

**KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 245**

*Sirkka Heinimaa*

## Valo ja sen vaikutukset kalanviljelyssä

Helsinki 2002

Sirkka Heinimaa

**Valo ja sen vaikutukset kalanviljelyssä**

Tutkimusraportti

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Vesiviljely

Valon voimakkuuden vuodenaikaiset muutokset luonnon- ja laitosolosuhteissa, 503024

Valon voimakkuudessa tapahtuvat vuorokautiset muutokset säätelevät kalojen vuorokausirytmistä ja päivän pituudessa tapahtuvat vuodenaikaiset muutokset kalojen vuosisykliä. Kalojen vuorokausi- ja vuosirytmit ovat kehittyneet optimoimaan yksilöiden menestymistä luonnossa. Perusperiaate istukastuotannossa tulisi olla luonnollisen valorytmin käyttö siten, että istutettaessa päivän pituudessa ja veden lämpötilassa ei tapahdu suuria muutoksia. Viljelytilojen valaistuksen kehittämiseksi suoritettiin Inarissa valon voimakkuuden mittauksia luonnossa ja viljelytiloissa vuoden aikana.

Valaistusolosuhteet Suomessa vaihtelevat suuresti eri vuodenaikoina kesän 24 tunnin valosta talven hämääriin muutaman tunnin päiviin. Maan pinnalle tulee valoa vielä auringonlaskun jälkeenkin hajasäteilyinä nk. hämäräaikana. Myös hämäräajan pituudessa tapahtuu muutoksia vuoden aikana. Päivän pituus matalassa kirkkaassa vedessä on käytännössä sama kuin ilmassa. Valon voimakkuuden heikkeneminen vedessä riippuu sen väristä ja sameudesta. Ilmassa olevasta valosta alle 10 % (minimi talvena aikana <1 %) pääsee tunkeutumaan lumi- ja jääpeitteen läpi veteen. Niinpä keskitalvella (joulu – tammikuussa Inarissa) päiväaikainen valon voimakkuus vedessä oli maksimissaan joitakin lukseja. Päivällä matalassa kirkkaassa vedessä valossa on tasaisesti kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia. Talvella lumen ja jään alla valon spektrikoostumus on kapeampi sisältäen eniten vihreää ja keltaista valoa.

Ikkunallisissa viljelytiloissa valon voimakkuus alkoi nousta ja laskea yhteiskunnallisen hämärän aikana eli ennen auringon nousua ja auringon laskun jälkeen. Jos valorytmi tuotetaan viljelytilassa yksistään lamputilla, on paikkakunnan auringon nousu- ja laskuaikoihin lisättävä yhteiskunnallinen hämäräaika valojen palamisaiakaa säädettyä. Kaloja siirrettäessä viljelytiloista toisiin tai ulkoaltaisiin päivän pituudessa ja veden lämpötilassa tulee välttää suuria muutoksia. Viljelytiloissa ikkunoiden kautta ja lamputista tuleva valo ei saa olla niin voimakasta, että se häiritsee kaloja. Häiriöttömässä tilassa poikaset ovat levittäytyneenä tasaisesti altaaseen. Kylmässä vedessä kalat ovat herkempiä valolle kuin lämpimässä vedessä. Valon voimakkuuden säätö viljelytiloissa talvella alhaisemmalle tasolle kuin kesällä, voi lisätä kalojen hyvinvointia. Äkilliset valon voimakkuuden muutokset aiheuttavat kaloille stressiä.

Valo, päivän pituus, valon voimakkuus, spektrikoostumus, vuosisykli, vuorokausisykli, lohikalat

Kala- ja riistaraportteja 245

951-776-360-3

1238-3325

42 s.

Suomi

Julkinen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Vesiviljely  
PL 6  
00721 Helsinki  
Puh. 0205 7511, Faksi 0205 751 201Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
PL 6  
00721 Helsinki

Puh. 0205 7511, Faksi 0205 751 201

# Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. TUTKIMUSALUEEN KUVAUS.....	2
2.1. Inarin kalantutkimus ja vesiviljely.....	2
2.2. Sarmijärven kalanviljelylaitos.....	3
2.3. Istutukset .....	4
3. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	5
4. VALO LUONNOSSA.....	6
4.1. Valo ilmassa .....	6
4.1.1. Päivän pituus .....	6
4.1.2. Hämäräaika.....	6
4.1.3. Valon voimakkuus .....	8
4.1.4. Valon spektrikoostumus.....	9
4.2. Valo vedessä.....	11
4.2.1. Päivän pituus ja valon voimakkuus .....	11
4.2.2. Valon kulkeutuminen vedessä .....	13
4.2.3. Valon spektrikoostumus.....	15
4.3. Valo talvella lumi- ja jääpeitteen alla .....	16
4.3.1. Valon voimakkuus ja päivän pituus.....	16
4.3.2. Valon spektrikoostumus.....	17
5. VALO KALANVILJELYTILOISSA.....	18
5.1. Ulkoaltaat .....	18
5.2. Ikkunalliset viljelytilat.....	18
5.3. Lamput viljelytilojen valaistuksessa .....	19
6. MITEN KALA AISTII VALON .....	21
6.1. Käpylisäke mittaa vuorokauden- ja vuodenaikaa .....	21
6.2. Silmän tehtävänä on huolehtia näköhavainnoista .....	21
7. VALAISTUKSEN SÄÄTELYN VAIKUTUS LOHIKALOIHIN .....	22
7.1. Mäti ja ruskuaispussipoikaset .....	22
7.2. Kalojen vuorokausirytmii .....	22
7.3. Kalojen vuosisykli .....	23
7.4. Valon voimakkuus.....	25
7.5. Valon spektrikoostumus.....	26
8. YHTEENVETO .....	28
9. KIITOKSET .....	31
10. TERMIEN SELITYKSIÄ.....	32
11. KIRJALLISUUS .....	33

# 1. Johdanto

Lämpötila ja päivän pituus muuttuvat vuodenaikojen muuttuessa. Muutokset päivän pituudessa ovat lämpötilaa säännöllisimpiä vuodesta toiseen. Valo säätelee eläinten elämänrytmiä luonnossa, jossa valon voimakkuudessa tapahtuvat muutokset toimivat eläinten kellona ja kalenterina niiden arvioidessa vuorokauden ja vuodenaikaa. Kalojen vuorokausiaktiivisuutta, kuten ruokailua ja liikkumista, säätelevät päivittäiset valon voimakkuuden muutokset. Päivän pituudessa tapahtuvat vuodenaikaiset muutokset säätelevät kalojen vuosisykliä kuten sukukypsymistä ja lohikalojen jokipoikasten smolttiutumista. Veden lämpötilalla on myös osansa vuorokausi- ja vuosirytmien synnyssä. Kalan aineenvaihdunnan nopeuden ollessa riippuvainen veden lämpötilasta on myös päivän pituuden indusoimien fysiologisten muutosten nopeus riippuvainen siitä.

Kalat reagoivat päivän pituuden muutoksiin. Tästä syystä kalojen vuosirytmisiä voidaan muuttaa tarkoituksella tai tahattomasti. Viljeltyjen kalojen mahdollisesti muuttunutta vuorokausi- tai vuosirytmisiä ei edes välttämättä huomaa, sillä viljelyrytmistä on tullut niiden normaali vuorokausi- ja vuosirythmi. Muuttuneella vuosirythmillä voi olla kuitenkin negatiivisia vaikutuksia niin emokala- kuin poikastuotannossa. Emokaloilla kutuajankohdan muuttuminen voi vaikuttaa mätimunaa laatuun (Macquarrie ym. 1979, Zaugg ym. 1986, Bon ym. 1999). Muuttunut kutuajankohta heijastuu myös poikasten kuoriutumisaikajankohtaan keväällä, mikä voi vaikuttaa alkuruokinnan onnistumiseen. Vaelluspoikasten menestyminen merivedessä (Gudjónsson 1973, Isaksson 1976, Clarke & Nagahama 1977, Saunders ym. 1989) ja myös murtovedessä riippuu smolttiutumisen onnistumisesta (Virtanen ym. 1991). Poikkeavan vuorokausirytmien vaikutuksesta istutuspoikasten menestymiseen luonnossa ei tiedetä. Voidaan vain arvella, ettei se ainakaan helpota istukkaiden sopeutumista uuteen elinympäristöön. Tyynenmeren lohilla puoliluonnollisissa viljelylaitoksissa kasvatettujen poikasten paluuprosentti aikuise- na on ollut 31–62 % suurempi kuin perinteisillä viljelymenetelmillä kasvatettujen poikasten (Maynard & Flagg 2001, Tipping 2001). Tämä antaa aiheutta ajatella, josko myös kotoisilla istukaslajeillamme viljelyolosuhteiden optimoiminen näkyisi istutustuloksissa.

Valo on yksi kalanviljelyn keskeinen työkalu siinä missä ruokinta-automaatitkin. Jotta sitä osataan käyttää, täytyy tietää miten valon voimakkuus ja päivän pituus vaikuttavat kaloihin. Tähän työhön on lyhyesti koottu yhteen tietoja valon vaikutuksesta lohikalojen elämään.

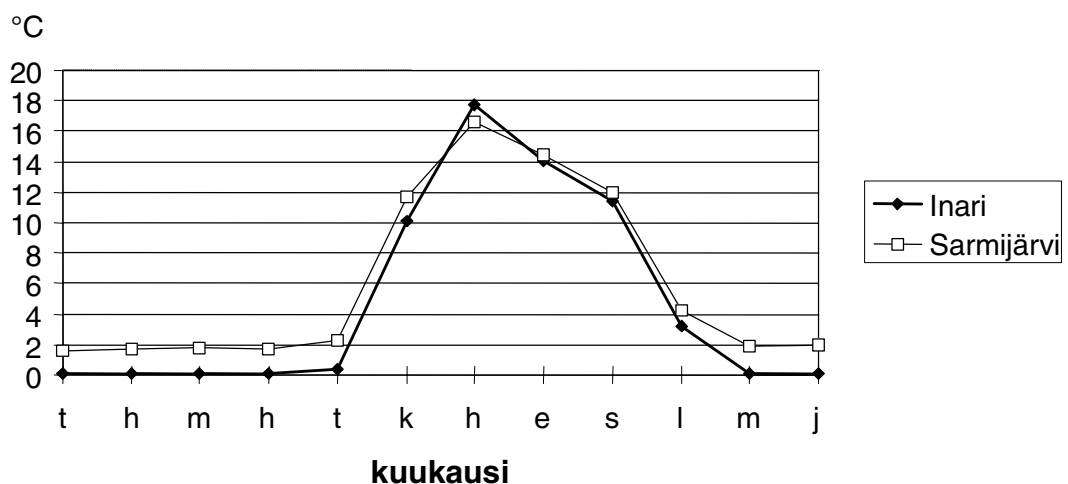
Mikä sitten on luonnollinen valorythmi? Tämä kysymys nousi esille kun tohtori John Thorpe kävi arvioimassa RKTL:n pohjoisten kalanviljelylaitosten toimintaa. Hän kiinnitti erityisesti huomiota viljelytilojen valaistukseen ja siihen, että valorythmin tulee olla sama kuin luonnossa (Thorpe 1999).

Valo vedessä on kuitenkin erilaista kuin ilmassa varsinkin talvisen jää- ja lumipeitteen alla. Luonnollisten valaistusolosuhteiden selville saamiseksi mitattiin vuoden ajan valaistusolosuhteiden muuttumista ulkona ilmassa ja vedessä Inarissa. Lisäksi mitattiin viljelytilojen valaistusta RKTL:n Inarin kalantutkimus ja vesiviljelyssä ja Sarmijärven kalanviljelylaitoksella. Vaikka mittaukset on tehty Inarissa, saa tuloksista suuntaa myös Etelä-Suomessa oleville kalanviljelylaitoksille.

## 2. Tutkimusalueen kuvaus

### 2.1. Inarin kalantutkimus ja vesiviljely

Laitos on Inarin kirkonkylässä (69°N, 27°E) Inarijärven länsipuolella. Laitoksella ei ole vuoden 1997 jälkeen ollut käytössä ulkoaltaita, joten kalat kasvatetaan kokonaan sisätiloissa. Tuloveden Inarin laitos ottaa ohi virtaavasta Juutuanjoesta painekorkeutta tasaavan patoaltaan kautta. Viljelyveden lämpötila on laitoksella käytännössä kuitenkin sama kuin Juutuanjoessa. Jokiveden lämpötila on kuutena talvikuukautena 0,1°C:sta ja neljänä kesäkuukautena yli 10°C:sta maksimilämpötilojen ollessa heinäkuussa noin 18°C:sta (kuva 1). Juutuanjoen vedenlaatu on erinomainen, mitä kuvaavat alhainen kiintoainepitoisuus (<1–4 mg/l), veden väri (14–40 Pt mg/l) ja suhteellisen suuri näkösyvyys (2,8–3,5 m). Laitoksella on emokalanviljelyssä kolme paikallista järvitaimenkantaa, Ivalojoen pohjasiika, Juutuanjoen harjus, Vuoksen vesistön järvilohi ja Tenojoen lohi. Poikaskasvatuksessa laitoksella on järvitaimen, järvilohi ja Inarijärven nieriä.



**Kuva 1. Inarin ja Sarmijärven kalanviljelylaitosten keskimääräinen veden lämpötila kuukauden 15 päivänä.**

Inarissa on viljelytiloina hautomo ja sen yhteydessä oleva pienpoikashalli, poikashalli ja emokalahalli. Hautomo on asuinrakennuksen kellarissa, jonne valoa tulee katonra-jassa olevista ikkunoista. Ikkunoita on kolmeen eri suuntaan: yksi etelään, kolme, (joista yksi peitetty) pohjoiseen ja yksi itään. Lisäksi hautomotilasta on kolme ikkunaa pienpoikashalliin. Asuinrakennuksen pihassa on katuvalot, joita säädetään hämäräkytkimellä ja ne palavat läpi yön talviaikana. Lamppuina hautomossa on 11 kaksipaikkaista kirkasta 36 W loisteputkivalaisinta. Loisteputket on kytketty kolmeen sarjaan. Valot ovat päällä hautomossa työskenneltäessä, muulloin valaistus on ikkunoiden kautta tulevaa hajavaloa.

Siian ja harjuksen mäti haudotaan lasisuppiloissa. Taimenen ja järvilohen mäti haudotaan peitetyissä Ewoksen haudontakaukaloissa sekä saaveissa ja tihkuhaudontakaapissa. Syksyllä ensimmäiset mätimunat tuodaan haudontaan syyskuun lopussa ja keväällä viimeiset ruskuaispussipoikaset siirretään kasvatukseen kesäkuun lopussa.

Hautomon viereen rakennetussa lisäsiivessä (pienpoikashalli) on valkoisella maalilla himmennetyt ikkunat. Ikkunoita on kolmeen eri suuntaa: kuusi etelään, kaksi länteen ja neljä itään. Lamppuina on 16 kaksipaikkaista kirkasta 36 W loisteputkivalaisinta, joiden valonvoimakkuutta voidaan säätää himmentimellä. Loisteputket on kytketty kahteen sarjaan. Loisteputket ovat päällä hallissa työskenneltäessä, muulloin valo on ikkunoiden kautta tulevaa hajavaloa.

Poikashallin etelän ja pohjoisen puoleiset koko pitkittäisseinän mittaiset ikkunarivit on peitetty sälekaihtimilla, joita pidetään suljettuina koko ajan. Hallin toisessa päädyssä on katosta roikkuvat pressut, jotka eristävät viljelytilan muista työskentelytiloista. Toisen päädyn ovi-ikkunat on peitetty mustalla muovilla. Ruokintavaloina, jotka on kytketty Itumicin ruokinta-automatiikkaan käytetään 18 x 40 W hehkulamppuja, joiden suojana on valkoinen lasikupu. Lisäksi hallissa on 144 x 36 W loisteputkia, joiden valon voimakkuutta voidaan säätää himmentimellä. Loisteputket on kytketty 12 eri sarjaan. Loisteputket ovat päällä vain silloin kun hallissa työskenneltäessä tarvitaan lisävaloa.

Emokalahallissa (kaarihalli) on peitetty ikkunat päätyovissa ja valvontahuoneen sisäikkunassa. Valoina käytetään 24 x 750 W halogeenilamppuja, jotka ovat altaan seinäpuoleisella reunalla. Halogeenilamppujen valo heijastetaan vaaleapintaisen kaarevan katon kautta altaaseen. Valot on kytketty Itumicin ruokinta-automatiikkaan ja niiden voimakkuutta voidaan säätää portaattomasti. Tarvittaessa altaan teräsreunan pidikkeeseen voidaan laittaa halogeenilisävalo hallissa työskenneltäessä.

Järvilohi emokalaparven allas on peitetty kevästä syksyyn. Suojapeitteen alla on 40 W hehkulamppu, jonka palamisaika on säädetty ajastimella. Valon voimakkuus peitetyssä järvilohialtaassa oli lampun ollessa päällä 0,15–10 luksia mittauspaikesta riippuen. Järvilohiemoja on pidetty omassa Saimaan alueen valorytmissä kevätpäivän tasauksesta lypsyyn asti lokakuussa.

Poikas- ja emokalahallissa ruokintavalojen palamisaika on säädetty Itumicin ruokinnanohjausjärjestelmän astrokellon mukaan eli auringon nousu- ja laskuaikojen mukaan Inarissa. Talviaikaan, jolloin aurinko ei nouse horisontin yläpuolelle, ruokintavalot ovat olleet päällä päivittäin 2 tuntia kello 12–14 vuonna 1998 ja kello 10–12 vuonna 1999.

## 2.2. Sarmijärven kalanviljelylaitos

Sarmijärven laitos on noin 6 km etelämpänä kuin Inarin laitos Inarijärven kaakkoispuolella. Tuloveden laitos ottaa yläpuolisesta Sarmijärvestä. Viljelyveden lämpötila on taviaikana hieman alle 2 C:sta (kuva 1). Kesäaikana maksimi veden lämpötiloja voidaan jonkin verran alentaa ottamalla alusvettä Sarmijärvestä. Sarmijärven veden laatu on myös erinomainen, kiintoainepitoisuus on alle 1 mg/l, veden väri alle 50 Pt mg/l ja näkösyvyys 2,9–4,8 m. Emokalanviljelyssä Sarmijärvellä on kaksi paikallista järvi-taimenkantaa, Inarijärven nieriä, Ivalojoen pohjasiika ja Lake Superior-järven harmaanieriä. Poikaskasvatuksessa laitoksella ovat järvi-taimen, Vuoksen vesistön järvilohi, nieriä, ja harmaanieriä. Hautomo on poikashallin yhteydessä. Taimenen, nieriän ja harmaanieriän mätimunat haudotaan pääasiassa kannella peitetyissä mustissa polyeteenihaudontasaaveissa. Laitoksella on myös Ewos-kaukaloita haudontaa varten. Osa poikasista kuoriutetaan kelluvilta ritilöiltä suoraan viljelyaltaisiin ja osa Ewoksen hau-

dontakaukaloissa. Korkean lämpötilan vuoksi pohjasiiian mäti siirretään vastalypsettyinä haudottavaksi Inarin laitokselle.

Poikaset kasvatetaan ensimmäisen vuoden hallissa. Lisäksi poikasten kesäkasvatustilaa on hallin vieressä olevan katoksen alla. Katoksessa kaloja pidetään maaliskuulta lokakuulle. Ensimmäisen kesän (harmaanieriä) tai vuoden (taimen, nieriä) jälkeen kalat siirretään ulkoallasalueelle, jossa niitä kasvatetaan istuttamiseen asti 1–3 vuotta. Emokalaparvia kasvatetaan vain ulkoalueella betonuoma-altaissa.

Hallissa lasikuitualtaita on kahdessa kerroksessa. Hallin ikkunat on peitetty sälekaihtimilla, joiden läpi ei tule valoa. Ovissa on himmennetyt lasit, joiden kautta valoa tulee hyvin vähän. Lamppuina hallissa käytetään 16 x 60 W kohdevalaisimia (hehkulamput), jotka on kytketty himmentimeen. Kohdevalaisimien valo heijastetaan altaisiin katon kautta. Valot ovat koko ajan päällä luoden halliin tasaisen himmeän valon ympäri vuorokauden. Lisäksi hallissa on tavallisia 12 x 60 W hehkulamppuja, jotka on kytketty neljään sarjaan. Hallin katossa on 25 x 36 W loisteputkea, joiden voimakkuutta voidaan säätää himmentimellä. Loisteputket on kytketty viiteen sarjaan. Tavallisia hehkulamppuja ja loisteputkia käytetään vain tarvittaessa lisävalaistusta työnteossa. Lisäksi hallin katossa on 20 x 36 W Thorn Red loisteputkia, joita normaalisti käytetään vain hautomotilassa.

Katoksessa ei ole yhtenäistä seinää, joten sinne pääsee hajavalona luonnonvaloa. Katoksessa on 10 x 125 W hehkulamppuja. Lamput ovat aikaisemmin olleet kytkettyinä hämäräkytkimeen ja lamput ovat palaneet iltahämärästä kello 23:een. Helmikuussa vuonna 2000 hämäräkytkin liittymä on poistettu ja lamppuja on käytetty enää tarvittaessa lisävalaistusta.

Ulkoaltaat jäätyvät osittain talvena aikana pakkastilanteen mukaan. Jääkantta altaissa on marraskuusta maaliskuuhun. Lumi- ja jääkerroksen paksuus altaiden päällä ei kasva kovin suureksi talven aikana. Ulkoallasalueella on kaksi tolppaa, joissa on kolme kappaletta 400 W hehkulamppua, jotka ovat palaneet samalla rytmikällä kuin katoksen alla olevat lamput. Syksyllä 1999 hämäräkytkin on otettu pois päältä, eikä lamppuja ole käytetty.

## 2.3. Istutukset

Inarin ja Sarmijärven kalanviljelylaitokset tuottavat istutuksiin mätiä ja eri ikäisiä poikasia. Jokiin istutetaan taimen ja järvilohen silmäpisteasteista mätiä ja vastakuoriutuneita poikasia kevättalvella - alkukesällä. Järviin istutetaan nieriän ja harmaanieriän mätiä ja vastakuoriutuneita poikasia. Järvitaimenia istutetaan 1- ja 2-vuotiaina ns. jokipoikasina sekä 3-vuotiaina ns. vaelluspoikasina jokiin keväällä – alkukesällä. Lisäksi järvitaimenistutuksia tehdään suoraan järveen 3- ja 4-vuotiailla taimenilla alkukesällä. Järvilohia istutetaan 1-kesäisinä ja 1-vuotiaina jokipoikasina ja 3-vuotiaina vaelluspoikasina Ivalojokeen. Nieriöitä istutetaan nykyisin 1- ja 2-vuotiaina ja harmaanieriöitä 3-vuotiaina järveen. Siikojen mäti haudotaan ja kuoriutetaan Inarin laitoksella. Vastakuoriutuneet siianpoikaset myydään jatkokasvattajille ja osa kasvatetaan kesänvanhoiksi luonnonravintolammikoissa, joista ne istutetaan syksyllä luonnonvesiin. Harjusen mätiä myydään jatkokasvattajille ja istutetaan jokeen vastakuoriutuneena.

### 3. Aineisto ja menetelmät

Valovoimakkuuden mittaamiseen käytettiin kaksikanavaista (SKL 2200) digitaalimitaria, standardi luxsensoria (SKL 310) ja herkkää laaja-alaista himmeälasihajoitindiodisensoria (SKL 310L). Sensorit mittaavat valoa 400–700 nm aallonpituusalueilta. Kahden sensorin tulokset eivät ole vertailukelpoisia, koska herkässä sensorissa ei ole kosinikorjausta. Standardisensori mittaa kosinikorjauksen ansiosta 180° kulmassa tulevat valonsäteet. Herkässä sensorissa kosinikorjausta ei ole käytetty, koska se heikentää sensorin herkkyyttä. Käytännössä herkkä sensori mittaa kapeammalta alueelta tulevan valon määrää kuin standardi sensori. Mittarin ykköskanava mittaa lukseja herkkyysalueilta 0–20, 0–200 ja 0–2000 luksia ja kakkoskanava kilolukseja herkkyysalueilta 0–2, 0–20 ja 0–200. Mittarin kokonaisherkkyysarvo on 0,01 luksista 200 kiloluksiin.

Mittaustulokset on tallennettu pitkäjaksoisissa mittauksissa suoraan tietokoneelle Pico Technology Ltd. 16 bitin jännitemuuntimella ADC-16, joka liitetään tietokoneeseen sarjakaapelilla. Tietokoneeseen kerätyt mittausravot on muutettu tarkoitusta varten tehdyllä ohjelmalla (suunnitellut Jorma Kuusela) jännitearvoiksi, jotka vastaavat mittarin antamia luksiarvoja. Yhtäjaksoisissa mittauksissa valon voimakkuus on mitattu minuutin välein, joista 10 minuutin välein on laskettu keskiarvo, joka on tallentunut tietokoneen muistiin.

Koska anturin asento vaikuttaa mittaustulokseen on kaikki mittaukset tehty anturin ollessa kohtisuoraan ylöspäin. Mittauksia on tehty luonnossa ilmasta, avovedestä sekä lumen ja jään alta talviaikana. Mittauspaikkana on ollut talviaikana Inarin laitoksen pautoallas ja kesäaikana laitoksen saunalaiturin juutuanjoen poukamassa. Talvella anturi on upotettu veteen kairan reiästä saranoidulla kepillä, jonka päässä oleva kelluke on kääntänyt anturin ylöspäin metrin päähän reiästä. Kairan reikä on tukittu styroksilla ja lumella, jotta ylimääräistä valoa ei menisi anturille. Mittauksia tehtäessä on kirjattu ylös käytetty anturi, herkkyysarvo ja vallitseva säätila. Lisäksi vedenalaisissa mittauksissa on kirjattu ylös anturin syvyys ja talviaikana lumen ja jään paksuus.

Viljelytilojen valaistus on mitattu Inarin sekä Sarmijärven laitoksilla. Inarissa on mitattu hautomon, pienpoikashallin, poikashallin ja emokalahallin valaistusolosuhteet. Sarmijärvellä valomittauksia on tehty hallissa, katoksessa ja ulkoallasalueella.

Ilmassa ja vedessä olevan valon spektri- ja värikoostumusta on mitattu keväällä ja kesäkuun alussa. Mittaukset on tehty Macam SR 991 spektrofotometrillä aallonpituusalueilla 240–800 nm, kymmenen nm välein. Mittaustulokset on tallennettu Spectro -ohjelmalla tietokoneen muistiin watteina neliometriä kohden ( $Wm^{-2}$ ).

Auringon nousu- ja laskuajat Inarin korkeudella on laskettu Sclyterin (1992) Sunrise -ohjelmalla. Auringon nousu ja laskuajat sekä hämäräajat Ivalon lentokentältä on saatu ComuSolve, Inc ylläpitämiltä internetsivuilta osoitteesta (<http://www.kolumbus.fi/a.r.hutila/aurinko.html>). Koska auringon nousu- ja laskuajoissa on Ivalon ja Inarin välillä vain muutaman minuutin ero, soveltuvat hämäräajat käytettäväksi sellaisenaan myös Inarissa ja Sarmijärvellä. Hämärän alkamiseen ja loppumiseen vaikuttavat sääolosuhteet, mittaustaikojen varjostus sekä 10 minuutin talletusväli mittauksissa peittävät 52 km matkasta (Inari – Ivalon lentoasema) aiheutuvan eron valoisuuden ajan pituudessa.

Mittaustulokset on esitetty Arkisten kalojen fysiologiaa käsittelevässä symposiumissa Cambridgessa vuonna 2000.

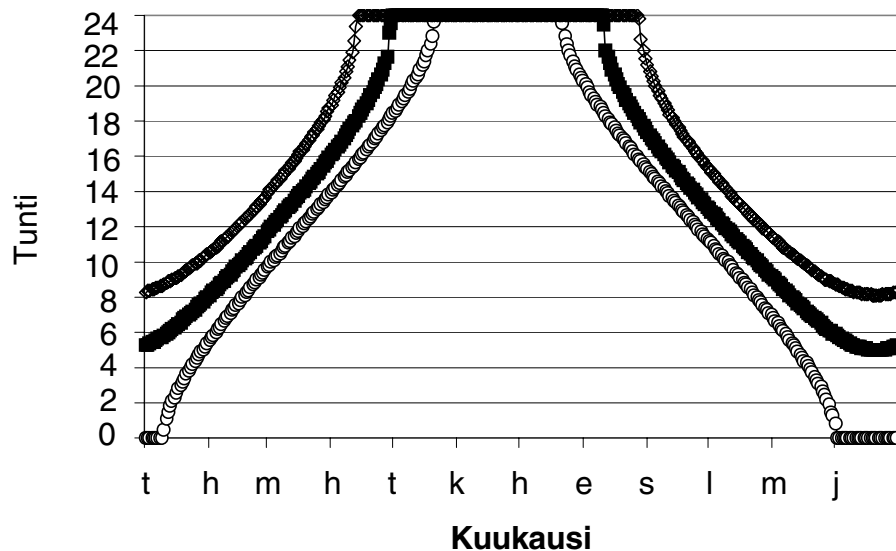


## 4. Valo luonnossa

### 4.1. Valo ilmassa

#### 4.1.1. Päivän pituus

Perinteisesti päivän pituudella tarkoitetaan aikaan, jolloin aurinko on horisontin yläpuolella. Mitä lähempänä napa-alueita ollaan, sitä äärevämmiksi käyvät valaistusolosuhteet maapallon napojen kallistuessa joko aurinkoa kohti tai siitä pois päin. Suomi on 60–70 leveysasteen välissä pohjoista leveyttä, jolloin napapiirin pohjoispuolella kesän yöttömässä yössä aurinko ei laske horisontin alapuolelle ja talven kaamoksessa aurinko ei vastaavasti nouse horisontin yläpuolelle. Inarin korkeudella (69 °pohjoista leveyttä) kaamosaika kestää 39 vuorokautta alkaen 2 joulukuuta ja päättyen 9 tammikuuta (kuva 2). Vastaavasti kesän yötön yö kestää 61 vuorokautta alkaen 22 toukokuuta ja päättyen 21 heinäkuuta (kuva 2). Muutokset ajassa, jonka aurinko on horisontin yläpuolella ovat nopeimmillaan yli 30 minuuttia vuorokaudessa siirryttäessä yöttömään yöhön tai siitä pois sekä vastaavasti tullessa kaamokseen tai siitä pois (kuva 2). Muulloin auringon horisontin yläpuolella oloaika muuttuu noin 10 minuuttia vuorokaudessa.



**Kuva 2. Valoisan ajan pituus mitattuna 1) auringon horisontin yläpuolella oloajan (avonaiset ympyrät), 2) yhteiskunnallisen (mustat neliöt) ja 3) nautisen hämäräajan (avonaiset salmiakit) mukaan vuoden aikana Inarissa.**

#### 4.1.2. Hämäräaika

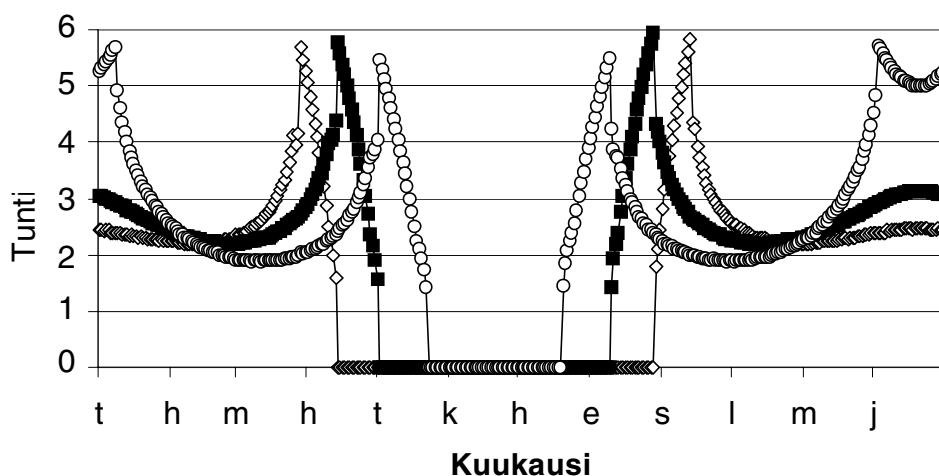
Suoran säteilyn lisäksi maahan tulee myös hajasäteilyä taivaalta ja pilvistä. Hajasäteilyn osuus kasvaa sitä enemmän mitä suurempi on säteiden tulokulman poikkeaminen

kohtisuorasta (Wetzel 1983). Auringon ollessa  $10^\circ$  horisontin yläpuolella hajasäteilyn osuus on 20–40 % kun vastaavasti  $40^\circ$  kulmassa se on 8–20 %:a (Wetzel 1983). Hajasäteilyn ansiosta maahan tulee valoa vaikka aurinko on horisontin alapuolelle. Tätä aikaa kutsutaan hämäräajaksi, joka voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen:

- 1) **Porvarillinen** eli **yhteiskunnallinen hämärä**: aurinko on horisontin alapuolella  $<6^\circ$ , jolloin selkeällä ilmalla näkee tehdä ulkotöitä.
- 2) **Nautinen hämärä**: aurinko on horisontin alapuolella  $6\text{--}12^\circ$ , jolloin horisontti näkyy vielä selvästi, mutta myös kirkkaimmat tähdet näkyvät.
- 3) **Tähtitieteellinen hämärä**: aurinko on horisontin alapuolella  $12\text{--}18^\circ$ , jolloin horisontissa on vielä kajoa.

Hämäräjaksojen pituus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Pisimmillään yhteiskunnallinen hämärä on kaamosaikaan yli 5 tuntia päivässä, jolloin kaikki maan pinnalle tuleva valo on hajavaloa Inarin korkeudella (kuva 3). Auringon noustessa horisontin yläpuolelle yhteiskunnallinen hämäräaika lyhenee nopeasti. Muutokset nautisen ja tähtitieteellisen hämäräajan pituudessa ovat talviaikana porvarillista hämäräaika pienemmät. Kevään edetessä pohjoisen pallon puoliskon kallistuessa yhä enemmän aurinkoa kohti hämäräajat pitenevät. Ensin pitenee tähtitieteellinen hämärä, sitten nautinen ja viimeisenä yhteiskunnallinen hämärä. Kun aurinko ei laske tarpeeksi horisontin alapuolelle hämäräajat lyhenevät nopeasti. Kesällä hämäräaika ei ole lainkaan auringon pysyessä koko ajan horisontin yläpuolella. Syksyllä hämäräajat taas pitenevät nopeasti käänteisessä järjestyksessä keväeseen verrattuna.

Monet eläimet, myös useat kalalajit, ovat aktiivisimmillaan juuri aamu- ja iltahämärän aikaan. Inarissa tehdyissä mittauksissa 0,01 luksin valon voimakkuus saavutettiin nautisen hämärän alussa ja lopussa. Käytännössä valoisa aika on siis pitempi kuin vain auringon horisontin yläpuolella oloaika (kuva 2). Parhaiten tämän huomaa kesällä, jolloin Etelä-Suomessakin yöt ovat valoisa, vaikka aurinko laskee horisontin alapuolelle. Yhtäjaksoinen valoisa kesäaika kestää Inarissa noin 3,5 kuukautta yhteiskunnallisen hämäräajan mukaan laskettuna, alkaen 1 toukokuuta ja päättyen 10 elokuuta (kuva 2). Vastaavasti nautisen hämäräajan mukaan laskettuna yötön yö kestää Inarissa peräti 4,5 kuukautta (kuva 2).



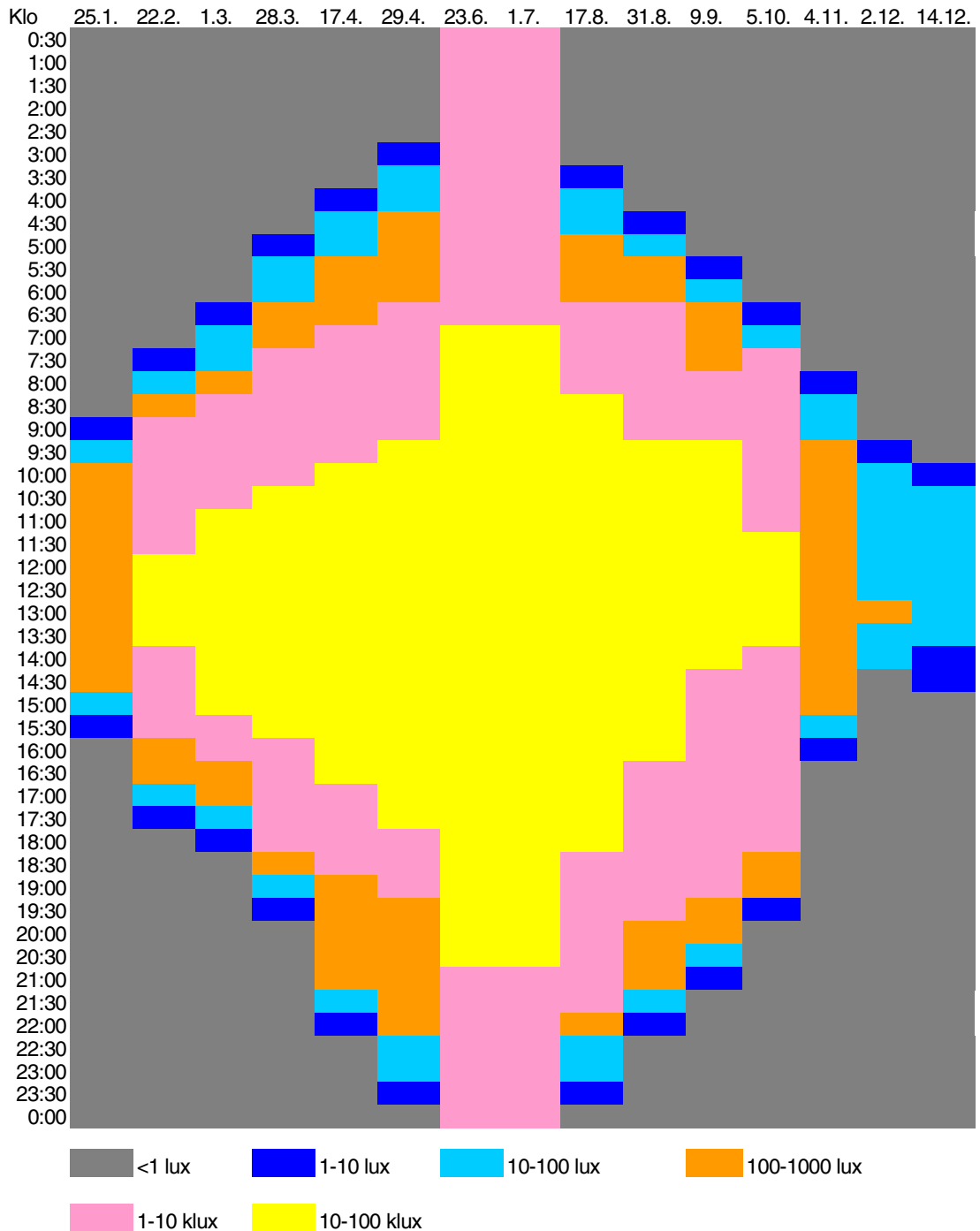
**Kuva 3.** Porvarillisen (avoimet ympyrät), nautisen (mustat neliöt) ja tähtitieteellisen hämärän (avoimet salmiakit) kesto (aamu- ja iltahämärä yhteensä) Inarissa vuoden aikana.

### 4.1.3. Valon voimakkuus

Tähtikirkkaana yönä valon voimakkuus on 0,001–0,0001 luksia (Thorington 1985). Kuutamo nostaa yöaikaisen valon voimakkuuden 0,03 - 0,37 luksiin (Thorington 1985, Fraser & Metcalfe 1997). Talvella lumi heijastaa voimakkaasti valoa, lisäten näin valon voimakkuutta. Inarissa ilmasta tehdyistä mittauksissa yöaikainen valon voimakkuus oli yleensä muutamia sadasosa lukseja. Yön aikana valon voimakkuus vaihteli pilvisyyden ja kuutamon mukaan. 'Säkkipimeää' oli käytännössä vain pilvisinä syysöinä.

Nautisen hämärän alkaessa valon voimakkuus on noin 0,01 luksia, josta se nousee noin 1 luksiin yhteiskunnallisen hämärän alkaessa (kuva 4). Yhteiskunnallisen hämärän aikana valon voimakkuus nousee tunnin aikana noin satakertaiseksi eli auringon noustessa valon voimakkuus on noin 100 luksia (kuva 4). Vastaavanlainen muutos valon voimakkuudessa tapahtuu illalla auringon laskiessa (kuva 4). Sääolosuhteet vaikuttavat siihen kuinka paljon hajavaloa tulee maanpinnalle auringon laskun jälkeen. Käytännössä pilvisenä aamuna päivä kirkastuu hitaammin ja hämärtyy nopeammin kuin selkeänä päivänä.

Valon voimakkuus kaamosaikana Inarissa päiväaikaan on jotain kymmeniä lukseja (kuva 4). Tammikuussa ja marraskuussa keskipäivällä valon voimakkuus on jo satoja lukseja. Helmikuusta lokakuuhun keskipäivän valon voimakkuus on kymmeniä kilolukseja. Mitä pitemmälle kevät edistyy sitä pidempi on kirkkaan valon aika. Keski-kesällä valon voimakkuus heikkenee vain vähän kymmenistä kilolukseista muutamiin kilolukseihin 'yöajaksi'. Valonvoimakkuuteen ilmassa vaikuttaa pilvisuus siten, että säteilyn määrä aurinkoisena päivänä voi olla 2–3 kertaa suurempi kuin pilvisenä päivänä (Hetrich ym. 1998). Samoin myös esim. puiden varjostu vähentää säteilyn määrää ja tasaa päivittäisiä eroja säteilyn voimakkuudessa (Hetrich ym. 1998). Tämän vuoksi valon voimakkuus vaihtelee paikan ja säätilan mukaan, jonka vuoksi tarkkojen luksumäärien ilmoittaminen ei ole tarkoituksenmukaista.



**Kuva 4. Vuorokautisen valon voimakkuuden kehittyminen ilmassa vuoden aikana Inarissa.**

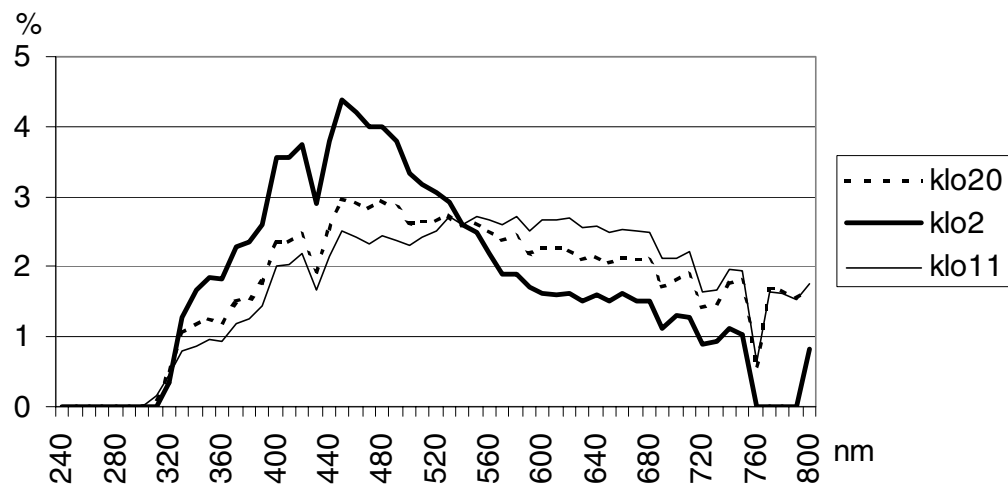
#### 4.1.4. Valon spektrikoostumus

Valo on sähkömagneettista säteilyenergiaa, jonka spektrissä on eri aallonpituuksia 300–3000 nm välillä (Lampert & Sommer 1997). Näkyvä valon alue 380–760 nm välillä on vain pieni osa koko valospektristä (Wetzel 1983, Lampert & Sommer 1997). Aallonpituudet 300–380 nm alueella ovat ultraviolettia säteilyä, joka on vahingollista eliöille (Lampert & Sommer 1997). Aallonpituusalue 760–3000 nm on infrapunasätei-

lyä, joka tuottaa lämpöä (Lampert & Sommer 1997). Yli puolet maan pinnalle tulevas-  
ta säteilystä on infrapunasäteilyä (aallonpituudeltaan yli 1 000 nm) (Wetzel 1983). Nä-  
kyvän valon aallonpituusalueet ovat:

Väri	Aallonpituusalue nm
Violetti	380–450
Sininen	450–490
Vihreä	490–560
Keltainen	560–590
Oranssi	590–630
Punainen	630–760

Maan pinnalle tulevan säteilyn määrä ja spektrikoostumus riippuu siitä kuinka pitkän  
matkan auringon säteet joutuvat kulkemaan maan ilmakehässä (Wetzel 1983). Ilmake-  
hässä oleva otsoni ja happi absorboivat erityisesti ultraviolettia ja lyhyitä aallonpituuk-  
sia, jonka takia pilvetön taivas näyttää siniseltä (Wetzel 1983). Infrapunaista osaa sä-  
teilyä absorboivat voimakkaimmin ilmakehän vesihöyry, happi ja hiilidioksidi (Wet-  
zel 1983). Maan pinnalle tuleva valon määrä ja spektrikoostumus vaihtelee siis leveys-  
asteen, vuodenajan, vuorokaudenajan, korkeuden merenpinnasta ja säätilan mukaan  
(Wetzel 1983). Kesäpäivänä valon spektrikoostumus ilmassa on tasainen sisältäen  
kaikki näkyvän valon aallonpituusalueet 380 nm:stä 760 nm:iin (kuva 4). Auringon  
laskiessa lähemmäs horisonttia (klo 2) punaisen valon (630–760 nm) osuus hieman  
alenee ja sinisen (450–490 nm) valon osuus nousee Inarissa tehdyissä mittauksissa.



**Kuva 4. Valon suhteellinen spektrikoostumus ilmassa vuorokauden eri aikoi-  
na 12 päivä kesäkuuta Inarissa.**

Kuun ja tähtien valon spektrikoostumus on erilainen kuin auringon valon. Kuutamon  
ja tähtien valossa on paljon punaista valoa (Munz & McFarland 1973, Allen ym. 1982,  
Gal ym. 1999).

## 4.2. Valo vedessä

### 4.2.1. Päivän pituus ja valon voimakkuus

Valon osuessa veden pintaan, osa valosta heijastuu takaisin ilmaan ja osa tunkeutuu veteen (Lampert & Sommer 1997). Veteen tunkeutuva valo joko hajoaa, absorboituu lämmöksi tai käytetään kasvien yhteyttämiseen (Lampert & Sommer 1997). Valaistus vedessä muodostuu seuraavista osatekijöistä:

$$Q_t = Q_s + Q_{es} - Q_h - Q_{ha}$$

jossa:

$Q_t$  = vedessä oleva kokonaisvalomäärä

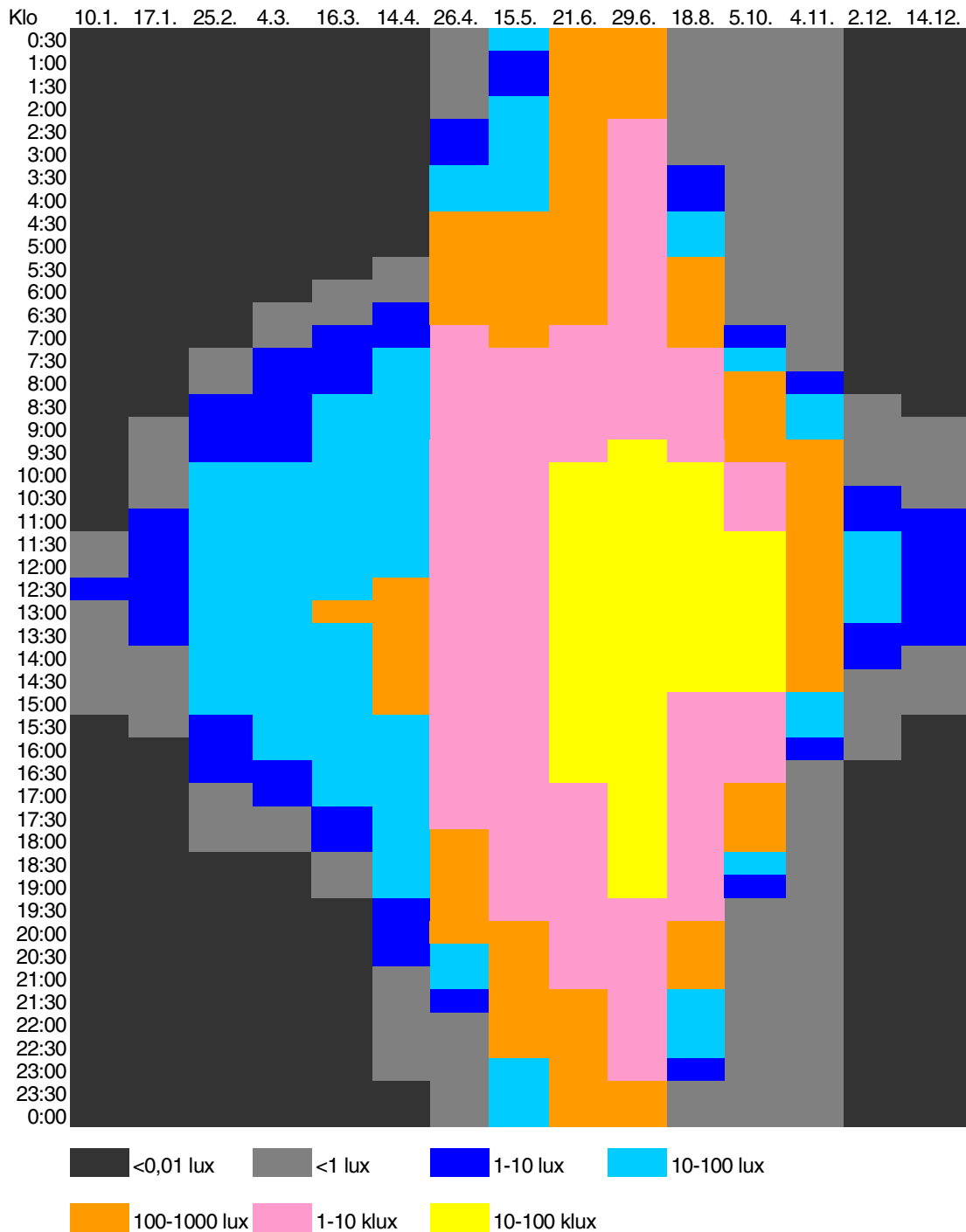
$Q_s$  = suora auringon säteily

$Q_{es}$  = epäsuora hajasäteily taivaalta ja pilvistä

$Q_h$  = vedenpinnasta heijastuva säteily

$Q_{ha}$  = vedestä heijastuva hajonnut valo

Vedenpinnasta heijastuvan säteilyn osuus riippuu valon tulokulmasta, aallonpituudesta, aallokosta, sääolosuhteista ja maaston korkeuseroista (Lampert & Sommer 1997, Wetzel 1983). Mitä kohtisuorempaan valo tulee vedenpintaan sen pienempi osuus siitä heijastuu takaisin ilmaan (Wetzel 1983). Kirkkaana kesäpäivänä vedenpinnasta pois-pään heijastuvan valon osuus on noin 5–6 % (Wetzel 1983). Matalassa, noin metrin syvyydessä vedessä kesäpäivänä valon voimakkuus on käytännössä samaa suuruusluokkaa kuin ilmassa eli kymmeniä kilolukseja Inarissa (kuva 5). Valon tulokulman ollessa 10° horisontista veden pinnasta heijastuu noin 35 % ja 5° kulmassa noin 60 %:a tulevasta valosta. (Wetzel 1983). Osa valosta tulee veteen aina myös hajasäteilynä ilmakehästä tai ympäröivästä maastosta (Wetzel 1983). Hajasäteilyn heijastuminen veden pinnasta ei ole niin riippuvainen auringon korkeudesta vaan heijastumisprosentti on yleensä 10–20 %:a (Wetzel 1983). Heijastumisen vuoksi valon voimakkuus vedessä heikkenee karkeasti noin kymmenesosaan ilmassa olevasta valon määrästä 'kesäyön' aikana ollen kuitenkin vielä satoja lukseja Inarissa keskikesällä tehdyissä mittauksissa (kuva 5). Käytännössä päivänpituus on metrisessä vedessä avovesikaudella sama kuin ilmassa. Pilvisyydestä riippuen alle 0,01 luksin valon voimakkuus saavutettiin vedessä tunti – kaksi tuntia auringonlaskun jälkeen/ennen auringon nousua eli yhteiskunnallisen – nautisen hämärän aikana.



**Kuva 5. Vuorokautisen valon voimakkuuden kehittyminen vedessä vuoden aikana Inarissa. Valon voimakkuuden mittaukset 10.1. – 15.5. ja 2. – 14.12. on tehty jään alla.**

Aaltoilu lisää heijastuvan valon osuutta 10–40 % aallokon voimakkuudesta ja valon tulokulmasta riippuen (Lampert & Sommer 1997, Wetzel 1983). Valonsäteet heijastuvat aalloista eri suuntiin aiheuttaen veteen voimakkuudeltaan suuresti vaihtelevan 'diskovalon.' Esimerkiksi Inarissa aurinkoisena tuulisena kesäpäivänä tehdyissä mitta-

uksissa rantaveden valon voimakkuus vaihteli 11–48 kiloluksin välillä, kun valon voimakkuus ilmassa oli 50 kiloluksia.

#### 4.2.2. Valon kulkeutuminen vedessä

Valon absorboitumisella tarkoitetaan valon säteilyenergian muuttumista lämpöenergiaksi. Veteen tulevasta valosta noin 53 % muuttuu lämmöksi ensimmäisillä metreillä (Wetzel 1983). Valon absorboitumista voidaan mitata valon häviämiskertoimella (Wetzel 1983):

$$\eta_z \text{ m}^{-1} = \ln I_0 - \ln I_z$$

missä  $I_0$  on valon intensiteetti veden pinnassa ja

$I_z$  valon intensiteetti yhden metrin syvyydessä

Valon häviämiskerroin on riippuvainen veden väristä (Pt mg/l) (Jones & Arvola 1984). Veden väri on riippuvainen orgaanisen aineen määrästä vedessä, Suomen vesissä erityisesti humuspitoisuudesta (Eloranta 1978, Wetzel 1983). Kirkkaassa vedessä keskimääräinen valon häviämiskerroin on 0,2 yksikköä per metri eli valon määrä vähenee 20 % metrillä, kun taas tuottoisissa järvissä, joissa orgaanisen aineen määrä vedessä on suuri, valon häviämiskerroin voi olla 4 yksikköä per metri (Wetzel 1983). Mitä kirkkaampi vesi on sen syvemmälle valo tunkeutuu ja sitä suurempi on valaistun vesikerroksen paksuus. Inarijärvessä veden väri (Pt mg/l) vaihtelee jokisuiden 35:stä pohjoisosien 10:een (Marttunen ym. 1997). Juutuanjoessa veden väri vaihtelee 15–40 Pt mg/l välillä. Keskimääräinen valon häviämiskerroin Juutuanjoen vedessä yhden metrin matkalla oli mittaustulosten mukaan 0,64 (keskihajonta 0,30). Häviämiskerroin vaihtelee vuodenaikojen ja mittauskertojen välillä. Minimi häviämiskerroin mittauksissa oli 0,06 ja maksimi 1,47. Valon voimakkuus laskettuna keskimääräisen valon häviämiskertoimen mukaan eri valon voimakkuuksilla eri syvyyksissä on esitetty taulukossa 1. Valon voimakkuuden ollessa vedenpinnalla yksi luks, on 11 m syvyydessä valoa 0,01 luksia. Valon voimakkuuden kymmenkertaistuessa valaistun vesikerroksen paksuus (0,01 luksia) kasvaa 5 metrillä. Keskipäivällä, jolloin valon voimakkuus vedenpinnassa on 100 kiloluksi, on 37 m syvyydessä 0,01 luksia.



**Taulukko 1. Valaistun vesikerroksen paksuus eri valon voimakkuuksilla, kun valon häviämiskerroin vedessä on 0,64.**

Syvyys m	Valon voimakkuus (luksia)					
	1	10	100	1000	10 000	100 000
1	0,64	6,40	64,00	640,00	6400,00	64000,00
2	0,41	4,10	40,96	409,60	4096,00	40960,00
3	0,26	2,62	26,21	262,14	2621,44	26214,40
4	0,17	1,68	16,78	167,77	1677,72	16777,22
5	0,11	1,07	10,74	107,37	1073,74	10737,42
6	0,07	0,69	6,87	68,72	687,19	6871,95
7	0,04	0,44	4,40	43,98	439,80	4398,05
8	0,03	0,28	2,81	28,15	281,47	2814,75
9	0,02	0,18	1,80	18,01	180,14	1801,44
10	0,01	0,12	1,15	11,53	115,29	1152,92
11	0,01	0,07	0,74	7,38	73,79	737,87
12		0,05	0,47	4,72	47,22	472,24
13		0,03	0,30	3,02	30,22	302,23
14		0,02	0,19	1,93	19,34	193,43
15		0,01	0,12	1,24	12,38	123,79
16		0,01	0,08	0,79	7,92	79,23
17		0,01	0,05	0,51	5,07	50,71
18			0,03	0,32	3,25	32,45
19			0,02	0,21	2,08	20,77
20			0,01	0,13	1,33	13,29
21			0,01	0,09	0,85	8,51
22			0,01	0,05	0,54	5,44
23				0,03	0,35	3,48
24				0,02	0,22	2,23
25				0,01	0,14	1,43
26				0,01	0,09	0,91
27				0,01	0,06	0,58
28					0,04	0,37
29					0,02	0,24
30					0,02	0,15
31					0,01	0,10
32					0,01	0,06
33						0,04
34						0,03
35						0,02
36						0,01
37						0,01

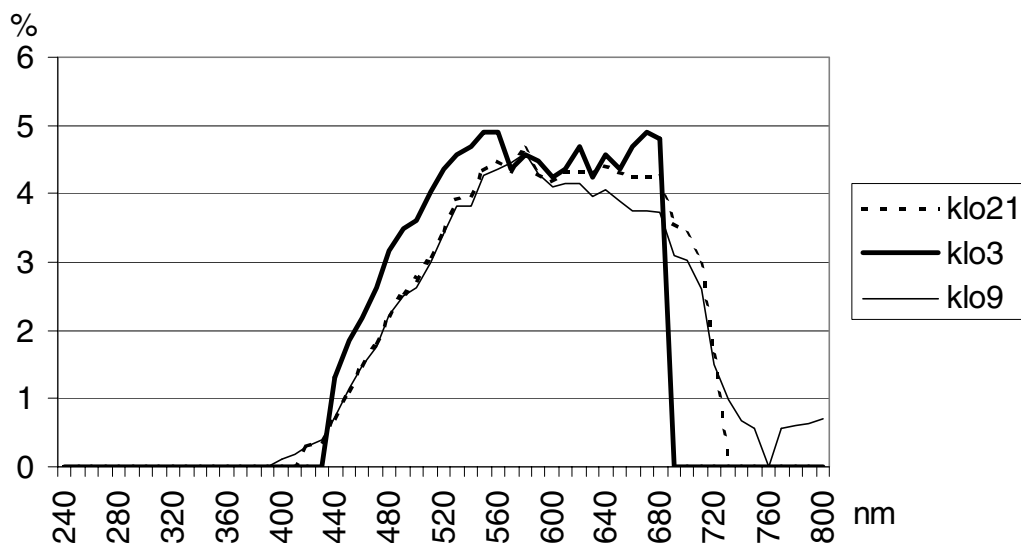
Valaistun vesikerroksen paksuutta voidaan arvioida myös veden näkösyvyydellä valon häviämiskertoimen ja näkösyvyyden korreloidessa keskenään ( $\eta \text{ m}^{-1} = 1,7/Z_{SD}$ ) (Wetzel 1983, Jones & Arvola 1984). Samoin veden näkösyvyys ja veden väri ovat riippuvaisia toisistaan (Wetzel 1983). Veden näkösyvyys mitattuna Secchin –lautasella ( $Z_{SD}$ ) vastaa 10 % valon määrästä vedenpinnalla (Wetzel 1983). Inarijärvessä veden näkösyvyys vaihtelee jokisuiden 3,3 m:sta pohjoisosien 10 m:iin (Marttunen ym. 1997). Tuottavassa kerroksessa eli syvyydessä, jossa valon määrä riittää kasviplanktonin yhteyttämiseen, valon voimakkuus on 1 % veden pinnan valon voimakkuudesta (Eloranta 1978, Jones & Arvola 1984). Kasviplanktonin tuottavakerros on veden väritään alle 40 Pt mg/l järvissä 1,5 kertaa näkösyvyys (Eloranta 1978). Tuottavan vesikerroksen syvyys Inarijärvessä vaihtelee siis 5–15 m. Järviveden ollessa lämpötilakerrostunut voi

harppauskerrokseen kerääntynyt orgaaninen ja epäorgaaninen aines estää valon kulkeutumisen syvempiin vesikerroksiin (Wetzel 1983, Jones & Arvola 1984).

#### 4.2.3. Valon spektrikoostumus

Veteen tulevassa valossa on useita eri aallonpituuksia. Tällaisen valon säteen osuessa vesimolekyyleihin, liuenneisiin aineisiin tai vedessä oleviin hiukkasiin se hajoaa eri spektreihin (Wetzel 1983). Valon hajontaa lisäävät vedessä olevat orgaaniset hiukkaset kuten esimerkiksi humusaineet ja plankton sekä epäorgaaniset hiukkaset kuten esimerkiksi hieno mineraaliaineksi (Wetzel 1983). Kirkkaassa vedessä hajontaa tapahtuu lähinnä sinisellä aallonpituudella (Wetzel 1983). Hiukkasten määrän ja koon lisääntyessä vedessä hajonta tapahtuu enemmän pitempi aaltoisessa valossa (Wetzel 1983). Koska hiukkasten määrä ja laatu vedessä vaihtelee usein vuodenaikojen mukaan, myös veden hajontaominaisuudet vaihtelevat (Wetzel 1983). Pohjasta heijastuvaan hajonneen valon määrään vaikuttaa pohjan laatu tumman sedimentin hajottaessa valoa vähemmän kuin mineraaliaineksi (Wetzel 1983). Hajonneen valon määrä voi olla yksi neljäsosa kokonaisvalon määrästä vedessä tai jopa enemmän, joten hajonneen valon merkitys on suuri vedessä eläville organismeille (Wetzel 1983). Suurin osa hajonneesta valosta heijastuu vedestä takaisin ilmakehään (Wetzel 1983).

Eri aallonpituudet absorboituvat vedessä eri tavalla. Kirkkaassa vedessä voimakkaimmin absorboituu infrapunainen valo, jonka seurauksena pintavesi lämpenee (Wetzel 1983). Syvimmälle vedessä kulkeutuu vihreä ja sininen valo, ja seuraavaksi punainen, ultraviolettinen ja infrapuna (Wetzel 1983). Orgaaninen aines vedessä lisää voimakkaasti ultravioletin, sinisen ja vihreän valon absorboitumista mutta ei juuri vaikuta punaisen valon absorboitumiseen (Wetzel 1983). Kirkkaiden vähäravinteisten (klorofyllipitoisuus <math>< 10 \mu\text{g/l}</math>) järvien valosta suurin osa on siis vihreää ja sinistä kun taas matalissa runsasravinteisissa ja humuspitoisissa järvissä vastaavasti valo on punaista (Jones & Ilmavirta 1978, Callieri 1996, Vörös ym. 1998). Vedessä valon spektrikoostumus on kapeampi kuin ilmassa, alkaen 390 nm:stä (kuva 6). Matalassa vedessä Inarissa oli eniten 520–680 nm aallonpituuksia eli vihreää, keltaista, oranssia ja punaista valoa (kuva 6). Auringon ollessa lähimpänä horisonttia (klo 3) yli 680 nm aallonpituutta ei ollut vedessä lainkaan, mutta lyhyempiaaltoisen valon suhteellinen osuus kasvoi päivään verrattuna (kuva 6).



**Kuva 6. Valon suhteellinen spektrikoostumus vedessä 1 m syvyydessä vuorokauden eri aikoina 11 kesäkuuta Inarissa.**

## 4.3. Valo talvella lumi- ja jääpeitteen alla

### 4.3.1. Valon voimakkuus ja päivän pituus

Jää ja lumikannen muodostuminen muuttaa valaistusolosuhteita vedessä huomattavasti. Inarin korkeudella vesistöt saavat jääkannen yleensä lokakuussa ja vapautuvat siitä touko-kesäkuussa, jokien vapautuessa järviä aikaisemmin. Se kuinka paljon valoa pääsee veteen, riippuu lumen ja jään paksuudesta ja sen koostumuksesta. Vedenpinnan jäätyessä kirkas jää läpäisee valoa samalla tavalla kuin tyyni veden pinta (Wetzel 1983). Jään valonläpäisevyys pienenee huomattavasti, jos jäässä on epäpuhtauksia, ilmakuplia tai epäsäännöllinen kiderakenne (Wetzel 1983). Ohuen lumen aikana (<10 cm) joulukuun alussa Inarissa tehdyissä mittauksissa lumen ja jään alla olevan valon määrä oli keskimäärin 5,8 % pinnalla olevan valon määrästä (sd=2,4 %, min=2,9 % ja max=8,6 %). Suurin osa (75–95 %) lumen pintaan tulevasta valosta heijastuu takaisin ilmaan (Roulet & Adams 1986, Wetzel 1983). Lumen sataessa maahan pienet eri muotoiset lumikiteet sulautuvat toisiinsa muodostaen suurempia lumikiteitä (Aoki ym. 1993). Maassa oleva lumi tiivistyy eli lumikiteiden välissä oleva ilma vähenee, jolloin lumen valon läpäisevyys pienenee tiettyyn rajaan asti (0,5 kg/l), jonka jälkeen läpäisevyys taas paranee (Marchand 1984). Tammi – huhtikuussa Inarissa tehdyissä mittauksissa lumen paksuuden ollessa 27–40 cm ja jään paksuuden 38–80 cm keskimääräinen valon määrä lumen ja jään alla oli 0,3 % lumen pinnalla olevan valon määrästä (sd=0,5 %, min=0,1 % ja max=2,5 %). Kun jään päältä poistettiin 30 cm kuiva lumikerros niin, että 61 cm paksuisen jään päälle jäi vielä 14 cm sohjokerros valon määrä yhdeksänkertaistui jään alla.

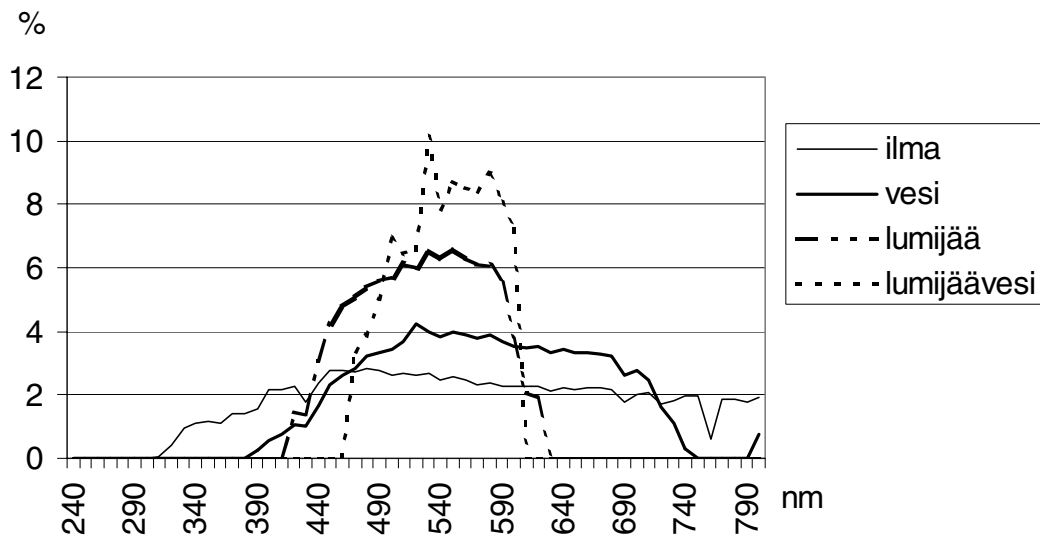
Inarin kalantutkimus ja vesiviljelyn patoaltaalla tehdyissä mittauksissa ohuen lumi (<20 cm) ja jääkerroksen (<35 cm) alla joulukuussa valon voimakkuus jään alla alkoi nousta suunnilleen nautisen hämärän puolivälissä. Tammi – huhtikuun puolivälissä lumen paksuuden ollessa 20–40 cm ja jään paksuuden 35–70 cm, valon voimakkuus jään alla alkoi nousta yhteiskunnallisen hämärän alkaessa. Huhtikuun lopussa – toukokuun puolivälissä, jolloin pääosa lumesta oli jo sulanut pois jään päältä, mutta jään paksuus oli vielä 58–68 cm, nollaa luksia ei enää saavutettu jään alla niin kuin ei ilmassakaan.

Toisin kuin ilmassa, lumen ja jään alla yöaikainen valon voimakkuus talvella oli alle 0,01 luksia, eikä kuutamon valo läpäissyt lumi- ja jääkerrosta (kuva 5). Päivän kirkastuessa ja hämärtyessä valon voimakkuus oli alle yhden luksin tunnin – parin tunnin ajan ennen kirkastumista tai pimentymistä. Kaamosaikana joulukuun puolivälistä – tammikuun puoliväliin keskipäivällä jään alla valoa oli enimmillään muutamia lukseja. Joulukuun alussa (2.12.1999) lunta oli poikkeuksellisen vähän (1 cm), jonka ansiosta keskipäivällä valon voimakkuus oli vielä yli 20 luksia veden alla. Helmikuussa valon voimakkuus päivällä oli kymmeniä lukseja ja maaliskuun puolivälissä jo satoja lukseja. Huhtikuun lopussa jään alla (jäistä lunta 10 cm + vettä 2 cm + jäätä 68 cm) veteen pääsi tunkeutumaan jo selvästi enemmän valoa. Jään alkaessa sulaa sen kiderakenne muuttuu tikkumaiseksi, jolloin valon läpäisevyyskyky nousee 50 % (Welch & Kalff 1974). Huhtikuun lopussa valon voimakkuus päivällä oli kilolukseja useiden tuntien ajan jään alla. Yöaikainen valon voimakkuus jään alla oli alle yhden luksin 4½ tunnin ajan huhtikuun lopussa. Toukokuun puolivälissä patoallasta peittävä 58 cm paksuinen kuiva jää läpäisi hyvin valoa. Valon voimakkuus päivällä jäi kuitenkin vielä alle 10 kiloluksin. Toukokuussa yöaikainen minimi valon voimakkuudessa oli joitakin lukseja parin tunnin ajan ja joitakin kymmeniä lukseja 4½ tunnin ajan.

### 4.3.2. Valon spektrikoostumus

Lumen pinnasta heijastuvan valon spektrikoostumus ei poikkea tulevan valon spektristä (Roulet & Adams 1986). Lumi ja valkoinen jää absorboi voimakkaimmin punaista aallonpituutta ja läpäisee parhaiten sinistä ja vihreää aallonpituutta (450–500 nm) (Roulet & Adams 1986, Aoki ym. 1993). Musta jää läpäisee kaikkia aallonpituuksia yhtä hyvin (Roulet & Adams 1986). Keväällä lumikerroksen ohentuessa veteen pääsee yhä enenevässä määrin myös punaista valoa (Roulet & Adams 1986).

Vedessä ja varsinkin lumen ja jään alla valon spektrikoostumus muuttuu voimakkaasti. Ilmassa on kohtalaisen tasainen spektrikoostumus 310–800 nm aallonpituusalueella (kuva 7). Vedessä spektrikoostumus on kapeampi 390–740, 800 nm:ä. 53 cm lumi- + 60 cm jääkerroksen läpi menevän valon spektrikoostumus on kapea verrattuna ilmaan ja veteen (kuva 7). Lumen ja jään läpi tunkeutuvassa valossa on aallonpituusalueet 420–620 nm eli sinisen, vihreän ja keltaisen valon alueelta. Kun lumen ja jään läpäisyt valo kulkee yhden metrin matkan vedessä sen spektrikoostumus kapenee entisestään 470–600 nm alueelle. Eniten lumen ja jään alaisessa valossa on aallonpituusalueita 500–580 nm eli vihreää ja keltaista valoa.



**Kuva 7. Valon suhteellinen spektrikoostumus ilmassa, vedessä, lumen ja jään alla sekä lumen ja jään alla 1 m syvyydessä 25.3. keskipäivällä Inarissa.**

## 5. Valo kalanviljelytiloissa

### 5.1. Ulkoaltaat

Sarmijärven kalanviljelylaitoksen kattamattomissa ulkoaltaissa päivän pituus, valon voimakkuus ja spektrikoostumus on sama kuin matalassa vedessä. Ulkoaltaissa ei ole mitään varjostusta, eikä myöskään vesisyvyyttä niin paljon, että kalat voisivat hakeutua valon voimakkuudeltaan erilaisille alueille. Luonnossa poikaset käyttävät joissa hyväksien ranta- ja vesikasvillisuuden sekä pohjan epätasaisuuden muodostamia varjopaikkoja. Järvessä kalat voivat hakeutua syvyyden mukaan eri valon voimakkuusalueille. Kattamattomissa ulkoaltaissa jatkuva suora auringon paiste voi lisätä kalojen stressiä herkistäen kaloja sairauksille. Sisätiloissa valon voimakkuus on normaalisti huomattavasti alhaisempi kuin ulkona. Siirrettäessä kaloja sisätiloista ulkoaltaisiin, on kaloissa selvästi havaittavissa voimakas stressireaktio, joka näkyy kalojen ruokahaluttomuutena ja hakeutumisenä mahdollisiin varjopaikkoihin. Stressikäyttäytymistä kestää muutamista päivistä jopa kolmeen viikkoon.

Altaan virtausolosuhteista riippuu minkälainen jääpeite muodostuu talven aikana. Sarmijärven kalanviljelylaitoksen ulkoaltaisiin tulee osittainen jää- ja lumipeite talven pakkasista riippuen. Altaiden jää- ja lumipeite pysyy kuitenkin paljon ohuempina talven aikana kuin mitä se on järvissä ja joissa. Karkeasti valoisan ajan pituus altaissa talvella on noin ½ - 1 tuntia pitempi kuin paksun lumi- ja jääpeitteen alla. Ohuen lumikerroksen läpi pääsee altaaseen valoa 6–9 % ilmasta olevasta valosta, kun se paksun lumipeitteen läpi on vain keskimäärin 0,3 %. Eli valon voimakkuus ulkoaltaissa on korkeampi myös talviaikana kuin luonnon elinympäristössä. Jääaika Sarmijärven altaissa on keskimäärin noin kaksi kuukautta lyhyempi kuin järvessä, millä voi olla vaikutusta kalojen vuosisykliikkaan.

Viljelyalueella palavat katulamput voivat muuttaa valorytmin myös ulkoaltaissa varsinkin talviaikana. Tästä syystä Sarmijärvellä allasalueella olevien katulamppujen hämäräkytkintoiminto on poistettu, eikä lamppuja enää käytetä.

Ruokintarytmi ulkoallasalueella määräytyy ruokintatavan mukaan. Ilman automaatteja ruokinta tehdään päiväsaikaan työajan puitteissa. Tällöin ei voida käyttää kalojen luontaista vuorokautisaktiivisuutta hyväksi ruokinnassa.

Sarmijärven viljelykatoksen alla valon voimakkuus alkoi nousta/laskea yhteiskunnallisen hämärän alussa/lopussa. Valon voimakkuus altaissa päiväsaikaan vaihteli niiden sijainnin mukaan muutamista lukseista yli sataan luksiin.

### 5.2. Ikkunalliset viljelytilat

Se kuinka paljon valoa tulee ikkunoiden kautta sisätiloihin riippuu ikkunoiden lukumäärästä, koosta, sijainnista, ulkopuolisesta varjostuksesta ja ikkunoiden himmennyksestä. Inarin kalantutkimus ja vesiviljelyssä ikkunoiden kautta tulevan valon voimakkuus jäi noin tuhannesosaan verrattuna valon voimakkuuteen ulkona. Ikkunoista tuleva valon voimakkuus heikkeni ikkunoista pois päin mentäessä. Kun ulkona oli kymmeniä kiloluksia, sisällä hallissa ikkunan alla valon voimakkuus oli kymmeniä lukseja (maksimissaan >100 lukseja), sisemmällä hallissa joitakin lukseja ja varjoisimmassa nurkassa ajoittain jopa alle luksin. Ikkunallisissa viljelytiloissa altaat ovat siis valon voimakkuuden suhteen eriarvoisessa asemassa.

Valon voimakkuus halleissa alkoi nousta ennen auringon nousua ja laskea auringon laskun jälkeen yhteiskunnallisen hämärän alussa - puolituntia sen alkamisesta. Valon voimistumis- ja heikkenemisajankohdissa oli vaihtelua mittauspisteen ja säätilan vaikutuksesta. Hautomotilassa valoisan ajan pituus oli lyhimmillään auringon noususta auringon laskuun. Ulkona valon voimakkuus alkoi nousta 0,01 luksista nautisen hämärän aikana ja talvella lumikerroksen alla yhteiskunnallisen hämärän aikana.

Ikkunoista tulevan valon voimakkuus muuttuu vuodenajan mukaan. Keskitalvella (marras-tammikuu) päiväaikaisen valaistuksen taso viljelytiloissa jäi keskimäärin alle yhden luksin, ollen samaa tasoa kuin ulkona jään ja lumen alla. Kevättalvella auringon paistaessa valkoiselle hangelle myös viljelytiloissa valon voimakkuus kasvoi. Ikkunoiden alla valon voimakkuus saattoi nousta >100 luksiin. Häiritsemättömien poikasten kasaantuminen ikkunoiden alla olevien altaiden nurkkiin oli tällöin oire liian korkeasta valon voimakkuudesta kylmässä vedessä (0,1 °C). Sisemmällä hallissa valon voimakkuus kuitenkin jäi kevättalvellakin muutamiin lukseihin, eikä poikasten epätasaista jakautumista altaiden pohjalle ollut havaittavissa. Kesällä keskimääräinen päiväaikainen viljelytilojen valon voimakkuus oli muutamasta luksista kymmeneen luksiin. Kevättalvesta lähtien päiväaikainen valon voimakkuus oli viljelytiloissa heikompi kuin luonnossa matalassa vedessä lumi- ja jääpeitteenkin alla.

Ulkona olevat voimakkaat katuvalot voivat vaikuttaa myös hallin sisälle, jolloin valorytmi muuttuu luonnollisesta. Inarissa hallien vieressä olevia katulamppuja ei tästä syystä käytetä lainkaan.

### 5.3. Lamput viljelytilojen valaistuksessa

Täysin pimennetyissä tiloissa kuten Inarin emokalahallissa ja Sarmijärven poikashallissa valorytmi tuotetaan lamppujen palamisajan sekä valon voimakkuus käytettyjen lamppujen laadun ja voimakkuuden mukaan. Viljelytiloissa käytetään yleensä kolmenlaisia lamppuja: hehkulamppuja, loisteputkia ja halogeenilamppuja. Näiden lamppujen tuottama valkoinen valo sisältää yleensä samat aallonpituudet kuin näkyvä luonnonvalo. Kuitenkin lampun materiaalista riippuen valospektrissä voi olla piikkejä tietyillä aallonpituusalueilla. Thorn Red loisteputkien valo on punaista. Nykyisin markkinoilta on saatavissa spektrikoostumukseltaan erilaisia loisteputkia.

Valojen palamisaikaa voidaan säädellä käsin, ajastimella tai hämäräkytkimillä. Itumicin ruokinta-automaatteihin kytkettyjen valojen palamisaikaa voidaan säädellä astrokellon avulla. Inarissa ruokintavalojen palamisaika on säädetty auringon nousu- ja laskuaikojen mukaan Inarin korkeudella. Kaamosaikana valojen palamisaika on ollut kaksi tuntia keskellä päivää. Kesällä valot ovat palaneet ympäri vuorokauden. Valon voimakkuus ikkunallisissa viljelytiloissa on noussut jo ennen ruokintavalojen syttymistä ja hämäräaikaa on vielä ruokintavalojen sammuttua illalla. Ikkunattomassa emokalahallissa hämäräajat puuttuvat, jolloin kokonaisvalo aika jää lyhyemmäksi kuin poikashallissa sekä luonnossa. Sarmijärven poikashallissa valot palavat ympäri vuorokauden, jolloin vuorokausi- ja vuosirytmii puuttuu kokonaan.

Lamppujen sijoittelulla vaikutetaan valaistuksen tasaisuuteen ja tasoitetaan myös ikkunasta tulevan valon voimakkuuseroja viljelytilassa. Inarissa ruokintavaloina poikashallissa käytetyt 40 W hehkulamput antavat noin 20 luksin valon voimakkuuden alla olevaan altaaseen. Niissä altaissa, joiden päällä ei ole lamppua, valon voimakkuus on alle kymmenen luksia. Inarin emokalahallissa halogeenilamppujen valo heijastetaan altaaseen katon kautta, jolloin valon voimakkuus on suurimmillaan lampun lähellä. Halogeenivalojen kirkkautta voidaan säätää Itumicin ruokinta-automaatilla. Kesällä valot palavat täysillä, jolloin valon voimakkuus altaassa vaihtelee joistakin lukseista kymmeneen lukseihin. Talviaikana valot on säädetty himmeämmälle, jolloin valon voimakkuus altaassa on ollut keskimäärin alle luksin. Sarmijärven poikashallissa heh-

kulampullisten kohdevalaisimien valo heijastetaan katon kautta altaaseen. Valon voimakkuus altaissa on keskimäärin alle luksin. Valon voimakkuudessa ei ole eroa eri vuorokauden tai vuodenaikoina. Työskentelyvaloina käytettyjä valoja pidetään päällä vain tarvittaessa, jolloin hetkellisesti valon voimakkuus altaissa voi nousta maksimissaan yli sadan luksin.

## 6. Miten kala aistii valon

### 6.1. Käpylisäke mittaa vuorokauden- ja vuodenaikaa

Kaloilla valoa aistivia soluja on silmän verkkokalvossa, käpylisäkkeessä ja tietyissä osissa aivoja (Kavaliers 1981, Thorarensen ym. 1989). Näillä aistinsoluilla kalat havaitsevat päivittäiset valon voimakkuuden muutokset. Käpylisäkkeen valoherkkien solujen tuottama melatoniinihormonipitoisuus kertoo kaloille mikä vuorokauden aika on kyseessä (Axelrod 1974, Porter ym. 2001). Melatoniinipitoisuus nousee pimeässä (yöllä) ja laskee 30–45 minuutissa valon voimakkuuden lisääntyessä päivän ajaksi noudattaen tarkasti vuorokautista valosykliä (Porter ym. 2001).

Yöaikainen kohonnut melatoniinipitoisuuden kesto kertoo kaloille vuodenajan (Bromage ym. 2001). Veden lämpötila vaikuttaa myös melatoniinin eritykseen, pitoisuuden ollessa korkeampi lämpimässä kuin kylmässä vedessä (Potter ym. 2001). Tämä lisää kalojen kykyä erottaa vuodenaika, koska keväällä veden lämpötila vastaavassa päivän pituudessa on syksyä kylmempää (Max & Menaker 1992).

Muuttumattomassa valaistuksessa (24 h pimeää tai valoisaa) kaloilla säilyy noin 24 tunnin mittainen vuorokausirytmä, mutta vuorokausiaktiivisuus voi liukua (Chen ym. 1999). Jotkut kalalajit voivat muuttumattomassa valaistuksessa pitää sisäisen kellon avulla melatoniinieritystä aikaisemmin valorytmin mukaisena, mutta lohikaloilla 24 h pimeässä melatoniinipitoisuus pysyy koko ajan korkealla ja 24 h valossa koko ajan alhaalla (Bromage ym. 2001).

### 6.2. Silmän tehtävänä on huolehtia näköhavainnoista

Silmän verkkokalvossa on kahdenlaisia aistinsoluja tappi- ja sauvasoluja. Tappisolut aistivat eri värejä ja vaativat aktivoituaakseen kirkkaampaa valoa kuin sauvasolut, jotka ovat erikoistuneet hämäränäkemiseen (Ali 1959). Aistinsolujen pigmenttikoostumus, niin verkkokalvon tappi- ja sauvasoluissa kuin käpylisäkkeen aistinsoluissa vaikuttavat siihen, minkä aallonpituuden kala aistii valona (Powers & Easter 1978, Veldhoen ym. 1999). Valon spektrikoostumus vedessä vaihtelee veden laadun, syvyyden ja vuodenajan (lumi- ja jääpeite) mukaan. Erilaisissa elinympäristöissä elävien kalalajien näkökyky on siis erilainen. Esimerkiksi kirkkaissa vesissä aistinsolut ovat herkimpiä siniselle valolle (maksimi 485 nm) ja runsasravinteisessa ja humuspitoisessa vedessä pitempiaaltoiselle valolle (Wetzel 1983). Aistinsolujen pigmenttikoostumus ei ole koko ajan samanlainen vaan se vaihtuu esimerkiksi kalan vaeltaessa joesta mereen (Øksnebjerg 2000). Aistinsolujen pigmenttikoostumus vaihtuu myös veden lämpötilan mukaan (Allen ym. 1973). Veden kylmetessä lohikalojen verkkokalvon aistinsolujen porphyropsiinipitoisuus nousee ja rhodopsinipitoisuus laskee (Allen ym. 1973, McFarland & Allen 1977). Porphyropsiinipitoisuuden nousu lisää kalan silmän herkkyyttä näkyvän valon punaiselle aallonpituudelle 650 nm asti (Allen & Munz 1983). Tämä lisää kalojen hämäränäkökykyä ja kykyä nähdä kuun ja tähtien valossa, missä punaisen valon osuus on suuri (Allen ym. 1982, Allen & Munz 1983).

Alkion silmä on kehittynyt mätimunassa nk. silmäpistevaiheeseen tultaessa. Lohikaloilla alkion silmä ja vielä myös ruskuaispussipoikasen silmä kykenee erottamaan valon voimakkuuden vaihtelun, mutta ei vielä pysty varsinaisesti näkemään hahmoja (Ali 1959). Varsinainen näkökyky kehittyy lohikalojen poikasille niiden noustessa soran sisältä, jolloin ne aloittavat ulkoisen ravinnon käytön (Ali 1959).



## 7. Valaistuksen säätelyn vaikutus lohikaloihin

### 7.1. Mäti ja ruskuaispussipoikaset

Luonnossa soran sisässä olevat lohikalojen mätimunat ja ruskuaispussipoikaset ovat suojassa valolta. Veden lämpötila ja valon voimakkuus ovat hyvin tasaiset soran sisällä mätimunien hautoutumis- ja ruskuaispussipoikasvaiheen ajan (Crisp 1990). Mätimunien altistuminen näkyvälle valolle (400–850 nm) lisää kuolleisuutta, joka kasvaa valon voimakkuuden noustessa (Kwain 1975, Flamarique & Harrower 1999). Erityisen herkkiä mätimunat ovat UV-säteilylle (Flamarique & Harrower 1999). Altistuminen valolle nopeuttaa alkion kehitystä mätimunassa ja aikaistaa kuoriutumista (Kwain 1975, Fuss & Johnson 1988). Ruskuaispussipoikasvaiheessa valolle altistuminen lisää poikasten liikehdintää, jolloin ruskuaispussin energiaa käytetään kasvamisen sijasta liikkumiseen (Fuss & Johnson 1988). Poikasten ylösnousemisessa soran sisästä on jo havaittavissa selvää vuorokausirytmikkaa, jota säätelevät mm. valon voimakkuus ja veden lämpötila (Bardonnet & Gaudin 1991, Riley & Moore 2000). Lohikalojen poikaset nousevat soran sisältä ja vaeltavat kutukuopasta pois päin ruokailuviireille yön aikana minimoiden näin predaatoriskiä (Bardonnet & Gaudin 1991, Fraser ym. 1994, Riley & Moore 2000).

### 7.2. Kalojen vuorokausirytmii

Kalojen vuorokausirytmiiin vaikuttavat ensisijaisesti ravinnon tarve ja saatavuus sekä predaatoriski. Kalat pyrkivät optimoimaan ruokailun tehokkuuden suhteessa predaatoriskiiin (Metcalf ym. 1999). Aktiivisena aikana, jolloin kalat ruokailevat, vaeltavat ja kutevat predaatoriski on suurempi kuin ei-aktiivisena aikana, jolloin kalat pyrkivät olemaan suojaisissa paikoissa vältellen saalistajia ja minimoiden energian kulutusta. Kalat jaetaan yleensä yö-, päivä- ja hämäräaktiivisiin lajeihin. Tämä jako voi olla hämäävä, sillä kalan vuorokausiaktiivisuus voi muuttua veden lämpötilan, iän ja elinympäristön mukaan (Fraser ym. 1993, Grost & Prendergast 1999). Se, että kalat voivat vaihtaa vuorokausiaktiivisuutta perustuu valoa aistivien solujen suureen muuntautumiskykyyn (Ali 1959). Koska olosuhteet vaihtelevat maantieteellisen sijainnin mukaan, saman lajin eri kantojen välillä voi olla eroja vuorokausiaktiivisuudessa.

Kylmässä vedessä (<6°C) lohikalojen poikaset ovat aktiivisia alhaisessa (<1 luks) valon voimakkuudessa pyrkien suojaan kirkkaammassa valossa (Valdimarsson ym. 1997). Syyksi tällaiseen käyttäytymiseen on arveltu poikasten heikentynyttä uimiskykyä, joka heikentää niiden kykyä paeta saalistajia, varsinkin lintupredaattoreja (Metcalf ym. 1999). Joissa, jotka eivät jäädy ja joissa talviaikainen lintupredaatio on mahdollista poikaset ovat pääasiassa yöaktiivisia (Fraser ym. 1993, Heggenes ym. 1993, Thorpe ym. 1994, Contor & Griffith 1995, Fraser ym. 1995, Metcalf ym. 1999, Meyer & Gregory 2000, Valdimarsson ym. 2000). Joissa, jotka jäätyvät päiväaikainenkin valon voimakkuus jää keskitalvella <1 luksin eikä paikalla ole lintupredaattoreja, jolloin lohikalojen poikaset ovatkin päiväaktiivisia (Kallenberg 1958, Eriksson 1973, Müller 1973). Päiväaikaisen valon voimakkuuden kirkastuminen siirtää poikasten aktiivisuuden aamuun ja iltaan, jolloin myös vanhempien kalojen on todettu olevan aktiivisia (Kallenberg 1958, Eriksson 1973, Adams ym. 1988, Dervo ym. 1991, Kadri ym. 1999, Blyth ym. 1999, Paspatis & Boujard 1996). Tosin jääpeitteen alla poikasten suojaan hakeutuminen päiväsaikaan on vähäisempää kuin avovedessä (Gregory & Griffith 1996). Veden lämmitessä (>8°C) poikaset ovat aktiivisia yhä enemmän kirkkaassa va-

lossa (>100 lukisa) eli päivällä (Valdimarsson ym. 1997). Jos veden lämpötila pysyy alhaalla myös kesällä yöaktiivisuus säilyy (Fraser ym. 1995). Lämpötilat, joissa vuorokausiaktiivisuudet muuttuvat vaihtelee kannoittain (Valdimarsson ym. 2000). Napapiirin pohjoispuolella, jossa valoa on kesällä ympäri vuorokauden, myös kalat voivat olla aktiivisia ympäri vuorokauden (Müller 1973), tosin aktiivisuus voi keskittyä enemmän yöaikaan (Kallenberg 1958, Eriksson 1973, Gries ym. 1997, Amundsen ym. 1999, Grost & Prendergast 1999).

Useissa aineenvaihduntaan liittyvissä hormonien erityksessä ja metaboliatuotteiden pitoisuuksissa on vuorokausisyklisyyttä (Boujard & Leatherland 1992). Erityisesti valon voimistuminen aamulla on todettu kirjolohella kiihdyttävän hormonien eritystä ja aineenvaihduntaa (Boujard & Leatherland 1992). Kalojen ruokkiminen niiden vuorokausirytmien mukaisesti parantaa kalojen kasvua ja alentaa rehukerrointa (Boujard & Leatherland 1992, Azzaydi ym. 2000).

### 7.3. Kalojen vuosisykli

Käpylisäke toimii myös kalojen kalenterina, jota ajastavat päivän pituus yhdessä veden lämpötilan kanssa. Kalojen aineenvaihdunnan nopeus riippuu veden lämpötilasta, joten päivän pituuden indusoimat fysiologiset muutokset tapahtuvat hitaammin kylmässä kuin lämpimämmässä vedessä (Soivio ym. 1989, Solbakken ym. 1994). Tarpeeksi suuret vuodenaikaiset veden lämpötilan muutokset, voivat yksinään indusoida vuodenaikaisia fysiologisia muutoksia (Solbakken ym. 1994, Starnes ym. 1994). Jos kalat elävät muuttumattomissa olosuhteissa kalojen sisäinen vuosisyntymi (kasvu, sukukypsytminen ja smolttiutuminen) säilyy noin vuoden mittaisessa syklissä, mutta se liukuu vapaasti (Baggerman 1972, Kavaliers 1982, Sundararaj ym. 1982).

Kalat eivät niinkään mittaan valoisan ajan absoluuttista pituutta vaan siinä tapahtuvia muutoksia (Björnsson ym. 1989, Sigholt ym. 1989, Sigholt ym. 1995). Se, mitä kalat kokevat lyhyeksi ja pitkäksi päivän pituudeksi riippuu siis aikaisemmasta valojakson pituudesta (Duston & Saunders 1995). Tämä kalojen ominaisuus mahdollistaa vuosisyklin manipuloimisen. Tiivistämällä tai venyttämällä vuoden valorytmiä saadaan kalojen vuosisykli lyhyemmäksi tai pitemmäksi kuin 365 päivää (Solbakken ym. 1994, Sigholt ym. 1995, Duncan ym. 1998). Lohikalojen poikasten smolttiutumisaikajako voidaan aikaistaa/viivästyttää tai aikuisten kalojen kutujen väliä voidaan tiivistää/pidentää (Pohl-Branscheid & Holtz 1990, Logan & Johnston 1992, Duncan ym. 1998). Päivän pituudessa täytyy olla tarpeeksi suuri muutos (tunteja) ja valojakson pituuden täytyy ylittää tietty minimiraja (viikkoja), jotta kalat reagoisivat niihin (Björnsson ym. 1989, Duston & Saunders 1995, Sigholt ym. 1995).

Valosääteiset muutokset tapahtuvat hormonierityksen välityksellä (Holmqvist ym. 1994). Kalojen aivossa hypothalamuksen alueella on keskus, joka on hermosolujen kautta yhteydessä valoa aistiviin silmän verkkokalvoon ja käpylisäkkeeseen (Holmqvist ym. 1994). Hypotalamuksessa on hermosoluja, jotka reagoivat silmästä ja käpylisäkkeestä tuleviin ärsykkeisiin erittämällä hormoneja kalan verenkiertoon (Holmqvist ym. 1994). Hypotalamuksen erittämät hormonit säätelevät edelleen muiden umpirauhasten hormonituotantoa.

Pitenevä päivän pituus ja kohoava veden lämpötila aktivoi:

1) aivolisäkkeen erittämän kasvuhormonin eritystä, joka säätelee kalojen ruokahalua ja kasvua (Björnsson ym. 1989, 1998).

2) monien lohen ja taimenen poikasten smolttiutumiskehitykseen vaikuttavien hormonien tuotannon (Björnsson ym. 1989, Soivio ym. 1989, Solbakken ym. 1994, Staurnes ym. 1994).

3) sukupuolihormonien eritystä, jotka vaikuttavat sukurauhasten kehitykseen (Henderson 1963, Axelrod 1974, Bromage ym. 1984, Elliott ym. 1984).

Lyhenevä päivän pituus ja laskeva veden lämpötila:

1) hidastaa kalojen kasvua (McCormick ym. 1987, Solbakken ym. 1994, Forsberg 1995, Skilbrei ym. 1997).

2) jakaa lohen poikaset ruokailua vähentäviin hitaasti kasvaviin yksilöihin ja ruokailunsa säilyttäviin, nopeasti kasvaviin, seuraavana keväänä smolttiutuviin yksilöihin (Duncan & Bromage 1998, Thorpe ym. 1989).

3) laukaisee syyskutuisten kalojen kudun sekä aktivoi syyskutuisten lajien sukurauhasten kehitystä, joka kuitenkin keskeytyy talveksi 'öljypisara' vaiheeseen (Henderson 1963, Bromage ym. 1984, Elliott ym. 1984, Taranger ym. 1998).

Muuttumattomassa päivän pituudessa ja lämpötilassa:

1) kasvuhormonin erityys pysyy alhaisena valoisan ajan pituudesta riippumatta (Björnsson ym. 1989).

2) smolttiutuminen estyy tai tapahtuu vaillinaisesti (Björnsson ym. 1989, Lubin ym. 1991, Solbakken ym. 1994, Sigholt ym. 1995, Björnsson ym. 1998, Hoffnagle & Fivizzani 1998).

3) kalojen sukukypsyminen estyy tai viivästyy ja yksilöiden väliset erot kutuajankohdassa lisääntyvät (Gillet 1994, Duston & Saunders 1995, Taranger ym. 1998, Porter ym. 1999).

On kuitenkin muistettava, että smolttiutumista ja sukukypsymistä ei tapahdu, ellei ruumiin energiavarastot ole riittävät kriittisinä ajankohtina eli smolttiutumisessa loppukesällä ja sukukypsymisessä syksyllä ja keväällä (Thorpe ym. 1998).

Viljelytilojen valaistuksen ja viljelyveden lämpötilaan kontrolloiduilla muutoksilla voidaan kalojen vuosisykliä hallitusti muuttaa, mitä käytetäänkin jo yleisesti hyväksi ruokakalakasvatuksessa (Thrush ym. 1994, Duncan ym. 1998). Kalojen vuosisyklin tahallilla tai tahattomalla muutoksilla voi kuitenkin olla myös ei-toivottuja vaikutuksia.

Vaelluspoikastuotannossa

1) Laitospoikasten liian aikainen smolttiutuminen voi aiheuttaa niiden vaellusvalmiuden häviämiseen eli desmolttiutumiseen kevään istutushetken mennessä (Soivio ym. 1989).

2) Keväällä liian lyhyessä päivän pituudessa smolttiutuminen ei ehdi tapahtua istutushetken mennessä.

3) Epäsynchronisessa vuosirytmisessä smolttiutuminen voi tapahtua epätäydellisesti, jolloin ulkoisesti poikaset voivat olla hopeoituneen vaelluspoikasen näköisiä, mutta muilta ominaisuuksiltaan vielä jokipoikasia (Wedemeyer ym. 1980). Smolttiutumisaste vaikuttaa poikasten kuolleisuuteen ja kasvuun heti mereen vaelluksen jälkeen (Clarke & Nagahama 1977, Saunders ym. 1989).

4) Vaelluspoikasten istuttaminen muulloin kuin niiden luontaisena vaellusaikana voi heikentää istutusten tuloksellisuutta, koska luonnossa vaelluspoikaset saapuvat syönösalueille ajankohtana, jolloin vastaanottavassa vesistössä edellytykset kalojen kasvulle ovat hyvät (Duncan ym. 1998).

5) Smolttikoon kasvaminen lohilla lisää aikaisin sukukypsyvien kalojen määrää (Solbakken ym. 1994, Salminen 2000).

Emokalatuotannossa

1) Mädin laatu voi heikentyä (Macquarrie ym. 1979 Zaugg ym. 1986, Bon ym. 1999).

2) Mätimunanan koko voi olla aikaistetussa kudussa pienempi (Zaugg ym. 1986, Bon ym. 1999).

3) Mätimunien haudonta-aikainen kuolevuus voi olla suurempi (Macquarrie ym. 1979).

4) Lyhennetty vuosirytmistöistuvine lypsytineen rasittaa kalojen terveyttä, mikä näkyy lisääntyneenä sairastavuutena (Pohl-Branscheid & Holtz 1990).

## 7.4. Valon voimakkuus

Käpylisäkkeen erittämän melatoniinin pitoisuuteen vaikuttaa yöaikainen valon voimakkuus (Porter ym. 2001). Mitä alhaisempi on yöaikainen valon voimakkuus sitä korkeampi on plasman melatoniinipitoisuus (Porter ym. 2001). Lajien välillä on eroja käpylisäkkeen herkkyudessa yöaikaiselle valon voimakkuudelle (Bromage ym. 2001). Esimerkiksi kirjolohen käpylisäke aistii 0,0001–0,00001 luksin valon voimakkuuksia (Hanyu ym. 1978) kun puronieriällä 2 luksin yöaikainen valon voimakkuus alensi melatoniinipitoisuuden puoleen normaalista yöaikaisesta pitoisuudesta (Zachmann ym. 1992). Kalan koon kasvaessa paksuuntuva nahka ja kallo absorboivat yhä enemmän valoa, heikentäen käpylisäkkeeseen tunkeutuvan valon voimakkuutta erityisesti lyhyillä aallonpituusalueilla (Thorarensen ym. 1989).

Käpylisäkkeen aistiman valon voimakkuuden mukaan kala säätelee myös ihonsa väriä (Hanyu ym. 1978). Viljelytilojen alhaisempi päiväaikainen valon voimakkuus ja ympäristön hyvin monotoninen väri voivat vaikuttaa siihen, että viljellyt kalat ovat yleensä luonnonkaloja tummempia ja väritykseltään vähemmän kirkkaita.

Valon voimakkuuden heikentyessä alle 0,01 luksiin alkaa lohella verkkokalvon aistinsolujen sopeutuminen pimeään (Ali 1961). Silmän hämärään sopeutumis aika riippuu aikaisemmasta valon voimakkuudesta ja voi kestää 35–50 minuuttia (Ali 1959, 1961). Kun silmä on täysin sopeutunut hämärään riittää periaatteessa yksi kvantti aktivoimaan sauvasolun (Ali 1959). Valon aistimukseen ja näkemiseen tarvitaan kuitenkin useiden aistinsolujen aktivoituminen (Powers & Easter 1978). Kultakalalla joka 2 000–4 000 sauvasolun aktivoituminen riittää näköhavainnon syntyyn (Powers & Easter 1978). Kalat näkevät ruokaila ja liikkuu hyvinkin alhaisissa valaistuksissa, esimerkiksi Tyynen meren lohet 0,001–0,0001 luksissa (Ali 1959).

Kalojen valoherkkyudessa tapahtuu vuoden aikaan ja kalan ikään liittyviä muutoksia. Valoherkkyuden muutos voidaan havaita esimerkiksi siian käyttäytymisessä. Siian pikuipoikaset ovat voimakkaasti valohakuisia noin 2 ensimmäistä viikkoa, jonka jälkeen niiden valohakuisuus heikkenee niin, että vanhemmat siiat ovat jo voimakkaasti varjohakuisia (Mamcarc & Szczerbowski 1984, Mamcarc & Nowak 1987, McNicol ym. 1999). Lohen vaelluspoikasilla thyroidihormonin erityys lisää kalojen valohakuisuutta,

mikä saa vaelluspoikaset hylkäämään varjoiset suojapaikat ja siirtymään avoimeen veteen (Iwata ym. 1989).

Näkönsä avulla saalistavilla lajeilla, esimerkiksi lohella, taimenella ja nieriällä, ruokailutehokkuus voi heiketä valon voimakkuuden heikentyessä (Dervo ym. 1991, Fraser & Metcalfe 1997, Vogel & Beeauchamp 1999). Hämärässä valossa kalat eivät näe saalista yhtä kaukaa kuin kirkkaassa valossa, jolloin kalan reaktioetäisyys lyhenee (Dervo ym. 1991, Fraser & Metcalfe 1997, Vogel & Beeauchamp 1999). Esimerkiksi harmaanierian reaktioetäisyys 0,17 luksissa oli alle 25 cm ja 17,8 luksissa 100 cm (Vogel & Beeauchamp 1999). Lisäksi kalojen ruokailumenestykseen vaikuttaa saaliskohteen ja ympäristön välinen kontrasti (Downing & Litvak 1999, Tamazouzt ym. 2000). Vaa-leaa taustaa vasten kalat pystyvät erottamaan saaliinsa paremmin myös alhaisissa valon voimakkuuksissa (Downing & Litvak 1999, Tamazouzt ym. 2000). Valon voimakkuuden heikentyessä kalat voivat muuttaa ruokailuaan siten, että pimeässä ne ruokailevat pohjalta, tai pyydystävät isompia ravintokohteita tai siirtyvät siivilöimään ravintoa vedestä (Batty ym. 1990, Jørgensen & Jobling 1990, 1992, Dervo ym. 1991).

Koska kalan näkökyvyssä tapahtuu vuodenaikaan, ikään ja elinympäristöön liittyviä muutoksia ei ole ihme, että eri tutkimuksissa on saatu hyvin erilaisia tuloksia kalojen käyttäytymisessä, ruokailussa ja kasvussa eri valaistusolosuhteissa. Joissakin tutkimuksissa alhaisen valon voimakkuuden (0,1–0,6 luksia) on todettu vähentävän kalojen ruokailuaktiivisuutta ja kasvua (Eisler 1957, Björnson ym. 1989, Mork & Gulbrandsen 1994, Fraser & Metcalfe 1997). Toisaalta lohen poikasten kasvussa ja kuolleisuudessa eri valon voimakkuuksissa ei ole havaittu merkitsevää eroa (Wallace ym. 1988).

Erityisesti veden kylmetessä lohikaloiden poikaset hakeutuvat suojapaikkoihin päivällä suosien ylhäältäpäin varjostavia suojia (Valdimarsson ym. 1997, Valdimarsson & Metcalfe 1998). Esimerkiksi suuri osa lohen jokipoikaset hakeutuu varjoon >100 luksin valon voimakkuudessa talviaikana kun keväällä tilanne on päinvastainen (Valdimarsson ym. 1997). Talviaikana lohen jokipoikaset ovat aktiivisia <1 luksin valon voimakkuudessa (Valdimarsson ym. 1997). Kirkkaassa valossa kalat vaistomaisesti hakeutuvat aina vaaran uhatessa varjoisaan paikkaan suojaan tai parveutuvat lajista ja valon voimakkuudesta riippuen (McCartt ym. 1997). Hakeutumiseen saalistajilta suojaan vaikuttavat aikaisemmat kokemukset petojen kohtaamisista, mitkä kokemukset yleensä puuttuvat laitospoikasilta (McCartt ym. 1997).

Valon voimakkuudella on todettu olevan vaikutusta valovaikutteisten vasteiden syntyyn eli voimakkaampi valo aikaistaa ja vahvistaa fysiologisen vasteen syntymistä, esimerkiksi parantaen kalojen kasvua (Oppedal ym. 1997). Toisaalta liian voimakas valo aiheuttaa kaloille stressiä (Wallace ym. 1988). Äkilliset muutokset valon voimakkuudessa, kuten valojen syttyminen ja sammuminen aiheuttavat lohella, taimenella ja nieriällä selvän stressivasteen, mikä näkyy mm. kaoottisena uimisena altaassa noin 15 minuutin ajan (Mork & Gulbrandsen 1994). Valon voimakkuuden heikkeneminen pienentää lohikaloiden jokipoikasten reviiirikokoa, koska ne eivät näe lajikumppaneitaan yhtä kaukaa kuin kirkkaassa valossa. Heikommassa valossa kalojen aggressiivisuus vähenee ja kalat levittäytyvät tasaisesti altaan pohjalle (Mork & Gulbrandsen 1994).

## 7.5. Valon spektrikoostumus

Koska valoa aistivien solujen pigmenttikoostumus vaihtelee lajeittain, on eri kalalajien herkkyydessä eroja eri valon spektrialueille (Head & Malison 2000). Samoin myös veden lämpötilaan sidotut pigmenttimuutokset muuttavat kalan aistinsolujen herkkyyttä eri valon aallonpituusalueille. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kalat näkevät parhaiten tietyn aallonpituudessa valossa. Infrapunaista aallonpituuksia kalojen sauvasolujen pigmentti ei kykene absorboimaan, mutta joidenkin lajien tappisolut voivat aistia infrapunaista valoa aallonpituudesta riippuen (Lythgoe 1988). Joillekin kalalajeille infra-

punainen valo vastaa heikkona tähtien valona (Ali 1961). Lohikalojen aistinsolut ovat herkkiä suurin piirtein samoille valon aallonpituuksille kuin ihmisen silmä (Ali 1961).

Hyvin vähän tiedetään valon spektrikoostumuksen vaikutuksista kalojen käyttäytymiseen ja hyvinvointiin. Esimerkiksi lohen poikasten kasvuun ja smolttiutumiseen valon spektrikoostumuksella ei ole havaittu vaikutusta (Stefansson & Hansen 1989).

## 8. Yhteenveto

Valon käyttö työkaluna istukastuotannossa on jäänyt vähäiselle huomiolle. Istukaspoikastuotannossa tulisi tavoitteena olla viljelyolosuhteiden kehittäminen niin, että laitoksessa kasvaneet kalat pärjäisivät mahdollisimman hyvin myös luonnossa. Viljelytilojen valaistuksen säätely on näistä yksi keskeinen tekijä. Luonnollisen valorytmin käyttäminen istukastuotannossa siten, että istutettaessa päivän pituudessa ja veden lämpötilassa ei tapahdu suuria muutoksia, onkin suositeltavaa. Edellä esitettyjen tutkimustulosten perusteella kalanviljelyssä tulisi huomiota kiinnittää seuraaviin asioihin:

- 1) Päivän pituus säätelee kalojen kutuajankohtaa. Emoviljelyssä tulee käyttää luonnollista valorytmiä kutuajankohdan synkronoimiseksi lähelle luonnonkutua. Vaelluskalalajeilla (merilohi, meritaimen) voidaan käyttää emokalaviljelyssä talviaikana syönnösalueen valorytmiä. Ei-paikallisilla kanoilla (esim. järvilohi Inarissa) voidaan käyttää alkuperäisen levinneisyysalueen valorytmiä.
- 2) Luonnossa kutukuopissa hautoutuvien kalalajien mäti ja ruskuaispussipoikaset (lohi, taimen, nieriä, siika ja harjus) ovat valolta suojattuna. Valolle altistuminen voi vaikuttaa mätimunien kehitysnopeuteen ja kuolleisuuteen sekä kuoriutumisen jälkeeseen ruskuaispussin käyttöön. Mäti ja ruskuaispussipoikaset tulee suojata ikkunoiden kautta ja lampuista tulevalta valolta esim. varjostamalla ja rajoittamalla lampujen käyttöä haudontatiloissa.
- 3) Päivän pituus kertoo kaloille mikä vuodenaika on menossa ja synkronoi vaelluspoikaskehitystä. Poikasviljelyssä tulee käyttää luonnollista valorytmiä, eikä valorytmi saa muuttua viljelyn aikana esim. siirrettäessä poikasia viljelytiloista toisiin tai ulkoaltilaisiin.
- 4) Kaloja tulisi ruokkia niiden luonnollisen vuorokausirytmien mukaisesti, koska se tehostaa ruokintaa ja istukkaat oppivat samalla oikean vuorokausiaktiivisuusmallin.
- 5) Kalat vertaavat päivän pituutta aikaisempaan ja päättelevät sen ja veden lämpötilan muutoksista vuodenaajan. Kaloja istutettaessa päivän pituudessa eikä veden lämpötilassa saa tapahtua suuria muutoksia, jotka sekoittaisivat kalojen vuosisyklin.
- 6) Päivän pituus säätelee lohen ja taimenen poikasten smolttituumista, joka laukaisee vaelluskäyttäytymisen. Laitospoikasten smolttituuminen tulee tapahtua samaan aikaan kuin luonnossa vaellusvalmiuden kehittymiseksi. Istutusajankohta tulee ajoittaa vaellusvalmiuden kehittymisen mukaan, mieluiten niin, että istutus tapahtuu hieman ennen smolttituumiskehityksen loppua eli vaelluksen alkamista.

Luonnollinen valorytmi saadaan viljelytiloihin joko ikkunoiden kautta tulevan valon avulla tai säätämällä valojen palamisaikaa.

- 1) Jos valo tulee ikkunoiden kautta, ei ulkona saa palaa pimeään aikaan valoja, jotka sekoittavat luonnollisen päivän pituuden.
- 2) Jos valorytmi luodaan lampuilla, lampujen palamisaika voidaan säätää astrokelolla paikallisen leveyspiirin auringon nousu- ja laskuaikojen mukaan, johon lisätään yhteiskunnallinen hämäräaika (tunti ennen ja jälkeen auringon nousun ja laskun).
- 3) Jos valaistukseen käytetään sekä ikkunoiden kautta tulevaa luonnon valoa, ja lampuja, voidaan lampujen syttymisaika säätää auringon nousu- ja laskuaikojen mukaan. Tällöin valon voimakkuus nousee aamulla hitaasti ikkunoiden kautta tuleval-

la valolla ennen lamppujen syttymistä ja alenee hitaasti illalla lamppujen sammumisen jälkeen.

- 4) Erilliset altaat, joihin tarvitaan oma valorytmi, voidaan eristää muusta viljelytilasta ja ajastaa lamppujen syttymisaika halutulla rytmillä.
- 5) Ulkoallasalueella ei tulle olla yöaikaista valaistusta, joka voisi sotkea kalojen vuorokausi- ja vuosirytmien.

#### Valon voimakkuus viljelytiloissa

- 1) Kalat eivät tarvitse näkemiseen yhtä voimakasta valoa kuin ihmiset. Ikkunoiden kautta tai lamputta tulevan valon voimakkuus viljelytiloissa ei saa olla niin voimakas, että se häiritsisi kaloja. Kalojen tulee olla tasaisesti levittäytyneenä altaaseen normaalitilassa. Jos kalat pakkautuvat altaiden nurkkiin ilman, että niitä häiritään on valon voimakkuutta tarkistettava.
- 2) Kalan silmä on herkempi valolle kylmässä kuin lämpimässä vedessä. Kesällä lämpimän veden aikana valon voimakkuus viljelytiloissa voi olla korkeampi kuin talvella kylmän veden aikana. Kalojen käyttäytymistä ja hyvinvointia seuraamalla voidaan säädellä valonvoimakkuutta viljelytiloissa.
- 3) Kalat säikähtävät äkillisiä valon voimakkuuden muutoksia. Jos tarvitset lisävaloa työskennellessäsi viljelytiloissa, älä sammuta valoa lyhyen tauon (kahvi- tai ruokatauko) ajaksi. Kalojen ruokinta voidaan aloittaa noin 15 minuuttia valojen syttymisen jälkeen, jolloin kalat ehtivät rauhoittua.
- 4) Ulkoaltaissa niin kuin luonnonvesissä valon voimakkuus on suurempi kuin sisätiloissa. Ulkoaltaista puuttuvat kuitenkin varjopaikat ja veden syvyys, joihin kalat luonnossa pystyvät halutessaan menemään. Ulkoaltaiden varjostuksen kehittäminen voisi lisätä kalojen viihtyvyyttä.

Valoa käytetään ruokakalakasvatuksessa jo yleisesti työkaluna. Manipuloiduilla valorytmeillä tuotetaan sesongin ulkopuolisia vaelluspoikasia, lisätään kalojen kasvua ja estetään sukukypsymistä. EWOS on tuonut vuonna 2001 markkinoille uuden ruokinta-kaavion, jossa päivän pituus otetaan huomioon (Norsk Fiskeoppdrett 2001 nro 19). Kalojen ruokinnan edelleen kehittämiseen emokala ja istukastuotannossa on tarvetta. Jotakin yleisluontoisia suosituksia voidaan kuitenkin antaa.

- 1) Kalojen ruokkiminen niiden vuorokausiaktiivisuuden mukaan on eduksi.
- 2) Ruokinnan painottaminen aamu- ja ilta-aktiivisuuteen on edelleen käyttökelpoinen ohje monen kalalajin ja sukukypsien kalojen osalta.
- 3) Kalojen vuorokausiaktiivisuuden muuttuminen veden lämpötilan ja vuodenajan mukaan on hyvä huomioida. Esimerkiksi Inarissa kaamosaikaan ruokinta on aiheellista painottaa päivään, auringon noustessa ja laskiessa aamuun ja iltaan ja keskikesällä yöaikaan. Ensimmäisen kesän poikasia on suositeltavaa ruokkia tasaisesti ympäri vuorokauden.
- 4) Kylmässä vedessä kalat ruokailevat mieluummin alhaisessa (n. 1 luksi) valon voimakkuudessa, jolloin ruokintavalojen säätäminen himmeämmäksi talviaikana voi lisätä kalojen viihtyvyyttä. Kesällä ruokintavalot voivat olla kirkkaammat, mutta ei kuitenkaan niin voimakkaat, että ne häiritsisivät kaloja.



Valon spektrikoostumuksen vaikutuksesta kalojen hyvinvointiin tiedetään vähän. Valaistukseen voidaan käyttää normaali lampuja eli ns. valkoista valoa, joissa on kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia. Erityistapauksissa voi käyttää infrapunavaloa, jota kalat eivät aisti samalla tavalla kuin näkyviä valon aallonpituuksia.

## 9. Kiitokset

Erityiskiitokset Jorma Kuuselalle, jonka fyysikon neuvot ja tekninen asiantuntemus tekivät valon voimakkuuden mittaukset mahdolliseksi. Kiitokset RKTL:n Laukaan kalantutkimus ja vesiviljelylle valomittarin ja Kalevi Saloselle spektrofotometrin lainaamisesta mittausten tekemisiä varten. Kiitokset Eero Heinoselle ja Timo Rauhalalle kenttätöihin osallistumisesta ja Antti Soiviolle ja Petri Heinimaaalle arvokkaista kommentteista. Kiitokset vesiviljelyjohtaja Kai Westmanille resurssien myöntämisestä tähän selvitykseen.

## 10. Termien selityksiä

**Absorboituminen:** valon säteilyenergian muuttuminen lämpöenergiaksi

**Hajasäteily:** jonkin pinnan kautta esim. pilvistä heijastuvaa valoa

**Hämäräaika:** aurinko on horisontin alapuolella, mutta maahan tulee vielä hajasäteilyä. Hämäräaika jaetaan kolmeen jaksoon yhteiskunnallinen, nautinen ja tähtitieteellinen hämärä.

**Infrapunavalo:** valon aallonpituusalue 760–3000 nm

**Intensiteetti:** valon voimakkuus

**Nautinen hämärä:** aurinko on horisontin alapuolella 6–12°, jolloin horisontti näkyy vielä selvästi, mutta myös kirkkaimmat tähdet näkyvät.

**Näkyvä valo:** valon aallonpituusalueet 380–760 nm

**Smoltiutuminen:** lohikalojen jokipoikasten muuttuminen vaelluspoikasiksi

**Tuottava kerros:** vesimassan syvyys jossa on tarpeeksi valoa kasviplanktonin yhteyttämistoimintaa, vähintään 1 % veden pinnan valon voimakkuudesta

**Tähtitieteellinen hämärä:** aurinko on horisontin alapuolella 12–18°, jolloin horisontissa on vielä kajoa.

**Ultraviolettivovalo:** valon aallonpituusalue 300–380 nm, vahingollista eliöille

**Valo:** sähkömagneettista säteilyenergiaa, jonka spektrissä on eri aallonpituuksia.

**Valon hajoaminen:** valkoisen valon hajoaminen eri spektreihin

**Valon voimakkuus:** voidaan mitata lukseina. Ihmissilmä kokee eri valon voimakkuudet suunnilleen seuraavasti:

- 0 luksia = pimeää
- <1 luksi = nautinen hämärä tai kuutamoyö, ulkona näkee jotakin, tähdet näkyvät taivaalta
- <10 luksia = päivä alkaa sarastamaan / ilta hämärtymään
- <100 luksia = kaamoksen talvipäivä
- <500 luksia = normaali työhuone valaistus
- <1000 luksia = sisällä voimakas valo
- <10 kiloluksia = kaipaavat aurinkolaseja
- n. 100 kiloluksia = aurinko paistaa valkoiselle hangelle

**Yhteiskunnallinen eli porvarillinen hämärä:** aurinko on horisontin alapuolella <6°, jolloin selkeällä ilmalla näkee tehdä ulkotöitä.

# 11. Kirjallisuus

- Adams, N. J., Barton, D. R., Cunjak, R. A., Power, G. & Riley, S. C. 1988: Diel patterns of activity and substrate preference in young Arctic char from the Koroc River, northern Quebec. – *Can. J. Zool.* 66: 2500–2502.
- Ali, M. A. 1959: The ocular structure, retinomotor and photobehavioral responses of juvenile Pacific salmon. - *Can. J. Zool.* 37: 965–996.
- Ali, M. 1961: Histophysiological studies on the juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) retina. - *Can. J. Zool.* 39: 511–526.
- Allen, D. M. & Munz, F. W. 1983: Visual pigment mixtures and scotopic spectral sensitivity in rainbow trout. s. 23–28. Teoksessa: Noakes, D. L. G., Lindquist, D. G., Helfman, G. S. & Ward, J. A. (toim.): Predators and prey in fishes. The Hague: Dr W. Junk.
- Allen, D. M., McFarland, W. N., Munz, F. W. & Poston, H. A. 1973: Changes in the visual pigments of trout. - *Can. J. Zool.* 51: 901–914.
- Allen, D. M., Loew, D. M. & McFarland, W. N. 1982: Seasonal change in the amount of visual pigment in the retinae of fish. - *Can. J. Zool.* 60: 281–287.
- Amundsen, P.-A., Bergersen, R., Huru, H. & Heggberget, T. G. 1999: Diel feeding rhythms and daily food consumption of juvenile Atlantic salmon in the River Alta, northern Norway. – *J. Fish Biol.* 54: 58–71.
- Aoki, T., Aoki, T. & Fukabori, M. 1993: Spectral albedo and inside radiant flux density of snow by a multiple scattering model. - *Atmospheric Radiation 2049*: 275–278.
- Axelrod, J. 1974: The pineal gland: a neurochemical transducer. – *Science* 184: 1341–1348.
- Azzaydi, M., Martínez, F. J., Zamora, S., Sánchez-Vázquez, F. J. & Madrid, J. A. 2000: The influence of nocturnal vs. diurnal feeding under winter conditions on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). – *Aquaculture* 182: 329–338.
- Baggerman, B. 1972: Photoperiodic responses in the stickleback and their control by a daily rhythm of photosensitivity. – *Gen. Comp. Endocrinol. Suppl.* III 3: 109–113.
- Bardonnet, A. & Gaudin, P. 1991: Influence of daily variations of light and temperature on the emergence rhythm of grayling fry (*Thymallus thymallus*). – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 1176–1180.
- Batty, R. S., Blaxter, J. H. S. & Richard, J. M. 1990: Light intensity and the feeding behaviour of herring, *Clupea harengus*. – *Mar. Biol.* 107: 383–388.
- Björnsson, B. T., Thorarensen, H., Hirano, T., Ogasawara, T. & Kristinsson, J. B. 1989: Photoperiod and temperature affect plasma growth hormone levels, growth, condition factor and hypoosmoregulatory ability of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) during parr-smolt transformation. – *Aquaculture* 82: 77–91.
- Björnsson, B. T., Stefansson, G. V., Berge, Å. I., Hansen, T. & Stefansson, S. O. 1998: Circulating growth hormone levels in Atlantic salmon smolts following seawater transfer: effects of photoperiod regime, salinity, duration of exposure and season. – *Aquaculture* 168: 121–137.
- Blyth, P. J., Kadri, S., Valdimarsson, S. K., Mitchell, D. F. & Purser, G. J. 1999: Diurnal and seasonal variation in feeding patterns of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in sea cages. – *Aquacul. Res.* 30: 539–544.

- Bon, E., Breton, B., Govoroun, M. S. & Menn, F. L. 1999: Effects of accelerated photoperiod regimes on the reproductive cycle of the female rainbow trout: II Seasonal variations of plasma gonadotropins (GTH I and GTH II) levels correlated with ovarian follicle growth and egg size. – *Fish Physiol. Biochem.* 20: 143–154.
- Boujard, T. & Leatherland, J. F. 1992: Circadian rhythms and feeding time in fishes. – *Environ. Biol. Fishes* 35: 109–131.
- Bromage, N. R., Elliott, J. A. K., Springate, J. R. C. & Whitehead, C. 1984: The effects of constant photoperiods on the timing of spawning in the rainbow trout. – *Aquaculture* 43: 213–223.
- Bromage, N., Porter, M. & Randall, C. 2001: The environmental regulation of maturation in farmed finfish special reference to the role of photoperiod and melatonin. – *Aquaculture* 197: 63–98.
- Callieri, C. 1996: Extinction coefficient of red, green and blue light and its influence on picocyanobacterial types in lakes at different trophic levels. – *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 54: 135–142.
- Chen, W.-M., Purser, J. & Blyth, P. 1999: Diel feeding rhythms of greenback flounder *Rhombosolea tapirina* (Günther 1862): the role of light-dark cycles and food deprivation. – *Aquacult. Res.* 30: 529–537.
- Clarke, W. C. & Nagahama, Y. 1977: Effect of premature transfer to sea water on growth and morphology of the pituitary, thyroid, pancreas and interrenal in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). – *Can. J. Zool.* 55: 1620–1630.
- Contor, C. R. & Griffith, J. S. 1995: Nocturnal emergence of juvenile rainbow trout from winter concealment relative to light intensity. – *Hydrobiologia* 299: 179–183.
- Crisp, D. T. 1990: Water temperature in a stream gravel bed and implications for salmonid incubation. – *Freshwater Biol.* 23: 601–612.
- Dervo, B. K., Hegge, O., Hessen, D. O. & Skurdal, J. 1991: Diel food selection of pelagic Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), and brown trout, *Salmo trutta* L., in Lake Atnsjø, SE Norway. – *J. Fish Biol.* 38: 199–209.
- Downing, G. & Litvak, M. K. 1999: The effect of photoperiod, tank colour and light intensity on growth of larval haddock. – *Aquacult. Int.* 7: 369–382.
- Duncan, N. J. & Bromage, N. 1998: The effect of different periods of constant short days on smoltification in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). – *Aquaculture* 168: 369–386.
- Duncan, N. J., Auchinachie, N., Robertson, D., Murray, R. & Bromage, N. 1998: Growth, maturation and survival of out-of-season 0+ and 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. – *Aquaculture* 168: 325–339.
- Duston, J., & Bromage, N. 1986: Photoperiodic mechanisms and rhythms of reproduction in female rainbow trout. – *Fish. Physiol. Biochem.* 2: 35–51.
- Duston, J., & Saunders, R. L. 1995: Advancing smolting to autumn in age 0+ Atlantic salmon by photoperiod, and long-term performance in sea water. – *Aquaculture* 135: 295–309.
- Eisler, R. 1957: The influence of light on the early growth of chinook salmon. – *Growth* 21(3): 197–202.
- Elliott, J. A. K., Bromage, N. R. & Springate, J. R. C. 1984: Changes in reproductive function of three strains of rainbow trout exposed to constant and seasonally-changing light cycles. – *Aquaculture* 43: 23–34.

- Eloranta, P. 1978: Light penetration in different types of lakes in Central Finland. – *Holarctic Ecology* 1: 362–366.
- Eriksson, L.-O. 1973: Spring inversion of the diel rhythm of locomotor activity in young sea-going brown trout, *Salmo trutta trutta* L., and Atlantic salmon, *Salmo salar* L. – *Aquilo Ser. Zool.* 14: 68–79.
- Flamarique, I. N. & Harrower, W. L. 1999: Mortality of sockeye salmon raised under light backgrounds of different spectral composition. – *Environ. Biol. Fishes* 55: 279–293.
- Forsberg, O. I. 1995: Empirical investigations on growth of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in land-based farms. Evidence of a photoperiodic influence. – *Aquaculture* 133: 235–248.
- Fraser, N. H. C. & Metcalfe, N. B. 1997: The cost of becoming nocturnal: feeding efficiency in relation to light intensity in juvenile Atlantic salmon. – *Functional Ecology* 11: 385–391.
- Fraser, N. H. C., Metcalfe, N. B. & Thorpe, J. E. 1993: Temperature-dependent switch between diurnal and nocturnal foraging in salmon. – *Proc. R. Soc. Lond. B* 252: 135–139.
- Fraser, N. H. C., Huntingford, F. A. & Thorpe, J. E. 1994: The effect of light intensity on the nightly movements of juvenile Atlantic salmon alevins away from the redd. – *J. Fish Biol.* 45(A): 143–150.
- Fraser, N. H. C., Heggenes, J., Metcalfe, N. B. & Thorpe, J. E. 1995: Low summer temperatures cause juvenile Atlantic salmon to become nocturnal. – *Can. J. Zool.* 73: 446–451.
- Fuss, H. J. & Johnson, C. 1988: Effects of artificial substrate and covering on growth and survival on hatchery-reared coho salmon. – *Prog. Fish Cult.* 50: 232–237.
- Gal, G., Loew, E. R., Rudstam, L. G. & Mohammadian, A. M. 1999: Light and diel vertical migration: spectral sensitivity and light avoidance by *Mysis relicta*. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 311–322.
- Gillet, C. 1994: Egg production in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) broodstock: effects of photoperiod on timing of ovulation and egg quality. – *Can. J. Zool.* 72: 334–338.
- Gregory, J. S. & Griffith, J. S. 1996: Winter concealment by subyearling rainbow trout: space size selection and reduced concealment under surface ice and in turbid water conditions. – *Can. J. Zool.* 74: 451–455.
- Gries, G., Whalen, K. G., Juanes, F. & Parrish, D. L. 1997: Nocturnal activity of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in late summer: evidence of diel activity partitioning. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 1408–1413.
- Grost, R. T & Prendergast, L. 1999: Summer counts of stream-resident trout can differ between daytime and night. – *North Am. J. Fish. Manag.* 19: 837–841.
- Gudjónsson, T. 1973: Smolt rearing techniques, stocking and tagged adult salmon recaptures in Iceland. – *The International Atlantic Salmon Foundation, Special Publication Series* 4(1): 227–235.
- Hanyu, I, Niwa, H. & Tamura, T. 1978: Salient features in photosensory function of teleostean pineal organ. – *Comp. Biochem. Physiol.* 61(A): 49–54.
- Head, A. B. & Malison, J. A. 2000: Effects of lighting spectrum and disturbance level on the growth and stress responses of yellow perch *Perca flavescens*. – *Journal of the World Aquaculture Society.* 31(1): 73–80.

- Heggnes, J., Krog, O. M. W., Lindås, O. R., Dokk, J. G. & Bremnes, T. 1993: Homeostatic behavioural responses in a changing environment: brown trout (*Salmo trutta*) become nocturnal during winter. – J. Anim. Ecol. 62: 295–308.
- Henderson, N. E. 1963: Influence of light and temperature on the reproductive cycle of eastern brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). – J. Fish. Res. Board Can. 20: 859–897.
- Hetrich, N. J., Brusven, M. A., Meehan, W. R. & Bjornn, T. C. 1998: Changes in solar input, water temperature, periphyton accumulation, and allochthonous input and storage after canopy removal along two small salmon streams in southeast Alaska. – Trans. Am. Fish. Soc. 127(6): 859–875.
- Hoffnagle, T. L. & Fivizzani, Jr. A. J. 1998: Effect of three hatchery lighting schemes on indices of smoltification in chinook salmon. – Prog. Fish Cult. 60: 179–191.
- Holmqvist, B. I., Östholm, T. & Ekström, P. 1994: Neuroanatomical analysis of the visual and hypophysiotrophic systems in Atlantic salmon (*Salmo salar*) with emphasis on possible mediators of photoperiodic cues during parr-smolt transformation. – Aquaculture 121: 1–12.
- Isaksson, A. 1976: The improvement of returns of one-year smolts at the Kollafjorour fish farm 1971–73. – J. Agric. Res. Iceland 8: 19–26.
- Iwata, M., Yamanome, T., Tagawa, M., Ida, H. & Hirano, T. 1989: Effects of thyroid hormones on phototaxis of chum and coho salmon juveniles. – Aquaculture 82: 329–338.
- Jones, R. I. & Arvola, L. 1984: Light penetration and some related characteristics in small forest lakes in southern Finland. – Verh. Internat. Verein. Limnol. 22: 811–816.
- Jones, R. I. & Ilmavirta, V. 1978: Vertical and seasonal variation of phytoplankton photosynthesis in a brown-water lake with winter ice cover. – Freshwater Biol. 8: 561–572.
- Jørgensen, E. H. & Jobling, M. 1990: Feeding modes in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L.: the importance of bottom feeding for the maintenance of growth. – Aquaculture 86: 379–386.
- Jørgensen, E. H. & Jobling, M. 1992: Feeding behaviour and effect of feeding regime on growth of Atlantic salmon, *Salmo salar*. – Aquaculture 101: 135–146.
- Kadri, S., Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A. & Thorpe, J. E. 1991: Daily feeding rhythms in Atlantic salmon in sea cages. – Aquaculture 92: 219–224.
- Kalleberg, H. 1958: Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar* L. and *S. trutta* L.). – Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 39: 55–98.
- Kavaliers, M. 1981: Circadian rhythm of nonpineal extraretinal photosensitivity in a teleost fish, the Lake Chub, *Couesius plumbeus*. – J. Experim. Zool. 216: 7–11.
- Kavaliers, M. 1982: Seasonal and circannual rhythms in behavioral thermoregulation and their modifications by pinealectomy in the white sucker, *Catostomus commersoni*. – J. Comp. Physiol. 146: 235–243.
- Kwain, W.-H. 1975: Embryonic development, early growth, and meristic variation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) exposed to combinations of light intensity and temperature. – J. Fish. Res. Board Can. 32: 397–402.
- Lampert, W. & Sommer, U. 1997: Limnoecology: The ecology of lakes and streams. Oxford University Press, USA.

- Logan, S. H. & Johnston, W. E. 1992: Broodstock replacement policies for rainbow trout under photoperiod control and uncertainty. – *Aquaculture* 106: 99–115.
- Lubin, R. T., Rourke, A. W. & Saunders, R. L. 1991: Influence of photoperiod on the number and ultrastructure of gill chloride cell of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) before and during smoltification. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 1302–1307.
- Lythgoe, J. N. 1988: Light and vision in the aquatic environment. s. 56–82. Teoksessa: Atema, K., Fay, R. R., Popper, A. N. & Tavolga, W. N. (toim.): Sensory biology of aquatic animals. Springer-Verlag, New York.
- Macquarrie, D. W., Vastone, W. E. & Markert, J. R. 1979: Photoperiod induced off-season spawning of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). – *Aquaculture* 18: 289–302.
- Mamcarz, A. & Nowak, M. 1987: New version of an illuminated cage for Coregonid rearing. – *Aquaculture* 65: 183–188.
- Mamcarz, A. & Szczerbowski, J. A. 1984: Rearing of Coregonid fishes (Coregonidae) in illuminated lake cages. I. Growth and survival of *Coregonus lavaretus* L. and *Coregonus peled* Gmel. – *Aquaculture* 40: 135–145.
- Marchand, P. J. 1984: Light extinction under a changing snowcover. – *Spec. Publ. Carnegie Museum of Natural History* 10: 33–37.
- Marttunen, M., Hellsten, S., Puro, A., Huttula, E., Nenonen, M.-L., Järvinen, E., Salonen, E., Palomäki, R., Huru, H. & Bergman, T. 1997: Inarijärven tila, käyttö ja niihin vaikuttavat tekijät. – *Suomen ympäristö, luonto ja luonnonvarat* 58, s. 195.
- Max, M. & Menaker, M. 1992: Regulation of melatonin production by light, darkness and temperature in the trout pineal. – *J. Comp. Physiol. A* 170: 479–489.
- Maynard, D. J. & Flagg, T. A. 2001: Natures rearing as tool for increasing ranched salmon survival. – *World Aquaculture* 32(2): 56–58,69.
- McCartt, A. L., Lynch, Jr. W. E. & Johnson, D. L. 1997: How light, a predator, and experience influence bluegill use of shade and schooling. – *Environ. Biol. Fishes* 49: 79–87.
- McCormich, S. D., Saunders, R. L., Henderson, E. B. & Harmon, P. 1987: Photoperiod control of parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Changes in salinity tolerance, gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> -ATPase activity and plasma thyroid hormones. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1462–1468.
- McFarland, W. N. & Allen, D. M. 1977: The effect of extrinsic factors on two distinctive rhodopsin-porphyrin systems. – *Can. J. Zool.* 55: 1000–1009.
- McNicol, R. E., Bégout-Anras, M.-L. & Scherer, E. 1999: Influence of light preferences on the avoidance responses of lake whitefish, *Coregonus clupeaformis*, to cadmium. – *Environ. Biol. of Fishes* 55: 295–306.
- Metcalf, N. B., Fraser, N. H. C. & Burns, M. D. 1999: Food availability and the nocturnal vs. diurnal foraging trade-off in juvenile salmon. – *J. Anim. Ecol.* 68: 371–381.
- Meyer, K. A. & Gregory, J. S. 2000: Evidence of concealment behaviour by adult rainbow trout and brook trout in winter. – *Ecol. Freshwater Fish* 9: 138–144.
- Mork, O. I. & Gulbrandsen, J. 1994: Vertical activity of four salmonid species in response to changes between darkness and two intensities of light. – *Aquaculture* 127: 317–328.
- Munz, F. W. & McFarland, W. N. 1973: The significance of spectral position in the rhodopsins of tropical marine fishes. – *Vision Res.* 13: 1829–1874.



- Müller, K. 1973: Circadian rhythms of locomotor activity in aquatic organisms in the subarctic summer. – *Aquilo Ser. Zool.* 14: 1–18.
- Oppedal, F., Taranger, G. L., Juell, J. E., Fosseidengen, J. E. & Hansen, T. 1997: Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. – *Aquatic Living Resources* 10: 351–357.
- Øksnebjerg, B. 2000: Maailma toisin silmin. – *Tieteen kuvalehti* 6: 70–77.
- Paspatis, M. & Boujard, T. 1996: A comparative study of automatic feeding and self-feeding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets of different energy levels. – *Aquaculture* 145: 245–257.
- Pohl-Branscheid, M. & Holtz, W. 1990: Control of spawning activity in male and female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by repeated foreshortened seasonal light cycles. – *Aquaculture* 86: 93–104.
- Porter, M. J. R., Duncan, N.J., Mitchell, D. & Bromage, N. R. 1999: The use of cage lighting on the reduce plasma melatonin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effects on the inhibition of grilising. – *Aquaculture* 176: 237–244.
- Porter, M. J. R., Duncan, N., Handeland, S. O., Stefansson, S. O., Bromage, N. R. 2001: Temperature, light intensity and plasma melatonin levels in juvenile Atlantic salmon. – *J. Fish Biol.* 58: 431–438.
- Powers, M. K. & Easter Jr, S. S. 1978: Absolute visual sensitivity of the goldfish. – *Vision Research* 18: 1137–1147.
- Riley, W. D. & Moore, A. 2000: Emergence of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fry in a chalk stream. – *Fish. Manage. Ecol.* 7: 465–468.
- Roulet, N. T. & Adams, W. P. 1986: Spectral distribution of light under a subarctic winter lake cover. – *Hydrobiologia* 134: 89–95.
- Salminen, M. 2000: Influence of smolt size on the postsmolt ecology of ranched Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the Northern Baltic sea. Väitöskirjatyö, Riistan- ja kalantutkimus. Helsinki.
- Saunders, R. L., Specker, J. L. & Komourdjian, M. P. 1989: Effects of photoperiod on growth and smolting in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). – *Aquaculture* 82: 103–117.
- Sigholt, T., Järvi, T. & Lofthus, R. 1989: The effect of constant 12-hour light and simulated natural light on growth, cardiac-somatic index and smolting in the Atlantic salmon (*Salmo salar*). – *Aquaculture* 82: 127–136.
- Sigholt, T., Staurnes, M., Jakobsen, H. J. & Åsgård, T. 1995: Effects of continuous light and short-day photoperiod on smolting, seawater survival and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar*). – *Aquaculture* 130: 373–388.
- Skilbrei, O. T., Hansen, T. & Stefansson, S. O. 1997: Effects of decreases in photoperiod on growth and bimodality in Atlantic salmon *Salmo salar* L. – *Aquacult. Res.* 28: 43–49.
- Soivio, A., Muona, M. & Virtanen, E. 1989: Temperature and daylength as regulators of smolting in cultured Baltic salmon, *Salmo salar* L. – *Aquaculture* 82: 137–145.
- Solbakken, V. A., Hansen, T. & Stefansson, S. O. 1994: Effects of photoperiod and temperature on growth and parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent performance in seawater. – *Aquaculture* 121: 13–27.
- Staurnes, M., Sigholt, T. & Gulseth, O. A. 1994: Effects of seasonal changes in water temperature on the parr-smolt transformation of Atlantic salmon and anadromous Arctic char. – *Trans. Am. Fish. Soc.* 123: 408–415.

- Stefansson, S. O. & Hansen, T. J. 1989: The effect of spectral composition on growth and smolting in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and subsequent growth in sea cages. – *Aquaculture* 82: 155–162.
- Sundararaj, B. I., Vasal, S. & Halberg, F. 1982: Circannual rhythmic ovarian recrudescence in catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch). – *Adv. Biosci.* 41: 319–337.
- Tamazouzt, L. T., Chatain, B. & Fontaine, P. 2000: Tank wall colour and light level affect growth and survival of Eurasian perch larvae (*Perca fluviatilis* L.). – *Aquaculture* 182: 85–90.
- Taranger, G. L., Haux, C., Stefansson, S. O., Björnsson, B. T., Walther B. T. & Hansen, T. 1998: Abrupt changes in photoperiod affect age at maturity, timing of ovulation and plasma testosterone and oestradiol-17 $\beta$  profiles in Atlantic salmon, *Salmo salar*. – *Aquaculture* 162: 85–98.
- Thorarensen, H., Clarke, W. C. & Farrell, A. P. 1989: Effect of photoperiod and various intensities of night illumination on growth and seawater adaptability of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). – *Aquaculture* 82: 39–49.
- Thorington, L. 1985: Spectral, irradiance, and temporal aspects of natural and artificial light. s. 28–54. Teoksessa: Wurtman, R.J., Baum, M. J. & Potts, J. T. (toim.): The medical and biological effects of light. *Annals of the New York Academy of Sciences* 453. The New York Academy of Sciences, New York.
- Thorpe, J. E. 1999: Evaluation of fish cultivation methods in the northern aquaculture stations of the Finnish Game and Fisheries Research Institute. – *Kala- ja riistaraportteja* 164. s. 44.
- Thorpe, J. E., Adams, C. E., Miles, M. S. & Keay, D. S. 1989: Some influences of photoperiod and temperature on opportunity for growth in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. – *Aquaculture* 82: 119–126.
- Thorpe, J. E., Metcalfe, N. B. & Fraser, N. H. C. 1994: Temperature dependence of switch between nocturnal and diurnal smolt migration in Atlantic salmon. s. 83–86. Teoksessa: Mackinlay, D.D. (toim.): High performance fish. Vancouver fish physiology association.
- Thorpe, J. E., Mangel, M., Metcalfe, N. B. & Huntingford, F. A. 1998: Modelling the proximate basis of salmonid life-history variation with application to Atlantic salmon, *Salmo salar* L. – *Evolutionary Ecology* 12: 581–599.
- Thrush, M. A., Duncan, N. J. & Bromage, N. R. 1994: The use of photoperiod of out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. – *Aquaculture* 121: 29–44.
- Tipping, J. M. 2001: Adult returns of hatchery sea-run cutthroat trout reared in a semi-natural pond for differing periods prior to release. – *N. Am. J. Aquacult.* 63: 131–133.
- Valdimarsson, S. K. & Metcalfe, N. B. 1998: Shelter selection in juvenile Atlantic salmon, or why do salmon seek shelter in winter? – *J. Fish Biol.* 52: 42–49.
- Valdimarsson, S. K., Metcalfe, N. B., Thorpe, J. E. & Huntingford, F. A. 1997: Seasonal changes in sheltering: effect of light and temperature on diel activity in juvenile salmon. – *Anim. Behav.* 54: 1405–1412.
- Valdimarsson, S. K., Metcalfe, N. B. & Skúlason, S. 2000: Experimental demonstration of differences in sheltering behaviour between Icelandic populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Arctic char (*Salvelinus alpinus*). – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 719–724.
- Veldhoen, K., Beaudet, L., Runions, J., Sharma, S. & Hawryshyn, C. 1999: Antibody labeling of the blue-sensitive cones in retinæ of teleost fishes. – *Can. J. Zool.* 77: 1733–1739.

- Virtanen, E., Söderholm-Tana, L., Soivio, A., Forsman, L. & Muona, M. 1991: Effect of physiological condition and smoltification status at smolt release on subsequent catches of adult salmon. - *Aquaculture* 97: 231-257.
- Vogel, J. L. & Beauchamp, D. A. 1999: Effects of light, prey size, and turbidity on reaction distances of lake trout (*Salvelinus namaycush*) to salmonid prey. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1293-1297.
- Vörös, L., Callieri, C., V.-Balogh, K. & Bertoni, R. 1998: Freshwater picocyanobacteria along a trophic gradient and light quality range. - *Hydrobiologia* 369/370: 117-125.
- Wallace, J. C., Kolbeinshavn, A. & Aasjord, D. 1988: Observations on the effect of light intensity on the growth of Arctic charr fingerlings (*Salvelinus alpinus*) and salmon fry (*Salmo salar*). - *Aquaculture* 72: 81-84.
- Wedemeyer, G. A., Saunders, R. L. & Clarke, W. C. 1980: Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. - *Marine Fisheries Review* 42(6): 1-14.
- Welch, H. E. & Kalff, J. 1974: Benthic photosynthesis and respiration in charr lake. - *J. Fish. Res. Board Can.* 31: 609-620.
- Wetzel, R.G. 1983: *Limnology*. Second edition. - Saunders College Publishing, USA, s. 767.
- Zachmann, A., Knijff, S. C. M., Alin, M. A. & Anctil, M. 1992: Effects of photoperiod and different intensities of light exposure on melatonin levels in the blood, pineal organ, and retina of brook trout (*Salvelinus fontinalis* Mitchill). - *Can. J. Zool.* 70: 25-59.
- Zaugg, W. S., Bodle, J. E., Manning, J. E. & Wold, E. 1986: Smolt transformation and seaward migration in 0-age progeny of adult spring chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) matured early with photoperiod control. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 885-888.