

Matfiskeldi á þorski

Valdimar Ingi Gunnarsson (valdimar@hafro.is)¹
Björn Björnsson (bjornb@hafro.is)² Jón Þórðarson³

¹Fiskeldishópur AVS,
Skúlagötu 4, 101 Reykjavík

²Hafrannsóknastofnunin,
Skúlagötu 4, 101 Reykjavík

³Auðlindadeild, Háskólinn á Akureyri,
600 Akureyri

ÁGRIP

Valdimar Ingi Gunnarsson, Björn Björnsson & Jón Þórðarson 2004. Matfiskeldi á þorski. Í: Björn Björnsson & Valdimar Ingi Gunnarsson (ritstj.), Þorskeldi á Íslandi. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 111: 87-120.

Tvær meginleiðir eru í þorskeldi: Annars vegar föngun og eldi á villtum þorski (áframeldi) og hins vegar framleiðsla á eldisþorski allt frá klaki að markaðsstærð (aleldi). Fyrstu tilraunir með söfnun á villtum þorski til áframeldis í kvím hér á landi hófust árið 1992. Framan af var umfangið lítið en veruleg aukning varð árið 2002 með úthlutun á 500 tonna árlegum þorskeldiskvóta á fimm ára tímabili. Vegna mikillar seiðáframleiðslu (250.000) og föngunar á villtum þorskeldum (700.000) árið 2003 má búast við verulegri framleiðsluaukningu eftir 2-3 ár.

Sá umhverfispáttur sem hefur einna mest áhrif á vöxt og viðgang eldisþorsks er sjávarhiti. Kjörhiti til vaxtar, hjá þorski á stærðarbilinu 2-5000 g, lækkar með þyngd þorsksins, frá um 17°C hjá 2 g fiski niður í um 6°C hjá 5000 g fiski. Rannsóknir hafa sýnt að þorskur við Kanada myndar eins konar frostlög (glykoprótein) við lágan sjávarhita. Ekki er vitað hvort þorskur við Ísland hafi sömu eiginleika. Hægt er að auka fódurnýtingu og vöxt hjá þorski með eldi í hálfisöltum sjó en því kunna þó hugsanlega að fylgja aðrir ókostir eins og aukin tíðni sjúkdóma.

Villtur þorskur sem tekinn er í áframeldi getur borið með sér snikjudýr og sjúkdóma. Með árlegri söfnun á villtum fiski til eldis er ekki hægt að stunda kynbætur. Með kynbótum er valinn til undaneldis fiskur með hagkvæma eiginleika, svo sem mikinn vaxtarhraða og mikinn lífsþrótt. Til lengri tíma lítið mun því villtur þorskur sennilega ekki geta keppt við kynbættan eldisþorsk. Afföll hjá þorski eru mjög breytileg eftir veiðarfærum sem notuð eru við að fanga fiskinn og hafa gildirur reynst best. Þegar þorskur er fangaður á djúpu vatni eru flestir fiskanna með sprunginn sundmaga sem grær oftast innan fárra daga. Þegar mikið magn er losað í einu af fiski, sem tekinn hefur verið úr djúpu vatni, er mikilvægt að nota móttökukví með stífum botni til að koma í veg fyrir að fiskarnir kafni í netpökunum. Til að venja villtan þorsk á að taka fóður er æskilegt að hafa í sjókvíunum nokkra fiska sem búið er að venja við að taka fóður. Áður en þorskur er settur í kví er mikilvægt að leita vel að götum á nóttinni. Reynslan hefur sýnt að þorskur smýgur út um lítil göt á netpoka og er mun lagnari við það en laxinn.

Þegar horaður, villtur þorskur er tekinn í eldi má vænta meiri vaxtarhraða þar til göðum holdum er náð. Þessi vaxtarauki hefur verið nefndur uppbótavöxtur. Mikill breytileiki getur verið í vexti hjá villtum þorski í áframeldi og sumir fiskanna vaxa lítið og jafnvel léttast. Vel fóðraður eldisþorskur verður holdmeiri og með herra lifrarhlutfall en villtur þorskur. Þrátt fyrir að þekking á næringarþörf þorsks hafi aukist á síðustu árum er hún ennþá mjög takmörkuð. Í dag inniheldur fóður hátt hlutfall af próteini (48-60%) en lágt hlutfall af kolvetni (10-15%) og fitu (<15%). Erfiðlega hefur gengið að venja stóran, villtan þorsk (>50 cm) á þurrfóður. Aftur á móti hefur gengið betur að venja smá þorskseiði (0-hóp) á þurrfóður. Hér á landi hefur þorskur í áframeldi aðallega verið fóðraður með heilum fiski.

Í eldi verður þorskur fyrr kynþroska en gerist við náttúrulegar aðstæður. Þorskur í aleldi verður venjulega kynþroska við u.þ.b. tveggja ára aldur og 0,5-2,0 kg þyngd. Við kynþroska dregur úr vexti, holdastuðull lækkar og afföll aukast. Með því að hafa stöðugt og sterkt ljós í sjókvíum er hægt að seinka kynþroska um allt að sex mánuði. Áhrif þéttleika á vöxt þorsks virðast óljós og því þörf á frekari rannsóknum. Nauðsynlegt er að stærðarflokka þorsk nægilega til að koma í veg fyrir sjálfrán en ekki er mælt með því að flokka þorsk í mjög þröng stærðarbil.

Þó að hitaskilyrði við suðurströndina séu hagstæð til þorskeldis er aðeins lítið svæði við Vestmannaeyjar nægilega skjólsælt fyrir hefðbundnar sjókvíar. Við Vesturland, Vestfirði, Norðurland og Austurland er vetrarhitinn mun lægri en við suðurströndina og áætlaður vaxtarhraði þorsks því minni. Við vestanvert landið er mest hætta á skaðlegri kælingu sjávar og við norðanverða Vestfirði og á Norðurlandi er mest hætta á hafís. Vaxtarskilyrði fyrir eldisþorsk virðast nokkru lakari í íslenskum fjörðum en í helstu samkeppnislöndunum; Noregi og Skotlandi. Minni vaxtarhraði og aukin afföll vegna lengri eldistíma hækka framleiðslukostnaðinn. Því er mikilvægt að reyna að auka vaxtarhraða eldisþorsks hér við land, m.a. með kynbótum. Í samkeppnislöndunum hefur orðið varð við töluverð afföll á stórum eldisþorski í heitum sumrum, þegar sjávarhiti hefur farið yfir 16°C. Aftur á móti getur lágur sjávarhiti í köldum vefrum hugsanlega valdið afföllum á eldisþorski hér við land. Í samkeppnislöndunum munu væntanlega verða sett út smá seiði í sjókvíar til að draga úr framleiðslukostnaði. Vegna erfiðra aðstæðna hér við land mun væntanlega þurfa að setja út stór seiði í sjókvíar og er því mikilvægt að lækka allan kostnað við eldi stórseiða í strandeldi. Þróa þarf framleiðsluáferðir sem henta íslenskum aðstæðum, eins og t.d. skoða hvort hagkvæmara sé að framleiða stóran þorsk á Íslandi en í samkeppnislöndunum. Þróa þarf betur eldistækni fyrir íslenskar aðstæður eins og t.d. sökkvanlegar kvíar til að koma í veg fyrir tjón af völdum rekíss og draga úr líkum á afföllum við mikla kælingu sjávar.

ABSTRACT

Valdimar Ingi Gunnarsson, Björn Björnsson & Jon Thordarson 2004. *On-growing of cod*. In: Björn Björnsson & Valdimar Ingi Gunnarsson (eds), *Cod farming in Iceland. Marine Research Institute. Report 111: 87-120*.

There are two main methods of cod farming: one is capturing and on-growing of wild cod, the other one is production of cod from hatching to market size. The first on-growing trials with wild cod started in Iceland in 1992. For the first years the amount of cod farmed in sea cages was limited but increased greatly in 2002 when the Ministry of Fisheries decided to allocate annually for five years 500 t quota for the on-growing of cod. As a result of the large number of hatchery produced cod juveniles (250.000) and wild juvenile cod collected (700.000) in the year 2003 a large increase in the production of farmed cod is expected within three years.

Temperature is the environmental factor which seems to have the largest effect on growth and wellbeing of farmed cod. Optimal temperature for growth of cod in the size range 2-5000 g decreases with increased weight from about 17°C for 2 g cod to about 6°C for 5000 g cod. It has been found that Canadian cod produce plasma antifreeze glycoproteins at low temperatures. It is not known if Icelandic cod have the same capabilities. Growth rate and feed conversion of cod can be improved at intermediate salinities but perhaps at the expense of increased frequency of diseases.

Wild cod collected for on-growing may be infected with parasites or other diseases. If cod farming is based on on-growing of wild cod then selective breeding is not possible. However, when a brood stock is used to produce juvenile cod it is possible to select fish with useful traits, such as high growth rate and low mortality. Therefore, in the future it will most likely be more profitable to farm cod with hatchery produced juveniles than wild cod. Mortality of cod is highly variable depending on the fishing gear used to capture cod for on-growing. The mortality is lowest in the traps. When cod is captured in deep water the swim bladder usually bursts but it will heal in a few days. When cod catches are large from deep water it is important to use initially a cage with stretched bottom net to prevent the fish from suffocating in the net bag. To speed up the weaning of the recently captured fish to feeding it is desirable to have a few trained fish in the cage. Before cod is put in each cage it is necessary to look carefully for small holes in the net. Experience has shown that cod can escape through small holes, much smaller than the ones salmon will escape through.

Lean wild cod collected for on-growing can grow much faster than cod in good condition. This phenomenon has been called compensatory growth. Frequently, there is a high variability in growth rate of wild cod reared in sea cages, some of the fish may even lose weight. Normally well fed cod in sea cages will have relatively larger muscles and livers than wild cod. Even though information about the nutritional requirement of cod has increased in the last few years it is still rather limited. Presently commercial cod feed has high proportion of protein (48-60%) but low proportion of carbohydrates (10-15%) and fat (<15%). It has proven difficult to wean large wild cod (>50 cm) onto dry feed. However, it is much easier to wean juvenile cod (0-group) onto dry feed. In Iceland whole fish (mostly capelin, blue whiting, herring and sand eel) has mainly been used as feed for wild cod collected for on-growing. In sea cages cod becomes sexually mature much earlier than in the wild. Cod juveniles produced in hatcheries and transported to sea cages usually become sexually mature at two years of age and weighing 0.5-2.0 kg. At sexual maturity growth rate and condition factor will go down and mortality up. With strong and continuous underwater light in sea cages it is possible to delay the onset of sexual maturity for up to six months. The effects of stocking density on growth rate of cod are not clear and therefore more research is needed on this topic. It is necessary to size grade cod enough to prevent cannibalism but it is not recommended to grade cod into narrow size classes.

Even though the temperature conditions off the south coast of Iceland are suitable for cod farming there is only a limited area in Vestmannaeyjar with enough shelter for conventional sea cages. Off the west, north and east coast of Iceland the winter temperatures are much lower than off the south coast and the estimated growth rate of cod is therefore lower. The highest risk of lethal winter temperatures are on the west coast and the highest probability of sea ice on the northwest and north coast of Iceland. The growth conditions for farmed cod seem not as good in Icelandic fjords as in the coastal areas of Norway and Scotland. Lower growth rate and higher mortality due to longer rearing time will increase the production cost. Therefore it is important to try to increase the growth rate of farmed cod in Iceland, e.g. with selective breeding. In Norway and Scotland high mortalities of large cod in sea cages have been observed in warm summers, when temperature goes above 16°C. On the other hand low temperatures in cold winters may result in mortalities of cod in Iceland. Due to the harsh environment in Iceland it may be necessary to set out large juvenile cod in sea cages and therefore it is important to reduce the production cost of juveniles in land based facilities. Production routines and farming technologies for Icelandic conditions must be developed, e.g. by considering the possibility of producing larger cod than in Norway and Scotland and develop submersible sea cages to avoid damage due to drift ice and mortalities due to low surface temperature.

1.0 INNGANGUR

Fyrstu tilraunir með söfnun á villtum þorski til áframeldis í kvíum hér á landi hófust í Stöðvarfirði sumarið 1992 að frumkvæði heimamanna (Björn Björnsson 1994). Árið 1994 voru gerðar sjö tilraunir með sjókvíaeldi á þorski, tvær á Austfjörðum og fimm á Vestfjörðum. Fyrstu árin studdi sjávarútvegsráðuneytið við bakið á þeim sem gerðu tilraunir með þorskeldi með því að úthluta hverjum aðila 5 tonna kvóta af lifandi þorski. Þrátt fyrir þetta dofnaði áhuginn fljótt. Verðið sem fékkst fyrir þorskinn lækkaði og fyrirhöfnin var mikil miðað við tiltölulega lítil umsvif. Ekki tókst að safna nægilega miklu af þorski á hagkvæman hátt. Seinni hluta síðasta áratugar lagðist eldið af en hefur nú hafist aftur á nokkrum stöðum við landið. Á árunum 1993-2000 stunduðu samtals 18 aðilar eldi á villtum þorski á Austfjörðum, Vestfjörðum og í Eyjafirði (Valdimar Ingi Gunnarsson & Björn Björnsson 2001). Alls mun hafa verið slátrað upp úr kvíum hér á landi um 200 tonnum af slægðum þorski á árabílinu 1993-2001 og þar af 70 tonnum á árinu 2001 (Hjalti Karlsson 2002).

Þann 15. maí 2002 voru samþykktar breytingar á lögum nr. 38/1990 um stjórnun fiskveiða þar sem kemur fram að:

„...á fiskveiðiarunum 2001/2002 til og með 2005/2006 hefur ráðherra til sérstakrar ráðstöfunar aflaheimildir sem nema 500 lestum af óslægðum þorski. Þessum aflaheimildum skal ráðstafað til tilrauna með áframeldi á þorski í samráði við Hafrannsóknastofnunina sem fylgist með tilrauninni og birtir niðurstöður um gang hennar. Ráðherra setur frekari reglur um skilyrði fyrir úthlutun aflaheimilda samkvæmt þessari grein“.

Með tilkomu úthlutunar á árlegum 500 tonna þorskeldiskvóta til fimm ára átti sér stað mikil aukning í áframeldi á þorski. Nokkur öflug sjávarútvegsfyrirtæki taka þátt í þessu þróunarverkefni. Í reglugerð nr. 238/2003, um eldi nytjastofna sjávar er gerður greinarmunur á áframeldi þ.e.a.s. eldi á fönguðum villtum fiski til slátrunar og aleldi sem er skipulegt eldi frá klaki til slátrunar. Frá árinu 1995 hafa árlega verið framleidd nokkur þúsund þurrfóðurvanin þorskseiði í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunarinnar á Stað við Grindavík. Árið 2002 voru framleidd 28 000 seiði og árið 2003 um 250 000 seiði. Nokkur hluti þessara seiða hefur

verið alinn til slátrunar í eldiskörum í Tilraunaeldisstöðinni. Með aukinni seiðaframleiðslu á næstu árum er gert ráð fyrir verulegri framleiðsluaukningu. Fyrstu íslensku eldisseiðin fóru í sjókvíar haustið 2002, en áður höfðu seiðin verið alin í strandeldi í tæpt ár. Í lok ársins 2001 hófust tilraunir með að fanga þorskseiði (0-hóp) og á árinu 2003 voru veidd um 700 000 seiði í Ísafjarðardjúpi og er því einnig gert ráð fyrir aukinni framleiðslu á eldisþorski sem byggir á villtum þorskseiðum.

Markmiðið með þessari grein er að gefa yfirlit yfir stöðu matfiskeldis á þorski hér á landi, taka saman þætti sem hafa áhrif á vöxt og viðgang þorsks í matfiskeldi, segja frá reynslu sem hefur aflast með eldi á þorski, gefa yfirlit yfir eldisaðferðir við matfiskeldi á þorski og jafnframt gera grein fyrir umhverfisáðstæðum og líffræðilegum forsendum til þorskeldis á Íslandi.

2.0 UMHVERFISÞÆTTIR OG ÞORSKELDI

2.1 Sjávarhiti

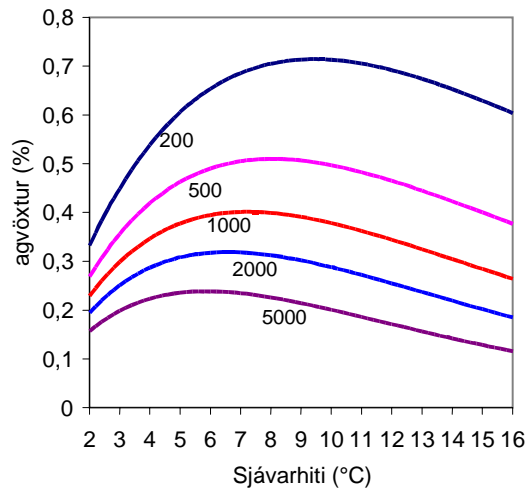
Sá umhverfisþáttur sem hefur einna mest áhrif á vöxt og viðgang eldisþorsks er sjávarhiti. Í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunarinnar á Stað við Grindavík voru gerðar umfangsmiklar vaxartilraunir með eldisþorsk og einnig villtan þorsk sem alinn var í kerum við mismunandi hita (Björn Björnsson o.fl. 2001, Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002). Við útreikning á vaxtarhraða er oft notuð eftirfarandi formúla:

$$G = 100 * (\ln W_2 - \ln W_1) / d$$

þar sem \ln er náttúrulegur logarithmi, W_1 upphafsþyngd, W_2 lokþyngd og d fjöldi daga í tilrauninni. Út frá niðurstöðum vaxartilraunanna var þróað vaxtarlíkan til að lýsa áhrifum hita (T , í °C) og þyngdar (W , í g) á vaxtarhraða þorsks (G , í % á dag) sem fær nóg að éta (Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002):

$$G = (0.5735T)W^{(-0.1934-0.02001T)}$$

Kjörhiti til vaxtar (T_{optG}), hjá þorski á stærðarbilinu 2-5000 g, lækkar með þyngd þorsksins, frá um 17°C hjá 2 g fiski niður í um 6°C hjá 5000 g fiski (1. mynd). Vaxtarlíkanið getur ofmetið vöxt þegar fiskurinn verður kynþroska og vanmetið vöxt hjá stórum þorski sem verður ekki kynþroska á árinu (Björn Björnsson &



1. mynd. Dagvöxtur hjá þorski miðað við mismunandi fiskstærð (g) og sjávarhita (Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002).

Fig. 1. Model calculation of food-unlimited growth rate of cod as a function of temperature for fish weight from 200 to 5000 g (Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002).

Agnar Steinarsson 2002). Vaxtarlíkanið byggir að mestu á gögnum um fisk sem er undir 2 kg og er því meiri óvissa í líkaninu fyrir stærri fisk. Þær tilraunir sem gerðar hafa verið með áframeldi á 2-5 kg þorski í sjókvíum gefa þó ekki til kynna að um sé að ræða verulegt frávik frá vaxtarlíkaninu (Björn Björnsson 1994, 1999b, Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003).

Braaten (1984) kannaði vaxtarhraða hjá 100-4000 g þorski við 8,5°C. Niðurstöður hans sýndu meiri vaxtarhraða hjá smæsta fiskinum en samkvæmt íslenska vaxtarlíkaninu en vaxtarhraðinn hjá stærsta fiskinum var svipaður og í líkaninu. Norskt vaxtarlíkan (Jobling 1988) gefur meiri vaxtarhraða hjá þorski (250-2000 g) við háan hita (12-16°C) en minni vaxtarhraða við lágan hita (4°C) samanborið við íslenska vaxtarlíkanið (Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002). Íslenska vaxtarlíkanið sem byggir á mun viðameiri gögnum en það norska styðst við vaxtarlíkanir sem gerðar voru á þorski frá suðvesturströnd Íslands og því er ekki hægt að útiloka að vaxtarhraði og kjörhiti sé eitthvað frábrugðinn hjá öðrum þorskstofnum.

Kjörhiti m.t.t. affalla er um 4°C undir kjörhita fyrir vöxt. Ef eldshitinn fer mörgum gráðum yfir kjörhita til vaxtar fer dánartíðnin ört vaxandi með frekari hækkun hita, sérstaklega hjá stærri fiski (Björn Björnsson o.fl. 2001, Olafsen & Dervå 2002). Í Norður-Atlantshafi er fjöldi þorskstofna sem halda sig á afmörkuðum

svæðum þar sem meðalsjávarhiti er á bilinu 2-11°C (Brander 1994). Á árinu 2002 stöðvaðist vöxtur á eldisþorski í tvo mánuði hjá mörgum sjókvíaeldisstöðvum í Vestur-Noregi meðan sjávarhitinn fór upp undir 20°C og töluverð afföll urðu (Bleie 2003, Karlsen & Adoff 2003). Mikil afföll á þorski í sjókvíum hafa einnig orðið í fyrri tilraunum þegar sjávarhiti nálgast 20°C (Kock 1975). Hæsti hiti í sjó í íslenskum fjörðum er undir 15°C (Steingrímur Jónsson 1999). Of hár sjávarhiti verður því varla til vandræða í þorskeldi við Íslandsstrendur.

Atferlisrannsóknir sýna að smáþorskur virðist forðast sjávarhita sem er hærri en 16-17°C og í sumum tilvikum eru mörkin 18-19°C (Bøhle 1974). Í fódurtilraunum hefur einnig komið fram að meltingarhraði hjá 230 g þorski er minni við 19°C en 15°C og að fiskurinn tók ekki fóður við 21°C (Tyler 1970). Í tilraunum með 500-1000 g þorsk úr St. Lawrence flóa sem fékk að velja sér sjávarhita fór valið eftir því hve mikið hann fékk að éta. Stríðalinn þorskur valdi 6,5°C (Despatie o.fl. 2001) sem er 1,9°C lægri hiti en kjörhiti til vaxtar (Björn Björnsson o.fl. 2001). Þorskur sem hafði verið sveltur í um einn mánuð og síðan fódraður lítilllega á tveggja vikna fresti valdi mun lægri hita (4,0°C) væntanlega til að spara orku. Hins vegar, í danskri tilraun, valdi 80-200 g þorskur sem fékk nóg að éta 13,9°C (Schurmann & Steffensen 1992) sem er 2,7°C hærri hiti en kjörhiti til vaxtar (Björn Björnsson o.fl. 2001).

2.2 Frostþol

Í rannsóknum í Kanada hefur komið fram að við lágan sjávarhita myndar þorskur glykoprótein sem lækkar frostmark blóðsins (Fletcher o.fl. 1987, Goddard & Fletcher 1994). Myndun á þessum frostlegi hefst hjá smáum þorski (15-25 cm) þegar sjávarhitinn fer niður í 2-3°C en við 0-1°C hjá stærri þorski (Goddard o.fl. 1992). Myndun á frostlegi er einnig meiri hjá þorskseiðum en stærri þorski (Kao & Fletcher 1988, Goddard o.fl. 1992). Þessi munur er talinn stafa af því að seiðin halda sig í köldum sjó upp við ströndina um veturinn en stærri fiskurinn hörfar frá landi í heitari sjó (Goddard & Fletcher 1994). Í rannsóknum hefur komið fram að blóðvökvi í þorski frýs yfirleitt við hita á bilinu frá -1.1 til -1.35°C (Goddard & Fletcher 1994, Goddard o.fl. 1992, 1994). Þorskurinn getur þó lifað við lægri hita svo framarlega sem honum er haldið frá ískristöllum. Við Kanada hefur

eldisþorskur lifað í sjókvíum þar sem sjávarhitinn var undir -1.2°C í einn mánuð og fór allt niður í -1.7°C (Fletcher o.fl. 1997). Talið var að eldisþorskurinn gæti lifað við þessar aðstæður vegna þess að lagnaðarís var yfir svæðinu sem hindraði að ískristlar bærust með umróti frá yfirborði sjávar niður að fiskinum í kvínni.

Þorskur á syðri svæðum við Kanada getur myndað frostlög eins og þorskur frá norðlægum köldum svæðum (Purchase o.fl. 2001). Það eru þó vísbendingar um að þorskur sem lifir á jaðarsvæðum nyrst við Nýfundnaland framleiði meira af frostlegi en þorskur á suðlægari svæðum (Goddard o.fl. 1999). Ekki liggja fyrir upplýsingar um kuldaþol íslenska þorsksins eða getu hans til að mynda frostlög.

2.3 Seltuþol

Í kanadískri rannsókn kom fram að fóðurnýting og vöxtur hjá smáþorski (33-44 cm) væri betri við seltu 14 en 28%. Það má því auka fóðurnýtingu og vaxtarhraða þorsks með því að ala hann í hálföldum sjó (Lambert o.fl. 1994, Dutil o.fl. 1997). Í atferlissrannsóknum í kerum hefur einnig komið fram að þorskur leitar úr fullöldum sjó í minni seltu. Þorskurinn leitaði eingöngu í selturíka sjóinn neðst í kerinu þegar fóðrað var niðri við botn (Claireaux o.fl. 1995b). Bent hefur verið á að draga megi úr hættu á ofkælingu á veturna með því að blanda ferskvatni við sjó (Dutil o.fl. 1992). Minnsta selta sem þorskur þolir til lengdar mun vera um 7‰ (Dutil o.fl. 1992, Provencher o.fl. 1993). Við lægri seltu á þorskurinn erfitt með að halda réttu seltujafnvægi og afföll aukast (Odense o.fl. 1966, Provencher o.fl. 1993). Þessi mörk geta þó verið háð umhverfispáttum eins og sjávarhita (Harden Jones & Scholes 1974).

2.4 Sundhraði og sundþol

Hámarkssundhraði þorska (cm/s) eykst með aukinni stærð (Blaxter & Dickson 1959). Litlir fiskar eiga því í meiri örðugleikum með að halda sjó á opnum og straumþungum svæðum en stærri fiskar. Sundþol eða sá tími sem fiskurinn getur synt á móti straumi styttest með auknum straumhraða. Í einni tilraun kom fram að þorskur, um 35 cm að lengd, gat synt á móti 75 cm/sek. straumi við 5°C í meira en fjórar klukkustundir, en aðeins í um 12 sekúndur við 90 cm/sek. straumhraða (Beamish 1966).

Samkvæmt eldri rannsóknum kemur fram að sundþol fiska er háð sjávarhita (Beamish 1966,

He 1991). Í nýrri rannsókn kemur aftur á móti fram að sjávarhiti ($0-9,8^{\circ}\text{C}$) hefur ekki áhrif á sundþol, a.m.k. ekki hjá stærri þorski (41-86 cm) en þar mældist hámarkssundhraði um 66 cm/sek. Mismunandi niðurstöður má hugsanlega skýra með mismunandi búnaði við framkvæmd tilraunanna og aðferðafræði, s.s. hve lengi fiskurinn var aðlagður lágum sjávarhita (Winger o.fl. 2000). Í rannsókn á þorski (26-36 cm) við náttúrulegar aðstæður kom einnig fram að sjávarhiti ($1-17^{\circ}\text{C}$) virtist ekki hafa áhrif á hámarkssundhraða (Cote o.fl. 2002). Aftur á móti virtist þorskurinn virkari og hreyfa sig að jafnaði meira við hærri hita (Claireaux o.fl. 1995a, Castonguay & Cyr 1998). Aðrir þættir, eins og súrefnisinnihald sjávar, hafa áhrif á sundþol fiska sem minnkar með lækkandi súrefnisinnihaldi (Schurmann & Steffensen 1994).

2.5 Aðrir umhverfispættir

Súrefnisinnihald í fullmettuðum sjó minnkar með auknum hita og aukinni seltu (Strickland & Parsons 1972, Unnsteinn Stefánsson 1991). Ef súrefni í eldisvökva fer niður fyrir ákveðið gildi, getur súrefnið orðið takmarkandi þáttur í vexti og því lægra sem súrefnið verður því minni verður vöxturinn. Í rannsóknum á 700 g þorski við 10°C kom fram að þessi mörk væru á bilinu 65% til 73% af súrefnismettun sjávar (Chabot & Dutil 1999). Í einni tilraun byrjuðu afföll á þorski (18-45 cm) þegar súrefnismettun fór undir 60% í 8°C heitum sjó og 50% afföll áttu sér stað þegar súrefnismettunin var komin niður í 40% (Scholz & Waller 1992). Í annarri rannsókn kom fram að það má vænta affalla ef þorskur (40-60 cm) er hafður í lengri tíma í sjó sem er með 30% súrefnismettun við $2-6^{\circ}\text{C}$ (Plante o.fl. 1998). Margar ástæður geta verið fyrir mismunandi niðurstöðum, s.s. breytilegur sjávarhiti í tilraunum. Í danskri tilraun jókst súrefnismettun sem þorskur byrjaði að drepa við með auknum hita. Við 5°C voru dauðamörkin við 5% súrefnismettun en 29% við 17°C (Schurmann & Steffensen 1992).

Í atferlissrannsókn á þorski í 11 metra djúpum tanki kom fram að hann leitaði upp að yfirborði á næturna en niður að botni á daginn (Claireaux o.fl. 1995b). Þorskur vex minna í sterku ljósi og hafa sumir eldismenn í Noregi breitt yfir kvíarnar til að dempa sólarljósið (Karlsen & Adoff 2003). Ekki hefur verið hægt að sýna fram á áhrif ljósloðu á vöxt þorsks (Hall 1988, Hansen o.fl. 2001). Það er þekkt hjá mörgum

tegundum sjávarfiska og laxfiska að langur dagur örvar vöxt (Boeuf & Le Bail 1999). Í einni tilraun á þorski í matfiskeldi (400-2400 g) sem alinn var við 10°C var eingöngu hægt að sýna fram á meiri vöxt við stöðugt ljós vegna seinkunar á kynþroska. Vöxturinn var svipaður og hjá þorski sem alinn var við náttúrulegt ljós framan af en það dró í sundur þegar þorskur við náttúrulegt ljós varð kynþroska (Hansen o.fl. 2001). Hér kann þó að vera að stöðug lýsing hafi áhrif á vöxt hjá minni fiski við hærri hita. Í rannsóknum á þorsklirfum hefur komið fram að vöxtur er meiri við 24 tíma lýsingu samanborið 18 og 12 tíma lýsingu á sólarhring (Puvanendran & Brown 2002).

3.0 ELDI

3.1 Val á fiski

Við Ísland er erfðafræðilegur munur á milli þorska af mismunandi svæðum (Ólöf Dóra Bartels Jónsdóttir o.fl. 1999, 2001, 2002). Þar sem ekki hefur verið lokið við eldistilraunir á þorski af mismunandi svæðum hér við land er ekki hægt að fullyrða að einn stofninn sé betri til eldis en annar. Í Noregi hefur komið fram munur á vaxtarhraða og lögum hjá strandþorski og Barentshafþorski (van der Meeren o.fl. 1994, Svásand o.fl. 1996). Í öðrum eldistilraunum hefur einnig komið fram mismunur milli stofna, s.s. í vexti við mismunandi ljósstyrk (Puvanendran & Brown 1998), lifrarhlutfalli og holdastuðli (Purchase & Brown 2001) og frostþoli (Goddard o.fl. 1999).

Þegar villtur þorskur er tekinn til eldis er alltaf hætta á að hann beri með sér sjúkdóma í eldisstöðina. Takmörkuð vitneskja er um gæði villts þorsks eftir svæðum m.t.t. sníkjudýra og annarra sýkinga. Ef þorskur er t.d. smitaður af illu (*Lernaeocera branchialis*) veldur það minni vexti (Khan o.fl. 1990) og auknum afföllum (Scholz & Waller 1992). Villtur þorskur er yfirleitt sýktur af hringormum, en tíðni sýkinga er mismunandi eftir svæðum og eykst eftir því sem fiskurinn verður stærri (Erlingur Hauksson 1992, 1997). Í þessum fiski mun því finnast hringormur í holdi við slátrun. Það skal þó haft í huga að veruleg fækkun hringorma á hvert kíló á sér stað vegna þyngdaraukningar í eldinu, svo framarlega sem fiskurinn er ekki fóðraður á fóðri sem inniheldur lifandi hringorma. Ef notað er ósýkt fóður í aleldi má að mestu koma í veg fyrir hringormasýkingu. Tveir hringormar (*Ani-*

sakis sp.) fundust þó við mælingar á eldis-seiði sem verið hafði fjóra mánuði í sjókví í Eyjafirði og eingöngu alið á þurrfóðri (Björn Björnsson, óbirt gögn). Sýkt fæðudýr svo sem ljósáta kunna að hafa borist inn í kvína og verið étin.

Hagkvæmt er að fanga horaðan eða nýhrygndan þorsk til áframeldis. Ástæðan er sú að í eldi er vaxtarhraðinn á horuðum fiski meiri en á fiski sem er í góðum holdum (kafli 3.4). Besti árangurinn næst með því að fanga villtan þorsk til eldis á vorin en þá er hann tiltölulega horaður og fram undan eru heitustu mánuðir ársins sem gefa bestan vöxt.

Lífsþróttur þorsks er breytilegur eftir þeim veiðarfærum sem notuð eru við að fanga hann. Gildir hafa reynst vel við að fanga þorsk til áframeldis hér á landi (Óttar Már Ingvason 2002). Með notkun dragnótar, handfæra og línu eru meiri afföll, sérstaklega á djúpu vatni þar sem afföll geta numið nokkrum tugum prósentu (Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003). Betri árangur hefur náðst með því að fanga þorsk með dragnót til áframeldis í Noregi en hér á landi (Isaksen o.fl. 1993, Pedersen 1997). Í nýrri íslenskri rannsókn kom fram að afföll á handfærafiski væru 59% hjá fiski sem tekinn var af 75-122 m dýpi og 27% afföll á 19-53 m dýpi (Ólafur K. Pálsson o.fl. 2003). Hér er um að ræða afföll við föngun, flutning og aðlögun. Í rannsókn á afföllum á línuveiddum undirmálsþorski kom fram að afföll eru mikil (36-62%) þrátt fyrir að fiskurinn sé losaður varlega af króki með höndum (Milliken o.fl. 1999).

Með eldi á villtum fiski er ekki verið að koma upp bústofni til framtíðar heldur eru á hverju ári fangaðir einstaklingar með ólíkan uppruna og eiginleika til vaxtar. Með kynbótum er eldisþorskur betur aðlagður eldisaðstæðum eins og gert hefur verið fyrir aðrar tegundir (Dunham o.fl. 2001). Til lengri tíma lituð mun því villtur þorskur varla geta keppt við kynbættan eldisþorsk. Notkun á villtum þorski til áframeldis mun því vera tímabundin lausn. Hún getur verið hentug á meðan verð á eldisseiðum er hærra en fæst með föngun á villtum þorski til áframeldis og áður en verulegra kynbótaframfara er farið að gæta hjá eldisþoski. Um þessar mundir er ekki vitað um arfgengi þorsks á mikilvægustu eiginleikum í matfiskeldi (Albert K. Imsland & Ólöf Dóra Bartels Jónsdóttir 2002). Það er því óljóst hve langan tíma það tekur að ná árangri í kynbótastarfinu.

3.2 Flutningur

Áður en eldisfiskur er færður til flutnings er hann fyrst sveltur til að tæma meltingarveginn. Með því að svelta fisk fyrir flutning minnkar súrefnisnotkunin og komið er í veg fyrir mengun á sjó í flutningseiningu (Jahnsen 1988). Þorskur er gráðugur fiskur og dæmi eru um að magainnihaldið hafi numið allt að 19% (dos Santos & Jobling 1995) og jafnvel 20-30% af líkamsþyngd (Björn Björnsson 2001). Það getur því þurft að svelta hann í lengri tíma fyrir flutning en margar aðrar tegundir til að hann nái að tæma meltingarveginn nægilega vel. Flutningur á fönguðum, villtum þorski er vandasamur þar sem fiskurinn kann að hafa verið í miklu æti. Einnig er fiskurinn oft með verulega skertan lífsþrótt sérstaklega þegar hann er tekinn af miklu dýpi. Því er æskilegt að láta fiskinn jafna sig eftir föngun og áður en hann er fluttur langar leiðir.

Þegar þorskur er losaður í flutningseiningu úr veiðarfæri sækir hann niður á botn, nema „flotþorskar“ sem svamla í yfirborði með bak eða kvið upp þó að þeir reyni fyrst að kafa niður. Þar sem flestir fiskanna leita strax niður á botn myndast þar mikill þéttleiki. Hætta er á að fiskar kafni vegna súrefnisskorts, annað hvort vegna þess að sjór nær ekki að streyma að fiskinum eða að þeir liggja það þétt saman að tálkn þeirra haldast lokuð. Eftir u.þ.b. hálf tíma byrja fiskarnir að dreifa sér um tankinn. Fiskar með sprunginn sundmaga eru eðlisþyngri en sjórinn og sökkva því fljótt til botns þegar þeir hætta að synda (Isaksen o.fl. 1993). Hefðbundinn flutningsbúnaður fyrir lax hentar illa fyrir þorsk og hefur því verið hannaður sérstakur flutningsbúnaður fyrir þorsk. Sjórinn er látinn streyma upp um göt á fölskum botni en með því er nægilegt súrefnisflæði betur tryggt til fisksins sem liggur þétt við botninn (Isaksen & Midling 1994, Pedersen 1997).

Rannsóknir í sérhönnuðum litlum flutnings-tönkum fyrir þorsk sýna að hægt er að hafa 250 kg/m³ og jafnvel allt upp í rúm 500 kg/m³ þegar flytja á fiskinn stuttar vegalengdir (Staurnes o.fl. 1994b, Pedersen 1997). Þó að afföll mælist vart eftir tveggja sólarhringa flutning við 540 kg/m³ mælist herra streituálag hjá fiskinum við aukinn þéttleika (Staurnes o.fl. 1994a). Reynsla við flutning á þorski í stórum stíl sýnir einnig að þessi viðmiðunargildi eru of há. Hámarkspéttleiki virðist háður stærð botnflatar, botngerð og sjódælingu. Það er því ráðlegt að byrja fyrst

með lítinn þéttleika og auka hann smá saman meðan afföll fara ekki yfir ásættanlega viðmiðun (Isaksen & Saltskår 2003). Það er mikilvægt að hafa flutningstímamann stuttan þegar þéttleikinn er mikill. Villtur þorskur þolir misvel mikinn þéttleika og hnjask, sérstaklega skal þess gætt að hafa hóflegan þéttleika þegar fiskur er í miklu æti. Einnig er mikil hætta á að fiskurinn skaðist í veltingi (Pedersen 1997).

Súrefnisnotkun fiska mæld í mg O²/kg fisk/klst eykst með hækkandi sjávarhita, minni fiskstærð og aukinni föðrun (Saunders 1962, Soofiani & Priede 1985). Aðrir þættir hafa einnig áhrif á súrefnisnotkun og við streituálag mældist súrefnisnotkun þorsks (800-2500 g) í upphafi einnar tilraunar 138 mg O²/kg fisk/klst við 8°C en var síðan að jafnaði 105-125 mg O²/kg fisk/klst fyrsta sólarhringinn (Staurnes o.fl. 1994b). Súrefnisnotkun hjá óstressuðum þorski af svipaðri stærð og við u.þ.b. sama hitastig er mun lægri eða 60-70 mg O²/kg fisk/klst (Sundnes 1957a, b, Saunders 1963). Í mælingum á súrefnisnotkun þorsks hefur komið fram að hún lækkar fljótt eftir áreiti og er minni fiskur (<300 g) búinn að jafna sig á innan við sólarhring en hjá stærri fiski (>1000 g) tekur það 3-4 daga (Sundnes 1957a). Reikna má með að 150 mg O²/kg fisk/klst sé nægileg notkun í flestum tilvikum hjá þorski sem fangaður hefur verið í dragnót. Þó er erfitt að meta nákvæmlega súrefnisþörf hjá fönguðum, villtum þorski þar sem streituálag og magn af ómeltri fæðu í meltingarvegi fisksins getur verið mismunandi (Pedersen 1997). Súrefnismælir er því nauðsynlegt mælitæki til að fylgjast með súrefnisinnihaldi í flutningseiningu. Ágæt viðmiðun er að súrefnismettun fari aldrei undir 70% í flutningseiningu (sjá kafla 2.5).

Í landflutningum þar sem ekki er hægt að dæla stöðugt sjó í flutningseiningu er súrefni dælt í sjóinn til að tryggja það að fiskurinn fái nægilegt súrefni. Súrefnismettun upp í 150-200% virðist ekki hafa neikvæð áhrif á þorsk í flutningi (Holm o.fl. 1991). Þegar súrefni er dælt í sjó án vatnsskipta er hætta á að pH-gildi vatnsins lækki mikið vegna uppsöfnunar á koltvísýringi. Þorskur drepst þegar pH-gildi fer undir 6,3 (Sundnes & Taylor 1964). Flutt hafa verið 800 kg/m³ af þorski í 600 lítra tanki í 17 tíma með góðum árangri án þess að skipt hafi verið um sjó (Sundnes & Kjelstrup-Olsen 1966).

Þegar fiski er komið fyrir í flutningseiningu skal komast hjá hnjaski á fiskinum og halda

breytingum á umhverfisþáttum í lágmarki. Í einni tilraun kom fram að við það að flytja 0,8-2,5 kg þorska úr 8°C í 1°C urðu engin afföll en streituálag var þó mælt hjá fiskinum (Staurnes o.fl. 1994a). Það skal því miðað við að hafa sem minnstar hitabreytingar við föngun og flutning (Holm o.fl. 1991). Flutningur á þorski í mjög köldum sjó getur valdið sárum sem ekki ná að gróa (Karlsen 2002). Það skal því gæta fyllstu varúðar við flutning á þorski í sjókvíar yfir vetrarmánuðina.

Í sumum tilvikum er notuð dráttarkví við flutning á villtum fiski frá veiðislóð yfir á eldissvæðið. Í Kanada er miðað við að fiskurinn sé án fóðrunar í fjóra daga fyrir flutning en þar er notuð lítil dráttarkví (50 m³) sem dregin er á 1-2 sjómílna hraða allt að 15 km vegalengd. Fiskurinn er síðan flokkaður með rist í dráttarkvínni, vigtaður og fluttur yfir í eldiskvína til áframeldis (Murphy 2002).

3.3 Aðlögun

Það getur tekið töluverðan tíma fyrir villtan þorsks að jafna sig eftir föngun og flutning. Við föngun getur fiskurinn orðið fyrir töluverðu hnjaski og má þar nefna roðskaða og uggaslit eftir net, sár í kjafti, tálknum, auga og víðar eftir króka, útblásinn eða sprunginn sundmaga eftir snögga þrýstingsbreytingu (Pedersen 1997, Ólafur Karvel Pálsson o.fl. 2003).

Ef mörgum þorskum er sleppt á sama tíma í hefðbundna sjókví leitar stór hluti þeirra niður á botn og hætta er á að netpokinn dragist saman og fiskurinn kafni (Isaksen o.fl. 1993). Ef notuð er hefðbundin kví er mælt með því að setja ekki meira í hana en t.d. eitt til tvö tonn eftir stærð sjókvíar (Midling 1998). Þegar mikið magn er losað í einu af fiski, sem tekinn hefur verið úr djúpu vatni, er mikilvægt að nota móttökukví með stífum botni til að koma í veg fyrir að fiskarnir kafni í netpokanum (Midling o.fl. 1998). Á botninum eru stífar stöðeiningar og á milli þeirra er strekkt mjúkt hnútalaust net sem fiskarnir geta legið á. Til að auðvelda eftirlit er móttökukvínn höfð grunn með botni sem hægt er að lyfta upp. Botninn er það stífur að eldismenn geti gengið á honum og fjarlægð dauða og þróttlitla fiska (Isaksen o.fl. 1993, Midling 1995, Midling o.fl. 1998).

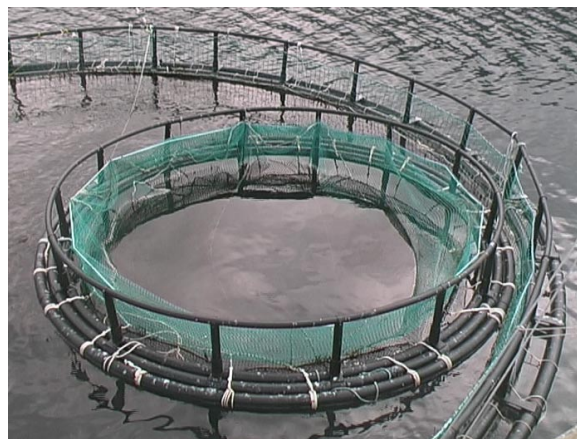
Verulegur munur er eftir veiðiaðferðum hve lengi fiskurinn er að jafna sig eftir föngun og flutning. Í einni tilraun voru um 95% fiskanna búnir að jafna sig eftir sólarhring og syntu um í kvínni (Midling & Isaksson 1995). Dauðsföll

hjá handfærafiski sem tekinn var á djúpu vatni (75-122 m) komu fyrr fram en hjá fiski sem tekinn var á grunnu vatni (19-53 m) (Ólafur K. Pálsson o.fl. 2003).

Þegar þorskur er fangaður á djúpu vatni eru flestir fiskanna með sprunginn sundmaga, 1-2 mm gat sem grær innan þriggja til fjögurra daga og fiskurinn nær að stjórna eðlisþyngd sinni að nýju. Sá tími sem tekur sárin að gróa getur þó hugsanlega verið lengri, s.s. við lágan sjávarhita og þegar um er að ræða stórt gat á sundmaganum. Sjaldnast nær sundmaginn í öllum fiskum að gróa og það er ávallt nokkur hluti fiskanna sem veslast upp (Isaksen & Midling 1995).

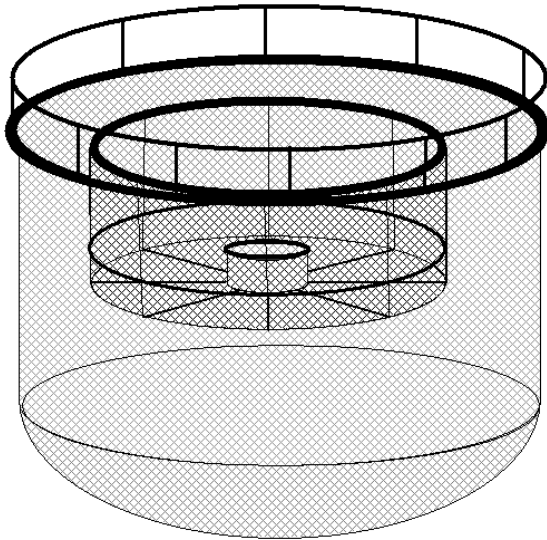
Móttökukvíar með stífum botni eru tæmdar þegar fiskurinn er búinn að jafna sig. Þá er jafnframt hægt að vigta, stærðarflokka og flokka frá þróttlitla fiska sem ekki eru heppilegir í áframeldi. Í þeim tilvikum sem fiskurinn er ekki vigtaður og stærðarflokkaður er best að tæma móttökukví yfir í hefðbundna kví með því að sauma saman netpoka á ákveðnu svæði, sökkva opinu vel undir yfirborð sjávar og reka fisk úr móttökukví yfir í sjókví (Midling 1998). Þegar móttökukví er inni í sjálfri eldiskvínni er hún einfaldlega opnuð og fiskurinn rekinn út (2. mynd).

Önnur gerð af móttökukví með stífum botni er með opi fyrir miðju (3. mynd). Þegar fiskarnir hafa jafnað sig fara þeir að synda um og finna opið. Þeir synda í gegnum hólkin og niður í sjálfa eldiskvína þar sem þeir vaxa og dafna. Fiskar sem ekki ná að jafna sig liggja áfram á botninum þar sem auðvelt er að ná þeim til slátrunar (Midling & Isaksen 1995, Midling 1998).



2. mynd. Móttökukví inni í hefðbundinni sjókví til að auka lífslíkur nýfangaðs þorsks.

Fig. 2. A small netpen to increase the survival chances of recently captured cod.



3.mynd. Teikning af grunnri móttökukví með stífum botni sem höfð er inni í hefðbundinni sjókví (Teikning: Óttar Már Ingvason).

Fig. 3. Construction of the flat-bottom netpen inside traditional sea cage for on-growing of cod (Drawing: Óttar Már Ingvason).

Fyrstu dagana eftir að fiskurinn er kominn í sjókví er æskilegt að láta hann jafna sig áður en fóðrun hefst. Byrjað er á því að fóðra rólega meðan fiskurinn er að venjast aðstæðum og fóðri (Yetman 1999). Til að venja villtan þorsk á að taka fóður er æskilegt að hafa einnig í sjókvíunum nokkra fiska sem komnir eru í fullt át (Christiansen 1990). Nokkrum dögum eftir að fiskurinn tekur fyrst fóður í sjókvínni byrjar hann að sýna fóðrinu verulegan áhuga og er kominn í fulla fóðrun eftir eina til tvær vikur (Yetman 1999). Í einni tilraun sem gerð var hér á landi var villtur þorskur sem fangaður hafði verið í dragnót geymdur í sjókvíum allt frá 12 dögum upp í 35 daga áður en fóðrun hófst. Fiskarnir byrjuðu strax að taka fóður og meira í þeim kvíum þar sem fiskurinn hafði fengið lengri aðlögunartíma. Eftir u.þ.b. 10 daga var fiskurinn kominn í fullt át (Jón Gunnar Schram 2002). Aðlögunartíminn má þó ekki vera of langur til að ekki fari dýrmætur vaxartími til spillis.

Áður en þorskur er settur í kví er mikilvægt að gæta að því hvort gat sé á netpoka. Þorskur syndir meðfram botni og hliðum netpoka og ef gat kemur á hann er mikil hættu á að þorskur strjúki úr sjókví. Reynslan hefur sýnt að þorskur smýgur út um lítil göt á netpoka og er mun lagnari við það en laxinn. Stór þorskur getur farið í gegnum smá göt sem oft eru ekki sýnileg

á vel grónum netpokum. Það er því mikilvægt að hafa gott eftirlit með netpokanum og skipta oft og reglulega um poka (Holm o.fl. 1991, Karlson 2002). Hér á landi hefur töluvert verið um að eldisþorskur hafi sloppið úr sjókvíum um gat á netpoka (Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003).

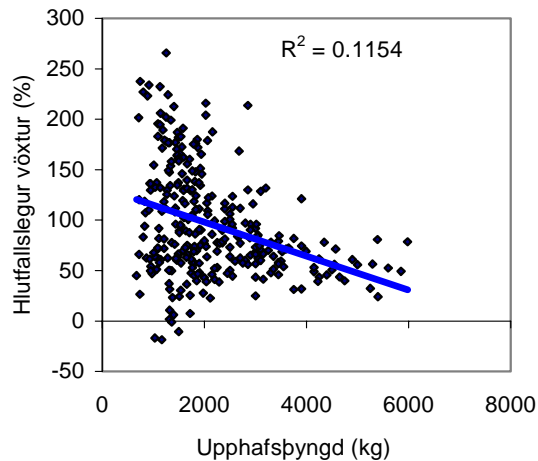
3.4 Vöxtur

Hér á landi hafa verið gerðar margar vaxtar-tilraunir með áframeldi á þorski í sjókvíum (Björn Björnsson 1994, 1999b, Vilhjálmur Þorsteinsson & Björn Knútsson 1997, Björn Gíslason & Bergur Guðmundsson 2001, Hjalti Karlsson 2002, Jón Gunnar Schram 2002, Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003). Vöxt-urinn hefur yfirleitt verið svipaður eða betri en vænta hefði mátt út frá vaxtarjöfnu Björns Björnssonar og Agnar Steinarssonar (2002). Af einhverjum ástæðum reyndist þó vöxtur óvenju slakur í kvíum í Norðfirði 1994 til 1996 (Vilhjálmur Þorsteinsson & Björn Knútsson 1997).

Pegar horaður fiskur er tekinn í eldi hvort sem um er að ræða magran villtan fisk sem fer í áframeldi eða eldisfisk sem hefur þurft að líða næringarskort má vænta meiri vaxtarhraða þar til eðlilegum holdum er náð. Þessi vaxtarauki hefur verið nefndur uppbótarvöxtur (*compensatory growth*) (Jobling o.fl. 1994, Ali o.fl. 2003). Villtur þorskur er að jafnaði horaður og því getur hann náð meiri vaxtarhraða um tíma en eldisþorskur (Black & Love 1986, Pedersen & Jobling 1989, Jobling o.fl. 1991, Björn Björnsson 1999b). Því horaðri sem fiskurinn er því meiri er uppbótarvöxturinn (Jobling o.fl. 1994).

Mikill breytileiki getur verið í vexti hjá villtum þorskum sem fara í áframeldi en að jafnaði minnkar hlutfallslegur vöxtur með aukinni upphafsstærð (4. mynd) og sumir fiskarnir vaxa lítið eða jafnvel léttast (Hjalti Karlsson 2002, Jón Gunnar Schram 2002). Þetta geta t.d. verið fiskar sem hafa skaddast við föngun og flutning, sýktir fiskar eða fiskar sem þola ekki eldisaðstæður vegna streitu. Í einni rannsókn voru það einkum smæstu fiskarnir sem léttust (Hjalti Karlsson 2002) (4. mynd) en í annarri rannsókn hins vegar stærstu fiskarnir (Jón Gunnar Schram 2002). Ekki er vitað um ástæðu fyrir þessum mun en mismunandi fóðrunartækni getur þó hugsanlega skýrt það að einhverju leyti.

Mikil fóðrun á eldisþorski veldur því að hann verður mun holdmeiri en þekkist hjá villt-



4. mynd. Mikill breytileiki getur verið í vaxtarhraða villtra þorska í áframeldi (Hjalti Karlsson 2002).

Fig. 4. There can be large variation in the growth rate of wild cod reared in sea cages (Hjalti Karlsson 2002).

um fiski (Björn Björnsson 1999b). Lifrarhlutfall hjá villtum þorski er mjög breytilegt og í íslenskri rannsókn kom fram að við austanvert landið var það oftast undir 5% en gat hjá einstaka fiski farið upp undir 10% (hér er miðað við slægðan fisk). Aftur á móti var lifrarhlutfall hjá eldisþorski vel yfir 10% (Björn Björnsson 1999b, 2002). Hægt hefur verið að sýna fram á að með vali á fóðri megi halda lifrarhlutfallinu undir 9% og jafnframt ná góðum vexti (Lie o.fl. 1988, Karlson 2002). Rannsókuð hafa verið áhrif sundhraða sem nemur einni fisklengd á sekúndu á lifrarstærð án þess að hægt hafi verið að sýna fram á marktæk áhrif (Karlson o.fl. 2000). Almenn er þó talið að lifrarhlutfall sé 2-6% lægra við eldi í kerum en í sjókvíum (Karlson 2002). Hæfilegur straumhraði, 1,5 fisklengd /sek. eða minni allt eftir fiskstærð eykur vöxt hjá mörgum fisktegundum (Davison 1997). Í einni tilraun með þorsk var ekki hægt að sýna fram á ávinning af straumhraða allt upp í 1,0 fisklengd/sek. á vöxt fisksins (Bjørnevik o.fl. 2003).

3.5 Fóðrun

Þrátt fyrir að þekking á næringarþörf þorsks hafi aukist á síðustu árum er hún ennþá mjög takmörkuð. Nú á tímum inniheldur fóður hátt próteinhlutfall (48-60%), lágt kolvetnislutfall (10-15%) og einnig lágt fituhlutfall (<15%) (Lall & Nanton 2002). Línulegt samband er á milli þess fitumagns sem fiskurinn innbyrðir og lifrarstærðar, þ.e. því meiri fita sem fiskurinn

fær í fóðrinu því stærri verður lifrin í honum (Lie o.fl. 1988).

Fóðurgerðir

Mismunandi fóðurgerðir hafa verið notaðar í þorskeldi: heill fiskur (20-35% þurrefni), hakkadur fiskur eða fiskúrgangur með vítamínnum og mismunandi magni af bindiefni (votfóður með um 30% þurrefni, deigfóður með 50-60% þurrefni) og þurrfóður (um 90% þurrefni). Í alaldi hefur náðst sambærilegur árangur með fóðrun á þurrfóðri og votfóðri (Hemre o.fl. 2000). Erfiðlega hefur reynst að venja stóran villtan þorsk (>50 cm) á að éta þurrfóður (Hjalti Karlsson 2002, Björn Gíslason & Bergur Guðmundsson 2001). Aftur á móti hefur gengið betur að venja lítil þorskseiði (0-hóp) á þurrfóður. Hjá Háafelli ehf á Nauteyri í Ísafjarðardjúpi eru seiðin aðlöguð þurrfóðri með því að blanda hakkaðri loðnu við þurrfóðrið. Hlutfall loðnu er síðan smám saman minnkað þar til fiskurinn er að lokum eingöngu fóðraður með þurrfóðri (Þórarinn Ólafsson, munnl. uppl.). Við fóðrun á stærri þorski í áframeldi hér á landi hefur nær eingöngu verið notaður heill fiskur. Í fóðurtilraunum hefur heil loðna komið betur út m.t.t. vaxtar en tilbúið fóður (votfóður, deigfóður) (Provencher o.fl. 1995, Clark o.fl. 1995, Hjalti Karlsson 2002). Einnig hefur síld reynst vel sem fóður fyrir þorsk (Jobling o.fl. 1991, dos Santos o.fl. 1993). Þorskur er frekar matvandur fiskur og er því mikilvægt að fóðrið innihaldi lyktar- og bragðefni sem fiskurinn sækir í (Pawson 1977, Løkkeborg 1998). Tekist hefur að auka át og vöxt hjá þorski með því að bæta í fóðrið smokkfiski (Lie o.fl. 1989a, b). Tilbúið fóður getur því verið raunhæfur kostur ef þess er gætt að blanda í fóðrið efnum eða hráefni sem gera það áhugaverðara fyrir þorskinn. Þegar fóðrað er eingöngu með heilum fiski í lengri tíma er hætta á næringarskortu s.s. skorti á vítamínnum sem getur dregið úr vexti. Sú tilgáta hefur verið sett fram að vítamínskortur geti einnig valdið uppsöfnun á orku í lifur (Austreng o.fl. 2003).

Rannsóknir hafa sýnt að áhugi þorsks fyrir fóðri fer eftir fóðurgerð. Í einni tilraun kom fram að tiltölulega langur tími leið þar til þorskur sýndi votfóðri áhuga og meira var um það að hann spýtti því út úr sér eftir því sem sjávarhitinn var lægri. Aftur á móti hafði þorskurinn strax mikinn áhuga á loðnu og sjávarhiti hafði ekki áhrif á át fisksins (Clark o.fl. 1995). Samkvæmt niðurstöðum þessarar tilraunar virðist vera betra að fóðra villtan þorsk með

loðnu yfir vetrarmánuðina, en á sumrin skiptir aftur á móti minna máli hvort fóðrað er með deigfóðri/votfóðri eða loðnu.

Fóðurmagn

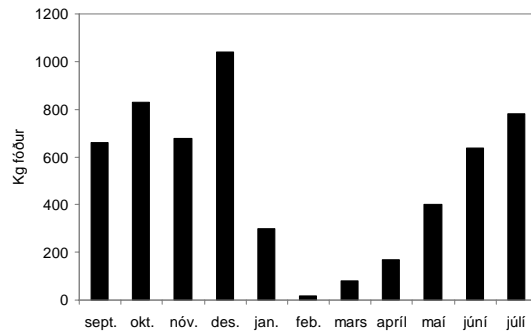
Æskilegt er að fóðra eftir lyst fisksins og læra á atferli hans til að vita hvenær á að draga úr og stöðva fóðrun. Hins vegar er ágætt að hafa til viðmiðunar útreiknað fóðurmagn. Fóðurmagn ræðst af sjávarhita, vatns- og orkuinnihaldi fóðurs og fiskstærð (Jobling 1988). Það er hægt að áætla fóðurmagn (F, í kg/dag) út frá hámarks vaxtarhraða (G, í %/dag) fyrir gefið hitastig (T, í °C) og þyngd á fiski (W, í g) (Björn Björnsson o.fl. 2001) og margfalda síðan með fóðurstuðli (f) og lífþyngd (B, í g) í eldiseiningu; $B=W*N$ þar sem N er fjöldi fiska:

$$F = f*G/100*B/1000$$

$$F = f* (0.5735T)W^{(-0.1934-0.02001T)}W*N/100000$$

Skilgreining á fóðurstuðli er gefin í kaflanum um fóðurnýtingu. Hafa skal í huga að margir aðrir þættir geta haft áhrif á át s.s. streita og getur því verið nokkur breytileiki í áti frá degi til dags. Verulegur munur getur einnig verið á áti milli mánaða m.a. vegna kynþroska (5. mynd). Eftir að þorskurinn hefur náð ákveðinni stærð verður hann kynþroska á hverju ári og átið stöðvast að mestu nokkrum vikum fyrir hrygningu (Braaten 1984). Þorskurinn fer ekki að sýna fóðri aftur áhuga fyrr en í lok hrygningar og að meðaltali stöðvast fóðurtakan í um 70 daga yfir hrygningartímamann (Fordham & Trippel 1999).

Átið minnkar með lækkandi sjávarhita einkum vegna þess að þorskurinn étur sjaldnar, en ekki vegna þess að hann éti minna í hvert skipti (Waiwood o.fl. 1991). Þorskur er með stóran og mjög teygjanlegan maga og getur troðið sig út ef nægilegt æti er til staðar (Björn Björnsson 2001). Stærð máltíða hjá þorski ræðst af tíðni fóðrunar. Magn sem smár þorskur (600-1000 g) étur í einni máltíð er 13-14% af þyngd sinni þegar fóðrað er tvisvar í viku, en þegar fóðrað er þrisvar og fimm sinnum í viku fer þetta hlutfall niður í 10% og 6% (Lambert & Dutil 2001). Mikið magainnihald getur komið niður á sundgetu þorsksins. Í atferlisrannsókn-um við tilraunaaðstæður kom fram að mettur þorskur lá oftast hreyfingarlaus á botni tanksins (Björn Björnsson 1993). Það er einnig þekkt við náttúrulegar aðstæður að mettur þorskur heldur sig meira niður við botn og veiðist þá í meira mæli í botnvörpu en flotvörpu (Ólafur Karvel



5. mynd. Það dregur úr áti hjá eldisþorski yfir hrygningartímamann sem stóð frá 5. febrúar til 20. apríl (Holm o.fl. 1991).

Fig. 5. The food intake of adult cod declines during the spawning period which lasted from 5 February to 20 April (Holm et al. 1991).

Pálsson 1985). Það getur því verið varasamt að fóðra þorsk í sjókvíum mikið í einu eftir langt fóðrunarhlé ef vænta má þess að óveður sé í aðsigi eða þegar sjávarfallastrumar eru óvenju sterkir.

Fóðrunartíðni

Meltingarhraði þorsks eykst með auknum sjávarhita og jafnframt er meltingarhraðinn meiri hjá smáum fiski en stórum (Tyler 1970, dos Santos & Jobling 1991a, Bromley 1991). Það þarf því að fóðra smærri fisk oftár en stærri fisk og oftár á sumrin en á veturna. Í einni tilraun tók það 230 g þorsk um 70 tíma að melta rækju við 2°C en aðeins um 25 tíma við 10°C (Tyler 1970). Sá tími sem tekur að tæma meltingarfærin ræðst einnig af fleiri þáttum s.s. meltanleika fæðunnar, stærð einstakra máltíða og fæðuagna (dos Santos & Jobling 1991a, b, Temming & Andersen 1994, Singh-Renton & Bromley 1996).

Til að finna heppilega fóðrunartíðni fyrir þorsk hafa verið gerðar nokkrar tilraunir. Í einni þeirra kom ekki fram mikill munur á dagvexti þegar smár þorskur (100-200 g) var fóðraður tvisvar á dag, daglega eða annan hvern dag við 8-9°C (tafla 1). Aftur á móti var minni vöxtur hjá fiski sem var fóðraður fjórða hvern dag en á móti kemur að fóðurnýtingin var betri og lifrarhlutfallið lægra (Lied o.fl. 1985). Í annarri tilraun kom fram að það jók ekki vöxt þorsks (400-1000 g) við 10°C og lágan þéttleika (10 kg/m³) að fóðra hann oftár en þrisvar sinnum í viku um sumarið. Aftur á móti var nægilegt að fóðra fiskinn um haustið við sama hitastig tvisvar sinnum í viku. Ályktað var að hægt væri

Tafla 1. Samanburður á fódrunartíðni, dagvexti, orkunýtingu og lifrarhlutfall (% af heildarþyngd fisks). Þorskur (100-200 g) var alinn í rúma tvo mánuði við 8-9°C (Lied o.fl. 1989).

Table 1. Comparison of feeding frequency, growth rate and liver weight (% of fish weight). Cod (100-200 g) reared in two months in sea with 8-9°C (Lied et al. 1989).

	Fódrunartíðni			
	2 x á dag	1 x á dag	Annar hvern dag	Fjórða hvern dag
Dagvöxtur (%)	0,63	0,62	0,59	0,47
KJ/g vöxtur	26,7	21,3	20,9	19,6
Lifrarhlutfall (%)	11,9	12,7	11,3	9,5

að minnka fódrunartíðni um haustið vegna þess að fiskurinn væri þá í góðum holdum og kynþroski hafinn. Í tilrauninni kom hins vegar fram að auka þyrfti fódrunartíðni við mikinn þéttleika (40 kg/m³) en meiri vöxtur fékkst þegar fóðrað var fimm sinnum í viku samanborið við 2-3 sinnum í viku (Lambert & Dutil 2001).

Í einni atferlisrannsókn kom fram að þorskur (0,2-5,5 kg) át sjaldnar eftir því sem sjávarhiti var lægri. Við 8°C átu daglega 87% fiskanna, en 77% og 54% við 4°C og 1°C. Mikill breytileiki var í áti milli daga og var því bent á að mikilvægt væri að fóðra sjaldnar við lágan hita til að koma í veg fyrir yfirfóðrun (Waiwood o.fl. 1991). Að vetri til við Ísland (0-2°C) kann að vera nóg að fóðra þorsk (>500 g) u.þ.b. einu sinni í viku en að sumri til (6-12°C) þrisvar í viku. Hins vegar þarf að fóðra smá þorskseiði (1-50 g) nokkrum sinnum á sólarhring og stór þorskseiði (50-500 g) u.þ.b. einu sinni á sólarhring.

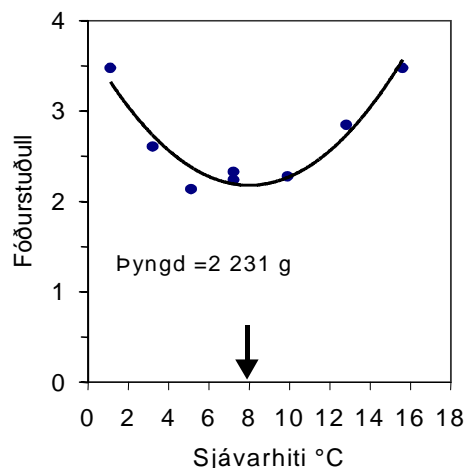
Fóðurnýting

Í matfiskeldi eru fóðurkaup stærsti kostnaðarliður í framleiðslunni (Björn Knútsson 1997). Því skiptir miklu að fóðurnýtingin sé sem best. Kjörhiti til fóðurnýtingar er 1-2°C lægri en kjörhiti til vaxtar (Björn Björnsson o.fl. 2001). Oft er svokallaður fóðurstuðull notaður til að lýsa fóðurnýtingunni: Fóðurstuðull = gefið fóður/heildarvöxtur á ákveðnu tímabili. Með öðrum orðum er fóðurstuðull magn fóðurs (kg) sem þarf að gefa til að fiskurinn auki þyngd sína um eitt kg. Tilraunir sýna að þorskur getur við bestu aðstæður nýtt fóðrið mjög vel, þannig er fóðurstuðull við kjörhita til fóðurnýtingar 0,6-0,9 á þurrfóðri og 2,2-2,5 á heilli loðnu með eða án rækju (Björn Björnsson o.fl. 2001). Verulegur

munur er á fóðurstuðli eftir fitu- og þurrefnisinnihaldi loðnunnar. Með notkun á feitri loðnu (16,6% fita og 33,1% þurrefni) var fóðurstuðullinn 2,3 en 4,2 þegar notuð var mögur loðna (4,3% fita og 20,4% þurrefni) (Björn Björnsson 1997a).

Sjávarhiti getur haft veruleg áhrif á fóðurstuðulinn. Við frávik frá kjörhita til fóðurnýtingar hækkar fóðurstuðullinn með lækkandi og hækkanði sjávarhita (6. mynd). Eldi við lágan hita á veturna getur því hækkað fóðurstuðulinn verulega eins og eldi við hátt hitastig á sumrin t. d. í Noregi eða í Skotlandi. Þorskeldi við jafnan og stöðugan sjávarhita nálægt kjörhita getur því haft jákvæð áhrif á reksturinn.

Með föngun á horuðum þorski til áframeldis má fyrst í stað ná mjög lágum fóðurstuðli meðan á uppbótarvexti stendur en fóðurstuðullinn hækkar þegar fiskurinn hefur náð góðum holdum (Jón Gunnar Schram 2002). Hækkunin getur orðið sérstaklega mikil ef þorskurinn verður kynþroska. Í einni tilraun þar sem þorskur var alinn á þurrfóðri á tímabilinu desember til júlí reyndist fóðurstuðullinn 0,86 hjá hópi sem alinn var við stöðuga lýsingu til að koma í veg fyrir kynþroska og 3,0 hjá hópi sem varð kynþroska við náttúruleg birtuskilyrði (Hemre o.fl. 2002). Þorskurinn leggur meira í hrygninguna eftir því sem hann er stærri (kafla 3.6). Fiskstærð getur því haft veruleg áhrif á það vaxtartap sem hlýst af kynþroska. Mikilvægt er að fylgjast með breytingum á fóðurstuðli til að



6. mynd. Áhrif sjávarhita á fóðurstuðul þorsks sem er um 2,2 kg að þyngd og fóðraður með loðnu við mismunandi hita (Björn Björnsson o.fl. 2001).

Fig. 6. Relationship between feed conversion ratio and temperature for 2.2 kg cod fed on capelin (Björn Björnsson et al. 2001).

meta hvort hagkvæmt sé að ala þorsk fram yfir kynþroska til að fá stærri og verðmætari fisk.

Það eru margir aðrir þættir sem hafa áhrif á fódurnýtingu. Fódurstuðull hækkar með aukinni fiskstærð (Jobling 1988) og einnig er hann lægri þegar þorskur er alinn í hálfsoiltum sjó samantborið við fullsaltan sjó (Lambert o.fl. 1994, Dutil o.fl. 1997). Hæfilegur straumhraði allt að 1,5 fisklengd/s getur aukið fódurnýtingu hjá mörgum fisktegundum (Davison 1997). Áhrif sundhraða á fódurnýtingu hafa ekki verið mæld hjá þorski.

Fóðrarar

Við fóðrun er mikilvægt að dreifa fóðrinu vel um alla kvína. Ef fóðrað er jafnt og þétt á takmörkuðu svæði er hætt við að frekustu einstaklingarnir taki sér þar stöðu og komi í veg fyrir að hinir komist að. Það er því mikilvægt að tryggja góða dreifingu á fóðrinu til að koma í veg fyrir að minni og bældari einstaklingar verði útundan. Algengt er að notaðar séu fóðurkvíar (7. mynd) hér á landi sem oftast eru fylltar af frosnum fiski sem þorskurinn étur þegar hann þiðnar til að spara vinnu við fóðrunina. Ókosturinn við notkun á fóðurkví er að dreifing á fóðri er takmörkuð og hætta er á yfirfóðrun ef át fisksins minnkar. Það er því tæpast ráðlegt að fóðra eingöngu með fóðurkvíum. Það hefur þó ekki verið rannsakað hve mikil áhrif mismunandi fóðrunaraðferðir hafa á vöxt og stærðardreifingu þorsksins.

Mikið hefur verið þróað af búnaði til fóðrunar á þurrfóðri fyrir laxeldi sem hægt er að nota við fóðrun á þorski í aleldi. Við fóðrun á villtum þorski hefur þurft að nota heilan fisk, votfóður og deigfóður. Það er erfitt verk að handfóðra þorsk með heilum fiski eða votfóðri en það þarf u.þ.b. þrisvar sinnum meira af því en þurrfóðri til að fá sama vöxt. Hannaður hefur verið fóðrari til fóðrunar á votfóðri og heilum fiski. Fóðrarinn dælir sjó og fóðri með sogdælu úr tanki og síðan út um rör í sjókví. Á enda rörsins er dreifari sem tryggir góða dreifingu á fóðrinu í kvínni (Knudsen 1997).

3.6 Kynþroski

Í eldi verður þorskur fyrr kynþroska en gerist við náttúrulegar aðstæður. Þorskur í aleldi verður venjulega kynþroska við u.þ.b. tveggja ára aldur og 0,5-2,0 kg að þyngd (Karlsen o.fl. 1995, Karlsen & Adoff 2003). Í náttúrunni verður íslenskur þorskur yfirleitt ekki kynþroska fyrr en við 5-6 ára aldur og 3-4 kg þyngd



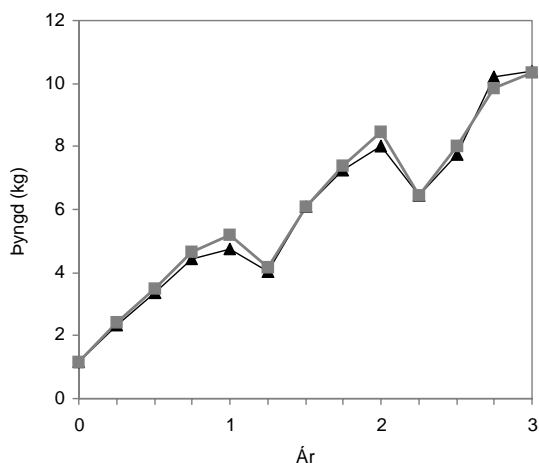
7. mynd. Fóðurkví sem notuð er til fóðrunar með heilum frosnum fiski. Til hægri sést hluti af móttökukví.

Fig. 7. Feeding pen with whole frozen fish used as feed for cod in sea cages. To the right is a netpen for recently captured cod.

(Anon. 2003). Aftur á móti verður vel fóðraður, villtur þorskur í áframeldi að stærstum hluta kynþroska strax á fyrsta ári í eldi. Í þremur tilraunum með áframeldi á þorski sem gerðar voru á Vestfjörðum reyndist 85-100% fiska vera kynþroska við slátrun í desember, eftir sex til átta mánaða eldi, en meðalþyngd fiska í upphafi tilrauna var 1400-1800 g (Hjalti Karlsson, óbirtar niðurstöður). Í fyrstu aleldishópunum sem settir voru í sjókvíar hér á landi urðu flestir fiskarnir kynþroska á öðru aldursári (janúar 2003). Vöxturinn var mestur hjá hóp sem hafði verið alinn á tiltölulega fitulitlu fóðri (DAN-EX 1562) fyrst í strandeldi í Hauganesi frá 20. febrúar til 21. september 2002 og síðan í sjókvíum í Eyjafirði þar til 25. janúar 2003. Þá var meðalþyngdin 644 g og 73% fiskanna reyndust kynþroska (Björn Björnsson, óbirtar niðurstöður).

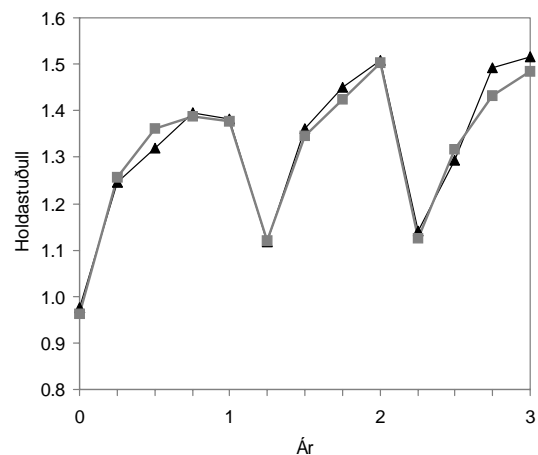
Áhrif kynþroska á vöxt, holdastuðul og afföll

Rannsóknir í Tilraunaeldisstöðinni á Stað sýna að við kynþroska dregur úr vexti þorsks og holdastuðull lækkar (8. og 9. mynd). Holdastuðullinn (K) er skilgreindur sem hlutfall heildarþyngdar (W, í g) og lengdar (L, í cm) í þriðja veldi ($K=100*W/L^3$), en þess verður getið sérstaklega þegar holdastuðull miðast við slægða þyngd. Gögnin byggja á villtum þorski sem safnað var með handfærum nálægt Sandgerði haustið 1993 en tilraunin sem stóð í þrjú ár hófst 9. febrúar 1994 þegar meðalþyngdin var um 1,2 kg. Í upphafi voru þorskarnir ókynþroska og náðu gríðarlegum vexti fyrsta árið við 7°C eldishita. Eftir fyrstu hrygningu léttist



8. mynd. Vaxtarferill eldisþorsks yfir þriggja ára tímabil. Ferhyrningar eru hrygnur og þríhyrningar hængar (Björn Björnsson, óbirtar niðurstöður).

Fig. 8. Growth of farmed cod over a three year period. Squares are females and triangles males (Björn Björnsson, unpublished results).



9. mynd. Holdastuðull eldisþorsks yfir þriggja ára tímabil. Við hrygningu léttist þorskurinn og holdastuðullinn lækkar. Ferhyrningar eru hrygnur og þríhyrningar hængar (Björn Björnsson, óbirtar niðurstöður).

Fig. 9. Condition factor of farmed cod over a three year period. Squares are females and triangles males (Björn Björnsson, unpublished results).

þorskurinn um 0,89 kg (18%) en um 1,77 kg (22%) eftir aðra hrygningu. Eftir báðar hrygningar var mikil þyngdaraukning yfir sumarið. Í upphafi tilraunar var holdastuðullinn frekar lágur en hækkaði mjög ört fyrstu mánuðina. Sömuleiðis hækkaði holdastuðullinn mjög ört eftir báðar hrygningarnar meðan aukningin var meiri í þyngd en lengd (Björn Björnsson, óbirtar niðurstöður).

Algengt er að þorskur léttist um 15-35% við hrygningu (Braaten 1984, Karlsen o.fl. 1995, Fordham & Trippel 1999). Þó eru dæmi um að fiskur hafi lést um allt að 50% (Kjesbu o.fl. 1991, Kjesbu 1994). Hrygnur (um 1,8 kg) léttast meira en hængar af sömu þyngd, að meðaltali 27% á móti 16% (Braaten 1984). Svipaðar niðurstöður hafa fengist fyrir stærri fisk (um 5 kg) en þar léttust hrygnur að meðaltali um 29% og hængar um 14% (Fordham & Trippel 1999). Hrygnur leggja meira í hrygninguna eftir því sem þær eru stærri og holdmeiri (Lambert & Dutil 2000). Í rannsóknum á villtum þorski hér við land hefur komið fram að hrognahlutfall eykst með stærð hrygna og er hæst um 25% hjá 100-116 cm hrygnum (Guðrún Marteinsdóttir & Gróa Pétursdóttir 1995). Það má gera ráð fyrir að þetta hlutfall sé hærra hjá vel fóðruðum eldisfiski þar sem hann framleiðir meira af kynkirtlum (hrogn og svil) en villtur þorskur af sömu stærð (Kjesbu o.fl. 1991, Wroblewski o.fl.

1999). Jafnframt því að vöxtur minnkar og holdastuðull lækkar aukast afföll verulega við hrygningu. Í eldiskerum í Noregi hafa afföll á þorski verið allt að 30% hjá hrygnum yfir hrygningartímann (van der Meeren 2002). Í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunarinnar á Stað urðu á hrygningartímanum (mars-maí) um 19% afföll á eldisþorski á þriðja ári (flestar að hrygna í annað sinn) og af þeim sem drápu voru um 84% hrygnur (Björn Björnsson, óbirtar niðurstöður). Á sama tíma urðu minni afföll (11%) hjá eldisþorski á öðru ári og af þeim sem drápu var um helmingur hrygnur. Ef eldisfiskur verður kynþroska má gera ráð fyrir verulegri rýrnun og fjárhagslegu tjóni sérstaklega þegar stór og vel fóðraður eldisþorskur hrygnir í eldi. Það hægir á vexti, fóðurnýting verður lakari og afföll aukast.

Við kynþroska gengur á hold fisksins vegna uppbyggingar á kynkirtlum þrátt fyrir nægilega fóðrun (Hemre o.fl. 2002). Hjá hængum mátti á hrygningartímanum rekja um 35% af þyngdar-tapi til rýrnunar á sviljum, 20% til rýrnunar á lifur og 45% til rýrnunar á holdi. Hlutföllin voru önnur hjá hrygnum, 22% mátti rekja til hroгна, 21% til lifrar og 57% vegna rýrnunar á holdi (Karlsen & Adoff 2003). Þó svo að um sé að ræða rýrnun á bók fisksins er holdastuðullinn ennþá tiltölulega hár, eða yfir einn (Hansen o.fl. 2001, Hemre o.fl. 2002). Hjá villtum þorski er

holdastuðullinn yfirleitt u.þ.b. einn (Rätz & Lloret 2003). Það er þó töluverður breytileiki á milli tímabila og svæða í holdastuðli (Brynjólfur Eyjólfsson 2001, Brynjólfur Eyjólfsson o.fl. 2001, Rätz & Lloret 2003). Ef tekin er ákvörðun um að láta fiskinn ná fyrri holdum eftir kynþroska tekur það 1,5-2,0 kg fisk um þrjá mánuði (Braaten 1984). Hjá stærri þorski virðist taka enn lengri tíma að ná fyrri holdum (9. mynd), enda gengur meira á hold hjá honum við kynþroska en hjá minni fiski (Love 1960, 1980).

Tímasetning hrygningar

Á árunum 1953-1974 var fylgst með tímasetningu hrygningar við sunnanvert Ísland. Meginhluti hrygningar var frá fjórðu viku mars til fyrstu viku maí. Meðalhámark hrygningar var í fjórðu viku apríl en frávik gátu verið allt að tvær vikur á milli ára (Einar Jónsson 1982). Hrygningartímanum seinkaði eftir því sem kom norðar og austar í kaldari sjó (Bjarni Sæmundsson 1926, Einar Jónsson 1982). Minna er vitað um hrygningartíma við norðanvert landið en í einni athugun kom fram að undan Norðurlandi var hámark hrygningarinnar fyrstu þrjár vikur maí (Jón Jónsson 1949). Í eldi virðist þorskur hrygna fyrir en við náttúrulegar aðstæður. Í einni tilraun í Kanada hrygndi eldisþorskur í sjókvíum tveimur vikum fyrir en villtur fiskur af sömu stærð og uppruna í firðinum (Wroblewski & Hiscock 2002). Í rannsóknum hefur komið fram að við mikla fódruun hrygnir þorskur fyrir en þegar hann er minna fódraður (Kjesbu 1994, Kjesbu & Holm 1994). Einnig virðist hár sjávarhiti flýta fyrir kynþroska hjá hrygnum (Kjesbu 1994). Það hefur þó ekki tekist að sýna fram á áhrif sjávarhita á hrygningartíma hænga (Cyr o. fl. 1998).

Í nokkrum rannsóknum þar sem fylgst hefur verið með hrygningu kemur fram að hún varir að meðaltali allt frá 40 dögum upp í 55 daga, en mikill breytileiki er á milli einstaklinga eða allt frá 6 dögum upp í 122 daga (Kjesbu 1989, Chambers & Waiwood 1996, Fordham & Trippel 1999, Lambert & Dutil 2000). Hrygningartíminn varir lengur við lægri sjávarhita og varir einnig lengur hjá stærri hrygnum en þeim minni (Kjesbu 1994, Kjesbu o.fl. 1996).

Hvernig er hægt að draga úr eða koma í veg fyrir kynþroska?

Til að draga úr eða koma í veg fyrir kynþroska hafa verið reyndar nokkrar aðferðir með mismunandi árangri. Kynkirtlar hjá þorski byrja

að stækka allt að 6-7 mánuðum fyrir hrygningu (Eliassen & Vahl 1982). Það þarf því að hefja aðgerðir rúmlega hálfu ári áður en væntanlegur hrygningartími hefst.

Svelti eða takmörkuð fódruun þorsks á öðru ári hefur ekki reynst vel til að koma í veg fyrir kynþroska (Karlsen o.fl. 1995, Karlsen 2002, Björn Björnsson, óbirtar niðurstöður). Hins vegar er hugsanlegt að tímabundið svelti á fyrsta ári geti frestað kynþroska þorsks á öðru ári. Í einni rannsókn kom fram að þorskur sem hafði verið fódraður 20% af fullri fódruun síðustu þrjá mánuðina á fyrsta ári og fódraður að metnun á öðru ári hafði 40% kynþroskahlutfall en aftur á móti þorskur sem var fódraður að metnun yfir allt tímabilið hafði 80% kynþroskahlutfall eftir tvö ár í eldi. Aftur á móti var fiskurinn sem fékk fulla fódruun um 1,5 kg og fiskurinn sem fékk takmarkaða fódruun aðeins um eitt kg að þyngd (Karlsen 2002, Taranger 2002). Þar sem svelti eða takmörkuð fódruun dregur mikið úr vaxtarhraða er það ekki talinn raunhæfur kostur í eldi til að draga úr kynþroska (Taranger 2002). Rannsókuð hafa verið áhrif straumhraða í kerum á kynþroskahlutfall allt frá engum straumi upp í eina fisklengd á sekúndu án þess að hægt væri sýna fram á marktækan mun (Karlsen o.fl. 2000).

Í mörgum tilraunum hafa verið könnuð áhrif lýsingar á kynþroska hjá þorski. Niðurstöðurnar sýna að með stöðugri lýsingu í innikerum þar sem náttúrulegt ljós veldur ekki truflunum er hægt að koma í veg fyrir kynþroska hjá þorski. Hins vegar þarf lýsingin að vera mjög sterk þar sem eldið fer fram utanhúss vegna mikilla áhrifa frá náttúrulegu ljósi. Melatonin (myrkrahormónið) fylgir dægursveiflum í sólarljósi og er í lágmarki á daginn en hámarki á næturnar (Porter o.fl. 2000). Stöðugt ljós (ca. 100 lux) í lokuðu keru og stöðugt sterkt ljós (u.þ.b. 1600 lux) í opnu keru var nægilegt til að koma í veg fyrir dægursveiflur í melatonin. Aftur á móti tókst ekki að koma í veg fyrir dægursveiflur í melatonin í opnu keru með stöðugri og fremur veikri birtu (u.þ.b. 100 lux) (Taranger 2002). Með því að hafa stöðuga og sterka lýsingu í kerum allan sólarhringinn frá öðru sumri eða öðru hausti hefur tekist að seinka kynþroska þorsks um eitt ár (Dahle o.fl. 2000, Hansen o.fl. 2001). Í nýrri rannsókn í útikerum kom fram að það mátti alveg koma í veg fyrir kynþroska á tveggja ára þorski (um 750 g) með 900 luxa lýsingu en við 300 lux urðu um 10% hænganna kynþroska (Karlsen & Taranger 2003).

Í sjókvíum er mun erfiðara að stjórna ljósmagni en í kerum og þar þarf lýsingin að vera mikil til að hún yfirgnæfi náttúrulega ljósið þannig að fiskurinn greini ekki á milli dags og nætur. Með því að hafa stöðugt neðansjár ljós (2 x 400 lux) í 1000 m³ sjókví frá september var hægt að seinka kynþroska um allt að 6 mánuði (van der Meeren & Ivannikov 2000). Lýsingin seinkaði kynþroska fiskanna þannig að þeir náðu um þriggja kg meðalþyngd og reyndist vöxturinn vera 0,8 kg meiri en hjá samamburðarhópi sem alinn var við náttúrulegt ljós (Taranger 2002). Til að draga úr áhrifum sólarljóss er breitt yfir kvíarnar og þannig minnkaður munur á degi og nótt (Karlsen & Adoff 2003). Einnig er hægt að dempa áhrif sólarljóss með því að sökkva kvíum niður á ákveðið dýpi. Nú er verið að rannsaka hve sterk lýsingin þarf að vera í sjókvíum og jafnframt að skoða hvaða bylgjulengd ljóssins hefur mest áhrif á kynþroskamyndun (Taranger 2002, Taranger o. fl. 2003).

3.7 Þéttleiki og stærðarflokkun

Í nokkrum rannsóknum hafa áhrif þéttleika á vöxt verið könnuð. Í kanadískri rannsókn kom fram að dagvöxtur á villtum þorski í áframeldi minnkaði með auknum upphafsþéttleika frá um 5 kg/m³ upp í um 20 kg/m³ en það var þó mikill breytileiki í vexti á milli sjókvía við sama þéttleika. Meðalþyngd fisksins í upphafi var frá 1,3 kg upp í 2,5 kg og var fiskurinn alinn í 1-3 mánuði (Lee 1988). Í nýrri tilraun á þorski kom fram að við 30 og 40 kg/m³ upphafsþéttleika var vöxtur 15 og 38% minni samanborið við fiska sem höfðu 10 kg/m³ upphafsþéttleika. Í upphafi tilrauna var meðalþyngdin um 550 g og var fiskurinn alinn í tvo mánuði í um 1,2 m³ keru við 10°C (Lambert & Dutil 2001). Samkvæmt þessum rannsóknum dregur úr vaxtarhraða eftir því sem þéttleikinn á bilinu 5 til 40 kg/m³ er meiri. Aðrar rannsóknir benda til að hægt sé að ala þorsk við mun meiri þéttleika án þess að það hafi áhrif á vöxt hans, t.d. 20 kg/m³ í sjókvíum (Karlsen 2002) og a.m.k. 40 kg/m³ hjá 150 g þorski í strandeldi ef fullnægjandi vatnsgæði eru tryggð (Björn Björnsson, óbirtar niðurstöður). Það þarf frekari rannsóknir til að finna kjörþéttleika fyrir mismunandi stærðir á fiski og ólíkar umhverfisaðstæður (Karlsen 2002). Við áframeldi á þorski í sjókvíum í Kanada er í flestum tilvikum miðað við að hafa um 6 kg/m³ sem upphafsþéttleika og að hámarki um 12

kg/m³ í lok eldisins (Murphy 2002). Þetta er ágætis viðmiðun til að byrja með á meðan þekking á hámarks þéttleika í þorskelldi er takmörkuð.

Ekki hefur verið sýnt fram á að unnt sé að auka vaxtarhraða hjá þorski með stærðarflokkun, þvert á móti benda sumar tilraunir til hins gagnstæða. Í einni tilraun kom fram að við 10 og 30 kg/m³ náðist 0,78 og 0,55% dagvöxtur hjá óflokkuðum fiski samanborið við 0,50 og 0,45% hjá stærðarflokkuðum fiski við sama þéttleika. Stærðarflokkunin hafði aftur á móti engin marktæk áhrif á vöxt við 40 kg/m³ þéttleika. Upphafspýngd fisksins var að meðaltali um 916 g og stóð tilraunin í um tvo mánuði að hausti. Dregin var sú ályktun að stærðarflokkun hefði neikvæð áhrif á vöxt við lítinn þéttleika en ókostur flokkunar hyrfi við meiri þéttleika (Lambert & Dutil 2001). Talið var að árstíðabundin árásargirni hefði haft áhrif á niðurstöður tilraunarinnar. Í eldri rannsókn kom fram að þorskur var árásargjarn á haustin (september-nóvember) og fyrir hrygningu (febrúar-mars), en síður á öðrum árstímum (Brawn 1961). Hér er um eina tilraun með stærðarflokkun að ræða sem stóð yfir í takmarkaðan tíma og er því hæpið að draga of miklar ályktanir af henni. Rannsóknir á næstu árum munu væntanlega skera betur úr um áhrif stærðarflokkunar á vöxt og sjálfrán hjá þorski.

Þorskur er kræfur ránfiskur og hikor ekki við að éta smærri þorska. Sjálfrán er mikið vandamál í seiðaeldi en úr því dregur með aukinni fiskstærð (Folkvord 1991). Meira sjálfrán hjá smærri fiski má að nokkru leyti skýra með hlutfallslega stærra munnopi en hjá stærri fiski. Munnopið er stærst hjá tveggja cm fiski en minnkar með aukinni stærð og getur fiskur sem er 16 cm að lengd étið 8 cm langt seiði (Otterå & Folkvord 1993). Einnig eru dæmi um að við tilraunaaðstæður hafi 50 cm þorskur étið þorsk sem var 25 cm að lengd (Björn Björnsson, óbirtar athuganir). Með stærðarflokkun hefur verið hægt að draga verulega úr sjálfráni á þorskseiðum sem vega allt að 40 g (Folkvord & Otterå 1993). Litlar upplýsingar eru um umfang sjálfráns hjá stærri fiski. Í einni tilraun kom fram að mikil afföll urðu á villtum þorskseiðum (á fyrsta og öðru ári) sem höfð voru í sama rými þrátt fyrir að stærri fiskurinn hefði aðgang að annarri fæðu (Jahnsen 1988). Í einni íslenski tilraun með áframeldi í sjókvíum var talið að stærri þorskurinn hefði að einhverju leyti étið

þann smærri (Vilhjálmur Þorsteinsson & Björn Knútsson 1997). Í norskri rannsókn þar sem kannað var magainnihald hjá villtum þorskum (40-100 cm) við slátrun varð ekki vart við sjálfrán þátt fyrir sveltí í allt að 73 daga í sjókvíum (Aske & Midling 1997). Aftur á móti hefur orðið vart við sjálfrán hjá þorski í áframeldi hér á landi sem sveltur var í 40 daga fyrir slátrun (Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003). Það er því óljóst í hve miklum mæli vænta má sjálfráns á þorski í matfiskeldi. Eflaust má draga verulega úr hættu á sjálfráni með því að hafa fiskana af svipaðri stærð og fódra þá reglulega.

Þorskur í áframeldi virðist vera viðkvæmur fyrir meðhöndlun og eru dæmi um mikil afföll við stærðarflokkun (Fisher 1988, Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003). Til að minnka streitu hjá eldisþorski við stærðarflokkun er t.d. hægt að flokka hann í kvíunum með flokkunargrind. Þá er þrengt að fiskinum og minnsti fiskurinn syndir út um rimlana á flokkunargrindinni. Þessi aðferð ætti að henta betur fyrir þorsk en margar aðrar tegundir vegna þess eiginleika þorsksins að reyna að smjúga í gegnum öll göt.

4.0 ELDISAÐFERÐIR

4.1 Eldi á villtum þorski í sjókvíum

Þessi aðferð felur í sér að fanga þorsk sem er yfir lágmarksstærð og setja í áframeldi í sjókvíum í nokkra mánuði eða yfir lengri tíma (10. mynd). Helsti kosturinn við áframeldi á villtum þorski í sjókvíum umfram veiðar er að betur er hægt að tryggja framboð á ferskum fiski. Þegar gerðir eru samningar við erlenda kaupendur um ákveðið magn af ferskum fiski í hverri viku er hægt að grípa til eldisfisks þegar óveður hamlar veiðum. Verð á ferskum fiski ræðst ekki eingöngu af gæðum vörunnar, heldur vega þjónusta og öryggi við afhendingu einnig þungt.

Oft er villtur þorskur fangaður á vorin og alinn fram á fyrri hluta vetrar (Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003). Með þessu móti er nýttur uppbótavöxtur á horuðum, villtum fiski (kafla 3.4) og sá tími sem sjórinn er heitastur og vöxtur mestur. Þetta gerir eldi á villtum þorski mjög áhugavert því að eldi á þessum stutta tíma getur dugað til að tvö- til þrefalda þyngd þorsks úr einu til tveimur kg í 3-4 kg (Björn Björnsson 1994). Þar sem kvótinn miðast við þyngd á fiski sem settur er í kvíar er unnt að gera meira úr

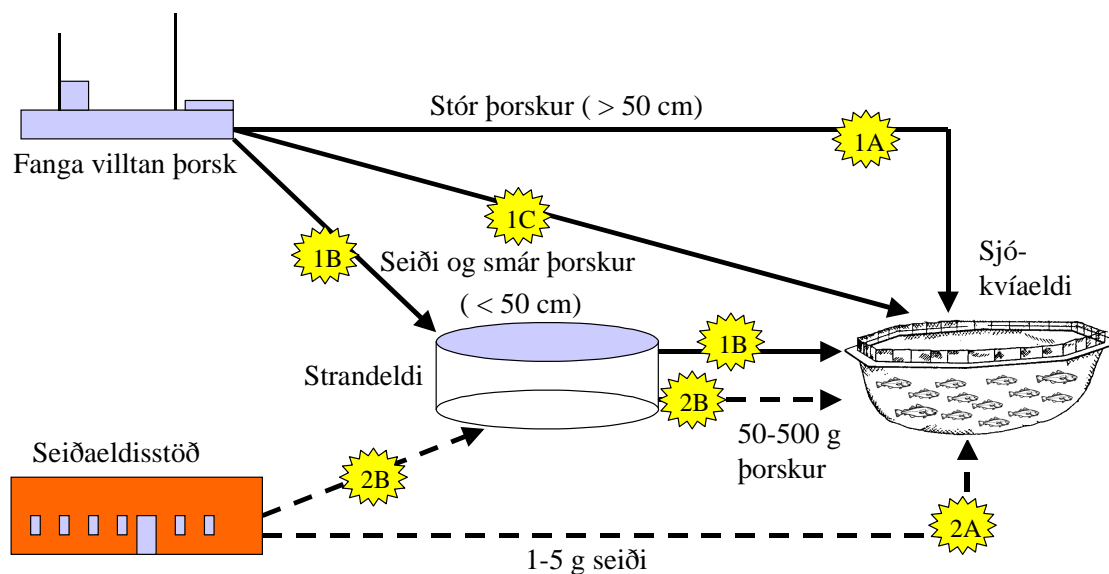
tiltækum kvóta með áframeldi. Auk þess eykst kílóverð þorsks með aukinni stærð og verður því verðmætaaukningin meiri en sem nemur líffungaaukningunni. Eldi hluta úr ári hentar vel á þeim stöðum þar sem sjávarhiti fer undir 0°C yfir kaldasta tímam og hætta er á hafis og lagnaðarís. Það er þó stór ókostur við þessa eldisaðferð að eingöngu er hægt að tryggja framboð af ferskum fiski í nokkra mánuði á ári.

Með því að stunda heilsárseldi á þorski er hins vegar hægt að tryggja jafna afhendingu á ferskum fiski allt árið sem getur skilað herra verði. Einnig minnkar los í holdi eftir því sem fiskurinn er lengur í eldi (Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl. 2003). Heilsárseldi eykur aftur á móti hættuna á því að fiskarnir verði kynþroska sem hægir á vexti, fódurnýting verður lakari og afföll aukast (kafla 3.6). Eins og áður hefur komið fram er hægt að seinka hrygningartímanum um nokkra mánuði með stöðugri sterkri lýsingu í sjókvíum (kafla 3.6). Rannsaka þarf á næstu árum hvort verðmætaaukningin sé meiri en kostnaðaraukinn við það að hafa fiskinn áfram í eldi yfir veturinn.

Kjörhitastig þorsks lækkar með aukinni stærð (Björn Björnsson o.fl. 2001) og því er ekki mikill munur á vaxtarhraða hjá stærri fiski sem alinn er í kalda sjónum við norðanvert landið samanborið við þann sem alinn er í heita sjónum við sunnanvert landið. Útreikningar byggðir á vaxtarlíkani Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) benda til þess að enginn munur sé á vexti hjá eins og þriggja kg þorskum í sjókvíum, annars vegar í Vestmannaeyjum og hins vegar á Hjalteyri frá því í byrjun júní og fram yfir áramót (11. mynd). Eftir 19 mánaða eldi yrði þorskur sem alinn væri við Vestmannaeyjar aðeins um 0,5 kg þyngri en sá sem alinn væri í Eyjafirði.

Erfiðlega hefur gengið að fá stóran, villtan þorsk til að taka þurrfóður. Hann hefur því verið fódraður með heilum fiski, votfóðri eða deigfóðri (kafla 3.5). Þegar þorskur er aðeins alinn í nokkra mánuði svarar ekki kostnaði að reyna að venja fiskinn á þurrfóður vegna þess að þá færi stór hluti eldistímans forgörðum. Aftur á móti getur þurrfóður verið valkostur þegar villtur þorskur er alinn í eitt ár eða lengur. Þá þyrfti að þróa betri aðferðir við að venja fiskinn á þurrfóður.

Helsti gallinn við aðferðir sem byggja á því að fanga villtan þorsk til áframeldis er ótryggt aðgengi að fiski af ákveðinni stærð. Að hluta til



10. mynd. Tvær meginleiðir eru í þorskelði: Annarsvegar að fanga og ala villtan þorsk (áframeldi) og hins vegar framleiðsla á eldisþorski allt frá klaki að markaðsstærð (aleldi). Þessum tveimur aðferðum má skipta í fimm eftirfarandi meginflokkka:

- 1A Að fanga þorsk á veiðislóð og ala hann í sjókvímum í lengri eða skemmri tíma eftir aðstæðum.
- 1B Að fanga þorskseiði (0+ árg.) eða undirmálsfisk að hausti og færa í strandeldisstöð. Fiskurinn er alinn þar yfir vetrarmánuðina fram til næsta vors og er þá fluttur í sjókvíar og fóðraður þar til markaðsstærð er náð.
- 1C Að fanga þorskseiði (0+ árg.) eða undirmálsfisk og ala í sjókvímum þar til markaðsstærð er náð.
- 2A Að klekja út þorsklirfum í sérstökum seiðaeldisstöðvum og setja í sjókvíar á skjólgóðum stöðum þegar ákveðinni stærð er náð.
- 2B Að klekja út þorsklirfum í sérstökum seiðaeldisstöðvum og ala síðan seiðin í strandeldi og setja í sjókvíar þegar ákveðinni stærð er náð.

Fig. 10. Two main methods in cod farming: On-growing of wild cod (1) and farming of cod from hatching to market size (2). These two methods can be divided into the five following groups:

- 1A Catching of wild cod and on-growing in sea cages to market size.
- 1B Catching of juvenile (0+ year-class) or small cod (< 50 cm) in autumn and on-growing in a landbased farm. In spring the fish are transported to sea cages for rearing to market size.
- 1C Catching of juvenile (0+ year-class) or small cod (< 50 cm) and on-growing in sea cages to market size.
- 2A Production of cod juveniles in a hatchery and on-growing in sea cages in sheltered area to market size.
- 2B Production of cod juveniles in a hatchery and on-growing first in a land based farm and then in sea cages to market size.

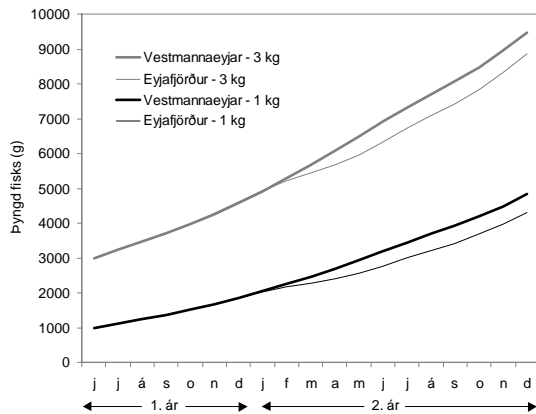
stafar það af því að ekki hafa verið notuð nógu öflug skip hér við land og að flutningstæknin hefur verið ófullnægjandi. Aðgangur að villtum þorski til áframeldis er háður stofnstærð hverju sinni og eftirspurn eftir fiski til vinnslu. Einnig er ókostur við eldi á villtum þorski að framleiðandinn er ekki að koma sér upp kynbættum bústofni (kaflí 3.1). Villtur þorskur getur einnig verið smitaður af sníkjudýrum og örverum sem geta magnast upp við eldisaðstæður og valdið afföllum á fiski.

4.2 Eldi á villtum þorskseiðum í sjókvímum

Þessi aðferð, sem felur í sér að fanga villt þorskseiði eða undirmálsþorsk og ala í sjókvímum þar til markaðsstærð er náð, hefur ýmsa kosti. Í góðum seiðaárum er auðvelt og ódýrt að ná miklum fjölda þorskseiða og veiðar á svo ungum fiski hafa tiltölulega lítil áhrif á hefðbundna

nýtingu þorsstofnsins, vegna mikilla náttúrulegra affalla fisksins fram til nýliðunar í veiðistofn við þriggja ára aldur. Helsti ókosturinn við að fanga eldri fisk er að þar væri um beina samkeppni við hefðbundnar veiðar að ræða og þyrfti því að skerða þær veiðar sem því nemur (Ólafur Karvel Pálsson 2004). Með tilliti til fjölda sníkjudýra í hverjum fiski er einnig kostur að fanga sem yngstan þorsk til áframeldis (Sigurður Helgason o.fl. 2003).

Á níunda áratugnum voru gerðar tilraunir með að fanga þorskseiði í dragnót í Norður-Noregi. Samtals voru fenguð um 600 þúsund seiði (5-8 cm) á einu hausti (Olsen & Soldal 1989). Þorskseiðin voru tekin í eldi á nokkrum stöðum. Þau byrjuðu fljótlega að taka þurrfóður og eftir átta mánuði var árangurinn talinn nokkuð góður. Mest afföll urðu á smæstu seiðunum en stærstu seiðin komu nokkuð vel undan vetri

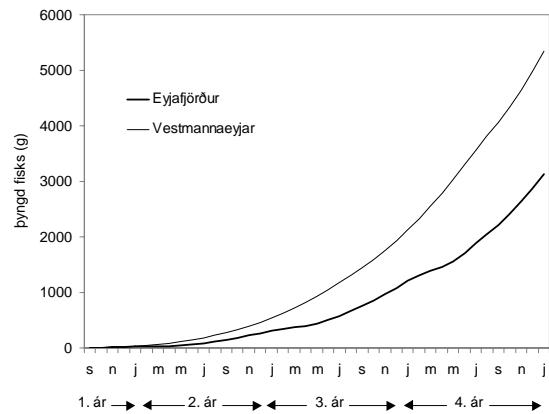


11. mynd. Framreiknaður vöxtur á eins og þriggja kílóa þorski frá byrjun júní þar til í byrjun desember á öðru ári í Vestmannaeyjum og Eyjafirði. Við útreikninga var notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) og stuðst við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000.

Fig. 11. Calculated growth of farmed cod, one and three kilograms, from June to December in second year in Vestmannaeyjar (southern Iceland) and Eyjafjörður (northern Iceland). The growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) was used based on the measurements of seawater temperature for the year 2000 by Marine Research Institute.

(Soldal 1988). Eftir þetta hefur lítið verið birt um þessa tilraun og hefur það verið túlkað á þann veg að föngun á þorskseiðum til áframeldis sé ekki samkeppnishæf við aleldi (Kvenseth o.fl. 2000). Aðrir þættir hljóta þó einnig að vegna þungt, svo sem að í Noregi er ekki talið mögulegt um þessar mundir að fá heimild til að fanga seiði til áframeldis m.a. vegna lakrar stöðu þorskstofnsins (Kvenseth & Borthen 2002).

Ef miðað er við að fanga seiðin seinnihluta sumars og hefja eldið í byrjun september þegar meðalþyngd þeirra er um þrjú g benda útreikningar til að eftir rúmlega þriggja ára eldi eða 40 mánuði verði þau orðin 5,3 kg við Vestmannaeyjar en aðeins 3,1 kg í Eyjafirði (12. mynd). Hér er vöxtur framreiknaður út frá náttúrulegri hitasveiflu á báðum stöðunum og gengið út frá því að til staðar sé svæði með nægilegu skjóli og hæfilegum straumi fyrir eldi þorskseiða í sjókvíum, skilyrði sem þó eru vandfundin einkum við suðurströndina. Kjörhiti þorskseiða er hár (Björn Björnsson o.fl. 2001) og er því vöxtur lítill við norðanvert landið sérstaklega fyrsta veturinn. Í byrjun júní eftir 10 mánaða eldi væru seiðin við Vestmannaeyjar komin í 145 g en á sama tíma væru þau aðeins um 60 g í Eyjafirði. Eldi á þorskseiðum við norðurströndina yfir vetrarmánuðina er því varla áhugaverður kostur



12. mynd. Framreiknaður vöxtur á þriggja g þorskseiðum sem alin eru frá byrjun september í 40 mánuði í Eyjafirði og Vestmannaeyjum. Við útreikninga var notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) og stuðst við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000.

Fig. 12. Calculated growth of 3 g cod juveniles reared from September for 40 months in Eyjafjörður and Vestmannaeyjar. Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature by the Marine Research Institute in the year 2000.

nema sem geymsla fyrir seiðin. Föngun á 1+ og 2+ undirmálsþorski kann þó að vera áhuga-verðari kostur til eldis við norðanvert landið vegna lækkunar á kjörhita með aukinni stærð.

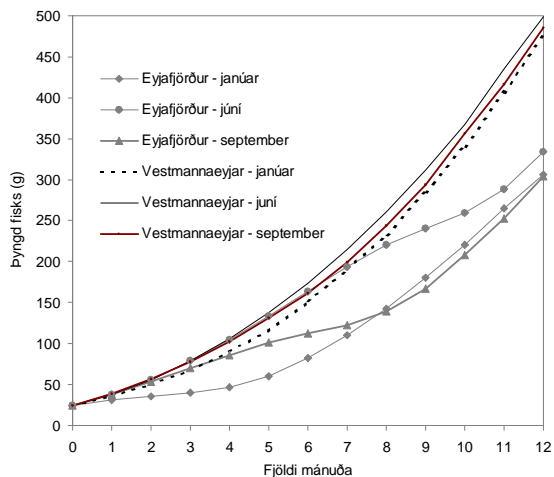
4.3 Framleiðsla þorskseiða og matfiskeldi í sjókvíum

Þessi aðferð byggist á því að klekja út þorsklirfum og ala þær á lifandi fœðri fram yfir myndbreytingu í sérstökum seiðaeldisstöðvum. Síðan yrðu seiðin alin áfram á þurrfœðri þar til þau hafa náð nægilegri stærð til að setja þau út í sjókvíar. Til að sem best nýting sé á eldisrými er miðað við að hafa nokkra hrygningarhópa en þannig er hægt að taka út úr seiðaeldisstöð seiði af ákveðinni stærð flesta mánuði á árinu (Björgvin Harri Bjarnason 2001). Hér er stefnt að því að koma seiðunum sem fyrst úr dýru eldisrými í seiðaeldisstöð yfir í ódýrara rými í sjókvíaeldisstöð. Til að hægt sé að setja út þorskseiði í sjókvíar þarf gott skjól og hátt hitastig. Gengið hefur vel að ala nokkurra gramma seiði í skjólgóðum sjávarlönnum í Noregi. Aftur á móti eru dæmi um afföll á þorskseiðum á svæðum með mikinn straum (Karlsen 2002). Hér, eins og fyrir villt seiði, setur skjól og sjávarhiti takmörk á fjölda staða þar sem hægt er að setja út lítil þorskseiði. Sundgeta fisksins er háð stærð (kafla 2.4) og eru viss takmörk fyrir því hve lítill seiðin mega vera

þegar þau eru sett í sjókvíar. Mikilvægt er að kanna með tilraunum á næstu árum hvaða stærð er hægt að setja út af seiðum í sjókvíar á mismunandi svæðum og árstímum. Líklegt er að þróunin verði sú að framleiða þurfi stærri seiði til sjósetningar á veturna en hægt verði að setja út minni seiði á sumrin.

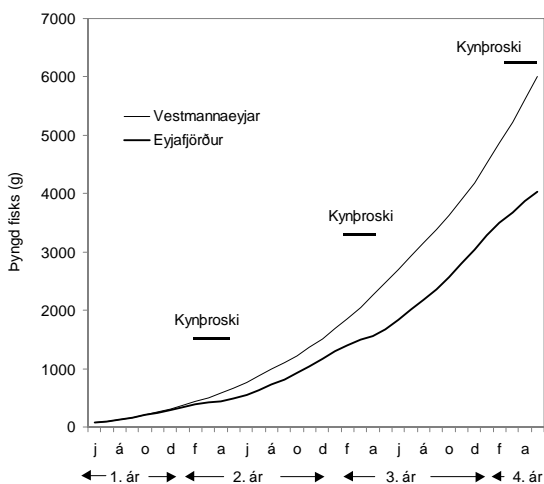
Samkvæmt vaxtarlíkani Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) virðist ekki skipta miklu máli hvenær á árinu seiðin eru sett í sjó til að fá sem bestan vöxt á fyrsta árinu (13. mynd). Í útreikningum sem miðuðust við að setja út 25 g seiði kom í ljós að í Vestmannaeyjum náðu seiði sem sett voru út í júní um 500 g en seiði sem sett voru út í janúar um 476 g (13. mynd). Í Vestmannaeyjum reyndist vöxturinn því tiltölulega jafn óháð því hvenær á árinu seiðin voru sett í sjókvíar. Aftur á móti var vaxtarhraði í Eyjafirði breytilegr vegna mikils munar á sjávarhita á veturna og sumrin. Þorsseiði sem fóru í sjókvíar í júní í Eyjafirði náðu 334 g eftir eitt ár og þau sem sett voru út í september aðeins 304 g.

Ótímabær kynþroski er verulegt vandamál í matfiskeldi með eldisseiðum eins og villtum seiðum. Stærsti hluti eldisþorskanna getur orðið kynþroska tveimur árum eftir klak við 0,5-2,0 kg þyngd (kaflí 3.6). Á 14. mynd er sýndur framreiknaður vöxtur hjá þorski við Vestmannaeyjar og í Eyjafirði sem alinn er í sjókvímum við náttúrulegan sjávarhita og dagsbirtu. Í upphafi eldis er fiskurinn 75 g og fyrsta veturinn er hann á báðum stöðunum vel undir einu kíló og því væntanlega aðeins hluti fiskanna kynþroska vegna smæðar. Annan vetur í sjó er þorskurinn við Vestmannaeyjar um tvö kg og því má vænta að flestir fiskarnir verði kynþroska. Þorskurinn í Eyjafirði er um 1,5 kg og má því einnig gera ráð fyrir háu kynþroskahlutfalli hjá honum. Ef miðað er við fjögurra kg sláturstærð nær fiskurinn við Vestmannaeyjar þeirri stærð fyrir áramót þriðja veturinn í sjó og verður því stór hluti fiskanna væntanlega ekki kynþroska nema einu sinni. Við náttúrulega dagsbirtu verður þorskurinn í Eyjafirði kynþroska annað árið í röð og jafnvel hluti hans þriðja árið í röð áður en hann nær fjögurra kg þyngd. Með því að hafa stöðuga lýsingu í sjókvínni er aftur á móti hægt að seinka kynþroska um nokkra mánuði (kaflí 3.6) og er því mögulegt að framleiða fjögurra kg fisk í Eyjafirði án þess að fiskurinn verði kynþroska tvö eða jafnvel þrjú ár í röð. Þegar framleiddur er stærri fiskur má vænta þess að fjárhagslegt



13. mynd. Framreiknaður vöxtur á 25 g seiðum sem sett eru í sjókvíar í janúar, júní og september við Vestmannaeyjar og Hjalteyri í Eyjafirði. Við útreikninga var notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) og stuðst við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000.

Fig. 13. Calculated growth of 25 g cod juveniles put in sea cages in January, June and September in Vestmannaeyjar and Hjalteyri in Eyjafjörður. Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature by the Marine Research Institute in the year 2000.



14. mynd. Framreiknaður vöxtur og kynþroski hjá 75 g þorsseiðum sem sett eru í sjókvíar við Vestmannaeyjar og Hjalteyri í Eyjafirði í júní. Við útreikninga var notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) og stuðst við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000.

Fig. 14. Calculated growth and sexual maturity of 75 g cod juveniles transported to sea cages in Vestmannaeyjar and Hjalteyri in Eyjafjörður in June. Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature by the Marine Research Institute in the year 2000.

tjón vegna ótímabærs kynþroska verði meira við norðanvert landið en við sunnanvert landið. Ef tekst að seinka kynþroska með kynbótum mun tjón vegna ótímabærs kynþroska minnka verulega í aleldi.

4.4 Framleiðsla stórseiða í strandeldi og matfiskeldi í sjókvíum

Hér er miðað við að taka 1-5 g seiði úr seiðaeldisstöð til eldis í strandeldisstöð. Stærð seiða sem tekin eru í strandeldisstöðvar getur þó verið önnur allt eftir aðstæðum á hverjum stað. Tilraunir með framleiðslu stórseiða í strandeldi hafa verið gerðar hjá Útgerðarfélagi Akureyringa á Hauganesi við Eyjafjörð og hjá Háafelli á Nauteyri við Ísafjarðardjúp.

Í byrjun árs 2002 fóru 5400 eldisseiði úr tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunarinnar á Stað við Grindavík í eldisstöðina á Hauganesi. Seiðin fóru síðan í sjókvíar í Eyjafirði í byrjun september 2002 en þá var meðalþyngd þeirra um 350 g (Óttar Már Ingvason, Brim fiskeldi ehf, munnl. uppl.). Vegna bilunar í endurnýtingarkerfi eldisstöðvarinnar í Hauganesi, safnaðist fyrir brennisteinsvetni sumarið 2002 sem orsakaði afföll og vaxtartap hjá þorskinum. Í desember 2002 voru flutt um 12 000 eldisseiði frá Hafrannsóknastofnuninni í eldisstöðina á Hauganesi. Þau voru sett út í sjókvíar í Eyjafirði í júní 2003 þegar meðalþyngdin var um 200 g.

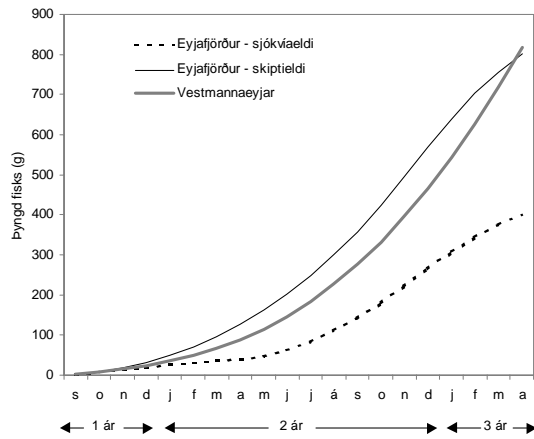
Tilraunir með föngum á þorskseiðum (0+ árg.) til áframeldis í Ísafjarðardjúpi hófust seinni hluta ársins 2001 á vegum Hraðfrystihússins-Gunnvarar hf. og Netagerðar Vestfjarða hf. Um áramótin 2001/2002 voru fönguð tæplega 2000 seiði en um 65.000 seiði haustið 2002 og á árinu 2003 um 700.000 seiði. Öll seiði sem fönguð hafa verið í Ísafjarðardjúpi hafa farið í eldi í strandeldisstöð Háafells ehf á Nauteyri. Seiðin voru strax sett á þurrfóður en þau tóku því misvel og eftir um tveggja vikna eldi urðu töluverð afföll vegna næringarskorts. Með því að blanda þurrfóðri við hakkaða bleikju gekk betur að þurrfóðurvenja seiðin. Sett voru um 22 000 þorskseiði af árgangi 2002 í sjókvíar í Seyðisfirði seinni hluta júní þegar meðalþyngdin var orðin tæp 200 g. Villtum þorskseiðum sem tekin voru í stöðina seinni hluta ársins 2003 var strax gefin blanda af hakkadri loðnu og þurrfóðri og hefur aðlögun að fóðrinu gengið vel. Aftur á móti hafa bakteríusýkingar í seiðunum valdið afföllum, en þessara sýkinga varð ekki vart í seiðunum sem komu í

stöðina árið 2002 (Þórarinn Ólafsson, Háafell ehf. munnl. uppl.).

Í samkeppnislöndunum er stefnt að því að koma seiðunum sem fyrst úr dýru eldisrými í seiðaeldisstöðvum yfir í ódýrt rými í sjókvíum. Í Noregi, Kanada og Skotlandi er markmiðið að setja lítil seiði um og undir 5 g í sjókvíar (Karlsen 2002, Moir 2002, Hutchins 2002, Robertson 2002). Í strandeldisstöðvum er eldisrými mun dýrara en í sjókvíaeldi og einnig bætist við kostnaður af sjóðælingu (Valdimar Ingi Gunnarsson 1988, Björn Knútsson 1997). Til að gera framleiðslu stórseiða (50-500 g) í strandeldi hagkvæmari er mikilvægt að hafa meiri framleiðslu á hvern rúmmetra en í sjókvíaeldisstöðvum. Meiri framleiðslu á hvern rúmmetra er m.a. hægt að ná með því að ala fiskinn við kjörhita, hámarks vatnsgæði og aukinn þéttleika. Í strandeldi má draga úr dælingu með súrefnisgjöf og endurnýtingu á eldisvökva og draga þannig úr kostnaði við upphitun á sjó. Við endurnýtinguna er frárennslisvatnið frá eldiskerunum fyrst hreinsað með síu til að ná í burtu lífrænum ögnum en síðan látið renna í gegnum lífhreinsi með örverum sem brjóta niður ammoníak (NH_4^+) í nítrít (NO_2^-) og nítrat (NO_3^-). Síðan er koltvíoxíð (CO_2) losað úr eldisvökva annað hvort með sérstökum loftara eða með því að bæta basa (t.d. NaOH) út í eldisvökvann (Timmons o.fl. 2002). Það eru einnig til einfaldari endurnýtingarkerfi en með notkun þeirra næst minni sparnaður við dælingu og upphitun á sjó.

Einnig má í strandeldi nýta að hluta til sjálfrennandi ferskvatn og ala þorskin í hálfköltum sjó en þannig má auka vaxtarhraða og bæta fóðurnýtingu (kafla 2.3). Eldi á þorski í hálfköltu vatni kunna þó hugsanlega að fylgja aðrir ókostir, t.d. aukin tíðni sjúkdóma eins og reynslan var í laxeldi (Rannsóknarráð ríkisins 1992).

Með því að framleiða stórseiði í strandeldistöðvum má stytta framleiðslutímamann við eldi á þorski í sjókvíum. Ef miðað er við að taka þriggja g seiði inn í strandeldisstöð í september og ala við 10-15°C er fiskurinn búinn að ná um 200 g stærð í júní árið eftir (15. mynd). Til samanburðar yrðu þriggja g seiði sem sett yrðu á sama tíma í sjókvíar við Vestmannaeyjar og í Eyjafirði orðin 145 g og 61 g. Þrátt fyrir að þorskurinn hafi verið alinn við kjöraðstæður í strandeldi fyrsta veturinn og síðan í sjókvíum í Eyjafirði (skiptiöldi) er fiskur sem alinn er við Vestmannaeyjar í sjókvíum frá byrjun orðinn stærri eftir um 20 mánaða eldi (15. mynd).



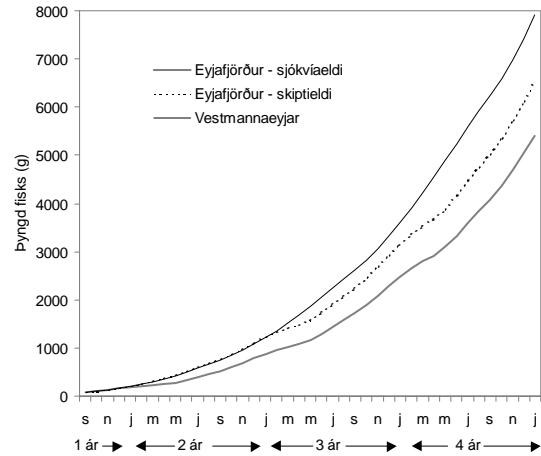
15. mynd. Framreiknaður vöxtur á þriggja g seiðum sem tekin eru í strandeldi í september og alin fyrst við 15°C, síðan er lækkað um eina gráðu á mánuði og í febrúar-maí eru seiðin alin við 10°C. Seiðin eru síðan alin í sjókvíum í Eyjafirði (skiptiældi). Til samanburðar er framreiknaður vöxtur á þriggja g seiðum sem alin eru í sjókvíum í Eyjafirði og við Vestmannaeyjar. Við útreikninga er notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) og stuðst við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000.

Fig. 15. Calculated growth of 3 g juvenile cod reared in a land based farm, initially at 15°C in September, each month lowering the temperature by one degree a month until February-May when the juveniles are reared at 10°C. Then they are transported to sea cages in Eyjafjörður. For comparison the calculated growth of 3 g juvenile cod reared all the time in sea cages in Eyjafjörður and Vestmannaeyjar. Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature by the Marine Research Institute in the year 2000.

Kjörhitastig þorsks lækkar með aukinni stærð (kafla 2.1) og er því mikilvægt að setja út stór seiði til að minnka neikvæð áhrif af lágum sjávarhita við norðanvert landið. Ef miðað er við að taka 75 g seiði í strandeldi í september og ala við 10°C er fiskurinn kominn upp í um 500 g þegar hann fer í sjókvíar í byrjun júní árið eftir (16. mynd). Þrátt fyrir upphitun á seiðunum fyrsta veturinn er vöxturinn svipaður og í sjókvíum við Vestmannaeyjar fram á miðjan annan vetur fyrstu átján mánuðina í eldi. Eftir það dregur síðan smá saman í sundur og eftir 40 mánaða eldi er fiskurinn 7,9 kg í sjókvíaelði við Vestmannaeyjar, 6,5 kg í skiptiældi í Eyjafirði og 5,4 kg í sjókvíaelði í Eyjafirði.

4.5 Fóðrun á þorski á afmörkuðum svæðum

Söfnun og áframeldi á þorski í sjókvíum getur falið í sér mikinn tilkostnað og áhættu. Því hefur komið upp sú hugmynd að venja villtan þorsk á fóður á afmörkuðu, friðuðu svæði og auka þannig vöxt og afrakstur þorsks á um-



16. mynd. Framreiknaður vöxtur á 75 g þorskseiðum sem tekin eru í strandeldisstöð í september og alin við 10°C fram í byrjun júní árið eftir en síðan í sjókvíum í Eyjafirði (skiptiældi). Til samanburðar er framreiknaður vöxtur á 75 g seiðum sem sett eru í sjókvíar á sama tíma í Eyjafjörð og við Vestmannaeyjar. Við útreikninga er notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) og stuðst við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000.

Fig. 16. Calculated growth of 75 g cod juveniles which are reared in a landbased farm at 10°C from September until June the year after and then reared in sea cages in Eyjafjörður. For comparison calculated growth of 75 g cod juveniles reared all the time in sea cages in Eyjafjörður and Vestmannaeyjar. Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature by the Marine Research Institute in the year 2000.

ræddu svæði og jafnframt lækka kostnað við veiðarnar (Björn Björnsson 1994, 1995, 1997b, 1999a, 2001, 2002). Í 17 mánaða fóðrunartilraun í Stöðvarfirði 1995-96 var loðna og niðurskorin síld gefin þrisvar í viku á þrjú fóðrunarsvæði í firðinum sem þorskur hélt sig á. Fóðrið var losað í fjörðinn á 20-30 m dýpi með sérstökum fóðrunarbarka sem dreginn var á eftir 5 tonna handfærabát og jafnframt send út hljóðmerki til að láta þorskinn vita af fóðruninni. Þorskarnir lærðu fljótt að taka fóðrið og söfnuðust saman á fóðrunarsvæðunum. Fóðrunin þrefaldaði þyngdaraukningu merktra þorska sem tóku fóðrið (2254 g/ár) miðað við merkta þorska sem lifðu eingöngu á hinni náttúrulegu fæðu (725 g/ár) (Björn Björnsson 2002). Í tilrauninni var alls fóðrað með um 100 tonnum af fóðri sem gæti hafa nýst til að auka heildarvöxt þorsksins um u.þ.b. 30 tonn. Ljóst er að slíka fóðrun þyrfti að framkvæma í mun stærri stíl til að hún gæti borgað sig (Björn Knútsson 1997).

Fræðileg úttekt á möguleikum á stórfelldri fódruun á íslenska þorskstofninum með ódýru hráefni, svo sem loðnu, kolmunna og síld, benti til að unnt væri að auka vöxt þorskstofnsins, draga úr afráni hans á verðmætum tegundum, svo sem á bolfiski, rækju og humri og jafnframt draga úr kostnaði við veiðar á þorski (Björn Björnsson 2001). Um milljón tonn af bræðslufiski eru árlega veidd af íslenskum fiskiskipum, stór hluti utan útbreiðslusvæðis íslenska þorskstofnsins. Þar sem meira en tífaldur verðmunur er á hverju tonni af þorski og bræðslufiski og aðeins þarf um þrjú kg af loðnu til að framleiða hvert kg af þorski skv. vaxtartilraunum er fræðilega mögulegt að ná mikilli arðsemi með stórfelldri og skipulagðri fódruun á íslenska þorskstofninum.

Til að kanna hversu raunhæfar þessar hugmyndir eru yrði að velja ákveðið rannsóknarsvæði þar sem almennar fiskveiðar yrðu bannaðar meðan umfangsmikil fódruunartilraun stæði yfir. Tilraunin yrði að vera mun umfangsmeiri en fódruunartilraunin í Stöðvarfirði til að gefa raunhæfa niðurstöðu. Velja þyrfti svæði á miðunum þar sem mikið er af staðbundnum þorski sem býr við takmarkað fæðuframboð. Jafnframt yrði framkvæmd víðtæk rannsókn á vistfræðilegum áhrifum fódruunarinnar, svo sem á breytilegum fjölda þorska og annarra fiska á fæðusvæði, göngur inn og út af svæðinu, afráni þorsks á svæðinu (magasýni), vaxtarhraða og fódurnýtingu. Áður en fódruun á þorski gæti orðið raunhæfur möguleiki yrði að breyta lögum og reglugerðum varðandi stjórnun fiskveiða.

5.0 UMHVERFISADSTÆÐUR OG LÍFFRÆÐILEGAR FORSENDUR ÞORSKELDIS

5.1 Aleldi eða áframeldi

Í dag byggist þorskeldi á Íslandi einkum á föngun á villtum þorski og áframeldi en aleldi mun væntanlega aukast á næstu árum með aukinni framleiðslu þorskseiða. Þegar bornir eru saman möguleikar aleldis og áframeldis til lengri tíma litið eru flestir þættir aleldinu í hag (tafla 2).

Stöðugleiki

Aðgengi að villtum þorski til áframeldis er háð stofnstærð hverju sinni. Í þeim tilvikum sem um er að ræða föngun á þorskseiðum og smáfiski má gera ráð fyrir töluverðum sveiflum á milli ára allt eftir stærð árganga hverju sinni.

Gera má ráð fyrir meiri stöðugleika í aðgengi á stærri þorski til áframeldis en þar mun föngun á þorski vera í samkeppni við aðra ráðstöfun á þorskafla. Varðandi eldisseiðin er þess ekki langt að bíða að unnt verði að framleiða nægilegan fjölda þeirra til að anna eftirspurn.

Kynbótaframfarir

Með notkun á villtum fiski til eldis er ekki verið að bæta eldisstofninn heldur er fangaður á hverju ári fiskur með sömu eiginleika til eldis. Með aðferðum kynbótafræðinnar er hins vegar hægt að velja til undaneldis fisk með eiginleika sem stuðla að bættri afkomu í greininni, svo sem aukinn vaxtarhraða, betri fódurnýtingu, síðbúnari kynþroska, meira sjúkdómaþol og betri holdgæði.

Tafla 2. Kostir og gallar við áframeldi á þorski og aleldi.

Table 2. Positive and negative attributes of on-growing of wild cod and farming of cod from hatching to market size.

Eiginleikar	Áframeldi	Aleldi
Stöðugleiki	-	+
Kynbótaframfarir	-	+
Sjúkdómavarnir	-	+
Sníkjudýr	-	+
Framleiðslukostnaður	+	-/+

Sjúkdómavarnir

Með notkun á villtum fiski er hættu á því að með honum berist inn í eldisstöðina ýmsar tegundir sjúkdómsvaldandi örvera og sníkjudýra (Sigurður Helgason o.fl. 2003). Í aleldi er betur hægt að tryggja að sjúkdómar berist ekki með seiðunum úr seiðaeldisstöðvum í sjókvíaeldið. Einnig er hægt að bólusetja þorsk í aleldi áður en hann fer í sjókvíar og auka þannig sjúkdómsviðnám fisksins og draga úr líkum á afföllum (Rødseth & Tangerås 2002).

Sníkjudýr (hringormar)

Í villtum þorski eru hringormar algeng sníkjudýr. Tíðni sýkingarinnar er meiri eftir því sem fiskurinn er stærri (Erlingur Hauksson 1992, 1997). Með því að fanga seiðin fljótlega eftir klak er ekkert eða lítið af sníkjudýrum í þeim (Sigurður Helgason o.fl. 2003). Eldisseiði sem alin eru á ræktuðum fæðudýrum og þurrfóðri eru hins vegar laus við hringorma.

Framleiðslukostnaður

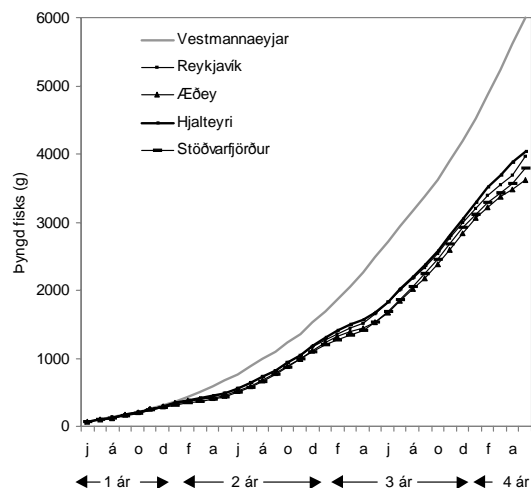
Arðsemiskannanir sem gerðar hafa verið benda ekki til að unnt sé að stunda aleldi á arðbæran hátt á Íslandi miðað við núverandi

forsendur (Valdimar Ingi Gunnarsson 1992, Björn Knútsson 1997, Erlendur Steinar Friðriksson 2001). Aftur á móti er talið að hagnaðarvon sé við áframeldi á þorski (Erlendur Steinar Friðriksson 2001, Jón Gunnar Schram 2002). Í framtíðinni er ólíklegt að áframeldi á villtum þorski geti keppt við aleldi á kynbættum eldisþorski. Því er litið á notkun á villtum þorski til áframeldis sem tímabundna lausn.

5.2 Samanburður á eldissvæðum

Ef vaxtarskilyrði í þorskeldi eru eingöngu metin út frá hitafari hentar Suðurland best til þorskeldis en svipaðar aðstæður eru við Vesturland, Vestfirði, Norðurland og Austurland (17. mynd). Við módelútreikninga á vexti 75 g þorskseiða er miðað við sjávarhita á árinu 2000 en hann var að meðaltali um 8,1°C við Vestmannaeyjar, 6,1°C í Reykjavík, 5,4°C við Æðey í Ísafjarðardjúpi, 5,7°C við Hjalteyri í Eyjafirði og 4,4°C í Stöðvarfirði skv. mælingum Hafrannsóknastofnunarinnar. Þrátt fyrir 1,7°C lægri meðalsjávarhita í Stöðvarfirði en við Reykjavík benda útreikningar til að vöxturinn sé svipaður á báðum stöðum. Þetta má skýra með minni árstíðasveiflum í sjávarhita og að jafnaði minna frávik frá kjörhita í Stöðvarfirði en við Reykjavík. Á árinu 2000 var sjávarhiti tiltölulega hár. Við Hjalteyri var hann t.d. um 1,2°C hærri en meðaltal árána 1987-1996 (Steingrímur Jónsson 1999).

Verulegur munur er á vaxtarhraða við Suðurland samanborið við aðra landshluta (17. mynd). Eftir 36 mánaða eldi er fiskurinn í Vestmannaeyjum orðinn um 6,0 kg en minnsti vöxturinn er við Æðey en þar er reiknuð meðalstærð um 3,6 kg. M.t.t. sjávarhita hentar Suðurland vel til þorskeldis en hins vegar vantar þar skjólstaði fyrir þá eldistækni sem notuð er í dag. Eini staðurinn sem sjókvíaeldi er stundað við Suðurland er Klettsvík í Vestmannaeyjum. Aftur á móti er mun meira af skjólstöðum í öðrum landshlutum en þar eru aðrir neikvæðir þættir. Skv. sjávarhitamælingum Hafrannsóknastofnunarinnar er mest hætt á skaðlegri kælingu sjávar á Vesturlandi, Vestfjörðum og við vestanvert Norðurland (Steingrímur Jónsson 2004). Á seinnihluta níunda áratugarins drapst lax í sjókvíum við vestanvert landið vegna ofkælingar (Rannsóknarráð ríkisins 1992). Ekki er vitað um kuldaþol þorsks við Ísland (kafla 2.2). Það er því óljóst hvort hann hefði getað lifað við þær aðstæður sem mynduðust seinni hluta níunda



17. mynd. Framreiknaður vöxtur á 75 g þorskseiðum sem sett eru í sjókvíar í byrjun júní við Vestmannaeyjar, Reykjavík, Æðey í Ísafjarðardjúpi, Hjalteyri við Eyjafjörð og í Stöðvarfirði. Við útreikninga er notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002) og stuðst við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000.

Fig. 17. Calculated growth of 75 g juvenile cod reared in sea cages from the beginning of June in Vestmannaeyjar, Reykjavík, Aedey in Ísafjarðardjúpi, Hjalteyri in Eyjafjörður and Stöðvarfjörður. Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature by the Marine Research Institute in the year 2000.

áratugarins við vestanvert landið. Við norðanverða Vestfirði og Norðurland er meiri hætt á hafís en við Austfirði en hins vegar hverfandi líkur á hafískomum við vestur- og suðurströndina (Þór Jakobsson 2002).

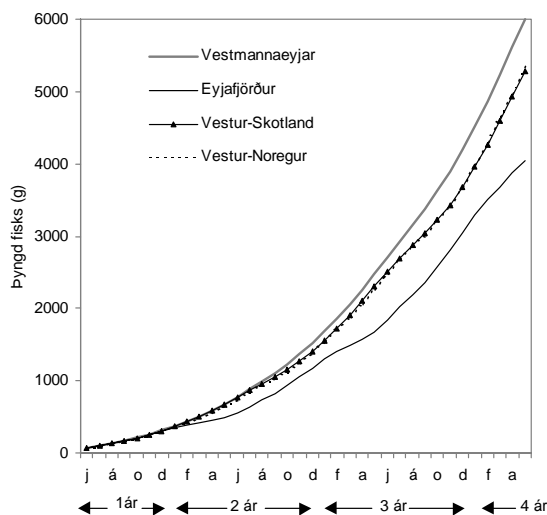
5.3 Samanburður við samkeppnislönd

Við samanburð á umhverfisaðstæðum til þorskeldis á Íslandi og í samkeppnislöndunum er hér tekið mið af Vestur-Noregi og Vestur-Skotlandi. Önnur lönd geta einnig komið til greina sem samkeppnislönd s.s. Írland, Kanada og jafnvel Chile en þar er t.d. umfangsmikið eldi á Atlantshafslaxi og ekki útilokað að hægt sé að vera með eldi á þorski úr Atlantshafi.

Þegar framreiknaður er vöxtur á 75 g þorski út frá sjávarhita við Vestmannaeyjar og Eyjafjörð, Vestur-Noreg og Vestur-Skotland kemur fram að vöxtur er mestur við Vestmannaeyjar (18. mynd). Í Vestmannaeyjum er meðalhitastig 7,9°C, en 8,8°C við Stad í Vestur-Noregi og 10,1°C við Millport í Vestur-Skotlandi (Steingrímur Jónsson 2001). Minnstur er vöxturinn í Eyjafirði enda er meðalhitastig þar lægst eða um 5,7°C. Eftir 36 mánaða eldi er fiskurinn í

Eyjafirði um 4,0 kg eða 1,3 kg léttari en við Vestur-Noreg og Vestur-Skotland. Mestan vaxtarhraða þorsks við Vestmannaeyjar má skýra með minni sveiflum í sjávarhita og að hiti er þar nær kjörhita stærrí hluta af árinu en í samamburðarlöndunum. Í Vestur-Noregi og Vestur-Skotlandi fer sjávarhitinn vel yfir kjörhita á sumrin sérstaklega eftir því sem fiskurinn stækkar og kjörhiti hans lækkar (Björn Björnsson o.fl. 2001). Með aukinni stærð eykst því munurinn í vaxtarhraða, fiskinum við Vestmannaeyjar í vil. Það er þó ekki hægt að útiloka að þorskur við Skotland og Noreg hafi hærri kjörhita en þorskur við Ísland sem vaxtarlíkanið miðast við (Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002) og vaxi því betur en kemur fram á 18. mynd. Úr því verður ekki skorið nema með rannsóknum á næstu árum.

Þróunin verður væntanlega sú að samkeppnisaðilar muni setja út lítíl seiði í sjókvíar. Ef miðað er við að setja út þriggja g seiði í



18. mynd. Framreiknaður vöxtur á 75 g þorskeiðum sem sett eru í sjókvíar í byrjun júní í Eyjafirði, Vestmannaeyjum, Vestur-Noregi (Stad) og Vestur-Skotlandi (Millport). Fyrir Eyjafjörð og Vestmannaeyjar er vöxtur þorsks reiknaður út frá mælingum Hafrannsóknastofnunarinnar á sjávarhita á árinu 2000 og fyrir Millport og Stad er stuðst við gögn frá Steingrími Jónssyni (2001). Við útreikninga er notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002).

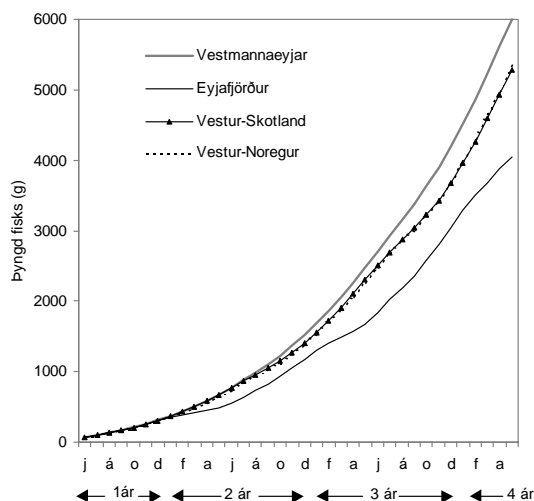
Fig. 18. Calculated growth of 75 g juvenile cod reared in sea cages from the beginning of June in Eyjafjörður, Vestmannaeyjar, Western Norway (Stad) and Western Scotland (Millport). Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature in Iceland by the Marine Research Institute in the year 2000. Temperature data for Stad and Millport were obtained from Steingrímur Jónsson (2001).

sjókvíar í staðinn fyrir 75 g minnkar munurinn á framreiknuðum vexti þorsks við Vestmannaeyjar, Vestur-Skotland og Vestur-Noreg (19. mynd). Aftur á móti eykst munurinn á vexti þorsks í Eyjafirði og eftir um 36 mánaða eldi hefur þorskurinn í Eyjafirði aðeins náð um tveggja kg þyngd meðan fiskurinn við Vestur-Noreg og Vestur-Skotland hefur náð um 3,5 kg þyngd.

Lengri vaxtartími við norðanvert landið en í samkeppnislöndunum leiðir af sér hærri framleiðslukostnað. Fleiri sjókvíar þarf til að framleiða saman magn og á svæðum þar sem vaxtarhraði er meiri og stofnkostnaður verður því hærri. Jafnframt þarf að halda meiri lífmassa í sjókvíunum eftir því sem vöxturinn er minni til að ná sömu ársframeiðslu. Aukinn lífmassi í sjókvíum eykur fjárbindingu og vaxtarkostnaður eykst. Minni vaxtarhraði eykur líkur á afföllum vegna lengri eldistíma. Það er því mikilvægt að reyna með rannsókn- og þróunarvinnu á næstu árum að auka vaxtarhraða á þorski við norðanvert landið til að ná sambærilegum vexti og þekktist hjá samkeppnisaðilum sem eru með betri náttúrulegar aðstæður til þorskeldis.

Í íslenskum fjörðum fer sjávarhiti yfirleitt ekki yfir 10-12°C á sumrin en á einstökum svæðum upp undir 15°C (Steingrímur Jónsson 1999). Of hár sjávarhiti verður því varla til vandræða í þorskeldi við Íslandsstrendur. Í Vestur-Noregi og Vestur-Skotlandi getur sjávarhitinn hækkað það mikið í heitum sumrum að það leiði til verulegra affalla á stórum þorski (kafla 2.1). Við Vestur-Noreg er besti vöxturinn á veturna þegar sjávarhiti er undir 10°C en þegar sjávarhiti fer yfir 14°C minnkar át og vöxtur hjá fiski sem er stærrí en eitt kíló (Kvenset o.fl. 2000). Hár sjávarhiti yfir sumarmánuðina í Vestur-Noregi og Vestur-Skotlandi getur því hugsanlega orðið vandamál sérstaklega hjá stórum fiski. Það er þó ekki hægt að útiloka að hægt verði að finna lausnir á þessu máli. Í því sambandi má nefna að við þessi lönd er sjórinn lagskiptur og því mögulegt að koma fiskinum úr heitum yfirborðssjó niður í kaldari sjó yfir heitustu mánuðina á sumrin (Steingrímur Jónsson 2004). Aðrar lausnir koma einnig til greina eins og t.d. súrefnisgjöf í sjókvíar þegar súrefnisinnihald sjávar er lágt á sumrin en það er t.d. talið geta aukið vöxt og fódurnýtingu hjá eldislaxi (Næss o.fl. 2003).

Fóður er stærsti kostnaðarliðurinn í þorskeldi (Björn Knútsson 1997). Besti fóðurstuðullinn



19. mynd. Framreiknaður vöxtur 3 g þorsks sem settur er í sjókvíar byrjun júní í Eyjafirði, Vestmannaeyjum, Vestur-Noregi (Stad) og Vestur-Skotlandi (Millport). Við útreikninga er notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002). Sjávarhiti fyrir Eyjafjörð og Vestmannaeyjar er byggð á mælingum Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2000 og fyrir Millport og Stad er stuðst við gögn frá Steingrími Jónssyni (2001).

Fig. 19. Calculated growth of 3 g juvenile cod reared in sea cages from the beginning of June in Eyjafjörður, Vestmannaeyjar, Western Norway (Stad) and Western Scotland (Millport). Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature in Iceland by the Marine Research Institute in the year 2000. Temperature data for Stad and Millport were obtained from Steingrímur Jónsson (2001).

fæst 1-2°C fyrir neðan kjörhita fyrir vöxt (Björn Björnsson o.fl. 2001). Það er því hætt á að hár sjávarhiti í Vestur-Noregi og Vestur-Skotlandi yfir sumarmánuðina hafi neikvæð áhrif á fæðurstuðulinn. Sömuleiðis getur lágur sjávarhiti yfir vetrarmánuðina haft neikvæð áhrif á fæðurnýtinguna við norðanvert Ísland. Rannsóknir og samanburður á milli landa munu á næstum árum skera úr um hvort aðstæður til þorskeldis séu nægilega góðar á Íslandi til að geta keppt við nágrannalöndin.

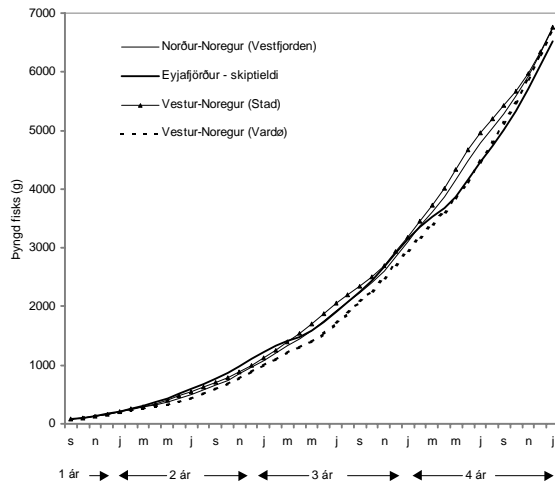
5.4 Val á eldisaðferðum og eldistækni

Á Vesturlandi, Vestfjörðum, Norðurlandi og Austurlandi er vöxtur minni en í samkeppnislöndum eins og Noregi og Skotlandi. Ein leið til að minnka þennan mun er að framleiða stórseiði í strandeldisstöðvum. Þrátt fyrir að framleidd séu 500 g seiði í strandeldisstöð og sett í sjókvíar um vor við norðanvert landið tekur það svipaðan tíma að ná fiskinum upp í markaðsstærð og við Stad í Vestur-Noregi og í Vest-

fjorden syðst í Norður-Noregi og Vardø nyrst í Norður-Noregi (20. mynd). Með því að ala fiskinn í strandeldi við því sem næst kjöraðstæður fyrsta veturinn næst eingöngu svipaður vöxtur og við náttúrulegar aðstæður í Vestur- og Norður-Noregi. Framleiðslukostnaður í strandeldi er meiri en í sjókvíaeldi (Björn Knútsson 1997). Það má því gera ráð fyrir hærri framleiðslukostnaði við skiptiöldi við norðanvert Ísland en í sjókvíaeldi í Noregi. Það er því mikilvægt að draga úr stofn- og rekstrarkostnaði strandeldisstöðva á næstu árum til að skiptiöldi á Íslandi geti orðið samkeppnishæft í framtíðinni. Einnig kemur til greina að hanna og þróa fljóttandi búnað þar sem hægt er að stjórna umhverfisþáttum eða staðsetja hann á svæðum þar sem sjávarhiti er hagstæður fyrir vöxt á smærri fiski.

Ef sjókvíaeldi hér við land á að geta orðið samkeppnishæft þarf með rannsókn- og þróunarvinnu á næstu árum að miða að því að þróa eldisaðferðir sem henta á köldum svæðum við norðanvert landið. Kjörhitastig þorsks lækkar með aukinni stærð (Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002). Norðanvert landið hentar e.t.v. betur til framleiðslu á stórum eldisþorski en svæði þar sem sjávarhiti er hærri. Að jafnaði hækkar verð á þorski eftir því sem hann er stærri (www.verdlagsstofa.is). Á móti kemur meiri kostnaður vegna lengri framleiðslutíma. Einnig má gera ráð fyrir hærri fæðurstuðli með aukinni stærð og kynþroska fisksins (kaflí 3.5).

Hætta á afföllum á eldisþorski hér við land getur skapast vegna undirkælingar sjávar en með notkun sökkvanlegra kvía má hugsanlega draga úr þeirri áhættu. Í Kanada var talið að lagnaðarís yfir einu eldisvæði hafi komið í veg fyrir að ískristallar hafi borist niður að eldisþorski sem lifði af sjávarhita allt niður í -1.7°C (kaflí 2.2). Ískristallar myndast í yfirborði sjávar og berast með ölduróti niður í sjóinn (Steingrímur Jónsson 2004). Með því að hafa djúpar kvíar er hægt að koma í veg fyrir að ískristallar berist að eldisþorskinum og jafnframt að koma honum undir öldurótið og minnka þannig álagið á fiskinum. Þessi aðferð kemur þó ekki í veg fyrir að rekís valdi tjóni á sjókvíum. Á mörgum svæðum við Vesturland, Vestfirði, Norðurland og Austurland er hætt á að lagnaðarís myndist og valdi tjóni á búnaði þegar hann losnar. Með því að sökkva kvíunum er hægt að koma í veg fyrir tjón af völdum rekíss. Tilraunir með þorskeldi í sökkvanlegum kvíum eru nú stundaðar á



20. mynd. Seiði sem eru 75 g að þyngd eru tekin í strandeldi í september og alin við 10°C fram í byrjun júní árið eftir. Seiðin eru síðan alinn í sjókvívum í Eyjafirði (skiptiöldi) og til samanburðar er áætlaður vöxtur á 75 g seiðum sem sett eru strax í sjókvíar og alin við náttúrulegan sjávarhita við Stad, Varangerfjorden og Vardø í Noregi. Við útreikninga er notað vaxtarlíkan Björns Björnssonar og Agnars Steinarssonar (2002). Stuðst er við sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunarinnar í Eyjafirði frá árinu 2000 og fyrir Noreg er stuðst við gögn frá Steingrími Jónssyni (2001).

Fig. 20. Calculated growth of 75 g juvenile cod reared in a land based farm at 10°C from September until June next year. Then the fish are reared in sea cages in Eyjafjörður. For comparison calculated growth of 75 g juveniles reared all the time in Stad, Varangerfjord and Vardø, Norway. Calculations were based on the growth model of Björn Björnsson and Agnar Steinarsson (2002) and measurements of seawater temperature in Iceland by the Marine Research Institute in the year 2000. Temperature data for Norway were obtained from Steingrímur Jónsson (2001).

vegum Þórsbergs hf í Tálknafirði og Vopnfisks hf í Vopnafirði. Aðrar aðferðir koma einnig til greina til að draga úr hættu á tjóni af rekis s.s. einfestukvíar sem fljótlegt er að losa og draga í skjól fyrir rekisnum. Tilraunir með öflugar einfestukvíar eru nú gerðar á vegum Guðmundar Runólfssonar hf. í Grundarfirði.

Þó að sjór úti fyrir Suðurlandi henti vel til þorskeldis m.t.t. sjávarhita eru aðrir mikilvægir þættir óhagstæðir. Suðurströnd landsins er opin og því ekki mögulegt að nýta þar hefðbundna tækni fyrir sjókvíaelði. Til að hægt verði að stunda eldi á þorski í sjó við suðurströndina þarf að hanna og þróa nýja eldistækni. Erlendis er verið að þróa sökkvanlegar úthafskvíar m.a. fyrir þorskeldi á vegum háskólans í New Hampshire í Bandaríkjunum (www.oaa.unh.edu/). Á nífunda áratugnum var gerð tilraun með laxeldi í tankskipi undan ströndum Frakklands (Anon.

1989). Á Spáni er verið að þróa fljótandi mannvirki eða skip til eldis á fiski. Stærstum hluta þess er sökk undir yfirborð sjávar og niður úr botni þess hanga netpokar sem fiskurinn er alinn í (Strutt 2003a,b, www.itzasi.com). Það eru því nokkrar útfærslur af eldistækni á opnum svæðum sem hafa verið reyndar eða eru í þróun. Ekki liggja fyrir upplýsingar um hvort slík tækni sé notuð í einhverjum mæli í atvinnuskyni eða hvort hægt sé að vera með samkeppnishæft eldi á opnum svæðum eins og við Suðurland. Við þróun og prófun á heppilegri tækni til eldis á opnum svæðum er eðlilegt fyrst í stað að gerðar verði tilraunir á skjólbetri svæðum en finnst við Suðurland s.s. í sunnanverðum Faxaflóa. Vegna hærri sjávarhita hentar sjórin betur til eldis á smærri þorski við sunnanvert landið en norðanvert. Það er því áhugavert að gera tilraunir með eldi á seiðum í sökkvanlegum kvívum í sunnanverðum Faxaflóa fyrsta veturinn og flytja seiðin síðan á kaldari svæði við norðanvert landið þegar sjávarhitinn hækkar um vorið. Til að unnt sé að sinna neðansjávarkvíum er nauðsynlegt að þróa viðeigandi búnað til fóðrunar og eftirlits.

6.0 ÞAKKIR

Dr. Karl Gunnarsson, sjávarvistfræðingur á Hafrannsóknastofnuninni, las handritið yfir og kom með gagnlegar ábendingar.

7.0 HEIMILDIR

- Albert K. Imsland & Ólöf Dóra Bartels Jónsdóttir 2002. Is there a genetic basis to growth in Atlantic cod? *Fish and Fisheries* 3: 36-52.
- Ali, M., Nicieza, A. & Wootton, R.J. 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries* 4: 147-190.
- Akse, L. & Midling, K. 1997. Live capture and starvation of capelin cod (*Gadus morhua* L.) in order to improve the quality. Í: Luten, J.B., Børresen, T. & Oehlenschläger, J. (ritstj.), *Seafood from producer to consumer, integrated approach to quality*. Elsevier Science BV, Amsterdam, bls. 47-58.
- Anon. 1989. French grow salmon in barge tank. *Fish Farming International* 16(9): 1-2.
- Anon. 2003. Nytjastofnar sjávar 2002/2003. Aflahorfur 2003/2004. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 97: 1-196.
- Austreng, E., Mørkøre, T. & Helle, T. 2003. Oppföra torsk fikk leverstørrelse som skrei. *Norsk fiskeoppdrett* 28(14): 40-41.
- Beamish, F.W.H. 1966. Swimming endurance of some Northwest Atlantic fishes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 23: 341-347.

- Bjarni Sæmundsson 1926. *Fiskarnir*. Bókaverslun Sigfúsar Eymundssonar, 512 bls.
- Björgvin Harri Bjarnason 2001. *Þorskseiðaeldi - Mat á stofnkostnaði og arðsemi þorskseiðaeldisstöðvar*. Lokaverkefni í sjávarútvegsdeild Háskólans á Akureyri.
- Björn Björnsson 1993. Swimming speed and swimming metabolism of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to available food: a laboratory study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50: 2542-2551.
- Björn Björnsson 1994. Þorskelði við Íslandsstrendur. *Sjómannadagsblað Neskaupstaðar* 17: 40-45.
- Björn Björnsson 1995. Fóðrun á villtum þorski í Stöðvarfirði. *Kímblaðið* 8: 31-34.
- Björn Björnsson 1997a. Vöxtur og fóðurnýting þorsks í eldistilraunum ásamt mati á heildaráti íslenska þorskstofnsins. Í: Fjölstofnarannsóknir 1992-1995 *Hafrannsóknastofnunarinnar*. *Fjölrit* 57: 217-225.
- Björn Björnsson 1997b. Tilraunafóðrun á þorski í Stöðvarfirði 1995-96. Í: Fjölstofnarannsóknir 1992-1995. *Hafrannsóknastofnunarinnar*. *Fjölrit* 57: 227-239.
- Björn Björnsson 1999a. Fjord-ranching of wild cod in an Icelandic fjord: effects of feeding on nutritional condition, growth rate and behaviour. Í: B.R. Howell, E. Moksness & Svásand, T. (ritstj.), *Stock enhancement and sea ranching*. Fishing News Books, Oxford, bls. 243-256.
- Björn Björnsson 1999b. Is the growth rate of Icelandic cod (*Gadus morhua* L.) food-limited? A comparison between pen-reared cod and wild cod living under similar thermal conditions. *Rit Fiskideildar* 16: 271-279.
- Björn Björnsson 2001. Can fisheries yield be enhanced by large-scale feeding of a predatory fish stock? A case study of the Icelandic cod stock. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 2091-2104.
- Björn Björnsson 2002. Effects of anthropogenic feeding on the growth rate, nutritional status and migratory behaviour of free ranging cod in an Icelandic fjord. *ICES Journal of Marine Science* 59: 1248-1255.
- Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002. The food-unlimited growth rate of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 494-502.
- Björn Björnsson, Agnar Steinarsson & Matthías Oddgeirsson 2001. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science* 58: 29-38.
- Björn Gíslason & Bergur Guðmundsson 2001. *Áframeldi þorsks í Eyjafirði 2001*. Skýrsla til Nýsköpunarsjóðs námsmanna. Háskólinn á Akureyri. Sjávarútvegsdeild.
- Björn Knútsson 1997. *Þorskelði á Íslandi. Samanburður á arðsemi í strandeldi, kvíaeldi og fjarðaeldi*. Meistaraprófsritgerð í sjávarútvegsfræðum frá H.Í. 93 bls.
- Black, D. & Love, R.M. 1986. The sequential mobilisation and restoration of energy reserves in tissues of Atlantic cod during starvation and refeeding. *Journal Comparative Physiology* 156B: 469-479.
- Blaxter, J.H.S. & Dickson, W. 1959. Observations on the swimming speeds of fish. *Journal du Conseil international pour l'Exploration de la Mer* 24: 472-79.
- Bleie, H. 2003. Helsestatusjonen, potensielle problemer og forebyggende tiltak. Í: Ervik, A., Kiessling, A., Skilbrei, O. & van der Meeren, T. (ritstj.), *Havbruksrapport 2003. Fisken og havet*, særnr.3: 57-60.
- Bouef, G. & Le Bail, P.-Y. 1999. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture* 177: 129-152.
- Braaten, B. 1984. Growth of cod in relation to fish size and ration level. Í: Dahl, E., Danielssen, D.S. Moksness, E. & Solemdal, P. (ritstj.), *The propagation of cod (Gadus morhua L.)*. *Flødevigen rapportser.* 1: 677-710.
- Brander, K.M. 1994. Patterns of distribution, spawning and growth in North Atlantic cod: the utility of inter-regional comparisons. *ICES Marine Science Symposia* 198: 406-413.
- Brawn, V.M. 1961. Aggressive behaviour in the cod (*Gadus callarias* L.). *Behaviour* 18: 104-147.
- Brawn, V.M. 1969. Feeding behaviour of cod (*Gadus morhua*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 26: 583-596.
- Bromley, P.J. 1991. Gastric evacuation in cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Marine Science Symposia* 193: 93-98.
- Brynjólfur Eyjólfsson 2001. *Holdafar þorsks, vinnslunýting og vinnslustjórnun*. Meistaraprófsritgerð í sjávarútvegsfræðum frá Háskóla Íslands, 117 bls.
- Brynjólfur Eyjólfsson, Sigurjón Arason, Gunnar Stefánsson & Guðjón Þorkelsson 2001. *Holdafar þorsks, vinnslunýting og vinnslustjórnun*. *Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins*. *Skýrsla Rf* 2: 1-113.
- Bøhle, B. 1974. Temperatúrpreferanse hos torsk (*Gadus morhua* L.). *Fisken og havet*, serie B, nr. 20.
- Bjørnevik, M., Karlsen, Ø., Johnston, I. A. & Kiessling, A. 2003. Effect of sustained exercise on white muscle structure and flesh quality in farmed cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture Research* 34: 55-54.
- Castonguay, M. & Cyr, D.G. 1998. Effects on temperature on spontaneous and thyroxine-stimulated locomotor activity of Atlantic cod. *Journal of Fish Biology* 53: 303-313.
- Chabot, D. & Dutil, J. 1999. Reduced growth of Atlantic cod in non-lethal hypoxic conditions. *Journal of Fish Biology* 55: 472-491.
- Chambers, R.C. & Waiwood, K.G. 1996. Maternal and seasonal differences in egg sizes and spawning characteristics of captive Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 1986-2003.
- Christiansen, B. 1990. Vill torsk som settefisk. *Norsk fiskeoppdrett* 15(8): 26-27.

- Clark, D.S., Brown, J.A., Goddard, S.J. & Moir, J. 1995. Activity and feeding behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in sea pens. *Aquaculture* 131: 49-57.
- Claireaux, G., Webber, D.M., Kerr, S.R. & Boutilier, R.G. 1995a. Physiology and behaviour of free-swimming Atlantic cod (*Gadus morhua*) facing fluctuating temperature conditions. *Journal of Experimental Biology* 198: 49-60.
- Claireaux, G., Webber, D.M., Kerr, S.R. & Boutilier, R.G. 1995b. Physiology and behaviour of free-swimming Atlantic cod (*Gadus morhua*) facing fluctuating salinity and oxygenation conditions. *Journal of Fish Biology* 198: 61-69.
- Cote, D., Ollerhead, L.M.N., Gregory, R.S., Scruton, D.A. & McKinley, R.S. 2002. Activity patterns of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) in Buckley Cove, Newfoundland. *Hydrobiologia* 483: 121-127.
- Cyr, D.G., Idler, D.R., Audet, C., McLeese, J.M. & Eales, J.G. 1998. Effects of long-term temperature acclimation on thyroid hormone deiodinase function, plasma thyroid hormone levels, growth and reproductive status of male Atlantic cod, *Gadus morhua*. *General and Comparative Endocrinology* 109: 24-36.
- Dahle, R., Taranger, G.L. & Norberg, B. 2000. Sexual maturation and growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared at different light intensities. Í: Norberg, B. [o.fl.] (ritstj.), *Reproductive Physiology of Fish. Proceedings of the 6th symposium*. Bergen 1999, bls. 336.
- Davison, W. 1997. The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature. *Comparative Biochemistry and Physiology* 117A: 67-74.
- Despatie, S.-P., Castonguay, M. & Chabot, D. 2001. Final thermal preferendum of Atlantic cod: effect of food ration. *Transactions of the American Fisheries Society* 130: 263-275.
- dos Santos, J. & Jobling, M. 1991a. Factors affecting gastric evacuation in cod, *Gadus morhua* L., fed single-meals of natural prey. *Journal of Fish Biology* 38: 697-713.
- dos Santos, J. & Jobling, M. 1991b. Gastric emptying in cod, *Gadus morhua* L.: Emptying and retention of indigestible solids. *Journal of Fish Biology* 38: 187-197.
- dos Santos, J. & Jobling, M. 1995. Test of a food consumption model for the Atlantic cod. *ICES Journal of Marine Science* 52: 209-219.
- dos Santos, J., Burkow, I.C. & Jobling M. 1993. Patterns of growth and lipid deposition in cod (*Gadus morhua* L.) fed natural prey and fish-based feeds. *Aquaculture* 110: 173-189.
- Dunham, R.A., Majumdar, K., Hallerman, E., Bartley, D., Mair, G., Hulata, G., Liu, Z., Pongthana, N., Bakos, J., Penman, D., Gupta, M., Rothlisberg, P. & Hoerstgen-Schwark, G. 2001. Review of the status of aquaculture genetics. Í: Subasinghe, R.P., Bueno, P., Phillips, M.J., Hough, C., McGladdery, S.E. & Arthur, J.R. (ritstj.), *Aquaculture in the Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000. NACA, Bangkok and FAO, Rome, bls. 137-166.
- Dutil, J.-D., Murno, J., Audet, C. & Besner, M. 1992. Seasonal variation in the physiological response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to low salinity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 1149-1156.
- Dutil, J.-D., Lambert, Y., & Boucher, E. 1997. Does higher growth rate in Atlantic cod (*Gadus morhua*) at low salinity result from lower standard metabolic rate or increased protein digestibility? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54(Suppl.1): 99-103.
- Eliassen, J.-E. & Vahl, O. 1982. Seasonal variations in the gonad size and the protein and water content of cod, *Gadus morhua* (L.), muscle from Northern Norway. *Journal of Fish Biology* 20: 527-533.
- Einar Jónsson 1982. A survey of spawning and reproduction of the Icelandic cod. *Rit fiskideildar* 6(2): 1-45.
- Erlendur Steinar Friðriksson 2001. *Arðsemismat í þorskeldisstöð*. Lokaverkefni við sjávarútvegsdeild, Háskólinn á Akureyri.
- Erlingur Hauksson 1992. Selir og hringormar. *Hafrannsóknir* 43: 1-123.
- Erlingur Hauksson, 1997. Hringormar. *Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins. RF pistlar* 1:1-4.
- Fisher, R. 1988. Assessments and observations of a cod farming operation in Newfoundland. *Canadian Industry Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 194: 1-51.
- Fletcher, G.L., King, M.J. & Kao, M.H. 1987. Low temperature regulation of antifreeze glycopeptide levels in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Zoology* 65: 227-233.
- Fletcher, G.L., Wroblewski, J.S., Hickey, M.M., Blanchard, B., Kao, M.H. & Goddard, S.V. 1997. Freezing resistance of caged Atlantic cod (*Gadus morhua*) during a Newfoundland winter. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54(Suppl. 1): 94-98.
- Folkvord, A. 1991. Growth, survival and cannibalism of cod juveniles (*Gadus morhua*): effects of feed type, starvation and fish size. *Aquaculture* 97: 41-59.
- Folkvord, A. & Otterå, H. 1993. Effects of initial size distribution, day length, and feeding frequency on growth, survival, and cannibalism in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture* 114: 243-260.
- Fordham, S.E. & Trippel, E.A. 1999. Feeding behaviour of cod (*Gadus morhua*) in relation to spawning. *Journal of Applied Ichthyology* 15: 1-9.
- Goddard, S.V. & Fletcher, G.L. 1994. Antifreeze proteins: Their role in cod survival and distribution from egg to adult. *ICES Marine Science Symposia* 198: 676-683.
- Goddard, S.V., Kao, M.H. & Fletcher, G.L., 1992. Antifreeze production, freeze resistance, and

- overwintering of juvenile Northern Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 516-522.
- Goddard, S.V., Kao, M.H. & Fletcher, G.L. 1999. Population differences in antifreeze production cycles of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) reflect adaptations to overwintering environment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 1991-1999.
- Goddard, S.V., Wroblewski, J.S., Taggart, C.T., Howse, K. A., Bailey, W.L., Kao, M.H., & Fletcher, G.L. 1994. Overwintering of adult northern Atlantic cod (*Gadus morhua*) in cold inshore waters as evidenced by plasma antifreeze glycoprotein levels. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 2834-2842.
- Guðrún Marteinsdóttir & Gróa Pétursdóttir 1995. Spatial and temporal variation in reproduction of Icelandic cod at Selvogsbanki and nearby coastal areas. *ICES CM 1995/G:15*.
- Hall, S.J. 1988. The effects of reversal of seasonal changes in photoperiod on the growth and food consumption of cod, *Gadus morhua* L. *Journal of Fish Biology* 32: 783-792.
- Hansen, T., Karlsen, Ø., Taranger, G.L., Hemre, G-I., Holm, J.C. & Kesbu, O.S. 2001. Growth, gonadal development and spawning time of Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared under different photoperiods. *Aquaculture* 203: 51-67.
- Harden Jones, F.R. & Scholes, P. 1974. The effect of low temperature on cod, *Gadus morhua*. *Journal du Conseil international pour l'Exploration de la Mer* 35: 258-271.
- He, P. 1991. Swimming endurance of the Atlantic cod, *Gadus morhua* L., at low temperatures. *Fisheries Research* 12: 65-73.
- Hemre, G-I., Northvedt, R., Sandnes, K. & Lie, Ø. 2000. Oppdrett av torsk: Hurtig vekst uten kjempelever. *Norsk fiskeoppdrett* 25(16): 24-27.
- Hemre, G-I., Taranger, G.L. & Hansen, T. 2002. Gonadal development influences nutrient utilisation in cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 214: 201-209.
- Hjalti Karlsson 2002. *Áframeldi þorsks á Íslandi - Yfirlit og niðurstöður tilrauna*. Fyrirlestur frá fundarferð í maí 2002 á vegum verkefnisins Þorskelði á Íslandi: Stefnumörkun og upplýsingabanki (www.thorskeldi.is/Skjol/FundurMai02/AHjalti.pdf).
- Holm, J.K., Svásand, T. & Wennevik, V. (ritstj.) 1991. *Håndbok i torskeoppdrett - Stamfiskforhold og yngelproduksjon*. Havforskningsinstituttet, Senter for havbruk, 156 bls.
- Hutchins, O. 2002. Ongrowing of cod (*Gadus morhua*) on land and cage sites. *Marine seminar, Glasgow, 18 april 2002. Dana Feed a/s*.
- Isaksen, B. & Midling, K.Ø. 1994. Nytt konsept for å øke fôringskapasitet og redusere dødlighet hos nyfanget levende torsk. Sluttrapport til Effektiviseringsmidlene: Levendefisk - "Svein Frode" prosjektnr: 005:94, Havforskningsinstituttet.
- Isaksen, B. & Midling, K.Ø. 1995. *Fishing strategy, gear modification and new holding tanks in order to keep seine net fish alive*. (Öbirt handrit).
- Isaksen, B. & Saltskår, J. 2003. Fullskalaforsøk med fangst, føring og levering av levende torsk. *Fisken og havet* 8: 1-23.
- Isaksen, B., Midling, K. & Øvredal, J.T. 1993. Dødlighet hos snurrevadfanget torsk etter innsetting i polarcirkelmerd. Havforskningsinstituttet. *Rapport fra Senter for marine ressursar* 18.
- Jahnsen, T. (ritstj.) 1988. Torsk som oppdrettsfisk - Det biologiske grunnlag, etablering og drift, økonomi og markedsføring. *En rapport fra "Myreprosjektet"*. Tromsø, 179 bls.
- Jobling, M. 1988. A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquaculture* 70: 1-19.
- Jobling, M., Knudsen, R., Pedersen P.S. & dos Santos, J. 1991. Effects of dietary composition and energy content on the nutritional energetics of cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture* 92: 243-257.
- Jobling, M., Meløy, O.H., dos Santos, J. & Christiansen, B. 1994. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history. *Aquaculture International* 2: 75-90.
- Jón Gunnar Schram 2002. *Eldi á villtum þorski (Gadus morhua) í kvíum*. M.S.-ritgerð í sjávarútvegsfræðum. Háskóli Íslands, 195 bls.
- Jón Jónsson 1949. Spawning off the North coast. *Annales Biologiques* 4: 35-37.
- Kao, M.H. & Fletcher, G.L., 1988. Juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) can be more freeze resistant than adults. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45: 902-905.
- Karlsen, Ø. 2002. Tilvekst hos torsk. Í: Glette, J., van der Meer, T., Olsen, R.E. & Skilbrei, O. (ritstj.), *Havbruksrapport 2002. Fisken og havet, særnr. 3: 74-76*.
- Karlsen, Ø. & Adoff, G.R. 2003. Oppdrett av torsk. Í: Ervik, A., Kiessling, A., Skilbrei, O. & van der Meer, T. (ritstj.), *Havbruksrapport 2003. Fisken og havet, særnr. 3: 28-30*.
- Karlsen, Ø. & Taranger, G.L. 2003. Kan lysstyring løse problemet med tidlig kjønnsmodning i matfiskoppdrett av torsk? *Havforskningsnytt* nr. 5.
- Karlsen, O., Holm, J.C. & Kjesbu, O.S. 1995. Effects of periodic starvation on reproductive investment in first-time spawning Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture* 133: 159-170.
- Karlsen, O., Taranger, G.L., Dahle, R. & Norberg, B. 2000. Effects of exercise and continuous light on early sexual maturation in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). Í: Norberg, B. [et al.] (ritstj.), *Reproductive Physiology of Fish. Proceedings of the 6th symposium*. Bergen 1999, bls. 328-330.

- Khan, R.A., Lee, E.M., & Baker, D. 1990. *Lernaecera branchialis*: a potential pathogen to cod ranching. *Journal of Parasitology* 76: 913-917.
- Kjesbu, O.S. 1989. The spawning activity of cod, *Gadus morhua* L. *Journal of Fish Biology* 34: 195-206.
- Kjesbu, O.S. 1994. Time of start of spawning in Atlantic cod (*Gadus morhua*) females in relation to vitellogenic oocyte diameter, temperature, fish length and condition. *Journal of Fish Biology* 45: 719-735.
- Kjesbu, O.S. & Holm, J.C. 1994. Oocyte recruitment in first-time spawning Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to feeding regime. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 1893-1898.
- Kjesbu, O.S., Klungsoyr, J., Kryvi, H., Witthames, P.R. & Walker, M.G., 1991. Fecundity, atresia, and egg size of captive Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to proximate body composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 2333-2343.
- Kjesbu, O.S., Solemdal, P., Bratland, P. & Fonn, M. 1996. Variation in annual egg production in individual captive Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 610-620.
- Knudsen, R. 1997. RUBIN-fôret. Utprøving av vakumpumpe til utfôring. Stiftelsen RUBIN. Rapport nr. 302/64.
- Kock, K.-H. 1975. Über die haltung von Dorschen (*Gadus morhua* L.) in Netzkäfigen. *Archiv für Fischereiwissenschaft* 26: 35-48.
- Kvenseth, P.G. & Borthen, J. 2002. Torskeoppdrett - Norges nye vekstnæring? *Norsk fiskeoppdrett* 27(3): 34-36.
- Kvenseth, P.G., Winter, U., Hempel, E. & Fagerholt, A.F. 2000. *Torskeutredningen for SND*. KPMG, Trondheim. 110 bls.
- Lall, S.M. & Nanton, D. 2002. Nutrition of Atlantic cod. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada* 102-1: 23-26.
- Lambert, Y. & Dutil, J.D. 2000. Energetic consequences of reproduction in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to spawning level of somatic energy reserves. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 815-825.
- Lambert, Y. & Dutil, J.D. 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture* 192: 233-247.
- Lambert, Y., Dutil, J.-D. & Munro, J. 1994. Effects of intermediate and low salinity conditions on growth rate and food conversion of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 1569-1576.
- Lee, E.M. 1988. Commercial cod farming operations Newfoundland 1988. *Canadian Industry Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 201: 1-52.
- Lie, Ø., Lied, E. & Lambertsen, G. 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*): fat versus protein content in the feed. *Aquaculture* 69: 333-341.
- Lie, Ø., Lied, E. & Lambertsen, G. 1989a. Feed attractants for cod (*Gadus morhua*). *Fiskeridirektoratets Skrifter, Serie Ernæring* 11(7): 227-233.
- Lie, Ø., Julshamn, K., Lied, E. & Lambertsen, G. 1989b. Growth and feed conversion in cod (*Gadus morhua*) on different feeds, retention of some trace elements in the liver. *Fiskeridirektoratets Skrifter. Serie Ernæring* 11(7): 235-244.
- Lied, E., Lie, Ø. & Lambertsen, G. 1985. Nutritional evaluation in fish by measurement of *in vitro* protein synthesis in white trunk muscle tissue. Í: Cowey, C.B., Mackie, A.M. and Bell, J.G. (ritstj.), *Nutrition and feeding in fish*. Academic Press, London, bls. 169-176.
- Lied, E., Lie, Ø. & Lambertsen, G. 1989. Fôring av oppdrettstorsk. *Fiskets Gang* 75(6): 12-14.
- Love, R.M. 1960. Water content of cod (*Gadus callarias* L.) muscle. *Nature* 185: 692.
- Love, R.M., 1980. *The chemical biology of fishes*. Vol. 2. Academic Press, 943 bls.
- Løkkeborg, S. 1998. Feeding behaviour of cod, *Gadus morhua*: activity rhythm and chemically mediated food search. *Animal behaviour* 56: 371-378.
- Midling, K.Ø. 1995. Ny mottaksmerd for levende torsk. *Norsk Fiskeoppdrett* 20(13): 69.
- Midling, K.Ø. 1998. Mottaksmerd for snurrevadfanget torsk. *Rapport Fiskeriforskning* 16: 1-15.
- Midling, K.Ø. & Isaksen, B. 1995. *New netpen constructions to increase surviving rate during acclimatisation of seine net captured cod (Gadus morhua L.) for aquaculture*. Presented at the Fourth Asian Fisheries Forum - 16.-20. October 1995, Beijing, China.
- Midling, K. Ø., Ås, K., Isaksen, B., Pettersen, J. & Jørgensen, S.H. 1998. A new design in transportation and net cage technology for live seafood and aquacultural purposes. *ICES CM 1998/L15*, 7 bls.
- Milliken, H.O., Farrington, M., Carr, H.A. & Lent, E. 1999. Survival of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the Northwest Atlantic longline fishery. *MTS Journal* 33(2): 19-24.
- Moir, J. 2002. *Cod farming i Canada - An update*. Marine seminar, Glasgow, 18 April 2002. Dana Feed a/s.
- Murphy, H. 2002. Status of cod growout in Newfoundland. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada* 102-1: 18-22.
- Næss, A., Gausen, M., Hovden, N. & Alvestad, A. 2003. Oksygen kan gi forbedringer. *Norsk fiskeoppdrett* 28(5): 38-41.
- Odense, P., Bordeleau, A. & Guilbault, R. 1966. Tolerance levels of cod (*Gadus morhua*) to low salinity. *Journal of Fisheries Research Board of Canada* 23: 1465-1467.
- Olafsen, T. & Dervå, J.M. 2002. Muligheter og risiko ved oppdrettet av torsk. *Norsk fiskeoppdrett* 27(4): 28-31.

- Ólafur Karvel Pálsson 1985. Fæða þorsks á togaramiðum. *Sjómannablaðið Víkingur* 45: 22-28.
- Ólafur Karvel Pálsson. Útbreiðsla og magn þorskungviðis við Ísland. Í: Björn Björnsson & Valdimar Ingi Gunnarsson (ritstj.), Þorskelði á Íslandi. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 111: 29-40.
- Ólafur Karvel Pálsson, Haraldur A. Einarsson & Höskuldur Björnsson 2003. Survival experiments of undersized cod in a hand-line fishery at Iceland. *Fisheries Research* 61: 73-86.
- Olsen, S. & Soldal, A.V. 1989. Observations in inshore distribution and behavior of 0-group northeast Arctic cod. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil international pour l'Exploration de la Mer* 191: 296-302.
- Ólöf Dóra Bartels Jónsdóttir, Albert K. Imsland, Anna K. Daníelsdóttir, Vilhjálmur Þorsteinsson & Nævdal, G. 1999. Genetic differentiation among Atlantic cod in south and south-east Icelandic waters: synaptophysin (*Syp I*) and haemoglobin (*HbI*) variation. *Journal of Fish Biology* 54: 1259-1274.
- Ólöf Dóra Bartels Jónsdóttir, Anna K. Daníelsdóttir & Nævdal, G. 2001. Genetic differentiation among Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in Icelandic waters: temporal stability. *ICES Journal of Marine Science* 58: 114-122.
- Ólöf Dóra Bartels Jónsdóttir, Albert K. Imsland, Anna K. Daníelsdóttir & Guðrún Marteinsdóttir 2002. Genetic heterogeneity and growth properties of different genotypes of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) at two spawning sites off south Iceland. *Fisheries Research* 55: 37-47.
- Otterå, H. & Folkvord, A. 1993. Allometric growth in juvenile cod (*Gadus morhua*) and possible effects on cannibalism. *Journal of Fish Biology* 43: 643-645.
- Óttar Már Ingvason 2002. Veiðar á þorski til áframeldis með leiðigildrum. *Stafnbúi, Tímarit nema við sjávarútvegsdeild Háskólans á Akureyri* 10: 26-29.
- Pawson, M.G. 1977. Analysis of a natural chemical attractant for whiting *Merlangius merlangus* L. and cod *Gadus morhua* L. using a behavioural bioassay. *Comparative Biochemistry and Physiology* 56A: 129-135.
- Pedersen H.-P. 1997. Levendefiskteknologi for fiskefartøy. Doktor ingeniøravhandling, Institutt for marin prosjektering, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. *MTA-rapport* 119. (ISBN 82-471-0142-4).
- Pedersen, T. & Jobling, M. 1989. Growth rates of large, sexually mature cod, *Gadus morhua*, in relation to condition and temperature during an annual cycle. *Aquaculture* 81: 161-168.
- Plante, S., Chabot, D. & Dutil, J.-D. 1998. Hypoxia tolerance in Atlantic cod. *Journal of Fish Biology* 53: 1342-1356.
- Porter, M.J.R., Stefansson, S.O., Nyhammer, G., Karlsen, Ø., Norberg, B. & Bromage, N.R. 2000. Environmental influences on melatonin secretion in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) and their relevance to commercial culture. *Fish Physiology and Biochemistry* 23: 191-200.
- Provencher, P., Munro, J. & Dutil J.-D. 1993. Osmotic performance and survival of Atlantic cod (*Gadus morhua*) at low salinities. *Aquaculture* 116: 219-231.
- Provencher, L., Bryl, P., Gendron, A., Roy, F. & Boyer J. 1995. Essais d'alimentation de la morue franche (*Gadus morhua*). *Rapport canadien a l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques* 228: 1-29.
- Purchase, C.F. & Brown, J.A. 2001. Stock-specific changes in growth rates, food conversion efficiencies and energy allocation in response to temperature change in juvenile Atlantic cod. *Journal of Fish Biology* 58: 36-52.
- Purchase, C.F., Goddard, S.V. & Brown, J.A. 2001. Production of antifreeze glycoproteins in cultured and wild juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in a common laboratory environment. *Canadian Journal of Zoology* 79: 610-615.
- Puvanendran, V. & Brown, J.A. 1998. Effect of light intensity on the foraging and growth of Atlantic cod larvae: interpopulation difference? *Marine Ecology Progress Series* 167: 207-214.
- Puvanendran, V. & Brown, J.A. 2002. Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture* 214: 131-151.
- Rannsóknarráð ríkisins 1992. Fiskeldi og sjávarbúskapur. Skýrsla starfshóps Rannsóknaráðs um fiskeldi *Rannsóknarráð ríkisins Rit* 1992(1), 140 bls.
- Robertson, D. 2002. Joint cod venture. *Fish farming international*, April, bls. 29.
- Rødseth O.M. & Tangerås A. 2002. Forebyggende helsearbeid. Muligheter og begrensninger ved bruk av vaksiner. Í: J. Glette, van der Meer, T., Olsen, R.E. & O. Skilbrei (ritstj.), *Havbruksrapport 2002. Fisker og havet, særnr. 3*: 97-100.
- Rätz, H.-J. & Lloret, J. 2003. Variation in fish condition between Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks, the effect on their productivity and management implications. *Fisheries Research* 60: 369-380.
- Saunders, R.L. 1963. Respiration of the Atlantic cod. *Journal of Fisheries Research Board of Canada* 20: 373-386.
- Scholz, U. & Waller, U. 1992. The oxygen requirements of three fish species from the German Bight: cod *Gadus morhua*, plaice *Pleuronectes platessa*, and dab *Limanda limanda*. *Journal of Applied Ichthyology* 8: 72-76.
- Schurmann, H. & Steffensen, J.F. 1992. Lethal oxygen level at different temperatures and the preferred temperature during hypoxia of the Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Journal of Fish Biology* 41: 927-934.
- Schurmann, H. & Steffensen, J.F. 1994. Spontaneous swimming activity of Atlantic cod *Gadus morhua* exposed to graded hypoxia at three temperatures. *Journal of Experimental Biology* 197: 129-142.

- Sigurður Helgason, Matthías Eydal, Slavko H. Bambir, Árni Kristinsson, Ragnhildur Þ. Magnadóttir, Margrét Jónsdóttir & Steinunn Árnadóttir 2003. Sjúkdómar og snikjudýr í þorskseiðum (0+ og 1+) við Ísland. *Árskýrsla 2002. Tilraunastöð Háskóla Íslands í meinafræði að Keldum*, bls. 38-39.
- Singh-Renton, S. & Bromley, P.J. 1996. Effects of temperature, prey type and prey size on gastric evacuation in small cod and whiting. *Journal of Fish Biology* 49: 702-712.
- Soldal, A.V. 1988. Kan vill torskøyngel brukes som settefisk? *Norsk fiskeoppdrett* 13(8): 38-39, 50.
- Soofiani, N.M. & Friede, I.G. 1985. Aerobic metabolic scope and swimming performance in juvenile cod, *Gadus morhua* L. *Journal of Fish Biology* 26: 127-138.
- Staurnes, M., Rainuzzo, J.R., Sigholt, T. & Joergensen, L. 1994a. Acclimation of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to cold water: stress response, osmoregulation, gill lipid composition and gill Na-K-ATPase activity. *Comparative Biochemistry and Physiology* 109A: 413-421.
- Staurnes, M., Sigholt, T., Pedersen, H.P. & Rustad, T. 1994b. Physiological effects of simulated high-density transport of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 119: 381-391.
- Strutt, I. 2003a. Ship on-grows bluefin tuna. *Fishing News International* 42(7): 1.
- Strutt, I. 2003b. Floating hatchery and fish 'factory' plan - We can restock the sea. *Fishing News International* 42(8): 1-2.
- Steingrímur Jónsson 1999. Temperature time series from Icelandic coastal stations. *Rit Fiskideildar* 16: 59-68.
- Steingrímur Jónsson 2001. Hitafar við strendur Íslands með tilliti til fiskeldis. *Ægir* 94(1): 30-33.
- Steingrímur Jónsson 2004. Sjávarhiti, straumar og súrefni í sjónum við strendur Íslands. Í: Björn Björnsson og Valdimar Ingi Gunnarsson (ritstj.), Þorskeldi á Íslandi. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 111: 9-20.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1972. *A practical handbook of seawater analysis. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 167: 1-203.
- Sundnes, G. 1957a. Notes on the energy metabolism of the cod (*Gadus callarias* L.) and the coalfish (*Gadus virens* L.) in relation to body size. *Fiskeridirektoratets skrifter. Serie Havundersøkelser* 11(9): 3-10.
- Sundnes, G. 1957b. On the transport of live cod and coalfish. *Journal du Conseil international pour l'Exploration de la Mer* 22: 191-196.
- Sundnes, G. & Kjelstrup-Olsen, F. 1966. Utvidet landtransport av levende torsk. *Fisken og havet* 3: 9.
- Svåsand, T., Jørstad, K.E., Otterå, H. & Kjesbu, O.S. 1996. Differences in growth performance between Arcto-Norwegian and Norwegian coastal cod reared under identical conditions. *Journal of Fish Biology* 49: 108-119.
- Taranger, G.L. 2002. Kjønnsmodning hos torsk. Í: Glette, J., van der Meeren, T., Olsen, R.E. & Skilbrei, O. (ritstj.), *Havbruksrapport 2002. Fisken og havet, særnr. 3: 77-79.*
- Taranger, G.L., Karlsen, Ø., Dahle, R., Norberg, B., Aardal, L. & Hansen, T. 2003. *Lysstyring av vekst og kjønnsmodning hos torsk - hvor mye lys trenger en?* Foredrag på Nettverksmøde, Status på torsk. 12.-13. februar 2003, Bergen, Norge.
- Temming, A. & Andersen, N.G. 1994. Modelling gastric evacuation without meal size as variable. A model applicable for the estimation of daily ration of cod (*Gadus morhua* L.) in the field. *ICES Journal of Marine Science* 51: 429-438.
- Timmons, M.B., Ebling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. & Vinci, B.J. 2002. *Recirculating aquaculture systems*. 2nd edition. Cayuga Aqua Ventures, 769 bls.
- Tyler, A.V. 1970. Rates of gastric emptying in young cod. *Journal of Fisheries Research Board of Canada* 27: 1177-1189.
- Unnsteinn Stefánsson 1991. *Hafræði I. Háskólaútgáfan, Reykjavík*, 413 bls.
- Valdimar Ingi Gunnarsson 1988. Strandeldi á Íslandi - Líffræðilegar forsendur og arðsemi laxeldis. *Sjávarfréttir* 16(2): 45-53.
- Valdimar Ingi Gunnarsson 1992. Þorskur í matfiskeldi. *Sjávarfréttir* 20(1): 20-28.
- Valdimar Ingi Gunnarsson & Björn Björnsson 2001. Rannsóknir, eldi og hafbeit þorsks á Íslandi. *Sjávarútvegurinn, vefrit um sjávarútvegsmál* 1(1): 1-8. (www.sjavarutvegur.is/teng/sjavarutvegurinn.htm)
- Valdimar Ingi Gunnarsson, Björn Björnsson, Erlendur Steinar Friðriksson, Jón Örn Pálsson, Karl Már Einarsson, Ketill Elíasson, Kristinn Hugason, Óttar Már Ingvason, Sindri Sigurðsson & Þórarinn Ólafsson 2003. Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2002. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 100: 1-26.
- van der Meeren, T. 2002. Gyting, innsamling, inkubering og klekking av egg. Í: Glette, J., van der Meeren, T., Olsen, R.E. & Skilbrei, O. (ritstj.), *Havbruksrapport 2002. Fisken og havet, særnr. 3: 64-69.*
- van der Meeren, T. & Ivannikov, V. 2001. Yngelproduksjon av gadoider: Utvikling av intensiv oppdrettsmetode for torsk og hyse. *Fisken og havet* 2: 1-25.
- van der Meeren, T., Jørstad, K.E., Solemdal, P. & Kjesbu, O.S. 1994. Growth and survival of cod larvae (*Gadus morhua* L.): comparative enclosure studies of Northeast Arctic cod and coastal cod from western Norway. *ICES Marine Science Symposia* 198: 633-645.
- Vilhjálmur Þorsteinsson & Björn Knúttsson 1997. Vöxtur þorsks í áframeldi í sjókvíum í Norðfirði 1994 til 1996. *Eldisfréttir* 13(1): 37-42.
- Waiwood, K.G., Smith, S.J. & Petersen, M.R. 1991. Feeding of Atlantic cod (*Gadus morhua*) at low

temperatures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 824-831.

Winger, P. D., He, P. & Walsh, S. J. 2000. Factors affecting the swimming endurance and catchability of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 57: 1200-1207.

Wroblewski, J.S. & Hiscock, H.W. 2002. Enhancing the reproductive potential of local populations of coastal Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1685-1695.

Wroblewski, J.S., Hiscock, H.W. & Bradbury, I.R. 1999. Fecundity of Atlantic cod (*Gadus morhua*) farmed for stock enhancement in Newfoundland bays. *Aquaculture* 171: 163-189.

Yetman, L. 1999. *A growers guide to small scale cod grow-out operation*. Department of Fisheries and Oceans, Canada. 44 bls.

Þór Jakobsson 2002. *Hafís við strendur Íslands*. Stefnunótunarfundur í þorskeldi, haldinn í Reykholti í Borgarfirði, 17.-18. október 2002, 19 bls. (www.thorskeldi.is/Skjol/stefnufund/Thorjakobs.pdf)

Netheimildir

1. Verðlagsstofa skiptaverðs (www.verdlagsstofa.is).
 2. Hafrannsóknastofnunin, sjávarhitamælingar við strendur Íslands (<http://www.hafro.is/~argos/siritar/siritar.html>)
 3. Open Ocean Aquaculture Program at the University of New Hampshire (www.ooa.unh.edu).
 4. Itzasi Aquaculture (www.itzasi.com).
-