

OULUN YLIOPISTO
VESITEKNIIKAN LABORATORIO

UNIVERSITY OF OULU
LABORATORY OF HYDRAYLIC AND WATER
RESOURCES ENGINEERING

SARJA A SERIES
JULKAISU 53 PUBLICATION

**KALOJEN UINTIKÄYTTÄYTYMINEN
JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT
VIRTAAVASSA VEDESSÄ
JA KALATIESSÄ**

**The swimming behaviour of fish and factors
affecting it in flowing water and fishways**

Anne Laine

Oulu, Finland 1993

ISBN 951-42-3690-4
ISSN 0781-934X

OULUN YLIOPISTO
Monistus- ja Kuvakeskus
Oulu 1993

TIIVISTELMÄ

Kalatieht on perinteisesti rakennettu lohia varten. Pohjoismaissa on rakennettu enimmäkseen allastyypisiä kalateiteitä, mutta lohet käyttävät myös kalasulkuja, Denilkalateiteitä ja pystyrakokalateiteitä. Kaikki lohelle sopivat kalatierakenteet ja virtausolosuhteet eivät yhtä hyvin sovellu uintikyvyltään heikommille kaloille. Monissa yhteyksissä onkin tullut esille tarve tutkia kalateiden soveltuvuutta myös lohta heikommille vaelluskaloille sekä sisävesikaloille. Suomessa erityisen kiinnostuksen kohteena on vaellussiika. Kalatien suunnittelu- ja rakentamiskriteereihin vaikuttavat eri kalalajien käyttäytymisen, uintikyky sekä vaelluksen ajoittuminen. Kalojen aisteilla on ensiarvoinen merkitys vaelluksen onnistumiseen luonnollisella vaellusreitillä ja kalatiessä. Kalatietä suunniteltaessa on otettava huomioon kaikki kalan uintikykyyn vaikuttavat tekijät, joista tärkeimpiä ovat kalalajin lisäksi kalakanta, kalan koko ja sukukypsyyssaste, virtausolosuhteet, veden lämpötila ja valaistus. Näitä seikkoja tarkastellaan kirjallisuustietojen avulla.

Oulun yliopistossa aloitettiin kalateiteitä ja kalojen uimista koskeva tutkimus 1980-luvun alussa. Kalojen uintikäyttäytymistä koskevia kenttätutkimuksia tehtiin kalatietiemalleissa (Keminmaan ja Kirakkakönkään pystyrako- ja Borland-kalatiemallit), vaellusesteisiin rakennetuissa kalateissä (Pöyryn ja Kärnänkosken kalatiet) sekä vaelluskalan luontaisella uintireitillä (Tornionjoen Kukkolankoski ja Matkakoski). Virtaaman suuruudella ja veden lämpötilalla todettiin olevan merkitystä kalojen nousuun niin luonnonkoskessa kuin kalatiessä. Kalatiessä on erityisen tärkeää, että virtausnopeus ei ylitä kalan kriittistä nopeutta. Lisäksi on vältettävä kalan joutumista syöksynopeusalueelle. Nopeudet eivät kuitenkaan saa olla liian pieniä, sillä kalan kynnysnopeuksien on ylityttävä kaikkialla kalatiessä. Koskessa uidessaan vaellussiika etenee nopeuksilla 1-7 L/s. Levähdysalueen nopeudet ovat korkeintaan 1-2 L/s, mikä vastaa kalatien parhailla levähdysalueilla mitattuja ja kalan pituuteen suhteutettuja nopeuksia. Tähän raporttiin on koottu kalatietutkimuksen kalojen uintikäyttäytymistä koskevat tulokset. Erityistä huomiota on kiinnitetty suomalaisten kalalajien kalatielle asettamiin erityisvaatimuksiin.

ABSTRACT

Fishways have traditionally been built mainly for salmonids. In Scandinavian countries mostly pool and weir fishways have been constructed. Fish locks, Denil fishways and vertical slot fishways are also used by salmon and trout. Fishway structures and hydraulical conditions that suit salmon are probably not suitable for most of the freshwater fish. In many connections a need has been expressed to examine the suitability of fishways for weaker migratory fish and for freshwater species. In Finland migratory whitefish is of a special interest in this respect. The behaviour and swimming abilities of fish effect on design and construction criteria of fishways. The senses of fish are of primary importance in succesful migration on natural migration routes and in fishways. When designing a fishway all factors, which influence upon the swimming ability of fish, must be taken into consideration. In addition to fish species the most important factors are fish stock, size of fish, its developmental stage, flow conditions, water temperature and lighting conditions. These matters are considered according to literature.

A research dealing with fishways and fish swimming was started at the University of Oulu at the beginning of the 1980's. Field examinations on fish swimming were made in fishway models (vertical slot and Borland fishway models of Keminmaa and Kirakkaköngäs), in fishways built at migratory obstacles (fishways of Kärnäkoski and Pöyry) and on a natural swimming route of migratory fish (Kukkolankoski and Matkakoski rapids in the river Tornionjoki). The flow and temperature of water are of importance for the ascend of fish in natural rapids and in fishways. The fishway velocity must not exceed the critical speed of fish. In addition burst speed velocities must be avoided whenever possible. The velocities should not, however, be too low because the treshold speeds must be exceeded. When swimming in natural routes, the speed of the migratory whitefish is usually 1-7 BL/s (body lengths per second). On resting areas the velocities are usually less than 1 BL/s which corresponds to the velocities measured in fishways at the best resting areas for separate fish species. The results concerning the swimming behaviour of different fish species have been gathered into this report. Special attention has been paid to the demands of Finnish fish species.

ALKUSANAT

Kalateitä ja kalojen uimista koskeva tutkimus aloitettiin Oulun yliopistossa 1980-luvun alussa. Aluksi laboratoriossa tehtiin kalateiden hydraulikkaa koskevia teoreettisia virtaustutkimuksia. Kaloja koskevat tutkimukset käynnistyivät vuosina 1982-83, kun Keminmaahan ja Inarin Kirakkaköngkääseen rakennettiin kalatiemallit. Kesällä 1984 tutkimus laajennettiin kalan luontaiselle nousureitille, Tornionjoen Kukkolankoskeen ja Matkakoskeen, joissa on kesäisin voimakas vaellussiikakanta. Uusina tutkimuskohteina tulivat 1980-luvun lopussa mukaan Siikajoen Pöyryn ja Viitasaaren Kärnänkosken kalatiet. Pöyryn tutkimukseen liittyen aloitettiin pienoismallitutkimukset laboratoriossa. Myöhemmin pienoismallikokeissa on tutkittu pystyrako- ja Denil-kalateiden hydraulikkaa yleisemmin. Näiden tutkimusten tulokset raportoidaan erikseen. Inarin Kirakkaköngkälle rakennetussa kalatiessä aloitettiin pienimuotoinen tutkimus kesällä 1992. Tutkimus ollaan aloitettu myös Kemijoen Isohaaraan vuonna 1993 valmistuneessa kalatiessä.

Kalateitä ja kalojen uimista koskeva tutkimus on muodostunut erillisistä osaprojekteista, joissa on ollut mukana useita tutkijoita ja opinnäytetyöntekijöitä. Tutkimukseen ovat osallistuneet Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio sekä eläintieteen ja biofysiikan laitokset. Rahoituksessa ja käytännön järjestelyissä on ollut mukana lukuisia organisaatioita. Osaprojekteille on perustettu omat johto- tai seurantaryhmänsä, joiden puheenjohtajana on toiminut professori Jussi Hooli Oulun yliopiston vesitekniikan laboratoriosta. Tutkimuksen eri osaluveilta ilmestyneet opinnäytetyöt, raportit ja julkaisut on koottu aihepiireittäin liitteeseen 1.

Suomen Akatemian myöntämän määrärahan turvin oli mahdollista tehdä yhteenveto tähän mennessä tehdyn tutkimuksen kaloja koskevista tuloksista. Tavoitteena oli koota yhteen tutkimuksessa saadut kalojen uintikykyä ja -käyttäytymistä koskevat tiedot sekä täydentää niitä kirjallisuudesta saatavilla tiedoilla niin, että tuloksia voidaan käyttää laajemminkin kalatiesuunnittelun pohjana.

Tätä raporttia ovat käsikirjoitusvaiheessa kommentoineet professori Jussi Hooli, tutkijat Riitta Kamula ja Timo Pohjamo sekä DI Matti Herva, jotka ovat olleet mukana kalatietutkimuksessa. Esitän kiitokseni heille ja kaikille tämän raportin syntyyn vaikuttaneille henkilöille.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ALKUSANAT
SISÄLLYSLUETTELO
KUVALUETTELO

1.	JOHDANTO	6
2.	KALATEITÄ KÄYTTÄVÄT KALAT	7
2.1	Lohi ja taimen	7
2.2	Vaellussiika	8
2.3	Nahkainen	8
2.4	Muut kalat	9
3.	KALOJEN VAELLUKSET JA NIIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	10
3.1	Kalojen aistit	11
3.1.1	Kemialliset aistit	11
3.1.2	Näköaisti	11
3.1.3	Mekaaniset aistit	12
3.2	Ärsykkeiden liike - vasteet	13
3.3	Kalojen uintikyky	15
3.3.1	Kalojen vaelluksillaan käyttämät nopeudet ..	16
3.3.2	Virtausnopeuden ja uintimatkan suhde	17
3.4	Vaellukset	19
3.4.1	Vaellustyypit	19
3.4.2	Ylävirtaan vaellus	19
3.4.3	Alavirtaan vaellus	20
3.4.4	Vaellusesteet	21
4.	KALAT JA KALATIET	21
4.1	Kalateiden soveltuvuus eri kalalajeille	21
4.1.1	Pystyrakokalatiet	22
4.1.2	Allastyypiset kalatiet	24
4.1.3	Denil-kalatiet	24
4.1.4	Kalasalut	26
4.2	Valaistuksen vaikutus ..	27
4.3.	Lämpötilan vaikutus	28
5.	OULUN YLIOPISTON KALATIETUTKIMUS	29
5.1	Keminmaa	30
5.1.1	Keminmaan kalatiemalli	30
5.1.2	Koekalat ja koejärjestelyt	31
5.1.3	Kalatutkimuksen tuloksia	32
5.2	Inarin Kirakkaköngäs	34
5.2.1	Kirakkaköngään kalatiemallit	35
5.1.2	Koekalat ja koejärjestelyt	38
5.2.3	Kalojen uiminen pystyrakokalatiemallissa ...	39

5.3	Siikajoen Pöyrynkoski ..	42
5.3.1	Pöyryn kalatie	44
5.3.2	Kalaseuranta ja sen tulokset	45
5.4	Viitasaaren Kärnänskoski	47
5.4.1	Kärnänskosken kalatie	47
5.4.2	Kalaseuranta ja sen tulokset	49
5.5	Tornionjoen Kukkolan- koski	51
5.5.1	Kukkolankoskella tehty tutkimus	51
5.5.2	Siian uiminen luonnonkoskessa	51
6.	KALOJEN KÄYTTÄYTYMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT KALATIEN ERI OSISSA JA ERILAISISSA KALA- TEISSÄ	53
6.1	Kalatieen lähestymisalue ja sisäänkäynti	53
6.1.1	Kalojen uiminen kalatien lähestymis- alueella	53
6.1.2	Sisäänkäynnin sijainti	55
6.1.3	Kalojen houkuttelemine kalatiehen	55
6.1.4	Sisäänkäynnin virtausolosuhteet	56
6.2	Allastyyppiset ja pystyrakokalatiet	57
6.2.1	Kalatien mitoitus	57
6.2.2	Virtaama ja virtausnopeudet	59
6.2.3	Altaiden virtausolosuhteet	60
6.3	Denil-kalatiet	62
6.4	Kalasalut	63
6.5	Kalatieen uloskäynti	64
6.5.1	Uloskäynnin sijainti	64
6.5.2	Laskeutuvien kalojen ohjaaminen	64
7.	KALATIEN MERKITYS JA KALATIELLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET	66
7.1	Kalatieen vaikutukset vesistöissä	66
7.2	Kalatieen toteutus	67
7.2.1	Lohi ja taimen	68
7.2.2	Vaellussiika	69
7.2.3	Sisävesien vaeltavat kalat	69
7.2.4	Nahkiainen	71
8.	YHTEENVETO	71
	LÄHDELUETTELO	75

KUVALUETTELO

- Kuva 1. Runsasvetisissä joissa elävien kalanpoikasten kriittisiä nopeuksia (s. 14).
- Kuva 2. Uintinopeuden ja uinnin keston välinen riippuvuus 7-14 mm pituisella Volgan särjellä Volgan suistossa (s. 15).
- Kuva 3. Kalojen uintinopeuden ja uinnin keston välinen riippuvuus (s.16).
- Kuva 4. Ankeriasmaista ja piikkimakrillimaista uintitapaa käyttävien vaellus- ja makeanveden kalojen uinnin kesto erilaisilla kalan nopeuksilla (s. 17).
- Kuva 5. Eripituisten ankeriasmaisten kalojen uintimatkat suhteessa virtausnopeuteen (s. 18).
- Kuva 6. Eripituisten piikkimakrillimaisten kalojen uintimatkat suhteessa virtausnopeuteen (s. 18).
- Kuva 7. Kalatien osat (s. 22).
- Kuva 8. Pystyrakokalatiet ja sen virtausmalli (s. 23).
- Kuva 9. Allastyyppinen kalatiet ja sen virtausmalli (s. 24).
- Kuva 10. Denil-kalatiet (s. 25).
- Kuva 11. Fairfordin Denil-kalatie vesisyvyys, virtaama ja nopeusprofiilit alkukesällä 1987 (s. 25).
- Kuva 12. Borland-kalatiet (s. 27).
- Kuva 13. Oulun yliopiston kalatietutkimuksen tutkimuskohdet (s. 29).
- Kuva 14. Keminmaan tutkimusalue ja koekalojen pyyntipaikat (s. 30).
- Kuva 15. Keminmaan kalatiemallin yleiskuva sekä altaiden ja väliseinien rakenne (s. 31).
- Kuva 16. Kirakkajoen vesistöalue (s. 35).
- Kuva 17. Kirakkakönkään kalaporras- ja Borland-kalatiemallit sekä Borland-kalatiemallin pystykuilun yksityiskohtia (s. 36).
- Kuva 18. Kirakkakönkään kalatiemallien pääosat ja niiden sijainti toisiinsa nähden vuoden 1985 tutkimuksen aikana (s. 36).

- Kuva 19. Kirakkakönkään kalatiemallin väliseinätyypit (s. 37).
- Kuva 20. Eri virtaamien vallitessa tehdyt siikahavainnot (kpl/vrk) Kirakkakönkään kalatiemallissa (s. 41).
- Kuva 21. Siikajoki ja Pöyryn vesivoimalaitoksen sijainti (s. 44).
- Kuva 22. Kalatien sijainti Pöyryn padolla (s. 44).
- Kuva 23. Pöyryn kalatien alaosa ja sisäänkäynti (s. 46).
- Kuva 24. Kärnänkosken kalatien luonnonmukainen koskiosuus tulva-aikana (s. 48).
- Kuva 25. Kärnänkosken ylempi kalatieosuus (s. 48).
- Kuva 26. Kärnänkosken kalatien altaan poikkileikkaus ja väliseinän rakenne (s. 49).
- Kuva 27. Siikasaalis ja veden lämpötila Kukkolankoskella vuonna 1991 (s. 52).
- Kuva 28. Siikasaalis ja virtaama Kukkolankoskella vuonna 1991 (s. 52).
- Kuva 29. Kalojen liikkuminen Kirakkakönkään kalatien altaan ja alakanavan välillä (s. 57).
- Kuva 30. Kalojen jakautuminen Kirakkakönkään kalatien altaisiin (1-15) eri virtaamissa (s. 61).
- Kuva 31. Ala-Tuloman kalaportaan altaan no 57 virtauskaavio ennen ja jälkeen muutostöiden (s. 62).
- Kuva 32. Säleikkösuuntaaja (s. 65).

Liite 1. Oulun yliopiston kalateihin ja kalan uintikäytännön täyttymiseen liittyvistä tutkimuksista tehtyjä raportteja, esitelmiä ja julkaisuja

Liite 2. Kalateihin ja kalojen uintiin liittyvää terministöä

1. JOHDANTO

Suomessa rakennettiin kalateitä jo 1900-luvun alkuvuosikymmeninä. Varhaisimpien kalateiden tutkimus ja seuranta oli kuitenkin vähäistä. Useimmat kalateistä rapistuivat hoidon puutteesta, ja vain muutama kalatie oli enää toiminnassa 1980-luvun alussa. Kalatievelvoitteita muutettiin osaksi kalateistä saatujen huonojen kokemusten vuoksi istutusvelvoitteiksi. Välttämättömiä kalateitä jätettiin rakentamatta ja useiden jokien vaelluskalakanat menetettiin.

Kalateitä koskeva tutkimus aloitettiin 1980-luvun alussa, kun luonnonkantojen geneettistä arvoa alettiin ymmärtää ja vaadittiin myös kalan kulun mahdollistamista vaellusreiteille rakennettujen esteiden ohi. Yleisen mielipiteen muutoksella oli yhteyksiä jokien kunnostamisen ja mm. virkistyskalastusmahdollisuuksien parantamisen kanssa. Monissa yhteyksissä tuli esille tarve tutkia kalateiden soveltuvuutta myös muille kuin uintikyvyltään voimakkaalle lohikalaloille, erityisesti siialle ja erilaisille sisävesikalaloille.

Lohi on perinteisesti ollut tärkein kalatiesuunnittelun kohde ja sitä varten on rakennettu runsaasti erilaisia kalateitä. Sellaisenaan ne eivät sovellu kaikille muille, usein uintikyvyltään heikommille kalalajeille. Kalalajin lisäksi kalan uintikykyvylle asettavat rajoja kalan koko, sukukypsyyssaste, erilaiset ympäristötekijät ja jopa se, kuinka pitkälle jokeen kala on noussut ennen vaellusteen tai siihen rakennetun kalatien kohtaamista. Kalatie mahdollistaa kalojen nousun silloin, kun se on oikein sijoitettu ja hyvin suunniteltu. Katopodis on käsikirjoituksessaan (1992) kiteyttänyt kalatien suunnitteluun vaikuttavat tekijät seuraavasti: "Hyvin suunniteltu ja toteutettu kalatie muodostaa reitin, joka sallii kalan jatkaa vaellustaan esteiden ohi viivytyksittä. Kalateiden suunnittelu- ja rakennuskriteereihin vaikuttavat biologiset vaatimukset, kuten kalan käyttäytyminen, sen uintikyky sekä vaelluksen ajoittuminen. Uintikyky ja kalatien hydraulikka voidaan sovittaa järkiperäisesti, mutta kalojen mieltymysten, motivaation ja käyttäytymisen asettamat vaatimukset nojaavat vahvasti kokemukseen ja harkintaan."

Tässä raportissa tarkastellaan 1980-luvun alussa Oulun yliopistossa alkaneesta kalatietutkimuksesta saatujen kokemusten ja kirjallisuustietojen perusteella sitä, minkälaisia vaatimuksia erityisesti suomalaisten kalojen käyttäytyminen virtaavassa vedessä asettaa kalateille. Koska kalan uintikäyttäytymiseen vaikuttavat yhtäaikaaisesti useat eri tekijät, on raportissa lisäksi käsitelty mm. kalojen aisteja, vaelluksia ja uintikykyä sekä näiden huomioon ottamista kalateitä suunniteltaessa. Näiden

asioiden hallitseminen on tärkeää myös siksi, että voidaan ymmärtää paremmin kalan käyttäytymistä ja siihen vaikuttavia tekijöitä virtaavassa vedessä ja kalatiessä. Kalateihin ja kalojen käyttäytymiseen liittyvää termistöä on koottu liitteeseen 2.

2. KALATEITÄ KÄYTTÄVÄT KALAT

Voimakasta ja kutunousuun hyvin motivoitunutta lohta var-teen on useita erilaisia kalatievaihtoehtoja ja onnistuneita rakenteellisia ratkaisuja. Muille kalalajeille ja nuorille kaloille on alettu rakentaa kalateitä vasta viime vuosina, eikä niistä ole kovin paljon kokemuksia (Katopodis 1990). Suomessa kalateiden suunnittelussa on lohen ja taimenen lisäksi otettava huomioon lähinnä siika ja nahkiainen. Harjus ja muut sisävesikalat saattavat myös tarvita kalateitä.

2.1 L o h i j a t a i m e n

Merilohen (*Salmo salar*) ja -taimenen (*S. trutta*) kutu ajoittuu syksyyn, silti aikuiset kalat nousevat merestä jokiin yleensä läpi kesän. Merkitsemällä eri aikaan jokeen nousevia Atlantin lohia radiolähettimin Laughton (1991) on varmistanut, että suurin osa keväällä jokeen lähtevistä lohista nousee yläjuoksulle. Kesällä ja syksyllä nousevat lohet kutevat yleisesti alajuoksun koskissa. Tutkimuksen aikana kävi ilmi, että ylävirtaan vaeltaessaan lohet pysähtyivät usein päiväksi suvantoihin ja jatkoivat vaellustaan iltahämärässä. Syksyllä vastaavaa rytmiä ei havaittu. Sivujokiin kalat lähtivät yleensä virtaaman kasvaessa tai pian tulvahuipun jälkeen.

Lohen ja taimenen mäti hautoutuu talven ajan koskialueilla soran seassa, ja poikaset kuoriutuvat seuraavana keväänä jäiden lähdön aikaan. Mereen suuntautuvalla syön-
nösvaellukselleen kalat lähtevät yleensä keväällä tai alkukesällä aikaisintaan kahden jokivuoden jälkeen. Vaellusta edeltää smolttiutumisen. Sen aikana jokipoikanen käy läpi rakenteellisia, fysiologisia ja käyttäytymiseen liittyviä muutoksia, jotka valmistavat sitä vaellukselle ja merielämään (McKeown 1984).

Smolttien kulkeutuminen alavirtaan käynnistyy, kun veden lämpötila ylittää 10°C (Jutila 1978, Nettles & Gloss 1987), mutta harvakseltaan smoltteja voi vaeltaa alavirtaan läpi vuoden. Yöllä tapahtuvan vaelluksen aikana uintisyvyys on useimmiten 0,5-1,5 metriä pinnasta. Valoisana aikana smolttien on havaittu viettävän aikaansa

syvänteissä, karikoissa tai rannan suojassa (Nettles & Gloss 1987) ja kalatiessä, josta ne jatkavat vaellustaan pimeässä (Philips 1979).

Jokien patoaminen, perkaukset, veden laadun heikentyminen sekä kalastuksen tehostuminen jokisuilla ja etenkin merialueilla ovat osaltaan heikentäneet merilohi- ja -taimenkantoja. Suomessa on jäljellä enää kaksi rakentamatonta Pohjanlahteen laskevaa lohijokea, Tornionjoki ja Simojoki. Niiden poikastuotanto on vähentynyt ja lohikantojen tila on heikko (Kokko 1992). Myös sisävesissä vaeltavan järvilohen ja -taimenen sekä paikallisemmän purotaimenen kannat ovat useilla alueilla taantuneet.

2.2 Vaellussiika

Vaellussiika (*Coregonus lavaretus*) on Suomen merialueen ainoa jokiin kudulle vaeltava siika. Lohen tavoin siika vaeltaa jokeen eri aikoina. Kesällä nousevaa kesäsiikaa tavataan esimerkiksi Tornionjoessa ja syksyllä nousevaa syys-siikaa Oulu- ja Siikajoessa. Siika kutee syksyllä ja poikaset kuoriutuvat seuraavana keväänä. Pian kuoriutumisen jälkeen tai viimeistään saman vuoden syksyllä poikaset kulkeutuvat virran mukana mereen, jossa ne kasvavat keskimäärin kolmesta viiteen vuotta. Sukukypsyyden saavutettuaan vaellussiikat lähtevät kutuvaellukselle. Ne nousevat lähes poikkeuksetta kotijokeensa kutemaan (Petersson 1966, Lind & Kaukoranta 1974).

Kalojen elinympäristössä tapahtuneet muutokset sekä kalastuksen voimistuminen merialueilla ja jokisuilla ovat heikentäneet vaellussiikakantoja. Useiden jokien vaellussiikasaaliit ovat lähes kokonaan istutusten varassa. Istutukset ovat suosineet syysnousuisia kantoja.

2.3 Nahkiainen

Ympyräsuisiin kuuluva nahkiainen (*Lampetra fluviatilis*) alkaa nousta Suomen jokiin loppukesällä. Runsainta nousu on syys-lokakuussa, ja parhaat saaliit saadaan pimeinä, kuuttomina ja sateisina öinä (Sjöberg 1980). Vuotuiset saalisvaihtelut seuraavat joessa vallitsevan virtaaman vaihteluja. Myös mereltä jokisuita vasten puhaltavan tuulen tiedetään lisäävän nahkiaisten määrää joissa (Törmälä 1981, Ojutkangas & Jussila 1988, Poikola 1990). Nahkiaiset liikkuvat pohjan lähellä. Useimpiin luukaloihin verrattuna niiden uintikyky on heikko. Koon ja veden lämpötilan kasvaessa uintikyky kuitenkin paranee (Hardisty 1979). Nahkiainen talvehtii joessa ennen toukokuun vaihteessa tapahtuvaa kutua, jonka jälkeen se kuolee. Kaksi viikkoa kudun jälkeen poikaset kuoriutuvat

ja ajautuvat hiekkasärkille, joista ne vaeltavat edelleen hitaasti virtaavien jokiosuuksien rantatörmäin. Yleensä vasta neljän tai viiden jokivuoden jälkeen toukat aikuistuvat ja vaeltavat mereen. Merivaihe kestää kahdesta kolmeen vuotta.

Nahkiainen on kestänyt vaelluskaloja paremmin ympäristön muutoksia. Rakennetuissa joissa nahkiaiskantoja on onnistuttu ylläpitämään siirtämällä emonahkiaisia patojen yläpuolelle. Nahkiaisten nousun mahdollistamiseksi on rakennettu erityisiä nahkiaiskouruja voimalaitospatojen yhteyteen. Tietoa nahkiaisille sopivista virtausolosuhteista muissa kalateissa on vähän (Ikonen 1990).

Nahkiaisen kykyyn vaeltaa esteiden yläpuolelle vaikuttaa esteen fysikaalisen luonteen, virtausnopeuden ja veden lämpötilan lisäksi aina myös nahkiaisen koko, sukukypsyyssaste ja yleinen fyysinen kunto (Morman ym. 1980). Koska nousumatkan edetessä nahkiaisen kestävyys heikenee, lienee kalatien etäisyydellä jokisuusta merkitystä sille, mitkä virtausnopeudet ovat kalatiessä nousun kannalta kriittisiä.

2.4 Muut kalat

Suomessa kalateilla on merkitystä myös muille kuin varsinaisille vaelluskaloille. Makean veden kaloista harjus (*Thymallus thymallus*), hauki (*Esox lucius*), ahven (*Perca fluviatilis*) ja useat särkikalat tekevät usein pitkiä syönnös-, talvehtimis- tai kutuvaelluksia sisävesissä tai joen ja murtoveden välillä. Nämä kalat kutevat tyypillisesti keväällä, ja esimerkiksi hauki nousee kutupaikoille usein jo huhtikuussa jään alla. Sisävesien erilaiset siiat (*Coregonus* sp.) vaeltavat myös yleisesti kutu- ja syönnösalueiden välillä.

Pohjois-Amerikan kalateitä vaelluksillaan käyttävistä kaloista suurin osa kuuluu Tyynenmeren lohiin, joita Eurooppaa lähinnä esiintyy Siperian joissa. Näitä ovat mm. kyttyrälohi (*Oncorhynchus gorbusha*), koiralohi (*O. keta*), hopealohi (*O. kisutch*), punalohi (*O. nerka*) ja kuningaslohi (*O. tsawytscha*). Tyynenmeren lohille on tyypillistä hyvinvoimakas kutuvietti ja massavaellukset jokien kutupaikoille. Kutu ja sitä edeltävä vaellus on joillekin lohilajeille niin suuri rasitus, että kudun jälkeen emokalat kuolevat.

Tyynenmeren lohien lisäksi Pohjois-Amerikan ja Siperian jokiin nousee erilaisia sillikaloja, mm. pilkkusilli (*Alosa alosa*), amerikankantasilli (*A. sapidissima*) ja harmaasilli (*A. pseudoharengus*). Amerikankantasillin ja harmaasillin poikaset kasvavat joessa tiettyyn kokoon ennen laskuvaelluksen alkamista (Northcote 1978). Kala-

teitä käyttävistä sisävesikaloista tärkeimpiä ovat erilaiset särkikalat kuten imukarpi (*Catostomus* sp.), bassit (*Micropterus* sp.) tai seipikalat (*Leuciscus* sp.), esimerkiksi säyne (*Leuciscus idus*). Myös toutain (*Aspius aspius*) ja vimpa (*Vimba vimba*) kuuluvat kalateitä käyttäviin särkikaloihin.

Pohjanharjus (*Thymallus arcticus*) on harjuksen läheinen sukulainen, jota esiintyy Pohjois-Amerikan ja Siperian joissa. Pohjanharjuksen poikaset lähtevät jo ensimmäisenä syksynään vaeltamaan alavirtaan. Seuraavana keväänä nuoret harjukset jättävät talvehtimisalueensa ja lähtevät pitkille syönnösvaelluksille aikuisten harjusten mukana (Northcote 1978). Niiden vaelluksille kalateillä on usein tärkeä merkitys.

Japanissa lohikaloihin kuuluvalle ajulle (*Plecoglossus altivelis*) on rakennettu runsaasti kalateitä. Aju lähtee nousemaan 6 cm pituisena poikasena takaisin jokeen. Vaelluksensa aikana se kasvaa ollen lopulta 20-30 cm pituinen. Ajun lisäksi japanilaisia kalateitä käyttävät erilaiset ankeriaat, lukuisat särkikalat sekä Tyynenmeren lohiin kuuluvat koiralohi, kirsikkalohi (*O. masu*) ja amagolohi (*O. rhodurus*). Japanilaisia kalateitä on tarkemmin esitellyt Herva (1993a,b).

3. KALOJEN VAELLUKSET JA NIIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Vaelluksia pidetään erityisenä sopeutumana, jonka avulla kalat voivat elinaikanaan hyödyntää eri alueiden resursseja. Vaellusten ansiosta kalojen kasvu, lisääntymiskyky ja säilyvyys paranevat. Merestä jokiin kutemaan vaeltavat kalat eivät yleensä syö makeassa vedessä, joten niiden vaelluksellaan käyttämä energia on peräisin mereltä. Uiminen vastavirtaan kuluttaa runsaasti energiaa, ja kun usein sukurauhasetkin kehittyvät pitkän vaelluksen aikana, voi kalan paino alentua tuntuvasti matkan edetessä (Bernatchez & Dodson 1987).

Useat ärsykkeet valmistavat kalaa vaellusta varten. Ennen vaellukselle lähtöä rasvavarastot kasvavat, ja kaloille kehittyy kyky sietää ympäristössä tapahtuvia muutoksia. Vaelluksen suuntaa ohjaavat erilaiset ympäristöstä tulevat ärsykkeet. Jo ennen vaelluksen päättymistä kalassa alkaa tapahtua muutoksia, jotka valmistavat sitä vaelluksen jälkeiseen elämänvaiheeseen. Kun kala on saavuttanut päämääränsä, saavat vapauttavat ärsykkeet aikaan vaelluksen päättymisen (Smith 1985).

Vaikka lähisukuisilla lajeilla reaktiot saattavat ilmetä samanlaisina, on kalojen reagoiminen ärsykkeisiin aina

lajikohtaista (Bond 1979). Jotta kalan vaellus onnistuisi, on käyttäytymismuutosten tapahduttava tiettyssä järjestyksessä, oikeaan vuoden- ja vuorokaudenaikaan sekä oikeaan suuntaan. Aisteilla on ensiarvoinen merkitys vaelluksen onnistumisessa.

3.1 Kalojen aistit

3.1.1 Kemialliset aistit

Kaloilla tunnetaan viisi kemiallista aistijärjestelmää: hajuaisti, makusilmut, makusolut, vapaat hermopäätteet ja osittain myös kylkiviiva. Kemiallisten aistimien eli kemoreseptoreiden avulla kala pystyy rekisteröimään vedessä kulkeutuvia aineita ja käyttämään niitä hyväkseen mm. vaelluksellaan.

Hajuaistin muodostuu sieraimista ja niiden pohjalla olevista hajusoluista. Hajuaistissa on niin kalalajien kuin saman lajin kehitysvaiheiden ja sukupuolten välisiä eroja. Myös vuodenaikojen välisiä eroja on havaittu (Smith 1985). Joillakin kalalajeilla, esimerkiksi lohella, hajuaisti on äärettömän herkkä. Hajuaistilla on merkitystä mm. lajitovereiden ja vihollisten sekä vaelluskaloilla synnyinjoen tunnistamisessa. Erään teorian mukaan lohi ja taimen hyödyntävät ylävirtaan vaeltaessaan alas vaeltavien nuorten kalojen jättämiä tuoksujälkiä eli feromoneja (Nordeng 1977). Pohjois-Amerikassa sijaitsevassa Bonnevilien kalatielaboratoriossa on havaittu Tyynenmeren lohien tavaton herkkyys ihmisen tuoksulle. Collinsin ja Ellingin (1960) mukaan ne aistivat ihmisen hajun pinnan lähellä uidesaan, sukeltavat pohjaan ja menettävät aktiivisuutensa.

Vaikka kalan makureseptorit eivät ole yhtä herkkiä kuin hajureseptorit, voi kala myös maistaa vedessä kulkeutuvia aineita (Smith 1985). Kalojen makusilmut keskittyvät suuhun, huuliin, viiksisäikeisiin ja kiduskaariin. Luukaloilla makusilmuja voi olla myös ruumiin pinnassa.

3.1.2 Näköaisti

Näkökyky vaihtelee suuresti eri kalalajeilla ja saman lajin eri kehitysvaiheilla. Koska kalan silmät sijaitsevat pään kummallakin sivulla, on näkökenttä laaja. Suoraan edessä näkökentät yhtyvät, joten kala pystyy arvioimaan esimerkiksi saaliskohteen etäisyyden hyvinkin tarkasti (Smith 1985). Etäisyyden arvioimisessa auttaa myös se, että kalan silmän sarveiskalvolla on suunnilleen sama taittokerroin kuin vedellä.

Valaistuksen muutokseen kalan silmä reagoi retinomotorisen reaktion avulla, jossa valoarkoja sauvoja suojaavat pigmentit vaeltavat päiväksi verkkokalvon keskusta ja yöksi syrjään. Lisäksi näkösolujen etäisyys verkkokalvosta muuttuu suhteessa valaistukseen. Koska reaktio on hidas, valaistusmuutokseen sopeutuminen vie aikaa (Smith 1985). Retinomotorista reaktiota näyttää kontrolloivan sisäinen vuorokausirytm, mikä heikentää kalan kykyä reagoida valoon tai pimeyteen tiettyinä vuorokaudenaikoina (Smith 1985). Retinomotorinen reaktio liittyy esimerkiksi kalanpoikasten vaelluksiin. Alavirtaan poikaset lähtevät lähes poikkeuksetta hämärässä. Syyksi on epäilty sitä, että valon vähentyessä poikaset menettävät näköyhteyden pohjaan huomattavasti nopeammin kuin niiden verkkokalvo ehtii reagoida. Näin poikaset joutuvat virran vietäväksi.

Valoisuudella on tärkeä merkitys nimenomaan pinta- ja välivesikalaille, koska niiden orientoituminen vastavirtaan tapahtuu pääasiassa näköaistin varassa. Yksin valoisuus ei riitä, vaan kalan uintireitillä on lisäksi oltava näkyviä kiintopisteitä, jotka toimivat kalalle visuaalisina ärsykkeinä (Pavlov ym. 1972, Pavlov 1978, Pavlov & Pahorukov 1983). Niiden avulla kala kykenee määrittämään oman asemansa ja etenemisnopeutensa virrassa. Lohella ja taimenella on erityisen hyvä näkö. Pohjakaloilla tuntoaisti on näköä tärkeämpi, eikä valoisuudella ole niille samaa merkitystä kuin pinta- ja välivesikalaille (Pavlov & Pahorukov 1983). Visuaalisia ärsykeitä pohjakaloilla korvaa kosketus pohjaan.

3.1.3 Mekaaniset aistit

Kaloilla mekaanisiin aisteihin luetaan kuulo- ja tasapainoaistin lisäksi kosketus-, paine- ja kylkiviiva-aisti. Ihossa olevien vapaiden hermopäätteiden avulla kala kykenee aistimaan kosketusta ja veden lämpötilaa. Hermopäätteet tuottavat tietoa myös kalan asennosta ja liikkeistä, ja mahdollisesti veden virtailusta ruumiin ympärillä. Pohjakaloille tärkeä kosketus pohjaan välittyy vapaiden hermopäätteiden kautta.

Kalan kylkiviivaelin koostuu kanavasta, jonka pohjalla on aistinkarvasoluja. Kylkiviivan avulla kala pystyy havaitsemaan sitä ympäröiviä pieniä virtauksia ja orientoitumaan virtaa vastaan. Aistimen reseptorit aistivat lisäksi ympäristön paine-eroja ja ääniaaltoja. Niiden avulla kala kykenee välttämään esteitä sekä paikallistamaan parven jäseniä ja liikkumattomia vihollisia sameassa vedessä tai pimeässä.

Kuulo- ja tasapainoaistin muodostuu kalan sisäkorvan kolmesta kaarikäytävästä ja niissä olevista kuuloluista eli otoliiteista. Kuuloluista kaksi osallistuneeseen kuulemiseen

ja kolmas yhdessä kaarikäytävien kanssa tasapainon ja liikkeen aistimiseen. Parhaiten kalat kuulevat matalia ääniä. Ne pystyvät erottamaan äänen sävyn ja voimakkuuden sekä jossain määrin kaukaisten äänien suunnan (Smith 1985). Äänen lähettä kalat eivät kykene paikallistamaan yhtä hyvin kuin maaselkärankaiset. Kalojen reagoiminen pysyviin ääniin sammuu tavallisesti nopeasti (Mantejfel ym. 1978).

Koska luonnonoloissa vesivirrassa on paljon kuulon avulla aistittavia kiintopisteitä, mm. kohina, joka syntyy veden virratessa isojen kivien tai muiden liikkumattomien kohteiden ympäri, on kalojen oletettu orientoituvan myös kuuloaistin avulla (Pavlov 1978). Behlke ym. (1988) ovat todenneet, että veden aikaansaama ääni voi houkuttaa kaloja uimaan reiteille, joita muuten olisi vaikea havaita esimerkiksi pääuomaa pienemmän virtaaman vuoksi. Tätä voidaan hyödyntää kalateissä järjestämällä sisäänkäyntiin kaloja houkuttelevia ääniä.

3.2 Ä r s y k k e i d e n l i i k e v a s t e e t

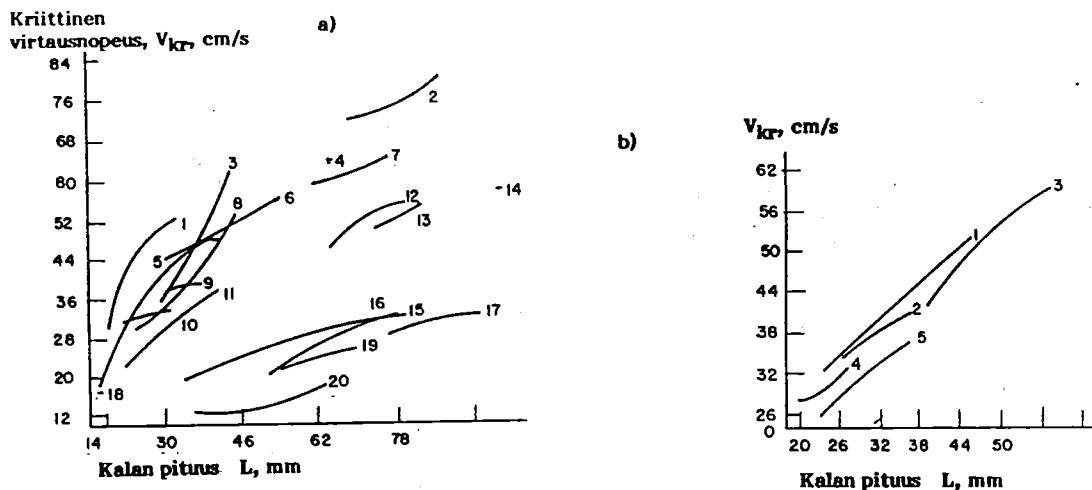
Aistiensa avulla kalat reagoivat erilaisiin ympäristöstä tuleviin ärsykkeisiin ja suuntautuvat niiden mukaan. Yksinkertaisin mekanismi on kineesi, jossa reagointi tiettyyn ärsykkeeseen on täysin umpimähkäistä. Esimerkkinä kineesistä on esitetty valopakaisen nahkiaistoukan satunnainen pyristely pois kirkkaasta valosta (Bond 1979). Selkärangattomilla kineesi on yleisempää kuin selkärankaisilla.

Pakollinen eli ehdoton reaktio joko ärsykkeen suuntaan tai siitä poispäin on nimeltään taksis. Taksikset voidaan luokitella kulloinkin vaikuttavan ärsykkeen mukaan. Kalojen orientoituminen valoon eli fototaksis sisältää joko valohakuisuuden (positiivinen fototaksis) tai valopakaisuuden (negatiivinen fototaksis) kalalajista tai kalan elämänvaiheesta riippuen. Virtaavan veden kaloilla toimii positiivinen reotaksis eli suuntautuminen virtaan. Sen avulla kalat kykenevät pysyttelemään omalla reviiirillään uimalla tietyllä nopeudella virtaa vastaan.

Virtahakuisuuteen liittyy kiinteästi optomotorinen reaktio, jossa kala määrittää asemansa virtaavassa vedessä visuaalisesti eli näön avulla. Kiintopisteinä useat kalat käyttävät uoman pohjalla tai reunoilla olevia kiinteitä kohteita, kuten isoja kiviä tai puunkappaleita. Jotkut kalat käyttävät apuna lisäksi kosketusta pohjaan tai muihin kiinteisiin kohteisiin. Optomotorista reaktiota on sovellettu uintikokeissa, joissa kalat on saatu uimaan halutulla nopeudella nähtäviä ärsykejä liikuttamalla.

Pavlov ja Pahorukov (1983) ovat esittäneet ns. kynnyks- ja kriittisten nopeuksien avulla ne virtausnopeuden vyöhykkeet, joissa kalat pystyvät suuntautumaan tai etenemään virrassa. Kynnyksnopeus on pienin virran nopeus, jossa kala suuntautuu ja pysyttelee virrassa tai lähtee uimaan ylävirtaan. Kriittinen nopeus on pienin virran nopeus, jossa kala välittömästi jättäytyy virran kuljetettavaksi. Positiivinen reotaksis eli reoreaktio ilmenee kynnyks- ja kriittisen nopeuden välissä.

Pohjakaloilla virtahakuisuusvyöhyke on kapea, koska niiden kynnyksnopeudet ovat suuret ja kriittiset nopeudet selvästi pienemmät kuin pinta- ja välivesikaloilla (Pavlov 1980, Pavlov & Pahorukov 1983). Yksilönkehityksen aikana kynnyks- ja kriittiset nopeudet vähitellen suurenevät (kuva 1), kun poikaset saavat optomotorisen ohella taktiilisia eli kosketukseen perustuvia mekanismeja. Kriittisiin nopeuksiin vaikuttavat valoisuus, veden lämpötila, kalojen fyysinen tila, sukukypsyysaste ja parven koko (Pavlov 1978, 1980).

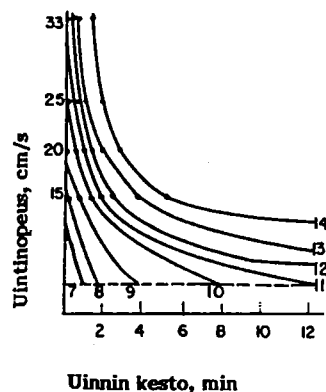


Kuva 1. Runsasvetisissä joissa elävien kalanpoikasten kriittisiä nopeuksia (Pavlov & Pahorukov 1983). a) Volgan suisto ja Donin alajuoksu: 1,2=salakka, 3=ahven, 8=sulkava, 9=lahna, 12=hauki, 14=made, b) Volgan latvat: 1=mutu, 2=salakka, 3=ahven, 4=lahna, 5=särki.

Kriittisen nopeuden ylittyminen vaellusreitillä tai kalatiessä estää kalojen nousun. Kriittisen nopeuden ylittyminen esimerkiksi voimalan tuloputkien suulla olevissa välppärakenteissa aiheuttaa sen, että laskeutumassa olevat kalat puristuvat kuoliaaksi rakenteita vasten, koska ne eivät pysty uimaan alueelta pois (Pavlov & Pahorukov 1983).

3.3 Kalojen uintikyky

Kynnys- ja kriittisten nopeuksien lisäksi kalateiden suunnittelussa on otettava huomioon kalan uintikyky. Uintikyvyllä tarkoitetaan uinnin kestoa tietyssä nopeudessa. Mitä suurempi uintinopeus on, sitä lyhyemmän ajan kala jaksaa tätä nopeutta ylläpitää. Uinnin kesto tietyssä nopeudessa riippuu kalalajista ja se kasvaa kalan kasvaessa (kuva 2).



Kuva 2. Uintinopeuden ja uinnin keston välinen riippuvuus 7-14 mm pituisella Volgan särjellä Volgan suistossa (Pavlov & Pahorukov 1983).

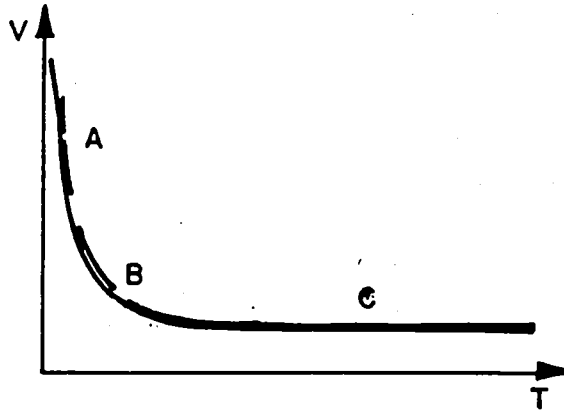
Uintikykyyn vaikuttaa samanaikaisesti useita tekijöitä, jotka kaikki on otettava huomioon kalateitä suunniteltaessa. Näitä ovat kalalajin ja kalan koon lisäksi kalakanta, kalan joessa viettämä aika, sukukypsyys sekä erilaiset hydrauliset tekijät, veden lämpötila ja valaistus (Orsborn 1986). Jokeen nousseen kalan uintikyky on yläjuoksulla heikempi kuin jokisuun tuntumassa. Erot korostuvat syksyllä veden kylmentyessä ja toisaalta syyskuu-kuisten kalojen kutuajan lähestyessä. Tämän vuoksi ylävirralla olevan kalatien virtausnopeuksien tulisi olla pienemmät kuin alajuoksulla sijaitsevassa kalatiessä.

Aikuisten kalojen uintinopeuksia on määritetty tekemällä vaellusaikaisia havaintoja. Luonnossa nopeuksien mittaaminen on hankalaa, ja usein tuloksena on ollut tietyn uintimatkan keskimääräisiä nopeuksia. Laboratorioissa uintikykyä on tutkittu erilaisilla menetelmillä, joiden tulokset ovat harvoin olleet keskenään suoraan vertailukelpoisia. Tulosten tulkintaa on vaikeuttanut se, että uintikokeissa on käytetty yleensä vain joitakin kalan kokoluokkia. Lisäksi laboratorioon kuljetus ja kalojen käsittely heikentävät tulosten luotettavuutta (Wardle 1977).

3.3.1 Kalojen vaelluksillaan käyttämät nopeudet

Pitkillä vaelluksilla kalat käyttävät matkanopeuksia, joilla tarvitaan vain vähän energiaa kuljettua matkaa kohti (Weihs 1977). Pitkäkestoinen nopeus on kyseessä silloin, kun kala jaksaa ylläpitää nopeutta 20 sekunnista enintään puoleen tuntiin (Katopodis 1992). Pitkäkestoisia nopeuksia kalat käyttävät mm. koskessa ja voimakkaasti virtaavassa vedessä. Saalistaessaan, paetessaan tai lähes ylivoimaisia esteitä ylittäessään kalat käyttävät syöksynopeuksia, joiden kesto on enintään 20 sekuntia.

Syöksynopeudet, pitkäkestoiset nopeudet ja matkanopeudet muodostavat yhtenäisen kalojen uintikyvyn kuvaajan (kuva 3). Kalan ruumiinpituuksiin suhteutettuna syöksynopeudet ovat yleensä 20-30 L/s (nopeus vastaa 20-30 kalan pituutta sekunnissa), pitkäkestoiset nopeudet enintään 10 L/s ja matkanopeudet 1-4 L/s.



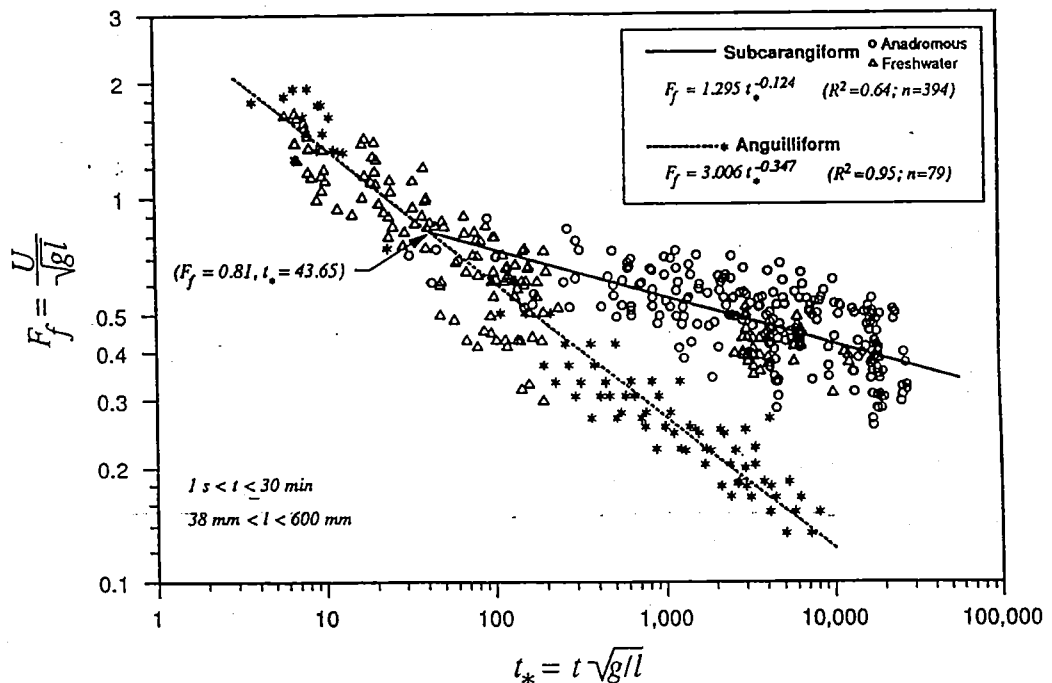
Kuva 3. Kalojen uintinopeuden (v) ja uinnin keston (T) välinen riippuvuus (Pavlov & Pahorukov 1983). A vastaa syöksynopeutta, B pitkäkestoista nopeutta ja C matkanopeutta.

Uimiseen tarvitsemansa energian kala saa joko punaisesta tai valkeasta lihaskudoksesta. Punainen eli aerobinen lihas supistuu normaalissa matkauinnissa, kun happea on saatavilla lihassoluihin. Kun kala joutuu ponnistelemaan, hapensaanti vähenee ja aerobisen lihaksen toiminta rajoittuu. Valkoinen eli anaerobinen lihas voi supistua nopeasti ja voimakkaasti ilman happea. Sitä käytetään lyhytaikaiseen syöksymiseen. Kun lihassoluihin varastoitunut glykogeeni on muuttunut maitohapoksi, kala uupuu. Glykogeenivaraston uudelleenrakentaminen vaatii happea, ja voi kestää jopa vuorokauden. Energiavarat tyhjentäneen syöksyn jälkeen kalan on levättävä (Farlinger & Beamish 1977, Wardle 1977, McKeown 1984). On selvää, että ainakaan pitkissä kalateissa ei saa esiintyä sellaisia virtausnopeuksia, joitka kala voi ylittää vain syöksymällä.

3.3.2 Virtausnopeuden ja uintimatkan suhde

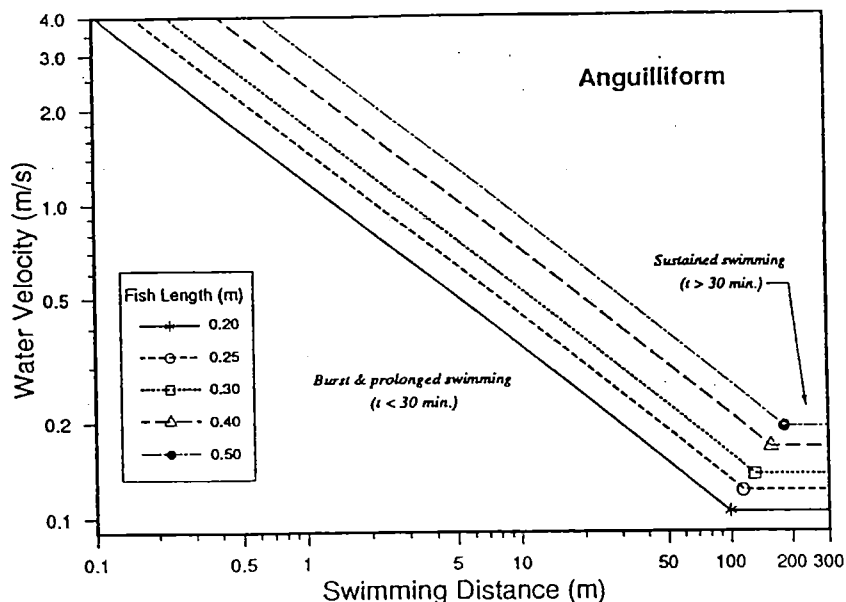
Kalat voidaan jaotella tyyppeihin niiden tekemien uintiliikkeiden mukaan. Ankeriasmaista uintitapaa käyttävillä kaloilla ruumis on pitkä ja kapea ja pyrstöevä on pieni. Uintiliikkeeseen ottaa osaa suurin osa kalan ruumiista tai koko ruumis. Sivusuuntaiset heilahtelut ovat koko pituudella laajoja. Makrillimaiselle uintitavalle ovat luonteenomaisia pienet sivusuuntaiset heilahduslaajuudet kalan etupäässä ja suuremmat kalan takimmaisessa puoliskossa tai viimeisessä kolmanneksessa. Kalojen ruumis on sukkulamainen ja pyrstö erottuu selvästi ruumiista.

Katopodis (1992) on kerännyt yli 500 artikkelista kalojen uintikykyaineistoa. Kalalajin ja testimenetelmän lisäksi tiedosto käsitti veden lämpötilan, testattujen kalojen määrän, kalan elämänvaiheen, pituuden, uintinopeuden ja uinnin kestoajan. Aineistossa oli uintitavaltaan sekä ankeriasmaisen (merinahkiainen, *Petromyzon marinus*, made, *Lota lota*) että makrillimaisen uintitavan kaloja (mm. Tyynenmeren lohet ja Atlantin lohi, taimen, seipikalat, pohjanharjus, kultakala (*Carassius auratus*), ja erilaiset siiat). Syöksynopeusalueella sama kuvaaja kuvaa molempia uintitapoja (kuva 4). Pitkäaikaisen uinnin alueella makrillimaista uintitapaa käyttävät kalat ovat kestävämpiä.

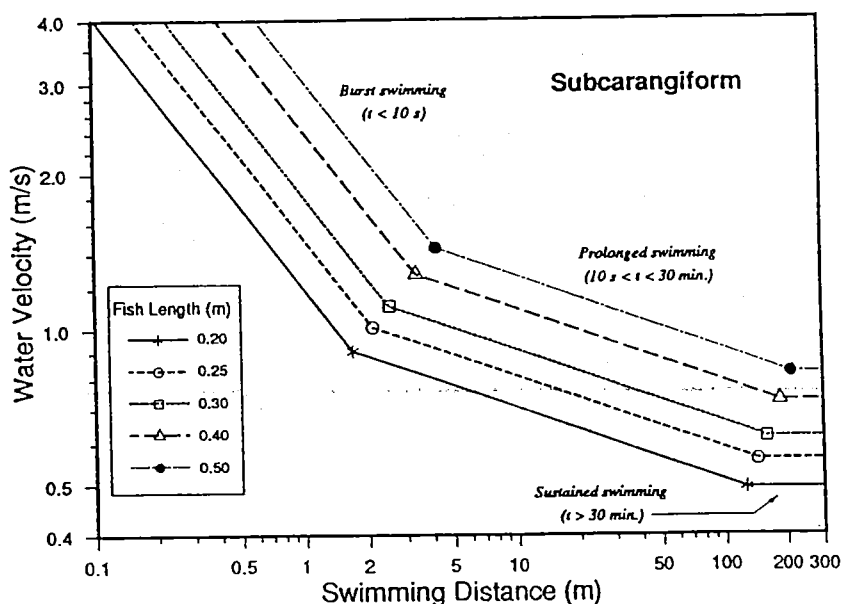


Kuva 4. Ankeriasmaista (anguilliform) ja makrillimaista (subcarangiform) uintitapaa käyttävien vaellus- ja sisävesikaloiden uinnin kesto (pystyakselilla) erilaisissa kalan nopeuksissa (vaaka-akselilla, Katopodis 1992).

Virtausnopeuden ollessa 1,0 m/s 50 cm pituinen ankeriasmainen kala etenee keskimäärin kahdeksan metriä, kun 30 cm pituinen lajitoveri väsyä keskimäärin kolmen metrin jälkeen (kuva 5). Samassa nopeudessa makrillimaista uintitapaa käyttävä 50 cm pituinen kala ui keskimäärin 50 metriä ja 30 cm pituinen kala viisi metriä (kuva 6).



Kuva 5. Eripituisten ankeriasmaisten kalojen uintimatkat (m) suhteessa virtausnopeuteen (m/s, Katopodis 1992).



Kuva 6. Eripituisten makrillimaisten kalojen uintimatkat (m) suhteessa virtausnopeuteen (m/s, Katopodis 1992).

3.4 Vaellukset

3.4.1 Vaellustyyppit

Kalojen vaellukset luokitellaan usein pelkästään syönnös- ja kutuvaelluksiksi, mutta vaelluksia kalakannoissa voi saada aikaan myös liian suureksi kasvanut populaatio-tiheys, heikentynyt ravinnon saatavuus tai pedoilta suo- jautuminen. Bond (1979) on esittänyt seuraavan Myersin kehittämän luokittelun kaloista niiden vaellustapoihin perustuen:

Diadromiset kalat vaeltavat meren ja makean veden välil- lä. Ne voidaan jakaa edelleen anadromeiksi, katadromeiksi tai amfidromeiksi. Anadromit viettävät suurimman osan aikuiselämästään meressä ja vaeltavat makeaan veteen kutemaan. Aikuinen kala ei yleensä syö makeassa vedessä. Mm. merilohi ja -taimen, vaellussiika ja nahkiainen ovat anadromeja. Katadromit vaeltavat makeasta vedestä mereen kutemaan. Suomalaisista kaloista katadromeihin kuuluu pelkästään ankerias (*Anguilla anguilla*). Amfidromisilla kaloilla vaellus makeasta vedestä mereen tai päinvastoin ei liity lisääntymiseen. Se on kuitenkin säännöllinen, ja tapahtuu jossain muussa elämänkierron vaiheessa.

Potamodromiset kalat vaeltavat makeassa vedessä ylä- tai alavirralla sijaitsevien kutualueiden ja syönnösalueiden välillä. Tällaisia vaelluksia tavataan mm. pikkunahki- aisella (*Lampetra planeri*), järvilohella, taimenella, sii- oilla, harjuksella, kuoreella (*Osmerus eperlanus*), hael- la ja ahvenella. Jotkut kalat pystyvät vaeltamaan makean veden ja murtoveden välillä toisten pysytellessä koko elämänsä makeassa vedessä. Oseanodromiset kalat vaeltavat meressä, jossa ne kulkevat tietyillä reiteillä esimer- kiksi vuodenaikojen mukaan. Oseanodromisia kaloja ovat mm. turska (*Gadus morhua*), punakampela (*Pleuronectes platessa*), tonnikala (*Thunnus thunnus*) ja silli (*Clupea harengus*).

3.4.2 Ylävirtaan vaellus

Ylävirtaan vaeltaessaan useimmat kalat eivät ui suoraan päämääräänsä, vaan ne tekevät pitkiäkin sivusuuntaisia liikkeitä. Tämä on McKeownin (1984) mukaan merkki siitä, että kala etsii tiettyjä ärsykyksiä. Ylävirtaan vaelta- minen on aina aktiivista, koska kala joutuu ponnistele- maan virtaa vastaan. Ajoittain kala voi lakata kulkemasta ja ajautuu pieniä matkoja virran mukana. Tällöin puhutaan aktiivisen ja passiivisen nousun yhdistelmästä. Joki- vaellukselle lähteneellä lohella havaittu viivyttely ja ajoittainen alavirtaan palaaminen johtuu osaltaan fysio- logisesta stressistä, minkä on aiheuttanut nousu suolai- sesta makeaan veteen. Osasyynä saattavat olla kalan orientaatiovaikeudet (Bernatchez & Dodson 1987).

Näön avulla orientoituvat kalat, kuten lohi, taimen ja ahven, uivat pinnan tuntumassa, välivedessä tai matalassa vedessä. Ne vaeltavat useimmiten päivällä tai hämärässä vaellusnopeuden ollessa 3-4,5 L/s (Pavlov 1978). Pohjakalat kuten made ja nahkiainen, jotka orientoituvat enimmäkseen kosketuksen avulla, uivat vastavirtaan poikkeuksetta lähellä pohjaa. Ne etenevät kirkkaissa vesissä yleensä yöllä ja sameissa vesissä ympäri vuorokauden vaellusnopeuden ollessa 0,5-1 L/s.

Suurilla nopeuksilla uivat kalat suosivat joen pääväylää. Uintikyvyltään heikommät kalat vaeltavat tavallisesti rannan lähellä, missä virtausnopeudet ovat pieniä (Mantjefel ym. 1978). Uomassa kalat valitsevat aktiivisesti niille sopivat virran nopeusvyöhykkeet. Koskessa uidesaan kalat hakevat pienten virtausnopeuksien vyöhykkeitä ja uivat aktiivisesti levähdyspaikasta toiseen (Pavlov 1980, Pavlov & Pahorukov 1983). Jos joen pääväylän virtausnopeudet ylittävät kalojen uintikyvyn, ne siirtyvät lähemmäksi rantaa (Pavlov 1980). Suuret virtausnopeudet johtavat uupumiseen, josta kalan on toivuttava ennen kuin se kykenee jatkamaan matkaansa. Jokivaelluksen aikana kalat saattavat viettää pitkiä jaksoja paikoillaan (Bernatchez & Dodson 1987).

Kaloille on eduksi välttää vaelluksia matalissa lämpötiloissa, koska energiankulutus kylmässä vedessä on suuri. Ne pyrkivät nousemaan jo lämpimän veden aikana kutupaikoille, joissa ne voivat rauhassa odotella veden kylmenemistä kudun laukaisevaan lämpötilaan (Bernatchez & Dodson 1985, 1987).

3.4.3 Alavirtaan vaellus

Suurin osa kaloista pohjakaloja lukuunottamatta vaeltaa alavirtaan pinnan tuntumassa. Nuorten kalojen alavirtaan laskeutuminen alkaa hämärässä tai yöllä. Sameavetisessä joessa kalat voivat laskeutua päivälläkin, eikä vuorokausirytmikka ole yhtä selvä kuin kirkasvetisissä joissa.

Myötävirtaan vaeltaessaan kalat pyrkivät aktiivisesti pysyttelemään sellaisissa virran nopeusvyöhykkeissä, joissa reotaksiksen ilmenemismahdollisuudet ovat rajoittuneet tai puuttuvat kokonaan (Pavlov 1980, Pavlov & Pahorukov 1983). Tämä tarkoittaa sitä, että kalat hakeutuvat alueille, joiden nopeudet ylittävät kalan kriittisen nopeuden. Kalanpoikasten ajelehtiessä virran mukana puhutaan passiivisesta vaeltamisesta.

Myötävirtaan vaeltava kala voi ajoittain seurata muita kaloja tai paeta saalistajia. Tällöin passiivinen vaellus muuttuu aktiiviseksi. Sekä passiivinen että aktiivinen vaellus voivat esiintyä yhtäaikaan. Tällöin kala ajelehtii

virran mukana pää ylävirtaan suuntautuneena ja virtaa heikosti vastustaen. Kalateissäkin kalat laskeutuvat usein pyrstö edellä. On mahdollista, että näin on helpompi hallita uintia epätasaisissa virtauksissa ja ahtaissa väylissä.

3.4.4 Vaellusesteet

Vaellusesteet voivat olla luonnollisia tai keinotekoisia. Ne voidaan lisäksi jakaa fysikaalisiin, kemiallisiin tai termaalisiin esteisiin. Täydelliset vaellusesteet estävät jatkuvasti kaikkien, osittaiset esteet estävät jatkuvasti joidenkin ja ajoittaiset esteet tiettyinä aikoina kaikkien kalojen kulun (Orsborn 1986). Olipa este minkäläinen tahansa, se joko estää tai hidastaa kalan kulkua.

Koska kalan kutuaika määräytyy suurelta osin geneettisesti, voi vaellusesteiden aiheuttama viivästyminen ja kasvanut energiankulutus lisätä kuolleisuutta vaelluksen aikana ja kutualueilla (Orsborn 1986). Uhka on suurin sellaisilla kaloilla, joiden vaellusmatka on pitkä ja jotka nousevat lähellä kutuaikaa.

Kalojen kulkeminen esteiden yli tai ohi on pyritty turvaamaan kaloja siirtämällä tai kalateitä rakentamalla. Kalatierakentamisessa on ollut havaittavissa keskittymisen pelkästään nousun turvaamiseen. Joissakin tapauksissa kalojen laskeutuminen onnistuu tulvaväylän tai vesivoimalaitoksen turpiinien kautta, mutta usein turpiinien kautta laskeutuminen saa aikaan suuria tappioita. Tällaisissa kohteissa kalateiden tulisi turvata sekä kalojen nousu- että laskuvaellus.

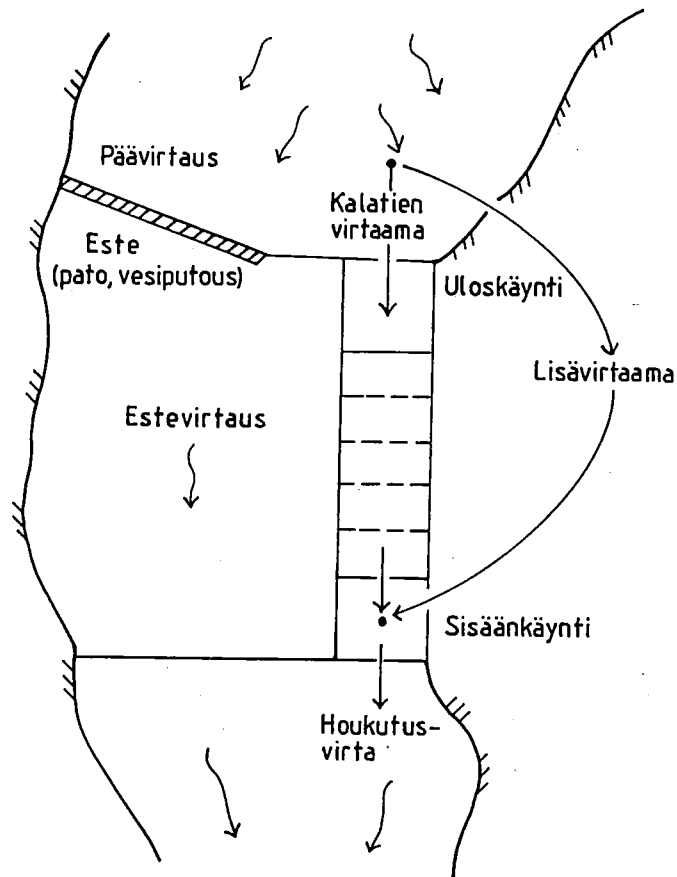
4. KALAT JA KALATIET

4.1 Kalateiden soveltuvuus eri kalalajeille

Kalatie on kirjallisuudessa määritelty usealla tavalla ja usein eri näkökohtia painottaen. Yhteistä määritelmille on se, että kalatie on keinotekoinen väylä, hydraulinen järjestely tai menetelmä, joka mahdollistaa vaeltavan kalan pääsyn esteen ohi. Hyvässä kalatiessä kala pääsee nousemaan viivytyksettä ja ilman tarpeetonta stressiä. Kalatiessä voidaan erottaa lähestymisalue, sisäänkäynti, kalatien sisäosat, uloskäynti ja kalojen poistumisalue (Kuva 7). Jaottelu perustuu kalojen käyttäytymiseen.

Kalatiет jaotellaan usein allastyyppeihin kalateihin, pystyrakokalateihin, Denil-kalateihin ja erilaisiin sulku- ja hissijärjestelmiin. Perustyypeistä on erilaisia

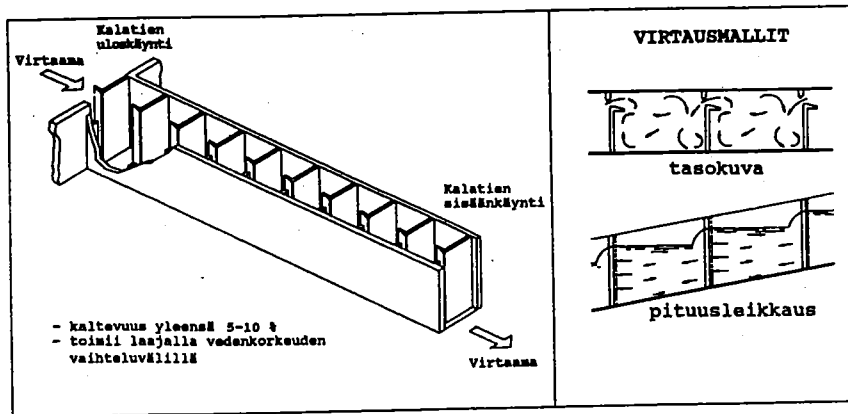
muunnoksia. Lisäksi käytössä on teiden alla oleviin tierumpuihin tai penkereisiin tehtyjä nk. rumpukalateita, pienempiä putkikalateita sekä luonnonmukaisia kalateita, jotka rakennetaan luonnon materiaaleista louhimalla, kiveämällä ja muotoilemalla. Kalatieksi voidaan lukea myös kalan siirtäminen keräilyjärjestelmästä esteen yläpuolelle (Herva 1981).



Kuva 7. Kalatien osat (Orsbornin 1986 mukaan).

4.1.1 Pystyrakokalatiet

Pystyrakokalatie muodostuu virtauskourusta, jossa on säännöllisin välimatkoin väliseiniä. Se voi muodostua myös peräkkäisistä altaista, joiden pohja on vaakasuora. Allaskalateista poiketen pystyrakokalatien nousuaukot ovat avoimia pohjan läheltä pintaan asti (kuva 8). Kalatien suositeltava kaltevuus on kirjallisuustietojen mukaan enintään 1:10 sekä peräkkäisten altaiden vesipintojen ero aikuisille lohille 0,3-0,4 m ja aikuisille makeanveden kaloille 0,15-0,25 m. Japanissa ja Kiinassa altaiden väliset putouserot voivat olla jopa 0,05 m.



Kuva 8. Pystyrakokalatie ja sen virtausmalli (Kamula & Pohjamo 1992).

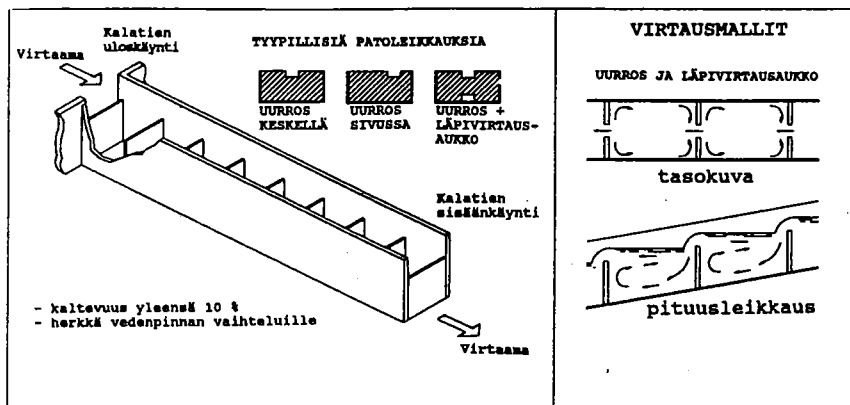
Pystyrakokalatiessä veden liike-energia vaimenee altaissa raon muotoisena virtauksena, jota voidaan kääntää ja suunnata virranohjaimilla. Virtausnopeudet pystyraossa ovat lähes samat pohjasta pintaan, kun pohjakynnyksiä ei ole. Rajaratnam ym. (1986) ja Katopodis (1992) ovat tutkineet pystyrakokalateiden hydrauliikkaa ja esittäneet tuloksia eri tavalla sijoitettujen virtauksen ohjainten vaikutuksista allasvirtauksiin. Hydrauliikkaa on viime vuosina tutkittu myös Oulun yliopiston vesitekniikan laboratoriossa.

Pystyrakokalatiet toimivat hyvin erilaisilla veden korkeuksilla, ja kalat pystyvät sekä oleskelemaan altaissa että nousemaan pystyraosta haluamallaan korkeudella. Nousu altaasta toiseen vaatii ainakin pienimmiltä kaloilta lyhytkestoisen syöksyn, mutta useimmat kalat kykenevät nousemaan kalatien läpi pitkäkestoisilla nopeuksilla.

Pystyrakokalatie soveltuu sekä voimakkailla vaelluskaloille että heikommille makean veden kaloille. Inarin Kirakkakönkään pystyrakokalatiemallissa nousi isoja emontaimenia sekä tuhansia muikkuja (*Coregonus albula*) ja pieniä siikoja. Jopa mudut (*Phoxinus phoxinus*) pystyivät uimaan kalatiessä. Siikajoella Pöyryn pystyrakokalatiessä ahven ja lahna (*Abramis brama*) alkoivat liikkua vasta sen jälkeen, kun aukkojen virtausnopeudet saatiin niille sopiviksi (Kamula ym. 1992). Nahkiaisen noususta pystyrakokalateissa ei ole juurikaan kirjallisuustietoa. Sen ei yleensä toivota pääsevän nousuesteen ohi. Pohjois-Amerikan suurilla järvilla merinahkiaisen (*Petromyzon marinus*) pääsy merestä järviin on pyritty estämään rakentamalla sille ylivoimaisia kalateitä ja muita esteitä.

4.1.2 Allastyypiset kalatiet

Allastyypisiin kalateihin luetaan yli- ja läpivirtauskalatiet (kuva 9). Ylivirtauskalateissa vesi virtaa altaasta toiseen väliseinän yläreunassa olevan loven tai uurroksen kautta. Läpivirtauskalateissa väliseinien aukot sijaitsevat pohjan lähellä. Käytössä on myös näiden kahden kalatietyypin yhdistelmiä, joissa kalat voivat joko uida tai hypätä altaasta toiseen vesisyvyydestä ja kalalajista riippuen. Ruotsalaisessa Stornorrforssin kalateissa lohet käyttävät läpivirtausaukkoja.



Kuva 9. Allastyypinen kalatie ja sen virtausmalli (Kamula & Pohjamo 1992).

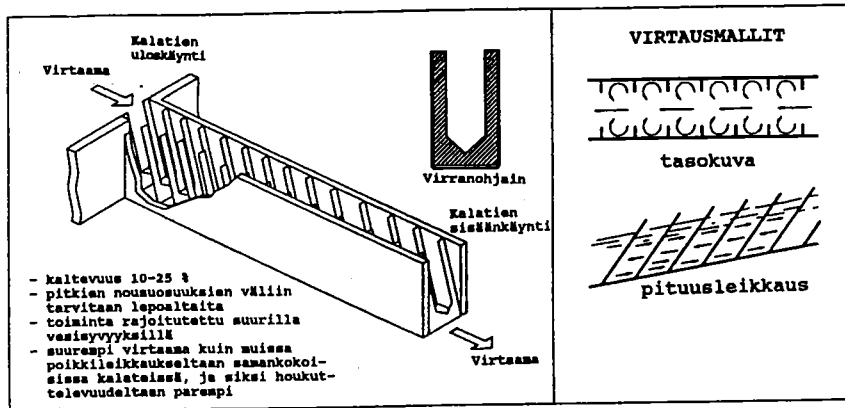
Allaskalateiden suositeltava vesipintojen ero peräkkäisten altaiden välillä on kirjallisuustietojen mukaan 0,2-0,4 m aikuisille lohille ja 0,15-0,25 m aikuisille makeanveden kaloille. Ylivirtauskalatiet ovat pystyrakokalateita herkempiä yläveden korkeuden vaihtelulle.

Ylivirtauskalateita käytetään lähinnä lohikalajien nousuväylinä. Ne eivät sovellu pohjakaloille eivätkä nahkiaiselle. Vantaanjoen suussa olevaan Vanhankaupunginlahden kalatiehen siika ei nouse, eikä sen Tanskassakaan tiedetä käyttävän näitä kalateita (Lonnebjerg 1990). Läpivirtauskalatiet soveltuvat paremmin kalalajeille, joiden uintikyky on heikko (Koponen 1991).

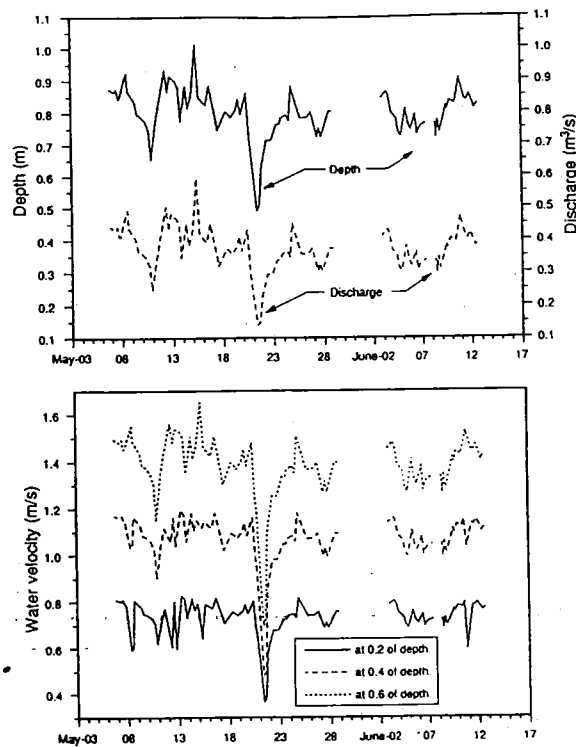
4.1.3 Denil-kalatiet

Denil-kalatie muodostuu suorakaiteen muotoisesta virtauskourusta, jonka reunoilla ja pohjassa on lähekkäin olevia siivekkeitä 45° kulmassa pohjaan nähden (kuva 10). Siivekkeet ohjaavat virtausta ja niiden ansiosta veden liike-energian hävittäminen virtauskourussa on tehokasta. Vaikka virtausnopeus lähellä pintaa on suuri, on se

pohjan tuntumassa pieni (kuva 11). Alkuperäisen Denil-kalatien lisäksi on kehitelty mm. steppass-kalatie (Alaska steppass), jossa suurin virtausnopeus on vesisyvyyden puolivälissä.



Kuva 10. Denil-kalatie (Kamula & Pohjamo 1992).



Kuva 11. Fairfordin Denil-kalatien vesisyvyys, virtaama ja nopeusprofiilit alkukesällä 1987 (Katopodis ym. 1991).

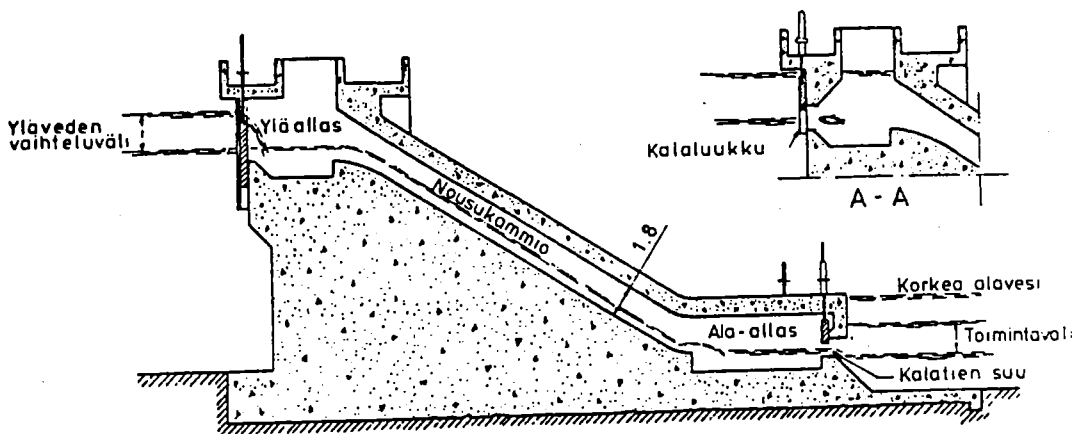
Denil-kalatien suun houkuttelevuus on hyvä, ja kalat löytävät sisäänkäynnin helposti. Koska kalat eivät kykene levähtämään itse virtauskourussa, on Denil-kalatiehen sijoitettava levähdysaltaita. Yleensä niitä on 10-15 metrin välein aikuisia lohia varten ja 5-10 metrin välein aikuisia sisävesikalvoja varten kaltevuudesta ja virtausnopeuksista riippuen. Denil-kalateiden suositeltava kaltevuus on 1:7-1:10 sisävesikalvoille ja 1:4-1:7 lohille. Denil-kalateiden hydrauliiikkaa ovat tutkineet mm. Rajaratnam & Katopodis (1984), Rajaratnam ym. (1987), Katopodis ym. (1991) ja Katopodis (1992).

Denil-kalatie soveltuu hyvin uintikyvyltään erilaisille kaloille, koska kala voi valita itselleen sopivan virtausvyöhykkeen. Heikot kalat voivat uida pohjan tuntumassa ja voimakkaammat kalat pinnan lähelle muodostuvassa nopeammassa virrassa. Denil-kalateiden tärkeimmät käyttäjät ovat lohi ja taimen, mutta myös harjus, ahven, lahna ja suutari (*Tinca tinca*, Lonnebjerg 1990) käyttävät sitä. Alaskassa ja Kanadassa useat sisävesikalat, mm. pohjanharjus ja joissakin tapauksissa myös hauki käyttävät Denil-kalateitä (Tack & Fisher 1978, Slatick & Basham 1985, Schwalme ym. 1985, Katopodis ym. 1991, Katopodis 1992). Lyhyehköjen Denil-kalateiden on todettu soveltuvan nahkiaisen ja ankeriaan käyttöön, kunhan virtausnopeus ei ole liian suuri.

4.1.4 Kalasulut

Kalasulku on kehitetty Skotlannissa pääasiassa voimalaitospatojen yhteyteen (Beach 1984). Kehittäjänsä Joe Borlandin mukaan kalasulkuja nimitetään usein Borlandkalateiksi. Erilaisia perustyyppin muunnelmia on käytössä mm. Euroopassa, Venäjällä ja Pohjois-Amerikassa (Clay 1990). Kalasulku toimii kanavasulkujen tapaan. Sen muodostavat ala- ja yläallas sekä näiden välinen joko pystysuora tai kalteva yhdystunneli (kuva 12). Kalasulku toimii jaksottain. Kun kalat ovat nousseet ala-altaaseen, ne nostetaan yläaltaaseen veden mukana. Joissakin kalasuluissa liikkuva pohjasihti nostaa kalat.

Kalasuluista saadut kokemukset ovat olleet vaihtelevia. Skotlannissa sulut toimivat hyvin. Ranskassa osa kalasuluista ei ole toiminut edes tyydyttävästi. Sen vuoksi niiden rakentamista ei siellä enää harkita (Larinier 1990). Inarin Kirakkakönkäälle rakennetun Borlandkalatiemallin käytössä oli ongelmia, koska pienet sisävesikalat ja kokeissa käytetyt emotaimenet eivät mielellään lähteneet nousemaan yhdystunnelista ylös (Laine 1986). Syynä lienee paljolti paikalliset ongelmat ja virtaaman pienuus.



Kuva 12. Borland-kalatie (Clayn 1961 mukaan).

4.2. Valaistuksen vaikutus

Joskus kalatie on rakennettava kokonaan tai osittain tunneliin. Pohjakaloille, joiden orientoituminen tapahtuu suurelta osin tuntoaistin varassa, ei pimeydestä ole haittaa. Näkökyvyn avulla uivat pinta- ja välivesikalat sen sijaan tarvitsevat visuaalisia ärsykeitä nousun onnistumiseen. Tämän takia valaistuksella voi olla nousun onnistumisen kannalta ratkaiseva merkitys. Ylä-Tuloman allaskalatiessa tarkkailukohdan ohi kulkevien lohien määrää onnistuttiin lisäämään, kun uintireitille asennettiin nähtäviä kiintopisteitä (Pavlov 1980). Sama toimenpide oli aiemmin kasvattanut Ala-Tuloman kalatien lohien nousun tuloksellisuutta (Pavlov & Pahorukov 1978).

Päivä- ja hämäräaktiiviset kalat pystyvät uimaan pimeässä kalatiessa sen jälkeen, kun niille on kehittynyt kosketukseen perustuva taktilimotoriikka (Eicher 1973, Pavlov 1978). Kalat orientoituvat tällöin vesisuihkujen ja pyörteiden avulla. Norjassa on rakennettu paljon kalateitä valaisemattomiin kalliotunneleihin. Lohen ja taimenen on havaittu nousseen valaisemattomassa tunnelissa yli kaksi kilometriä (Rogers & Kane 1979). Skotlantilaisessa Pitlochryn kalatiessa lohet eivät liiku öisin tai pimeässä (Philips 1979). Vaikuttaakin siltä, ettei valaistuksen vaikutus lohien nousuun ole yksiselitteinen. Monet tekijät, mm. kalatien rakenne ja sen virtausolosuhteet sekä lämpötila vaikuttavat siihen, voiko kala nousta kalatien kautta pimeässä vai vaatiiko se keino- tai luonnonvaloa. Myös optomotorisella reaktiolla voi olla vaikutusta kalan uimiseen valaistussa kalatiessa. Hämärän tullessa kala saattaa sokaistua, kun valoisuudesta huolimatta näkösolut ja pigmentit alkavat sopeutua pimeään.

Useiden päiväaktiivisten kalojen positiivinen fototaksis saa aikaan sen, että ne uivat yöllä valoa kohti. Tähän perustuu mm. kalojen houkuttelemine kalatien sisäänkäyntiin sijoitetulla elohopealampulla. Jokiuoman keinotekoinen valaiseminen on mahdollistanut punalohien nousun kalateiden kautta myös yöllä (Andrew 1990). Pohjakalat ja nahkiainen ovat sen sijaan yöaktiivisia. Päivänsä ne viettävät piileskellen kivien koloissa ja kasvillisuuden seassa. Yöllä liikkumista kirkkaat valot haittaavat (Bond 1979). Valaistu kalatie onkin nahkiaille nousueste.

Päivisin säällä ja valaistuksen laadulla on merkitystä kalan uimiselle kalatiessä. Pitlochryn läpivirtauskalatiessä lohet etenevät nopeammin, kun aurinko paistaa ja valaisee sopivasti nousuaukkoa (Herva 1981).

4.3. L ä m p ö t i l a n v a i k u t u s

Kylmässä vedessä kalat joutuvat uimaan suorituskykynsä ääri rajoilla. Norjassa lohen nousu kalateihin alkaa, kun veden lämpötila on vähintään 5°C, ja se sujuu hyvin lämpötilan noustessa yli 7°C:n (Berg 1978 Hervan 1981 mukaan). Laerdalselva-joen Sjurhaugfossin kalatiessä lohen nousu pysähtyy, kun nousuaikaan sattuu lyhyitä kylmän veden jaksoja (6,5°C). Nousukauden lopulla matalat lämpötilat (6-7°C) estävät tai pysäyttävät lohen nousun, ja kaloja saattaa jäädä kalatien altaisiiin (Herva 1991).

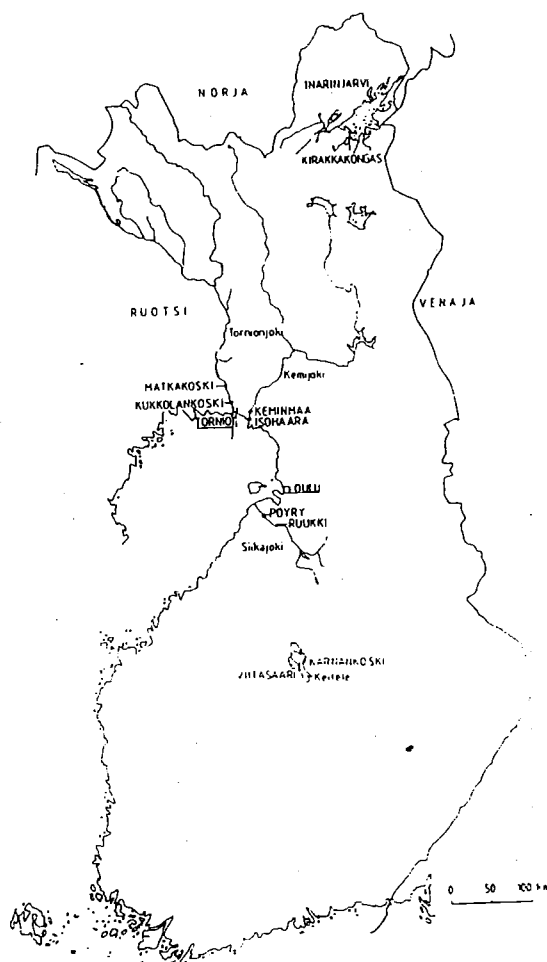
Taimenen kutuvaellus ajoittuu Suomessa yleensä kevätkesään, mutta taimenia nousee jokiin myös loppukesällä ja syksyllä. Kalateiden seurantatutkimuksissa taimenen on varsin yleisesti todettu nousevan läpi kesän (Laine ym. 1990b, 1991a, Koponen 1991). Nousu loppuu yleensä lokakuussa. Keski-Suomessa sijaitsevassa Kärnänkosken kalatiessä on harvakseltaan noussut taimenia vielä marraskuussa veden lämpötilan ollessa 2°C (Laine ym. 1990a).

Siian vaellus Tornionjokeen alkaa kesäkuussa, kun veden lämpötila on 16°C (Ylinärä 1992). Voimakkaimmillaan siian nousu on heinä-elokuun vaihteessa veden lämpötilan ollessa alle 19,5°C. Vielä syyskuussa siikaa nousee jonkin verran. Useista joista kesäsiika on hävinnyt. Siikajoella vaellussiian nousuhuippu on lokakuussa, jolloin jokiveden lämpötila on selvästi alle 10°C (Laine 1989). Syyssiika joutuu uimaan kylmässä vedessä, ja sen uintikykyä heikentää myös kutuajan läheisyys. Syyssiika nousee tiettävästi joen alimpiin koskiin kutemaan. Kirakkakönkään kalatiemalliin sisävesisiikat alkoivat nousta veden lämpötilan noustua 12°C:een.

5. OULUN YLIOPISTON KALATIETUTKIMUS

Oulun yliopiston kalatietutkimukset alkoivat 1980-luvun alussa laboratorioissa tehdyillä teoreettisilla virtaus-tutkimuksilla (Veijalainen 1985). Opintomatkan aikana tutustuttiin kalateihin, kalojen kiinniottolaitteisiin ja kalavesien hoitoon Pohjoismaissa (Helenius ym. 1981). Tutkimukselle antoi pontta Hervan (1981) Helsingin yliopistolle tekemä pro gradu -työ, jossa käsiteltiin laajalti joen vaelluskalakannan elvyttämiseen käytettyjä vesirakennusteknisiä toimenpiteitä ja näiden vesien-suojelullisia edellytyksiä.

Kaloja koskevat tutkimukset käynnistyivät, kun vuosina 1982-83 Keminmaahan ja Inarin Kirakkaköngäaseen rakennettiin kalatiemallit. Kesällä 1984 tutkimusta laajennettiin kalan luontaiselle nousureitille Tornionjokeen, jossa tutkittiin vaellussiian uimista. Uusina tutkimuskohteina tulivat 1980-luvun lopussa mukaan Siikajoen Pöyryn padolle ja Viitasaaren Kärnäkosken voimalaitoksen yhteyteen valmistuneet kalatiet (kuva 13).



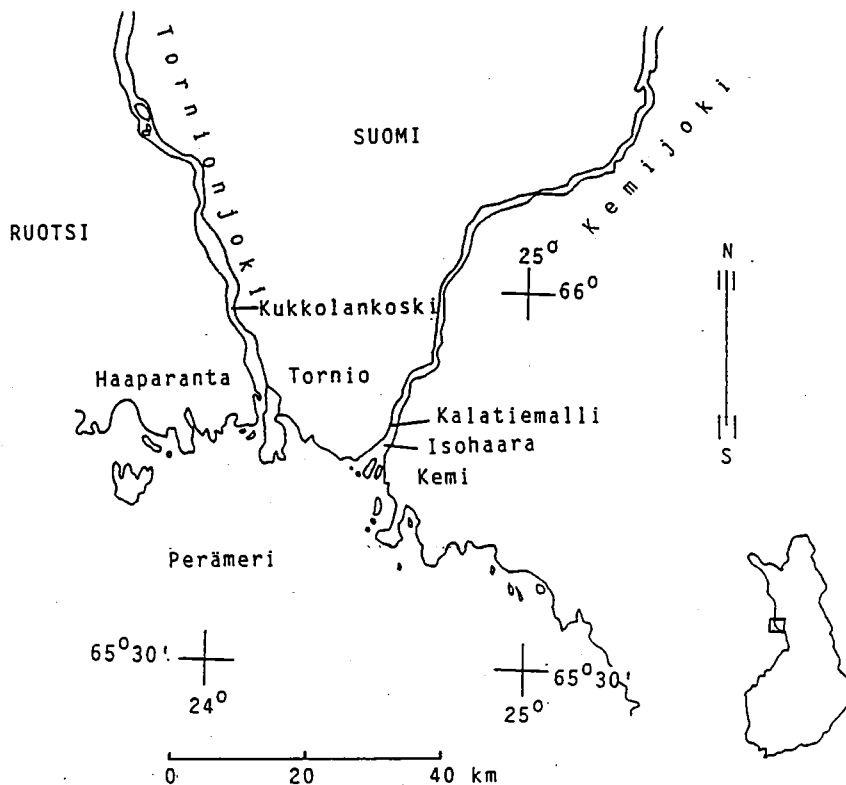
Kuva 13. Kalatietutkimuksen tutkimuskohteet

5.1 K e m i n m a a

Kemijoen suuhun rakennetun Isohaaran padon myötä merilohi ja -taimen ovat hävinneet joesta. Kalasto on pitkään ollut allasmaiseksi padotun joen tyypillistä kalastoa, joka koostuu lähinnä mateesta, hauesta, ahvenesta ja särkikaloista. Jokiuomaan tehdyissä velvoiteistutuksissa on käytetty siian ja taimenen poikasia. Niiden tuottamat saaliit erityisesti Kemijoen alaosissa, Isohaaran padon yläpuolella, ovat olleet lähes olemattomat. Viime vuosina istutuksissa on siirrytty kirjoloheen.

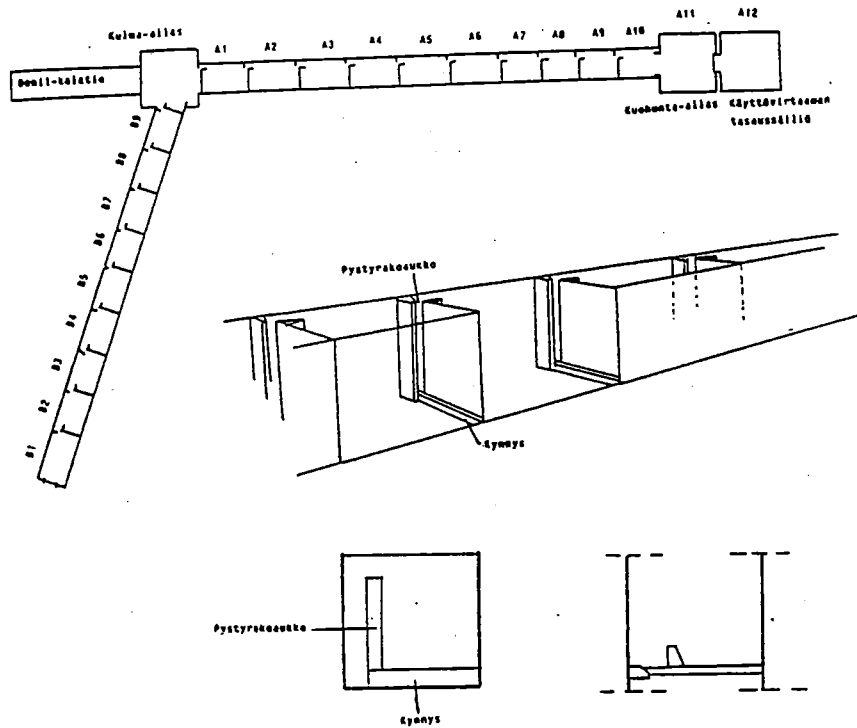
5.1.1 Keminmaan kalatiemalli

Keminmaahan, Kemijoen länsirannalle (kuva 14) alunperin vesirakennustekniikan erikoistöitä varten rakennettu kalatiemalli oli 1:4 pienennös Kanadan Point Wolfe -joen pystyrakokalatiesta. Rakennusmateriaalina käytettiin puuta ja vesivaneria. Malliin tuleva vesi pumpattiin Kemijoesta. Virtaamaa voitiin säätää, vaikkakaan ei portaattomasti. Kalatiemallin kaltevuus oli 1:12. Kalatiemallissa tehtiin hydraulikkaan ja kaloihin liittyviä tutkimuksia vuosina 1982-86. Vesirakennustekniikan erikoistöiden lisäksi tutkimuksesta on valmistunut pro gradu -tutkielma Oulun yliopiston eläintieteen laitokselle (Alaperä 1989).



Kuva 14. Keminmaan tutkimusalue ja koekalojen pyyntipaikat (Alaperä 1989).

Ensimmäisinä vuosina kalaporras päättyi 10-12 allasta käsittäneen suoran porrassosuuden alapuoliseen isoon altaaseen. Tutkimusten edetessä rakennettiin toinen porraskakso ala-altaan alapuolelle (kuva 15). Sen suu ulottui veteen asti.



Kuva 15. Keminmaan kalatiemallin yleiskuva sekä altaiden ja väliseinien rakenne (Herva 1983).

Kalatiemallin väliseinät olivat irrotettavissa, ja tutkimuksen aikana allaspituuksia muutettiin. Allasleveys oli 60 cm, kourun syvyys 45 cm ja pystyraon leveys 6,5-7,5 cm. Aukon molemmilla puolin oli virtauksen ohjaimet (kuva 15). Sivuseinissä oli kalojen seurannan helpottamiseksi ikkunoita.

5.1.2 Koekalat ja koejärjestelyt

Alkuvuosina kokeita tehtiin Lautiosaaren kalanviljelylaitokselta peräisin olevilla 2-vuotiailla lohenpoikasilla (pituus 15-17 cm) sekä Isohaaran padon alapuolelta pyydystetyillä nahkiaisilla, lohilla (35-50 cm), taimeilla (20-40 cm) ja vaellussiioilla (35-45 cm). Kuljetus Isohaaralta kalatiemallille kesti 5-13 minuuttia (Alaperä 1989).

Myöhemmin kokeita tehtiin lähinnä Tornionjoen Kukkolankoskelta (kuva 14) lippoamalla pyydystetyillä vaellussiioilla (30-40 cm). Kokeisiin valittiin hyväkuntoisia ja vahingoittumattomia yksilöitä. Kuljetus Kukkolankoskelta kalatiemalliin kesti 35-60 minuuttia. Kaloista mitatuissa fysiologisissa rasitusvasteissa oli sekä akuutin että pitkäaikaisen rasituksen merkkejä. Kalojen pyynti, sumputus, kuljetus ja yleensä käsittely ennen koetta olivat rasittaneet kaloja voimakkaasti (Virtanen 1984). Kalojen kuljetusrasitusta pyrittiin vähentämään, jotta vaikutus nousukäyttäytymiseen olisi mahdollisimman pieni (Alaperä 1986, 1987, 1989). Kuljetettujen kalojen lisäksi koekaloina käytettiin Kemijoen ahvenia, seipiä (*Leuciscus leuciscus*) ja särkiä (*Rutilus rutilus*).

Alkuvuosina paikalle kuljetetut kalat siirrettiin suoraan kuljetusastiasta kalatiemalliin. Vuonna 1986 kalojen säilytystä varten rakennettiin kouru, jossa kalat saattoivat oleskella virtaavassa vedessä ennen kalatiemalliin siirtämistä. Kouru oli osaksi peitetty ja pohjalla oli isoja kiviä. Virtausnopeudet kourussa olivat 0,1-0,2 m/s virtaaman suuruudesta riippuen. Kalojen säilyttäminen virtauskourussa kuljetuksen jälkeen lisäsi niiden aktiivisuutta kalatiemallissa.

Kokeissa käytettiin yleensä virtaamaa 24-32 l/s. Aukkojen virtausnopeudet 75 cm pituisissa altaissa olivat alkuvuosina alle 1,1 m/s. Vuonna 1986 tehtyjen kokeiden aikana kalatiessä oli kolmenpituisia altaita: 75 cm, 85 cm ja 105 cm, joiden virtausolosuhteet erosivat jonkin verran toisistaan (Herva & Laine 1988). Altaiden vesisyvyys oli keskimäärin 50 cm, altaiden välinen putousero 10 cm ja aukkonopeudet 0,50-0,80 m/s.

Kalojen käyttäytymisestä kalatiemallissa tehtiin havainnot sukelluslaseilla, vesikiikarilla ja ikkunoiden kautta. Kalojen uintia taltioitiin myös videolle. Nahkiaisten nousua seurattiin ensimmäisenä syksynä taskulampun avulla.

5.1.3 Kalatutkimuksen tuloksia

Lohi

Keminmaan kalatiemalliin lokakuussa 1982 tuodut kaksivuotiaat lohenpoikaset oleskelivat mallissa lähes kuukauden. Seurantajakson alkaessa veden lämpötila oli 8,2°C ja seurannan päättyessä 1,7°C. Päivisin poikaset olivat isossa ala-altaassa, jonka pohjalla oli isoja kiviä. Iltaisin ja öisin poikaset oleskelivat kalatiemallin altaissa. Eniten havainnot tehtiin alimmasta altaasta, mutta lohenpoikasia tavattiin myös ylimmässä altaassa (Laine 1983).

Aikuiset lohet pystyivät orientoitumaan hyvin Keminmaan kalatiemallin pienissä altaissa. Ne nousivat vaikeuksitta ja etenivät yleensä pysähtymättä koko porrasjakson läpi. Nousuun kului aikaa nopeimmilla kaloilla alle 10 sekuntia allasta kohti. Vuosina 1983-85 kahdeksan yhdeksästä kalatiemalliin tuodusta lohesta nousi ylimpään altaaseen ainakin kertaalleen. Kuusi lohta hyppäsi ylimmästä altaasta kuivalle maalle (Herva 1986). Aktiivisimpia lohet olivat aamupäivällä ja illalla.

Taimen

Vuosina 1983-85 miltei kaikki kalatiemallin ala-altaaseen tuodut taimenet nousivat ylimpään altaaseen asti. Ne laskeutuivat hallitusti pyrstö edellä ja lepäsivät altaissa ilman havaittavia ongelmia (Herva 1986). Allasta kohti käytetyt nousuajat riippuivat kalan koosta. Taimen, jonka pituus oli 20 cm käytti allasta kohti aikaa keskimäärin muutamia minuutteja. Isommilla taimenilla (30-40 cm) ajat olivat kymmenesosa tai vielä vähemmän pienten kalojen kulkuajoista (Herva 1986).

Siika

Isohaarasta ja myöhemmin Kukkolankoskelta kuljetetut siiat eivät hallinneet uimistaan kalatiemallissa yhtä hyvin kuin samankokoiset ja suuremmat lohet ja taimenet. Ne uivat tyypillisesti vain muutaman altaan kerrallaan, levähtivät ja palasivat virran mukana alas tai jatkoivat nousuaan leijuttuaan aikansa altaassa virtauksen mukana (Herva 1986). Kun lohista ja taimenista valtaosa nousi kalatiemallissa jopa useita kertoja, isoon kulma-altaaseen laitetuista siiosta suurin osa ei lähtenyt kertaakaan nousemaan.

Elo-syyskuussa 1986 lähtöaltaana oli neljäs allas kulma-altaan alapuolella (ks. kuva 15). Useimmat virtauskourusta kalatiemalliin siirretyt siiat pyörivät altaassa virtauksen mukana ja ajautuivat alavirtaan, kunnes ne pysähtyivät alempana olevaan verkolla suljettuun altaaseen. Jotkut siiosta kykenivät orientoitumaan lähtöaltaassa, ja lähtivät nousemaan pian virtaan orientoitumisen jälkeen. Ne uivat usein muutamassa sekunnissa päävirtauksessa pysytellen suoraan kolmen altaan läpi isoon kulma-altaaseen. Joidenkin siikojen nousu kesti kuitenkin useita minuutteja. Nousu pysähtyi poikkeuksetta kulma-altaaseen ja vain muutama siika jatkoi etenemistään kalatiemallin yläosalle.

Nahkiainen

Isohaaran padon alapuolelta Keminmaan kalatiemalliin kuljetettujen nahkiaisten liikkumista seurattiin syksyllä 1982 (Laine 1983). Nahkiaisit uivat kalatiemallissa vaikeuksitta. Niiden aktiivisuutta vähensivät ainoastaan kirkas kuutamo ja räntä- tai lumisade. Havainnoinnin aikana nahkiaisit olivat jakautuneet suhteellisen tasaisesti kalatien kaikkiin altaisiin.

Muut kalat

Ahvenet eivät kunnolla pystyneet orientoitumaan tai uimaan Keminmaan kalatiemallin altaissa. Ne alkoivat pian pyöriä altaissa virtauksen mukana. Yleensä ahvenet uupuivat jo muutaman minuutin kuluessa niin, että ne oli poistettava kalatiemallista (Herva & Laine 1988). Säilyttäminen virtauskourussa ei parantanut ahventen uimista kalatiemallissa.

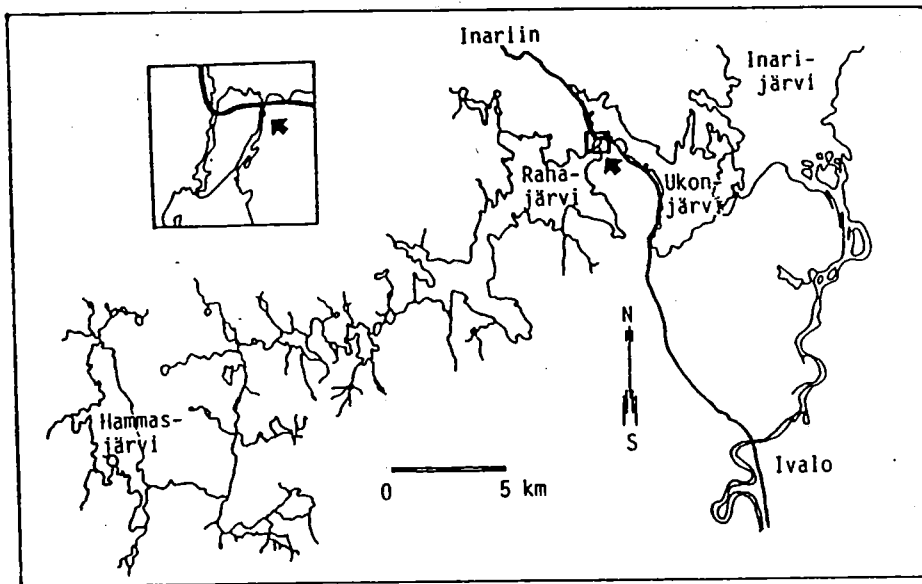
Ahventen tavoin särjet uivat huonosti altaissa. Seivet pystyivät uimaan altaissa hallitusti ja väsymättä jopa tuntien ajan ja liikkumaan altaasta toiseen. Lyhyimmät altaat olivat seipien oleskeluun soveltumattomia, ja pitkätkin altaat melko huonoja. Parhaiten seivet pystyivät uimaan keskipitkissä altaissa, joiden virtausolosuhteet olivat muihin altaisiin verrattuna rauhalliset (Herva & Laine 1988).

5.2 I n a r i n K i r a k k a k ö n g ä s

Kirakkakönkään vesivoimalaitos sijaitsee Inarin kunnan Kirakkajoen vesistöissä, Raha- ja Ukonjärvien välissä (kuva 16). Raha- ja Ukonjärven välillä on putouseroa 13 metriä. Voimalaitoksen keskimääräinen virtaama on 8-10 m³/s. Laitoksessa on kaksi Francis-tyyppistä turbiinia.

Ennen vuonna 1953 rakennetun vesivoimalaitoksen valmistumisesta Kirakkaköngäs oli taimenen kutualuetta ja sen kautta nousi taimenta, harjusta ja isoa pohjasiikaa (*Coregonus pidschian*) yläpuoliseen Kirakkajokeen (Sarjamo 1982). Vesivoimalaitoksen rakentaminen esti kalojen nousun.

Järvien säännöstely on heikentänyt kalojen ravintotilannetta, ja voimalan ylä- ja alapuolisisten järvien siikkakannat ovat kääpiöityneet. Istutuksista karannutta muikua alkoi esiintyä Inarijärven runsaasti 1980-luvun puolivälissä.



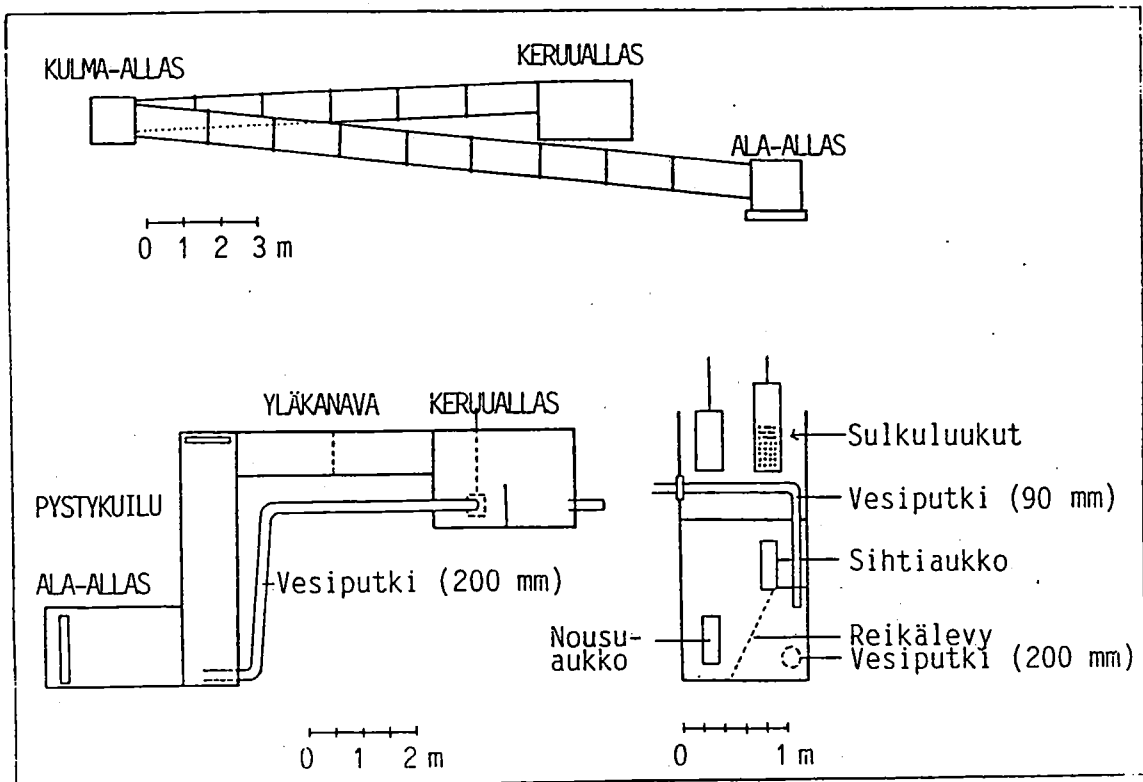
Kuva 16. Kirakkajoen vesistöalue. Kirakkakönkään voimalaitos on merkitty nuolella (Laine 1990).

5.2.1 Kirakkakönkään kalatiemallit

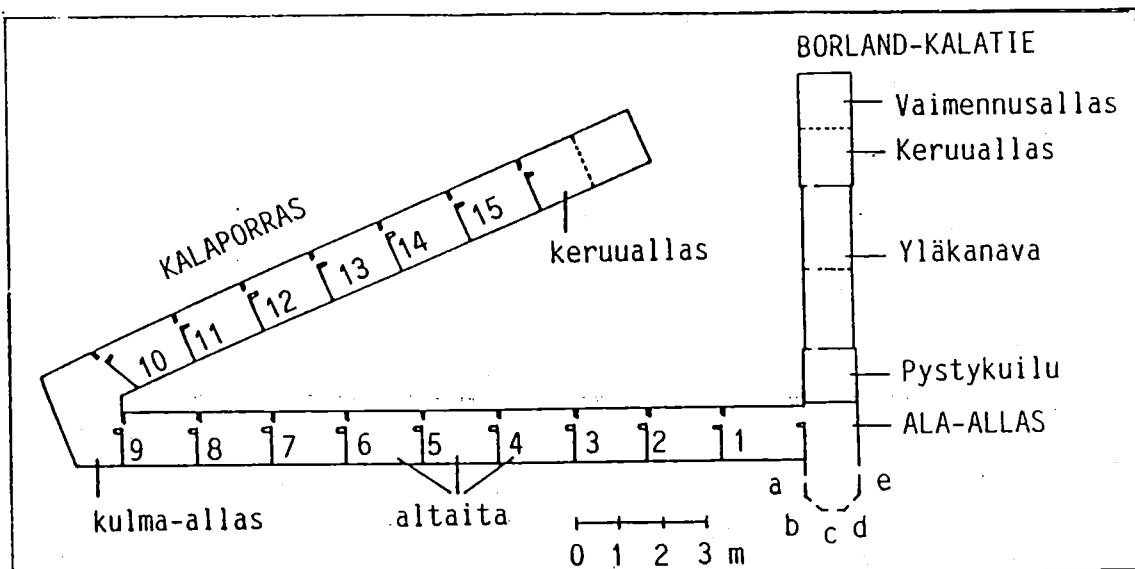
Kirakkakönkään voimalan alapuolelle rakennettiin vuonna 1983 vesivanerista ja puusta kaksi kalatiemallia, pystyrakokalatie ja sulkuperiaatteella toimiva Borland-kalatie (kuva 17). Kalatiemalleilla oli alakanavan pohjaan upotetulle betonialustalle rakennettu yhteinen ala-allas, jossa oli viisi vaihtoehtoista sisäänkäyntiä. Pitkänmallisen ala-altaan päästä oli käynti Borland-kalatiemalliin ja sen sivuseinältä pystyrakokalatiehen (kuva 18).

Vesi kalatiemalleihin saatiin voimalan tuloputkista. Virtaamaa voitiin säätää portaattomasti. Maksimivirtaama oli pystyrakokalatiessä 100 l/s ja Borland-kalatiessä 50 l/s. Kalatiemallien yläpäässä olevat muita altaita syvemmät vaimennusaltaat toimivat samalla keruualtaina, joista kalat voitiin haavia pois.

Borland-kalatiemallissa oli ala-altaan lisäksi 4,4 metriä korkea pystykuilu sekä keruualtaaseen päättyvä yläkanava (kuvat 17 ja 18). Kaloja houkuteltaessa vesi johdettiin putkella keruualtaasta kuilun pohjalle, josta se purkautui ala-altaaseen. Kalojen noustua sisälle sisäänkäynti suljettiin ja vettä alettiin johtaa yläkanavaa ja pystykuilua myöten alas. Kun vesi täytti pystykuilun, ja sen alaosassa ollut sihtiluukku avattiin, yläkanavaan muodostui uintiväylä. Kalojen noustua keruualtaaseen kuilu tyhjennettiin, ja vettä alettiin taas johtaa putken kautta pystykuilun pohjalle.

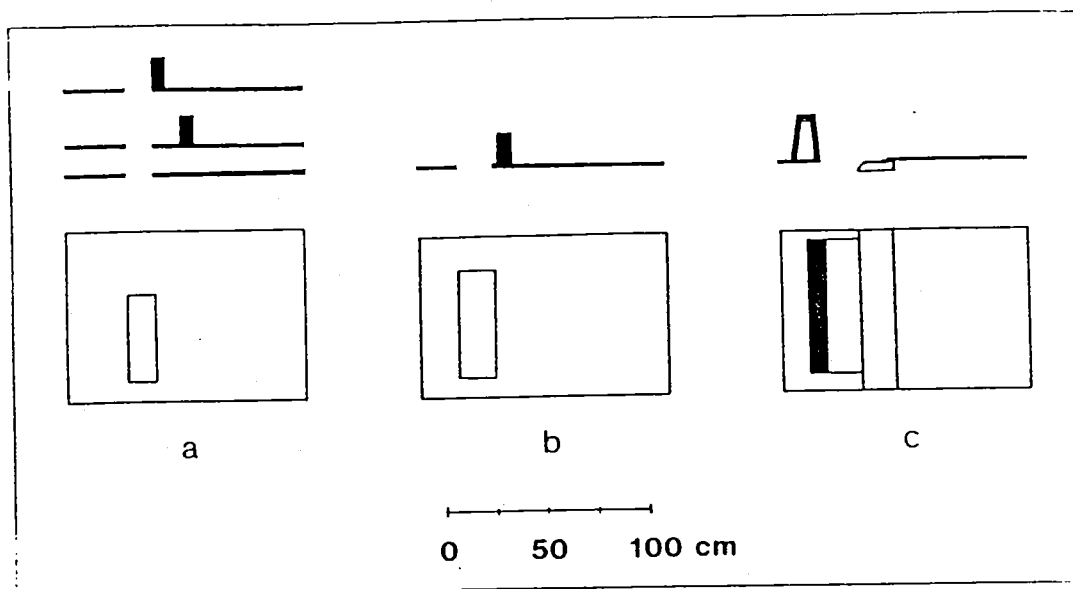


Kuva 17. Kirakkakönkään kalaporras (yllä) ja Borland-kalatie (alla), sekä Borland-kalatie pystykuilun yksityiskohtia (Laine 1990).



Kuva 18. Kirakkakönkään kalatiemallien pääosat ja niiden sijainti toisiinsa nähden (Laine 1990).

Pystyrakokalatiemallin pituus oli 30 metriä ja kaltevuus 1:14. Ala-altaan, kääntymiskohdassa olevan leveän kulma-altaan ja keruualtaan (kuva 18) lisäksi mallissa oli vuosina 1983-84 18 varsinaista allasta (pituus 1,50 m) ja vuonna 1985 15 allasta (pituus 1,70 m). Allasleveys oli 1,20 m ja syvyys 0,75 m. Vesisyvyys vaihteli virtaamasta riippuen ollen enimmillään 0,70 m. Tutkimuksen aikana käytössä oli kolmenlaisia väliseiniä (kuva 19).



Kuva 19. Kirakkakönkään kalatiemallissa käytössä olleet väliseinätyypit edestä (alla) ja päältä (yllä) katsottuna. Tyyppiä a käytettiin vuonna 1983, b vuonna 1984 ja c vuonna 1985 (Laine 1990).

Pystyraot sijaitsivat ensimmäisenä tutkimuskesänä vuoro-tellen väliseiniä eri reunoissa, myöhemmin ne muutettiin samaan linjaan ja niihin lisättiin yksinkertaiset virran-ohjaimet (kuva 19). Kulma-altaan alapuolella pystyraot olivat alhaalta katsoen oikeassa ja kulma-altaan yläpuolella vasemmassa laidassa (kuva 18). Pystyrakojen leveys oli 15-20 cm ja korkeus 40-60 cm. Väliseinän materiaalista ja kiinnityksestä johtuen kyseessä ei ollut puhdas pystyrakokalatie, sillä aukko ei ollut ylös asti auki. Kahtena ensimmäisenä vuonna kalatie toimi pienissä virtaamissa pystyrako-, suurissa virtaamissa läpivirtaus-periaatteella, kun pienet nousuaukot olivat kokonaan veden peittämät. Väliseinissä oli 10 cm korkea kynnyks. Kulma-altaan yläpuolinen kynnyks oli poikkeuksellisesti 30 cm ja ala-altaan yläpuolinen kynnyks 65 cm.

Kirakkakönkällä tutkittiin kalojen uintia vuosina 1983-85. Kalatiemallin hydraulikkaan liittyvästä tutkimuksesta on tehty Oulun yliopiston vesirakennustekniikan lai-

tokselle diplomityö (Narkilahti 1985) ja kalatutkimuksesta eläintieteen laitokselle lisensiaatin työ (Laine 1990). Lisäksi Rahajärven yläpuolisen Kirakkajoen harjuksen ja taimenen ekologiasta on tehty eläintieteen laitokselle pro gradu -tutkielma (Tervaniemi 1989).

5.2.2 Koekalat ja koejärjestelyt

Kirakkakönkään voimalan alakanavassa oli kesäisin voimalan ollessa käynnissä runsaasti paikallista siikaa ja muikkua. Muikun (9-24 cm) lisäksi kalatiemalleja käytti pohjasiika (11-36 cm), reeska eli Inarin kääpiösiika (*Coregonus wartmanni*, 9-25 cm), vaellussiikatyyppinen pikkusiika (9-30 cm) sekä muutama pieni muttu ja ahven.

Kalaportaan keruualtaasta pyydystettiin kolmen vuoden aikana yhteensä 12.098 alakanavasta noussutta kalaa. Borland-kalatieta pidettiin tutkimuksen aikana toiminnassa satunnaisesti. Sen kautta keruualtaaseen nousi joitakin satoja kaloja (Laine 1986). Pystyrakokalatien keruuallas tyhjennettiin aamulla ja illalla. Kalojen nousua seurattiin vesikiikarin tai sukelluslasien avulla. Seuranta onnistui vaikeuksitta, koska vesi oli kirkasta ja vesisyvyys oli pieni.

Kalatiemalleihin tuotiin Ukonjärvestä sekä voimalan alaja yläkanavasta pyydystettyjä pienehköjä järvitaimenia (30-33 cm) ja Ivalojoesta saatuja kutunousulla olevia isoja pohjasiikoja (35-45 cm). Joitakin kokeita tehtiin Inarin kalanviljelylaitokselta saaduilla 2-vuotiailla taimenilla (12-15 cm) ja 8-vuotiailla Juutuan kantaa olevilla emotaimenilla (51-58 cm). Paikalle kuljetettuja kaloja säilytettiin sumpussa, joka sijaitsi voimalaitoksen alakanavassa kalaportaan vieressä. Kokeiden ajaksi kalatiemallin sisäänkäynti suljettiin teräsverkolla ja kalat siirrettiin haavilla sumpusta kalaporttaaseen. Kalojen lähtöaltaana oli yleensä ala-allas, mutta myös kulmaaltaaseen tai alimpiin altaisiin siirrettiin joitakin kaloja.

Vuonna 1983 kalatiemallien rakennustyöt jatkuivat kesän loppupuolelle ja kalaporttaaseen nousi vain vähän kaloja. Tämän vuoksi tehtiin kokeita alakanavasta kalaporttaaseen siirretyillä pienillä siioilla. Vuonna 1984 kalatien virtaama oli koko kesän 85 l/s. Tällöin tarkkailtiin kalojen nousun rytmiikkaa ja ympäristön olosuhteiden vaikutusta nousuun. Vuonna 1985 testattiin kalojen uintia eri virtaamissa (33, 50, 75 ja 100 l/s). Tärkeimmät virtausolosuhteisiin liittyvät mittaukselliset eri virtaamissa on esitetty taulukossa 1. Koejärjestelyt on esitetty yksityiskohtaisesti Kirakkakönkään tutkimusten yhteenvedossa (Laine 1990).

Taulukko 1. Kirakkakönkään kalatiemallin altaiden keskimääräiset vesisyvytydet ja levähdysalueiden virtausnopeudet (I=suosituin levähdysalue, II=toiseksi suosituin levähdysalue) sekä pystyrakojen keskimääräiset putouskorkeudet ja virtausnopeudet eri virtaamissa. Kalatien ja ala-altaan välisen pystyraon putouskorkeus ja virtausnopeus on esitetty erikseen, koska se vaihteli suuresti eri virtaamien välillä.

Virtaama, l/s	33	50	75	100
Altaan vesisyvyys, cm	31	39	49	57
Levähdysalueen I nopeus, m/s	0.10	0.13	0.16	0.16
Levähdysalueen II nopeus, m/s	0.26	0.30	0.36	0.34
Putouskorkeus, cm	12	13	13	14
Virtausnopeus, m/s	0.85	0.95	1.10	1.10
Alimman pystyraon putouskorkeus, cm	10	15	25.5	30
virtausnopeus, m/s	0.80	1.05	1.25	1.55

5.2.3 Kalojen uiminen pystyrakokalatiemallissa

Taimen

Nuorten laitostaimenten uimista seurattiin kokeessa, jossa kalatiemallin virtaama oli 20 l/s. Altaiden vesisyvyys oli 0,15-0,30 m ja virtausnopeus aukoissa suurimmillaan 1,4 m/s. Useiden tuntien jälkeen kokeen alkamisesta puolet ala-altaaseen siirretyistä taimenista oli noussut 16 altaan läpi keruualtaaseen. Nopein kala käytti kalatien alaosalla aikaa keskimäärin 7,5 ja yläosalla 5 minuuttia allasta kohti. Samalla yksilöllä tehdyssä uusintakokeessa aikaa kului alaosalla keskimäärin 3,5 minuuttia ja yläosalla vajaa minuutti allasta kohti (Laine 1990). Taimenenpoikaset olivat kalatiemallissa useita vuorokausia. Valtaosa asettui keruualtaaseen, jotkut jäivät uiskentelemaan varsinaisiin altaisiin ja keruualtaaseen nousseista taimenista osa ui vesiputkiin.

Inarin kalanviljelylaitoksen emotaimenten uintikäyttäytymistä seurattiin virtaamassa 84 l/s, jolloin putouserot altaiden välillä olivat 0,10-0,15 m ja virtausnopeudet aukoissa enimmäkseen alle 1,5 m/s. Taimenet viipyivät tuntikausia ala-altaassa ja kävivät joitakin kertoja kalatien alimmissa altaissa. Määrätietoisesti lähti nousemaan yksi taimen, joka käytti aikaa allasta kohti keskimäärin 1,5 minuuttia. Kun emotaimenet myöhemmin siirrettiin alimpiin altaisiin, nousi niistä yksi parissa

sekunnissa suoraan kulma-altaaseen. Muut viipyivät lähtöaltaassa pitkään ja nousivat hiljalleen ylös. Altaissa taimenet oleskelivat aukkovirtauksen vastakkaiselle seinälle muodostuneessa akanvirrassa, jonka virtausnopeus oli 0,25-0,30 m/s, mikä vastasi alle yhtä kalan ruumiinpituutta sekunnissa (< 1 L/s). Taimenet kykenivät olemaan pitkään myös pystyrakojen välisellä alueella nopeudessa 0,35-0,50 m/s (n. 1 L/s).

Inarijärvelta nuotatut ja alakanavaan siirretyt luonnontaimenet oleskelivat pohjan tuntumassa hitaasti virtaavassa vedessä. Ala-altaaseen siirretyistä taimenista yksi kävi muutaman kerran alimmissa altaissa ja lähti nousemaan joidenkin tuntien kuluttua kokeen alkamisesta. Aikaa se käytti keskimäärin minuutin allasta kohti. Kaikki Kirakkakönkään voimalan ylä- tai alakanavan virtaavasta vedestä pyydystetyt vahingoittumattomat luonnontaimenet nousivat kalatiemallin ala-altaasta keruualtaaseen virtaamissa 50 l/s ja 100 l/s (ks. taulukko 1). Nousun kesto oli 1-2 minuuttia allasta kohti. Kalaportaan alaosalla nousu oli poikkeuksetta hitaampaa kuin yläosalla. Nousunopeuksissa ei todettu merkitseviä eroja eri virtaamien välillä. Järvitaimenten oleskelupaikat altaissa olivat samat kuin laitostaimenilla, ja vastasivat suunnilleen yhtä kalan ruumiinpituutta sekunnissa (1 L/s).

Siika

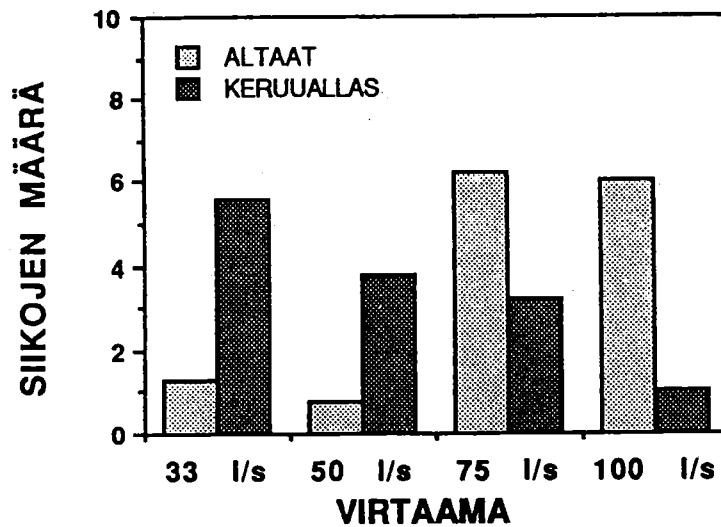
Kolme vuotta kestäneen tutkimuksen aikana kalatiemalliin nousi 2.447 vaellussiikatyyppistä pikkusiikaa, 836 pohjasiikaa ja 308 reeskaa. Siikojen nousu alakanavaan ja kalaporttaaseen alkoi veden lämpötilan kohottua yli 10°C:seen. Parhaimpina pohjasiian nousuaikana veden lämpötila oli 11-12°C (taulukko 2). Pienikokoista reeskaa ja vaellussiikatyyppistä pikkusiikaa nousi eniten korkeamassa lämpötilassa (15-16°C).

Taulukko 2. Kirakkakönkään kalatien keruualtaasta saadut kalat (kpl) vuoden 1984 seurannan aikana sekä pyyntijakson keskimääräinen veden lämpötila (°C).

Jakso	°C	Pohja- siika	Pikku- siika	Reeska	Muikku
1.-15.6.	7,9	-	-	-	-
16.-30.6.	10,2	3	1	-	-
1.-15.7.	11,2	264	593	23	28
16.-31.7.	11,7	335	632	59	309
1.-15.8.	15,8	179	1005	187	3908
16.-31.8.	11,9	6	63	3	105
1.-15.9.	8,2	-	-	-	-

Siiat oleskelivat altaissa pitkiä aikoja. Niiden levähdysalueiden nopeudet (0,10-0,20 m/s) vastasivat alle yhtä tai enintään kahta siian ruumiinpituutta sekunnissa (1-2 L/s). Nousukorkeus aukossa vaihteli lähes pohjan tuntumasta aina vesipatsaan yläosiin. Kirakkaköngkällä testatuista virtaamista suurimmissa siikoja oli selvästi enemmän varsinaisissa altaissa kuin keruualtaassa. Pienissä virtaamissa siikoja saatiin paljon keruualtaasta, mutta varsinaisissa altaissa niitä ei juuri oleskellut (kuva 20). Suurissa virtaamissa nousu oli siis hitaampaa kuin pienissä virtaamissa.

Vaikka siikoja ei pystytty yksilöllisesti seuraamaan kalatiessä, tukivat useat havainnot sitä käsitystä, että kalatiemallin alaosalla nousu oli yleensä hitaampaa kuin yläosalla (Laine 1990). Keruualtaasta saadut siiat olivat keskimäärin suurikokoisempia kuin samanaikaisesti alemmaa kalaportaasta haavitut siiat, mikä osoitti sitä, että suurimmat siiat nousivat kalatiessä pienikokoisia siikoja nopeammin.



Kuva 20. Eri virtaamien vallitessa tehdyt siikahavainnot (kpl/vrk) Kirakkaköngkään kalatiemallin altaissa ja keruualtaassa.

Ensimmäisenä tutkimuskesänä siirrettiin muutaman kerran siikoja alakanavasta kalatiemalliin. Siiat lähtivät liikkeelle vain hyvin pienissä virtaamissa (20-25 l/s) ja etenivät huomattavasti hitaammin kuin sellaiset siiat, jotka saivat itsenäisesti uida alakanavasta kalatiehen (Laine 1990).

Muikku

Tutkimuksen edetessä muikku nousi kalatiemallin pääasialliseksi käyttäjäksi. Tämä johtui siitä, että tutkimuksen aikana muikkumäärät kasvoivat räjähdysmäisesti Inarinjärvässä ja kalatiemallin alapuolisessa Ukonjärvässä. Kaikkiaan kalatien keruualtaasta saatiin kahden vuoden aikana 8.496 muikkua.

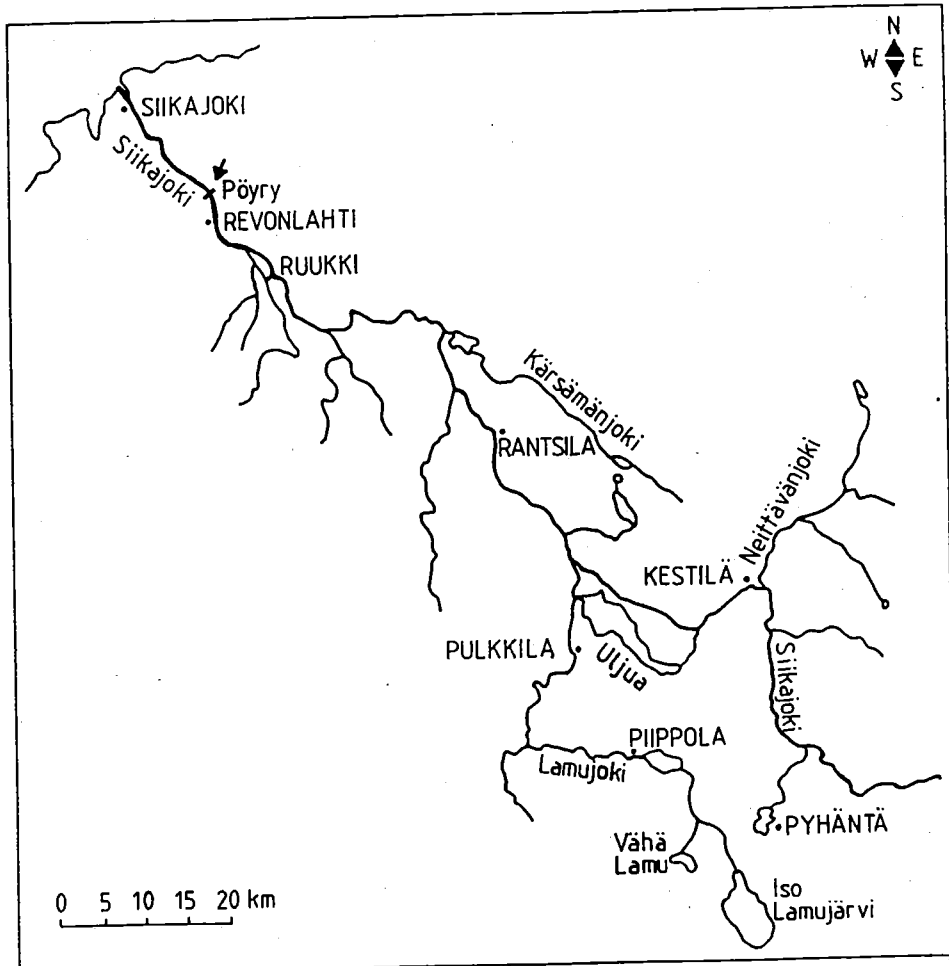
Parhaimmillaan voimalan alakanavassa oli tuhansia muikkuja. Niitä nousi rannan tuntumassa olevaan ala-altaaseen eniten silloin, kun sisäänkäynnin virtausnopeudet olivat noin 0,3 m/s (keskimäärin 2-2,5 L/s). Virtausnopeuden ollessa 1,5 m/s (10-12 L/s) ei yhdenkään muikun havaittu nousevan ala-altaaseen (Laine 1990). Kalateiden ala-altaassa oli lähes jatkuvasti satoja muikkuja. Niistä osa jatkoi etenemistään pystyrakokalatiehen, osa poistui takaisin alakanavaan. Eniten muikkuja lähti kalatiehen virtaaman ollessa 33 l/s, jolloin alimman pystyraon virtausnopeus oli 0,80 m/s (5-8 L/s). Virtaaman ollessa 100 l/s virtausnopeus oli 1,55 m/s (10-15 L/s), eikä muikkuja noussut kalatiehen (ks. taulukko 1).

Kalatiessä muikut etenivät vähitellen ja oleskelivat pitkiä aikoja altaissa. Muikun nousuhuippu ajoittui lämpimään veteen (18-19°C, taulukko 2). Elokuussa keruualtaasta saatiin keskimäärin pienempiä muikkuja kuin heinäkuussa. Pienikokoisten muikkujen nousu on toisaalta ollut hidasta ja toisaalta ne ovat paremmin pystyneet nousemaan elokuun lämpimämmässä vedessä. Testatuista virtaamista suurimmissa keruualtaaseen nousseet muikut olivat keskimäärin suurikokoisimpia (Laine 1990). Lukumääräisesti eniten muikkuja nousi virtaaman ollessa pieni. Pienillä virtaamilla altaissa oli sopivia levähdysalueita pienistä vesisyvyyksistä (n. 30 cm) huolimatta. Altaissa oli jopa useita satoja muikkuja. Parhaiden levähdysalueiden nopeudet (0,10-0,15 m/s) vastasivat yhtä muikun ruumiinpituutta sekunnissa (1 L/s). Suurissa virtaamissa altaiden vesisyvyys oli lähes 60 cm. Vaikka vesitilavuutta oli riittävästi, muikkuja oli vähän kaikissa kalaportaan altaissa. Syynä olivat rauhattomat virtausolosuhteet ja virtausnopeuden kasvu levähdysalueilla (Laine 1990, taulukko 1).

5.3 Siikajoen Pöyrynkoski

Siikajoki on tyypillinen pohjalainen joki, joka sijaitsee Oulun läänin eteläosassa (kuva 21). Jokiuoma on matala ja valuma-alueen järvisyys pieni (2,5 %). Tämän vuoksi tulvahuiput ovat voimakkaita ja sadanta vaikuttaa voimakkaasti joen virtaamiin. Veden väri on ruskea. Veden laatuun vaikuttavat pääasiassa hajakuormitus, tekoaltaat sekä turveteollisuus. Pääuoman pituus on 152 km ja

kokonaisputous 95 metriä. Siikajoessa on kolme vesi-voimalaitosta, joista alin, Pöyry, sijaitsee Revonlahdella 17 km jokisuusta. Sen virtaama on yleensä 10-15 m³/s.



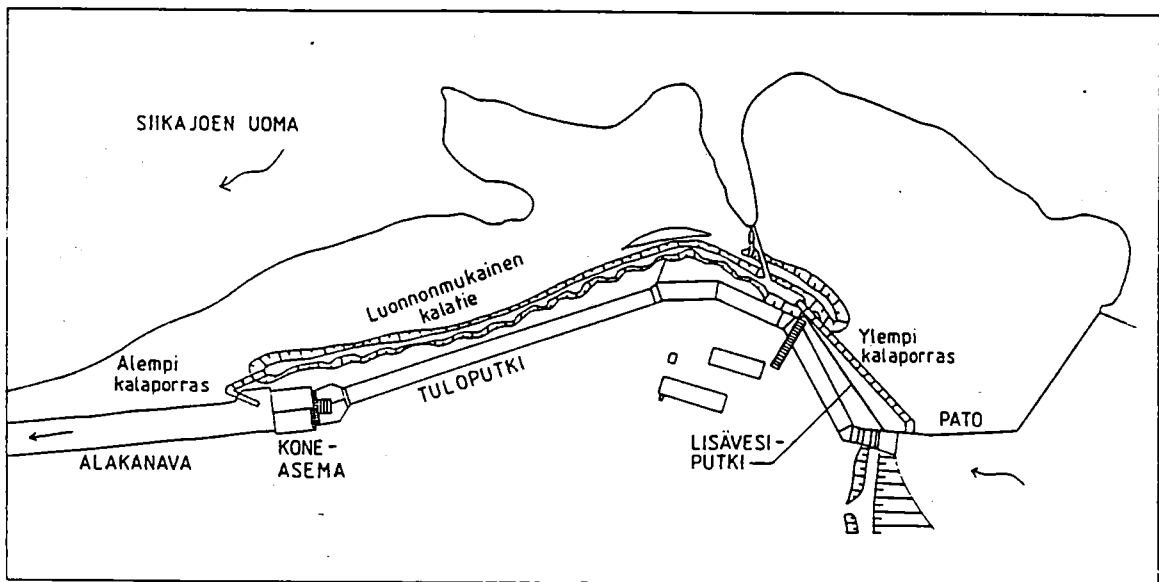
Kuva 21. Siikajoki, Pöyryn vesivoimalaitoksen sijainti on osoitettu nuolella (Kamula ym. 1992).

Siikajoen taimen- ja lohisaaliit ovat vähentyneet viimeisten vuosikymmenten aikana rajusti. Myös vaellussiikasaaliit ovat pienentyneet, ja nykyisin kantaa ylläpidetään istutuksin. Jokisuun siikasaalis on keskimäärin 2.000 kg vuodessa lohi- ja taimensaaliiden vaihdellessa vuosittain muutamasta kilosta muutama kymmeneen kiloon. Nahkiaissaaliit ovat edelleen hyvät. Taloudellista merkitystä on myös hauella, ahvenella, lahnalla ja mateella. Paikallisten kalojen käyttöä ravinnoksi ovat haitanneet kesäaikana makuvirheet. Verkkojen limoittumisen ja roskaantumisen on ilmoitettu myös haittaavan kalastusta (Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto 1990).

5.3.1 Pöyryn kalatie

Pöyryn kalatie rakennettiin Pöyryn vesivoimalaitoksen yhteyteen vuoden 1988 syksyllä, ja se otettiin käyttöön vuonna 1989. Samanaikaisesti aloitettiin kalatien rakenteita ja virtauksia koskevat tutkimukset ja kalastoseuranta. Tutkimukset tehtiin vuosina 1989-91. Seuranta jatkuu ainakin vuoteen 1996 asti.

Pöyryn kalatie alkaa voimalaitoksen alapuolelta ja päättyy säännöstelypadon yläpuolelle lähelle voimalaitoksen tuloputken suuta (kuva 22). Kalatien pituus on 220 metriä ja nousukorkeus noin 6 metriä. Kalatie muodostuu alemmasta ja ylemmästä betonisesta pystyrakokalatiestä ja näiden välissä olevasta luonnonmukaisesta osuudesta, jonka yläpäässä on suvanto. Suurin osa putouskorkeudesta keskittyy ylempään betoniseen kalatieosuuteen, joka nousee 4,5 metriä 45 metrin matkalla.



Kuva 22. Kalatien sijainti Siikajoen Pöyryn padolla (Kamula ym. 1992).

Kalatie on suunniteltu virtaamalle $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tutkimuksen alkaessa betonisen kalatieosuuden allaspituus oli 3 metriä. Pystyraot olivat samassa linjassa eikä väliseinissä ollut virtauksen ohjaimia. Aukkonopeudet olivat lähes 3 m/s ja putoukset keskimäärin 40 cm . Tutkimuksen aikana betoniosuuden allaspituuksia on lyhennetty ja väliseinien ja aukkojen paikkaa on muutettu. Pystyrakoihin on lisätty yksinkertaiset virtauksen ohjaimet.

Luonnonmukaisen uoman virtausten parantamiseksi sen yläpuoliseen suvantoon on johdettu lisävettä. Kalatien betonirakenteita on korjattu tutkimuksen aikana ilmenneiden vuotojen takia. Kalatien rakennetta ja tehtyjä muutostöitä on tarkemmin kuvattu Pöyryn kalatietutkimuksen yhteenvetoraportissa (Kamula ym. 1992). Lopulliset ohjeet kalatien sisärakenteesta laadittiin pienoismallikokeiden pohjalta ja toteutettiin kesällä 1992. Viimeisten muutostöiden jälkeen allaspituus oli 1,8 metriä ja pystyrakojen virtausnopeudet keskimäärin 1,5-1,8 m/s.

5.3.2 Kalaseuranta ja sen tulokset

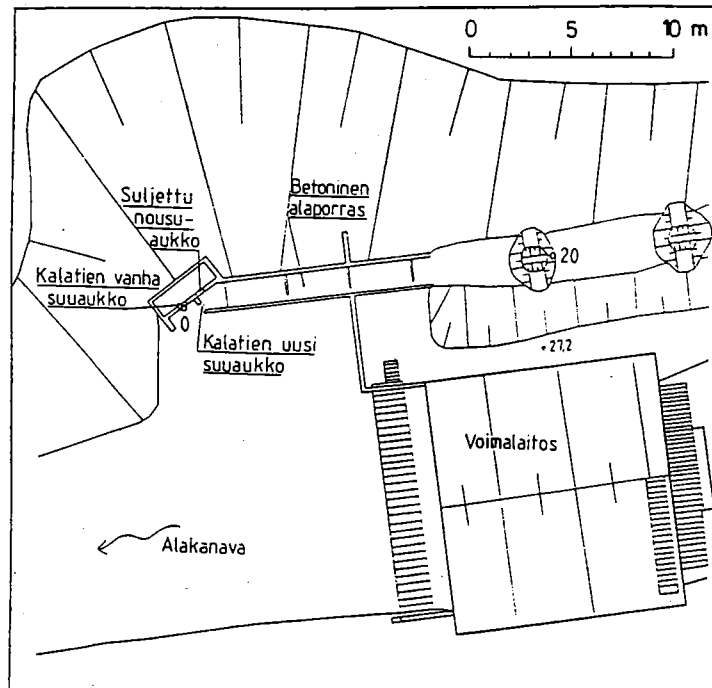
Pöyryn kalatiessä tavattiin tutkimuksen aikana lohta, taimenta, nahkiaista, lahnaa, ahventa, särkeä ja salakkaa (*Alburnus alburnus*). Myös jokunen hauki ja made havaittiin kalatiessä. Seurannan aikana kalat pyydystettiin kalaportaan ylimpään altaaseen, josta ne vapautettiin yläveteen. Nahkiaisia pyydystettiin kalatien eri osiin sijoitetuilla merroilla. Lisäksi niiden liikkumista seurattiin muutamana yönä taskulampun avulla. Tulva-aikana tämäntyyppinen havainnointi oli mahdotonta, kun kalatien virtaamaa ei saatu tarpeeksi pieneksi.

Maastotutkimuksia ja kalojen seurantaa häirtasivat vaikeat vesiolosuhteet. Ajoittain osa kalatiestä oli tulvan alla ja ajoittain kalatie oli kuivillaan. Vuoden 1990 alkukesällä aloitettiin Uljuan tekoaltaan padon korjaustyöt. Niistä johtuvat poikkeukselliset vesiolosuhteet vaikeuttivat tutkimusta vielä vuonna 1991. Vedenpinnan suuren vaihtelun lisäksi kalojen seurantaa häirtasi veden sameus.

Lohi ja taimen

Taimenia nousi Pöyryn kalatiessä ensimmäisen tutkimusvuoden 1989 aikana harvakseltaan läpi kesän (Laine ym. 1990b). Ylimmän altaan pyydyksestä saatiin taimenia vain silloin, kun alavesi oli poikkeuksellisen matalalla tai alkoi nousta oltuaan pitkään matalalla. Kalatien sisäänkäynnin epäiltiin olevan normaalin tai korkean veden aikana huonosti havaittavissa ja sen sijaintia muutettiin myöhemmin (kuva 23).

Kahtena seuraavana kesänä Pöyryn kalatietutkimusta häirtasivat suuresti vuoroin tulva ja vuoroin kuivuus. Taimenia saatiin ylimmässä altaassa olleesta pyydyksestä vähemmän kuin ensimmäisenä kesänä (Laine ym. 1991b, Kamula ym. 1992). Seurannan aikana pyydyksestä saatiin muutamia pieniä lohenpoikasia (50 g) ja aikuisia lohia (40-45 cm).



Kuva 23. Pöyryn kalatien alaosa ja sisäänkäynnin sijainti (Kamula ym. 1992).

Siika

Ennen kalatien rakentamista, vuosina 1981-87, tehtiin Pöyryn padon alapuolella koekalastuksia. Vuonna 1981 saatiin saaliiksi 9 kg siikaa, muina vuosina siikoja ei tavattu. Tutkimuksen aikana Pöyryn kalatiessä ei ole havaittu siikoja. Jokisuulla siikasaaliit olivat melko normaalit, vaikka pyyntiä jonkun verran häytti kuivuus vuonna 1990 ja tulva vuonna 1991. Vaikuttaa todennäköiseltä, että syyssiika nousee vain satunnaisesti ja hyvien olosuhteiden vallitessa Pöyryn padolle saakka. Muulloin se kutee joen alemmissa koskissa.

Nahkiainen

Nahkiaissaaliit kalatien eri osista olivat pieniä. Ne kuitenkin kasvoivat vuosittain, ja saaliin painopiste siirtyi voimalaitoksen alakanavasta luonnonmukaisen kalatieosuuden yläosaan (Kamula ym. 1992). Osa heikosta saaliista selittyy joen poikkeuksellisilla virtausolosuhteilla.

Satoja nahkiaisia nousi tutkimuksen aikana alemmasta, kolme allasta käsittäneestä kalatieosuudesta, jonka pituus oli 10 metriä. Tämän osuuden pystyrakojen virtausnopeudet olivat yleensä 1,2-1,5 m/s. Luonnonmukaisella osuudella olleen seitsemän pohjapadon uintiväylillä virtausnopeudet olivat 1,1-1,5 m/s. Nopeus ei ollut nahkiaisille liian suuri, vaikka usein niiden havaittiin uivan altaasta toiseen pääreitin viereen muodostuneiden pikkupurojen kautta. Ylemmässä betonisessa kalatieosuudessa nahkiaisesta tehtiin vain satunnaisia havain- toja. Siellä pystyrakojen virtausnopeudet olivat tutki- muksen alkaessa lähes 3 m/s ja myöhemmin 1,5-2,5 m/s.

Muut kalat

Pöyryn kalatien altaissa oli kesäisin runsaasti särkeä ja salakkaa. Virtauksen mukana särkikaloja ajautui välisei- nien ja kourun seinämien välisiin rakoihin. Särkikalat joutuivat herkästi myös kivien ja rakenteiden välisiin koloihin, kun kalatiessä kokeiltiin kiveämisen vaikutusta kalojen nousuun.

Lahnaa ja ahventa alkoi nousta kalaportaaseen toisena tutkimuskesänä, kun altaita oli lyhennetty ja virtaus- nopeudet olivat 1,5 m/s (Kamula ym. 1992). Lahnoja nousi kahtena seurantakesänä kymmenittäin kalaportaan ylimmässä altaassa sijainneeseen pyydykseen. Ahvenia saatiin eniten keskikesällä. Vielä syyskuussa niitä liikkui kalatiessä, mutta lokakuussa ahvenia saatiin enää jokiuomasta.

5.4 Viitasaaren Kärnänkoski

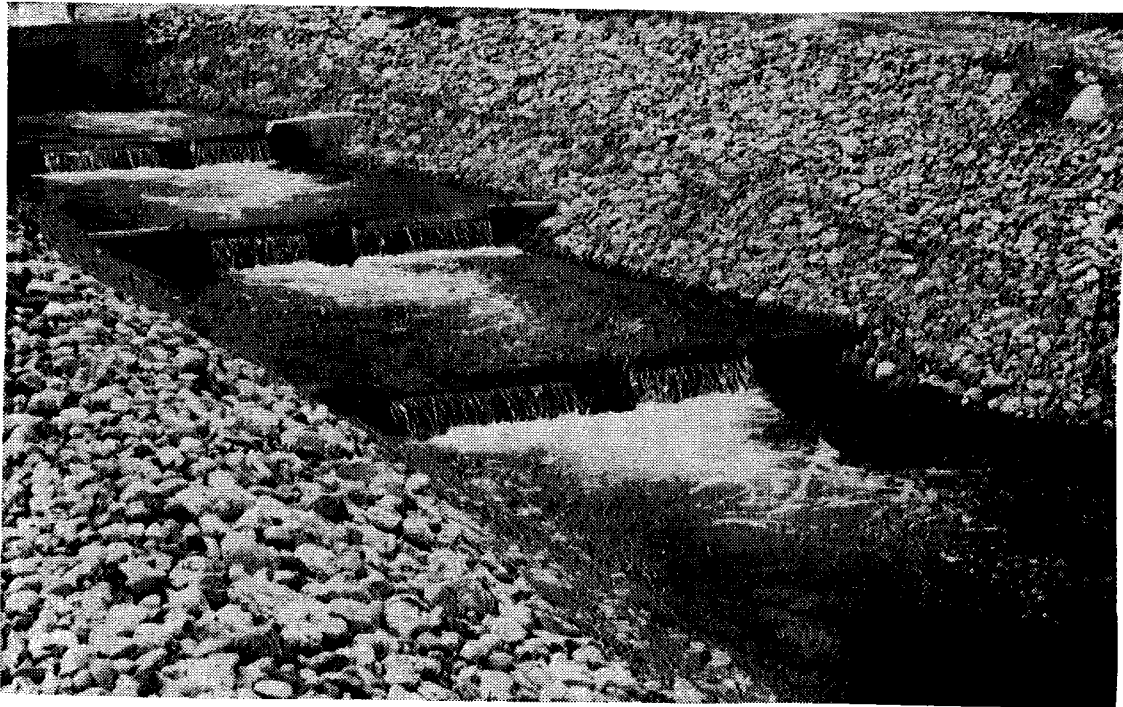
Vuosina 1953-54 rakennettu Kärnänkosken vesivoimalaitos sijaitsee Keski-Suomessa Viitasaaren reitillä. Laitoksen putouskorkeus on 4,5 metriä ja rakennusvirtaama 16 m³/s. Vesistöissä tavataan mm. järvitaimenta, harjusta, siikaa, haukea, ahventa, madetta ja säynettä (*Leuciscus idus*). Vesistöalueella on runsaasti taimenen lisääntymiseen soveltuvia alueita.

5.4.1 Kärnänkosken kalatie

Vuonna 1989 Kärnänkosken voimalaitoksen yhteyteen raken- nettiin kalatie lähinnä taimenen vaellusta turvaamaan. Kalatien alaosa on luonnonmukaista koskea (kuva 24) ja yläosan muodostaa ylisyöksytyyppinen kalatieosuus (kuva 25). Sen uoma on verhoiltu kivillä ja väliseinät valettu betonista.

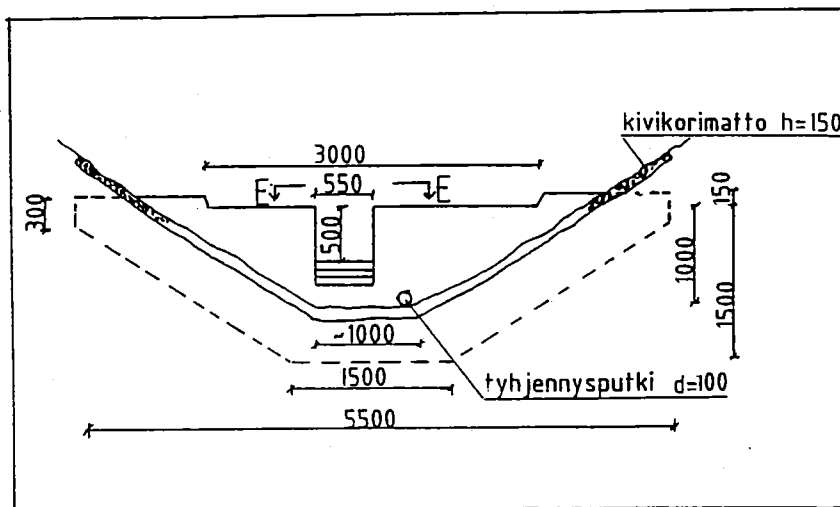


Kuva 24. Kärnänkosken kalatien luonnonmukainen koskiosuus tulva-aikana (Laine ym. 1991a).



Kuva 25. Kärnänkosken ylempi kalatieosuus (Laine ym. 1991a).

Ylemmässä kalatieosuudessa on seitsemän poikkileikkaukseltaan puolisuunnikkaan muotoista allasta, joiden pituus on 5-8 m ja leveys pinnassa 4-5 m. Vesisyvyys altaan keskiosissa on noin 1 m. Väliseinissä olevien nousuaukkojen leveys on 55 cm ja korkeus 50 cm. Aukon korkeus on säädettävissä. Nousuaukon molemmin puolin on ylisyöksykynnys, jonka kautta osa vedestä putoaa alapuoliseen altaaseen (kuva 26). Altaat ovat suuria, ja niissä on runsaasti rauhallisia oleskelualueita. Putouserot olivat tutkimuksen aikana alinta väliseinää lukuunottamatta 0,35-0,40 m ja aukkonopeudet 1,2-2,0 m/s.



Kuva 26. Kärnänkosken kalatien altaan poikkileikkaus ja väliseinän rakenne (Laine ym. 1991a).

Luonnonmukaisessa koskessa on voimalan ollessa käynnissä sama virtaama kuin yläpuolisessa kalatieosuudessa, noin $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Voimalan ollessa suljettuna osa vedestä johdetaan alapuoliseen koskeen tulva-aukkojen kautta. Tarkemmin tutkimusaluetta on kuvattu Kärnänkosken kalatien seurantaraportissa (Laine ym. 1990).

5.4.2 Kalaseuranta ja sen tulokset

Kalatiessä tehtiin virtausolosuhteisiin liittyviä selvityksiä ja nousevien kalojen seuranta vuosina 1989-90. Kalat pyydystettiin kalatien yläosan nousuaukkoon kiinnitettyyn pyydykseen. Ne vapautettiin voimalaitoksen yläkanavaan. Seurannan aikana Kärnänkosken kalatien kautta nousi runsaasti taimenia, ahvenia, särkiä ja sii-koja sekä jokunen lohi ja harjus.

Taimen ja lohi

Taimenet käyttivät kalatietä kaikkina vuorokaudenaikoina (Laine ym. 1990a, 1991a), mutta yleensä seuranta tehtiin vain päivisin. Syksyllä 1989 kalatien pyydyksestä saatiin 64 taimenta, vuoden 1990 seurannan aikana 85 taimenta (Laine ym. 1990a, 1991a). Myös yksi nuori järvilohi (25 cm) saatiin pyydyksestä. Nousevia taimenia saatiin eniten touko-kesäkuussa (taulukko 3) veden lämpötilan ollessa 10-15°C. Parhaana nousuaikana kalatien virtaama oli 0,85 m³/s, ja osa vedestä purkautui väliseinien yli. Taimenet nousivat altaasta toiseen aukon kautta uimalla. Taimenmäärät olivat pienet keskikesällä, kun veden lämpötila oli yli 15°C, yläpuolisen Kolimajärven vesipinta oli alhaalla ja voimalaitos toimi vajaalla teholla.

Taulukko 3. Kärnänkosken kalatien pyydyksestä saadut kalat (kpl) vuoden 1990 seurannan aikana sekä pyyntijakson keskimääräinen veden lämpötila (°C).

Jakso	°C	Lohi	Taimen	Siika	Ahven
15.-31.5.	9,5	2	21	9	9
1.-15.6.	12,9	1	16	62	73
16.-30.6.	14,4	-	6	6	47
1.-15.7.	16,7	-	3	-	21
16.-31.7.	17,4	-	1	-	62
1.-15.8.	18,2	-	3	-	90
16.-31.8.	15,9	-	5	-	113
1.-15.9.	12,5	-	4	-	34
16.-30.9.	8,6	-	7	-	2
1.-15.10.	5,7	-	15	-	-
16.-31.10.	3,4	-	4	-	-
1.-15.11.	1,4	-	-	-	-

Muut kalat

Kalatien pyydykseen nousi seurannan aikana 77 siikaa, joiden pituus oli 10-40 cm. Suurin osa siioista oli pituudeltaan 20-30 cm. Siikoja saatiin pyydyksestä toukuun puolivälistä kesäkuun loppuun, kun veden lämpötila oli 10-15°C. Lämpötilan ollessa 12-13°C siian nousussa oli selvä huippu (taulukko 3). Pienimmät siiat joutuivat syöksymään nousuaukoista nopeudella 12-20 L/s. Suurimmat siiat kykenivät käyttämään pituuteensa nähden selvästi pienempiä nopeuksia (5-8 L/s).

Ahvenen nousuhuippu ajoittui kesä-elokuulle (taulukko 3). Parhaana nousuaikana veden lämpötila oli 15-18°C. Syyskuun loppupuolella ahvenet katosivat veden lämpötilan laskettua 10°C:n tuntumaan. Särkiä ei seurannan aikana laskettu.

5.5 Tornionjoen Kukkolankoski

Tornionjoki muodostaa yhdessä Muonionjoen ja Könkämäenon kanssa noin 500 km pitkän Suomen ja Ruotsin välisen rajajoen (ks. kuva 14). Tenojoen ohella se on maamme ainoita suhteellisen luonnontilaisina säilyneitä suuria jokia. Jokeen nousee runsaasti vaellussiikaa ja jonkin verran merilohta ja -taimenta. Alajuoksun koskissa merkittävä kalastusmenetelmä on vaellussiian lippoaminen.

5.5.1 Kukkolankoskella tehty tutkimus

Tornionjoen parhaat lipposaalit saadaan Kukkolankoskestä, joka sijaitsee noin 30 km jokisuusta. Vaellussiian uimiseen liittyvä tutkimus aloitettiin Tornionjoessa vuonna 1984, jolloin mitattiin siivikolla virtausnopeuksia vaellussiian uintireiteillä ja kartoitettiin muita siian uintiin vaikuttavia tekijöitä Kukkolankoskella ja ylempänä jokivarressa sijaitsevalla Matkakoskella (Heikkilä & Tolonen 1985).

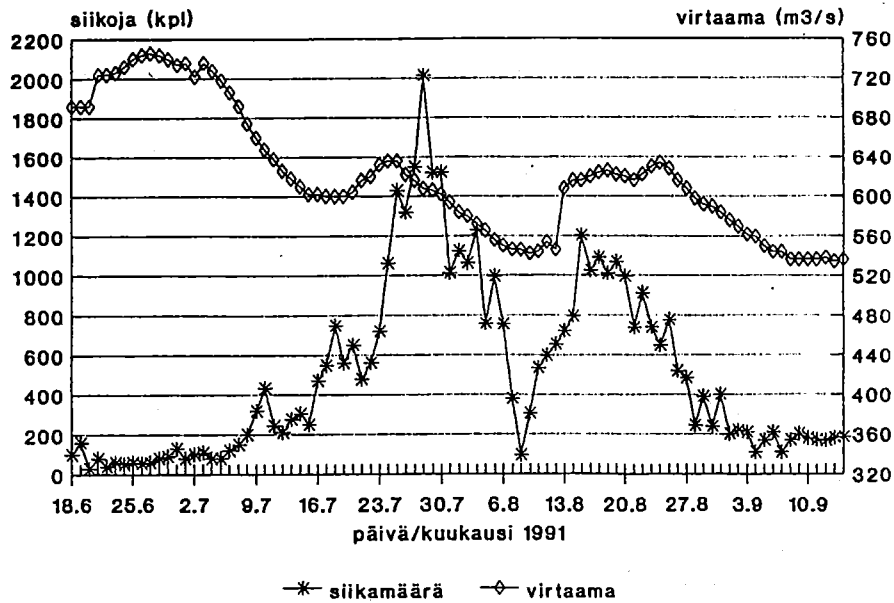
Myöhemmin Kukkolankoskella kehiteltiin vedenalaista videokuvausta (Heikkilä & Ylinärä 1988a) ja kalatie-tutkimusta palvelevaa havainto- ja mittaustekniikkaa (Heikkilä & Ylinärä 1988b, Hooli ym. 1989, Ylinärä 1992). Mittaustekniikkaa käsittelevä pro gradu -tutkielma on tehty Oulun yliopiston biofysiikan laitokselle (Ylinärä 1989).

Vuosina 1991-92 kerättiin tietoa Kukkolankosken vuorokautisista vaellussiikasaaliista ja ympäristömuuttujista, joilla voi olla vaikutusta siian nousuun (Ylinärä 1992).

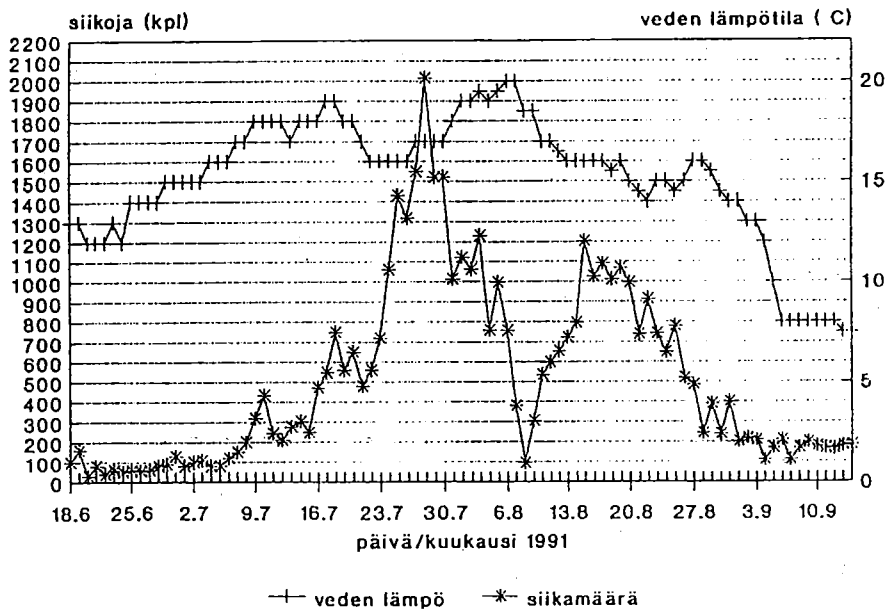
5.5.2 Siian uiminen luonnonkoskessa

Vaellussiialla on koskessa tietyt uintireitit, joiden kostepaikoissa se levähtää. Lippoaminen perustuu kalan nousureittien ja levähdyspaikkojen tuntemiseen. Siika levähtää koskessa uidessaan suhteellisen tasaisin välein. Sen nousureitti muuttuu vedenkorkeuden mukaan. Lippoamisen ja videokuvien perusteella uintietäisyys pohjasta on 5-30 cm, mutta myrskyn tai tulvan samentamassa vedessä siika voi uida korkeammalla (Ylinärä 1992). Nousureittiä ei määrää etäisyys rannasta.

Tärkeimmät siian nousuvaellukseen vaikuttavat ympäristömuuttujat ovat joen virtaama ja veden lämpötila (Ylinärä 1992, kuvat 27 ja 28). Poikkeukselliset olosuhteet, kuten pieni virtaama yhdessä korkean veden lämpötilan kanssa voivat estää siian nousun joessa. Siian on todettu välttävän uimista heikossa valaistuksessa tai hyvin kirkaassa valossa. Näin tulva tai kova tuuli voivat rajoittaa siian uintia, kun ne samentavat veden (Ylinärä 1992).



Kuva 27. Siikasaalis ja virtaama Kukkolankoskella vuonna 1991 (Ylinärä 1992).



Kuva 28. Siikasaalis ja veden lämpötila Kukkolankoskella vuonna 1991 (Ylinärä 1992).

Luonnonreitillä siika vaatii vettä vähintään 1,1-1,3 metriä. Vaikka Kukkolankosken Suomen puoleisella rannalla siika ui ja levähtää kohtalaisen matalassa vedessä, lipotaan Ruotsin puolella siikaa jopa neljän metrin syvyydestä (Heikkilä & Tolonen 1985). Siian levähdysalueiden nopeudet vaihtelevat mittauksen mukaan välillä 0,05-0,35 m/s (korkeintaan 1 L/s). Levähdysalueilta otetuissa videokuvissa havaittiin veden pyörteisyyttä sekä ilmapölyjen että kalojen käyttäytymisen perusteella.

Sellaisella levähdysalueella, jossa virtaus ei ollut selvästi pyörteistä, kalat saattoivat olla paikallaan suhteellisen rauhallisesti (Heikkilä & Ylinäjä 1988a). Pyörteisessä virrassa kalat eivät asettuneet kunnolla levähtämään. Ne leijuivat samaan tapaan kuin Keminmaan kalatiemallin altaissa. Kalat tekivät myös sivusuuntaisia liikkeitä. Luonnonkoskessa levähtäessään siikojen ei havaittu kääntyvän alavirtaan.

Siian uintireitin matkauinnin alueella virtausnopeudet olivat 0,30-0,75 m/s (1-2 L/s) ja pitkäkestoista uintia tai syöksyä vaativilla alueilla 0,65-2,0 m/s (2-7 L/s, Heikkilä & Ylinäjä 1988). Uintireiteillä nopeudet olivat suhteellisen tasaisia (Heikkilä & Tolonen 1985). Siian kulloinkin valitseman uintireitin vesisyvyyteen vaikuttaa valoisuus, näkyvyys vedessä ja ehkä myös lämpötila. Pilvisellä säällä siika ui lähempänä rantaa kuin aurinkoisella säällä (Ylinäjä 1992).

Tutkimuksen aikana mitattiin luonnonkoskessa vaellussiian fysiologisia rasitusvasteita. Virrasta nostettujen kalojen alhainen punasolujen keskihemoglobiinipitoisuus (MCHC) ja korkea plasman laktaattipitoisuus osoittivat verraten voimakasta lyhytaikaista uintirasitusta. Pitoisuudet olivat kuitenkin selvästi alle läkähtymistason. Selviä pitkäaikaisen rasituksen merkkejä virrasta nostetuilla kaloilla ei ilmennyt (Virtanen 1984).

6. KALOJEN KÄYTTÄYTYMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT KALATIEN ERI OSISSA JA ERILAISISSA KALATEISSÄ

6.1 L ä h e s t y m i s a l u e j a s i s ä ä n - k ä y n t i

6.1.1 Kalojen uiminen kalatien lähestymisalueella

Virtaavassa vedessä vaeltaessaan kalat uivat alueilla, joilla virtausnopeus on suuri, mutta kuitenkin alittaa kalan kriittisen nopeuden. Voimalaitosten alapuolella varsinkin lohi nousee niin pitkälle kuin pääsee turpiinien ja patoluukkujen luo (Brofeldt 1948). Lohelle

virtausnopeuden yläraja on 2,4-2,5 m/s, vaikka lyhyemmillä matkoilla se kestää huomattavasti suurempia nopeuksia (Antonnikov 1964). Columbiajoella kuningaslohet hakivat aktiivisesti kulkuväyliä patojen alapuolella alueilla, joilla veden nopeus oli jopa 5,7 m/s, kun kalatiestä tulevan virtauksen nopeus oli samanaikaisesti 1,5-2,7 m/s (Johnson 1981).

Uintikyvyltään lohta huomattavasti heikommat kalat, kuten hauki, ahven, silli- ja särkikalat nousevat enimmäkseen rantojen lähellä virtausnopeudessa, joka on enintään 1,0-1,2 m/s (Antonnikov 1964). Inarin Kirakkakönkäällä turpiinien kautta tuleva virtaama oli pieni, ja alakanavan virtausnopeudet olivat alle 0,7 m/s (Laine 1990). Molempien koneiden käydessä siikoja ja muikkuja oli rantavedessä ja keskellä väylää, pohjan tuntumassa ja lähellä pintaa, eikä niillä ollut erityisiä kerääntymisalueita. Kun voimala suljettiin, tai vain toinen koneista oli toiminnassa, kalat poistuivat vähitellen alakanavasta.

Keminmaan pienoismallikalatiestä viereiseen poukamaan johdettu virtaus ei houkutellut poukamaan tuotuja lohia kalatiehen tai sen sualueelle. Taimenet kävivät usein sisäänkäynnin lähellä (Herva 1986). Houkutusvirran nopeus pinnan tuntumassa oli 1,0 m/s, 30 cm syvyydessä vain 0,1 m/s. Vesivirta, jolla yritettiin saada aikaan kalatiehen kuuluva lähestymisalue, ei riittänyt herättämään kalan virtahakuisuutta (Alaperä 1986, Herva 1987). Kun kalatiemallin alimmat altaat poistettiin ja vesi purkautui ulos leveänä putouksena, yksi taimenista hyppäsi kalatiehen ja ui sen ylös asti (Herva 1986). Sekä Kirakkakönkään että Keminmaan havainnot osoittavat, että virtaamaton tai heikosti virtaava vesi ei voi toimia kalatien lähestymisalueena.

Kalatien lähestymisalueelle muodostuvissa suurissa pyörteissä kalojen nousun tiedetään hidastuvan. Syynä on se, että kalat menettävät näissä orientoitumiskykynsä ja alkavat kulkea ympyrää. Virtahakuinen kala ui aina vastavirtaan, vaikka sen suunta olisi päinvastainen kuin joen virtaus. Puhutaan hydrodynaamisista pyydyksistä, joihin joutuessaan kalat keskeyttävät määrätietoisien etenemisensä ja pysähtyvät (Mantejfel ym. 1978, Pavlov & Pahorukov 1983).

Hyvällä kalatien lähestymisalueella virtaus on selkeä ja se johdattelee kalan viivytyksittä kalatietä kohti ja sisälle kalatiehen. Virtausnopeudet ovat kalan uintikyvyn rajoissa. Lohia varten nopeudet ovat suuremmat kuin sisävesikaloja tai pohjakaloja varten. Lähestymisalueen nopeuksia suunniteltaessa voidaan apuna käyttää eri kokoisille kaloille laskettuja uintimatkoja eri virtausnopeuksissa (kuvat 5 ja 6).

6.1.2 Sisäänkäynnin sijainti

Koska kalat nousevat ylävirtaan lähes poikkeuksetta päävirrassa, on kalatien sisäänkäynti sijoitettava uomaan, jossa päävirtaus kalan nousuaikana on. Kalatien sisäänkäyntiä sijoitettaessa huomioon on otettava uoman poikkeileikkaus, virtauksen mutkittelu, virtausreitit, suuren nopeuden alueet ja pyörteisyys (Katopodis 1981). Kun voimalaitosjoessa koneasema ja tulvaluukut ovat samassa padossa, kalatien suun sijoituspaikka on koneaseman puoleisella rannalla tai koneaseman ja tulvapadon välissä, koska pääosa vedestä tai koko virtaama ohjataan koneaseman kautta (Herva 1981).

Sisäänkäynnin tulee aina olla tarpeeksi lähellä päävirtausta niin, että virtaa seuraavat kalat joutuvat kalatien suulle. Parhaiten kalat joutuvat sisäänkäynnin lähelle, kun se sijoitetaan välittömästi padon tai muun nousuesteen juurelle. Mikäli nousueste on vinottain virrassa, paras sisäänkäynnin paikka on padon yläpäässä, koska pato suuntaa kalojen nousua.

Joissakin tapauksissa esteen alapuolella on liian voimakas virtausnopeus tai liiallista pyörteisyyttä, joka saa aikaan kalojen kerääntymisen tietyille alueille. Tällainen kerääntymisalue, joka sijaitsee yleensä jommalla kummalla rannalla, on hyvä paikka kalatien sisäänkäynnille. Mikäli erityisiä kerääntymisalueita ei ole ja nopeudet ovat tasaisia koko uomassa, on suositeltavaa rakentaa koko virran levyinen sisäänkäynti. Kalojen houkuttelemisesta kalatiehen voidaan huolehtia erilaisilla järjestelyillä, kuten keräilykanavilla useine suuaukkoi-neen.

6.1.3 Kalojen houkutteleminen kalatiehen

Kaloja voidaan johdattaa kalatien sisäänkäyntiin lähestymisalueen rantoja tai pohjaa muotoilemalla, mutta yleisemmin kaloja johdatellaan virtauksen avulla. Jos padossa on tulva-aukkoja, voidaan käyttää sellaista virtausmallia, jossa optimaaliset nopeudet ovat kalatien sisäänkäynnin kohdalla. Kun uoman nopeudet ovat kalan uinnin kannalta liian suuria, voidaan pienin nopeus sijoittaa sisäänkäynnin kohdalle ja suurin nopeus vastakkaiselle rannalle (Katopodis 1981). Kun lähestymisalueella nopeudet ovat pieniä, on kalatiestä tulevaa virtaamaa voimistettava ja kalaa harhaan johtavat virtaukset poistettava (Eicher 1973). Kaloja houkuttelevien virtausten sijainnin on vastattava kalojen esiintymissyvyyttä.

Turpiineista ja tulva-aukoista tuleva virtaama ei saa peittää kalatiestä tulevaa virtaamaa. Ala-Tuloman kalatien sisäänkäynti oli suunnattu miltei kohtisuoraan

alakanavan virtaan. Kalat eivät havainneet kalatien virtaamaa riittävän hyvin (Pavlov & Pahorukov 1978). Samanlainen tilanne vallitsi Pöyryn kalatiessä ennen sisäänkäynnin paikan muuttamista. Kirakkakönkäällä alavirtaan olevat sisäänkäynnit osoittautuivat parhaiksi (Laine 1990). Antonnikovin (1964) mukaan veden tulisi purkautua sisäänkäynnistä 22-25 asteen kulmassa päävirtaan nähden.

Virtauksen lisäksi kaloja voidaan houkutellessa kalatiehen erilaisilla ärsykkeillä. Koska putoavan veden ääni houkuttelee kaloja, voidaan sisäänkäynnin yhteyteen tarvittaessa järjestää keinotekoinen putous. Pinta- ja väli-vesikalojen nousumahdollisuuksia parantavat erilaiset nähtävät kiintopisteet. Pohjakaloille voidaan muodostaa mahdollisimman luonnollinen karkea pohja, joka virtauksen ohella johdattaa kalat kalatien sisäänkäyntiin.

Hepojoki ja Rytönen (1988) ovat esitelleet Yhdysvalloissa käynnistynyttä tutkimusta kalan kulun ohjaamisesta voimalaitosten alapuolella. Alustavat tulokset ovat osoittaneet, että useimmiten lohensukuisille kaloille kalatien suulle sijoitettu elohopealamppu toimii houkuttelevana ärsykkeenä. Merkitystä oli valon sijainnilla ja suuntaamisella sekä valaistusrytmillä.

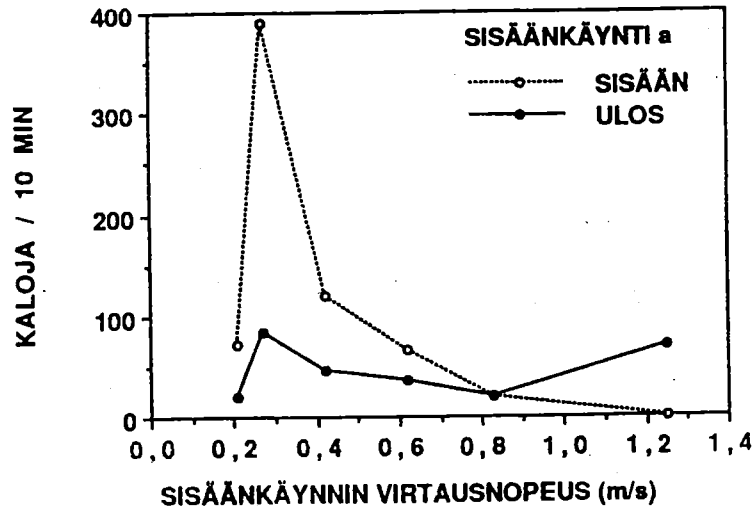
Kaloja voidaan houkutellessa myös kemiallisilla ja akustisilla houkuttimilla tai suunnata niiden uimista esimerkiksi sähköisillä ohjainajodoilla (Andrew & Geen 1960). Näiden toiminnasta ei kuitenkaan ole riittävästi hyviä kokemuksia.

6.1.4 Sisäänkäynnin virtausolosuhteet

Se kuinka tehokkaasti kalatiestä tuleva vesi houkuttelee kaloja sisälle, riippuu virran suuntaamisen lisäksi kalatien suuaukon virtausnopeudesta ja virtaaman suuruudesta suhteessa nousuesteen läpi tai yli tulevan veden määrään ja nopeuteen (Katopodis 1981). Nopeuksien on oltava tarpeeksi suuret herättämään kalassa nousuvire.

Houkuttelevan virran optiminopeus riippuu kalalajista ja liittyy kalojen fysiologiseen tilaan (Mantejfel ym. 1978). Virtauksen on oltava tasaista niin, että ei synny liian hitaan nopeuden alueita tai alueita, joilla vesi ei virtaa lainkaan (White & Pennino 1980). Sisäänkäynnin parhaaksi virtausnopeudeksi on esitetty vaelluskaloille 1,0-2,4 m/s ja makean veden kaloille n. 1,0 m/s (Clay 1961, Katopodis 1981). Tuloma- ja Kegum-joissa sammet (*Acipenser* sp.), siiat, ahven, lahna, sillit ja useat muut kalat nousivat vaikeuksista kalatiehen, jos suuaukon nopeus oli 2,0-2,5 m/s ja virtaus hajaantui sisäänkäynnin alapuolelle (Antonnikov 1964). Inarin Kirakkakönkäällä nousi selvästi eniten pieniä siikoja ja muikkuja kalatie-

mallin suuaukon virtausnopeuden ollessa 0,3 m/s (kuva 29). Kun nopeus oli 1,2 m/s, ei kaloja noussut. Alakanavasta puuttuivat isot vaelluskalat, jotka olisivat nousseet parhaiten suuremmissa nopeuksissa.



Kuva 29. Kalojen liikkuminen Kirakkakönkään kalatien altaan ja alakanavan välillä erilaisissa virtausnopeuksissa tehtyjen 10 minuutin pituisten koejaksojen aikana (Laine 1990).

Kun Ala-Tulomassa vesi oli matalalla, suuaukon virtausnopeus oli 1,1-1,5 m/s, ja lohet uivat usein kalaportaaseen (Pavlov & Pahorukov 1978). Vedenpinnan noustessa nopeudet pienenevät. Nopeuksien ollessa 0-0,5 m/s lohet eivät lähteneet kalatiehen. Siikajoen Pöyryn kalatiellä havaittiin ensimmäisenä tutkimuskesänä samanlainen tilanne. Miltei kaikki taimenet nousivat silloin, kun alaveden pinta oli poikkeuksellisen alhaalla, ja sisäänkäynnin virtausnopeudet olivat suuremmat kuin normaalivesitilanteessa (Kamula ym. 1992).

6.2 Allastyypiset ja pystyrakokalatiet

6.2.1 Kalatien mitoitus

Kalojen uimisen kannalta on tärkeää, että kalateissä on riittävästi tilaa ja vesisyvyyttä, altaiden virtausolosuhteet ovat kunnolliset, eivätkä nousuaukkojen virtausnopeudet ole liian suuria. Altaiden mitoitukselle on erilaisia ohjeita. Usein ne on laadittu hydraulisin perustein. Joskus kalatiessä liikkuvien kalojen parvet ovat niin suuria, että ne asettavat omat vaatimuksensa altaiden koolle.

Sisävesikalaille suunniteltujen pienten allastyypisten kalateiden allaskoko on 1,85 m x 2,45 m x 0,75 m (Conrad & Jansen 1983). Clayn (1961) mukaan esimerkiksi taimenta varten tehdyn kalatien altaiden minimimitat ovat 1,5 m x 1,2 m x 0,6 m. Mitä suurempia altaat ovat, ja mitä pienempi on niiden välinen putous, sitä tehokkaampi kalatie on (Stuart 1962). Antonnikov (1964) suosittelee altaiden leveydeksi 3-3,5 m, pituudeksi 2-2,5 m ja syvyydeksi 1,5-1,75 m.

Virtaama tulee määrittää riittävän suureksi, niin että kalatien sisäänkäynti on helposti havaittavissa. Kalatien altaiden tulee olla riittävän syviä, jotta veden liiallinen pyörteisyys vältetään ja tarpeeksi pitkiä, jotta väliseinien kohdalle ei synny voimakkaita pyörteitä (Everhart ym. 1975).

Skotlannissa kalatien allas mitoitetaan siten, että sen tilavuus on 30 sekunnissa virtaavan vesimäärän tilavuus (Herva 1982). Ranskassa energian häviämistä altaissa arvioidaan Larinierin (1983) esittämällä kaavalla:

$P/V = (9810 \times Q \times dH) / (L \times B \times D)$, jossa

Q	= virtaama	(m ³ /s)
dH	= putouskorkeus	(m)
L	= altaan pituus	(m)
B	= altaan leveys	(m)
D	= altaan vesisyvyys	(m)

Makean veden kalalajeille suositellaan tehon ja vesitilavuuden (P/V) suhteeksi enintään 150 W/m³. Se saavutetaan esimerkiksi tilanteessa, jossa altaiden välinen putousoero on 0,20 m, altaan pituus 2,0 m, altaan leveys 1,6 m, aukon leveys 0,20 m, kynnyksen korkeus 0,10 m ja pohjan kaltevuus 1:10 (Katopodis 1981). Lohikalaille tehon ja tilavuuden suhde saa Katopodiksen (1981) mukaan olla 200 W/m³. Pöyryn kalatiessä energian häviäminen oli tutkimuksen alkaessa heikkoa. Tehon ja tilavuuden suhde oli joissakin altaissa kymmenkertainen suositukseen nähden. Aukkojen uudella sijoittelulla, virtauksen ohjaimilla sekä altaiden lyhentämisellä arvot saatiin lähemmäksi suosituksia (Laine ym. 1991b, Kamula ym. 1992). Kirakkakönkään kalatiemallissa pienet sisävesikalat välttivät oleskelua altaissa, joissa energian häviäminen oli heikkoa.

Kalatien nousuaukon minimileveydeksi on lohelle ja meritaimenelle esitetty 30-40 cm (Clay 1961, Conrad & Jansen 1983), siioille ja sisävesikalaille 20 cm (Conrad & Jansen 1983). Epätarkkuudet aukkojen ja altaiden koossa saavat aikaan poikkeavia putouksia ja virtausnopeuksia (Kamula ym. 1992).

6.2.2 Virtaama ja virtausnopeudet

Usein kalateissa käytetään virtaamaa 0,5-1,0 m³/s. Eniten merkitystä virtaaman suuruudella on kalatien lähestymisalueella ja sisäänkäynnissä. Kalatien sisällä virtaaman suuruus ei välttämättä vaikuta kalojen uimiseen. Kirakkakönkällä altaat olivat pienet, ja virtaaman kasvaessa putousero alimman varsinaisen altaan ja ala-altaan välillä kasvoi. Energian häviämistä kuvaava tehon ja tilavuuden suhde altaissa kasvoi ja yleensä myös levähdysalueiden nopeudet kasvoivat (Laine 1990, taulukko 1). Näin etenkin pienten sisävesikalojen oleskelu altaissa ja liikkuminen altaasta toiseen vaikeutui. Isot taimenet liikkuvat yhtä hyvin niin pienissä kuin suurissa virtaamisissa.

Whiten ja Penninon (1980) mukaan virtausnopeus ei missään lohille tarkoitetun kalatien kohdassa saa ylittää nopeutta 2,4 m/s. Makean veden kaloille on virtausnopeuden maksimiksi esitetty 1,5 m/s (Everthart ym. 1975, White & Pennino 1980, Katopodis 1981). Kirakkakönkällä pieniä siikoja ja muikkuja nousi eniten putousten ollessa 0,10-0,15 m, jolloin virtausnopeudet olivat enintään 1,4-1,5 m/s. Itäkosken pystyrakokalatiessa Sälevässä siikojen on havaittu nousseen kymmenkunta allasta nopeuksien ollessa keskimäärin 1,6 m/s (1,1-2,3 m/s). Ylös asti siiat eivät tiettävästi ole nousseet (Koponen 1991).

Mikäli allastilavuus on riittävän suuri, voi altaiden välinen putousero olla suurempi kuin allastilavuuksiltaan pienemmässä kalatiessa, koska suurissa altaissa kaloilla on paremmat mahdollisuudet levätä ja toipua nousupyrahdyksistä. Kärnäkosken kalatiessa pienetkin siiat (10-20 cm) uivat 0,35-0,40 m putouksista, joissa virtausnopeudet olivat enimmillään 2,0 m/s. Myös Viannankosken kalatiessa altaat ovat suuria (3 x 3 x 2 m), eivätkä niiden väliset putoukset (0,18 m) tai aukkonopeudet (1,0-1,6 m/s) ole osoittautuneet siian (15-40 cm) nousulle esteeksi (Koponen 1991). Molemmat kalatiet ovat melko lyhyitä.

Kalateissa on otettava huomioon maksiminopeuksien ohella kalojen kynnysnopeudet. Kynnysnopeuksien huomiotta jättäminen oli yksi syy, miksi Fedorovskin kalannostolaite Kuban-joessa ei toiminut tyydyttävällä tavalla (Pavlov 1978). Kirakkakönkällä pieniä muikkuja ja siikoja nousi kalatiehen eniten, kun virtausnopeudet olivat 0,3 m/s. Tällainen nopeus ei kuitenkaan houkuttele suuria kaloja kalatiehen. Koska kalan uintikyky asettaa omat rajansa virtausnopeudelle kalatiessa, tulee kalalajin lisäksi ottaa huomioon kalan koko, nousuaikana vallitseva lämpötila sekä esteen etäisyys jokisuusta (Orsborn 1986).

6.2.3 Altaiden virtausolosuhteet

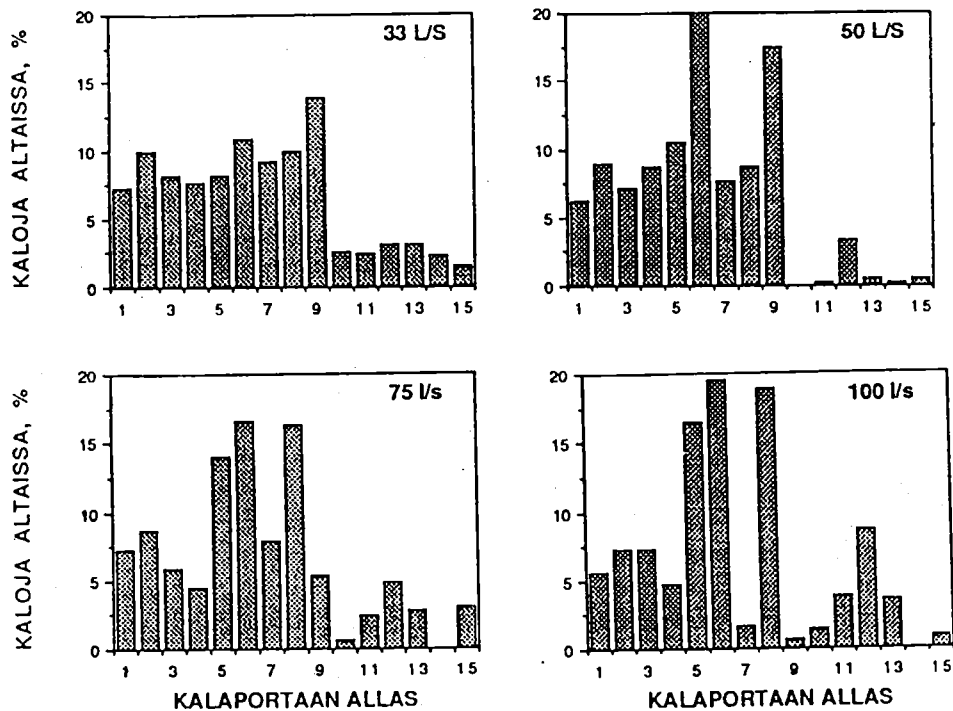
Kalojen mieluisin uintisyvyys vaihtelee lajin, kalan koon ja vuorokaudenajan mukaan (Stuart 1962). Tämän vuoksi kalatiessä on oltava tarpeeksi vettä uimista ja lepoa varten. Katopodiksen (1981) mukaan kalaportaan suositeltava vesisyvyys on 1,0 m ja vähän veden aikaan sallittava vähimmäisvesisyvyys 0,5 m. Riittävän vesisyvyyden lisäksi kalatiessä on oltava alueita, joiden virtausnopeudet ovat tarpeeksi pienet kalan lepäämistä varten.

Allastyyppisissä kalateissa on yleisesti käytetty erillisiä lepoaltaita 8-10 altaan välein (Aitken ym. 1966). Nykyisin altaisiin pyritään varaamaan niin paljon vesitilavuutusta, että nouseva kala voi levätä valitsemassaan kohdassa. Näin ei tarvita erillisiä lepoaltaita, jotka esimerkiksi Keminmaan ja Kirakkaköngkään kalatiemalleissa poikkeuksetta pysäyttivät kalan tai ainakin hidastivat huomattavasti sen nousua. Esimerkiksi Pitlochryn kalatiessä altaat ovat suuria ja niiden lisäksi on isoja lepoaltaita. Vastaavia ongelmia ei ole havaittu.

Vaelluskaloille suositellaan altaiden levähdysalueiden nopeuksiksi 0,15-0,60 m/s (Clay 1961) ja makean veden kaloille 0,15-0,30 m/s (Katopodis 1981). Sopiva nopeus riippuu kalan koosta. Inarin Kirakkaköngkään kalatiemallissa pienet siiat ja muikut kerääntyivät alueille, joiden nopeudet olivat 0,10-0,15 m/s. Ruumiinpituuksiksi muutettuna nopeudet vastasivat suunnilleen yhtä kalan pituutta sekunnissa (1 L/s). Luonnonkoskessa uineiden isojen vaellussiikojen levähdyspaikkojen nopeudet olivat pituuteen nähden suunnilleen samat (Heikkilä & Ylinärä 1988), samoin Kirakkaköngkään kalatiessä uineiden isojen taimenten käyttämien levähdysalueiden nopeudet (Laine 1990). Kirakkaköngkällä pienet kalat käyttivät isojen taimenten suosimia levähdysalueita oleskeluun vain silloin, kun muut alueet olivat täynnä. Pienten sisävesikaloiden keskipituuteen suhteutettuna näiden alueiden nopeudet olivat 2-4 L/s. Pienet kalat joutuivat ponnistelemaan näillä alueilla selvästi enemmän kuin parhailla levähdysalueillaan.

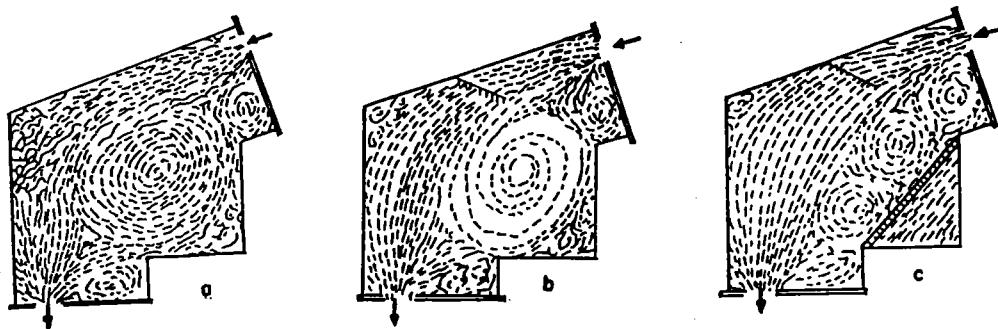
Jos kalatiessä ei ole sopivia levähdyspaikkoja, kalat lähtevät herkästi laskeutumaan etenkin yöllä. Jos levähdyspaikkoja kalatiessä on liikaa, tai jossain kalatien kohdassa nopeus vähenee äkillisesti, kalat lopettavat etenemisensä kunnes ne saavat voimakkaamman ärsyksen ylävirtaan (Orsborn 1986). Kirakkaköngkään kalatiemallissa muita altaita suurempi kulma-allas viivästytti isojen taimenten ja pienten sisävesikaloiden etenemistä (Laine 1990). Lohien kerääntymistä isojen ja syvien altaiden pohjaan on estetty pinnan lähelle sijoitetuilla teräslankaverkoilla (Collins & Elling 1960, Martin 1984).

Kirakkakönkään kalatiessä oli altaita, joissa oli keskimääräistä enemmän kaloja ja toisaalta altaita, joissa kaloja oli selvästi keskimääräistä vähemmän (kuva 30). Altaiden väliset erot korostuivat virtaaman kasvaessa. Kalat vähenivät altaista, joiden levähdysalueiden nopeudet sekä altaan tehon ja tilavuuden suhde kasvoivat virtaaman kasvaessa (Laine 1990, ks. myös taulukko 1). Altaan vesitilavuus ei ilmeisesti riittänyt vaimentamaan veden liike-energiaa suurilla virtaamilla yhtä hyvin kuin pienillä virtaamilla.



Kuva 30. Kalojen prosentuaalinen jakautuminen Kirakkakönkään kalatien altaisiin (1-15) eri virtaamissa (Laine 1990).

Ala-Tuloman ylivirtauskalatiessä lohien uintinopeus pieneni altaissa, joihin muodostui kiertovirtaus. Koska kalat eivät pystyneet kunnolla orientoitumaan, ne kadottivat yleisen liikkumissuuntansa. Joissakin altaissa kalat pysähtyivät tuntikausiksi, eräässä altaassa jopa useiksi päiviksi. Kun tällaisen altaan virtaustilaa muutettiin ristikolla ja ohjaavilla levyillä niin, että voimakas kiertovirtaus poistui, kalojen orientoitumisolot paranivat ja ne pääsivät jatkamaan matkaa viivytyksittä (kuva 31).



Kuva 31. Ala-Tuloman kalaportaan altaan nro 57 virtauskaavio ennen muutostöitä (a), ohjaavan ristikon rakentamisen jälkeen (b) ja aidan rakentamisen jälkeen (c, Pavlov & Pahorukov 1978).

Kalojen nousua voidaan jossain määrin nopeuttaa nousuaukkojen sijoittelulla. Jos kalatien aukot ovat suorassa linjassa, kalat uivat useiden altaiden läpi kerrallaan (Everhart ym. 1975). Sama havaittiin Keminmaan ja Kirakkakönkään kalatiemalleissa. Myös oppimisella on merkitystä kalojen nousukäyttäytymiseen. Erityisesti tämä näkyy allas- ja pystyrakokalateissa, jotka ovat yleensä pitkiä. Connor ym. (1964) ja Dominy (1973) ovat havainneet lohen ja harmaasillin etenemisnopeuden kasvavan mitä ylemmäksi kala kalatiessä eteni. Keminmaan kalatiemallisissa pienten taimenten nousu nopeutui matkan edetessä (Herva 1985). Myös Kirakkakönkään kalatiemallisissa taimenten, siikojen ja muikkujen uinti oli mallin yläosalla nopeampaa kuin alaosalla. Aikaisemmin kalatiessä uineet kalat etenivät uusintakokeissa selvästi nopeammin kuin ensimmäisillä uintikerroilla (Laine 1990).

Ala-Tuloman kalatiessä nousun tuloksellisuutta mitattiin tietyn altaan ohittaneiden kalojen osuudella kaikista altaaseen tulleista kaloista (Pavlov & Pahorukov 1978). Tuloksellisuus kalaportaan alemmissa osissa oli huono, ja esimerkiksi seitsemännen altaan ohitti vain 27 % kaikista altaaseen tulleista kaloista. Kalatien yläosiin siirryttäessä nousun tuloksellisuus parani, altaassa 15 se oli 74 % ja altaassa 57 peräti 94 %.

6.3 Denil - kalatiet

Denil-kalateitä on rakennettu yleensä pienten putousten yhteyteen, mutta Ruotsissa ja Yhdysvalloissa on myös yli 200 metriä pitkiä Denil-kalateitä. Virtausnopeudet ovat pieniä pohjalla ja kasvavat pintaa kohti. Tämän vuoksi kala kohtaa erilaisia nopeuksia uintisyvyydestä riippuen.

Koska kalan uintikyvyystä riippuu se, kuinka pitkän matkan se pystyy tietyssä nopeudessa etenemään, voidaan Denil-kalatiien pituutta tai kaltevuutta lisäämällä helposti estää pienikokoisten ja uintikyvyiltään heikkojen kalojen nousu esteen yläpuolelle.

Kalatiien pituudesta riippumatta virtausnopeudet eivät saa ylittää halutun kalalajin maksimaalista uintinopeutta tai uinnin kestoa tietyssä nopeudessa. Lohelle ja meritaimenelle on käytetty keskinopeuksina jopa 3 m/s (Beach 1984). Kanadalaisessa Fairfordin Denil-kalatiessä nopeudet olivat pinnan tuntumassa alle 1,5 m/s ja lähellä pohjaa keskimäärin 0,6-0,8 m/s (kuva 11). Virtaaman ja nopeuksien pienentäminen ei kasvattanut kalamäärää (Kato-podis ym. 1991), joten kalamäärät eivät ole suorassa suhteessa virtausnopeuteen.

Tack ja Fisher (1978) havaitsivat aikuisten pohjanharjusten nousevan paremmin suurissa virtausnopeuksissa, kun testattiin nopeuksia 0,4-0,8 m/s. Kaikissa kokeissa keskimäärin 80 % aikuisista harjuksista nousi. Vuoden vanhojen harjusten ryhmästä nousukalojen osuus oli keskimäärin vain 33 %. Parhaiten nuoret pohjanharjukset nousivat nopeuden ollessa 0,6 m/s.

Luvussa 3.3.2 esitettyjä virtausnopeuden ja kalan uintimatkan kuvaajia voi tietysti varauksin käyttää apuna Denil-kalateiden suunnittelussa. Kuvaajat on laskettu useiden eri kalalajien keskiarvona. Tämän vuoksi on otettava huomioon se, onko haluttu kalalaji keskimääräistä heikompi vai vahvempi uimari. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota virtauksen laatuun, nousuaikaiseen veden lämpötilaan, kutuajan läheisyyteen ja esteen etäisyyteen jokisuusta.

Denil-kalatiessä kalat eivät joitakin pienikokoisia yksilöitä lukuunottamatta pysty levähtämään (Schwalme ym. 1985). Tämän vuoksi pitkiin Denil-kalateihin on rakennettava lepoaltaita. Lohikaloille suositellaan lepoaltaita aina kahden nousumetrin jälkeen (Beach 1984). Kaltevuuden ollessa 1:5 on levähdysallas usein suositeltu tehtäväksi yhdeksän metrin välein, jotta kalat eivät rasittuisi liikaa. Liian pitkillä virtausosuuksilla pienikokoisimmat kalat karsiutuvat. Tanskassa 25 cm pituisen taimenen on havaittu nousseen 14 metriä kaltevuudeltaan 1:4 Denil-kalatiessä, jossa ei ollut lepoaltaita (Lonnebjerg 1990).

6.4 K a l a s u l u t

Skotlannissa lohet ovat nousseet hyvin Borland-kalateissä (Herva 1981). Ranskassa kalasulkujen pahimpana ongelmana on Larinierin (1990) mukaan ollut se, että kalat jäävät oleskelemaan sulkuun, eivätkä nouse yläveteen. Sama on-

gelma oli Inarin Kirakkakönkäälle rakennetussa Borland-kalatiemallissa. Paikalliset siiat ja muikut sekä paikalle kuljetetut aikuiset taimenet uivat halukkaasti alaltaasta sisälle Borland-kalastien pystykuiluun, mutta jäivät yleensä sen alaosiin. Virtaaman kasvattaminen ei muuttanut tilannetta (Laine 1986). Kuilun ja yläkanavan pimentäminen paransi jonkin verran nousun tuloksellisuutta.

Kirakkakönkäällä toinen ongelma oli se, että Borland-kalastien yläkanava oli käytettyyn vesimäärään nähden liian laaja. Sen virtausnopeudet vastasivat kalaportaan levähdysalueiden nopeuksia, joten pystykuiluun nousseet kalat jäivät sinne uiskentelemaan. Tilannetta ei parantanut virtaaman suurentaminen eikä väliseinien asentaminen yläkanavaan (Laine 1986).

6.5 Kalatien uloskäynti

6.5.1 Uloskäynnin sijainti

Mikäli yläveden vaihtelu on suuri, on suositeltavaa rakentaa kalatiehen useita vaihtoehtoisia uloskäyntejä, jotka toimivat eri vesikorkeuksilla. Uloskäynnin kohdalla tulee olla tarpeeksi vettä, eikä se saa sijaita liian lähellä vedenottojärjestelyjä, koska kalatiestä yläveteen uineet kalat voivat väsyneinä joutua voimakkaan virtauksen viemiksi (Everhart ym. 1975). Toisaalta uloskäynti ei saa sijaita liian etäällä esteestä, jotta laskeutuvat kalat löytävät sen (Beach 1984).

Virtauksen on oltava uloskäynnin kohdalla kalan kynnysnopeutta suurempi, koska vain tällöin se voi ohjata nousukaloja ylävirtaan ja laskeutuvia kaloja kalatiehen (Katopodis 1981). Kriittistä nopeutta virtaus ei saa ylittää.

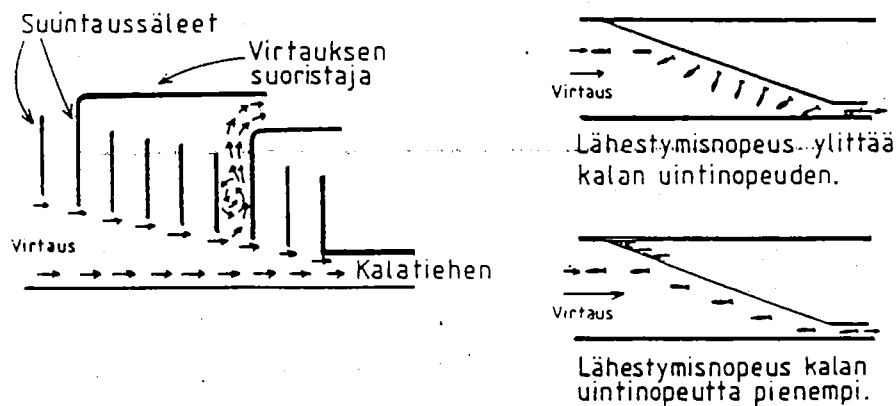
6.5.2 Laskeutuvien kalojen ohjaaminen

Usein laskeutumassa oleva parvi jää uimaan virtaa vastaan muutaman metrin etäisyydelle kalaportaan suusta osaamatta laskeutua sinne (Stuart 1962). Normaali negatiivinen reaktio ei ilmene, koska pohja on kalan näkökontaktin ulkopuolella ja kalatiehen vie vain vähäinen virta. Kun riittävät ohjaavat virikkeet puuttuvat, monet kalat löytävät kalatiehen ylävirran puolelta sattumalta. Orientoitumista voidaan jossain määrin parantaa tekopohjalla ja optisilla ärsykkeillä. Kokeet ovat osoittaneet, että tekopohjan ei tarvitse olla kiinteä, vaan kaloille kelpaa esimerkiksi rimarakennelma (Stuart 1962).

Laskeutuvien kalojen pääsy erilaisiin vedenottojärjestelmiin voidaan estää sulku- ja esteaidoilla. Jos virtaus esteen läpi ylittää kalan uintikyvyn, kala ei pääse poistumaan ylävirtaan, vaan puristuu kuoliaaksi estettä vasten. Sulkuaitojen tulisi ohjata kalat turvallisemmalle laskeutumisreitille sen sijaan, että ne kokonaan estävät kalojen laskeutumisen.

Alavirtaan vaeltavien kalojen ohjaamiseksi on kehitelty erilaisia ilmakuplaverhoja, valo- ja ääniesteitä sekä sähköisiä esteaitoja, joista edellä mainitut ovat useissa tapauksissa osoittautuneet tehottomiksi (Eicher 1973). Sähköiset esteetkään eivät välttämättä sovellu kalojen ohjaamiseen, koska smoltit uivat vesivoimalaitosten yläpuolella virran kuljettamina pyrstö alavirtaan (Stuart 1962). Jännite-erot kohdistuvat ensimmäiseksi kalan pyrstöön ja lamauttavat kalan uintikyvyn (Herva 1981). Viime vuosina Suomessa on kehitelty laskukalojen sähköisiä este- tai ohjainaitoja sellaisiksi, että kala säilyttää uintikyvynsä ja pystyy poistumaan esteen vaikutuspiiristä (Hepojoki & Rytkönen 1988). Kokemuksia on toistaiseksi vähän.

Vesivoimalaitosten yläkanavaan voidaan rakentaa esimerkiksi teräsverkosta yksinkertainen aita, joka ohjaa vaelluspoikaset kalatiehen. Ohjainrakenteiden tulee aina olla terävässä kulmassa uoman päävirtaukseen nähden. Suurissa uomissa nopeuksien ollessa 0,3-1,2 m/s kalojen ohjaamiseen voidaan käyttää suojaritilää tai säleikkösuuntaajaa (kuva 32). Suuntaajan ei tarvitse ulottua pohjaan, koska alasvaeltavien kalojen uintisyvyys on 0,5-1,5 metriä. Kalat pyristelevät suuntaajan aiheuttamaa sivuttaisvirtaa vastaan, ja joutuvat poistumisaukon nieluun, jonka nopeuden tulee olla 40 % suurempi kuin voimalaitosväylän nopeus (Bates & Vinsonhaler 1956). Näin ne joutuvat kalatiehen.



Kuva 32. Säleikkösuuntaaja (Hepojoki & Rytkönen 1988)

7. KALATIEN MERKITYS JA KALATIELLE ASETETTAVAT VAATI- MUKSET

7.1 Kalatien vaikutukset vesistöissä

Kalatien rakentaminen ei poista niitä ekologisia ja fysiokemiallisia vaikutuksia, joita vaelluseste vesistös-
sä aiheuttaa. Kalatiellä saadaan aikaan ainoastaan vael-
lusreitti kaloille. Vaellusesteiden rakentamisen lisäksi
muut kalojen elinympäristössä tapahtuneet muutokset kuten
veden laadun heikkeneminen, säännöstely ja kutupohjien
liettyminen heijastuvat herkästi kalastossa ja kalakan-
noissa. Kalatien rakentamisen ohella tarvitaan tuki-
toimia. Jokeen ja edelleen kalatiehen nousevien kalojen
määriin voidaan vaikuttaa kalakannan ja kalojen elin-
ympäristön hoidolla sekä kalastuksen järjestelyyn liit-
tyvillä toimenpiteillä.

Orsborn (1986) on kiinnittänyt huomiota siihen, että pe-
rinteiset kalatiet sallivat halutun lajin lisäksi petojen
ja "roskakalojen" nousun. Usein kaikkien kalojen, myös
halutun lajin heikoimpien yksilöiden, nousu tulee mah-
dolliseksi. Luonnonvalinta ei toimi, kun parhaat ja
voimakkaat kalat eivät enää ole pääasiallisia jälkeläis-
ten tuottajia. Kalatietä suunniteltaessa on harkittava,
onko kaikkien kalojen päästävä kalatien läpi ja selvitet-
tävä luonnonoloissa vallinnut kalasto. Kalatietyypillä ja
kalatien virtausolosuhteilla on mahdollista vaikuttaa
siihen, mitkä kalalajit ja minkä kokoiset yksilöt pääsevät
lisääntymään kalatien yläpuoliselle vesistöalueelle.

Aina uhanalaisten tai kalataloudellisesti arvokkaidenkaan
vaelluskalojen kulkua esteiden ohi ei koeta positiivise-
na. Viime vuosina Suomessa on ilmennyt voimakasta kala-
teiden vastustusta, koska kalateiden kautta mahdollistuu
kalatautien leviäminen merestä sisävesien kalanviljely-
laitoksiin, mikä vaarantaa kalanviljelyelinkeinoja.
Kalataudit leviävät periaatteessa kalasta toiseen tai
emokalasta mätimunien sisällä seuraavaan sukupolveen. Näin
vaeltavat luonnonkalat toimivat tautien levittäjänä, ja
loisia, bakteereja ja viruksia voi kulkeutua veden
välityksellä vesistöalueen kalanviljelylaitoksiin
(Rimaila-Pärnänen 1990). Viljelylaitoksissa tarttuvat
kalataudit aiheuttavat usein huomattavia tappioita
kuolleisuutena sekä hoito- ja saneerauskustannuksina.
Usein kalataloudellisten haittavaikutusten kompensointi
esitetään tehtäväksi istutuksin ja uudet kalatiet toi-
votaan alueille, joissa kalanviljelyelinkeino ei vaarannu
(Rimaila-Pärnänen 1990).

Kalatietä suunniteltaessa saavutettava kalataloudellinen
ja muu mahdollinen hyöty on arvioitava. Lisäksi on
kiinnitettävä huomiota alueellisiin ja paikallisiin

ongelmiin ja arvioitava saavutettavien hyötyjen lisäksi myös mahdolliset haitat. Tämä tarkastelu kuuluu kalatalousviranomaisille. Kalatautien leviämistä tulee välttää erityisesti niissä vesistöissä, joissa on steriilejä kalanviljelylaitoksia. Kalojen laitostuotanto ei toisaalta saa olla esteenä kalojen luontaiselle lisääntymiselle ja elinvoimaisten luonnonkantojen ylläpitämiselle vesistöissä, joissa siihen on olemassa riittävät edellytykset.

7.2 Kalatien toteutus

Kalatien suunnittelu- ja rakennustyöt on tehtävä huolellisesti. Kalojen nousun mahdollistamiseksi erityisen tärkeä on sisäänkäynnin oikea sijoittaminen. Useimmiten sisäänkäynnin epäedullinen sijainti on ollut syynä siihen, että kalatie ei ole toiminut toivotulla tavalla. Kalatiehen noustuaan kalat pystyvät usein uimaan erikokoisissa altaissa ja monenlaisissa virtauksissa. Tärkeintä on, että virtausnopeudet ovat kalan uintikyvyn rajoissa, ja pitkissä kalateissa kaloille varataan riittävästi mahdollisuuksia myös levähtämiseen.

Kaloja voidaan houkuttaa ja ohjata kalatiehen ja niiden uintiin voidaan vaikuttaa sopivia ärsykeitä käyttämällä (Orsborn 1986). Pohjakaloilla eri aistimilla on erilainen merkitys kuin pinta- ja välivesikaloilla, joten ärsykkeet on valittava kalan mukaan. Sama pätee kaloja houkuttelevien virtausten suuntaamiseen ja nopeuksiin. Kalan kriittiseen nopeuteen vaikuttavat kalalajin lisäksi valoisuus, veden lämpötila, kalan fyysinen tila ja sukukypsyysaste sekä parven koko. Syöksynopeuksia on vältettävä, koska energiavarojen uudelleen kasvattaminen vaatii kalalta lepoa joko kalatiessä tai välittömästi sen yläpuolella. Kalatie toimii parhaalla mahdollisella tavalla silloin, kun se mahdollistaa kalojen nousun viivytyksettä.

Kalatien sisäänkäynnin virtausnopeuksien tulee olla kalan normaalin uintinopeuden alueella (3-5 L/s). Altaiden levähdysalueilla virtausnopeuksien tulisi olla 1-2 L/s, ja altaiden virtausten tulisi olla niin selkeät, ettei kalan orientoituminen vaikeudu ja nousu hidastu. Levähdysalueella on eduksi, jos kala ei joudu olemaan pääalavirtaan.

Denil-kalatien sisäänkäynti on helpompi havaita kuin allastyypisten tai pystyrakokalateiden sisäänkäynti, koska sen virtaus muistuttaa luonnonkoskea ja nopeus on suurin pinnassa. Denil-kalatie tarjoaa lisäksi mahdollisuudet erikokoisten kalojen uimiseen, koska kalat voivat valita niille sopivan virrannopeusvyöhykkeen. Ylivirtauskalateiden ongelmana on herkkyyden veden korkeuden vaihtelulle. Läpivirtaus- ja varsinkin pystyrakokalatie

eivät ole tässä suhteessa yhtä herkkiä. Pystyrakokalatiessa kala voi uida haluamallaan korkeudella, ja jokainen allas voi toimia levähdysaltaana. Pystyrakokalatiet soveltuvat hyvin pohja- ja pintakaloille, vaellus- ja paikalliskaloille. Allastyypisistä kalateistä ylivirtauskalatiet soveltuvat lähinnä lohikaloille, mutta läpivirtauskalatiet muillekin kalalajeille, myös pohjakaloille.

Kalateitä rakennettaessa on pyrittävä hyödyntämään kalojen oppimista. Tämän takia kalatien rakenteiden ja virtausolosuhteiden toistuminen samanlaisina alhaalta ylös asti on suositeltavaa. Etenkin pitkissä kalateissä nousun nopeutumisen voi olla olennainen merkitys, koska usein on eduksi, jos kala ehtii nousta kalatien läpi valoisaan aikaan. Pimeässä kala saattaa herkästi pysähtyä tai lähteä laskeutumaan alavirtaan. Rakenteiden tai virtausolosuhteiden muuttuminen kesken nousun voi hidastaa nousua ja pahimmassa tapauksessa saada aikaan sen, että kala palaa alas virran mukana.

Kalojen oppimisella on merkitystä myös samalle vaellusreitille tehdyissä peräkkäisissä kalateissä, joissa rakenteellisten perusratkaisujen tulisi pysyä samanlaisina. Esimerkiksi Skotlannin Bealy-joessa sijaitsee kaksi peräkkäistä Borland-kalatietä, Kilmorack ja Aigas, joiden rakenteet ja sijainti uomassa ovat lähes identtiset. Vuotuiset nousulohimäärät ovat ylemmässä kalatiessä 65-99 % alemman kalatien nousulohimäärästä (Herva 1991).

7.2.1 Lohi ja taimen

Lohen ja taimenen vaelluspoikaset, smoltit, kulkeutuvat syönnösalueille suuntautuvilla vaelluksillaan passiivisesti virran mukana suurten nopeuksien vyöhykkeillä. Kalatiehen johtava virtaus on usein huomattavasti päävirtausta heikompi, ja se jää laskeutumassa olevalta parvelta helposti havaitsematta. Kalatien suuaukon havaittavuutta voi parantaa erilaisilla ohjainrakenteilla ja esimerkiksi keinotekoisella pohjalla silloin, kun kalat on saatava laskeutumaan kalatien kautta. Jokipoikaset, nuoret kalat ja vaelluspoikaset voivat laskeutua monenlaisissa kalateissä ja virtausolosuhteissa, eivätkä ne aseta erityisvaatimuksia kalatie-tyypille.

Aikuinen lohi ja taimen käyttävät nousuvaelluksellaan kaikkia kalatie-tyyppejä. Ne vaativat suurempia virtausnopeuksia kuin uintikyvyltään heikommat vaellus- ja sisävesikalat. Allastyypisiä kalateitä on perinteisesti käytetty lohikalojen kulkuväylinä, mutta aivan yhtä halukkaasti ne uivat pystyrako- ja Denil-kalateissä kunhan tilaa on riittävästi ja virtausolosuhteet ovat

sopivat. Ranskassa kalasuluissa havaitut ongelmat voivat johtua paikallisista olosuhteista, kalateiden sijoittamisesta tai niiden toteutustavasta. Skotlannissa kalasulut toimivat lohien nousuväylinä erittäin hyvin.

Lohi tarvitsee orientoitumiseensa erilaisia nähtäviä kiintopisteitä. Kun kalateissa on tunneliosuuksia, tämä voi aiheuttaa ongelmia. Joissakin tunneliin rakennetuissa kalateissa lohi nousee pimeässä, joihinkin se ei lähde ilman keinovaloa. Joskus nousu onnistuu vain luonnon valossa. Kalatien valaistustarve näyttää riippuvan suurelta osin myös virtausolosuhteista eli siitä, pystyykö kala orientoitumaan kalatien virtausten ja kosketuskontaktien avulla. Mikäli kalatie valaistaan, ei valo saa olla liian kirkas.

7.2.2 Vaellussiika

Vaellussiikaa varten rakennettavissa kalateissa on otettava huomioon se, tuleeko kalatietä käyttämään kesällä lämpimässä vedessä nouseva kesäsiika vai syksyllä kylmässä vedessä nouseva syyssiika. Kesäsiika vaelttaa ylempiin jokeen kutemaan kuin syyssiika, ja sen uintikyky on parempi. Liian lämpimässä ja toisaalta liian vähässä vedessä nousemista kesäsiikakin karttaa, eikä se mielellään liiku liian heikossa tai liian voimakkaassa valossa (Ylinärä 1992).

Vaellussiian tiedetään käyttävän pystyrakokalateita ja se pystyy uimaan myös Denil-kalateissa. Sisävesisiikat käyttävät niitä ainakin Pohjois-Ruotsissa (Kamula & Pohjamo 1992). Allaskalatiet eivät usein ole soveltuneet siialle, eikä se mielellään lähde tunneleihin. Vantaanjoen Vanhankaupunginkoskessa olevan allaskalatien tunnelimaista sisäänkäyntiä siika ei käytä. Siian noususta erilaisissa kalasuluissa ei ole tiettävästi kokemuksia.

7.3.3 Sisävesien vaeltavat kalat

Sisävesikalat ovat uintikyvyltään anadromisia vaelluskaloja heikompia. Tämän vuoksi sisävesikalaille suunnitelluissa kalateissa ei saa olla kuohuvaa vettä, suuria virtausnopeuksia eikä isoja putouksia. Sisävesikalaja varten ei välttämättä tarvitse rakentaa omia kalateita, sillä tietyissä olosuhteissa ne voivat käyttää samoja kalateita kuin vaelluskalatkin. Esimerkiksi pystyrakokalatie mahdollistaa monenlaisten kalojen kulun. Virtausnopeuksia kasvattamalla pienimmät tai heikoimmat kalat voidaan karsia. Näin voidaan helposti tehdä myös Denil-kalateissa. Etenkään ylivirtauskalateita ei yleisesti suositella sisävesikalaille, eikä niiden uimisesta kalasuluissa ole juuri kokemuksia.

Kokemusten mukaan **muikut** nousevat ongelmitta ainakin pystyrakokalatiessa, kunhan virtausnopeudet ovat riittävän pienet. Pelkästään muikkua varten tehtävän kalatien virtaama voi olla pieni, koska muikut nousevat hyvin pienissä allastilavuuksissa ja matalassa vedessä. Jos kalatie on tarkoitettu sekä isojen vaelluskalojen että pienten muikkujen tai muiden sisävesikalojen uintiväyläksi, voidaan soveltaa Kirakkakönkälle rakennettuun pystyrakokalatiehen kehitettyä järjestelyä. Siellä allaskokoa ja virtaamaa voidaan pienentää muikun nousun aikaan keskikesällä lisäämällä kalatiehen väliseiniä, jotka puolittavat taimenelle sopivan allaspituuden.

Sisävesien erilaiset pienet **siiat** nousevat parhaiten muikun tavoin kohtalaisen suurissa lämpötiloissa ja pienissä virtaamissa. Sisävesien siiat voivat käyttää pystyrakokalatieitä ja sellaisia allaskalateitä, joissa altaat ovat riittävän suuria levähtämiseen. Denil-kalatie soveltuu hyvin myös sisävesien siioille, kunhan nopeudet ovat riittävän pienet ja levähdysaltaita on kohtuullisin välimatkoin. Joissakin Denil- ja allaskalateiden yhdistelmissä ongelmia on aiheuttanut kalatien suuaukon epäedullinen sijainti sekä kalatien ja yläveden välinen suuri putousero (Kamula & Pohjamo 1992). Myös kylmällä vedellä ja veteen muodostuvilla kuplilla on vaikutusta (Herva, suull. ilm.).

Hauen uimisesta kalateissa ei ole olemassa paljon havain-toja. Pohjois-Amerikassa hauki on tiettävästi uinut mieluiten padon yli tulvatilanteessa, kun valittavana oli lisäksi kaksi kalatietyyppiä: pystyrakokalatie ja Denil-kalatie. Tarjolla olevista kalatievaihtoehdoista hauki suosi Denil-kalatieitä (Slatick 1975). Koska hauki nousee usein jo ennen kevättulvaa jään alla kutupaikoilleen, on sille suunnitellun kalatien toimittava jo varhain keväällä.

Ahven sekä särkikaloista **lahna** nousivat Pöyryn kalatien pystyrako-osuuteen vasta sen jälkeen, kun virtausnopeudet kalatien nousuaukoissa olivat tarpeeksi pienet. Heikkoina uimareina niille näyttää pätevän sisävesikalaille yleensä suositeltava virtausnopeuden yläraja 1,5 m/s. Nousu on hidasta, ja kalat tarvitsevat nousun aikana levähdyspaikkoja.

Harjuksen uimisesta suomalaisissa kalateissa ei ole olemassa juuri kokemuksia. Keminmaan kalatiemallissa seurattiin yhden harjuksen uimista. Se saattoi oleskella tuntikausia voimakkaimmassa virtauksessa pystyraon alapuolella pohjan tuntumassa. Kalatiessa harjus oli väsymättä useita vuorokausia (Herva & Laine 1988), vaikka siiat kestivät enintään vuorokauden ajan. Harjus onkin voimakas uimari, jolle periaatteessa soveltuvat useammat kalatieratkaisut kuin heikoimmille kaloille.

7.3.4 Nahkiainen

Nahkiaiskantojen hoidossa on yleisesti käytetty ylisiirtoa vaellusesteiden yhteydessä, mikäli esteen yläpuolella on lisääntymisen ja poikastuotantoon soveliaita alueita. Kalateilla saavutetaan sama hyöty. Nahkiaisien uimisesta kalateissa on kuitenkin toistaiseksi vain satunnaisia havaintoja. Parhaiten nahkiainen on noussut erityisissä nahkiaiskouruissa, mutta muutkin kalatieratkaisut käyvät nahkiaiselle. Kalatien virtausnopeudet tai noustava matka eivät kuitenkaan saa olla liian suuria. Nahkiaiset nousivat enintään muutamia altaita Pöyryn kalatiessä, jossa nopeudet olivat 1,5-2,5 m/s. Keminmaan kalatiemalissa nahkiaiset nousivat vaivatta 10 altaan matkan, kun nopeudet olivat alle 1,1 m/s.

Koska nahkiainen liikkuu öisin ja pohjan tuntumassa, ei sille tarkoitettua kalatietä saa nousuaikana valaista. Lisäksi kalatiehen ja sen lähestymisalueelle on luotava riittävästi kosketukseen perustuvia ärsykeitä, joita nahkiainen voi käyttää orientoitumisessaan. Pöyryn kalatien betoninen pystyrakokalatiosuus todettiin nahkiaiselle ongelmalliseksi. Nousua voitaisiin edistää pienentämällä nahkiaisien nousuaikana virtausnopeuksia ja esimerkiksi upottamalla betonipohjaan pyöreitä kiviä, joita nahkiainen voi käyttää orientoitumisessaan, ja joihin se voisi tarvittaessa kiinnittyä lepäämään.

7. YHTEENVETO

Kalatie mahdollistaa kalojen nousun, jos se on oikein sijoitettu ja hyvin suunniteltu. Suunnittelu- ja rakennuskriteereihin vaikuttavat kalojen käyttäytyminen ja uintikyky sekä vaelluksen ajoittuminen. Vaelluksen onnistumisessa kalojen aisteilla on ensiarvoinen merkitys. Niitä on pyrittävä stimuloimaan monipuolisesti. Pinta- ja välivesikaloille näköaisti on tärkeä, pohjakaloille tuntoaisti. Kalatien suunnittelussa on otettava huomioon kalan uintikykyyn vaikuttavat tekijät, kuten kalalaji ja kalakanta, kalan koko, sen joessa viettämä aika, sukukypsyys, virtausolosuhteet, veden lämpötila ja valaistus. Pohjakaloilla kynnysnopeudet ovat suuremmat ja kriittiset nopeudet pienemmät kuin pinta- ja välivesikaloilla. Kriittisen nopeuden ylittyminen vaellusreitillä tai kalatiessä estää kalojen nousun.

Pitkillä vaelluksilla kalat käyttävät matkanopeuksia, jotka vastaavat 1-4 kalan ruumiinpituutta sekunnissa (1-4 L/s). Pitkäkestoisilla nopeuksilla (alle 10 L/s) kalat uivat koskissa, voimakkaasti virtaavassa vedessä ja usein kalatiessä. Saalistaessaan, paetessaan tai lähes ylivoi-

maisia esteitä ylittäessään kalat käyttävät syöksynopeuksia (20-30 L/s). Energiavarat tyhjentäneen syöksyn jälkeen kalan on levättävä. Näön avulla orientoituvat kalat, kuten lohi, taimen ja ahven vaeltavat useimmiten päivällä tai hämärässä. Pohjakalat kuten made ja nahkiainen uivat kirkaissa vesissä yleensä yöllä, sameissa vesissä ympäri vuorokauden. Voimakkaat kalat suosivat pääsääntöisesti joen pääväylää. Uintikyvyiltään heikommät kalat vaeltavat rannan lähellä, missä virtausnopeudet ovat pieniä.

Kalojen kulkeminen vaellusesteiden yli tai ohi on pyritty turvaamaan kaloja siirtämällä tai kalateitä rakentamalla. Voimakkaalle ja kutunousuun hyvin motivoituneelle lohelle on useita käyttökelpoisia kalatievaihtoehtoja, jotka eivät yleensä sellaisenaan sovellu lohta heikommille kaloille. Suomessa kalateiden suunnittelussa on lohen ja taimenen lisäksi otettava huomioon lähinnä siika ja nahkiainen, usein myös harjus ja muutkin sisävesikalat. Kalatiet voidaan jaotella allastyyppeihin kalateihin sekä pystyrakokalateihin, Denil-kalateihin ja erilaisiin sulku- ja hissijärjestelmiin. Lisäksi käytössä on mm. teiden alla oleviin tierumpuihin tehtyjä rumpukalateitä sekä luonnonmukaisia kalateitä, jotka rakennetaan louhimalla, kiveämällä ja uomaa muotoilemalla.

Pystyrakokalatiet toimivat hyvin erilaisilla vedenkorkeuksilla. Kalat pystyvät oleskelemaan altaissa ja nousemaan haluamallaan korkeudella. Nousu altaasta toiseen vaatii ainakin pienimmiltä kaloilta lyhytkestoisen syöksyn, mutta useimmat kalat kykenevät nousemaan kalatien läpi pitkäkestoisilla nopeuksilla. Pystyrakokalatie soveltuu lohen ja taimenen lisäksi heikommille kaloille. Ylivirtauskalateitä on rakennettu lähinnä lohikaloja varten. Pohjakaloille tai nahkiaiselle ne eivät sovellu. Läpivirtauskalatiet soveltuvat paremmin kaloille, joiden uintikyky on heikko. Denil-kalatien suun houkuttelevuus on hyvä, ja kalat löytävät sisäänkäynnin helposti. Denil-kalateiden tiedetään soveltuvan lohelle ja taimenelle sekä erilaisille sisävesikaloille. Denil-kalatiessä kala voi valita itselleen sopivan virrannopeusvyöhykkeen.

Oulun yliopistossa aloitetun kalateitä ja kalojen uimista koskevan tutkimuksen kalatutkimukset käynnistyivät vuosina 1982-83, kun Keminmaahan ja Inarin Kirakkäkönkääseen rakennettiin kalatiemallit. Kesällä 1984 tutkimusta laajennettiin kalan luontaiselle nousureitille, Tornionjoen Kukkolankoskelle ja Matkakoskelle. Siikajoen Pöyryn ja Viitasaaren Kärnänkosken kalatiet tulivat mukaan uusina tutkimuskohteina 1980-luvun lopussa.

Keminmaan kalatiemallissa tutkittiin hydrauliiikkaa ja kalojen käyttäytymistä vuosina 1982-86. Kalatiemalliin tuotiin lohenpoikasia ja nahkiaisia sekä aikuisia lohia, taimenia ja vaellussiikoja. Lisäksi koekaloiksi pyydys-

tettiin ahvenia, seipiä ja särkiä. Lohet ja taimenet orientoituivat ja nousivat kalatiessä vaikeuksitta. Siiat pyörivät usein altaissa virtauksen mukana ja ajautuivat alavirtaan. Nousemaan lähteneiden siikojen eteneminen pysähtyi miltei aina isoon kulma-altaaseen. Muutama siika jatkoi nousua kalatiemallin yläosalle. Nahkiaisten aktiivisuutta kalatiemallissa vähensivät kuutamo ja räntä- tai lumisade. Pikkukaloista seivellä saatiin parhaita tuloksia.

Kalojen uintia tutkittiin Kirakkakönkälle vuosina 1983-85 rakennetuissa pystyrako- ja Borland-kalatiemalleissa. Kalateihin nousi muikkua, pohjasiikaa, reeskaa (Inarin kääpiösiika) ja vaellussiikatyyppistä pikkusiikaa. Lisäksi kalatiemalleihin tuotiin luonnon- ja laitostaimenia. Pohjasiikaa nousi eniten veden lämpötilassa 11-12°C, reeskaa ja pikkusiikaa lämpötilassa 15-16°C. Muikkujen nousuhuippu ajoittui lämpimään veteen (18-19°C). Ne etenivät kalatiessä vähitellen ja oleskelivät pitkiä aikoja altaissa. Luonnontaimenten nousun kesto oli 1-2 minuuttia allasta kohti. Pystyrakokalatien alaosalla nousu oli hitaampaa kuin yläosalla. Kalalajista riippumatta parhaiden levähdysalueiden nopeudet vastasivat alle yhtä tai enintään kahta kalan ruumiinpituutta sekunnissa (1-2 L/s).

Siikajoen Pöyryn kalatie otettiin käyttöön vuonna 1989. Siinä on alempi ja ylempi betoninen pystyrakokalatie ja niiden välissä luonnonmukainen kalatieosuus. Kalatien rakenteita ja virtauksia koskevat tutkimukset ja kalastoseuranta tehtiin vuosina 1989-91. Tutkimuksen aikana betoniosuuden allaspituuksia lyhennettiin, aukkojen paikkaa muutettiin ja pystyrakoihin lisättiin virtauksen ohjaimet. Luonnonmukaiseen uomaan johdettiin lisävettä ja kalatien betonirakenteita korjattiin. Ohjeet kalatien sisärakenteesta laadittiin laboratoriossa tehtyjen pienoismallikokeiden pohjalta. Pöyryn kalatiellä tehtyjä maastotutkimuksia haittasivat ajoittain joen tulviminen ja ajoittain kuivuus. Seurannan aikana kalatiessä nousi lohta, taimenta, lahnaa, ahventa, särkiä, salakoita ja mutuja. Poikkeukselliset virtausolosuhteet haittasivat nahkiaisen nousua, ja etenkin kalatien ylimmässä osuudessa tehtiin vain muutamia nahkiaishavaintoja.

Kärnänkosken voimalaitoksen yhteyteen rakennettiin kalatie lähinnä taimenen vaellusta varten vuonna 1989. Kalatien alaosa oli luonnonmukaista koskea ja yläosa ylisyöksytyyppinen kalatieosuus. Kalatiessä tehtiin virtausolosuhteisiin liittyviä selvityksiä ja nousevien kalojen seurantaa vuosina 1989-90. Kalatien kautta nousi runsaasti taimenia, ahvenia, särkiä ja siikoja sekä jokunen lohi ja harjus. Kalatiessä ei tarvinnut tehdä korjauksia, eivätkä virtausolosuhteet vaatineet säätämistä.

Vaellussiian uimiseen liittyvä tutkimus aloitettiin Tornionjoen Kukkolankoskessa vuonna 1984. Tulosten mukaan siika vaatii luonnonreitillä uidesaan vettä vähintään 1,1-1,3 metriä. Levähdysalueiden nopeudet ovat korkeintaan 1 L/s. Matkauinnin alueella virtausnopeudet ovat 1-2 L/s ja nopeampaa uintia tai syöksyä vaativilla alueilla 2-7 L/s. Tärkeimmät siian nousuun vaikuttavat ympäristömuuttujat ovat joen virtaama ja veden lämpötila. Pieni virtaama yhdessä korkean veden lämpötilan kanssa voivat estää siian nousun joessa.

Hyvän kalatien lähestymisalueella virtausnopeudet ovat kalan uintikyvyn rajoissa, virtaus on selkeä ja se johdattelee kalan viivytyksittä kalatietä kohti. Lohta varten kalatien lähestymisalueen nopeudet voivat olla suuremmat kuin sisävesi- tai pohjakaloille. Kalatien sisäänkäynti on yleensä sijoitettava pääuomaan tarpeeksi lähelle päävirtausta, jotta virtaa seuraavat kalat joutuvat kalatien suulle. Kalojen uimista sisäänkäyntiin voidaan parantaa rantoja tai pohjaa muotoilemalla, virtauksen avulla tai erilaisilla näköön, kuuloon tai kemialliseen aistiin perustuvilla ärsykkeillä. Kaloja voidaan myös suunnata ohjainaidoilla. Jotta kala lähtee kalatiehen, on kalatien virtaaman oltava riittävän suuri. Allastyypisessä kalatiessä on oltava levähdysalueita, joiden nopeudet ovat 1-2 L/s. Kalatien uloskäynti ei saa sijaita liian lähellä vedenottojärjestelyjä eikä toisaalta liian etäällä esteestä, jotta laskeutuvat kalat löytävät sen. Uloskäynnin kohdalla virtauksen on oltava kalan kynnyksnopeutta suurempi, kriittistä nopeutta virtaus ei saa ylittää. Laskeutuvan kalan uimista kalatiehen voidaan parantaa tekopohjalla tai optisilla ärsykkeillä. Kalojen ohjaamiseksi kalatiehen on kehitelty ilmakuplaverhoja, valo- ja ääniesteitä sekä mekaanisia ja sähköisiä esteaitoja ja suuntaajia.

Kun kalatien rakentamista johonkin kohteeseen aletaan suunnitella, on jo ennakoitava arvioitava saavutettava kalataloudellinen ja muu mahdollinen hyöty. Huomiota on myös kiinnitettävä alueellisiin ja paikallisiin ongelmiin. Kalatautien leviämistä tulee välttää erityisesti niissä vesistöissä, joissa on steriilejä kalanviljelylaitoksia. Kalojen laitostuotanto ei kuitenkaan saa olla ainoa este kalojen luontaiselle lisääntymiselle ja elinvoimaisten luonnonkantojen ylläpitämiselle vesistöissä, joilla on olemassa siihen riittävät edellytykset.

Kalatien rakentaminen ei yksin ratkaise vesistön kalataloudellisia ongelmia. Jokeen ja kalatiehen nousevien kalojen määriin voidaan parhaiten vaikuttaa kalojen elinympäristön ja kalakannan hoidolla sekä kalastuksen järjestelyyn liittyvillä toimenpiteillä. Kalatietyypillä ja kalatien virtausolosuhteilla on mahdollista vaikuttaa siihen, mitkä kalalajit ja minkä kokoiset yksilöt pääsevät kalatien yläpuoliselle vesistöalueelle.

LÄHDELUETTELO

- Aitken, P.L., Dickerson, L.H. & Menzies, W.J.M. 1966. Fish passes and screens at water power works. Inst. Civ. Eng. 6928: 29-57.
- Alaperä, K. 1986. Raportti kalatiemallikokeista Keminmaassa kesällä 1986. Käsikirjoitus. 5 s.
- Alaperä, K. 1987. Vaelluskalan kuljetus- ja kalatimallikokeet Keminmaassa kesinä 1984-86. Käsikirjoitus. 19 s.
- Alaperä, K. 1989. Vaellussiian (*Coregonus lavaretus* L.) kuljettamisesta sekä kuljetusrasitukseen ja nousukäyttäytymiseen vaikuttavista tekijöistä Keminmaan kalatien pienoismallissa. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, eläintieteen laitos. 74 s.
- Andrew, F.J. 1990. The use of vertical slot fishways in British Columbia, Canada. Proc. Int. Symp. Fishways '90 in Gifu, Japan, October 8-10.1990: 267-274.
- Andrew, F.J. & Geen, G.H. 1960. Sockeye and pink salmon production in relation to proposed dams in the Fraser river system. Int. Pac. Salmon Fish. Comm., Bull. 11: 1-259.
- Antonnikov, A.F. 1964. Hydroelectric construction and the problem of fish passage facilities. Hydroelectric Construction 3: 26-29.
- Bates, D.W. & Vinsonhaler, R. 1956. Use of louvers for guiding fish. Trans. Am. Fish. Soc. 86: 38-57.
- Beach, M.H. 1984. Fish pass design - criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. Fish. Res. Techn. Rep. 78. 46 p.
- Behlke, C.E., Kane, D.L., McLean, R.F. & Travis, M.D. 1988. Field observations of arctic grayling passage through highway culverts. Trans. Res. Rec. 1224: 63-66.
- Bernatchez, L. & Dodson, J.J. 1985. Influence of temperature and current speed on the swimming capacity of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) and cisco (*C. artedii*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1522-1529.

- Bernatchez, L. & Dodson, J.J. 1987. Relationship between bioenergetics and behavior in anadromous fish migrations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 399-407.
- Bond, C.E. 1979. *Biology of fishes*. Saunders College Publishing, Philadelphia. 514 p.
- Brofeldt, P. 1948. Kalateistä ja kalojen nousumahdollisuksista voimalaitospatojen ohi. *Suomen Kalastuslehti* 55: 28-34.
- Clay, C.H. 1961. *Fishways and other fish facilities*. Dept. Fish. Can. Ottawa. 301 p.
- Clay, C.H. 1990. Suggestions for future research on fishways and fish facilities. *Proc. Int. Symp. Fishways '90 in Gifu, Japan, October 8-10.1990*: 1-9.
- Collins, G.B. & Elling, C.H. 1960. Fishway research at the fisheries-engineering research laboratory. *U.S. Fish Wildl. Serv. Circ.* 98: 1-17.
- Connor, A.R., Elling, C.H., Black, E.C., Collins, G.B., Gauley, J.R. & Trevor-Smith, E. 1964. Changes in glycogen and lactate levels in migrating salmonid fishes ascending experimental "endless" fishways. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 21: 255-290.
- Conrad, V. & Jansen, H. 1983. Refinements in design of fishways for small watersheds. *Northeast Fish and Wildlife Conference*. Dover, Vermont, 15.-18.5. 1983. 25 p.
- Dominy, C.L. 1973. Effect of entrance-pool weir elevation and fish density on passage of alewives (*Alosa pseudoharengus*) in a pool and weir fishway. *Trans. Am. Fish. Soc.* 102: 398-404.
- Eicher, G.J. 1973. Stream biology and hydroelectric power. *Water Power*. June 1973: 211-218.
- Everhart, W.H., Eipper, A.W. & Youngs, W.D. 1975. *Principles of the fishery science*. Cornell University Press, Ithaca & London. 288 p.
- Farlinger, S. & Beamish, F.W.H. 1977. Changes in blood chemistry and critical swimming speed of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, with physical conditioning. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107: 523-527.
- Hardisty, M.W. 1979. *Biology of the cyclostomes*. London. Chapman & Hall. 428 p.

- Heikkilä, J. & Tolonen, A. 1985. Kalatietutkimus. Vaelluskalan, erityisesti siian uiminen virtausesteessä. Väkiraportti. Oulun yliopiston vesirakennustekniikan laitos. 22 s.
- Heikkilä, J. & Ylinärä, T. 1988a. Kalatietutkimus ja vaelluskalan uinti virtausesteessä. Osa 3. Havainto- ja mittaustekniikan kehittäminen, videokuvaus ja kaikuluotaus. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 34. 13 s.
- Heikkilä, J. & Ylinärä, T. 1988b. Kalatietutkimus ja vaelluskalan uinti virtausesteessä. Osa 4. Havainto- ja mittaustekniikan kehittäminen, venymäliuskamittari. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio. Sarja A, julkaisu 34. 26 s.
- Helenius, L., Keränen, M., Savolainen, J. & Veijalainen, V. 1981. Tutkimus kalateistä. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos. Sarja A, julkaisu 7. 48 s.
- Hepojoki, A. & Rytönen, J. 1988. Kalatietekniikkaan vaikuttavat perustekijät. Teknillinen korkeakoulu, vesirakennuslaboratorion julkaisuja 6. 106 s.
- Herva, M. 1981. Joen vaelluskalakannan elvyttämiseen ja säilyttämiseen käytetyt vesirakennustekniset toimenpiteet ja näiden vesiensuojelulliset edellytykset. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, limnologian laitos. 67 s.
- Herva, M. 1982. Kalatiet. Teoksessa Jutila, E. & Hildén, O. (toim.), Vesistöjen rakentaminen ja kalatalous. VKA ry:n koulutuspäivät 29.-30.10.1981: 109-123.
- Herva, M. 1985. Kalan kulku ja kalatie. Vesihallituksen monistesarja 342: 49-60.
- Herva, M. 1986. Kalan virtahakuisuus ja vaelluskäyttäytyminen tutkimuksessa ja kalatien suunnittelu- perusteena. Käsikirjoitus. 65 s.
- Herva, M. 1987. Kalakokeet ja virtausmittaukset pystyrakokalatien pienoismallissa Keminmaassa. Käsikirjoitus. 7 s.
- Herva, M. 1991. Kalan kulku ja järjestelmälliset kalahavainnot. Käsikirjoitus 13.12.1991. 17 s.
- Herva, M. 1993a. Japanin kalatiesymposion esitelmien pääasiallinen sisältö. Vesitalous 2/1993: 18-21.

- Herva, M. 1993b. Vapaa kalankulku, kalojen käyttäytyminen ja rinnakkaiset kalatiet. Kokemuksia Japanin kalateistä. Suomen Kalastuslehti 4-5/1993: 12-14.
- Herva, M. & Laine, A. 1988. Koekalojen uiminen pienoismallikalaportaan turbulentsisessa virtauksessa. Raportti Maa- ja Vesitekniikan Tuki ry:lle. 37 s.
- Hooli, J., Mela, M. & Ylinärä, T. 1989. Vesivirran nopeuden ja pakoreaktiovoiman mittaaminen vaelluskalan uintitutkimuksessa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 39. 75 s.
- Ikonen, E. 1990. Nahkiainen ja kalatiet. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 208: 62-66.
- Johnson, G.A. 1981. The use of radio tracking to evaluate the powerhouse adult fish passage systems on the Columbia and Snake rivers. Underwater Telemetry Newsletter 11: 4-8.
- Jutila, E. 1978. (vai 1979??) Lohen ja taimenen poikasten esiintymisestä ja vaelluksesta Simojoessa vv. 1976 ja 1978. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopiston limnologian laitos.
- Kamula, R. & Pohjamo, T. 1992. Ajatuksia kalateistä. Vesitalous 1992/6: 27-30.
- Kamula, R., Laine, A., Pohjamo, T. & Hooli, J. 1992. Siikajoen Pöyryn kalatien tutkimus ja seuranta. Yhteenvetoraportti vuosien 1989-1991 tutkimuksista. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 49. 55 s.
- Katopodis, C. 1981. Considerations in the design of fishways for freshwater species. Can. Soc. Civ. Eng. 5th Can. Hydrotechn. Conf. May 26-27.1981. Fredericton, New Brunswick. 857-878.
- Katopodis, C. 1990. Advancing the art of engineering fishways for upstream migrants. Proc. Int. Symp. Fishways '90 in Gifu, Japan, October 8-10.1990: 19-28.
- Katopodis, C. 1992. Introduction to fishway design. Working document. Winnipeg, Manitoba. 68 p.
- Katopodis, C., Derksen, A.J. & Christensen, B.L. 1991. Assessment of two Denil fishways for passage of freshwater species. Fish. Bioeng. Symp. 10: 306-324.
- Kokko, U. 1992. Suomen kalastuspolitiikka ajaa lohen sukupuuttoon. Suomen Kalastuslehti 1992/9: 34-36.

- Koponen, K. 1991. Kalaportaiden säätö- ja seurantatutkimus Kuopion läänissä 1989-1990. Kuopion kalastuspiirin tiedotus nro 11. 59 s.
- Kowarsky, J. & Ross, A.H. 1981. Fish movement upstream through a central Queensland (Fitzroy River) coastal fishway. Aust. J. Mar. Freshw. Res. 32: 93-109.
- Laine, A. 1983. Raportti kalahavainnoista kalatien pienoismallissa Keminmaalla 1982. Kalatiemalli ja siinä suoritettu koetutkimus. Vesirakennustekniikan erikoistyöt syyslukukaudella 1982. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos. Sarja A, julkaisu 15. 11 s.
- Laine, A. 1986. Kalojen nousukäyttäytyminen Kirakkakönkään kalatiemalleissa. Vuoden 1985 tulokset. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 22. 72 s.
- Laine, A. 1989. Siikajoen kalastusalueen kalataloudellinen käyttö- ja hoitosuunnitelma. Moniste. 35 s + 10 liitettä.
- Laine, A. 1990. Kalojen uiminen ja siihen vaikuttavat tekijät Inarin Kirakkakönkään kalatiemallissa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 41. 107 s.
- Laine, A., Ylinärä, T., Heikkilä, J. & Hooli, J. 1990a: Viitasaaren Kärnänkosken kalatien seuranta ja virtaustilaselvitys. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 43. 20 ss.
- Laine, A., Ylinärä, T., Heikkilä, J. & Hooli, J. 1990b: Siikajoen Pöyryn kalatien tutkimus ja seuranta. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 43. 48 ss.
- Laine, A., Ylinärä, T. & Hooli, J. 1991a. Viitasaaren Kärnänkosken kalatien tutkimus ja seuranta. Raportti vuodelta 1990. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 46. 28 s.
- Laine, A., Ylinärä, T., Hooli, J. & Tikkanen, U.-R. 1991b. Siikajoen Pöyryn kalatien tutkimus ja seuranta. Raportti vuodelta 1990. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 46. 31 s.

- Larinier, M. 1983. Guide pour la conception des dispositifs de francissement des barrages pour les poissons migrateurs. Bull. Francais de Pisciculture. Numéro spécial 1983. 29 p.
- Larinier, M. 1990. Experience in fish passage in France: fish pass design criteria and downstream migration problems. Proc. Int. Symp. Fishways '90 in Gifu, Japan, October 8-10.1990: 65-74.
- Laughton, R. 1991. The movements of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the River Spey as determined by radio telemetry during 1988 and 1989. Scott. Fish. Res. Rep. 50. 35 p.
- Lind, E.A. & Kaukoranta, E. 1974. Characteristics, population structure and migration of the whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.) in the Oulujoki river. Ichthyol. Fenn. Borealis 1974(4): 160-217.
- Lonnebjerg, N. 1990. Fishways in Denmark. Proc. Int. Symp. Fishways '90 in Gifu, Japan, October 8-10.1990: 253-259.
- Martin, J.D. 1984. Atlantic salmon and alewife passage through a pool and weir fishway on the Magaguadavic river, New Brunswick, during 1983. Can. Manus. Rep. of Fish. Aquat. Sci. No 1776. 11 p.
- Mantejfel, B.P., Pavlov, D.S. & Pahorukov, A.M. 1978. Kalansuojauslaitteiden ja kalateiden rakentamisen biologiset perusteet. Julkaisussa: Herva, M. & Hooli, J. (toim.), 1988. Kalojen virtakäyttäytymisen neuvostoliittolaisten tutkimusten valossa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 33: 7-22.
- McKeown, B.A. 1984. Fish migration. Beaverton, USA. 224 p.
- Morman, R.H., Cuddy, D.W. & Rugen, P.C. 1980. Factors influencing the distribution of Sea Lamprey (*Petromyzon marinus*) in the Great Lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1811-1824.
- Narkilahti, A. 1985. Kirakkakönkään kalatiemallit ja niiden virtauskokeet. Vesihallituksen monistesarja 363, 86 s.
- Nettles, D.C. & Gloss, S.P. 1987. Migration of landlocked Atlantic salmon and effectiveness of a fish bypass structure at a small-scale hydroelectric facility. North-Am. J. Fish. Man. 7: 562-568.

- Nordeng, H. 1977. A pheromone hypothesis for homeward migration in anadromous salmonids. *Oikos* 28: 155-159.
- Northcote, T.G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. In: Gerking, S.D. (ed.), *Ecology of freshwater fish production*. 520 p.
- Ojutkangas, E. & Jussila, J. 1988. Nahkiaisen kutunousu ja saalis kahdessa Keski-Pohjanmaan joessa 1980-luvulla. *Suomen Kalastuslehti* 95: 56-59.
- Orsborn, J.F. 1986. New concepts in fish ladder design. Part 1. Summary report. U.S. Energy Bonneville Power Adm. Div. Fish. Wildl., Wash. State Univ. Dept. Civ. Eng. 61 p.
- Pavlov, D.S. 1978: Kalojen virtakäyttäytymisen erityispiirteitä. Käännös. Julkaisussa: Herva, M. & Hooli, J. (toim.), 1988. Kalojen virtakäyttäytymisen neuvostoliittolaisten tutkimusten valossa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 33: 37-52.
- Pavlov, D.S. 1980. Kalojen virtakäyttäytymisen ohjaaminen. Käännös. Julkaisussa: Herva, M. & Hooli, J. (toim.), 1988. Kalojen virtakäyttäytymisen neuvostoliittolaisten tutkimusten valossa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 33: 23-36.
- Pavlov, D.S., Sbikin, Yu.N., Vashehinnikov, A.Ye. & Mochek, A.D. 1972. The effect of light intensity and water temperature on the current velocities critical to fish. *K. Ichthyol.* 12: 703-711.
- Pavlov, D.S. & Pahorukov, A.M. 1978. Ala-Tuloman kalaportaan toiminnan biologinen analyysi. Käännös. Julkaisussa: Herva, M. & Hooli, J. (toim.), 1988. Kalojen virtakäyttäytymisen neuvostoliittolaisten tutkimusten valossa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 33: 53-68.
- Pavlov, D.S. & Pahorukov, A.M. 1983. Biologiset perusteet kalojen suojaamiseksi joutumasta vedenotto-laitteisiin. Käännös. Julkaisussa: Herva, M. & Hooli, J. (toim.), 1988. Kalojen virtakäyttäytymisen neuvostoliittolaisten tutkimusten valossa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 33: 69-129.
- Petersson, Å. 1966. Resultat av sikmärkningar i Norrbotten. *Svensk Fisk. Tidskr.* 75: 6-8.

- Philips, A. 1979. Henkilökohtaiset tiedot, muistiinpanot ja äänite Matti Hervan matkakertomukseen (ks. Herva, M. 1981).
- Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto 1990. Siikajoen kalastuskirjanpito v. 1989. 15 s.
- Poikola, K. 1990. Nahkiaisen kannat ja kalastus Suomenlahdella. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 208: 37-44.
- Rajaratnam, N. & Katopodis, C. 1984. Hydraulics of Denil fishways. J. Hydr. Eng. 110: 1219-1233.
- Rajaratnam, N., Vinne, van der G. & Katopodis, C. 1986. Hydraulics of vertical slot fishways. Hydr. Eng. 112: 909-927.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C. & Flint-Petersen, L. 1987. Hydraulics of two-level Denil fishway. J. Hydr. Eng. 113: 670-674.
- Rimaila-Pärnänen, E. 1990. Kalatiet ja kalataudit. Kalateiden biologiset ja kalataloudelliset edellytykset -seminaari. 16.-17.1.1990, Kotka.
- Rogers, A. & Cane, A. 1979. Upstream passage of adult salmon through an unlit tunnel. Fish. Mgmt. 10: 87-92.
- Sarjamo, H. 1982. Kirakkajoen vesistön säännöstelyn vaikutukset Rahajärven, Hammasjärven ja Ukonjärven kalakantoihin sekä kalakantojen hoitosuunnitelma. Käsikirjoitus. 45 s.
- Schwalme, K., Mackay, W.C. & Lindner, D. 1985. Suitability of vertical slot and Denil fishways for passing north-temperate, nonsalmonid fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1815-1822.
- Sjöberg, K. 1980. Ecology of the European river lamprey (*Lampetra fluviatilis*) in Northern Sweden. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1974-1980.
- Slatick, E. 1975. Laboratory evaluation of a Denil-type steep pass with various entrance and exit conditions for passage of adult salmonids and american shad. Mar. Fish. Rev. 37: 17-26.
- Slatick, E. & Basham, L.R. 1985. The effect of Denil fishway length on passage of some nonsalmonid fishes. Mar. Fish. Rev. 47: 83-85.
- Smith, R.J.F. 1985. The control of fish migration. Zoophysiology 17. 243 p.

- Stuart, T.A. 1962. The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. Freshw. Salm. Fish. Res. Ser. 28: 1-45.
- Tack, S.L. & Fisher, J.G. 1978. Performance of arctic grayling in a twenty foot section of model "A" Alaska steppass fish ladder. Final report to the Army Corps of Engineers, Alaska Division. 19 p.
- Tervaniemi, O.-M. 1989. Harjuksen (*Thymallus thymallus* L.) ja taimenen (*Salmo trutta* L.) ekologiasta Inarin Kirakkajoessa, Pohjois-Suomessa. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, eläintieteen laitos. 81 s.
- Törmälä, S. 1981. Siikajoen nahkiaisen pyynnistä, nahkiaiskannoista ja nahkiaispopulaatioista. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, eläintieteen laitos. 59 s.
- Veijalainen, V. 1985. Kalaportaan hydraulinen mitoitus. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos, sarja A, julkaisu 17. 97 s.
- Virtanen, E. 1984. Kudulle vaeltavan siian fysiologiset rasitusvasteet luonnollisessa voimakkaassa virrassa ja kalaportaassa. Käsikirjoitus. 4 s.
- Wardle, C.S. 1977. Effect of size on the swimming speeds of fish. In: Pedley, T.J. (ed.), Scale effects in animal locomotion: 299-313. Academic Press, London. 545 p.
- Weihs, D. 1977. Effects of size on sustained swimming speeds of aquatic organisms. In: Pedley, T.J. (ed.), Scale effects in animal locomotion: 333-338.
- White, D.K. & Pennino, B.J. 1980. Connecticut river fishways, model studies. J. Hydraulics Div. 1980/7: 1219-1233.
- Ylinärä, T. 1989. Vesivirran nopeuden ja pakoreaktivoiman mittaaminen vaelluskalan uintitutkimuksessa. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, biofysiikan laitos. 75 s.
- Ylinärä, T. 1992. Tilastotietoja ympäristömuuttujista ja siikasaalismäärästä Tornionjoen Kukkolankoskella 1991. Käsikirjoitus. 6 s + 16 liitettä.

**OULUN YLIOPISTON KALATEIHIN JA KALAN UINTIKÄYTTÄYTYMISEEN
LIITTYVISTÄ TUTKIMUKSISTA TEHTYJÄ RAPORTTEJA, ESITELMIÄ
JA JULKAISUJA.**

1. Keminmaan kalatiemalli

- Ahrikkala, T., Saari, P. & Narkilahti, A. 1983. Virtauksen tutkiminen kalatiemallissa. Julkaisussa: Kalatiemalli ja siinä suoritettu koetutkimus. Vesirakennustekniikan erikoistyöt syyslukukaudella 1982. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos, sarja A, julkaisu 15. 19 s.
- Hänninen, K., Ihme, R., & Lähdemäki, J. 1983. Kalatiemallin toteuttaminen. Julkaisussa: Kalatiemalli ja siinä suoritettu koetutkimus. Vesirakennustekniikan erikoistyöt syyslukukaudella 1982. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos, sarja A, julkaisu 15. 21 s.
- Herva, Y. 1984. Raportti kalatiemallikokeista Keminmaassa kesällä 1983. Julkaisematon.
- Virtanen, E. 1984. Kudulle vaeltavan siian fysiologiset rasitusvasteet luonnollisessa voimakkaassa virrassa ja kalaportaassa. Julkaisematon. 4 s.
- Herva, M. & Alaperä, K. Siirrettyjen lohikalojen käyttäytyminen Keminmaan kalatiemallissa kesällä 1985. Tutkimusraportti. 2 s. Julkaisematon.
- Alaperä, K. 1986. Raportti kalatiemallikokeista Keminmaassa kesällä 1986. Julkaisematon. 5 s.
- Herva, M. 1986. Keminmaassa oleva kalatien pienoismalli kalakokeiden suorituspaikkana. Esitelmä Helsingin yliopiston täydennyskoulutuskurssilla: Kalavesien kunnostus, 14.-16.10.1986, Siilinjärvi.
- Alaperä, K. 1987. Vaelluskalan kuljetus- ja kalatiemallikokeet Keminmaassa kesinä 1984-86. Julkaisematon. 19 s.
- Herva, M. 1987. Kalakokeet ja virtausmittaukset pystyrakokalatien pienoismallissa Keminmaassa. Yhteenveto vuosilta 1982-86. Julkaisematon. 7 s.
- Herva, M. & Laine, A. 1988. Koekalojen uiminen pienoismallikalaportaan turbulentsisessa virtauksessa. Raportti Maa- ja Vesitekniikan Tuki ry:lle. Julkaisematon. 37 s.

Alaperä, K. 1989. Vaellussiian (*Coregonus lavaretus* L.) kuljettamisesta sekä kuljetusrasitukseen ja nousukäyttäytymiseen vaikuttavista tekijöistä Kemimaan kalatien pienoismallissa. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, eläintieteen laitos. 74 s.

2. Inarin Kirakkakönkään kalatiemalli

Laine, A. 1984. Kalatietutkimus ja kalateiden koerakentaminen. Kirakkajoen tutkimusraportti vuodelta 1983. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos, sarja A, julkaisu 13. 45 s.

Laine, A. 1985. Kalatietutkimus Kirakkakönkääällä vuosina 1984 ja 1985. SITRA, sarja A, julkaisu 79. 80 s.

Narkilahti, A. 1985. Kirakkakönkään kalatiemallit ja niiden virtauskokeet. Vesihallituksen monistesarja 363, 86 s.

Laine, A. 1986. Kalojen nousukäyttäytyminen Kirakkakönkään kalatiemalleissa. Vuoden 1985 tulokset. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 22. 72 s.

Laine, A. 1986. Inarin Kirakkakönkään kalatiekokeilu. Esitelmä Helsingin yliopiston täydennyskoulutus-kurssilla: Kalavesien kunnostus, 14.-16.10.1986, Siilinjärvi.

Tervaniemi, O.-M. Kirakkajoen harjus- ja taimentutkimus. Oulun yliopisto, eläintieteen laitos. Tutkimusraportti 1987. 13 s. Julkaisematon.

Laine, A. & Tervaniemi, O.-M. 1987. Inarin Kirakkakönkään kalatiemallit. Suomen Kalastuslehti 94: 9-12.

Laine, A. 1990. Kalojen uiminen ja siihen vaikuttavat tekijät Inarin Kirakkakönkään kalatiemallissa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 41. 107 s.

Laine, A. 1990: The effects of a fishway model hydraulics on the ascend of vendace, whitefish and brown trout in Inari, northern Finland. *Aqua Fennica* 20(2): 191-198.

3. Siikajoen Pöyryn kalatie

- Laine, A., Ylinärä, T., Heikkilä, J. & Hooli, J. 1990: Siikajoen Pöyryn kalatien tutkimus ja seuranta. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 43. 48 ss.
- Laine, A., Ylinärä, T. & Heikkilä, J. 1990: Kokemuksia Pöyryn ja Kärnänkosken kalateistä. Suomen Kalastuslehti 97: 300-301.
- Laine, A., Ylinärä, T., Hooli, J. & Tikkanen, U.-R. 1991. Siikajoen Pöyryn kalatien tutkimus ja seuranta. Raportti vuodelta 1990. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A julkaisu 46. 31 s.
- Kamula, R., Laine, A., Pohjamo, T. & Hooli, J. 1992. Siikajoen Pöyryn kalatien tutkimus ja seuranta. Yhteenvetoraportti vuosien 1989-1991 tutkimuksista. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 49. 55 s.
- Kamula, R., Pohjamo, T., Laine, A. & Hooli, J. Suositukset Pöyryn kalatien rakenteellisista muutoksista. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio. 4.5.1992. 15 s. Julkaisematon.
- Tikkanen, U.-R. 1992. Pöyryn kalatien tekninen parantaminen. Diplomityö. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio.

4. Viitasaaren Kärnänkosken kalatie

- Laine, A., Ylinärä, T., Heikkilä, J. & Hooli, J. 1990: Viitasaaren Kärnänkosken kalatien seuranta ja virtaustilaselvitys. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 43. 20 ss.
- Laine, A., Ylinärä, T. & Heikkilä, J. 1990: Kokemuksia Pöyryn ja Kärnänkosken kalateistä. Suomen Kalastuslehti 97: 300-301.
- Laine, A., Ylinärä, T. & Hooli, J. 1991. Viitasaaren Kärnänkosken kalatien tutkimus ja seuranta. Raportti vuodelta 1990. Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 46. 28 s.

5. Tornionjoki

- Virtanen, E. 1984. Kudulle vaeltavan siian fysiologiset rasitusvasteet luonnollisessa voimakkaassa virrassa ja kalaportaassa. 4 s. Julkaisematon.
- Heikkilä, J. Vaelluskalan, erityisesti siian uiminen virtausesteessä. Luonnon synnyttämät esteet. Tutkimusraportti Tornionjoelta vuonna 1985. 20 s. Julkaisematon.
- Heikkilä, J. & Tolonen, A. 1985. Kalatietutkimus. Vaelluskalan, erityisesti siian uiminen virtausesteessä. Väliraportti. 22 s. Julkaisematon.
- Korhonen, J. & Heikkilä, J. 1986. Vaellussiian julkinen häämatka. Helsingin Sanomat / sunnuntai 3.8.1986.
- Haarahiltunen, P. & Heikkilä, J. 1986. Siikatutkijat saalistavat videolla. Kuvalehti Pellervo nro 15/1986.
- Virtanen, E. 1987. Tornionjoen vaellussiian rasittuminen voimakkaassa virrassa ja kuljetuksessa. Tutkimusraportti. 8 s. Julkaisematon.
- Ylinärä, T. 1992. Tilastotietoja ympäristömuuttujista ja siikasaalismäärästä Tornionjoen Kukkolankoskella. 24 s. + 18 liitettä. Julkaisematon.

6. Mittausmenetelmät

- Heikkilä, J. 1986. Kalatie- ja kalataloudellinen tutkimus Tornionjoella. Tutkimusmetodiikan kehittäminen. Käsikirjoitus, Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio. 20 s.
- Heikkilä, J. 1986. Kalatie- ja kalataloudellinen tutkimus Tornionjoella. Tutkimusmetodiikan kehittäminen. Esitelmä virtavesien kunnostuspäivässä 4.11.1986.
- Heikkilä, J. & Ylinärä, T. 1987. Kalatie- ja kalataloudellinen tutkimus Tornionjoella. Tutkimusmetodiikan kehittäminen. Väliraportti. Aquanäyttely 4.4.-14.4.1987. 21 s.
- Maa ja Vesi Oy. 1987. Virtausnopeusmittaus. Markkinointitutkimus. 17 s.

Heikkilä, J. & Ylinärä, T. 1988. Kalatietutkimus ja vaelluskalan uinti virtausesteessä. Osa 3. Havainto- ja mittaustekniikan kehittäminen, videokuvaus ja kaikuluotaus. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio. Sarja A, julkaisu 34. 13 s.

Heikkilä, J. & Ylinärä, T. 1988. Kalatietutkimus ja vaelluskalan uinti virtausesteessä. Osa 4. Havainto- ja mittaustekniikan kehittäminen, venymäliuska-mittari. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio. Sarja A, julkaisu 34. 26 s.

Hooli, J., Mela, M. & Ylinärä, T. 1989. Vesivirran nopeuden ja pakoreaktivoiman mittaaminen vaelluskalan uintitutkimuksessa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 39. 75 s.

Ylinärä, T. 1991. Vedennopeuden mittaaminen kalatiessä. Vesitalous 3/1991: 31-34.

Ylinärä, T. & Paaso, M.K.J. 1992. Siian pakoreaktivoiman ja syöksyuintiliikkeen taajuuden mittaaminen voima-anturia käyttäen. Vesitalous 3/1992: 34-39.

7. Laboratoriotutkimukset

Veijalainen, V. 1985. Kalaportaan hydraulinen mitoitus. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos, sarja A, julkaisu 17. 97 s.

Veijalainen, V. 1986. Kalateiden hydraulikka. Vesitalous 4/1986, 5 s.

8. Matkakertomukset, kirjallisuuskatsaukset ym.

Helenius, L., Keränen, M., Savolainen, J. & Veijalainen, V. 1981. Tutkimus kalateistä. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos, sarja A, julkaisu 7. 48 s.

Herva, M. 1981. Joen vaelluskalakannan elvyttämiseen ja säilyttämiseen käytetyt vesirakennustekniset toimenpiteet ja näiden vesiensuojelulliset edellytykset. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, limnologian laitos. 67 s.

Herva, M. 1982. Kalatiet. Teoksessa: Jutila, E. & Hildén, O. (toim.), Vesistöjen rakentaminen ja kalatalous. VKA ry:n koulutuspäivät 29.-30.10.1981: 109-123.

- Alatalo, H. & Uutela, P. 1983. Vaelluskalojen uinti kalateissa ja kalatietyypit. Julkaisussa: Kalatiemalli ja siinä suoritettu koetutkimus. Vesirakennustekniikan erikoistyöt syyslukukaudella 1982. Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos, sarja A, julkaisu 15. 15 s.
- Herva, M. 1985. Kalan kulku ja kalatie. Vesihallituksen monistesarja nro 342: 49-60.
- Herva, M. 1986. Kalan virtahakuisuus ja vaelluskäyttäytyminen tutkimuksessa ja kalatien suunnitteluperusteena. 68 s. Julkaisematon.
- Heikkilä, J. & Ylinäätä, T. 1987. Kalatie- ja kalataloustutkimus. Opintomatka Pohjois-Norjaan ja Pohjois-Ruotsiin. Julkaisematon.
- Heikkilä, J. & Laine, A. 1988. Kalatiet ja kalataloudelliset kunnostustyöt. Raportti kalateiden ja kalojen vaelluskäyttäytymisen tutkimuksesta sekä kalatierakentamisen yleistilanteesta maassamme. 24 s. Julkaisematon.
- Herva, M. & Hooli, J. (toim.) 1988. Kalojen virtakäyttäytyminen neuvostoliittolaisten tutkimusten valossa. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 32. 31 s.
- Laine, A. & Heikkilä, J. 1989: Kalatiesuunnittelu - kokonaisvaltaista kalakannan palvelua. Vesitalous 30 (4): 38-41.
- Hooli, J. Kalojen uiminen virtaavassa vedessä ja kalatiessä. Oulun maatalousnäyttely 3.-5.8.1990. Poster-esittely.
- Herva, M. 1991. Tietä kalalle. Kaleva 27.1.1991.
- Herva, M. 1992. The present importance of the fishways in Norway. Manuscript. 4 p.
- Herva, M. 1992. Fiskevandringar og systematiske fiskeobservasjoner. Kalan kulku ja järjestelmälliset kalatiehavainnot. Julkaisematon.
- Kamula, R., Pohjamo, T. & Hooli, J. 1992. Kalatie- ja kalataloustutkimus. Tutustumismatka Pohjois-Ruotsiin 25.-27.8.1992. 15 s + 7 liitettä. Julkaisematon.
- Kamula, R. & Pohjamo, T. 1992. Ajatuksia kalateistä. Vesitalous 6/1992: 27-30.

- Kamula, R. 1993. Kalaportaalta kolmannelle - lyhyt katsaus kalateiden historiaan. Suomen Kalastuslehti 1/1993: 4-7.
- Herva, M. 1993. Japanin kalatiesymposion esitelmien pääasiallinen sisältö. Vesitalous 2/1993: 18-21.
- Herva, M. 1993. Vapaa kalankulku, kalojen käyttäytyminen ja rinnakkaiset kalatiet. Kokemuksia Japanin kalateista. Suomen Kalastuslehti 4-5/1993: 12-14.
- Herva, M. 1993. Kalan kulun seuranta joessa ja kalateissa. Suomen Kalastuslehti 4-5/1993: 14-17.

9. Yhteenvetoraportit ja -julkaisut

- Hooli, J. 1984. Kalatietutkimus ja kalateiden koerakentaminen. Rakennustekniikka 5/1984. 5 s.
- Herva, M. 1986. Kalan virtahakuisuus ja vaelluskäyttäytyminen tutkimuksessa ja kalatien suunnittelu-
perusteena. 65 s. Julkaisematon.
- Hooli, J. 1986. Kalatiet kalataloudellisissa kunnostushankkeissa. Koetoiminnan yleiset puitteet Oulun yliopistossa. HY:n täydennyskoulutuskurssi/Kalavesien kunnostus 14.-16.10.1986 Siilinjärvellä.
- Kalatietutkimus ja vaelluskalan uinti virtausesteessä. Lapin lääninhallituksen rahoittama tutkimusprojekti. Lapin Maakuntaliitto 6.11.1987. 26 s. Julkaisematon.
- Heikkilä, J., Herva, M., Hooli, J., Laine, A. & Ylinärä, T. 1988. Kalatietutkimus ja vaelluskalan uinti virtausesteessä. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 34.
- Hooli, J. 1988. Studies in the fishway models. Aqua Fennica 18:171-178.
- Hooli, J., Heikkilä, J. & Ylinärä, T. (toim.), 1988. Kalateitä koskevien tutkimusprojektien loppuraportit. Vuosien 1985 ja 1986 kenttätutkimukset. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 32: 136 s.
- Hooli, J. 1988. Fishway studies and swimming of fish in flow obstacles. Visiting lecture at the Technical University of Gdansk, Poland 1st July 1988. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 35. 13 s.

- Heikkilä, J. & Hooli, J. 1989. Swimming behaviour of fish in flowing water: a multidisciplinary research project within the university of Oulu. Acta Univ. Oul. F3: 56-61.
- Hooli, J. 1989. Kalateiden pienoismallikokeista. Vesitalous 1/1989: 26-32.
- Hooli, J. 1992. Kalateitä koskevan tutkimustoiminnan ohjelmointi Oulun yliopistossa. Programming of the fishway studies at the University of Oulu. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio. Sarja A, julkaisu 51. 34 s.
- Kamula, R., Laine, A. & Hooli, J. 1993. Kalojen uintikäyttäytyminen ja tähän vaikuttavat tekijät virtaavassa vedessä ja kalatiessä. Loppuraportti. 10 s.

KALATEIHIN JA KALOJEN UIMISEEN LIITTYVÄÄ TERMISTÖÄ**1. Kalateitä koskevat termit:**

Allaskalatie	Yleisnimitys kalatielle, joka koostuu sarjasta altaita ja niitä toisistaan erottavia kourun levyisiä väliseiniä. Allaskalateitä ovat pääasiassa yli- ja läpivirtauskalatiet, mutta joskus myös pystyrakokalatiet luetaan allaskalateihin.
Aukkonopeus	Nousuaukon virtausnopeus.
Borland-kalatie	Skotlantilaisen Borlandin kehittämä kalasulku, jossa yhdyskanava on pystysuora.
Denil-kalatie	Belgialaisen Denilin kehittämä kalatie, jonka muodostuu virtauskourusta, jonka seinillä ja pohjalla olevat lähekkäiset kaltevat siivekkeet ohjaavat veden virtausta ja hävittävät sen liike-energiaa.
Kalahissi	Kalatie, jossa kalat pyydystetään nostolaitteeseen, joka nostaa ne yläveden tasolle.
Kalasaluku	Kanavasulkujen tapaan toimiva kalatie.
Kalatie	Rakenne, väylä tai menetelmä, joka mahdollistaa kalan pääsyn vaellusesteiden yli tai ohi kutu- tai muulla vaelluksella.
Lähestymisalue	Kalatien alavirran puoleinen alue, josta ylävirtaan nousevat kalat hakeutuvat sisäänkäyntiin.
Läpivirtauskalatie	Allaskalatie, jossa vesi virtaa altaasta toiseen väliseinässä olevan aukon (orifice) kautta.

Nousuaukko	Yleisnimitys kalatiessä oleville aukoille, joiden kautta kala voi uida altaasta toiseen.
Pystyrakokalatie	Virtauskouru, jonka altaita erottavissa väliseinissä on pohjan lähelle ulottuva pystyrako (vertical slot fishway).
Rumpukalatie	Teiden tai penkereiden alitukseen kehitelty kalatietyyppi, jossa on virtausta hidastamassa erilaisia siivekkeitä, lohka-reita tai pohjapatoja (culvert fishway).
Sisäänkäynti	Kalatien alavirran puoleinen suuaukko siihen liittyvine rakenteineen.
Uloskäynti	Kalatien ylävirran puoleinen suuaukko siihen liittyvine rakenteineen.
Virtaama	Vesimäärä, joka ohittaa uoman tietyn poikkileikkauksen tietyssä ajassa (m^3/s).
Virtausnopeus	Veden nopeus sen ohittaessa virtausuoman tietyn pisteen (m/s).
Ylivirtauskalatie	Allaskalatie, jossa vesi virtaa altaasta toiseen väliseinän yli tai sen yläreunassa olevan loven tai uurroksen kautta (overflow).

2. Kaloja koskevat termit:

Amfidromi	Kala, jonka vaellus makeasta vedestä mereen ja päinvastoin ei liity lisääntymiseen.
Anadromi	Kala, joka vaeltaa merestä tai murtovedestä makeaan veteen kutemaan.
Fototaksis	Kalan orientoituminen valoon.
Katadromi	Kala, joka vaeltaa makeasta vedestä mereen kutemaan.

Kineesi	Yksinkertainen orientoitumis- mekanismi, jossa eläin reagoi ärsykkeeseen täysin umpimäh- käisesti, esimerkiksi pyriste- lemällä pois valosta.
Kriittinen nopeus	Se virran alin nopeus, jossa kala välittömästi jättäytyy virran kuljetettavaksi.
Kynnysnopeus	Se virran alin nopeus, jossa kala orientoituu ja pysyttelee virrassa tai lähtee uimaan ylä- virtaan.
Matkanopeus	Nopeus, jota kala käyttää pit- killä vaelluksilla. Kala voi ylläpitää matkanopeuksia vuo- rokausien ajan (sustained speed).
Optomotorinen reaktio	Visuaalisesti kiintopisteiden avulla tapahtuva aseman mää- rittäminen virtaavassa vedessä.
Oseanodromi	Kala, joka vaeltaa valtamerissä tiettyjä reittejä esimerkiksi vuodenaikojen mukaan.
Pitkäkestoinen nopeus	Nopeus, jolla kala jaksaa uida 20 sekunnista enintään puoleen tuntiin (prolonged speed).
Potamodromi	Sisävesikala, joka vaeltaa makeassa vedessä olevien kutu- ja syönnösalueiden välillä.
Reoreaktio/reotaksis	Kalan orientoituminen virtaan nähdessä. Positiivisessa reo- reaktiossa kala orientoituu virtaa vastaan, negatiivisessa se jättäytyy virran kuljetet- tavaksi.
Retinomotorinen reaktio	Kalan verkkokalvossa olevien näkösolujen ja pigmenttien liikkuminen valaistuksen muut- tuessa.
Smoltti	Lohen tai taimenen joesta me- reen vaeltava vaelluspoikanen.

Syöksynopeus

Nopeus, jota kala jaksaa ylläpitää enintään 20 sekunnin ajan (burst speed).

Taksis

Kalan pakollinen eli ehdoton reaktio joko ärsykkeen suuntaan tai siitä poispäin.

Uintikyky

Kalan uinnin kesto tietyssä uintinopeudessa.

