

Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistössä

- Lohen palauttaminen Oulujokeen

Lasse Järvenpää, Jukka Jormola ja Simo Tammela

LUONNON-
VARAT



Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistöissä

- Lohen palauttaminen Oulujokeen

Lasse Järvenpää, Jukka Jormola ja Simo Tammela



S Y K E

Suomen ympäristö 5 | 2010
Suomen ympäristökeskus
Vesikeskus

Taitto: Pirjo Lehtovaara

Kansikuva: Jukka Jormola, Yrttikosken ohitusuomatyypinen kalatie Perhonjoessa. Uomaan on tehty suvantojen välille virtapaikkoja, joissa on kutusoraa.

Cover page figure: Jukka Jormola, Yrttikoski fish pass of bypass channel type in Perhonjoki River. Riffles with spawning gravel have been made between pools

Julkaisu on saatavana vain internetistä: www.ymparisto.fi/julkaisut

ISBN 978-952-11-3694-8 (PDF)
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

ESIPUHE

Eliöiden vapaata liikkumista ja vesistöjen ekologista jatkuvuutta korostetaan Yhdistyneiden kansakuntien ruoka- ja maatalousjärjestön FAO:n kalataloustavoitteissa (Cowx & Welcomme 1998) ja Euroopan Unionin vesipolitiikassa (Euroopan parlamentin... 2000). Suomessa samat tavoitteet ovat mukana vesienhoitosuunnitelmissa, joiden toimenpideohjelmat on vahvistettu vesienhoidon järjestämisestä vuonna 2004 annetun lain mukaisesti. Ohjelmissa on esitetty toimenpiteitä voimakkaasti muutettujen vesistöjen tilan parantamiseksi. Monien entisten lohijokien varrella halutaan palauttaa vaelluskala jokeen. Asukkaiden mielipiteet ja vesistökohtaiset erityispainotukset ovat osa vesienhoitosuunnitelmien sisältöä. Vaelluskalapolitiikan tavoitteita määritellään myös maa- ja metsätalousministeriön valmisteilla olevassa kalatierstrategiassa.

Voimassa olevassa Matti Vanhasen toisen hallituksen hallitusohjelmassa esitetään uusiutuvan energian, myös vesivoiman lisäämistä. Samalla ohjelmassa kiinnitetään huomiota vaelluskalojen poikasten kuolevuusongelmiin ja pyritään turvaamaan luonnonlohen nousu kutujokiin. Tavoitteena on kestävien kalakantojen säilyttäminen merialueilla ja sisävesistöissä. Ohjelmassa mainitaan erikseen, että tavoite koskee myös rakennettuja vesistöjä. Vaelluskalojen palauttamiselle rakennettuihin jokiin on sekä Suomen valtion että EU:n ja YK:n ympäristöpolitiikan tuki. Elinkykyisten kantojen palauttamiselle on tavoitteena haasteellinen, kun otetaan huomioon useimpien suurten jokiemme jo nykyisin tehokas rakentaminen ja lisäksi tavoitteet vesivoiman käytön lisäämiseksi.

Vaelluskalojen palauttaminen vaatii sekä vaellusyhteyksien että kutu- ja lisääntymisaluiden kunnostamista. Tässä selvityksessä tutkitaan mahdollisuuksia uusien kutu- ja lisääntymisaluiden rakentamisesta samalla kun järjestetään kalojen nousu luonnonmukaisia ohitusuomia pitkin. Luonnonmukaisista kalateistä ja ohitusuomista on kerätty Suomessa kokemuksia ns. luonnonmukaisen vesirakentamisen kehittämistyössä (Jormola ym. 2003).

Selvitys on osana Interreg -hankkeeseen Lohen palauttaminen Oulu- ja Lososinjokeen. (Laine 2008). Tehtävänä on ollut tutkia luonnonmukaisten ohitusuomaratkaisujen toteuttamista Oulujoen kuudella ylimmällä voimalaitoksella. Selvitys on tehty rinnakkain vastaavan teknisten kalateiden selvityksen kanssa siten, että eri vaihtoehtojen ja niiden yhdistelmien vertailu tulee mahdolliseksi kalan kulkua edistävien päätösten tekemiseksi. Tarkoituksena on ollut selvittää, millaisia hyötyjä ohitusuomista saattaisi olla lisääntymisaluiden kasvavan pinta-alan ja poikastuotannon kannalta ja millä kustannuksilla.

Selvityksessä tarkastellaan myös yleisemmin ohitusuomien suunnitteluperiaatteita, kotimaista ja kansainvälistä tietoutta ohitusuomista ja keinollisista lisääntymisalueilta sekä mallinnuksen käyttöä ohitusuomien suunnittelussa. Toteutusperiaatteet voivat olla sovellettavissa laajemminkin voimakkaasti rakennettujen jokien ongelmien ratkaisuun. Julkaisun halutaan palvelevan myös kansainvälistä lukijakuntaa. Selvityksessä esitetyt esimerkit ja toteutusperiaatteet lohikalajien korvaavista lisääntymisalueilta sopivat jo syntyneiden haittojen korjaamiseen ja myös vesivoiman käytön tehostamisessa syntyvien haittojen vähentämiseen.

Selvityksen ovat laatineet diplomi-insinööri Lasse Järvenpää ja maisema-arkkitehti Jukka Jormola Suomen ympäristökeskuksen vesivarayksiköstä. Suunnittelun apuna käytetyn mallinnuksen on tehnyt diplomi-insinööri Simo Tammela Oulun yliopistosta.

TIIVISTELMÄ

Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistössä – Lohen palauttaminen Oulujokeen

Lasse Järvenpää, Jukka Jormola ja Simo Tammela

Luonnonmukaisia ohitusuomia toteuttamalla voidaan mahdollistaa vaelluskalojen lisäksi heikommin uivien lajien ja pohjaeläinten vaellus vesistöissä, joiden läpikukkelpoisuus on estynyt voimalaitoksia ja patoja rakennettaessa. Lisäksi ohitusuomiin on mahdollista toteuttaa uusia lisääntymisalueita, joita tarvitaan alkuperäisten lisääntymisalueiden vähennyttyä.

Ohitusuomia suunniteltaessa voidaan soveltaa luonnonvesistöjen morfologisia tyypejä eri uomakaltevuuksilla. Etenkin loiville uomatyypeille muodostuu kalojen lisääntymisalueiksi kutusoraikkoja ja poikasalueita. Tyynenmeren lohille on rakennettu keinollisia lisääntymisalueita, joiden toteutusperiaatteita sovelletaan tässä selvityksessä Atlantin lohelle ohitusuomia suunniteltaessa. Suunnittelussa sovelletaan skotlantilaisesta toteutuskohteesta ja lisäksi kotimaisista luonnonvesistä saatua tietoutta lohien ja taimenten lisääntymisolosta.

Suunnittelukohteena on Oulujoen pääuoman kuusi ylintä voimalaitosta, joista kullekin on suunniteltu ohitusuomalinjaukset. Lisäksi on tutkittu yhtä pitkää, kahden voimalaitoksen ohittavaa linjausta. Tutkittujen linjausten pituudet vaihtelevat 650 metrin ja 10 kilometrin välillä. Ohitusuomien kaltevuuksien, mittasuhteiden ja virtaamien vaikutuksia syntyviin virrannopeuksiin ja vesisyvyyn on tutkittu virtausmallinnuksella. Muodostuvia lohien ja taimenien kutu- ja poikasalueita, joiden laatuun vaikuttaa myös pohjan kivikoko, on tutkittu esimerkkikohteeseen laaditulla habitaattimallilla. Mallinnuksella todettiin, että uomista voidaan saada kaloille helposti nousukelpoisia jyrkimmillä 5 % kaltevuusilla osuuksilla. Ohitusuomiin muodostuu kaloille erinomaisia lisääntymisalueita kaikille osuuksille, joiden kaltevuus on alle 1,5 %. Kesäaikainen käyttövirtaama $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ja talviovirtaama $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ mahdollistavat hyvien lohien ja taimenien kutu- ja poikashabitaattien muodostumisen suurimmalle osalle uomapituutta mallinnukseen valituilla uomaleveyksillä 5-7 m. Loivilla osuuksilla uomaleveyttä voidaan kasvattaa 10 metriin habitaattien alan lisäämiseksi. Mahdollisesti tarvittava houkutusvirtaama $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ voidaan ottaa huomioon habitaattien muotoilussa.

Ohitusuomiin saadaan yhteensä 11 hehtaaria hyvälaatuisia lisääntymishabitaatteja, joiden poikastuotanto voisi olla 22 000 lohien smolttia. Esimerkkikohteiden perusteella laskettu poikastuotto, 2000 smolttia hehtaarilta olisi tällöin selvästi suurempi kuin luonnonjokien arviona käytetty 300 smolttia hehtaarilta. Olosuhteiden optimointi antaa perusteen odottaa hyvää poikastuotantoa. Muissa selvityksissä on arvioitu sivuvesistöjen ja pääuoman jäljellä olevilla lisääntymisalueilla tuotannoksi molemmilla 15 000 smolttia. Joen pääuoman alkuperäisten lisääntymisalueiden pinta- alaksi on laskettu 600 ha ja poikastuotannon on arvioitu olleen 190 000 smolttia.

Ohitusuomien rakennuskustannuksia on tutkittu Suomessa toteutettujen kalateiden kustannusten, kaivutöiden ja erityisrakenteiden, kuten vedenohjausrakenteiden ja teiden alitusten perusteella. Yksittäisten ohitusuomien toteutuskustannukset vaihtelevat 0,5 ja 2,9 miljoonan euron välillä ja kaikkien toteutus maksaisi, habitaattien ala maksimoiden, 7,3 miljoonaa euroa. Teknisten kalateiden toteutuskustannus olisi yhteensä 9,7 miljoonaa euroa. Teknisiin ratkaisuihin verrattuna ohitusuomiin tarvitaan pieni talviovirtaama, mutta samalla lisähyötynä on poikastuotantomahdollisuus.

Ohitusuomien merkitys vaellusreiteinä ja uusina lisääntymisalueina voisi vähäisestä pinta-alasta huolimatta olla suuri pyrittäessä lisääntyvien kalakantojen aikaansaamiseen ja alkuperäisten poikastuotantoalueiden osittaiseen korvaamiseen. Ohitusuomilla on myönteisiä vaikutuksia myös maisemaan, asuinympäristöön ja matkailuun.

SUMMARY

Planning of nature-like bypasses in a constructed river – Bringing back salmon to River Oulujoki

Lasse Järvenpää, Jukka Jormola and Simo Tammela

With nature-like bypasses migration of valuable fish stocks and even weak swimmers and bottom fauna can be made possible in watercourses, where continuity is cut by construction of power plants and dams. In addition, new reproduction areas can be constructed in bypasses. They are needed, when dam construction has remarkably decreased the area of original reproduction areas.

In the planning of bypasses morphological types of natural watercourses in different gradients can be applied. Especially gentle sloped section provide gravel beds for spawning and juvenile habitats for migratory fish. Artificial spawning and rearing channels have been constructed for Pacific salmon species in Canada. In this research reproduction areas are applied for Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta* in bypass planning. Experience of a case in Scotland and research of natural salmon and trout reproduction areas in Finland are applied.

The planning project consists of planning nature-like bypasses for six power plants in Oulujoki River main channel. Also one longer option, passing two power plants has been investigated. The length of the bypasses vary from 650 metres to 10 kilometres. The effects of gradient and proportions of the bypasses to velocities and water depths with different discharges has been investigated by modeling. Habitats for salmon and trout spawning and juveniles, taking in account also bottom material, have been investigated by habitat model. Modeling shows that migration is easily possible for fish by the biggest gradient 5 %. Excellent reproduction habitats can be created for all sections with gradient less than 1,5 %. Summer discharge 1 m³/s and winter discharge 0,5 m³/s provide spawning and rearing habitats for salmon and trout for most of the bypass length by channel width 5-7 meters, which was chosen for modeling. At gentle sloped sections it is possible to increase channel width up to 10 meters to increase the area of habitats. Impact of possible attraction flow 2,5 m³/s to the habitats can be considered in the design of channel.

It is possible to create 11 hectares of reproduction areas with good quality to bypasses altogether. According to reference cases the production capacity for salmon could be 22 000 smolts a year. The expected productivity 2000 smolts per hectare would be significantly bigger than in natural rivers, 300 smolts per hectare. Optimizing of circumstances in the bypasses is a basis for expecting good productivity. In other investigations the production of smolts in the tributaries and in the reproduction areas that are left in the main course of Oulujoki, weakened by damming and pulsatory flow, is estimated to be 15 000 in each. The original reproduction area in the main course has been 600 hectares and original smolt production of the main course is estimated to have been 190 000 smolts a year.

Construction costs of bypasses have been investigated according to constructed bypasses in Finland, excavation work costs and special costs like water inlet and outlet constructions and road undergoing. The costs of individual bypasses vary from 0,5 to 2,9 million euros, altogether 7,3 million euros by maximizing the area of habitats. The cost of the technical fishways would be 9,7 million euros. Compared with technical solutions, a small winter discharge is needed to the bypasses, but advantage for reproduction can be gained.

Despite their limited area, bypasses would help in re-creating self reproducing fish stocks and original reproduction habitats could be mitigated in some extent. Bypasses would be valuable as migration routes and ecological corridors. They have positive effects also to landscape, residential areas and tourism.

SISÄLLYS

Esipuhe	3
Tiivistelmä	4
Summary	5
1 Johdanto	9
2 Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnitteluperiaatteita	12
2.1 Kokemuksia luonnonmukaisista kalateistä ja ohitusuomista	12
2.2 Luontaiset uomatyypit ohitusuomien tavoitteina	14
2.3 Kutu- ja poikastuotantouomat	17
3 Oulujoen ohitusuomien suunnittelu	22
3.1 Montta	24
3.2 Pyhäkoski	26
3.3 Pälli	28
3.4 Utanen	30
3.5 Nuojuu	32
3.6 Jylhämä	34
3.7 Montta-Pyhäkoski pitkä linjaus	36
4 Mallinnus suunnittelun apuvälineenä	39
4.1 Virtausmallinnus	39
4.1.1 Kutualueet	40
4.1.2 Poikasaluet	42
4.1.3 Jyrkät osuudet ja suuret virtaamat	42
4.1.4 Loivat osuudet	46
4.2 Habitaattimallinnus	47
4.2.1 Kutualueet	50
4.2.2 Poikasaluet	51
4.2.3 Talvehtimisalueet	54
4.3 Johtopäätöksiä virtaus- ja habitaattimallinnuksesta	55
5 Vaihtoehtojen arviointiperusteita	57
5.1 Löydettävyyys, juoksutusmäärät ja sisäänkäynti	57
5.2 Uloskäynti, virtaaman säätörakenteet ja alasvaellus	58
5.3 Muunneltavuus	58
5.4 Ohitusuomien hyödyt	59
5.4.1 Toimivuus eliöstön kulkureittinä	59
5.4.2 Uusien lisääntymisalueiden pinta-alat	59
5.4.3 Poikastuotanto	62
5.5 Rakennuskustannukset	63
5.6 Tarvittavat virtaamat	67
5.7 Käyttö ja hoito	68

5.8 Maisema, matkailu ja asuinympäristö.....	68
5.8.1 Vaelluskala ja rakennetun jokivarren luonne	68
5.8.2 Ohitusuomat uutena vesimaisemana.....	69
5.9 Kokeilutoiminta	70
6 Johtopäätökset ja elinympäristöjen korvaaminen	72
Kirjallisuus.....	74
Kuvailulehti.....	76
Presentationsblad.....	77
Documentation page.....	78

1 Johdanto

Vaellusmahdollisuuden katkeaminen jokivesissä sijaitsevien kutualueiden ja kasvualueina toimivan meren välillä on hävittänyt monien lajien, kuten Atlantin lohen ja taimenen alkuperäisiä kantoja jokivesistöistä Itämeren alueella. Suomessa vaelluskalan häviämistä on pyritty kompensoimaan yleensä istuttamalla vaelluskalojen poikasia, millä on pyritty turvaamaan kalastusmahdollisuudet meressä ja jokisuistossa. Lisäksi istutetaan kalastuskokoista kalaa joessa kalastettavaksi. Monien jokilaaksojen asukkaat haluavat kuitenkin suurikokoista, kudulle nouseva lohikalaa takaisin jokiin. Istutusten tuloksellisuus lohi- ja meritaimenkannoille on viime vuosina heikentynyt ja Itämeren vaelluskalakannat ovat yhä enemmän harvojen vapaiden jokien, kuten Tornionjoen ja Simojoen luonnonvaraisen poikastuotannon varassa (Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 2007 a ja b). Simojoella lohen luonnonpoikasten selviäminen takaisin jokeen merivaellukselta on ollut 4,5 -kertainen istutuspoikasiin verrattuna (Jokikokko 2006). Nousukalojen luontaisen lisääntymiskierron palauttamiselle on perusteet sekä joki- että merikalastuksen kannalta.

Tehokkaasti rakennetuissa joissa on vain vähän lisääntymisalueita jäljellä. Jokiin tarvitaan yleensä useita kalateitä, ennen kuin parhaat lisääntymiseen sopivat sivujoet tulisivat lohille ja taimenille saavutettaviksi. Monien jokien pääuoma on porrastettu ja voimakkaasti säännöstelty ja alajuoksun sivujokien veden laatu ei useinkaan ole vaateliaille vaelluskaloille parasta mahdollista. Pääuomissa ja sivuvesistöissä jäljellä olevia lisääntymisalueita voidaan kunnostaa ja lisäksi on syytä käyttää hyväksi mahdollisuudet uusien lisääntymisalueiden rakentamiseen. Kokonaan uusia lisääntymisalueita voisi olla mahdollista saada aikaan, jos kalan nousuun rakennettavat kalatiet toteutetaan purojen tai pienten jokien kaltaisina ohitusuomina. Kalateitä suunniteltaessa kannattaakin jo alun perin ottaa tavoitteeksi myös lisääntymisalueiden toteuttaminen (Eloranta ym. 2003). Ohitusuomat on tuotu esiin mahdollisuutena lisääntyvien vaelluskalakantojen palauttamiseen ja rakennettujen vesien tilan parantamiseen Suomessa (Nyroos ym. 2006).

Luonnonmukaisilla kalateillä tarkoitetaan luonnon rakennusaineista, lähinnä luonnonkivistä rakennettuja kalateitä, joiden esikuvana on puro tai koski. Ohitusuomat kiertävät patorakenteen hieman kauempaa ja niissä voi olla myös kutualueita ja muita virtavesihabitaatteja (Jormola ym. 2003). Luonnonmukaiset ohitusuomat toimivat karkean pohjarakenteen ansiosta kulkureitteinä varsinaisten vaelluskalojen lisäksi myös heikommin uiville kalalajeille ja myös pohjaeläimille ja uoman varressa kulkeville maaeläimille, joten ne toimivat ekologisina käytävinä. Eliöt voivat oleskella ja jopa lisääntyä ohitusuomissa, jos niihin johdetaan vettä kautta vuoden.

Luonnonmukaisiin kalateihin katsotaan kuuluviksi myös jyrkkiä patoja korvaavat luonnonmukaiset pohjapadot ja kalaluiskat. Nousuesteiden poistamista uomasta on kalaston hoidon kannalta yleensä ensisijainen tavoite läpikulun järjestämiseksi. Esteen kiertävä kalatie tai ohitusuoma on ainoa mahdollisuus, jos nousun estävien rakenteiden säilyttäminen uomassa katsotaan tarpeelliseksi vesistön käyttömuodon,

kuten vesivoiman hyödyntämisen takia. Vanhasta, vähävetiseksi jääneestä jokiuomasta, jonka kautta johdetaan tulvavesiä, käytetään tässä selvityksessä nimitystä tulvauoma tai luonnonuoma. Joskus vanha luonnonuoma voi muodostaa osan eliöiden nousuun tarkoitettusta ohitusuomasta.

Luonnonolosuhteita muistuttavat ratkaisuja pidetään kansainvälisesti ensisijaisina toimenpiteinä noususteiden poistamisessa, koska niiden avulla voidaan jossakin määrin korvata menetettyjä virtavesihabitaatteja (Larinier 2001). Kestävien, luonnossa lisääntyvien kalakantojen aikaansaamiseksi olisikin perusteltua siirtyä istuttamalla tehtävästä kompensatiosta enemmän habitaattien kompensatioon.

Luonnonmukaiset kalatiet ovat olleet viime aikoina pääasiallisimpia kalatietyyppejä Keski-Euroopassa erityisesti Saksassa ja Itävallassa (Larinier 2001 ref. Parasiewitz ym. 1998). Lisääntymisalueita on alettu toteuttaa ohitusuomien yhteyteen yhä enenevässä määrin. Tunnetuimpia esimerkkejä on Tonavaan Wienin kaupungin kohdalle rakennetun Freudenaun voimalaitoksen ohitusuoma, jonka toteutuksessa on pyritty palauttamaan joen alkuperäistä monihaaraista uomarakennetta (Hanski ja Jormola 1999). Uusimmat ohitusuomat Saksassa ja Sveitsissä on toteutettu ohitusvesistöiksi tai ohitusjoiksi kutsuttuina uusina jokiuomina, joihin sisältyy laajoja soraikoita ja poikasalueita (esim. Gebler 2008).

Pohjoismaista Tanskassa on toteutettu runsaasti luonnonmukaisia kalateitä ja loivia ohitusuomia. Tanskasta on myös kokemuksia sekä taimenen että lohen lisääntymisestä ohitusuomissa (Järvenpää 2003). Ruotsissa Calles (2005) on saanut hyviä tuloksia tutkimistaan luonnonmukaisista kalateiden toimivuudesta meritaimenen nousureittinä.

Suomessa suurin osa kalateistä on toteutettu viime vuosina luonnonmukaisina kalateinä mm. Uudenmaan ja Pirkanmaan ympäristökeskuksen alueella ja myös muualla Suomessa niistä on paljon kokemuksia. Siuntionjoen Sägarsforsin käytöstä poistetun voimalaitoksen yhteyteen syksyllä 2007 tehty ohitusuoma on toteutettu monimuotoisena koskiuomana, johon on tehty kutu- ja poikasalueita taimenelle (Kuva 1).



Kuva 1. Siuntionjoen Sägarsforsin käytöstä poistetun voimalaitoksen viereen on rakennettu monimuotoinen ohitusuoma, johon tehty myös lisääntymisalueita taimenelle. Korkeusero on 8,5 m, uoman pituus 250 m ja kaltevuus 3,4 %. Uoma on mitoitettu virtaamalle 2 m³/s. Kuva: Jukka Jormola

Figure 1. A diversified bypass channel with reproduction areas has been constructed beside the Sägarsfors power plant, now abandoned, at River Siuntionjoki, Southern Finland. Height is 8,5 m, length 250 m and gradient 3,4%. The channel is dimensioned for discharge 2 m³/s. Photo: Jukka Jormola

Ensimmäisiä tutkimuksia luonnonmukaisten kalateiden toimivuudesta Suomessa on tehty vuosina 1996 ja 1998 (Lempinen 1999), jolloin todettiin myös jyrkkien luonnonmukaisten kalateiden toimivan monille jokivesissä esiintyville, myös heikosti uiville lajeille. Merkittävistä lajeista vain siian nousua ei todettu, mihin syynä voi olla tutkitun kalatien jyrkkyys tai mahdollisesti nousun kannalta epäsovelias tutkimusajankohta. Kyrönjoen Malkakosken kalatien yhteydessä on tehty kaloihin kiinnitettyihin radiolähettimeihin perustuvia telemetriaseurantoja kalojen liikkumisesta ja todettu kalojen liikkuvan kalatiessä molempiin suuntiin (Huovinen 2008). Kaitforsin Sääkskosken kalatien telemetriaseurannan perusteella taimenet nousevat uomaan pitkin vaivattomasti. Sääkskosken kalatie on Suomessa toistaiseksi ainoa kalatie, jossa on lisäksi tehty sähkökalastuksia, millä on selvitetty uomaan istutettujen lohien poikasten menestymistä (Sarell 2008).

Luonnonmukaisten kalateiden ja ohitusuomien ohella tässä selvityksessä käytetään taustana kokemuksia rakennetuista kalojen lisääntymisalueilta. Niiden toteutuksessa ei useinkaan ole ollut tarkoitus järjestää kulkumahdollisuutta esteen ohi vaan tarkoituksena on ollut parantaa vesistön luontaista poikastuotantoa. Keinollisia, pääuoman sivuun tehtyjä lohikalateiden lisääntymisuomia eli kutukanavia ja poikastuotantouomia on toteutettu lähinnä Kanadan länsirannikolla jo 1950-luvulta alkaen (Leung 1994). Lisääntymisalueilta on pystytty lisäämään sekä joki- että merikalastuksessa tärkeiden Tyynenmeren lohien poikastuotantoa tehostamalla mädin kuoriutuvuutta ja parantamalla poikasten selviytymistä. Lisääntymisaluita on tehty osittain korvaamaan voimalaitosrakentamisen heikentämää lisääntymistä mutta osittain myös tehostamaan luonnontuotantoa. Kanadan lisäksi lisääntymisaluita on tehty USA:ssa etenkin länsirannikolla.

Vastaavista lisääntymisalueilta on vain vähän tietoa Atlantin lohelle tai taimenelle sovellettuna. Euroopassa tehdyt voimalaitosten ohitusuomat sijaitsevat pääosin Tonavan vesistössä tai Atlantiin laskevissa joissa yläjuoksulla, mihin lohella ei ole vielä pääsyä. Euroopassa on toistaiseksi ilmeisesti vasta yksi Atlantin lohien lisääntymistä varten tehty keinollinen poikastuotantouoma Skotlannissa (McKelvey 2008). Tässä selvityksessä sovelletaan poikastuotantouomista saatua tietoa luonnonmukaisten ohitusuomien suunnitteluun, jolloin siis yhdistetään toistaiseksi varsin erillisinä tutkimus- ja kehittämisaloina esiintyneitä luonnonmukaisten kalateiden ja ohitusuomien ja toisaalta keinollisten lisääntymisaluiden tutkimustietoa.

Suomessa on käytetty habitaattimallinnusta kalataloudellisissa kunnostuksissa arvioitaessa kunnostustoimenpiteiden vaikutuksia lisääntymisaluiden parantamiseen (esim. Yrjänä 2003, Lahti 2009). Mallinnuksessa sovelletaan luonnonvesistöistä saatua tutkimustietoa ja havainnollistetaan suunniteltujen toimenpiteiden vaikutuksia kalojen elinolosuhteisiin ennen kunnostustoimenpiteitä. Vastaavasti tässä selvityksessä hyödynnetään virtaus- ja habitaattimallinnusta kokonaan uusina uomina rakennettavien virtavesihabitaattien suunnitteluun ohitusuomissa, mistä ei toistaiseksi ole ollut esimerkkejä Suomessa tai kansainvälisesti.

2 Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnitteluperiaatteita

2.1

Kokemuksia luonnonmukaisista kalateistä ja ohitusuomista

Luonnonmukaisten kalateiden ja ohitusuomien suunnittelussa on teknisten kalateiden tapaan lähtökohtana järjestää uomiin kalojen liikkumiselle ja oleskelulle otolliset virrannopeudet ja vesisyvyydet. Kalateissa ja ohitusuomissa esiintyvien virrannopeuksien tulee pysyä jyrkilläkin osuuksilla pienempinä kuin eliöiden uintikyky. Maksimikaltevuudeksi jyrkillä osuuksilla esitetään kansainvälisessä ohjeistuksessa 5 %, (DVWK, 1999). Tätä jyrkemmätkin luonnonmukaiset kalatiet ovat osoittautuneet kalojen kulun kannalta toimiviksi useimmille lajeille Suomessa. Pienessä Sipoonjoen Brobölen luonnonmukaisesta kalatiestä, jonka kaltevuus on 8,75 %, korkeus on 3,5 m ja keskivirtaama 0,35 m³/s, tehtiin seuranta yläpäähän asennetun paunetin avulla touko-marraskussa vuonna 1998. Uomaa pitkin nousi eniten särkiä *Rutilus rutilus* ja lisäksi uomaa käytti ahven *Perca fluviatilis*, hauki *Esox lucius* ja säyne *Leuciscus idus*. Uomaa pitkin nousi myös nahkiainen *Lampetra fluviatilis* ja rapu *Astacus astacus* sekä sinisorsan *Anas platyrhynchos* poikasia (Lempinen 1999), mikä osoittaa luonnonmukaisen kalatien toimivuuden myös muille eliöille kuin kaloille. Kalojen on todettu kulkevan uomassa myös virtaamalla, joka on vain 0,1 m³/s. Pienessä uomassa monimuotoinen rakenne hidastaa virrannopeutta ja mahdollistaa siten monen kokoisten kalojen kulun.

Mustijoen Brasaksen vesilaitoksen kalatietä, jonka pituus on 50 m, korkeusero 2,5 m ja kaltevuus 5%, on tutkittu pyydyksellä, josta on saatu 18 lajia: lohi *Salmo salar*, taimen *Salmo trutta*, ankerias *Anguilla anguilla*, kirjolohi *Oncorhynchus mykiss*, hauki *Esox lucius*, lahna *Abramis brama*, pasuri *Blicca bjoerkna*, seipi *Leuciscus leuciscus*, turpa *Leuciscus cephalus*, sorva *Scardinius erythrophthalmus*, särki *Rutilus rutilus*, suutari *Tincta tincta*, vimpa *Vimba vimba*, ahven *Perca fluviatilis*, ruutana *Carassius carassius*, salakka *Alburnus alburnus*, säyne *Leuciscus idus*, ja nahkiainen *Lampetra fluviatili*. Lisäksi uomaa on käyttänyt miekkasärki *Pelecus cultratus*. (Uudenmaan ympäristökeskus 2009).

Ainoa merkittävä kalalaji, jonka ei ole todettu Suomessa käyttäneen jyrkkiä luonnonmukaisia kalateitä on siika (Lempinen 2003). Tanskassa siika *Coregonus lavaretus* on käyttänyt vaivattomasti loivaa Storå-joessa oleva Holstebrom ohitusuomaa, jossa jyrkimpien virtapaikkojen kaltevuus on 1 %. Ohitusuoma on toiminut hyvin siialle sekä 0,4 että 1 m³/s virtaamalla (Jørgesen 1992, Jormola & Pajula 1999). Ruotsissa kahdesta loivahkosta luonnonmukaisista kalateistä, jotka olivat kaltevuudeltaan 1,8 ja 2,5 %, oli hyviä kokemuksia meritaimen *Salmo trutta* ja myös muiden lajien noususta. (Calles 2005). Tutkimuksissa kaloista nousi 89-100% ja erityisen hyvin toimi kalatie, jonka suuaukko oli lähellä turbiinivirtaa.

Lieksanjoelta on kiinnostavia tutkimustuloksia 100 m voimalaitoksen alapuolella sijaitsevan vähävetiseksi jääneen luonnonuoman soveltuvuudesta Saimaan järvi-

hen *Salmo salar* läpikulkureitiksi. Luonnonuoman alapään virtausta kavennettiin ja keskitettiin siten, että se voimisti pääuoman ja luonnonuoman yhtymäkohtaan muodostunutta akanvirtaa. Telemetria- ja videoseurantojen perusteella järvilohet löysivät luonnonuomasta tulevan virtauksen hyvin. (Koivunen ym. 2004). Luonnonuomasta on tavattu myös taimenen poikasia.

Kyrönjoen Malkakosken kalatiessä, johon liittyy säännöstelypato ja pienillä virtaamilla koko uoman veden käyttävä allasmainen luonnonmukainen kalatieosuus, tutkittiin telemetriaseurannan avulla meritaimenen *Salmo trutta*, kirjolohen *Oncorhynchus mykiss*, hauen *Esox lucius*, ja kuhan *Sander lucioperca* liikkumista ja oleskelua kalatien alueella. Meritaimenet, ja kirjolohet ja osa hauista nousivat kalatiestä, kuhat jäivät oleskelemaan alaosan altaissa. Meritaimenista ja kirjolohista suuri osa palasi oleskelemaan kalatien virtapaikoissa. (Huovinen 2008). Kalojen jääminen oleskelemaan kalatiehen osoitti, että kalatie voi toimia habitaattina muutoin pääosin suvanto- maisella jokiosuudella. kalatie parantaa joen habitaattirakennetta etenkin lohikaloille ja kuhalle.

Suomessa on toistaiseksi melko vähän havaintoja ja tutkimustuloksia kalateiden ja ohitusuomien toimivuudesta kalojen elin- ja lisääntymisalueina, koska lähinnä vain läpikulku on ollut toteutuksen keskeisenä tavoitteena. Taimenten *Salmo trutta* pysyvää oleskelua on todettu keväällä 2006 valmistuneessa Keravanjoen Kaukasteen luonnonmukaisessa kalatiessä, johon johdetaan vettä kautta vuoden (Kuva 2). Uomasta löydettiin noin 20 kpl 15 cm pituista taimenenpoikasta syksyllä 2006, kun uoma tyhjennettiin huoltotöiden yhteydessä (Kuvaja 2007). Poikaset olivat peräisin joko luonnonkudusta tai edellisen kesän istutuksista, joita oli tehty lähialueilla. Uoman yläpäässä on näköhavainto myös suurempikokoisista taimenen poikasista, jotka ilmeisesti käyttävät kalatien virtavesihabitaattia oleskelu- ja syönnösalueena ja yläpuolista suvantoa suojapaikkana. Perhonjokeen rakennettuihin Yrttikosken (kansikuva) ja Kaitforsin Sääkskosken kalateihin (Kuva 3) on asetettu soraa kudun mahdollistamiseksi, vaikka uomia ei alun perin ole suunniteltu varsinaisiksi lisääntymisalueiksi. Kautta vuoden tapahtuva virtaama mahdollistaa kuitenkin toimimisen poikastuotantoalueina. Sääkskosken kalatiessä on vuosina 2006 ja 2007 tehdyissä



Kuva 2. Istutetut taimenen poikaset ovat hakeutuneen oleskelemaan Keravanjoen Kaukasteen kalatiehen, joka on keskikaltevuudeltaan 3,8 %. Kuva: Jukka Jormola

Figure 2. Stocked juveniles of brown trout (*Salmo trutta*) have colonized the Kaukas fishway at River Keravanjoki, mean gradient 3,8%. Photo: Jukka Jormola

sähkökalastuksissa todettu uomaan istutettujen lohen *Salmo salar* poikasten eläneen uomassa talven yli (Sarell 2008).

Tanskassa ohitusuomissa on havaittu meritaimenen *Salmo trutta* kutemista ja runsaita taimenen tiheyksiä. Kvak Møllebæk- puron ohitusuomassa on todettu kuusi poikasta uomametriä kohden vain puoli metriä leveässä (Järvenpää 2003), jolloin poikasmäärä on jopa yli 1000 poikasta/100 m². Kapean uoman reunavaikutus lisää poikastiheyttä ja uoma tukee koko jokiosuuden poikastuotantoa. Storå- joessa Holstebroin voimalaitoksen ohitusuomaan tehdyiltä kutosoraikoilta on löydetty lohen *Salmo salar* kutukuoppia ja tavattu poikasia (Jørgesen 1992). Freudenaun voimalaitoksen 800 metrin pituisessa ohitusuomassa Wienissä, Itävallassa, on tavattu kaikkia Tonavassa esiintyviä kalalajeja, joita kyseisellä kohdalla on yhteensä noin 50 (Honsowitz 2006). Pau-joella Ranskassa on todettu taimenten lisääntyvän pääasiassa kalatietarkoitukseen tehdyssä luonnonmukaisessa ohitusuomassa (Larinier 2009).

2.2

Luontaiset uomatyypit ohitusuomien tavoitteina

Ohitusuomien suunnittelussa voidaan ottaa mallia luonnossa esiintyvistä puroista ja pienistä joista. Luonnontilaisia uomatyyppejä voidaan soveltaa laajemminkin virtavesien kunnostustavoitteiden määrittelyyn (Järvenpää 2004). Tarkastelutapa on perusteltu EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin mukaisessa vesienhoidon suunnittelussa, koska siinä vesistöjen nykytilaa ja myös tilan parantamiseksi tehtäviä toimenpiteitä verrataan luonnontilaisiin vertailuvesistöihin.

Ohitusuomien eri osuuksia suunniteltaessa voidaan soveltaa luonnossa esiintyviä, jyrkkyyden ja uomarakenteen perusteella jaoteltuja uomatyyppejä (Taulukko 1). Jyrkkiä koskia vastaavat osuudet tulevat luonnonmukaisissa ohitusuomissa kyseeseen vain lyhyinä kohtina esimerkiksi luontaisten kallioiden yhteydessä tai jyrkissä ja ahtaissa maastopaikoissa, jos paikan ohittaminen voidaan katsoa olevan mahdollinen halutuille lajeille. Luonnonuomissa noin 5 % kaltevuudella, jota voidaan yleensä pitää ohitusuomien maksimikaltevuutena, kosken irtokivet järjestyvät tulvavirtaamien vaikutuksesta yleensä porrastuneeksi. Kivet tukeutuvat toisiinsa muodostaen kynnyksiä, jolloin niiden välille patoutuu syvänteitä. Syvänteet toimivat levähdyspaikkoina ylös vaeltaville kaloille, minkä vuoksi kynnyksistä ja syvänteistä muodostuvaa uomaa on käytetty yleisimpänä suunnitteluperiaatteena sekä luonnonmukaisissa että teknisissä kalateissa. Jyrkimmillä osuuksilla ohitusuomien kaltevuutta porrastetaan luonnon uomien tapaan kivirakentein (Kuva 3). Hiukan loivemmat, kaltevuudeltaan 1 - 4 % olevat osuudet ovat usein tasaisesti viettävää, yksittäiskivien ja karkean soran muodostamaa vuolasvirtaista aluetta (Kuva 4). Kalatietarkoituksessa niissä ei yleensä tarvita erityisiä kynnyksiä, vaan yksittäiskivien muodostama virtausvastus pitää

Taulukko 1. Morfologiset uomatyypit Montgomeryn ja Buffingtonin (1997) mukaan ja niille tyypilliset pohjamateriaalit ja kaltevuudet

Table 1. Morphological channel types according to Montgomery and Buffington (1997) with typical materials and gradients

Uomatyyppi	Channel type	pohjamateriaali	kaltevuus
Jyrkkä koski	Cascade	lohkareet ja kivet	8-30 %
Porrastunut koski	Step-pool	lohkareet ja kivet	3-8 %
Tasapohjainen uoma	Plane bed	kivet ja sora	1-4 %
Syväne-matalikko	Pool-riffle	sora	0,1-2 %
Pakotettu syväne-matalikko	Forced pool-riffle	kivet, sora ja puuaines	1-3 %



Kuva 3. Perhojokeen rakennetun Kaitforsin Sääkskosken kalatien porrastunutta koskea vastaavaa osuutta, jossa kynnysten väliin jää syvänteitä, talvivirtaamalla 0,5 m³/s. Istutettujen lohien poikasten on havaittu elävän uomassa. Kuva: Jukka Jormola

*Figure 3. The step-pool type section of the Sääkskoki fish pass at the Kaitfors powerplant in Pehonjoki river, with winter discharge 0,5 m³/s. Stocked salmon (*Salmo salar*) have been monitored to live in the channel. Photo: Jukka Jormola*



Kuva 4. Sääkskosken kalatien loivempaa, tasapohjaista uomatyyppeä vastaavaa osuutta, jossa ei ole erityisiä kynnysrakenteita, kesävirtaamalla 0,9 m³/s. Kuva: Jaakko Tuhkanen

Figure 4. The more gentle sloped section without steps at Sääkskoski fish pass, corresponding the plane bed river type, with the summer discharge 0,9 m³/s. Photo: Jaakko Tuhkanen

yllä suurillekin kaloille tarpeellista vesisyvyyttä. Kaltevuudeltaan 1 - 1,5 % osuudet soveltuvat myös lohikalojen poikasalueiksi. Tätä loivemmat uomaosuuksilla karkein materiaali voi kivien lisäksi olla myös sora. Virran kasaamiensorasärkkien muodostamat matalikot ja pyörteilyn puhdistamat syvänteet vuorottelevat ja muodostavat luonnossa taimenten ja lohien kutualueita. Parhaita kutupaikkoja ovat usein kaltevuudeltaan 0,25 - 0,5 % olevat soraikot. Uoman kokonaiskaltevuus voi kutualueilla olla loivempi, esimerkiksi 0,1%, koska soraikkojen välille jää lepoalueina tarpeellisia hidasvirtaisia syvänteitä. Soraikkoja on rakennettu kutualustoiksi myös kalateihin (Kuva 5). Mutkittelu ja kivi- ja puuaines aiheuttavat pyörteilyä ja syvyysvaihtelua. Puuaines, esimerkiksi puunrungot voivat aiheuttaa virtauksen ohjautumisen kohti pohjaa, jolloin virta kuluttaa rungon alle syvänteen. Syöpynyt sora ja hiekka kasautuu syvänteestä alajuoksulle päin. Näin muodostuu ns. pakotettu syvänteen-matalikko, jossa syvänteet puunrunkojen alla muodostavat suojapaikkoja etenkin taimenelle (Kuva 6). Puuainesta on käytetty virtavesien kunnostuksessa habitaattirakenteen monipuolistamiseen ja poikastuotannon lisäämiseen.

Toistaiseksi luonnonmukaisten kalatiet ovat olleet suhteellisen jyrkkiä ja ne vastaavat luonnonvesissä yleensä porrastunutta koskea ja harvemmin tasapohjaista uoma. Jyrkkyyden takia kivet ovat olleet aina kalateiden lähes yksinomainen materiaali. Kun tavoitteena on lisääntymisaluiden toteutus ja normaaleja puro- ja jokivesistöjä muistuttavat uomatyypit, verhoilumateriaalina voi kiven lisäksi olla sora ja puuaines. Loivissa uomissa virrannopeus ja eroosio pienenevät. Ohitusuomien suunnittelussa maaston muodot ovat ensisijassa lähtökohtina käytettäville kaltevuuksille. Voimailtosalueilla on usein riittävästi tilaa loiville ratkaisuille, mutta paikoitellen voidaan joutua pengertämään uomia vinottain jyrkkään rinteeseen uoman loiventamiseksi. Riittävän loivaksi tehtyyn uomaan voidaan tarvittaessa johtaa myös normaalia suurempia houkutusvirtaamia ilman, että virrannopeus suurenee liiaksi kalojen nousun kannalta. Loivuudella saavutetaan myös pienellä virtaamalla riittävä ohitusuoman vesisyvyys, joka tarvitaan isokokoisia lohikaloja varten, joten loivuus voi tehostaa pienistäkin juoksutuksista saatavaa ekologista hyötyä myös kalojen nousun kannalta.



Kuva 5. Sääkskosken kalatiehen on tehty myös soraikoita mahdollisiksi kutualueiksi.

Kuva: Jukka Jormola

Figure 5. Also gravel riffles have been made to the Sääkskoski fish pass, to be optional spawning sites. Photo: Jukka Jormola



Kuva 6. Nuuksion kansallispuistossa sijaitsevan Myllypuron luonnontilainen osuus, jossa puuaines on aiheuttanut syvänteiden muodostumista. Kuva: Lasse Järvenpää

Figure 6. A natural section in the Myllypuro brook in the national park of Nuukio, where wood material has caused formation of pools. Photo: Lasse Järvenpää

2.3

Kutu- ja poikastuotantouomat

Etenkin Kanadassa ja USA:ssa on toteutettu keinotekoisia uomia, joihin on muodostettu optimaaliset olosuhteet kalojen luontaiselle lisääntymiselle. Näitä ns. kutukanavia (*spawning channel*) on rakennettu kompensoimaan vesistörakentamisen aiheuttamia haittoja ja tehostamaan luonnonlisääntymistä jokivesissä, joissa lisääntymisalueita on hävinnyt tai olosuhteet ovat muuttuneet lisääntymisen kannalta epäedullisiksi. Kutukanavia alettiin rakentaa 1950-luvun alkupuolella lähinnä vain lyhyen aikaa joessa viettävien lajien, kuten punalohon *Oncorhynchus nerka* ja kyttyrälohen *Oncorhynchus gorboscha* kutemista ja poikasten kuoriutumista varten, esimerkkinä Fraser-joen sivujoki Weaver Creek (Kuva 7). Samoin siika, jonka poikaset lähtevät näiden lajien poikasten tapaan merivaellukselle pian kuoriutumisen jälkeen, on käyttänyt Kanadassa kutukanavia. 2000-luvulla kutukanavia on muokattu monimuotoisemmiksi ja uusia uomia on rakennettu myös joessa poikasvaiheessa pitempään viettävien lajien, kuten kuningaslohen *Oncorhynchus tshawytscha*, hopealohon *Oncorhynchus kisutch* ja mereen vaeltavan kirjolohon *Oncorhynchus mykiss* poikastuotantouomiksi (*rearing channel*), (Adolph 2003) tai jokivesien luontaiseen rakenteeseen kuuluviksi sivu-uomiksi (*side channel*). Kutu- ja poikastuotantouomia ei ole yleensä toteutettu kalojen läpikulkureiteiksi esteiden ohi, vaan uomiksi, joihin kalat pääsevät nousemaan vain alajuoksun suunnasta. Vesi johdetaan pääuomasta tai yläpuolisesta järvestä tasaisena virtaamana esimerkiksi lyhyen putken ja säätörakenteiden kautta, joskus myös läpikulkukelpoisen, virtaamaa säätelevän aukon kautta. Joihinkin uomiin vesi tulee pelkästään luontaisista pohjavesipurkaumista (Järvenpää ym. 2010).



Kuva 7. Vuonna 1965 kutualueeksi rakennettu Weaver Creekin kutukanava British Columbiassa Kanadassa. Punalohet *Oncorhynchus nerka* kutevat soralla, etualalla kutuasuien koiras, taaempana naaraita. Uoman leveys on 6,1 m, kaltevuus 0,065 % ja syvyys 0,24 m, uomaston pituus 2,8 km. Normaali virtaama on 0,43 m³/s, kutuaikana, kuten kuvan tilanteessa, tästä jonkin verran korotettu. Kuva: Jukka Jormola

*Figure 7. Weaver Creek spawning channel in British Columbia, Canada, constructed in 1965. Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) are spawning on gravel, in front a male in spawning colors, females behind. Width of channel 6,1 m, gradient 0,065%, depth 0,24 m, length 2,8 km. Normal discharge 0,43 m³/s, during spawning time like in the figure, a bit more. Photo: Jukka Jormola*

Fraser-joen keskijuoksulla olevan sivujoen, Seton-joen poikastuotantoa varten kunnostettuun uomastoon on asetettu kiviä ja puuainesta ja niihin on toteutettu myös kosteikkoja poikasten ravinnontuotannon lisäämiseksi (Kuva 8). Uomaston hoidosta vastaa voimayhtiö British Columbia Hydro.

Kanadassa kutukanavien kutusoraikat on toteutettu melko loivina, kaltevuudeltaan 0,05 - 0,2 %. Kutukanavia on uomien koosta riippuen mitoitettu virtaamille 0,3 - 3,62 m³/s, useimmat välille 1 - 2 m³/s (Leung 1994). Uomien pituus ja kutualueen pinta-ala on usein pyritty maksimoimaan mutkittelun avulla. Kutukanavien kutusoraikkoja myös puhdistetaan koneellisesti, jotta mädin kuoriutumisasaste pysyy hyvänä. Kutukanavissa on voitu parantaa lohenpoikasten kuoriutumisasastetta neljästä kahdeksaan kertaiseksi luonnonkutuun verrattuna (Roos 1991).

Myös joitakin kalateiden ja poikastuotantouomien yhdistelmiä on toteutettu Kanadassa. Vancouver Islandilla on vuonna 2007 rakennettu vesiputouksen ohittava ohitusuoma Nanaimon kaupungin puistoalueelle. Uoman viimeistelyssä on käytetty runsaasti puuainesta samaan tapaan kuin muissa poikasten lisääntymishabitaateissa. (Kuva 9). Voimayhtiö BC Hydro on osallistunut ohitusuoman sponsorointiin PR-tarkoituksessa.

Atlantin lohelle on rakennettu Euroopassa onnistuneesti ainakin yksi toimivia lisääntymisuoma, josta on tietoja Skotlannista. Lohi on saatu kutemaan Conon-jokeen tehdyssä uudessa sivu-uomassa, jolloin joen alajuoksulla on tapahtunut kutemista ensimmäistä kertaa sataan vuoteen (Janes 2005). Lisääntymisolot olivat heikentyneet, kun virtapaikat olivat vähentyneet patojen rakentamisen takia. 700 metriä pitkä umpeen kasvanut Dunglass-saaren läpi kulkenut sivu-uoma kaivettiin auki vuonna 2004, kivettiin ja sorastettiin (Forestry and British timber 2005). Hyvien kokemukusten perusteella uomaa pidennettiin vuonna 2007, jolloin kokonaispituudeksi tuli 1000 metriä (Kuva 10). **Uoman leveys on noin 5 metriä, kaltevuus 0,33 % ja minimivirtaama 0,5 m³/s.** Toteutusperiaatteena oli tehdä rakenteeltaan mahdollisimman



Kuva 8. Seton -joen poikastuotantouomassa Kanadassa. Rakennettu 1967 kutukanavaksi muokattiin 2003 monipuolisemmaksi kutu- ja poikastuotantouomaksi, jonka yhteyteen tehtiin myös kosteikkoja. Puuaineksen avulla on muodostettu suojapaikkoja Tyynenmeren lohien, kuten kuningas- ja hopea- ja kirjolohen poikasille. Virtaama on $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$, syvyys $0,38 \text{ m}$. Uoman kaltevuus on $0,1 \%$, paikoitellen $0,7 \%$. Uomaston pituus on yhteensä $3,6$ kilometriä. Kuva: Jukka Jormola

Figure 8. Seton River rearing channel in Canada. Constructed in 1967 as spawning channel, complexing to rearing channel in 2003. Wood is used to form protection for juveniles of Pacific salmon, like Chinook, Coho and Steelhead. Discharge $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$, depth $0,38 \text{ m}$. Gradient $0,1 \%$, partly $0,7\%$. Length $3,6 \text{ km}$. Photo: Jukka Jormola



Kuva 9. Millstone -joen ohitusuoma Nanaimossa, Vancouver Island, Kanada. Rakennettu 2007 Bowen Park -puistoon vesiputouksen ohittavaksi kalatieksi ja samalla Tyynenmeren lohien poikastuotantouomaksi. Juurakkoja ja runkoja on aseteltu suojaksi poikasille. Kuva: Jukka Jormola

Figure 9. Millstone River bypass in Nanaimo, Vancouver Island, Canada. Constructed in 2007 in Bowen Park as fishway to pass a waterfall and as a rearing channel for Pacific salmon. Stumps and stems are placed for protection for juveniles. Photo: Jukka Jormola



Kuva 10. Conon -joen saareen kaivetun Dunglass –poikastuotantouoman uutta osuutta Skotlan-
nissa, rakennettu 2004 - 2007. Uoman leveys on noin 5 m, keskilaltevuus 0,33 % ja minimivirtaama
0,5 m³/s. Koekalastuksessa vuonna 2006 saatiin saman vuoden (0+) Atlantin lohen poikasia 160 ja
kesän vanhoja (1+) 70 kpl/100m². Uoman tuloksia voidaan hyödyntää ohitusuomien suunnittelussa
Suomessa. Kuva: Simon McKelvey

*Figure 10. The new section of the Dunglass rearing channel in Scotland, constructed in an island
of Conon river in 2004 - 2007. Width 5 m, mean gradient 0,33%, minimum discharge 0,5 m³/s. In
monitoring fishing 160 juveniles (age 0+) and 70 juveniles (age 1+) of Atlantic salmon (*Salmo salar*)
per 100 m² were found. Results can be applied in planning of bypasses in Finland. Photo: Simon
McKelvey*

monimuotoinen uoma käytettävissä olevan maaston kaltevuuden puitteissa. Uoman vanhemmalta osuudelta on sähkökalastustietoja vuosilta 2004 - 2006. Heinäkuussa 2006 uomassa todettiin saman vuoden lohen poikasia 160 kpl ja kesän vanhoja poikasia 70 kpl/100m²/s. Poikaset smolttiutuvat eli lähtevä merivaellukselle 2 -vuotiaina seuraavana keväänä. (McKelvey 2008). Uomaa voidaan pitää toteutustavaltaan esimerkkinä Suomeen rakennettaville ohitusuomille, vaikka uomia voitaisiin tehdä mutkittlevampina ja leveämpinä. Dunglass-uomasta ei ole tarkkaa tietoa smolteiksi säilyvien poikasten määrästä mutta uoman poikastuotantokykyä voidaan pitää toistaiseksi konkreettisimpana lähtökohtana, ilmaston eroista huolimatta, arvioitaessa ohitusuomien tuottoa Suomessa.

Euroopassa uusissa kalatiehankkeissa on mukana lisääntymisalueiden toteuttaminen. Sveitsissä on Rein- jokeen rakenteilla Rheinfeldenin voimalaitoksen tehon noston yhteydessä ohitusvesistö (*Umgebungsgewässer*) tai ohitusjoki (*Umgehungsfluss*), jonka virtaamaksi tulee 10 - 35 m³/s, kun voimalaitoksen mitoitusvirtaama 600 m³ nousee samalla 1500 m³/s:iin. Uoman leveydeksi tulee 60 m, pituudeksi 1200 m ja kaltevuudeksi noin 0,75 %. Uomaan tehtävien kutusoraikkojen puhdistamista on selvitetty soraikkoon asetettavilla huuhteluputkilla (Eisenhauer & Gebler 2004). Uoman esikuvana on jo toteutettu ohitusuoma Ruppertswilin voimalaitoksen yhteydessä Aare-joella Sveitsissä (Gebler 2008).

Ohitusuomien tarkempaan suunnitteluun voidaan soveltaa ulkomaisten kokemusten lisäksi kotimaista tutkimustietoa lohen lisääntymisolosuhteista (esim. Louhi & Mäki-Petäys 2003). Myös kalataloudellisissa kunnostuksissa saatu kokemus lohikalojen, lähinnä taimenen lisääntymisalueiden toteutuksesta on käyttökelpoista ohi-

tusuomien suunnittelussa (esim. Aulaskari ym. 2003, Yrjänä 2004, Eloranta 2007). Eri uomaosuuksille muodostuvien virrannopeuksien ja vesisyvyyksien arviointiin sekä habitaattien muodostumiseen eri lajeille on tämän selvityksen yhteydessä käytetty virtaus- ja habitaattimallinnusta. Yksityiskohtaisemmassa suunnittelussa voidaan jäljitellä eri uomakaltevuutta vastaavia, luonnossa esiintyviä uomien piirteitä ja pyrkiä muodostamaan ohitusuomaan vaihteleva habitaattirakenne. Näin pyrittäisiin saamaan aikaan uusia virtavesiä, jotka voisivat mahdollistaa lohien kutemista ja poikastuotantoa pääuoman yhteydessä. Tavoitteena on maksimoida kunkin ohitusuoman yhteyteen muodostuvien habitaattien ja pääuoman osuuksien yhteinen poikastuotanto.

Uomien tarkemmassa toteutus suunnittelussa voidaan soveltaa esimerkiksi lohien poikastuotannosta tunnettujen Lapin pienten sivujokien habitaatteja (Kuva 11). Soveltamisessa on otettava huomioon eteläisempien alueiden veden lämpötila ja poikasten ravinto. Tarkemmassa suunnittelussa on selvitettävä ohitusuomiin muodostettavien kutualueiden ja eri-ikäisten poikasten habitaattien pinta-aloja ja keskinäisiä suhteita. Kivi- ja puuaineksella voidaan muodostaa suojapaikkoja. Puuaineksen ja yläpuolisen suojan tiedetään olevan tarpeen erityisesti taimenelle ja sen mahdollista merkitystä lohelle voitaisiin seurata. Lisäksi vesikasvillisuutta voidaan lisätä muodostamaan poikasille suojaa. Vesikasvit, etenkin vesisammalet ovat tärkeitä myös ravintona toimiville pohjaeläimille. Pohjaeläinten suuren määrän on todettu lisäävän uomien poikastiheyksiä, joten pohjaeläimet voivat suojapaikkojen lisäksi olla ratkaisevassa asemassa pyrittäessä hyvään poikastuotantoon ohitusuomissa.



Kuva 11. Akujoki, joka on Tenojoen sivujoki ja lohien lisääntymisalue, voi toimia esimerkkinä habitaatteille ohitusuomien tarkemmassa suunnittelussa. Kuva: Panu Orell

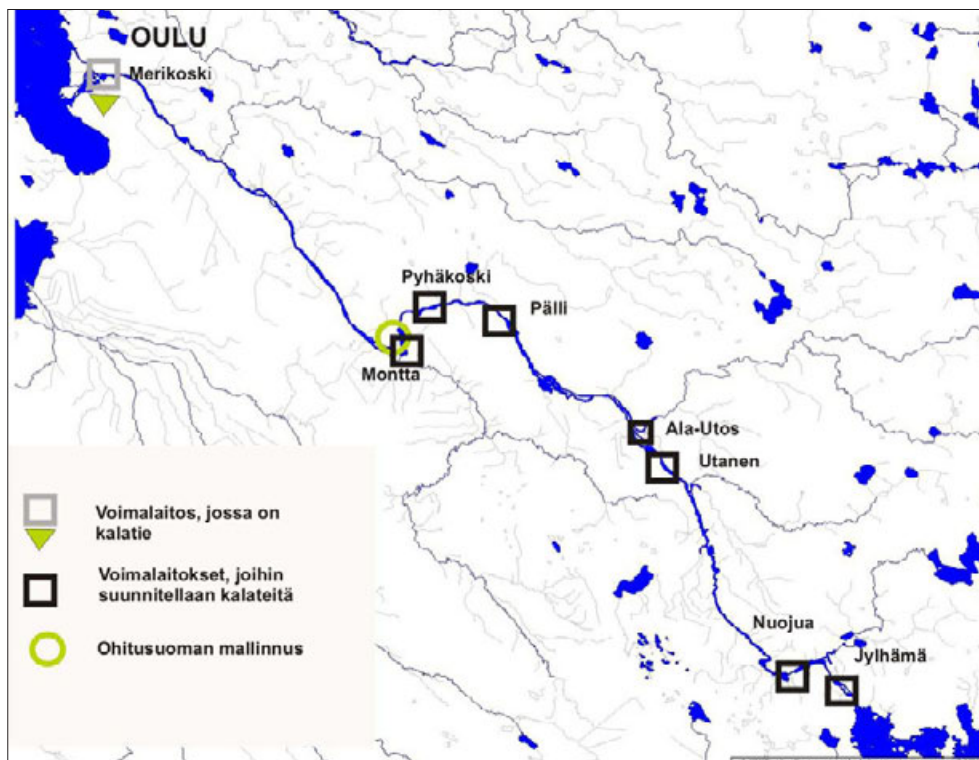
Figure 11. Akujoki, a tributary of Tenojoki river and a natural reproduction site of salmon (Salmo salar) can serve as an example of habitats in detailed bypass planning. Photo: Panu Orell

3 Oulujoen ohitusuomien suunnittelu

Seuraavassa esitetään yleissuunnittelutasoiset suunnitelmaehdotukset ohitusuomiksi Oulujoen kuudelle voimalaitokselle, jotka ovat Montta, Pyhäkoski, Pälli, Utanen, Nuojua ja Jylhämä (Kuva 12). **Oulun energian omistaman Merikosken voimalaitoksen yhteydessä on jo kalatie.** Alimman nousuesteen, Montan voimalaitoksen yhteyteen suunnitellusta ohitusuomasta tehtiin virtaus- ja habitaattimallinnus, joka toimii arviointiperusteena myös muille ohitusuomille. Oulujoen sivujoen Utosjoen vettä käyttävän Ala-Utoksen voimalaan ei tässä yhteydessä suunniteltu erillistä luonnonmukaisen ohitusuoman vaihtoehtoa.

Voimalaitokset ovat yhden voimayhtiön, Fortum Power and Heat Oy:n omistuksessa. Rakennusvirtaamat ovat 450 m³/s ja kaikissa on kolme Kaplan -tyyppistä turbiinia, mitoitusvirtaamaltaan 150 m³/s. Keskivirtaama on alimman, Montan voimalaitoksen kohdalla 241 m³/s ja ylimmän, Jylhämän kohdalla 213 m³/s. Voimalaitokset on rakennettu pääosin jokiuomaan ja alakanava sijaitsee jyrkkäpiirteisessä alkuperäisessä jokilaaksossa tai pääuoman sivuun tehdyssä keinotekoisessa uomassa. Yläpuolinen jokiosuus muodostaa kunkin voimalaitoksen patoaltaan ja ylimmän, Jylhämän voimalaitoksen padolla säännöstellään yläpuolista Oulujärveä. Voimalaitosten rakennettu korkeusero on yhteensä 110 metriä. Lähes koko Oulujoen päähaaran putouskorkeus 122 m hyödynnetään voimalaitoksissa. Vesistön virtaama on myös tehokkaasti hyödynnettävissä voimatuotantoon ja vesistöissä toteutetaan lyhytaikaissäätöä. Oulujoen vesistöissä on Oulujärven lisäksi muitakin kookkaita järviä, joita säännöstellään ja ohijuoksutuksiin tarvitsee turvautua harvoin.

Seuraavassa esitettävät ohitusuomalinjaukset on suunniteltu peruskartan ja maastokäyntien perusteella siten, että jyrkkien kohtien maksimikaltevuus jää alle 5 %. Tarvittavat maaleikkaukset, jotka ilmenevät pituusleikkauksista, on pyritty minimoimaan. Yleissuunnittelun aikana tehdyn virtaus- ja habitaattimallinnuksen avulla täsmennettiin linjauksia. Suunnitelmakuvissa on esitetty lyhyet linjausvaihtoehdot ja sanallisissa kuvauksissa myös mallinnuksen perusteella mahdollisiksi katsottavat uomien pitemmät vaihtoehdot. Uomien alapää on pyritty sijoittamaan lähelle voimalaitoksia, ottaen huomioon Montan voimalaitoksella tehdyt seurannat kalojen liikkumisesta. Linjaukset sijoittuvat pääosin Fortum Power and Heat Oy:n omistamalle maalle, Montta-Pyhäkoski pitkä linjaus lähinnä yksityisille maille.

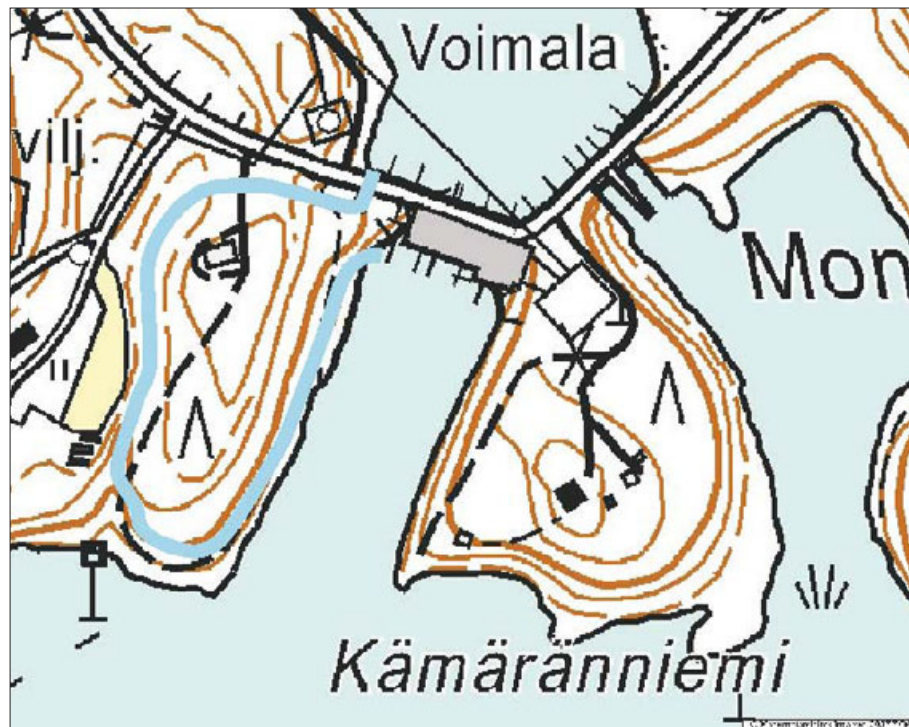


Kuva 12. Oulujoen voimalaitokset, joista alimmassa on kalatie. Ohitusuomien suunnitelma koskee kuutta pääuoman voimalaitosta, joista Montan ohitusuomaan tehtiin virtaus- ja habitaattimallinnus.
 Figure 12. Power plants of Oulujoki River, with a fish pass in the lowest. The bypass planning is made for six powerplants in the main stream. Modelling was made to the Montta bypass.

Montta

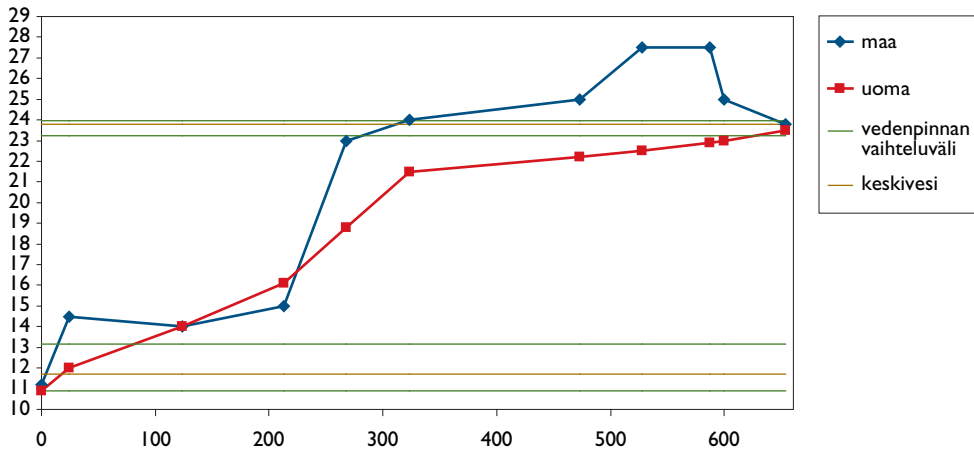
Montan voimalaitoksen ohittamiseksi tutkittiin vaihtoehtoja ohitusuoman sijoittamiseksi kummallekin rannalle. Alavirtaan katsottuna oikean puoleinen ranta osoittautui niin kalankulun kuin rakennusteknisten ratkaisuiden kannalta edullisemmaksi (Kuva 13 ja Kuva 15). Telemetriaseurantojen mukaan myös valtaosa kaloista lähestyy voimalaitosta kanavan oikeaa rantaa pitkin, kun taas vasemmalta rannalta saatiin vain yksittäisiä havaintoja. Oikealle rannalle muodostuu pyörre eli akanvirta, jonka laajuus riippuu voimalaitoksen käyttötavasta. Lieksanjoelta saatujen kokemusten perusteella ohitusuoman alapää voitaisiin sijoittaa siten, että se voimistaa akanvirtaa, koska kalat ovat löytäneet hyvin akanvirran yläpuolella olevan sivu-uoman. Tarkempien seurantojen perusteella suuaukon suuntausta voidaan täsmentää, jolloin voidaan kokeilla myös suuntaamista akanvirtaa vastaan tai sen suhteen kohtisuoraan.

Vasemmalla rannalla rajoitteina olisivat olleet maanomistusolot ja kytkinkentän sijainti. Oikealla puolella kulkeva linjaus mahdollistaisi myös vanhan nippu-uittoaltaan käytön kalatien yläpään vedenottorakenteen pohjana, jolloin erillistä padon puhkaisua ei tarvitsisi tehdä kalatietä varten. Uoman alaosa kulki rantaterassilla ja yläosa kalalaitoksen ja mäen välisessä laaksossa. Ohitusuomaa voidaan hyödyntää mahdollisen pitkän, Pyhäkosken voimalaitoksen yläpuolelle ulottuvan ohitusuoman alaosana (Kuva 32). Uoman yläosaan tarvitaan jonkin verran maaleikkausta (Kuva14).



Kuva 13. Montan ohitusuoman linjaus. Uoman pituus olisi 650 metriä. Laaksossa kulkevaa yläosaa voidaan tehdä mutkittelevaksi, jolloin pituudeksi tulee 800 metriä.

Figure 13. Planform of the Montta bypass, length 650 metres. The upper section in the valley can be made meandering, which increases the length to 800 metres.



Kuva 14. Montan ohitusuoman lyhimmän linjauksen pituusleikkaus. Punainen viiva kuvaa ohitusuoman pohjan korkeusasemaa ja musta maan pinnan korkeusasemaa. Uoman maksimikaltevuus 4,9 % ja keskimääräinen kaltevuus 1,9 %. Yläosan loivalle osalle, jonka kaltevuus on alle 1,5%, saadaan erittäin hyvää lisääntymisaluetta, samoin alaosan hiukan jyrkemmälle osuudelle, kun uomaa paikoitellen kynnystetään ja loivennetaan.

Figure 14. Longitudinal profile of the short version of Montta bypass. The red line is the channel bottom and the black line the terrain. Maximum gradient is 4,9% and average 1,9%. At the upper section, gradient under 1,5%, excellent spawning and rearing habitats can be constructed, as well as to the lower section by concentrating the gradient to riffles.



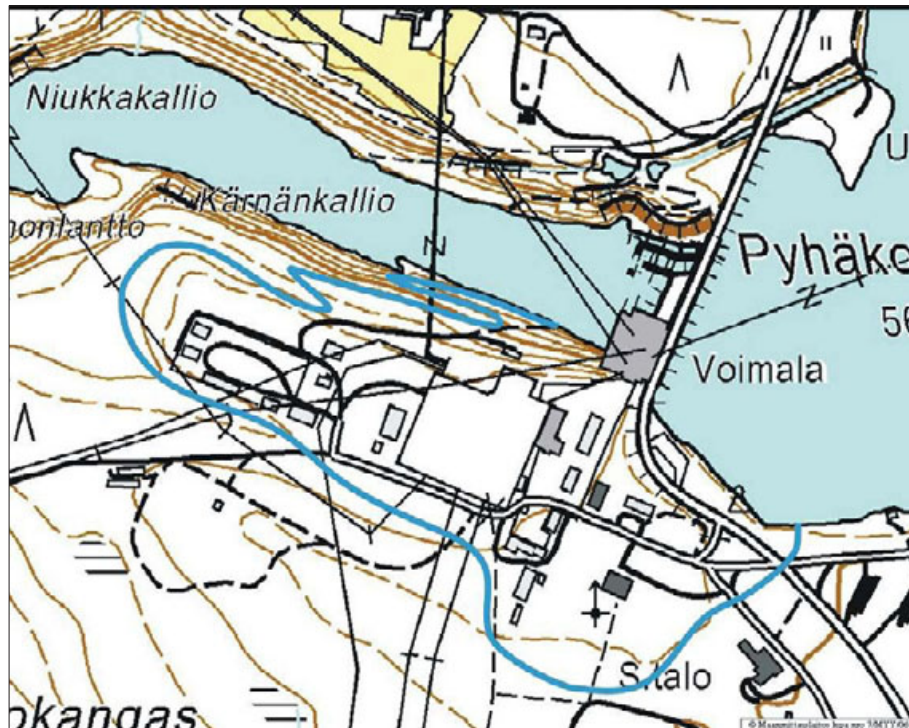
Kuva 15. Havainnekuva Montan ohitusuoman linjauksesta. Vasemmalla kalanviljelylaitos, jolla tuotetaan istutuspoikaset Oulujoelle. Kuva: Fortumin arkisto

Figure 15. Illustration of the Montta bypass plan. To the left the fish breeding plant for salmon stocking in Oulujoeki River.

Pyhäkoski

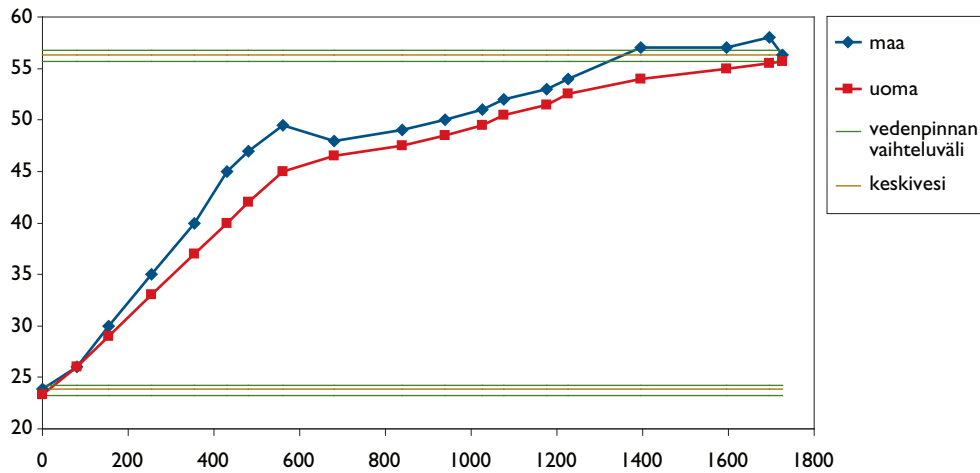
Pyhäkosken voimalaitoksessa on suurin putouskorkeus 32,5 m. Pyhäkoskella ohitusuoman sijoittamista tarkasteltiin molemmille rannoille. Molemmat rannat ovat jyrkkiä ja tilaa on varsin rajoitetusti. Pohjoisrannalla etuna olisi vanhojen uittorakenteiden hyväksikäyttö ohitusuoman linjauksessa. Tilan ahtaus johtaisi kuitenkin varsin jyrkkään uoman kaltevuuteen ja uoma voisi vaatia teknisiä kynnyksrakenteita. Yläosan uittorakenteet ja tehdyt maisema-altaat soveltuisivat osaksi mahdollisen Monttaan asti ulottuvan ohitusuoman yläosaa.

Etelärannalla tilaa on hieman enemmän, vaikka jyrkkä rinne vaatii pengerrystä. Etelärannan linjaus katsotaankin erillisenä toteutettaessa päävaihtoehdoksi (Kuva 16 ja 18). Kytäkinkenttä tulee kiertää kokonaisuudessaan. Kentän kiertämisellä ohitusuomalle tulee runsaasti pituutta, mikä mahdollistaa myös kutu- ja poikasalueiden rakentamisen koko yläosan matkalle. Yläosassa on tilaa myös mutkittelulle, mikä lisäisi habitaattien alaa. Samalla yläosa toisi mielenkiintoisen lisän Leppiniemen puistoalueen maisemaan.



Kuva 16. Pyhäkosken ohitusuoman linjaus. Pituus 1750 m, yläosastaan mutkitteluksi tehtynä 2750 m.

Figure 16. Planform of the Pyhäkoski bypass. Length 1750 m or 2750 m, if made meandering in the upper part.



Kuva 17. Pyhäkosken ohitusuoman lyhyen linjauksen pituusleikkaus. Keskimääräinen kaltevuus 1,9 %, maksimikaltevuus 4 %. Yläosan kaltevuus olisi lyhyellä linjauksella 1% ja mutkittelevalla 0,5%. Loivempi linjaus lisäisi merkittävästi kutu- ja poikasalueiden alaa Oulujoen alajuoksulla.

Figure 17. Longitudinal profile of the shorter plan of the Pyhäkoski bypass. Average gradient 1,9 %, maximum 4%. Gradient of the upper part by the short planform 1% and by meandering 0,5%. The more gently sloped version would increase the area of spawning and rearing habitat significantly at the downstream reach of the main river.



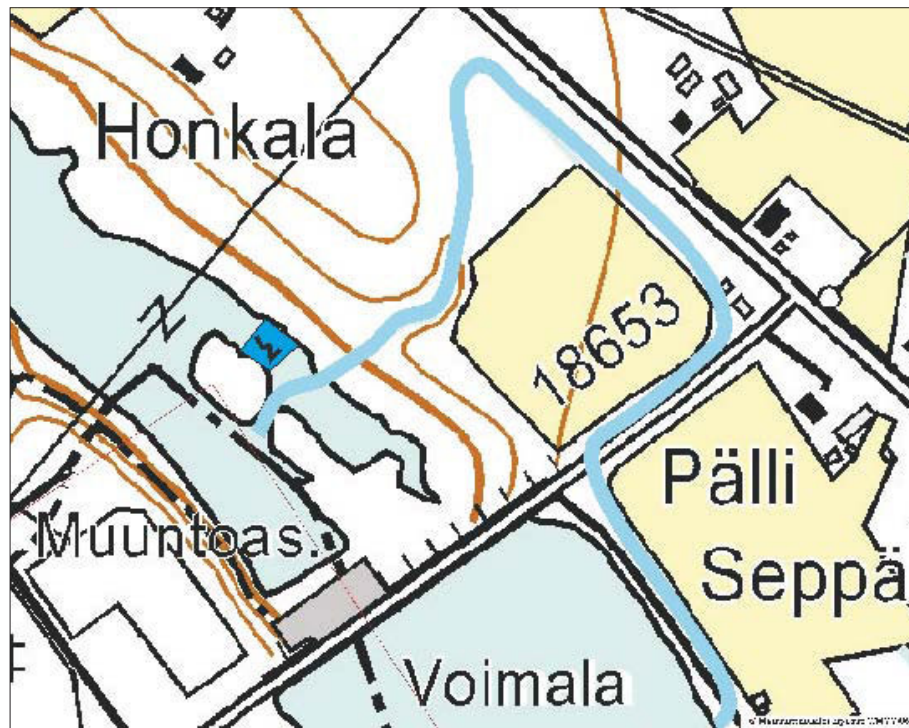
Kuva 18. Havainnekuva Pyhäkosken ohitusuoman linjauksesta. Uoma mutkittelee rinteessä osittain pengerrettyinä. Vaihtoehtoisista suuaukon sijainneista ylempi sijoittuu lähelle voimalaitosta ranta-
muurin juureen. Pääuoman suuria virrannopeuksia tulisi hillitä suuaukon yläpuolelle tehtävällä lyhyellä suisteella ja pyörteitä aiheuttavilla rantakivillä. Optimaalista suuaukon sijainti olisi selvitettävä kalatutkimuksin. Kuva: Fortumin arkisto

Figure 18. Illustration of the plan of the Pyhäkoski bypass. The channel goes curving in the slope, partly terraced. The upper of the optional entrances is located near power plant at the shoreline wall. The velocities of the main current should be slowed down by a short deflector above the entrance and stones in the bank causing vortices. The optimal entrance location should be investigated by fish monitoring.

Pälli

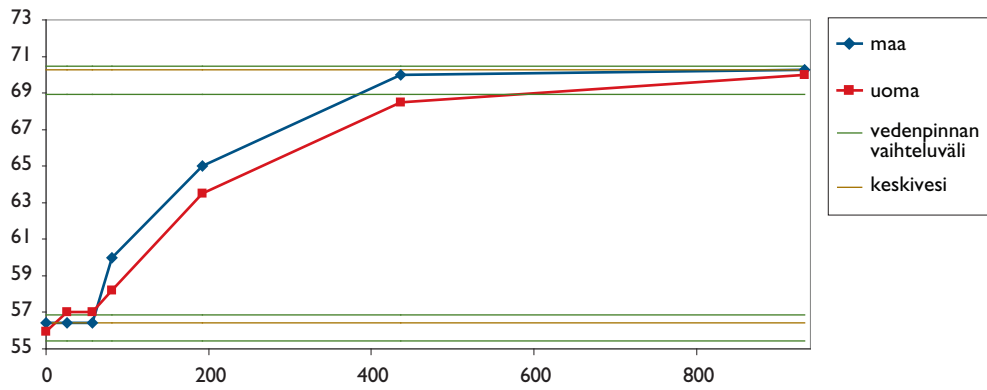
Pällin voimalaitoksen ohittamista tutkittiin tarkemmin uoman oikealta rannalta. Vasen ranta on jyrkkä ja kytkinkenttä sijaitsee vasemmalla rannalla, mutta voitaisiin kiertää samaan tapaan kuin Pyhäkosken voimalaitoksella. Oikealle rannalle tehtävä ohitusuoma kulkisi tulvauomana toimivan vanhan luonnonuoman kautta alakanaavaan (Kuva 19). Ohitusuoman keskiosan muodostaisi pohjoisen suunnasta tuleva luonnonpuro. Puroon laskevat metsä- ja suoalueiden kuivatusvedet tulisi jatkossa johtaa alapuoliseen Oisavanjokeen, jotta ohitusuoman veden laatu vastaisi riittävästi pääuoman vettä. Jyrkimmässä kohdassa purossa olevaa putousta loivennetaan ja kynnysetetään. Yläosassa ohitusuoma seuraisi nykyistä kuivatusojaa peltojen reunassa, missä olisi tilaa ja sopivaa korkeuseroa mutkittelulle ja lisääntymisalueille. (Kuva 20).

Nykyisellään tulvauoman ja alakanavan erottaa toisistaan niemeke ja sen jatkona oleva saari. Veden ohjaamiseksi ja houkutusvirtauksen aikaansaamiseksi tulvauomas- sa olevan suvannon vedenpintaa padotettaisiin noin 50 cm pohjapadon avulla. Padon harja olisi suunnilleen alakanavassa havaittujen korkeiden vedenpinnankorkeuksien tasossa ja ohjuoksutusvirtaama purkautuisi padon leveän harjan ylitse. Ohitusuo- man löytymisen varmistamiseksi kalatien suu ohjataan muurin tai teknisen kalatien avulla lähemmäksi voimalaitoksen turbiinivirtaa. Yläpään vedenottorakenteet sijoitettaisiin patolinjan päähän (Kuva 21 ja Kuva 22).



Kuva 19. Pällin ohitusuoma ohjataan tulvauoman altaaseen luonnonpuroa pitkin. Tulvauoman alaosaan tehtävä pohjapato (sininen neliö) ohjaa ohitusuoman houkutusveden alakanavaan. Uoman pituus on suoralinjaisena 930 metriä ja pituutta voidaan kasvattaa 1430 metriin tekemällä mutkia peltoalueiden kohdalle.

Figure 19. The Pälli bypass leads to a basin in the flood channel through a natural brook. A submerged weir (blue square) leads the attraction water to the tailrace. Length of the channel 930 meters if made straight or 1430 meters, if made meandering at the field area.



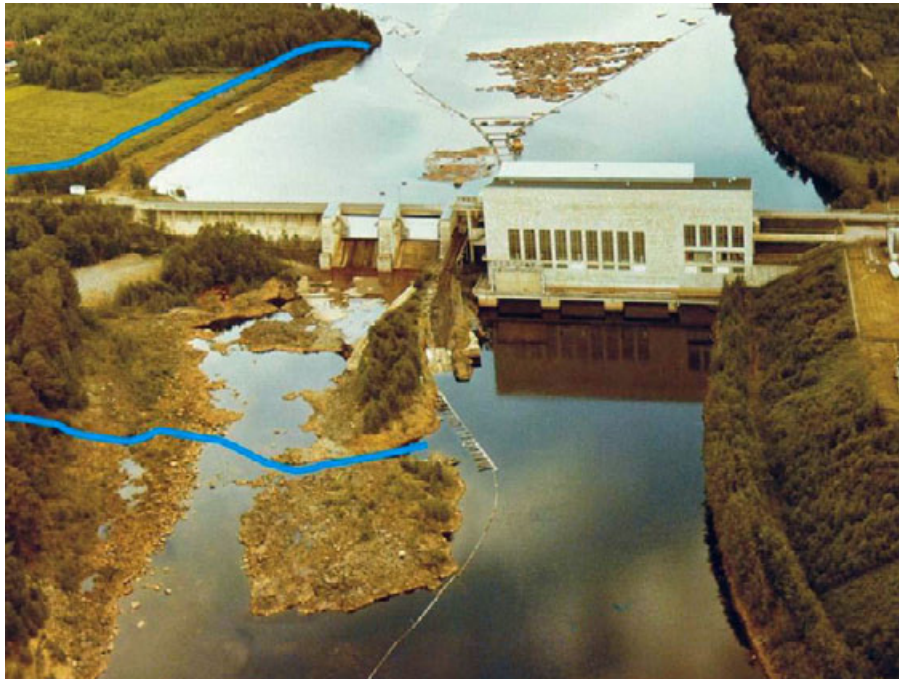
Kuva 20. Pällin ohitusuoman lyhyen linjauksen pituusleikkaus. Uoman keskimääräinen kaltevuus 1,9 %, maksimikaltevuus 5 %. Yläosan kaltevuus olisi suoralla linjauksella 0,3%, mutkittelevana 0,15%, mikä mahdollistaisi kutu- ja poikasalueiden toteutuksen.

Figure 20. Longitudinal profile of short version of the Pälli bypass. Average gradient 1,9 %, maximum 5%. The gradient of the upper reach by the short plan 0,3% and 0,15 % if made meandering. This would allow constructing spawning and rearing habitats.



Kuva 21. Pällin voimalaitoksen ohitusuoman linjaus tulvauoman, luonnonpuron ja peltoalueiden kautta. Kuvaan on piirretty myös suunniteltu pohjapato. Kuva: Fortumin arkisto

Figure 21. Illustration of the Pälli bypass. The submerged weir is drawn in the figure.



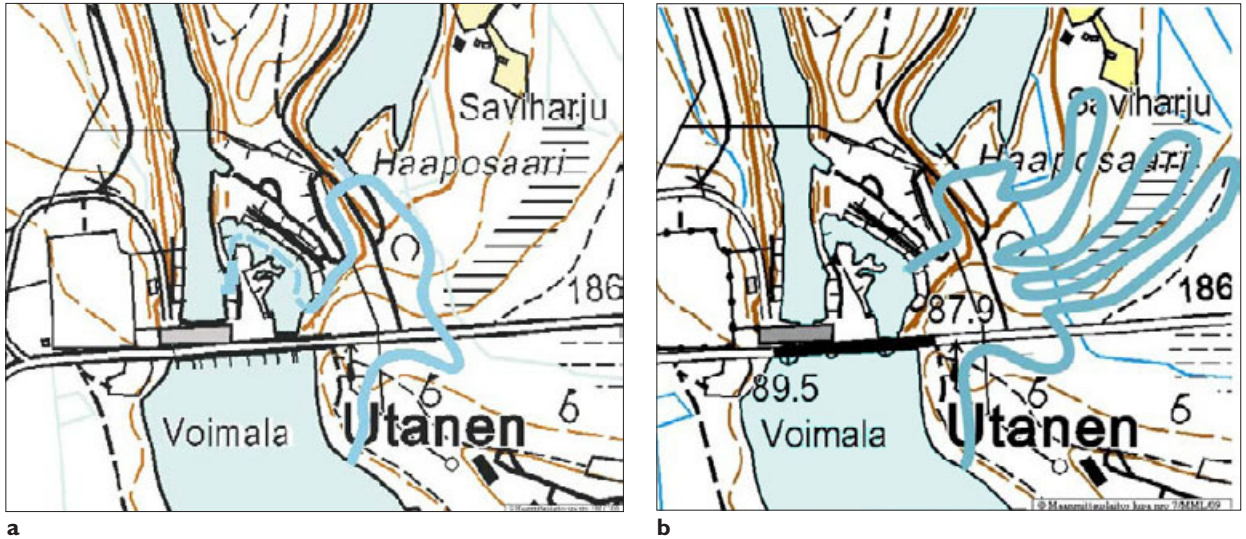
Kuva 22. Uoman ylä- ja alapään sijoitus ja sisäänkäynnin linjaus muurilla lähemmäksi voimalaitosta. Ohitusuoma voisi toimia kalan nousuväylänä myös ohjuoksutustilanteessa. Kuva: Fortumin arkisto
 Figure 22. The site of upper and lower part and the line of the entrance nearer to the power plant by a wall. The bypass could function as fish passage also during spillway flow.

3.4

Utanen

Utasen voimalaitos on toteutettu yhdistämällä kahden eri kosken putouskorkeus yhteen voimalaitokseen kaivamalla noin kymmenen kilometrin pituinen alakanava. Kanava on kaivettu kulkeman Utajärven lävitse ja kanavan kummankin puolen on altaat, joiden vedenpinta on korkeammalla kuin vesi alakanavassa (Kuva 25). Pohjoispuoliseen altaaseen laskevat Utosjoen vedet johdetaan alakanavaan Ala-Utoksen voimalaitoksen kautta.

Utasen ohitusuoma laskisi tulvauoman suvannon kautta voimalaitoksen viereen. Alapää toteutettaisiin teknisenä rakokalatienä tai muurin avulla luonnonmukaisena uomana. Uomaan on johdettavissa juoksutusyhteys myös Utosjoesta. Sivujokeen leimautuneilla kaloilla olisi mahdollisuus suuntautua sinne, jos ne nousisivat Ala-Utoksen voimalaitoksen sivuitse Utasen voimalaitokselle ja sen alta ohitusuomaan (Kuva 23a). Keskiosan rinnealueelle, jossa uomasta tulisi suorana tehtynä melko jyrkkä, voitaisiin lenkkien avulla tehdä laaja poikastuotantoalue samaan tapaan kuin kanadalaisissa kutu- ja poikastuotantouomissa (Kuva 23b). Uomaston tekemiselle sopivat korkeussuhteet ilmenevät pituusleikkauksesta (Kuva 24). Myös ohitusuoman yläosaan voitaisiin tehdä lisääntymisalueita.

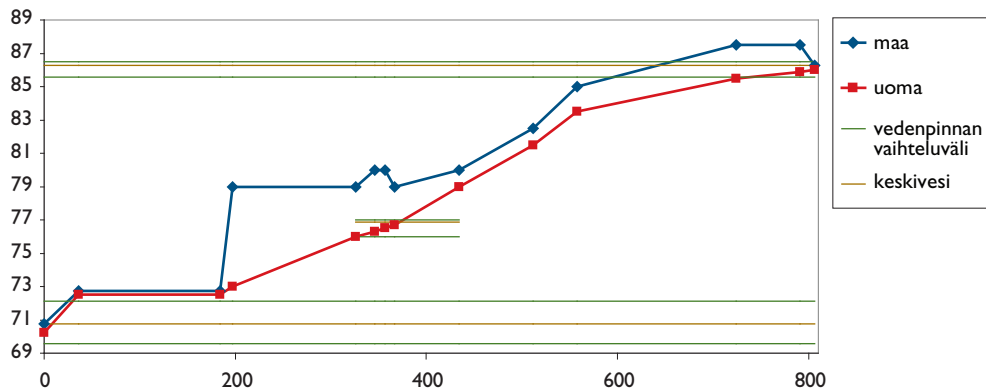


Kuva 23 a. Utasen ohitusuoman lyhyt linjaus, pituus on 800 metriä ja yhteys Utosjoesta.

Kuva 23 b. Tekemällä lenkkejä uoman keskiosan rinnealueelle ohitusuoman pituus voidaan kasvattaa 2300 metriin, jolloin uomaan voidaan tehdä runsaasti lisääntymisalueita samaan tapaan kuin kutu- ja poikastuotantouomissa Kanadassa.

Figure 23 a. The Utanen bypass, length 800 m, with connection to Utosjoki River.

Figure 23 b. By making loops in the middle section the length can be increased to 2300 metres, which allows plenty of reproduction habitats to be done in the style of spawning and rearing channels in Canada.



Kuva 24. Utasen ohitusuoman pituusleikkaus lyhyen linjauksen mukaan. Uoman kaltevuus luonnontyylisellä osuudella keskimäärin 1,9 %, maksimikaltevuus 3,9 %. Yläosan kaltevuus on 2,1%, pitkän kutu- ja poikastuotantouoman linjausosuudella 0,4%. Kuvassa näkyy myös yhteys Utosjokeen ja Utajärven vedenkorkeuden vaihteluväli 370 metrin päässä uoman alapäästä.

Figure 24. Longitudinal profile of Utanen by the short version. Average gradient of the nature-like section 1,9%, maximum 2,1%. Gradient of the upper section 2,1 %, at the long spawning and rearing channel section 0,4%. Connection to Utosjoki River and water levels of Utajärvi Lake can be seen at the distance of 370 m from the entrance.



Kuva 25. Utasen ohitusuoman lyhyt linjaus piirrettynä vanhaan ilmakuvaan, josta näkyy alakananavan toteutus Utajärven järvaltaan läpi. Kuvassa ei vielä näy nykyinen veneenlaskupaikka. Vaalean sinisellä on merkitty lisäyhteys Utosjokeen. Kuva: Fortumin arkisto

Figure 25. The short version of the Utanen bypass on an old aerial photo, which shows the construction of the tailrace through the lake Utajärvi. The present boat harbor is not yet in the photo. The connection to Utosjoki is marked by light blue.

3.5

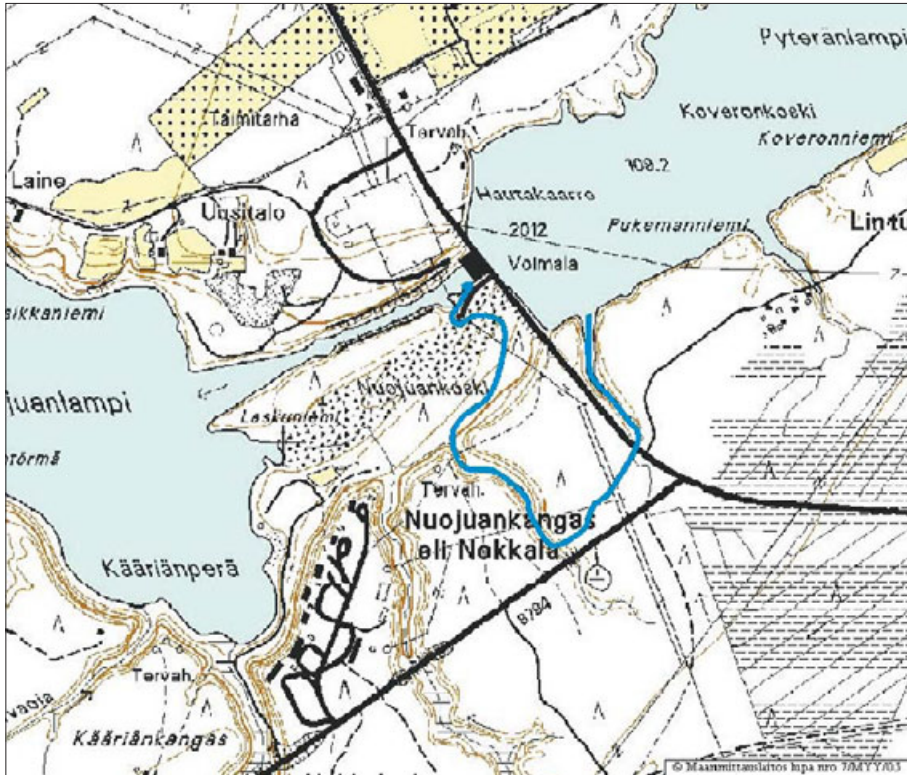
Nuojua

Nuojuan ohittamiseksi tarkasteltiin vaihtoehtoja kummallekin rannalle. Tarkempaan tarkasteluun päävaihtoehtona otettiin vasemman rannan linjaus mm. oikealla rannalla olevan kytkinkentän takia.

Ohitusuoma yläpää alkaisi yläkanavan poukamasta ja kaivettaisiin läheisen purouoman latvoille (Kuva 26). **Hiekkamaahan kuluneen uoman pohjaa kivetään eroosion estämiseksi**, mutta muuten uoma soveltuu ohitusuomaksi lähes sellaisenaan ilman suuria kaivutöitä. Suoalueilta puroon nykyisin virtaavia vesiä ohjataan viereisiin uomiin, jotta vieras veden haju ei liikaa häiritse kalojen nousuviettiä. Nuojuunkankaan kohdalla tarvittaisiin enemmän maaleikkausta (Kuva 27).

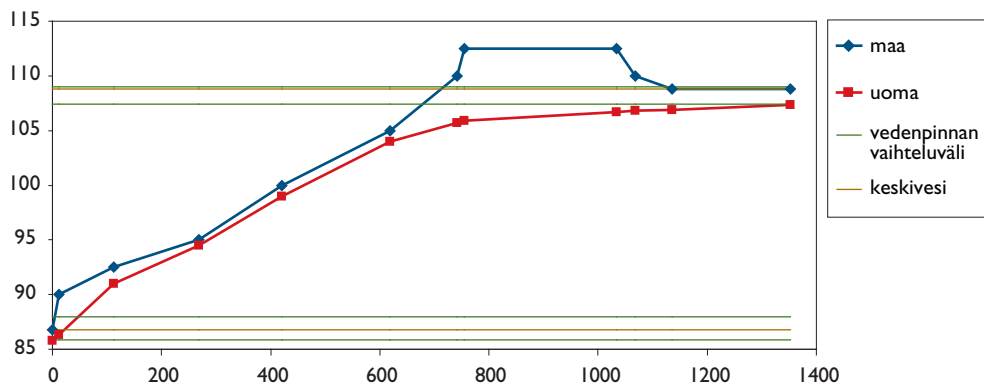
Alapäässä ohitusuoma kaivetaan kohti säännöstelypatoa ja tulvauomaa. Tälle osuudelle voitaisiin lisätä habitaatteja uomaa mutkittamalla. Kalatie kulkisi tulvauomassa säännöstelypadon alla olevien syvänteiden kautta samaan tapaan kuin Pällissä. Uoma muodostaisi lampareita kalliopohjalle ja voisi vaatia pienimuotoista louhimista syvemmän nousu-uran muodostamiseksi kuten Merikosken kalatiessä Oulussa (Kuva 28). Ohitusuoma olisi kalojen löydettävissä myös tulvajuoksutuksilla tulvauomasta.

Ohitusuoman alapää kaivetaan vanhan veneenvetomöljän päästä alakanavan puolelle, jolloin otetaan huomioon möljän kulttuurihistoriallinen arvo. Tulvavirtaamalla ohitusuoma johtaisi jonkin verran myös tulvavesiä alakanavan puolelle, mitä voidaan rajoittaa aukon sopivalla muotoilulla. Alakanavan puolella ohitusuoma laskisi alakanavaan tukkinippujen laskupaikkana toimineessa poukamassa, jonka etäisyys voimalaitoksesta on n. 50 metriä. Löytymisen varmistamiseksi vesi voitaisiin tarvittaessa ohjata betoniseinämän tai teknisen kalatien avulla lähemmäs turbiinivirtauksia. Olemassa olevia betonirakenteita voitaisiin mahdollisesti hyödyntää alapään toteutuksessa tai kalatien alapäälle suojaa antavien suisterakenteiden toteutuksessa.



Kuva 26. Nuojuan voimalaitospadon ohitusuomalinjauksessa hyödynnettäisiin Nuojuankankaalle muodostuneita puroalaaksoja. Lyhyen linjauksen pituus on 1350 m, alaosastaan tulvauoman lähellä mutkittelevana 1550 metriä.

Figure 26. In the Nuojuan bypass the natural brook valleys at Nuojuankangas can be utilized. Short version 1350 m, if made curving in downstream section above Nuojuankoski spillway, 1550 m.



Kuva 27. Nuojuan ohitusuoman linjauksen pituusleikkaus. Uoman keskimääräinen kaltevuus 1,6%,maksimikaltevuus 4,7%

Figure 27. Longitudinal profile of the Nuojuan bypass. Average gradient 1,6%, maximum 4,7%.



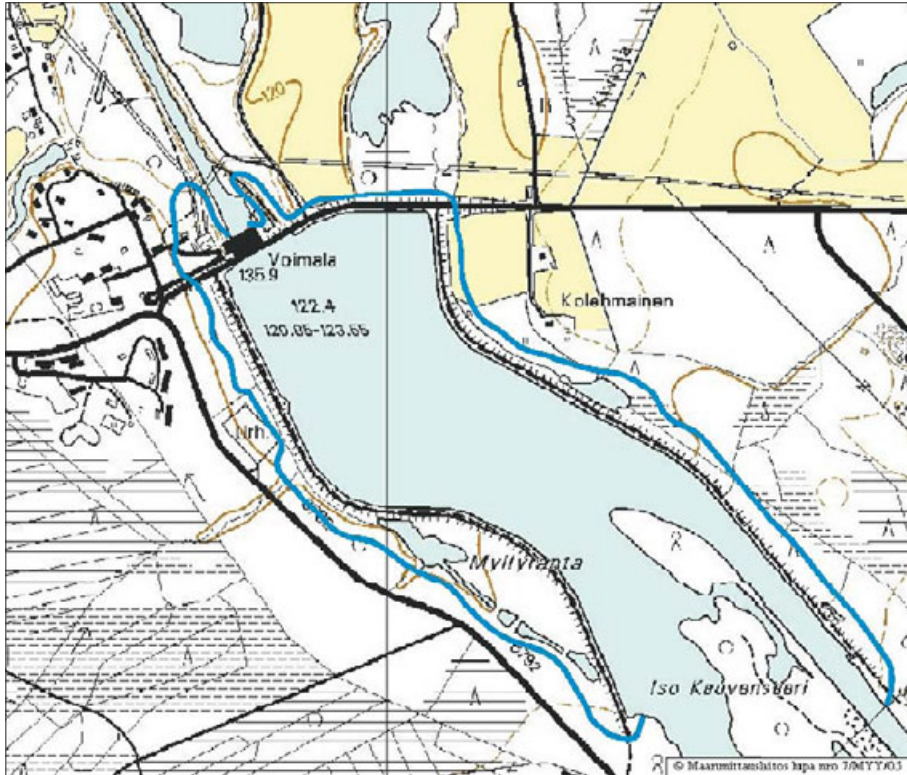
Kuva 28. Ohitusuomalle tehdään reitti tulvauoman poikki siinä olevien altaiden kautta hiukan kalliota louhien. Ohitusuoma kulkisi tulvauoman suojamuurin ja vanhan tervareitin veneenvetomöjlän välistä. Kuva: Fortumin arkisto

Figure 28. The course of the bypass is made through pools in the spillway, by exploding them a bit. The bypass goes between the spillway wall and an old tar boat floating terrace.

3.6

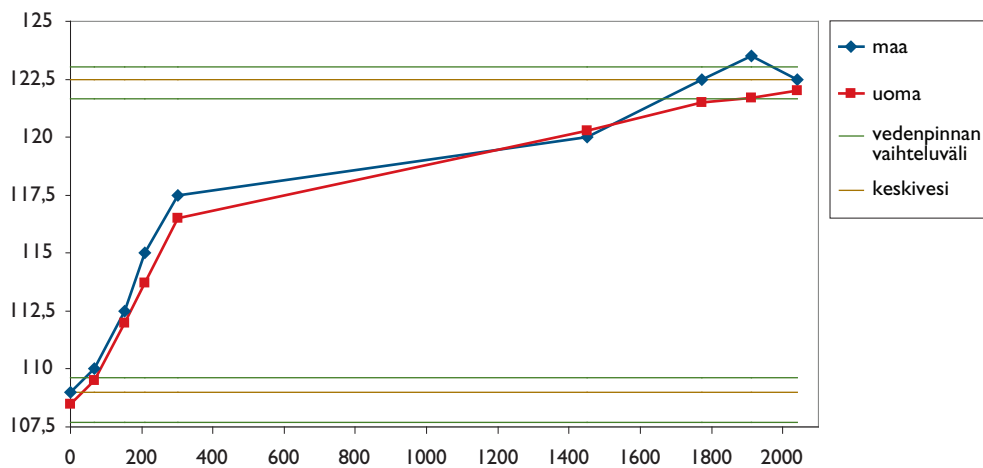
Jylhämä

Ylimmän Jylhämän voimalaitospadon ohittamiseksi tarkasteltiin linjauksia kummallakin rannalle (Kuva 29). Jylhämän voimalaitoksen avulla säännöstellään Oulujärven vedenpinnan korkeutta ja sen myötä padon yläpuolinen vedenpinnan vaihtelu on runsaampaa kuin muissa voimalaitoksissa. Vaihtelun vuoksi Jylhämän ohitusuoman vedenottorakenteissa tulee olla muita kohteita paremmat säätömahdollisuudet. Kummankin rannan vaihtoehdossa alapää sijoitettaisiin lähelle turbiinivirtaa alueelle, jossa alakanavassa on leventymiä. Leventymät ovat kaloille levähtämis- ja odottelupaikkoja ja siten parantavat ohitusuoman suuaukon löytymistä. Molemmissa vaihtoehdoissa suurin osa uomasta viettää loivasti ja tasaisesti (Kuva 30). Uoman pituutta voitaisiin kasvattaa mutkittelun avulla, koska alueella on tilaa, jolloin lisäntymisalueita voitaisiin saada aikaan runsaasti. Uoma muodostaisi maisema-aiheen asutussa voimalaitosympäristössä (Kuva 31). Kalojen alasvaellus voitaisiin järjestää ohitusuoman alapäähän johtavalla erillisellä uomalla tai putkella.



Kuva 29. Jylhämän voimalaitoksen kaksi vaihtoehtoista ohitusuomalinjausta. Linjauksen pituus on vasemmalla rannalla suoralinjaisena 2040 m, oikealla rannalla 2100 m. Molempia linjauksia voidaan pidentää mutkittelemalla yli 3 kilometrin pituisiksi, jolloin saadaan runsaasti lisääntymisalueita.

Figure 29. The two options for jylhämsä bypass. The length on the left bank plan is 2040 m if made straight, 2100 m on the right bank. By making meandering, both options can be extended to be over 3 km long, which enables creating lot of reproduction habitats.



Kuva 30. Jylhämän vasemmalle rannalle sijoittuvan ohitusuoman pituusleikkaus suoralinjaisesti toteutettuna. Uoman keskimääräinen kaltevuus 0,6 %, mutkittelevaksi tehtynä 0,4%. Maksimikaltevuus on 5,0 %.

Figure 30. The longitudinal profile of the left bank bypass of Jylhämsä, made straight. Average gradient 0,6% and 0,4% when made meandering. Maximum gradient is 5%.



Kuva 31. Havainnekuva Jylhämän alaosan linjausvaihtoehdoista. Alavirtaan katsottuna oikeanpuoleinen linjaus vaatisi louhimista sekä aukon tekemistä vasemmalla näkyvään ohjausmuuriin. Vasemman puoleinen linjaus (etualalla) kiertäisi kytkinkentän. Se kulkisi lähellä asutusta ja puistoalueita ja voisi muodostaa uuden maisema-aiheen. Alasvaellusta varten olisi molemmissa vaihtoehdoissa mahdollista tehdä voimalaitospadon lähelle erillinen jyrkkä ohitusuoma tai putki, joka yhtyy ohitusuoman alaosaan. Kuva: Fortumin arkisto

Figure 31. Illustration of the options for Jylhä bypass. The right bank plan, looked downstream, needs exploding and a hole in the wall, seen left in the picture. The left bank plan (in front in the picture) would go round the electric area. It would go through the residential areas and parks and it could be a new landscape attraction. For downstream migration in both options, a separate bypass or pipe could be made near the power plant, leading to the downstream part of the bypass.

3.7

Montta-Pyhäkoski pitkä linjaus

Montan voimalaitokselle tehtävän kalatien jälkeen tulee valittavaksi seuraava vaihe kalan kulun järjestämisessä. Jos Monttaan toteutetaan luonnonmukainen ohitusuoma, vaihtoehtona Pyhäkosken kalatien toteutukselle on jatkaa Montan ohitusuomaa eteenpäin Pyhäkoskelle asti, jolloin uoman alapään löydettävyydestä ja toimivuudesta on jo saatu kokemuksia. Pyhäkosken 32,5 metrin, Montan alapuolelta yhteensä 44,5 metrin nousukorkeus voitaisiin ohittaa yhtenä uomana (Kuva 32). Ohitusuomaan on toteutettavissa runsaasti lisääntymiseen soveltuvia habitaatteja, joiden pinta-ala olisi yhtä suuri kuin kaikkiin muihin ohitusuomiin tehtävissä olevat habitaatit yhteensä.

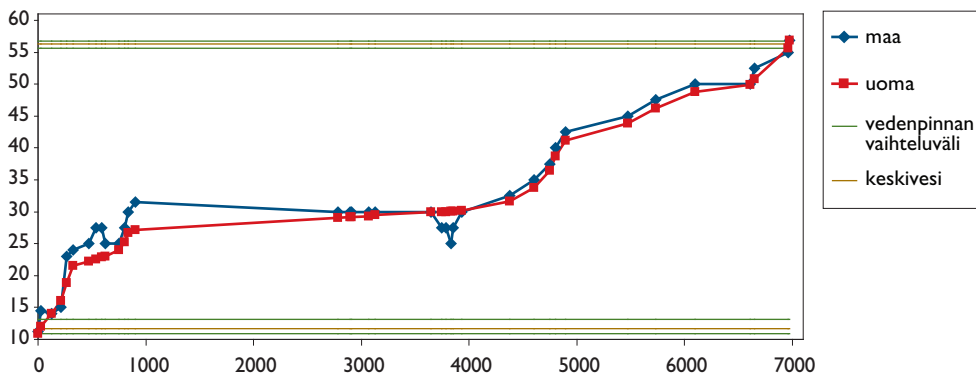
Montan lyhyestä linjauksesta yläjuoksulle päin ohitusuomaan tarvittaisiin aluksi rinteiden terrassointia kalanviljelylaitos kiertäen ja siitä yläjuoksulle muutaman metrin syvyinen, pohjoiseen päin madaltuva maaleikkaus sopivan vieton aikaansaamiseksi (Kuva 33). Leirintäalueen kohdalle keskijuoksulle tulisi 300 metrin pituinen pengerrysoisuus laaksopainanteen yli. Yläjuoksulla uoman linjaus on helposti toteutettavissa ja se noudatteli tasaisesti viettäviä maastonmuotoja. Yläosassa uomaa voitaisiin myös pidentää mutkittelulla, jolloin habitaatien määrää voitaisiin merkittävästi lisätä. Linjauksen yläpää liittyisi Pyhäkosken vanhaan uittoränniin ja tehtyihin maise-malampiin. Veden johtaminen ohitusuomasta myös alueelle tehtyyn pieneen vesiputoukseen olisi nykyiseen tapaan mahdollista. Ohitusuoman toteutuksella voitaisiin merkittävästi lisätä voimalaitosalueen maisemallista ja matkailullista arvoa.

Linjauksista on pyydetty lausunnot Fortum Power and Heat Oy:lta, Kainuun TE-keskukselta ja museovirastolta ja niistä on käyty alustavia neuvotteluja useimpien



Kuva 32. Montan ja Pyhäkosken voimalaitokset yhdistävä pitkä ohitusuoma, jossa itäinen sininen linjauks on päävaihtoehto, punainen lisävaihtoehto. Montan ensimmäinen ohitusuoma muodostaisi alaosaan. Uoman pituudeksi tulisi yhteensä 7 kilometriä tai yli 10 kilometriä, jos yläosa tehdään mutkitteluvaana. Näin saataisiin runsaasti uusia lisääntymisalueita.

Figure 32. The long bypass channel, connecting the Montta and Pyhäkoski powerplants. The first Montta bypass would form the downstream part. The blue lines is the main option, the red additional. The length would be 7 kilometres or 10 kilometres, if the upper section is made meandering. This would increase the amount of reproduction areas significantly.



Kuva 33. Montta-Pyhäkoski -ohitusuoman pituusleikkaus. Alaosaan tulisi maaleikkausta ja keski-osaan pengerrysosuus maanpinnan yläpuolelle laakson yli. Yläosa noudattelee maaston muotoja, jotka mahdollistavat myös mutkittelun ja uoman pidennyksen. Uoman keskikaltevuus 0,6 %, mutkitteluvaana 0,4 %.

Figure 33. The longitudinal profile of the Montta-Pyhäkoski bypass. In the downstream section there would be cutting, in the middle a section of elevation above a valley. The upper section follows the terrain, which enables also a longer and meandering planform. Mean gradient 0,6% or 0,4%, when made meandering.

maanomistajien kanssa. Lausunnonantajat ja haastatellut ovat hyväksyneet suunnittelun jatkamisen esiteltyyn yleissuunnittelutasoisen suunnitelman päävaihtoehdon pohjalta, ottamatta lopullista kantaa ohitusuomaan. Museovirasto kiinnittää huomiota ohitusuoman sovittamiseen maisemaan. Linjauksen kohdalta tulisi tehdä arkeologinen inventointi. Fortum Power and Heat Oy pitää esitettyä linjausta yleisesti ottaen parempana kuin Montan ja Pyhäkosken vasemmalle rannalle esitetyt linjaukset. Linjauksessa tulee ottaa huomioon Montan voimalaitospadon tiivisteosa ja risteäminen vesi- ja sähköjohtojen kanssa.

Kainuun TE-keskus toteaa, että kalateitä koskeva kalastuskielto olisi epäselvä pitkässä ohitusuomassa. TE-keskus puoltaa ohitusuoman tulkitsemista kalatienä, mutta ei ota kantaa parhaaseen tapaan kalan nousun järjestämiseksi. Lisääntymishabitatien rakentamista TE-keskus pitää kannatettavana milloin vain se on mahdollista.

Lisäksi Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus tiedustelee ohitusuomalinjauksen soveltuvuutta alueelle vahvistettuun osayleiskaavaan. Linjaus kulkee pääosin kaava-alueen ulkopuolella. Yläpäässä kaava-alueella se rajautuu jokivarren suojelualuemerkintään ja kulkee maiseman kannalta arvokkaalla peltoalueella. Uoma on sopeutettavissa kummankin aluemerkinän tavoitteisiin. Sen voidaan katsoa lisäävän alueen arvoa uutena maisematekijänä, joka säilyttää maiseman avoimen luonteen ja lisää sen monimuotoisuutta.

4 Mallinnus suunnittelun apuvälineenä

Virtaus- ja habitaattimallinnusta on käytetty apuna arvioitaessa kunnostettavien virtavesien ominaisuuksia ja toimenpiteiden vaikutuksia kalastolle (esim. Yrjänä 2003, Lahti 2009). Mallinnoissa käytetään lähtökohtana virtausmallinnoita, joiden avulla arvioidaan uomien mittasuhteiden ja pohjan karkeuden, kaltevuuden, ja virtaaman vaikutuksia syntyviin virrannopeuksiin ja vesisyvyyksiin. Habitaattimallinnuksessa virtausmalliin liitetään lisäksi luonnonvesistöistä saatuja tutkimustietoja eri kalalajien suosimista olosuhteista, jolloin mallilla voidaan kuvata suunniteltujen toimenpiteiden ja virtaamien vaikutuksia kaloille. Tässä selvityksessä mallinnusta käytetään kokonaan uusina toteutettaviin uomiin, mistä ei todennäköisesti löydy muita esimerkkejä ainakaan Suomesta.

Ohitusuomien suunnittelun avuksi tehtiin konsulttityönä 2D- virtaus- ja habitaattimallinnukset, joiden tarkoituksena oli arvioida suunniteltujen uomien virrannopeuksia ja vesisyvyyksiä eri kaltevuuksilla toteutettavilla uomaosuuksilla erilaisilla virtaamilla sekä uomien soveltuvuutta kalojen kutualueiksi ja eri-ikäisten poikasten elinalueiksi (Tammela 2007). Ohitusuomasuunnittelun tavoitteena on turvata kalojen nousu ja toisaalta habitaattien suuri pinta-ala ja hyvä ekologinen toimivuus mahdollisimman pienillä virtaamilla eli energiaa säästämällä. Virtausmallinnuksella pyrittiin selvittämään, vähentääkö virrannopeuksien pienentäminen habitaattien toimivuutta pienillä talvivirtaamilla ja toisaalta heikkenevätkö habitaatit siinä tapauksessa, että virtaamia kasvatettaisiin lohen päänousuaikaan. Lisäksi otettiin tarkasteltaviksi rakenteiden kestävyys kannalta suurimpia mahdollisia virtaamia. Suurien, esimerkiksi 5 tai 10 m³/s virtaamien johtaminen ohitusuomiin voisi tulla kyseeseen voimalaitosten ohijuoksutuksilla tulva-aikaan uomien huuhtomiseksi, jolloin juoksutuksista ei aiheutuisi energiamestelyä. Habitaattimallinnuksella, joka laadittiin esimerkkitapahtumana toimivaan Montan ohitusuomaan, tarkennettiin virtaamien vaikutuksia eri kalalajeille parhaiden habitaattien laatuun ja määrään. Samalla voitiin saada kokonaiskuvaa ohitusuomiin muodostuvien lisääntymisaluiden määrästä ja hyvyysluokista verrattuna muihin lisääntymisalueisiin pääuomassa ja sivuvesistöissä.

4.1

Virtausmallinnus

Virtausmallinnuksella pyrittiin määrittämään uoman mittasuhteita, jotka vastaisivat kalojen kulkemisen ja lisääntymisympäristön vaatimuksia. Yleispiirteisessä suunnittelussa oli löydetty kyseeseen tulevia uomakaltevuuksia. Oulujoelle suunniteltujen ohitusuomien keskikaltevuudeksi muodostuu 0,5 - 1,9 %. Vertailun vuoksi Oulujoen keskikaltevuus 100 km matkalla on aikanaan ollut vain 0,12 %, jyrkemmällä osuuk-silla, esimerkiksi Pyhäkosken 18 km pituisella alkuperäisellä koskijaksolla 0,31 %.

Suurissa joissa uoman kaltevuus on yleensä huomattavasti pienempi kuin pienissä uomissa, johtuen suuresta virtaamasta.

Eri uomakaltevuuksilla muodostuvia virrannopeuksia ja vesisyvyyyksiä haluttiin selvittää eri uomaleveyksillä. Kalojen nousun kannalta tarvitaan virtausnopeuden rajoittamista ja lisäksi riittäviä vesisyvyyyksiä suurille kaloille. Lisääntymisalueilla pyritään kutemiseen ja poikasille sopiviin virrannopeuksiin ja vesisyvyyyksiin ja mahdollisimman laajaan pinta-alaan. Vaatimukset vaihtelevat eri vuodenaikoina, mikä edellytti tarkastelua eri virtaamilla. Mallilla pyrittiin selvittämään vaihtoehtoisia virtaamatilanteita energian tuotannolle aiheutuvien haittojen minimoimiseksi ja toisaalta sitä, voiko virtaamaa ajoittain kasvattaa kalankulun kannalta edullisemmaksi aiheuttamatta merkittävää haittaa kutu- ja poikashabitaateille.

Mallinnuksen tilauksessa annettiin tarkasteltaviksi virtaamiksi:

- Kesävirtaama (touko - heinäkuu), 1,0 m³/s
- Korotettu houkutusvirtaama lohen nousuaikana (elo - lokakuu), 2,5 m³/s
- Talvivirtaamat (marras - huhtikuu), 0,3 ja 0,5 m³/s
- Suurin rakennevirtaama 5 ja 10 m³/s

Uomatyyppinä tarkasteltiin seuraavia uomakaltevuuksia:

- Jyrkät osuudet 5 %
- Poikasalueet 1 ja 2 %
- Kutualueet 0,25 ja 0,5 %
- Loivat osuudet 0,05 ja 0,1 %

Mallinnukseen käytettiin FHWA:n (Federal Highway Administration, Yhdysvaltojen tiehallinto) kehittämää FESWMS-2DH virtausmallia ja graafisena käyttöliittymänä SMS 9.2 -ohjelmistoa, joka on kehitetty Birminghamin yliopistossa Utahissa. Habitaatiaineiston käsittely tehtiin Excelillä ja niiden graafinen esitys SMS:llä. Massasiirron määrä laskettiin Surfer 8.0 -ohjelmalla.

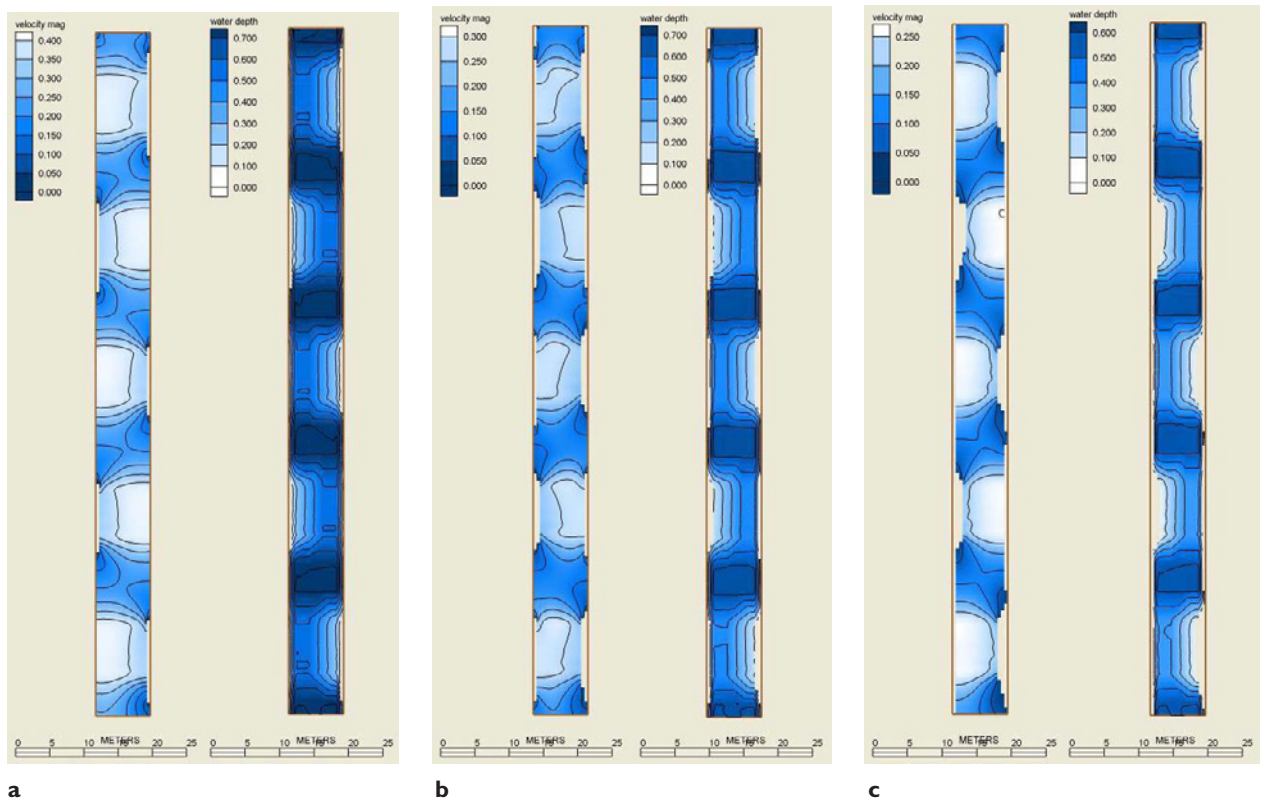
Uoman geometria luotiin poikkileikkauksiin, joita uoman pituussuunnassa on noin 3 metrin välein. Kussakin poikkileikkauksessa on piste noin 0,5 metrin välein. Laskentaverkossa käytettiin noin 15 000 - 16 000 solmupistettä, joista muodostui noin 4 500 - 5 000 elementin verkko. Uoman leveyssuunnassa elementtien määrä vaihteli neljästä hieman yli kymmeneen. Uoma on mallinnuksessa jyrkkiä osuuksia lukuun ottamatta melko tasalevyinen eikä siinä kuvattu yksittäisiä isoja kiviä, jolloin suuria pyörteitä eli akanvirtoja ei synny. Mallissa myös elementtien pieni määrä leveyssuunnassa aiheuttaa sen, että vain vähäisiä akanvirtoja esiintyy, mutta ne eivät erotu kuvattaessa koko uomaa. Suurempaa elementtimäärää ei käytetty laskentatehon rajoitusten vuoksi eikä se olisi ollut välttämätöntä suunnittelutehtävän yleispiirteisen luonteen takia. Käytetty tarkkuus antaa silti riittävän hyvän kuvan virtausolosuhteista ja habitaattien laadusta ja pinta-aloista eri tyyppisillä omaosuuksilla.

4.1.1

Kutualueet

Kutualueiden aikaansaaminen Oulujoelle on erityisen kiinnostuksen kohteena. Kutualueiksi sopivat kaltevuudeltaan 0,25 ja 0,5 % olevat osuudet, joiden virrannopeuksia ja vesisyvyyyksiä on esitetty oheisissa kuvissa (Kuva 34). Kutualueiden leveydeksi on mallissa oletettu noin 7 metriä, vaikka käytännössä kutualueet voisivat olla jonkin verran leveämpiä. Matalat ranta-alueet eivät kuitenkaan ole kovin varmasti mallinnettavissa. Tuloksena oli, että 0,25 % kalteuisella osuudella virtausnopeudet ovat sekä virtaamalla 1 että 0,5 m³/s kutusoraikon kohdalla kutualueille ihanteellisia, 30 - 40 cm/s ja 20 - 30 cm/s, samoin syvyydet 30 - 50 ja 20 - 40 cm. Kun virtaamaa edelleen lasketaan määrään 0,3 m³/s, virtausnopeus pienenee arvoon 20 - 25 cm/s ja vesisyvyydeksi tulee 10 - 30 cm. Vesialue alkaa myös kaventua. Kutusoraikkojen

pinta-ala alkaa jo pienentyä ja voi olla mahdollista, että matalille alueille kudettu mäti voi joutua kuivilleen ja jäätyä. Jos taas virtaama nostetaan määrään $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ houkutusvirtaaman takia lohien nousuaikaan, virtausnopeus kutualueella on 60 cm/s ja virtaamalla $5 \text{ m}^3/\text{s}$ jo 80 cm/s . Tällöin poikasilla olisi jo vaikeuksia alkuperäisillä oleskelualueillaan, mutta ne voivat siirtyä esimerkiksi loiviksi tehdyille ranta-alueille, joilla virrannopeus pysyy pienempänä. Myös kutusoran paikallaan pysymisen kannalta 80 cm/s alkaa olla maksiminopeus, joten uomia tulisi vastaavasti leventää yli $5 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamille. Leventäminen olisi habitaattien pinta-alan kasvattamiseksi muutenkin suotavaa. Jo tilapäisiä houkutusvirtaamia $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ varten ja kutusoran liikkumista ja poikasten selviämistä tulisi seurata. Jos ohitusuomien virtaamia haluttaisiin tulevaisuudessa kasvattaa habitaattien kokonaismäärän lisäämiseksi, uomia olisi varauduttava vastaavasti leventämään. Mahdollisista lisäjuoksuutuksista voitaisiin kuitenkin ilmeisesti saada habitaattien kannalta paras hyöty jakamalla virtaama rinnakkaisiin, mahdollisesti haarautuviin uomiin ja tekemällä ohitusuomia pääuoman molemmille rannoille.



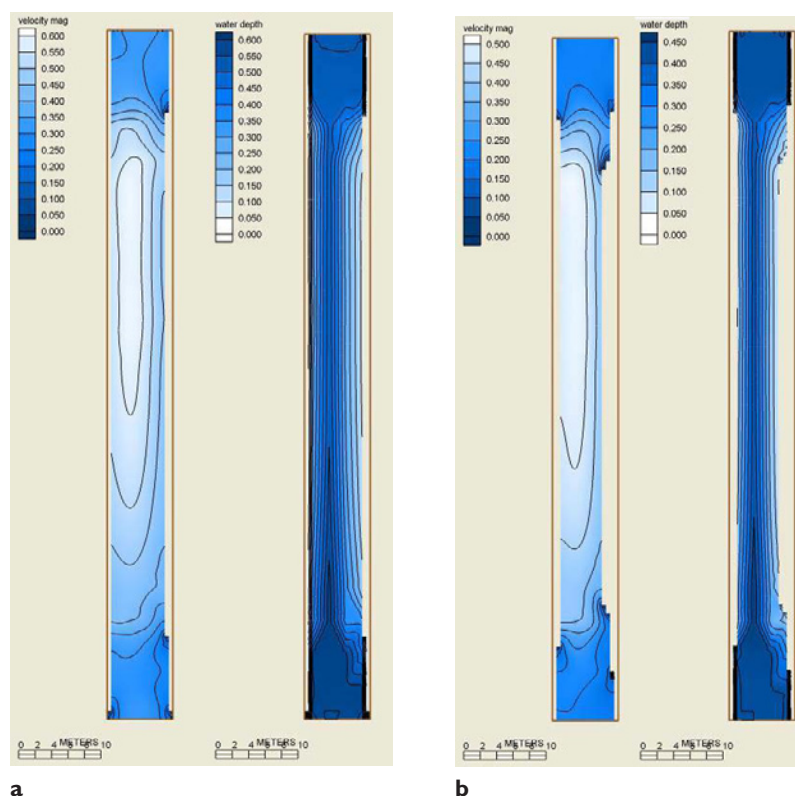
Kuva 34. Ensimmäisen virtausmallinnusvaiheen tuloksena saadut virrannopeudet (kuvaparien vasemmat kuvat) ja vesisyvyudet 0,25 % kaltevaisella, kutualueeksi sopivalla osuudella. Virtaamat: $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (a), virtaamalla $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (b) ja virtaamalla $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (c). Vaaleiden alueiden virrannopeudet 20-40 m/s ja syvyydet 20-50 cm ovat kutualueille sopivia. Tummat alueet ovat kutualueiden välillä tarvittavia syvänteitä. Kuva: Simo Tammela

Figure 34. Velocities (left figures of the pairs) and depths as results of the first phase flow modeling on a section with gradient 0,25%, suitable for spawning. Discharges: $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (a), $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (b) and $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (c). The velocities 20-40 cm/s and depths 20-50 cm on the light blue areas are suitable for spawning. The dark areas are depressions, needed between spawning areas. Figure: Simo Tammela

4.1.2

Poikasalueet

Lohen ja taimenen poikasten elinalueiksi tarkoitettuina uomaosuuksina mallinnettiin 1 % kaltevuisia osuuksia. 1 m³/s juoksutuksella virrannopeus on 50-60 cm/s eli poikasille hyvä (Kuva 35a) ja 0,5 m³/s virtaamalla vielä 40-50 cm/s (Kuva 35b). Myös tätä jyrkemmille alueille, ainakin kaltevuuteen 2 % asti, voitaisiin todennäköisesti saada aikaan poikasalueita kynnystämällä uoma loivemmiksi välisosuuksiksi. Poikasille voitaisiin tehdä suojapaikkoja verhoilemalla pohjaa ja rantoja sopivalla kivi- ja puuaineksella ja lisäämällä vesikasvillisuutta.



Kuva 35. Virrannopeudet ja vesisyvyyydet 1 % kaltevaisella poikasalueella virtaamalla 1 m³/s (a) ja virtaamalla 0,5 m³/s (b). Virrannopeudet (kuvaparien vasemmat kuvat) ovat 40-60 cm/s, mikä on optimaalinen poikasille molemmilla virtaamilla. Pienempi virtaama kuitenkin kaventaa vesialuetta. Kuva: Simo Tammela

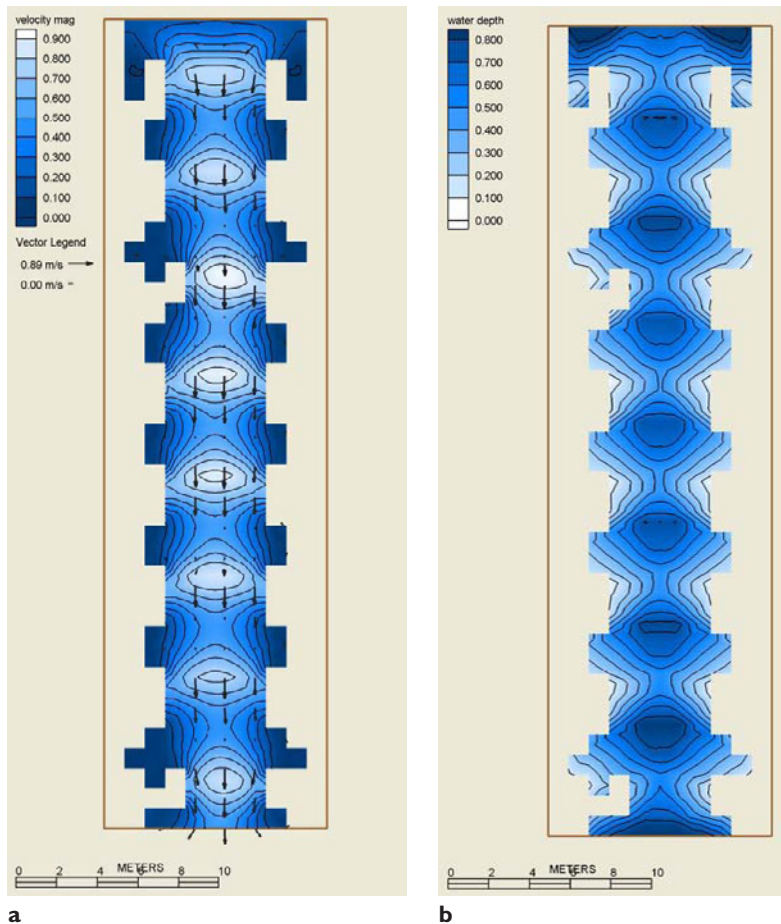
Figure 35. Velocities and depths on sections with gradient 1%, suitable for rearing, with discharges 1 m³/s (a) and 0,5 m³/s (b). The velocities (left side figures) are 40-60 cm/s, which is optimal for juveniles with both discharges. The wetted area is narrower by the smaller discharge. Figure: Simo Tammela

4.1.3

Jyrkät osuudet ja suuret virtaamat

Ohitusuomien jyrkimmillä osuuksilla, kaltevuudeltaan 5 %, oli tarpeen selvittää virrannopeudet normaaleilla nousuvirtaamilla ja nopeuksien nousua suurilla virtaamilla. Lisäksi haluttiin saada kuvaa, voisivatko myös jyrkät osuudet soveltua poikashabitaateiksi normaaleilla ja pienillä virtaamilla. 1 m³/s virtaamalla virrannopeus on 70 - 90 cm/s ja siten helposti nousukelpoinen useimmille kaloille (Kuva 36a). Suurin vesisyvyys kynnysten kohdalla on 50 cm ja suvannoissa 80 cm (Kuva 36b). Kun virtaama kasvatetaan arvoon 2,5 m³/s, mikä voi olla tarpeen, jos houkutusvirtaamaa halutaan lisätä ohitusuoman kautta lohen päänousu-aikaan, virrannopeus on

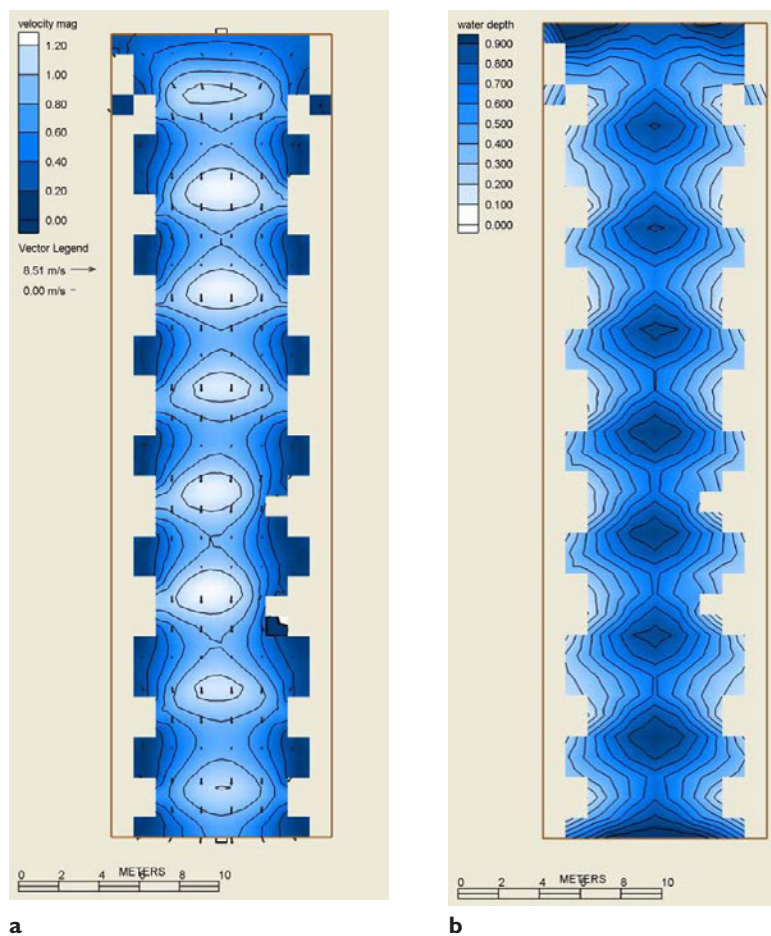
kynnysten kohdalla 100 - 120 cm/s. Uoma on vielä helposti nousukelpoinen lohien lisäksi myös useimmille muille lajeille (Kuva 37a). Talvivirtaamalla 0,5 m³/s kynnysten virrannopeus on 50-60 cm /s, altaiden virrannopeus on 10 - 30 cm/s (Kuva 38a) ja altaiden suurin vesisyvyys 60 cm (Kuva 38b), joten osuudet voisivat sopia vielä kalojen liikkumiseen ja ainakin suurikokoisten poikasten ja muiden uomassa elävien lajien talviaikaiseen oleskeluun. Lisäksi mallinnettiin osuutta suurilla virtaamilla 5 m³/s ja 10 m³/s, jotka voisivat tulla kyseeseen huuhteluvirtaamina uoman kunnossapidon kannalta ja joiden mukaan uomat on joka tapauksessa syytä mitoittaa rakenteellisen kestävyuden kannalta. Virrannopeudet alkavat nousta monien kalojen nousun kannalta suuriksi, aina 2 m/s asti tutkituilla uomaleveyksillä, mutta lohien nousu voisi silti olla vielä mahdollista. Uomarakenteen kestävyuden takia tarvittava kivikoko ei vielä aseta erityisiä vaatimuksia tutkituilla virtaamilla. Kivikokona halkaisijaltaan noin 0,5 m kokoinen luonnonkivi olisi riittävä, mutta vaihtelevan uomarakenteen aikaansaamiseksi olisi suositeltavaa käyttää tätä suurikokoisempaa kiveä. Loivempien osuukien habitaattien rakenteellisen säilymisen, esimerkiksi soran liikkumisen estämiseksi suurilla virtaamilla uomat tulisi toteuttaa mallinnettua uomaa jossakin määrin leveämpinä.



Kuva 36. Jyrkimpien 5 % kaltevuisten, kynnystettyjen osuukien virtausmallinnus. Virrannopeudet (a) ja vesisyvytydet (b) virtaamalla 1 m³/s. Kynnyskohtien virrannopeudet 70-90 cm /s tekevät uomasta helposti nousukelpoisen. Altaat, joiden virrannopeudet ovat 10-50 cm/s, voivat soveltua poikasalueiksi. Kuva: Simo Tammela

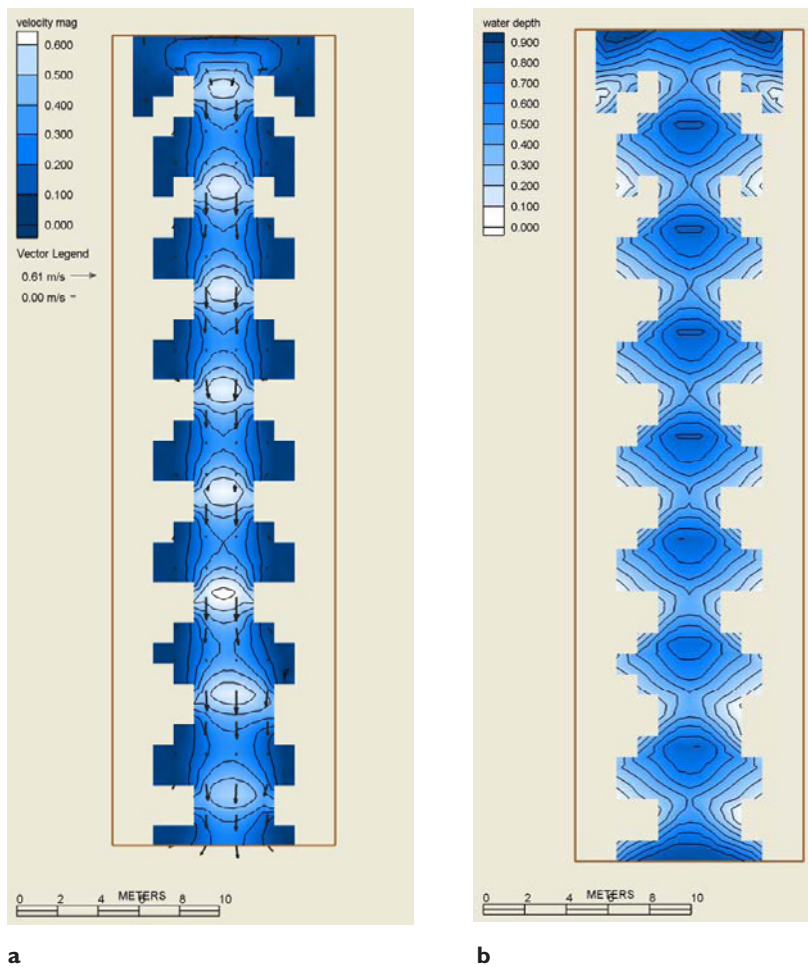
Figure 36. Flow modeling of the steepest sections with 5% gradient and step-pool structure. Velocities (a) and depths (b) with discharge 1 m³/s. The velocities 70-90 cm/s at the steps make the channel easy to migrate. Pools with velocities 10-50 cm/s can be suitable for rearing for juveniles.

Figure: Simo Tammela



Kuva 37. Virrannopeudet (a) ja vesisyvyydet (b) 5 % kaltevaisella osuudella lohien päänousuajan virtaamalla $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Virrannopeudet 100-120 cm/s ovat vielä nousukelpoisia useimmille lajeille. Kuva: Simo Tammela

Figure 37. Velocities (a) and depths (b) of the section with 5% gradient during the main migration time discharge of salmon $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. The velocities 100-120 cm/s are possible for migration of most species. Figure: Simo Tammela



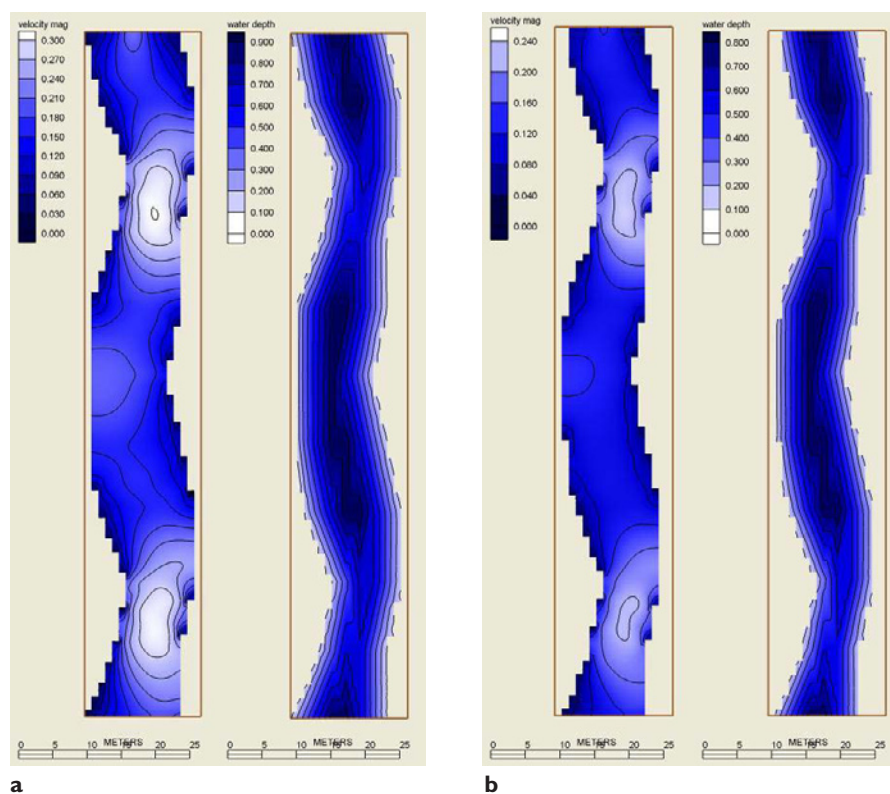
Kuva 38. Virrannopeudet (a) ja vesisyvydet (b) 5 % kaltevuisella osuudella virtaamalla $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Uoma olisi nousukelpoinen ja virrannopeudet ja vesisyvydet voisivat mahdollistaa osuuskien toimimisen talviaikaisina habitaatteina poikasille. Kuva: Simo Tammela

Figure 38. Velocities (a) and discharges (b) on the 5% gradient section with discharge $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. The channel would be possible to migrate and the discharges and depths would allow the sections to be winter habitats for juveniles. Figure: Simo Tammela

4.1.4

Loivat osuudet

Hyvin loivia, kaltevuudeltaan 0,1 % osuuksia tulisi pitkiin ohitusuomiin, kuten ylimpiin voimalaitoksiin ja mahdolliseen Montta-Pyhäkoski pitkään linjaukseen. Kanadalaisissa kutu- ja poikastuotantokanavissa on tätäkin loivempia kaltevuuksia ja pieniä virrannopeuksia. Mallinnuksella haluttiin selvittää, miten hyvin loivilla osuuksilla on edellytyksiä lohille ja taimenille soveltuville habitaateille. Virrannopeutta 20 cm/s pidetään alarajana hyviksi luokiteltavien lohikalojen lisääntymishabitaateille esimerkiksi Oulujoen pääuoman ja sivuvesistöjen habitaattien arvioinnissa. Mallinnuksessa virrannopeudet virtaamalla 1 m³/s ovat 15 - 30 cm/s (Kuva 39a), pääasiassa yli 20 cm/s. Talvivirtaamalla 0,5 m³/s virrannopeus on 12 - 20 cm/s (Kuva 39b). Talvella virrannopeuden lasku alle 20 cm /s ei kuitenkaan todennäköisesti ole haitallista. Osuuksilla voisi tällä perusteella muodostua koko matkalle edellytyksiä poikastuotannolle.



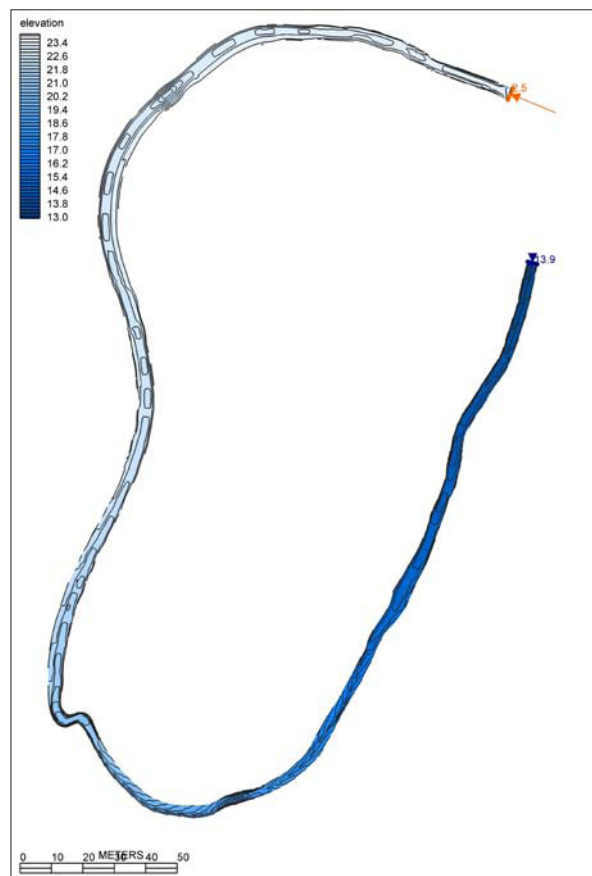
Kuva 39. Virrannopeudet ja vesisyvytydet loivalla 0,1 % kaltevaisella osuudella virtaamalla 1 m³/s (a) ja 0,5 m³/s (b). Virrannopeudet ovat 8 - 30 cm/s eivät olisi vielä liian pieniä lohikaloille, joten sekä kesä- että talvihabitaattien aikaansaaminen olisi mahdollista. Kuva: Simo Tammela

Figure 39. Velocities and depths at a gentle sloped section with gradient 0,1 % with discharge 1 m³/s (a) and 0,5 m³/s (b). The velocities 8-30 cm/s would not be too slow for salmonide fish and creation of summer and winter habitats would be possible. Figure: Simo Tammela

Habitaattimallinnus

Virtausmallinnuksen pohjalta tehdyn habitaattimallinnuksen tavoitteena oli täsmen-
tää edellä yleisesti kuvattujen habitaattityyppien jakautumista ja soveltuvuutta ku-
tualueiksi ja eri kalalajien poikasten ikäluokille eri virtaamilla ja eri vuodenaikoina.
Habitaattimallinnuksessa eri alueiden soveltuvuuteen ja habitaattien arvoon vaikut-
taa virrannopeuksien lisäksi vesisyvyys ja pohjan kivikoko. Mallinnuksen kokeilu-
kohteena toimi Montan 650 metriä pitkä ohitusuoma (Kuva 13), johon suunniteltiin
erilaisia habitaatteja maastosuhteiden mukaan muodostuville eri kaltevuusosuuk-
sille. Tavoitteena oli havainnollistaa muodostuvia habitaatteja eri virtaamatilanteissa.
Muodostuvien habitaattien laatua ja määrää voidaan soveltaa muihinkin Oulujoelle
suunniteltuihin ohitusuomiin samoin kuin yleisemmin eri suunnittelukohteisiin.
Mallinnuksessa hyödynnettiin tutkimustietoa luonnossa esiintyvistä lohen ja tai-
menen kutualueiden ja poikashabitaattien ominaisuuksista (mm. Louhi ym. 2007,
Mäki-Petäys ym.)

Montan ohitusuoman mallinnusta varten suunnitellut pohjan muodot näkyvät
kuvassa 40. Esimerkkejä uoman poikkileikkauksia on esitetty kuvissa 41 ja 42 (Kuva
41 ja Kuva 42). Poikkileikkaukset suunniteltiin terassimaisiksi siten, että muodostuu



Kuva 40. Montan ohitusuoman pohjan korkeudet. Kutualueeksi suunnitellussa loivassa yläosassa (vaalean sininen) on kutusoraikoiden välillä syvänteitä, jotka näkyvät kuvassa soikioina.

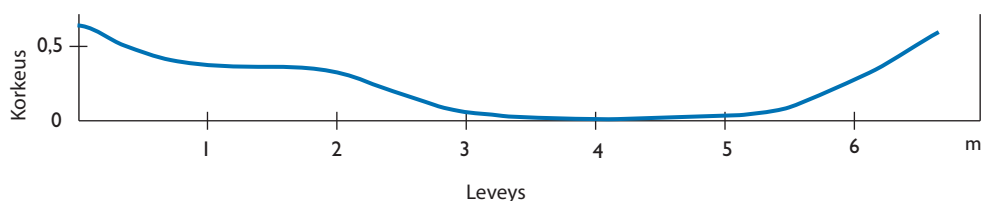
Kuva: Simo Tammela

Figure 40. The elevations of the bottom of the Montta bypass channel. In the gentle sloped upper part (light blue), planned mainly for spawning, the oval area represent deeper pools between spawning sites. Figure: Simo Tammela

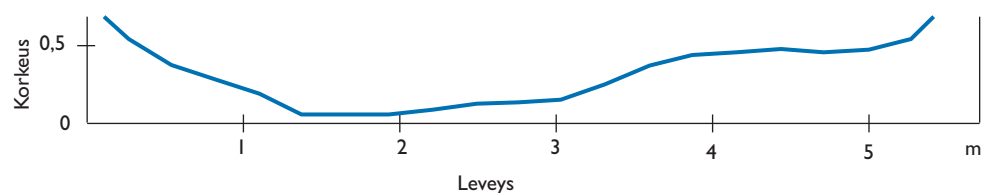
erisyvyisiä ja laajuisia vesialueita eri virtaamilla (Kuvat 41 ja 42). Kaikkein jyrkimmillä osuuksilla ei habitaattimallinnuksen yksinkertaistamiseksi voitu käyttää ensimmäisessä virtausmallinnuksessa käytettyä kynnysettyä uomarakennetta (Kuvat 36 - 38), vaan osuus on mallinnettu rännimäisenä ja käyttäen suurta kivikokoa vastaavaa karkeuskerrointa. Habitaattimallissa on jyrkillä osuuksilla käytetty siten keskimääräisiä virrannopeuksia.

Esimerkkikohteelle suunniteltiin mallinnusta varten eri pohjamateriaaleja sen mukaan miten eri kaltevuuksien perusteella on mahdollista saada aikaan kutualueita ja poikasten elinalueita. Pohjan raekoko on esitetty kuvassa 43. Kutualueilla, joita kaltevuuden perusteella on mahdollista tehdä erityisesti uoman yläosalle, oletettiin mallissa käytettäväksi kahta eri karkeutta olevaa soraa (tumma ja vaalea sininen). Jyrkillä osuuksilla on suurikokoisempaa kivimateriaalia. Raekokoluokituksena on käytetty Cummins 1962 -mukaista luokitusta.

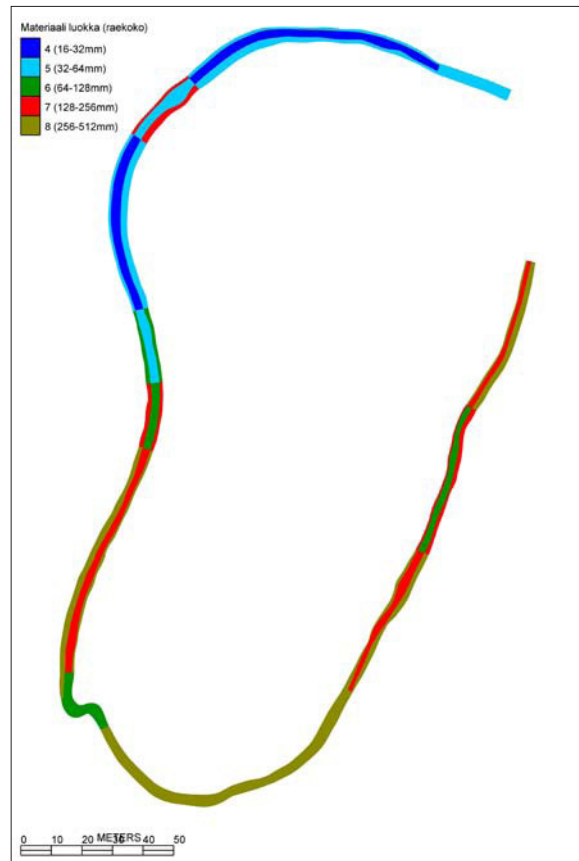
Uoman karkeutta kuvaavat Manningin kertoimen arvot on arvioitu pohjamateriaalin raekoon ja uomakaltevuuden perusteella. Pienikokoisimman soran eli raekokoluokan 4 Manningin kertoimina on mallinnuksessa käytetty 0 - 0,3 m syvyydessä 0,05 ja 1 metriä syvemmällä alueella 0,03. Syvyysalueella 0,3 - 1m Manningin kerroin muuttuu lineaarisesti edellä mainittujen arvojen välillä. Vastaavasti raekokoluokalle 5, kertoimet 0,06 ja 0,04, luokalle 6 kertoimet 0,07 ja 0,05, luokalle 7 0,08 ja 0,06 ja luokan 8 suurikokoiselle kiville 0,09 ja 0,07.



Kuva 41. Esimerkki poikkileikkauksesta kutusoraikon kohdalla kaltevuudella 0,33 %
 Figure 41. Example of a cross section at spawning area with gradient 0,33%



Kuva 42. Esimerkki poikkileikkauksesta poikasalueella kaltevuudella 1,5 %.
 Figure 42. Example of a cross section at juvenile rearing area with gradient 1,5%



Kuva 43. Habitaattimallinnuksessa käytetty Montan ohitusuoman pohjan kiviaineksen kokoja-kauma. Siniset sävyt kuvaavat kutusoraa, muut värit suurempikokoista kiveä. Kuva: Simo Tammela
 Figure 43. The substrate classes of the bottom materials, which were used in the habitat modeling of the Montta bypass. The blue colors represent spawning gravel, the other colors coarser stone.
 Figure: Simo Tammela

4.2.1

Kutualueet

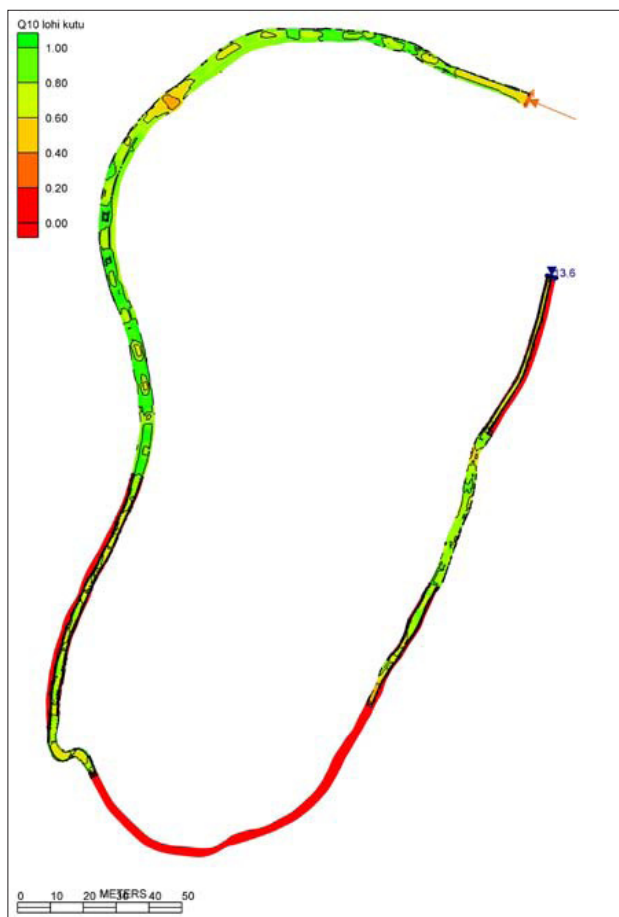
Montan ohitusuoman soveltuvuutta lohen ja taimenen kutualueeksi selvitetiin virtaamalla 2,5, 1, 0,5 ja 0,3m³/s (Kuvat 44 - Kuva 47). (Kuva 44 - Kuva 47). **Hyviä tai erinomaisia** kutualueita voidaan saada aikaan suurimmalle osalle uomaa kaikkein jyrkintä osuutta lukuun ottamatta. Virtaamalla 2,5 m³/s vain uoman yläosa on lohelle hyvää kutualuetta. Muilla virtaamilla myös alaosaan muodostuisi kutualuetta, vaikka alaosaan on mallinnuksen lähtötilanteessa sijoitettu lohen kutualueeksi vain heikosti soveltuvaa karkeahkoa kiviainesta. Virtaamalla 1 ja 0,5 m³/s muodostuu runsaimmin erinomaisia kutualueita. Myös pienimmällä virtaamalla 0,3 m³/s muodostuu erinomaisia kutualueita samoille uomaosuuksille, mutta uoma alkaa kaventua ja kutualue pienentyä.

Uoman soveltuvuutta kutualueeksi selvitetiin myös taimenelle. Tuloksena oli, että yleisjakautuma eri uomaosuuksille oli sama kuin lohelle, mutta pinta-alat olivat pienempiä ja alajuoksu soveltui heikommin taimenelle. Tämä johtuu siitä, että taimenen kutualueilla soran tulee olla hienojakoisempaa soraa ja vesisyvyyden matalampi kuin lohelle.



Kuva 44. Habitaattimallinnuksessa saadut lohen kutualueiden soveltuvuusluokat houkutusvirtaamalla 2,5m³/s. Uoman yläosaan muodostuu erinomaista (kirkkaan ja tumman vihreä) ja hyvää (kellanvihreä) kutualuetta. Kuva: Simo Tammela

Figure 44. Habitat modeling results of spawning habitat suitability for salmon (*Salmo salar*) by the attraction discharge 2,5m³/s. Excellent (dark green) and good (yellow green) spawning areas can be created in the upper section. Figure: Simo Tammela



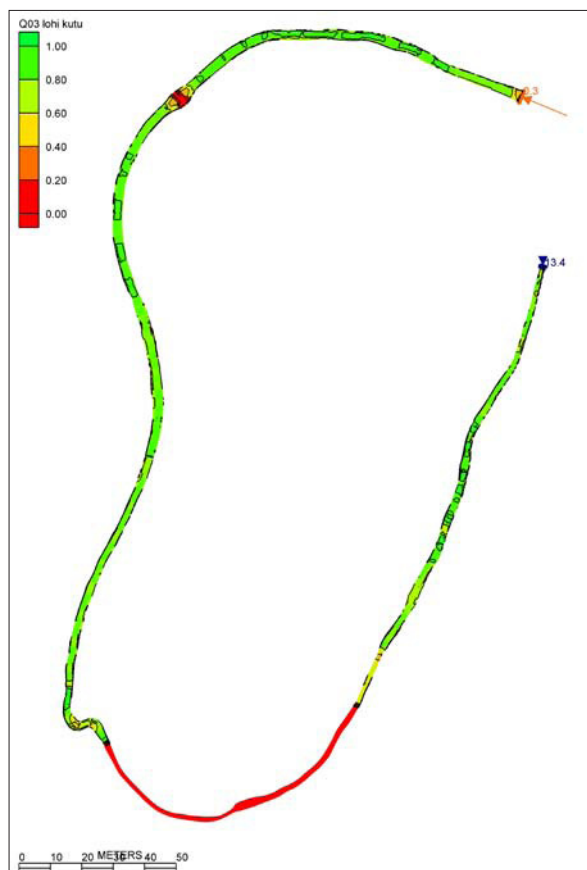
Kuva 45. Kesävirtaamalla 1 m³/s erinomaisia ja hyviä lohen kutualueita muodostuu myös alajuoksulle. Kuva: Simo Tammela

Figure 45. By the normal discharge excellent and good salmon spawning habitats will be created also to the downstream section. Figure: Simo Tammela



Kuva 46. Virtaamalla 0,5 m³/s erinomaisia lohen kutualueita on pitemmällä matkalla kuin isommalla virtaamalla sekä ylä- että alajuoksulla. Uoma alkaa kuitenkin kaventua. Kuva: Simo Tammela

Figure 46. By discharge 0,5 m³/s the length of the excellent salmon spawning areas increases in upper and downstream sections, but the wetted channel width begins to be narrower. Figure: Simo Tammela



Kuva 47. Virtaamalla 0,3 m³/s erinomaisia lohen kutualueita säilyy edelleen samoilla osuuksilla, mutta uoma on kapeampi ja pinta-ala pienempi. Kuva: Simo Tammela

Figure 47. By discharge 0,3 m³/s excellent salmon spawning areas remain at same sections, but the wetted channel becomes still narrower and the habitat area smaller. Figure: Simo Tammela

4.2.2

Poikasalueet

Esimerkkiuoman soveltuvuutta kesä- ja talvihabitaatiksi selvitettiin eri-ikäisille lohen ja taimenen poikasille (Kuvat 48 - 53). Kesähabitaatteja arvioitiin virtaamalla 0,5, 1 ja 2,5 m³/s. Lohen poikasten kokoluokkina käytettiin luonnonoloissa tehtyjen tutkimusten kokoluokkia alle ja yli 10 cm. Taimenella poikasten kokoluokat olivat alle 10 cm, 10-15 cm ja yli 15 cm. Uoma soveltuu varsin hyvin lohen kesähabitaatiksi molemmille poikasten kokoluokille. 0,5 ja 1 m³/s virtaamalla suurin osa uomasta on luokitukseen erinomaista, kutualueeksi tarkoitettu uoman yläosa ja jyrkin uomaosuuskin hyvää poikasaluetta. Parhaat habitaatit painottuvat keski- ja alaosaan, jossa myös uoman kivikoko on valittu poikasalueiden kannalta optimaaliseksi. Virtaamalla 0,5 m³/s erinomaista habitaattia on jonkin verran enemmän kuin suuremmilla virtaamilla, koska käytetyillä uomapoikkileikkauksilla virrannopeudet ja vesisyvytydet ovat tällöin pienempiä. Vastaavasti kuitenkin myös habitaattien koko on pienempi, koska uoma on kapeampi. Virtaamalla 2,5 m³/s melko jyrkän alaosan luokitus alkaa heiketä, kun virrannopeus suurenee. Yläosan kutualueelle alkaa muodostua lisää erinomaista habitaattia loivaksi muotoillulle ranta-alueelle uoman leventyessä.

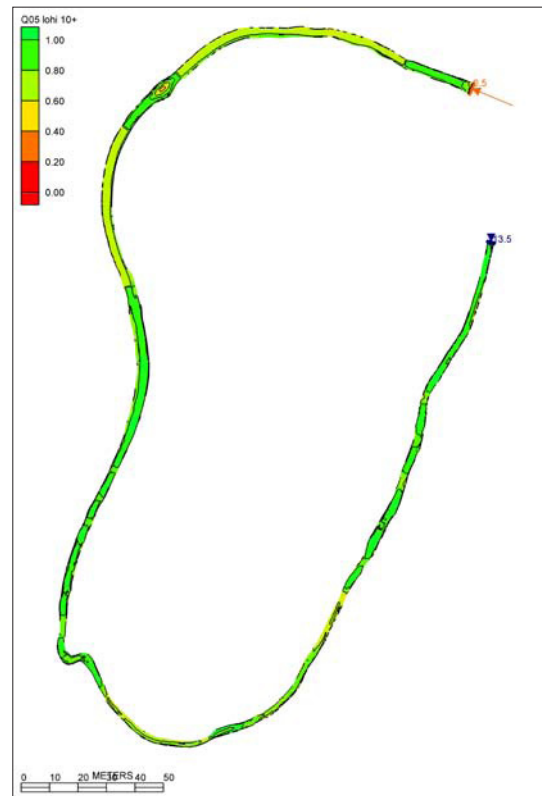
Hyvät taimenien kesähabitaatit sijoittuva samoille alueille kuin lohenpoikasten. Hyvät ja erinomaiset alueet ovat jonkin verran pienemmät kuin lohelle, koska taimenen elinvaatimukset ovat rajatummat (Kuva 51).



Kuva 48. Lohen poikasten kesähabitaatit yli 10 cm pituisille poikasille virtaamalla $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Erinomaista kuvaavia tumman vihreitä alueita on runsaimmin uoman keski- ja alaosassa, jossa myös pohjan kivikoko on poikasia varten suunniteltua. Myös jyrkimmillä osuuksilla (kuvan alareunassa) ja yläosan kutualueilla on ja hyvää poikasille sopivaa aluetta (kellanvihreä).

Kuva: Simo Tammela

Figure 48. Salmon summer rearing habitats for juveniles over 10 cm with discharge $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Excellent (dark green) areas are most abundant in the middle and downstream sections, where also the bottom substrates were designated for rearing. Also the steepest sections (at bottom of the figure) and the areas in the upper section, which were mainly planned for spawning, are good rearing areas (yellow green). Figure: Simo Tammela



Kuva 49. Virtaamalla $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ yli 10 cm pituisten lohen poikasten erinomaisten kesähabitaattien omaosuuskien pituus kasvaa, mutta habitaattien kokonaispinta-ala pienenee vesialueen kaventuessa.

Kuva: Simo Tammela

Figure 49. By discharge $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ the length of the excellent sections of summer rearing habitats for salmon juveniles over 10 cm increases, but the total area decreases as the wetted area becomes narrower.

Figure: Simo Tammela



Kuva 50. Virtaamalla 2,5 m³/s alaosan jyrkät osuudet ovat yli 10 cm pituisille lohille vielä hyvää kesähabitaa suurentuneista virrannopeuksista huolimatta. Yläosan tyydyttävät ja välttävät alueet (keltainen ja oranssi) laajenevat, kun vesisyvyys kasvaa, mutta erinomaista habitaattia muodostuu loiville ranta-alueille. Kuva: Simo Tammela

Figure 50. By discharge 2,5 m³/s the steep sections downstream are still good for summer rearing habitat for salmon juveniles over 10 cm, despite of the increasing velocities. In the upper sections the fair (yellow) and less favourable (orange) areas increase by increasing depth, but excellent habitats (dark green) are created on the gentle sloped shoreline areas. Figure: Simo Tammela

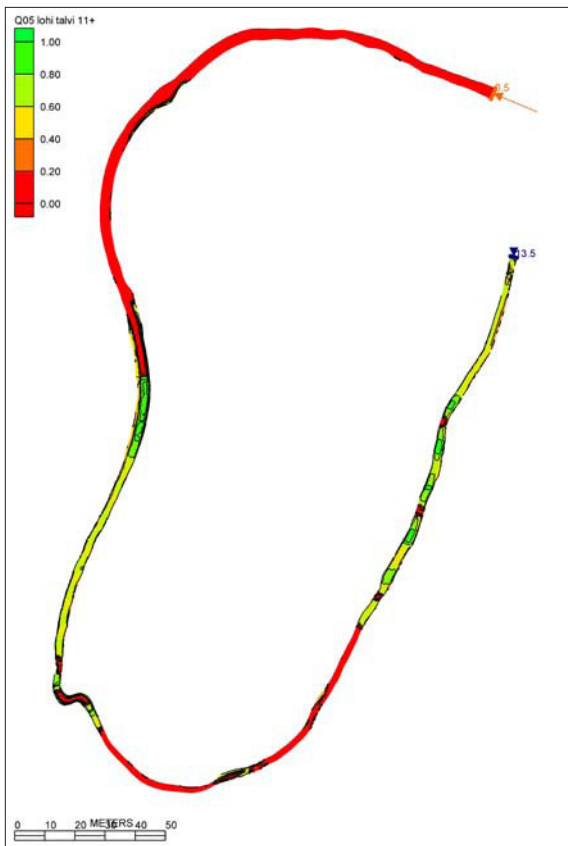


Kuva 51. Taimenen kesähabitatit 10-15 cm pituisille poikasille virtaamalla 1 m³/s. Hyvät ja erinomaiset alueet sijoittuvat samoille osuuksille keski- ja alajuoksulla kuin lohella. Alueet ovat kuitenkin pienipiirteisempiä uomavaihtelun mukaan, koska taimenen habitaattivaatimukset ovat tarkempia kuin lohella. Kuva: Simo Tammela

Figure 51. Brown trout (*Salmo trutta*) summer rearing habitats for 10-15 cm juveniles by discharge 1 m³/s. Good and excellent areas are on the middle and downstream sections like by salmon, but the areas are smaller and located with channel differences, as the demands for trout are more exact than by salmon. Figure: Simo Tammela

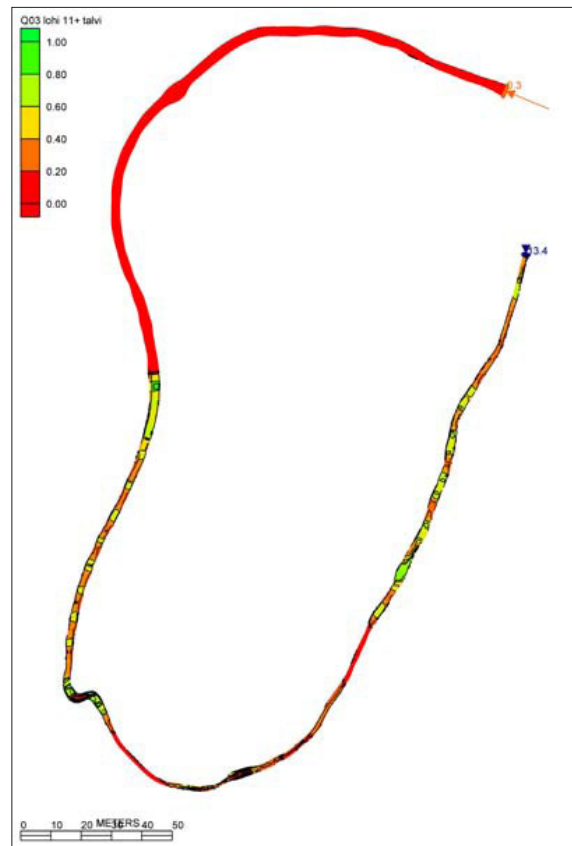
Talvehtimisalueet

Uoman soveltuvuutta poikasten elinalueiksi talviaikana selvitettiin virtaamalla 0,5 ja 0,3 m³/s. Talvehtiminen on keskeistä poikasten kasvamiseksi smoltti-ikään. Yli 11 cm pituisille lohille erinomaista talvihabitaattia muodostuu virtaamalla 0,5 m³/s keski- ja alajuoksulla osuuksille, joilla pohjan raekoko on 64 - 128 mm (Kuva 52, vrt. Kuva 43) Yläjuoksu näyttää talvihabitaattina heikolta, koska kivikoko on alueilla pientä. Talvihabitaateille tarvitaan suojapaikkoja, joten myös yläjuoksulle voisi muodostua talvihabitaatteja, jos sinne sijoitetaan kutusoran lisäksi suurikokoisempaa kiviainesta. Virtaamalla 0,3 m³/s hyviä habitaatteja säilyy vain pienialaisina (Kuva 53). Mikäli virtaamaa halutaan pienentää merkittävästi talveksi, tarkemmassa suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota talvehtimisolosuhteisiin.



Kuva 52. Lohen talvehtimiseen sopivia alueita muodostuu yli 11 cm pituisille poikasille virtaamalla 0,5 m³/s keski- ja alajuoksulle. Pienialaisia erittäin hyviä alueita on suojapaikkana parhaan keskikokoisen kiviaineksen sijaintiosuuksilla. Yläosa ja jyrkkä osuus ovat talvihabitaatteina heikkoa. Yläosassa tämä johtuu suojapaikkojen muodostumiselle liian hienojakoisesta pohjamateriaalista. Jyrkimmällä osalla kiviaines taas on poikasille liian suurikokoista. Pohjamateriaalin monipuolistaminen voisi lisätä hyviä talvehtimisalueita. Kuva: Simo Tammela

Figure 52. Suitable salmon wintering habitats for juveniles over 11 cm are created by discharge 0,5 m³/s on the middle and downstream sections. Small excellent areas are located on sections with the middle class stone, which is known to form good wintering protection. The upper reach and the steep section are poor for wintering, due to small substrate in the upper reach and too big stone on the steep section. Diversification of the bottom substrates can increase good wintering habitats. Figure: Simo Tammela



Kuva 53. Hyvien talvihabitaattien määrä yli 11 cm pituisille lohien poikasille vähenee ja luokitus heikkenee virtaamalla 0,3 m³/s. Kuva: Simo Tammela

Figure 53. The area and classification of wintering habitats for salmon juveniles over 11 cm decreases when discharge decreases to 0,3 m³/s. Figure: Simo Tammela

Johtopäätöksiä virtaus- ja habitaattimallinnuksesta

Habitaattimallinnus tuki virtausmallinnuksen yhteydessä saatua käsitystä, että etenkin loiville uomaosuuksille voidaan saada aikaan erinomaisia lisääntymisalueita. Niiden laatua habitaatteina voitiin päätellä jo virrannopeuksien perusteella. Habitaattimallinnus antoi perusteita arvioida ohitusuomiin tehtävissä olevien kutu- ja poikasalueiden pinta-aloja ja siten ohitusuomien toteutuksen hyötyjä. Tuloksena oli, että kaikille uomaosuuksille kaltevuuteen 1,5 % asti saadaan ensiluokkaisia kutu- ja poikasalueita virtaamalla 1 ja 0,5 m³/s. Tätä jyrkemmillekin alueille voidaan saada hyviä poikasten kesähabitaatteja, virtausmallinnuksen perusteella myös talvihabitaatteja.

Mallinnus antoi myös tietoa virtaamien vaikutuksesta habitaattien laatuun ja pinta-aloihin. Kesävirtaamaksi suunniteltu virtaama 1 m³/s antoi parhaan habitaattien laadun ja laajimman pinta-alan valituilla uomapoikkileikkauksilla. Kutualueet ja kesäaikaiset poikasalueet olivat laadultaan yhtä hyviä, osittain jopa parempia virtaamalla 0,5 m³/s kuin 1 m³/s, mutta pinta-ala alkoi jo pienentyä. Kutuhabitaateille myös 0,3 m³/s näytti hyviä arvoja. Talvihabitaateiksi soveltuvat alueet olivat virtaamalla 0,5 m³/s laaja- alaisempia ja luokituksestaan parempia kuin virtaamalla 0,3 m³/s. Habitaattimallinnuksen perusteella 0,5 m³/s olisi talvivirtaamana parempi kuin 0,3 m³/s. Suuremmilla houkutusvirtaamilla, joista tarkasteltiin virtaamaa 2,5 m³/s, joillekin habitaateille alkaa jo aiheutua heikennystä, mutta loiville ranta-alueille laajenevalle vesialueelle muodostuu uusia poikasille soveltuvia elinalueita.

Yleisenä johtopäätöksenä virtaus- ja habitaattimallinnuksen käytöstä suunnittelun apuvälineenä oli, että mallinnuksen avulla saatiin olennaista tietoa uomien mittojen, kaltevuuden ja virtaamien suhteista ja muodostuvien habitaattien sijainnista ja määrästä. Mallinnuksen avulla saatiin selville, hyviä ja erinomaisia lisääntymisalueita voidaan saada aikaan kohtuullisilla virtaamilla lähes koko ohitusuomapituudelle. Uomien mittoja ja muotoa voitiin täsmentää, kun mallinnuksesta saatiin tuloksia suunnittelun aikana. Mallinnuksella voitiin etsiä virtaamien raja-arvoja pienten ja suurten virtaamien vaikutuksesta kutualueiden ja erilaisten poikasalueiden toimivuuteen.

Mallinnukset ovat käyttökelpoisia myös uomien tarkemmassa suunnittelussa, kun uomista suunnitellaan rakenteeltaan monimuotoisempia, esimerkiksi mutkittavia. Mallinnusta voitaisiin edelleen käyttää osana toteutussuunnittelua siten, että erilaisen uomatyypin vaikutuksia testataan suunnittelun aikana. Habitaattien pinta-alaa voitaisiin pyrkiä lisäämään ohitusuomien poikastuotantokyvyn kasvattamiseksi. Loiventamalla uomat voitaisiin toteuttaa myös leveämpinä kuin mallinnuksessa käytetty levein poikkileikkaus, joka oli noin 6 metriä, lisäämättä kuitenkaan normaaleja virtaamia. Leveä uoma mahdollistaa samalla habitaattien sopeutumisen ajoittaisiin suurempiin virtaamiin. Alustavien laskelmien mukaan uoma voidaan kesäaikaisella 1 m³/s juoksutuksella saada noin 10 metrin levyiseksi. Leveistä ja loivista uomaosuuksista tarvittaisiin mallinnustuloksia. Loiventamisen ja leventämisen aiheuttamaa virrannopeuden liiallista pienentymistä voidaan estää vastaavasti uomaa madaltamalla. Uomien leventämisen keskeinen tavoite olisi lisätä pienpoikasten elinalueiden, etenkin kesähabitaattien alaa. Kutusoraikot tulisi suunnitella siten, että ei olisi vaaraa niiden kuivumisesta tai jääytymisestä pienemmillä talvivirtaamilla.

Tehdyssä habitaattimallissa eri lajeille ja ikävaiheille optimaalisia pohjan kiviaineksen kokoluokkia oli käytetty melko laajoina alueina, korostaen kutualueiden aikaansaamista. Materiaalien sijoittamista on mallinnuksen perusteella syytä monipuolistaa muun muassa talvihabitaattien alan laajentamiseksi. Mallinnusta voitaisiin käyttää uomien tarkemmassa suunnittelussa siten, että otettaisiin huomioon mutkittelun ja yksittäisten pohjarakenteiden, kuten erikokoisten kivien ja lisäksi puuaineksen, mah-

dollisesti myös vesikasvillisuuden vaikutus habitaattien muodostumiseen. Vastaavan tapaista mallinnusta on käytetty kivien aikaan saamien pyörteiden kuvaamiseen (esim. Wheaton 2008). Koska ohitusuomat ovat habitaatteina erikoisrakenteita, joissa pyritään poikastiheyden kasvattamiseen, voi tavoiteltuja olosuhteita koskevan tutkimustieto mallinnusta varten vaatia täydentämistä. Tehty mallinnus antaa kuitenkin hyvän yleiskuvan syntyvien habitaattien laadusta ja määrästä ja voi toimia lähtökohtana kokeilukohteiden suunnittelulle. Ensimmäisen ohitusuoman toteutuksen jälkeisen seurannan avulla voitaisiin todentaa toteutussuunnitelman tarkemman mallinnuksen paikkansa pitävyys, mistä saataisiin olennaista tietoa muiden ohitusuomien jatkosuunnitteluun.

5 Vaihtoehtojen arviointiperusteita

5.1

Löydettävyys, juoksutusmäärät ja sisäänkäynti

Suunnitelmassa kalateiden sisäänkäynti on pyritty sijoittamaan lähelle turbiineista tulevaa virtausta, mikä on kansainväliseen kokemuksen perusteella edullisin suuaukon sijoituspaikka. Ainoastaan, jos alakanava on niin suppea, että virtausnopeudet ja virtauksen turbulenttisuus vaikeuttaisivat oleellisesti kalatien suuaukon löytymistä, olisi suuaukko perusteltua sijoittaa kauemmas turbiinivirrasta. Suuaukon sijoittaminen houkuttelevan virtauksen läheisyyteen korostuu, jos kalatien virtaama on pieni suhteessa joen virtaamaan. Kansainvälisesti on suositeltu johdettavaksi kalatiehen 1 - 5 %:n osuus joen keskivirtaamasta (DVWK 1999, 14) Oulujoella tämä merkitsisi noin 2,5 - 12,5 m³/s virtaamaa. USA:ssa vaaditaan ekologiseksi ohijuoksutukseksi usein jopa 10%. Suunnittelulle annettujen lähtökohtien vuoksi tässä selvityksessä ohitusuomat on suunniteltu 0,5 - 1 m³/s käyttövirtaamalle, mikä on vain 0,2 - 0,4 % keskivirtaamasta. Keskeinen syy riittäville virtaamille on kalatien suuaukon löytyminen. Kalatie voi olla löydettävissä pienelläkin käyttövirtaamalla, jos suuaukko onnistutaan sijoittamaan optimaalisesti. Koska löydettävyys on olennainen kalateiden toteutukselle, olisi syytä varautua virtaaman kasvattamiseen normaalista käyttövirtaamasta ainakin nousuaikoina. Tarvittavaa houkutusvirtaama tulee selvittää kokeilujuoksutuksin. Houkutusvirtaamana on tässä selvityksessä tutkittu nousuajasta kokonaisvirtaamaa 2,5 m³/s, mikä on 1 % keskivirtaamasta. Lisäksi uomat tulisi mitoittaa rakenteellisesti kestävämmän vielä suurempia virtaama poikkeustilanteita ja esim. tulvajuoksutusten aikana tapahtuvaa lisäjuoksutusta varten. Selvityksessä on tutkittu virtaamia 5 ja 10 m³/s, jotka kuitenkin aiheuttavat jo ongelmia kalan nousulle ja habitaateille tutkituilla uomaleveyksillä.

Kalat hakevat säännönmukaisesti sopivia kulkureittejä ylävirtaan. Ne suosivat tiettyjä virrannopeuksia ja uintisyvyyskäyviä vaelluksillaan. Kalat käyttävät myös näköhavaintoja suuntaamiseen, minkä vuoksi monesti kalojen suosima kulkureitti löytyy rannan lähettäviltä. Olemassa olevan tilanteen havainnoinnin lisäksi voi olla edullista pyrkiä muodostamaan johdattelevia reittejä kalatien suuaukolle. Reitille voi asettaa suojakiviä sekä kaivaa syvänteitä ja lahdelmia kaloille levähtämistä ja odottelua varten. Suuaukko voidaan tehdä luonnonmukaisena alas asti tai alapään suuntauksessa voidaan tarvittaessa käyttää teknisiä ratkaisuja, esimerkiksi virtausta ohjaavia muureja hyvän houkutusvirtauksen suuntaamiseksi ja keskittämiseksi. Ohitusuomien alapää voi olla tarpeen myös liittää alakanavan suojausverhoiluun teknisin ratkaisuin. Olisi kuitenkin suositeltavaa, että suuaukon pohja tehdään alakanavasta luonnonmukaisena jatkuvana luiskana, jolloin heikommin uivat lajit ja pohjaeläimet voivat löytää ohitusuoman pohjan tuntumassa (DVWK 1999).

Yksityiskohtaisemman suunnittelun yhteydessä tulee suuaukkojen optimaaliseen sijainnin etsimiseen panostaa lisätutkimuksin muidenkin kuin Montan laitoksen

yhteydessä jatkamalla telemetriatutkimuksia. Myös virtauksia tulisi tutkia voimalaitosten eri käyttötilanteissa ja mahdollisesti tehdä koejärjestelyitä eri suuaukosijaintien välillä.

5.2

Uloskäynti, virtaaman säätörakenteet ja alasvaellus

Periaatteena ohitusuoman yläpään sijoittamisessa on ollut hyödyntää padoissa jo valmiiksi olevia aukkoja tai sijoittaa rakenne patojakson päähän, jossa padolla ei ole korkeutta eli padotun veden pinta on samalla tai alemmalla tasolla ympäröivään maanpintaan nähden. Tällöin luonnonmukainen ohitusuoma voidaan sijoittaa maaston piirteet huomioon ottaen. Jos luonnonmukaisilla uomarakenteilla ei pystytä riittävästi rajoittamaan tai säätämään kalatiehen tulevaa virtaamaa, on varauduttava toteuttamaan vedenottorakenteet teknisenä rakenteena, esim. lyhyellä pystyrakokalatiosuudella. Vedenottorakenteessa tulee varautua poikkeuksellisiin tilanteisiin. Kalatien tulisi tarvittaessa olla suljettavissa. Kalatiehen tulee silti turvata minimivirtaama myös tilanteissa, joissa yläpuolisessa patoaltaassa veden pinta laskee poikkeuksellisen alas. Uomassa elävien kalojen takia ohitusuoma ei saa koskaan kuivua, vaan uomaan tulisi johtaa jatkuva pieni virtaus putken tai pumppauksen avulla varsinaisen kalankulkuvirtauksen lisäksi. Juoksutusrakenteen tulee mieluiten olla sellainen, ettei se tarvitse jatkuvaa säätämistä, mutta käytännössä virtaamia on voitava tarvittaessa rajoittaa esim. nousukauden ulkopuolella. Eri virtaamia varten voidaan järjestää veden johtaminen erikokoisista aukoista. Säännöstellyssä Oulujoessa patojen yläpuolinen veden pinnan vaihtelu on melko pientä ylintä Jylhämän voimalaitosta lukuun ottamatta. Jylhämän yläpuolinen vedenpinnan korkeus vaihtelee Oulujärven säännöstelyn mukaan. Vähäisten pinnankorkeuden vaihteluiden vuoksi on vedenottorakenteet toteutettavissa suurimmassa osassa kalateitä siten, että ne eivät tarvitse jatkuvaa säätöä tai itsesäätyviä mekanismeja.

Uloskäynnin sijoituksessa voidaan pyrkiä ottamaan huomioon myös alas vaellus, vaikka Oulujoen turbiinityyppi voi mahdollistaa ainakin pienempikokoisten kalojen selviämisen. Kun uloskäynti sijaitsee kaukana yläjuoksulla voimalaitokseen nähden, voi sen löytyminen alasvaelluksen yhteydessä olla vaikeaa. Joidenkin ohitusuomaratkaisujen yhteydessä voidaan harkita erillistä jyrkkäviettoista alasvaellusuomaa tai putkea, joka yhtyy ohitusuoman alempaan osuuteen.

5.3

Muunneltavuus

Luonnonmukaisten ohitusuomien rakentaminen perustuu maaperän muotoiluun ja kivimateriaalin asetteluun, jolloin rakenteiden muuttaminen tarpeiden muuttuessa on helppoa ja edullista. Uomien viimeistely ja muodostuvien virrannopeuksien säätäminen on mahdollista vielä käyttöönoton jälkeen ja säätäminen onkin oleellinen osa toteutusta ja toimivuuden varmistamista. Luonnonmukainen ohitusuoma toimii useilla virtaamilla luonnonuomien tapaan. Rakennevirtaamaa määriteltäessä voidaan varautua mahdolliseen käyttövirtaaman lisäykseen siltä varalta että myöhemmin haluttaisiin suurempia virtaamia esimerkiksi uusien lisääntymisalueiden toteuttamiseksi. Luonnonmukaisten kalateiden suuaukon sijaintiin voidaan tehdä muutoksia ja säätöä jälkikäteen tai jo rakennusvaiheessa voidaan tehdä useampia vaihtoehtoisia sisäänkäyntejä.

Ohitusuomien hyödyt

Luonnonmukaisilla ohitusuomilla on sama ensisijainen tarkoitus kuin teknisillä kalateilla eli mahdollistaa kalojen kulku vesistössä. Koska luonnonmukaisten ohitusuomien yhteyteen on mahdollista rakentaa keinollisia lisääntymisalueita, myös muodostuvien habitaattien pinta-ala ja poikastuottokyky on keskeinen arvioitaessa ohitusuomien toimivuutta ja hyötyjä.

5.4.1

Toimivuus eliöstön kulkureittinä

Mallinnuksen perusteella Oulujoelle suunniteltujen ohitusuomien virrannopeudet pysyvät normaaleilla nousuvirtaamilla useimpien kalojen uintikyvyn rajoissa myös jyrkillä osuuksilla, joten uomien voidaan olettaa toimivan nousureitteinä. Luonnonmukaisten ohitusuomien toiminta perustuu kulkukelpoisten luonnonuomien jäljittelyyn. Loiviksi ja monimuotoisiksi muotoillut rannat tarjoavat sopivia virrannopeuksia vaihtelevissa vedenkorkeus- ja virtaamatilanteissa. Uoma vaihteleva rakenne mahdollistaa useita rinnakkaisia nousureittejä, joista eri kalalajit voivat valita uintikykyään vastaavan. Vahvat kookkaat kalat voivat käyttää syvintä ja myös virtaukseltaan voimakkainta keskivirtaa. Heikon uintikyvyn omaavat kalat voivat hyödyntää ranta-alueita, joissa virtausnopeudet pystyvät keskiuomaa alhaisempina. Soveltuvat nousureitit vaihtelevat virtaamien mukaan. Luonnonmukaiset uomat toimivat eliöstön kulkureittinä kalastoa laajemmin myös esimerkiksi pohjaeläimille sekä vesistöjen varsilla liikkuville maa- ja vesieläimille.

Joissakin tapauksissa luonnonmukaisilla kalateilla on todettu samoja toimivuusongelmia kuin teknisillä kalateilla, nimittäin että kalat saattavat kääntyä kalatiestä takaisin alavirtaan. Oulujoella keskeinen vaelluskala on lohi, jolla on voimakas nousuvietti, jos kanta on leimautunut yläjuoksulle. Tällaisten kantojen aikaansaaminen on tavoitteena mm. ylisirtojen avulla. Lohien voidaan olettaa uivan helposti pitkienkin ohitusuomien läpi. Lisääntymisuomastoksi rakennettavien pitkien uomalengkien ohi voidaan tehdä tarvittaessa nousuaikana toimivia, nopeammin noustavia sivuhaaroja. Lisääntymisaluiden ja mahdollisen kutuaikaisen puolustuskäyttäytymisen ei uskota muodostuvan esteeksi ylös haluavien kalojen vaellukselle.

5.4.2

Uusien lisääntymisaluiden pinta-alat

Ohitusuomiin voidaan muodostaa varsin kontrolloidut virtausolosuhteet ja habitaattirakenne. Ohitusuomaan muodostettavien kutualuiden toimivuuteen ja määrään vaikuttavat virtaama, uoman kaltevuus ja leveys sekä pohjan materiaali. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös kutualustaksi soveltuvan soran mahdollinen liikkuminen kovilla virrannopeuksilla. Ohitusuomiin muodostuvien kutu- ja poikasalueiden määrää eri uomaosuuksille on selvitetty virtaus- ja habitaattimallinnuksen avulla. Muualla Oulujoen pääuomassa ja sivujoissa jäljellä olevien virtavesihabitaattien arvioinnissa on käytetty virrannopeuteen ja pohjan laatuun perustuvaa luokitusta, jossa parhaan luokan virrannopeus on yli 20 cm/s. Rakennettavissa ohitusuomissa virrannopeus ylittää virtausmallinnuksen perusteella kesävirtaamilla yleensä nopeuden 20 cm /s ja pohjan laatu voidaan toteuttaa eri habitaattien kannalta parhaalla kivikoolla. Lisäksi ohitusuomiin muodostuva vesisyvyys vastaa lohen ja taimenen poikasten elinympäristövaatimuksia. Jo pelkästään virtausmallinnuksen perusteella voidaan päätellä, että ohitusuomien koko pinta-ala voitaisiin luokitella hyvään habitaattiluokkaan. Tarkempi habitaattimallinnus, jossa otettiin huomioon myös

vesisyvytykset ja eri habitaattityyppejä vastaava kivikoko vahvistaa, että ohitusuomiin olisi saatavissa erittäin hyviä habitaatteja lähes koko niiden pituudelta.

Ohitusuomien suunnittelussa on pyritty muualla vesistöissä käytettyä luokitusta tarkempaan arviointiin, koska ohitusuomiin muodostuu erilaisia virrannopeuksia ja habitaatteja eri kaltevuusosuuduksille. Poikastuotannon kannalta tärkeimmiksi lisääntymisalueiksi katsotaan kutualueet ja poikasille hyvin soveltuvat elinalueet. Kutualueisiin kuuluvat kutusoraikot ja niiden väliset levähdysaluet. Suunnitelluilla poikasalueilla virrannopeus ylittää 20 cm/s mutta ei toisaalta nouse poikasille liian suureksi. Hyviä kutu- ja poikasalueita arvioidaan muodostuvan uomasuoksille, jotka ovat kaltevuudeltaan 0,1 - 1,5 %. Osuudet vastaisivat kaikilla kriteereillä optimaalisia lisääntymishabitaatteja ja todennäköisesti vastaisivat erinomaisten habitaattien luokkaa. Tällaisia arvioidaan muodostuvan alalle, joka on yli puolet lyhyinäkin toteutettavien ohitusuomien pinta-alasta. Ohitusuomiin muodostuvien lisääntymisalueiden merkitys arvellaan suurimmaksi ensimmäisen kesän poikasille, mutta poikasten olisi voitava myös talvehtia uomissa. Talvehtimisolosuhteet voivat olla poikastuotannon kannalta keskeisiä. Kasvaessaan ja reviiitarpeen lisääntyessä poikaset todennäköisesti levittäytyisivät myös ohitusuomien jyrkempiin osiin, jotka voivat olla poikasille käyttökelpoisia etenkin pienillä talvivirtaamilla. Lisäksi on mahdollista, että poikaset voisivat edelleen kasvaessaan hyödyntää pääuoman suvantoaltaissa ohitusuomien lähialueita ja altaissa olevia virtapaikkoja.

Taulukossa 2 on esitetty ohitusuomien pituudet ja kokonaispinta-alat tilanteessa, jossa kunkin voimalaitoksen yhteyteen on tehty ohitusuomat lyhyinä linjauksina. Uomiin muodostuvien lisääntymisalueiden ala on arvioitu 5 metrin uomaleveydellä, joka voidaan katsoa varsinaiseksi habitaattien osuudeksi lyhyinä tehtävien uomien leveydestä. Uomien leveys voi olla monin paikoin suurempi kuin 5 metriä, jolloin pinta-alat muodostuisivat tarkemmin mitattuina esitettyä suuremmiksi. Lisäksi on arvioitu uomasuudet, joiden kaltevuus on alle 1 %. Ne rakennetaan kutu- ja poikasalueiksi ja ne vastaavat erinomaista habitaattiluokkaa. Taulukon 3 tilanteessa on tehty Montta-Pyhäkoski pitkä linjaus ilman Pyhäkosken erillistä ohitusuomaa. Taulukoissa 2 ja 3 uomapituus on arvioitu melko suoraan mitattuna, korostaen ohitusuomien toimimista kalateinä.

Lisääntymisalueita on mahdollista kasvattaa useimpien ohitusuomien yhteydessä leventämällä ja madaltamalla uomaa ja tekemällä uomiin lisää mutkia paikoissa, joissa siihen on tilaa. Useimmissa ohitusuomissa voidaan kaksinkertaistaa loivahkojen uomasuoksien uomapituus mutkittelemalla uomaa. Utasen ohitusuomaan voidaan terassoida rinneosuudella lenkeiksi siten, että saadaan 1,5 km uutta lisääntymisaluetta. Kalojen nousua varten voidaan uomiin tehdä muuta uomaa syvempi nousureitti. Pitkillä ja loivilla osuuksilla voidaan nousevia kaloja varten tehdä mutkien yhteyteen lyhyempiä oikaisureittejä, joihin johdetaan osa virtauksesta. Lisääntymisalueilla uomien leveys voi kesävirtaamalla 1 m³/s olla 10 metriä, kun uoman syvyys on keskimäärin 35 cm ja virrannopeus poikasille optimaalinen, noin 30 cm /s. Kun uomia pidennetään, ne samalla loivenevat, mikä parantaa mahdollisuuksia hyvälaatuisten habitaattien toteuttamiseen. Taulukossa 4 on esitetty uomapituus ja uomien pinta-ala, kun kukin ohitusuomat on tehty mutkittelevina ja mahdollisimman leveinä. Muodostuvien habitaattien pinta-ala on laskettu 10 metrin uomaleveyden mukaan. Taulukossa 5 on esitetty samaan tapaan uomapituudet ja habitaattien pinta-alat tilanteessa, jossa on tehty Montta-Pyhäkoski pitkä linjaus. Ohitusuomiin voidaan toteuttaa suunnitellulla tavalla yhteensä 11 hehtaaria hyvälaatuisia lisääntymishabitaatteja.

Taulukko 2. Ohitusuomien pituuksia ja pinta-aloja, kun tehdään lyhyet linjaukset kuhunkin voimalaitokseen.

Table 2. Lengths and areas of bypass channels by short bypasses to each power plant.

Voimalaitos	Korkeus-ero (m)	ka. / max. kaltevuus (%)	Pituus (m)	Kokonais-pinta-ala (ha)	Lisääntymis-alueetta (m/%)	Lisääntymis-alueetta (ha)	Sijainti (ranta)
Montta	12,2	1,9 / 4,9	654	0,33	330 / 51	0,21	Oikea
Pyhäkoski	32,3	1,9 / 4,0	1750	0,88	1150 / 68	0,58	Vasen
Pälli	13,9	1,5 / 5,0	933	0,47	500 / 53	0,25	Oikea
Utanen	15,7	1,9 / 3,9	806	0,40	250 / 31	0,12	Oikea
Nuojua	22,0	1,6 / 4,7	1350	0,68	520 / 38	0,26	Vasen
Jylhämä	11-14	0,7 / 3,0	2041	1,02	1450 / 72	0,74	Vasen
Yhteensä	110		7534	3,78	4200 / 59	2,12	

Taulukko 3. Ohitusuomien pituuksia ja pinta-aloja, kun tehdään Montta-Pyhäkoski pitkä linjaus suorahkona ja lyhyet linjaukset muihin voimalaitoksiin.

Table 3. Lengths and areas of bypass channels with the long bypass between Montta and Pyhäkoski and with short bypasses to other power plants.

Voimalaitos	Korkeus-ero (m)	ka. / max. kaltevuus (%)	Pituus (m)	Kokonais-pinta-ala (ha)	Lisääntymis-alueetta (m/%)	Lisääntymis-alueetta (ha)	Sijainti (ranta)
Montta - Pyhäkoski	44,5	0,6 / 4,9	7000	3,50	5930 / 85	2,97	Oikea
Pälli	13,9	1,5/5,0	933	0,47	500 / 53	0,25	Oikea
Utanen	15,7	1,9 / 3,9	806	0,40	250 / 31	0,12	Oikea
Nuojua	22,0	1,6 / 4,7	1350	0,68	520 / 38	0,26	Vasen
Jylhämä	11-14	0,6 / 3,0	2041	1,02	1450 / 72	0,74	Vasen
Yhteensä	110		12130	6,07	8650 / 72	4,33	

Taulukko 4. Ohitusuomien pituuksia ja pinta-aloja, kun tehdään mutkittelevat linjaukset kuhunkin voimalaitokseen.

Table 4. Lengths and areas of bypass channels, with long, meandering bypasses at each power plant.

Voimalaitos	Korkeus-ero (m)	ka. / max. kaltevuus (%)	Pituus (m)	Kokonais-pinta-ala (ha)	Lisääntymis-alueetta (m/%)	Lisääntymis-alueetta (ha)	Sijainti (ranta)
Montta	12,2	1,5 / 4,9	804	0,48	480 / 60	0,32	Oikea
Pyhäkoski	32,3	1,2 / 4,0	2750	1,88	2150 / 78	1,58	Vasen
Pälli	13,9	1,0 / 5,0	1433	1,07	1000 / 70	0,75	Oikea
Utanen	15,7	0,7 / 3,9	2306	1,90	1750 / 76	1,62	Oikea
Nuojua	22,0	1,4 / 4,7	1550	0,88	720 / 46	0,46	Vasen
Jylhämä	11-14	0,4 / 3,0	3041	2,02	2450 / 81	1,74	Vasen
Yhteensä	110		11884	8,23	8550 / 72	6,47	

Taulukko 5. Ohitusuomien pituuksia ja pinta-aloja, kun tehdään sekä Montta-Pyhäkoski pitkä linjaus että muiden voimalaitosten linjaukset mutkittelevina.

Table 5. Lengths and areas of bypass channels, when the long Montta –Pyhäkoski bypass and bypasses at other power-plants are made meandering.

Voimalaitos	Korkeus-ero (m)	ka. / max. kaltevuus (%)	Pituus (m)	Kokonais-pinta-ala (ha)	Lisääntymis-alueetta (m/%)	Lisääntymis-alueetta (ha)	Sijainti (ranta)
Montta - Pyhäkoski	44,5	0,4 / 4,9	10500	7,00	9430 / 90	6,47	Oikea
Pälli	13,9	1,0 / 5,0	1433	1,07	1000 / 70	0,75	Oikea
Utanen	15,7	0,7 / 3,9	2306	1,90	1750 / 76	1,62	Oikea
Nuojua	22,0	1,4 / 4,7	1550	0,88	720 / 46	0,46	Vasen
Jylhämä	11-14	0,4 / 3,0	3041	2,02	2450 / 81	1,74	Vasen
Yhteensä	110		18830	12,87	15350 / 82	11,04	

Poikastuotanto

Koska Suomessa ei ole vielä rakennettu ohitusuomia poikastuotantoon, on poikastuotantokyvyn laskemiseksi käytettävä vertailuaineistoja. Todellinen poikastuotantokkyky voitaisiin varmemmin arvioida ensimmäisten toteutuskohteiden perusteella. Poikastuotantokyvyn vaikuttavat riittävä kutuparien määrä, mädin kuoriutumispersentti sekä poikasten kilpailu tilasta, suojaapaikoista ja ravinnosta. Monimuotoiset suoja- ja talvehtimispaikat lisäävät poikasten tiheyttä pinta-alaa kohti. Ohitusuomiin kulkeutuu poikasille soveltuvaa ravintoa virran mukana pääuomasta. Kulkeutuvan ja uomassa kehittyvän ravinnon suhteet vaativat selvittämistä kokeilukohteissa. Ravinnontuotantoa, kuten pohjaeläinten määrää voi olla mahdollista lisätä tekemällä ohitusuomiin suoja-alueita, joihin kerääntyy orgaanista, pohjaeläinten ravinnonlähteenä toimivaa materiaalia. Vesi- ja rantakasvillisuuden lisääminen voi lisätä suoja-apaikkoja ja parantaa ravinnontuotantoa.

Ohitusuomissa, joihin pyritään rakentamaan optimaaliset olosuhteet eri-ikäisille poikasille, pyritään samalla lisäämään smolteiksi kehittyvien poikasten osuutta. Yksi lohio voi laskea 5000 mätimunaa. Smolteiksi eli mereen vaeltaviksi poikasiksi arvioidaan luonnonoloissa kehittyvän vain 4 % kuoriutuvista poikasista, mutta ohitusuomissa osuutta voidaan pyrkiä kasvattamaan. Ohitusuomien olosuhteet säädellään uomarakenteen, virrannopeuden ja vesisyvyyden kannalta optimaalisiksi. Uomissa ei ole odotettavissa luonnonoloille tyypillisiä ääriolosuhteita, kuten kuivumista ja suuria virtaamia, ellei huuhtelua haluta järjestää poikkeustilanteessa esimerkiksi uoman kunnossapidon takia. Poikastuotantokyvyn voidaan tällä perusteella arvioida olevan mahdollista saada suuremmaksi kuin luonnonuomissa.

Kymijoen suualueen parhailla lisääntymisalueilla saman kesän poikasten tiheys on ollut 120 poikasta /100 m². Vuonna 2005 Kyminkartanonkoskessa oli saman kesän poikasia 84 ja seuraavana kesänä yli vuoden vanhoja 26 kpl/100 m², jolloin eloonjäämispersentti oli 31. Eloonjäämispersenttina yli yhden vuoden ikäisistä smolteiksi asti pidetään Kymijoella 40 - 60 %. Todennäköistä kuitenkin on, että todellinen eloonjäämispersentti on suurempi, koska smoltit liikkuvat ja niiden sähkökalastus on vaikeaa. (Saura 2008). Eloonjäämispersentilla 50 smoltituotoksi tulisi Kyminkartanonkoskesta edellisen perusteella laskettuna 13 smolttia/100 m² eli 1300 poikasta/ha parhailta lisääntymisalueilta.

Simojoella on todettu hyvänä poikasvuotena 2006 saman kesän poikasia useissa koskissa 30 - 40 kpl/100 m², parhaimmillaan 125 kpl/100 m² ja yli vuoden vanhoja 20 kpl /100 m² (Jokikokko 2008). Pohjois-Suomen joissa 30 % poikasista arvioidaan selviytyvän yli vuoden ikäisistä smoltti-ikään asti. Tällä perusteella smoltituotanto voisi olla Simojoen tutkituilla poikasalueilla 6 - 7 smolttia/100 m², mistä saadaan 600 - 700 smolttia hehtaarilta. Simojoelta etelään olevissa joissa luonnonuotannon määränä pidetään keskimäärin 300 smolttia hehtaarilta.

Vertailukohtana tuotantokyvyn arvioinnissa voidaan pitää toistaiseksi ainoaa tiedossa olevaa Atlantin lohelle tehtyä Dunglass- sivu-uomaa Skotlannissa (Kuva 10). Uomassa oli vuonna 2006 160 kpl saman kesän poikasia ja 70 kpl yli vuoden ikäisiä ja poikasia 100 m² kohti. Dunglass -uoman poikasmäärät ovat selvästi suurempia kuin Suomen lohijoissa, mutta vastaavat hyvien taimenpurojen poikasmääriä. Suomessa suuri osa poikasista smolttiutuu 2 vuoden, osa 3 vuoden ikäisinä. Skotlannin esimerkin perusteella voidaan tehdä laskelmia Suomeen suunniteltavien ohitusuomien smoltituotannosta. Jos oletetaan, että Oulujokeen rakennettavissa ohitusuomissa päästäisiin olosuhteet optimoiden samaan yli vuoden ikäisten poikasten määrään kuin Dunglass -uomassa eli 70 kpl /100 m² ja talvihävikki olisi Simojokea vastaava eli selviytymispersentti olisi 30, saataisiin 20 smolttia aarilta eli 2000 smolttia hehtaarilta vuodessa. Tuotto olisi tällöin 30 % parempi kuin Kymijoella ja 3 kertaa parempi kuin

Simojolla hyvinä poikasvuosina. Oulujoen voimalaitoksiin saataisiin tässä suunnitelmassa esitetyllä tavalla yhteensä 11 hehtaaria uutta kutu- ja poikastuotantoalaa. Jos koko tällä pinta-alalla päästäisiin Skotlannin esimerkkiuoman poikastiheyksien ja Pohjois-Suomen luonnonjokien eloonjäntiprosentin perusteella laskettuun poikastuotantoon, voisi tuotanto ohitusuomista olla yhteensä 22 000 smolttia vuodessa. Lisäksi voi olla mahdollista, että poikasia siirtyy ohitusuomista tilan puutteessa pääuomassa jäljellä oleville ja kunnostettaville poikasalueille, mikä lisäisi samalla pääuoman poikastuotantomerkitystä.

Edellä esitetyssä arvioissa käytetty smolttimäärä pinta- alaa kohti olisi suuri verrattuna Suomen luonnonvesistöihin ja edellyttäisi kaikkien olosuhteiden saamista optimaalisiksi. Eri osatekijöiden vaikutusta ohitusuomien poikastuotannon määrään ja rajoitteisiin olisi syytä tutkia kokeilukohteissa, ohitusuomia vastaavissa luonnonvesistöissä ja mahdollisesti säädelyissä tutkimusolosuhteissa. Etenkin talvikuolevuutta voitaneen vähentää käyttämällä suojapaikkoja muodostavaa kivikokoa.

Oulujoen pääuomassa arvioidaan olleen 600 ha lisääntymisaluetta ja muualla vesistöissä lisäksi 100 - 150 ha. Pääuomassa arvioidaan olevan jäljellä poikastuotantoon soveltuvaa eli luokitukseltaan vähintään tyydyttävää aluetta 30 - 50 hehtaaria tutkitulla virtaamalla 120 m³/s. Säätöaluetta pienentää ja heikentää alueita. Sivujoissa on arvioitu olevan lohen ja taimenen poikasille sopivaa aluetta 46 - 50 ha ja kutualueita 2,4 ha. Pääuomassa käyttökelpoisia kutualueita arvioidaan olevan saman verran. Oulujoki on aikoinaan tuottanut istutusvelvoitteen arvioinnin perusteella 190 000 smolttia vuodessa ja koko vesistöalueella 350 000 smolttia, saalistilastojen perusteella arvioituna jopa 600 000 smolttia vuodessa. Kalateiden avulla saavutettaviksi tulevien sivuvesistöjen on arvioitu voivan tuottaa vuodessa 15 000 smolttia ja pääuoman saman verran, mikäli joen minimijouksutus olisi 100 m³/s (Laine 2008).

Ohitusuomiin saatavissa oleva pinta-ala 11 ha on pieni verrattuna pääuomassa menetettyjen lisääntymisalueiden alaan. Nykyisin sivu- ja pääuomassa oleviin poikasalueisiin nähden ala on kuitenkin huomattava. Ohitusuomiin voitaisiin saada enemmän laadultaan erinomaisia kutualueita kuin sivuvesistöissä ja pääuomassa on nykyisin yhteensä. Jos arvioitu ohitusuomien poikastiheys ja tuotantomäärä 22 000 smolttia vuodessa saavutetaan, se voisi olla merkittävä pyrittäessä lisääntyvän lohikannan muodostamiseen yhdessä pää- ja sivuvesistöjen poikastuotannon kanssa.

5.5

Rakennuskustannukset

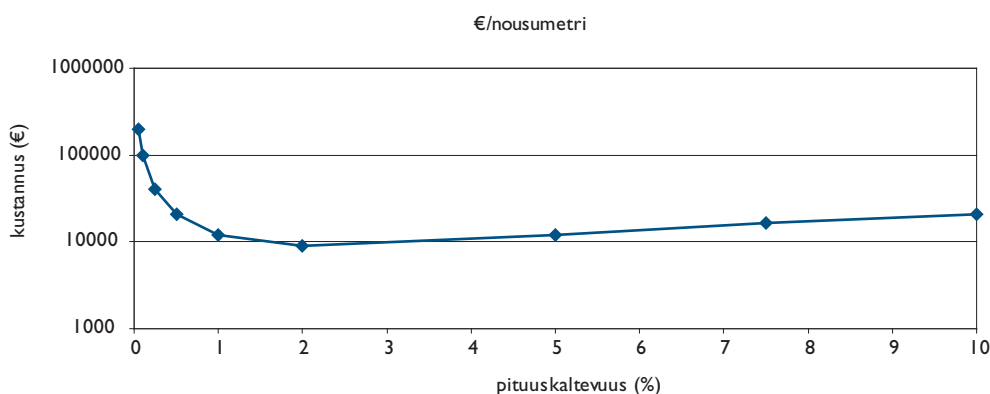
Rakennuskustannusten arvioinnissa käytettiin Suomessa toteutettujen luonnonmuokaisten kalatienhakkeiden ja virtavesikunnostusten yksikkökustannuksia ja laskettiin uomien toteutuksesta paikallisesti aiheutuvia erityiskustannuksia. Lasketut kustannukset on esitetty taulukoissa 6 ja 7.

Uudellamaalla rakennuskustannukset verrattain jyrkissä luonnonmukaisissa ohitusuomissa ovat olleet keskimäärin 17 000 €/nousometri, eli 1190 €/pituusmetri (kaltevuus keskimäärin 7 %). Näihin kustannuksiin on sisältynyt jonkin verran erityisrakenteita, kuten vedenottorakenteita ja tierumpuja. Vastaavasti helpoissa olosuhteissa ja loivana toteutettu Kaitforsin Sääkskosken 5 m korkean ja 300 m pitkän luonnonmukaisen ohitusuoman maarakennusosuus maksoi 50 000 € eli vain 10 000 €/nousometri tai 170 €/pituusmetri (kaltevuus 1,7 %). Tässä tapauksessa yläaltaan maapatoon pystyrakokalatienä toteutettu lyhyt vedenottorakenne maksoi yksistään 100 000 €. Toteutettujen purokunnostushankkeiden perusteella kokonaan uuden uoman tekeminen maksaa keskimäärin 100 €/pituusmetri, mikä arvioitiin kustannukseksi myös Oulujoen ohitusuomien loiville osuuksille. Tämän lisäksi habitaattien rakennuskustannuksiksi lasketaan 50 €/pituusmetri. Suunniteltujen ohitusuomien

rakennuskustannusten oletettiin riippuvan paikallisista olosuhteista ja rakentamisen vaativuudesta siten, että uoman jyrkkyyden kasvu lisää nousu- ja pituusmetrikohtaisia kustannuksia toteutettujen kohteiden mukaisesti. Jotta laskennassa voitiin ottaa huomioon jyrkkyyden vaikutus kunkin uomaosuuden kustannuksiin, toteutettujen esimerkkien perusteella johdettiin kaltevuudesta riippuvainen yksikkökustannuskuvaaja. Arvioitujen kustannusten riippuvuus uomakaltevuudesta on esitetty kuvassa 54 nousukorkeuden suhteen ja kuvassa 55 vastaavasti uomapituuden suhteen.

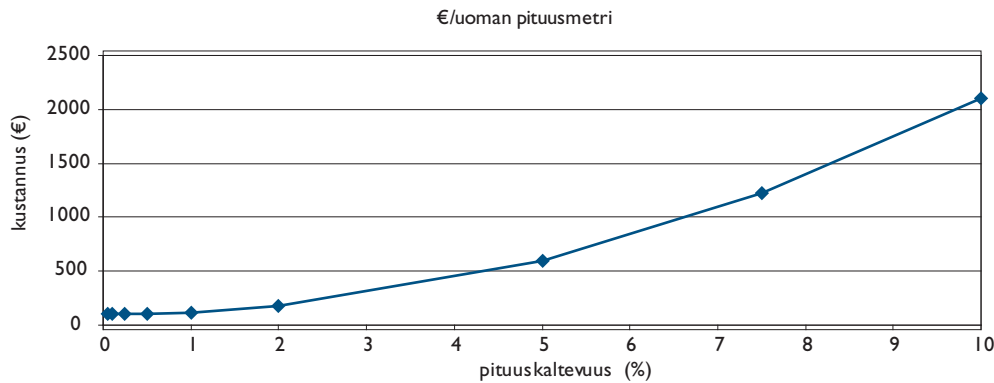
Kuvassa 55 nähdään, että kaltevuudeltaan 1 - 5 % olevien uomaosuuksien kustannukset vaihtelevat välillä 10 000 - 15 000 €/uoman nousumetri. Loivilla kaltevuuksilla ohitusuoma vaatii kaivamisen lisäksi vain vähän uoman suojaamista, kuten kynnysrakenteita ja verhoilua eroosion takia. Jyrkkyyden kasvaminen lisää uoman vahvistustarvetta ja sen myötä rakennuskustannuksia, mikä näkyy nousumetrikohtaisten ja erityisesti pituusmetrikohtaisten kustannusten kasvuna. Oulujoelle suunnitelluilla jyrkimmillä 5% kaltevuuksilla kustannukseksi tulee yli 500 €/pituusmetri (kuva 55). Vaikka loivimpien uomaosuuksien pituusmetrikohtainen kustannus on pieni, 100 €/m, kustannukset nousumetriä kohden alkavat nousta voimakkaasti kaivumassojen määrän lisääntyessä, mutta samalla uomapituus ja habitaattiala kasvavat. (Kuva 54, käyrän alkupuoli). Esimerkiksi kaltevuudella 0,1% yhden metrin nousulla saadaan aikaan 1 kilometri uomaa, joka maksaa 100 000 € mutta johon 10 metrin levyisenä saadaan 1 ha lisääntymisaluetta.

Edellä mainittujen uoman rakennuskustannusten lisäksi rakennettavilla lisääntymisaluiden viimeistelyyn, kuten kutusoran, kivien ja puuaineksen asetteluun on arvioitu kuluvan toteutettujen kalataloudellisten kunnostuskohteiden perusteella 50 €/uomametri. Lyhyempien, melko suorina toteutettavien ohitusuomien kustannukset



Kuva 54. Ohitusuomien rakennuskustannus nousumetriä kohden eri uoman kaltevuuksilla ilman erikoisrakenteita, arvioituna Suomessa toteutettujen kalateiden ja kunnostusten perusteella. Kustannuksia kuvaava pysty akseli on esitetty logaritmisena. Pituuskaltevuuden kasvaessa (vaaka-akseli) nousumetrin yksikkökustannus kasvaa tasaisesti normaaleilla luonnonmukaisten kalateiden kaltevuuksilla (käyrän loppuosaa). Myös hyvin loivissa ohitusuomissa, < 1 %, nousumetrin kustannus nousee, kun uoman pituus kasvaa ja kaivamisen määrä lisääntyy (käyrän alkuosa), mutta myös habitaattiala kasvaa.

Figure 54. Constructing costs of bypass channels per elevation meter with different channel gradients, without special constructions, estimated according to constructed nature-like fish ways and restorations in Finland. Vertical axis (costs) is logarithmic. As the gradient increases (horizontal axis), the unit cost per elevation meter increases evenly by normal gradients of nature-like fish ways (end part of the curve). In very gentle sloped bypass channels, gradient < 1 %, the cost per elevation meter increases, as channel length and excavation amount increases (beginning of the curve), but also habitat area increases.



Kuva 55. Arvioituja ohitusuomien rakennuskustannuksia uoman pituusmetriä kohden eri kaltevuuksilla, ilman erikoisrakenteita. Pituusmetrikustannus loivissa uomissa on 100 € ja nousee kaltevuuden kasvaessa, kun uoman rakenteen vahvistamistarve lisääntyy.

Figure 55. Estimated construction costs of bypass channels, per channel length meter by different gradients, without special constructions. The cost of gentle sloped channels is 100 € and increases according to gradient, as need for strengthening of channel structure increases.

on arvioitu taulukossa 6. Mutkittelevien uomien kustannukset, joihin sisältyy lisäkaivun ja kutu- ja poikasalueiden aiheuttamat kustannukset, on esitetty taulukossa 7.

Vedenottorakenteen kustannusarviona käytettiin Kaitforsiin toteutetun vedenottorakenteeseen perustuen 100 000 € / ohitusuoma. Jylhämän vedenottorakenteen kustannusarviota korotettiin 1,5 -kertaiseksi Oulujärven vedenkorkeuden vaihtelun vuoksi.

Kalateiden sisäänkäyntien sijoittaminen lähelle turbiinivirtaa alakanavaan vaatii normaalista luonnonmukaisesta vesirakentamisesta poikkeavia teknisiä rakenteellisia ratkaisuja, kuten seinämiä ja tukimuureja, mikä kasvattaa kustannuksia. Sisäänkäynnin kustannukseen vaikuttaa pitkälti sen sijoittuminen ja sovittaminen olemassa oleviin rakenteisiin. Sisäänkäyntien sijainnit tarkentuvat myöhemmissä kalan liikkumista tarkastelevissa tutkimuksissa. Kustannusarviossa sisäänkäyntien toteuttamiseen on varattu 100 000 € ohitusuomaa kohden.

Ohitusuomat risteävät teiden kanssa. Kantateiden alitusten kustannus perustuu tiehallinnon arvioon 200 000 - 300 000 € / alitus (taulukko arvioissa 250 000 €/alitus). Pienempien huoltoteiden ja kiinteistölle johtavien teiden rumpujen osalta on arviona käytetty 15 000 €/ alitus.

Teiden alitukset ja vedenotto- ja sisäänkäyntirakenteet on arvioitu omissa sarakkeissa. Suuret maaston muotoilut ja vaativat kohteet on esitetty kohdassa poikkeavat rakenteet. Esimerkiksi uoman pengertäminen Pyhäkosken jyrkkään rinteeseen on arvioitu kaivukustannuksiltaan 1,5- kertaiseksi normaaliin verrattuna. Suurissa leikkauksissa kaivun yksikköhintana on käytetty 5 €/m³, mihin sisältyy siirto ja läjitys. Jos läjitys on mahdollista uoman lähelle, yksikkökustannus voi muodostua pienemmäksi. Massa-arviot ovat alustavia ja perustuvat peruskartan korkeustietoihin.

Taulukoissa 6 ja 7 esitetyt uomien kustannukset vaihtelevat 0,5 miljoonasta eurosta 2,9 miljoonaan euroon, jolloin yli 10 kilometrin pituinen Montta-Pyhäkoski -osuus olisi selvästi kallein. Yhteiskustannus pisimpien vaihtoehtojen mukaan laskettuna on 7,3 miljoonaa euroa. Teknisten kalateiden kustannukset pääuoman voimalaitoksiin on arvioitu olevan 1,1-2,5 miljoonaa euroa, yhteensä 9,7 miljoonaa euroa (Enviro-Centre 2007). Taulukkoja vertaamalla voidaan nähdä, että uomien pidentäminen lisääntymisalueiden aikaansaamiseksi ei lisää merkittävästi kokonaiskustannuksia, koska kalliit erikoisrakenteet, kuten uomien suuaukot ja teiden alitukset sisältyvät jo lyhyisiin linjauksiin. Lisääntymisalueiden lisäkustannukset muodostuvat lähinnä

Taulukko 6. Arvioidut rakentamiskustannukset, kun uomat tehdään suoralinjaisia taulukkojen 2 ja 3 mukaisesti.

Table 6. Estimated construction costs, when the channels are straight according to tables 2 and 3. The costs contain excavation and protection, habitats, road tunnels, water intake structures, entrance structures and special costs.

	Kok. kustannus-arvio €	Uomien kaivu ja verhoilu	Kutu- ja poikas-alueet	Teiden alitukset	Veden-otto-rakenteet	Sisäänkäynti	Poikkeavat rakenteet	
Montta	452550	149000	16550	30000	100000	100000	57000	leikkaus 50m ja pengerrys
a) Pyhäkoski	1014250	364000	58250	280000	100000	100000	112000	yrkkä rinne (1,5x kustannus)
b) Montan jatko Pyhäkoskelle	2362819	752719	280100	855000	100000	0	375000	leikkaukset ja pengertämiset
Pälli	710967	186117	24850	250000	100000	100000	50000	pohjapato
Utanen	761400	169000	12400	280000	100000	100000	100000	suojamuurin ja veneenlaskuväylien muokkaaminen sekä yhteys Utosjokeen
Nuojua	1000550	288000	42550	250000	100000	100000	220000	leikkaus 300m
Jylhämä	956600	253000	73600	280000	150000	100000	100000	sovittaminen kyläympäristöön
a) Yksittäiset uomat (Taulukko 2) yhteensä	4896317	1409117	228200	1370000	650000	600000	639000	
b) Montta-Pyhäkoski (Taulukko 3), yhteensä	6244886	1797836	450050	1945000	650000	500000	902000	

Taulukko 7. Arvioidut rakentamiskustannukset, kun lisääntymisalueiden määrää on kasvatettu uomia pidentämällä ja mutkaisuu- ta lisäämällä taulukkojen 4 ja 5 mukaisesti.

Table 7. Estimated construction costs, when the area of reproduction area is increased by making the channels long and meandering, according to tables 4 and 5.

	Kok. kustannus-arvio €	Uomien kaivu ja verhoilu	Kutu- ja poikas-alueet	Teiden alitukset	Veden-otto-rakenteet	Sisäänkäynti	Poikkeavat rakenteet	
Montta	475050	164000	24050	30000	100000	100000	57000	leikkaus 50m ja pengerrys
a) Pyhäkoski	1164250	464000	108250	280000	100000	100000	112000	yrkkä rinne (1,5x)
b) Montan jatko Pyhäkoskelle	2887819	1102719	455100	855000	100000	0	375000	leikkaukset ja pengertämiset
Pälli	785967	236117	49850	250000	100000	100000	50000	pohjapato
Utanen	986400	319000	87400	280000	100000	100000	100000	suojamuurin ja veneenlaskuväylien muokkaaminen sekä yhteys Utosjokeen
Nuojua	1030550	308000	52550	250000	100000	100000	220000	leikkaus 300m
Jylhämä	1106600	353000	123600	280000	150000	100000	100000	sovittaminen kyläympäristöön
a) Yksittäiset uomat (Taulukko 4) yhteensä	5548817	1844117	445700	1370000	650000	600000	639000	
b) Montta-Pyhäkoski (Taulukko 5), yhteensä	7272386	2482836	792550	1945000	650000	500000	902000	

kaivusta, habitaattien materiaaleista ja viimeistelystä. Tällä perusteella voi suositella pitkien linjausvaihtoehtojen valitsemista, jolloin ohitusuomille saadaan suurin hyöty habitaattien lisääntymisestä.

Ohitusuomat ja niihin liittyvät erityiset uomapidennykset habitaattien takia voitaisiin toteuttaa pääosin voimayhtiön omistamalla alueella, Montta-Pyhäkoski pitkä ohitusuoma kuitenkin lähinnä yksityismailla. Kustannuksiin ei ole laskettu maan hankintaa, vaan ohitusuomien alueen on ajateltu jäävän alkuperäiseen omistukseen pitkäaikaisella käyttöoikeus- tai vuokrasopimuksella.

5.6

Tarvittavat virtaamat

Ohitusuomiin tarvittavien virtaamien suuruuteen ja jakautumiseen eri vuodenaikoina vaikuttavat eri tekijät, jotka ovat erityyppisiä riippuen ohitusuomien toimimisesta samalla sekä kalatienä että lisääntymishabitaattina. Kalatien toimivuuteen vaikuttaa löydettävyyden eli riittävä houkutusvirtaama. Toimiminen kalojen kulkuväylänä vaatii sopivaa käyttövirtaamaa ja riittävän alhaisia virrannopeuksia jyrkillä osuuksilla. Uomissa tarvitaan riittävää vesisyvyyttä, että suurikokoiset kalat uivat helposti ohitusuoma läpi. Lisääntymishabitaatteja varten tarvitaan kalatien käyttövirtaaman lisäksi talviaikainen minimivirtaama mädin ja uomassa elävien poikasten selviämiseksi talven yli. Mahdollisten ajoittain tarvittavien suurten houkutusvirtaamien ja poikkeuksellisten lisävirtaamien aiheuttamat haitat poikasille ja kutusoran pysyvyydelle on pyrittävä estämään.

Mallinnuksen perusteella habitaattien laadun ja riittävän pinta-alan kannalta $1 \text{ m}^3/\text{s}$ vaikuttaisi olevan sopivin kesäaikainen käyttövirtaama, vaikka uomat saataisiin toimimaan nousureittinä myös $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamalla. Houkuttelevuuden kannalta $1 \text{ m}^3/\text{s}$ olisi todennäköisesti minimi ja suurempikin houkutusvirtaama saattaisi olla tarpeen. Kokeilujuoksutuksilla voitaisiin selvittää $1,5$ ja $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamien vaikutusta suuaukon löytämiseen. Lohen päänousuaikaan, esimerkiksi elo-lokakuussa voitaisiin johtaa lisähoukutusvirtaama suoraan ohitusuomien kautta, koska lisävirtaaman mahdollisuus voidaan ottaa jo alun perin huomioon uomien muotoilussa ja rakenteessa. $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ alkaisi jo jossakin määrin heikentää poikashabitaatteja. Tarkemmassa suunnittelussa, toteutuksessa ja käyttötilanteissa voitaisiin selvittää, siirtyvätkö poikaset loiviksi muotoilluille ranta-alueille, joissa virrannopeus säilyisi pienempänä. $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaama ei todennäköisesti aiheuttaisi vielä haittoja habitaateille.

Habitaattien kannalta $1 \text{ m}^3/\text{s}$ mahdollistaisi riittävän laajan pinta-alan aikaansaamisen ja siten täyden hyödyn ohitusuomista lisääntymisalueina. Myös $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ olisi kesävirtaamana mahdollinen, mutta lisääntymishabitaattien pinta-ala ja poikastuottokyky pienenesi. Talviaikaisena virtaamana $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ olisi suunnitelluilla ja tutkituilla uomaleveyksillä sopivin habitaattien laadun ja pinta-alan kannalta. Tätä pienemmälläkin, kuten tutkitulla $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamalla, suuri osa habitaateista säilyisi hyvälaatuisina, mutta niiden pinta-ala alkaisi pienentyä, jolloin ohitusuomien poikastuotantokapasiteetti lisääntymis- ja talvehtimisalueena voisi heikentyä. Matalassa vedessä mäti saattaisi paikoitellen jäätyä vedenpinnan laskiessa, jos juoksutus pienenee alle $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Riittävä talvivirtaama mahdollistaisi liikkumisen esimerkiksi paikallisille ohitusuomissa ja pääuomassa eläville kaloille läpi vuoden, jolloin joen ekologinen jatkuvuus voisi toteutua monipuolisesti.

Käyttö ja hoito

Useimmat suunnitellut ohitusuomat eivät vaadi aktiivista säätöä ylaveden pinnan korkeuden mukaan. Kalatiehen johdettavan virtaama tulee kuitenkin säätää kausittain, esim. virtaama nousukaudella ja sen ulkopuolella. Koska vedenottorakenteen tulee olla säädettävä ja turvallinen, se vaatii ajoittaisia tarkastuksia ja huoltotoimia. Vedenottorakenteet eivät saa tukkeutua eivätkä jäätyä haitallisesti. Jääkannen muodostuminen sinänsä on toivottavaa, koska jää suojaa vettä alijäähtymiseltä ja estää suppotulvien vaaraa. Loivilla osuuksilla jääkansi muodostuu helposti. Jyrkillä osuuksilla yksittäiskivet edistävät jäätymistä. Pienialaiset, sulana pysyvät alueet kynnysten kohdalla eivät ole haitallisia. Luonnonmukainen nousuosuus sinänsä on varsin huoltovapaa, sillä esimerkiksi roskaantuminen ei helposti haittaa kalan kulkua. Joissakin maissa, kuten Freudenaun ohitusuomassa Itävallassa, majavien tekemien patojen purkaminen on aiheuttanut hoitotarvetta, mutta tällainen ei liene odotettavissa Oulujoella.

Ohitusuomiin rakennettavat habitaatit, kuten kutusoraikot saattavat vaatia ajoittaista puhdistamista, joskin kiintoaineksen kulkeutuminen allasmaisessa Oulujoessa on suhteellisen vähäistä. Suoperäinen humus saattaa aiheuttaa liettymistä. Kutusoraikkojen puhdistukseen voidaan varautua huuhtelujuoksutuksilla. Uoman habitaattirakennetta, kuten mahdollisen puuaineksen sijoittelua voi olla tarpeen monipuolistaa tai korjata seurantojen perusteella. Vesikasvillisuuden kehitystä on seurattava ja esimerkiksi vesisammalta voidaan tarvittaessa lisätä tai poistaa.

Kalateiksi määritellyissä uomissa ja niiden välittömässä läheisyydessä kalastus on kielletty. Ohitusuomat saattaisivat houkuttaa ihmisiä yrittämään helppoa saalista luvattomin keinoin. Poikastuotantoalueille ei saisi aiheuttaa häiriötä. Suurin osa Oulujoen voimalaitoksista on miehittämättömiä ja ohitusuomat kulkisivat varsinaisten voimalaitosalueiden ulkopuolella. Uomien hoito ja valvonta jäisi kalateiden toteutuksesta vastaavalle taholle. Asukkaiden ja ulkopuolisten kalastajien ja matkailijoiden suhtautuminen ohitusuomiin on osa lohen palauttamisen sosiaalisia vaikutuksia. Siihen voidaan vaikuttaa valvonnan lisäksi tiedottamalla ohitusuomien tarkoituksesta pääuomaan palaavien kalojen läpikulku- ja lisääntymisalueina.

Maisema, matkailu ja asuinympäristö

Vaelluskala ja rakennetun jokivarren luonne

Jokivesistöissä, joissa vaelluskalan kulku on ollut estyneenä vuosikymmeniä, kuten Oulujoessa tai vuosisatoja, kuten hankkeessa toisena tutkimuskohteessa olleessa Petroskoin Lososinkajoessa, voidaan lohen palauttaminen nähdä historiallisena tavoitteena. Lohi ja vaeltava meritaimen herättävät asukkaiden ja myös sellaisten ulkopuolisten kiinnostusta, jotka eivät itse välttämättä harrasta kalastusta. Voimakkaalla kalalla, jonka voi joskus nähdä myös hyppäämässä, on suuri symboliarvo. Vaelluskalan esiintyminen vesistöissä vaikuttaa seudun imagoa parantavasti samaan tapaan kuin muut arvostusta herättävä seikat, kuten luonnonnähtävyydet ja kulttuurikohteet. Näillä kaikilla on merkitystä alueen vetovoimaisuuteen asuin- tai matkailuympäristönä. Tapa, jolla vaelluskalan kulku järjestetään, vaikuttaa puolestaan paikallisemmin sen alueen luonteeseen ja kehitysmahdollisuuksiin, jossa nousuete eli voimalaitos tai pato sijaitsee.

Kosket ja vesiputoukset, joissa näkyy ja kuuluu veden liike, ovat aina luonnonnähtävyyksiä ja maiseman vetovoimakohteita. Voimalaitoksissa veden paino ja liikevoima otetaan käyttöön energiatuotannossa ja vesi johdetaan näkymättömästi turbiineihin. Voimalaitosympäristöissä on koettavissa enää vesipintojen tasoero, yläkanavien järvimäinen vesipinta ja alakanavien pyörteinen virtailu. Tulvavirtaamalla, joita tehokkaasti säännöstellyissä vesistöissä tapahtuu harvoin, veden voima on nähtävissä tulvauoman kuohuissa. Oulujoella voimalaitokset ovat muuttaneet ratkaisevasti jokivarren maisemaa. Maisemanhoitoon alettiin varsinaisesti kiinnittää huomiota vasta 1970-luvulla, jolloin viimeisenä kesken olleen Utasen voimalaitoksen loppukatselmuksessa esitettiin toimenpiteitä aiheutuneiden maisemavaurioiden korjaamiseksi. Käytännössä hankkeen loppuvaiheessa voitiin vaikuttaa enää lähinnä läjitysalueiden muotoiluun (Jormola 1976). Vaelluskalan palauttaminen tuo maiseman kehittämiseen uusia mahdollisuuksia.

5.8.2

Ohitusuomat uutena vesimaisemana

Ohitusuomien suunnittelussa voidaan ottaa huomioon liikkuvan veden merkitys uutena maisemallisena vetovoimatekijänä. Luonnonmukaisilla kalatieratkaisuilla voidaan tuoda esiin virtaavaa vettä. Teknisissä kalaportaissa on yleensä tavoitteena lähinnä vain sopivien virtausolosuhteiden järjestäminen kalojen nousua varten. Osittain luonnonmukaisesta ratkaisusta on esimerkkinä Oulun Merikosken kalatien keskiosa, jossa rakokalatien kynnyksrakenteiden välillä on vaihtelevasti muotoiltuja levähdysaltaita (Kuva 56). Kalatiestä onkin tullut tunnettu maisemakohde osana puistoympäristöä. Teknisillä kalateilla voi olla matkailullista arvoa erityisesti silloin, jos niihin on liitetty kalojen tarkkailumahdollisuus katseluikkunan läpi, kuten Merikoskessa ja Isohaaran kalatiessä Kemijoella.



Kuva 56. Merikosken kalatien keskiosasta on tullut maisemakohde Hupisaarten puistoalueella Oulussa. Kuva: Jukka Jormola

Figure 56. The middle part of the Merikoski fish pass in Oulu city has become a landscape attraction in the Hupisaari Park. Photo: Jukka Jormola

Luonnonmukaisissa kalateissa ja ohitusuomissa veden liike on aina näkyvässä. Uomista on mahdollista suunnitella vuolaasti virtaavia pikkujokia, joissa virtapaikat ja suvantoalueet vuorottelevat. Veden liikkumisen havainnointimahdollisuus voidaan ottaa suunnittelussa tietoisesti huomioon. Ohitusuomien näkyminen ja saavutettavuus yleisön kannalta on keskeistä siltaympäristöissä ja voimalaitosten opastuspisteissä. Puistomaisiin voimalaitosympäristöihin Pyhäkoskella ja Jylhämässä tulisi uomista arvokas lisäpiirre. Luonnonmaastoon sijoitetut ohitusuomat voivat toimia retkeilykohteina. Ohitusuoma voi muodostaa mielenkiintoisen vesireitin, joka yhdistää yläaltaan ja alakanavan. Pitkät ohitusuomalinjaukset voivat näkyä tiemaisemassa ja ne voivat kulkea myös yksityismaiden kautta, jolloin ne todennäköisesti voidaan kokea asuinympäristön viihtyisyyttä lisäävinä. Maisemallisen hyödyn voidaan ajatella korvaavan mahdolliset muut ohitusuomien aiheuttamat haitat maanomistajille.

Ohitusuomien virtapaikat ja jyrkät osuudet voivat tarjota saman tapaisi koskimaiseman elämyksiä kuin luonnonkosket. Uomiin voidaan saada aikaan erilaisia virtausilmiöitä ja vaihtelua kivien sijoittelulla ja mutkittelulla. Ohitusuomien maisemakuva voi olla pienessä mittakaavassa korvausta voimalaitosrakentamisesta hävinneelle koskimaisemalle, vastaavasti kuin kalojen lisääntymisalueet toimivat habitaattien korvaajina. Ohitusuomiin johdettavasta virtaamasta on siten kalojen lisäksi hyötyä myös maisemalle. Tieto vaelluskalojen liikkumisesta ja mahdollisesta pysyvämmästä oleskelusta todennäköisesti lisää ohitusuoman arvostusta vesimaisemana. Kalateiden ja ohitusuomien toteutuksella ja syntyvällä uudella maisemakuvalla voidaan odottaa olevan heijastusvaikutuksia myös ympäröivän alueen arvostukseen ja matkailun kehittämismahdollisuuksiin.

5.9

Kokeilutoiminta

Varmimmat kokemukset ohitusuomien toimivuudesta vaellusreitteinä ja lisääntymisalueena saataisiin alimman eli Montan ohitusuoman pikaisesta toteuttamisesta. Koska ohitusuomaan tulisi vettä vieressä olevan Montan kalanviljelylaitoksen yläpuolelta, kalat joutisivat hakeutumaan ohitusuomaan pääuoman hajun perusteella ilman kalanviljelylaitoksen hajun vaikutusta. Ohitusuoma olisi vaellusreitillä ensimmäinen hyvälaatuinen lisääntymisalue, jossa voisi kehittyä uutta vaelluskalojen muodostamaa itse lisääntyvää kantaa. Lisääntymishabitaattien ala kannattaisi toteuttaa mahdollisimman suureksi ja habitaatit monipuolísiksi. Poikasmäärään vaikuttavia eri tekijöitä tulisi seurata toteutuksen jälkeen. Mallinnusta kannattaisi edelleen käyttää suunnittelussa, jolloin voitaisiin vertailla mallinnustuloksia ja toteutetusta uomasta saatavia seurantatuloksia. Tämä tarkentaisi tietoutta mallinnustulosten käyttökelpoisuudesta uusien habitaattien rakentamisessa muihin ohitusuomiin.

Samanaikaisesti Montan ohitusuoman suunnittelun kanssa voitaisiin tehdä kokeilutoimintaa uusista lisääntymisalueista. Syksyllä 2007 todettiin ensimmäistä kertaa Montan kalanviljelylaitoksen purku-uomassa lohen kutemista. Soraikoista löydettiin myös mätimunia. Tämä osoittaa, että lohi voi kutea myös pienemmissä kuin kalateiksi suunnitelluissa ohitusuomissa. Uoma on koko vesistöissä tällä hetkellä ilmeisesti ainoa paikka, johon lohet hakeutuvat aktiivisesti kutemaan leimautuessaan laitoksesta tulevaan veteen alkuperäisenä syntymäpaikkanaan. Uomaa kunnostamalla voitaisiin kokeilla ohitusuomiin suunniteltuja ratkaisuja kutu- ja poikashabitaattien lisäämiseksi. Uomaa voitaisiin kynnystää ja mahdollisesti leventää kutu- ja poikasalueiden laajentamiseksi.

Toinen kokeilukohde voisi olla Utasen voimalaitoksen eteläpuolinen kauneusallas, johon johdetaan vettä putkella voimalaitoksen ohi. Putkesta alkavaa uomaa voitaisiin monimuotoistaa ja leventää samaan tapaan kuin Montan purku-uomaa. Poikasten

menestymistä smolttiutumiseen asti voitaisiin seurata. Uoman alapää on vaikeasti lohien löydettävissä Utasen alakanavasta tulevan päävirtauksen takia, joten uomassa syntyneiden lohien hakeutuminen takaisin uomaan jäisi nähtäväksi. Samasta syystä uomalle voisi olla vaikea saada merkitystä kalatienä, vaikka yhteys Utasen yläaltaaseen avouomana olisi periaatteessa mahdollinen. Uomaa voisi kehittää jatkossa ainakin paikallisen taimenen elinalueena.

Kolmantena lohien lisääntymisalueena kannattaisi kehittää Hupisaarten uomia Oulun kaupungin alueella. Oulujoen alimmasta Merikosken alueesta voisi muodostua lohien kutualue. Lohen kutemista on todettu alimmassa rakenteellisessa kalatieosuudessa. Hupisaarten uomat voisivat rakenteensa perusteella soveltua lohien lisääntymisalueiksi lähes sellaisenaan, jos lohien hakeutuminen niille mahdollistettaisiin ja poikasten tarvitsema virtaama turvattaisiin. Uomiin voitaisiin pyrkiä leimauttamaan kanta mäti- ja poikasistutuksin. Merikosken kalatien keskiosaan voitaisiin johtaa helposti yhteys lähimmästä purouomasta, jolloin kutemaan nousevat kalat voisivat päästä uomastoon. Jos leimautunut ja nousuhalukas kanta syntyisi, saataisiin uomastoon myös suora nousureitti alapuolisia patoja muuttamalla. Harkittavaksi voitaisiin ottaa uomaston yläpäässä myös uusi luonnonmukaisen kalatien linjaus padon ohi Merikosken yläaltaaseen puistoalueen kautta. Hupisaarten uomien monipuolistamisessa voitaisiin soveltaa kanadalaista puistoon tehdyn ohitusuoman esimerkkiä (Kuva 9), kuitenkin suomalaisiin maisemaihanteisiin sopeutettuna.

6 Johtopäätökset ja elinympäristöjen korvaaminen

Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelussa voidaan yhdistää kaksi erilaista suunnitteluperiaatetta, kalojen ja muiden eliöiden vaellusreittien ja toisaalta uusien lisääntymisalueiden aikaansaaminen. Luonnonmukaisista kalateistä ja rakennetuista lisääntymisalueista on kansainvälisesti hyviä kokemuksia, joita on mahdollista soveltaa sekä jo rakennetuissa vesistöissä että uusissa toteutuskohteissa.

Ohitusuomien suunnittelussa virtaus- ja habitaattimallinnus osoittautui hyödylliseksi arvioitaessa ohitusuomien uomaleveyksiä, muodostuvia virrannopeuksia ja syntyvien virtavesihabitaattien laatua. Suurimalle osalle ohitusuomien pinta-alaa voidaan saada aikaan laadultaan erittäin hyviä lisääntymisalueita. Mallinnus osoitti, että tutkitut virtaamat, kuten kesävirtaama $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ja $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, antavat mahdollisuuden leveydeltään melko suurten, loivilla osuuksilla 10 metrin levyisten uomien aikaansaamiseen. Tämän kokosiin uomiin muodostuu uoman pituuteen nähden runsaasti habitaattipinta-alaa mutta uomat ovat kokonsa puolesta vielä helposti kaivettavissa ja sovitettavissa maastoon.

Luonnonmukaiset ohitusuomat toimivat periaatteessa samansuuruisilla virtaamilla kuin tekniset kalatiet. Kalan nousun kannalta tarvittava houkutusvirtaama voidaan johtaa tarvittaessa ohitusuoman kautta, mikä voidaan ottaa huomioon muotoilussa. Ohitusuomiin tarvitaan virtaamaa myös talvella, mikä lisää kustannuksia verrattuna talveksi suljettaviin kalateihin. Mallinnuksen perusteella virtaamat voivat talvella olla kuitenkin varsin pieniä eli jo $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamalla saataisiin aikaan hyviä habitaatteja. Habitaattien pinta-alan säilyttämiseksi ja talviajan toimivuuden varmistamiseksi talvivirtaama $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ on kuitenkin parempi. Luonnonmukaiset ohitusuomat ovat rakennuskustannuksiltaan edullisia. Talvijuoksutuksen aiheuttamalla kustannuksella voidaan saada aikaan lisääntymishabitaatteja, mikä on keskeinen lisäarvo pelkkään kalan nousuun verrattuna.

Oulujoella ohitusuomilla saavutettava lisääntymisalueiden kokonaispinta-ala 11 hehtaaria on pieni alkuperäisiin, hävinneisiin lisääntymisalueisiin nähden voimakkaasti rakennetussa vesistössä, mutta niiden ala olisi merkittävä verrattuna vesistössä jäljellä oleviin tai kunnostettavissa oleviin lisääntymisalueisiin. Kutu- ja poikastuotantoalueiden laatu voidaan tutkimustietoa soveltamalla saada luokitukseltaan erinomaiseksi, mikä antaa perusteet odottaa suurta poikastuotantoa pinta-alaa kohti. Esimerkkikohteiden perusteella laskettu ohitusuomien arvioitu poikastuotantomäärä 22 000 smoltia vuodessa muodostaisi merkittävän osan koko rakennetun jokiosuudella mahdollisesta poikastuotannosta. Vaikka tuotanto olisi vain pieni osa joen alkuperäisestä luonnontuotannosta, se voisi olla silti merkittävä pyrittäessä lisääntyvän lohikannan muodostamiseen jokeen. Ohitusuomien poikastuotanto todennäköisesti tukisi myös pääuomassa jäljellä olevien heikompilaatuisten habitaattien poikastuotantoa.

Kansainvälisesti hyväksyttynä, monien maiden lainsäädäntöön sisällytettyinä periaatteena nähdään nykyisin, että rakentamishankkeiden yhteydessä tulee korvata

elinympäristöjen muutokset ja heikennykset rakentamalla vastaavia tai korvaavia uusia elinympäristöjä. Näin voidaan tukea ekosysteemien omaa toimintaa hankkeiden toteutuksesta huolimatta. Elinympäristöjen korvaamista rakentamalla on esitetty myös Suomen ympäristölainsäädäntöön (Suvantola 2006). Korvausperiaate on muissa maissa liitetty yleensä vaatimuksena uusien hankkeiden toteutukseen. Rakennetuissa vesistöissä korvattaisiin jo hävinneitä poikastuotantoalueita (Jormola 2007). Korvausbiotoopit olisi otettava tarkasteluun aina kun harkitaan voimakkaasti muutettujen tai mahdollisesti rakennettaviksi tulevien vesistöjen toimenpiteitä.

Rakennetussa vesistössä vaelluskalakantojen palautus on vaativaa, mutta ei välttämättä kustannuksiltaan kohtuutonta. Lohen palauttaminen voidaan nähdä pyrkimyksenä sovittaa yhteen sodan jälkeisenä aikakautena ja nykyisinkin tärkeänä pidetty uusituvan energian tuotanto vesivoimalla ja toisaalta vaelluskalojen saaminen osaksi jokivarren elämää. Uusiutuvan energian käytössä ja vesistöjen ekologisen tilan parantamisessa tulisi pyrkiä hyväksyttävään rinnakkaineloon. Se, missä tapauksessa ohitusuomia ja luonnontuotantoa mahdollistavia lisääntymisalueita toteutettaisiin lupaehtojen muutoksina ja missä määrin vapaaehtoisuuteen perustuvana toimintana, jää nähtäväksi. Kokeilukohteiden perusteella saadaan tarkempaa tietoa, paljonko lohen luontaista poikastuotantoa voitaisiin palauttaa alkuperäiseen verrattuna. Lähtökohtana on nykyisten voimalaitosten lupaehtoihin sisältyvän kalojen istutusveloitteen säilyttäminen, mutta elinvoimaisten smolttien luonnontuotanto saattaisi jossakin vaiheessa vaikuttaa myös istutustarvetta ja -kustannuksia vähentävästi.

KIRJALLISUUS

- Adolph, B. 2003. Lower Seton spawning channel complexing project 2003. Cayoose Creek Fisheries.
- Aulaskari H, Lempinen, P. & Yrjänä, T. 2003. Kalataloudelliset kunnostukset.. Teoksessa: Jormola, J, Harjula, H. & Sarvilinna, A. (toim.) 2003. Luonnonmukainen vesirakentaminen – Uusia näkökulmia vesistösuunnitteluun. Suomen ympäristö 631. 168 s. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>
- Calles, O. 2005. Re-establishment of connectivity for fish populations in regulated rivers. *Karlstad university studies* 2005:56. Karlstad.
- Cowx, I.G. & Welcomme, R.L. (eds.) 1998. Rehabilitation of rivers for fish. Food and agriculture organization of the United Nations (FAO). Fishing News Books. Alden Press, Oxford and Northampton. 259 s.
- DVWK 1999. Kalateiden suunnittelu- ja mitoitusohjeet. Ympäristöopas 62. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Eisenhauer, N.O. & Gebler, R.J. 2004. Revitalization of spawning grounds in nature like fish ways. Fifth international symposium on ecohydraulics. Aquatic habitats: Analysis & restoration. Madrid. 889-893.
- Eloranta, A., Harjula, H., Jormola, J., Meisalmi, T., Nissinen, R. Eliöstön kulkumahdollisuuksien parantaminen. Teoksessa: Jormola, J., Harjula, H. & Sarvilinna, A. (toim.) 2003. Luonnonmukainen vesirakentaminen – Uusia näkökulmia vesistösuunnitteluun. Suomen ympäristö 631. 168 s. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>
- Eloranta, A. 2007. Hyvä lisääntymisalue vaatii muutakin kuin soraa. Kivet ja lohkareet ovat virtavesikunnostuksen peruspilareita. Vesieläimet tarvitsevat monenlaista suojaa. *Virtavesikunnostus* 14-16. Suomen kalastuslehti 5, 6 ja 7/2007.
- EnviroCentre 2007. General feasibility options for fishways to the hydropower dams of Montta, Pyhäkoski, Pälli, Utanen, Ala-Utos, Nuojua and Jylhämä in the River Oulujoko, Finland. 76 s.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY, annettu 23 lokakuuta 2000, yhteisön vesipolitiikan puitteista. Virallinen lehti nro L 327 , 22/12/2000 ss.1 – 73. <http://europa.eu/scadplus/leg/fi/lvb/l28002b.htm>
- Forestry and British Timber 2005. Floodplain woodland – Branches out. October 2005, 6.
- Gebler, R.-J. 2008. Wasser und Umwelt. Insinööritoimiston esittely. Päivitys 1.4.2008. <http://www.ib-gebler.de/index.htm>
- Hanski & Jormola 1999. Luonnonmukainen vesirakentaminen Sveitsissä ja Itävallassa. Suomen ympäristökeskuksen moniste.
- Honsowitz, H. 2006. Umgehungsgerinne KW Freudenaus. Exkursionsunterlagen in Stichworten 7.6.2006. Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie.
- Huovinen, Teemu 2008. Hauen, kuhan, kirjolohen, meritaimenen ja vaellussiian telemetriaseuranta Kyrönjoen Malkakosken kalatiessä vusoina 2004-2006. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Luonnon 16.4.2008. 26 s.
- Janes, M. 2005. A new spawning channel for river Conon, Scotland. *River restoration news* 21, July 2005. <http://therrc.co.uk/newsletters/rrn21.pdf>
- Jokikokko, Erkki 2006. Atlantic salmon (*Salmo Salar* L.) stocking in the Simojoki river as a management practice. *Acta Universitatis Ouluensis. A Scientiae Rerum Naturalium* 472. Oulu.
- Jokikokko, E. 2008. *Simojoen lohien poikastuotanto. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen seuranta-tietoja vuodelta 2006.* Puhelinkeskustelu 14.4.2008.
- Jormola, J. 1976. Avustavan virkamiehen J. Jormolan lausunto maisemanhoidosta. Utanen ja Ala-Utos. Katselmus. Kansio 2, liite 14.
- Jormola, J. 2007. Luonnonmukainen vesirakentaminen EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin toimeenpanossa Suomessa. *Terra* 119; 3-4. 255-261.
- Jormola, J. & Pajula, H. 1999. Luonnonmukainen vesirakentaminen Saksassa ja Tanskassa. Suomen ympäristökeskuksen moniste 137. <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>
- Jormola, J., Harjula, H. & Sarvilinna, A. (toim.) 2003. Luonnonmukainen vesirakentaminen – Uusia näkökulmia vesistösuunnitteluun. Suomen ympäristö 631. 168 s. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>
- Järvenpää, L. 2003. Virtavesien kunnostusta ja voimalaitosten ohitusuomia Tanskassa 2003. Ekskursioraportti. Suomen ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=4241&lan=fi>
- Järvenpää, L. 2004. Tavoitetilan määrittäminen virtavesikunnostuksissa – Esimerkinä Nuuksion Myllypuro. Suomen ympäristö 737. 123 s. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>
- Järvenpää, L., Jormola, L. & Laajala, E. 2010. Kutu- ja poikastuotantouomia Kanadassa. Ekskursioraportti. <http://www.ymparisto.fi>
- Jørgesen 1992. Fiskepassage ved Holstebro Vandkraftvaerk. Rinkjøbing amtskommune.
- Koivunen, M., J. Rouvinen; J. Rytönen, J. Laasonen 2004. Study of feasible location for the fish passage entrance. *Proceedings of the Fifth International symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis & Restoration. IAHR. Madrid. Vol 2. pp. 953-957.*
- Kroes, M. J., P. Gough, P. P. Schollema & H. Wanningen 2006. From sea to source; Practical guidance for restoration of fish migration in European rivers. Interreg III C, Community Rivers.
- Kuvaja, J. 2007. Suullinen tieto Uudenmaan ympäristökeskuksesta

- Lahti, M. 2009. Two-dimensional aquatic habitat modelling. Doctoral Dissertation. TKK Dissertations 177. URL: <http://lib.tkk.fi/Diss/2009/isbn9789522480279/>
- Laine, A. (toim.) 2008. Palaako lohi Oulujokeen? Loppuraportti Oulu- ja Lososinkajoella tehdyistä selvityksistä 2006-2007. Suomen ympäristö 5/2008. 167 s. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus.
- Laki vesienhoidon järjestämisestä 30.12.2004/1299 <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041299>
- Larinier, M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. In: Marmulla, G. Dams, fish and fisheries – Opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fisheries technical paper 419. Rome. pp. 45-90.
- Larinier, M. 2009. Suullinen tieto.
- Lempinen, P. 1999. Sipoonjoen ja Mustijoen kalatietutkimus 1998. Uudenmaan ympäristökeskuksen moniste 54
- Lempinen, P. 2003. Kokemuksia luonnonmukaisista kalateistä Uudellamaalla. Vesitalous 5/2003
- Leung, Y.-W. 1994. Spawning channels in Pacific Canada. 1994 River Front – Fish habitat and stream improvement forum. Tokyo, Niigata, Japan.
- Louhi & Mäki-Petäys 2003. Elämää sorakon ulkopuolella ja sisällä – lohen ja taimenen kutupaikan valinta sekä mädin elinympäristövaatimukset. Kalatutkimuksia 191. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
- Louhi, P., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2007. Spawning habitat of Atlantic salmon and brown trout: General criteria and intragravel factors. River Research and Applications. Wiley, painossa.
- McKelvey, S. 2008. Dunglass electro-fishing summaries 2004-2006. Sähköpostiviesti 6.2.2008.
- Montgomery, D.R. & Buffington, J.M. 1997. Channel reach morphology in mountain drainage basins. Geological society of America bulletin 109, 296-511
- Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J., Niemelä, E., Huusko, A., Muotka, T. 2004. Spatial distribution of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in subarctic river, size-specific changes in a strongly seasonal environment. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences 61:2329-2338.
- Nyroos, H., Partanen-Hertell, M., Silvo, K., Kleemola, P. (toim.) 2006. **Vesienhuollon suuntaviivat vuoteen 2015.** Taustaselvityksen lähtökohdat ja yhteenveto tuloksista. Suomen ympäristö 55/2006. 68 s. Ympäristöministeriö, Suomen ympäristökeskus. Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>
- Parasiewicz, P., Eberstaller, J., Weiss, S. and Smutz, S. 1998. Conceptual guidelines for natural-like bypass channels. In: Jungwirth, M., Smutsch, S and Weiss, S. 1998. Fish migration and fish bypasses. Fishing News books, Oxford, UK. Blackwell Science
- Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 2007a. Itämeren lohi ja taimen. Viitattu 30.3.2007. http://www.rktl.fi/kala/kalavarat/itameren_lohi_taimen/meritaimen_meri.html
- Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 2007b. Lohikannan tila Tornionjoessa. Viitattu 30.3.2007. http://www.rktl.fi/kala/kalavarat/tornionjoen_lohi_meritaimen/lohikannan_tila_tornionjoessa.html
- Roos, J.F. 1991. Restoring Fraser river salmon. The Pacific Salmon Commission Vancouver, Canada.
- Sarell, J. 2008. Perhonjoen vanhan uoman kunnostamisen ja Sääkskosken säännöstelypadon ohittavan kalatien velvoitetarkkailu. Moniste, Länsi-Suomen ympäristökeskus (valmisteilla).
- Saura, A. 2008. Kymijoen lohen poikastuotanto. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen seurantatietoja. Sähköpostiviesti 11.4.2008
- Suvantola, L. 2006. Huominen ei koskaan kuole - Luonnonsuojelun ja ympäristönkäytön kilpailutilanteen voittamisesta. Edita. Helsinki.
- Tammela, S. 2007. Montan luonnonmukaisen ohitusuoman mallinnus. Oulun yliopisto, vesi- ja ympäristötieteiden laboratorio.
- Uudenmaan ympäristökeskus 2009. Mustijoen Brasaksen kalatien tutkimus. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=3337&lan=fi>
- Wheaton, J. M. 2008. Research linking fluvial geomorphology & ecohydraulics. Päivitys 27.2.2008. <http://joewheaton.org.uk/Research/projects.asp>
- Yrjänä, T. 2003. Restoration of riverine habitat for fisheries- analyses of changes in physical habitat conditions. Acta universitatis ouluensis, Technica C188. 125 s. Oulu

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus			Julkaisu-aika Kesäkuu 2010
Tekijä(t)	Lasse Järvenpää, Jukka Jormola ja Simo Tammela			
Julkaisun nimi	Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistössä – Lohen palauttaminen Oulujokeen			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 5/2010			
Julkaisun teema	Luonnonvarat			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana internetissä: www.ymparisto.fi/julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Luonnonmukaisilla ohitusuomilla voidaan mahdollistaa kalojen ja muiden eliöiden vaellus vesistöissä, joissa läpikulku on estynyt voimalaitoksia ja patoja rakennettaessa. Ohitusuomiin voidaan toteuttaa uusia lisääntymisalueita, joita tarvitaan alkuperäisten virtavesihabitaattien vähennyttyä. Loiviin uomiin voidaan tehdä kutusoraikkoja ja poikasalueita. Suunnittelussa voidaan soveltaa esimerkkejä rakennetuista kutu- ja poikastuotantouomista sekä luonnonvesistä saatua tietoutta lohien ja taimenten lisääntymisololoista.</p> <p>Selvityksessä esitetään alustavat ohitusuomien suunnitelmat Oulujoen pääuoman kuudelle ylimmälle voimalaitokselle. Linjausten pituudet ovat 650 metristä ja 10 kilometriin. Kaltevuuksien, mittasuhteiden ja virtaamien vaikutuksia syntyviin virrannopeuksiin, vesisyvyyyksiin ja lisääntymisalueiden laatuun tutkittiin virtaus- ja habitaattimallilla. Mallinnuksen perusteella myös pienillä talvivirtaamilla habitaattien laatu voi säilyä hyvänä.</p> <p>Ohitusuomiin saadaan yhteensä 11 hehtaaria hyvälaatuisia lisääntymishabitaatteja, joiden poikastuotanto voisi olla 22 000 lohen smolttia vuodessa. Oulujoessa ja sivuvesistöissä jäljellä olevien lisääntymisalueiden poikastuotannoksi on arvioitu yhteensä 30 000 smolttia vuodessa. Ohitusuomien rakennuskustannuksiksi laskettiin 0,5 -2,9 miljoonaa euroa, yhtensä 7,3 miljoonaa euroa. Teknisten kalateiden toteutuskustannus olisi yhteensä 9,7 miljoonaa euroa.</p> <p>Ohitusuomilla voisi olla suuri merkitys vaellusreitteinä ja uusina lisääntymisalueina pyrittäessä alkuperäisten lisääntymisalueiden kompensoimiseen ja luontaisesti lisääntyvien kalakantojen aikaansaamiseen. Ohitusuomat ovat kiinnostavia myös maiseman, asuin ympäristön ja matkailun kannalta.</p>			
Asiasanat	luonnonmukaisuus, kalatiet, ohitusuomat, läpikulku, vaellus, lisääntyminen, poikastuotanto, virtaus, habitaatit, mallit			
Rahoittaja/ toimeksiantaja				
	ISBN (nid.)	ISBN 978-952-11-3694-8 (PDF)	ISSN (pain.)	ISSN 1796-1726 (verkkoj.)
	Sivuja 78	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis. alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja				
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 Helsinki puh. 020 610 123 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.ymparisto.fi/syke			
Painopaikka ja -aika				

PRESENTATIONSBLAD

<i>Utgivare</i>	Finlands miljöcentral			<i>Datum</i> Juni 2010
<i>Författare</i>	Lasse Järvenpää, Jukka Jormola och Simo Tammela			
<i>Publikationens titel</i>	Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistöissä – Lohen palauttaminen Oulujokeen (Planering av naturenliga omloppskanaler i ett byggt vattendrag – återinföring av laxen till Ule älv)			
<i>Publikationsserie och nummer</i>	Miljön i Finland 5/2010			
<i>Publikationens tema</i>	Naturtillgångar			
<i>Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt</i>	Publikationen finns tillgänglig på internet: www.ymparisto.fi/syke/publikationer			
<i>Sammandrag</i>	<p>Med naturenliga omloppskanaler kan man möjliggöra fiskars och andra organismers vandring i vattendrag där genomgången är förhindrad av kraftverks- och dambyggen. I omlöpen kan man bygga nya områden för yngelproduktion. Det är nödvändigt när ursprungliga strömvattenshabitat har minskat. I flacka omlöp kan man lägga lekgrus och skapa uppväxtområden. I planeringen kan man tillämpa tidigare exempel på byggda lek- och yngelproduktionskanaler samt kannedomen om förökningsförhållandena hos lax och öring i naturliga vattendrag.</p> <p>I rapporten presenteras preliminära planer över omlöp till de sex översta kraftverken i Ule älv. Omloppskanalernas längd är mellan 650 meter och 10 kilometer. Påverkan av gradienter, proportioner och vattenflöde på uppkommande strömhastighet, vattendjup och förökningsområdenas kvalitet undersöktes med en strömnings- och habitatmodell. Enligt modelleringen kan kvaliteten på habitatet förbli god även med litet vinterflöde.</p> <p>I omlöpen kan man skapa 11 hektar förökningshabitat av god kvalitet vilkas yngelproduktion kunde gå upp till 22 000 smolt per år. Man har uppskattat, att yngelproduktionen i de förökningsområden som finns kvar i Ule älv och dess biflöden skulle vara 30 000 smolt om året. Byggnadskostnaderna för omlöpen beräknades att vara 0,5 - 2,9 miljoner euro, totalt 7,3 miljoner euro. De tekniska fiskvägarna skulle kosta totalt 9,7 miljoner euro.</p> <p>Omlöp kunde ha en stor betydelse när man strävar till att kompensera ursprungliga yngelproduktionsområden och främja en naturligt förökande fiskstam. Omlöp är också intressanta med tanke på landskapet, boendemiljön och turismen.</p>			
<i>Nyckelord</i>	naturenlighet, fiskvägar, omloppskanaler, omlöp, genomlopp, vandring, förökning, yngelproduktion, habitat, strömmande, modeller			
<i>Finansiär/ uppdragsgivare</i>				
	ISBN (hft.)	ISBN 978-952-11-3694-8 (PDF)	ISSN (print)	ISSN 1796-1726 (online)
	<i>Sidantal</i> 78	<i>Språk</i> finska	<i>Offentlighet</i> Offentlig	<i>Pris (inneh. moms 8 %)</i>
<i>Beställningar/ distribution</i>				
<i>Förläggare</i>	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.miljo.fi/syke			
<i>Tryckeri/tryckningsort -år</i>				

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute			<i>Date</i> June 2010
<i>Author(s)</i>	Lasse Järvenpää, Jukka Jormola and Simo Tammela			
<i>Title of publication</i>	Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistöissä – Lohen palauttaminen Oulujokeen (Planning of nature-like bypass channels in a constructed river – Bringing salmon back to River Oulujoki)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 5/2010			
<i>Theme of publication</i>	Natural resources			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available on the internet: www.ymparisto.fi/syke/publications			
<i>Abstract</i>	<p>With nature-like bypass channels migration of valuable fish stocks and other organisms can be made possible in watercourses where passage is prohibited by construction of power plants and dams. New reproduction areas can be constructed in bypasses. They are needed when original reproduction areas have decreased. Spawning gravel areas and rearing habitats can be created in gentle-sloped bypasses. Examples of constructed spawning, rearing and side channels and knowledge of reproduction circumstances of fish in natural watercourses can be applied in planning.</p> <p>In the report bypass plans for the six uppermost power plants of Oulujoki River are presented. The length of the bypasses vary from 650 metres to 10 kilometres. The effect of gradient, proportions, and discharges on velocity, water depth, and quality of habitats was investigated by flow and habitat modeling. According to the modeling, even by small winter discharges, the quality of habitats can remain good.</p> <p>It is possible to create 11 hectares of reproduction areas of good quality in bypasses, which can produce 22 000 smolts a year. The production of smolts in the reproduction areas which are left in Oulujoki River and its tributaries, is estimated to be 30 000 a year. Construction costs of bypasses was calculated to be from 0.5 to 2.9 million euros, altogether 7.3 million euros. The cost of the technical fishways would be 9.7 million euros.</p> <p>The bypasses could have great value as migration routes and new reproduction sites, when the goal is to replace original reproduction habitats and re-create self reproducing fish stocks. Bypass channels are interesting relative to landscape, residential environment and tourism.</p>			
<i>Keywords</i>	nature-like, fishways, bypasses, passage, migration, reproduction, spawning, rearing, channels, flow, habitats, models			
<i>Financier/ commissioner</i>				
	ISBN (pbk.)	ISBN 978-952-11-3694-8 (PDF)	ISSN (print)	ISSN 1796-1726 (online)
	No. of pages 78	Language Finnish	Restrictions Public	Price (incl. tax 8 %)
<i>For sale at/ distributor</i>				
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE), P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.environment.fi/syke			
<i>Printing place and year</i>				

Vaelluskalojen palauttaminen rakennettuihin jokiin on noussut uudeksi tavoitteeksi vesien hoidossa. Luonnonmukaisia ohitusuomia rakentamalla voidaan mahdollistaa paitsi lohen ja taimenen, myös muiden kalojen ja pohjaeläinten vapaa liikkuminen. Lisäksi ohitusuomien yhteyteen voidaan tehdä uusia kutu- ja poikasalueita, jotka parantavat heikentyntä luontaista lisääntymistä.

Tässä selvityksessä esitetään ohitusuomien toteutusmahdollisuuksia Oulujoen voimalaitoksille. Selvityksessä kuvataan koti- ja ulkomaisia esimerkkejä ohitusuomista ja rakennetuista lisääntymisalueita ja mallinnuksen käyttöä suunnittelun apuvälineenä. Periaatteita voidaan soveltaa ohitusuomien suunnitteluun myös muissa vesistöissä.

