



**Aalto-universitetet**  
Högskolan för  
ingenjörsvetenskaper

Axel Andersson

**Fiskvägar vid småskaliga vattenkraftverk – lösningar för fiskars  
uppvandring och nedvandring vid kraftverk i Saarijärvileden**

Diplomarbete som inlämnats för granskning som  
lärdomsprov för avläggande av diplomingenjörsexamen.

Esbo 25.5.2015

Övervakare: Professor Harri Koivusalo

Handledare: FD Erik Sparrevik

---

**Författare** Axel Andersson

---

**Titel** Fiskvägar vid småskaliga vattenkraftverk – lösningar för fiskars uppvandring och nedvandring vid kraftverk i Saarijärvileden

---

**Utbildningsprogram** Samhälls- och miljöteknik

---

**Huvud-/biämne** Vatten- och miljöteknik

**Kod** Yhd-12

---

**Övervakare** Prof. Harri Koivusalo

---

**Handledare** FD Erik Sparrevik

---

**Datum** 25.5.2015

**Sidantal** 90

**Språk** Svenska

---

### Sammandrag

Dammar vid vattenkraftverk är nödvändiga för att kontrollera vattennivån i och utflödet ur vattenmagasin. En följd av uppdamningen av vattendrag till förmån för vattenkraftproduktion är att vandrande fiskstammars vandringsrutter avbryts. Uppströmsvandrande fisk kan inte längre nå sina lekområden och nedströmsvandrande fisk tvingas till en riskfylld passage genom vattenkraftverkens turbiner. År 2012 lät Jord- och skogsbruksministeriet utarbeta en fiskvägsstrategi som identifierar kraftverken i Leuhunkoski och Hietamankoski i Saarijärvileden i Päijännes norra avrinningsområden som spetsobjekt som bör prioriteras för återskapandet av naturliga vandringsmöjligheter för insjööringen (*Salmo trutta* m. *lacustris* L.).

Vid två tillfällen har fiskvägar för uppströmsvandring planerats för kraftverken Leuhu (MQ 20,45 m<sup>3</sup>/s) och Hietama (MQ 30,26 m<sup>3</sup>/s), det senaste år 2006. Syftet med detta diplomarbete är att utreda huruvida de existerande planerna för fiskvägar vid Leuhu och Hietama är förenliga med det lokala vandringsfiskbeståndet och de rådande hydrologiska förutsättningarna i vattendraget, samt om det är nödvändigt att anpassa de planerade fiskvägarna. Eftersom de planerade fiskvägarna endast omfattar uppströmsvandring utreder denna studie även huruvida åtgärder för förbättrad nedströmspassage bör vidtas vid kraftverken. Dessutom undersöker studien det inkomstbortfall som fiskvägarnas vattenföring orsakar.

Studien finner att de planerade fiskvägarna vid både Leuhu och Hietama är förenliga med vandringsfiskbeståndet och de hydrologiska förutsättningarna. Hursomhelst är fiskvägarnas attraktion av uppströmsvandrande fisk något osäker. De planerade fiskvägarnas vattenföring ger ett lockvatten vid Leuhu och Hietama som motsvarar 2,7 % respektive 2,4 % av det totala medelflödet vid vardera kraftverk under säsongen för uppströmsvandring. Ett lockvatten motsvarande 5 % av medelflödet under säsongen för uppströmsvandring torde höja sannolikheten för anlockning av vandrande fisk och bör användas för att förbättra fiskvägarnas funktion, trots att det ger upphov till ett större inkomstbortfall än den planerade vattenföringen. Vid Hietama kan avsnitt av den planerade tekniska fiskvägen ersättas med naturlika avsnitt för att höja passageeffektiviteten och minska anläggningskostnaderna. Den förväntade mortaliteten vid turbinpassage, och således vandringsförlusten, för fullvuxen öring vid Leuhu och Hietama är 65 % respektive 35 %, och för öringssmolt 20 % respektive 11%. Den kumulativa vandringsförlusten för fullvuxen öring är 77 % och för öringssmolt 29 %. Den förväntade vandringsförlusten är så pass hög att åtgärder för nedströmspassage bör vidtas.

---

**Nyckelord** Fiskvägar, fiskvandring, uppvandring, nedvandring, vandringsförlust

---

---

**Tekijä** Axel Andersson

---

**Työn nimi** Kalatiet pienvesivoimalaitoksilla – ratkaisuja kalojen ylösvaellukseen ja alasvaellukseen vesivoimalaitoksilla Saarijärven reitillä

---

**Koulutusohjelma** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

---

**Pää-/sivuaine** Vesi- ja ympäristötekniikka**Koodi** Yhd-12

---

**Työn valvoja** Prof. Harri Koivusalo

---

**Työn ohjaaja(t)** FT Erik Sparrevik

---

**Päivämäärä** 25.05.2015**Sivumäärä** 90**Kieli** Ruotsi

---

### Tiivistelmä

Padot vesivoimalaitosten yhteydessä ovat tarpeellisia järven vedenpinnan säännöstelyn ja juoksutuksen säätämisen kannalta. Vesistön patoamisen seurauksena on kuitenkin vaelluskalakantojen vaellusreittien katkeaminen. Ylösvaeltavat kalat eivät pääse lisääntymisalueelleen ja alasvaeltavat kalat joutuvat vaaralliseen kulkuun voimalaitosten turbiinien läpi. Maa- ja metsätalousministeriön vuonna 2012 teettämässä Kansallisessa kalatiestrategiassa tunnistetaan kärkikohteina Leuhunkosken ja Hietamankosken vesivoimalaitokset, ja järvitaimenen (*Salmo trutta* m. *lacustris* L.) luonnollisen vaellusmahdollisuuden palauttamisessa Päijänteen pohjoisella valuma-alueella sijaitsevalla Saarijärven reitillä.

Kalateitä on suunniteltu kahdessa eri vaiheessa kalojen ylösvaellukselle vesivoimalaitoksilla Leuhu (MQ 20,45 m<sup>3</sup>/s) ja Hietama (MQ 30,26 m<sup>3</sup>/s), viimeksi vuonna 2006. Tässä työssä pyritään selvittämään miten olemassa olevat kalatiesuunnitelmat sopivat yhteen vaelluskalakannan ja hydrologisten olosuhteiden kanssa, ja mikä on tarve suunnitelmien muutoksille. Koska suunnitellut kalatiet kattavat ainoastaan ylösvaelluksen, työssä selvitetään toimenpiteetarpeet alasvaellukselle. Lisäksi työssä selvitetään kalateiden aiheuttamaa tuotantotappiota.

Sekä Leuhulle, että Hietamalle suunnitellut kalatiet ovat yhteensopivia vaelluskalakannan ja vesistön hydrologisten olosuhteiden kanssa. Ylös vaeltavien kalojen hakeutuminen kalateihin on kuitenkin hiukan epävarmaa. Suunniteltujen kalateiden virtaama tuottaa houkutusvirtauksen, joka Leuhulla vastaa 2,7 %, ja Hietamalla 2,4 % keskivirtaamasta ylösvaelluskaudella. Suurempi houkutusvirtaus joka vastaa 5 % keskivirtaamasta ylösvaelluskaudella korottaisi vaelluskalojen kalateihin hakeutumisen todennäköisyyttä. Suurempi houkutusvirtaus on suositeltava kalatien toimivuuden kannalta, isommista tulomenetyksistä huolimatta. Osuuksia Hietamalle suunnitellusta teknisestä kalatiestä voidaan rakentaa luonnonmukaisina osuuksina. Tämä parantaisi läpikulkeutumisen tehokkuutta ja vähentäisi rakennuskustannuksia. Turbiinin läpikulun odotettu kuolleisuus, eli vaellustappio, on aikuisille taimenille 65 % Leuhulla ja 35 % Hietamalla, ja taimensmolteille 20 % Leuhulla ja 11 % Hietamalla. Alasvaelluksen kumulatiivinen vaellushäviö Leuhunkosken ja Hietamankosken läpi on 77 % aikuisille taimenille ja 29 % taimensmolteille. Odotettavissa olevat vaellushäviöt ovat niin merkitseviä, että alasvaellukseen liittyviin toimenpiteisiin on ryhdyttävä kummallakin laitoksella.

---

**Avainsanat** Kalatie, kalavaellus, ylösvaellus, alasvaellus, vaellushäviö

---

---

**Author** Axel Andersson

---

**Title of thesis** Fishways at Small-scale Hydroelectric Power Plants – Solutions for Upstream and Downstream Migration in the Saarijärvi Water Course

---

**Degree programme** Civil and Environmental Engineering

---

**Major/minor** Water and Environmental Engineering**Code** Yhd-12

---

**Thesis supervisor** Prof. Harri Koivusalo

---

**Thesis advisor(s)** PhD. Erik Sparrevik

---

**Date** 25.05.2015**Number of pages** 90**Language** Swedish

---

### Abstract

Dams in the proximity of hydroelectric power plants are necessary to regulate water level and control discharge from the water storage. A consequence of the damming of a watercourse is the disruption of natural stream connectivity and fish migration routes. The upstream migrating fish species are unable to reach their natural spawning sites and the downstream migrating species are forced to a dangerous passage through the power plant turbines. In 2012, the Ministry of Agriculture and Forestry published The National Fish Passage Strategy that identifies the power plants in Leuhunkoski and Hietamankoski as priority objects for the restoration of natural migration routes for the brown trout (*Salmo trutta m. lacustris* L.).

There are two existing plans of fishways for upstream migration at the power plants Leuhu (MQ 20,45 m<sup>3</sup>/s) and Hietama (MQ 30,26 m<sup>3</sup>/s), and the latest plans were made in 2006. The objective of this thesis is to investigate whether the existing fishway plans are compatible with the migrating fish stock and the prevailing hydrological conditions, and whether it is necessary to make adjustments to the planned fishways. Since the fishway plans comprise only upstream migration, the study investigates whether measures to improve downstream migration are necessary. Furthermore, the study investigates the loss of income due to the discharge diverted through the fishways.

The study concludes that the planned fishways for both Leuhu and Hietama are compatible with the migrating fish stock and the hydrological conditions. The attraction of upstream migrating fish is, however, somewhat unsure. The planned discharges in the fishways create attraction flows, which are at Leuhu and Hietama equal to 2,7 % and 2,4 %, respectively, of the total average flow during the upstream migration season. A higher attraction flow equal to 5 % of the total average flow during the upstream migration season should increase the probability of migrating fish to find and enter the fishway. This increased discharge, with increased attraction flow, should be used to increase the fishway passage efficiency, regardless of the increased loss of income it causes. At Hietama, sections of the planned technical fishway can be constructed as nature-like fishways to increase the passage efficiency and to lower the construction costs. The expected mortality for adult brown trout passing the turbines, and thus the migration loss, at Leuhu and Hietama are 65 % and 35 %, respectively. For brown trout smolt, the expected mortalities are 20 % and 11 %, respectively. The cumulative migration loss over both power plants for adults and smolts are 77 % and 29 %, respectively. Hence, measures for improved downstream migration are necessary.

---

**Keywords** Fishway, fish migration, upstream migration, downstream migration, migration losses

---

## Författarens tack

Detta diplomarbete gjordes på uppdrag av Vattenfall Oy. Min handledare FD Erik Sparrevik vid Vattenfall vill jag tacka för konstruktiv respons och för viktiga insikter om arbetets ämne. Jag vill tacka min övervakare prof. Harri Koivusalo vid institutionen för samhälls- och miljöteknik vid Aalto-universitetet för hans stöd och akademiska vägledning under arbetets gång. Jag vill även tacka min chef Erik Mälkki för möjligheten att skriva mitt diplomarbete om ett mycket intressant och aktuellt ämne, samt för nyttig respons och vägledning under arbetets gång. Dessutom vill jag tacka mina kollegor på Vattenfall för en trevlig arbetsmiljö och för den hjälp som de bidragit med.

Jag vill tacka Mari Nykänen vid Natur-, trafik- och miljöcentralen i Mellersta Finland för hennes hjälp beträffande fiskbeståndet i Saarijärvileden. Jag vill även tacka Kjell Leonardsson vid Sveriges lantbruksuniversitet för att han låtit mig använda sin modell för beräkning av vandringsförluster vid kraftverk. Slutligen vill jag tacka Dina, min familj och mina vänner för tålamod, stöd och uppmuntran under arbetets gång.

Esbo, 25.5.2015

Axel Andersson

## Innehållsförteckning

Sammandrag	
Tiivistelmä	
Abstract	
Författarens tack	
Innehållsförteckning .....	6
Förkortningar .....	7
Figurförteckning.....	8
Tabellförteckning .....	10
1. Inledning .....	11
1.1. Bakgrund .....	11
1.2. Motivering.....	11
1.3. Finlands fiskvägsstrategi .....	12
1.4. Syfte och målsättning .....	12
1.5. Begränsning.....	13
2. Teori och litteraturöversikt.....	14
2.1. Fiskvandring .....	14
2.2. Nedvandring i fiskväg.....	17
2.3. Uppvandring i fiskväg.....	23
2.4. Fiskvägstyper för uppströmspassage .....	26
2.5. Fallstudier.....	31
3. Material och lägesbeskrivning .....	33
3.1. Beskrivning av vattendraget och avrinningsområdet .....	33
3.2. Vattendragets hydrologiska egenskaper .....	37
3.3. Beskrivning av kraftverken.....	43
3.4. Befintliga planer för uppvandring.....	47
3.5. Vattendragets fiskbestånd .....	52
3.6. Målarter och deras egenskaper beträffande vandring i fiskväg .....	54
4. Studiens forskningsmetodik.....	58
5. Resultat .....	63
5.1. Befintliga planer för uppvandring.....	63
5.2. Alternativa lösningar för uppvandring.....	65
5.3. Nedvandring.....	68
6. Resultatgranskning och diskussion .....	74
6.1. Uppvandring.....	74
6.2. Nedvandring.....	77
6.3. Kompletterande åtgärder .....	79
7. Slutsats och rekommendation .....	82
Referenser.....	84

## Förkortningar

FN	Förenta nationerna
ICPDR	International Commission for the Protection of the Danube River
ISVO	Itä-Suomen vesioikeus – Östra Finlands vattendomstol
NMFS	National Marine Fisheries Service
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NTM-centralen	Närings-, trafik- och miljöcentralen
SYKE	Suomen ympäristökeskus – Finlands miljöcentral
VFFI	Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet

## Figurförteckning

Figur 1. De vanligaste vattenturbintyperna a) Kaplan-turbin, b) Francis-turbin och c) Pelton-hjul (Voith, 2015). .....	16
Figur 2. Funktionsprincipen för ett $\alpha$ -galler, sett från sidan, där vattenflödet delas upp i en parallell komponent och en normalkomponent. Baserat på Calles m.fl. (2013).....	18
Figur 3. Funktionsprincipen för ett $\beta$ -galler, sett ovanifrån, där vattenflödet delas upp i en parallell komponent och en normalkomponent. Baserat på Calles m.fl. (2013).....	19
Figur 4. a) Ett vanligt avledningsgaller där spjälornas placering i förhållande till flödesriktningen beror på hela gallrets placering. b) Ett Louver-galler där spjälorna är placerade vinkelrätt mot flödesriktningen, oberoende av gallrets placering. Baserat på Calles m.fl. (2013). .....	20
Figur 5. En fiskväg av omlöpstyp runt ett vandringshinder. ....	26
Figur 6. Tvärsnitt av de naturliga fiskvägstyperna bassängtrappa (a) och strömfåra (b). Baserat på Degerman (2008). .....	27
Figur 7. Naturlig bassängtrappa sedd ovanifrån. ....	28
Figur 8. Kammarrappa med trösklar (a) och underströmningstrappa (b). I a) jämförs det fördelaktiga dykande flödet med det vågformiga flödet. (Degerman, 2008.) .....	29
Figur 9. Slitsrännor med enkel och dubbel slits. (Degerman, 2008.).....	30
Figur 10. Denlränna med de uppströms vinklade lamellerna. (Degerman, 2008.).....	30
Figur 11. Saarijärvidens avrinningsområde (a) och dess läge i Finland (b). Kartor från Vattenkarta (SYKE, 2015a). .....	34
Figur 12. Medelvattentemperaturen (T) i Pääjärvi under tiden 19.4-17.12 åren 2000-2014. Gränsen för vandring går vid 7°C. ....	36
Figur 13. Karta över de reglerade sjöarna Saarijärvi och Kiimasjärvi (mörka) och kraftverken Leuhu och Hietama (röda punkter). Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c). .....	37
Figur 14. Saarijärvis hydrograf med medelvärden för vattennivån (W) i Saarijärvi och avtappningen (Q) vid kraftverket Leuhu 1975-2014. De svarta linjerna utgör regleringsgränserna. ....	38
Figur 15. Medelvattennivån (W) i Saarijärvi under naturliga (1910-1960) (Miljöförvaltningen, 2015a) och reglerade (2005-2014) förhållanden. Det orangea intervallet under sommaren motsvarar sjöns överenskomna ideala vattennivå. ....	39
Figur 16. Medelflödet (Q) vid Leuhunkoski under naturliga (1910-1960) (Miljöförvaltningen, 2015a) och reglerade (2005-2014) förhållanden.....	40
Figur 17. Kiimasjärvis hydrograf med medelvärden för vattennivån (W) i Kiimasjärvi (1990-2014) och avtappningen (Q) vid kraftverket Hietama (2000-2014). ....	41
Figur 18. Medelvattennivån (W) under naturliga (1910-1960) och reglerade (2005-2014) förhållanden, samt regleringsgränser.....	42
Figur 19. Medelflödet (Q) i Hietamankoski under naturliga (1910-1960) och reglerade (2005-2014) förhållanden.....	43
Figur 20. Årlig energiproduktion vid vattenkraftverken Leuhu och Hietama 2010-2014.....	44
Figur 21. Nedströms vattenkraftverket i Leuhunkoski. (Foto: Axel Andersson.).....	44
Figur 22. Terrängkarta över Leuhunkoski. Det skuggade området ägs av Vattenfall. Kraftverket är den L-formade byggnaden. Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c).....	45
Figur 23. Nedströms vattenkraftverket i Hietamankoski. (Foto: Axel Andersson.) .....	46



Figur 24. Terrängkarta över Hietamankoski. Det skuggade området ägs av Vattenfall. Kraftverket är den nästintill rektangulära byggnaden. Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c). .....	47
Figur 25. Fiskvägarnas dragning vid Leuhu (a) och Hietama (b) enligt de befintliga planerna. Grå färg indikerar teknisk fiskväg och blå naturlig fiskväg. Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c). .....	48
Figur 26. De planerade fiskvägarnas höjd-längd-förhållanden.....	48
Figur 27. Ungefärlig placering av den planerade fiskvägen i Leuhunkoski, där de gula cirklarna föreställer den fiskvägens naturlika bassänger och den lila rampen föreställer fiskvägens tekniska avsnitt. (Foto och grafik: Axel Andersson.).....	49
Figur 28. Ritning över den planerade fiskvägen vid Leuhu (Ecoriver, 2006a).....	50
Figur 29. Ungefärlig placering av den planerade tekniska fiskvägen i Hietamankoski. (Foto och grafik: Axel Andersson.) .....	50
Figur 30. Ritning över den planerade fiskvägen vid Hietama. De täta höjdkurvorna demonstrerar den branta stranden och den branta dammen. Servicevägen bryter höjdkurvorna öster om kraftverket (Ecoriver, 2006b).....	51
Figur 31. Insjööring (VFFI, 2007). .....	55
Figur 32. Id (Sundman, 2015). .....	56
Figur 33. Sik (Sundman, 2015). .....	56
Figur 34. Flödesschema över studiens forskningsmetodik och målsättning. ....	58
Figur 35. Flödesschema över studiens forskningsmetodik, med inkomstbortfall och förutsättningar för fiskvandring som resultat.....	60
Figur 36. Genomsnittlig inkomstbortfall till följd av de planerade fiskvägarna baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014.....	64
Figur 37. Genomsnittlig produktionsförlust till följd av fiskvägslösningen där insjööringen prioriteras baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014.....	66
Figur 38. Den planerade fiskvägen vid Hietama där tekniska avsnitt ersätts med naturlika delar. Dragningen av de naturlika delarna är riktgivande. (Grafik: Axel Andersson, karta: Ecoriver, 2006.).....	67
Figur 39. Den förväntade vandringsförlusten för fisk av olika längd vid turbinpassage vid Leuhu. ....	69
Figur 40. Den förväntade vandringsförlusten för fisk av olika längd vid turbinpassage vid Hietama.....	70
Figur 41. Grov skiss av åtgärdsförslag med 1) avledning, 2) ansamling och 3) flyktväg och passage för nedströmspassage vid Leuhu. (Grafik: Axel Andersson, kartor från Ecoriver (2006a) och Karpalo-tjänsten (Miljöförvaltningen, 2015c).).....	71
Figur 42. Grov skiss av åtgärdsförslag med 1) avledning, 2) ansamling samt 3) flyktväg och passage för nedströmspassage vid Hietama. (Grafik: Axel Andersson, kartor från Ecoriver (2006b) och Karpalo-tjänsten (Miljöförvaltningen, 2015b).).....	72
Figur 43. Den planerade tekniska fiskvägens och de alternativa (1, 2, 3) fiskvägslösningarnas höjd-längd-förhållanden vid Hietama. De horisontella linjerna motsvarar de tekniska passagerna under servicevägen och genom dammen. ....	77

## Tabellförteckning

Tabell 1. Kriterier för en funktionell och effektiv fiskväg för uppvandring.....	24
Tabell 2. Fiskvägstyper och deras vanligaste vattenföring och lutning. ....	31
Tabell 3. Dagar då vattentemperaturen på våren överskrider, och på hösten underskrider vandringsgränsen.....	36
Tabell 4. Genomsnittliga låg-, medel- och högflöden för olika vandringsperioder i Leuhunkoski åren 1975-2014.....	39
Tabell 5. Genomsnittliga låg-, medel- och högflöden för olika vandringsperioder vid Hietamankoski åren 2000-2014.....	41
Tabell 6. Kraftverket Leuhus relevanta egenskaper för mortaliteten för fisk vid turbinpassage. ....	45
Tabell 7 Kraftverket Hietamas relevanta egenskaper för mortaliteten vid turbinpassage. ....	46
Tabell 8. Egenskaper för de befintliga fiskvägsplanerna för Leuhu och Hietama.....	52
Tabell 9. Fiskbeståndet i Saarijärvileden enligt Fiskatlas (Naturresursinstitutet, 2015a) och Piilola (2007a). Livskraftsstatusen i Piilolas (2007a) material är graderad enligt 5 = utmärkt livskraft och 0 = ingen livskraft. Endast förekommande arter beaktas. ....	53
Tabell 10. Målarternas relevanta egenskaper för vandring i fiskväg.....	57
Tabell 11. Den planerade fiskvägens inverkan på vattentillgången vid Leuhu under olika tider av året.....	63
Tabell 12. Den planerade fiskvägens inverkan på vattentillgången vid Hietama under olika tider av året. ....	64
Tabell 13. Genomsnittlig produktionsförlust för olika perioder av året till följd av de planerade fiskvägarna baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014. ....	65
Tabell 14. Fiskvägens inverkan på de hydrologiska förutsättningarna vid Leuhu med en vattenföring av 5 % av medelflödet under tiden 16.8.-31.10.....	65
Tabell 15. Fiskvägens inverkan på de hydrologiska förutsättningarna vid Hietama med en vattenföring av 5 % av medelflödet under tiden 16.8.-31.10.....	66
Tabell 16. Genomsnittlig produktionsförlust till följd av fiskvägslösningen där insjööring prioriteras baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014.....	67
Tabell 17. Egenskaper för de avsnitt av den tekniska fiskvägen vid Hietama som kan ersättas med naturlig fiskväg.....	68
Tabell 18. Den kumulativa förväntade vandringförlusten vid Leuhu och Hietama. ....	70
Tabell 19. Det fortlöpande inkomstbortfall som lösningarna för uppströms, både befintliga och alternativa, och nedströms vandring sammanlagt ger upphov till vid Leuhu och Hietama.....	73

# 1. Inledning

## 1.1. Bakgrund

För att försöka minska den globala uppvärmningen och dess negativa effekter på miljön håller man inom energiproduktionen på att övergå från användandet av fossila bränslen till förnyelsebara energikällor. De senaste åren har avtal på internationell nivå (FN, 1992; FN, 1998) ingåtts om att minska utsläppen av växthusgaser och Europeiska unionen (Europeiska kommissionen, 2015) har gett liknande direktiv och målsättningar för sina medlemsländer. Den i princip utsläppsfria vattenkraften är redan nu en viktig energikälla och kommer bli allt viktigare i framtiden. I sig utnyttjar vattenkraften en förnyelsebar resurs tack vare vattnets naturliga kretslopp i atmosfären. Dessutom kommer vattenkraftens betydelse som kompenserande reglerkraft att öka då utnyttjandet av andra naturligt förekommande förnyelsebara resurser, till exempel sol och vind, ökar.

Efter andra världskriget rådde det ett stort behov av energi i Finland och för att möta detta behov skedde en omfattande utbyggnad av vattenkraften (Kemijoki, 2014). Under 1960-talet stod vattenkraften för runt 70 % av Finlands elproduktion (Statistikcentralen, 2014). I Kymmene älv började man utnyttja vattenkraft redan på 1800-talet och under 1960-talet byggdes kraftverksdammar i bland annat Leuhu och Hietama i Saarijärvi-leden i älvens norra vattendragsområde i Mellersta Finland (Vattenförvaltningen, 1980). Introduktionen av dammar innebar att energiproduktionen kunde regleras samt att översvämningar till följd av årliga flödesvariationer kunde behärskas i större utsträckning än tidigare. Hursomhelst innebar uppdamningen av forsarna att det tidigare fria flödet i vattendraget avbröts vilket även ledde till att vandrande fiskarters naturliga vandringsruttor bröts. Dessutom ledde uppdamningen till att närliggande habitat för fiskbeståndet förstördes (NTM-centralen, in press).

## 1.2. Motivering

De drastiskt förändrade ekologiska förhållandena i vattendraget i närheten av vattenkraftverken Hietama och Leuhu utgör ett stort hot mot fiskbeståndets naturliga reproduktionscykel. Vandrigen utgör viktiga skeden i fiskens livscykel. Uppvandring har varit omöjlig vid Leuhu och Hietama sedan dammarnas introduktion, medan nedvandring fortfarande är möjlig. Den medför dock betydande risker för fisken då den enda vägen att ta sig nedåt i vattendraget är genom kraftverkens turbiner. Om fisken inte dör i själva passagen genom turbinerna finns det risk att den dör nedströms kraftverket till följd av den omtumlande turbinpassagen (Calles m.fl., 2013).

Det har beslutits att anlägga fiskvägar vid kraftverken Leuhu och Hietama och det finns även planer för fiskvägar vid båda kraftverken (Ecoriver, 2006). Planerna saknar dock en omfattande studie av vattendraget och vandringsbeståndet, och det är oklart vilka uppgifter planerna grundas på. Dessutom har forskning i ämnet ägt rum sedan utarbetandet av planeran som kan utnyttjas för att uppdatera och förbättra de befintliga planerna.

### 1.3. Finlands fiskvägsstrategi

I samband med uppgörandet av vattenvårdsplanerna för Finlands vattendrag (Miljöförvaltningen, 2014d), uppdagades att vandringsfiskbeståndets tillstånd hade försvagats (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). På uppdrag av Jord- och skogsbruksministeriet utarbetades en strategi med målsättningen att åter stärka vandringsfiskbeståndet i Finland. Strategin går ut på att återställa vandringsmöjligheter, och genom denna åtgärd, återställa fiskens naturliga reproduktionscykel. Anläggandet av fiskvägar vid vandringshinder är en viktig och central del av uppfyllandet av strategins målsättning. Strategin omfattar även identifiering och prioritering av vandringshinder, vid vilka återställandet av vandringsmöjligheter vore lämpligast. I denna process har kraftverken Leuhu och Hietama klassificerats som spetsobjekt för anläggandet av fiskvägar, och insjöringen som den viktigaste arten i vattendraget. Dessutom pekas Saarijärvisedens mellersta lopp ut för potentiella nya lekområden.

### 1.4. Syfte och målsättning

Vattenkraften är och kommer fortsätta vara en viktig energikälla. Hursomhelst har vattenkraften vissa negativa effekter på miljön på grund av uppdämningen av vattendrag, något som kraftigt påverkar vandrande fiskarters livscyklar. Syftet med studien är att hitta fiskvägslösningar för kraftverksdammarna i Leuhunkoski och Hietamankoski som i enlighet med fiskvägsstrategins målsättning åter öppnar upp vandringsmöjligheterna för fiskbeståndet i vattendraget. Studien utgår från rådande hydrologiska förhållanden och fiskbeståndets vandringsbeteende. Dessa hydrologiska och ekologiska förutsättningar jämförs med olika fiskvägsalternativ och deras tekniska egenskaper. Dessutom undersöks kostnaderna för de olika fiskvägsalternativen, samt det inkomstbortfall som de ger upphov till på grund av minskad produktion. Målsättningen är att identifiera den ekologiskt, tekniskt och ekonomiskt optimala fiskvägslösningen för vardera kraftverk. Detta förverkligas genom en avvägning mellan energiproduktionens och fiskvandringens anspråk på vattentillgångarna i valet av fiskvägslösning.

### 1.5. Begränsning

Eftersom beslut redan är fattat att anlägga fiskvägar vid kraftverken Hietama och Leuhu utreds inga alternativ till fiskvägar för förbättrandet av vandringsmöjligheten i Saarijärvisedens vattendrag, till exempel rivning av dammarna. Studien behandlar endast de fiskvägsalternativ som kan anses vara rimliga att förverkliga vid ifrågavarande kraftverk, utgående från dess och dess omgivnings förutsättningar, och kostnader. Vidare koncentreras studien till fiskvägslösningar som omfattar bästa möjliga teknik. Studien går inte i detalj in på planeringen av de fiskvägsalternativ som enligt studien anses som mest ändamålsenliga.

## 2. Teori och litteraturöversikt

I detta kapitel behandlas de teoretiska förutsättningarna och faktorerna för fiskvandring, både som en del av fiskens livscykel och i fiskvägar. Vidare presenteras olika typer av fiskvägar och deras särskilda egenskaper. Avslutningsvis presenteras relevant forskning i ämnet, tillsammans med fallstudier med motsvarande förutsättningar som vid Leuhu och Hietama.

Den teoretiska beskrivningen av lösningar för både uppströms och nedströms passage omfattar i huvudsak det som Calles m.fl. (2013) anser vara bästa möjliga teknik. Dessutom behandlas andra publikationer som erbjuder riktlinjer för effektiv fiskpassage, bland andra Gough m.fl. (2012), NOAA (2012) och NMFS (2011). Vidare har alternativ som inte ansetts vara av bästa möjliga teknik, eller i övrigt är orimliga för de ifrågavarande kraftverken och fiskvägarna, uteslutits ur studien.

### 2.1. Fiskvandring

Fisk vandrar för att hitta optimala habitat för sina olika livsskederna (Näslund m.fl., 2013) och för att uppfylla sin livscykel (Gough m.fl., 2012). Den finns flera olika typer av vandring men de huvudsakliga orsakerna bakom fiskvandring är att hitta bättre förutsättningar för tillväxt, skydd mot faror, och reproduktion. Generellt kan man hävda att fisk vandrar från sin födelseplats för att växa till sig, och sedan återvänder för att fortplanta sig då den vuxit till sig och blivit könsmogen. Sammantaget torde dessa drivkrafter öka reproduktionsframgången bland alla arter (Näslund m.fl., 2013). En följd av vandring är spridning då individer och populationer koloniserar nya områden, men spridning kan även ske slumpmässigt, till exempel då nykläckta yngel driver med vattenflöden (Gough m.fl., 2012).

#### 2.1.1. Drivkrafter bakom fiskvandring

Som en del av sin naturliga livscykel vandrar vissa arter tusentals kilometer från sjöar till hav, medan andra endast vandrar mellan intilliggande sjöar (Valkeajärvi m.fl., 2013). Beroende på vilken drivkraft som ligger bakom vandringen, initieras den av olika faktorer. Vandring till förmån för tillväxt sker då tillgången till föda i ett habitat är låg och fisk vandrar till områden med fördelaktigare tillgång till föda, vilket i praktiken betyder större mängd föda och mindre konkurrens. Faror som initierar vandring kan vara direkt hot från predatorer men även hot som härstammar av fysiska förhållanden och vattenkvaliteten, till exempel extrema temperaturer, höga och låga flöden, torka, samt salinitet. Vandring till följd av dessa drivkrafter kan sträcka sig över både korta och långa avstånd. Både tidpunkten för, och varaktigheten av, vandring till följd av jakt på föda och flykt från ofördelaktiga förhållanden är svåra att förutse eftersom de

initieras av plötsliga och hastiga förändringar i förhållandena, och varar tills fördelaktigare förhållanden hittats. (Näslund m.fl., 2013.)

Den mest betydelsefulla vandringen är lekvandringen. Efter att fisken vuxit till sig, undvikit faror och mognat, vandrar den till en lämplig lekplats för att föröka sig. Lekvandringen kan variera mellan arter, populationer, och till och med mellan individer inom samma population (Gough m.fl., 2012), men vanligtvis är den synkroniserad och omfattar många individer. De flesta lekvandrande individerna återvänder till det område de själva är födda på, vilket benämns som återvandring (Näslund m.fl., 2013). Lekvandringen styrs, liksom jakten på föda och flykten undan hot, av externa faktorer som temperatur, ljus, vattenflöde och vattenkvalitet (ICPDR, 2013). Dessutom beror lekvandringens initiering på interna faktorer som fiskens hormonella status, könsmognad, endogena processer, samt dess individuella reaktion på omgivningens förhållanden, det vill säga de externa faktorerna (ICPDR, 2013; Näslund m.fl., 2013). Eftersom de externa faktorerna varierar med årstiderna, speciellt i Finland, är de olika typerna av vandring ofta starkt förknippade med årstidernas egenskaper, och utlöses av givna artspezifika gränsvärden, till exempel vattentemperatur (Gough m.fl., 2012; ICPDR, 2013).

#### 2.1.2. Vandringsbeteende

Fisk använder alla sina sinnen för att vandra och orientera sig, både mellan vattendrag och inom mindre vattenmassor (Näslund m.fl., 2013). Med bland annat sidolinjen identifierar fisken det starkaste flödet, och vandrar i första hand i dess motsatta riktning, framför allt vid uppströms vandring, medan synen används för att undvika närbelägna hinder och eventuella faror, och för att uppfatta om det är dag eller natt. Likväl som olika arter i olika livsskedet har olika simförmåga, varierar initieringsflödet som utlöser vandring mot flödesriktningen beroende på art och livsskede. Vid för höga eller för låga flöden, turbulens eller flera konkurrerande flöden kan vandring i önskvärd riktning försvåras eller helt utebli. Vid lekvandringen använder sig fisken av luktsinnet för att orientera sig tillbaka till sin födelseplats. Havsvandrande fisk navigerar med hjälp av jordens magnetiska fält. Sammanfattningsvis kan man säga att fiskens vandring, oberoende av vilken typ, är en reaktion på händelser och förändringar i dess omgivning och, är mest synkroniserad och förutsägbar då dessa beror på säsongsombyten (Näslund m.fl., 2013). (ICPDR, 2013.)

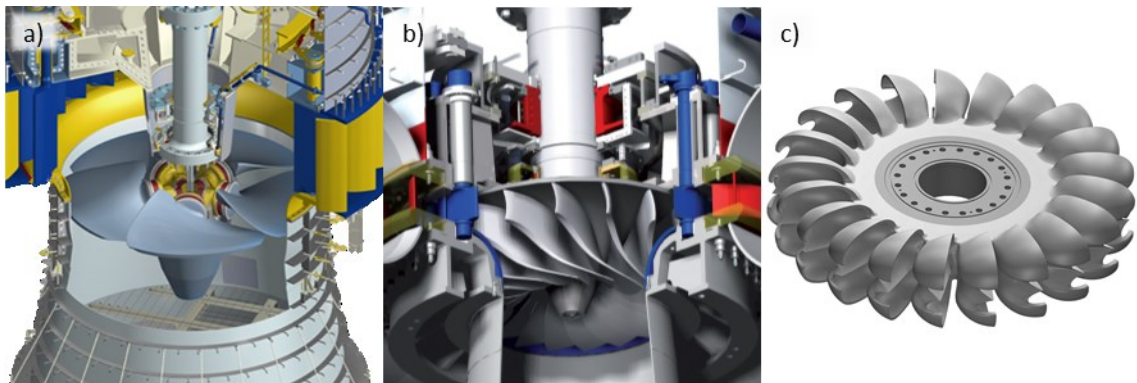
#### 2.1.3. Vandring i fiskväg

I vattendrag vars naturliga flöde avbrutits av en kraftverksdamm kan man anlägga fiskvägar för att lindra dammkonstruktionens skadliga inverkan på vattendraget och möjliggöra fiskvandring (Calles m.fl., 2012a). Det finns flera olika konstruktionstyper för fiskvägar (Degerman, 2008) men grundprincipen är att de vandrande fiskarterna ska kunna röra sig mellan de

vattenmassor som åtskiljs av dammen. För uppströmsvandring är en fiskväg en förutsättning för att hindret ska kunna passeras. För nedströmsvandring är en fiskväg ett betydligt säkrare alternativ än den riskfyllda passagen genom kraftverkets turbin (bl.a. Cada, 1997; Cada, 2001; Gustafsson, 2010). Det finns hursomhelst en rad olika faktorer som påverkar en fiskvägs funktion och många kriterier bör uppfyllas för att uppnå önskvärd effekt på fiskvandringen.

#### 2.1.4. Turbinpassage vid nedströmsvandring

Om inga åtgärder för förbättrad nedströmspassage har vidtagits är passage genom vattenkraftverkets turbin det enda möjliga alternativet. Om dammen är utrustad med spilluckor kan fisk passera genom dessa då de är öppna. Jämfört med andra alternativ att passera dammen är sannolikheten störst att fisk skadas eller dör vid turbinpassage (Schilt, 2007). Detta beror på att vandrande fisk utsätts för flera olika skaderisker, både direkt dödliga och med fördröjd dödlighet, då den passerar genom en kraftverksturbin (Calles m.fl., 2013). Passage genom en Kaplan-turbin (figur 1) är mindre riskfylld, med en direkt dödlighet på 5-10 %, än passage genom en Francis-turbin (figur 1), med en direkt dödlighet på 20-30 % (NOAA, 2012). Dödligheten för en Pelton-turbin (figur 1) kan förväntas vara 100 % (Cada, 2001). Det är viktigt att fästa uppmärksamhet vid de kumulativa effekterna av mortaliteten vid passage av flera kraftverksdammar och turbiner efter varandra i ett vattendrag (Calles m.fl., 2013), vilket är fallet vid Leuhu och Hietama.



**Figur 1. De vanligaste vattenturbinerna a) Kaplan-turbin, b) Francis-turbin och c) Pelton-hjul (Voith, 2015).**

Mekaniska skador uppstår till följd av slag, kollision, skrapning, malning och skjuvning (Cada, 1997). Kollisioner inträffar då fisken stöter mot kanter eller turbinväggarna, ofta på grund av turbulens. Slag är en form av kollision där fisken träffas av det roterande löphjulets blad. Skrapskador uppstår då fisken i trånga utrymmen dras mot väggar eller intagsgallret. Malning sker då fisk delvis fastnar mellan turbinväggarna och turbinbladen (Calles m.fl., 2013). Skador till följd av skjuvning sker då fisken delvis fastnat vid en kant och utsätts för krafter i olika riktningar, vilket kan resultera i att fisken slits i stycken. Förutom död, kan mekaniska skador leda till en hämrad simförmåga hos fisken. Förekomsten av mekaniska skador beror på



turbintyp, turbinens storlek, antal turbinblad, mellanrum mellan turbinbladen, förekomsten av trånga passager och vassa kanter, samt mellanrummet mellan turbinens blad och vägg (Cada, 2001). Dessutom påverkas skadefrekvensen av den passerande fiskens storlek. Genom att anpassa körningen av vattenkraftverket enligt den passerande fiskens egenskaper kan skaderisken i viss utsträckning minskas (Leonardsson, 2012).

Då vattnet passerar genom turbinen sker ett tryckfall som kan ge upphov till skador hos fisken. Skaderisken till följd av tryckfall minskar generellt med fallhöjden, samt desto närmare ytan fisken befinner sig vid turbinintaget innan passagen (Calles m.fl., 2013). Även kavitation, en följd av tryckfall där luftbubblor bildas och rör sig mot områden med högre tryck där de hastigt kollapsar och orsakar chockvågor, kan ge upphov till skador (Cada, 1997). Hursomhelst är kavitation även skadligt för turbinhjulet och åtgärder vidtas ofta för att minska dess förekomst (Calles m.fl., 2013).

Turbulensen som uppstår vid turbinpassage (Cada, 1997) försämrar fiskens manövreringsförmåga och kan dessutom orsaka skador på känselorgan, vilket ökar risken för predation nedströms kraftverket. Denna risk för fördröjd dödlighet kan även sträcka sig över längre tidsperioder till följd av ådragna skador (Calles m.fl., 2013). Turbulens kan även orsaka skador till följd av skjuvning, där fisken utsätts för kraftiga vattenströmmar med olika riktningar (Cada, 1997).

## 2.2. Nedvandring i fiskväg

En fiskväg förbättrar förutsättningarna för nedströmspassage avsevärt och erbjuder ett betydligt säkrare alternativ än turbinpassage (Calles m.fl., 2013). Tre grundåtgärder har identifierats för att åstadkomma förbättrade förutsättningar för lyckad nedströmspassage. För det första ska fisken hindras från att ta sig till den riskfyllda turbinpassagen, för det andra ska fisken samlas i ett avgränsat område, och för det tredje ska fisken ledas vidare till en konstruktion genom vilken den kan passera dammen och kraftverket på ett säkert sätt (Calles m.fl., 2013). För att åstadkomma säker nedströmspassage med hög effektivitet för alla vandrande individer bör rådande förutsättningar på platsen och de vandrande fiskarnas beteende undersökas noggrant (NOAA, 2012). Det är viktigt att fästa uppmärksamhet vid de kumulativa effekterna av flera fiskvägar efter varandra i vattendraget (Calles m.fl., 2013). Den totala passageeffektiviteten genom två fiskpassager efter varandra i vattendraget beror på deras individuella passageeffektivitet (Jaukkuri m.fl., 2013).

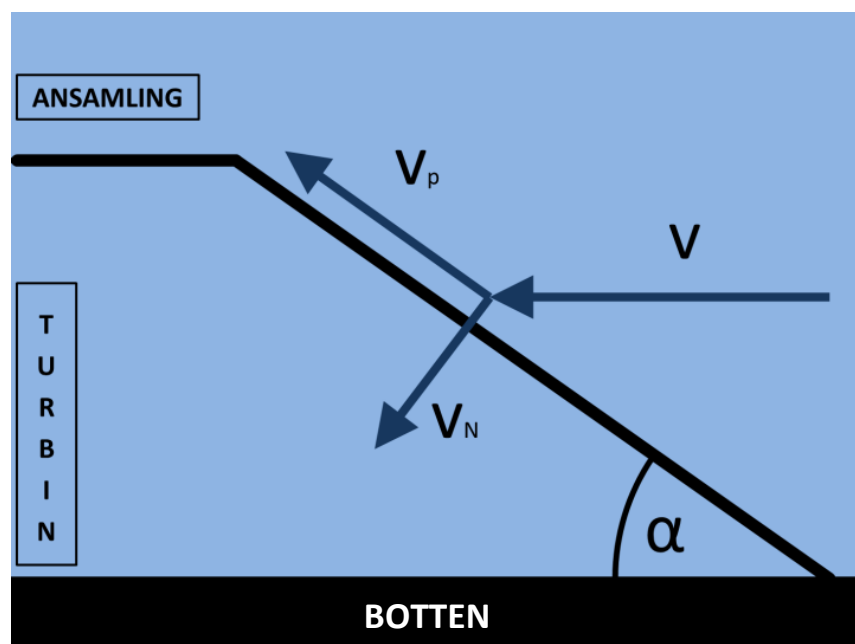
### 2.2.1. Avledning från turbinintaget

Avledningen av fisk från turbinintaget vid ett vattenkraftverk är mycket viktig för nedströmspassagens funktion och åstadkoms med fysisk eller beteendemässig styrning (Calles

m.fl., 2013). En fysisk avledare hindrar fisken från att ta sig till turbinintaget och tvingar den till en annan rutt, medan den släpper igenom vatten till kraftverket (NOAA, 2012). Beteendemässiga avledare strävar till att fisken reagerar på olika attraherande eller repellerande faktorer i närheten av turbinintaget och i viss mån själv väljer sin rutt (NOAA, 2012, Calles m.fl., 2013). Oberoende av val av avledningstyp är det viktigt att den fungerar effektivt och möjliggör att den nedvandrande fisken snabbt och enkelt leds till samlingsplatsen och vidare förbi dammen och kraftverket. Vid bristfällig avledning kan vandrande lax och öring leta efter en attraktiv rutt i tiotals timmar (Calles m.fl. 2012b). En lång fördröjning för många individer kan öka risken för predation, speciellt då fisken tröttat ut sig då den sökt en lämplig rutt (Schilt, 2007). Dessutom kan fördröjning påverka fiskens normala beteende (Calles m.fl., 2012b).

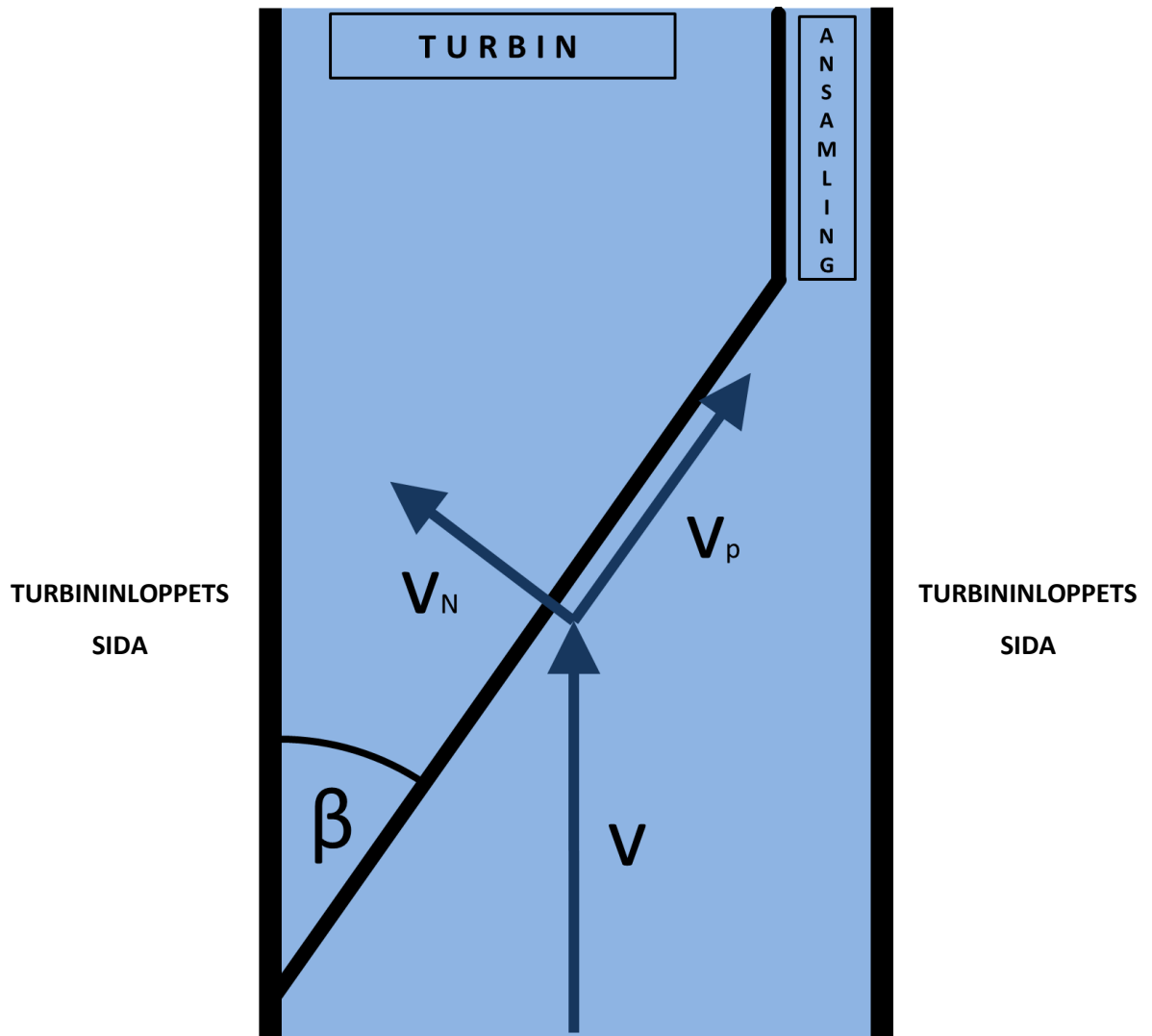
### 2.2.2. Fysisk avledning

En typisk fysisk avledare, framför allt vid småskaliga vattenkraftverk, är ett fiskanpassat galler (Huusko m.fl., 2014). Framför turbinintaget vid vattenkraftverk finns ofta galler för att hindra is och bråte från att ta sig in i turbinen och orsaka skada, men dessa är sällan anpassade för avledning av fisk och kan benämnas konventionella galler (Calles m.fl., 2013). Ett fiskanpassat galler är designat och dimensionerat för en optimal avledningsförmåga och är en del av en åtgärd för förbättrad nedströmspassage, tillsammans med ansamling och passage (Huusko m.fl., 2014). För att åstadkomma en funktionell avledningsförmåga bör designen av ett fiskanpassat galler beakta rådande förhållanden i vattendraget (NMFS, 2011).



Figur 2. Funktionsprincipen för ett  $\alpha$ -galler, sett från sidan, där vattenflödet delas upp i en parallell komponent och en normalkomponent. Baserat på Calles m.fl. (2013).

Avledningsförmågan för ett fiskanpassat galler beror på dess spaltbredd, area och lutning i förhållande till flödesriktningen (Calles m.fl., 2013). Gallrets spaltbredd, det vill säga avståndet mellan gallrets vertikala spjälor, är den egenskap som fysiskt hindrar nedvandrande fisk från att ta sig till turbinen. Spaltbredden bör bestämmas utgående från de vandrande individernas storlek. För unga fiskar, som vandrar nedåt i vattendraget i jakt på föda, behövs således ett galler med relativt liten spaltbredd för att förhindra turbinpassage medan fullvuxen fisk klarar sig undan turbinen med större spaltbredd (Calles m.fl., 2012b).



Figur 3. Funktionsprincipen för ett  $\beta$ -galler, sett ovanifrån, där vattenflödet delas upp i en parallell komponent och en normalkomponent. Baserat på Calles m.fl. (2013).

Det finns två typer av fiskanpassade galler för intagskanalen vid vattenkraftverk. Ett  $\alpha$ -galler styr fisken uppåt mot ytan (figur 2) medan ett  $\beta$ -galler styr fisken åt endera sidan i intagskanalen (figur 3). Gallrets area och lutning är sammankopplade eftersom ytan beror på gallrets vinkel i förhållande till flödesriktningen vid turbinintaget enligt

$$A = \frac{bh}{\sin \theta} \quad (\text{ekvation 1})$$

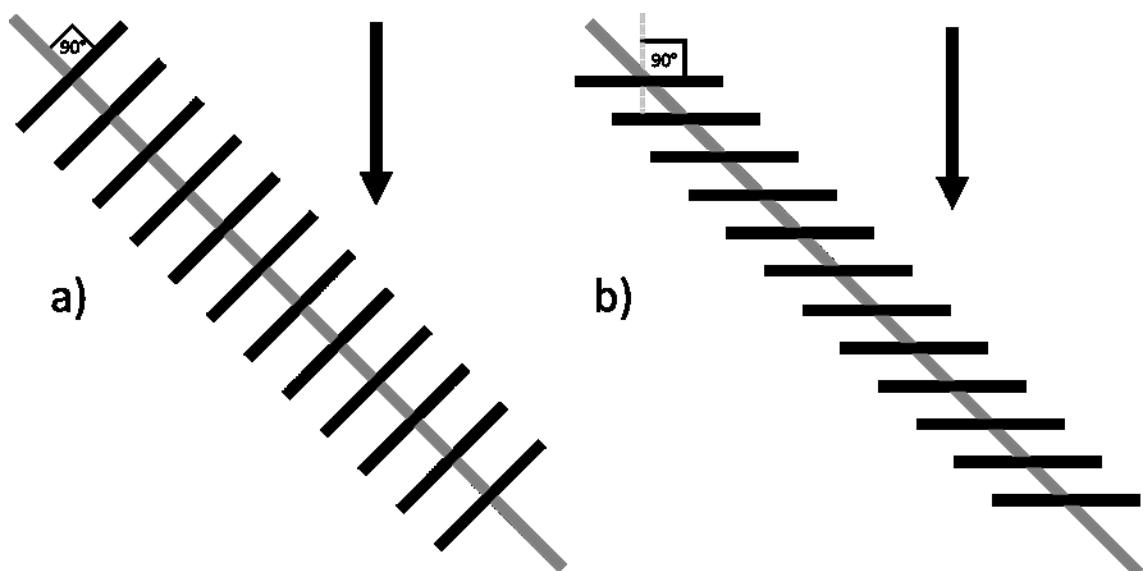
där  $A$  är gallrets area,  $b$  och  $h$  är bredden respektive höjden för den del av turbinintaget som täcks av gallret, och kan antas vara konstanta, och  $\theta$  är vinkeln mellan flödesriktningen och gallret. Vinkeln  $\theta$  utgörs av vinkeln  $\alpha$  vid ett  $\alpha$ -galler (figur 2) och av vinkeln  $\beta$  vid ett  $\beta$ -galler (figur 3) (Calles m.fl., 2013).

Vinkeln har stor betydelse för gallrets avledningsförmåga. Då vattenflödet möter gallret delas det i en parallell komponent (ekvation 2) och en normalkomponent (ekvation 3) i förhållande till gallrets plan (Calles m.fl., 2013). Normalkomponenten drar vatten vinkelrätt genom gallret och vidare till turbinen medan den parallella komponenten för vatten längsmed gallret enligt

$$V_p = V \cos \theta \quad (\text{ekvation 2})$$

$$V_N = V \sin \theta \quad (\text{ekvation 3})$$

där  $V_x$  är hastighetskomponenten parallellt med (p), eller vinkelrätt genom (N) gallret,  $V$  är flödeshastigheten, och  $\theta$  är vinkeln mellan flödesriktningen och gallret. Vinkeln  $\theta$  utgörs av vinkeln  $\alpha$  vid ett  $\alpha$ -galler, och vinkeln  $\beta$  vid ett  $\beta$ -galler. Det är fördelaktigt för avledningen då den parallella komponenten är större än normalkomponenten, vilket sker då vinkeln  $\theta$  är mindre än 45 grader. Detta betyder i praktiken att vattenströmmen parallellt med gallret, i riktning mot en ansamling, är starkare än vattenströmmen genom gallret (Calles m.fl., 2013). Detta motverkar både att fisken passerar genom gallret och att fisken skadas av att stötas eller pressas mot gallret av trycket som uppstår mot det. Således utgör fiskanpassade galler i viss mån även en beteendemässig avledning då fisken förhoppningsvis väljer den ström som är starkare utan att vidröra gallret.



Figur 4. a) Ett vanligt avledningsgaller där spjalornas placering i förhållande till flödesriktningen beror på hela gallrets placering. b) Ett Louver-galler där spjalorna är placerade vinkelrätt mot flödesriktningen, oberoende av gallrets placering. Baserat på Calles m.fl. (2013).

I ett vanligt avledningsgaller är spjälorna placerade vinkelrätt mot gallrets riktning (figur 4 a). En variant av ett galler är ett så kallat Louver-galler (NOAA, 2012) eller spjälavledare, där spjälorna är riktade vinkelrätt mot flödesriktningen framför ett turbinintag (figur 4 b). Detta skapar turbulens vid gallerspjalorna och bildar en ridå som, beroende på art, fisken försöker undvika (NOAA, 2012). Ett Louver-galler kan även anses vara en beteendemässig avledning, som dock bygger på en fysisk avledare, och tillåter en större spaltbredd och en mindre gallerförlust vid turbinintaget. Samtidigt betyder detta att det är lättare för arter som inte reagerar på turbulensridån att passera ett Louver-galler än ett vanligt galler (Calles m.fl., 2013).

Galler framför turbinintag hindrar också skräp, is och annat oönskat material från att ta sig in till turbinen och eventuellt orsaka skada, oberoende om gallret är fiskanpassat eller inte. För att säkerställa gallrets funktionsduglighet, samt en tillräcklig vattentillförsel till kraftverket, bör en lämplig anordning för rensning av gallret anläggas. Om gallret inte rensas tillräckligt ofta kan det täppa till den avledda fiskens flyktväg och hämma passagens funktion. Dessutom försämras vattentillförseln till kraftverket.

Förutom olika typer av galler används ledarmar som en fysisk avledare av fisk framför turbinintag (Calles m.fl., 2013). En ledarm används oftast vid ytan och ner till ett önskat djup och styr den fisk som rör sig på detta djup vidare till ansamling och passage. En ledarm kan utgöras antingen av endast en del eller flera element (Huusko m.fl., 2014), vilket erbjuder flexibilitet och anpassbarhet. Samtidigt täcker en ledarm sällan hela inloppet till ett turbinintag, i varje fall inte från ytan till botten. Faktumet att avledaren endast täcker en del av den tillgängliga ingången till turbinen gör dess funktion osäker.

### 2.2.3. Beteendemässig avledning

Beteendemässig avledning baseras på en attraherande eller repellerande reaktion av fisken på ett yttre stimuli och de vanligaste metoderna omfattar användning av ljus, luft, ljud och elektricitet (Calles m.fl., 2013; Schilt, 2007; Gough m.fl., 2012). Med en beteendemässig avledning strävar man efter att fisken själv väljer sin rutt istället för att den tvingas in i en passage, vilket torde medföra mindre skaderisk för fisken då inga fysiska konstruktioner, förutom källan till avledaren, hindrar fiskens rutt. Litteraturen visar att avledning med elektriska fält är opraktiskt och för med sig en mycket oklar avledning (Calles m.fl., 2013), samtidigt som den utsätter fisken för faror, däribland elchocker (Schilt, 2007).

En ljuskälla med ständigt ljus kan både attrahera (Greenberg m.fl., 2012) och repellera fisken medan en blinkande ljuskälla, till exempel ett stroboskop, oftast har en repellerande effekt (Calles m.fl., 2013). Effektiviteten för avledning med ljus beror på yttre ljusförhållanden vid

avledaren och hur klart vattnet är, det vill säga hur synligt ljuset är (Schilt, 2007). Hur den vandrande fisken reagerar på olika sorters ljuskällor beror på arten och dess preferenser. Luftbubblor används för att skapa en ridå av grumligt vatten så att fisken upplever ridån som en vägg och väljer en annan väg. Eftersom avledningen med hjälp av luftbubblor bygger på att fisken ska se ridån, påverkas avledningseffektiviteten av ljusförhållandena och sikten i vattnet även här. För detta ändamål förekommer kombinationer av luft och ljus där en ridå av luftbubblor är upplyst för att underlätta för fisken att upptäcka den (Calles m.fl., 2013). Turbulens och hög flödes hastighet kan försämra ridåns synlighet och ha negativ inverkan på avledningen (Gough m.fl., 2012).

Ljud kan liksom ljus ha både attraherande och repellerande effekt på fisk, beroende på ljudets egenskaper och fiskartens känslighet för och respons på olika ljud (Schilt, 2007). Användning av ljud för avledning kan vara effektivt i och med att det är relativt enkelt att åstadkomma vissa specifika ljud i vattenmiljöer, och för att fisk utnyttjar ljud för att analysera sin omgivning (Fay och Popper, 2000). Å andra sidan kan det vara svårt för fisken att identifiera och lokalisera vissa ljudfrekvenser i bullriga miljöer, till exempel nära ett vattenkraftverk (Schilt, 2007).

#### 2.2.4. Ansamling, flyktväg och passage förbi hindret och turbinen

Åtgärderna ansamling av avledd fisk samt flyktväg och passage förbi dammen och turbinen kan behandlas som en gemensam åtgärd, eftersom dessa i praktiken sker i samma konstruktion (NOAA, 2012). Varje aspekt av passagen runt hindret är kritisk för passagens funktion och för fiskens nedvandring. Flyktöppningen till passagen bör placeras i ändan av avledaren så att den avledda fisken enkelt hittar den och känner av dess flöde. Flödes hastigheten i flyktöppningen bör vara högre än i inloppet till kraftverket och accelererande så att fisken snabbt rör sig genom hela passagen (NMFS, 2011). Detta åstadkoms genom att göra öppningen avsmalnande. I övrigt bör flyktöppningen dimensioneras i enlighet med övriga konstruktioner, det tillgängliga utrymmet och så att den passerande fisken inte utsätts för en förhöjd skaderisk. Djupet i öppningen är mer kritiskt än bredden och bör dimensioneras så att den nedvandrande fisken inte försöker undvika flyktvägen (Calles m.fl., 2013). En flyktväg som är placerad vid ytan torde erbjuda passagemöjlighet för både smolt och vuxen fisk så länge den passerande fisken ryms i flyktvägen (Huusko m.fl., 2014). Flyktvägens och hela passagens funktion förbättras med högre vattenföring. Dessutom ökar vattenbehovet för hög funktion om avledningen, flyktöppningen och passagen är dåligt designade och konstruerade (Calles m.fl., 2013). Ur kraftproducentens synvinkel torde detta vara en betydande faktor eftersom ökad vattenföring innebär ett minskat flöde genom turbinen och produktionsbortfall. Dessutom bör designen möjliggöra avlägsnandet av skräp och bråte (NFMS, 2011). För att

kunna kontrollera flödet i passagen, och för att helt kunna stänga tillflödet till passagen, bör öppningen vara utrustad med en lucka (NOAA, 2012).

Passagen förbi vandringshindret får inte utsätta den passerande fisken för förhöjd skederisk, vilket kan åstadkommas med en hög flödes hastighet som gör att fisken tillbringar så kort tid som möjligt i passagen, och genom att designa den utan alltför skarpa svängar och med släta ytor (NMFS, 2011). Detta minskar även risken för att bråte som passerat flyktöppningen fastnar och täpper till passagen. Passagens utlopp bör placeras så att fisken faller från passagen ner i vattendraget nedströms kraftverket (Calles m.fl., 2013; NMFS, 2011; NOAA, 2012). Den viktigaste aspekten för passagens utlopp är att fisken inte skadas eller utsätts för förhöjd predationsrisk (Calles m.fl., 2013). Därför bör fallet inte vara för högt och vattendjupet vid nedfallet vara tillräckligt så att fisken kan landa tryggt (NOAA, 2012). Flödes hastigheten i utloppet får inte vara för hög så att flödet skadar botten, eller höjer risken att fisken slår i botten i samband med fallet (NMFS, 2011). Dessutom bör vattenflödet nedströms hindret vara tillräckligt stort så att fisken kan fortsätta sin vandring och undvika predatorer (Calles m.fl., 2013). En annan viktig aspekt är att utloppet bör placeras, och flödes hastigheten dimensioneras, så att det inte anlockar uppströms vandrande fisk, som förgäves försöker nå nedströms passagens utlopp och skada sig till följd av detta (NMFS, 2011).

### 2.3. Uppvandring i fiskväg

Olika fiskvägstyper har olika hydrologiska egenskaper och varierande funktion och lämplighet beträffande vattendragets hydrologiska egenskaper och fiskarterna som förväntas utnyttja dem (bl.a. Degerman, 2008; Calles m.fl., 2012a; Calles m.fl., 2013; ICPDR, 2013). Oberoende av fiskvägstyp kan man hursomhelst dela in en fiskväg i tre delar, ingång till fiskvägen nedströms vandringshindret, själva fiskvägen som binder ihop vattendragen och utgång ur fiskvägen uppströms hindret (Calles m.fl., 2013). Fiskvägens funktion kan beskrivas utgående från andelen av det vandrande fiskbeståndet som hittar fiskvägen, och hur många av dessa som passerar fiskvägen. Calles m.fl. (2013) benämner detta som en fiskvägs totala effektivitet, vilket anger hur stor del av det närvarande beståndet av vandrande fiskarter som passerar ett hinder genom en fiskväg. Passageeffektiviteten kan specificeras som den andel av fiskbeståndet som härstammar från vattendraget uppströms hindret, vandrat nedåt förbi hindret och sedan åter vandrar upp till lekområden ovanför hindret (Sutela m.fl., 2012). Angående fiskvägaras passageeffektivitet är det viktigt att fästa uppmärksamhet vid de kumulativa effekterna av flera fiskvägar efter varandra i vattendraget, som i fallet med Leuhu och Hietama. Den totala passageeffektiviteten för vandring från nedströms Hietama till uppströms Leuhu är de enskilda fiskvägarnas passageeffektivitet multiplicerade med varandra (Calles m.fl., 2013; Jaukkuri m.fl.,

2014). För en effektiv fiskväg har fyra grundkriterier (Calles m.fl., 2013) identifierats för att den vandrande fisken hittar fiskvägen och kan passera den (tabell 1). Utgångsläget vid uppfyllandet av dessa kriterier är att fiskvägen gynnar så många vandrande arter som möjligt. Hursomhelst är det orimligt att fiskvägen är optimalt anpassad för alla vandrande arter. De prioriterade så kallade målarternas totala betydelse bör vägas mot varandra och fiskvägen bör anpassas enligt de mest betydelsefulla arternas förutsättningar och behov.

**Tabell 1. Kriterier för en funktionell och effektiv fiskväg för uppvandring.**

KRITERIUM	RELEVANS
Ingångens placering	Fiskvägen hittas.
Lockvatten vid ingången	Fiskvägen hittas.
Vattenföring i fiskvägen	Fisk vandrar uppåt och igenom hela fiskvägen.
Dimensionering av fiskvägen	Manövreringsutrymme och passerbarhet.

### 2.3.1. Placering av fiskvägens ingång

Ingången till fiskvägen kan anses vara den mest kritiska delen för en fiskvägs effektivitet (NMFS, 2011). De viktigaste faktorerna för att fisk ska hitta till fiskvägen är placeringen av dess nedströms mynning och ett tillräckligt lockvatten (Calles m.fl., 2013). Dessutom påverkas ingångens funktion av egenskaper hos kraftverkets utlopp och möjligheter till varierad vattenföring i fiskvägen beroende på vattennivån nedanför kraftverket.

För att fiskar ska kunna urskilja fiskvägens lockflöde från konkurrerande flöden och turbulens från vattenkraftverkets utlopp bör ingången placeras i ett relativt lugnt vattenområde (NMFS, 2011). Turbulensen i utloppet påverkas av kraftverkets flöde, dess placering i utloppet och utloppets hydrauliska egenskaper, samt avståndet mellan ingången till fiskvägen och kraftverkets utlopp (Calles m.fl., 2013). Ingången bör vara belägen tillräckligt högt upp i utloppskanalen så att fiskarna inte simmar förbi ingången till fiskvägen (ICPDR, 2013). Då vattenföringen i fiskvägen är låg i förhållande till vandringskorridorrens flöde i utloppskanalen bör ingången vara riktad vinkelrätt i förhållande till flödesriktningen i utloppet, och mer parallellt orienterad då vattenföringen är stor (Calles m.fl., 2013; NMFS, 2011).

### 2.3.2. Lockvatten

Lockvattnets andel av det totala flödet i ett vattendrag med en fiskväg varierar i litteraturen. ICPDR (2013) hävdar att i ett vattendrag med ett medelflöde mellan 25 och 50 m<sup>3</sup>/s är ett lockvatten som motsvarar 1-2 % av medelflödet rekommenderat medan ett större lockvatten behövs i vattendrag med lägre flöden. NOAA (2012) nämner ett lockvatten på 5-10 % av det



totala flödet då det överstiger 28 m<sup>3</sup>/s. Calles m.fl. (2013) ger som tumregel att lockvattnet ska utgöra minst 5 % av medelflödet. Bland andra Jaukkuri m.fl. (2014) slår dock fast att lockvattnet vid ingången till en fiskväg inte endast ska avgöras utgående från det totala flödet, även lokala förutsättningar ska beaktas liksom de vandrande arternas beteende i olika flöden. Vid höga totala flöden kan ett tillräckligt lockvatten betyda en vattenföring i själva fiskvägen som är för kraftig för de vandrande fiskarterna. I sådana fall kan man tillföra extra lockvatten vid fiskvägens ingång för att höja anlockningen utan att försvåra passagen. Det optimala lockvattnet utgör 100 % av det totala flödet i vattendraget (Calles m.fl., 2013).

Beträffande lockvattnet vid fiskvägens ingång rekommenderar Jaukkuri m.fl. (2013) en vattenhastighet av 2,0-2,4 m/s för att attrahera laxfisk. Flödeshastigheten vid ingången kan beräknas med tröskelhöjden i fiskvägen (Santos m.fl., 2005) enligt

$$v = (2gh)^{0,5} \quad (\text{ekvation 4})$$

där  $v$  är vattnets flödeshastighet,  $g$  är tyngdkraften, 9,81 m/s<sup>2</sup>, och  $h$  är tröskelhöjden (Larinier, 2002). Således är flödeshastigheten inte direkt kopplad till flödet i fiskvägen utan till nivåskillnaderna mellan fiskvägens bassänger (se avsnitt 2.4.1 och 2.4.2).

### 2.3.3.Vattenföring

Vattenföringen i själva fiskvägen beror i stor utsträckning på vilken typ av fiskväg som används, dess dimensioner och vilka arter som skall utnyttja den, samt vid vilket livsskede de vandrar (Calles m.fl., 2013; ICPDR, 2013). Vattenföringen beror i viss utsträckning också på vilken hastighet man vill att flödet i fiskvägen ska ha, vilket bestäms enligt de vandrande fiskarnas simförmåga. Flödeshastigheten måste vara tillräckligt hög för att fiskar ska kunna upptäcka fiskvägens flöde och flödesriktning samt vandra uppåt i fiskvägen samtidigt som hastigheten inte får vara såpass hög att de vandrande fiskarna inte orkar ta sig igenom hela fiskvägen (Calles m.fl., 2013). Vattenföringen kan regleras med grindar eller luckor vid fiskvägens utgång uppströms kraftverket.

### 2.3.4.Dimensionering

Oberoende av fiskvägstyp bör den dimensioneras så att alla fiskarter som förväntas utnyttja den har tillräckligt med manövreringsutrymme i alla led. Vattendjupet i fiskvägen bör vara minst 2,5 gånger fisken höjd, medan bassängernas längd bör vara minst tre gånger fiskens längd. Bredden på slitsar bör vara minst tre gånger fiskens bredd (Calles m.fl., 2013). Fiskvägen bör designas så att det förekommer viloplatsar, till exempel bassänger, i vilka flödeshastigheten och turbulensen är lägre än i huvudströmmen och de vandrande fiskarna kan samla kraft för resten av uppvandringen (Environment Agency, 2010). En följd av

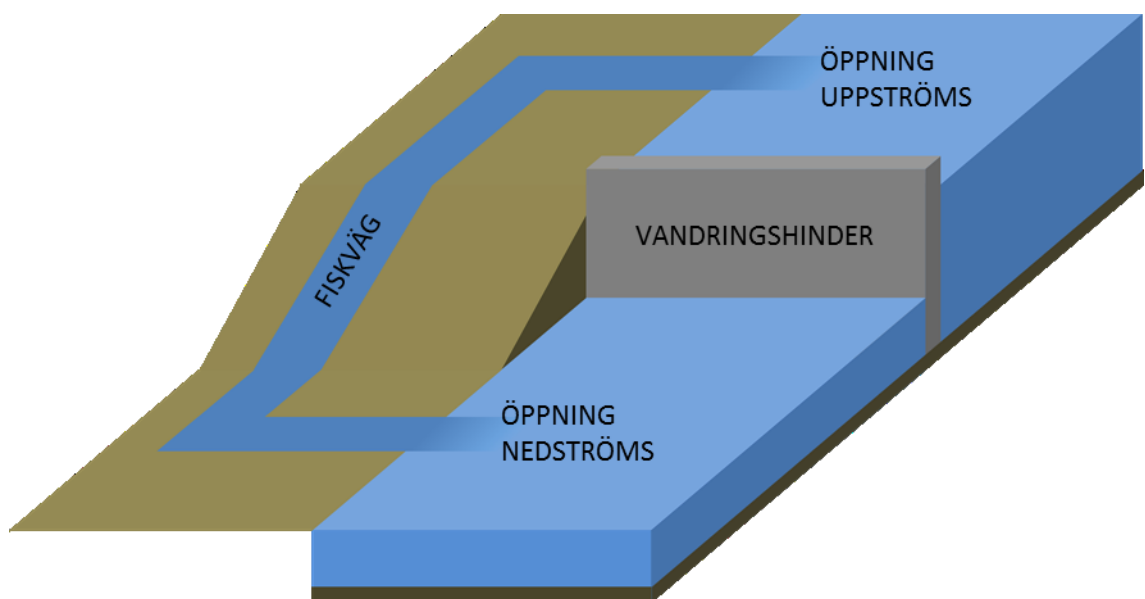
bassänger är hursomhelst att nivåskillnader, eller trösklar, uppstår mellan dem. Dessa trösklar bör inte vara högre än att de vandrande fiskarna klarar av att hoppa över dem eller simma i det flöde de ger upphov till, samtidigt som hela fiskvägens lutning inte bör vara för brant för de vandrande fiskarna (Calles m.fl., 2013). En feldimensionerad fiskväg kan leda till att den vandrande fisken blir utmattad och flyter tillbaka nedströms, antingen i fiskvägen eller genom turbinen om den tagit sig igenom fiskvägen. Dessutom är en utmattad fisk ett lättare byte för predatorer. Noonan m.fl. (2012) föreslår att lutningen är av större betydelse än flödes hastigheten för fiskvägens passageeffektivitet.

#### 2.3.5. Målarter för fiskväg

Generellt bör en fiskväg möjliggöra passage för alla förekommande arter (ICPDR, 2013). Det kan dock vara tekniskt utmanande att designa en fiskväg vars egenskaper främjar alla arters vandring. Dessutom, då man strävar till att återställa naturliga vandringförhållanden, bör fiskvägen inte underlätta vandring för andra arter än de som vandrat förbi ett hinder vid naturliga förhållanden (Calles m.fl., 2013; Degerman, 2008). För att maximera fiskvägens funktion bör den anpassas till några målarters specifika egenskaper, till exempel vandringsbeteende, storlek och simförmåga (Gough m.fl., 2012).

#### 2.4. Fiskvägstyper för uppströmspassage

Vid kraftverksdammar är det omöjligt för fisk att vandra uppströms. För att återskapa vandringsmöjligheter kan man anlägga vattenvägar för fisk runt hindren, så kallade omlöp (figur 5). Dessa omlöp kan utgöras av tekniska konstruktioner eller av naturliga passager som försöker efterlikna naturliga förhållanden (Calles m.fl., 2013).

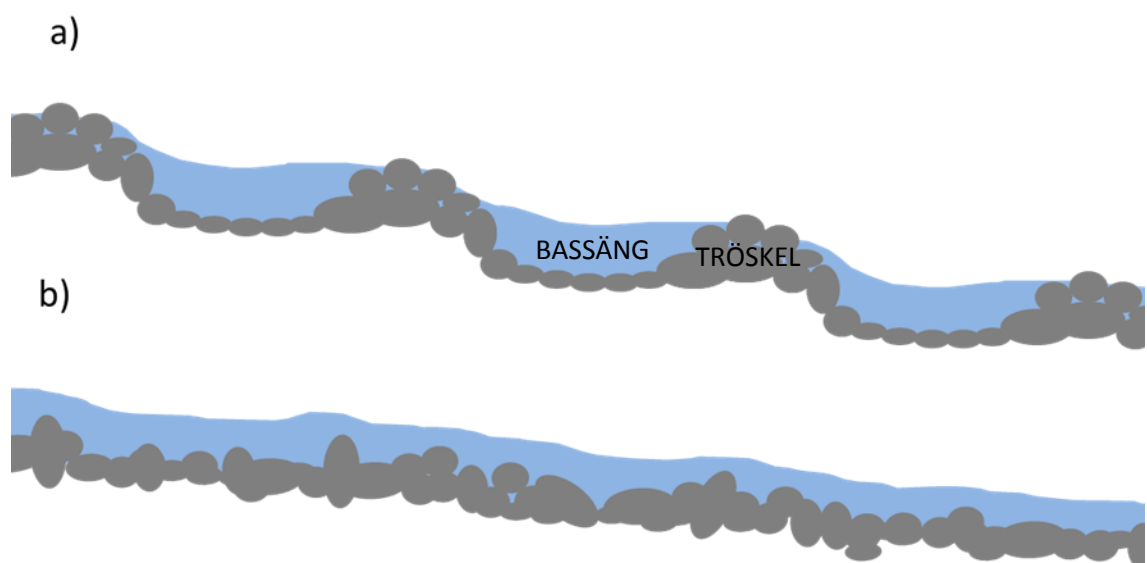


Figur 5. En fiskväg av omlöpstyp runt ett vandringshinder.

### 2.4.1. Naturlika fiskvägar

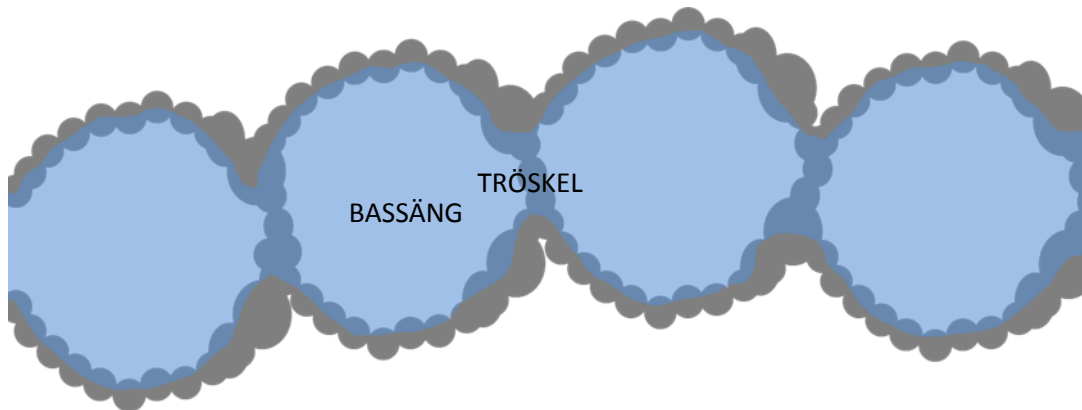
En naturlig fiskväg anläggs med naturligt förekommande material, till exempel jord och sten, ofta genom att gräva ut en strömfåra i marken och täcka botten och sidor med sten. Det finns olika typer av naturlika fiskvägar men alla strävar till att skapa naturliknande hydrologiska förhållanden med hög passageeffektivitet (Calles m.fl., 2012). För vandringshinder med liknande nivåskillnad som vid kraftverksdammarna i Leuhunkoski och Hietamankoski är en naturlig bassängtrappa eller ett naturligt omlöp aktuella. Övriga naturlika fiskvägstyper är stryk, eller överlöp, över hindret och inlöp genom hindret. Naturlika omlöp är känsliga för variationer i vattennivån uppströms fiskvägen, varför en lucka eller utskov kan vara nödvändig för att kontrollera flödet i fiskvägen och även avbryta flödet för underhåll, vid extrema flöden eller för vintern (Degerman, 2008). Rekommenderad vattenföring i en naturlig fiskväg vid en reglerad sjö är enligt Jormola m.fl. (2003) 0,7-1,0 m<sup>3</sup>/s, men även lägre vattenföring nämns för naturlika fiskvägar i litteraturen (Järvenpää m.fl., 2010; Degerman, 2008). Den optimala vattenföringen och lockvatten för anlockning och passage av fisk beror hursomhelst på vattendragets flöde, vattenflödet genom kraftverksturbinerna, årstiden, samt de vandrande arterna och deras storlek (Calles m.fl., 2012a; Calles m.fl., 2013).

En naturlig bassängtrappa består av bassänger och trappsteg, även kallade trösklar (Degerman, 2008). Bassängerna och trösklarna anläggs med sten och höjer stegvis vattennivån i fiskvägen (figur 5 och figur 6 a). Bassängerna bromsar vattenflödets energi och erbjuder viloplats för vandrande fisk, medan öppningarna vid trösklarna mellan bassängerna släpper vatten genom fiskvägen (figur 7).



Figur 6. Tvärsnitt av de naturliga fiskvägstyperna bassängtrappa (a) och strömfåra (b). Baserat på Degerman (2008).

Bassängtrappans tröskelhöjd, bassängstorlek och lutning påverkar omlöpets flöde, flödeshastigheten och substratsammansättningen (Calles m.fl., 2012a). Dimensioneringen av fiskvägen görs utgående från vilka arter som ska vandra i fiskvägen, vattenföringen i vattendraget och det tillgängliga utrymmet runtomkring dammen. Dessutom bör hela fiskvägens längd beaktas vid dimensioneringen av lutningen (Degerman, 2008). Bottensubstratet består oftast av sten eller jordmaterial.



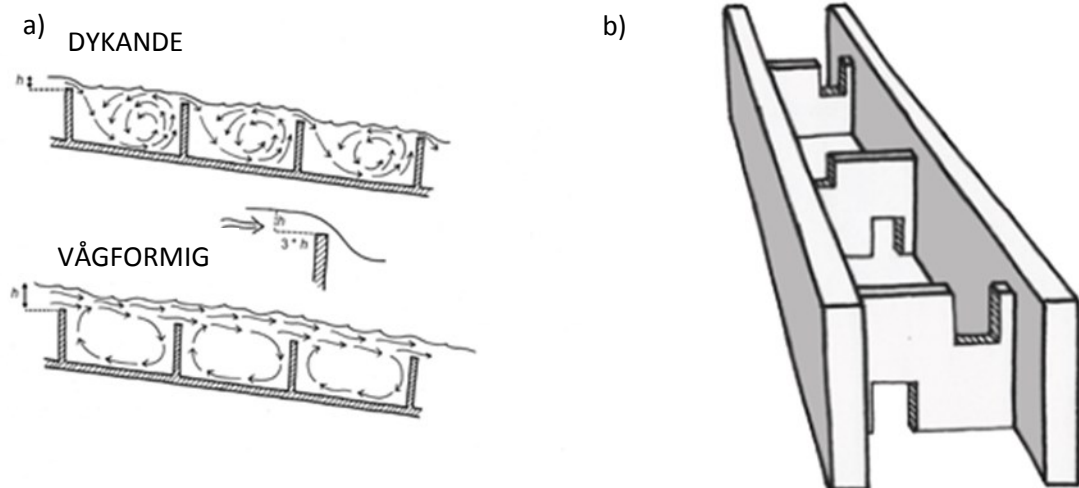
Figur 7. Naturlik bassängtrappa sedd ovanifrån.

I en naturlig strömfåra flödar vattnet tämligen fritt. Omlöpet utgörs av en naturligt sluttande fåra (figur 6 b) i vilken stenar och block bromsar upp vattnets energi och erbjuder viloplats för uppvandrande fisk (Calles m.fl., 2012a). Ett omlöp, eller ett avsnitt av det, utan trösklar passar väl vid låg lutning om ungefär 1-4 %, medan bassängtrappor är lämpliga vid lutningar om 3-8 % (Järvenpää m.fl., 2010). Vid lutningar närmare 10 % bör man anpassa vattenflödet så att inte flödeshastigheten blir för hög (Degerman, 2008).

#### 2.4.2. Tekniska fiskvägar

Tekniska fiskvägar bygger antingen på ett omlöp runt hindret eller ansamling av fisk nedströms hindret med en tillhörande förflyttning av fisken uppströms. Till det senare hör hissar, slussar, pumpar och kanoner specifikt ämnade för förflyttning av fisk förbi hinder, och även transport av fisk förbi hindret med fordon kan räknas till denna kategori (Calles m.fl., 2013). Dessa hjälpmedel för passage, snarare än passager för vandring, återskapar inte de naturliga vandringsmöjligheterna enligt fiskvägsstrategin (Nationell fiskvägsstrategi, 2012) och undersöks därför inte mer ingående. De tekniska fiskvägslösningar som omfattar omlöp är generellt svåra att dimensionera för att åstadkomma önskad vattenföring och flödeshastighet. Det är ofta endast vissa arter och individer av en viss storlek som kan passera en teknisk fiskväg. Dessutom kräver tekniska fiskvägar mer tillsyn och är dyrare än naturliga fiskvägar (Degerman, 2008; NTM-centralen, 2014).

Till de vanligaste tekniska fiskvägstyperna hör kammarrappan (figur 8) och slitsrännan (figur 9) (bl.a. Jaukkuri m.fl., 2013). De bygger på samma principer som den naturliga bassängtrappan med bassänger som bromsar flödet och erbjuder viloplats för den vandrande fisken. Detta ändamål och tillräckligt manövreringsutrymme bör beaktas vid dimensioneringen av bassängerna (ICPDR, 2013). Det som skiljer kammarrappan och slitsrännan åt är utformningen av mellanväggarna mellan bassängerna, även kallade tvärväggar.

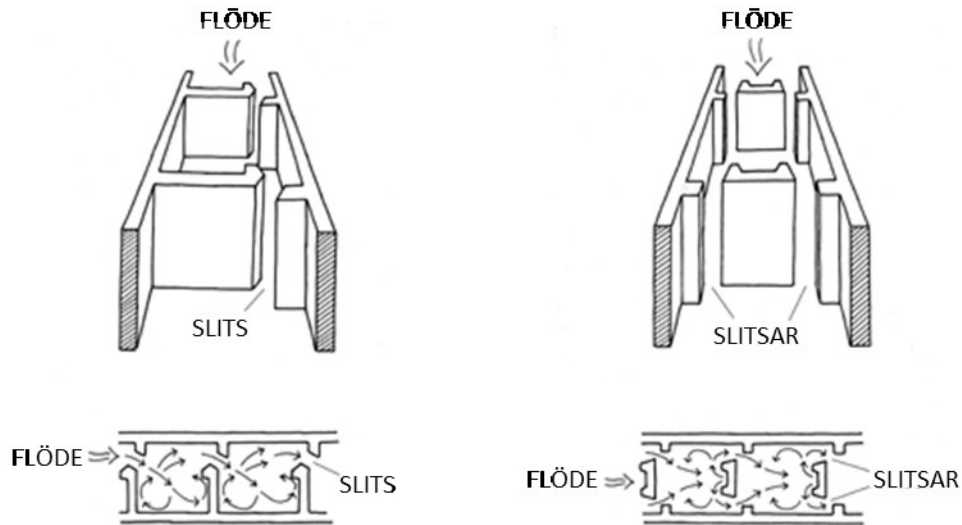


**Figur 8. Kammarrappa med trösklar (a) och underströmningstrappa (b). I a) jämförs det fördelaktiga dykande flödet med det vågformiga flödet. (Degerman, 2008.)**

Om kammarrappans tvärvägg saknar öppningar rinner vattnet över tröskeln och passagen kallas då för överfallstrappa (figur 8 a). Fisken är tvungen att simma eller hoppa över tröskeln. För att minska vattenflödets energi vid användandet av trösklar, och underlätta passage, är ett dykande flödesmönster fördelaktigt, där huvudflödet dyker ner i bassängen och bromsas upp, snarare än att det fortsätter som en vågformig rörelse längs ytan utan att nämnvärt saktas ned (Degerman, 2008). Detta åstadkoms då vattennivån i fiskvägen inte ligger mer än 30 cm över tröskeln. Kammarrappor brukar vanligen användas vid lutningar i storleksklassen 10-20 % och med ett flöde omkring 0,5-1,0 m<sup>3</sup>/s. Om tvärväggarna har öppningar genom vilka vatten flödar och fisk tillåts vandra vid både ytan och botten, kallas passagen för underströmningstrappa (figur 8 b). För att ytterligare bromsa vattenflödet kan öppningarna placeras växelvis på vardera sida (Degerman, 2008).

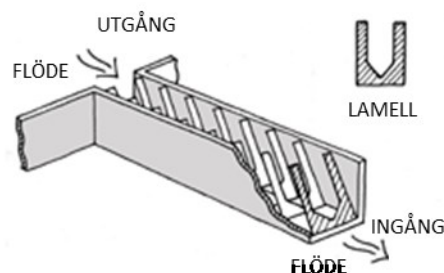
Passagen mellan bassängerna i en slitsränna utgörs av en öppning, slits, från ytan till botten, antingen intill ena sidan eller båda sidor av fiskvägen (figur 9). Slitsen utformas så att den styr huvudflödet mot tvärväggen, vilket bromsar upp vattnets energi och erbjuder viloplats för fisken (Environment Agency, 2010). Så länge vattennivån i fiskvägen inte överstiger mellanväggarna beror flödes hastigheten på höjdskillnaden mellan bassängerna (Santos m.fl., 2005) och är i stort sett densamma oavsett djup. Bäst funktion fås vid vattennivåer över 60 cm

vilket kräver ett flöde omkring 0,7-3,0 m<sup>3</sup>/s. Slitsrännor används oftast då med en lutning omkring 5-15 % (Degerman, 2008).



Figur 9. Slitsrännor med enkel och dubbel slits. (Degerman, 2008.)

Denilrännan (figur 10) är en teknisk lösning som påminner om en naturlig strömfåra. Vattenflödet bromsas upp med hjälp av tätt placerade urgröpta tvärväggar som är vinklade uppströms, så kallade lamelltrösklar. Lamelltrösklarna åstadkommer ett kontinuerligt motströmsflöde som gynnar vandring och gör att Denilrännan kan utnyttjas vid så kraftig lutning som 25 % för duktiga simmare, medan en lutning omkring 10-15 % rekommenderas för sötvattenfisk. Denilrännan dimensioneras enligt önskat flöde vilket medför flexibilitet i planeringsskedet. Hursomhelst är en redan anlagd denilränna känslig för flödesvariationer. Den vanligaste vattenföringen ligger omkring 0,1-1,0 m<sup>3</sup>/s, men kan vara så hög som 2,0-3,0 m<sup>3</sup>/s. (Degerman, 2008.)



Figur 10. Denilränna med de uppströms vinklade lamellerna. (Degerman, 2008.)

#### 2.4.3. Sammanfattning av teoretiska förutsättningar för fiskvägstyper

En sammanfattning av fiskvägstyperna och deras rekommenderade vattenföring och lutning presenteras i tabell 2. Noonan m.fl. (2012) visar i en genomgång av fiskvägars funktion att tekniska fiskvägar har högre attraktion än naturliga fiskvägar, framför allt för andra arter än laxfiskar, vilket antas bero på lägre vattenföring vid naturliga fiskvägar. Beträffande

passageeffektivitet har högst resultat uppnåtts med naturliga fiskvägar, både för laxfisk och övriga arter. Av de tekniska fiskvägstyperna hade slitsrännan högst passageeffektivitet. En fiskvägs totala passageeffektivitet bör vara minst 90 % (Lucas och Baras 2001, Ferguson m.fl. 2002).

**Tabell 2. Fiskvägstyper och deras vanligaste vattenföring och lutning.**

FISKVÄGSTYP	VATTENFÖRING (m <sup>3</sup> /s)	LUTNING (%)
Naturlig bassängtrappa	0,1-1,0	1-4
Naturlig strömfåra	0,1-1,0	3-10
Teknisk kammarrappa	0,5-1,0	10-20
Teknisk slitsränna	0,7-3,0	5-15
Teknisk Denilränna	0,1-3,0	10-25

## 2.5. Fallstudier

### 2.5.1. Naturlig fiskväg för uppströmsvandring i Emån i Sverige

Calles och Grenberg (2005) undersökte en naturlig fiskväg vid det nedre av två kraftverk, med det maximala turbinflödet 28 m<sup>3</sup>/s, vid Finsjö och medelflödet 30 m<sup>3</sup>/s, i Emån i sydöstra Sverige. Fiskvägens längd och höjdskillnad är 370 m respektive 9,25 m, vilket ger en lutning 2,5 %, och dess ingång är placerad i turbinutflödet och hade under studieperioden vattenföringen 0,5-1,5 m<sup>3</sup>/s. Fiskvägens attraktion av öring och lax antas vara högre än 50 % och passageeffektiviteten är 92-93 %. Den största delen av de uppströms vandrande individerna i studien utnyttjade fiskvägen även för nedströmspassage. Calles och Grenberg (2005) slår fast att fiskvägen, tillsammans med en fiskväg 800 m uppströms, återskapat fiskvandring i vattendraget, men att återkolonialisering av vattendraget uppströms det övre kraftverket kommer dröja många år och dessutom förutsätter åtgärder för förbättrad nedströmspassage för smolt.

### 2.5.2. Teknisk fiskväg för uppströmsvandring i Kymmene älv

Haikonen och Karppinen (2012) undersökte antalet fiskar som utnyttjade en teknisk slitsränna vid regleringsdammen vid Koivukoski i Kymmene älvs utlopp. Fiskvägens längd och höjdskillnad är 27 m respektive 2,4 m, vilket ger en lutningen av 8,9 %, och dess vattenföring är 1 m<sup>3</sup>/s (Korhonen och Sutela, 1998) medan flödet i vattendraget under största delen av studien var drygt 80 m<sup>3</sup>/s (Haikonen och Karppinen, 2012). Under 31 dagar observerades sammanlagt över

495 uppströmsvandrande individer i fiskvägen av vilka 48 % fastslogs vara öring eller lax, medan även sik och braxen utnyttjade fiskvägen (Haikonen och Karppinen, 2012). Även rörelser nedströms i fiskvägen registrerades men den största delen av dessa tolkades som skräp eller bråte.

### 2.5.3. Åtgärder för nedströmsvandring i Ätran i sydvästra Sverige

Ett fiskanpassat  $\alpha$ -galler med vinkeln  $30^\circ$  mot flödesriktningen och spaltbredden 90 mm framför det gamla kraftverket vid Herting i Ätran i sydvästra Sverige, med det maximala turbinflödet  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , hade en avledning av 17 % för laxsmolt och 0 % för öringssmolt (Calles m.fl., 2012b). För kelt var gallrets avledning av lax och öring till förbipassage 20 % (1 av 5 individer) respektive 58 %. Hursomhelst hindrade gallret 92 % av öringen och 20 % av laxen från att ta sig in i turbinen, medan 60 % av laxen och 8 % av öringen hittades döda på gallret.

Vid Ätrafors kraftverk, uppströms Herting i Ätran, med det maximala turbinflödet  $72 \text{ m}^3/\text{s}$ , har avledningseffektiviteten för ett  $\alpha$ -galler anpassat för ål utvärderats (Calles m.fl., 2013b). Det anpassade gallret har vinkeln  $35^\circ$  mot flödesriktningen och spaltbredden 18 mm, medan ett tidigare intagsgaller hade vinkeln  $63^\circ$  mot flödesriktningen och spaltbredden 20 mm. Det fiskanpassade gallrets avledningseffektivitet bland de märkta individerna uppgick till 82 %, medan mortaliteten sjönk från att ha varit högre än 70 % med det konventionella gallret till lägre än 10 % med det fiskanpassade gallret.



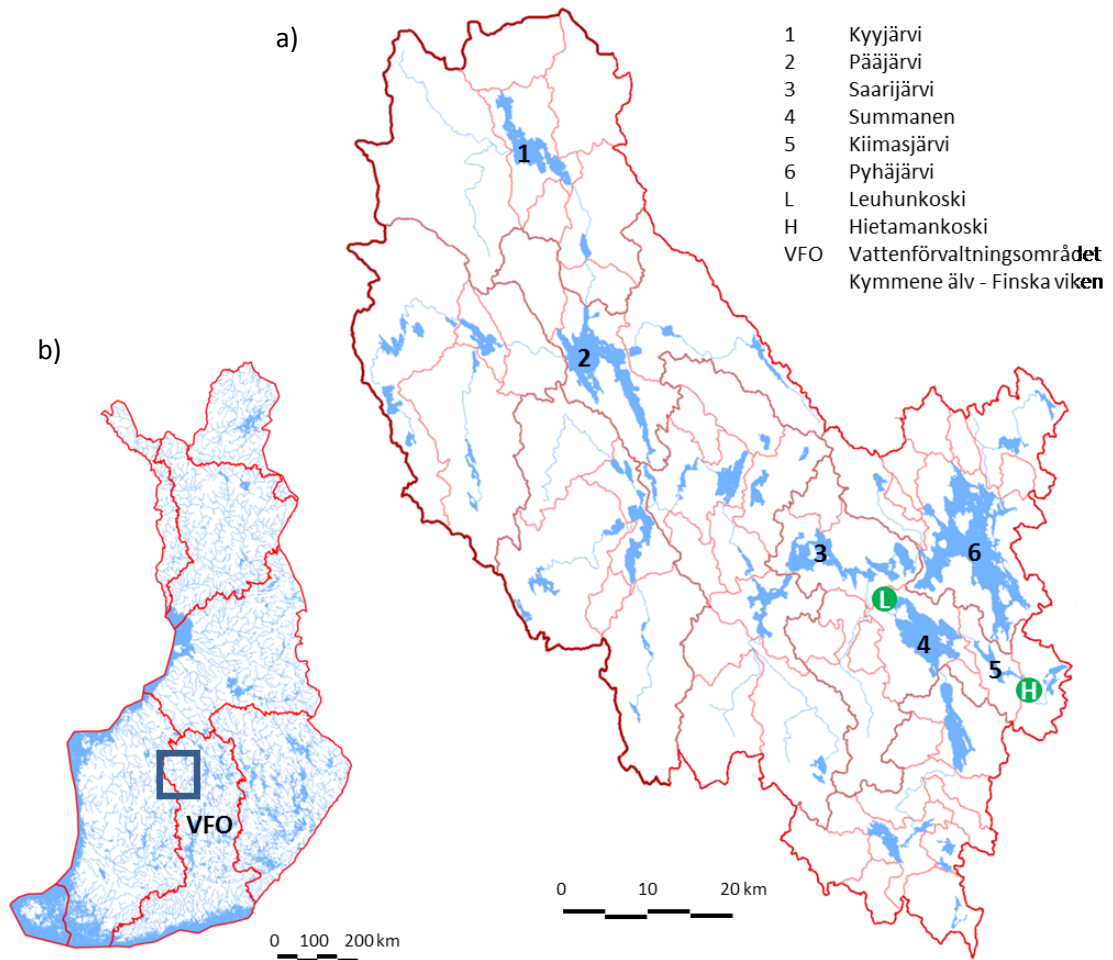
### 3. Material och lägesbeskrivning

Detta kapitel behandlar kraftverken Hietama och Leuhu, vattendraget de är belägna i och vattendragets avrinningsområde. Vattendragets hydrologiska egenskaper presenteras tillsammans med kraftverkens egenskaper utgående från hur dessa påverkar fiskvägarnas funktion och de vandrande fiskarternas beteende. För att få en uppfattning om vattendragets naturliga förhållanden och kraftverksdammarnas inverkan i fråga om både hydrologi och fiskbestånd, undersöks deras egenskaper före introduktionen av kraftverksdammarna i den utsträckning material är tillgängligt.

#### 3.1. Beskrivning av vattendraget och avrinningsområdet

##### 3.1.1. Geografisk placering

Kraftverken Leuhu och Hietama är belägna i Saarijärvileden i Kymmene älvs nordvästra avrinningsområde (figur 11). Avrinningsområdet är ett av Finlands största och sträcker sig från Mellersta Finland ner till Finska viken, där Kymmene älv mynnar i närheten av Kotka. Avrinningsområdet hör till vattenförvaltningsområdet för Kymmene älv och Finska viken (Miljöförvaltningen, 2015). Saarijärviledens högst belägna sjö är Kyyjärvi, 151 meter över havet. Vattendraget sträcker sig vidare i sydostlig riktning via bland andra sjöarna Pääjärvi, Saarijärvi, Summanen och Kiimasjärvi och möter andra vattenstråk i Kymmene älvs norra avrinningsområde vid Saarijärviledens utlopp vid Naarajärvi och Naarakoski, ungefär 94 meter över havet. Vattendraget har några små biflöden, bland andra det från sjön Pyhäjärvi till Kiimasjärvi via Parantalankoski (figur 11). Saarijärviledens eget avrinningsområde har en yta på ca 3120 km<sup>2</sup> varav ca 9 % utgörs av vattenområden (NTM-centralen, 2011). I huvudvattenleden, som är över 80 km lång och omfattar omkring 28 km åar, finns över 20 forsar (Visit Saarijärvi, 2015).



Figur 11. Saarijärviledens avrinningsområde (a) och dess läge i Finland (b). Kartor från Vattenkarta (SYKE, 2015a).

### 3.1.2. Verksamhet inom avrinningsområdet

Förutom vattenområden inom avrinningsområdet utgörs ca 76 % av skogsbruk, 6,8 % av jordbruk, 5,6 % av våtmarker och öppna myrar, och 2,9 % av bebyggda områden (NTM-centralen, 2011). På avrinningsområdet finns betydande torvproduktion tack vare rikliga förekomster av torvmark, framför allt i den norra halvan av området. Avrinningsområdet utgörs i huvudsak de fyra kommunerna Saarijärvi, Karstula, Uurainen och Kyyjärvi med knappt 20 000 invånare sammanlagt (Statistikcentralen, 2015). Befolkningstätheten är således ca 6,3 invånare per kvadratkilometer. Vid vattendragets stränder finns både bosättning och jordbruk av betydande omfattning (NTM-centralen, 2011). Hela Saarijärviledens vattendrag utnyttjas för rekreation. Vattendragets tre viktigaste reglerade sjöar är Saarijärvi, Pyhäjärvi och Kiimasjärvi, där huvudfåran och Pyhäjärvis utflöde möts.

### 3.1.3. Hydromorfologiskt och ekologiskt tillstånd

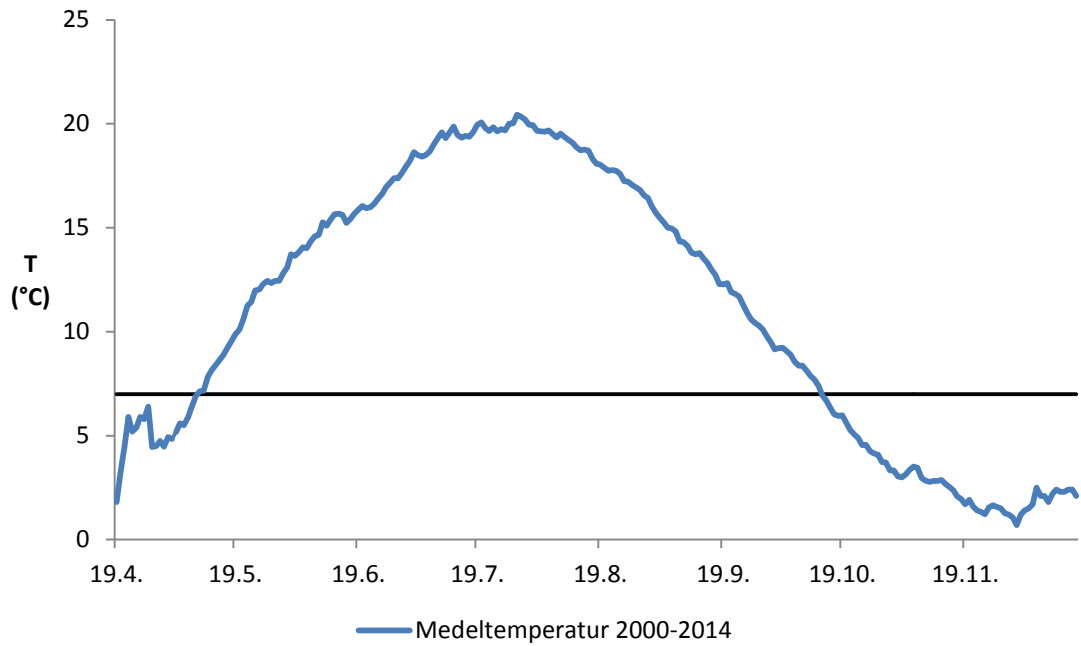
Saarijärvileden kan anses vara relativt naturenlig, men omfattar även vattenområden vars hydromorfologiska förändring jämfört med naturliga förhållanden är tämligen stor och vars förändringsstatus klassas som nöjaktig. Av de tre reglerade sjöarna klassas den

hydromorfologiska förändringsstatusen i Pyhäjärvi som nöjaktig, som försvarlig i Kiimasjärvi och som dålig i Saarijärvi. Vattenområdena genom vilka dessa tre sjöar regleras klassas alla som kraftigt modifierade (Mellersta Finlands miljöcentral, 2009). Saarijärvi regleras vid kraftverket Leuhu i Leuhunkoski, Pyhäjärvi vid kraftverket Parantala i Parantalankoski, och Kiimasjärvi vid kraftverket Hietama i Hietamankoski. Hela avrinningsområdet ovanför kraftverket i Leuhunkoski, samt Naarakoski i Saarijärviledens utlopp nedströms Hietama, omfattas av forsskyddslagen (35/1987) och innebär i praktiken att vattenkraftverk inte får byggas inom dessa områden. Inom avrinningsområdet finns ett flertal naturskyddsområden.

I majoriteten av sjöområdena inom Saarijärvileden anses det ekologiska tillståndet vara nöjaktigt. Dock anses tillståndet inte vara sämre än nöjaktigt i någon sjö och det förekommer även sjöar med gott och till och med utmärkt tillstånd, till exempel Pyhäjärvi (Mellersta Finlands miljöcentral, 2009). Av strömområdena är det ekologiska tillståndet gott i drygt hälften medan det är försvarligt eller nöjaktigt i knappt hälften, bland annat i Suojoki och Leuhunjoki i vilka Hietama respektive Leuhu är belägna.

#### 3.1.4. Vattentemperatur

Vattenförvaltningens enda mätstation för exakt vattentemperatur i Saarijärvileden finns i sjön Pääjärvi (Miljöförvaltningen, 2015a) uppströms Saarijärvi (figur 11). Vattentemperaturen har mätts åren 2000-2014 (figur 12) och perioden under vilken de årliga mätningarna har gjorts varierar från år till år, troligtvis enligt isläget. Hursomhelst har temperaturen varje år mätts under tiden 10.5-18.10. De enstaka mätningarna utanför perioden 10.5-18.10 är relevanta eftersom de i vissa fall överstiger gränsen för vandring, 7,0 °C (Calles m.fl., 2012a; Ecoriver, 2006a).



**Figur 12. Medelvattentemperaturen (T) i Päjäarvi under tiden 19.4-17.12 åren 2000-2014. Gränsen för vandring går vid 7°C.**

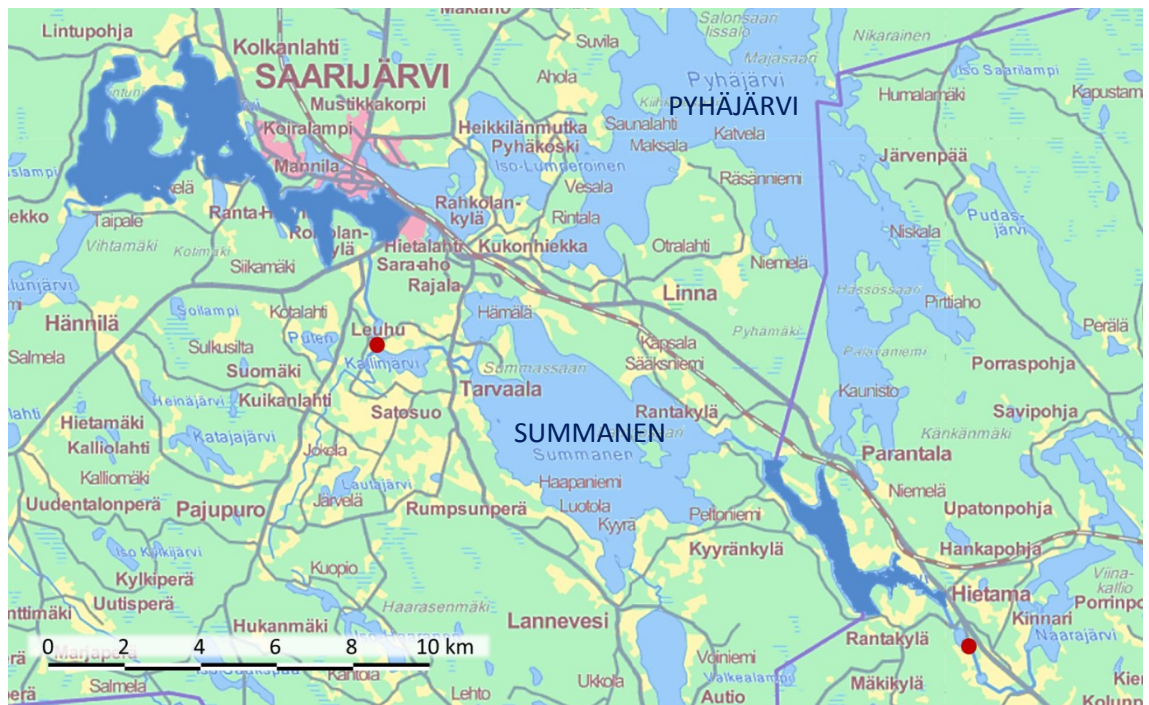
Den tidigaste mätningen på året är från 19.4, år 2014, medan de flesta årliga mätningarna inleds i början av maj. Den tidigaste temperaturnoteringen över vandringsgränsen på våren är gjord 4.5, både år 2002 och 2008, medan den senaste noteringen är gjord 14.5, år 2007. De första årliga noteringarna ligger varje år under vandringsgränsen. Den senaste mätningen på året är från 17.12, år 2000, medan de flesta årliga mätningarna upphör före mitten av november. Den tidigaste noteringen under vandringsgränsen på hösten är gjord 3.10, år 2002, medan den senaste noteringen är gjord 26.10, år 2000. De sista årliga noteringarna ligger under vandringsgränsen varje år. Temperaturens egenskaper sammanfattas i tabell 3. Miljöförvaltningens (2015b) beräkningar av och prognoser för vattentemperaturerna i vattenområdena uppströms, mellan och nedströms kraftverken Leuhu och Hietama motsvarar medelvattentemperaturen och dess förändring i Päjäarvi.

**Tabell 3. Dagar då vattentemperaturen på våren överskrider, och på hösten underskrider vandringsgränsen.**

	VÅR			HÖST		
	Notering över 7,0°C	Tidigaste notering över 7,0°C	Senaste notering över 7,0°C	Notering under 7,0°C	Tidigaste notering under 7,0°C	Senaste notering under 7,0°C
<b>Dag</b>	10.5	4.5	14.5	13.10	3.10	26.10

### 3.2. Vattendragets hydrologiska egenskaper

Avrinningsområdets ytvatten tillåts rinna fritt i vattendragets huvudfåra ner till kraftverket i Leuhunkoski (figur 13). Förutom biflodets utflöde till Kiimasjärvi, rinner en del av vattnet från Pyhäjärvi ut till Saarijärvi, genom en fiskväg vid Pyhäkoski, via de mindre sjöarna Iso och Pieni Lumperoinen. Således passerar den största delen av ytvattnet inom Saarijärviledens avrinningsområde vid Leuhunkoski, medan hela områdets ytavrinning passerar Hietamankoski. Detta innebär även att kraftverksdammarna i Leuhunkoski och Hietamankoski hindrar vandrande fisk i Kymmene älvs vattendrag att vandra upp i hela Saarijärvileden. Samtidigt begränsas nedvandringen till en riskfylld passage genom kraftverkens turbiner, eller genom dammarnas spilluckor då spill förekommer. Eftersom denna studie behandlar fiskvägar vid Hietamankoski och Leuhunkoski behandlas endast de sjöar som vattenkraftverken vid dessa platser reglerar mer ingående.

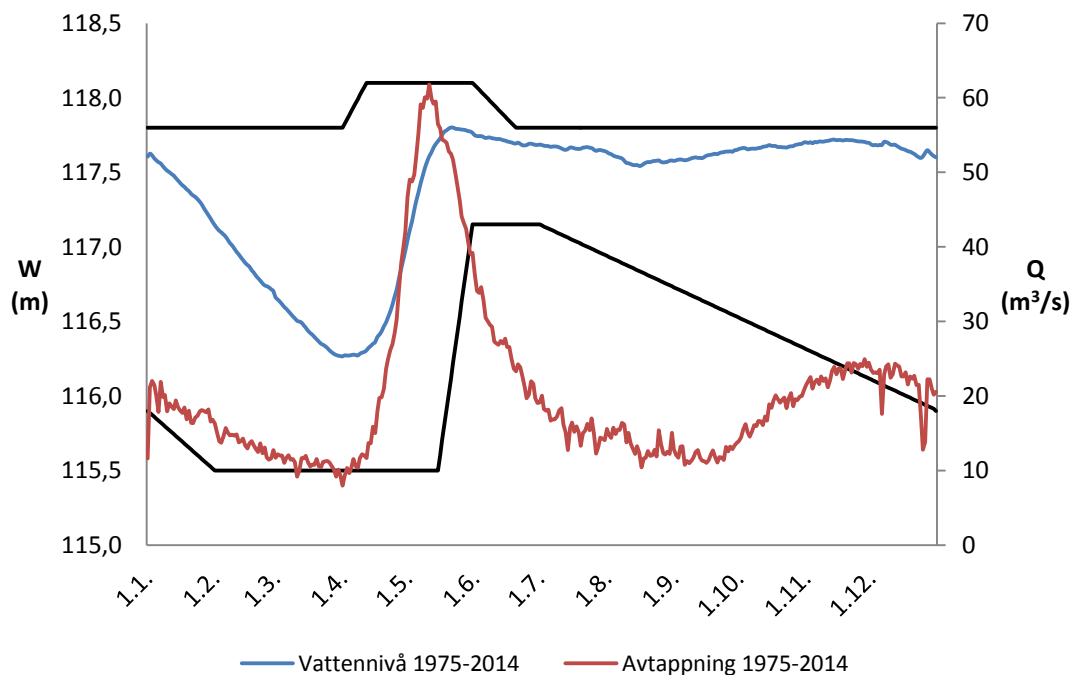


Figur 13. Karta över de reglerade sjöarna Saarijärvi och Kiimasjärvi (mörka) och kraftverken Leuhu och Hietama (röda punkter). Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c).

#### 3.2.1. Saarijärvi

Saarijärvi är en mellanstor sjö i vattendraget med en yta på ca 14 ha och vars avrinningsområde är 2243 km<sup>2</sup> (Miljöförvaltningen, 2015a). Under normala förhållanden varierar vattennivån årligen mellan ca 116,25 och 117,85 meter över havet och regleringsvolymen är ca 44,6 miljoner m<sup>3</sup>. Tillstånd om reglering gavs av Östra Finlands vattendomstol 1969 (ISVO nro 79/I/69, 1969). Finska staten innehar tillståndet, med NTM-centralen i Mellersta Finland som ansvarig myndighet, medan Vattenfall ansvarar för

verkställandet av regleringen. Enligt tillståndet varierar regleringsintervallet beroende på årstiden enligt sjöns naturliga variation (figur 14). Hursomhelst måste vattennivån alltid ligga inom intervallet 115,50-118,20 meter över havet och det är överenskommet att vattennivån inte underskrider 116,20 meter över havet. Hydrografen för Saarijärvi i figur 14 visar att sjön, eller vattenmagasinet, tappas på vatten under vintermånaderna för att kunna ta emot och magasinera den kraftiga avrinningen som sker under våren då snö och is smälter i avrinningsområdet. Efter vårfloden sänks vattennivån något enligt överenskommelse med myndigheterna, och hålls sedan på en så jämn nivå som möjligt under sensommarmånaderna, inom ett intervall om 15 cm (figur 15) fram till att magasinet åter ska tömmas.



**Figur 14. Saarijärvis hydrograf med medelvärden för vattennivån (W) i Saarijärvi och avtappningen (Q) vid kraftverket Leuhu 1975-2014. De svarta linjerna utgör regleringsgränserna.**

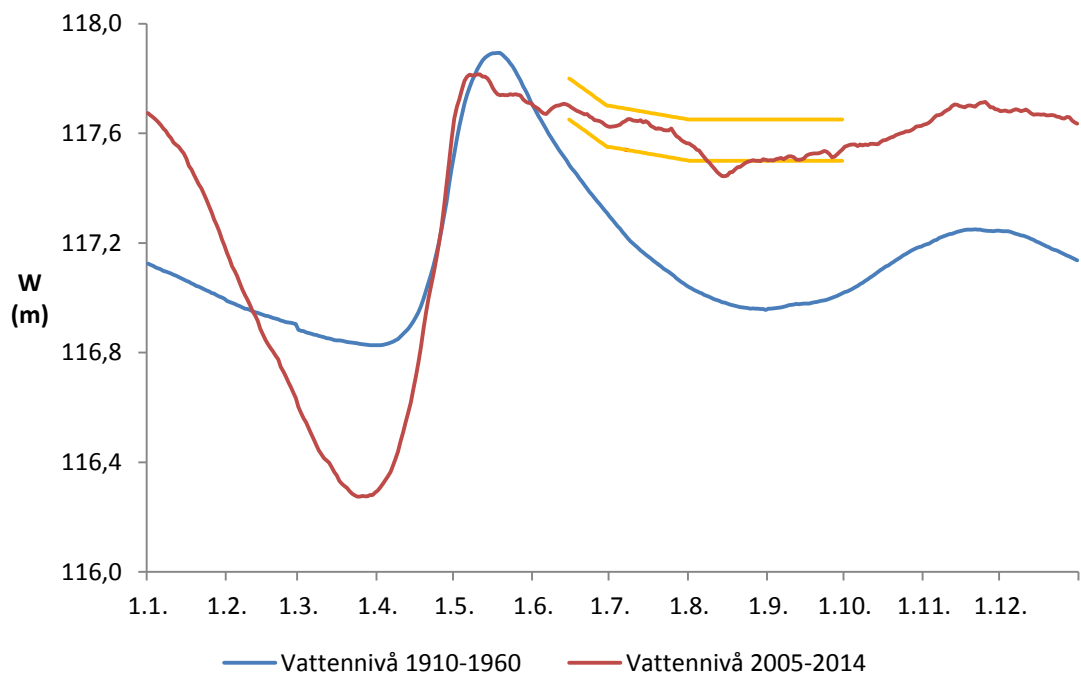
Tappningen av Saarijärvi sker vid kraftverket i Leuhunkoski och baseras på mängden vatten i sjön i förhållande till önskad nivå för årstiden. Till följd av regleringen av Saarijärvi varierar även vattennivån i de intilliggande sjöarna Iso och Pieni Lumperoinen mellan Saarijärvi och Pyhäjärvi (figur 13). Medelflödet i Leuhunkoski är  $20,45 \text{ m}^3/\text{s}$  (tabell 4). Det finns ett minimikrav för genomsnittlig dygnstappning på  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  för att nedströms vattendrag inte ska torka ut. Under perioden 15.7-15.8 kan detta tappningskrav öka om vattentillgångarna är knappa. I tabell 4 presenteras olika flöden i Leuhunkoski under olika vandringsperioder.

Tabell 4. Genomsnittliga låg-, medel- och högflöden för olika vandringsperioder i Leuhunkoski åren 1975-2014.

FLÖDE	ÅR	VÅR- OCH SOMMARVANDRING	SENSOMMAR- OCH HÖSTVANDRING
	1.1-31.12	1.5-15.8	16.8-31.10
HQ (m <sup>3</sup> /s)	61,80	61,80	20,74
MQ (m <sup>3</sup> /s)	20,45	29,10	14,48
LQ (m <sup>3</sup> /s)	7,99	12,24	10,43

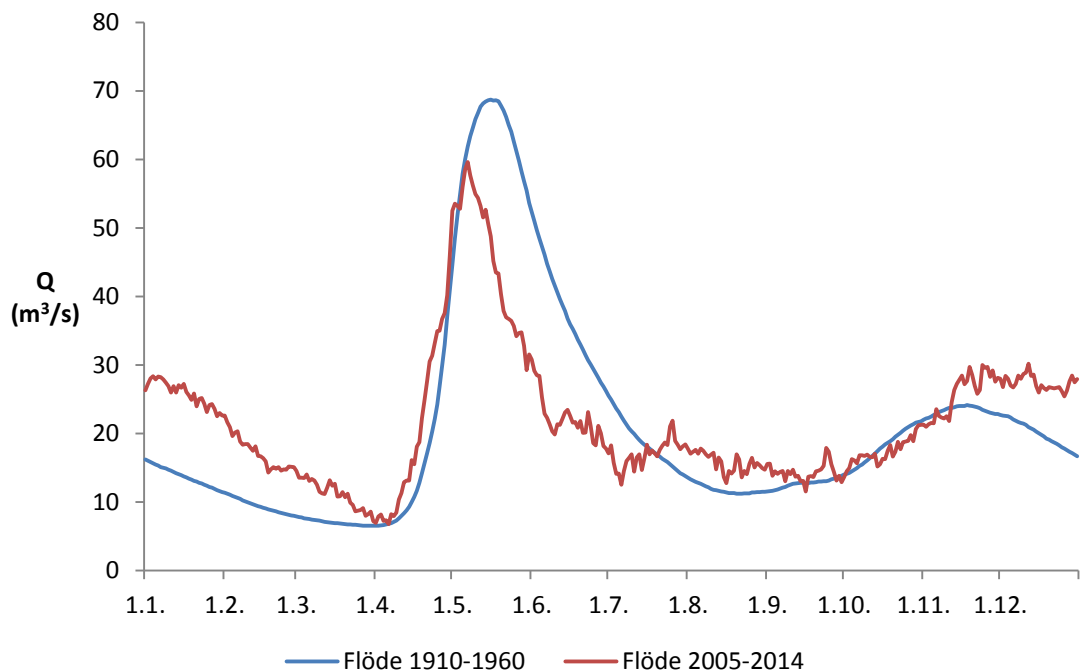
### 3.2.2. Kraftverksdammens och regleringens inverkan på vattendraget

Kraftverksdammen i Leuhunkoski byggdes 1961. Innan anläggandet av dammen och kraftverket var forsén Leuhunkoski 225 m lång, 25 m bred och hade en fallhöjd på 2,1 m, vilket ger en lutning på ca 1 % (Vattenförvaltningen, 1980). Till följd av byggandet av dammen förstördes sex forsar (NTM-centralen, in press). Introduktionen av dammen och regleringen av Saarijärvi har en betydande inverkan på vattennivåns årliga variation. I figur 15 jämförs årsmedelvärdet för vattennivån under naturliga förhållanden med den reglerade vattennivån under de senaste tio åren. Den så kallade vårgropen som uppstår då den största delen av nederbörden och ytvattnet i avrinningsområdet förekommer som is eller snö och inte fyller på sjön har gjorts betydligt djupare i det reglerade skedet än i det naturliga, genom en högre avtappning under vintermånaderna (figur 16). Detta innebär att sjön kan magasinera större mängder vatten under vårfloden vilket leder till bättre skydd mot översvämningar.



Figur 15. Medelvattennivån (W) i Saarijärvi under naturliga (1910-1960) (Miljöförvaltningen, 2015a) och reglerade (2005-2014) förhållanden. Det orangea intervallet under sommaren motsvarar sjöns överenskomna ideala vattennivå.

Under sommarmånaderna hålls vattennivån (Figur 15. Medelvattennivån (W) i Saarijärvi under naturliga (1910-1960) (Miljöförvaltningen, 2015a) och reglerade (2005-2014) förhållanden. Det orangea intervallet under sommaren motsvarar sjöns överenskomna ideala vattennivå. (Figur 15) på en jämnare nivå i det reglerade tillståndet än i det naturliga, vilket förbättrar möjligheterna till rekreation och minskar erosionen av stränder. Avtappningen i det reglerade tillståndet torde även gynna energiproduktionen. Under vintermånaderna, då efterfrågan på energi är stor och priset relativt högt, ökas avtappningen jämfört med det naturliga tillståndet, och energi kan säljas till ett fördelaktigt pris. Under sommarmånaderna, då efterfrågan på energi vanligen är relativt liten och priset lågt, avtappas i princip endast den mängd vatten som krävs för att hålla vattennivån inom givna gränser och för att inte nedströms vattendrag ska torka ut. Förutom årsregleringen, med låg vattennivå på våren och jämn nivå på sommaren, kan korttidsregleringen urskiljas ur grafernas skarpa variationer i figur 14 och figur 16. Detta tyder på stora dagliga förändringar i både vattennivå och tappning.



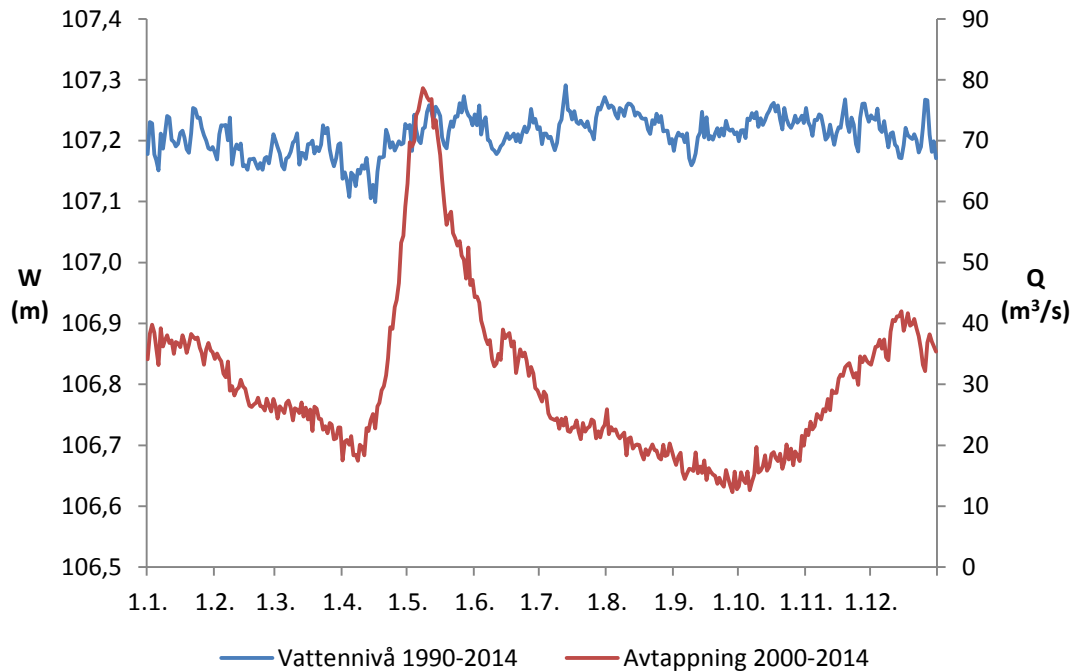
Figur 16. Medelflödet (Q) vid Leuhunkoski under naturliga (1910-1960) (Miljöförvaltningen, 2015a) och reglerade (2005-2014) förhållanden.

### 3.2.3. Kiimasjärvi

Kiimasjärvis totala avrinningsområde är 3081 km<sup>2</sup> stort medan sjön hör till de minsta i vattendraget med en yta på endast ca 4 hektar (Miljöförvaltningen, 2015a). Kiimasjärvis eget avrinningsområde är relativt litet, framför allt under de tidpunkter på ingen tappning vid Parantala äger rum, och ingen typisk vårflod syns i sjöns hydrograf (figur 17). Regleringsvolymen är knappt 6 miljoner m<sup>3</sup> och vattennivån ligger i medeltal mellan 107,00 och 107,40 meter över havet, vilket också är det överenskomna intervallet för vattennivån.



Hursomhelst är vattennivåns nedre gräns i regleringstillståndet, 106,50 meter över havet under sommarmånaderna och 106,05 meter över havet under resten av året (figur 18). Regleringstillstånd för magasinet gavs 1976 (ISVO n:o 132/Ym/76).



Figur 17. Kiimasjärvis hydrograf med medelvärden för vattennivån (W) i Kiimasjärvi (1990-2014) och avtappningen (Q) vid kraftverket Hietama (2000-2014).

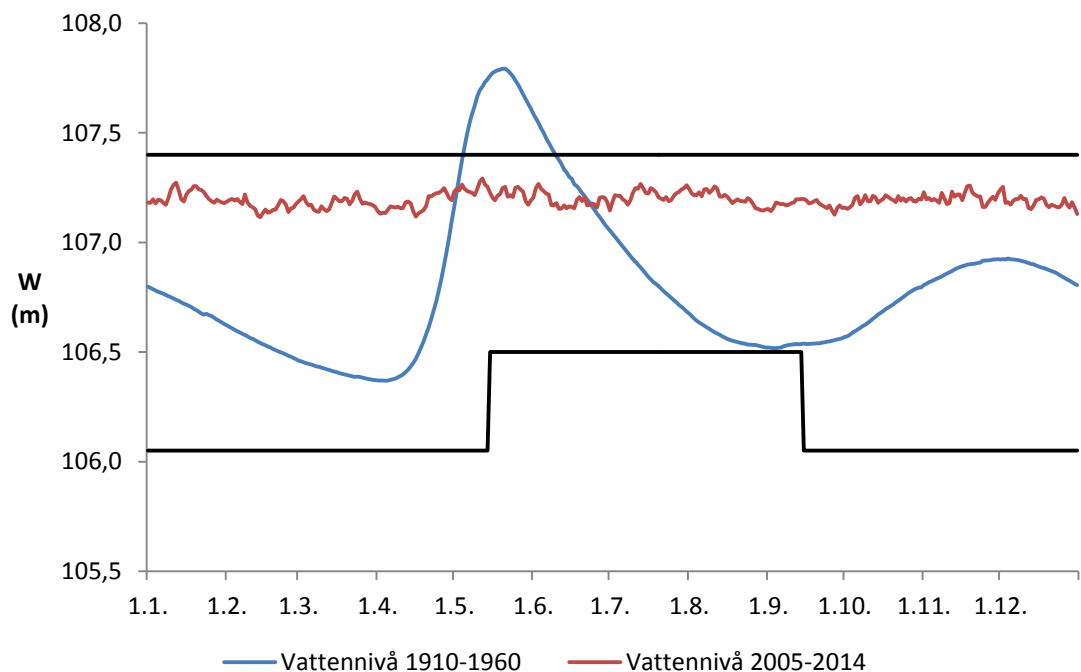
Tappningen av Kiimasjärvi vid Hietamankoski är det enda som tyder på en vårflood. Vid tidpunkten för vårflooden ökar tappningen dramatiskt för att hålla vattennivån inom önskvärda gränser. Tappningen baseras på tappningen av Saarijärvi och Pyhäjärvi och man strävar till att hålla vattennivån i stort sett densamma året om. Då tillflödet överskrider kraftverkets kapacitet blir man tvungen att tappa magasinet via spilluckorna (figur 17). Vattenmängder som tappas ur Saarijärvi når Kiimasjärvi efter ungefär två dygn. Medelflödet i Hietamankoski är 30,26 m<sup>3</sup>/s (tabell 5). Kiimasjärvi måste tappas på vatten varje dag för att nedströms vattendrag inte ska torka ut. I tabell 5 presenteras olika flöden i Hietamankoski under olika vandringsperioder.

Tabell 5. Genomsnittliga låg-, medel- och höglöden för olika vandringsperioder vid Hietamankoski åren 2000-2014.

FLÖDE	ÅR	VÅR- OCH SOMMARVANDRING	SENSOMMAR- OCH HÖSTVANDRING
	1.1-31.12	1.5-15.8	16.8-31.10
HQ (m <sup>3</sup> /s)	78,61	78,61	21,54
MQ (m <sup>3</sup> /s)	30,26	38,44	16,83
LQ (m <sup>3</sup> /s)	12,33	18,34	12,33

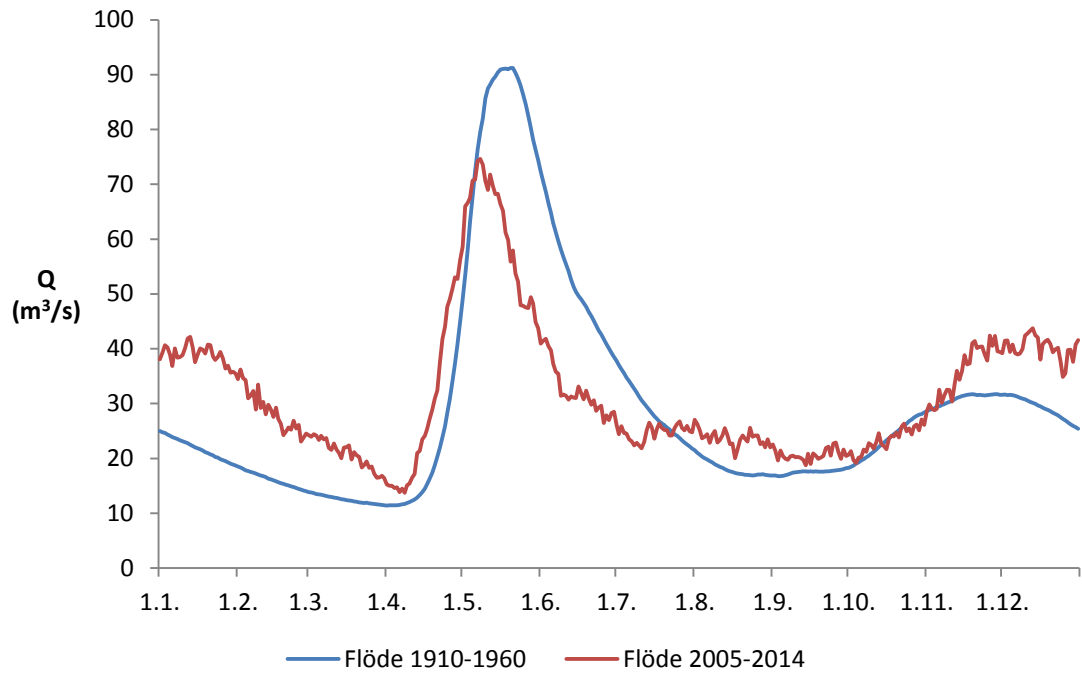
### 3.2.4. Kraftverksdammens och regleringens inverkan på vattendraget

Kraftverksdammen i Hietamankoski i Suojoki byggdes 1966 och kraftverket Hietama togs i bruk 1967. Innan anläggandet av dammen hade forsen Hietamankoski en längd på 300 m, en bredd på 50 m och en fallhöjd på 7,9 m, vilket ger en genomsnittlig lutning på 2,6 % (Vattenförvaltningen, 1980). Enligt jämförelsen av vattennivåns årliga variation under naturliga och reglerade förhållanden i figur 18 har korttidsregleringen av Kiimasjärvi ändrat vattennivåns årliga variation fullständigt. Under naturliga omständigheter hade vattennivåns årliga variation liknande egenskaper som Saarijärvis vattennivå, med en vårgrop och efterföljande topp. Under de reglerade förhållandena strävar man däremot efter att konstant hålla vattennivån så jämn som möjligt inom intervallet 107,0-107,4 meter över havet.



Figur 18. Medelvattennivån (W) under naturliga (1910-1960) och reglerade (2005-2014) förhållanden, samt regleringsgränser.

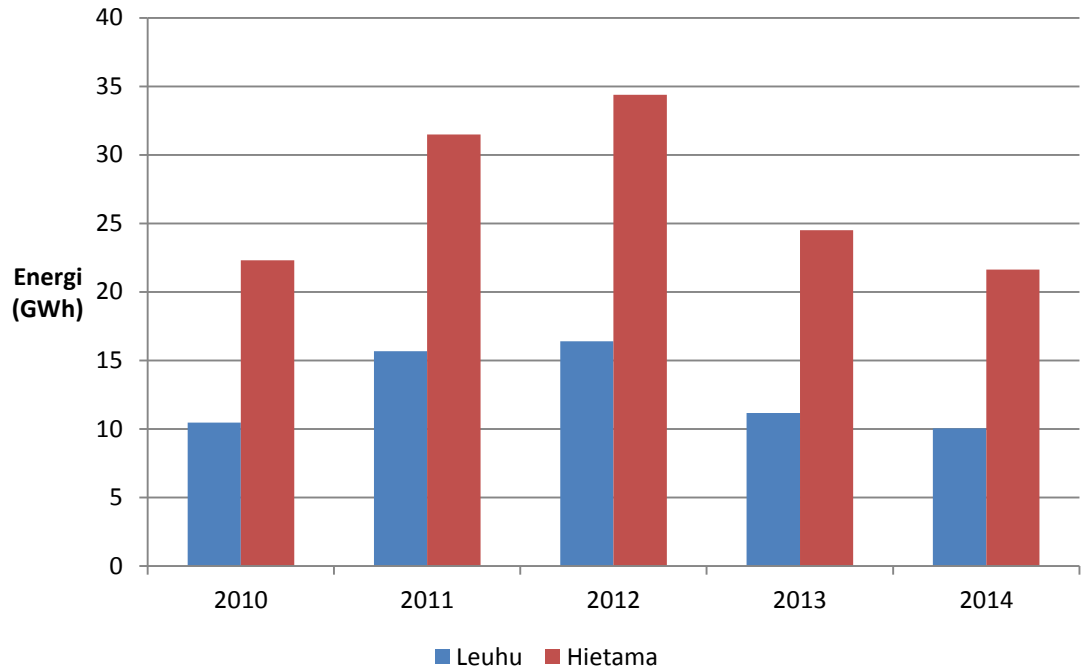
Även för Kiimasjärvi praktiseras korttidsreglering vilket representeras av de skarpa förändringarna i det dagliga reglerade flödet (figur 19). En starkt bidragande orsak till de om stundom kraftiga variationerna i det dagliga flödet genom Hietamankoski är vattenmagasinets knappa volym. Sjöns magasinering förmåga är liten och vid stora tillflöden fylls magasinet snabbt. Inom ett dygn kan vattennivån stiga åtskilliga decimetrar varför avtappningen måste ökas hastigt för att inte vattennivån ska överstiga regleringsgränsen. På motsvarande vis minskas avtappningen om inflödet är lågt för att den nedre regleringsgränsen inte ska underskrivas. Kiimasjärvi klassas som en sjö med mycket kort fördröjning av vattenmassor (SYKE, 2015a).



Figur 19. Medelflödet (Q) i Hietamankoski under naturliga (1910-1960) och reglerade (2005-2014) förhållanden.

### 3.3. Beskrivning av kraftverken

Energiproduktionen vid både Leuhu och Hietama baseras på vattenståndet i de reglerade sjöarna. Avtappningen av magasinen sker så att de reglerade sjöarnas vattennivå hålls innanför regleringstillståndets gränser, och att avtappningsförpliktelser uppfylls. I regel bestäms avtappningen av magasinen föregående dag och dagliga variationer i avtappningen kan i genomsnitt vara flera kubikmeter per sekund. Avtappningen, och energiproduktionen, avgörs således inte i någon större utsträckning av produktionsönskemål. Energiproduktionen kan istället betraktas som en följd av regleringen av sjöarna. Inom korttidsregleringen bestäms tidpunkterna för avtappningen av magasinen ändå utgående från timpriserna på elmarknaden (Nord Pool, 2015). Energiproduktionen för både Leuhu och Hietama 2010-2014 är presenterade i figur 20. Båda kraftverken har ett begränsat minimiflöde, vilket innebär att de inte alltid är i bruk för att vattennivån i magasinen inte ska sjunka för lågt. Då kraftverken inte är i bruk förekommer ingen tappning av de reglerade magasinen.



Figur 20. Årlig energiproduktion vid vattenkraftverken Leuhu och Hietama 2010-2014.

### 3.3.1. Leuhu



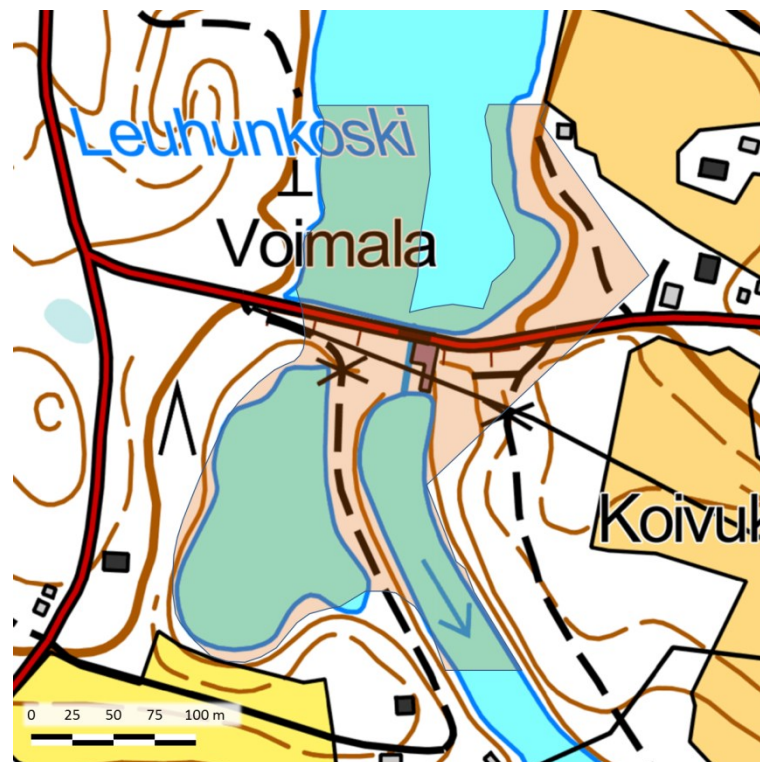
Figur 21. Nedströms vattenkraftverket i Leuhunkoski. (Foto: Axel Andersson.)

Kraftverket i Leuhunkoski (figur 21) har en dimensionerad fallhöjd på 9 m och en effekt på 3,2 MW. Kraftverkets turbin är en vertikal Kaplan-turbin vars maximala genomflöde är 45 m<sup>3</sup>/s. I praktiken används turbinen vid genomflöden från 30-45 m<sup>3</sup>/s. Den genomsnittliga produktionen 2010-2014 är knappt 13 GWh per år. Gallret framför kraftverkets vattenintag är inte fiskanpassat och dess spaltbredd är 180 mm. I tabell 6 presenteras kraftverkets egenskaper som inverkar på mortaliteten då fisk passerar turbinen.

Tabell 6. Kraftverket Leuhus relevanta egenskaper för mortaliteten för fisk vid turbinpassage.

MAXFLÖDE (m <sup>3</sup> /s)	YTTERDIAMETER (m)	NAVDIAMETER (m)	VARVTAL (1/min)	TURBINBLAD (antal)	GALLERSPALTBREDD (mm)
45	2,7	0,87	187,5	4	180

Utflödet från turbinen är beläget till höger i utloppskanalen och spillluckan till vänster, sett från nedströms kraftverket (figur 21). Till vänster om spillluckan, bredvid utloppskanalen finns ett utskov i dammen för timmerflottning som inte längre är i bruk. Området som ägs av Vattenfall öster om kraftverket är relativt litet (figur 22). Kraftverket är åtkomligt från östra sidan och servicetrafik sker också på denna sida. Norr om vägen, som går över dammen, öster om kraftverket finns en rastplats. På västra sidan, där området i Vattenfalls ägo är större, finns skog och relativt orörd natur samt en skogsväg, som inte är i regelbundet bruk, på vällen mellan kraftverkets utloppskanal och en damm som är belägen väster om utloppskanalen. Båda stränderna är täckta med sten men beläggningen sträcker sig betydligt högre upp på den östra stranden än på den västra (figur 21).



Figur 22. Terrängkarta över Leuhunkoski. Det skuggade området ägs av Vattenfall. Kraftverket är den L-formade byggnaden. Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c).

## 3.3.2.Hietama



Figur 23. Nedströms vattenkraftverket i Hietamankoski. (Foto: Axel Andersson.)

Kraftverket i Hietamankoski (figur 23) har en dimensionerad fallhöjd på 13,5 m och en effekt på 7,6 MW. Kraftverkets turbin är en vertikal Kaplan-turbin med ett maximalt genomflöde på 64 m<sup>3</sup>/s. I normala fall körs kraftverket med ett genomflöde mellan 38 och m<sup>3</sup>/s. Hietamas genomsnittliga produktion 2010-2014 är knappt 27 GWh per år. Gallret framför kraftverkets vattenintag är inte fiskanpassat och dess spaltbredd är 180 mm. I tabell 7 presenteras kraftverkets egenskaper som inverkar på mortaliteten vid turbinpassage. Om kraftverket körs långa perioder i streck uppstår vibrationer varför körningen måste avbrytas med jämna mellanrum. Även höga temperaturer i turbinen och generatoren, framför allt under sommaren, kan orsaka avbrott redan efter ett par timmars körning.

Tabell 7 Kraftverket Hietamas relevanta egenskaper för mortaliteten vid turbinpassage.

MAXFLÖDE (m <sup>3</sup> /s)	YTTERDIAMETER (m)	NAVDIAMETER (m)	VARVTAL (1/min)	TURBINBLAD (antal)	GALLERSPALTBREDD (mm)
64	2,6	1,35	187,5	4	180

Utloppet från turbinen tar upp hela utloppskanalen medan dammens spillluckor är belägna i en särskild kanal väster om turbinutflödet (figur 24). Övre delen av spillkanalen är torrlagd då spill inte förekommer. Väster om spillkanalen finns skog och relativt orörd natur. Den östra stranden är relativt brant. Kraftverksbyggnaden är belägen på utloppskanalen östra sida. Området som ägs av Vattenall (figur 24) på utloppskanalens östra sida är större än det på den vänstra sidan. Under vägen som går över dammen går en kraftledning från kraftverket till en

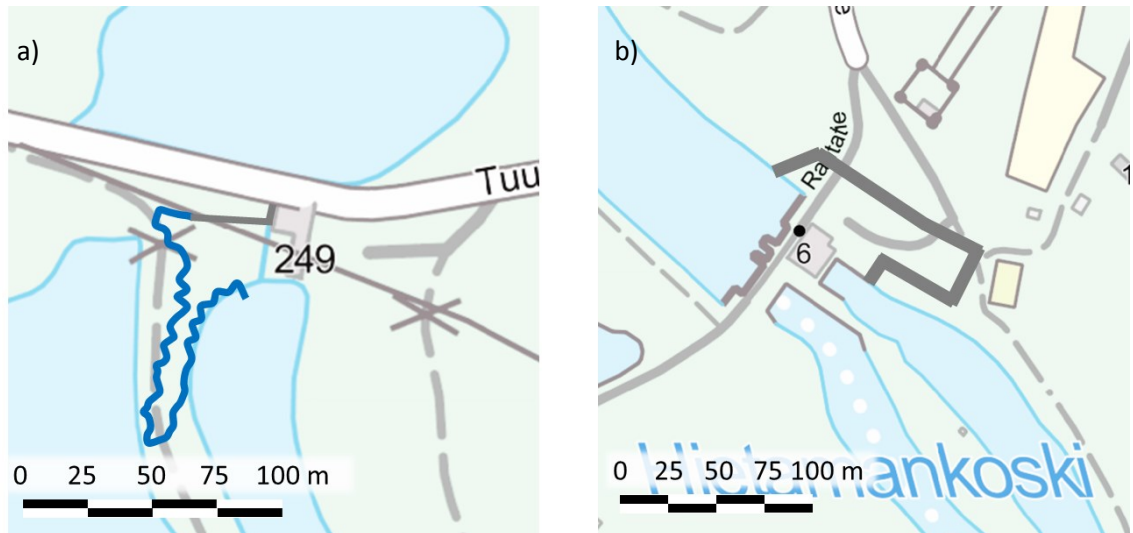
transformator i utkanten av det kraftverksområdet. Från samma väg går en serviceväg ner till kraftverket. Området är relativt naturligt förutom servicevägen och den branta dammen.



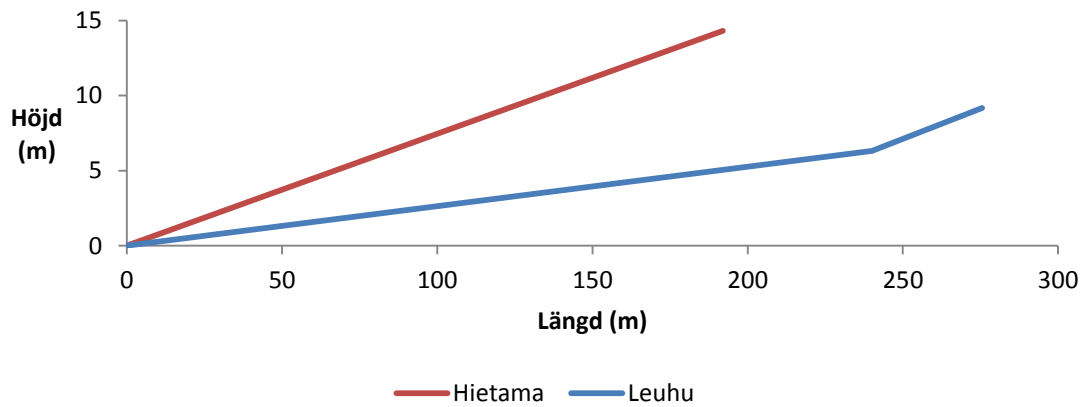
Figur 24. Terrängkarta över Hietamankoski. Det skuggade området ägs av Vattenfall. Kraftverket är den nästintill rektangulära byggnaden. Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c).

### 3.4. Befintliga planer för uppvandring

I två olika skeden har fiskvägslösningar planerats för både Leuhu och Hietama. I slutet av 1990-talet planerades tekniska lösningar för båda kraftverken. År 2006 uppdaterades planerna till att omfatta en kombination av en naturlig fiskväg och en slitsränna för Leuhu och en slitsränna för Hietama (figur 25) (Ecoriver, 2006). Enligt planerna är fiskvägarna i bruk under sommarhalvåret, 1.5-31.10, och stängda resten av året. Planerna anger inte några målarter för vilka fiskvägarna är optimerade. Fiskvägarnas höjd-längd-förhållande presenteras i figur 26 och deras tekniska egenskaper i tabell 8.



Figur 25. Fiskvägarnas dragning vid Leuhu (a) och Hietama (b) enligt de befintliga planerna. Grå färg indikerar teknisk fiskväg och blå naturlig fiskväg. Karta från karttjänsten Karpalo (Miljöförvaltningen, 2015c).



Figur 26. De planerade fiskvägarnas höjd-längd-förhållanden.

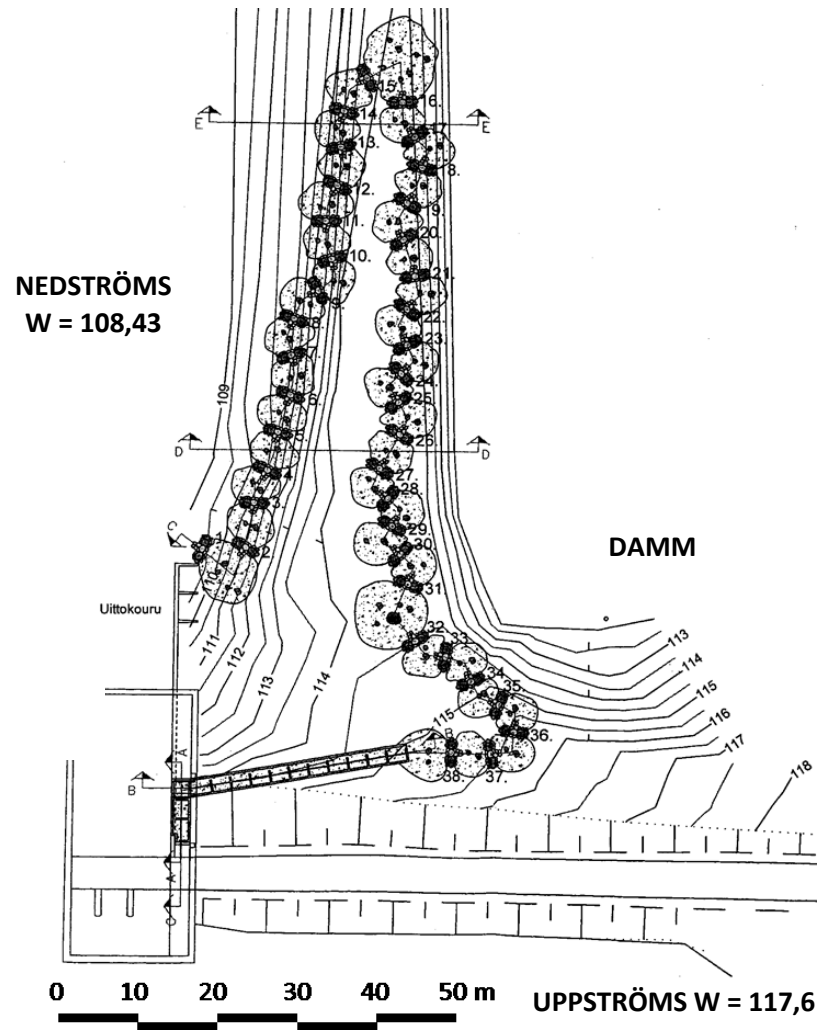


### 3.4.1. Kombination av naturlig och teknisk fiskväg vid Leuhu



**Figur 27. Ungefärlig placering av den planerade fiskvägen i Leuhunkoski, där de gula cirklarna föreställer den fiskvägens naturlika bassänger och den lila rampen föreställer fiskvägens tekniska avsnitt. (Foto och grafik: Axel Andersson.)**

Vid Leuhu är den planerade fiskvägens ingång placerad direkt till vänster om utflödeskanalens betongmur, till vänster i utloppskanalen sett från nedströms kraftverket (figur 27). Den naturlika delen av fiskvägen ringlar sig bort från kraftverket längs vällen för att sedan vända tillbaka mot dammen (figur 28). Ungefär vid dammens fot övergår fiskvägen i den tekniska delen som leder upp till det ur bruk tagna utskovet, genom vilken fiskvägen mynnar i vattendraget uppströms dammen och kraftverket. Den naturlika delen omfattar tre större bassänger som enligt planen kan fungera som habitat (Ecoriver, 2006a).



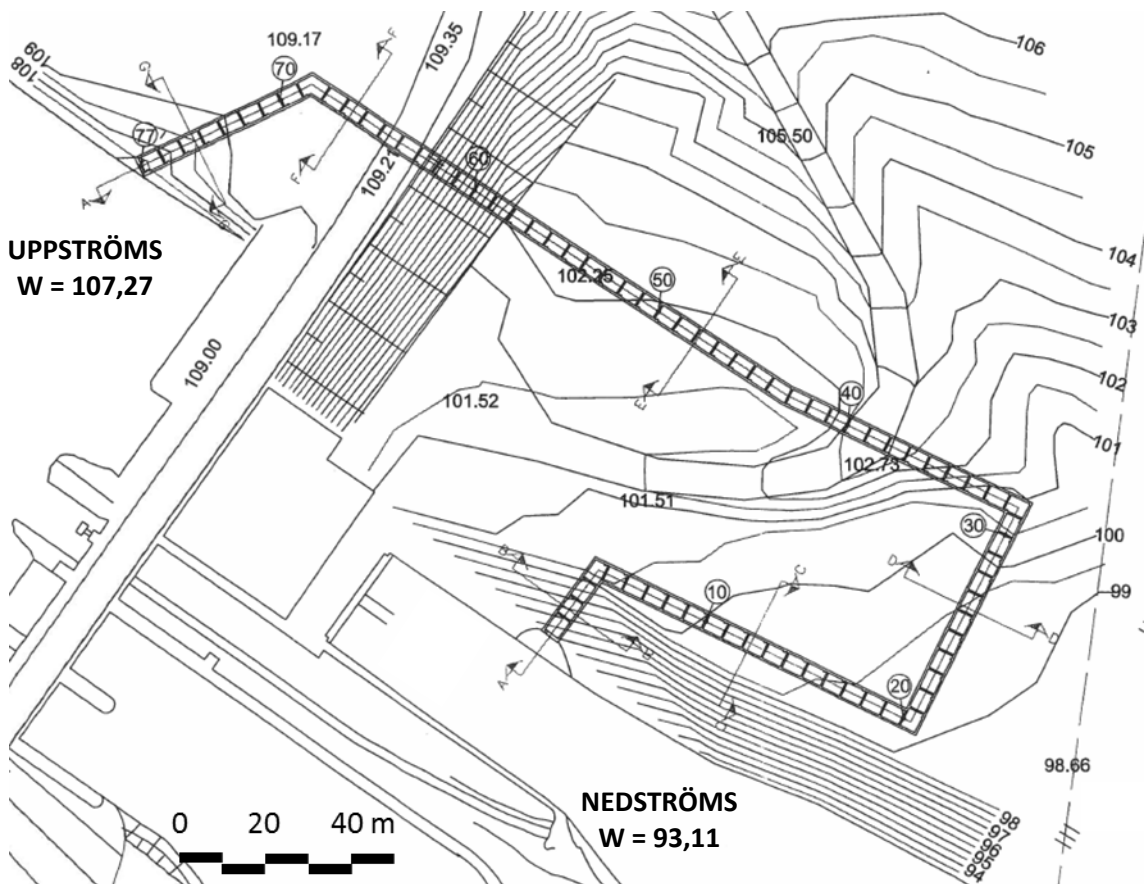
Figur 28. Ritning över den planerade fiskvägen vid Leuhu (Ecoriver, 2006a).

### 3.4.2. Teknisk fiskväg vid Hietama



Figur 29. Ungefärlig placering av den planerade tekniska fiskvägen i Hietamankoski. (Foto och grafik: Axel Andersson.)

Vid Hietama är den planerade fiskvägens ingång placerad direkt nedströms betongmuren på den östra stranden (figur 29). Fiskvägen stiger samtidigt som den gör en krok bort från kraftverket för att sedan återvända mot dammen. Enligt planen underskrider fiskvägen servicevägen och går igenom dammen, och mynnar vid uppströmskanalens östra strand (figur 30). På grund av den branta stranden kommer fiskvägens överkant vara lägre placerad än marknivån tills den underskridit servicevägen. I efterhand har man slagit fast att vidare planering av fiskvägen bör fästa särskild uppmärksamhet vid dammsäkerhetsaspekter och kraftkabeln i anslutning till passagen under dammvägen. Dessutom vore det möjligt att ersätta vissa avsnitt av fiskvägen med naturlika avsnitt (Pohjamo, 2013).



Figur 30. Ritning över den planerade fiskvägen vid Hietama. De täta höjdkurvorna demonstrerar den branta stranden och den branta dammen. Servicevägen bryter höjdkurvorna öster om kraftverket (Ecoriver, 2006b).

## 3.4.3.Egenskaper för de planerade fiskvägarna

Tabell 8. Egenskaper för de befintliga fiskvägsplanerna för Leuhu och Hietama.

EGENSKAP	LEUHU	HIETAMA
Fiskvägstyp	Naturlig bassängtrappa      Slitsränna	Slitsränna
Längd (m)	240                                  35,5	192
Höjd (m)	6,32                                  2,85	14,3
Lutning (höjd/längd)	2,6 %                                  8,0 %	7,4 %
Vattenföring (m <sup>3</sup> /s)	0,36-0,43                                  0,36-0,43	0,38-0,43
Högsta vattenhastighet (m/s)	1,9    1,9	1,9
Slitsbredd (m)	1,1 (tröskelöppning)                          0,25	0,25
Vattendjup (m)	0,8 (0,4 tröskelöppning)                          1,2	1,2
Ungefärlig flödes hastighet vid fiskvägens ingång (m/s)	0,91 (0,4 m <sup>3</sup> /s)                                  1,5 (0,4 m <sup>3</sup> /s)	1,5 (0,4 m <sup>3</sup> /s)
Högsta tröskelhöjd (m)	0,17    0,19	0,185
Bassängstorlek	35 * 20 m <sup>2</sup> , 3 * 50 m <sup>2</sup> 2,3 m * 1,84 m (cirkelformiga)      (l * b, rektangulära)	2,3 m * 1,84 m (l * b, rektangulära)

## 3.5. Vattendragets fiskbestånd

## 3.5.1.Dagens fiskbestånd

Beskrivningen av Saarijärviledens fiskbestånd utgår från Naturresursinstitutets (2015a) Fiskatlas och Piilolas (2007a) uppgifter om olika arters utbredning och livskraftsstatus (tabell 9). Naturresursinstitutets (2015b) uppgifter baseras på relevanta publikationer, på enkäter riktade till experter och forskare inom området, samt på observationer gjorda av lokala aktörer, och omfattar hela Saarijärviledens avrinningsområde. Piilolas (2007a) uppgifter omfattar Saarijärvis fiskeområde som sträcker sig från Kalmarinselkä ner till Naarajärvi, nedströms Hietama. Uppgifterna baseras på enkäter riktade till lokala fiskelag och andra aktörer, samt till ägarna av vattenområdena, däribland Forststyrelsen (Piilola, 2007b). Eftersom uppgifterna i stor utsträckning baseras på iakttagelser kan man inte utesluta att en art är närvarande även om inga observationer gjorts (Naturresursinstitutet, 2015b).

**Tabell 9. Fiskbeståndet i Saarijärvileden enligt Fiskatlas (Naturresursinstitutet, 2015a) och Piilola (2007a). Livskraftsstatusen i Piilolas (2007a) material är graderad enligt 5 = utmärkt livskraft och 0 = ingen livskraft. Endast förekommande arter beaktas.**

ART	FISKATLAS		PIILOLA (2007a)	
	Status	Förekomst	Status	Förekomst
Abborre	Självförsörjande	Hela Saarijärvileden	4,3	Nedströms Kalmarinselkä
Braxen	-	-	3,5	Nedströms Kalmarinselkä
Gädda	Självförsörjande	Uppströms Kalmarinselkä, biflöden	4,4	Nedströms Kalmarinselkä
Flodkräfta	Förekommer	Hela Saarijärvileden	1,0	Uppströms Leuhu
Gös	-	-	4,0	Nedströms Kalmarinselkä
Id	Självförsörjande	Uppströms Kalmarinselkä, nedströms Leuhu	1,2	Nedströms Kalmarinselkä
Insjölox	Odlad	Pyhäjärvi	0,2	Pyhäjärvi
Lake	-	-	3,1	Nedströms Kalmarinselkä
Löja	-	-	2,8	Kalmarinselkä, Nedströms Leuhu
Nors	Självförsörjande	Uppströms Kalmarinselkä, Summasjärvi	2,5	Ej mellan kraftverken
Signalkräfta	Förekommer	Mellan Kalmarinselkä och Leuhu	-	-
Sik	Stöds av odling	Pyhäjärvi	1,8	Nedströms Kalmarinselkä
Siklöja	Självförsörjande	Hela Saarijärvileden	1,7	Nedströms Kalmarinselkä
Stensimpa	Självförsörjande	Hela Saarijärvileden	-	-
Mört	Självförsörjande	Hela Saarijärvileden	3,7	Nedströms Kalmarinselkä
Ål	Odlad	Uppströms Mahlunjärvi	-	-
Öring	-	-	1,4	Nedströms Kalmarinselkä

### 3.5.2. Naturligt fiskbestånd och habitat samt kraftdammarnas inverkan på dem

Av de idag mest utsatta arterna vandrade öring, sik och id både uppströms och nedströms förbi Leuhunkoski och Hietamankoski innan byggandet av kraftverksdammarna (Jokivirta, 2006; Kuusela och Ovaskainen, 1972; Sormunen och Dahlström, 1970). Innan byggandet var

utbredningen av öring och id relativt jämn i hela Saarijärvileden och jämförbar med beståndens tillstånd nedströms Hietamankoski. Öringen förökade sig naturligt både uppströms och nedströms Leuhunkoski, där även sik, id och siklöja i stor utsträckning lekt, främst i Kallinjärvi mellan Leuhunkoski och Summasjärvi. Summasjärvi, eller Summanen, mellan Leuhunkoski och Hietamankoski (figur 13), anses ha varit ett utmärkt habitat för dessa arter innan byggandet av kraftverksdammarna. I Saarijärviledens källsjöar har troligtvis ett naturligt förökande harrbestånd funnits men det har sedermera försvunnit, trots utplanteringsförsök. (Kuusela och Ovaskainen, 1972.)

Förutom att avbryta vandring uppströms och försvåra vandring nedströms har introduktionen av kraftverksdammarna och åtgärder i anknytning till dem försämrat levnadsförhållandena för fiskbeståndet i hela Saarijärvileden. Förutom att vissa habitat inte längre är tillgängliga för uppströms vandrande fisk, har habitat vid och i närheten av kraftverken försörts. Förändringar beträffande flöden och vattennivåer, till följd av regleringen vid kraftverken, och rensningen av forsar och strömområden till förmån för timmerflottning, har haft en negativ inverkan på lekområden, skyddsområden och tillgången till näring, speciellt mellan kraftverken. (Kuusela och Ovaskainen, 1972.)

Hursomhelst finns fortfarande dugliga levnadsförhållanden uppströms Saarijärvi och i forsområden i ledens övre delar förekommer fortfarande yngelproduktion (Piilola, 2007a). Dessutom utnyttjas naturliga habitat i Saarijärviledens övre delar som inte påverkas av regleringen av sjöarna lägre ner i vattendraget, även om detta minskat efter introduktionen av kraftverksdammarna (Kuusela och Ovaskainen, 1972).

Alla förekommande arter har i någon utsträckning påverkats av kraftverksdammarna. De som lidit mest är öring, id och sik, arter som under naturliga förhållanden vandrat förbi Leuhunkoski och Hietamankoski. Även siklöjans status har påverkats negativt till följd av förstörda habitat mellan kraftverken (tabell 9). Resterande arter har däremot kunnat bibehålla ett livskraftigt bestånd trots uppdamningen av vattendraget (Sormunen och Dahlström, 1970).

### 3.6. Målarter och deras egenskaper beträffande vandring i fiskväg

Eftersom insjööring, id och sik vandrat förbi både Leuhu och Hietama under naturliga förhållanden utgör dessa arter fiskvägarnas målarter i denna studie. Av dessa prioriteras insjööringen eftersom den i fiskvägsstrategin pekas ut som vattendragets viktigaste art (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). I tabell 10 presenteras målarternas relevanta egenskaper för fiskvägarna.

### 3.6.1.Insjööring

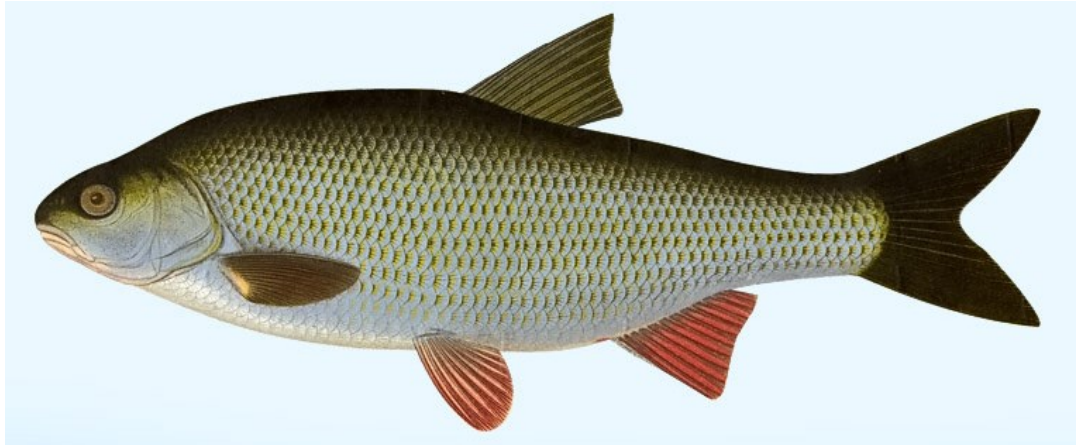
Insjööringen (*Salmo trutta m. lacustris* L.) (figur 31) är Mellersta Finlands landskapsfisk och en viktig och värdefull art (Kuusela och Ovaskainen, 1972), inte minst för fritidsfisket (VFFI, 2014). Insjööringen förekommer i hela landet och klassas som starkt utrotningshotad söder om norra polcirkeln (Urho m.fl., 2010). Insjööringen leker i strömmande vatten, främst forsar, under hösten och lägger ägg i grusbottnar, som sedan kläcks tidigt på våren. Ynglen lämnar grusbottnarna på vårsommaren och tillbringar mellan två och fem år i älvsområden tills de vuxit till ca 18-25 cm. Smolten bildar då stim och vandrar nedströms i vattendraget med vårfloren i jakt på föda bestående av insekter och mindre fisk. Den första lekvandringen sker efter ytterligare 2-5 år då öringen blivit könsmogen, och är 55-80 cm lång och väger runt två kg (Ahonen m.fl., 2014). Lekvandringen tillbaka till lekområdet äger rum på sensommaren eller tidigt på hösten. (VFFI, 2014; 2011; 2007.)



Figur 31. Insjööring (VFFI, 2007).

### 3.6.2.Id

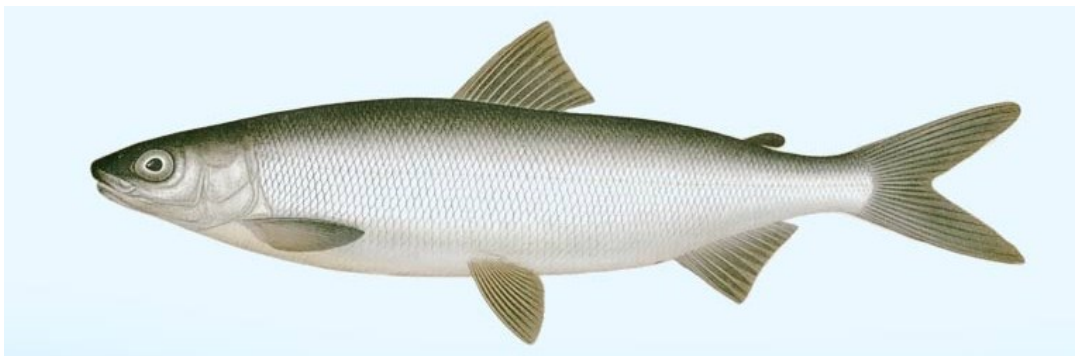
Id (*Leuciscus idus*) (figur 32) förekommer i alla Finlands havsområden och i de flesta stora sjöområdena. Arten är betydelsefull för fritidsfisket och sett till hela landet är stammen livskraftig. Iden leker i grunda strömområden på våren strax efter islossningen. Efter 10-17 dagar kläcks äggen, beroende på temperatur, och efter ytterligare ett par dagar är ynglen redo att simma. På våren, efter leken, vandrar iden till sjöområden i jakt på föda, i vilka den även övervintrar. Idens vandringsbeteende påminner om öringens och den söker sig tillbaka till sin egen födelseplats för att leka (Näslund m.fl., 2013; Kuusela och Ovaskainen, 1972). Iden når sin könsmognad efter 5-8 år och är då ungefär 30- 35 cm. (VFFI, 2013.)



Figur 32. Id (Sundman, 2015).

### 3.6.3.Sik

Sik (*Coregonus lavaretus*) (figur 33) är en kommersiellt betydelsefull art och förekommer i flera olika variationer som benämns enligt levnadsvanor (VFFI, 2003). Sikbeståndet i Pyhäjärvi utgörs idag av utplanterad insjösik (fi. *järvisiika*). Siken leker vid grusbottnar och sandbottnar i både älvsområden och sjöområden. Leken är koncentrerad till oktober månad men sträcker sig från september till tidig vinter. Äggen kläcks på våren efter islossningen och ynglen når en längd av runt 10 cm under första sommaren. Vandringen i jakt på föda beror på det tillgängliga vattendragets storlek och påverkas betydligt av kraftverksdammar. Under de varma sommarmånaderna söker sig siken till djupt och svalt sjövattnet. Siken når könsmognad vid en ålder av 2-5 år (Havs- och vattenmyndigheten, 2014) och är då runt 30 cm lång (Fishbase, 2015). En fullvuxen sik når sällan en längd över 55 cm (NaturPorten, 2015a). (VFFI, 2013b.)



Figur 33. Sik (Sundman, 2015).

### 3.6.4.Målarternas egenskaper

Litteraturen som beaktats i beskrivningen av målarternas egenskaper i tabell 10 är både inhemsk och internationell. Målarternas storlek baseras på finska förhållanden (NaturPorten, 2015b) och kompletteras med Calles m.fl. (2013) medan redogörelsen för arternas vandringsbeteenden omfattar såväl finska (bl.a. VFFI, 2015; NaturPorten, 2015b) som svenska



och europeiska uppgifter (Calles m.fl., 2013; Näslund m.fl., 2013; ICPDR, 2013). Man bör komma ihåg att vandringsbeteendet är en generalisering för en stor mängd individer. Avvikelser i form vandring av andra orsaker än lek, övervintring och födojakt, och i andra riktningar än nedströms och uppströms, förekommer och är svåra att förutspå.

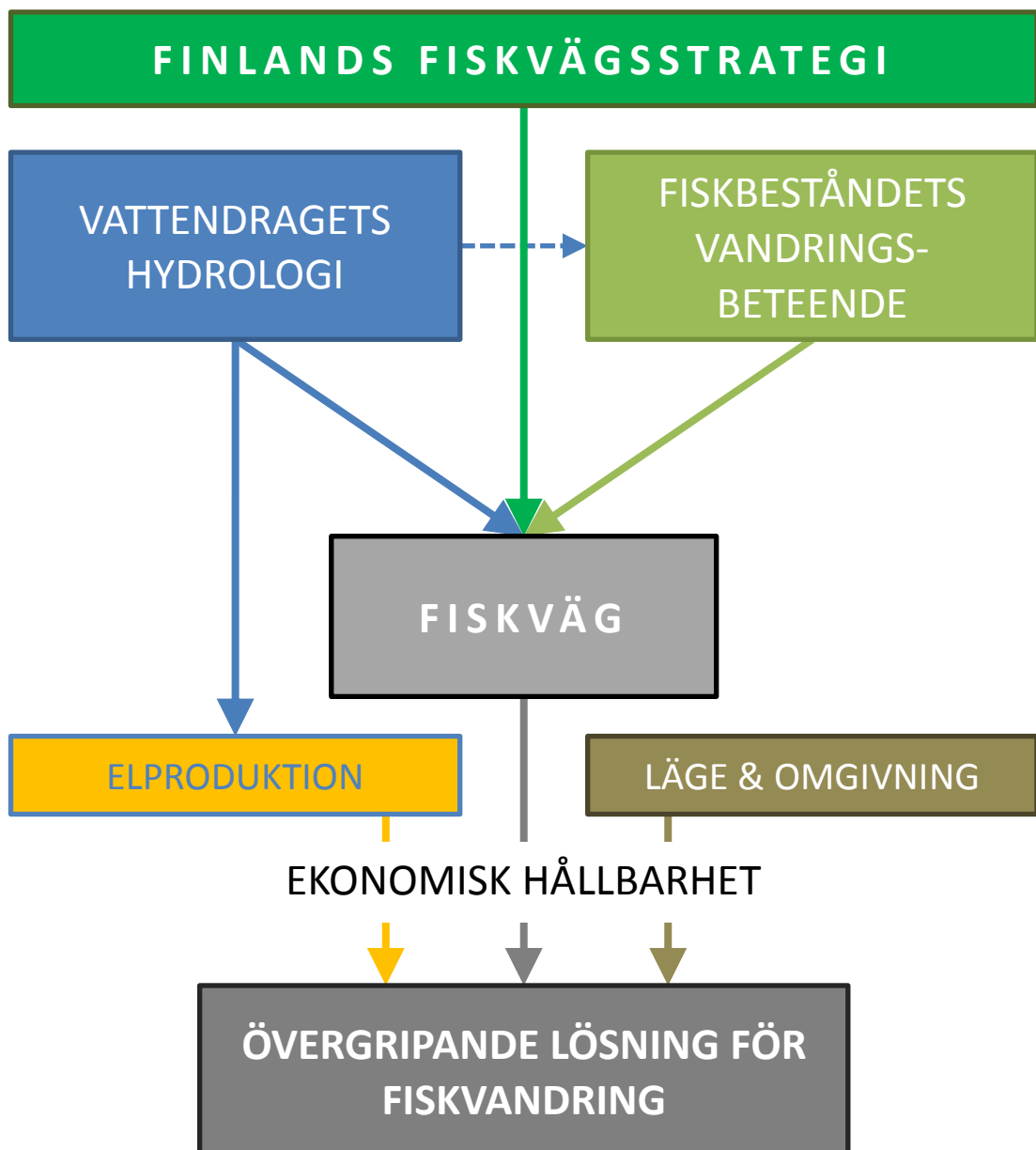
ICPDR (2013) presenterar resultat av studier beträffande arters simförmåga och anger att de flesta arters marschfart är 2 gånger kroppslängden per sekund. Laxfiskars, till vilka öring och sik hör, maximala fart är 10 gånger kroppslängden per sekund medan karpfiskars, till vilka id hör, maximala fart är 4-5 gånger kroppslängden per sekund. Calles m.fl. (2013) anger motsvarande värden för laxfiskars maximala fart, och dessutom att öringens förhöjda fart är 2-4 gånger kroppslängden per sekund. Dock menar Calles m.fl. (2013) att inte bara öring utan även id har högre simförmåga än sik. Haikonen och Karppinen (2012) anger vid vilken tid på dygnet vandring främst äger rum under tiden för uppströmsvandring i en fiskväg vid Koivukoski strax uppströms Kymmene älvs utlopp. Författarna undersökte även vid vilken temperatur vandring äger rum. Även de befintliga planerna för fiskvägar nämner lägsta vandringstemperatur (Ecoriver, 2006). ICPDR (2013) anger arternas vandringsinitiering.

**Tabell 10. Målarternas relevanta egenskaper för vandring i fiskväg.**

EGENSKAP	ÖRING	ID	SIK
Storlek, fullvuxen (längd * höjd * bredd) (cm)	80 * 14 * 8,0	50 * 13 * 5,5	55 * h * b
Storlek, första nedvandring	18 * 3,1 * 1,8	Ingen uppgift	10 * h * b
Nedströmsvandring (syfte)	Vårfloden (födojakt)	Vår-sommar (födojakt)	Vår (födojakt), sommar (svalka)
Uppströmsvandring (syfte)	Sensommar-tidig höst (lekvandring)	Höst (återvandring)	Sensommar-tidig höst (lekvandring)
Lägsta temperatur för vandring (°C)	7,0-7,3	7,0	7,0-7,3
Tidpunkt för vandring	Dag	Ingen uppgift	Dag
Maximal fart (m/s)	5,5-8,0	2,5	5,5
Förhöjd fart (m/s)	1,1-3,2	1,0-2,0	1,1-2,2
Marschfart (m/s)	1,1-1,6	1,0	1,1
Initiering av vandring (m/s)	0,2	0,2	0,2

#### 4. Studiens forskningsmetodik

Forskningsmetodiken i denna studie utgår från de biologiska, teknisk-ekonomiska och socioekonomiska aspekter av och kriterier för genomförandet av fiskvägsprojekt som nämns i Finlands fiskvägsstrategi (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). Utgångsläget vid platserna för kraftverksdammarna varierar något, framför allt beträffande hydrologiska förutsättningar och kraftverkens egenskaper. Hursomhelst så är angripssättet och metodiken de samma för de två objekten. I figur 34 åskådliggörs en övergripande metodik i form av ett flödesschema för att identifiera en lämplig vandringspassage för fisk.



Figur 34. Flödesschema över studiens forskningsmetodik och målsättning.

Vattendragets hydrologiska egenskaper och vattenkvalitet påverkar fiskbeståndets levnadsförhållanden och vandringsbeteende. Dessutom utgör de hydrologiska egenskaperna

förutsättningar och ramar för fiskvägens funktion, och även för energiproduktionen, i form av tillgången till vatten vid vardera kraftverksdamm. Fiskarnas vandringsbeteende ställer i sin tur krav på fiskvägen beträffande dess dimensionering, vattenföring och attraktion. Genom att beakta dessa aspekter kan en effektiv fiskvägslösning identifieras. På basis av de ekologiska och hydrologiska förutsättningarna i Saarijärvileden begränsas vandringsperioden till 1.5-31.10. Dessutom antas den huvudsakliga uppvandringen äga rum mellan 1.5 och 15.8, samt den huvudsakliga nedvandringen äga rum mellan 16.8 och 31.10. Hursomhelst bör man beakta vandring i motsatt riktning under dessa vandrings säsonger, framför allt under sommaren efter vårfloden.

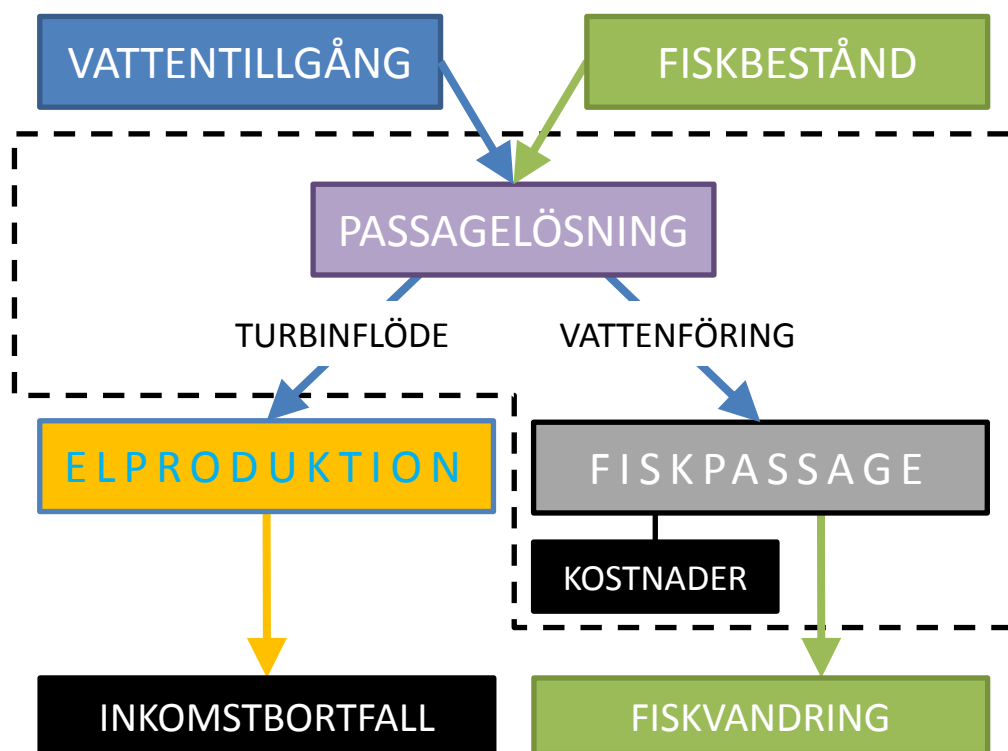
Det finns även andra faktorer som bör beaktas vid identifieringen av en adekvat fiskväg för vardera kraftverksdamm. Det ligger i kraftproducentens intresse att producera så mycket energi som möjligt, inom regleringsbestämmelserna för vardera vattenmagasinmagasin och kraftverk. Eftersom fiskvägen och kraftverket utnyttjar samma vattentillgång måste man göra en avvägning mellan ändamålets vattenanspråk vid val av fiskvägslösning. Omgivningen vid kraftverken har betydelse i fråga om kraftverksbyggnaden, terrängförhållanden, infrastruktur, bebyggelse och grannskap, natur och tillgång till markområden inom vilka fiskvägen kommer placeras. Dessa kan påverka och begränsa fiskvägens placering, storlek och utformning, och således även valet av fiskvägstyp.

Genom att inbegripa dessa aspekter torde fiskvägens ekologiska och tekniska hållbarhet förbättras, vilket ökar sannolikheten för en lyckad återställning av naturlig fiskvandring, även på lång sikt. Slutligen bör valet av fiskvägstyp omfatta ekonomisk hållbarhet. Kostnaden för och nyttan av en åtgärd för förbättrad fiskpassage bör alltid vägas mot varandra och noga utvärderas innan beslut om genomförande fattas.

I figur 35 åskådliggörs forskningsmetodiken för denna studie. För att identifiera lämpliga passagelösningar utgår studien från vandringsfiskbeståndet, det vill säga fiskpassagernas målarter, deras egenskaper och deras vandringsbeteende. Rätt dimensionerade och konstruerade fiskpassager skapar förutsättningar för återskapandet av naturlig *fiskvandring*. Vandringspassager utnyttjar en del av vattenmagasinens tappning, som utan passager skulle tappas genom kraftverken och producera energi, vilket leder till lägre produktion och således *inkomstbortfall*. Dessutom orsakar vandringspassagerna *kostnader* vid anläggning, drift och underhåll.

Vattentillgången och fiskbeståndet utgör förutsättningar för passagelösningar (figur 35) och är utom fiskpassagesprojektens påverkan. Denna studie utnyttjar både energiproducentens och Miljöförvaltningens (2015a) statistik över vattendragets hydrologiska egenskaper, utförda

studier och undersökningar om vattendragets fiskbestånd (t.ex. Piilola, 2007a och 2007b; Airaksinen m.fl., 2006; Ruokanen m.fl., 2006; Syrjänen m.fl., 2010; Naturresursinstitutet, 2015a) samt befintlig forskning om fiskpassager och fiskvandring samt sammanställningar av deras teoretiska bakgrund (bl.a. Degerman, 2008; Calles m.fl., 2012a; Calles m.fl., 2013; ICPDR, 2013). Studien undersöker de planerade fiskvägarnas lämplighet för vattendragets förutsättningar, fiskvägarnas förutsättningar att återskapa fiskvandring samt hur stort inkomstbortfall de planerade fiskvägarna förväntas ge upphov till. Studien undersöker dessutom alternativa passagelösningar, beträffande vattenföring och typ av passage (figur 35), och deras lämplighet för vattendragets förutsättningar, deras förutsättningar att återskapa fiskvandring och deras inkomstbortfall.



Figur 35. Flödesschema över studiens forskningsmetodik, med inkomstbortfall och förutsättningar för fiskvandring som resultat.

En passagelösning är en följd av vattendragets förutsättningar, och inkomstbortfall och förutsättningar för fiskvandring är i sin tur följder av en viss passagelösning (figur 35). Denna studies resultat utgörs dels av de undersökta passagelösningarnas inkomstbortfall och kostnader, dels av deras förväntade förutsättningar för fiskvandring. Dessutom utgör även de olika passagelösningarna en del av studiens resultat. Resultaten granskas genom att jämföra de olika passagelösningarnas totala kostnader och deras förutsättningar för att återskapa fiskvandring. Inkomstbortfallet som fiskvägarna ger upphov till baseras på den minskade vattentillgången för energiproduktion och energipriset. Anläggningskostnaderna för de alternativa lösningarna baseras på kostnaderna för de befintliga planerna.

De alternativa vandringsåtgärderna för uppströmspassage består av ett ökat flöde i fiskvägen vid både Leuhu och Hietama för att prioritera insjööringen, i enlighet med fiskvägsstrategin (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). Den ökade vattenföringen i fiskvägarna motsvarar 5 % av medelflödet vid kraftverken vid tidpunkten för uppströmspassage. Dessutom undersöks huruvida delar av den planerade tekniska fiskvägen vid Hietama kan ersättas av naturlika avsnitt för förbättra passageeffektiviteten och minska konstruktionskostnaderna.

För att undersöka hur stort behovet av åtgärder för nedströmspassage är vid kraftverken Leuhu och Hietama uppskattar studien vandringsförlusten vid turbinpassage vid båda kraftverken. Modellen som används för att beräkna förlusten är utvecklad av Leonardsson (2012) och ursprungligen ämnad för ål men har anpassats till lax (Leonardsson, 2014). Även om viss skillnad beträffande kroppsformen förekommer mellan lax och öring anser Leonardsson (2014) att modellen är användbar även för öring.

Modellen (Leonardsson, 2012) baseras på anpassning, parameterisering och validering till data om passager. Modellen kan antas ge relativt goda resultat och kan användas för att uppskatta huruvida vandringsförlusterna vid turbinpassage är betydande. Modellen beaktar turbinens egenskaper beträffande flöde, dimensioner, varvtal och antal blad. Dessutom beaktas den passerande fiskens storlek, samt galler spaltbredden framför turbinintaget för att uppskatta andelen fiskar som tar sig in i turbinen. I praktiken innebär passageförlust den andel av det nedströmsvandrande fiskbeståndet som inte tar sig nedströms ett kraftverk vid liv. Således omfattar förlust även individer som stannar kvar uppströms kraftverket. Vid simuleringen av förlusten beaktas 95 % av variationen som simuleringen ger (Leonardsson, 2015). Den uppskattade mortaliteten vid turbinpassage presenteras i kapitel 5.

Åtgärdförslaget för nedströmspassage som undersöks i denna studie torde vara användbar vid både Leuhu och Hietama. Åtgärden omfattar ett fiskanpassat galler framför turbinintaget, ansamling av avledd fisk, samt en flyktväg förbi kraftverket, och baseras på den åtgärd för förbättrad nedströmspassage för ål som används vid Ätrafors kraftverk i Ätran i Sverige (Calles m.fl., 2013b). Även för nedströmspassage beräknas inkomstbortfallet som passageåtgärden ger upphov till.

Inkomstbortfallet till följd av fiskpassagerna baseras på åren 2012-2014. Det är beräknat enligt det minskade turbinflödet som fiskpassagen ger upphov till vid vardera kraftverk. Turbinflödet beräknas baserat på den förverkligade energiproduktionen för varje timme. Energiproduktionen omvandlas till turbinflöde enligt turbinens förhållande mellan effekt och flöde. Varje dygns beräknade totala turbinflöde subtraheras med varje dygns totala flöde genom fiskvägen och omvandlas sedan tillbaka till turbineffekt enligt förhållandet mellan

turbinflöde och effekt. I beräkningen antas att antalet timmar kraftverket är i drift är detsamma både med och utan fiskväg. Så även om antalet produktionstimmar är detsamma leder det minskade turbinflödet till en lägre effekt och således till en minskad energiproduktion. Skillnaden mellan den förverkligade och minskade energimängden multipliceras med elpriset för att beräkna värdet av produktionsförlusten. För år 2012 finns endast elprisets månatliga genomsnitt att tillgå medan elpriset för varje enskild timme är tillgängligt för åren 2013 och 2014, och inkomstbortfallet för dessa år beräknas enligt dem (Nord Pool, 2015).

## 5. Resultat

I detta kapitel presenteras både de planerade fiskvägslösningarnas, och de alternativa lösningars förutsättningar för uppströms fiskvandring samt deras inverkan på energiproduktionen. Dessutom presenteras den förväntade vandringsförlusten vid nedströmspassage. Slutligen presenteras åtgärdsförslag för förbättrad nedströmspassage tillsammans med deras förutsättningar för fiskvandring och inverkan på energiproduktionen. Lösningarnas lämplighet för Leuhu och Hietama utvärderas i kapitel 6.

### 5.1. Befintliga planer för uppvandring

#### 5.1.1. Förutsättning för fiskvandring vid Leuhu och Hietama

De planerade fiskvägarnas inverkan på de hydrologiska förutsättningarna i Leuhunkoski och i Hietamankoski presenteras i tabell 11 och tabell 12. Vid tidsperioden för de naturligt vandrande arternas lekvandring motsvarar fiskvägarnas vattenföring (tabell 8) 2,7 % av medelflödet (tabell 4) i Leuhunkoski, samt 2,4 % av medelflödet (tabell 5) i Hietamankoski. Sett till hela året motsvarar fiskvägarnas flöde 1,9 % respektive 1,3 % av medelflödet. Noterbart är att flödet i Leuhunkoski ligger mellan 30 och 45 m<sup>3</sup>/s då kraftverken är i drift av vilket lockvattnet utgör ca 1 %. I Hietamankoski ligger flödet mellan 38 och 60 m<sup>3</sup>/s, av vilket lockvattnet utgör knappt 1 %. Hursomhelst är kraftverken vid normala omständigheter under denna period inte i drift dygnet runt. Då de inte är i drift är flödet genom fiskvägen det enda attraherande flödet nedströms kraftverken med en ungefärlig flödeshastighet genom ingången till fiskvägen om 0,9 m/s i Leuhunkoski och 1,5 m/s i Hietamankoski.

**Tabell 11. Den planerade fiskvägens inverkan på vattentillgången vid Leuhu under olika tider av året.**

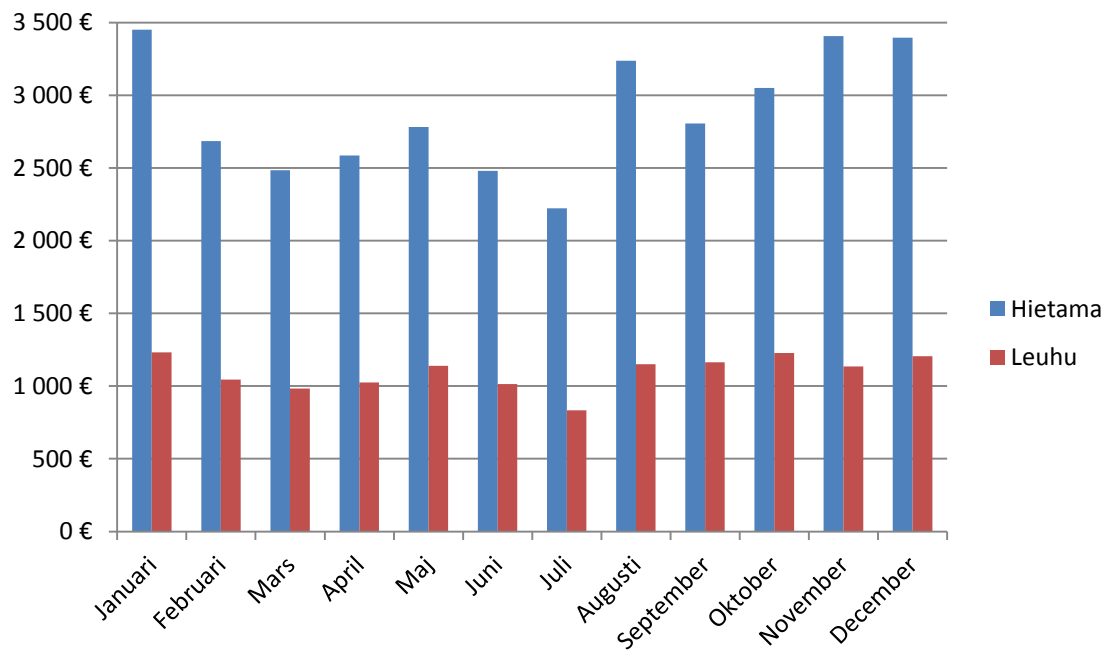
<b>LEUHU</b>	<b>1.1-31.12</b>	<b>1.5-15.8</b>	<b>16.8-31.10</b>
Leuhunkoski, MQ (m <sup>3</sup> /s)	20,45	29,10	14,48
Fiskväg, MQ (m <sup>3</sup> /s)	0,395	0,395	0,395
Fiskväg / Leuhunkoski (%)	1,9	1,4	2,7
Fiskväg / kraftverk (%)	0,9-1,3		
Vattenhastighet (m/s)	1,9		
Produktion (m <sup>3</sup> /s)	20,06	28,70	14,09

Tabell 12. Den planerade fiskvägens inverkan på vattentillgången vid Hietama under olika tider av året.

HIETAMA	1.1-31.12	1.5-15.8	16.8-31.10
Hietamankoski, MQ (m <sup>3</sup> /s)	30,26	38,44	16,83
Fiskväg, MQ (m <sup>3</sup> /s)	0,405	0,405	0,405
Fiskväg / Hietamankoski (%)	1,3	1,1	2,4
Fiskväg / kraftverk (%)	0,7-1,1		
Vattenhastighet (m/s)	1,9		
Produktion (m <sup>3</sup> /s)	29,85	38,03	16,42

### 5.1.2. De planerade fiskvägarnas inverkan på energiproduktionen

I figur 36 presenteras det genomsnittliga inkomstbortfallet som de planerade fiskvägarna skulle ha gett upphov till vid Leuhu och Hietama åren 2012-2014. I tabell 13 presenteras det sammanlagda inkomstbortfallet för de olika vandringssäsongerna.



Figur 36. Genomsnittlig inkomstbortfall till följd av de planerade fiskvägarna baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014.



**Tabell 13. Genomsnittlig produktionsförlust för olika perioder av året till följd av de planerade fiskvägarna baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014.**

TIDSPERIOD	HIETAMA	LEUHU
1.1-31.12	34 584,27 €	13 152,25 €
1.5-15.8	9 177,41 €	3 554,45 €
16.8-31.10	7 324,56 €	2 947,87 €
1.5-31.10	16 575,06 €	6 529,23 €

## 5.2. Alternativa lösningar för uppvandring

I detta avsnitt presenteras varianter av de planerade fiskvägslösningarna för att undersöka huruvida förbättringar kan göras. Varianterna som undersöks omfattar variationer i vattenföring samt typ av fiskväg. Utvärderingen av de alternativa lösningarna för uppströmsvandring görs i kapitel 6. Lösningarna som presenteras kräver förmodligen anpassning av de planerade konstruktionerna, något som denna studie inte omfattar

### 5.2.1. Prioritering av insjööring med förhöjt lockvatten

En variant av fiskvägslösningarna är en prioritering av insjööringen. I praktiken innebär detta en högre vattenföring som leder till ett större lockvatten för att öka sannolikheten för attraktion av insjööring. Den ökade vattenföringen leder till minskad sannolikhet för att de sämre simmarna id och sik tar sig igenom fiskvägen. Varianten som undersöks är en vattenföring och ett lockvatten som motsvarar 5 % (Calles m.fl., 2013) av medelflödet under tiden för lekvandring. Fiskvägslösningens inverkan på de hydrologiska förutsättningarna vid Leuhu och Hietama presenteras i tabell 14 respektive tabell 15.

**Tabell 14. Fiskvägens inverkan på de hydrologiska förutsättningarna vid Leuhu med en vattenföring av 5 % av medelflödet under tiden 16.8.-31.10.**

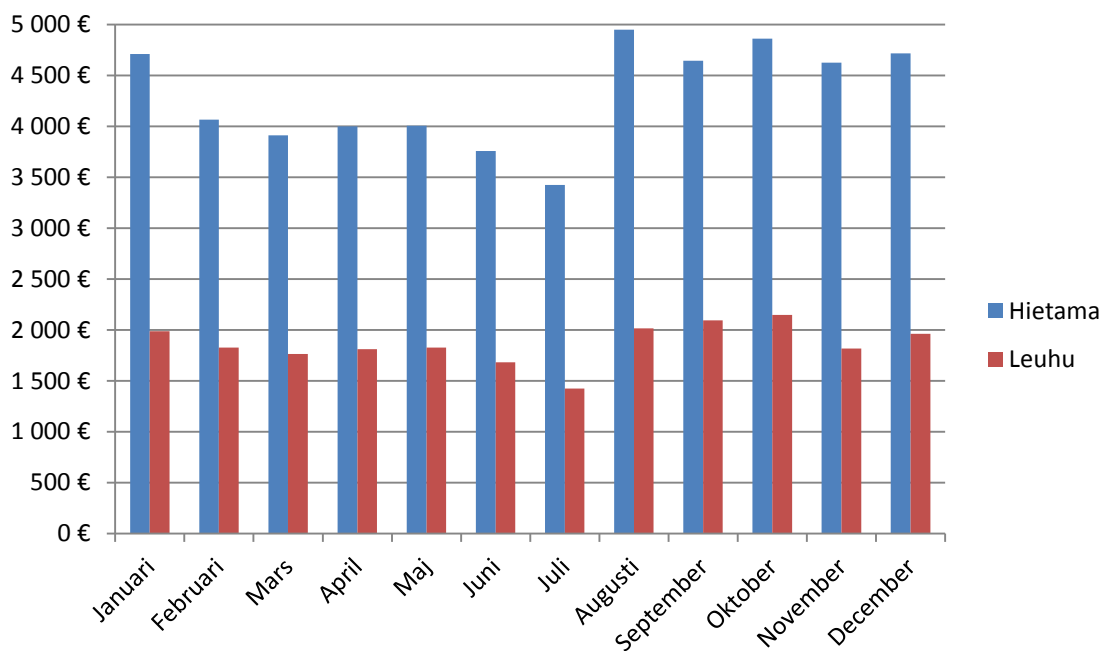
LEUHU	1.1-31.12	1.5-15.8	16.8-31.10
Leuhunkoski, MQ (m <sup>3</sup> /s)	20,45	29,10	14,48
Fiskväg, MQ (m <sup>3</sup> /s)	0,72	0,72	0,72
Fiskväg / Leuhunkoski (%)	3,5	2,5	5
Fiskväg / kraftverk (%)	1,6-2,4		
Vattenhastighet (m/s)	> 1,9		
Produktion (m <sup>3</sup> /s)	19,73	28,37	13,76

Ett flöde motsvarande 5 % av det totala flödet under tiden för uppströmsvandring ger ett lockvatten som motsvarar över 2 % av medelflödet för hela året i både Leuhunkoski och Hietamankoski. Dessutom motsvarar lockvattnets andel av turbinflödet alltid minst 1,6 % nedströms Leuhu och alltid minst 1,4 % nedströms Hietama. Vattenhastigheten är svår att beräkna men torde vara betydligt högre än i de planerade fiskvägslösningarna eftersom flödet är ungefär det dubbla.

**Tabell 15. Fiskvägens inverkan på de hydrologiska förutsättningarna vid Hietama med en vattenföring av 5 % av medelflödet under tiden 16.8.-31.10.**

<b>HIETAMA</b>	<b>1.1-31.12</b>	<b>1.5-15.8</b>	<b>16.8-31.10</b>
Hietamankoski, MQ (m <sup>3</sup> /s)	30,26	38,44	16,83
Fiskväg, MQ (m <sup>3</sup> /s)	0,84	0,84	0,84
Fiskväg / Hietamankoski (%)	2,8	2,2	5
Fiskväg / kraftverk (%)	1,4-2,2		
Vattenhastighet (m/s)	> 1,9		
Produktion (m <sup>3</sup> /s)	29,42	37,60	15,99

I figur 37 presenteras det genomsnittliga inkomstbortfallet som fiskvägarna med ett flöde motsvarande 5 % av det totala flödet under perioden för uppströmsvandring skulle ha gett upphov till vid Leuhu och Hietama åren 2012-2014. I tabell 16 presenteras inkomstbortfallet för de olika vandringssäsongerna under samma tid.



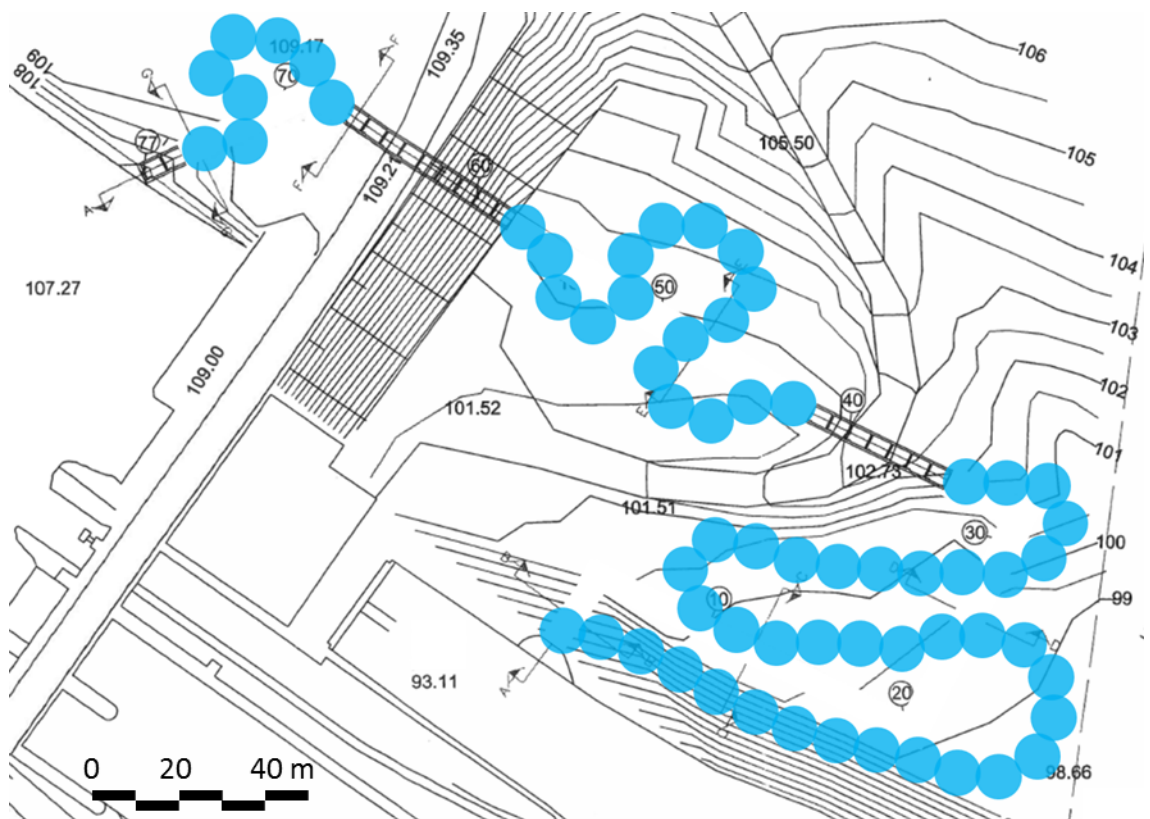
**Figur 37. Genomsnittlig produktionsförlust till följd av fiskvägslösningen där insjöeringen prioriteras baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014.**

Tabell 16. Genomsnittlig produktionsförlust till följd av fiskväglösningen där insjööring prioriteras baserat på produktion, flöden och elpriser åren 2012-2014.

TIDSPERIOD	HIETAMA	LEUHU
1.1-31.12	51 659,54 €	22 342,15 €
1.5-15.8	13 698,17 €	5 912,42 €
16.8-31.10	11 831,57 €	5 221,19 €
1.5-31.10	25 637,42 €	11 181,24 €

### 5.2.2. Hietama med naturlika avsnitt

Naturlika fiskvägar bör föredras framom tekniska så länge förhållandena inte hindrar anläggandet av naturlika fiskvägar (Calles m.fl., 2013). Dessutom är naturliga fiskvägar billigare att anlägga än tekniska fiskvägar (NTM-centralen, 2014). Den planerade tekniska fiskvägens dragning, och faktumet att passagerna under servicevägen och dammen samt att fiskvägens utgång bör vara av teknisk typ, erbjuder tre avsnitt som kan ersättas av naturlika fiskvägar: 1) mellan ingången och servicevägen, 2) mellan servicevägen och dammen, samt 3) mellan dammen och utgången. I figur 38 ges riktgivande dragning av naturliknande avsnitt. Hursomhelst torde bassängernas storlek och antal vara jämförbar kartans skala.



Figur 38. Den planerade fiskvägen vid Hietama där tekniska avsnitt ersätts med naturlika delar. Dragningen av de naturlika delarna är riktgivande. (Grafik: Axel Andersson, karta: Ecoriver, 2006.)

Var och en av varianterna antas fungera enligt samma princip som den kombinerade fiskvägen vid Leuhu, det vill säga med samma vattenföring som den planerade fiskvägslösningen vid Hietama. Således har de naturlika avsnitten inte någon inverkan på energiproduktionen i denna studie. De naturlika avsnittens egenskaper är desamma som egenskaperna för Leuhus naturlika avsnitt. Avsnittens tekniska och naturlika egenskaper presenteras i tabell 17.

**Tabell 17. Egenskaper för de avsnitt av den tekniska fiskvägen vid Hietama som kan ersättas med naturlig fiskväg.**

AVSNITT	TEKNISK FISKVÄG			NATURLIK FISKVÄG		
	Antal trösklar och bassänger	Avsnittets längd (m)	Höjdskillnad (m)	Antal trösklar och bassänger	Avsnittets längd (m)	Längdökning (m)
1	35	86,4	6,475	38	190	103,6
2	16	39,5	2,96	17	85	45,5
3	7	17,3	1,295	7	35	17,7

### 5.3. Nedvandring

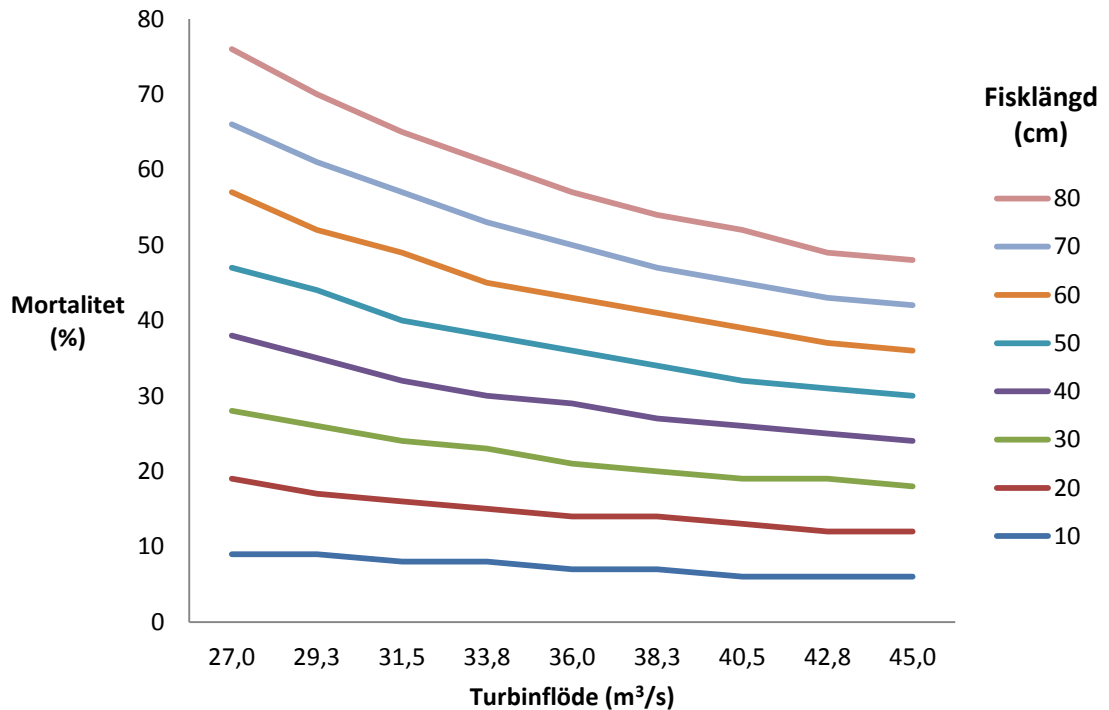
I detta avsnitt presenteras den förväntade vandringsförlusten vid både Leuhu och Hietama beräknad enligt Leonardssons (2012) modell. Modellen betraktar individer som inte tar sig igenom turbingallret, och således misslyckas i sin nedströmsvandring, som en vandringsförlust. Hursomhelst är spaltöppningarna såpass stora vid både Leuhu och Hietama att troligtvis inga individers nedströmsvandring hindras av gallren. Således antas all vandringsförlust utgöras av mortaliteten vid turbinpassage. Slutligen presenteras möjliga åtgärder för nedströmspassage vid båda kraftverken.

#### 5.3.1. Vandringsförlust vid turbinpassage

Den förväntade vandringsförlusten för fisk vid turbinpassage vid Leuhu och Hietama presenteras i figur 39 respektive figur 40. Förlusten är uträknad enligt Leonardssons (2012) modell för vandringsförluster. Den förväntade vandringsförlusten baseras på kraftverkets egenskaper samt på den passerande fiskens längd och de turbinflöden som i praktiken används. Modellen är utvecklad för att uppskatta förlusterna för lax och lämpar sig även öring (Leonardsson, 2014), men i denna studie uppskattas även mortaliteten för id och sik baserat på motsvarande längds laxar.

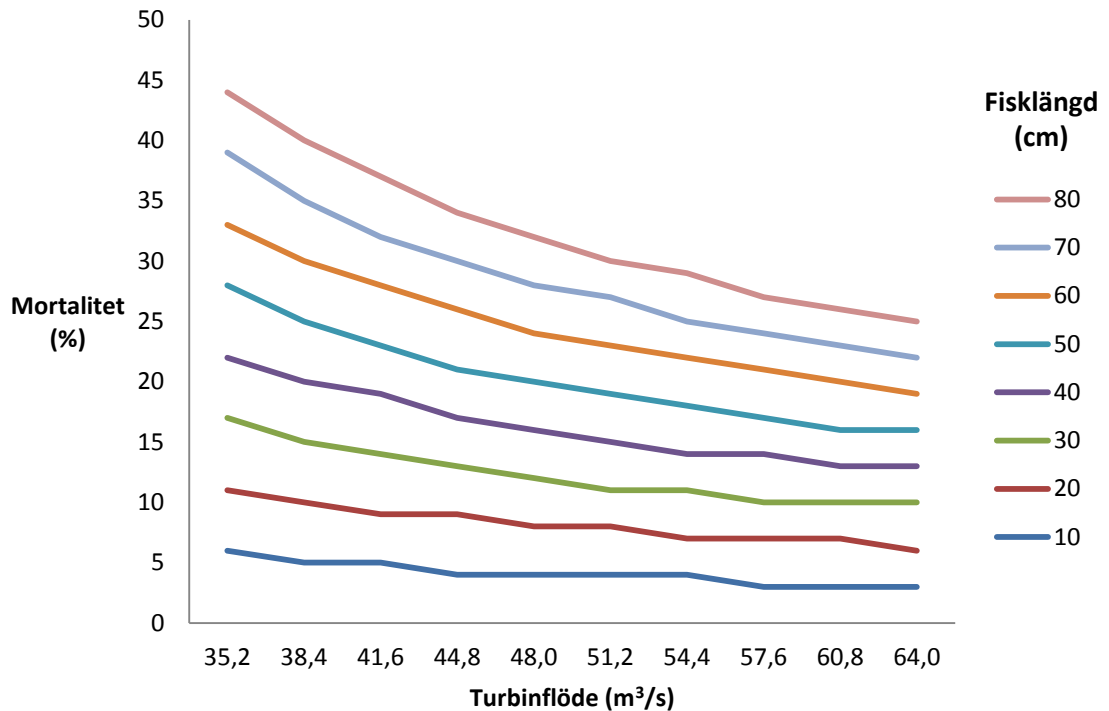
Vid Leuhu är den förväntade vandringsförlusten för fullvuxen, 80 cm lång öring högre än 50 % vid alla turbinflöden, förutom de allra högsta. För fullvuxen id och sik, 50 respektive 55 cm

långa, är den förväntade förlusten högre än 30 % vid alla turbinflöden. För ung fisk som vandrar för första gången, däribland öringssmolt, med en maximal längd av 30 cm är den förväntade förlusten omkring 15-25 %.



Figur 39. Den förväntade vandringsförlusten för fisk av olika längd vid turbinpassage vid Leuhu.

Den förväntade vandringsförlusten vid turbinpassage vid Hietama är lägre än 50 procent vid alla turbinflöden. För en fullvuxen, 80 cm lång öring är den förväntade förlusten 25-40 %. För fullvuxen id och sik, 50 respektive 55 cm långa, är den förväntade förlusten lägre än 25 % vid alla turbinflöden, förutom de allra lägsta. För ung fisk som vandrar för första gången, däribland öringssmolt, med en maximal längd av 30 cm är den förväntade förlusten lägre än 15 % vid alla turbinflöden, förutom de allra lägsta.



Figur 40. Den förväntade vandringsförlusten för fisk av olika längd vid turbinpassage vid Hietama.

Den förväntade kumulativa förlusten vid passage förbi både Leuhu och Hietama för fullvuxen öring, id och sik, samt 25 cm lång öringssmolt presenteras i tabell 18. Den baseras på den förväntade förlusten för vardera fisklängd vid Leuhu och Hietama åren 2012-2014 vid medelflödena 31,6 respektive 44,1 m<sup>3</sup>/s. Den kumulativa förväntade förlusten för fullvuxen öring är 77 %, medan den för fullvuxen id och sik är 58 respektive 53 %. För öringssmolt är den förväntade förlusten 29 %.

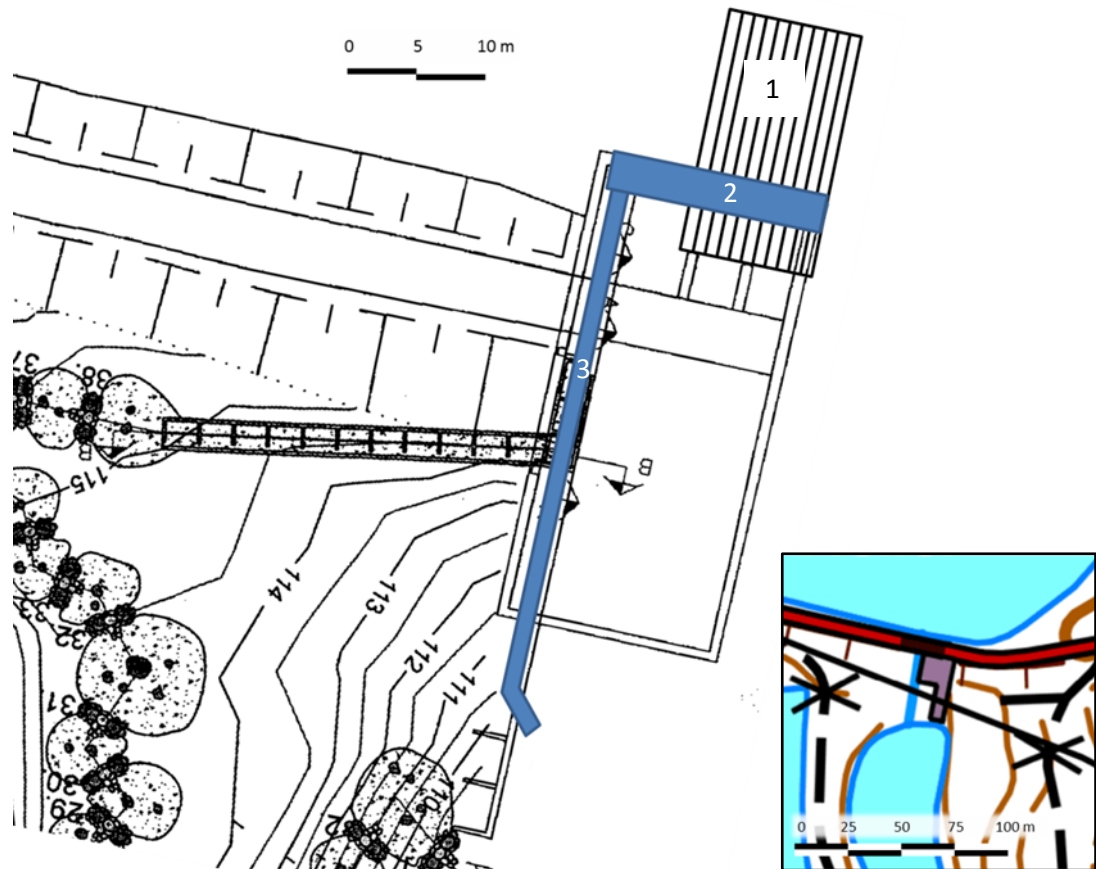
Tabell 18. Den kumulativa förväntade vandringsförlusten vid Leuhu och Hietama.

MORTALITET	ÖRING	ID	SIK	ÖRINGSSMOLT
Leuhu	65 %	45 %	40 %	20 %
Hietama	35 %	25 %	22 %	11 %
Kumulativ	77 %	58 %	53 %	29 %

### 5.3.2. Åtgärd för nedströmspassage

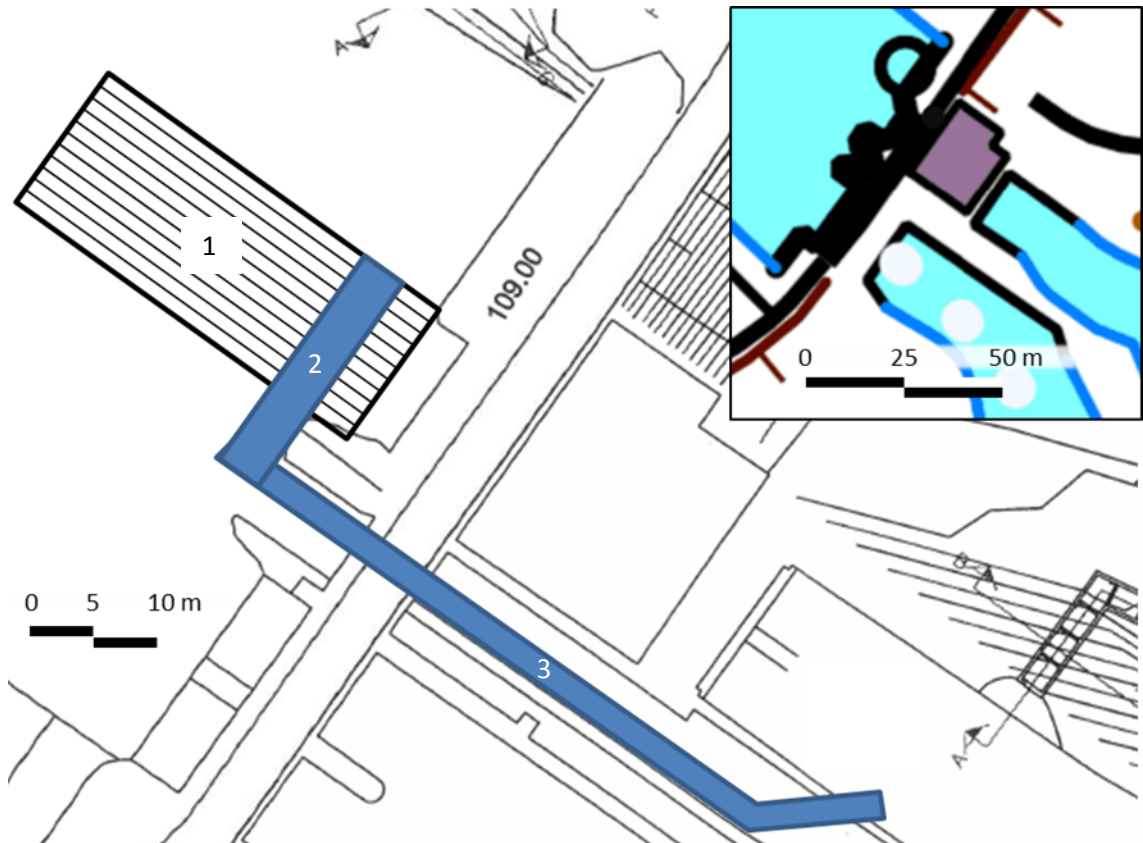
Vid Leuhu är en tänkbar åtgärd för nedströmspassage att fisken avleds från turbinintaget med ett  $\alpha$ -galler (figur 2) till en ränna för ansamling vid gallrets övre del nära vattenytan (figur 41). Därifrån leds fisken förbi spillluckan och genom utskovet för timmerflottning, bredvid fiskvägens utgång, in i ett rör längs betongmuren på den västra sidan av kraftverkets

utflödeskanal. Nedströmpassagens utgång, ur vilken den nedvandrande fisken faller ned i spilluckans utflödeskanal, är belägen ovanför betongmurens plana del (figur 27).



Figur 41. Grov skiss av åtgärdsförslag med 1) avledning, 2) ansamling och 3) flyktväg och passage för nedströmpassage vid Leuhu. (Grafik: Axel Andersson, kartor från Ecoriver (2006a) och Karpalo-tjänsten (Miljöförvaltningen, 2015c).)

Även vid Hietama är en tänkbar åtgärd för nedströmpassage att fisken avleds från turbinintaget med ett  $\alpha$ -galler (figur 2) till en ränna för ansamling vid gallrets övre del nära vattenytan (figur 42). Den avledda och ansamlade fisken leds sedan genom dammen via utskovet för timmerflottning. Fisken leds vidare i ett rör som mynnar till vänster, sett från nedströms kraftverket, i turbinens utloppskanal, vilken fisken faller ned i (figur 23).



**Figur 42.** Grov skiss av åtgärdsförslag med 1) avledning, 2) ansamling samt 3) flyktväg och passage för nedströmspassage vid Hietama. (Grafik: Axel Andersson, kartor från Ecoriver (2006b) och Karpalo-tjänsten (Miljöförvaltningen, 2015b).)

Vinkeln  $\alpha$  mellan vertikalplanet och det fiskanpassade  $\alpha$ -gallret är  $30^\circ$ . Gallerspaltbredden är 40 mm, vilket släpper igenom smolt och ung fisk som inte följer den med gallret parallella vattenströmmen till ansamlingen. Dessa parametrar kan justeras så att gallret inte orsakar större gallerförlust än det nuvarande gallret. Vattenföringen i flyktvägen torde inte vara högre än  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Oberoende av flöde, ger det fiskanpassade gallret förhållandet 1,7:1 mellan den parallella flödeskomponenten mot ansamlingen (ekvation 2) och flödets normalkomponent genom gallret mot turbinen (ekvation 3).

Åtgärden torde minska antalet individer som dör till följd av turbinpassage och dessutom underlätta fiskens nedströmspassage framom att förbli uppströms kraftverket. Det totala inkomstbortfallet som åtgärder för både uppströms och nedströms passage orsakar vid Leuhu och Hietama presenteras i tabell 19. Förutom inkomstbortfallet till följd av minskad produktion tillkommer kostnader för anläggning, drift och underhåll, samt eventuellt även för produktionsuppehåll under anläggningstiden.



Tabell 19. Det fortlöpande inkomstbortfall som lösningarna för uppströms, både befintliga och alternativa, och nedströms vandring sammanlagt ger upphov till vid Leuhu och Hietama.

TIDSPERIOD	HIETAMA		LEUHU	
	Planerat flöde	5 % flöde	Planerat flöde	5 % flöde
1.1-31.12	54 229,79 €	71 556,27 €	27 316,49 €	36 602,69 €
1.5-15.8	14 377,28 €	18 946,20 €	7 187,70 €	9 566,49 €
16.8-31.10	12 512,56 €	17 120,39 €	6 455,13 €	8 765,02 €
1.5-31.10	27 002,74 €	36 214,59 €	13 701,70 €	18 411,38 €

## 6. Resultatgranskning och diskussion

I detta kapitel utvärderas de olika lösningarna för fiskvandring utgående från hur deras egenskaper (tabell 8) motsvarar de ekologiska (tabell 10) och hydrologiska (avsnitt 3.2) förutsättningarna i vattendraget. Vidare jämförs lösningarnas egenskaper med relevanta studier. Även fiskväglösningarnas ekonomiska aspekter behandlas. Generellt kan sägas att eftersom sannolikheten för fiskvandring är låg under tiden 1.11-30.4, på grund av vattnets temperatur, är det inte ekonomiskt hållbart att fiskvägarna är i bruk under denna tid.

### 6.1. Uppvandring

Även om de planerade fiskväglösningarna inte är uttalat optimerade för någon särskild art lämpar sig deras egenskaper för studiens målarter vid både Leuhu och Hietama. Tappningen av Saarijärvi (figur 16) och Kiimasjärvi (figur 19) följer idag samma mönster som respektive sjös utflöde under naturliga förhållanden, vilket torde bifalla målarternas naturliga vandringsbeteende. Målarternas förhöjda och maximala simförmåga torde vara tillräcklig för att de ska orka simma igenom vattenflödet i de planerade fiskvägarna och passera hindren. Även fiskvägarnas dimensioner erbjuder målarterna tillräckligt utrymme för passage och manövrering. Flödet i slitsrännorna vid både Leuhu och Hietama är ungefär  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  lägre än det typiska flödesintervallet i slitsrännor (tabell 2). Detta flöde,  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , baseras hursomhelst på att vattendjupet i slitsrännan ska vara minst 0,6 meter (Degerman, 2008). I de planerade slitsrännorna är vattendjupet 1,2 meter så vattenföringen torde inte ha negativ inverkan på fiskvägens funktion.

Den planerade fiskväglösningen för uppvandring vid Leuhu kan anses vara ändamålsenlig och utan behov av konstruktionsmässiga förändringar. En liknande lösning, med en naturlig nederdel och en teknisk överdel som går igenom en damm, men med en vattenföring av  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , har anlagts i Perho å i Österbotten (Mäki, 2006). Även om noggrannare funktionsstudier saknas, har fiskvägen visats fungera för både lax och havsöring (Jormola, 2014). Den tekniska delen av fiskvägen i Leuhu kan anses vara nödvändig för att fiskvägen ska kunna gå genom dammen genom utskovet för timmerflottning. Hursomhelst går en del av de ekologiska fördelarna (bl.a. Järvenpää m.fl., 2010) med en naturlig fiskväg förlorade eftersom fiskvägen inte har vattenföring året om.

Även om denna studie inte desto närmare går in på andra kostnader än inkomstbortfall och anläggningskostnader, bör man fästa uppmärksamhet vid dem. Geotekniska och andra förhandundersökningar med anknytning till själva byggandet och fiskvägens dragning ska utföras vid behov. Särskilt vid Hietama, där den planerade fiskvägens dragning dels kräver

bergschaktning, dels går genom dammen, är detta vara relevant. Varken vid Leuhu eller Hietama har dylika undersökningar utförts. Vidare kan andra utredningar krävas, till exempel en miljökonsekvensbedömning, som medför både undersökningskostnader och förvaltningskostnader, vilka även tillkommer vid tillståndsförfaranden vid ansökan om miljölov. Då fiskvägarna väl är byggda ger de, förutom inkomstbortfall, upphov till driftkostnader och underhållskostnader.

#### 6.1.1. Vattenföring och lockvatten

Det planerade lockvattnet kan vid både Leuhu och Hietama anses vara i minsta laget, särskilt då kraftverken är i drift. För att inte begränsa goda förutsättningar för uppvandring till de tidpunkter då kraftverken inte är i drift bör en ökad vattenföring med ett ökat lockvatten användas för att öka sannolikheten för god attraktion och passagefunktion, åtminstone under säsongen för uppströmsvandring 16.8-31.10, trots inkomstbortfallet detta orsakar. Det undersökta lockvattnet, motsvarande 5 % av medelflödet under säsongen för uppströmsvandring, utgör 1,6-2,4 %, och 1,4-2,2 % av turbinflödet vid Leuhu respektive Hietama. Trösklarna närmast ingången kan höjas något för att åstadkomma en högre vattenhastighet än det planerade 1,9 m/s (Santos m.fl., 2005). Både attraktionsflödet och vattenhastigheten faller i så fall inom rekommendationerna om ett attraktionsflödet som utgör 2-10 % av medelvattenföringen samt en vattenhastighet om 2,0-2,4 m/s för att attrahera laxfisk, som Jaukkuri m.fl. (2013) ger. Denna flödesanpassning torde således främja attraktionen av målarterna, även då kraftverken är i drift, medan den förhöjda vattenföringen i fiskvägen kan försvåra passage för id och sik. Insjöringen, som är en god simmare, prioriteras av den förhöjda vattenföringen och god passagefunktion torde åstadkommas under hela säsongen för uppströmsvandring. Hursomhelst pekar Noonan m.fl. (2012) mot att fiskvägens lutning är av större betydelse än vattenhastigheten för lyckad fiskvägspassage, vilket innebär att den högre vattenföringens negativa inverkan på idens och sikens vandring inte behöver vara så stor.

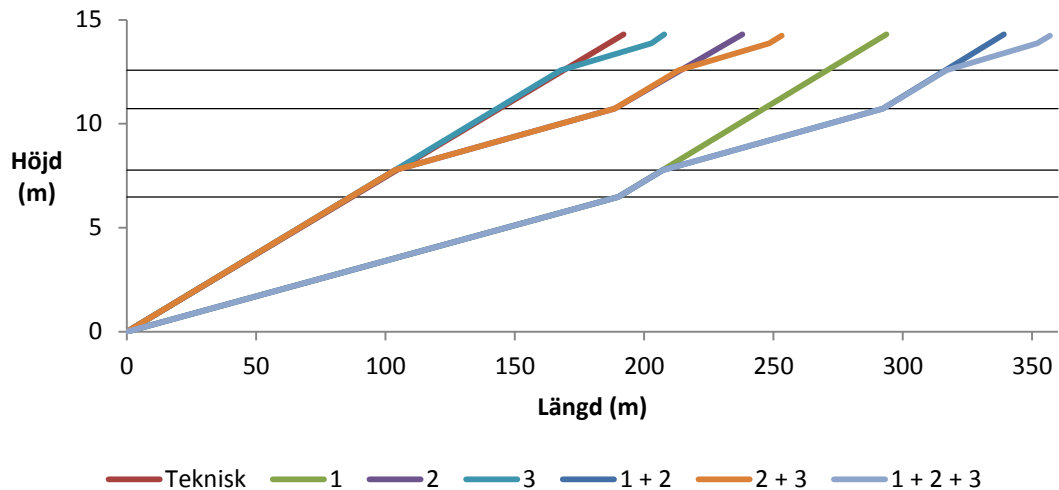
Under perioden 1.5-15.8, då i huvudsak nedströmsvandring sker, utgör det planerade lockvattnet vid Leuhu och Hietama endast 1,4 % respektive 1,1 % av medelflödet, och andelen är ännu lägre vid turbinflöden. Under säsongen för nedströmsvandring är uppströmsvandringen osäker och på grund av vårfloden förekommer spill, vilket ytterligare minskar fiskvägarnas anlockningsförmåga vid både Leuhu och Hietama. Vid Leuhu konkurrerar fiskvägen med både turbinflödet och spillet medan spillet vid Hietama kan locka uppströmsvandrande fisk till spillkanalen. På grund av detta har ett ökat flöde i fiskvägen osäker effekt under säsongen för nedströmsvandring varför det inte kan anses vara värt

kostnadsbortfallet. Hursomhelst kan en del av vattnet som tappas som spill utnyttjas i fiskvägen för att åstadkomma ett större lockvatten, vilket inte orsakar ytterligare inkomstbortfall.

Om man vill åstadkomma ett högre lockvatten men behålla den ursprungliga vattenföringen i fiskvägen kan ett extra lockvatten tillsättas (Calles m.fl., 2013). Ett extra lockvatten kan åstadkommas genom att tillföra ett flöde från magasinet, som inte går genom fiskvägen, vid ingången till fiskvägen, vilket orsakar ett inkomstbortfall. Alternativt kan vatten pumpas till fiskvägens ingång för att åstadkomma ett högre lockvatten, vilket inte orsakar ett inkomstbortfall men kräver energi. Eventuellt kan extra lockvatten från spill tillföras, även om detta kräver någon sorts anordning för att leda vatten från spilluckorna till fiskvägens ingång. Detta är troligtvis praktiskt ogenomförbart vid Hietama, medan det kan undersökas vid Leuhu.

#### 6.1.2. Naturlika avsnitt vid Hietama

Avsnitten mellan servicevägen och dammen, samt ovanför dammen är de konstruktionsmässigt mest lämpliga avsnitten för naturlika fiskvägar. På dessa områden finns inget som nämnvärt hindrar eller styr fiskvägens dragning, förutom att fiskvägens utgång ska förses med en sättlucka, med tillhörande konstruktion, för att kontrollera flödet i fiskvägen. Det nedersta avsnittet är konstruktionsmässigt mest utmanande. Avsnittet kräver en lång naturlig fiskväg och utrymmet för en sådan är mycket knapp. Naturlika fiskvägar är i allmänhet, och vid Leuhu och Hietama i synnerhet, flackare än tekniska fiskvägar vilket betyder att naturlika fiskvägar måste vara längre än tekniska för att uppnå samma fallhöjd. Noonan m.fl. (2012) visar att passageeffektiviteten stiger med längden på fiskvägen, vilket torde bero på den minskade lutningen. Således torde en lång och flack fiskväg åstadkomma högre passageeffektivitet än en kort och brant och, varför naturlika avsnitt av fiskvägen, som presenteras i avsnitt 5.2.2, (figur 43) bör övervägas vid Hietama. Eftersom fiskvägen inte har vattenföring året om går en del av de ekologiska fördelarna med en naturlig fiskväg förlorade. Hursomhelst är den lägre anläggningskostnaden och den högre passageeffektiviteten faktorer som gör naturlika fiskvägsavsnitt fördelaktiga.



Figur 43. Den planerade tekniska fiskvägens och de alternativa fiskväglösningarnas (1, 2, 3) höjd-längd-förhållanden vid Hietama (avsnitt 5.2.2). De horisontella linjerna motsvarar de tekniska passagera under servicevägen och genom dammen.

## 6.2. Nedvandring

### 6.2.1. Turbinpassage

Den beräknade förväntade passageförlusten är högst vid låga turbinflöden och lägst vid höga turbinflöden, det vill säga den minskar i takt med att turbinflödet ökar över hela flödesintervallet vid både Leuhu och Hietama. Under den huvudsakliga nedvandringen 1.5-15.8 körs kraftverken med högt turbinflöde och spill förekommer ofta under vårfloden, vilket minskar sannolikheten för att den nedströmsvandrande fisken dör vid turbinpassage. Den förväntade passageförlusten är ändå betydande vid båda kraftverken och betydligt högre vid Leuhu än vid Hietama. Den högre förväntade mortaliteten vid Leuhu torde bero på turbinflödet eller navdiametern eftersom de är de enda egenskaper med stora avvikelser mellan kraftverken. Då man analyserar resultaten av simuleringen av passageförlusterna vid Leuhu och Hietama bör man fästa uppmärksamhet att en exakt turbinmortalitet inte kan beräknas på grund av de många faktorerna som påverkar mortaliteten (Cada, 1997).

Den förväntade mortaliteten för smolt vid Leuhu och Hietama, 20 respektive 11 %, stämmer väl överens med sammanställningen av Huusko m.fl. (2014) över studier av mortaliteten vid turbinpassage vid Kaplan-turbiner i Finland och Sverige, bland andra Calles och Greenberg (2009). Calles m.fl. (2012b) fann att den totala mortaliteten vid kraftverket Herting, i Ätran i sydvästra Sverige, med en Kaplan-turbin med det maximala flödet  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  och varvtalet 250 1/min, samt två Kaplan-turbiner med det maximala flödet  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  och varvtalet 187 1/min, var 13 % för laxsmolt, med medellängden 16,0 cm, och öringssmolt, med medellängden 14,7 cm.

Gustafsson (2010) fann att mortaliteten för laxsmolt i Kaplan-turbinen vid Hednäs kraftstation i Åbyälven i nordöstra Sverige, var 35 % vid medelturbinflödet 11,7 m<sup>3</sup>/s.

Den förväntade kumulativa passageförlusten är hela 77 % för fullvuxen insjööring och något lägre för id och sik, men ändå högre än 50 %. Den förväntade kumulativa förlusten för nedvandrande öringssmolt är 29 %. Om rekommendationen om en passageeffektivitet större än 90 % (Lucas och Baras 2001, Ferguson m.fl. 2002) appliceras på och uppfylls vid nedströmspassage vid Leuhu och Hietama, leder detta till en total passageeffektivitet av minst 81 % och en passageförlust av högst 19 %.

### 6.2.2. Åtgärder för nedströmspassage

För att minska vandringsförlusterna och förbättra förutsättningarna för lyckad nedströmsvandring bör åtgärder för nedströmspassage vidtas framförallt vid Leuhu, men även vid Hietama. Galler med en betydligt smalare spaltbredd än det nuvarande 180 mm minskar turbinpassage för vuxen fisk och således även mortaliteten den orsakar. Calles m.fl. (2012b) fann att passageeffektiviteten för ett galler med spaltbredden 90 mm och lutningen 30° i förhållande till flödesriktningen, i anknötning till en ytavledare vid kraftverket Herting med slukförmågan 40 m<sup>3</sup>/s, var 58 % (7 av 12) för öringssmolt, med medellängden 59,4 cm, och 0 % för öringssmolt. De fem öringssmoltindivider som inte passerade hindret vände om och vandrade tillbaka uppströms. Således var passageförlusten 42 % men turbinmortaliteten 0 %. Ett intagsgaller som hindrar fisk från att ta sig in i turbinen minskar mortaliteten men höjer passageförlusten om inte åtgärder för förbipassage vidtas.

Calles och Greenberg (2009) visar att två icke-fiskanpassade skräpgaller med 20 mm respektive 30 mm i spaltbredd vid två efter varandra följande vattenkraftverk i Emån i sydöstra Sverige hindrade öringssmolt från att passera genom turbinerna. Av den nedvandrande keltan i studien passerade 58 % båda kraftverken antingen via spill, genom kraftverkens fiskvägar för uppvandring eller genom öppningar i intagsgallret ämnade för avledning av skräp. Ett  $\alpha$ -galler med 18 mm spaltbredd och med en lutning av 35° mot flödesriktningen gav en avledningseffektivitet av 82 % och en passageeffektivitet av 90 % för europeisk ål i en studie vid Ätrafors kraftverk, med slukförmågan 72 m<sup>3</sup>/s, i Ätran i sydvästra Sverige (Calles m.fl., 2013b). Åtgärden torde fungera även för fullvuxna individer av denna art.

Ett galler som hindrar turbinpassage är en viktig åtgärd även för uppvandringen. Om fisk som lyckats passera ett kraftverk genom en fiskväg sugas in i turbinen är passagen inte lyckad. Dessutom löper fisken risk att dödas vid turbinpassagen. Framför allt vid Leuhu är detta relevant eftersom fiskvägens utgång ligger nära turbinintaget. Den förväntade vandringsförlusten är högre vid Leuhu varför åtgärder där bör prioriteras.

### 6.2.3. Nedströmsvandring i fiskväg ämnad för uppströmsvandring

Det vore fördelaktigt om en fiskväg för uppströmspassage även kunde utnyttjas för nedströmspassage. Hursomhelst har tekniska fiskvägar för uppströmspassage visats fungera dåligt för nedströmspassage (Calles m.fl., 2013), och Calles och Greenberg (2009) menar att en fiskväg för uppströmsvandring endast hittas då inga andra alternativ, till exempel passage via spill eller turbin, är tillgängliga. Gustafsson (2010) visade att mortaliteten för smolt som vandrade nedströms i en kammarrappa, som fungerade väl för uppströmspassage, var 33 %, det vill säga nästan lika hög som mortaliteten vid turbinpassage på platsen (35 %) och betydligt högre än den förväntade mortaliteten vid både Leuhu och Hietama. Gustafsson (2010) föreslår att smolten undvek att röra sig nedströms vid varje mellanvägg eller tröskel i fiskvägen. En naturlig fiskväg, med ett naturligare flöde än i en teknisk fiskväg, torde fungera bättre för nedströmspassage men omfattande forskning saknas (Calles m.fl., 2013). Om andra åtgärder förutom flyktväg saknas, till exempel avledning och ansamling, bör vattenföringen vara hög, och för god nedströmspassage bör vattenföringen i en fiskväg utgöra upp till 10 % av det totala flödet i vattendraget eller genom kraftverket (Huusko m.fl., 2014).

## 6.3. Kompletterande åtgärder

Lösningar för fiskpassage öppnar upp vattendraget och är fundamentala åtgärder för att uppnå fiskvägsstrategins mål (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). Hursomhelst så krävs även andra åtgärder än återställande av vandringsmöjligheter för att skapa förutsättningar för att återskapa vandringsfiskbeståndets naturliga livscykel (Calles och Greenberg, 2009). I detta avsnitt presenteras kompletterande åtgärder till fiskvägarna vid Leuhu och Hietama.

### 6.3.1. Kraftverken

För att minska risken för skador vid turbinpassage vid nedströmsvandring kan man använda sig av fiskanpassade turbiner som utsätter den passerande fisken för lägre skaderisk än vad konventionella turbiner gör. Cada (2001) föreslår en Kaplan-turbin där antalet springor i vilka fisk kan fastna och skada sig är minimalt. Cada (1997) menar dessutom att turbiner kan designas så att tryckfallet begränsas så att kavitation inte uppstår. Anpassningar av turbinen torde endast vara aktuella då turbinen måste bytas ut (Schilt, 2007). Fiskanpassade turbiners positiva inverkan på skaderisken är hursomhelst osäker och andra åtgärder för nedströmspassage är troligtvis effektivare.

Anpassad tappning av magasinen vid Leuhu och Hietama kan gynna både uppströms och nedströmsvandringen (Finlands fiskvägsstrategi, 2012). För att minimera turbinmortaliteten vid nedströmspassage kan man sträva till att använda så stora turbinflöden som möjligt (figur

39 och figur 40). Detta torde även vara fördelaktigt för energiproducenten eftersom flödet vid perioden då den huvudsakliga nedvandringen äger rum överstiger kraftverkets kapacitet och spill förekommer. Hursomhelst bör även kraftverkens optimala verkningsgrad, som inte nödvändigtvis betyder maximalt turbinflöde, beaktas. Beträffande uppvandring kan man å andra sidan tappa magasinerna med så låga turbinflöden som ekonomiskt och tekniskt är möjligt. Ett lågt turbinflöde höjer lockvattnets andel av det totala flödet, vilket torde höja attraktionen av uppströmsvandrande fisk. Alternativt kan kraftverken köras med hög effekt, och stort turbinflöde men under färre timmar, för att öka antalet timmar då fiskvägens vattenföring är det enda förekommande flödet nedströms kraftverket. I så fall skulle attraktionen sänkas då turbinflöde förekommer, men troligtvis höjas betydligt då det enda flödet kommer via fiskvägen (Calles m.fl., 2013).

### 6.3.2. Utvärdering av fiskvägarnas funktion

Oberoende av val av fiskväglösning bör åtgärderna omfatta metoder för att utvärdera fiskvägarnas funktion för vandring både uppströms och nedströms (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). Även om en vandringslösning torde uppfylla alla tekniska krav för lyckad funktion bör varje fiskväg utvärderas individuellt för att få reda på fiskvägens verkliga funktion. Det finns olika metoder för att undersöka fiskars vandring och fiskvägars funktion. De vanligast förekommande metoderna omfattar kameraövervakning, Vaki-räknare och PIT-märken (Orell m.fl., 2014). Kameraövervakning och Vaki-räknare bygger på att vandrande fisk passerar genom en relativt smal konstruktion i vilken kameran eller Vaki-räknaren placeras. Kameran ger antingen rörliga bilder eller stillbilder av den passerande fisken medan Vaki-räknaren ger en bild av den passerande fiskens siluett. Med båda metoderna kan den passerande fiskens art och storlek bestämmas (Haikonen och Karppinen, 2012).

Kameror och Vaki-räknare undersöker endast hur många individer som utnyttjar passagen, inte hur stor andel av fiskbeståndet som gör det. En metod för att få noggrannare uppgifter om de vandrande arternas beteende, rörelser och preferenser är radiospårning (*en. radio tagging*) (Calles och Greenberg, 2007; Calles m.fl., 2012b; Gustafsson, 2010). Spårningen går ut på att individer, märkta med radiomärken, så kallade PIT-märken (*Passive Integrated Transponder*), och deras rörelser spåras med hjälp av för ändamålet strategiskt utplacerade antensystem (Orell m.fl., 2014). Med radiospårningen kan man erhålla uppgifter om enskilda individers val av rutt, tidpunkter för vandring, eventuell fördröjning och vid vilka platser fördröjningen ägt rum, (Calles m.fl., 2012b).

Genom att noggrant analysera uppgifterna kan man dra slutsatser om vilka lösningar som fungerar och vilka som inte gör det och bör åtgärdas. Eftersom förbättringar kan vara



nödvändiga efter att passagera för uppströms och nedströms vandring anlagts, är det mycket viktigt att de konstrueras så att framför allt vattenföringen och lockvattnet i fiskvägarna för uppströmspassage, men även flödet vid ansamling av avledd fisk vid nedströmspassage, kan anpassas vid behov. Dessutom bör fiskpassagera konstrueras så att de smidigt och utan alltför långa driftstopp kan underhållas.

### 6.3.3. Vattendraget

Vattendragets hydromorfologiska tillstånd förbättras i och med förverkligandet av åtgärderna för förbättrade passagemöjligheter för vandrande fisk. Därtill bör det finnas biologiska och ekologiska förutsättningar för att återskapa en naturligt reproducerande fiskstam (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). Vattenkvaliteten i vattendraget bör tryggas genom att förse förorenande verksamhet inom avrinningsområdet med utsläppsgränser, vilket inom Saarijärviledens avrinningsområde närmast berör jord- och skogsbruk (Jämsén, 2012), lätt industri och avloppsrening. Vidare bör potentiella lekområden, av vilka det finns gott om i Mellersta Finland och Saarijärvileden (Airaksinen m.fl., 2006), till exempel rensade forsområden, restaureras så att det finns lämpliga områden för den lekvandrande fisken att lägga sina ägg.

Återskapandet av en naturligt reproducerande fiskstam förutsätter även ett hållbart fiske. Fisket i Saarijärvileden bör regleras så att självförsörjande fiskbestånd främjas. Detta kan genomföras med begränsningar för fisket beträffande var man får fiska, till exempel inte på födoområden, när man får fiska, till exempel inte vid lekvandring, hurdan utrustning som får användas, och givna minimimått för fångsten (Nationell fiskvägsstrategi, 2012). Dessutom kan fisket begränsas till arter vars tillstånd är starkt och som inte hotas av överfiske (Sutela m.fl., 2012). Precis som fiskvägarnas funktion bör undersökas, bör även fiskbeståndet liksom åtgärder för att återupplivande det undersökas. Forskning om insjööringens bestånd och livskraft i Mellersta Finland har pågått åtminstone under de senaste tio åren. Forskningen bedrivs främst av Jord- och skogsbruksministeriets forskningsenhet Naturresursinstitutet, tidigare Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet (bl.a. Airaksinen m.fl., 2006; Ruokanen m.fl., 2006; Syrjänen m.fl., 2010) samt Natur-, trafik- och miljöcentralen (bl.a. NTM-centralen, 2013), tidigare Miljöcentralen (Mellersta Finlands miljöcentral, 2009). Dessutom bedrivs forskning av intressegrupper (Ahonen m.fl., 2014).

## 7. Slutsats och rekommendation

De planerade fiskvägarna för uppströmsvandrande fisk vid Leuhu och Hietama motsvarar de rådande hydrologiska och ekologiska förutsättningarna, och de torde åstadkomma fungerande passager för fiskvandring. Hursomhelst är den planerade vattenföringen i fiskvägarna relativt låg. För att höja sannolikheten för lyckad uppvandring bör vattenföringen vara sådan att lockvattnet vid fiskvägens ingång motsvarar minst 5 % av medelflödet, åtminstone vid perioden för uppströmsvandring 16.8-31.10. Detta förhållande rekommenderas även av Calles m.fl. (2013), medan det är högre än minimivärden som rekommenderas av Jaukkuri m.fl. (2013) och ICPDR (2013). Sett ur energiproducentens perspektiv är detta flöde generöst eftersom det motsvarar ett inkomstbortfall om ca 30 000 €/år. Den minskade sannolikheten att id och sik passerar hindret till följd av en högre vattenföring kan anses vara godtagbar eftersom sannolikheten för passage av insjööring, det vill säga fiskvägsstrategins målart (Finlands fisvägsstrategi, 2012). Eftersom förbättringar och anpassningar av fiskvägarna kan vara nödvändiga efter deras anläggning bör de konstrueras så att de klarar av viss flödesvariation, samt att flödet kan justeras.

Kombinationen av en naturlig och en teknisk fiskväg torde vara den bästa lösningen vid Leuhu. Ingångens närhet till turbinutflödet torde göra att fiskvägen hittas av uppströmsvandrande fisk. Det tekniska avsnittet är nödvändigt för att fiskvägen på ett okomplicerat sätt kan stiga till utskovet för att passera genom dammen. Även vid Hietama torde fiskvägens ingång relativt nära turbinutflödet hittas av den vandrande fisken. Även om den planerade tekniska fiskvägen torde åstadkomma en fungerande fiskpassage bör möjligheterna att anlägga naturlika avsnitt undersökas, eftersom de torde höja passageeffektiviteten och sänka anläggningskostnaderna. Dessutom bidrar de naturlika avsnitten med en naturligare landskapsbild än en helt teknisk fiskväg.

De förväntade vandringsförlusterna vid både Leuhu och Hietama är såpass omfattande att åtgärder för förbättrad nedströmspassage bör vidtas, något som skulle orsaka ett ytterligare inkomstbortfall om ca 7 000 €/år vid Leuhu, och troligtvis närmare 10 000 €/år vid Hietama. Det finns förutsättningar för anläggandet av passagekonstruktioner vid båda kraftverken men noggrannare undersökningar av kraftverkens turbinintagskanaler bör utföras för att identifiera den lämpligaste lösningen för nedströmspassage. Alla vandringsåtgärder som vidtas bör omfatta metoder för att utvärdera deras funktion. Vid anläggandet av alla passager för vandring bör utrymme reserveras för anordningar för detta ändamål.

De föreslagna åtgärderna, det vill säga möjlighet till uppströmsvandring i fiskväg med det planerade flödet 1.5-15.8, och med det förhöjda flödet motsvarande 5 % av medelflödet 16.8-

31.10, samt nedströmsvandring vid Leuhu 1.5-31.10, ger ett årligt inkomstbortfall om ca 37 000 €. Detta är jämförbart med Vattenfalls årliga kostnader för utplantering av fisk och fiskevårdsavgifter till lokala fiskelag i Mellersta Finland, som ligger mellan 30 000 och 40 000 €.

## Referenser

- Ahonen S., Paananen M., Syrjänen J., Valkeajärvi P., 2014, Järvitaimenkannat kasvuun yhteistyöllä, Initiativet Järvitaimenkannat kasvuun Keski-Suomessa. Hämtad 6.3.2015 från [http://issuu.com/jamk4/docs/j\\_\\_rvitaimenesite\\_issuu/0](http://issuu.com/jamk4/docs/j__rvitaimenesite_issuu/0).
- Airaksinen M., Valkeajärvi P., Honkanen V. & Syrjänen J., 2006. *Järvitaimen Keski-Suomessa – elämyksestä elinkeinoksi*. Projektet Järvitaimen Keski-Suomessa – elämyksestä elinkeinoksi. Kala- ja riistaraportteja 386. 57 s. ISBN 951-776-534-7. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Hämtad 12.1.2015 från <http://www.rkti.fi/?view=publications&id=5601>.
- Cada, G.F., 1997. *Shaken, not stirred: The recipe for a fish-friendly turbine*. S. 374–382 i *Waterpower '97. Proceedings of an International Conference & Exposition on Hydropower*. American Society of Civil Engineers, New York, New York. 2267 s.
- Cada G. F., 2001. *The Development of Advanced Hydroelectric Turbines to Improve Fish Passage Survival*, Fisheries vol. 26(9):14–23.
- Calles E. O. & Greenberg L. A., 2005. *Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the River Emån*. River Research and Applications 21. S. 951-960. Tillgänglig via [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com).
- Calles E. O. & Greenberg L.A., 2007. *The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Eman*. Ecology of Freshwater Fish 16. S. 183–190.
- Calles O. & Greenberg L., 2009. *Connectivity is a two-way street—the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers*. River Research and Applications 25. S. 1268-1286. Tillgänglig via [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com).
- Calles, O., Gustafsson, S. & M. Österling, 2012a. Naturlika fiskvägar idag och i morgon, Karlstad University studies 2012:20, 45 s. ISBN 978-91-7063-424-6.
- Calles, O., Karlsson, S., Hebrand, M. & C. Comoglio, 2012b. *Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant*. Ecological Engineering. 48: s. 30–37. Tillgängliga via [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Calles O., Degerman E., Wickström H., Christiansson J., Gustafsson S., Näslund I., 2013. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar, Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:14, ISBN 978-91-87025-39-6. Hämtad 13.3.2015 från <https://www.havochvatten.se/download/18.5f66a4e81416b5e51f73113/1383209282924/rapport-hav-2013-14-anordningar-passage-fisk.pdf>.
- Calles O., Karlsson S., Vezza P., Comoglio C. & Tielman J., 2013b. *Success of low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant*. Freshwater Biology (2013) 58, s. 2168–2179.
- Degerman E., 2008. Ekologisk restaurering av vattendrag, 294., Naturvårdsverket & Fiskeriverket. ISBN: 978-91-620-1270-0. Hämtad 16.2.2015 från <https://www.havochvatten.se/download/18.64f5b3211343cfd9db2800022567/1348912824990/ekologisk-restaurering-av-vattendrag.pdf>.
- Ecoriver 2006a. *Leuhunkosken voimalaitoksen kalatie*, Timo Pohjamo och Ilkka Räihä, Ecoriver. Plan för fiskväg vid Leuhunkoski vattenkraftverk, Vattenfall Oy.
- Ecoriver 2006b. *Hietamankosken voimalaitoksen kalatie*, Timo Pohjamo och Ilkka Räihä, Ecoriver. Plan för fiskväg vid Hietamankoski vattenkraftverk, Vattenfall Oy.

- Environment Agency 2010. *Fish Pass Manual: Guidance notes on the legislation, selection and approval of fish passes in England and Wales (v2.2; November 2010)*. Document – GEHO 0910 BTBP-E-E. Authors: Greg Armstrong, Miran Aprahamian, Adrian Fewings, Peter Gough, Nigel Reader and Paul Varallo. Tillgänglig på <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0910BTBP-E-E.pdf>.
- Europeiska kommissionen, 2015. *EU action on climate*, Europeiska kommissionen. Hämtad 12.5.2015 från <http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/>.
- Fay R. R., Popper A. N., 2000. *Evolution of hearing in vertebrates: the inner ears and processing*. Hearing Research 149. S. 1-10. Tillgänglig på [www.elsevier.com/locate/heares](http://www.elsevier.com/locate/heares).
- Ferguson, J.W., Williams, J.G. & Meyer, E. 2002. *Recommendations for improving fish passage at the Stornorrfors Power Station on the Umeälven, Umeå, Sweden*. U.S. Department of Commerce, National Marine Fisheries Service, Northwest Fisheries Science Center, Seattle, Washington, February 2002.
- Fishbase, 2015. *Coregonus lavaretus - European whitefish*. Hämtad från 27.3.2015 från <http://www.fishbase.org/summary/232>. Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2015. FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), (02/2015).
- FN, 1992. *United Nations Framework Convention On Climate Change*, Förenta nationerna. Hämtad 12.5.2015 från [http://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf).
- FN, 1998. *Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change*, Förenta nationerna. Hämtad 12.5.2015 från <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.
- Forsskyddslagen, 35/1987. Given i Helsingfors 23 januari 1987. Tillgänglig via <http://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/1987/19870035>.
- Gough, P., Philipsen, P.P. Schollema & H. Wanningen, 2012. *From sea to source: International guidance for the restoration of fish migration highways*. Hämtad 13.1.2015 från [http://www.fromseatosource.com/download/download.php?file=from\\_sea\\_to\\_source.pdf](http://www.fromseatosource.com/download/download.php?file=from_sea_to_source.pdf).
- Greenberg L., Calles O., Andersson J. och Engqvist T., 2012. *Effect of trash diverters and overhead cover on downstream migrating brown trout smolts*. Ecological Engineering 48. S. 25– 29. Tillgänglig via [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Gustafsson, S., 2010. *Migration losses of Atlantic salmon (Salmo salar L.) smolts at a hydropower station area in River Åbyälven, Northern Sweden. Passage fates at a reservoir, a power house and a bypass structure*. Examensarbete i biologi, Fakulteten för skogsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Umeå 21 s.
- Haikonen A. och Karppinen P., 2012. Nousukalamäärät Kymijoen Koivukosken säännöstelypadon kalatiessä syksyllä 2011 VAKI -kalalaskurin perusteella, Kala- ja vesimonisteita nro 68, Kala- ja vesitutkimus. Tillgänglig via: <http://www.lohikeskuskotka.fi/attachments/article/395/Kymijoki%20VAKI%20-kalalaskuri%202011.pdf>.
- Havs- och vattenmyndigheten, 2014. Sik (Coregonus lavaretus). Havs- och vattenmyndigheten. Fiskarter. Hämtad 27.3.2015 från <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/arter/lista-over-vanliga-arter-i-svenska-vatten/arter/sik.html>.

- Huusko R., Orell P., Jaukkuri M., Mäki-Petäys A. och Erkinaro J., 2014. *Lohen vaelluspoikasten alavaellus rakennetuissa joissa - ongelmat ja ratkaisumahdollisuudet*. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. ISBN 978-952-303-105-0. 41 s. Tillgänglig på <http://www.rkti.fi/julkaisut/j/691.html>.
- ISVO nro 79/I/69. Östra Finlands vattendomstol. 1969. Vattenfall Oy.
- ISVO n:o 132/Ym/76. Östra Finlands vattendomstol. 1976. Vattenfall Oy.
- ICPDR, 2013. *Measures for ensuring fish migration at transversal structures*, 50 s, International Commission for the Protection of the Danube River, 2013. Tillgänglig på [http://www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/icpdr\\_fish\\_migration\\_final.pdf](http://www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/icpdr_fish_migration_final.pdf).
- Jaukkuri M., Orell P., van der Meer O., Rivinoja P., Huusko R., och Mäki-Petäys A., 2013. *Nousulohien käyttäytyminen voimalaitosten alakanavissa ja kalatiehen hakeutumiseen vaikuttavat tekijät: kirjallisuuskatsaus*. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. ISBN 978-952-303-036-7. 31 s. Tillgänglig på <http://www.rkti.fi/julkaisut/j/661.html>.
- Jokivirta J., 2006. *Naarakosken kalataloudellinen käyttö- ja hoitosuunnitelma, Saarijärven kalastusalue*. Keski-Suomen Kalatalouskeskus ry.
- Jormola J., Harjula H. och Sarvilinna H., 2003. *Luonnonmukainen vesirakentaminen - Uusia näkökulmia vesistösuunnitteluun*. Suomen ympäristö 631. Finlands miljöcentral. ISBN 952-11-1425-8. Helsingfors. Tillgänglig via [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40396/SY\\_631.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40396/SY_631.pdf?sequence=1).
- Jormola 2014. Jukka Jormola, SYKE: *Luonnonmukaiset kalatiet, esimerkkejä ja mahdollisuudet Suomessa, Virtavedet kuntoon kalateitä rakentamalla. Totta vai tarua?* Presentation vid VFFI 10.1.2014. Hämtad 5.5.2015 från <http://www.rkti.fi/www/uploads/pdf/luonnonmuk.kalatiet.viikki2.pdf>.
- Jämsén J., 2012. *PUREVA-selvityksen tulokset – Saarijärven reitti*. TASO-projektet. Suomen metsäkeskus, Julkiset palvelut, Keski-Suomi. Skogscentralen. Hämtad 31.12.2014 från <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B14807D2D-67D8-4DBB-BC38-CD70C5FECD89%7D/98645>.
- Järvenpää L., Jormola J. och Tammela S., 2010. *Luonnonmukaisten ohitusuomien suunnittelu rakennetussa vesistössä - Lohen palauttaminen Oulujokeen*. Suomen ympäristö 5 / 2010. Finlands miljöcentral. ISBN 978-952-11-3694-8. Helsingfors. Tillgänglig via [www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut).
- Kemijoki, 2014. *Vesivoiman historiaa*, Kemijoki Oy. Hämtad 12.5.2015 från <http://www.kemijoki.fi/vesivoima/vesivoiman-historiaa.html>.
- Korhonen & Sutela, 1998. *Kokemuksia suomalaisista kalateistä neljässä esimerkkijoessa*. Kalaja riistaraportteja nro 105. ISBN 951-776-142-2. 99 s. Tillgänglig via [http://www.rkti.fi/www/uploads/pdf/kokemuksia\\_suomalaisista\\_kalateista\\_nelja\\_essimerkkijoessa\\_nro\\_105.pdf](http://www.rkti.fi/www/uploads/pdf/kokemuksia_suomalaisista_kalateista_nelja_essimerkkijoessa_nro_105.pdf).
- Kuusela J., Ovaskainen, R., 1972. *Vesiasetuksen 53 ja 55 §:n mukainen selvitys Leuhunkosken voimalaitoksen rakentamista koskevassa hakemusasiassa*. Insinööritoimisto maa ja vesi Oy. H 7375 Saarijärven Voima Oy. NTM-centralen i Mellersta Finlands arkiv.
- Larinier M., 2002. *Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels*. Bull. Fr. Pêche Piscic. 364(Suppl.). S. 54–82.
- Leonardsson K., 2012. *Modellverktyg för beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk*. Elforsk rapport 12:36. Havs- och vattenmyndigheten. Hämtad 10.4.2015 från

<http://www.elforsk.se/Programomraden/Vattenkraft/Krafttag-al/FoU/Modellverktyg-for-berakning-av-mortalitet-for-nedstromsvandrande-al-vid-vattenkraftverk>  
Litteraturgenomgang-och-utvardering-av-befintliga-modeller-och-modellutvarderingar/.

- Leonardsson K., 2014. Modellverktyg för beräkning av passageförluster av lax vid kraftverk. Mjukvaran överlämnad till Vattenfall Oy för användning.
- Leonardsson K., 2015. E-postkorrespondens.
- Lucas, M. C. & Baras E., 2001. *Migration of freshwater fishes*. Oxford: Blackwell Science Ltd. 420 s.
- NaturPorten, 2015a. Sik. Fiskar. NaturPorten. Refererad till 27.3.2015 via <http://www.luontoportti.com/suomi/sv/kalat/sik>.
- NaturPorten, 2015b. Fiskar. NaturPorten. Refererad till 27.3.2015 via <http://www.luontoportti.com/suomi/sv/kalat/>.
- Mellersta Finlands miljöcentral, 2009. *Keski-Suomen pintavesien toimenpideohjelman vuoteen 2015*. Hämtad 5.1.2015 från <http://www.ymparisto.fi/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=VXFCCxig7ip-aXyYGijjKHPPSlaU6TUulw75cXYZwFg,&d>.
- Miljöförvaltningen, 2013. Vattenförvaltningsområdet Kymmene älv - Finska viken, NTM-centralerna, 2013. Hänvisad 12.3.2015. Tillgänglig på [http://www.ymparisto.fi/sv-FI/Vatten/Vattenskydd/Vattenwardsplanering\\_och\\_samarbete/Vattenforvaltningsomraden/Kymmene\\_alm\\_Finska\\_viken](http://www.ymparisto.fi/sv-FI/Vatten/Vattenskydd/Vattenwardsplanering_och_samarbete/Vattenforvaltningsomraden/Kymmene_alm_Finska_viken).
- Miljöförvaltningen, 2014a. *Vesienhoidon suunnitelmat, ohjelmat sekä koosteet ja arvioinnit*, Miljöförvaltningens gemensamma webbtjänst. Hämtad 18.5.2015 från [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Vesienhoidon\\_suunnittelu\\_ja\\_yhteisty/Suunnittelumateriaalia\\_ja\\_julkaisuja/Vesienhoidon\\_suunnitelmat\\_ohjelmat\\_seka\\_\(17707\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Vesienhoidon_suunnittelu_ja_yhteisty/Suunnittelumateriaalia_ja_julkaisuja/Vesienhoidon_suunnitelmat_ohjelmat_seka_(17707)).
- Miljöförvaltningen, 2015a. *Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta*. OIVA-tjänsten. Hämtad 19.4.2015 från <https://www2.ymparisto.fi/scripts/palvelut.asp>.
- Miljöförvaltningen, 2015b. *Vesistöennusteet: Kymijoen vesistöalue*. Prognoser för Kymmene älvs vattendragsområde, Hämtad 19.4.2015 från <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/14/index.html>.
- Miljöförvaltningen, 2015c. *Ympäristökarttapalvelu Karpalo 1.2*. OIVA-tjänsten. Finlands miljöcentral. Hänvisad 12.3.2015. Karttjänsten tillgänglig via <https://www2.ymparisto.fi/scripts/palvelut.asp>.
- Mäki 2006. Tommi Mäki: *Kaitforsin kalatie, Vesistösuunnittelupäivät 5.-7.9.2006*. Presentation av Kaitfors fiskväg. Hämtad 5.5.2015 från <http://www.vesirakentaja.fi/html/kalatie/KaitforsinkalatieMakiTommi.pdf>.
- Nationell fiskvägsstrategi, 2012. Nationell fiskvägsstrategi, Statsrådets principbeslut 8.3.2012. Hämtad 17.9.2014 från <http://www.mmm.fi/attachments/mmm/tiedotteet/660ai2FDX/kalatiestrategiaruotsi.pdf>.
- Naturresursinstitutet, 2015a. Fiskatlas, Naturresursinstitutet, 2014. Hämtad 26.2.2015 från <http://atlas.rktl.fi/>.
- Naturresursinstitutet, 2015b. Nyttjade fiskarter, Naturresursinstitutet, 2014. Hämtad 26.2.2015 från [http://www.rktl.fi/kala/tietoa\\_kalalajeista/](http://www.rktl.fi/kala/tietoa_kalalajeista/).

- NMFS, 2011. *Anadromous Salmonid Passage Facility Design*, National Marine Fisheries Service, Northwest Region, Portland, Oregon, 137 s. Hämtad 13.1.2015 från [http://www.habitat.noaa.gov/pdf/salmon\\_passage\\_facility\\_design.pdf](http://www.habitat.noaa.gov/pdf/salmon_passage_facility_design.pdf).
- NOAA, 2012. *Diadromous fish passage: A primer on technology, planning, and design for the Atlantic and Gulf Coasts*, 162 s., National Oceanic and Atmospheric Administration. Hämtad 13.1.2015 från [http://sero.nmfs.noaa.gov/habitat\\_conservation/documents/pdfs/diad/fish\\_passage\\_primer.pdf](http://sero.nmfs.noaa.gov/habitat_conservation/documents/pdfs/diad/fish_passage_primer.pdf).
- Nord Pool, 2015. Norra Europas energibörs. Nord Pool Spot. Webb sida <http://www.nordpoolspot.com>.
- Noonan, M. J., Grant J. W. A. och Jackson C. D., 2012. *A quantitative assessment of fish passage efficiency*. Fish and Fisheries 13(4). S. 450–464.
- NTM-centralen, 2011. Rapport om preliminär bedömning av översvämningsrisker – Vattenområdet vid Kymmene älv. Närings-, trafik- och miljöcentralen i Mellersta Finland. Tillgänglig via Miljöförvaltningen <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B08A9B7BD-5064-4CF0-90E4-F975CB371FE0%7D/92978>.
- NTM-centralen, 2014. *Field trip to the Hietama and Leuhu power plants*. Memorandum av studiebesök 15.5.2014, NTM-centralen i Mellersta Finland och Vattenfall Oy närvarande. NTM-centralen i Mellersta Finland 16.6.2014. Vattenfall Oy.
- NTM-centralen, in press. *Hietaman ja Leuhun kalatiehankkeet, Saarijärvi - toteutettavuusselvitys*, Närings- trafik- och miljöcentralen i Mellersta Finland. Publikation under utgivning.
- Näslund, I., Degerman, E., Calles, O. & H. Wickström, 2013. Fiskvandring – arter, drivkrafter och omfattning i tid och rum – en litteratursammanställning. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:11. ISBN 978-91-87025-36-5. Hämtad 4.11.2014 från <https://www.havochvatten.se/download/18.5f66a4e81416b5e51f73111/1383209282318/rapport-hav-2013-11-fiskvandring.pdf>.
- Orell P., Jaukkuri M., van der Meer O., Huusko R., Kannianen T., Siira A., Laaksonen T., Mäki-Petäys A., Erkinaro J. & Laine A., 2014. *Toimivatko kalatiet? Oulujoen Merikosken kalatietutkimukset v. 2009–2012*. RKT:n työraportteja 4/2014. 44 s. ISBN 978-952-303-094-7. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Hämtad 17.3.2015 från [http://www.rkti.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/Merikosken\\_kalatietutkimukset\\_2009\\_2012.pdf](http://www.rkti.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/Merikosken_kalatietutkimukset_2009_2012.pdf).
- Piilola J., 2007a. *Osallistava suunnittelu Saarijärven kalastusalueen käyttö- ja hoitosuunnitelman laadinnassa*. Del 1/2 av lärdomsprov. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Luonnonvarainstituutti. NTM-centralen i Mellersta Finlands arkiv. Tillgänglig via <https://www.theseus.fi/handle/10024/17633>.
- Piilola J., 2007b. *Saarijärven kalastusalueen käyttö- ja hoitosuunnitelma 2007-2012*. Del 2/2 av lärdomsprov. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Luonnonvarainstituutti. NTM-centralen i Mellersta Finlands arkiv. Tillgänglig via <https://www.theseus.fi/handle/10024/17633>.
- Pohjamo T., 2013. Muntlig diskussion med Vattenfall Oy angående den planerade fiskvägen vid Hietama. Vattenfall Oy.



- Ruokanen T., Raatikainen M. & Valkeajärvi P., 2006. *Keski-Suomen kosket taimenen poikasten elinympäristönä*. Kala- ja riistaraportteja 382. 23 s. ISBN 951-776-528-2. Projektet Järvitaimen Keski-Suomessa – elämyksestä elinkeinoksi. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Hämtad 9.5.2015 från <http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/raportti382.pdf>.
- Santos J. M., Ferreira M. T., Godinho F. N. och Bochechas J, 2005. *Efficacy of a nature-like bypass channel in a Portuguese lowland river*. J. Appl. Ichthyol. 21. S. 381–388. ISSN 0175–8659. Blackwell Verlag, Berlin.
- Schilt C. R., 2007. *Developing fish passage and protection at hydropower dams*, Applied Animal Behaviour Science 104, s. 295–325. Tillgänglig via [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Sormunen T., Dahström H., 1970. *Lausunto Hietamankosken voimalaitoksen vaikutuksesta kalatalouteen II*. Kalataloussäätiön monistettuja julkaisuja n:o 38. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. NTM-centralen i Mellersta Finlands arkiv.
- Statistikcentralen 2014. Finlands officiella statistik (FOS): El- och värmeproduktion [e-publikation]. ISSN=1798-5080. Helsingfors: Statistikcentralen [hänvisat: 11.11.2014]. Åtkomstsätt: [http://www.stat.fi/til/salatu/tau\\_sv.html](http://www.stat.fi/til/salatu/tau_sv.html).
- Statistikcentralen 2015. Finlands officiella statistik (FOS): Befolkningsstruktur [e-publikation]. ISSN=1797-5387. 2014. Helsinki: Statistikcentralen [hänvisat: 19.5.2015]. Åtkomstsätt: [http://www.stat.fi/til/vaerak/2014/vaerak\\_2014\\_2015-03-27\\_tie\\_001\\_sv.html](http://www.stat.fi/til/vaerak/2014/vaerak_2014_2015-03-27_tie_001_sv.html).
- Sundman G., 2015. Finlands fiskar. Nationalbiblioteket. Tillgänglig via NaturPorten <http://www.luontoportti.com/suomi/sv/kalat/>. Refererad 9.3.2015.
- Sutela T., Karjalainen T. P., Mäki-Petäys A., Laine A., Tammi J., Koivurinta M., Orell P., Louhi P., 2012. Kalastrategian taustaselvitykset, Vilt- och fiskeriforskningsinstitutets publikationer 90 (1/2012), Jord- och skogsbruksministeriet, ISBN 978-952-453-731-5, ISSN 1798-0372. Tillgänglig på [http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/kronjulkaisusarja/6DObhSrri/Kalatiestrategian\\_tautaselvitykset\\_901\\_2012.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/kronjulkaisusarja/6DObhSrri/Kalatiestrategian_tautaselvitykset_901_2012.pdf)
- SYKE, 2015a. Vattenkarta. Finlands miljöcentral, 2015. Karttjänsten tillgänglig på <http://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikartta>.
- Syrjänen J., Valkeajärvi P. & Heinimaa S., 2010. *Taimenistukkaiden tuotto, kalastus ja vaellukset Päijänteesen pohjoisesta laskevissa reittivesissä vuosina 1990–2005*. Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia 1/2010. 30 s. ISBN 978-951-776-752-1. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet.
- Urho, L., Pennanen, J. T. & Koljonen, M. L. 2010. Kalat. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.). *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010*, Mijöministeriet och Finlands miljöcentral, Helsingfors, s. 336–343. Hämtad 24.2.2015 från [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Erillisjulkaisut/Suomen\\_lajien\\_uhanalaisuus\\_Punainen\\_kirja\(4709\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Erillisjulkaisut/Suomen_lajien_uhanalaisuus_Punainen_kirja(4709)).
- Valkeajärvi P., Syrjänen J., Sivonen K., Sivonen O., Eloranta A., 2013. *Vieläkö on villejä järvitaimenia - Keski-Suomen taimenhanke 2012*, VFFI:s arbetsrapport 9/2013 ISSN 1799-4756. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Tillgänglig på [http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/keski\\_suomen\\_jarvitaimen\\_2012.pdf](http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/keski_suomen_jarvitaimen_2012.pdf).

- Vattenförvaltningen, 1980. *Koski-inventointi, Raportti 188*, s. 176, Vattenförvaltningen, ISSN=0355-0745. [hänvisat 21.10.2014]. Åtkomstsätt:  
<http://hdl.handle.net/10138/136092>.
- VFFI, 2003. *Siika hinnaltaan arvokkain saalislaji*. Meddelande från Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Naturresursinstitutet. Refererad till 27.3.2015 via [http://www.rkti.fi/tiedotteet/siika\\_hinnaltaan\\_arvokkain.html](http://www.rkti.fi/tiedotteet/siika_hinnaltaan_arvokkain.html).
- VFFI, 2007. *Järvitaimen*. Viljeltävät kalat. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Naturresursinstitutet. Refererad till 18.4.2015 via [http://www.rkti.fi/vesiviljely/viljeltavat\\_kalat/tuotantolajit\\_kannat/jarvitaimen.html](http://www.rkti.fi/vesiviljely/viljeltavat_kalat/tuotantolajit_kannat/jarvitaimen.html).
- VFFI, 2011. *Järvitaimenen elinkierto*. Kalavesien tila. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Naturresursinstitutet. Refererad till 27.3.2015 via [http://www.rkti.fi/kala/kalavesien\\_tila/jarvitaimen\\_keski\\_suomessa/jarvitaimenen\\_elinkierto.html](http://www.rkti.fi/kala/kalavesien_tila/jarvitaimen_keski_suomessa/jarvitaimenen_elinkierto.html).
- VFFI, 2013. *Säyne*. Tietoa kalalajeista. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Naturresursinstitutet. Refererad till 27.3.2015 via [http://www.rkti.fi/kala/tietoa\\_kalalajeista/sayne/](http://www.rkti.fi/kala/tietoa_kalalajeista/sayne/).
- VFFI, 2013b. *Siika*. Tietoa kalalajeista. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Naturresursinstitutet. Refererad till 27.3.2015 via [http://www.rkti.fi/kala/tietoa\\_kalalajeista/siika/](http://www.rkti.fi/kala/tietoa_kalalajeista/siika/).
- VFFI, 2014. *Taimen*. Tietoa kalalajeista. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Naturresursinstitutet. Refererad till 27.3.2015 via [http://www.rkti.fi/kala/tietoa\\_kalalajeista/taimen/](http://www.rkti.fi/kala/tietoa_kalalajeista/taimen/).
- VFFI, 2015. *Kalalajit – Kala-atlas*. Uppgifter om Finlands fiskarter. Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet. Naturresursinstitutet. Refererad till 27.3.2015 via [http://www.rkti.fi/kala/tietoa\\_kalalajeista/](http://www.rkti.fi/kala/tietoa_kalalajeista/).
- Visit Saarijärvi, 2015. *Saarijärven koskireitti*, Saarijärven Seudun Matkailu. Hämtad 18.4.2015 från [http://www.visitsaarijarvi.fi/vesiretkeily/saarijarven\\_koskireitti](http://www.visitsaarijarvi.fi/vesiretkeily/saarijarven_koskireitti).
- Voith, 2015. *Turbines, Products & Services*. Voith GmbH. Refererad till 20.5.2015 via <http://voith.com/en/products-services/hydro-power/turbines-559.html>.