöllur þeirrar framsetningar er sá, að tengja má ýmsa líffræðilega starfsemi við þunga dýrsins með líkingu að formi til:

$$Y = a W^b \quad (1)$$

Algengt er að nota líkingu af þessu tagi til að kanna samband milli lengdar (W) og þyngdar (Y) einstaklinga eins og hér verður einnig gert. Við athugun á málmum í kræklingi má lita á tengsl útreiknaðs heildarmagns málms í hverjum skelfiski í míkrogrömmum (Y) við þurrþunga fisksins í grömmum (W). Ef tekinn er lokariðmi

af jöfnu (1) fæst:

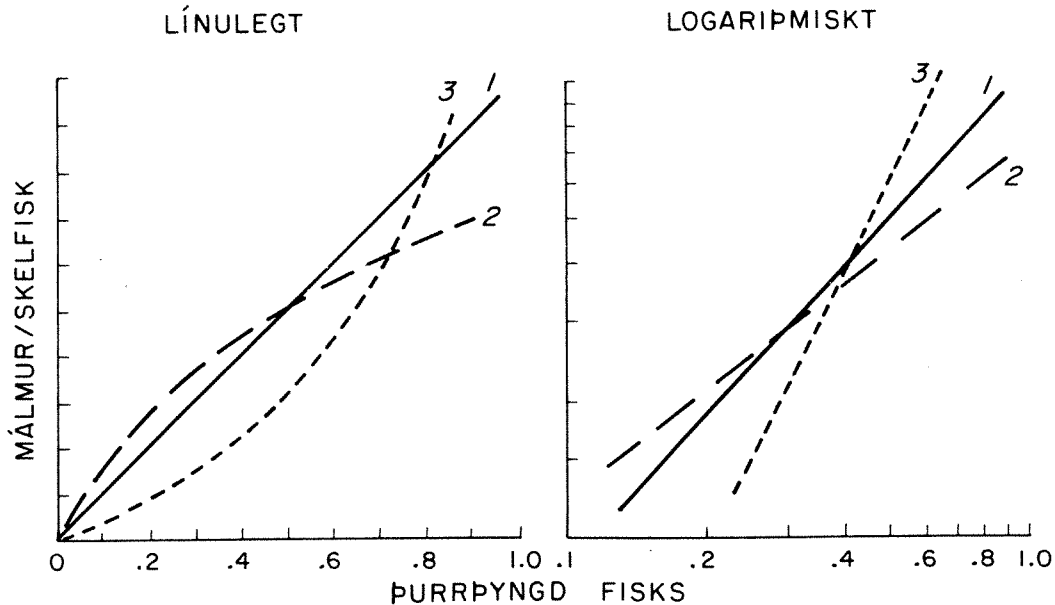
$$\log Y = \log a + b \log W \quad (2)$$

Þó svo að skoðað sé sambandið milli heildarmagns málma í einstökum skelfiskum og þunga þeirra, eru augljóslega tengsl milli þeirra stærða og málma-
styrks, sem reiknaður á þungaeiningu fisks (t.d. í $\mu\text{g g}^{-1}$) Y'

$$\text{því, } Y' = \frac{Y}{W} = \frac{a W^b}{W} = a W^{b-1} \quad (3)$$

og þegar logariðmi er tekinn af (3) fæst:

$$\log Y' = \log a + (b-1) \log W \quad (4)$$



3. mynd. Þrenns konar hugsanleg tengsl milli magns málma í skelfiski og þyngdar fisksins.

Vert er að líta á þrenns konar hugsanleg tengsl milli magns málma í kræklingum og þunga þeirra, og skoða hvernig þessi tengsl líta út bæði samkvæmt jöfnum 1 og 2, þ.e. á línulegum og logariðmiskum myndum. Á 3. mynd sýna ferlar 1 magn málms í hverjum kræklingi Y (μg), vex jafnt og þétt með þyngd fisksins X , því er $Y = aX$. Í þessu tilfalli er styrkur málma á

Þungaeiningu ($\mu\text{g g}^{-1}$) hinn sami í kræklingi af öllum stærðum. Ferlar 2 sýna minna af málmum í stórum kræklingi heldur en búast mætti við ef magn málmsins ykist jafnt og þétt með þunga fisksins. Því er $Y = aX^b$ þar sem $b < 1.0$. Miðað við þungaeiningu ($\mu\text{g g}^{-1}$) er styrkur málmsins hærri í smáum kræklingi en stórum. Ferlar 3 sýna hins vegar að meira safnast af málmum í stóran krækling en vænta mætti ef magn málmsins ykist jafnt með þunga fisksins, hér er því $Y = aX^b$ og $b > 1.0$. Miðað við þungaeiningu er styrkur málmsins hærri í stórum kræklingi en smáum. Á 3. mynd sést einnig, að þegar ferlar 1, 2 og 3 eru dregnir í logariðmisku línu-riti samkvæmt jöfnu 2 þá fást beinar línur sem hafa mismunandi hallatölu b .

Rannsóknir Boydens (31, 32) á sjávarskeldýrum, þar með töldum kræklingi, bentu til þess að hallatalan b væri ákveðin fyrir hvern málm í einni skelfiskegund. Hann benti á, að reikna mætti skurðpunktinn a sem tilgreinir magn málmsins í kræklingi sem er 1 g að þurrþyngd, og nota hann til að fá raunhæfan samanburð á málmum í kræklingi frá ýmsum svæðum, og skipti þá ekki máli hversu stór kræklingur væri rannsakaður. Ef rétt reyndist, væri þetta til mikils gagns, þá er nota skal krækling til að meta þungmálmamengun sjávar. Síðari rannsóknir hafa þó bent til þess að breytingar geti orðið á hallatölunni b fyrir ýmsa málmum í kræklingi (19, 33). Þær breytingar tengjast söfnunarsvæðum, stærð og kynþroska kræklingans og geta því verið árstíðabundnar. Við söfnun sýna til þess verks sem hér er greint frá, var leitast við að draga úr áhrifum þessara breytingaavaldna, öðrum en stærð. Því var sýnum safnað á skömmum tíma að vorlagi fyrir hrygningu, en óhjákvæmilegt er að fram geti komið áhrif mismunandi lífsskilyrða. Við Reykjanes sunnanvert fer sjávarhiti vart niður fyrir 3°C á vetrum, en í vikum og fjörðum Faxaflóa og Snæfellsness er sjávarhiti þá oft um frostmark.

Ýmsar leiðir aðrar en sú sem Boyden beitti hafa verið farnar til þess að meta niðurstöður mælinga á

Þungmálmum í kræklingi, svo sem að tengja magn eða styrk málma í kræklingi við skeljastærð eða stærðarhlutföll í skeljunum (34). Ekki verður þó séð að það skili verulega betri árangri. Nýlega hefur samt verið sýnt fram á með mælingum á nokkrum málmum og geisla-virkum samstæðum í kræklingsskeljum, að efnagreiningar á skeljum geta einnig veitt upplýsingar um sjávarmengun, og líklega fylgir þessari leið sá kostur, að sveiflur með árstíðum og kynþroska á styrk málma í skelinni eru minni en í holdi skelfisksins (35).

4. Niðurstöður

4.1. Inngangur

Í þeirri úrvinnslu sem hér fer á eftir verður stuðst við þá framsetningu sem Boyden beitti, þ.e. að skoða tengsl magns málma í holdi kræklinga við þyngd hans, en jafnframt verður litið á tengsl magns málma við skeljalengd.

Við útreikninga voru notaðar tölfræðilegar aðferðir og með línulegri nálgun, samkvæmt jöfnu 2, voru þannig fundin tengsl milli þyngdar eða lengdar og magns málma, fylgni, fastarnir a og b, 95% öryggismörk þeirra svo og 95% öryggismörk um reiknaðar línur.

4.2. Fyrsti sýnaflokkur

Tilgangurinn með þessum sýnum var að kanna samræmi niðurstaðna (5. tafla) við það líkan sem jöfnur 1 og 2 lýsa. Kræklingurinn til þessa var tekinn allur af einum steini í Straumsvík. Hann hafði því allur lifað við sömu skilyrði hvað varðar sjávarföll, hitastig og seltu. Stærðin ein ætti því að vera ráðandi breytingaþáttur og mæld gildi lengdar og þyngdar falla þétt að veldisfalli (4. mynd, 6. tafla) svo sem vænta mátti. Málmar í kræklingnum sýna og mjög sterka línu-

lega fylgni við þyngd og lengd (7. tafla, 5. mynd) og öryggismörk eru þröng um skurðpunkta, hallatölur og reiknaðar línur.

Niðurstaða þessa er sú, að kræklingur hér við Faxaflóa sé eðlilegur á þann hátt, að vel henti að nota það líkan sem jöfnur 1 og 2 lýsa, hvort heldur sem miðað er við þyngd fisksins eða lengd skeljanna.

5. tafla Niðurstöður um magn málma í skelfiski í fyrsta sýnaflokki.

STADUR	N	PURR- PYNGD FISKS(G)	HOLDA- FARS- STUÐULL	PURR- PYNGD HLUTF.	LENGD+- SF(mm)	MIKROGRÖMM/SKELFISK									
						Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	V	
29	101	0.0065	0.071	0.134	13 3	0.0008	0.0053	0.0116	0.089	1.0	-	0.029	1.9	0.01	
29	50	0.0752	0.064	0.110	31 2	0.0082	0.1094	0.0568	0.787	11.1	0.157	0.428	12.9	-	
29	50	0.1587	0.065	0.113	40 3	0.0168	0.2597	0.1460	1.769	24.4	0.386	0.849	31.7	-	
29	49	0.3553	0.070	0.119	50 3	0.0328	0.5524	0.1553	3.419	52.1	0.597	1.986	65.4	-	
29	50	0.5306	0.070	0.114	58 3	0.0465	0.7214	0.2513	5.050	74.2	0.908	3.351	96.8	-	

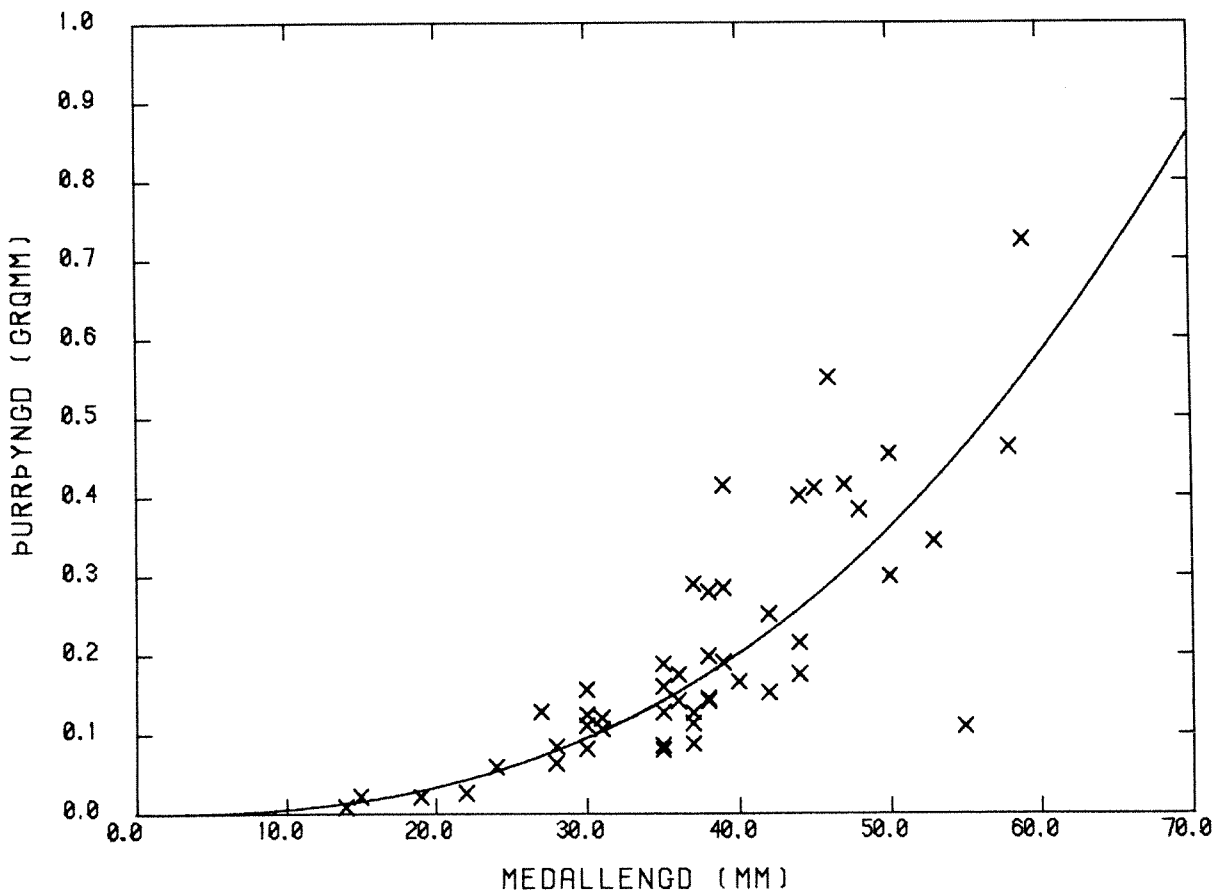
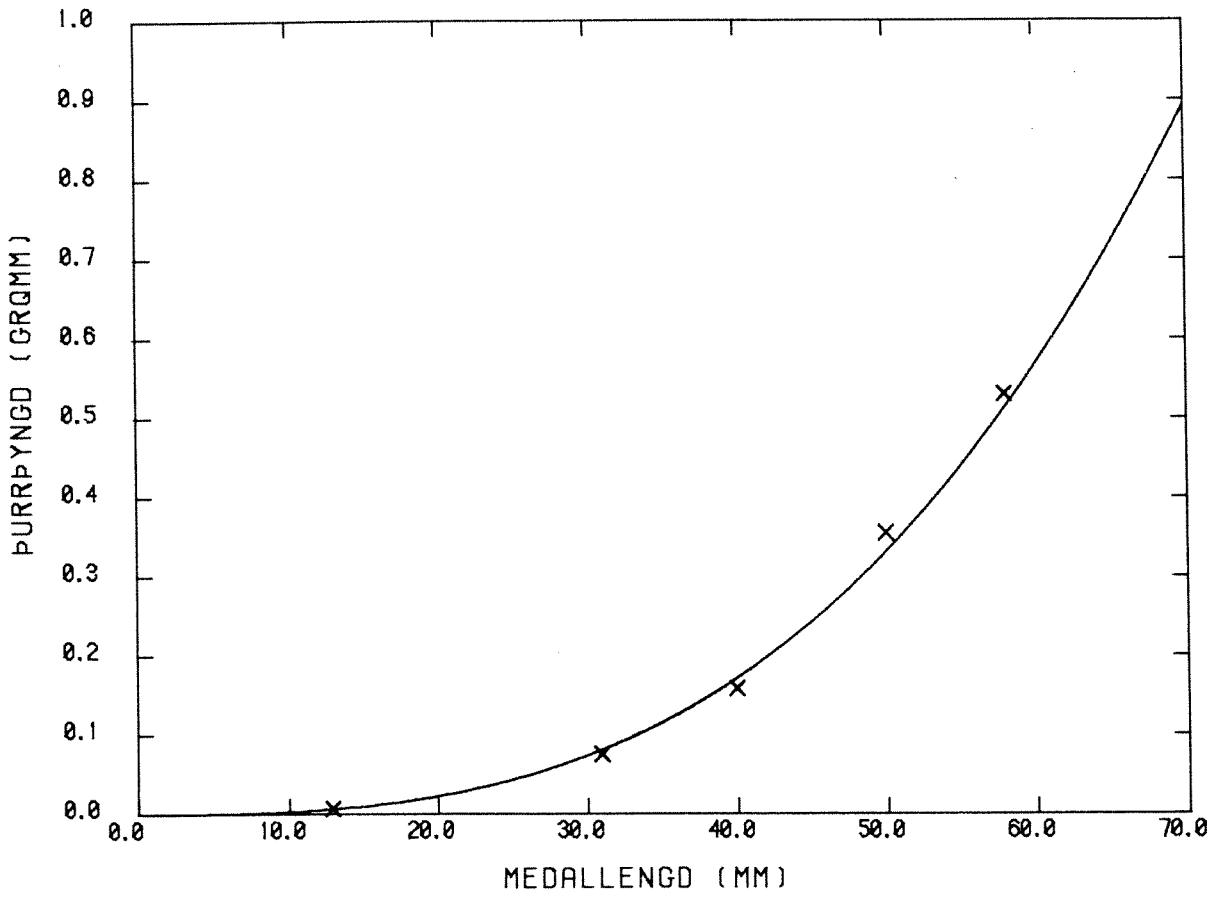
6. tafla

Tengsl þurrþyngdar skelfisks (Y g) og skeljalengdar (X mm) í 1. og 2. sýnaflokkum samkvæmt líkingunni: $\log Y = \log a + b \log X$

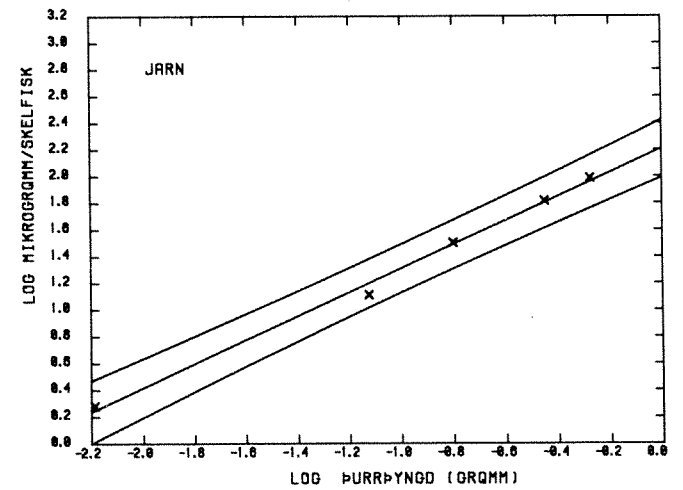
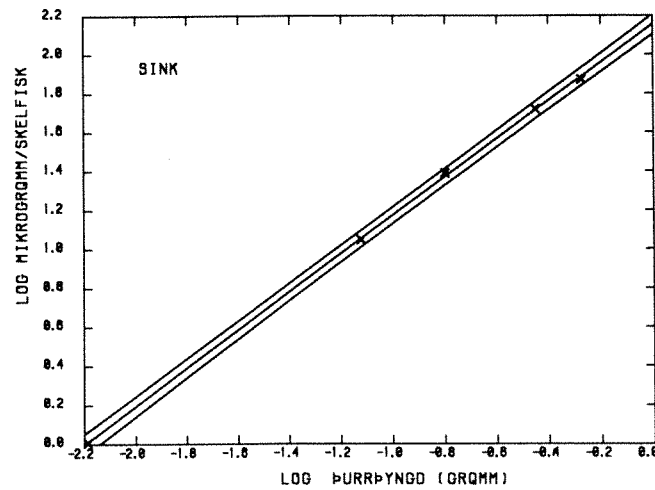
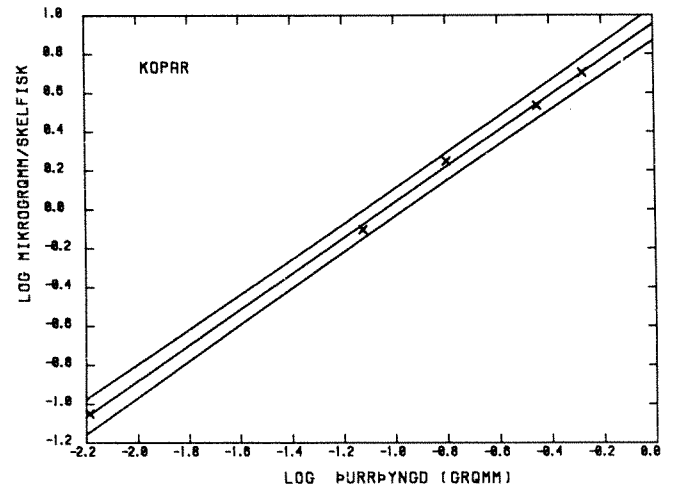
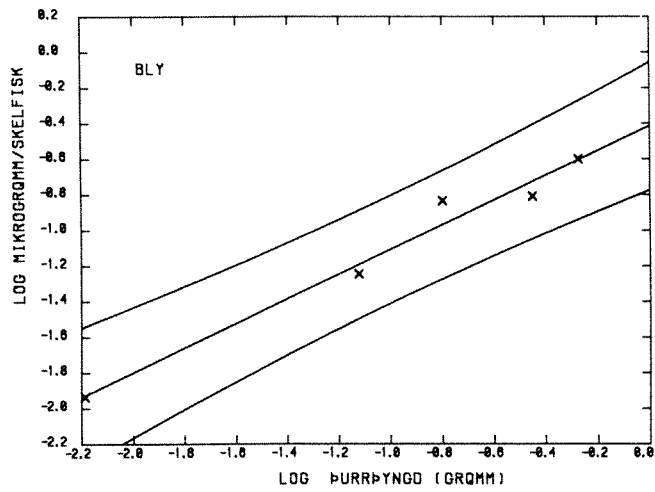
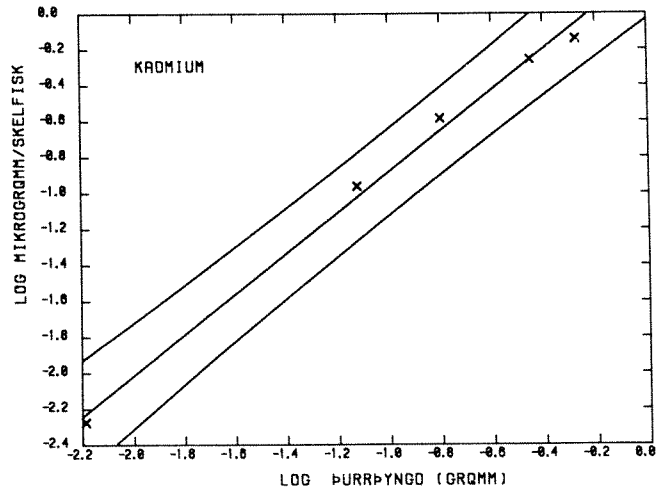
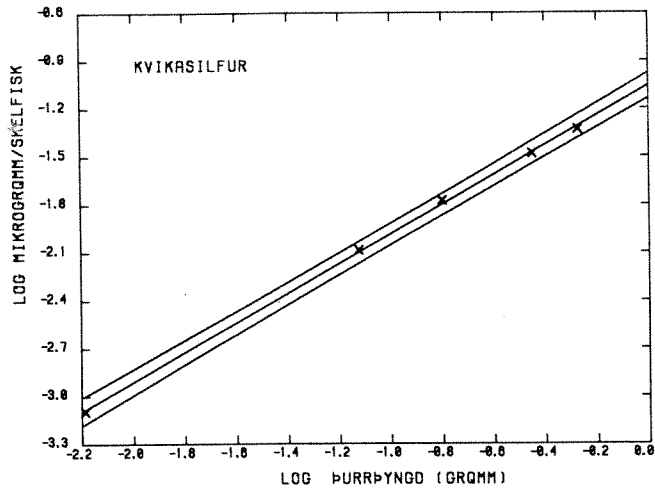
	Fjöldi sýna	Skurðpunktur		Hallatala		Fylgni r
		log a	95% mörk	b	95% mörk	
1. sýnaflokkur	5	-5.4897	0.3331	2.9484	0.2148	0.9992
2. sýnaflokkur	48	-4.8596	0.6100	2.5983	0.3912	0.8906
Viðmiðunarsýni	34	-4.7416	0.6517	2.5051	0.4160	0.9068

7. tafla Tengsl málma í skelfiski í 1. sýnaflokki (Y µg) við þyngd skelfisks (X g) eða skeljalengd (X mm) samkvæmt líkingunni $\log Y = \log a + b \log X$

Málmur	Fjöldi sýna	Þyngd skelfisks				Skeljalengd					
		Skurðpunktur		Hallatala		Skurðpunktur		Hallatala		Fylgni	
		log a	95% mörk	b	95% mörk	r	log a	95% mörk	b	95% mörk	r
Hg	5	-1.0595	0.0532	0.93	0.05	0.9996	-6.1468	0.1448	2.73	0.09	0.9998
Cd	5	0.2536	0.1894	1.14	0.16	0.997	-5.9924	0.4881	3.36	0.31	0.9987
Pb	5	-0.4159	0.2369	0.69	0.20	0.998	-4.2258	0.8169	2.05	0.53	0.990
Cu	5	0.9548	0.0560	0.92	0.05	0.9996	-4.0910	0.3565	2.71	0.23	0.9989
Zn	5	2.1541	0.0341	0.98	0.03	0.9999	-3.2338	0.2996	2.89	0.19	0.9993
Mn	5	0.8003	0.0662	1.07	0.06	0.9996	-5.0551	0.3704	3.14	0.24	0.9992
Fe	5	2.2047	0.1422	0.90	0.12	0.997	-2.7019	0.7751	2.63	0.50	0.995

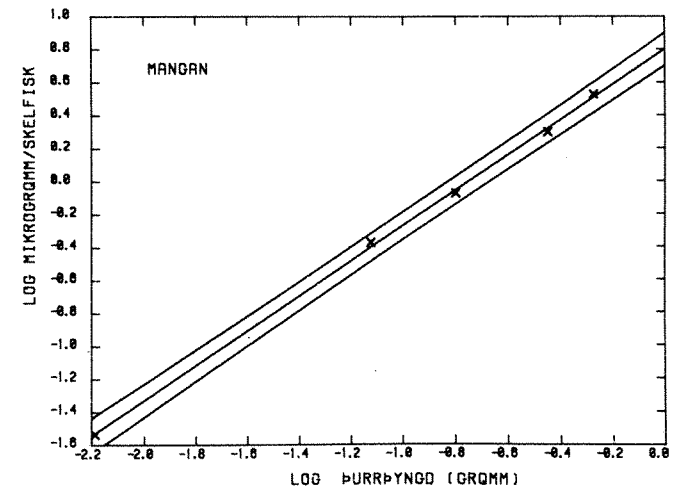


4. mynd. Tengsl þurrþyngdar og skeljalengdar kræklinga í fyrsta (efri mynd) og öðrum sýnaflokki



5. mynd.

Tengsl magns málma í skelfiski í fyrsta sýnaflokki við þyngd fíksins.



4.3. Annar sýnaflokkur

Í flokki þessum voru 48 sýni af öllu athugunar-
svæðinu. Lengdar- og þyngdargildi dreifast nú meir um
reiknað veldisfall en í 1. sýnaflokki (4. mynd, 6. tafla)
enda gætir hér áhrifa mismunandi lífsskilyrða á söfnunar-
stöðum. Tölfræðileg greining á niðurstöðum (8. tafla)
um tengsl máлма við þyngd eða lengd kræklinga sýna fylgni
þar á milli, en hún er þó veikari en í 1. sýnaflokki
(9. tafla). Við þessu var að búast, því að mismunandi
lífsskilyrði kunna að valda nokkrum breytingum á halla-
tölunni þ frá einum stað til annars, en ásamt mismunandi
styrk máлма í umhverfi kræklinga á þessum stöðum valda
þau breytingum á skurðpunktinum a.

8. tafla Niðurstöður um magn máлма í skelfiski í
öðrum sýnaflokki.

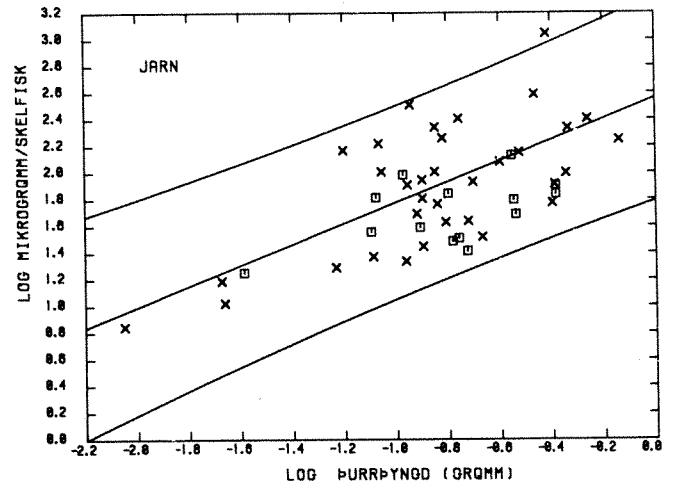
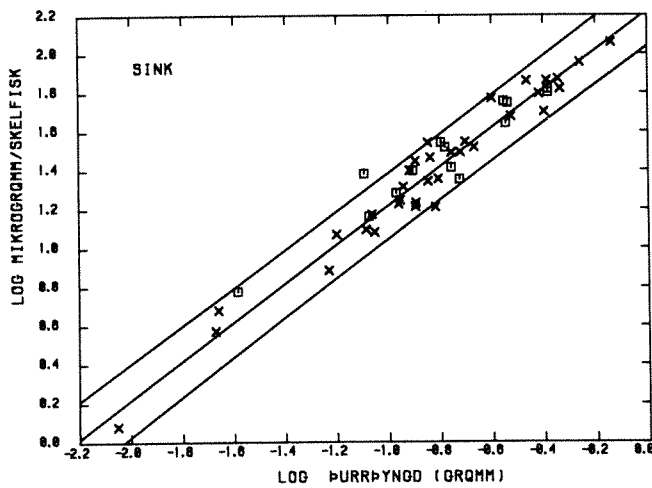
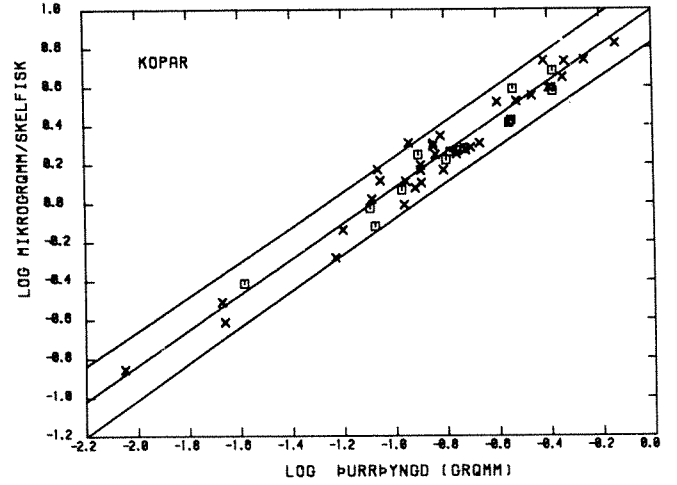
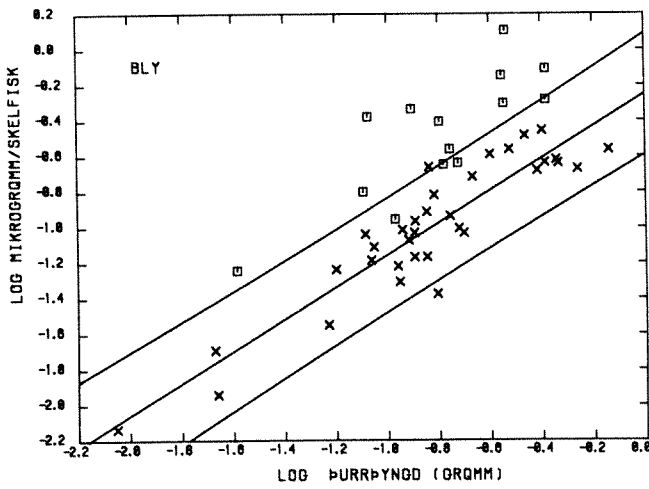
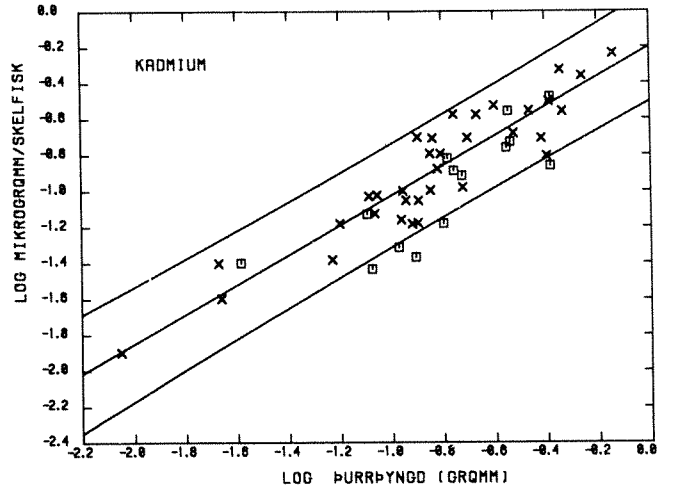
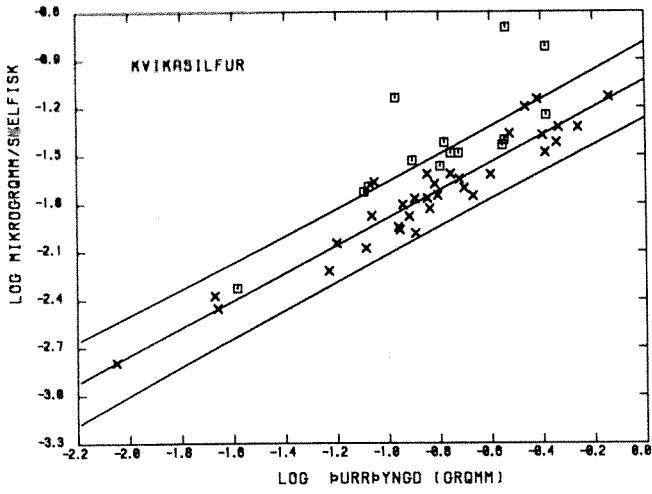
STADUR	N	PURR- PYNGD FYSKS(G)	HOLDA- FARS- STUÐULL	PURR- PYNGD HLUTF.	LENGD+ SF (mm)	MIKROGRÖMM/SKELFISK									
						Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	V	
1	50	0.1207	0.072	0.120	31 12	0.0131	0.0654	0.0845	1.197	25.0	-	0.734	48.9	0.18	
2	50	0.5507	0.100	0.145	46 19	0.0475	0.4368	0.2127	5.469	90.4	0.418	2.184	253.3	0.91	
3	52	0.3430	0.049	0.111	53 8	0.0634	0.2781	0.3276	3.569	72.6	0.603	2.580	387.8	1.48	
4	45	0.4623	0.046	0.117	58 8	0.0474	0.2766	0.2292	5.393	66.0	1.798	4.247	216.9	0.71	
5	51	0.1750	0.038	0.112	44 7	0.0242	0.2657	0.1156	1.789	30.9	0.922	4.094	253.2	0.81	
6	50	0.2985	0.047	0.107	50 11	0.0432	0.2093	0.2734	3.348	47.6	1.535	4.729	142.3	0.50	
7	47	0.1067	0.062	0.132	31 7	0.0720	0.0485	0.1108	1.168	19.2	0.364	1.726	96.2	0.32	
8	49	0.1519	0.052	0.109	42 3	0.0209	0.1324	0.1519	2.216	16.2	0.641	2.279	181.9	3.04	
9	50	0.1420	0.041	0.106	38 8	0.0241	0.1608	0.1219	1.963	34.8	-	0.884	101.7	-	
10	49	0.4533	0.068	0.125	50 10	0.0381	0.4714	0.2394	4.443	74.3	0.870	2.883	99.5	-	
11	51	0.4105	0.069	0.137	45 16	0.0330	0.3146	0.2307	3.925	73.0	-	1.783	82.1	0.99	
12	50	0.1093	0.015	0.142	55 10	0.0112	0.0693	0.0601	0.978	16.7	-	0.435	21.6	-	
13	50	0.7244	0.061	0.143	59 10	0.0735	0.5826	0.2736	6.636	114.7	-	3.724	176.6	0.51	
14	51	0.0881	0.034	0.107	37 6	0.0214	0.0947	0.0774	1.301	12.0	-	0.659	101.7	0.26	
15	51	0.1898	0.064	0.127	39 6	0.0224	0.1046	0.0986	1.875	31.0	-	0.896	43.2	-	
16	55	0.2516	0.063	0.110	42 12	0.0240	0.2973	0.2562	3.317	58.9	-	1.521	120.8	0.30	
17	50	0.0218	0.068	0.130	15 7	0.0035	0.0252	0.0114	0.243	4.8	-	0.192	10.5	0.03	
18	40	0.0630	0.042	0.110	28 9	0.0089	0.0658	0.0578	0.727	11.7	-	1.188	146.8	0.35	
19	48	0.1142	0.037	0.103	37 10	0.0155	0.0887	0.0944	2.039	20.6	-	3.103	322.5	0.90	
20	48	0.0862	0.046	0.098	35 6	0.0132	0.0747	0.0651	1.486	14.8	-	1.666	165.7	0.34	
21	63	0.1421	0.045	0.113	36 11	0.0170	0.1006	0.0679	2.024	22.0	-	3.269	218.7	0.52	
22	50	0.3833	0.073	0.127	48 8	0.0709	0.1962	0.2082	5.402	62.5	-	9.688	1107.6	2.81	
23	49	0.1557	0.078	0.141	30 8	0.0177	0.1601	0.0420	1.479	22.7	0.673	1.838	42.5	-	
24	50	0.1109	0.077	0.133	30 8	0.0108	0.1001	0.0492	1.293	17.5	-	1.902	80.6	0.26	
25	49	0.0588	0.083	0.142	24 6	0.0060	0.0414	0.0282	0.522	7.6	-	1.307	19.5	0.06	
26	49	0.1983	0.047	0.126	38 12	0.0197	0.1967	0.0928	1.928	35.1	0.787	3.021	85.4	0.47	
27	49	0.0259	0.051	0.127	22 3	0.0047	0.0398	0.0571	0.385	6.0	-	0.965	17.8	0.03	
28	50	0.1450	0.045	0.104	38 6	0.0146	0.1952	0.2175	1.777	29.1	0.397	1.025	58.0	0.26	
29	50	0.2147	0.037	0.122	44 8	0.0176	0.2640	0.1918	2.033	33.0	0.326	0.862	32.8	0.18	
30	49	0.0816	0.056	0.118	30 5	0.0083	0.0934	0.0913	1.048	12.4	0.342	0.460	23.4	-	
31	43	0.2795	0.071	0.145	38 14	0.0366	0.1735	0.7133	2.593	56.9	-	1.783	134.5	-	
32	50	0.4144	0.062	0.143	47 9	0.0565	0.3333	0.5216	3.767	63.2	0.811	2.521	69.1	-	
33	41	0.0803	0.049	0.108	35 6	0.0186	0.0744	0.1577	0.941	24.1	-	0.569	35.9	0.10	
34	50	0.1654	0.048	0.120	40 9	0.0379	0.1516	0.2246	1.833	33.0	0.358	1.929	30.6	0.15	
35	50	0.1749	0.067	0.142	36 6	0.0326	0.1294	0.2747	1.860	25.9	0.653	1.472	32.3	-	
36	50	0.2849	0.104	0.159	39 5	0.0394	0.2778	0.4964	2.670	44.0	0.959	2.213	62.6	0.23	
37	50	0.0213	0.043	0.127	19 3	0.0042	0.0395	0.0203	0.309	3.7	-	0.317	15.3	0.03	
38	99	0.0089	0.043	0.124	14 3	0.0016	0.0126	0.0073	0.139	1.2	-	0.131	7.0	0.01	
39	50	0.1882	0.082	0.147	35 8	0.0326	0.1216	0.2291	1.907	22.6	0.614	2.093	25.9	0.46	
40	50	0.2895	0.120	0.155	37 6	0.1999	0.1868	1.2740	3.867	55.8	0.644	1.485	48.7	-	
41	50	0.4137	0.116	0.150	39 7	0.1517	0.1379	0.7778	4.813	65.9	0.234	2.648	80.3	-	
42	44	0.1596	0.076	0.133	35 8	0.0270	0.0660	0.3924	1.668	34.9	-	1.710	69.8	-	
43	50	0.1241	0.075	0.087	30 8	0.0292	0.0428	0.4620	1.775	25.0	0.200	0.699	38.9	0.19	
44	51	0.1270	0.056	0.105	35 12	0.0169	0.0665	0.0677	1.476	27.9	0.405	0.998	64.1	-	
45	50	0.4004	0.083	0.128	44 9	0.0422	0.1564	0.3503	3.926	50.2	0.203	2.080	59.3	-	
46	50	0.1277	0.085	0.130	27 9	0.0103	0.0884	0.1080	1.272	17.1	0.108	0.624	27.9	0.11	
47	49	0.0837	0.097	0.102	28 4	0.0201	0.0369	0.4184	0.759	14.5	0.336	0.652	65.1	0.10	
60	50	0.1268	0.042	0.131	37 6	0.0169	0.1984	0.0929	1.568	16.3	0.431	3.311	88.1	0.13	

9. tafla Tengsl málma í skelfiski í 2. sýnaflokki og viðmiðunarsýnum ($Y_{\mu g}$) við þyngd skelfisks (X g) eða skeljalengd (X mm) samkvæmt líkingunni $\log Y = \log a + b \log X$.

Málmur	Fjöldi sýna	Þyngd skelfisks					Skeljalengd				
		Skurðpunktur		Hallatala		Fylgni r	Skurðpunktur		Hallatala		Fylgni r
		log a	95% mörk b	b	95% mörk		log a	95% mörk b	b	95% mörk	
Hg	48	-0.9138	0.1396	0.90	0.15	0.865	-5.172	0.936	2.27	0.60	0.745
Cd	48	-0.2500	0.1127	0.81	0.12	0.888	-4.409	0.668	2.25	0.43	0.841
Pb	48	-0.0876	0.1958	0.93	0.22	0.786	-4.418	1.193	2.29	0.76	0.664
Cu	48	0.9835	0.0508	0.91	0.06	0.979	-3.525	0.567	2.42	0.36	0.892
Zn	48	2.2087	0.0614	0.97	0.07	0.973	-2.537	0.663	2.54	0.43	0.870
Mn	48	0.7453	0.1657	0.72	0.18	0.756	-2.908	0.895	1.97	0.57	0.714
Fe	48	2.4176	0.2339	0.70	0.26	0.623	-1.523	1.127	2.17	0.72	0.664
Viðmiðunarsýni:											
Hg	34	-1.0302	0.0886	0.86	0.10	0.955	-5.2711	0.5868	2.26	0.37	0.907
Cd	34	-0.2009	0.1126	0.83	0.12	0.925	-4.1595	0.7269	2.10	0.46	0.850
Pb	34	-0.2532	0.1261	0.90	0.14	0.922	-4.7610	0.6935	2.41	0.44	0.889
Cu	34	0.9927	0.0623	0.91	0.07	0.980	-3.4384	0.5943	2.35	0.38	0.911
Zn	34	2.2184	0.0667	1.00	0.07	0.980	-2.5115	0.7356	2.50	0.47	0.885
Mn	34	0.8005	0.2116	0.77	0.23	0.771	-2.9714	1.0703	2.00	0.68	0.724
Fe	34	2.5582	0.2844	0.78	0.31	0.674	-1.5680	1.2934	2.23	0.83	0.694

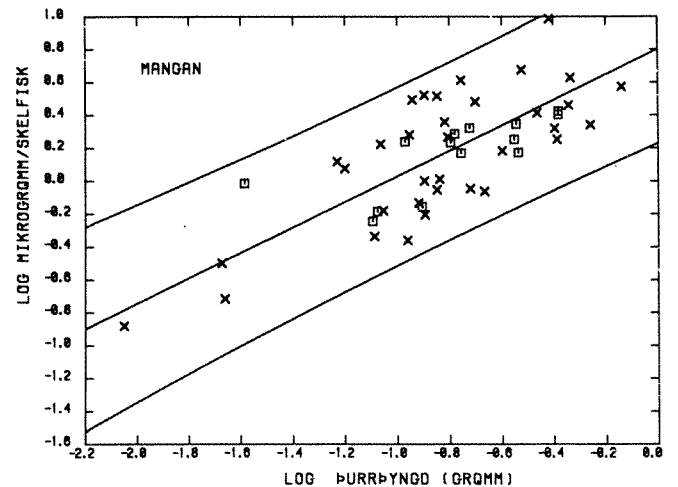
Það kom fram í grein 3.1., að á 2. mynd mætti sjá vísbendingar þess, að styrkur málma í kræklingi nálægt þéttbýlissvæðum væri hærri en eðlilegt sýndist. Til þess að meta þetta nánara er nauðsyn að taka tillit til stærðar kræklinga, svo og einhverra ákveðinna tölfræðilegra öryggismarka. Í þessu skyni voru 14 staðir í nálægð þéttbýlis teknir frá í 2. sýnaflokki. Þessir staðir voru: 7, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 43 og 47, sem nánar greinir frá í 1. töflu og 2. mynd. Þá standa eftir 34 viðmiðunarsýni frá stöðum þar sem áhrifa þéttbýlis gætir lítt, en lífsskilyrði (hitastig og selta) og stærðardreifing kræklinga eru þó dæmigerð fyrir svæðið allt. Tölfræðileg greining á niðurstöðum rannsókna á sýnaflokki (9. tafla) leiðir í ljós, að með því að fækka sýnum úr 48 í 34 hefur fylgni Hg, Cd og Pb við þyngd aukist verulega og öryggismörk þrengst. Bendir þetta til þess að í 2. sýnaflokki hafi aðrir þættir en stærð haft áhrif á magn málma í kræklingnum. Á 6. mynd eru á grundvelli viðmiðunarsýna, dregnar reiknaðar línur ásamt 95% öryggismörkum þeirra. Inn á myndirnar var síðan bætt niðurstöðum af sýnunum 14 úr nágrenni þéttbýlis og kemur þá fram, að ýmis gildi

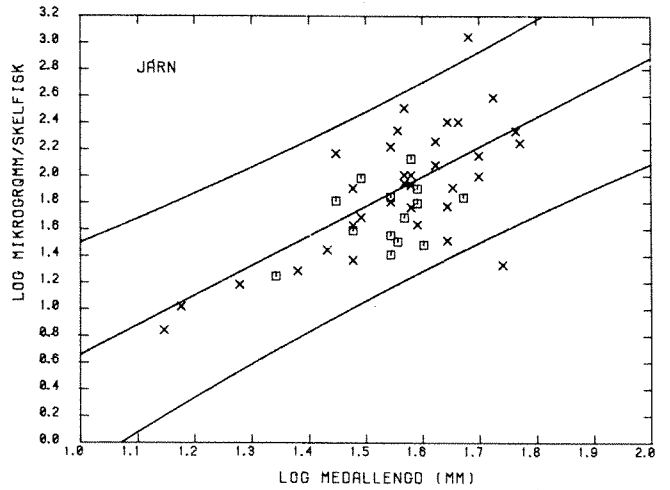
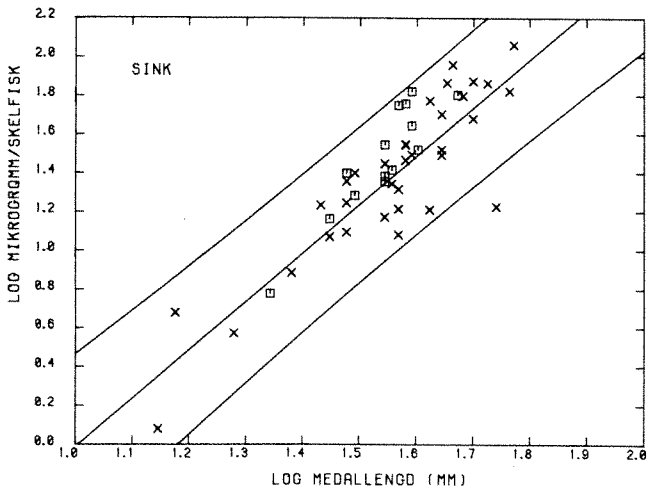
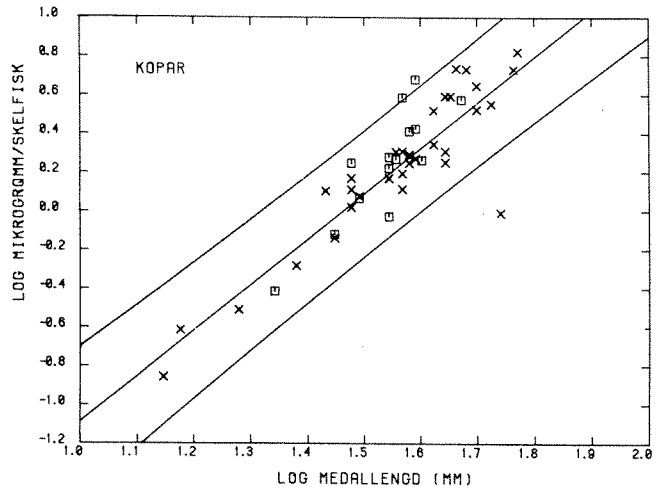
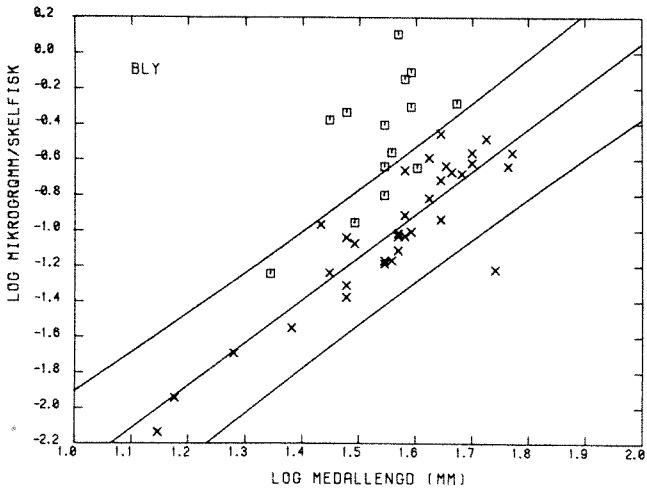
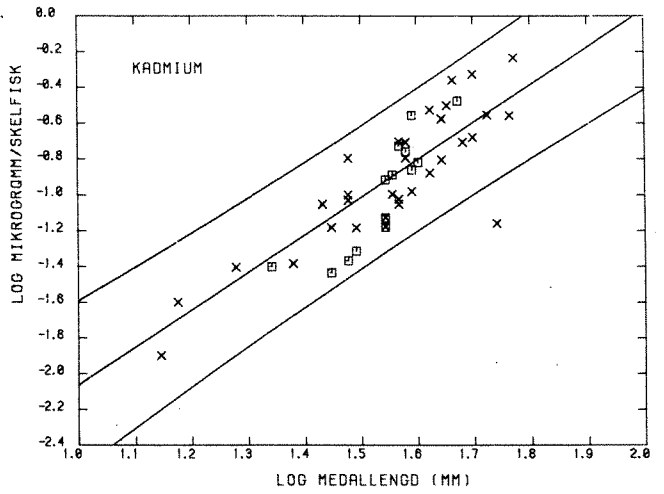
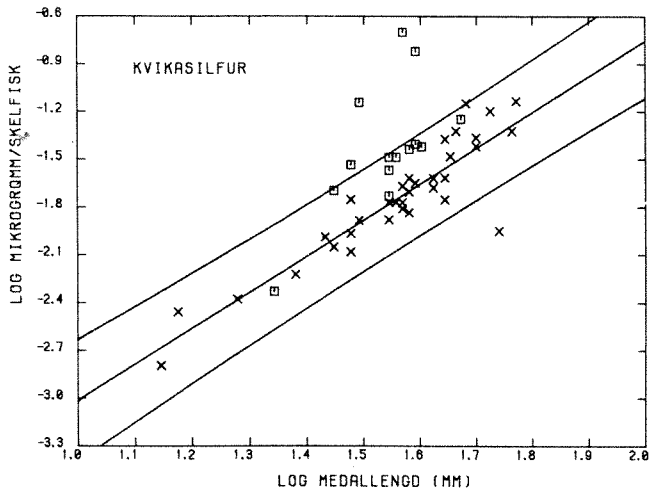
Þaðan falla utan 95% öryggismarka um viðmiðunarlinurnar. Hér sker kadmium sig úr að því leyti, að gildi frá stöðum 43, 47, 41, 42 og 7 falla neðan öryggismarka þegar miðað er við þyngd kræklinga. Ekki er augljós ástæða til þessa, því vart er minna af kadmium í sjó nálægt þéttbýlissvæðum en annars staðar. Við innanverðan Faxaflóa er selta þó ívið lægri en utar í flóanum vegna ferskvatns sem fellur til sjávar. Engin gögn eru þó til um kadmium í þeim framburði, en væntanlega er styrkur þess lægri þar en í sjó. Á hinn bóginn hefur það komið fram í ýmsum rannsóknum, að kræklingur tekur í sig meira kadmium við lága seltu en háa (36). Miðað við skeljalengd (7. mynd) falla engin kadmiumgildi frá þéttbýlissvæðum utan 95% öryggismarka, og hugsanlega ræður tilviljun því að lítið kadmium virðist vera í nefndum sýnum, sé miðað við þyngd skelfisksins. Í 10 töflu eru skráðir þeir staðir sem falla ofan 95% öryggismarka, fyrstir þeir staðir, þar sem frávikin eru mest. Þar kemur fram nokkur munur eftir því hvort miðað er við þyngd skelfisksins eða skeljalengd. Þegar miðað er við skeljalengd fæst oftast minni fylgni og öryggismörk um fastana a og b verða stærri en þegar miðað er við þyngd (9. tafla). Við útreikninga á öryggismörkum línanna í 6. mynd og 7. mynd er tekið tillit til þessa, og því verða niðurstöður í 10. töflu að teljast jafnvægar á hvora viðmiðun sem lítið er. Ætla verður að orsök flestra frávika sé mengun frá þéttbýlissvæðum og ber mest á henni í kvikasilfri og blýi. Kemur það ekki á óvart, því að eðlilegur styrkur þessara málma í sjó er mjög lítill, kvikasilfurs innan við 5 ng l^{-1} ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$) og blýs af sömu stærðargráðu, og því koma utanaðkomandi áhrif fljótt fram.



6. mynd.

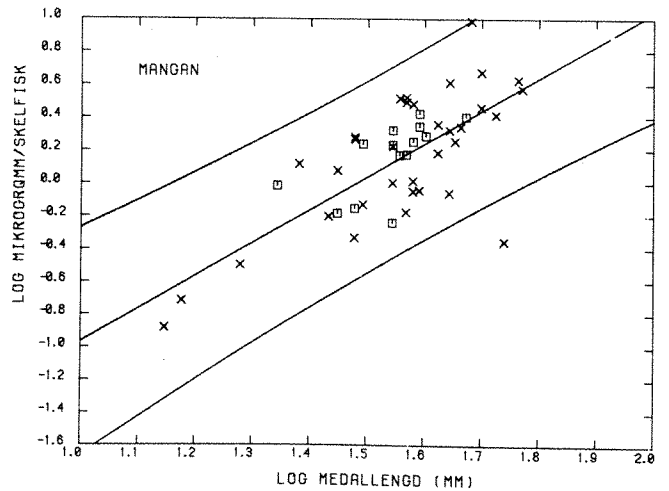
Tengsl magns málna í skelfiski í öðrum sýnaflokki við þyngd fisksins.





7. mynd.

Tengsl magns málma í skelfiski í öðrum sýnaflokki við lengd skeljana.



10. tafla

Staðir er sýna frávik ofan 95% öryggismarka reiknaðra lína í 6. og 7. mynd.

Viðmiðun:	Þyngd		Viðmiðun:	Skeljalengd
	Staðir	Málmur		Staðir
	40, 7, 41, 34, 43, 47, 33	Hg		40, 41, 7, 43
	47, 43, 40, 31, 42, 41, 27, 36, 33, 35	Pb		40, 47, 43, 41, 31, 42, 36, 35, 32, 39
		Cu		41, 40
33		Zn		

Talið er að kvikasilfursmengun berist mest frá verksmiðjum, sem framleiða klór, en því næst vegna ýmissar daglegrar notkunar í nútímapjódfélagi t.d. á tannlæknastofum, rannsóknastofum, sjúkrahúsum og heimilum (38, 39). Ennfremur voru lengi vel notuð kvikasilfursambönd í málningu, þó nú muni það liðin tíð. Þar eð ekki er vitað um iðnað á Reykjavíkursvæðinu er notar kvikasilfur eða kvikasilfurssambönd í verulegu magni, er kvikasilfursmengun í kræklingi þar aðeins ein afleiðing nútíma lifnaðarháttanna. Á hinn bóginn er líklegt, að háu kvikasilfri í kræklingi frá Miðsandi í Hvalfirði (stað 7) valdi lífrænar leifar sem berast til sjávar frá hvalstöðinni sem þar er skammt frá, en í sumum líffærum hvala er styrkur kvikasilfurs mun hærri en eðlilegt er í kræklingi eða fiski (40). Því er sennilegt, að vegna hvalskurðar sé þar meira af kvikasilfri í umferð á strandsvæðinu en ella væri.

Í 10. töflu kemur fram blýmengun í 10 sýnum af 14 frá þéttbýlissvæðinu, þar af koma 8 staðir fram við báðar viðmiðanir, skelfiskþyngd og skeljalengd. Á stöðum 40 og 41 í vesturhluta Reykjavíkurhafnar og 47 hjá málningaverksmiðju við Fossvog, á mengun þessi trúlega rætur í málningu því að blýmenja er mikið notuð á skip. Í vesturhöfninni kann blý því að ganga beint í upplausn í sjó úr málningu skipa eða vera í málningarleifum sem skolast til sjávar af slippsvæðinu. Sú koparmengun sem fram kemur á stöðum 40 og 41 (10. tafla, 7. mynd) og er ekki ýkja mikil, kann einnig að vera komin frá botnmálningu sem stundum eru í koparsambönd

til þess að hrinda frá ásætum svo sem hrúðurkörslum og þörungum. Samkvæmt 10. töflu virðist blýmengun útbreiddari en svo, að hún verði skýrð með skipamálningu eingöngu.

Stór hluti árlegrar notkunar blýs í heiminum fer sem tetraethylblý í bílabenzín og með útblæstri bíla fara þúsundir tonna af blýi út í andrúmsloftið árlega. Blýmengun af þessum orsökum berst langt, hún er greinileg í efri sjávarlögum úthafanna og í Grænlandsjökli (41, 42). Skoðanir eru skiptar um hugsanleg áhrif þessarar blýmengunar úthafanna, en á síðustu árum hefur notkun blýs í benzín minnkað, og einnig er hafin notkun bensíns sem laust er við blý. Fyrir utan það, að rjúka út í loftið og berast með því langar leiðir fellur nokkur hluti blýs frá benzínbruna með úða og sóti niður á vegi og vegakanta og skolast síðan með úrkomu til sjávar (49). Í benzíni sem selt er hér á landi eru 0.33 g af blýi í lítra, og af upplýsingum frá oliufélögunum sést að árið 1979 hafa 21 tonn af blýi verið í því benzíni sem þá var selt á þéttbýlissvæðinu við Reykjavík. Einhver óþekktur hluti blýs frá bílabenzíni skolast af götum og berst til sjávar og á trúlega verulegan þátt í blýmengun þeirri sem hér kemur fram í kræklingi.

Í fullsöltum sjó er styrkur mangans og járns mjög lágur eða innan við $1 \mu\text{g l}^{-1}$, enda mynda þessir málmar mjög torleyst sambönd í vatni. Í árvatni er yfirleitt miklu meira af mangani og járni og því má vænta verulegra sveiflna á styrk þessara málma á strandsvæðum eftir áhrifum frá fallvötnum. Þetta skýrir hið víða styrktarsvið sem fram kemur í kræklingi (2. mynd) og þau háu gildi sem fram koma í mörgum sýnum frá Hvalfirði.

4.4. Þriðji, fjórði og fimmti sýnaflokkur

Öll sýni í þessum flokkum voru frá Hvalfirði. Í 3. sýnaflokki var kræklingur sem tekinn var af malar- og sandbotni í Botnsvogi. Honum var komið fyrir á

baujum, eins og lýst var í grein 2.2., og síðan voru tekin af honum sýni til efnagreininga með nokkru milli-bili í rösklega eitt ár (11. og 12. tafla). Helstu breytingar á umhverfi kræklingans við aðsetursskiftin voru: Áhrif frá botni og brimi hurfu að kalla má, sjávarföll höfðu ekki lengur áhrif á kræklinginn, því á baujunum var hann sífellt í kafi og sveiflur á hitastigi og seltu minnkuðu. Allar þessar breytingar bættu lífsskilyrði, og sé litið á þungmálma, ætti styrkur þeirra í kræklingi á baujum að endurspegla nánar styrk málna í sjó og svifi, því að farin voru að mestu áhrif frá botni. Kræklingur á baujunum var allur mjög svipaðrar stærðar og marktækur vöxtur kom ekki fram í skeljalengd meðan á tilrauninni stóð. Því hentar hér best að líta á þær breytingar sem urðu á þessum tíma (8. mynd). Á öllum þremur baujunum komu fram áhrif nýs umhverfis. Þurrþyngd jókst strax og hélst meiri en fyrr þrátt fyrir sveiflur vegna misjafnrar fæðu og æxlunar. Greinilegast kom þetta fram á stað 62. Þar jók kræklingurinn stöðugt þyngd sýna fram í desember '78, tapaði síðan nokkru vegna fæðuskorts um hávetur, jók aftur þyngd snemma vors við vöxt kynfruma, sem hann síðan missti við hrygningu snemma sumars.

Það kemur glöggst fram (8. mynd), að styrkur allra málna í kræklingnum féll snarlega eftir aðsetursskiftin, en þó ýmsar minni sveiflur hafi verið á styrk málmanna síðar, er tæpast hægt að tengja þær við líffræðilega þróun kræklingans. Eins líklegt er, að þær tengist náttúrlegum sveiflum í styrk málmanna í sjó, en á strandsvæðum má vænta verulegra sveiflna í styrk málna sem eru af landrænum uppruna, svo sem t.d. járns og mangans. Járnblendiverksmiðjan í Hvalfirði hóf framleiðslu í maí 1979. Ekki verður séð að fram komi eftir það nein áhrif á krækling á baujum, en tvær þeirra (62 og 63) voru í grennd við verksmiðjuna.

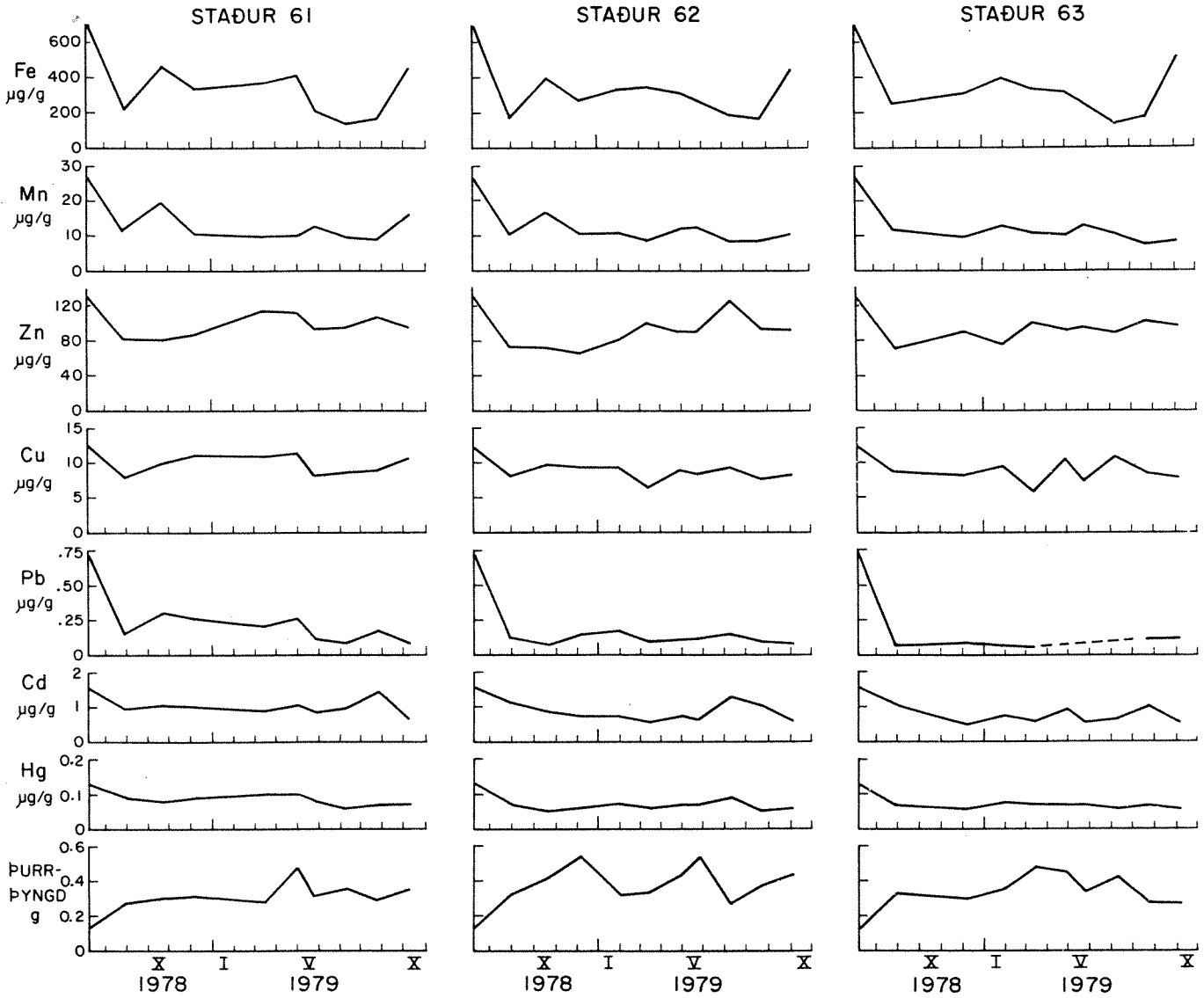
Kræklingaslirfur settust á bólfæri baujanna í Hvalfirði strax í júlí 1978 og uxu í fyrstu mjög hratt. Að ári líónu var meðallengd skelja þeirra 15 mm (9. mynd),

11. tafla Niðurstöður um styrk málma í þriðja sýnaflokki.

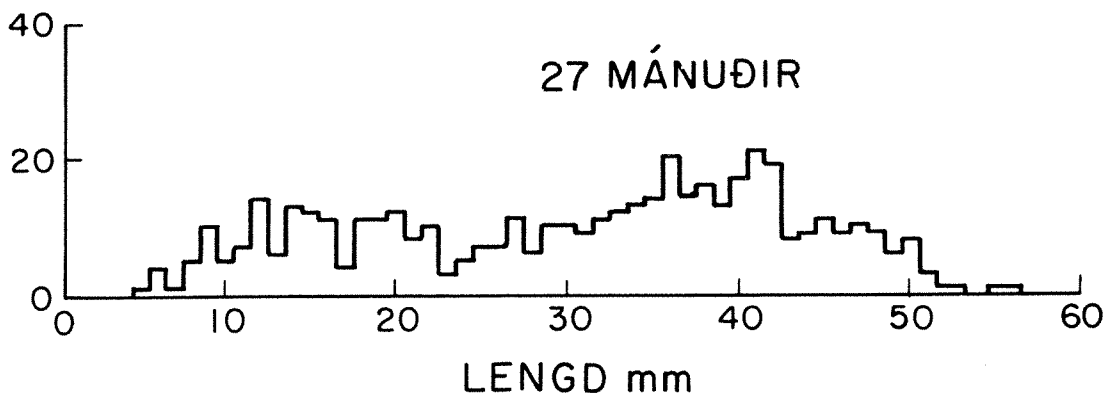
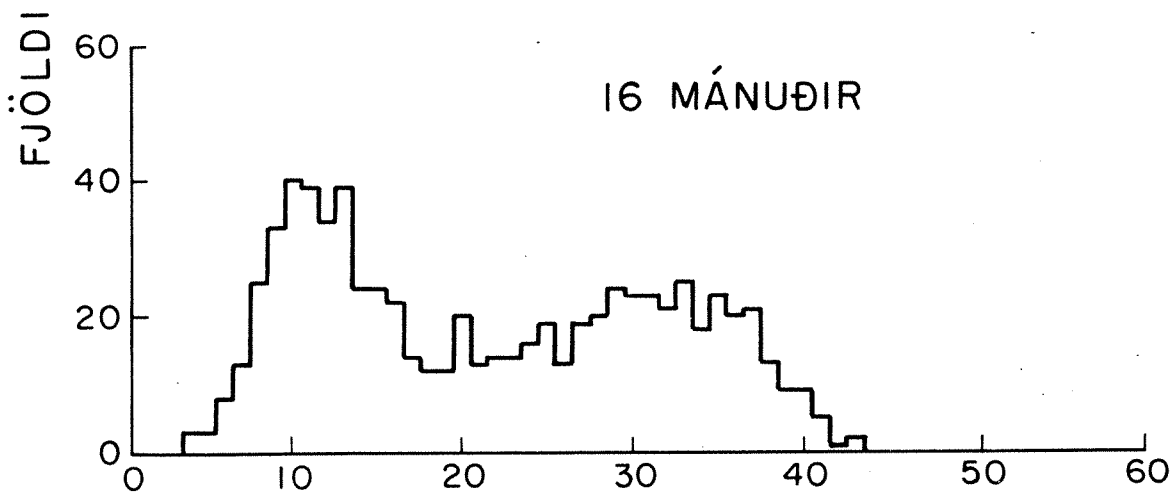
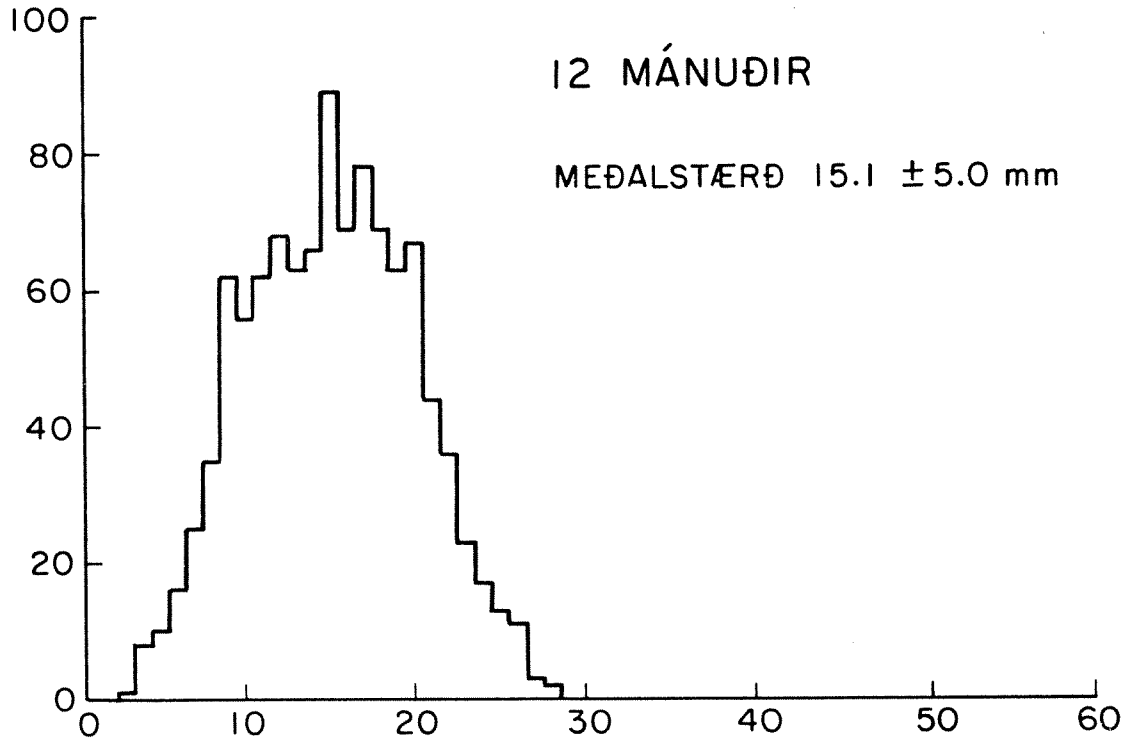
STAD- UR	DAGS- 1978	T C	S O/00	N	PURR- PYNGD FISKS(G)	HOLDA- FARS- STUDULL	PURR- PYNGD. HLUTF. SF(mm)	LENGD+-	MIKROGRÖMM/GRAMM									
									Hs	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	V	
61	29/ 8	-	-	50	0.2706	0.104	0.199	33 6	0.09	0.95	0.15	8.0	81	1.1	11.2	216	0.8	
61	21/10	-	-	50	0.3028	0.092	0.189	35 5	0.08	1.06	0.30	9.9	80	1.2	19.2	462	2.3	
61	7/12	-	-	50	0.3074	0.091	0.180	37 5	0.09	1.00	0.26	11.0	86	1.4	10.2	337	1.3	
61	15/ 3	-	-	50	0.2807	0.010	0.177	37 5	0.10	0.90	0.20	10.9	113	1.5	9.7	370	1.4	
61	30/ 4	-	-	50	0.4796	0.134	0.190	36 5	0.10	1.05	0.26	11.4	110	1.4	10.0	410	0.5	
61	26/ 5	-	-	50	0.3097	0.104	0.196	35 4	0.08	0.84	0.11	8.2	95	1.1	12.5	201	0.9	
61	10/ 7	-	-	50	0.3558	0.103	0.183	36 4	0.06	0.96	0.08	8.7	96	1.2	9.5	131	0.7	
61	23/ 8	-	-	50	0.2869	0.094	0.178	36 5	0.07	1.46	0.17	8.8	106	1.2	8.7	161	0.6	
61	7/10	-	-	49	0.3577	0.100	0.201	36 5	0.07	0.65	0.08	10.7	96	-	15.9	458	2.9	
62	29/ 8	-	-	50	0.3196	0.107	0.199	35 6	0.07	1.11	0.12	8.1	73	1.0	10.2	168	0.7	
62	21/10	-	-	50	0.4130	0.118	0.212	36 5	0.05	0.87	0.07	9.7	71	1.7	16.6	398	2.8	
62	7/12	-	-	48	0.5424	0.112	0.226	40 6	0.06	0.71	0.13	9.3	68	1.9	10.4	268	0.9	
62	31/ 1	-	-	50	0.3199	0.106	0.203	34 5	0.07	0.71	0.16	9.4	81	1.3	10.8	335	1.1	
62	15/ 3	-	-	49	0.3312	0.114	0.213	34 4	0.06	0.56	0.09	6.3	100	1.5	8.6	342	0.8	
62	30/ 4	-	-	50	0.4305	0.120	0.209	36 4	0.07	0.74	0.11	8.9	88	1.5	12.0	316	0.8	
62	26/ 5	-	-	49	0.5356	0.126	0.216	38 5	0.07	0.62	0.11	8.4	90	1.5	12.3	272	0.8	
62	10/ 7	-	-	50	0.2660	0.081	0.169	36 5	0.09	1.30	0.14	9.3	125	1.6	8.1	191	-	
62	23/ 8	-	-	50	0.3818	0.112	0.193	36 5	0.05	1.01	0.09	7.7	94	0.5	8.3	165	-	
62	7/10	-	-	51	0.4416	0.100	0.193	39 6	0.06	0.60	0.08	8.4	94	-	10.6	443	1.6	
63	29/ 8	-	-	52	0.3319	0.086	0.192	38 6	0.07	1.04	0.06	8.6	72	1.7	11.3	251	0.7	
63	7/12	-	-	51	0.3035	0.116	0.212	33 5	0.06	0.50	0.08	8.1	89	0.9	9.1	299	0.8	
63	31/ 1	-	-	50	0.3628	0.103	0.208	36 4	0.08	0.75	0.06	9.5	75	1.8	12.3	385	1.3	
63	15/ 3	-	-	48	0.4849	0.122	0.208	38 6	0.07	0.58	0.05	5.7	99	0.7	10.2	322	0.9	
63	30/ 4	-	-	50	0.4539	0.112	0.205	38 4	0.07	0.93	-	10.3	89	1.3	10.0	314	0.8	
63	26/ 5	-	-	50	0.3444	0.069	0.211	34 3	0.07	0.57	-	7.4	95	1.8	12.7	243	-	
63	10/ 7	-	-	50	0.4209	0.104	0.183	38 5	0.06	0.66	-	5.2	87	1.0	10.1	130	-	
63	23/ 8	-	-	50	0.2859	0.084	0.168	36 5	0.07	1.01	0.11	8.5	101	1.4	7.1	169	-	
63	7/10	-	-	50	0.2687	0.011	0.197	35 5	0.06	0.58	0.11	7.8	97	-	13.1	511	1.6	

12. tafla Niðurstöður um magn málma í skelfiski í þriðja sýnaflokki.

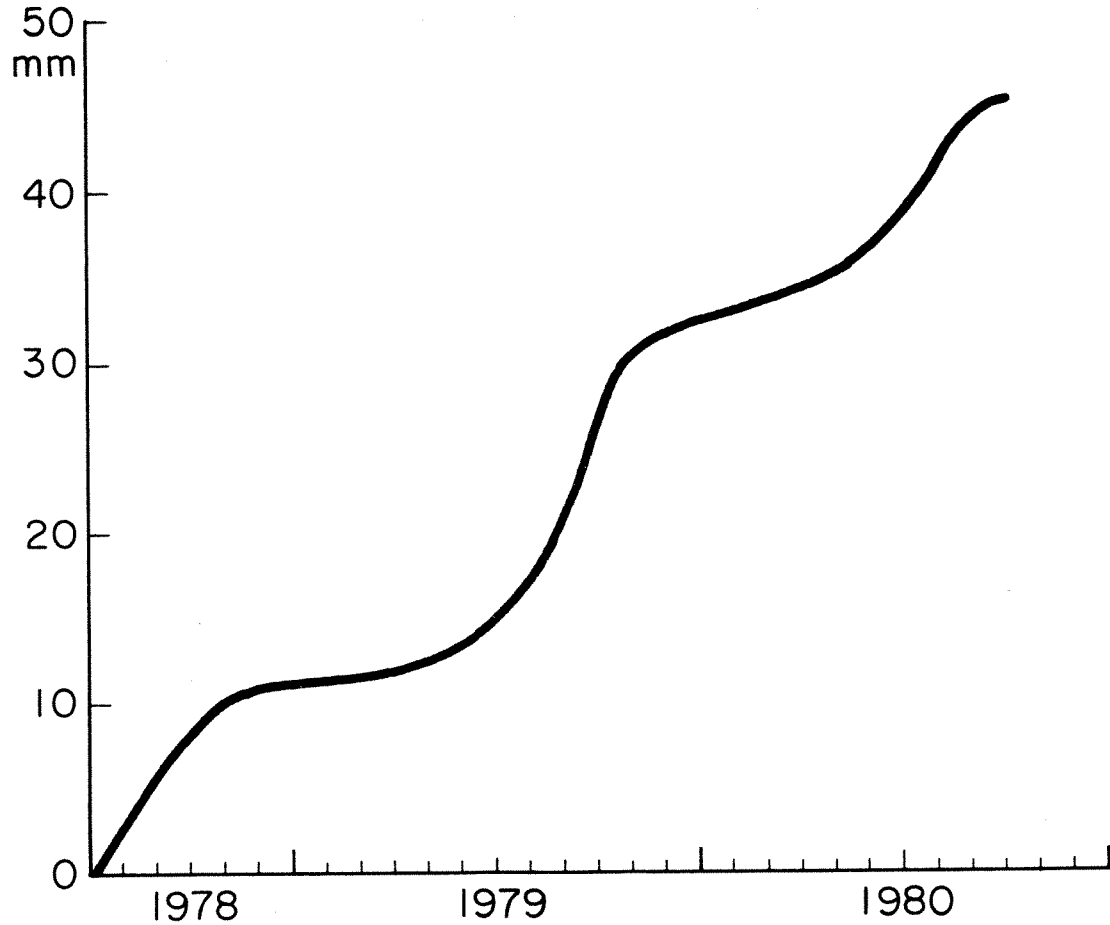
STADUR	N	PURR- PYNGD FISKS(G)	HOLDA- FARS- STUDULL	PURR- PYNGD. HLUTF. SF(mm)	LENGD+-	MIKROGRÖMM/SKELFISK									
						Hs	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	V	
61	50	0.2706	0.104	0.199	33 6	0.0231	0.2584	0.0394	2.156	22.0	0.306	3.040	58.5	0.20	
61	50	0.3028	0.092	0.189	35 5	0.0240	0.3204	0.0913	3.004	24.2	0.360	5.799	139.9	0.69	
61	50	0.3074	0.091	0.180	37 5	0.0282	0.3074	0.0803	3.390	26.4	0.436	3.143	103.7	0.41	
61	50	0.2807	0.010	0.177	37 5	0.0285	0.2538	0.0571	3.069	31.7	0.428	2.712	104.0	0.40	
61	50	0.4796	0.134	0.190	36 5	0.0492	0.5048	0.1237	5.490	52.9	0.694	4.783	196.7	0.25	
61	50	0.3097	0.104	0.196	35 4	0.0261	0.2607	0.0348	2.552	29.3	0.340	3.871	62.3	0.27	
61	50	0.3558	0.103	0.183	36 4	0.0214	0.3402	0.0272	3.101	34.0	0.418	3.392	46.8	0.23	
61	50	0.2869	0.094	0.178	36 5	0.0202	0.4191	0.0484	2.539	30.4	0.355	2.507	46.3	0.18	
61	49	0.3577	0.100	0.201	36 5	0.0249	0.2313	0.0303	3.817	34.3	-	5.686	163.9	1.05	
62	50	0.3196	0.107	0.199	35 6	0.0209	0.3533	0.0385	2.594	23.3	0.305	3.252	53.6	0.22	
62	50	0.4130	0.118	0.212	36 5	0.0224	0.3604	0.0292	4.013	29.4	0.701	6.867	164.3	1.17	
62	48	0.5424	0.112	0.226	40 6	0.0312	0.3840	0.0696	5.040	36.8	1.008	5.616	145.6	0.50	
62	50	0.3199	0.106	0.203	34 5	0.0221	0.2285	0.0520	3.010	25.8	0.418	3.467	107.3	0.36	
62	49	0.3312	0.114	0.213	34 4	0.0194	0.1866	0.0295	2.076	33.0	0.513	2.861	113.3	0.26	
62	50	0.4305	0.120	0.209	36 4	0.0309	0.3193	0.0474	3.842	37.7	0.659	5.181	136.1	0.33	
62	49	0.5356	0.126	0.216	38 5	0.0360	0.3347	0.0595	4.500	48.0	0.806	6.596	145.4	0.45	
62	50	0.2660	0.081	0.169	36 5	0.0228	0.3463	0.0378	2.479	33.1	0.425	2.149	50.7	-	
62	50	0.3818	0.112	0.193	36 5	0.0208	0.3857	0.0336	2.947	35.9	0.198	3.175	62.8	-	
62	51	0.4416	0.100	0.193	39 6	0.0263	0.2631	0.0366	3.695	41.3	-	4.679	195.5	0.71	
63	52	0.3319	0.086	0.192	38 6	0.0233	0.3458	0.0190	2.844	24.0	0.553	3.743	83.4	0.22	
63	51	0.3035	0.116	0.212	33 5	0.0179	0.1503	0.0258	2.462	27.1	0.286	2.770	90.8	0.23	
63	50	0.3628	0.103	0.208	36 4	0.0288	0.2703	0.0227	3.436	27.0	0.663	4.465	139.7	0.49	
63	48	0.4849	0.122	0.208	38 6	0.0338	0.2797	0.0233	2.751	48.1	0.338	4.954	156.3	0.44	
63	50	0.4539	0.112	0.205	38 4	0.0332	0.4207	-	4.660	40.4	0.598	4.561	142.6	0.35	
63	50	0.3444	0.069	0.211	34 3	0.0245	0.1958	-	2.554	32.6	0.612	4.382	83.7	-	
63	50	0.4209	0.104	0.183	38 5	0.0253	0.2760	-	2.208	36.7	0.426	4.255	54.9	-	
63	50	0.2859	0.084	0.168	36 5	0.0187	0.2893	0.0323	2.434	28.8	0.391	2.017	48.4	-	
63	50	0.2687	0.011	0.197	35 5	0.0164	0.1569	0.0286	2.101	26.1	-	3.512	137.4	0.42	



8. mynd. Breytingar með tíma á styrk málma í kræklingi sem var komið fyrir á baujum í Hvalfirði.



9. mynd. Lengdardreifing kræklings sem settist á baujur í Hvalfirði.



10. mynd. Áætlaður vaxtarferill kræklings á baujum í Hvalfirði.

13. tafla

Niðurstöður mælinga á kræklingsnýliðum og kolkuskel

Staður	Dags.	Þurr- þyngd fisks (g)	Holda- fars- stuðull	Þurr- þyngd. hlutf.	Lengd± SF (mm)	Mikrogrömm/gramm									
						Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	V	
Baujur 61-63, meðaltal						0.07	0.85	0.13	8.7	91	1.33	11.1	299	1.17	
Kræklingsnýliðar 61	10.07.79	0.0496	0.248	0.162	19 4	0.04	0.83	0.16	9.0	65		11.4	284	0.2	
Kræklingsnýliðar 63	07.10.79	0.2833	0.245	0.213	30 6	0.04	0.33	0.12	8.9	60	1.7	15.4	498		
Kolkuskel, Hvalfirði	06.07.78	0.1116	0.127	0.142	28 3	0.21	0.56	3.39	75.8	94	26	81.7	5549	52	
- " -	06.07.78	0.0603	0.091	0.141	27 3	0.41	0.78	3.60	118	109	75	118	7220	64	

en um haustið 1979 mátti greina tvo árganga í lengdar-dreifingunni, þann frá '78 sem orðinn var rösklega 30 mm, og nýliða frá liðandi sumri sem flestir höfðu þegar náð 10 mm lengd. Haustið 1980, er 27 mánuðir voru liðnir frá því að baujunum var komið fyrir, var þriðji árgangurinn kominn í hópinn og mörk milli árganga voru óglögg orðin í stærðardreifingu. Gera má þó ráð fyrir að þá hafi kræklingur frá 1978 verið orðinn um 45 mm að lengd. Af þessum stærðarmælingum má því ætla að algengur vaxtarferill kræklinga á baujum í Hvalfirði liti út svipað því sem sýnt er á 10. mynd.

Bæði við Noreg og Skotland vex ræktaður kræklingur mun hraðara (23, 43, 44) og við norðvestur Spán nær ræktaður kræklingur markaðsstærð (75-90 mm) á 14-18 mánuðum (45).

Holdafarsstuðull ber því vitni (13. tafla), að lífsskilyrði kræklinga nýliða á baujum í Hvalfirði hafi verið góð, enda voru þeir varðir fyrir ýmsum truflunum sem hrjá krækling við strendur. Trúlegt er því, að kræklingur við innanverðan Faxaflóa vaxi yfirleitt hægara en nýliðarnir á baujunum. Fátt hefur birst um rannsóknir á líffræði kræklinga hér við land, en þó hefur verið áætlað (46), að kræklingur við strendur Hvalfjarðar geti vaxið um allt að 2 cm á fyrsta ári, en síðan 1 cm árlega.

Styrkur snefilmálma í kræklinga nýliðun var mjög lágur (13. tafla), meðalstyrkur málma yfirleitt svipaður og í kræklingi í nethólkum á baujunum. Þó var styrkur kvikasilfurs og zinks sýnu lægri í nýliðunum, sem bendir til þess að enn hafi geymst í nethólkakræklingnum „minningar“ um átthaga í Botnsvogi.

Í 13. töflu eru að lokum niðurstöður mælinga á tveimur sýnum af kolkuskel af botni Hvalfjarðar. Í raun eiga þessar niðurstöður lítið erindi hér nema sem heimild, því að ekki er vitað um aðrar rannsóknir á málmum í þessari tegund, sem auk þess lifir við talsvert önnur skilyrði en kræklingur. Óvarlegt er því að draga ályktanir af samanburði á styrk þungmálma í þessum tveimur tegundum, því að ástæður til þess mismunar sem þar kemur fram kunna að vera fólgnar í eðli eða náttúrlegu umhverfi tegundanna.

4.5. Aðrir málmar

Hér að framan hefur lítt verið rætt um niðurstöður mælinga á nikkeli og vanadium, en þær eru í 3., 4., 11. og 13. töflu. Eins og fram kom í 2.3. varð vart nikkelmengunar í sýnum, og vantar því allmargar niðurstöður í skrár. Af þeirri ástæðu þótti ekki brýnt að taka nikkलगögn til frekari vinnslu. Þess má þó geta, að sá styrkur nikkels sem hér mældist í kræklingi er innan þeirra marka sem talin hafa verið eðlileg í erlendum rannsóknum. Engin sérstök óvissa fylgir niðurstöðum um vanadium í kræklingi, en hins vegar er ennþá fátt um erlendar rannsóknir á þessum málmum í kræklingi. Þau gögn sem hér birtast hafa því heimildargildi til samanburðar við síðari rannsóknir.

5. Samanburður við erlendar rannsóknir

Á undanförnum árum hafa víða farið fram rannsóknir á mengun strandsvæða, og hefur kræklingur verið notaður sem viðmiðunartegund. Tillaga Edward Goldberg (5) um viðtækar rannsóknir á kræklingi hafa eflaust verið mönnum hvati til að efla slíkar rannsóknir.

Ýmsa varnagla verður þó að slá áður en bornar eru saman niðurstöður rannsókna frá mörgum löndum. Oft hafa sundurleitar niðurstöður komið frá þáttakendum í fjölþjóða samanburðarrannsóknum á þungmálmum í fiskmjölssýnum. Því hafa stjórnendur margra samanburðarrannsókna á vegum Alþjóðahafrannsóknaráðsins bent á þær hættur sem fylgja því að draga ályktanir af samanburði á niðurstöðum frá mörgum stofnunum (47). Mælingar á zinki, kopar og kvikasilfri hafa stundum reynst samanburðarhæfar, en mikil vandkvæði hafa komið fram í mælingum á kadmium og blýi. Tvennt veldur vandkvæðum við mælingar á blýi: Mengun sýna við úrvinnslu og skortur á næmum og fullkomnum tækjum.

Vinnubrögð við söfnun kræklingssýna hafa og verið mjög misjöfn, tekur þetta til fjölda samloka í hverju sýni, stærð samloka og söfnunartíma. Einnig er það mjög misjafnt hvort hægt hefur verið að láta leir og

Þess háttar aðskotaefni hreinsast úr meltingarvegi skelfisksins. Flestir reikna nú orðið styrk efna í þurrkuðu sýni og geta um þurrþyngdarhlutfall, en þó er í sumum skýrslum einungis getið um styrk miðað við blautþyngd. Mishár styrkur þungmálma í kræklingi getur stafað af náttúrlegum sveiflum í styrk málmanna í sjó og svifi, auk þess sem mengun kann að valda. Enn hafa ekki komið fram samræmdar, og almennt viðurkenndar aðferðir til þess að meta mengun á grundvelli mælinga í kræklingi, því að enn er víða unnið að rannsóknum á því, hvað telja megi eðlilegt í skelfiski og hvað óeðlilegt.

Að varnögglum slegnum eru í 14. töflu settar fram niðurstöður úr 2. sýnaflokki sem og úr nokkrum erlendum rannsóknum. Í skýrslum með mörgum þeirra var þess getið um mengun í kræklingi, að hæstu gildin komu fram í sýnum úr nágrenni þéttbýlis, frá svæðum sem voru menguð vegna iðnaðar eða búsetu. Í bresku rannsókninni var hins vegar við það miðað, að kræklingur teldist mengaður ef styrkur í honum væri ofan meðaltals heildarinnar. Slík viðmiðunargildi eru vafasöm og þau urðu þar augljóslega há fyrir kvikasilfur, kadmíum og blý (14. tafla). Bandaríska kræklingrannsóknin var viðamikil og í henni voru auk þungmálma mæld geislavirk efni og kolvatnsefnissambönd (olía). Vegna vandkvæða sem skrifa má í aðhaldsskort við sýnatöku og úrvinnslu, þá var eftir fyrsta ár rannsókna þar (11) ekki talinn marktækur munur á þungmálmagreiningum milli sýna nema hann næmi að minnsta kosti stærðargráðu. Á þennan hátt komu fram staðir, þar sem kræklingur virtist mengaður af silfri eða blýi. Í nýlegri skýrslu um framhald bandarísku rannsókna (12) er lagt til að miðað verði við $1 \mu\text{g g}^{-1}$ sem eðlilegan styrk af blýi í kræklingi þar. Stór hluti sýna frá austurströnd Bandaríkjanna var ofan þessara marka, og af þeim rannsóknum sem fram koma í 14. töflu má líklegt telja að blýmengun sé einnig algeng á strandsvæðum Evrópumegin Atlantshafsins. Þetta er ekki ósennilegt þegar þess er gætt, að við tiltölulega fámenna byggð við innanverðan Faxaflóa kemur fram blýmengun í kræklingi,

og er meginástæðan hér trúlega sú sama og annars staðar, blý í benzíni.

Þó fram komi í þessari rannsókn bæði kvikasilfur- og blýmengun í kræklingi hér, þá er varla ástæða til að hafa af því áhyggjur af heilsufarsástæðum, því ósennilegt er að nokkur sæki krækling til neyslu af þéttbýlissvæðinu. Í Bretlandi er leyfilegur hámarksstyrkur á blýi í fæðu $1 \mu\text{g g}^{-1}$ og víða er miðað við $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ sem leyfilegt hámark kvikasilfurs. Í báðum tilfellum er miðað við blautþyngd. Ef tillit er tekið til þurrþyngdarhlutfalla í 2. sýnaflokki (4. tafla), kemur í ljós, að miðað við blautþyngd er styrktarsvið kvikasilfurs í sýnum þar $0.0098-0.107 \mu\text{g g}^{-1}$ og blýs $0.038-0.68 \mu\text{g g}^{-1}$. Í engu sýnanna var styrkur því ofan nefndra marka. Til samanburðar má þess geta, að í kræklingi frá menguðu og all-umtöluðu svæði í Limafirði, Danmörku, var kvikasilfursstyrkur að meðaltali $1.91 \mu\text{g g}^{-1}$ (blautþyngd) á þeim stað þar sem mengun var mest (48).

14. tafla

Meðaltöl og styrktarsvið þungmálma í nýlegum rannsóknum á kræklingi. Styrkur í $\mu\text{g/g}$ miðað við þurrþyngd.

Svæði	Heimild	Hg		Cd		Pb		Cu		Zn		Athugasemdir
		\bar{x}	svið	\bar{x}	svið	\bar{x}	svið	\bar{x}	svið	\bar{x}	svið	
Faxaflói		0.12	0.08-0.69	0.56	0.33-1.85	0.82	0.27-5.00	9.6	8.9-17.9	162	106-300	\bar{x} reiknað fyrir 1 g krækling
Oslóarfjörður	16	0.26	0.08-0.57									
Skotland	13	0.29	0.15-1.15	1.98	1.25-2.95	4.66	1.30-13.0	6.8	4.8-12.3	128	102-196	Styrkur reiknaður með $\times 5$ margföldun á blautþyngdargildum
England - Wales	14	0.42	0.09-2.3	4.0	0.9-36	13.0	2.8-190	8.8	4.6-38	160	54-450	
Ítalía - La Spezia höfn	20	0.24	0.15-0.38	4.1	2.0-6.8	25.5	13.9-44.6	14.6	6.9-33.7	284	203-379	Mælt í Miðjarðarnafstegundinni <i>Mytilus Galloprovincialis</i>
Ítalía, utan hafna	20	0.12	0.09-0.15	0.8	0.9-1.1			3.8	3.3-4.2	130	120-140	
St. Lawrence flói, Kanada	17	0.354	0.16-0.629									
- " -	19			0.31				4.90		89		\bar{x} reiknað fyrir 1 g krækling
- " -	18			2.03	1.12-3.20	2.1	0.5-4.1					
Austurströnd U.S.A.	12			2.1	0.8-6.2	3.6	0.2-15.6	8.2	4.3-35.0	62	45-310	
Skandinavía	9,10			4.3	0.4-12.9	54	3-264			150	29-460	
Ósasvæði Weserfl.	21					6.4	4.3-9.7					
Helgoland	21					1.9	1.5-24					
Ósasvæði Looe, Cornwall	22					54	30-105					Áhrif frá gömlum blýnámum
Vestur Evrópa	15		0.27-4.15									Styrkur reiknaður með $\times 5$ margföldun á blautþyngdargildum
Strönd Belgiu	50		0.3-0.5		1.5-4.5		0.9-7		7.2-11		160-290	

6. Helstu niðurstöður

1. Kræklingur reynist vel sem viðmiðunartegund til mats á mengun, þegar beitt er tölfræðiaðferðum til að meta eðlilegt magn í misstórum kræklingi og til að greina frá þau sýni sem falla utan eðlilegra marka.
2. Á rannsóknarsvæðinu sem náði frá Álftafirði á Snæfellsnesi að norðan til Herdísarvíkur að sunnan kom fram blýmengun í kræklingi við Reykjavík og grennd. Helstu ástæður þessa eru blý í benzini og málningu. Ennfremur kom fram kvika-silfursmengun í nokkrum sýnum frá sömu slóðum og má líklegt telja að hún stafi einkum af kvika-silfri í ýmsu skolpi frá þéttbýli. Hár kvika-silfursstyrkur sem fram kom í kræklingi frá Miðsandi í Hvalfirði kann að hafa stafað af lífrænum leifum frá hvalstöðinni þar í grennd.
3. Styrkur þungmálma var lítill í kræklingi sem komið var fyrir á duflum í Hvalfirði og var þar frá júlí 1978 til október 1979. Engra marktækra breytinga varð vart sem tengja mætti rekstri Járnblandi-verksmiðjunnar.
4. Styrkur þungmálma var mjög lágur í kræklingi sem settist á lírfustigi á dufl í Hvalfirði og óx þar. Ber þetta vitni lágum styrk þungmálma í sjó og svifi.

Heimildaskrá

- 1) Bryan, G.W.: Bioaccumulation of marine pollutants.
Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 286, 483-505 (1979).
- 2) Bryan, G.W. og Hummerstone, L.G.: Brown seaweed as an indicator of heavy metals in estuaries in south-west England. J. mar. biol. Ass. U.K., 53, 705-720 (1973).
- 3) Morris, A.W. og Bale, A.J.: The accumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by Fucus vesiculosus in the Bristol Channel. Estuarine and Coastal Marine Science, 3, 153-163 (1975).
- 4) Bryan, G.W., Langston, W.J. og Hummerstone, L.G.: The use of biological indicators of heavy metal contamination in estuaries. Marine Biological Association of the United Kingdom, Occasional Publication No. 1 (1980).
- 5) Goldberg, E.D.: The mussel watch - a first step in global marine monitoring. Mar. Poll. Bull., 6, 111 (1975).
- 6) NAS: The international mussel watch. U.S. National Academy of Sciences, Washington D.C. xvi-248 bls. (1980).
- 7) Report of the ICES advisory committee on marine pollution, 1978. Cooperative Research Report No. 84 (1979).
- 8) Gordon, M., Knauer, G.A. og Martin, J.H.: Mytilus californianus as a bioindicator of trace metal pollution: Variability and statistical considerations. Mar. Poll. Bull., 11, 195-198 (1980).
- 9) Phillips, D.J.H.: The common mussel Mytilus edulis as an indicator of trace metals in Scandinavian waters. I. Zinc and cadmium. Mar. Biol., 43, 283-291 (1977).

- 10) Phillips, D.J.H.: The common mussel Mytilus edulis as an indicator of trace metals in Scandinavian waters. II. Lead, iron and manganese. *Mar. Biol.*, 46, 147-156 (1978).
- 11) Goldberg, E.D., Bowen, V.T., Farrington, J.W., Harvey, G., Martin, J.H., Parker, P.L., Risebrough, R.W., Robertson, W., Schneider, E. og Gamble, E.: The mussel watch. *Environmental Conservation*, 5, 101-125 (1978).
- 12) Goldberg, E.D., Koide, M., Hodge, V., Flegal, A.R. og Martin, J.H.: U.S. mussel watch: 1977-1978 results on trace metals and radionuclides. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 16, 69-93 (1983).
- 13) Davies, I.M. og Pirie, J.M.: Evaluation of a "mussel watch" project for heavy metals in Scottish coastal waters. *Mar. Biol.*, 57, 87-93 (1980).
- 14) Murray, A.J. og Law, R.J.: Results of a mussel watch programme in England and Wales 1977 and 1978. *ICES. CM 1980/E:15* (1980).
- 15) De Wolf, P.: Mercury content of mussels from West European coasts. *Mar. Poll. Bull.* 6, 61-63 (1975).
- 16) Andersen, A.T. og Neelakantan, B.B.: Mercury in some marine organisms from the Oslofjord. *Norw. J. Zool.*, 22, 231-235 (1974).
- 17) Bourget, E. og Cossa, D.: Mercury content of mussels from the St. Lawrence estuary and north-western gulf of St. Lawrence, Canada. *Mar. Poll. Bull.*, 7, 237-239 (1976).
- 18) Cossa, D. og Bourget, E.: Trace element in Mytilus edulis L. from the estuary and gulf of St. Lawrence, Canada: Lead and cadmium concentrations. *Environmental Pollution (Series A)* 23, 1-8 (1980).

- 19) Cossa, D., Bourget, E., Pouliot, D., Piuze, J. og Chanut, J.P.: Geographical and seasonal variations in the relationship between trace metal content and body weight in Mytilus edulis. Mar. Biol., 58, 7-14 (1980).
- 20) Capelli, R., Contardi, V., Fassone, B. og Zanicchi, G.: Heavy metals in mussels (Mytilus galloprovincialis) from the gulf of la Spezia and from the promontory of Portofino, Italy. Mar. Chemistry, 6, 179-185 (1978).
- 21) Schulz-Baldes, M.: Die Miesmuschel Mytilus edulis als Indikator für die Bleikonzentration im Weserästuar und in der Deutschen Bucht. Mar. Biol., 21, 98-102 (1973).
- 22) Bryan, G.W. og Hummerstone, L.G.: Indicators of heavy-metal contamination in the Looe estuary (Cornwall) with particular regard to silver and lead. J. mar. biol. Ass. U.K., 57, 75-92 (1977).
- 23) Bøhle, B.: Blåskjell og blåskelldyrking. Fisken og Havet (Serie B) No. 3, 19 bls. (1974).
- 24) Young, D.R., Heesen, T.C. og McDermott, D.J.: An offshore biomonitoring system for chlorinated hydrocarbons. Mar. Poll. Bull., 7, 156-159 (1976).
- 25) Eganhouse, R.P. og Young, D.R.: In situ uptake of mercury by the intertidal mussel, Mytilus californianus. Mar. Poll. Bull., 9, 214-217 (1978).
- 26) Davies, I.M. og Pirie, J.M.: The mussel Mytilus edulis as a bio-assay organism for mercury in seawater. Mar. Poll. Bull., 9, 128-132 (1978).
- 27) Topping, G. og Holden, A.V.: Report on intercalibration analyses in ICES north sea and north Atlantic base-line studies. Cooperative research report No. 80 (1978).

- 28) Holden, A.V. og Topping, G.: Report on further intercalibration analyses in ICES pollution monitoring and baseline studies. Cooperative research report No. 108 (1981).
- 29) Topping, G.: Report on the 6th ICES trace metal intercomparison exercise for cadmium and lead in biological tissue. Cooperative research report No. 111 (1982).
- 30) Ólafsson, J.: Determination of nanogram quantities of mercury in seawater. *Anal. Chim. Acta*, 68, 207-211 (1974).
- 31) Boyden, C.R.: Trace element content and body size in molluscs. *Nature* 251, 311-314 (1974).
- 32) Boyden, C.R.: Effect of size upon metal content of shellfish. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 57, 675-714 (1977).
- 33) Cossa, D., Bourget, E. og Piuze, J.: Sexual maturation as a source of variation in the relationship between cadmium concentration and body weight of Mytilus edulis L.. *Mar. Poll. Bull.*, 10, 174-176 (1979).
- 34) Lobel, P.B. og Wright, D.A.: Total body zinc concentration and allometric growth rations in Mytilus edulis collected from different shore levels. *Mar. Biol.*, 66, 231-236 (1982).
- 35) Koide, M., Lee, D.S. og Goldberg, E.D.: Metal and transuranic records in mussel shells, byssal threads and tissues. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15, 679-695 (1982).
- 36) Jackim, E., Morrison, G. og Steele, R.: Effects of environmental factors on radiocadmium uptake by four species of marine bivalves. *Mar. Biol.*, 40, 303-308 (1977).

- 37) Popham, J.D., Johnson, D.C. og D'Auria, J.M.:
Mussels (Mytilus edulis) as "point source"
indicators of trace metal pollution. Mar. Poll.
Bull., 11, 261-263 (1980).
- 38) Watson, W.D.: Economic considerations in controlling
mercury pollution. I: The biogeochemistry of
mercury in the environment. Ritstýrt af Nriagu,
J.O. Elsevier/North Holland. 3. kafli, 41-77
(1979).
- 39) Organisation for Economic Co-operation and
Development: Studies of mercury use, emission,
biological impact and control. I: Mercury and
the environment, OECD, Paris, 197 bls, (1974).
- 40) Wageman, R. og Muir, D.C.G.: Assessment of heavy
metals and organochlorine concentrations in marine
mammals of northern waters. ICES CM 1981/N: 9
(1981).
- 41) Murozumi, M., Chow, T.S. og Patterson, C.C.:
Chemical concentrations of pollutant lead aerosols,
terrestrial dusts and sea salts in Greenland and
Antartic snow strata. Geochim. Cosmochim. Acta,
33, 1247-1294 (1969).
- 42) Schaule, B. og Patterson, C.C.: The occurrence of lead
in the northeast Pacific and the effects of antropo-
genic inputs. I: Lead in the marine environment.
Ritstýrt af Branica, M. og Konrad, Z.. Pergamon
Press, **353** bls. 31-43 (1980).
- 43) Mason, J.: Mussel raft trials succeed in Scotland.
World Fishing, 18, 22-24 (1969).
- 44) Seed, R.: Ecology. I: Marine mussels: their ecology
and physiology. Ritstýrt af Bayne, B.L., Cambridge
University Press. 2. kafli, 13-66 (1976).

- 45) Mason, J.: Cultivation. Í: Marine mussels: their ecology and physiology. Ritstýrt af Bayne, B.L., Cambridge University Press. 10. kafli, 385-410 (1976).
- 46) Pétursson, S.: Kræklingurinn í Hvalfirði. Ægir, 56, 201-203 (1963).
- 47) Holden, A.V. og Topping, G.: The future of ICES analytical intercomparison exercises. ICES. CM 1980/E:45 (1980).
- 48) Kiørboe, T., Møhlenberg, F. og Riisgård, H.U.: Mercury levels in fish, invertebrates and sediment in a recently recorded polluted area (Nissum Broad, Western Limfjord, Denmark). Mar. Poll. Bull., 14, 21-24 (1983).
- 49) Huntzicker, J.J., Friedlander, S.K. og Davidson C.I. Material balance for Automobile-Emitted lead in Los Angeles basin. Environ. Sci. Technol., 5, 448-457 (1971).
- 50) Meeus-Verdinne, K., Van Cauter, R. og De Borger, R.: Trace metal content in Belgian coastal mussels. Mar. Poll. Bull., 14, 198-200 (1983).