

Elias Kyösti

TEKNISEN JA LUONNONMUKAISEN KALATIEN TEKNISTALOUEDELLINEN VERTAILU

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Annina Takala
Joulukuu 2022

TIIVISTELMÄ

Elias Kyösti: Teknisen ja luonnonmukaisen kalatien teknistaloudellinen vertailu
Techno-economic comparison of technical and nature-like fishways
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka
Joulukuu 2022

Jokiin tehdyt padot ja rakenteet aiheuttavat virtavesissä elävien eliöiden elinympäristöjen pirstoutumista, mikä on merkittävä uhka ekosysteemien toiminnalle. Erityisesti vesirakentaminen vaikuttaa vaelluskaloihin, joiden pääsy lisääntymisalueilleen estyy. Osaratkaisuksi ongelmaan on kehitetty erilaisia kalateitä. Kalateiden tarkoituksena on mahdollistaa virtavesissä olevien vaellusesteiden ohittaminen kaloille ja muille virtavesissä liikkuville eliöille. Erilaiset kalatietyypit voidaan jakaa luonnonmukaisiin ja teknisiin kalateihin. Tässä työssä vertaillaan näitä kahta päätyyppiä sekä toimivuuden että kustannusten osalta kirjallisuuskatsauksen keinoin.

Työn alussa tarkastellaan yleisimpiä kalateiden rakenteita. Tämän jälkeen käsitellään kalateiden toimivuutta globaalisti tehtyjen tutkimusten perusteella. Toimivuuden vertailu tehdään kalateiden houkuttavuuksia ja läpäisytehokkuuksia tarkastellen. Houkuttavuus kuvaa sitä osuutta vaellusesteen ohi pyrkivistä kaloista, jotka löytävät kalatien. Läpäisytehokkuus taas kertoo, kuinka suuri osa kalatien löytävistä kaloista onnistuu nousemaan kalatien läpi. Tutkimusten perusteella ei pystytä ehdottomasti toteamaan minkään kalatietyypin toimivuuden paremmuutta, mutta muun muassa pystyrako- ja luonnonmukaisen kalateiden läpäisytehokkuudet todetaan hyväksi. Myös kalateiden joidenkin ominaisuuksien, kuten pituuden ja jyrkkyyden, todetaan vaikuttavan niiden läpäisytehokkuuksiin.

Myös kalateiden rakennuskustannuksia tarkastellaan, jotta kalateitä voidaan vertailla taloudellisesta näkökulmasta. Kustannusten tarkastelu tehdään pääasiassa Pohjois- ja Keski-Euroopassa rakennetuista kalateistä tehtyjen tutkimusten perusteella. Kalateiden kustannukset vaihtelevat suuresti esimerkiksi maaston, kalatien pituuden ja jyrkkyyden mukaan. Tutkitun aineiston perusteella luonnonmukainen kalatie on edullisin vaihtoehto, mikäli se pystytään toteuttamaan loivana, melko lyhyenä ja ilman kalliita erikoisrakenteita. Mikäli kohde vaatii hyvin pitkän tai jyrkän kalatien, saattaa tekninen kalatie tulla halvemmaksi. Luonnonmukaisen kalatien kustannuksia laskee erityisesti maastosta löytyvän maa- ja kiviaineksen hyödyntämisen mahdollisuus. Kuitenkin luonnonmukaisen kalatien pituuden tai jyrkkyyden lisääminen kasvattaa sen työkustannuksia, milloin siitä voi tulla epätaloudellinen vaihtoehto.

Lopulta työssä tehdään teknistaloudellinen vertailu hyödyntäen toimivuudesta ja kustannuksista kerättyjä tietoja. Tavoitteena on löytää ratkaisuja, joiden toimivuus on mahdollisimman hyvä, mutta toisaalta rakennuskustannukset ovat mahdollisimman pienet. Vertailun perusteella kohteen ympäristötekijät, kuten padon korkeus ja vesistön vedenkorkeuden vaihtelut, vaikuttavat merkittävästi kalatietyypin valintaan. Pienten patojen ohittamiseen luonnonmukainen kalatie vaikuttaa teknistaloudellisesti järkevältä ratkaisulta, koska tällöin loivastakaan kalatiestä ei tule kovin pitkä, eivätkä rakennuskustannukset kasva erityisen suuriksi. Luonnonmukaisen kalateiden toimivuus todettiin keskimäärin vahvaksi. Suurempien patojen kohdalla tekniset ratkaisut ovat ensisijainen vaihtoehto. Niiden etuna on jyrkkyys, mikä tekee niistä kustannustehokkaamman ratkaisun korkeiden patojen ohittamisessa. Teknisistä kalateistä pystyrakokalatie on usein hyvä ratkaisu hyvän toimivuutensa ansiosta. Kohdekohtaisen tarkastelun merkitys korostuu erityisesti keskisuurten patojen kohdalla.

Avainsanat: kalatie, luonnonmukainen kalatie, tekninen kalatie, vaelluskalat, vesivoima

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. KALATEIDEN RAKENTEET	3
2.1 Teknisten kalateiden rakenne	3
2.1.1 Pystyrakokalatien rakenne	3
2.1.2 Denil-kalatien rakenne	5
2.2 Luonnonmukaisen kalatien rakenne	6
3. KALATEIDEN TOIMIVUUS	8
4. KALATEIDEN RAKENNUSKUSTANNUKSET	12
4.1 Luonnonmukaisten kalateiden rakennuskustannukset	12
4.2 Teknisten kalateiden kustannukset	14
4.3 Yhteenveto rakennuskustannuksista	15
5. TEKNISTALOUEDELLINEN VERTAILU	17
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	19
LÄHTEET	21

1. JOHDANTO

Virtavesiin tehdyt rakenteet aiheuttavat jokien ekosysteemien pirstaloitumista ja estävät vaelluskalojen pääsyn lisääntymisalueilleen. Tällaiset vaellusesteet ovatkin merkittävin yksittäinen syy monen vaelluskalan, kuten lohen, taimenen ja siian uhanalaisuuteen Suomessa. [1] Useimmiten vaellusyhteyden katkaiseva este on ihmisen jokeen energiantuotantoa tai vedensäännöstelyä varten rakentama pato [2]. Vesistöjen ekologian palautumisen kannalta paras ratkaisu on vaellusesteiden poistaminen, mutta usein tämä ei ole mahdollista, esimerkiksi patoihin liittyvän tulvasuojelun tai energiantuotannon vuoksi [3].

Vaellusesteen purkamiselle vaihtoehtoiseksi osaratkaisuksi ongelmaan on kehitetty erilaisia vaellusesteiden ohittamisen mahdollistavia kalateitä. Kalatien tarkoituksena on toimia väylänä, jota pitkin kalat ja usein myös muut vesieliöt pystyvät ohittamaan vaellusesteen [2]. Suomessa oli vuonna 2020 käytössä 215 kalatietä, mutta vaellusesteitä arvioidaan olevan tuhansia [3]. Suomen kalakantoja on hoidettu pitkään kalaistutuksin. Aiheesta tehtyjen tutkimusten perusteella tämä ei kuitenkaan ole pitkällä aikavälillä kestävä ratkaisu, sillä laitoksissa kasvatettujen kalojen on todettu selviävän huonosti luonnossa ja vaikuttavan haitallisesti luonnonkantojen perimään. Istutuksista ollaankin siirtymässä koko ajan enemmän kalojen luonnollisten lisääntymisolojen parantamiseen, missä kalateillä on suuri rooli. [3]

Kalatiet koostuvat yleensä vaellusesteen ohittavasta kanavasta, jossa on erilaisia virtausta hillitseviä rakenteita. Rakenteet on suunniteltu niin, että virtaus kanavassa ei kiihdy liian nopeaksi, jotta kalat kykenevät uimaan vastavirtaan kalatien läpi. [4] Erilaisia kalateitä on kehitetty hyvin monenlaisia. Niiden rakennusmateriaalit ja rakenteet vaihtelevat huomattavasti. Tässä kandidaatintyössä kalatiet jaetaan luonnonmukaisiin ja teknisiin kalateihin. Näiden kahden päätyypin välillä tehdään vertailua teknistaloudellisesta näkökulmasta. Tarkoituksena on selvittää eri ympäristökijöiden vaikutusta siihen, milloin kalateitä suunniteltaessa kannattaa valita tekninen ja milloin luonnonmukainen kalatie, ottaen huomioon sekä kalatien toimivuus että sen vaatimat investoinnit.

Teknistaloudellinen vertailu suoritetaan kirjallisuuskatsauksena kalateiden toimivuutta käsittelevien metatutkimusten ja kalateiden rakennuskustannuksista löytyvän aineiston

perusteella. Kalateiden toimivuus on rajattu tarkoittamaan niiden tehokkuutta kalojen ylöspäin vaelluksessa, koska aineistoa tehokkuudesta alaspäin vaelluksessa on hyvin vähän saatavilla. Kustannusten käsittely on rajattu vastaavasti lähinnä rakennuskustannuksiin, koska käyttö- ja huoltokustannukset ovat riippuvaisia muun muassa padon käyttötarkoituksesta ja voimalaitospatojen tapauksessa myös sähköhinnasta. Rakennuskustannuksia tarkastellaan Euroopassa toteutetuista kalatieprojekteista tehtyjen tutkimusten perusteella. Tutkimuksissa käsitellyt kalatiet sijaitsevat lähinnä Pohjois- ja Keski-Euroopassa.

Työn alussa tarkastellaan tarkemmin yleisimpien kalatietyyppien rakenteita. Teknisten ja luonnonmukaisten kalateiden rakenteiden erot tuodaan erityisesti esille. Tämän jälkeen käydään läpi erityyppisten kalateiden toimivuutta aiheesta tehtyjen metatutkimusten avulla. Tästä seuraavassa luvussa tarkastellaan kalateiden rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia. Lopulta suoritetaan teknistaloudellinen vertailu, jossa toimivuudesta ja kustannuksista kerätyt tiedot yhdistetään. Työn lopuksi tehdyt johtopäätökset vielä kerätään yhteen.

2. KALATEIDEN RAKENTEET

Kalatien rakenteen on tarkoitus hidastaa veden virtausta kalatiessä siten, että sitä hyödyntävät kalat kykenevät uimaan vastavirtaan kalatien läpi [2]. Ilman erityisiä rakenteita veden virtausnopeus kiihtyisi kalatiekanavassa niin suureksi, ettei kaloilla olisi mahdollisuuksia hyödyntää kalatietä. Lisäksi kalatien rakenteet tarjoavat kaloille mahdollisuuksia levätä suojassa virtaukselta nousemisen aikana. Hyvin rakennettu kalatie houkuttelee kaloja, mahdollistaa niiden sisäänkäsyn, nousun kalatien läpi sekä turvallisen ulospääsyn niin, että kalat joutuvat käyttämään mahdollisimman vähän aikaa ja energiaa vaellusesteen ohittamiseen. [2] Seuraavissa alaluvuissa esitellään teknisten ja luonnonmukaisten kalateiden rakenteita tarkemmin.

2.1 Teknisten kalateiden rakenne

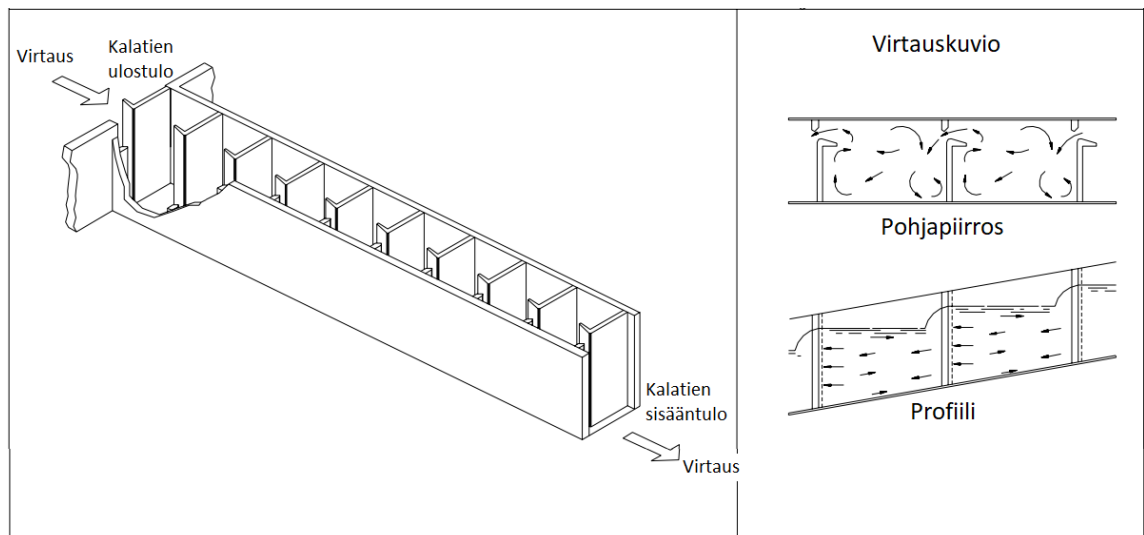
Teknisiä kalateitä on montaa eri tyyppiä. Muun muassa pystyrako-, allastyypiset, Denil- ja Borland-kalatiet sekä kalahissit ovat yleisesti käytettyjä teknisiä kalateitä. Yleisesti tekniset kalatiet koostuvat pääasiassa keinotekoisista elementeistä, kuten betonista tai teräksestä, ja eroavat siten huomattavasti luonnonmukaisesta vesistöstä. [5] Teknisten kalateiden eduksi luonnonmukaisiin ratkaisuihin nähden voi mainita ainakin vähäisemmän tilantarpeen sekä soveltuvuuden myös jyrkempiin kohteisiin [6]. Yleisimmät tekniset kalatietyypit Suomessa ovat pystyrako- ja Denil-kalatie [3]. Näiden kalatietyyppien piirteitä tarkastellaan seuraavaksi.

2.1.1 Pystyrakokalatien rakenne

Pystyrakokalateiden kanavissa on tasavälein asetettuja väliseiniä, jotka muodostavat altaita. Pystyrakokalatielle ominaiset altaat ja niitä erottavat väliseinät ovat hyvin nähtävissä Kuvassa 1. Väliseinissä on virtausraot, jotka ylettyvät pinnasta pohjaan asti. Väliseinien tarkoituksena on hidastaa virtauksen kiihtymistä siten, että virtausnopeus on lähes sama kalatien ulostulossa kuin sen yläpäässä. [2] Virtausraojen suuntaukset on suunniteltu siten, että virtaukset altaiden sisällä kohtaavat paikoitellen, mikä tehostaa niiden virtauksen kiihtymistä ehkäisevää vaikutusta [4]. Pystyrakokalatien rakenne ja väliseinien toimintaa havainnollistava virtauskuva kalatien sisällä on esitelty Kuvassa 2.



Kuva 1: Makkarakosken kalatie Noormarkussa on tyypillinen pystyrakokalatie, jossa väliseinät muodostavat altaita ja hallitsevat virtausta.



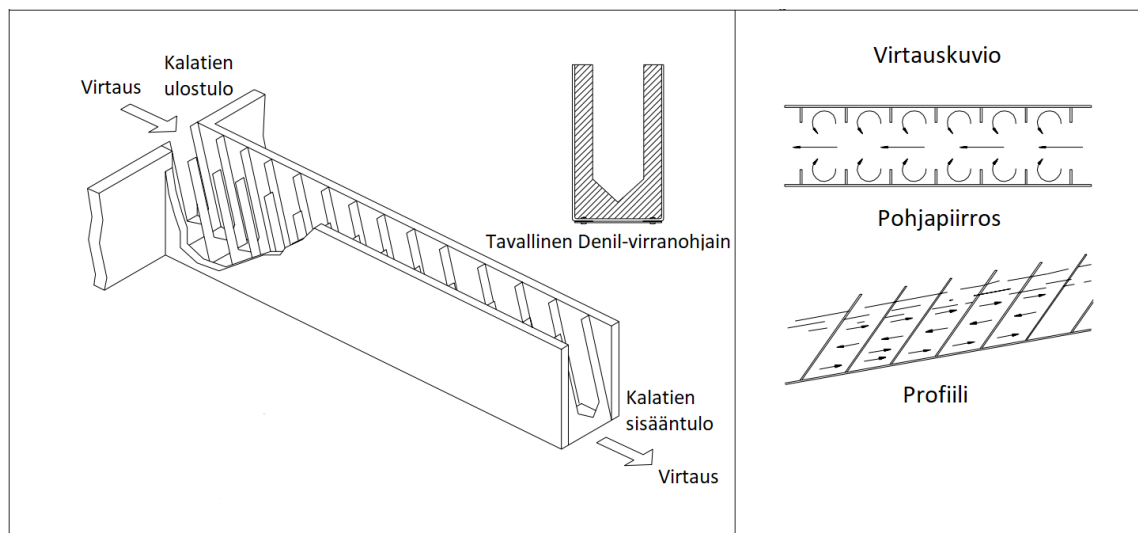
Kuva 2: Pystyrakokalatien rakenne ja virtauskuvio. Kuva muokattu lähteestä [2].

Pystyrakokalatien kaltevuus on tyypillisesti noin 10 %. Merkittävimpiä pystyrakokalatien etuja verrattuna muihin kalatietyyppeihin on sen soveltuvuus virtavesiin, joiden vedenkorkeus vaihtelee paljon. [2] Monien muiden kalatietyyppien toiminta heikkenee nopeasti virtauksen kasvaessa tai laskiessa optimaalisesta tasosta. Koska pystyrakokalatien virtausraot ylettyvät pinnasta pohjaan saakka, pystyy kalatietä hyödyntävä kala valitsemaan syvyyden, jolla se kalatiessä kulkee. Lisäksi väliseinien muodostamat altaat mahdollistavat kaloille lepäämisen nousun aikana. Voimakkaan virtauksen läpi nouseminen on kaloille raskas ja stressiä aiheuttava kokemus, joten lepomahdollisuus rauhallisesti virtaavissa altaissa helpottaa kalojen nousua kalatien läpi

[4]. Kuvassa 2 pystyrakokalatielle ominaiset altaat ja niitä erottavat väliseinät ovat hyvin nähtävissä.

2.1.2 Denil-kalatien rakenne

Denil-kalatie koostuu kourusta, jonka laidoille ja pohjalle on asetettu tiiviisti virranohjaimia. Denil-kalatiestä on olemassa useampia versioita, joissa virranohjainten muotoilu ja asettelu eroavat toisistaan. Yksi yleinen Denil-virranohjaimen muotoilu on esitelty Kuvassa 3. Virranohjainten tehtävänä on kääntää osa vesimassasta kohti päävirtausta, mikä vähentää päävirtauksen liikemäärää ja siten rajoittaa virtauksen kiihtymistä. Vesimassojen kohtaamisen takia virtaus Denil-kalatiessä on hyvin turbulენტtista (Kuva 3).



Kuva 3: Denil-kalatien rakenne ja virtauskuvio. Kuva muokattu lähteestä [2].

Denil-kalatie soveltuu erityisen hyvin paikkoihin, joissa kalatien on oltava jyrkkä, koska sen jyrkkyys voi olla jopa 25 % [2]. Heikkoutena kyseisellä kalatietyypillä on sen herkyys vedenkorkeusvaihteluille [7]. Koska virranohjaimia on myös kourun pohjalla, vaikuttaa vedenkorkeus voimakkaasti kalatien toimintaan. Toinen heikkous verrattuna esimerkiksi pystyrakokalatieseen on se, että Denil-kalatien rakenteet eivät muodosta kalojen lepopaikoiksi sopivia suojapaikkoja, vaan niitä on erikseen rakennettava nousun varrelle [2].

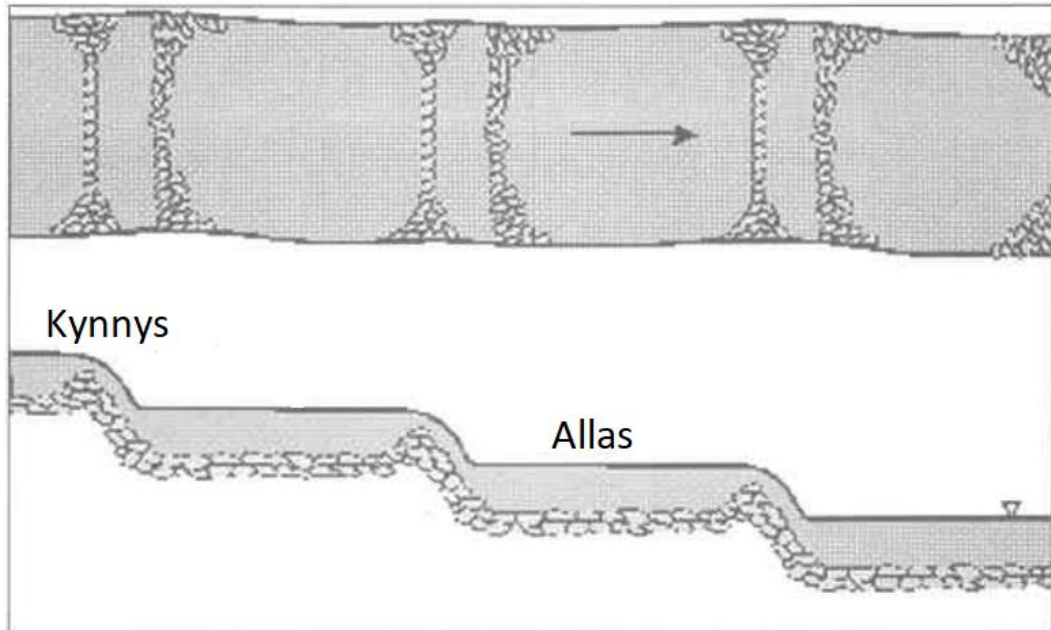
2.2 Luonnonmukaisen kalatien rakenne

Luonnonmukainen kalatie eroaa selkeästi teknisistä kalateistä, sillä se nimensä mukaisesti rakennetaan jäljittelemään luonnollista puroa tai pientä jokea [5]. Luonnonmukainen kalatie on keinotekoinen vaellusesteen kiertävä uoma, jonka rakentamisessa on käytetty pääasiassa luonnollisia materiaaleja, kuten kiviä, soraa ja puuainesta [8]. Kivien ja muiden materiaalien sijoittelulla sekä uoman mutkittelulla pyritään hallitsemaan veden virtausnopeutta kalatiessä. Tavoitteena on samankaltainen veden liike-energian väheneminen kuin mitä tapahtuu luvussa 2.1 esitelyjen teknisten kalateiden rakenteissa.[9] Kuvassa 4 näkyy osa tyypillistä luonnonmukaista kalatietä, joka sulautuu hyvin ympäristöönsä



Kuva 4: Osa Riittasalmen luonnonmukaisesta kalatiestä Pomarkunjoen virtaamaa säännöstelevällä padolla.

Koska luonnonmukaiset rakenteet eivät ole yhtä tehokkaita hidastamaan veden virtauksen kiihtymistä kuin tekniset ratkaisut, ovat luonnonmukaiset kalatiet tyypillisesti huomattavasti loivempia ja siten myös pidempiä kuin tekniset kalatiet [8]. Sopiva luonnonmukaisen kalatien jyrkkyys on noin 3–6 % [9]. Tyypillisesti luonnonmukaisen kalatien uoman pohja kynnystetään siten, että kalatiehen muodostuu rauhallisesti virtaavia suvantoja, joiden välissä on noin 0,4–0,6 metrin korkuisia pudotuksia. Nämä kynnykset rajoittavat virtauksen kiihtymistä uomassa ja luovat samalla lepopaikkoja kalatietä nouseville kaloille. Uoman pohjan muotoilua voi olla vaikea havaita pinnalta katsottuna. [9] Kynnysten ja altaiden vuorottelua on havainnollistettu Kuvassa 5.



Kuva 5: Havainnekuva luonnonmukaisen kalatien uoman rakenteesta, jossa uomassa on peräkkäin kynnyksiä ja altaita. Muokattu lähteestä [6].

Luonnonmukaisen kalatien rakenne vaihtelee huomattavasti sen rakennuspaikan mukaan. Esimerkiksi savikkoisella alueella, jossa maastossa ei luontaisesti esiinny juurikaan kiviä, ei kalatietä tule myöskään rakentaa kovin kivikkoiseksi [9]. Ohitettavan padon korkeus vaikuttaa suuresti luonnonmukaisen kalatien pituuteen, rakenteeseen ja uoman muotoiluun. Suurilla yli kymmenen metrin pudotuskorkeuksilla luonnonmukaisesta kalatiestä tulee tehdä huomattavan pitkä ja mutkitteleva. [10]

Luonnonmukaisen kalatien rakenteen yhtenä etuna on sen monelle lajille tarjoama elintila. Luonnollista vesistöä mukailevat kalatieuomat voivat jopa toimia vaelluskalojen kutupaikkoina [9]. Täten ne voivat ainakin pienissä määrin korvata padon rakentamisen yhteydessä tuhoutuneita koskialueita. Lisäksi luonnollista virtavettä imitoiva rakenne antaa kalatietä käyttävälle kalalle mahdollisuuden valita uintisyvyys, jota se käyttää. Myös pohjaeliöstön, saukkojen ja vesilintujen on todettu hyödyntävän luonnonmukaisia kalateitä. [9]

3. KALATEIDEN TOIMIVUUS

Tässä luvussa käsitellään kalateiden toimivuudesta tehtyjä tutkimuksia ja havaintoja. Tarkoituksena on tuoda esiin eroja, joita teknisten ja luonnonmukaisten kalateiden toiminnassa on eri tutkimuksissa havaittu. Tähän työhön kalateiden toimivuuden vertailun avuksi on valittu kaksi suuretta, jotka ovat houkutus- ja läpäisytehokkuus. Houkuttavuudella tarkoitetaan sitä osuutta vaellusesteen ohi pyrkivistä kaloista, jotka löytävät kalatien sisäänkäynnille. Läpäisytehokkuus taas vastaavasti tarkoittaa osuutta sisäänkäynnille löytävistä kaloista, jotka myös onnistuvat nousemaan vaellusesteen ohi kalatietä pitkin. Molemmat tehokkuudet ilmoitetaan prosenttiosuuksiksi muunnettuna. [11] Kuvitellaan tutkimus, jossa 100 kalaa vaeltaa padon alapuolelle, 55 kalaa havaitaan kalatien sisäänkäynnillä ja 40 kalaa havaitaan myös poistuvan kalatien uloskäynnistä. Tällöin kalatien houkuttavuudeksi tulee 55 % (55/100) ja läpäisytehokkuudeksi 73 % (40/55).

Kalateiden toimintaan vaikuttaa hyvin monta eri tekijää, joten eri kalatietyyppien toimivuuden vertailu juuri yksittäisen tekijän osalta on hyvin haastavaa [12]. Tällaisia tekijöitä ovat muun muassa veden virtausnopeus, sää, erot eri kalalajien käyttäytymisessä, vuosittainen vaihtelu vaelluskalojen määrissä sekä veden lämpötila. Tutkimusolosuhteita on siis vaikea saada standardisoitua niin, että jonkin kalatietyypin paremmuus tietyissä olosuhteissa saataisiin todennettua. Lisäksi jokainen kalatie on uniikki, joten on lähes mahdotonta ennustaa kalatien toimivuutta jonkin toisen kalatien perusteella. [13] Kalateiden toimivuudesta on tehty melko vähän tutkimuksia suhteutettuna niiden suureen määrään, mutta kalatietutkimus on kasvava tieteenala [12].

Kalateiden toimivuudesta löytyy kolme metatutkimusta, joissa on kerätty yhteen kymmenien yksittäisistä kalateistä tehtyjen vertaisarvioitujen tutkimusten tuloksia ja tehty niiden perusteella päätelmiä muun muassa eri kalatietyyppien toimivuuksien eroista. Uusin näistä on Hersheyn [14] vuonna 2021 julkaistu tutkimus. Hersheyn tutkimus kattaa 60 eri julkaisua, joissa on tutkittu yhteensä 75 eri kalatietä vuosina 1995–2018. Alan aineistoltaan laajin kirjoitus on Bunt et al. [11] artikkeli vuodelta 2012, mihin kirjoittajat tekivät korjauksia vuonna 2016 [13]. Alkuperäisessä tutkimuksessaan Bunt et al. ovat ottaneet huomioon 101 erillistä kalateitä käsittelevää tutkimusta, joista tosin vain 19 käsittelee kalateiden toimivuutta 35 eri kalatiessä. Myöhemmin tehtyjen korjausten jälkeen tutkimusten kokonaismäärä on 81 ja toimivuutta käsittelevien 17. Kolmas tässä työssä hyödynnettävä metatutkimus on Noonan et al. [15] vuonna 2012 julkaissut artikkeli. Se käsittää 60 erillistä tutkimusta vuosilta 1960–2011.

Hersheyn tutkimus sisältää kaikki 17 Buntin ja hänen kollegoidensa käyttämää kalateiden toimivuutta käsittelevää tutkimusta. Hersheyn ja Noonanin tutkimusryhmän aineistoista löytyy vain kolme yhteistä julkaisua. [14] Uutena ja aineistoltaan hyvin kattavana julkaisuna Hersheyn metatutkimusta voidaan pitää luotettavana lähteenä kalateiden toimivuutta arvioitaessa. Bunt et al. sekä Noonan et al. tutkimukset ovat tämän työn kirjoitushetkellä noin kymmenen vuotta vanhoja. Noonanin ja kumppanien tutkimukseen mukaan ottamista julkaisuista vanhimmat ovat 1960-luvulta. Tiedossa ei kuitenkaan ole, että kalatietutkimus olisi tuon ajanjakson jälkeen olennaisesti kehittynyt, joten kyseistä tutkimusta voidaan hyödyntää lähteenä. Bunt et al. aineistossa ei ole näin vanhoja julkaisuja ja muutoinkin heidän analyysiään voinee pitää luotettavana.

Hersheyn tutkimuksen perusteella selkeästi korkein houkuttavuus on Denil-kalatiellä, jonka houkuttavuudeksi on saatu noin 71 % [14]. Samaan tulokseen ovat tulleet myös Bunt et al., saaden Denil-kalatien houkuttavuudeksi 61 % [13]. Tosin jälkimmäisessä tulokset eri kalatietyyppien välillä olivat hyvin tasaisia, kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden kalateiden keskimääräisen houkuttavuuden ollessa 55 %. Vastaavasti heikoimman houkuttavuuden Hershey on saanut luonnonmukaiselle kalatielle (36 %) [14], kuten myös Bunt et al. (48 %) [13]. Tulokset pystyrakokalatien houkuttavuuksista asettuvat molemmissa tutkimuksissa kohtalaisen lähelle luonnollisen kalatien tuloksia, sen ollessa Hersheyn tutkimuksessa noin 45 % ja Bunt et al. 51 %. Kokonaisuudessaan Bunt et al. korostavat, että teknisten kalateiden houkuttelevuus vaikuttaisi olevan luonnonmukaisia korkeampi, mutta tuloksissa on vaihtelua eri kalalajien kohdalla [13]. Metatutkimuksista kerätyt arvot kalateiden houkuttavuuksista löytyvät taulukosta 1a.

Noonan ei ole antanut julkaisussaan arvoja eri kalatietyyppien houkuttavuuksille, mutta hän on todennut houkuttavuuden korreloivan negatiivisesti kalatien jyrkkyyden kanssa [15]. Tämän perusteella siis kalatien houkuttavuus laskisi sen jyrkkyyden kasvaessa. Noonanin väite ei sovi yhteen Hersheyn ja Bunt et al. tekemien huomioiden kanssa, sillä näissä tutkimuksissa houkuttavuudeltaan parhaiksi todettujen Denil-kalateiden jyrkkyys on keskimäärin ollut suurin. Vastaavasti heikoimman tuloksen houkuttavuudesta saaneiden luonnollisten kalateiden jyrkkyys on ollut keskimäärin pienin. Hershey onkin todennut julkaisussaan, ettei jyrkkyyden perusteella voida tehdä ennustuksia kalatien houkuttavuudesta [14].

Tulokset kalateiden läpäisytehokkuuksista ovat käsiteltävissä julkaisuissa keskenään pääosin saman suuntaisia, mutta myös eroavaisuuksia löytyy. Bunt et al. tutkimuksessa luonnonmukaisen kalatien läpäisytehokkuudeksi on saatu noin 71 % [13]. Tämä erottautuu muita kalatietyyppejä korkeampana, kun molempien seuraavaksi korkeimmat tulokset saaneiden Denil- ja pystyrakokalateiden läpäisytehokkuudet ovat 51 %.

Toisaalta Hersheyn ja Noonan et al. tutkimukset eivät tue vastaavaa luonnonmukaisen kalatien erinomaisuutta muihin kalatietyyppeihin nähden. Näissä julkaisuissa luonnonmukaisten ja teknisten kalateiden läpäisytehokkuuksissa ei ole havaittavissa merkittävää eroa. Hershey ja Noonan et al. ovat yhtä mieltä myös siitä, että Denil-kalatien läpäisytehokkuus on keskimäärin heikoin. Hersheyn mukaan noin 44 % Denil-kalatien sisääntulolle löytävistä kaloista nousisi kalatietä pitkin ulostulolle [14]. Vastaava lukema Noonan et al. tutkimuksessa on vain noin 16 % [15]. Bunt et al. ovat saaneet Denil-kalatien osalta hieman optimistisemmän tuloksen (51 %) ja he pitävät allastyypisten kalateiden läpäisytehokkuutta kaikkein heikoimpana (38 %). Kaikista käytetyistä metatutkimuksista löytyvät läpäisytehokkuudet on eritelty Taulukossa 1b.

Taulukko 1: Eri kalatietyyppien (a) houkuttavuudet ja (b) läpäisytehokkuudet eri metatutkimuksissa.

a) Houkuttavuus [%]			
Kalatietyyppi	Noonan et al. (2012)	Bunt et al. (2012)	Hershey (2021)
Luonnonmukainen	-	48	36
Pystyrakokalatie	-	51	45
Denil-kalatie	-	61	71

b) Läpäisytehokkuus [%]			
Kalatietyyppi	Noonan et al. (2012)	Bunt et al. (2012)	Hershey (2021)
Luonnonmukainen	-	71	56
Pystyrakokalatie	-	51	63
Denil-kalatie	16	51	44

- = julkaisussa ei ole mainittu kyseistä arvoa

Yksikään mainituista julkaisuista ei pysty osoittamaan ehdottomasti jonkin kalatietyypin paremmuutta. Niiden tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että teknisten kalateiden, erityisesti Denil-kalateiden, houkuttavuus on keskimäärin korkeampi kuin luonnonmukaisten. Läpäisytehokkuuden osalta taas luonnonmukainen ja pystyrakokalatie ovat vahvoja vaihtoehtoja. Denil-kalateiden läpäisytehokkuus on keskimäärin heikko. Kalatietyyppien sijaan tutkimukset korostavat kalatien ominaisuuksia, kuten jyrkkyyttä, pituutta ja veden virtausnopeutta. Sekä Noonan et al. että Bunt et al. ovat todenneet, että loivat kalatiet toimivat keskimäärin tehokkaimmin [13] [15]. Noonanin ja kumppanien huomioiden perusteella kalatien pituus ja virtausnopeus vaikuttavat myös positiivisesti niiden toimivuuteen. Kalatie tulisi siis rakentaa mahdollisimman loivaksi ja pitkäksi sen tyypistä riippumatta.

Kaikissa tässä luvussa käsiteltävissä tutkimuksissa korostetaan, että hajonta kalateiden toimivuudessa on hyvin suurta. Esimerkiksi Bunt et al. tutkimuksessa yksittäisten kalateiden houkutus- ja läpäisytehokkuudet vaihtelivat lähes nollan ja sadan prosentin

välillä kaikissa muissa kalatietyypeissä paitsi Denil-kalatiessä [13]. Niissäkin vaihtelua oli kuitenkin 20 ja 100 prosentin välillä. Kalatiekohtaisilla eroilla on siis erittäin suuri merkitys niiden toimivuuteen ja voidaankin todeta, että kaiken tyyppisistä kalateistä voidaan saada sekä hyvin että huonosti toimivia. Vaikka joitain tuloksia tietyn tyyppisten kalateiden tehokkuudesta on saatu, on paikkakohtaisella tarkastelulla suuri merkitys [12].

4. KALATEIDEN RAKENNUSKUSTANNUKSET

Kalateiden rakennuskustannusten arviointi yleisellä tasolla on erittäin haastavaa, koska niihin vaikuttaa hyvin monta muuttujaa. Tällaisia muuttujia kalatien tyyppin lisäksi ovat esimerkiksi rakennuspaikan maaperä ja olosuhteet, projektin laajuus, eri rakennustavat sekä suunnittelun yksityiskohdat. [2] Kalateiden keskimääräisten kustannusten arvioiminen ei siis välttämättä ole kalatien suunnittelun kannalta kovinkaan hyödyllistä, mutta se antaa mahdollisuuden kalatietyyppien väliseen vertailuun. Tutkimuksia kalateiden keskimääräisistä kustannuksista ei ole juurikaan saatavilla, mutta joitain karkeita keskiarvoja on toteutuneiden kalatieprojektien perusteella pystytty laskemaan. Tulokset on usein esitelty uoman pituus- tai nousumetrikohtaisesti, mikä tarkoittaa, että kalatien rakennuskustannukset on jaettu uoman pituudella tai sen nousukorkeudella [16]. Vaihtelee tutkimuksittain, mitä yksikkökustannuksia rakennuskustannuksiin on sisällytetty. Luonnonmukaisten ja teknisten kalateiden rakennuskustannuksista tehtyjen tutkimusten tuloksia esitellään kahdessa seuraavassa alaluvussa ja kolmannessa tehdyt havainnot kootaan yhteen.

4.1 Luonnonmukaisten kalateiden rakennuskustannukset

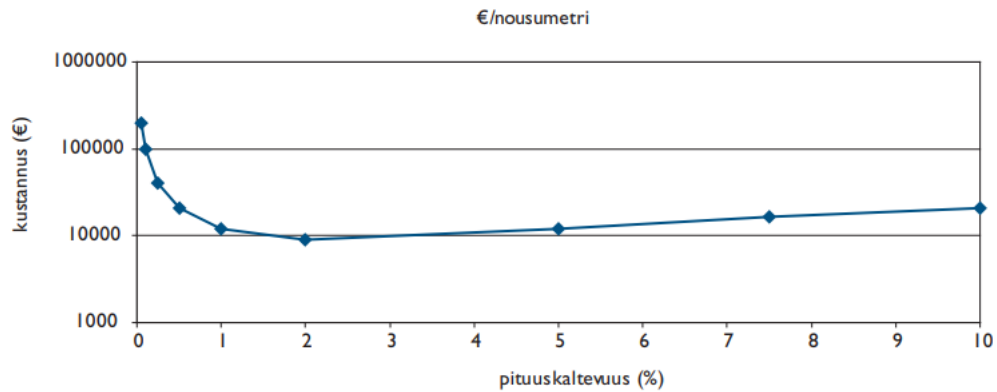
Yleisesti luonnonmukaisten kalateiden rakennuskustannukset koostuvat lähinnä suunnittelusta, kaivuutyöstä sekä sora- ja kivimateriaalien hankkimisesta [17]. Usein myös erikoisrakenteet, kuten betoniset tukirakenteet, aiheuttavat lisäkustannuksia [9]. Erityisen paljon lisäkustannuksia aiheuttavat vedenottorakenteet, jotka mahdollistavat kalatien toiminnan vesistön pinnankorkeuden vaihteluista huolimatta [17]. Myös mahdollisten työpatojen tarve tulee ottaa huomioon. Työpadoilla tarkoitetaan rakenteita, joilla hallitaan vedenkulkua rakennustyön aikana. [3] Luonnonmukaisten kalateiden rakennuskustannuksia laskee mahdollisuus hyödyntää alueen maaperästä löytyvää maa- ja kiviainesta [15]. Kohteen maaperällä on siis suuri merkitys luonnonmukaista kalatietä suunniteltaessa.

Venus et al. [16] vuonna 2020 julkaisemassa metatutkimuksessa käsitellään kalateiden rakennuskustannuksia 327 kohteen perusteella. Näistä kohteista 151 sijaitsee Saksassa, 101 Itävallassa, 58 Ruotsissa, 16 Ranskassa ja 1 Sveitsissä. Venus et al. käsittelemässä aineistoissa luonnonmukaisten kalateiden keskimääräiset rakennuskustannukset olivat 2 233 euroa per uoman pituusmetri. Näihin kustannuksiin sisältyy myös kalateiden suunnitteluun kuuluvat kustannukset. Venus et al. tutkimuksessa luonnonmukaisten kalateiden metrikohtaiset kustannukset vaihtelivat 125

ja 7 720 euron välillä. [16] Carlströmin [18] vuonna 2017 energiayhtiö Vattenfall AB:lle tekemää tutkimusta kalateiden kustannuksista ei ole suoraan saatavilla, mutta muun muassa Persson ja Leonardsson ovat esitelleet kyseiset tulokset raportissaan [19]. Carlström on tutkinut kalateiden kustannuksia seitsemältä energiayhtiöltä saamiensa tietojen avulla (Vattenfall, Fortum, Mälarenergi, Skellefteå Kraft, Statkraft, Tekniska Verken ja Uniper). Hän on saanut luonnonmukaisen kalatien pituusmetrin mediaanihinnaksi noin 519 €/m [18, katso 19]. Ei ole tiedossa sisältääkö Carlströmin tulokset suunnittelusta tai erikoisrakenteista aiheutuvia kustannuksia. Luonnonmukaisen kalatien hinta vaihteli Carlströmin tutkimuksessa 104 €/m ja 7 790 €/m välillä [18, katso 19]. Carlströmin tulokset muutettiin Ruotsin kruunuista euroiksi käyttämällä vuoden 2017 keskimääräisiä valuuttakursseja [20].

Toinen ruotsalainen tutkimus käsittelee kalateiden rakennuskustannuksia uoman nousumetrikohtaisesti [21]. Tutkimus on toteutettu konsultointiyhtiö Anthesis Enveco AB:n toimesta. Siinä luonnonmukaisen kalatien keskimääräiseksi hinnaksi on saatu noin 51 000 euroa per nousumetri. Nousumetrin kustannukset vaihtelivat tutkimuksessa 21 000 ja 130 000 euron välillä. [21] Myös Anthesis Envecon saamat tulokset muutettiin euroiksi käyttämällä vuoden 2017 keskimääräisiä valuuttakursseja [20].

Järvenpää et al. perehtyivät luonnonmukaisten kalateiden kustannuksiin Suomessa Oulujoen vaellusyhteyksien parantamista suunniteltaessa [17]. Heidän tuloksensa on laskettu Suomessa toteutuneiden projektien perusteella, mutta heidän julkaisussaan ei kerrota tarkemmin esimerkiksi, kuinka monesta lähteestä tiedot ovat peräisin. Järvenpää et al. aineistoissa luonnonmukaisen kalatien kustannukset olivat keskimäärin noin 150 € per uoman pituusmetri. Tämä arvio sisältää habitaattien viimeistelykustannukset, kuten kivien, soran ja puuaineksen asettelun, mutta ei suunnittelua tai erikoisrakenteita. Järvenpää et al. keskittyivät julkaisussaan erityisesti jyrkkyyden vaikutuksiin kalatien hintaan. He toteavat nousumetrikohtaisten kustannusten kasvavan voimakkaasti kalatien jyrkkyyden laskiessa alle yhden prosentin, koska tällöin uomasta tulee huomattavan pitkä ja kaivuutyön määrä kasvaa. Toisaalta jyrkkyyden kasvaessa yli viiteen prosenttiin, kasvavat kustannukset lisääntyvän kynnys- ja tukirakenteiden tarpeen takia. [17] Järvenpää et al. johtama kaltevuudesta riippuvainen yksikkökustannuskuvaaja on nähtävissä Kuvassa 6.



Kuva 6: Arvioitujen kustannusten riippuvuus uoman jyrkkyydestä [17].

Luonnonmukaisien kalateiden rakennuskustannuksista löydetyt tiedot eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Tutkimuksissa rakennuskustannuksista saadut tulokset on esitetty eri muodoissa ja kaikista julkaisuista ei edes selviä, mitä kustannuksia lukuihin on sisällytetty. On siis hyvin haastavaa tehdä johtopäätöksiä luonnonmukaisten kalateiden rakennuskustannuksista löydettyjen tietojen perusteella.

4.2 Teknisten kalateiden kustannukset

Teknisten kalateiden rakennuskustannukset eroavat luonnonmukaisten rakennuskustannuksista erityisesti siten, että maastosta löytyviä materiaaleja harvemmin pystytään hyödyntämään, vaan hyödynnettävä betoni, teräs ynnä muu materiaali on kuljetettava kohteeseen. Betonielementit voidaan myös valaa valmiiksi muualla ja kuljettaa kokonaisina kohteeseen. [15] Teknisten kalateiden valamisen kannalta haastavan muotoisten kalatie-elementtien valaminen on erikoisrakentamista, jonka tekemiseen voi olla haastavaa löytää tekijää. Tämä nostaa myös rakentamisen kustannuksia. [3] Toisaalta tekniset kalatiet vaativat yleensä vähemmän tilaa, mikä laskee aiheutuvia kustannuksia. [19]

Venus et al. tutkivat myös teknisten ratkaisujen rakennuskustannuksia [16]. He ovat saaneet pystyrakokalateiden keskimääräisiksi rakennuskustannuksiksi 6 914 euroa per uoman pituusmetri. Vaihteluväli Venus et al. aineistoissa on 194–61 301 €/m. He tarkastelivat myös muutamaa Denil-kalatie rakennuskustannuksia ja ne olivat selkeästi pystyrakokalatie rakennuskustannuksia matalampia. [16] Yleisestikin Denil-kalatieä pidetään usein edullisimpana vaihtoehtona [15]. Tosin korkeilla nousuasteilla Denil-kalatieen yhteyteen pitää rakentaa lepoaltaita, jotka lisäävät uoman pituutta sekä rakennuskustannuksia. [2] Tämä heikentää Denil-kalatieen kustannusetua muihin kalatietyyppeihin nähden.

Carlström on saanut pystyrakokalateiden rakennuskustannusten vaihteluväliksi 2 590–20 030 euroa per pituusmetri [18, katso 19], mikä on huomattavasti kapeampi kuin Venus et al. tutkimuksessa (194–61 301 €/m) [16]. Mediaanihinnaksi Carlström on saanut 9 130 €/m [18, katso 19]. Anthesis Enveco AB:n tekemässä julkaisussa ei vastaavasti eritellä kalatietyyppejä vaan kalatiet on jaoteltu vain teknisiin ja luonnonmukaisiin. Teknisten kalateiden rakennuskustannukset ovat kyseisen julkaisun mukaan keskimäärin noin 41 000 euroa per nousumetri. Tämä tulos ei sisällä esimerkiksi suunnittelun eikä lupahakemuksien aiheuttamia kustannuksia. [21]

4.3 Yhteenveto rakennuskustannuksista

Tutkimusten vähyys tekee kalateiden rakennuskustannusten vertailusta haastavaa. Lisäksi tehdyissä tutkimuksissa kustannuksiin on sisällytetty eri asioita ja joissain julkaisuissa ei edes tarkenneta, mitä tarkastellut kustannukset kattavat. Esimerkiksi se onko suunnittelun tai erikoisrakenteiden kustannukset sisällytetty kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi tuloksiin. Lisäksi tulosten esittelyssä on käytetty vaihtelevia suureita. Venus et al. [16] esimerkiksi ilmoittavat tarkastelemiensa kalateiden rakennuskustannusten keskiarvon, kun taas Carlström [18] on käyttänyt kustannusten mediaania. Myös nousu- ja pituusmetreille laskettuja keskiarvoja on haastavaa vertailla keskenään, kun tarkasteltujen kalateiden jyrkkyyksiä ei ole tiedossa. Joitain hyödyllisiä huomioita löydettyistä tutkimuksista kuitenkin pystytään tekemään.

Kustannuksien tarkastelussa käytetyistä lähteistä ainoa vertaisarvioitu julkaisu on Venus et al. kirjoittama metatutkimus. Siinä todetaan, että luonnonmukaiset kalatiet ovat keskimäärin edullisempia rakentaa ja että ero on tieteellisesti merkittävä. Ero kuitenkin pienenee kalatien pituuden kasvaessa [16]. Myös Järvenpää et al. [17] saamat tulokset luonnonmukaisten kalateiden rakennuskustannusten ja jyrkkyyden yhteydestä sopivat Venus et al. väitteisiin. Järvenpää et al. julkaisussa korostetaan kuinka luonnonmukaisen kalatien kustannukset nousevat sen pituuden kasvaessa. Pituuden vaikutus perustuu lähinnä kaivuumassojen lisääntymiseen. Toisaalta he toteavat myös metrikohtaisten kustannusten kasvavan uoman jyrkkyyden kasvaessa. Kustannukset kasvavat erityisesti, kun jyrkkyys kasvaa viidestä prosentista ylöspäin. Tämä taas johtuu kasvavasta tukirakenteiden tarpeesta. [17]

Sekä Venus et al. että Carlströmin aineistoissa luonnonmukaisten kalateiden rakennuskustannukset ovat selkeästi matalammat. Molemmissa näissä julkaisuissa kustannukset on esitetty suhteessa uoman pituuteen. Anthesis Envecon [21] julkaisussa puolestaan teknisten kalateiden rakennuskustannukset on todettu olevan matalammat. Kyseisessä julkaisussa kustannuksia on tarkasteltu suhteessa uoman nousuun. Tätä

todennäköisesti selittää osittain se, että tekniset kalatiet ovat keskimäärin jyrkempiä, jolloin nousumetrikohtainen hinta pienenee, mutta pituusmetriä kohti kustannukset kasvavat.

Löydettyjen lähteiden perusteella ei voida sanoa kummankaan kalatietyypin olevan yleisesti edullisempi rakentaa, vaan että kustannukset vaihtelevat suuresti kohteen ominaisuuksien mukaan. Luonnonmukaisten kalateiden kohdalla erityisesti vedenottorakenteiden ja muiden erikoisrakenteiden tarve vaikuttaa merkittävästi kustannuksiin. Teknisistä kalateistä muista kuin pystyrakokalateista ei löydy juurikaan tutkimuksia kustannuksista. Denil-kalatie on usein edullisin ratkaisu, mutta kustannusten eroa esimerkiksi pystyrakokalateihin ei aineiston perusteella pysty päättämään.

5. TEKNISTALOUDELLINEN VERTAILU

Tässä luvussa nostetaan esiin kalatieratkaisuja, jotka vaikuttaisivat teknistaloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna olevan järkeviä. Päätelmät tehdään vertailemalla eri kalatietyyppejä niiden toimivuudesta ja rakennuskustannuksista kerättyjen tietojen perusteella. Tarkoituksena on pohtia miten eri tekijät vaikuttavat kalatietyypin valintaan kalateitä suunniteltaessa.

Rakennuskustannuksia tarkasteltaessa kävi ilmi, että loivaksi rakennetun luonnonmukaisen kalatieuoman kustannukset pituusmetriä kohti ovat teknistä kalatietä matalammat. Loivuus vähentää luonnonmukaisen kalatien vaatimien tukirakenteiden määrää. Kyseisen tyyppisten kalateiden läpäisytehokkuus on myös erittäin hyvä. Näin ollen luonnonmukaista kalatietä voidaan pitää hyvänä ratkaisuna, mikäli kalatie pystytään toteuttamaan loivana ilman, että kalatiestä tulee kovin pitkä. Uoman pituuden kasvaminen nostaa kalatien kustannuksia. Luonnonmukainen kalatie siis sopii kohteisiin, jossa vaadittava nousukorkeus ei ole kovin suuri. Erityisesti jos vesistön vedenkorkeuden vaihtelut eivät ole kovin suuria, eikä erillisiä vedenottorakenteita tarvita, voi luonnonmukainen kalatie olla selkeästi teknistä ratkaisua edullisempi.

Teknisten kalatieuomien etuna luonnonmukaisiin nähden on erityisesti se, että ne voidaan toteuttaa jyrkempinä. Kalatien pituus ei kasva tällöin yhtä paljon nousukorkeuden kasvaessa. Tämä tekee niistä parempia kohteissa, joissa nousukorkeus on suuri. Pystyrakokalatien läpäisytehokkuus ja houkuttavuus todettiin yleisesti hyviksi kalateiden toimivuutta tarkasteltaessa. Pystyrakokalatie on teknistaloudellisesta näkökulmasta järkevä ratkaisu kohteissa, joissa luonnonmukaisesta kalatiestä tulisi erityisen pitkä tai se vaatisi kalliita erikoisrakenteita.

Muista teknisistä kalatietyypeistä Denil-kalatien houkuttavuus todettiin todella hyväksi, mutta sen läpäisytehokkuus on selkeästi tarkastelluista kalatietyypeistä heikoin. Sen etuja ovat melko matalat rakennuskustannukset ja pieni tilantarve. Heikon läpäisytehokkuuden vuoksi Denil-kalatie ei ole ensisijainen ratkaisu kalatietyyppejä valittaessa. Käytettyjen lähteiden perusteella Denil-kalatietä voidaan suositella vain tilanteissa, joissa kalatien rakentamiseen on käytössä vain rajallisesti tilaa, eikä luonnonmukainen tai pystyrakokalatie mahdu alueelle. Tällöin tosin myös esimerkiksi kalahissi saattaa olla hyvä ratkaisu [7].

Mitään tarkkoja rajoja esimerkiksi patojen korkeudesta, joihin kukin kalatietyyppi sopisi parhaiten ei pystytä julkaistujen tietojen avulla määrittämään. Teknistaloudellisen

vertailun perusteella kuitenkin vaikuttaisi siltä, että luonnonmukaiset kalatiet ovat parhaimmillaan kohteissa, joissa nousukorkeus on pieni tai keskisuuri ja tekniset kalatiet, kun vaadittava nousukorkeus on keskisuuri tai suuri. Kohdekohtaisen tarkastelun merkitys on kuitenkin suuri. Erityisesti keskisuurten patojen kohdalla kalatien rakentamiseen suunnitellun alueen ominaisuudet voivat tehdä joko luonnonmukaisista tai teknisistä kalateistä paremman vaihtoehdon. Teknisistä kalateistä pystyrakokalatie vaikuttaa ensisijaiselta vaihtoehdolta hyvän toimivuutensa ansiosta. Erityisen korkeiden vaellusesteiden ohittamisessa tai ahtaissa kohteissa myös muut tekniset ratkaisut voivat olla hyviä vaihtoehtoja.

Tuloksia tarkastellessa on otettava huomioon, että kustannuksista tarkasteltiin ainoastaan rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia. Mikäli huomioon otettaisiin myös käyttö- ja huoltokustannukset, saattaisivat tulokset olla erilaisia. Myös toimivuudesta tarkasteltiin vain kalateiden tehokkuutta kalojen ylösnousun mahdollistajana. Tehokkuus alaspäin tapahtuvassa vaelluksessa saattaa poiketa tästä. Lisäksi luonnonmukaisten kalateiden tarjoamien elinympäristöjen arvottaminen muuttaisi tilannetta ainakin siten, että luonnonmukaisten kalateiden kohdalla pituuden kasvamista ei nähtäisi pelkästään lisäkustannuksena vaan myös muodostuvan uuden elinympäristön hyödyt otettaisiin huomioon. Tulokset ovat kuitenkin hyödyllisiä erityisesti sellaisten patojen kohdalla, mihin ei liity energiantuotantoa, eikä kalatien käyttökustannuksia täten juuri ole.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä oli tarkoitus tarkastella teknisten ja luonnonmukaisten kalateiden toimivuutta sekä rakennuskustannuksia niistä julkaistun kirjallisuuden pohjalta. Kerättyjen tietojen pohjalta tehtiin teknistaloudellinen vertailu, jossa pyrittiin löytämään parhaiten toimivuuden ja pienet rakennuskustannukset yhdistäviä ratkaisuja. Vertailussa otettiin huomioon myös, miten eri ympäristötekijät vaikuttavat kalatietyypin valintaan.

Toimivuuden osalta pystyrakokalatie todettiin keskimäärin parhaaksi ratkaisuksi. Myös luonnonmukaisen kalatien läpäisytehokkuus on erittäin hyvä, mutta sen houkuttavuudessa on kehitettävää. Denil-kalatien houkuttavuus taas on keskimäärin hyvä, mutta läpäisytehokkuuden osalta se on heikoin ratkaisu. Vaihtelu toimivuudessa on erittäin suurta yksittäisten kalateiden välillä.

Kalateiden rakennuskustannukset riippuvat paljon niiden jyrkkyydestä, pituudesta ja monista kohteen ympäristötekijöistä. Luonnonmukaisten kalateiden pituusmetrikohtaiset kustannukset ovat keskimäärin matalammat kuin teknisten kalateiden. Muun muassa erikoisrakenteiden, kuten tuki- ja vedenottorakenteiden tarve saattaa kuitenkin vaikuttaa suuresti kokonaiskustannuksiin. Kohteissa, joissa tarvitaan paljon erikoisrakenteita tai luonnonmukaisesta kalatiestä tulisi erityisen pitkä, saattaa tekninen kalatie olla edullisempi vaihtoehto.

Luonnonmukaisten ja teknisten kalateiden toimivuuksista tai rakennuskustannuksista löydetty erot eivät ole niin suuria, että voitaisiin yleisesti sanoa jommankumman olevan parempi ratkaisu. Sen sijaan teknistaloudellisessa vertailussa pohdittiin ympäristötekijöitä, jotka korostavat eri kalatietyyppien etuja. Tällaisia tekijöitä ovat ainakin ohitettavan vaellusesteen korkeus, käytettävissä oleva tila sekä vesistön vedenkorkeuden vaihtelut.

Korkeiden esteiden kohdalla tekniset kalatiet ovat teknistaloudellisesta näkökulmasta katsottuna parempia. Tämä perustuu siihen, että ne pystytään toteuttamaan jyrkempinä, milloin niiden rakennuskustannukset eivät kasva nousukorkeuden kasvaessa yhtä paljon kuin luonnonmukaisten kalateiden. Tutkittujen aineistojen perusteella, pystyrakokalatie on teknisistä kalateistä teknistaloudellisesti paras ratkaisu. Pystyrakokalatien toimivuus on muihin tekniisiin ratkaisuihin verrattuna paras, mutta myös muun muassa Denil-kalatietä ja kalahissiä voidaan soveltaa erityistilanteissa, kuten hyvin ahtaissa kohteissa.

Vastaavasti matalampien esteiden ohittamisessa luonnolliset kalatiet ovat ensisijainen vaihtoehto. Luonnonmukaisten kalateiden etuna on erityisesti matalammat

rakennuskustannukset. Tämä tosin pätee vain, jos kalatie pystytään toteuttamaan loivana eikä erityisrakenteita tarvita paljoa.

Saadut tulokset osoittavat, että kohdekohtaisen tarkastelun merkitys on suuri kalatien tyyppiä valittaessa. Erityisesti keskikokoisten patojen ohittamisessa luonnonmukaisen ja pystyrakokalatien väliset erot voivat olla pienet. On myös huomioitava, että tähän työhön sekä kustannusten että toimivuuden tarkasteluun tehdyt rajaukset voivat vaikuttaa merkittävästi lopputuloksiin.

Kalateillä on merkittävä rooli vesiympäristöjen pirstoutumisen vähentämisessä ja vaelluskalakantojen elvyttämisessä. Tämän vuoksi niitä on myös tärkeää tutkia. Sekä kalateiden toimivuudesta että niiden rakennuskustannuksista on saatavilla varsin rajallisesti tietoa. Tutkimustieto auttaisi tulevaisuudessa kalateiden suunnittelu- ja kehittämistyötä. Olisi siis ensiarvoisen tärkeää, että kalateiden toimivuuden seurataan ja kustannusten tarkasteluun panostettaisiin jatkossa entistä enemmän.

LÄHTEET

- [1] Hyvärinen, Esko, Juslén, Aino, Kemppainen, Eija, Uddström, Annika, ja Liukko, Ulla-Maija, Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, 2019.
- [2] C. Katopodis, Introduction to fishway design, Freshwater Institute, Winnipeg 1992.
- [3] S. Koljonen, J. Kurhinen, T. Vehanen, T. Van Ooik, M. Rankila, Teemu Sarnola, L. Rannikko, H. Ruotsalainen, T. Linjama, H. Haakana ja J. Ilmonen, "Kalatien tai luonnonmukaisen ohitusuoman tilaajana toimiminen: Kokemuksia ja vinkkejä käytännöstä", Luonnonvarakeskus LUKE, 2021.
- [4] C. H. Clay, Design of Fishways and Other Fish Facilities. CRC Press, 2017. Saatavissa: <https://doi.org/10.1201/9781315141046>
- [5] Suomen ympäristökeskus, SYKE, "Luonnonmukaiset ohitusuomat ja kalatiet", .Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesistöjen_kunnostus/virtavesien_kunnostus/luonnonmukaiset_ohitusuomat_ja_kalatiet (viitattu 5. lokakuuta 2022).
- [6] C. Katopodis, J. A. Kells, ja M. Acharya, "Nature-Like and Conventional Fishways: Alternative Concepts?", Canadian Water Resource Journal, 2001, Saatavissa: doi: 10.4296/cwrj2602211.
- [7] Suomen ympäristökeskus, SYKE, "Tekniset kalatietyypit, ympäristö.fi liitedokumentti". [Verkossa]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/download/Tekniset_kalatietyypit_ymparistofi_liitedokumentti.pdf/%7BDC44EC1E-645A-4516-921A-0B14BFE730AA%7D/119461
- [8] E. O. Calles ja L. A. Greenberg, "The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Emån", Ecology of Freshwater Fish, 2007. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00210.x>
- [9] J. Jormola, H. Harjula, ja A. Sarvilinna, Luonnonmukainen vesirakentaminen, Uusia näkökulmia vesistösuunnitteluun. Suomen ympäristö, 2003.
- [10] S. Koljonen, "Kalatiestä kohti koko virtavesiympäristön huomioivaa ratkaisua". [Verkossa]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/download/Kalatiesta_kohti_koko_virtavesiympariston_huomioivaa_ratkaisua_Koljonen_Saijapdf/%7B47182210-6DBA-4397-AD9D-7CB9BC103E8D%7D/149689
- [11] C. M. Bunt, T. Castro-Santos, ja A. Haro, "Performance of Fish Passage Structures at Upstream Barriers to Migration", River Research and Application, 2012, Saatavissa: <https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1002/rra.1565>
- [12] D. W. Roscoe ja S. G. Hinch, "Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions", Fish and Fisheries, doi: 10.1111/j.1467-2979.2009.00333.x.
- [13] C. M. Bunt, T. Castro-Santos, ja A. Haro, "Reinforcement and Validation of the Analyses and Conclusions Related to Fishway Evaluation Data from Bunt et al.: 'Performance of Fish Passage Structures at Upstream Barriers to Migration'", River Research and Application, 2016, doi: 10.1002/rra.3095.
- [14] H. Hershey, "Updating the consensus on fishway efficiency: A meta-analysis", Fish and Fisheries, doi: 10.1111/faf.12547.
- [15] M. J. Noonan, J. W. A. Grant, ja C. D. Jackson, "A quantitative assessment of fish passage efficiency", Fish and Fisheries, 2012, doi: 10.1111/j.1467-2979.2011.00445.x.
- [16] T. E. Venus, N. Smialek, J. Pander, A. Harby, ja J. Geist, "Evaluating Cost Trade-Offs between Hydropower and Fish Passage Mitigation", Sustainability, 2020, doi: 10.3390/su12208520.
- [17] L. Järvenpää, J. Jormola, ja S. Tammela, "Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistössä – Lohen palauttaminen Oulujokeen". Suomen ympäristökeskus, 2010.

- [18] K. Carlström, "Sammanställning av kostnader för fiskvägar". Vattenfall, 2017.
- [19] L. Persson ja K. Leonardsson, "Utformning och uppföljning av fiskpassagelösningar". Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies, 2020. [Verkossa]. Saatavissa: https://pub.epsilon.slu.se/22170/1/persson_l_et_al_210209.pdf
- [20] "Euro to Swedish Krona Spot Exchange Rates for 2017". <https://www.exchangerates.org.uk/EUR-SEK-spot-exchange-rates-history-2017.html> (viitattu 14. marraskuuta 2022).
- [21] "Åtgärds-kostnader för miljöåtgärder". Anthesis Enveco AB, 2017. Viitattu: 21. marraskuuta 2022. [Verkossa]. Saatavissa: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/23357/7-iv-atgardskostnader-for-miljoatgarder.pdf>