

**Pro gradu –tutkielma**

**Ruokintarytmin vaikutus kuhan, *Sander lucioperca* (L.),  
kasvuun, ravinnonkulutukseen ja fysiologiaan**

**Jaakko Mattila**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Kalabiologia ja kalatalous

27.5.2008

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Kalabiologia ja kalatalous

MATTILA JAAKKO, J.: Ruokintarytmin vaikutus kuhan, *Sander lucioperca* (L.), kasvuun, ravinnonkulutukseen ja fysiologiaan

Pro gradu:

Työn ohjaajat: FT Juhani Pirhonen, FT Juha Koskela

Tarkastajat: FT Juha Koskela, FK Tapio Keskinen

Toukokuu 2008

---

Hakusanat: Kuha, *Sander lucioperca*, ruokintarytmi, kompensatiokasvu, hyperfagia

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuinka hyvin kuha pystyy kompensoimaan eripituisia paastojaksoja yhdellä ruokintakerralla ja miten erilaiset ruokintarytmit vaikuttavat kuhan kasvuun, ravinnonkulutukseen ja fysiologisiin ominaisuuksiin, kuten mahan tilavuuteen, kuntokertoimeen ja koostumukseen. Kokeessa käytetyt ruokintarytmit olivat päivittäinen ruokinta (kontrolli), ruokinta joka toinen päivä, ruokinta joka neljäs päivä ja ruokinta kerran viikossa. Koe kesti 58 päivää. 1+ -ikäiset kuhat ruokittiin ruokintarytmin mukaisesti kylläisyyteen asti kirjolohifileen paloilla. Joka toinen päivä ruokitut kuhat pystyivät kompensoimaan paastopäivät lähes täydellisesti eikä niiden loppumassa eronnut kontrollikuhista tilastollisesti merkitsevästi. Joka toinen päivä ruokitut kuhat kompensoivat paastopäivät lisäämällä suhteellista ravinnonkulutustaan (hyperfagia). Joka neljäs päivä sekä kerran viikossa ruokitut kuhat jäivät kasvussa selvästi kontrollikuhista, mutta pyrkivät kompensoimaan paastopäivät lisäämällä suhteellista ravinnonkulutustaan. Rehukertoimet eivät eronneet käsittelyjen välillä kokeen aikana. Mahan suhteellinen tilavuus (ml/kuhan massa g) kasvoi paastojakson pidentessä; kerran viikossa ruokittujen kuhien mahan suhteellinen tilavuus oli noin nelinkertainen verrattuna kontrollikuhisiin. Suolistorasvan määrä oli suurin kontrollikuhilla ja pieneni paastojakson kasvaessa. Koostumusanalyysin perusteella kontrollikuhien ruumiin rasvan määrä, kuiva-aineen osuus sekä energiapitoisuus olivat suurimpia ja pienenevät paastojakson kasvaessa. Ruokintarytmikokeen perusteella kuhat voivat sopeutua harvaan ruokintaan ja kompensoida paastopäiviä. Sopivalla ruokintarytmillä voidaan vähentää ruokintatyön määrää kasvun liiemmin huonontumatta sekä vaikuttaa kalan koostumukseen.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science

Fish Biology and Fisheries

MATTILA JAAKKO, J.: The effects of feeding regime on growth, food consumption and physiology in pike-perch, *Sander lucioperca* (L.)

Master of Science Thesis:

Supervisors: Ph.D. Juhani Pirhonen, Ph.D. Juha Koskela

Inspectors: Ph.D. Juha Koskela, M.Sc. Tapio Keskinen

May 2008

---

Key Words: Pike-perch, *Sander lucioperca*, feeding regime, compensation growth, hyperphagia

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine how well pike-perch can compensate starvation periods of different lengths during one feeding time and how different feeding regimes affect growth, food consumption and physiology like the volume of stomach, condition factor and body composition. In this study we used four different feeding regimes: daily feeding (control), feeding every other day, every fourth day and once a week. The experiment lasted for 58 days. 1+ -age pike-perch were fed with pieces of rainbow trout fillets according to feeding regime to satiation. Pike-perch that were fed every other day were able to compensate starvation periods almost completely by increasing their relative feed intake (hyperphagia) and the final weight did not differ significantly from control group. Growth in groups that were fed every four days and once a week was slower. No differences were found in feed conversion ratio between feeding regimes during experiment. The relative volume of stomach (ml/ fish mass g) increased with starvation period; fishes fed once a week had four times larger relative stomach volume compared to control group. Amount of visceral fat was highest in control group and was lowered with longer starvation period. According to body composition analysis, the fat content, dry matter proportion and energy content of body were highest in control group and was lowered with longer starvation period. This study suggests that pike-perch can adapt rare feeding times and as such, working hours used for feeding can be decreased without affecting growth. However, a decrease in feeding frequency decreases the amount of fat.

# Sisältö

<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. TUTKIMUKSEN TAUSTA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Kuhien kudettaminen ja kasvatus istutuksiin .....	6
2.2. Kuhan kasvatus ruokakalaksi .....	6
2.2.1 Markkinat ja kysyntä .....	6
2.2.2 Alkukasvatus .....	7
2.2.3 Lämpötila .....	7
2.2.4 Kannibalismi .....	8
2.2.5 Valon määrä .....	8
2.3 Kompensaatiokasvu .....	9
2.3.1 Mitä kompensaatiokasvu on ja mistä se aiheutuu .....	9
2.3.2 Kompensaatiokasvun mekanismit .....	9
2.3.3 Kompensaatiokasvun erilaiset muodot .....	10
<b>3. AINEISTO JA MENETELMÄT .....</b>	<b>11</b>
3.1 Koetilat ja koeasetelma .....	11
3.2 Veden lämpötila ja laatu .....	12
3.3 Koekalat .....	13
3.4 Ruokinta .....	13
3.5 Mittaukset ja aineiston käsittely .....	13
<b>4. TULOKSET .....</b>	<b>15</b>
4.1 Massa ja pituus .....	15
4.2 Kasvukerroinprosentti SGR .....	16
4.3 Mahan tilavuus .....	17
4.4 Suolistorasva .....	17
4.5 Kuntokerroin .....	18
4.6 Ravinnon kulutus .....	20
4.6.1 Absoluuttinen ravinnonkulutus .....	20
4.6.2 Suhteellinen ravinnonkulutus .....	23
4.6.3 Rehukerroin .....	24
4.7 Veren kortisoliarvot .....	24
4.8 Koostumus ja ravinnonkäytön retentio .....	25
<b>5. TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>26</b>
5.1 Kasvu ja kasvunopeus .....	26
5.2 Ravinnon kulutus .....	27
5.3 Kuntokerroin ja mahan tilavuus .....	28
5.4 Suolistorasva, koostumus ja retentio .....	29
<b>6. YHTEENVETO .....</b>	<b>30</b>
<b>Kiitokset .....</b>	<b>31</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>31</b>

## 1. JOHDANTO

Ruokakalan kasvatusta Suomessa perustuu suurelta osin kirjoloheen. Suomessa kasvatettiin vuonna 2006 yhteensä noin 12,9 miljoonaa kiloa ruokakalaa, josta 12,0 miljoonaa kiloa oli kirjolohta (Anon. 2007). Siikaa oli noin 0,8 miljoonaa kiloa. Viljelyn ollessa lähes yksinomaan kirjolohta heijastuvat kirjolohen kysynnän muutokset voimakkaasti koko kalankasvatuksen elinkeinoon (Koskela ym. 2005). Uudet viljelylajit on maailmanlaajuisesti nähty mahdollisuudeksi, jonka avulla kalatalouselinkeinot voivat tulevaisuudessa menestyä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa käynnistettiin vuonna 1996 laaja tutkimushanke, jonka tavoitteena on edistää uusien ruokakalan tuotantoon sopivien lajien pääsyä kalamarkkinoille. Tutkimuksen kohteena on ollut siika, kuha ja ahven. Näiden tutkimusten tuloksena siika on osoittautunut potentiaaliseksi kasvatuskalaksi ja sen ruokakalatuotanto onkin lähtenyt selvään nousuun (Kankainen ym. 2007).

Markkinoita valkolistaiselle kalalle Suomessa on kuitenkin edelleen. Kuhaa arvostetaan ruokakalana ja kiinnostus lajin kasvatukseen on lisääntynyt markkinoiden kasvun myötä (Koskela ym. 2005). Suomessa kuhanviljely on ollut tähän asti pääasiassa poikastuotantoa istutuksia varten. Luonnonravintolammikoissa tuotettiin vuonna 2006 11,9 miljoonaa kuhanpoikasta, joista 25 000 yksilöä jatkokasvatuksiin (Anon. 2007). Mahdollisuudet kuhan ruokakalakasvatukseen ovat vielä heikot, koska kasvatuksessa on useita ongelmakohtia joiden ratkaiseminen on edellytyksenä lajin saamiseksi ruokakalatuotantoon. Esimerkiksi syömään opettelevan poikasen pieni koko, kannibalismi sekä lajin valonarkuus ja lämpötilavaatimukset vaativat uusia viljelytekniikoita.

Kompensaatiokasvua on tutkittu useilla kalalajeilla. Kompensaatiokasvu tarkoittaa normaalia suurempaa kasvunopeutta johtuen aikaisemmasta huonosta kasvusta, joka on ollut seurausta huonoista kasvuolosuhteista kuten ravinnon saatavuudesta, lämpötilasta tai muusta ympäristötekijästä (Jobling 1994). Olosuhteiden parantuessa, kuten ravintomäärän kasvaessa, kala saattaa kompensoida aikaisemman huonon kasvun syömällä enemmän ja/tai käyttämällä ravinnon paremmin hyödyksi. Kompensaatiokasvua on havaittu useissa tutkimuksissa etenkin lohikaloilla (Jobling & Koskela 1996, Nikki ym. 2004, Nykänen 2006). Kompensaatiokasvu voi olla täydellistä, jolloin kala saavuttaa paastojakson jälkeen saman massan verrattuna esim. päivittäin ruokaa saaneeseen kalaan. Osittaisessa kompensaatiossa kalan kasvunopeus kasvaa keskimääräiseen verrattuna paastojakson jälkeen, mutta ei saavuta kuitenkaan painoa, johon päivittäisellä ruokinnalla olisi päästy. Ylikompensaatiossa ravinnonotto ja käyttötehokkuus taas kasvavat niin paljon, että voidaan saavuttaa suurempi massa kuin säännöllisesti ruokaillella kalalla.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuinka hyvin kuha pystyy kompensoimaan yhdellä ruokintakerralla aikaisemman paastojakson. Aikaisempaa tutkimusta kuhan kompensaatiokasvusta ei ole. Tämä koe ei kuitenkaan ole perinteinen kompensaatiokasvukoe, koska ruokintajaksoa ei jatketa paaston jälkeen, vaan kertaruokintaa seuraa aina uusi paastojakso. Tällaisen tutkimuksen voidaan olettaa palvelevan paremmin ruokalakasvatusta, koska tuloksena saadaan tietoa siitä, kuinka pienellä ruokintatyön määrällä voidaan kuhaa vielä kasvattaa kasvun suuremmin kärsimättä. Kokeen tarkoituksena on myös absoluuttisen kasvun lisäksi selvittää kuinka erilaiset ruokintarytmit vaikuttavat kalan ravinnonottoon ja fysiologisiin ominaisuuksiin kuten mahan tilavuuteen, ruumin rasvavarastojen kokoon, kuntokertoimeen sekä kalan koostumukseen. Tutkimus on osa Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ”Uusi Aalto” – kalankasvatushanketta.

## 2. TUTKIMUKSEN TAUSTA

### 2.1. Kuhien kudettaminen ja kasvatustutuksiin

Kuhan kasvattaminen vankeudessa perustuu yleensä emokalojen kudettamiseen lammikoissa, altaissa tai verkkosumpuissa (Steffens ym. 1996). Steffensin ym. (1996) mukaan helpoin menetelmä Saksassa on ollut kuhan kudettaminen lammikossa. Mahdollisina menetelminä voivat toimia myös kudettaminen keinotekoiselle alustalle altaissa tai verkkosumpuissa. Myös keinotekoisista hedelmöitystä voidaan käyttää lypsämällä emokaloja. Luonnollisessa kudettamisessa lammikoissa voidaan käyttää apuna karpikalajoja jotka ovat ravintona kuteville kuhille. Kuteminen tapahtuu lämpötilan ollessa 12–15 °C. Emokalat ovat yleensä yli 3-4 vuotiaita, naaraat vähimmäismassaltaan 0,8 kg ja koiraat 0,6 kg (Schlumberger & Proteau 1996).

Suomessa kuhanviljely on keskittynyt tuottamaan luonnonravintolammikoissa kesänvanhoja kuhanpoikasia istutuksiin (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996). Emokalat pyydetään järvistä, joissa on hyvä luonnollinen kuhapopulaatio tai varsinaisista emokalajärvistä. Emokalajärvillä tarkoitetaan pieniä järviä, joihin on istutettu sukukypsiä kuhia. Sukukypsyyden Suomen leveysasteilla saavutetaan 4-6 vuoden iässä massan ollessa 0,5–0,8 kg. Kalat pyydetään ennen kutuaikaa ja siirretään noin 2 metriä halkaisijaltaan ja syvyydeltään oleviin sylinterin muotoisiin verkkosumpuihin pyyntijärveen. Korkeintaan 3 naarasta ja 4 urosta sijoitetaan samaan sumppuun. Sumpun pohjalla mätimunien pesänä on keinotekoinen pinta-alaltaan 0,4 m<sup>2</sup> riisinjuurituro, johon voi tarttua 400 000 mätimunaa. Kun kuteminen on tapahtunut, pesä siirretään välittömästi tyhjään sumppuun. Ennen kuoriutumista pesä siirretään hautomoon, jossa poikaset kuoriutuvat. Muutama päivä kuoriutumisen jälkeen poikaset voidaan siirtää luonnonravintolammikkoon. (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996).

Luonnonravintolammikkoon istutetut kuhanpoikaset käyttävät luonnonravintoa. Poikaset syövät ruskuaispussivaiheen jälkeen rataseläimiä (Rotatoria), hankajalkaisäyriäisten (Copepoda) naupliustoukkia ja vesikirppuja (Cladocera) (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996). Poikasten kasvaessa ne siirtyvät suurempiin vesikirppuihin ja hankajalkaisäyriäisiin. Loppukesästä ne saalistavat jo pohjaeläimiä kuten surviaissääsken (Chironomidae) toukkia. Tyypillinen luonnonravintolammikko on kooltaan noin 1-2 ha ja syvyydeltään noin 1-2 metriä. Uusissa altaissa on yleensä riittävästi orgaanista ainesta ravinteiden riittävyys takaamiseksi, mutta vanhoja altaita voidaan joutua lannoittamaan keinotekoisesti. Altaat tyhjennetään kaloista syys-lokakuussa. Vastakuoriutuneita poikasia lammikoihin istutetaan noin 20 000–40 000/ha. Syksyllä tästä määrästä on jäljellä noin 30 %. Poikasten pituus on tällöin noin 6-8 cm. Kannibalismi aiheuttaa kuolleisuutta lammikoissa ja tämä riski kasvaa poikasten kasvaessa kesän edetessä. Jotkut kasvattajat käyttävät suurempia kalatiheyksiä ja aikaisempaa altaan tyhjentämistä kannibalismin haittojen välttämiseksi. (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996).

### 2.2 Kuhan kasvatustutuksiin

#### 2.2.1 Markkinat ja kysyntä

Uusia lajien saamiseksi ruokalatuotantoon tulee ensin selvittää, mihin lajeihin tutkimus kannattaa suunnata ja mitkä ovat näiden lajien viljelyn keskeiset ongelmat (Koskela ym. 1998). Kuhan vahvuutena on melko hyvä kysyntäpotentiaali ja hyvä hintataso markkinoilla sekä viljelyn olematon lämpötilariski. Heikkoutena ovat kuitenkin huonot viljelytekniset mahdollisuudet ja kasvukauden lyhyys Suomen lämpötilaolosuhteissa. Koskelan ym. (2005) mukaan valkealihaiselle kalalle on kasvavaa

kysyntää, mutta sen tarjonta kotimarkkinoille on tasaantunut ja lisääntynyt tuonnin ja kasvatuksen kautta. Tuodun kuhan osuus Suomen markkinoista on ollut viime vuosina noin 30–50 %. Kotimaiset saaliit ovat yli kaksinkertaistuneet 1990-luvun alusta. Kotimaista kuhaa pyydetään eniten keväällä ja syksyllä ja tämän vuoksi saalis on vähäinen talvella ja kesällä. Tuonti vähenee kun kotimaan tarjonta lisääntyy. Tuontikuhan osuus on maaliskuussa ja heinäkuussa noin 80 % kokonaismarkkinoista. Kotimaisen kuhan osuus on puolestaan loka-joulukuussa yhtä suuri. Kasvatetulle kuhalle olisi erityisesti keskitalven kuukausina markkinapotentiaalia.

### 2.2.2 Alkukasvatus

Kuhan kasvatus myytäväksi ruokakalaksi voi toteutua monella tavalla. Ruokintaviljelyn yksi vaikeimmista osa-alueista on mädistä kuoriutumisen jälkeen tapahtuva kalojen alkukasvatus. Erityisen vaativaa alkukasvatus on pienialkioisilla kalalajeilla kuten kuhalla, jolla tuotantoon soveltuvat viljelytekniikat ovat vielä kehitystyön alla. Useissa tutkimuksissa starttivaiheen kasvatus on vaatinut elävän ravinnon käytön. Jokelainen & Koskela (2007) tutkivat kokeessaan erilaisten ravintojen soveltuvuutta alkukasvatukseen. Ravinnot olivat kaupallinen kuivarehu, Artemia-äyriäinen sekä näiden ravintojen 1-3 viikkoa kestävä yhteisruokinta. Paras tulos saatiin, kun kuhan poikasille annettiin samanaikaisesti elävää Artemiaa ja kuivarehua. Riittävä yhteisruokintajakson pituus oli 2-3 viikkoa, jonka jälkeen voitiin siirtyä pelkkään rehuruokintaan. Tulos pelkällä Artemia-ruokinnalla oli tyydyttävä. Kalojen eloonjänti oli heikompi kuin yhteisruokinnassa. Artemia-ruokinnan haittapuolena oli rehua korkeampi hinta, minkä lisäksi poikaset pitää Artemia-ruokinnan jälkeen totuttaa rehuravinnolle. Pelkkä kuivarehuravinto ei kokeen perusteella soveltunut kuhan poikasten ainoaksi ensiravinnoksi. Kuivarehua saaneet poikaset söivät muita ryhmiä huonommin, kasvoivat hitaammin, pysyivät huonommin elossa ja niillä havaittiin jonkin verran muita ryhmiä enemmän kehityshäiriöitä.

Hyviä alkuruokintatuloksia on saatu myös muissa tutkimuksissa käyttämällä alkuruokinnassa ensin elävää ravintoa ennen siirtymistä kuivarehuun (Kestemont ym. 2007). Ruuhijärven ym. (1991) tutkimuksessa kasvatusaltaissa keinorehulla ja elävällä ravinnolla (Artemia nauplii) kasvatetut poikaset hyväksyivät ravinnon hyvin, mutta kuolleisuus oli suuri ja kasvu huono. Poikasten uimarakon täytyminen voi muodostua ongelmaksi alkukasvatuksessa. Tätä voidaan ehkäistä suihkuttamalla vettä altaan pinnalle pintakalvon muodostumisen estämiseksi. Rasvainen pintakalvo voi olla ongelma etenkin kuivarehulla ruokittaessa. Kasvatettavat kalat voidaan myös siirtää laitosolosuhteisiin luonnonravintolammikkokasvatuksen jälkeen, jolloin poikaset ovat jo kookkaampia ja oppineet syömään luonnonravintoa. Ruuhijärvi & Hyvärinen (1996) mainitsevat artikkelissaan kuhan viljelyn kokeista, joissa kesänvanhat luonnonravintolammikosta altaaseen siirretyt poikaset hyväksyivät kalarehun, mutta kasvu oli heikkoa.

### 2.2.3 Lämpötila

Kuha on lämpimän veden kalalaji ja Suomessa se elää levinneisyytensä pohjoisrajoilla. On arvioitu että kuhan kasvu on parhaimmillaan 26 ja 30 C° välillä (Willemsen 1978, Hilge & Steffens 1996). Luonnonlämpötiloissa kuhan kasvu on hidasta, koska parhaan kasvun alue on selvästi lämpimämmässä kuin korkeimmat keskilämpötilat Suomessa (Koskela ym. 2005). Koskelan ym. (2005) arvioissa kuhan kasvatus ei laskennan oletusarvoin osoittautunut luonnonlämpötiloissa kannattavaksi. Kasvatuksen saaminen kannattavaksi edellyttäisi kylmempään veteen sopeutunutta kuhakantaa tai luonnonlämpötilaa korkeampia kasvatusolosuhteita. Kuhan kasvatus voisi olla kolmen

vuoden kierrolla kannattavaa, jos kasvatukseen voitaisiin käyttää kuhakantaa, jonka kasvun optimi- ja alarajalämpötila olisivat kaksi tai kolme astetta matalampi kuin keskisuomalaisen kuhan. Keskisuomalaisen kuhan kasvun alalämpötilaraja on alempi kuin Keski-Euroopan kuhalla. Suomen pohjoisimpien kuhakantojen, kuten esimerkiksi Kemijärven kannan, voidaankin olettaa sopeutuneen keskisuomalaista kuhaa viileämpään elinympäristöön.

Koskela ym. (2007) laskivat kuhan ruokakalakasvatuksen kannattavuutta verkkoallaskasvatuksessa ja lämminvesiviljelyssä. Kasvatuksen tarkasteluvaihtoehdot olivat verkkoallaskasvatus luonnonlämpötiloissa, läpivirtauslaitokseen perustuva lämminvesikasvatus, kiertovesilaitokseen perustuva lämminvesikasvatus ja yhdistelmäkasvatus, jossa alkuvaiheessa käytetään kiertovesilaitosta ja loppuvaiheessa verkkoallaslaitosta. Lämminvesilaitoksissa kannattavuus arvioitiin lämpötiloissa 16, 18 ja 20 °C. Viljeltävän kuhan omakustannusarvo (mukaan lukien kaikki tuotantokustannukset) laskee, kun kasvatuslämpötilaa nostetaan. Veden lämmittämisestä aiheutuvat kustannukset ovat siten pienemmät kuin kuhan kasvun nopeutumisesta saatava hyöty. Kuhan kasvatus osoittautui tarkastelluilla menetelmillä ja oletuksilla kuitenkin kannattamattomaksi. Verkkoallas- ja kiertovesikasvatus osoittautuivat potentiaalisimmiksi kasvatusmenetelmiksi kuhan ruokakalaviljelyssä. Kannattava tuotanto edellyttää vielä kasvatustekniikoiden kehittämistä sekä tuotannon optimointia tuotantomäärän ja kustannusten suhteen.

#### 2.2.4 Kannibalismi

Kannibalismi on yksi kuhanviljelyä haittaava ongelma, jota ei ole vielä ratkaistu. Luonnonravintolammikkoviljelyssä kannibalismi aiheuttaa harvoin ongelmia, koska tuotantokyky on usein riittävä kalamäärään nähden ja ravintoa on riittävästi (Ruuhijärvi & Hyvärinen 1996). Mehner ym. (1996) tutkivat kuhan saalistuksen aloittamista ja kannibalismia tekoaltaassa. Kuhanpoikasten havaittiin aloittavan kalaravinnon saalistuksen jo 20 mm:n mittaisena. Kalaravinnon saalistuksen alkamisen katsottiin olevan yhteydessä veden lämpötilan nousuun ja eläinplanktonin määrän laskuun. Jos muita kalalajeja ei ole, kuhanpoikaset kohdistavat saalistuksensa lajitovereihin. Molnar ym. (2004) kasvattivat luonnonravintolammikosta siirrettyjä kuhanpoikasia keinotekoisella rehulla. Neljä viikkoa kestäneessä kasvatuskokeessa suurimman kuolleisuuden aiheutti kannibalismi. Kuhanpoikasien selviytyminen vaihteli 44,2 ja 49,6 %:n välillä, kuolleisuudesta vain 8-14 % aiheutui luonnollisesta kuolleisuudesta. Kannibalismia ja luonnollista kuolleisuutta aiheutui 2-3 ensimmäisen viikon aikana. Jokelaisen & Koskelan (2007) tekemän alkukasvatuskokeen aikana tehtyjen havaintojen perusteella näytti siltä, että kannibaaleja oli eniten Artemia-ryhmän altaissa, joissa myös elossa pysyminen oli yhteisruokintaryhmiä alhaisempi. Saattoi olla, että elävään ravintoon totuneet Artemia-ryhmän poikaset hyökkäsivät muita helpommin lajitoveriensä kimppuun.

#### 2.2.5 Valon määrä

Valon määrä ympäristötekijänä on huomioitava kalankasvatuksessa. Normaalisti nuoret kalat suosivat noin 100 luxin valointensiteettiä (Hilge & Steffens 1996). Suuremmat valointensiteetit voivat aiheuttaa kuolleisuutta. Kuhan poikaset ovat alussa jonkin aikaa valohakuisia, mutta alkavat suosia myöhemmin himmeää valoa. Usein kuhan kasvatuskokeissa käytetään samennettua vettä. Luchiari ym. 2006 testasivat 0+ ja 1+ -ikäisten kuhien valopreferenssiä. Kokeessa testattiin kuhien olinpaikan valintaa 25 ja 300 luxin sekä 1 ja 50 luxin välillä. Molemmat ikäryhmät suosivat himmeämpää valoa. Hämärän valon suosiminen saattaa liittyä kuhan luonnolliseen aktiivisuuteen ja



ruokailutottumuksiin sekä valon haitallisten vaikutusten välttämiseen. Voidaan olettaa että kuhan kasvatus onnistuu parhaiten alhaisella valointensiteetillä poikasvaiheen valohakuisuuden jälkeen.

## 2.3 Kompensaatiokasvu

### 2.3.1 Mitä kompensaatiokasvu on ja mistä se aiheutuu

Rajatun ravinnonsaannin jälkeen, kun ravintoa on taas saatavilla, kalojen kasvunopeuden on useissa tutkimuksissa huomattu kasvavan verrattuna säännöllisesti ravintoa saaneeseen kalaan (esim. Dobson & Holmes 1984, Miglavs & Jobling 1989, Jobling & Koskela 1996, Nikki ym. 2004). Kalat pyrkivät korvaamaan aikaisemman huonon kasvun nopeuttamalla kasvuaan, kun ravinnon saanti on riittävää eli pyrkivät ottamaan kiinni kasvussa sellaiset kalat, jotka ovat saaneet ravintoa tasaisesti ja kasvu on ollut normaalia. Luonnon olosuhteissa kalat ovat tottuneet olemaan syömättä tai heikolla ravinnolla pitkiäkin aikoja esimerkiksi ravintotilanteen, lämpötilan, vedenlaadun tai lisääntymisen takia. Esimerkiksi Atlantin lohen (*Salmo salar*) massa saattaa pudota lisääntymisaikana jopa 30 % (Jobling 1994). Kompensaatiokasvua voi esiintyä myös lämpötilan noustessa. Nicieza & Metcalfe (1997) tutkivat Atlantin lohen kompensaatiokasvua ja he huomasivat lohen kasvunopeuden olevan suurempaa lämpötilan nousun jälkeen verrattuna kaloihin, jotka olivat jatkuvasti korkeammassa lämpötilassa. Kompensaatiokasvua voidaankin pitää sopeumana vaihteleviin ympäristöolosuhteisiin (Maclean & Metcalfe 2001).

### 2.3.2 Kompensaatiokasvun mekanismit

Paastojakson jälkeen kalan nopean kasvun on usein havaittu johtuvan sen normaalia suuremmasta ravinnonotosta (hyperfagia). Nikki ym. (2004) havaitsivat kirjolohen kompensaatiokokeessa kalojen kasvattavan ravinnonottoaan paastojakson jälkeen. Tutkimuksessa käytetyt paastojaksot olivat 2, 4, 8 ja 14 päivää. Paastojakson jälkeen kaloja ruokittiin niin kauan, kunnes päivittäinen ravinnonotto oli laskenut päivittäin ruokituksen kontrollin tasolle tai ruokintajakson pituus oli neljä kertaa paastojakson pituus. 80 koepäivän jälkeen kaksi, neljä ja 14 päivää paastottujen kalojen loppumassa ei eronnut kontrollikaloista. Kompensaatio ilmeni kalojen kasvaneena ravinnonottona, eikä ravinnon käyttötehokkuudessa ollut eroa käsittelyjen välillä. Myös Bull & Metcalfe (1997) havaitsivat talvehtivan nuoren Atlantin lohen kasvattavan ravinnonottoaan huonon ravintotilanteen jälkeen. Hyperfagian keston huomattiin olevan yhteydessä kalan energiavarastojen (rasva) hupenemiseen ja eniten energiavarastoja menettäneillä kaloilla hyperfagia kesti pidempään. Ali & Wootton (2001) paastottivat kolmipiikkejä (*Gasterosteus aculeatus*) 2, 4, ja 6 päivää, jonka jälkeen he ruokkivat kaloja 2 päivää. Kokonaisuudessaan koe kesti 56 päivää. Ravinnonotto ensimmäisenä ruokintapäivänä paaston jälkeen oli suurempi verrattuna päivittäin ruokittuihin, ja syöty määrä oli sitä suurempi mitä pidempi paastojakso oli ollut.

Joissain tutkimuksissa kompensaatiokasvun on todettu johtuvan paremmasta ravinnon käyttötehokkuudesta. Esimerkiksi Boujard ym. (2000) pitivät nuoria kirjolohia paastolla 1, 11 ja 21 päivää ja ruokkivat niitä tämän jälkeen 10 päivää. Kokeessa ravinnon käyttötehokkuus oli merkitsevästi suurempi 11 ja 21 paastotuilla kirjolohilla, kun taas ravinnonotto pieneni paastopituuden kasvaessa. Zhu ym. (2001) pitivät mutuja (*Phoxinus phoxinus*) ja kolmipiikkejä paastolla 1 ja 2 viikkoa. Kalojen ravinnonotto kasvoi paaston jälkeen, mutta vain 2 viikon paastolla olleilla havaittiin ravinnon käyttötehokkuuden olevan kontrollikaloja suurempi.

Vaikka kompensatiokasvu on yleistä eläimillä ja sitä on tutkittu paljon, fysiologiset perusteet tunnetaan vielä huonosti (Jobling 1994). Todennäköisesti kompensatiokasvu on yhteydessä energiavarastojen hupenemiseen, kuten Bull & Metcalfe (1997) huomasivat Atlantin lohen paastokokeessa. Jobling & Miglavs (1993) tutkivat nierian (*Salvelinus alpinus*) ravinnonottoa, kun ruumiin energiavarastot olivat pienentyneet. Ruumiin rasvapitoisuuden huomattiin olevan yhteydessä syötyyn ravinnon määrään; mitä pienemmät rasvavarastot olivat, sitä suurempi oli syöty ravintomäärä. On myös väitetty, että paastotetun kalan metabolianopeus ei nouse heti säännöllisesti ruokitun kalan tasolle, vaan siinä olisi tietyn pituinen viive (Jobling 1994). Tällöin peruselintoimintoihin kuluu suhteessa pienempi määrä ravintoa, jolloin suurempi määrä taas jäisi käytettäväksi kasvuun. Tällä periaatteella selittyisi parempi ravinnon käyttötehokkuus paastojakson jälkeen.

### 2.3.3 Kompensatiokasvun erilaiset muodot

Joissain tapauksissa palautuminen rajoitetusta ruokinnasta voi olla täydellistä eli kala saavuttaa saman massan kuin jatkuvasti ruokittu, jolloin kompensatio on täydellistä (Jobling 1994). Usein kompensatio on kuitenkin osittaista, jolloin rajoitetulla ruokinnalla olleet kalat jäävät pienemmiksi, mutta kompensatiota on kuitenkin jossain määrin havaittavissa. Harvoissa tutkimuksissa on havaittu ylikompensatiota, jolloin paastojakson jälkeen kalat kasvattavat ravinnonottoa ja/tai ravinnon käyttötehokkuutta niin että ohittavat kasvussa päivittäin ruokitut lajitoverit (Hayward ym. 1997).

Nikin ym. (2004) kirjolohen kompensatiokokeessa, jossa kasvun nopeutuminen johtui kasvaneesta ravinnonotosta, 2, 4 ja 14 päivää paastotettujen kalojen loppupaino ei eronnut merkitsevästi päivittäin ruokituista. Kalat siis pystyivät kompensoimaan täysin paastojaksot, lukuun ottamatta 8 päivää paastottuja kaloja. Kokeessa huomattiin myös, että 8 ja 14 päivää paastotut kalat kiihdyttivät kasvunopeuttaan kokeen loppupuolella merkittävästi suuremmaksi kuin kontrollikaloilla. Tästä voidaan päätellä, että kalat saattavat vaatia pitkän ajan tottuakseen pitkiin paastojaksoihin pystyäkseen kompensoimaan menetettyä kasvua riittävästi ruokintajakson aikana. Kokeen perusteella myös ruokintajakson tulee olla pidempi kuin paastojakson täydellisen palautumisen saavuttamiseksi. Quinton & Blake (1990) ruokkivat kirjolohia sykleillä, joissa paasto- ja ruokintajakson pituudet olivat 1, 2 ja 3 viikkoa. Koe kesti 6 viikkoa. Myöskään tässä kokeessa kirjolohien massanlisäys ei eronnut päivittäin ruokituista. Nykänen (2006) kasvatti kirjolohia kahdessa eri lämpötilassa (17,0 ja 20,5 °C) paastojaksojen ollessa 3 ja 6 päivää. Kokeen kesto oli 8 viikkoa. Paaston jälkeen kaloja ruokittiin, kunnes päivittäinen ravinnonotto laski päivittäin ruokittujen tasolle tai kunnes ruokintajakson pituus oli kolme kertaa paastojakson pituus. Lämpötilassa 20,5 °C paastottujen kalojen loppupaino ei eronnut merkitsevästi kontrollikaloista, eikä myöskään lämpötilassa 17 °C 3 päivää paastottujen kalojen loppupaino eronnut kontrollikaloista.

Useimmissa kokeissa on päästy vain osittaiseen kompensatioon. Esimerkiksi Wang ym. (2005) paastottivat hybriditilapiaa (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) 1, 2 ja 4 viikkoa, jonka jälkeen he ruokkivat kaloja 4 viikkoa. Paastotut kalat jäivät loppumassaltaan pienemmiksi kuin päivittäin ruokitut ja kasvunopeus pieneni paastojakson pidentyessä. Wang ym. (2000) tutkivat hybriditilapian kompensatiokasvua aikaisemminkin samalla ruokintakaavalla, mutta vain viikon paastotut kalat saavuttivat saman loppumassan kuin kontrollikalat. Usein kompensatiokokeissa havaitaan kalojen pystyvän kompensoimaan tiettyyn rajaan asti. Jos paastojakso on liian pitkä, jää kompensatio usein osittaiseksi. Ruokintajakson pituus vaikuttaa myös palautumiseen; jos ruokintajakso jää liian lyhyeksi, kalat eivät ehdi kompensoimaan täydellisesti paastoa.

Eräissä kokeissa on havaittu myös ylikompensaatiota (Hayward ym. 1997). Kokeessa käytettiin nuoria hybridiaurinkoahvenia (*Lepomis cyanellus* × *L. macrochirus*). Paastojakson pituudet olivat 2, 4, 6, 10 ja 14 päivää, jonka jälkeen kaloja ruokittiin niin kauan kuin päivittäinen ravinnonotto pysyi korkeampana kuin kontrollikaloilla. Kokeen kesto vaihteli 105 ja 112 päivän välillä riippuen käsittelystä. 2 ja 14 päivää paastottujen kalojen ravinnonkulutus oli suurempi kuin kontrollikaloilla ja niiden absoluuttinen kasvunopeus (AGR) oli 2,0 ja 1,4 kertaa suurempi verrattuna kontrollikaloihin. Ravinnonkäyttötehokkuus ei eronnut käsittelyjen välillä, vaan kalat kompensoivat syömällä enemmän. Edelleen Hayward ym. (2000) tutkivat kuinka kasvatus 10 kalan ryhmässä verrattuna yksilöittäin kasvatettuihin vaikuttaa kompensaatioon. Kokeessa käytettiin myös hybridiaurinkoahvenia ja niitä ruokittiin rytmillä, jossa kaloja paastotettiin kaksi päivää ja ruokittiin niin kauan kuin ravinnonotto pysyi korkeampana kuin kontrollikaloilla. Kalat jäivät pienemmiksi ryhmissä kasvatettaessa, mutta yksilöittäin kasvatettaessa ne kasvoivat suuremmiksi kuin kontrollikalat. Ryhmissä kasvatettaessa sosiaalisten vuorovaikutusten epäiltiin heikentävän ravinnonottoa ja kasvutehokkuutta. Hayward & Wang (2001) epäonnistuivat yrittäessään aiheuttaa ylikompensaatiota kelta-ahvenella (*Perca flavescens*). Kokeessa paastojaksojen pituudet olivat 2, 7, 12, 17 ja 22 päivää, jonka jälkeen kaloja ruokittiin niin kauan kuin hyperfagiaa esiintyi. Hayward & Wang (2001) epäilivät, ettei sukukypsävällä kelta-ahvenella ole tarpeeksi kapasiteettia ylikompensaatioon. Ilmeisesti ylikompensaatiota ei esiinny kaikissa kalan elinvaiheissa tai kyky ylikompensaatioon on lajikohtaista.

### 3. AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1 Koetilat ja koearastelma

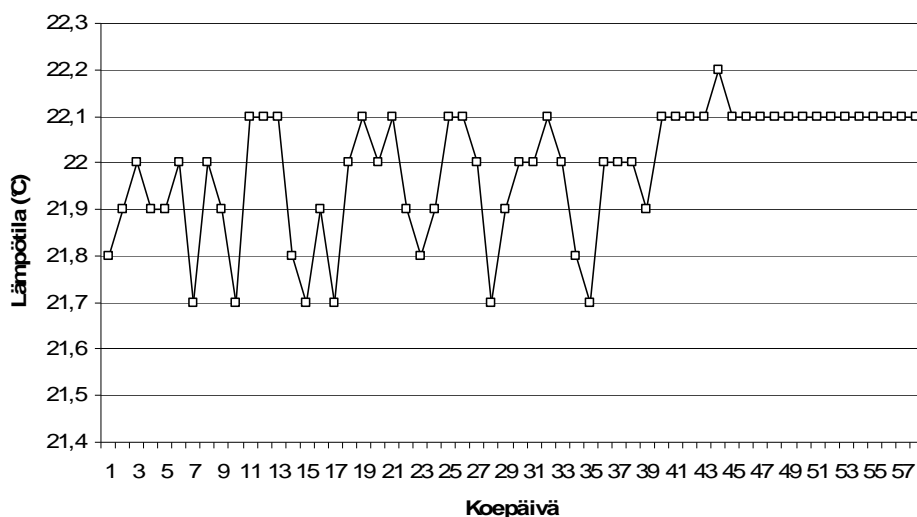
Tutkimus tehtiin Jyväskylän yliopiston tiloissa bio- ja ympäristötieteiden laitoksen allashuoneessa. Varsinainen koe tehtiin 26.11.2007–24.1.2008 välisenä aikana. Koelaita käytettiin tilavuudeltaan 15 litran suunnikkaan muotoisia lasialtaita. Kokeessa käytettiin neljää erilaista ruokintakäsittelyä; kontrolli (päivittäinen ruokinta), 1+1 (ruokinta joka toinen päivä), 1+3 (ruokinta ja kolme paastopäivää) ja 1+6 (ruokinta ja kuusi paastopäivää). Paastopäivien pituudet olivat siis yksi, kolme ja kuusi päivää ja välissä oli aina yksi ruokintapäivä. Ruokintarytmiä jatkettiin 58 päivän ajan. Jokaisessa ruokintarytmisessä oli neljä rinnakkaista allasta, joten altaiden yhteismäärä oli 16 (neljä käsittelyä, neljä toistoa). Jokaiseen altaaseen sijoitettiin kuusi kuhaa, joten kalojen määrä kokeen alussa käsittelyä kohden oli 24 ja kokonaismäärä 96. Kokeen aikana kuoli yhteensä kuusi kuhaa; kolme kontrollikalaa (johtuen vesikatkoksesta), yksi kala käsittelystä 1+1, yksi kala käsittelystä 1+3 (johtuen vesikatkoksesta) ja yksi kala käsittelystä 1+6. Koelaita sijoitettiin hyllyyn kahteen eri kerrokseen. Yksi loisteputki valaisi neljää allasta. Jokaiseen loisteputken valaisemaan neljän altaan lohkokon tuli yksi käsittely ja käsittelyjen paikat vaihtuivat lohkojen välillä. Valon määrä altaissa rajoitettiin loisteputkien päälle asetetuilla punaisilla kalvoilla ja paperilla niin, että valon intensiteetti oli altaan veden pinnan tasolla noin 50 luxia. Valaistus oli päällä vuorokauden ympäri (24L:0D). Altaiden kyljet peitettiin punaisella kartongilla viereisten altaiden näköyhteyden estämiseksi. Himmeä valaistus sekä punainen väri valittiin, koska aikaisemmissa tutkimuksissa kuhien on havaittu hakeutuvan hämärään valaistukseen (Luchiari ym. 2006) ja kasvavan parhaiten punaisessa valaistuksessa (Luchiari, Freire, Pirhonen & Koskela julkaisematon). 50 luxin valaistuksessa kaloja pystyi vielä kuitenkin hyvin ruokkimaan.

### 3.2 Veden lämpötila ja laatu

Allashuoneeseen tuleva vesi oli porakaivovettä. Tuleva kylmä vesi oli lämpötilaltaan noin 12 °C ja lämmin vesi noin 30 °C. Ennen koealtaita kylmä ja lämmin vesi sekoitettiin lämmönsäätimellä (Ouman Finland OY, Kempele) noin 22 °C lämpötilaan ja ilmastettiin ilmakivillä. Altaisiin tulevan porakaivoveden lämpötila vaihteli kokeen aikana välillä 21,7–22,2 °C (Kuva 1), lukuun ottamatta yhtä kylmän tuloveden katkosta (koepäivä 40), jolloin veden lämpötila altaissa nousi hetkellisesti noin 30 asteeseen. Lisäksi virtaus heikkeni tai loppui kokonaan altaista, koska veden tulo oli vain lämpimän veden varassa. Vesikatkos johtui kylmän veden pumpun sammumisesta, jonka aiheutti vesisäiliön vedenpinnan mittarin rikkoutuminen. Pumpun toiminta riippuu säiliön vedenpinnan korkeudesta, joten ilman mittarin antamia tietoja pumppu ei voi toimia. Vesikatkoksen takia neljä koekaloista kuoli. Vesikatkoksen jälkeen vedenlämpötila oli varsin tasainen, koska kylmää vettä ei enää käytetty vaan kaikki vesi tuli lämminvesijärjestelmän kautta, jonka lämpötila säädettiin 22 °C:een

Koealtaisiin vesi jaettiin hapetuksen jälkeen yläsäiliöstä erillisillä letkuilla, joiden virtausta voitiin säätää. Kokeen aikana virtaus oli 0,6–0,7 l min<sup>-1</sup> allasta kohden. Jokaiseen koealtaiseen oli asetettu happipitoisuuden turvaamiseksi yksi ilmakivi (Mouse M-106). Tuloveden lämpötila, kaasujen kokonaisyllästyneisyys (TGP) (mittari Tracker, Point Four Systems) ja happipitoisuus (mittari YSI 550 DO) mitattiin päivittäin sekä happipitoisuus altaissa satunnaisesti noin kaksi tuntia ruokinnan jälkeen. Tuloveden happipitoisuus vaihteli välillä 8,27–8,72 mg l<sup>-1</sup> ja altaissa olevan veden happipitoisuus oli kokeen ajan yli 6 mg l<sup>-1</sup>, lukuun ottamatta vesikatkosta, jolloin myös happipitoisuus laski. Tuloveden pH kokeen aikana oli noin 7,8 ja sähkönjohtokyky 196 µS. Arvot olivat lähestulkoon samat poistovedessä.

Ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N) määrä poistovedessä määritettiin kokeen aikana kahdesti. Ensimmäisellä kerralla (koepäivä 21) näytteenotto tehtiin kaksi tuntia ruokinnan jälkeen kolmesta altaasta (kontrolli, 1+1 ja 1+3). Toisella kerralla (koepäivä 58) näytteet otettiin yhdestä kontrollialtaasta kaksi ja neljä tuntia ruokinnan jälkeen. Ammoniumtypestä lasketun myrkyllisen ammoniakkin (NH<sub>3</sub>) määrä ei ylittänyt suositeltua raja-arvoa 0,02 mg l<sup>-1</sup> (Wedemeyer 1996). Myrkyllisen ammoniakkin määrä näytteissä vaihteli välillä 0,004–0,006 mg l<sup>-1</sup>.



Kuva 1. Tuloveden lämpötila ruokintakokeen aikana.

### 3.3 Koekalat

Koekaloiksi tuotiin 3.10.07 RKTL:n Laukaan kalanviljelylaitokselta 1+ - ikäisiä kuhia noin 400 kappaletta, joiden keskimassa oli 21,5 g. Kuhat olivat luonnonravintolammikosta laitosolosuhteisiin siirrettyjä kaloja, jotka olivat oppineet syömään kuivarehua. Aluksi kalat sijoitettiin kahteen noin 200 litran kasvatusaltaaseen, jossa niitä syötettiin kuivarehulla. Kasvatusaltaissa kalat akklimoitiin 22 °C lämpötilaan. Kolmen viikon jälkeen kaloista 360 kappaletta siirrettiin lasisiin koealtaisiin ja kuivarehuruokintaa jatkettiin. Varsin pian kuitenkin huomattiin ruokahalun olevan hyvin heikko rehulla ruokittaessa ja siirryttiin käyttämään kirjolohifileen paloja, jolloin kalojen ruokahuu nousi huomattavasti. Edelleen huonosti syöviä kaloja poistettiin kirjolohifileeruokinnan aikana, joten ennen kokeen alkua vain hyvin syöviä kaloja oli jäljellä koetta varten. Kaloja ruokittiin kirjolohifileellä noin kolmen viikon ajan ennen varsinaisen kokeen alkua. Kalanviljelylaitokselta tuoduilla kuhilla havaittiin huomattavan paljon silmävaurioita. Kalojen toinen silmä oli usein sokea ja sen epäiltiin aiheutuneen jossain vaiheessa alkukasvatusta. Koekaloja valittaessa silmävikaiset pyrittiin poistamaan. Kuhien ruokahuuun ja kasvuun silmävauriot eivät kuitenkaan vaikuttaneet. Kokeeseen valituilla kaloilla noin 10 %:lla oli silmävaurio. Kaloilla oli myös eriasteisia pyrstövaurioita, jotka vaihtelivat lähes täysin tyypistyneestä pyrstöstä hieman kuluneeseen. Tämänkään ei havaittu haittaavaa kaloja.

### 3.4 Ruokinta

Kaloja ruokittiin kokeen aikana nahattomista ja ruodottomista kirjolohifileistä pilkokuilla noin 5x5 mm kokoisilla paloilla. Kirjolohifileet toimitettiin RKTL:n Laukaan kalanviljelylaitokselta. Yhden fileen koko oli keskimäärin 150g. Kirjolohifileen koostumus oli tuoremassasta: kuiva-aine 29,1 %, energia 7,7 kJ/g, rasva 8,6 % ja proteiini 19,2 %. Kalat ruokittiin ruokintarytminsä mukaisesti kertaruokinnalla kylläisyyteen asti. Ruokittaessa ruokintavuorossa olevaa allasta, fileepurkin paino kirjattiin ylös ennen ja jälkeen ruokinnan, jolloin saatiin altaaseen ruokitun fileen määrä. Altaiden ruokintajärjestystä vaihdeltiin kokeen aikana. Ruokittaessa kuhat söivät yleensä alas leijailevia paloja, mutta myös altaan pohjalla olevia paloja. Altaan pohjalle jätettiin aina ruokinnan jälkeen reilusti fileenpaloja, jotta kalat pystyivät vielä halutessaan syömään niitä. Altaan pohjalle jääneet palat poistettiin ja punnittiin 0,5–1,5 tunnin kuluttua ruokinnan jälkeen. Ruokitun ja kerätyn fileen erotuksesta saatiin syöty määrä. Altaasta kerättyjen fileenpalojen painon muutos huomioitiin laskettaessa syötyä kokonaismäärää. Fileenpalan painon muutos arvioitiin kokeella, jossa fileenpaloja liotettiin altaassa. Liotuskokeessa fileenpalan paino laski noin 7,6 % aikavälillä 0,5–1,5 tuntia eikä painon muutos riippunut liotusajasta. Paino lasku johtui siitä, että syötetyt palat olivat kosteita ja taas kerätyt palat kuivattiin irtovedestä paperilla. Pohjalta kerättyjen palojen painon korjaamisessa käytettiin kerrointa 1,076. Ruokinnasta vastasi kokeen aikana kaksi henkilöä, joiden ruokintamenetelmät olivat samanlaiset. Jokaisesta ruokintaan käytetystä fileestä leikattiin pala koostumusanalyysiä varten. Paloja otettiin fileistä eri paikoista, koska fileen koostumus saattaa vaihdella riippuen kohdasta.

### 3.5 Mittaukset ja aineiston käsittely

Kokeen alussa kalat punnittiin 0,1g:n tarkkuudella ja mitattiin leuan kärjestä pyrstön tyveen (standard length) 1mm tarkkuudella. Mittaa leuasta pyrstön tyveen käytettiin, koska kaloilla oli usein pyrstövaurioita ja näin voitiin poistaa niiden vaikutus mittaustuloksiin. Kalat merkittiin panjet -mustemerkintälaitteella, jotta ne voitiin tunnistaa yksilöllisesti. Merkintä tehtiin kylkiviivan ja vatsan välille molemmille kyljille. Koe alkoi mittausten ja

merkinnän jälkeisenä päivänä, jolloin kaikki kalat ruokittiin. Kokeen aikana kalat punnittiin ja mitattiin kerran kokeen ollessa puolivälissä. Myös haalistuneet panjet-merkinnät uusittiin. Kokeen päätyttyä kalat mitattiin ja niistä punnittiin kokonaispaino, avattu paino (ilman sisäelimiä), suolistorasva ja maha. Mahan tilavuus määritettiin 0,1 ml:n tarkkuudella 50 cm vesipatsaan paineella. Kaloista otettiin myös verinäytteet stressitason määrittämistä varten. Plasma erotettiin verestä sentrifugoimalla ja kortisolitason (ng/ml) määrittämiseen käytettiin kortisolikittiä merkiltään Spectria cortisol RIA 06119. Käytetty näytemäärä oli 20 ul. Ennen mittaus- ja punnituspäiviä pidettiin yksi paastopäivä. Käsittelyä varten kalat nukutettiin neilikkaöljyn ja alkoholin liuksella (1:9), jota lisättiin 2ml/5 litraa vettä. Ennen loppumittauksia kalat nukutettiin altaaseen ennen haavitsemista, jonka jälkeen kalat tapettiin napakalla iskulla niskaan. Loppumittausten jälkeen kalat toimitettiin koostumusanalyysiin.

Kalojen kasvun vertailussa käytettiin kasvukerroinprosenttia (specific growth rate, SGR, % d<sup>-1</sup>), jonka laskentakaava on

$$\text{SGR} (\% \text{ d}^{-1}) = 100 \cdot (\ln W_2 - \ln W_1) \cdot t^{-1},$$

jossa  $W_1$  on kalan paino alussa,  $W_2$  paino lopussa ja  $t$  kulunut aika päivinä.

Kuntokertoimen (Condition factor) laskemiseen käytettiin kaavaa

$$K = W \cdot L^{-3} \cdot 100,$$

jossa  $W$  on kalan paino (kg) ja  $L$  pituus (m).

Rehukertoimen (Feed conversion ratio) laskemiseen käytettiin kaavaa

$$\text{FCR} = \text{Kulutetun ravinnon määrä (g)} \cdot \text{kasvu (g)}^{-1} \text{ koejakson aikana.}$$

Kompensaation määrää arvioitiin kompensatiokerroimella, joka saadaan vertaamalla odotettua kasvua todelliseen kasvuun. Jos arvo = 1, ei kompensatiota; arvo >1, kompensatiota esiintyy. Odotettu kasvu paastotetuille kaloille laskettiin kontrollikalojen kasvusta ruokintakertojen lukumäärän perusteella. Odotettu kasvu tässä tapauksessa olisi ruokintakertojen mukaan käsittelyn 1+1 kaloilla puolet kontrollikalojen kasvusta (koska ruokintakertoja oli puolet kontrolliin verrattuna), 1+3 kaloilla <sup>1</sup>/<sub>4</sub> ja 1+6 kaloilla <sup>1</sup>/<sub>7</sub> kontrollikalojen kasvusta. Kompensatiokerroin saadaan kaavasta

$$\text{Kompensatiokerroin} = \text{todellinen kasvu} \cdot \text{odotettu kasvu}^{-1}$$

Kuhan proteiinin ja rasvan energiamäärän laskemisessa proteiinin energiapitoisuutena käytettiin 23,6 kJ/g ja rasvan 38 kJ/g (Jobling 1994).

Ravinnonkäytön retentio laskettiin kaavalla

$$\text{Retentio (\%)} = (\text{lisäkasvun ravintoainemäärä (g)} \cdot \text{syöty ravintoainemäärä (g)}^{-1}) \cdot 100$$

Proteiinin käyttötehokkuus laskettiin kaavalla

$$\text{Proteiinin käyttötehokkuus} = \text{lisäkasvu (g)} \cdot \text{syöty proteiinia (g)}^{-1}$$

Aineiston käsittelyssä käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa ja tilastollisessa käsittelyssä SPSS 13.0 – tilasto-ohjelmaa. Käsittelyjen vaikutusta tutkittiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA) sekä toistomittausten varianssianalyysillä (Repeated Measures), jos mittauskertoja oli useampia kuin yksi, kuten massassa ja pituudessa. Aineiston varianssien yhtäsuuruus testattiin Levenen testillä ja normaalisuus Shapiro-Wilkin testillä. Tilastollisessa käsittelyssä käytettiin allaskohtaisia keskiarvoja sekä myös yksittäisiä kaloja regressioanalyysissä. Käsittelyjen välisten keskiarvojen erojen vertailussa käytettiin Tukeyn testiä, jos varianssianalyysi osoitti ryhmien välillä olevan

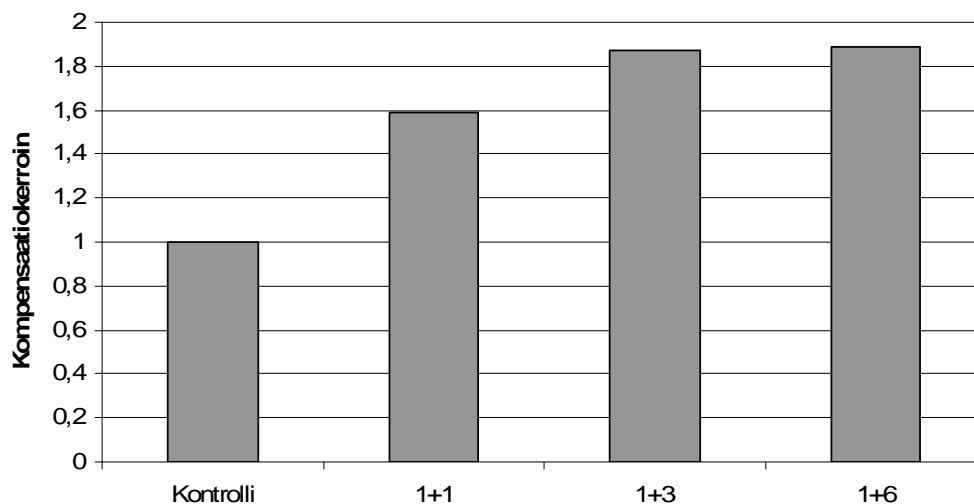
merkitseviä eroja. Saman käsittelyn sisällä tapahtuvaa muutosta mittauskertojen välillä testattiin parittaisella t-testillä.

## 4. TULOKSET

### 4.1 Massa ja pituus

Kokeen alussa kuhien massat eivät eronneet käsittelyiden välillä ( $P=0,300$ , Taulukko 1). Välipunnituksessa 28 koepäivän jälkeen kontrollin ja käsittelyn 1+6 välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $P=0,003$ ), jolloin kontrollikalat painoivat noin 60 % enemmän. Lisäksi käsittelyjen 1+1 ja 1+6 välillä oli merkitsevä ero ( $P=0,048$ ). Kokeen päätyttyä kontrollikalojen massa erosi käsittelyistä 1+3 ja 1+6 ( $P=0,045$  ja  $P=0,003$ ) sekä käsittely 1+1 erosi käsittelystä 1+6 ( $P=0,030$ ). Kontrollikalat olivat noin kaksi kertaa suurempia kuin käsittelyn 1+6 kalat. Myös avatuissa massoissa kontrolli erosi merkitsevästi käsittelyistä 1+3 ja 1+6 ( $P=0,034$  ja  $P=0,002$ ). Samoin avatut massat käsittelyissä 1+1 ja 1+6 erosivat toisistaan ( $P=0,022$ ). Kalojen pituus ei eronnut käsittelyjen välillä kokeen alussa ( $P=0,056$ , Taulukko 1). Kokeen lopussa kontrollin ja käsittelyn 1+6 ero oli merkitsevä ( $P=0,005$ ). Myös käsittelyt 1+1 ja 1+6 erosivat toisistaan ( $P=0,013$ ).

Kompensaatiokasvun voimakkuutta kuvaavan kompensatiokertoimen perusteella paastotetut kuhat pyrkivät kompensoimaan paastopäiviä (Kuva 2). Kompensatio oli suurinta käsittelyjen 1+3 ja 1+6 kuhilla.



Kuva 2. Kuhien kompensatiokerroin (havaittu kasvu/odotettu kasvu ruokintakertojen mukaan verrattuna kontrolliin) eri käsittelyissä. Jos arvo = 1, ei kompensatiota; arvo >1, kompensatiota esiintyy.

Taulukko 1. Määritetyt parametrit 1+ -ikäisillä kuhilla neljällä eri ruokintarytmillä (kontrolli= päivittäinen ruokinta, 1+1= ruokinta joka toinen päivä, 1+3= ruokinta ja kolme paastopäivää, 1+6= ruokinta ja kuusi paastopäivää). Arvot ovat käsittelyjen keskiarvoja  $\pm$  keskihajonta (n=4).

	Kontrolli	1+1	1+3	1+6
Massa (g)				
alussa	42,0 $\pm$ 0,7 <sup>A</sup>	41,9 $\pm$ 3,3 <sup>A</sup>	45,0 $\pm$ 1,3 <sup>A</sup>	42,3 $\pm$ 3,5 <sup>A</sup>
puolivälissä	83,5 $\pm$ 15,2 <sup>A</sup>	72,4 $\pm$ 6,3 <sup>A</sup>	61,3 $\pm$ 6,5 <sup>AB</sup>	50,3 $\pm$ 3,9 <sup>B</sup>
lopussa	125,2 $\pm$ 30,0 <sup>A</sup>	108,1 $\pm$ 9,3 <sup>AB</sup>	84,0 $\pm$ 17,9 <sup>BC</sup>	64,7 $\pm$ 7,2 <sup>C</sup>
Pituus (mm)				
alussa	148,1 $\pm$ 1,0 <sup>A</sup>	151,6 $\pm$ 3,4 <sup>A</sup>	154,3 $\pm$ 3,0 <sup>A</sup>	149,5 $\pm$ 3,7 <sup>A</sup>
puolivälissä	174,1 $\pm$ 6,5 <sup>AB</sup>	171,7 $\pm$ 4,0 <sup>A</sup>	167,9 $\pm$ 2,3 <sup>AB</sup>	159,9 $\pm$ 4,0 <sup>B</sup>
lopussa	197,1 $\pm$ 11,7 <sup>A</sup>	190,5 $\pm$ 4,8 <sup>A</sup>	182,0 $\pm$ 7,0 <sup>AB</sup>	171,0 $\pm$ 4,1 <sup>B</sup>
Avattu massa (g)	110,1 $\pm$ 26,1 <sup>A</sup>	95,3 $\pm$ 7,8 <sup>AB</sup>	74,5 $\pm$ 14,9 <sup>BC</sup>	56,8 $\pm$ 6,0 <sup>C</sup>
Suolistorasva				
massa (g)	7,58 $\pm$ 2,11 <sup>A</sup>	6,06 $\pm$ 1,02 <sup>AB</sup>	3,71 $\pm$ 1,11 <sup>BC</sup>	2,41 $\pm$ 0,24 <sup>C</sup>
% kalan massasta	6,01 $\pm$ 0,28 <sup>A</sup>	5,58 $\pm$ 0,50 <sup>A</sup>	4,38 $\pm$ 0,44 <sup>B</sup>	3,73 $\pm$ 0,14 <sup>B</sup>
Maha				
massa (g)	0,66 $\pm$ 0,20 <sup>A</sup>	0,67 $\pm$ 0,08 <sup>A</sup>	0,61 $\pm$ 0,19 <sup>A</sup>	0,47 $\pm$ 0,02 <sup>A</sup>
tilavuus (ml)	1,62 $\pm$ 0,90 <sup>A</sup>	1,50 $\pm$ 0,57 <sup>A</sup>	2,26 $\pm$ 1,50 <sup>A</sup>	3,20 $\pm$ 1,84 <sup>A</sup>
tilavuus/kalan massa	0,012 $\pm$ 0,005 <sup>A</sup>	0,014 $\pm$ 0,005 <sup>AB</sup>	0,025 $\pm$ 0,010 <sup>ABC</sup>	0,048 $\pm$ 0,024 <sup>C</sup>
SGR				
1. jakso	2,49 $\pm$ 0,71 <sup>A</sup>	2,03 $\pm$ 0,21 <sup>A</sup>	1,13 $\pm$ 0,30 <sup>B</sup>	0,65 $\pm$ 0,11 <sup>B</sup>
2. jakso	1,36 $\pm$ 0,26 <sup>A</sup>	1,38 $\pm$ 0,13 <sup>AB</sup>	1,05 $\pm$ 0,34 <sup>BC</sup>	0,86 $\pm$ 0,20 <sup>C</sup>
koko koe	1,91 $\pm$ 0,48 <sup>A</sup>	1,69 $\pm$ 0,16 <sup>AB</sup>	1,09 $\pm$ 0,31 <sup>BC</sup>	0,76 $\pm$ 0,15 <sup>C</sup>
Kuntokerroin				
alussa	1,28 $\pm$ 0,05 <sup>A</sup>	1,19 $\pm$ 0,06 <sup>A</sup>	1,22 $\pm$ 0,08 <sup>A</sup>	1,25 $\pm$ 0,03 <sup>A</sup>
puolivälissä	1,55 $\pm$ 0,15 <sup>A</sup>	1,39 $\pm$ 0,05 <sup>AB</sup>	1,26 $\pm$ 0,10 <sup>B</sup>	1,21 $\pm$ 0,19 <sup>B</sup>
lopussa	1,57 $\pm$ 0,19 <sup>A</sup>	1,50 $\pm$ 0,07 <sup>AB</sup>	1,26 $\pm$ 0,23 <sup>B</sup>	1,26 $\pm$ 0,05 <sup>B</sup>
Suht. ravin. kulutus %				
1. jakso	4,33 $\pm$ 1,07 <sup>A</sup>	6,88 $\pm$ 1,02 <sup>AB</sup>	8,17 $\pm$ 1,94 <sup>B</sup>	9,19 $\pm$ 1,45 <sup>B</sup>
2. jakso	2,94 $\pm$ 0,45 <sup>A</sup>	5,73 $\pm$ 0,34 <sup>B</sup>	7,75 $\pm$ 1,52 <sup>BC</sup>	9,57 $\pm$ 1,33 <sup>C</sup>
koko koe	3,46 $\pm$ 0,66 <sup>A</sup>	6,06 $\pm$ 0,53 <sup>B</sup>	7,79 $\pm$ 1,46 <sup>BC</sup>	9,24 $\pm$ 1,19 <sup>C</sup>
Rehukerroin				
1. jakso	1,83 $\pm$ 0,03 <sup>A</sup>	1,80 $\pm$ 0,10 <sup>A</sup>	1,91 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>	2,24 $\pm$ 0,12 <sup>B</sup>
2. jakso	2,10 $\pm$ 0,10 <sup>A</sup>	2,04 $\pm$ 0,08 <sup>A</sup>	2,11 $\pm$ 0,24 <sup>A</sup>	1,96 $\pm$ 0,18 <sup>A</sup>
koko koe	1,98 $\pm$ 0,07 <sup>A</sup>	1,92 $\pm$ 0,04 <sup>A</sup>	2,02 $\pm$ 0,12 <sup>A</sup>	2,06 $\pm$ 0,16 <sup>A</sup>

Samalla rivillä olevat eri yliviitteellä merkityt arvot eroavat tilastollisesti merkittävästi toisistaan (P<0,05 Tukey Post Hoc).

#### 4.2 Kasvukerroinprosentti SGR

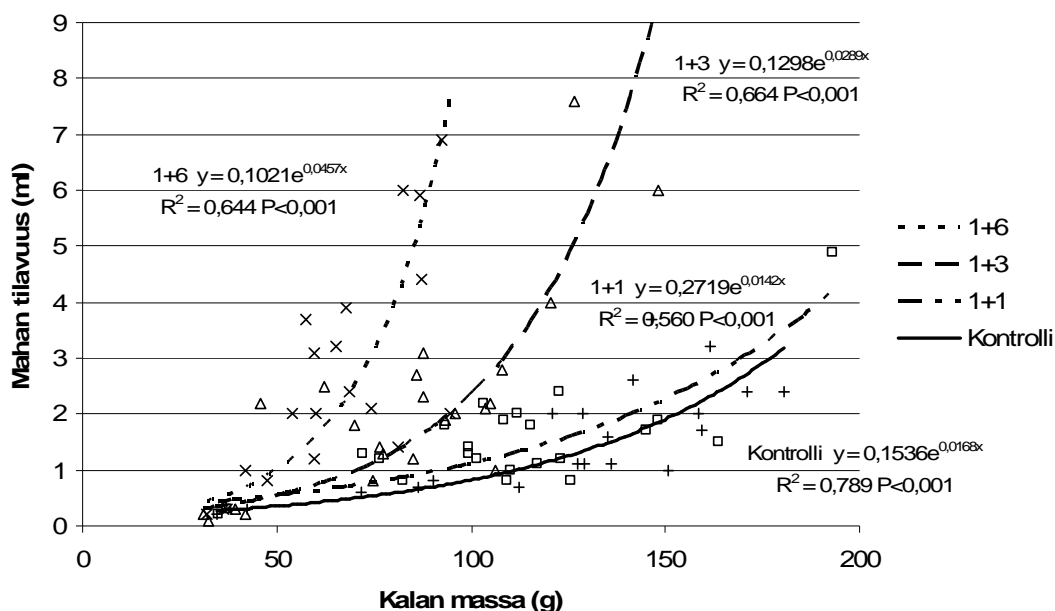
Kokeen ensimmäisellä jaksolla kontrollikalojen kasvukerroinprosentti (SGR) oli merkittävästi suurempi kuin käsittelyillä 1+3 (P=0,002) ja 1+6 (P<0,001) (Taulukko 1). Myös käsittely 1+1 erosi käsittelyistä 1+3 ja 1+6 (P=0,040 ja P=0,002). Kokeen toisella jaksolla edelleen kontrolli erosi käsittelyistä 1+3 ja 1+6 (P=0,011 ja P=0,001). Käsittely 1+1 erosi enää käsittelystä 1+6 (P=0,004). Koko kokeen ajalle lasketuissa kasvukerroinprosentteissa kontrolli erosi niin ikään käsittelyistä 1+3 ja 1+6 (P=0,011 ja P=0,001) sekä 1+1 erosi 1+6 käsittelystä (P=0,004). Jos tarkastelee käsittelyn sisäistä



kasvukerroinprosentin muutosta 1. ja 2. jakson välillä niin kontrollikalojen SGR laskee huomattavasti ( $P=0,017$ ). Käsittelyn 1+6 kalojen SGR taas nousee lähes merkitsevästi ( $P=0,061$ ).

### 4.3 Mahan tilavuus

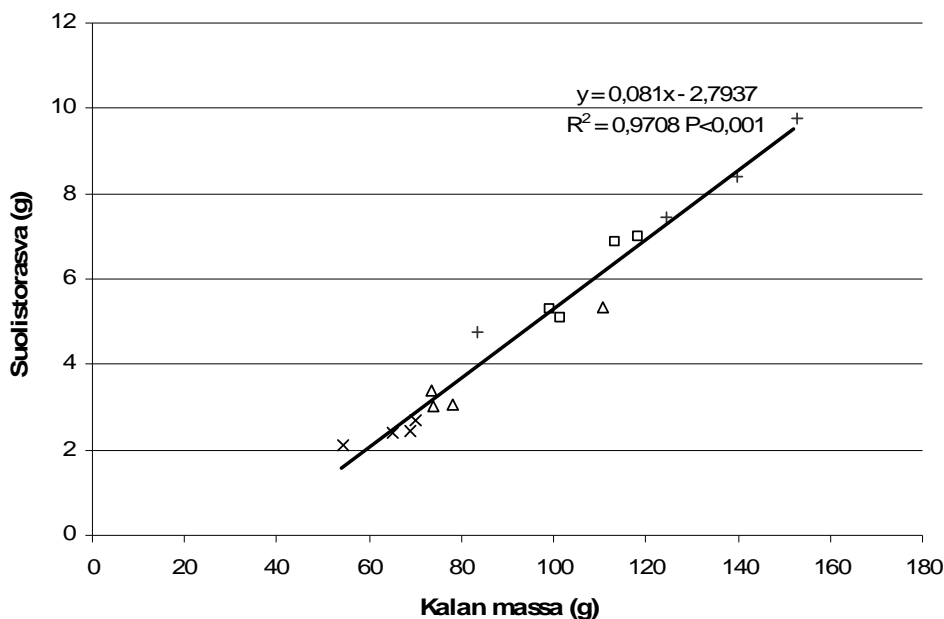
Mahan tilavuus (ml) ei eronnut merkittävästi käsittelyiden välillä (Taulukko 1). Jos kuitenkin verrataan mahan tilavuutta suhteessa kalan kokoon (mahan tilavuus ml/kalan massa g) on käsittelyjen välillä merkittäviä eroja; käsittelyn 1+6 kuhat erosivat merkittävästi kontrollikuhista ja käsittelyn 1+1 kuhista ( $P=0,013$  ja  $P=0,017$ , Taulukko 1). Eksponentiaalinen riippuvuus selitti parhaiten mahan tilavuuden ja kalan massan välistä suhdetta. Riippuvuus oli merkitsevä ( $P<0,001$ ) mahan tilavuuden ja kalan massan välillä kaikissa käsittelyissä, jos riippuvuutta tarkastellaan käsittelykohtaisesti (Kuva 3). Regression laskennassa ei käytetty allaskeskisarvoja vaan jokaista kalaa yksilönä.



Kuva 3. Kuhan massan ja mahan tilavuuden välinen riippuvuus. Kuvassa regressioviivat on laskettu jokaiselle käsittelylle erikseen. Pisteet kuvaavat yksittäisen kalan mahan tilavuutta ja massaa. Käsittelyiden symbolit ovat: +=kontrolli (n=20), □=1+1 (n=23), Δ=1+3 (n=23) ja ×=1+6 (n=21). Kuvassa ei näy selkeyden vuoksi yhtä käsittelyn 1+6 arvoa 82,1g; 13,4ml.

### 4.4 Suolistorasva

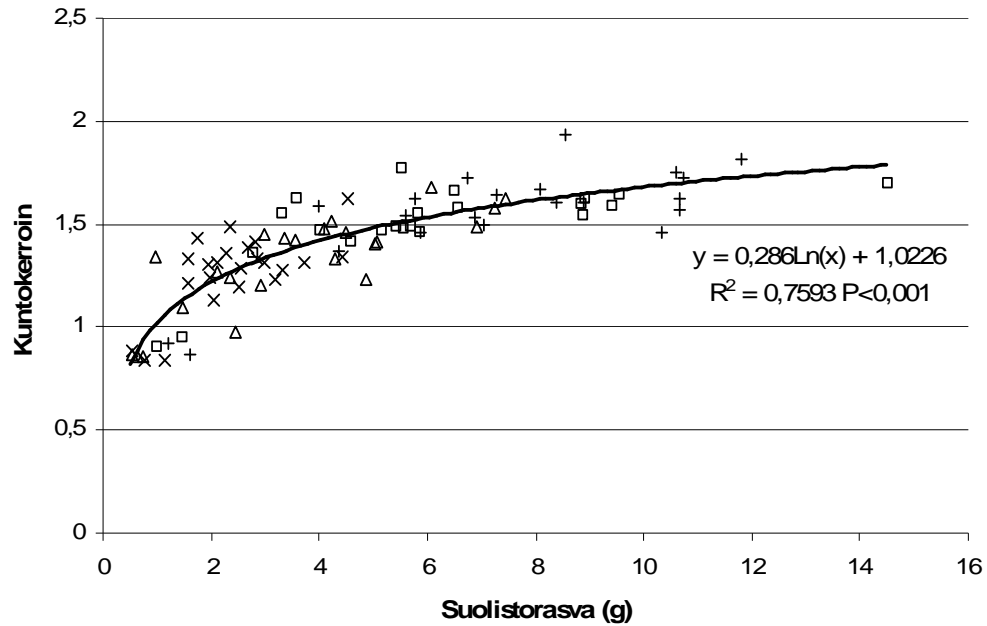
Kontrollikalajoilla oli merkitsevästi enemmän suolistorasvaa kuin käsittelyiden 1+3 ja 1+6 kaloilla ( $P=0,006$  ja  $P=0,001$ , Taulukko 1). Myös käsittelyn 1+1 kaloilla oli merkitsevästi enemmän suolistorasvaa kuin käsittelyn 1+6 kaloilla ( $P=0,009$ ). Jos vertaa suolistorasvan osuutta prosentteina kalan kokonaisuudesta, niin erot käsittelyiden välillä ovat vielä suuremmat; kontrolli eroaa käsittelyistä 1+3 ja 1+6 (molemmat  $P<0,001$ ) sekä käsittely 1+1 eroaa käsittelyistä 1+3 ja 1+6 ( $P=0,003$  ja  $P<0,001$ ). Suolistorasvan määrä osoittautui selvästi riippuvaksi kalan massasta ( $R^2=0,971$ ,  $P<0,001$ , Kuva 4).



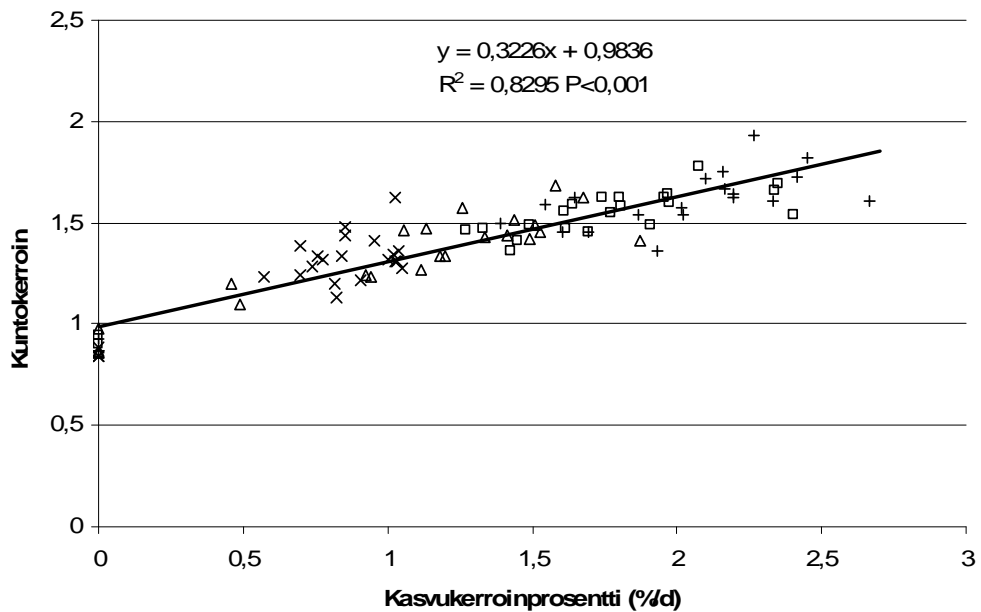
Kuva 4. Kuhan massan ja suolistorasvan välinen riippuvuus. Yksittäinen piste kuvaa allaskohtaista keskiarvoa. Eri käsittelyjä kuvaavien pisteiden symbolit ovat; +=kontrolli (n=4), □=1+1 (n=4), Δ=1+3 (n=4) ja ×=1+6 (n=4).

#### 4.5 Kuntokerroin

Kokeen alussa kalojen kuntokerroimet eivät eronneet käsittelyiden välillä (Taulukko 1). Välipunnituksessa 28 koepäivän jälkeen kontrollikalojen kuntokerroin oli merkitsevästi suurempi kuin käsittelyiden 1+3 ja 1+6 kaloilla ( $P=0,020$  ja  $P=0,017$ ). Kokeen lopussa kontrollikalojen kuntokerroin oli edelleen suurempi kuin käsittelyissä 1+3 ja 1+6 ( $P=0,032$  ja  $P=0,029$ ). Jos tarkastelee muutoksia kokeen aikana käsittelyn sisällä, niin kontrollikalojen kuntokerroin kasvaa merkitsevästi välipunnitukseen mennessä ( $P=0,020$ ) ja samoin käy myös käsittelyssä 1+1 ( $P=0,004$ ). Välipunnituksen jälkeen käsittelyn 1+1 kalojen kuntokerroin kasvaa edelleen kokeen loppuun mennessä merkitsevästi ( $P=0,025$ ). Suolistorasvan määrän ja kuntokertoimen välillä oli selvä logaritminen riippuvuus ( $R^2=0,759$ ,  $P<0,001$ , Kuva 5). Suolistorasvan määrän kasvaessa kuntokertoimen kasvu hidastui. Kasvukerroinprosentin (SGR) ja kuntokertoimen välillä oli selvä lineaarinen riippuvuus ( $R^2=0,830$ ,  $P<0,001$ , Kuva 6).



Kuva 5. Kuhan suolistorasvan määrän ja kuntokerroimen välinen riippuvuus. Yksittäinen havaintopiste kuvaa yhden kalan suolistorasvan määrää ja kuntokerrointa. Käsittelyiden symbolit ovat: +=kontrolli (n=21), □=1+1 (n=22), Δ=1+3 (n=23) ja ×=1+6 (n=23).

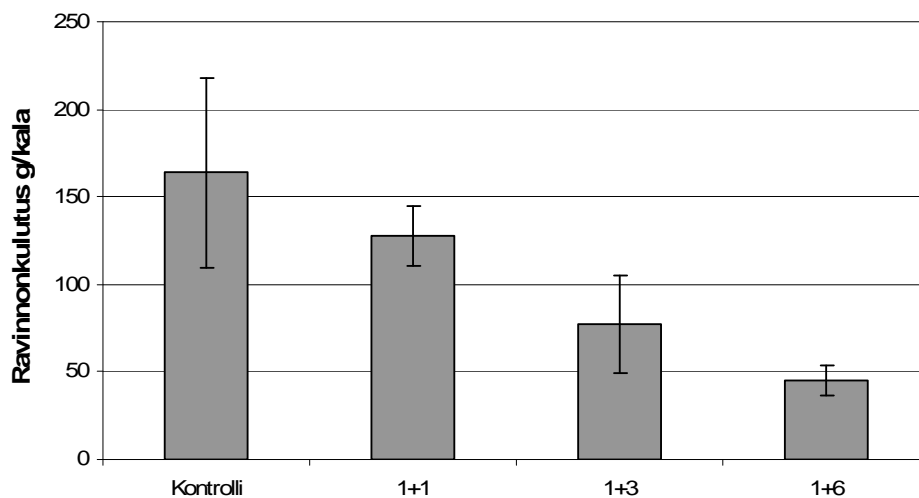


Kuva 6. Kuhan kasvukerroinprosentin (SGR) ja kuntokerroimen välinen riippuvuus. Yksittäinen havaintopiste kuvaa yhden kalan kasvukerroinprosenttia ja kuntokerrointa. Negatiivinen kasvu on merkitty nollassi. Käsittelyiden symbolit ovat: +=kontrolli (n=21), □=1+1 (n=23), Δ=1+3 (n=23) ja ×=1+6 (n=23).

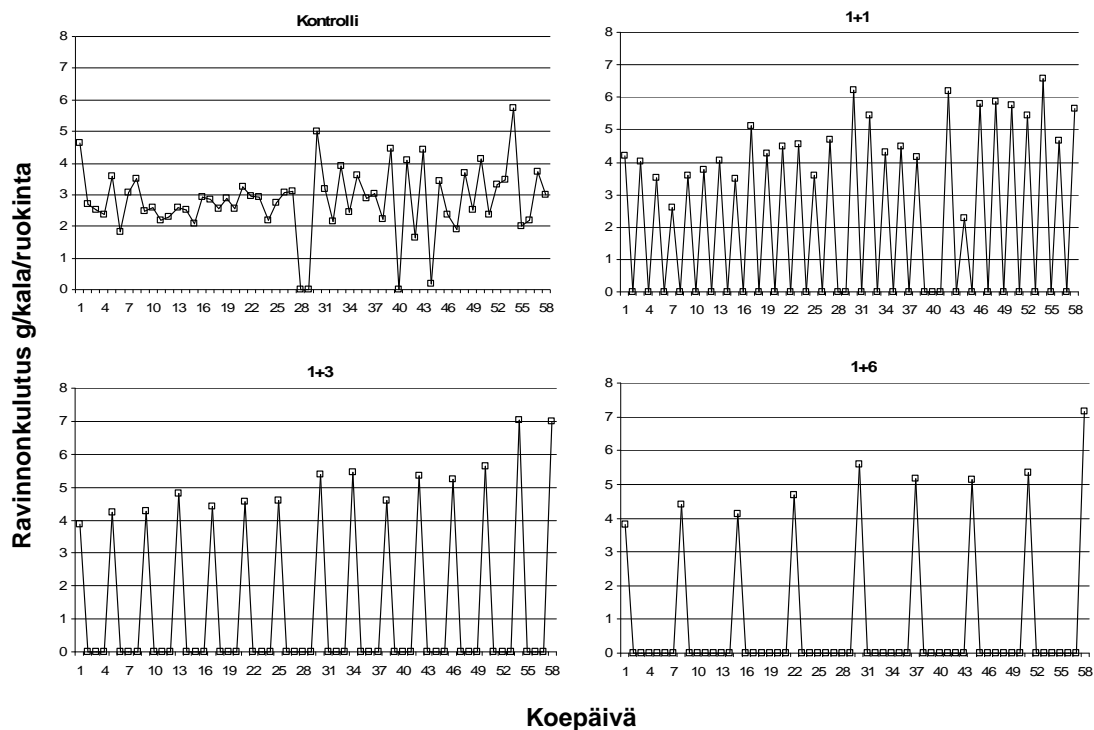
## 4.6 Ravinnon kulutus

### 4.6.1 Absoluuttinen ravinnonkulutus

Kontrollikalat kuluttivat yhteensä kokeen aikana kirjolohifileettä 3585 g, käsittelyn 1+1 kalat 2953 g, käsittelyn 1+3 kalat 1773 g ja käsittelyn 1+6 1055 g. Jos tarkastelee koko kokeen aikaista kulutusta kalaa kohti käsittelyjen välillä, kontrollikalat söivät merkitsevästi enemmän kuin käsittelyjen 1+3 ja 1+6 kalat ( $P=0,011$  ja  $P=0,001$ , Kuva 7). Myös käsittelyn 1+1 kalat söivät merkitsevästi enemmän kuin käsittelyn 1+6 kalat ( $P=0,015$ ). Ravinnonkulutus kalaa kohti ruokintakerralla allaskeskiarvoista laskettuna ei eronnut käsittelyjen välillä ( $P=0,084$ , Kuva 8). Kontrollikalojen allaskohtainen päivittäinen ravinnonkulutus vaihteli hyvin voimakkaasti (Kuva 9). Ravinnonkäytön vaihtelua voidaan arvioida allaskohtaisella kertaruokintamäärien (g/kuha) variaatiokertoimella CV (keskihajonta/keskiarvo). Kontrollin variaatiokerroin oli merkitsevästi suurempi kuin käsittelyissä 1+1 ( $P=0,022$ ), 1+3 ( $P=0,001$ ) ja 1+6 ( $P<0,001$ ) (Kuva 10). Muiden käsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja. Vaihtelevalla ravinnonkulutuksella ei ollut kuitenkaan vaikutusta kalojen massojen hajontaan. Kalojen allaskohtaisten massojen variaatiokertoimet eivät eronneet kuitenkaan käsittelyjen välillä merkitsevästi kokeen alussa ( $P=0,937$ ), puolivälissä ( $P=0,572$ ) eikä lopussa ( $P=0,719$ ) (Kuva 11). Ravinnonkulutuksen ja kasvun välillä oli voimakas lineaarinen riippuvuus ( $R^2=0,995$ ,  $P<0,001$ , Kuva 12).

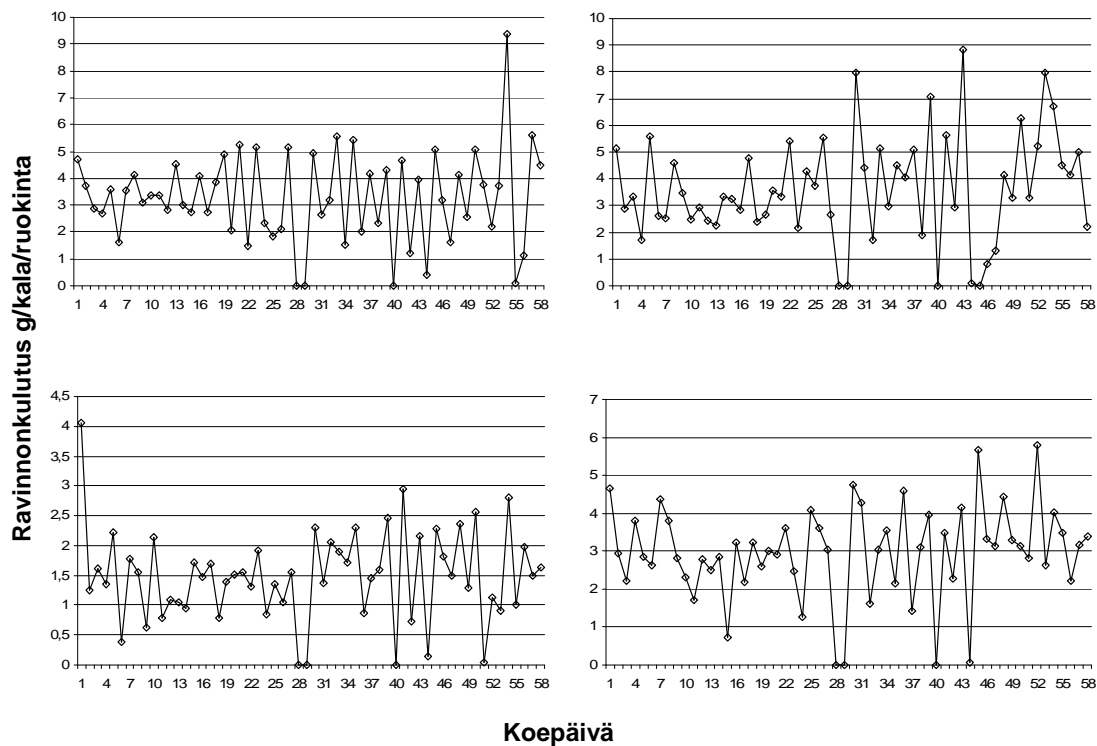


Kuva 7. Kuhan kokonaisravinnonkulutus ja keskihajonta kokeen aikana käsittelyittäin (n=4).



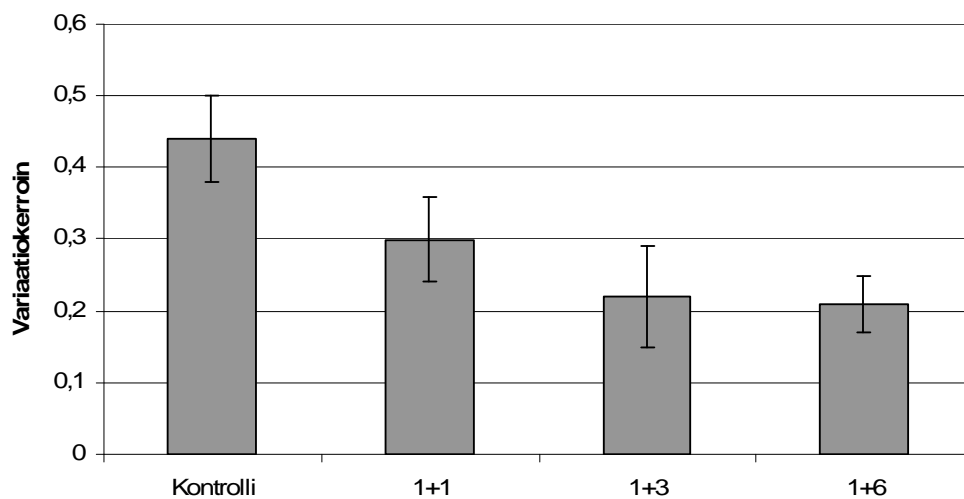
### Koepäivä

Kuva 8. Ravinnonkulutus (grammaa fileen paloja) kuhaa kohti yhdellä ruokintakerralla käsittelyittäin. Ravinnonkulutus on käsittelyn altaiden keskiarvo ruokintakertaa kohden. Koepäivinä 28 ja 29 kaloja ei ruokittu mittausten takia, eikä koepäivänä 40 vesikatkoksen takia.

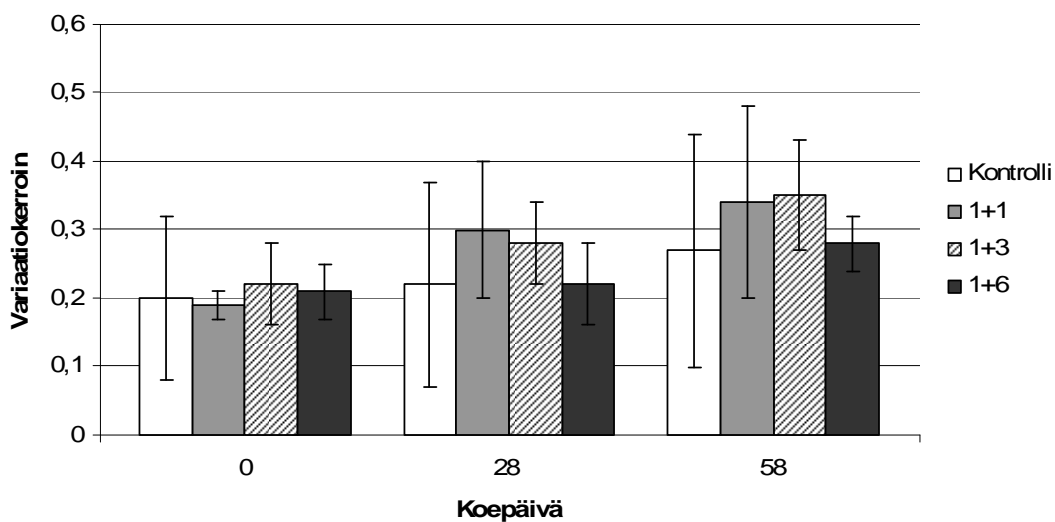


### Koepäivä

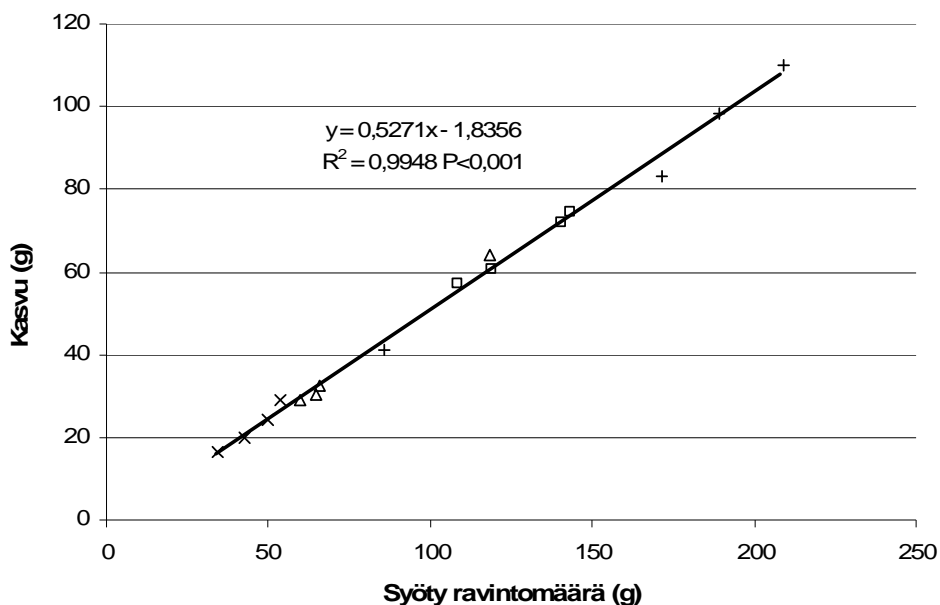
Kuva 9. Päivittäin ruokitun (kontrolli) kuhan ravinnonkulutus ruokintakerralla kaikissa altaissa erikseen. Koepäivinä 28 ja 29 kaloja ei ruokittu mittausten takia, eikä koepäivänä 40 vesikatkoksen takia.



Kuva 10. Kertaruokintamäärien (g/kuha) variaatiokerroin ja keskihajonta käsittelyittäin.



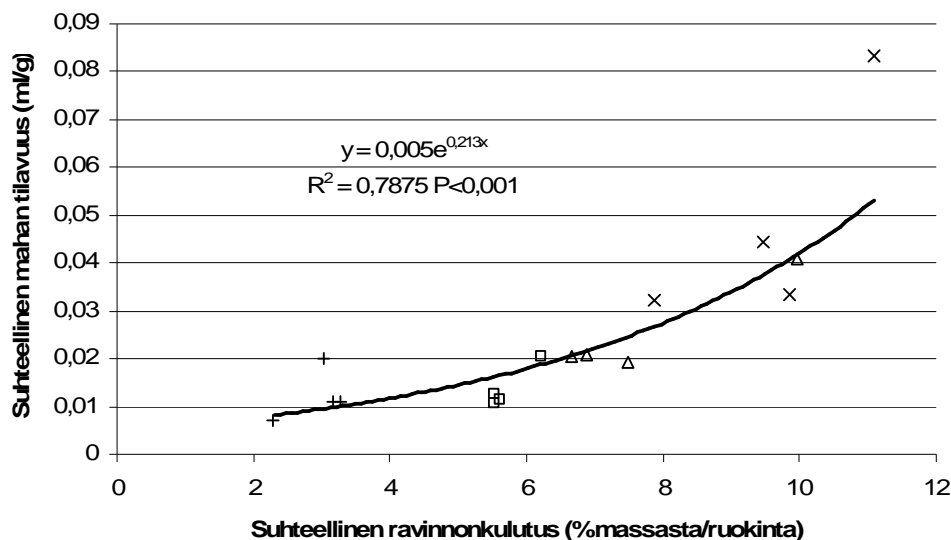
Kuva 11. Kuhan allaskohtaisten massojen variaatiokerroin käsittelyittäin kokeen alussa, puolivälissä ja lopussa (n=4).



Kuva 12. Syödyn ravintomäärän ja kuhan kasvun välinen riippuvuus. Eri käsittelyjä kuvaavien pisteiden symbolit ovat; +=kontrolli (n=4), □=1+1 (n=4), Δ=1+3 (n=4) ja x=1+6 (n=4).

#### 4.6.2 Suhteellinen ravinnonkulutus

Käsittelyjen 1+3 ja 1+6 kuhat kuluttivat suhteellisesti (% ruumiin massasta/ruokintakerta) enemmän ravintoa kuin kontrollikuhat kokeen ensimmäisellä jaksolla ( $P=0,011$  ja  $P=0,002$  Taulukko 1). Kokeen toisella jaksolla käsittelyiden 1+1, 1+3 ja 1+6 kalat kuluttivat kaikki suhteellisesti enemmän ravintoa kuin kontrollikalat ( $P=0,033$ ;  $P=0,001$  ja  $P<0,001$ ). Myös käsittelyjen 1+1 ja 1+6 välillä oli merkitsevä ero ( $P=0,014$ ). Koko kokeelle lasketuissa suhteellisissa ravinnonkulutuksissa kontrolli erosi käsittelyistä 1+1, 1+3 ja 1+6 ( $P=0,017$ ;  $P=0,001$  ja  $P<0,001$ ). Myös käsittelyjen 1+1 ja 1+6 välillä oli merkitsevä ero ( $P=0,004$ ). Kokeen 1. ja 2. jakson välillä kontrollikalojen ravinnonkulutus laski merkittävästi ( $P=0,024$ ). Muiden käsittelyjen suhteellisen ravinnonkulutuksen muutokset kokeen aikana eivät olleet merkitseviä. Kokeen toisen jakson suhteellinen ravinnonkulutus selitti hyvin kuhan suhteellista mahan tilavuutta (ml/g) ( $R^2=0,788$ ,  $P<0,001$ , Kuva 13). Suhteellisen ravinnonkulutuksen kasvaessa myös suhteellinen mahan tilavuus kasvoi eksponentiaalisesti.



Kuva 13. Kokeen toisen jakson suhteellisen ravinnonkulutuksen (% kalan massasta/ruokinta) ja suhteellisen mahan tilavuuden (ml/g) välinen riippuvuus. Eri käsittelyjä kuvaavien pisteiden symbolit ovat; +=kontrolli (n=4), □=1+1 (n=4), Δ=1+3 (n=4) ja ×=1+6 (n=4).

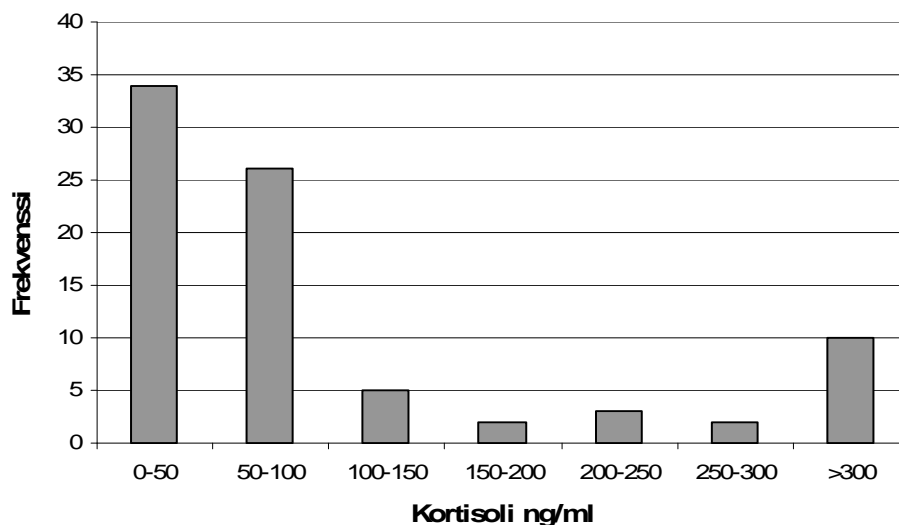
#### 4.6.3 Rehukerroin

Kokeen ensimmäisellä jaksolla käsittelyn 1+6 rehukerroin oli merkitsevästi suurempi kuin muilla käsittelyillä (kaikki  $P < 0,001$ , Taulukko 1) eli käsittelyn kalat käyttivät ravinnon selvästi muita huonommin. Kokeen toiselle jaksolle käsittelyn 1+6 kalojen rehukerroin laski ja ne käyttivät ravinnon parhaiten hyödyksi, mutta erot käsittelyiden välillä eivät olleet merkitseviä ( $P=0,457$ ). Koko kokeen ajalle lasketut rehukertoimet eivät eronneet käsittelyjen välillä ( $P=0,380$ ).

#### 4.7 Veren kortisoliarvot

Ruokintarytmi ei vaikuttanut kuhan veren kortisoliarvoihin merkitsevästi ( $P=0,655$ ) allaskeskiarvoista laskettuna. Myöskään yksilötasolla laskettuna ero ei ollut merkitsevä. Kontrollikalorien kortisoliarvo oli keskimäärin  $133,2 \text{ ng/ml} \pm 140,6$ ; käsittelyn 1+1 kalojen  $141,2 \text{ ng/ml} \pm 128,4$ ; 1+3 kalojen  $110,4 \text{ ng/ml} \pm 91,3$  ja 1+6 kalojen  $52,6 \text{ ng/ml} \pm 40,7$ . Hajontaa kortisoliarvoissa oli huomattavasti ja arvot painoutuivat välille 0-100 ng/l (Kuva 14).





Kuva 14. Yksittäisten kuhien kortisoliarvojen (ng/l) jakauma.

#### 4.8 Koostumus ja ravinnonkäytön retentio

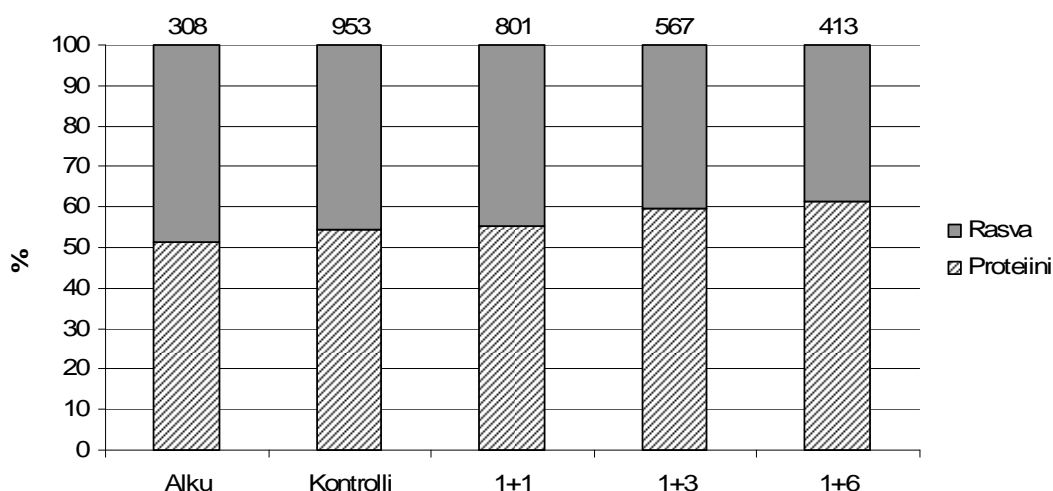
Koostumusanalyysin perusteella kuhien tuorepainon kosteusprosentissa oli merkittäviä eroja käsittelyjen välillä. Käsittelyn 1+6 kosteusprosentti oli suurin ja erot olivat merkitseviä verrattuna kontrolliin ( $P < 0,001$ ) ja käsittelyyn 1+1 ( $P = 0,001$ ) (Taulukko 2). Myös käsittelyn 1+3 kosteusprosentti oli merkitsevästi suurempi kuin kontrollilla ( $P = 0,003$ ) ja käsittelyllä 1+1 ( $P = 0,032$ ). Rasvan osuus tuorepainosta oli merkitsevästi suurempi kontrollikaloilla kuin käsittelyiden 1+3 ( $P = 0,002$ ) ja 1+6 ( $P < 0,001$ ) kaloilla (Taulukko 2). Proteiinin osuudessa käsittelyjen välillä ei ollut merkittäviä eroja ( $P = 0,074$ ). Kokonaisenergian määrä (KJ/g) kuhan tuorepainosta oli suurempi kontrollikaloilla kuin käsittelyissä 1+3 ( $P = 0,003$ ) ja 1+6 ( $P < 0,001$ ). Ennen kokeen alkua kymmenen kuhan keskimääräinen tuorepainon koostumus oli kosteus 72,0 %, rasva 9,2 %, proteiini 15,7 % ja energia 7,2 kJ/g. Kuhan energian koostumus rasvan osalta (%) oli suurin kontrollikuhilla ja pieni paastojakson kasvaessa (Kuva 15).

Ravinnonkäytön retentiassa, eli kuinka suuri osa (%) syödyistä ravintoaineista tai energiamäärästä hyödynnetään saman ravintoaineen lisäkasvuun, oli käsittelyjen välillä eroja (Taulukko 2). Kontrollikuhilla syöty rasvamäärä hyödynnettiin parhaiten rasvan lisäkasvuun, erot olivat merkitseviä käsittelyihin 1+3 ( $P = 0,025$ ) ja 1+6 ( $P = 0,003$ ). Proteiinin retentiotehokkuus laski paastojaksojen pidetessä, mutta merkitsevä ero oli ainoastaan käsittelyn 1+1 ja 1+6 välillä ( $P = 0,044$ ). Syöty energiamäärä hyödynnettiin lisäkasvun energiamäärään parhaiten kontrollikuhilla ja käsittelyn 1+1 kuhilla, erot olivat merkitseviä käsittelyyn 1+6 verrattuna ( $P = 0,018$  molemmat). Proteiinin käyttötehokkuudessa ei ollut käsittelyjen välillä eroja ( $P = 0,427$ ).

Taulukko 2. Kujan tuorepainon koostumus, ravinnonkäytön retentio ja proteiinin käyttötehokkuus neljällä eri ruokintarytmillä (kontrolli= päivittäinen ruokinta, 1+1= ruokinta joka toinen päivä, 1+3= ruokinta ja kolme paastopäivää, 1+6= ruokinta ja kuusi paastopäivää). Arvot ovat käsittelyjen keskiarvoja ± keskihajonta (n=4).

	Kontrolli	1+1	1+3	1+6
Kosteus %	70,9 ±0,58 <sup>A</sup>	71,5 ±0,77 <sup>A</sup>	73,0 ±0,46 <sup>B</sup>	74,0 ±0,77 <sup>B</sup>
Proteiini %	17,6 ±0,52 <sup>A</sup>	17,4 ±0,38 <sup>A</sup>	17,0 ±0,35 <sup>A</sup>	16,6 ±0,65 <sup>A</sup>
Rasva %	9,1 ±0,51 <sup>A</sup>	8,7 ±0,61 <sup>A</sup>	7,2 ±0,37 <sup>B</sup>	6,5 ±0,62 <sup>B</sup>
Energia kJ/g	7,4 ±0,21 <sup>A</sup>	7,2 ±0,30 <sup>A</sup>	6,6 ±0,21 <sup>B</sup>	6,3 ±0,27 <sup>B</sup>
Retentio %				
Rasva	53,4 ±3,71 <sup>A</sup>	52,7 ±4,29 <sup>A</sup>	41,6 ±4,61 <sup>B</sup>	37,4 ±6,64 <sup>B</sup>
Proteiini	46,2 ±2,75 <sup>AB</sup>	47,2 ±0,74 <sup>B</sup>	44,1 ±2,81 <sup>AB</sup>	42,2 ±2,26 <sup>A</sup>
Energia	52,3 ±2,74 <sup>A</sup>	52,3 ±2,75 <sup>A</sup>	45,9 ±3,79 <sup>AB</sup>	42,8 ±5,25 <sup>B</sup>
Proteiinin käyttötehokkuus	2,63 ±0,09 <sup>A</sup>	2,71 ±0,06 <sup>A</sup>	2,59 ±0,16 <sup>A</sup>	2,54 ±0,21 <sup>A</sup>

Samalla rivillä olevat eri yliviitteellä merkityt arvot eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (P<0,05 Tukey Post Hoc).



Kuva 15. Kujan energian (kJ) koostumus rasvan ja proteiinin osalta (%) kokeen alussa sekä lopussa käsittelyittäin. Pylvään päällä on ilmoitettu proteiinin ja rasvan kokonaisenergiamäärä (kJ) kuaa kohti.

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Kasvu ja kasvunopeus

Kuhien kasvun perusteella joka toinen päivä ruokitut kugat pystyivät kompensoimaan paastopäivät lähes täydellisesti; käsittelyn 1+1 kugat olivat hieman pienempiä kuin kontrollikugat, mutta loppumassojen ero kontrollin ja käsittelyn 1+1 välillä ei ollut tilastollisesti merkittävä (Taulukko 1). Kasvunopeutta verrattaessa käsittelyn 1+1 kuhien kasvukerroinprosentti (SGR) oli kokeen toisella jaksolla jopa korkeampi kuin kontrollikuhilla, joskaan ero ei ollut merkitsevä. Päivittäin ruokittujen kuhien kasvukerroinprosentti tipahti huomattavasti kokeen toiselle jaksolle. Ilmeisesti ne

kompensoivat kokeen ensimmäisellä jaksolla ennen koetta ollutta heikkoa kasvua. Useissa tutkimuksissa paastotetut kalat ovat saavuttaneet saman loppupainon kuin säännöllisesti ruokitut. Nikin ym. (2004) kirjolohen kompensatiokokeessa 2, 4 ja 14 päivää paastotettujen kalojen loppupaino ei eronnut merkittävästi päivittäin ruokituista. Myös Nikin ym. (2004) kokeessa huomattiin, että 8 ja 14 päivää paastotetut kalat kiihdyttivät kasvunopeuttaan kokeen loppupuolella merkittävästi suuremmaksi kuin kontrollikaloilla. Tästä voidaan päätellä, että kalat saattavat vaatia pitkän ajan tottuakseen pitkiin paastojaksoihin pystyäkseen kompensoimaan menetettyä kasvua riittävästi ruokintajakson aikana. Quinton & Blake (1990) ruokkivat kirjolohia sykleillä, joissa paasto- ja ruokintajakson pituudet olivat 1, 2 ja 3 viikkoa. Myöskään tässä kokeessa kirjolohien painonlisäys ei eronnut päivittäin ruokituista. Myös Nykänen (2006) kasvatti kirjolohia paastojaksojen ollessa 3 ja 6 päivää. Lämpötilassa 20,5 °C paastottujen kalojen loppupaino ei eronnut merkittävästi kontrollikaloista.

Käsittelyjen 1+3 ja 1+6 kuhien loppumassa jäi selvästi alhaisemmaksi kuin kontrollikuhien (Taulukko 1). Ruokintarytmit osoittautuivat liian rankoiksi täydelliseen kompensatioon. Usein kompensatiokokeissa havaitaan kalojen pystyvän kompensoimaan tiettyyn rajaan asti. Jos paastojakso on liian pitkä, jää kompensatio usein osittaiseksi. Useimmissa kokeissa on päästy vain osittaiseen kompensatioon. Esimerkiksi Wangin ym. (2005) hybriditilapian paastokokeessa (paastojaksot 1, 2 ja 4 viikkoa, jonka jälkeen he ruokkivat kaloja 4 viikkoa) paastotetut kalat jäivät loppumassaltaan pienemmiksi kuin päivittäin ruokitut ja kasvunopeus pieneni paastojakson pidentyessä. Wang ym. (2000) tutkivat hybriditilapian kompensatiokasvua aikaisemminkin samalla ruokintakaavalla, mutta vain viikon paastotetut kalat saavuttivat saman loppupainon kuin kontrollikalat.

Käsittelyjen 1+6 kuhien kasvukerroinprosentti oli lähes merkittävästi suurempi kokeen toisella jaksolla. Samoin Nikin ym. (2004) kokeessa huomattiin, että 8 ja 14 päivää paastotetut kalat kiihdyttivät kasvunopeuttaan kokeen loppupuolella. Ilmeisesti myös kuhat tottuivat harvaan ruokintaan kokeen edetessä ja paransivat kasvunopeuttaan. Vaikka käsittelyjen 1+3 ja 1+6 kuhat jäivät selvästi pienemmiksi verrattuna kontrollikuhien, pyrkivät ne kompensoimaan paastopäivät; todelliset kasvut olivat lähes kaksinkertaisia verrattuna odotettuun (Kuva 2).

## 5.2 Ravinnon kulutus

Kirjolohifilee osoittautui hyvin maistuvaksi ravinnoksi kuhille, vaikka käytännön kasvatuksessa sillä ruokkiminen ei ole mahdollista. Kokeen tarkoitus ei ollut kuitenkaan kokeilla ravinnon soveltuvuutta, vaan tutkia ruokintarytmin vaikutusta. Kontrollikaloilla suhteellinen ravinnonkulutus oli suurempaa kokeen ensimmäisellä jaksolla kuin toisella jaksolla, mikä aiheutui ilmeisesti aikaisemman allaskasvatuksen kompensoinnista. Absoluuttinen ravinnonkulutus pysyi samalla tasolla vaikka kalojen paino kolminkertaistui (Kuvat 8 ja 9). Käsittelyjen 1+1, 1+3 ja 1+6 kuhat kompensoivat paastopäivät kuluttamalla suhteellisesti enemmän ravintoa ruokintakerralla (Taulukko 1). Käsittelyn 1+6 suhteellinen ravinnonkulutus ruokintakertaa kohden oli lähes kolminkertainen verrattuna kontrolliin. Käsittelyn 1+6 suhteellinen ravinnonkulutus kasvoi kokeen toisella jaksolla, josta voidaan päätellä, että kalat alkoivat tottua paremmin harvaan ruokintaan vasta kokeen lopulla. Kalojen on useimmiten havaittu kompensoivan paastoa kuluttamalla ravintoa normaalia enemmän (hyperfagia). Myös Nikki ym. (2004) havaitsivat kirjolohen kompensatiokokeessa kalojen kasvattavan ravinnonottoaan paastojakson jälkeen. Kompensatio ilmeni kalojen kasvaneena ravinnonottona, eikä ravinnon käyttötehokkuudessa ollut eroa käsittelyjen välillä. Samoin Bull & Metcalfe (1997) havaitsivat talvehtivan nuoren Atlantin lohen kasvattavan ravinnonottoaan huonon

ravintotilanteen jälkeen. Ali & Wootton (2001) paastottivat kolmipiikkejä (*Gasterosteus aculeatus*) ja ravinnonotto ensimmäisenä ruokintapäivänä paaston jälkeen oli suurempi verrattuna päivittäin ruokittuihin, ja syöty määrä oli sitä suurempi mitä pidempi paastojakso oli ollut. Pirhonen & Forsman (1998) ruokkivat taimenia (*Salmo trutta*) kolmella eri ruokintarytmillä; kaksi kertaa päivässä, kerran päivässä ja kaksi kertaa viikossa. Noin viisi kuukautta kestäneen kokeen aikana kaksi kertaa viikossa ruokittujen taimenten suhteellinen ravinnonkulutus ruokintakerralla oli parhaimmillaan jopa neljä kertaa suurempi kuin kerran päivässä ruokituilla ja seitsemän kertaa suurempi kuin kaksi kertaa päivässä ruokituilla.

Kuhat eivät kompensoineet paastopäiviä parantamalla rehukerrointa. Kokeen toiselle jaksolle sekä koko kokeen ajalle lasketut rehukertoimet eivät eronneet käsittelyjen välillä (Taulukko 1). Kokeen ensimmäisellä jaksolla käsittelyn 1+6 kuhien rehukerroin oli selvästi huonompi kuin kontrollilla ja muilla käsittelyillä. Yleensä kalojen ollessa ali- tai ylliravittuja rehukerroin heikkenee verrattuna optimitilanteeseen (Jobling 1994). Vaikka kasvunopeus nousee ravinnonkulutuksen kasvaessa, rehukerroin on parhaimmillaan ennen korkeinta mahdollista ravinnonkulutusta. Tässäkin tapauksessa kokeen alussa kerran viikossa ruokitut kuhat olivat aliravittuja, mutta tottuessa harvaan ruokintaan pystyivät kasvattamaan ravinnonottoaan niin paljon, että tilanne parani kokeen toiselle jaksolle, eikä rehukerroin eronnut muista käsittelyistä. Kerran viikossa ruokittujen kuhien rehukerroin oli kokeen loppuosalla jopa paras, vaikka ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

Kontrollikuhien ruokailusta voi havaita päivittäisten ruokintamäärien vaihtelevan rajusti (Kuva 9). Kertaruokintamäärien variaatiokerrointa verrattaessa käsittelyjen välillä kontrollin variaatiokerroin olikin suurempi (Kuva 10). Usein kun ravinnonkulutus oli korkea, se laski seuraavana päivänä. Päivittäin ruokituilla kuhilla oli taipumus selvästi syödä jollain ruokintakerralla enemmän ja paastota tai syödä vain vähän yhdellä tai kahdella seuraavalla ruokintakerralla. Vaikka kertaruokintamäärät on laskettu kuuden kalan yhteisestä ravinnonkulutuksesta, vaihtelu on suurta. Ilmeisesti samassa altaassa olevien kuhien ravinnonkulutus asettui samaan rytmiin kokeen aikana. Joka toinen päivä ruokituilla kuhilla ravinnonkulutus olikin jo tasaisempaa. Petokalana kuhalla saattaisi olla luonnostaan taipumusta kompensatiomaiseen ravinnonkulutukseen, jolloin ruokailumäärät vaihtelevat ja suuren ravinnonoton jälkeen ravintoa ”sulatellaan” jonkin aikaa.

Kokeen loputtua kaloja avattaessa huomattiin, että lähes jokaisella käsittelyn 1+6 sekä muutamilla käsittelyn 1+3 kuhilla oli vielä ravintoa mahassa. Yhdelläkään kontrollikuhalla tai käsittelyn 1+1 kuhalla ravintoa ei havaittu. Kaikkien käsittelyjen kuhat oli kuitenkin ruokittu samaan aikaan kaksi vuorokautta ennen kuhien lopettamista ja mittauksia. Ruokintarytmillä oli selvä vaikutus ravinnon sulamisnopeuteen. Ilmeisesti kontrollikuhilla sekä käsittelyn 1+1 kuhilla tiheän ravinnonsaannin myötä mahan tyhjenemisnopeus ja metabolianopeus oli kasvanut kun taas käsittelyjen 1+3 ja 1+6 kuhilla harvan ruokinnan takia hidastunut. Alhaisimman metabolianopeuden (fasting metabolic rate, minimal metabolism) on havaittu usein olevan korkeampi hyvin ruokituilla kaloilla verrattuna paastotettuihin tai heikolla ravinnolla oleviin kaloihin (Jobling 1994).

### 5.3 Kuntokerroin ja mahan tilavuus

Päivittäinen ruokinta maistuvalla ravinnolla oli selvästi sopivampaa kuhille verrattuna aikaisempaan ruokintaan kuivarehulla ennen koetta. Tämän voi huomata myös kuntokertoimien muutoksista kokeen aikana. Kontrollikuhien kuntokerroin kasvoi kokeen ensimmäisellä jaksolla huomattavasti, mutta pysyi samalla tasolla toisella jaksolla (Taulukko 1). Samoin kävi käsittelyn 1+1 kuhilla; myös niiden kuntokerroin kasvoi merkitsevästi. Käsittelyn 1+1 kuhien kuntokerroin nousi edelleen merkitsevästi kokeen

toisella jaksolla ja oli kokeen lopussa lähes sama kuin kontrollikuhilla. Joka toinen päivä ruokitut kalat vaativat pidemmän ajan saavuttaakseen saman kunnon kuin päivittäin ruokitut kalat. Käsittelyjen 1+3 ja 1+6 kuhien kuntokertoimet pysyivät lähes muuttumattomina kokeen ajan ja olivat merkittävästi alhaisempia kuin kontrollikuhilla.

Kompensoidakseen paastopäiviä etenkin käsittelyn 1+6 kuhien täytyi kasvattaa mahan tilavuutta pystyäkseen syömään kerralla enemmän (Taulukko 1, Kuva 3). Kerran viikkoon ruokittujen kuhien mahan suhteellinen tilavuus oli nelinkertainen verrattuna päivittäin ruokittuihin. Käsittelyn 1+1 kuhat kompensoivat täydellisesti paastopäivät, mutta niiden vatsalaukun tilavuus ei eronnut kontrollikuhista. Vaikka käsittelyn 1+1 kuhat söivät suhteellisesti enemmän ruokintakerralla kuin kontrollikuhat, niiden ei tarvinnut kasvattaa kuitenkaan mahan tilavuutta. Nakagawa ym. (1999) eivät havainneet eroa mahan koossa järviuoreen (*Plecoglossus altivelis*) ruokintarytmikokeessa. Siinä järviuoreita ruokittiin kolmella eri tavalla; ryhmät 1 ja 3 kaksi ja neljä kertaa päivässä kylläisyyteen asti sekä ryhmä 2 neljä kertaa päivässä, mutta vain 60 % vastaavasta ravintomäärästä kuin ryhmällä 3. Ainoastaan suolisto oli pisin ryhmällä 3. Myöskään Nikki ym. 2004 eivät huomanneet kirjolohen kompensatiokokeessaan ruokintarytmin vaikuttavan merkittävästi mahan tilavuuteen. Suhteellisen ravinnonkulutuksen ( $\text{g kg}^{-1}$ ) huomattiin olevan kuitenkin yhteydessä vatsan suhteelliseen kokoon ( $\text{ml kg}^{-1}$ ); ravinnonkulutuksen kasvaessa myös mahan tilavuus kasvoi. Myös tässä kuhakokeessa suhteellisen ravinnonkulutuksen ja mahan tilavuuden välillä oli selvä regressio, jota kuvasi parhaiten eksponentiaalinen malli (Kuva 13). Mitä suurempi oli suhteellinen ravinnonkulutus, sitä suurempi oli mahan tilavuus. Samansuuntaisia tuloksia saivat myös Pirhonen & Koskela (2005), jotka estimoivat kokeessaan epäsuorasti kirjolohen mahan tilavuutta läpivalaisulla. He syöttivät eri pituisia jaksoja paastotetuille kirjolohille rehua, johon oli sekoitettu pieniä lasikuulia jotka voitiin havaita läpivalaisussa. Läpivalaisussa havaittujen kuulien määrästä pystyttiin estimoimaan mahan tilavuus. Heidän kokeessaan havaittiin mahan sisällön kuivapainon korreloivan hyvin mahan tilavuuden kanssa.

#### 5.4 Suolistorasva, koostumus ja retentio

Suolistorasvaa päivittäin ruokituilla kuhilla oli huomattavasti enemmän verrattuna etenkin käsittelyiden 1+3 ja 1+6 kuhiin niin absoluuttisesti kuin osuutena kalan kokonaisuudesta (Taulukko 1). Myös tuorepainon koostumusanalyysin perusteella kontrollikuhilla oli merkitsevästi enemmän kokonaisrasvaa suhteessa massaan kuin käsittelyiden 1+3 ja 1+6 kuhilla (Taulukko 2). Todennäköisesti kompensatiokasvu on yhteydessä energiavarastojen hupenemiseen, kuten myös Bull & Metcalfe (1997) huomasivat Atlantin lohen paastokokeessa. He havaitsivat talvehtivan nuoren Atlantin lohen kasvattavan ravinnonottoaan huonon ravintotilanteen jälkeen. Hyperfagian keston huomattiin olevan yhteydessä kalan rasvavarastojen hupenemiseen ja eniten rasvaa menettäneillä kaloilla hyperfagia kesti pidempään. Jobling & Miglavs (1993) tutkivat nierien ravinnonkulutusta, kun ruumiin energiavarastot olivat pienentyneet. Ruumiin rasvapitoisuuden huomattiin olevan yhteydessä syötyyn ravinnon määrään; mitä pienemmät rasvavarastot olivat, sitä suurempi oli syöty ravintomäärä. Samoin Johansen ym. (2001) havaitsivat paastotettujen ja rajoitetulla ravinnolla olleiden smolttiutuneiden Atlantin lohien jatkavan hyperfagiaa niin pitkään kunnes ruumiin rasvavarastot olivat päivittäin ruokittujen kontrollikalajien tasalla.

Kosteusprosentti oli käsittelyjen 1+6 ja 1+3 kuhilla merkitsevästi suurempi kuin kontrollikuhilla ja käsittelyn 1+1 kuhilla (Taulukko 2). Myös muissa tutkimuksissa on saatu samanlaisia tuloksia. Usein paastotettujen kalojen kosteusprosentti on suurempi. Pirhosen & Forsmanin (1998) ruokintakokeessa kaksi kertaa viikossa ruokittujen taimenten

kosteusprosentti oli merkitsevästi suurempi kuin kaksi kertaa päivässä ruokittujen kontrollitaimenten. Lisäksi kaksi kertaa viikossa ruokittujen taimenten rasvan osuus kokonaiskoostumuksesta oli pienempi kuin kontrollitaimenilla. Samoin myös kuhilla rasvan osuus pieneni paastojakson pituuden kasvaessa. Erot kosteusprosentissa ja rasvan osuudessa olivat taimenilla merkitseviä kuitenkin vasta neljän kuukauden kasvatuksen jälkeen. Li ym. (2005) kasvattivat pilkkupiikkimonneja (*Ictalurus punctatus*) ruokintarytmeillä, joissa paastopäivät/ruokintapäivät olivat 0/7, 1/6, 1/4, 2/5, 3/7 ja 3/4. Kokeessa ruokintapäivien osuuden kasvaessa suolistorasvan määrä lisääntyi sekä fileen rasvapitoisuus kasvoi ja kosteusprosentti pieneni.

Kontrollikuhien ja käsittelyn 1+1 kuhien energiapitoisuus oli merkitsevästi suurempi kuin käsittelyissä 1+3 ja 1+6 (Taulukko 2). Suuri energiapitoisuus selittyy suurella rasvanmäärällä; kontrollin ja käsittelyn 1+1 kuhien energiamäärästä lähes puolet koostuu rasvasta (Kuva 15). Myös Pirhosen ja Forsmanin (1998) kokeessa energiapitoisuus oli suurin kaksi kertaa päivässä ruokituilla taimenilla. Kontrollikuhilla myös energian retentiotehokkuus oli paras ja ero oli merkitsevä käsittelyn 1+6 kuhiin. Ilmeisesti käsittelyn 1+6 kuhien perusmetaboliaan kului suhteellisesti enemmän energiaa kuin kontrollikalajoilla, eikä sitä voitu hyödyntää niin paljon lisäkasvuun. Kontrollikuhilla myös rasvan retentiotehokkuus oli paras, joten niillä oli varaa lisätä myös energiavarastoja, johon harvemmin ruokituilla ei ollut niin suurta mahdollisuutta. Paastojakson pidetessä kuhat pyrkivät pitämään proteiinipitoisuuden samalla tasolla, mutta joutuivat vähentämään rasvan varastointia. Tämä ilmenee myös rasvan retentiotehokkuudessa; rasvaa kulutetaan paastojakson kasvaessa perusmetaboliaan suhteessa enemmän ja sen hyötysuhde heikkenee. Boujard ym. (2000) ruokkivat nuoria kirjolohia rytmillä, jossa paastojakson pituudet olivat 1, 11 ja 21 päivää ja ruokinta tämän jälkeen 10 päivää. Energian ja proteiinin retentio oli paras kontrollikirjolohilla jotka syötettiin säännöllisesti kylläisiksi. Myös kuhilla proteiinin retentio laski hieman paastojakson kasvaessa yhdestä kuuteen päivään.

## 6. YHTEENVETO

Ruokintarytmikokeen tulosten perusteella kuhat voivat sopeutua harvaan ruokintaan ja kompensoida paastopäiviä. Joka toinen päivä ruokitut kuhat kasvoivat lähes yhtä suuriksi kuin päivittäin ruokitut. Joka toinen päivä ruokittujen kuhien kasvukerroinprosentti oli kokeen toisella jaksolla jopa suurempi kuin päivittäin ruokituilla. Jos koetta olisi jatkettu, kuhat olisivat voineet sopeutua ruokintarytmiin vielä paremmin. Kerran viikossa ruokittujen kuhien kasvukerroinprosentti sekä suhteellinen ravinnonkulutus oli kokeen toisella jaksolla suurempi, joten voidaan olettaa, että sopeutuminen ruokintarytmiin tapahtuu hitaasti ja koetta jatkettaessa kuhat olisivat voineet parantaa kasvuaan enemmän. Kerran viikossa ruokittujen kuhien rehukerroin parani toiselle jaksolle huomattavasti, joten tämäkin tukee sopeutumista harvaan ruokintaan. Kontrollikuhien nopea kasvu kokeen ensimmäisellä jaksolla saattoi aiheutua aikaisemman kasvun kompensoinnista, joten muiden käsittelyjen kuhia verrattaessa kontrolliin saattavat erot korostua. Paastopäiviä pitäneillä kuhilla ei ollut taas mahdollisuutta harvan ruokinnan takia kompensoida vielä paastopäivien lisäksi aikaisempaa huonoa kasvua ennen koetta. Mahdollisesti rehulla ruokittaessa kompensoinnin määrä olisi ollut suurempaa ja sopeutuminen ruokintaan nopeampaa. Kuhan ei olisi tällöin tarvinnut kasvattaa mahan tilavuutta niin paljon, koska kuivarehusta olisi saanut suuremman energiamäärän helpommin kuin kirjolohifileestä tilavuuteen verrattuna. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin kuivarehun maittavuus kalalle. Ruokintarytmillä voidaan vaikuttaa myös kuhan koostumukseen. Suolistorasvan määrä sekä rasvan osuus kokonaiskoostumuksesta laski

paastojakson piteuden kasvaessa. Mahdollisesti sopivalla ruokintarytmillä ja ravinnolla kasvattaja voi vähentää ravinnoksi kelpaamattoman ja vähäarvoisen suolistorasvan määrää ja pienentää samalla ruokintatyön määrää.

## KIITOKSET

Haluan kiittää Juhani Pirhosta ja Juha Koskelaa gradun ohjauksesta ja hyvistä ideoista. Juhaniilta löytyi aikaa jopa Joulupäivänä välipunnitukseen ja muutoinkin neuvoja sekä apua sai reippaasti. Vesitysongelmien ilmetessä viikonloppuna Juhani kiirehti paikalle lähes hälytysajoneuvoa nopeammin. Kiitokset myös Jarmo Lappivaaralle osallistumisesta kuhien ruokintaan ja muuhun työhön. Ilman ruokinta-apua vapaapäivät kokeen aikana olisivat jääneet vähiin.

## KIRJALLISUUS

- Ali, M. & Wootton, R.J. 2001. Capacity for growth compensation in juvenile three-spined sticklebacks experiencing cycles of food deprivation. *J. Fish Biol.* 58: 1531-1544.
- Anonyymi 2007. Vesiviljely 2006. *Riista- ja kalatalous – Tilastoja* 4/2007. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 29s.
- Boujard, T, Burel, C., Médale, F., Haylor, G. & Moisan, A. 2000. Effect of past nutritional history and fasting on feed intake and growth in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquat. Living Resour.* 13: 129-137.
- Bull, C.D. & Metcalfe, N.B. 1997. Regulation of hyperphagia in response to varying energy deficits in overwintering juvenile Atlantic salmon. *J. Fish Biol.* 50: 498-510.
- Dobson, S.H. & Holmes, R.M. 1984. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.* 25: 649-656.
- Hayward, R.S., Noltie, D.B. & Wang, N. 1997. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. *Trans. Am. Fish. Soc.* 126: 316-322.
- Hayward, R.S. & Wang, N. 2001. Failure to induce over-compensation of growth in maturing yellow perch. *J. Fish Biol.* 59: 126-140.
- Hayward, R.S., Wang, N. & Noltie, D.B. 2000. Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish. *Aquaculture* 183: 299-305.
- Hilge, V. & Steffens, W. 1996. Aquaculture of fry and fingerling of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* L.) – A short review. *J. Appl. Ichthyol.* 12: 167-170.
- Jobling, M. 1994. Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, London, 309 s.
- Jobling, M. & Koskela, J. 1996. Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and subsequent period of compensatory growth. *J. Fish Biol.* 49: 658-667.
- Jobling, M. & Miglavs, I. 1993. The size of lipid depots - a factor contributing to the control of food intake in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *J. Fish Biol.* 43: 487-489.
- Johansen, S.J.S., Ekli, M., Stagnes, B. & Jobling, M. 2001. Weight gain and lipid deposition in Atlantic salmon, *Salmo salar*, during compensatory growth: evidence for lipostatic regulation? *Aquacult. Res.* 32: 963-974.
- Jokelainen, T. & Koskela, J. 2007. Kuhan alkukasvatus onnistuu Artemia-äyriäisen ja rehun yhteisruokinnalla. – *Riista- ja kalatalous. Selvityksiä* 3/2007. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 16 s.

- Kankainen, M., Setälä, J. & Kause, A. 2007. Kasvatetun siian ominaisuuksien taloudelliset arvot. *Kala- ja riistaraportteja* 414, 45s.
- Kestemont, P., Xueliang, X., Hamza, N., Maboudou, J. & Toko, I.I. 2007. Effect of weaning age and diet on pikeperch larviculture. *Aquaculture* 264: 197-204.
- Koskela, J., Kankainen, M., Setälä, J., Naukkarinen, M. & Vielma, J. 2007. Kuhan ruokakalakasvatuksen kannattavuus verkoallaskasvatuksessa ja lämminvesiviljelyssä. *Kala- ja riistaraportteja* 403, 27s.
- Koskela, J., Setälä, J. & Honkanen, A. 1998. Viljelyn monipuolistaminen uusien lajien avulla. Lajien taloudelliset ja tekniset mahdollisuudet ruokaviljelyyn. *Kala- ja riistaraportteja* 111, 13s.
- Koskela, J., Setälä, J., Saarni, K. & Kankainen, M. 2005. Esiselvitys kuhan kasvatuksen mahdollisuuksista. *Kala- ja riistaraportteja* 348 19s.
- Li, M. H., Robinson, E. H. & Bosworth, B. G. 2005. Effects of period feed deprivation on growth, feed efficiency, processing yield, and body composition of Channel catfish *Ictalurus punctatus*. *J. World Aquacult. Soc.* 36: 444-453.
- Luchiari, A. C., de Morais Freire, F. A., Koskela, J. & Pirhonen, J. 2006. Light intensity preference of juvenile pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Aquacult. Res.* 37: 1572-1577.
- Maclean, A. & Metcalfe, N.B. 2001. Social status, access to food, and compensatory growth in juvenile Atlantic salmon. *J. Fish Biol.* 58: 1331-1346.
- Mehner, T., Schultz, H., Bauer, D., Herbst, R., Voigt, H. & Benndorf, J. 1996. Intraguild predation and cannibalism in age-0 perch (*Perca Fluviatilis*) and age-0 zander (*Stizostedion lucioperca*): Interactions with zooplankton succession, prey fish availability and temperature. *Ann. Zool. Fennici* 33: 353-361.
- Miglav, I. & Jobling, M. 1989. Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acids in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, with particular respect to compensatory growth. *J. Fish Biol.* 34: 947-957.
- Molnar, T., Hancz, Cs., Bodis, M., Müller, T., Bercsényi, M. & Horn, P. 2004. The effect of initial stocking density on growth and survival of pike-perch fingerlings reared under intensive conditions. *Aquacult. Int.* 12: 181-189.
- Nakagawa, H., Umino, T. & Mizogami, H. 1999. Effect of feeding regime on biological and biochemical parameters in ayu. *Fish. Sci.* 65: 259-263.
- Nicieza, A.G. & Metcalfe, N.B. 1997. Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: responses to depressed temperature and food availability. *Ecology* 78: 2385-2400.
- Nikki, J., Pirhonen, J., Jobling, M. & Karjalainen, J. 2004. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. *Aquaculture* 235: 285-296.
- Nykänen, M. 2006. Effects of temperature and feeding regime on compensatory growth of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Pro gradu –tutkielma, Jyväskylän yliopisto, 32s.
- Pirhonen, J. & Forsman, L. 1998. Effect of prolonged feed restriction on size variation, feed consumption, body composition, growth and smolting of brown trout, *Salmo trutta*. *Aquaculture* 162: 203-217.
- Pirhonen, J. & Koskela, J. 2005. Indirect estimation of stomach volume of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquacult. Res.* 36: 851-856.
- Quinton, J.C. & Blake, R.W. 1990. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. Fish Biol.* 37: 33-41.



- Ruuhijärvi, J. & Hyvärinen, P. 1996. The status of pike-perch culture in Finland. *J. Appl. Ichthyol.* 12: 185-188
- Ruuhijärvi, J., Virtanen, E., Salminen, M. & Muyunda, M. 1991. The growth and survival of pike-perch, *Stizostedion lucioperca* L., larvae fed on formulated feeds. In: Larvi '91. Special Publication 15. Lavens, P., Sorgeloos, P., Jaspers, E., Ollivier, F. (Eds). European Aquaculture Society, Gent, Belgia.
- Schlumberger, O. & Proteau, J.-P. 1996. Reproduction of pike-perch (*Stizostedion lucioperca*) in captivity. *J. Appl. Ichthyol.* 12: 149-152.
- Steffens, W., Geldhauser F., Gerstner, P. & Volker, H. 1996. German experiences in the propagation and rearing of fingerling pikeperch (*Stizostedion lucioperca*). *Ann. Zool. Fennici* 33: 627-634
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y. & Cai, F. 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture* 189: 101-108.
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y. & Cai, F. 2005. Partial compensatory growth in hybrid tilapia *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* following food deprivation. *J. Appl. Ichthyol.* 21: 389-393.
- Wedemeyer, G. A. 1996. Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman & Hall, New York, 232 s.
- Willemsen, J. 1978. Influence of temperature on feeding, growth and mortality of pikeperch and perch. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 20: 2127-2133.
- Zhu, X., Cui, Y., Ali, M. & Wootton, R.J. 2001. Comparison of compensatory growth responses of juvenile three-spined stickleback and minnow following similar food deprivation protocols. *J. Fish Biol.* 58: 1149-1165.