

Kala- ja vesijulkaisu nro 416

Karppinen P., Leminen S., Hynninen M. & Haro E.



Kittilän kaivoksen purkuvesien
vaikutus kalojen käyttäytymiseen -
jatkoselvitys vuonna 2023



Kala- ja
vesitutkimus Oy

KUVAILEHTI

Julkaisija: Kala- ja vesitutkimus Oy

Julkaisuaika: ver02 28.5.2024, korvaa aiemman ver01, 6.3.2024

Kirjoittaja(t): Petri Karppinen, Sohvi Leminen, Mikko Hynninen & Elias Haro

Tarkistaja: Mikko Hynninen

Julkaisun nimi: Kittilän kaivoksen purkuvesien vaikutus kalojen käyttäytymiseen – jatkoselvitys vuonna 2023

Toimeksiantaja: Agnico Eagle Finland Oy, Kittilän kaivos

Sarjan nimi ja numero: Kala- ja vesijulkaisuja nro 416

Sivumäärä: 25 s. + 2 liitettä

Kannen kuva: Kalojen seurantaan käytettyjen vastaanottimien sijainti Kittilän kaivoksen purkupuutken läheisyydessä. Ilmakuva: Maanmittauslaitos

Yhteenveto

Agnico Eagle Kittilän kaivos otti käyttöön joulukuussa 2020 uuden purkuputken. Kaivoksen käsitellyt prosessi- ja kuivanapitovedet johdetaan purkuputkea pitkin Loukiseen. Aluehallintoviraston lupapäätöksen mukaisesti kaivoksen tulee tehdä selvitys jätevesien johtamisen vaikutuksista kalojen liikkumiseen ja vaelluskäyttäytymiseen uuden purkupaikan vaikutusalueella. Selvityksen tarkoituksena on arvioida, aiheuttavatko purkuvedet kalojen karkottumista tai vaelluksen estymistä Loukisessa purkuputken läheisyydessä.

Kalojen lähetinseurantaan perustuva käyttäytymistutkimus tehtiin Loukisessa ensimmäisen kerran vuonna 2021. Seurantatutkimus toistettiin vuonna 2023. Tässä raportissa esitetään vuoden 2023 tutkimuksen tulokset.

Lähtöoletuksena oli, että mikäli purkuvesillä on vaikutusta kalojen käyttäytymiseen, se heijastuu kalojen karkottumisena pois purkuvesien vaikutusalueelta, ohivaelluksen estymisenä, tai liikeaktiivisuuden muutoksena purkuputken alapuolella. Purkuvesien vaikutusta vedenlaadun muutoksiin arvioitiin veden sähkönjohtokyvyn vaihtelun perusteella.

Molempina vuosina merkittiin 9 harjasta akustisilla lähettimillä. Taimenia merkittiin yhteensä 43 kappaletta. Kalojen liikkeitä seurattiin kesä- lokakuun aikana jokeen sijoitettujen vastaanottimien ja käsipaikkannusten avulla. Pääasiallinen kalojen liikkeiden seuranta tapahtui purkuputkesta noin kaksi kilometriä ylä- ja alavirtaan rajautuvalla tutkimusalueella Kapsajokisuun ja Tuohirannan välillä.

Tulokset olivat molempina vuosina hyvin samansuuntaiset. Seurantatulosten perusteella ei voitu osoittaa kaivoksen purkuvesien vaikutuksia kalojen käyttäytymiseen tai liikkeisiin jokialueella laajemmin, eikä myöskään purkuputken alapuolella purkuvesien vaikutusalueella. Kalat liikkuivat purkuputken ohitse sekä ylä- että alavirran suuntaan ja kalat myös palasivat purkuputken alapuolelle toistuvasti. Purkuputken alapuolella oleskeltiin pitkiäkin aikoja riippumatta olosuhteissa tapahtuvista muutoksista.

Vuonna 2023 kalojen liikkeitä seurattiin tarkemmin purkuputken lähistölle asennettujen lisävastaanottimien avulla. Lisäksi osa kaloista varustettiin sähkönjohtokykyä mittaavilla lähettimillä. Erikoislähettimien keräämän vedenlaatutiedon perusteella kalat olivat ajoittain purkuvesien suoran vaikutuksen alaisina aivan purkuputken alla useiden tuntien tai päivienkin ajan. Kalat myös palasivat putken alle riippumatta purkuvesien seurauksena kohonneista sähkönjohtavuusarvoista.

Purkuputken ohituksia tarkasteltaessa tulokset antoivat viitteitä siihen suuntaan, että ohituksia tapahtui vähemmän silloin, kun sähkönjohtavuus oli nousussa ja virtaama laskussa. Liikehdintä purkuputken alapuolella vaikutti myös olevan hieman keskimääräistä vähäisempää korkeamman sähkönjohtavuuden vallitessa. Tämä on mitä ilmeisimmin seurausta sähkönjohtavuuden ja jokivirtaaman välisestä voimakkaasta negatiivisesta riippuvuudesta. Toisin sanoen, kun virtaama on alhainen ja vastaavasti sähkönjohtavuus korkeampi, on kalojen liikkuvuus vähäisempää. Jokivirtaaman lisääntyminen on yleisen käsityksen mukaan kalojen liikkuvuutta lisäävä tekijä. Toisaalta purkuputken ohituksia ja aktiivista liikehdintää putken alapuolella tapahtui kaikenlaisissa olosuhteissa, eikä sähkönjohtavuudella tai virtaamalla voitu osoittaa tilastollisesti merkitseviä tai muutenkaan loogisesti tulkittavia vaikutuksia kalojen liikemääriin.

Tämän kaksivuotisen selvityksen perusteella kalat käyttäytyivät vuodenaikoihin liittyvään kausivaihteluun nähden lajityypillisellä tavalla, eikä kaivoksen purkuvesillä voitu osoittaa olevan vaikutusta kalojen liikkeisiin.

Tavoitteena ollut paikallisten taimenten hyödyntäminen seurannassa on johtanut siihen, että pääosa merkityistä taimenista on ollut laitoskasvatettuja ja niiden merkintä on painottunut elokuulle. Loukisesta taimenia ei ole saatu, ja lähialueiltaakin merkintäkokoisten kalojen saanti on osoittautunut vaikeaksi. Seurannan perusteella laitoskasvatetut taimenet pysyttelevät varsin hyvin

tutkimusalueella ja soveltuvat siten hyvin tarkasteltavana olevien asioiden selvittämiseen. Erityisesti vuonna 2023 käytetyt Kemijoen itäisten sivuhaarojen kantaa olevat taimenet pysyttelivät Loukisessa ja liikkuvat paljon purkuvesien vaikutusalueella. Seuraavassa seurannassa olisikin suositeltavaa merkitä ainakin osa tutkimuskaloista jo kesäkuussa hyödyntäen laitospesäkkeitä. Siten saataisiin seurantatietoa taimenista myös kesä-heinäkuun ajalta, jolloin joen virtaama on alhaisimmillaan ja purkuveden osuus ja vaikutus veden sähköjohtokykyä mitattuna suurimmillaan.

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	4
2. Aineisto ja menetelmät.....	5
2.1 Tutkimusalue.....	5
2.1.1 Ympäristöolosuhteet tutkimuksen aikana.....	7
2.1.2 Purkuputken toiminta.....	9
2.2 Tutkimuskalat.....	9
2.2.1 Kalojen merkintä.....	10
2.3. Kalojen liikkeiden seuranta.....	11
2.3.1 Käsi paikannukset ja sähköjohtavuusmittaukset.....	11
3. Tulokset.....	11
3.1. Purkuputken vaikutus sähköjohtavuuteen.....	11
3.2 Kalojen liikkeet.....	12
3.2.1 Liikkeet Loukisessa.....	12
3.2.2 Purkuputken ohitukset.....	12
3.3 Ympäristötekijöiden vaikutus kalojen liikkeisiin.....	13
3.3.1 Purkuputken ohitukset.....	13
3.3.2 Liikeaktiivisuus putken ympäristössä.....	17
3.3.3 Erikoislähettimien tuottama tieto.....	22
4. Tulosten tarkastelu.....	22
5. Kirjallisuus.....	25
Liite 1. Loukisessa tehdyt sähköjohtavuuden mittaukset.....	25
Liite 2. Kalojen liikekaaviot.....	25
Liite 1. Loukisessa tehdyt sähköjohtavuuden mittaukset.....	26
Liite 2. Kalojen liikekaaviot.....	27

1. Johdanto

Agnico Eagle Kittilän kaivos otti käyttöön joulukuussa 2020 uuden purkuputken. Kaivoksen käsitellyt prosessi- ja kuivanapitovedet johdetaan purkuputkea pitkin Loukiseen. Loukinen on Ounasjoen sivuhaara. Aluehallintoviraston lupapäätöksen (Nro 67/2020, Dnro PSAVI/1079/2018, 29.5.2020) mukaisesti kaivoksen tulee tehdä selvitys jätevesien johtamisen vaikutuksista kalojen liikkumiseen ja vaelluskäyttäytymiseen uuden purkupaikan vaikutusalueella.

Selvitystä varten tehtiin kalojen vaellus- ja liikkumiskäyttäytymistä tarkasteleva tutkimus Loukisessa ensimmäisen kerran vuonna 2021 (Helminen & Karppinen 2022). Tutkimus suoritettiin kalatalousviranomaisen hyväksymän tutkimussuunnitelman (Kala- ja vesitutkimus Oy 2021) mukaisesti. Suunnitelma päivitettiin keväällä 2023.

Kalojen lähetinseurantaan perustuvan tutkimuksen tarkoituksena on selvittää vaikuttaako purkuputki tai putkesta purettavat puhdistetut jätevedet kalojen liikkeisiin ja käyttäytymiseen Loukisen alaosalla, esim. karkottavatko purkuvedet kaloja alueelta ja estyykö kalojen vaellus purkuvesien vaikutuksesta. Vuoden 2021 seurannan perusteella vaikutti selvältä, että kalat liikkuvat ja oleilevat purkuputken läheisyydessä riippumatta purkuveden aiheuttaman vedenlaadun vaihtelusta. Kalat liikkuivat purkuputken ohitse molempiin suuntiin ja myös palasivat purkualueelle käytyään muualla.

Tutkimus toistettiin vuonna 2023 ja se toteutettiin pääpiirteissään samalla tavalla kuin vuonna 2021. Kalojen tarkemman liikehdinnän seuraamiseksi purkuputken alapuolelle asennettiin kaksi lisävastaanotinta. Osa kaloista varustettiin ympäröivän veden sähkönjohtokykyä mittaavilla lähettimillä. Lisäksi purkualueen ympäristöön asennettiin kolme automaattista veden sähkönjohtokykyä mittaavaa laitetta. Laitteita lisäämällä pyrittiin saamaan tarkempaa tietoa kalojen käyttäytymisestä ja purkuvesien mahdollisesta vaikutuksesta kalojen liikeaktiivisuuteen purkuputken välittömässä läheisyydessä.

Tarkasteltavia asioita olivat:

- 1) Ohitusten määrä purkuputken kohdalla
- 2) Liikeaktiivisuuden vaihtelu putken alapuolella
- 3) Vedenlaadun vaikutus kalojen liikkeisiin

Lähtöoletuksena oli, että mikäli purkuvesillä on vaikutusta kalojen käyttäytymiseen, se heijastuu kalojen karkottumisena pois purkuvesien vaikutusalueelta, ohivaelluksen estymisenä tai liikeaktiivisuuden muutoksena purkuputken alapuolella. Purkuvesien vaikutusta vedenlaadun muutoksiin arvioitiin veden sähkönjohtokyvyn vaihtelun perusteella. Veden sähkönjohtokyvyn ja jokivirtaaman välisen voimakkaan negatiivisen korrelaation takia tarkasteltiin myös virtaaman vaikutuksia kalojen liikkeisiin.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusalue

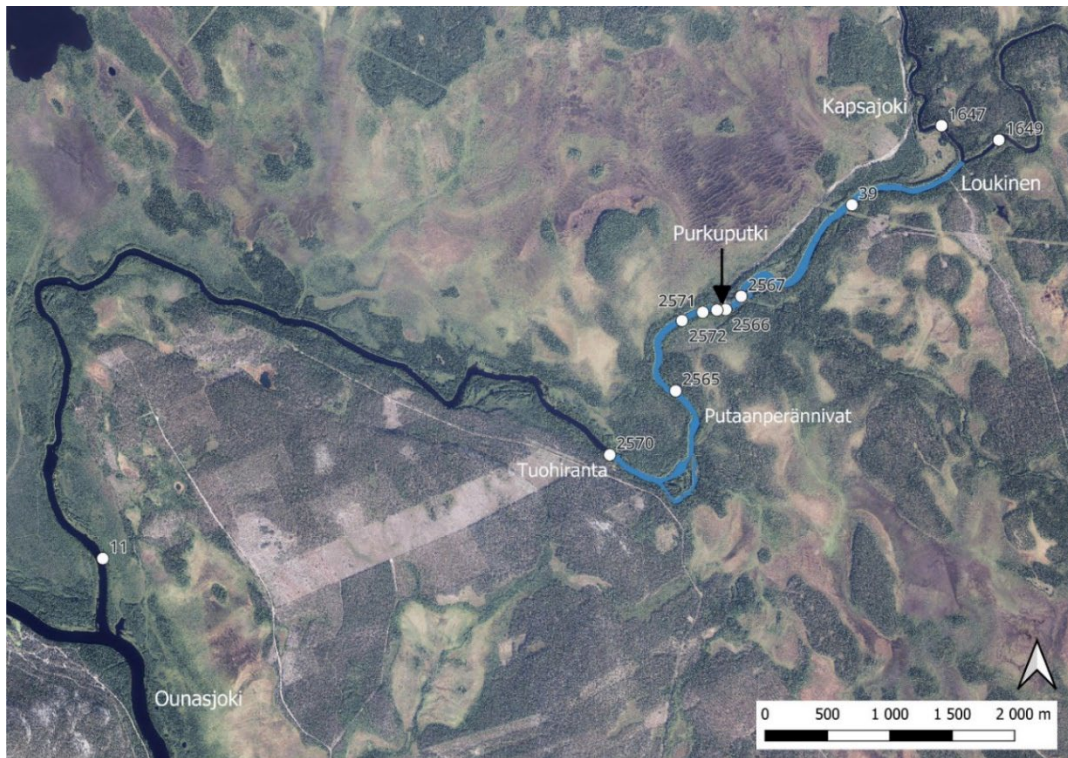
Noin 60 km pitkä Loukinen on Ounasjoen sivujoki. Ounasjoki puolestaan laskee Kemijokeen. Ounasjoen ja Loukisen vesistöalueen tärkeimpiä vaelluskaloja ovat taimen (*Salmo trutta*) ja harjus (*Thymallus thymallus*). Viime vuosina vesistöalueella on tehty tutkimuksia ja toimenpiteitä myös lohikannan (*Salmo salar*) palauttamiseksi Kemi- ja Ounasjokeen. Myös Loukiseen on istutettu lohen poikasia, taimenia sekä harjuksia. Nykytilassa kalojen nousuvaellus Ounasjokeen ja Loukiseen on estynyt Kemijoen voimalaitospatojen takia.

Agnico Eagle Kittilän kaivoksen uusi purkuputki laskee Loukiseen noin 11 km:n päässä Ounasjoesta. Purkuputken niin sanotuksi sekoittumisvyöhykkeeksi on määrätty 300 metrin mittainen jokiosuus purkuputken alapuolella. Sekoittumisvyöhyke on kaivoksen lupamääräyksissä määritelty alue, jolla päästörajoituksen mukaiset nikkelpitoisuudet voivat ajoittain ylittää paikallisen ympäristölaatumormin (AA-EQS; biosaatavan nikkelin vuosikeskiarvo) mukaisen rajan ennen kuin purkuvedet ovat sekoittuneet tasaisemmin jokiveteen.

Loukisen virtaama vaihtelee välillä 5–204 m³/s; keskivirtaama on noin 20 m³/s.

Tutkimusalueen yläosa Kapsajoen haarasta purkuputkelle saakka on hitaasti virtaavaa virtasuvantoa, jossa on muutamia lyhyitä nopeammin virtaavia hiekkapohjaisia paikkoja. Purkuputken kohdalla ja putkesta noin 400–500 metriä ylävirtaan joki virtaa hitaasti ja syvyyttä on useampi metri (Kuva 1). Heti purkuputken alapuolella on noin 100 m pitkä nopeammin virtaava virtapaikka, joka on hyvin soveliaista aluetta esim. lohikaloille.

Purkuputken alapuolisesta virtapaikasta noin kilometrin verran alavirtaan joki on jälleen samantyyppistä hitaasti virtaavaa virtasuvantoa kuin tutkimusalueen yläosassa. Virta alkaa kiihtyä muuttuen nivasta koskeksi Putaanperännivojen kohdalla, noin kahden kilometrin päässä purkuputkesta. Virta hidastuu jälleen kosken alapuolisessa suvannossa Tuohirannassa, jossa joki myös levenee. Tuohirannasta alavirtaan joki on muutamaa virtapaikkaa lukuun ottamatta hitaasti virtaavaa virtasuvantoa aina Ounasjoelle saakka.



Kuva 1. Tutkimusalue Loukisessa ja purkupuhten sekä kalojen seurantaan käytettyjen vastaanottimien sijainnit (valkoiset pisteet). Varsinainen kalojen seuranta-alue on rajattu karttaan sinisellä. (Sisältää Maanmittauslaitoksen ilmakehu-aineistoa).



Kuva 2. Kalojen ja vedenlaadun tarkemman seurannan alue purkupuhten ympäristössä. Automaattiset tallentimet keräsivät tietoa kalojen liikkeistä (valkoiset pisteet) ja veden sähköjohtokyvyn vaihtelusta (ylin, alin ja keskimääräinen piste). (Sisältää Maanmittauslaitoksen ilmakehu-aineistoa).

2.1.1 Ympäristöolosuhteet tutkimuksen aikana

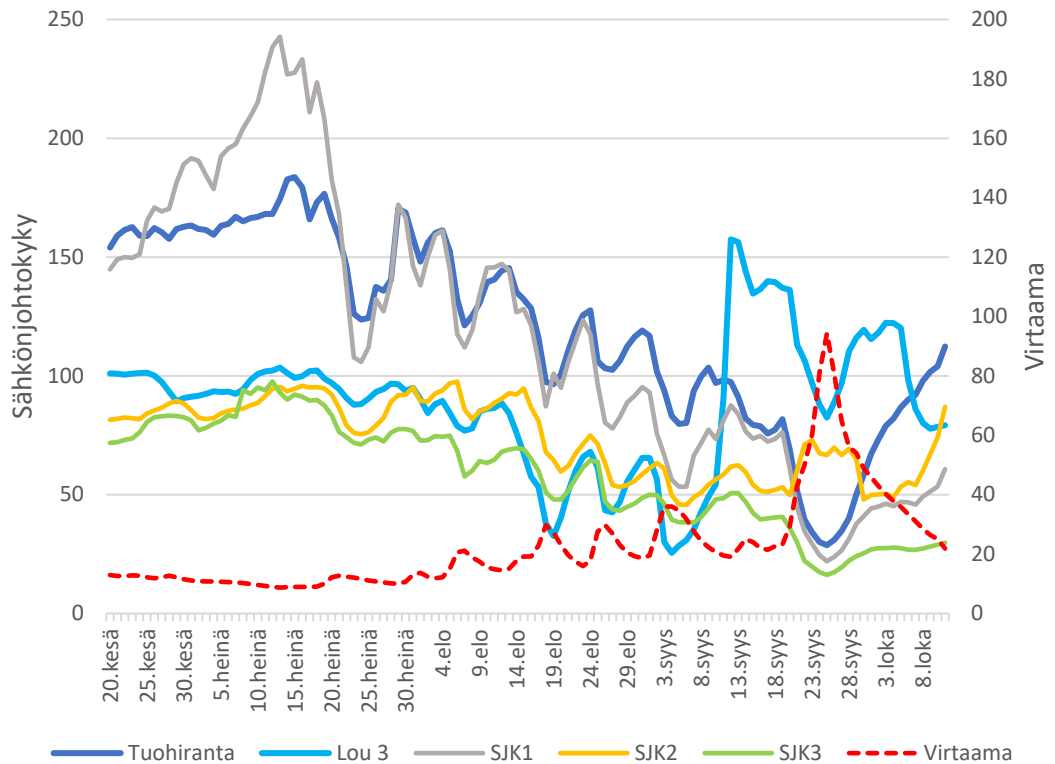
Sähkönjohtavuus ilmaisee veteen liuenneiden ionien määrää. Jokivesien tyypillinen sähkönjohtavuus vaihtelee välillä 100–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ja voimakkaasti viljellyillä alueilla se on luokkaa 150–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Oravainen 1999). Kaivoksen yläpuolisen Seurujoen sähkönjohtavuus (ns. luontainen sähkönjohtavuus alueella) vaihteli kesällä 2014 kesäkuun 54 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja syyskuun 102 $\mu\text{S}/\text{cm}$ välillä (Hämäläinen 2015).

Veden sähkönjohtavuutta ja lämpötilaa mitataan kaivosyhtiön toimesta jatkuvatoimisesti purkuputken yläpuolella (LOU 3, noin 15 km purkuputkesta) sekä alapuolella Tuohirannassa (noin 2,5 km purkuputkesta). Näiden lisäksi sähkönjohtavuutta ja lämpötilaa mitattiin automaattisilla tallentimilla (HOB0 U24) purkuputken lähistöllä putken alapuolella (2 laitetta) ja yläpuolella (1 laite) (Kuva 2). Laitteet tallensivat mittaustulokset veden laadusta 15 minuutin välein.

Noin 350 metrin päähän putken alapuolelle matalaan rantavyöhykkeeseen asennettu tallennin (alin piste, SJK1) oli heinäkuulle tultaessa jäänyt runsaan viherleväkasvuston saartamaksi ja mittasi selvästi poikkeavan korkeita johtavuusarvoja. Kyseinen laite siirrettiin keskemmäksi jokea virtaavan veden alueelle heinäkuun 22. päivä. Siirron jälkeen mittauserot putosivat muiden lähialueen mittalaitteiden arvojen tasolle (Kuva 3).

Mittaustulosten perusteella havaittiin seurannan loppupuolella, että purkuvedet kulkevat alavirtaan käytännössä kokonaan putken alapuolisen saarekkeen oikealta puolelta ylävirran suunnasta katsottuna. Putken alapuolelle (noin 40 m putkesta) asennettu tallennin (SJK2) jäi näin ollen hieman sivuun putkesta purkautuvista vesistä. Kyseinen laite siirrettiin putken alapuolelle jokiuoman oikealle laidalle noin 20 metrin päähän putkesta 21. syyskuuta. Siirron jälkeen laitteelle tallentui jonkin verran korkeampia sähkönjohtavuusarvoja (Kuva 3). Myös kaivoksen oman mittauspisteen (Lou 3) tallentamat arvot nousivat äkillisesti aiemmasta poikkeavalle tasolle syyskuun 11. päivänä, ilmeisesti mittausaseman huoltotoimenpiteiden seurauksena (Kuva 3).

Edellä mainittujen teknisten ongelmien takia kalojen liikkeiden analysoinnissa hyödynnettiin purkuputken yläpuolelle (noin 180 m putkesta) asennetun tallentimen (SJK3) ja Tuohirannan kiinteän mittauspisteen (noin 2,5 km putkesta) mittaamia sähkönjohtavuusarvoja. Näiden laitteiden mitaamat arvot muodostivat yhtenäisen, todenmukaiselta vaikuttavan aikasarjan koko seurantajakson ajalta (Kuva 3).

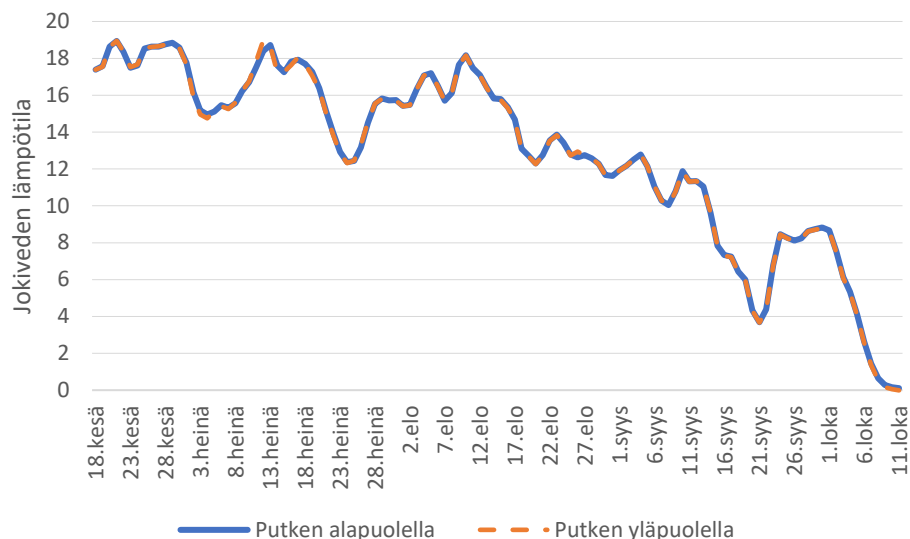


Kuva 3. Sähkönjohtavuuden ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ja jokivirtaaman (m^3/s) vaihtelu Loukisessa eri mittauspisteillä (vrk:n keskiarvot). Virtaamatiedot: SYKE.

Sähkönjohtavuuden (Tuohirannan mittauspiste) ja virtaaman välillä oli vuorokausitasolla erittäin selvä negatiivinen korrelaatio (Pearson; $r=-0,87$, $p<0.001$, $n=49$). Virtaaman lisääntyessä veden sähkönjohtavuus alenee ja myös purkuvesien vaikutus putken alapuolella vähenee. Vastaavasti jokivirtaaman vähetessä purkuveden osuus kokonaisvirtaamasta, sekä purkuvesien vaikutus sähkönjohtavuutena ilmaistuna kasvaa.

Vuorokausikohtainen keskimääräinen sähkönjohtavuus vaihteli purkuputken alapuolella Tuohirannassa ajanjaksolla 20.6.–11.10.2023 välillä 29–184 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Purkuputken yläpuolella (SJK3) sähkönjohtavuus vaihteli samalla ajanjaksolla välillä 16–98 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kuva 3). Sähkönjohtavuus oli keskimäärin 62 yksikköä korkeampi (vaihteluväli: 12,5–92,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) purkuputken alapuolella kuin putken yläpuolella. Laajemmalla jokialueella tehtyjen sähkönjohtavuusmittausten tulokset on esitetty Liitteessä 1.

Veden lämpötila oli purkuputken ylä- ja alapuolisella mittauspisteellä käytännössä sama: vuorokauden keskilämpötilojen ero oli keskimäärin 0,02 astetta (Kuva 4).



Kuva 4. Veden lämpötila (vrk:n ka.) Loukisessa purkuputken ylä- ja alapuolella tutkimuksen aikana.

2.1.2 Purkuputken toiminta

Purkuvesien kuukausikohtaiset kokonaismäärät kesä-lokakuun aikana vaihtelivat välillä 478–548 m^3 (Taulukko 1). Purkuvesien määrä oli keskimäärin noin 0,5–1,8 % Loukisen virtaamasta. Purkuveden määrä pysyi yleensä tasaisena, lukuun ottamatta harvoja ja kestoiltaan lyhyitä jaksoja, jolloin purkumäärä aleni noin puoleen perustasosta.

Taulukko 1. Tuntikohtaisesta aineistosta laskettu kaivoksen purkuvesien kuukauden kokonaisvirtaama, tuntikohtainen keskiarvo sekä prosenttiosuus Loukisen kuukauden kokonaisvirtaamasta.

	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu
Yhteensä	477 785 m^3	505 871 m^3	540 222 m^3	496 176 m^3	548 317 m^3
Keskimäärin Loukisen virtaamasta	1,0 %	1,8 %	1,1 %	0,5 %	0,7 %
Tuntikohtainen keskiarvo	0,18 m^3/s	0,19 m^3/s	0,20 m^3/s	0,19 m^3/s	0,20 m^3/s

2.2 Tutkimuskalat

Tutkimuskaloja pyydettiin tutkimusalueelta Loukisesta ja lähialueen muista joista tutkimussuunnitelman mukaisesti. Kesäkuun aikana saatiin vapavälineillä saaliiksi 15 kpl taimenia Kapsajoesta, Seurujoesta ja Ounasjoesta, mutta ne olivat kaikki liian pieniä lähetinmerkintää varten (< 25 cm). Loukisesta ei saatu taimenia. Myös paikallisten kalastuksen harrastajien ja Loukisessa tehtyjen koekalastusten (Eurofins Ahma Oy 2021) perusteella tutkimusalueelta saadaan saaliiksi taimenia varsin vähän.

Tutkimuksessa käytetyt taimenet (21 kpl) hankittiin Luonnonvarakeskuksen Taivalkosken kalanviljelylaitokselta, ja ne olivat Kemijoen vesistön itäisten sivuhaarojen kantaa. Taimenet kuljetettiin 23. elokuuta hapetetussa säiliössä Loukiseen purkuputken yläpuolelle 90 x 70 x 70 cm kokoiseen häkkiin odottamaan merkintää. Taimenten keskipituus oli 43,1 cm (Taulukko 2).

Tutkimuksessa käytetyt harjuukset (9 kpl) saatiin saaliiksi vapavälineillä kesä- ja heinäkuussa Loukisesta purkuputken alapuolelta (7 kpl), ja Kapsajoesta (2 kpl). Harjusten keskipituus oli 36,7 cm (Taulukko 2).

Taulukko 2. Tietoja tutkimuskaloista.

Laji	Kappale-määrä	Vapautus-päivä	Vapautuspaikka	Keskipituus (cm)
Taimen	10	24.8.2023	Purkuputken alapuoli	43,1
	11	24.8.2023	Purkuputken yläpuoli	43,1
Harjus	5	18.6.2023	Purkuputken yläpuoli	37,2
	4	27.7.2023	Purkuputken yläpuoli	36,1

2.2.1 Kalojen merkintä

Kaikki kalat olivat häkissä joessa purkuputken yläpuolella noin vuorokauden ennen merkintää. Kalat otettiin häkistä yksi kerrallaan lähettimen asennusta varten. Kalat nukutettiin hapetetussa nukutusaineliuoksessa (puskuroitu MS-222, 80 mg/l) 50 litran astiassa. Akustinen lähetin (Thelma Biotel HP9 ja C-MP9, erikoislähettimet, 5 kpl, paino 4-4.5 g ja 5,5-6 g) kiinnitettiin kalan selkäevän tyvelle. Lähettimen asentamisen jälkeen kalojen annettiin toipua käsittelystä jokivedessä erillisessä häkissä ennen vapautusta. Merkinnän jälkeistä kuolleisuutta ei esiintynyt. Veden keskilämpötila vaihteli merkintäpäivinä 13,4 ja 17,4 °C:een välillä.

Kolme taimenta ja kaksi harjusta merkittiin veden sähkönjohtavuutta mittaavilla erikoislähettimillä. Lähettimet lähettivät kalan yksilökohtaisen tunnistussignaalin yhteydessä mittausarvon ympäröivän veden sähkönjohtavuudelle. Kunkin kalan sijaintipaikasta saatiin sähkönjohtavuusarvo aina silloin, kun kala oli jonkin vastaanottimen kuuluvuusalueella.

Kalat vapautettiin lyhyen toipumisjakson jälkeen pääasiassa merkintäpaikalla noin 30 m purkuputken yläpuolella. Vapautuspaikan olosuhteiden vaikutuksen arvioimiseksi noin puolet taimenista vapautettiin purkuvesien vaikutusalueelle noin 20 m purkuputken alapuolelle (ks. Taulukko 2). Ylä- ja alapuolelle vapautetut kalat käyttäytyivät samalla tavalla; ne hakeutuivat vähitellen läheiselle vapautuspaikan alapuoliselle koskialueelle.

2.3. Kalojen liikkeiden seuranta

Pääasiallinen kalojen liikkeiden seuranta tapahtui purkuputkesta noin kaksi kilometriä ylä- ja alavirtaan rajautuvalla neljän kilometrin pituisella tutkimusalueella Kapsajokisuun ja Tuohirannan välillä (Kuva 1).

Kapsajokisuun ja Ounasjoen väliselle alueelle asennettiin kaikkiaan yksitoista akustista vastaanotinta (Thelma Biotel TBR 700 ja TBR 800) (Kuva 1). Vastaanottimet tarkistettiin ja tyhjennettiin kuukausittain. Vastaanottimet tallensivat tietoa kaloista silloin, kun kala oli vastaanottimen kuuluvuusalueella; olosuhteista ja kalan sijainnista riippuen muutamasta kymmenestä metristä satojen metrien etäisyydellä.

Seuranta lopetettiin olosuhteiden muututtua talvisiksi 11.10.2023.

2.3.1 Käsipaikannukset ja sähköjohtavuusmittaukset

Tutkimusalueella tehtiin kalojen käsipaikannuksia veneellä kuukausittain. Samassa yhteydessä tehtiin myös sähköjohtavuusmittauksia pinnanläheisestä vedestä (YSI 600 -sarjan vedenlaatumittari, lämpötilakorjatut arvot). Käsipaikannusten avulla täsmennettiin kiinteästi asennettujen vastaanottimien tallentamien tietojen perusteella tehtäviä kalojen sijainninmäärittäyksiä ja saatiin havaintoja vastaanottimien kuuluvuusalueiden ulkopuolella olevista kaloista, mukaan lukien sähköjohtavuustiedot erikoislähettimellä varustetuista kaloista. Syyskuussa mittaukset ja käsipaikannukset ulotettiin Loukisen alaosalle ja Ounasjoelle saakka. Jokialueella tehtyjen sähköjohtavuusmittausten tulokset on esitetty Liitteessä 1.

3. Tulokset

3.1. Purkuputken vaikutus sähköjohtavuuteen

Agnico Eagle Kittilän kaivoksen puhdistettuja vesiä puretaan putkesta jatkuvasti ja tuntikohtaisissa määrissä on vain vähäistä vaihtelua. Tuntikohtaisesti tarkasteltuna myös veden laadun ja purkuvesien vaikutuksen indikaattorina käytetyn sähköjohtavuuden taso purkuputken alapuolella vaihtelee niin ikään varsin vähän. Muutokset ovat hitaita ja niiden suunta vaihtelee rinnan jokivirtaaman muutosten kanssa. Jokivirtaaman lisääntyessä purkuvesien osuus kokonaisvirtaamasta pienenee ja purkuvesien vaikutus vastaavasti vähenee. Vastaavasti virtaaman vähentyessä sähköjohtavuus kääntyy nousuun koko joessa ja purkuvesien osuus putken alapuolella lisääntyy. Purkuvesien osuus oli tämän seurannan aikana 0,5–1,8 % Loukisen kokonaisvirtaamasta (Taulukko 1). Sähköjohtavuus oli keskimäärin 62 yksikköä (vaihteluväli: 12,5–92,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) korkeampi purkuputken alapuolella kuin putken yläpuolella.

3.2 Kalojen liikkeet

3.2.1 Liikkeet Loukisessa

Taimenet

Kaikki lähettimellä merkityt taimenet hakeutuivat purkuputken alapuoliselle virtavesialueelle pian vapautuksen jälkeen riippumatta siitä, vapautettiin ne putken ylä- vai alapuolelle. Suurin osa kaloista (62 %) jäi liikuskelemaan purkuputken alapuoliselle jokialueelle useiden päivien tai viikkojen ajaksi. Osa kaloista puolestaan liikkui laajemmalla alueella, mutta palasi kuitenkin putken alapuolelle useita kertoja. Kaaviot taimenten liikkeistä tutkimusalueella Loukisessa on esitetty Liitteessä 2.

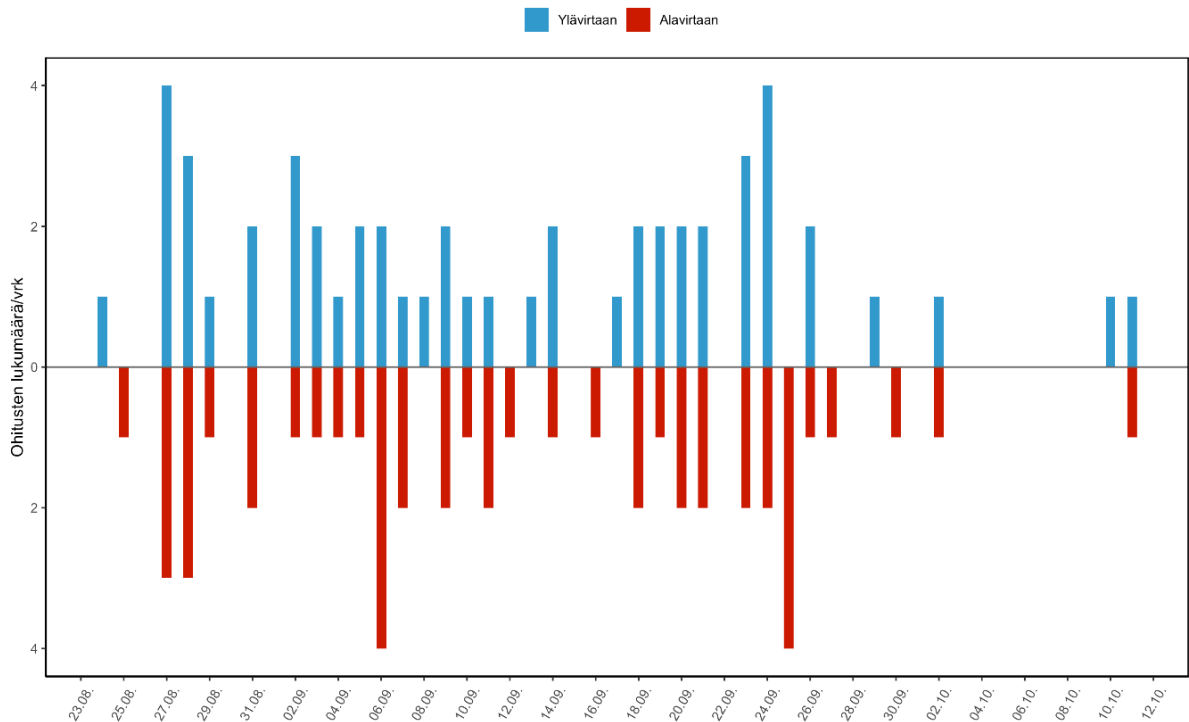
Harjukset

Lähettimellä merkityt harjukset hakeutuivat taimenten tapaan purkuputken alapuoliselle virtavesialueelle pian vapautuksen jälkeen. Kaksi harjusta jäi liikuskelemaan purkuputken alapuoliselle alueelle koko seurantajakson ajaksi. Muut harjukset siirtyivät viimeistään parin päivän kuluessa kauemmas purkuputkesta joko alavirtaan, noin kahden kilometrin päässä sijaitsevalle koskialueelle (2 kalaa), tai ylävirtaan Loukisen yläosalle ja Kapsajokeen (3 kalaa) palaamatta enää vapautusalueelle. Kaksi muuta ylävirtaan siirtynyttä harjusta palasi kuitenkin myöhemmin purkuputken alapuoliselle jokiosuudelle. Kaaviot harjusten liikkeistä tutkimusalueella on esitetty Liitteessä 2.

3.2.2 Purkuputken ohitukset

Taimenet

Taimenet uivat purkuputken ohitse sekä ylä- että alavirtaan kaikkiaan 102 kertaa. Putken ohitukset jakautuivat tasaisesti ylä- ja alavirran suuntiin (ylävirtaan 53 kertaa, alavirtaan 49 kertaa). Lähes kaikki kalat ohittivat putken useita kertoja molempiin suuntiin. Putken ohitukset vähenivät lokakuun alussa vesien viilentyessä ja taimenen kutuajan päättyessä (Kuva 5).



Kuva 5. Päivittäisten ohituskertojen määrät ja suunta purkupuutken kohdalla (taimenet).

Harjuksset

Harjuksista kertyi kaiken kaikkiaan vähemmän yksilökohtaisia liikehavaintoja. Purkupuutken ohituskertoja kertyi harjuksilla verrattain vähän, koska osa kaloista poistui seuranta-alueelta pian vapautuksen jälkeen. Pisimpään seurannassa pysyneet harjuksset puolestaan liikkuvat pääasiassa putken alapuolella eivätkä käyneet putken yläpuolella. Harjusten tarkemmat liikkeet on esitetty Liitteessä 2.

3.3 Ympäristötekijöiden vaikutus kalojen liikkeisiin

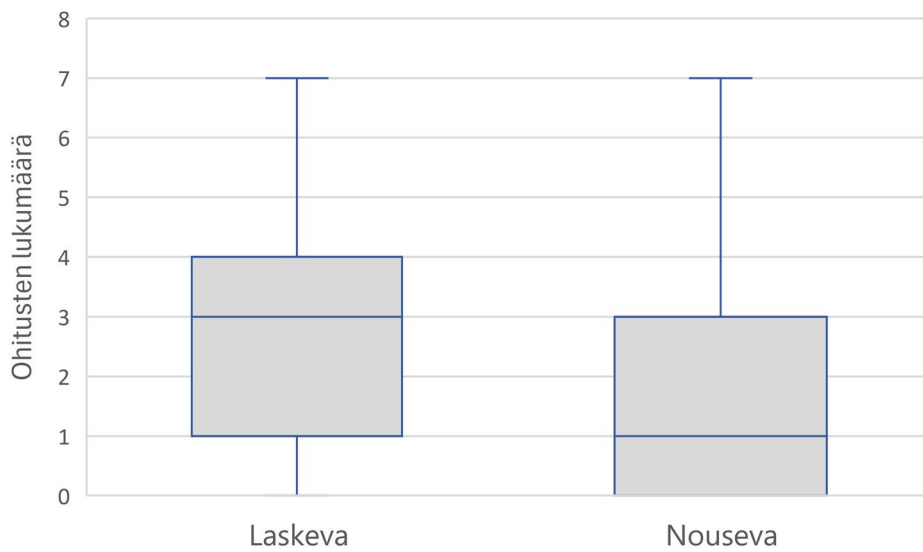
3.3.1 Purkupuutken ohitukset

Purkupuutken ohitukset suuntautuivat hyvin tasaisesti sekä ylä- että alavirran suuntaan, ja useimpina päivinä liikuttiin molempiin suuntiin (Kuva 5). Jokiveden sähkönjohtavuuden arvoilla (vrk:n keskiarvot purkupuutken yläpuolella tai alapuolella) ei ollut vaikutusta kalojen tekemien ohitusten määrään tai uintisuuntaan (Kendall's tau b; $p=0,185-0,706$).

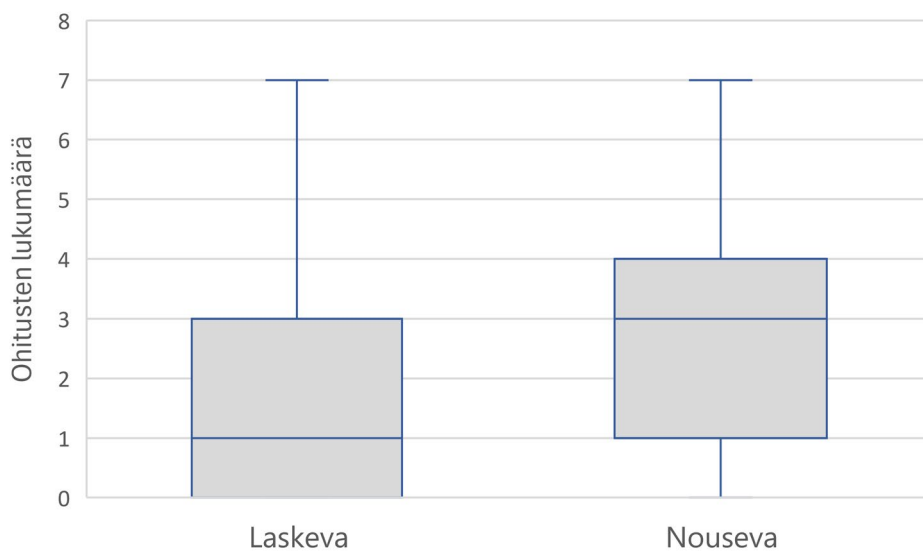
Tämän johdosta oletettiin, että *purkuvesien suora vaikutus* (ala- ja yläpuolisten sähkönjohtavuusarvojen välinen erotus) ja *sähkönjohtavuuden trendi* (nousussa/laskussa) kuvastavat paremmin kalojen kokemia olosuhteita ja tuovat selvemmin esille mahdolliset vaikutukset kalojen käyttäytymisessä. Näin ollen keskityttiin tarkastelemaan purkuvesien suoraa vaikutusta sähkönjohtavuuteen putken alapuolella, ja purkuvesien suoran vaikutuksen trendiä suhteessa purkupuutken ohitusten määrään. Jokivirtaaman ja

sähkönjohtavuuden voimakkaan negatiivisen korrelaation takia tarkasteltiin erikseen myös nousevan/laskevan virtaaman vaikutusta kalojen liikkeisiin.

Purkuputken ohituksia tapahtui jonkin verran enemmän purkuvesien vaikutuksen ollessa laskusuunnassa (Kuva 6). Virtaaman osalta tulos oli päinvastainen: putken ohituksia tapahtui jonkin verran enemmän virtaaman ollessa nousussa (Kuva 7). Havaitut erot ohitusten määrissä nousevan ja laskevan trendin välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä (yleistetty lineaarinen malli negatiivi-binomijakaumalla; *sähkönjohtavuus*: $z = -1,752$, $p = 0,0798$; *virtaama*: $z = 1,461$, $p = 0,14397$).



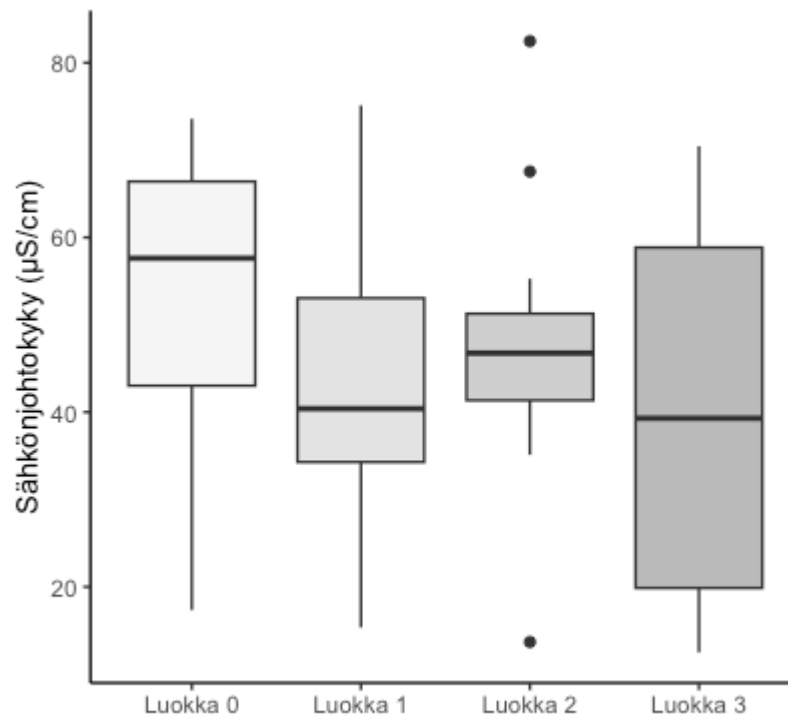
Kuva 6. Purkuputken ohitusten lukumäärä laskevan (n=17) ja nousevan (n=32) **sähkönjohtavuuden** vuorokausina.



Kuva 7. Purkuputken ohitusten lukumäärä laskevan (n=32) ja nousevan (n=17) **jokivirtaaman** vuorokausina.

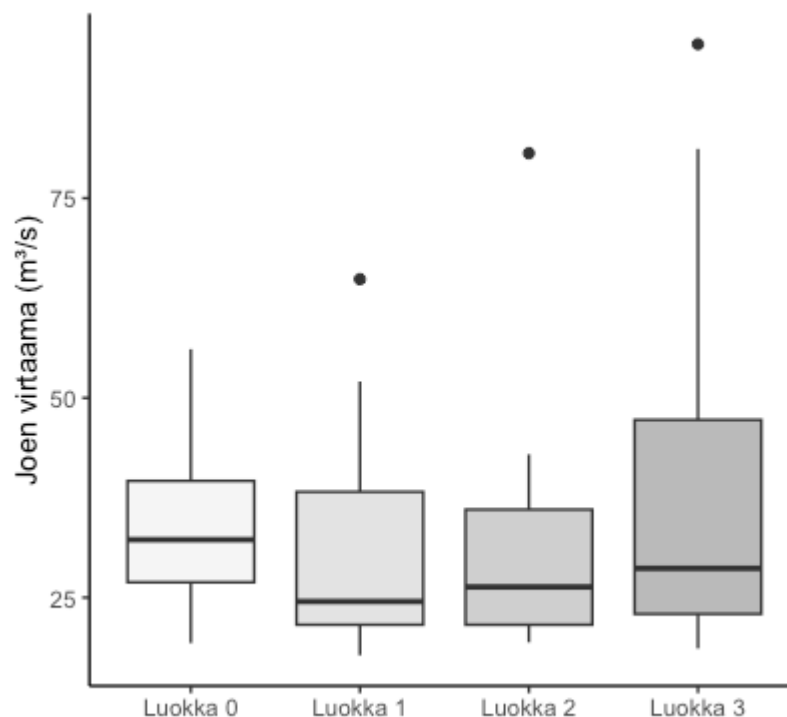
Putken ohitusten määrää tarkasteltiin myös ryhmittelemällä vuorokaudet neljään liikeluokkaan putken ohituskertojen lukumäärän perusteella: **Luokka 0** (ei ohituksia), **Luokka 1** (1 ohitus), **Luokka 2** (2 tai 3 ohitusta), **Luokka 3** (vähintään 4 ohitusta).

Päivinä, jolloin putken ohituksia ei tapahtunut lainkaan (liikeluokka 0), purkuvesien vaikutus oli sähkönjohtavuutena mitattuna keskimääräistä suurempaa (Kuva 8). Vastaavasti päivinä, jolloin ohituksia tapahtui enemmän, purkuvesien vaikutus oli keskimäärin vähäisempää. Liikeluokkien väliset erot sähkönjohtavuudessa eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä (Kruskall-Wallis; $H=4,087$; $df=3$; $p=0,252$).



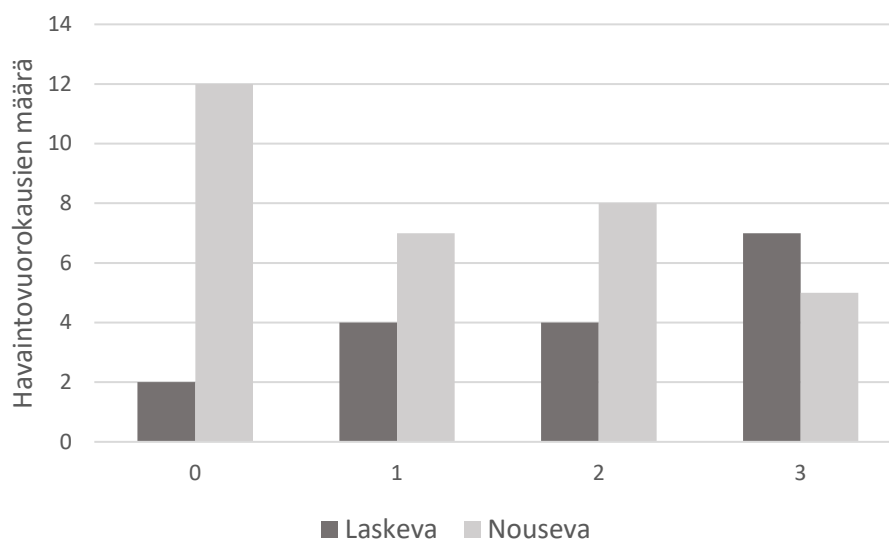
Kuva 8. **Sähkönjohtokyky** (putken vaikutus) eri liikeluokissa (Luokat 0–3).

Jokivirtaaman osalta liikeluokkien välillä ei ollut käytännössä eroja (Kuva 9), ts. päivät, jolloin putken ohituksia ei tapahtunut, eivät eronneet päivistä, jolloin putken ohituse uitiin enemmän (Kruskall-Wallis; $H=2,282$; $df=3$; $p=0,516$).



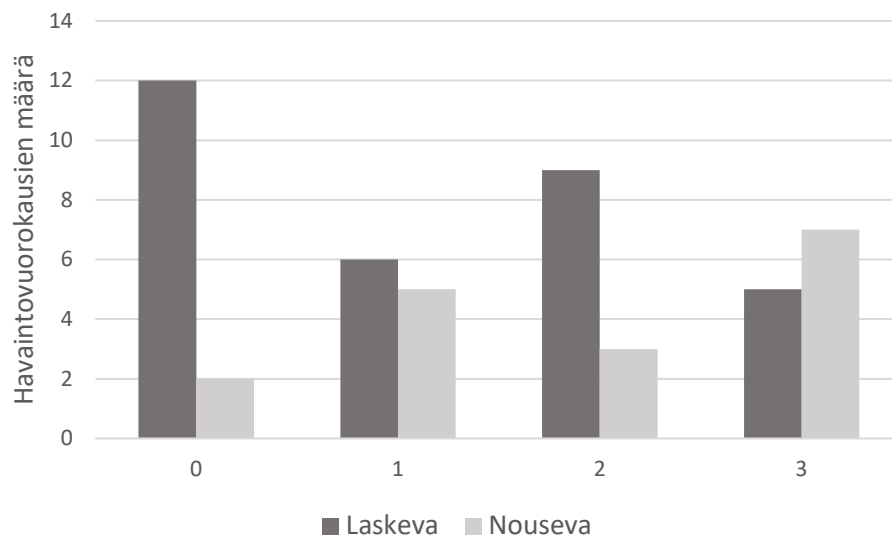
Kuva 9. Jokivirtaaman määrä eri liikeluokissa (Luokat 0–3).

Havaintovuorokausien määrät jakautuivat eri liikeluokkiin sähkönjohtavuuden trendin osalta jossakin määrin epätasaisesti (Kuva 10). Luokkien välinen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää ($\chi^2= 5,56$; $df= 3$; $p= 0,135$), ts. havaintovuorokaudet jakautuivat liikeluokkiin sähkönjohtavuuden trendistä riippumatta. Päivinä, jolloin putken ohituksia ei tapahtunut lainkaan (liikeluokka 0), sähkönjohtavuus oli yleensä nousussa. Vastaavasti päivinä, jolloin putken ohituksia oli enemmän (liikeluokat 1–3), ohitukset tapahtuivat tasaisemmin sekä nousevan että laskevan trendin aikana.



Kuva 10. Havaintovuorokausien määrän jakautuminen sähkönjohtavuuden trendin (laskeva/nouseva) mukaisesti eri liikeluokissa (0–3).

Havaintovuorokausien määrät jakautuivat eri liikeluokkiin myös jokivirtaaman trendin suhteen epätasaisesti (Kuva 11). Luokkien välinen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($\chi^2=6,59$; $df=3$; $p=0,086$), ts. havaintovuorokaudet jakautuivat liikeluokkiin virtaaman trendistä riippumatta. Päivinä, jolloin putken ohituksia ei tapahtunut lainkaan (liikeluokka 0), virtaama oli yleensä laskussa. Vastaavasti päivinä, jolloin putken ohituksia oli enemmän (liikeluokat 1–3), ohitukset tapahtuivat tasaisemmin sekä nousevan että laskevan virtaaman aikana.



Kuva 11. Havaintovuorokausien määrän jakautuminen **jokivirtaaman** trendin (laskeva/nouseva) mukaisesti eri liikeluokissa (0–3).

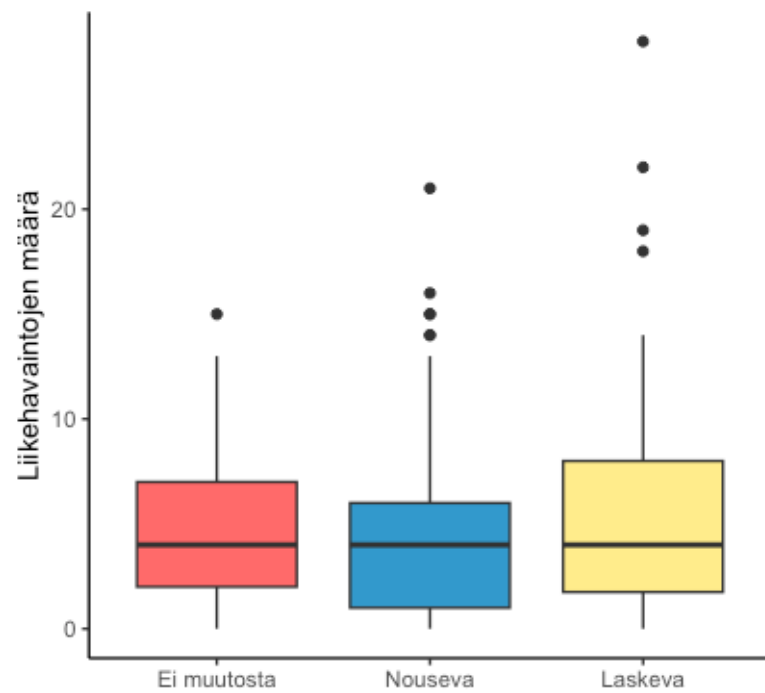
3.3.2 Liikeaktiivisuus putken ympäristössä

Kalojen liikeaktiivisuutta purkuputken alapuolella ja sen kohdalla tarkasteltiin laskemalla jokaisen yksilön (20 taimenta) tekemien paikanvaihtojen määrät ($n=1740$) kellonajan mukaan ryhmitellyissä kolmen tunnin jaksoissa. Jaksot ryhmiteltiin sähkönjohtavuuden osalta tapahtumahetkellä vallinneen trendin mukaisesti (*nouseva/laskeva/ei muutosta*). Jokivirtaaman osalta oli käytettävissä ainoastaan vuorokausikohtaiset keskiarvot, joten virtaaman vaikutusta liikeaktiivisuuteen tarkasteltiin vain vuorokausitasolla.

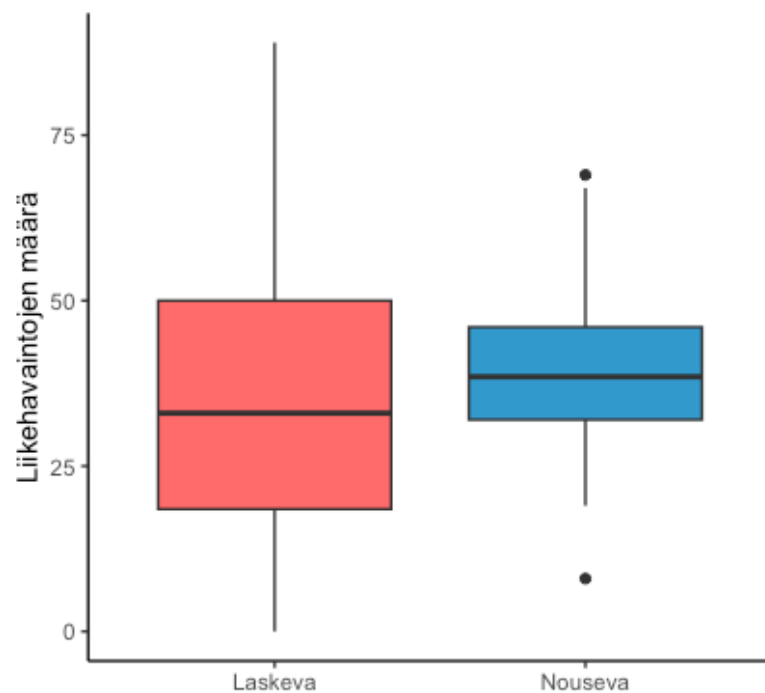
Liikeaktiivisuuden määrää tarkasteltiin myös ryhmittelemällä em. kolmen tunnin jaksot liikeaktiivisuusluokkiin jakson aikana tapahtuneiden paikanvaihtojen lukumäärän perusteella seuraavasti: **Luokka 0** = ei liikettä, **Luokka 1** = 1–2 liikehavaintoa, **Luokka 2** = 3–5 liikehavaintoa, **Luokka 3** = 6–9 liikehavaintoa ja **Luokka 4** = 10 tai enemmän.

Kalojen liikeaktiivisuus oli samalla tasolla riippumatta siitä, pysyikö purkuvesien vaikutus sähkönjohtavuudella mitattuna samana vai oliko se muuttumassa jompaan kumpaan suuntaan (Kuva 12), ts. purkuvesillä ei ollut vaikutusta kalojen liikeaktiivisuuteen purkuputken alapuolella (Kruskal-Wallis; $H= 3,402$; $df= 2$; $p= 0,183$). Myöskään

jokivirtaaman trendillä ei ollut havaittavaa vaikutusta kalojen liikeaktiivisuuteen putken alapuolella vuorokausitasolla (Kuva 13) (Kruskal-Wallis, $H = 0,709$, $df = 1$, $p = 0,400$).

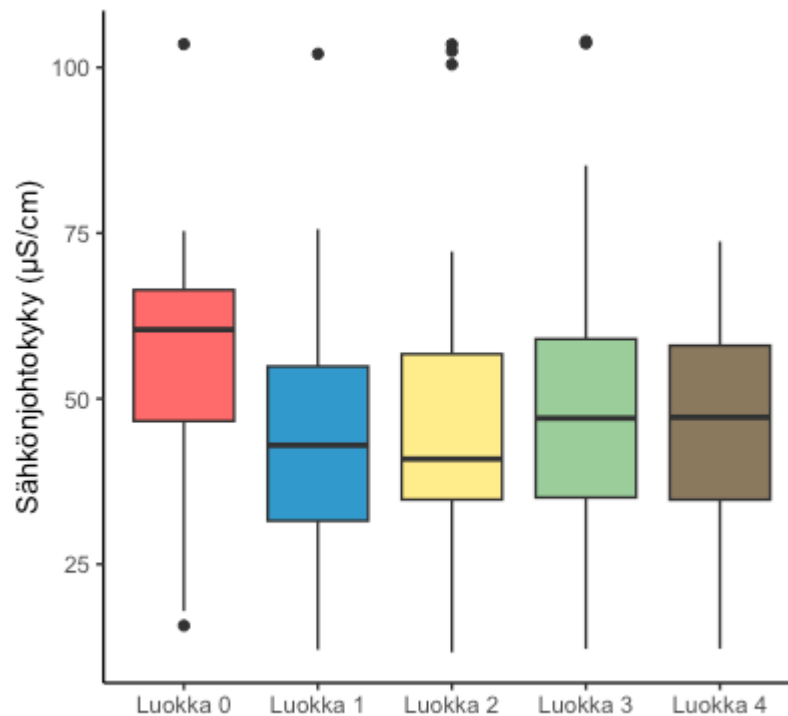


Kuva 12. Liikkeiden määrä purkuputken alapuolella **sähkönjohtavuuden** trendin mukaisesti ryhmiteltynä.



Kuva 13. Vuorokausikohtaiset liikemäärät purkuputken alapuolella **jokivirtaaman** trendin mukaisesti ryhmiteltynä.

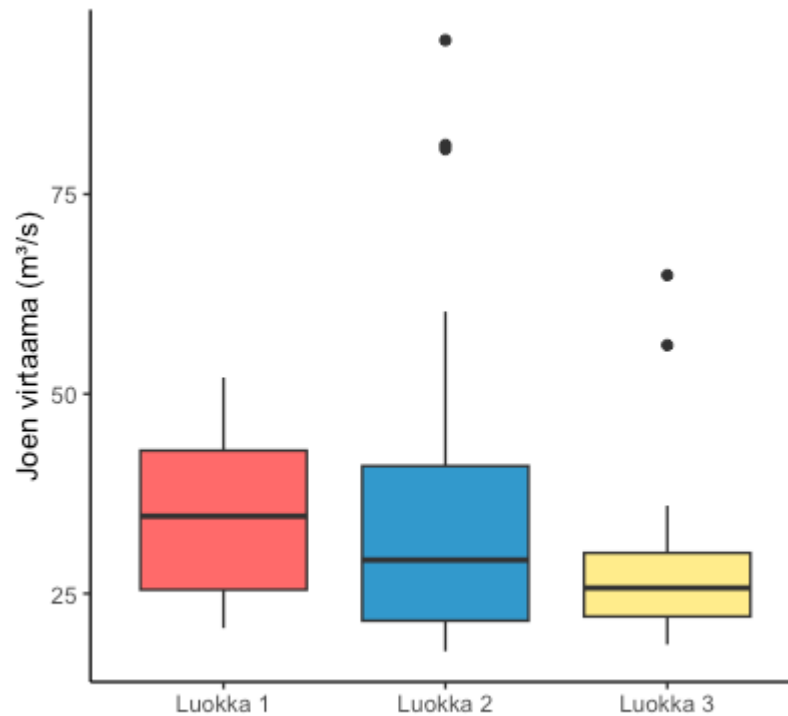
Liikeaktiivisuusluokkia vertailtaessa suhteessa sähkönjohtavuuteen voitiin todeta, että liikeaktiivisuusluokkien välillä oli merkittäviä eroja (Kuva 14) (Kruskal-Wallis, $H= 23,617$, $df= 4$, $p= 9,529e-05$). Tarkemmassa luokkien välisessä vertailussa ilmeni, että ainoastaan Luokka 0 poikkesi sähkönjohtavuudeltaan merkittävästi muista luokista (Dunnin post-hoc -testi Bonferroni-korjauksella, $p= 0,0001-0,0065$). Muiden liikeluokkien välillä ei ollut eroja ($p= 1,000$). Toisin sanoen ajanjaksoina, jolloin kalat eivät liikkuneet putken alapuolella, purkuputken vaikutus oli hieman suurempi kuin yleensä (Kuva 14).



Kuva 14. **Sähkönjohtokyky** purkuputken alapuolella (purkuputken vaikutus) eri liikeaktiivisuusluokissa.

Jokivirtaaman osalta jouduttiin tarkemman virtaamatiedon puuttuessa tyytymään liikeaktiivisuuden tarkasteluun vuorokausitasolla. Purkuputken alla liikuttiin kaikkina päivinä, ns. nolla-päiviä ei ollut, ja liikeaktiivisuusluokat muodostettiin virtaamatarkastelua varten seuraavasti: **Luokka 1** = <30 liikehavaintoa, **Luokka 2** = 30–49 havaintoa, **Luokka 3** = 50 ja enemmän (Kuva 15).

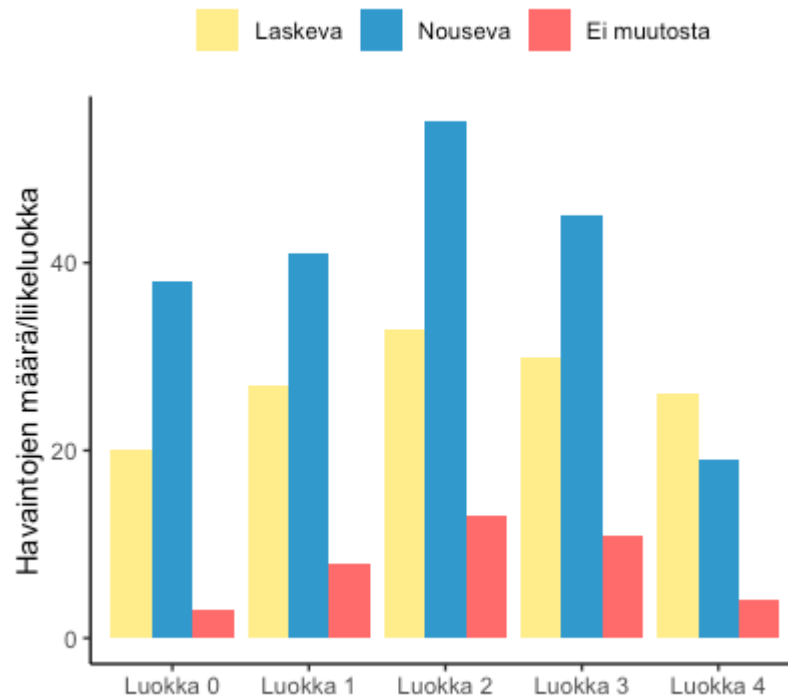
Jokivirtaaman taso vaikutti olevan hieman alhaisempi päivinä, jolloin liikuttiin eniten (Luokka 3) (Kuva 15). Liikeaktiivisuusluokkien välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa jokivirtaaman suhteen (Kruskal-Wallis, $H= 1,925$, $df= 2$, $p= 0,382$).



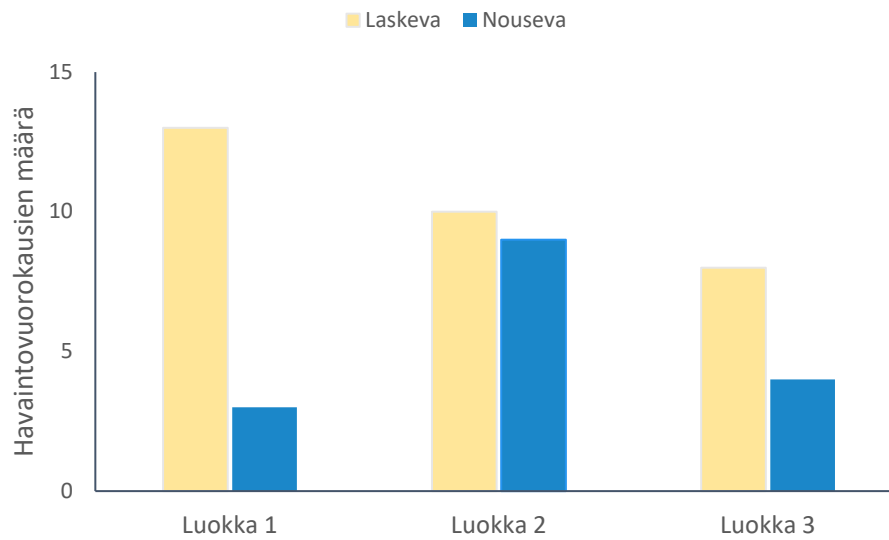
Kuva 15. **Jokivirtaaman** määrä eri liikeaktiivisuusluokissa.

Liikehavaintojen määrä oli suurempi nousevan sähkönjohtavuuden jaksoilla lähes jokaisessa liikeluokassa (Kuva 16). Toisaalta näin oli myös Luokassa 0 (ei liikettä). Liikeluokkien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, vaan havainnot jakautuivat luokkiin sähkönjohtavuuden trendistä riippumatta ($\chi^2= 10,372$, $df= 8$, $p= 0,240$). Tuloksesta voi kuitenkin päätellä, että purkuputken alapuolella on sekä pysytty paikoillaan että liikuttu paljon myös nousevan sähkönjohtavuuden jaksoina (Kuva 16).

Jokivirtaaman trendin suhteen havaintovuorokausia oli jonkin verran enemmän laskevan virtaaman vallitessa kaikissa liikeluokissa (Kuva 17). Trendin vaikutus ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää ($\chi^2= 3,172$, $df= 2$, $p= 0,205$). Tuloksesta voi kuitenkin päätellä, että putken alapuolella on liikuttu paljon myös päivinä, jolloin virtaama on ollut laskussa.



Kuva 16. Liikehavaintojen määrän jakautuminen **sähkönjohtavuuden** trendin (laskeva/nouseva/ei muutosta) mukaisesti eri liikeluokissa (0–4).



Kuva 17. Havaintovuorokausien määrän jakautuminen **jokivirtaaman** trendin (laskeva/nouseva) mukaisesti eri liikeluokissa (1–3).

3.3.3 Erikoislähettimein tuottama tieto

Kolmen taimenen ja kahden harjuksen lähettimeet mittasivat veden sähköjohtokykyä. Vastaanottimille tallentuneiden mittauservojen perusteella lähettimeet toimivat pääsääntöisesti hyvin ja niiden mittaamat sähköjohtavuuservot vastasivat hyvin veneestä tehtyjä mittaustuloksia ja kiinteillä mittauspisteillä mitattuja arvoja. Erikoislähettimeellä varustettujen kalojen liikkeitä ja sähköjohtavuuden mittauservot on esitetty Liitteessä 2.

Sähköjohtavuuservot kohosivat selvästi ja olivat vaihtelevia ja hetkittäin jopa huomattavasti yleistä alueellista tasoa korkeampia, kun kalat saapuivat purkupuutken alapuolelle. Kalojen sijainnimmääritysten ja erikoislähettimein mittaamien sähköjohtavuuservojen perusteella kalat liikuskelivat ajoittain useiden tuntien ajan aivan purkupuutken alla purkuvesien suoran vaikutuksen alaisena. Kalat myös palasivat toistuvasti purkuvesien vaikutusalueelle purkupuutken alle.

Hetkittäisiä korkeita sähköjohtavuuservoja saatiin myös hieman purkupuutken yläpuolelta pääasiassa syyskuun loppupuolella. Nämä yksittäiset johtavuuspiikit olivat todennäköisesti seurausta ko. naarastaimenen tekemistä kutukuopankaivuupyrähdyksistä. Vastaavasti muitakin vastaavia, todennäköisesti pohjan pölähdyksistä johtuvia hetkittäisiä korkeita johtavuuservoja esiintyi muidenkin kalojen tallenteissa. Toisaalta kaikki yleisestä alueellisesta tasosta poikkeavat johtavuuservot tallentuivat juuri purkupuutken lähiympäristössä, muualla jokialueella niitä ei havaittu.

Erikoislähettimeiltä saatujen johtavuuservojen perusteella voitiin myös vahvistaa kalojen sijainnimmääritysten perusteella saatu käsitys siitä, että kalat siirtyivät ajoittain purkupuutken alapuolisen saarekkeen taakse, sivuun purkuvesien vaikutusalueelta. Siirtymisen yhteydessä johtavuuservot alenivat selvästi. Sivuttaissiirtymien ajankohtina ei purkupuutken alapuolella tapahtunut kuitenkaan mitään erityisiä tai nopeita muutoksia sähköjohtavuuservoissa. Nämä ajoittaiset saarekkeen takana vietetyt ajanjaksot, jolloin kalat eivät olleet purkuveden vaikutuksen alaisia, on jätetty pois purkupuutken ympäristössä tapahtuneen liikeaktiivisuuden määrän laskennasta kaikilta kaloilta.

4. Tulosten tarkastelu

Kittilän kaivoksen purkupuutken kohdalle vapautettiin 30 lähettimeellä merkittyä kalaa (21 taimenta, 9 harjusta). Kalojen liikkeitä seurattiin jokialueelle asennettujen jatkuvatoimisten automaattivastaanottimien avulla. Kaloja paikannettiin myös laajemmalla jokialueella tehtyjen kuukausittaisten vedenlaatumittausten yhteydessä.

Kertyneen aineiston (noin 0,9 miljoonaa signaalitallennetta) perusteella määritettiin kalojen liikkeitä Loukisessa Kapsajoen haaran ja jokisuun välillä. Erityisesti tarkasteltiin kalojen liikkeitä purkupuutken kohdalla ja sen alapuolella. Kaivoksen purkuvesien mahdollisia vaikutuksia kalojen käyttäytymiseen pyrittiin arvioimaan useista eri mittauspisteistä kerätyn vedenlaatuaineiston perusteella. Purkuvesistä johtuvaa sähköjohtokyvyn lisäystä putken alapuolisella mittauspisteellä käytettiin indikoimaan purkuveden vaikutusta vedenlaatuun purkualueella ja sen alapuolisella jokialueella. Sähköjohtavuus oli keskimäärin 62 yksikköä (vaihteluväli: 12,5–92,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) korkeampi purkupuutken alapuolella kuin putken yläpuolella.

Kaikki lähettimellä varustetut kalat hakeutuivat pian vapautuksen jälkeen purkuputken alapuoliselle virtavesialueelle, jossa ne oleskelivat vapautuksen jälkeen vaihtelevan pituisia ajanjaksoja. Monet kaloista jäivät lähietäisyydelle purkuputken alapuolelle pysyvästi, osa liikkui laajemmalla alueella ylä- ja alavirran suunnassa ja palasi ajoittain uudelleen purkuputken alapuolelle. Purkuputki ja putkesta purkautuvat puhdistetut kaivoksen jätevedet eivät selvästikään ole esteenä kalojen liikkumiselle, eivätkä purkuvedet myöskään karkottaneet kaloja pois alueelta. Esimerkiksi harjusten havaittiin selvästi viihtyvän juuri purkuputken alapuolisella koskiosuudella, ja niitä saatiin myös saaliiksi tältä alueelta putken lähistöltä.

Vedenlaadun vaihtelun vaikutuksia kalojen liikeaktiivisuuteen analysoitiin useilla eri tavoilla ja menetelmillä. Veden sähkönjohtokyvyn ja virtaaman välisen voimakkaan negatiivisen korrelaation takia tarkasteltiin myös kalojen liikkeiden ja virtaaman välisiä riippuvuussuhteita.

Aineiston alustavassa tarkastelussa ei voitu osoittaa suoria riippuvuussuhteita kalojen liikkeiden ja jokiveden sähkönjohtavuusarvojen tai virtaaman määrän välillä. Kalojen on todettu reagoivan vallitsevia olosuhteita yleisemmin olosuhteissa tapahtuviin muutoksiin. Siksi kalojen liikkeitä analysoitiin tarkemmin ja laajemmin suhteessa sähkönjohtavuudessa ja virtaamassa tapahtuneisiin muutoksiin (trendi) vuorokausitasolla (*purkuputken ohitukset*) sekä kolmen tunnin jaksoissa tarkemman liikeseurannan alueella purkuputken lähietäisyydellä (*liikeaktiivisuus putken ympäristössä*). Liikeaineistoa myös ryhmiteltiin luokkiin liikemäärien perusteella helpottamaan aineiston tilastollista tarkastelua ja analysointia.

Usean eri tarkastelun perusteella vaikutti siltä, että purkuvesien vaikutuksella (*sähkönjohtavuuden lisäys putken alapuolella*) ei ollut selvää, tilastollisesti havaittavaa vaikutusta kalojen liikkeisiin laajemmassa mittakaavassa (*purkuputken ohitukset*), eikä tarkemman seurannan alueella purkuputken alapuolella (*liikeaktiivisuus*).

Purkuputken ohituksia tarkasteltaessa tulokset antoivat kuitenkin viitteitä siihen suuntaan, että ohituksia tapahtui vähemmän silloin, kun sähkönjohtavuus oli nousussa (Kuva 6) ja virtaama laskussa (Kuva 7). Sama suuntaus oli tulkittavissa myös purkuputken ohituksiin liittyvissä liikeluokkakohtaisissa tarkasteluissa: päivinä, jolloin putken ohituksia ei tapahtunut (Luokka 0), sähkönjohtavuus oli hieman keskimääräistä korkeampi (Kuva 8) tai nousussa (Kuva 10) ja jokivirtaama vastaavasti laskemassa (Kuva 11). Nousussa oleva jokivirtaama on siis todennäköisesti lisännyt kalojen yleistä liikkuvuutta seuranta-alueella, ja sen seurauksena myös putken ohituksia on tapahtunut enemmän. Virtaaman lisääntyminen on yleisen käsityksen mukaan yksi keskeinen lohikalojen liikeaktiivisuutta lisäävä tekijä.

Liikeaktiivisuus purkuputken alapuolella ei myöskään ollut riippuvaista vallitsevista olosuhteista. Ainoa tilastollisesti merkitsevä tulos saatiin liikeaktiivisuusluokkien ja sähkönjohtavuuden välisessä tarkastelussa (Kuva 14). Ajanjaksoina, jolloin sähkönjohtavuus oli hieman keskimääräistä suurempaa, kalat vaikuttivat pysyttelevän aloillaan (Luokka 0, ei liikettä). Toisin sanoen korkeampi sähkönjohtavuus mahdollisesti vähensi kalojen liikkuvuutta putken alapuolella. Kyseisessä tarkastelussa muiden liikeaktiivisuusluokkien välillä ei ollut eroja sähkönjohtavuudessa liikkeiden aikana, ja

toisaalta sähkönjohtavuuden trenditarkastelu (Kuva 16) osoittaa, että kalat liikkuvat purkuputken alapuolella aktiivisesti myös nousevan sähkönjohtavuuden aikana.

Virtaaman määrällä tai trendillä ei näyttänyt olevan vaikutusta liikeaktiivisuuden määrään purkuputken alapuolella. Virtaamatietojen rajallisuuden takia (käytössä vain vrk-kohtaiset keskiarvot) tarkemman liikeaktiivisuuden ja virtaaman vaihtelun välinen tarkastelu jäi kuitenkin jossakin määrin puutteelliseksi. Toisaalta jokivirtaaman määrä muuttuu hitaasti eikä trendimuutoksia juurikaan tapahdu vuorokauden mittaisten jaksojen aikana. Liikeluokkien ja virtaaman välisessä tarkastelussa on kuitenkin nähtävissä, että putken alapuolella liikuttiin aktiivisesti myös laskevan virtaaman aikana (Kuva 17), mikä on linjassa edellä mainitun nousevan sähkönjohtavuuden aikana havaitun aktiivisen liikehdinnän kanssa.

Tulosten merkitystä arvioitaessa tuleekin ottaa huomioon sähkönjohtavuuden ja virtaaman välinen voimakas negatiivinen korrelaatio. Useimmissa tarkasteluissa tämä yhteys olikin selvästi havaittavissa, mutta kalojen liikemäärät näyttivät vaihtelevan näiden muuttujien tasosta tai vaihtelusta riippumatta. Kalat selvästikin liikkivat purkuputken ympäristössä ja myös palasivat putken alapuolelle kaikenlaisissa olosuhteissa.

Tulosten perusteella kalat eivät välttele purkualuetta, eikä purkuvesillä ole vaikutusta kalojen liikkeisiin purkuputken kohdalla tai sen alapuolella. Kalojen liikehdintä Loukisessa ja purkuputken alueella liittyykin mitä todennäköisimmin normaaliin ravinnon ja habitaatin etsintään sekä vuodenaikojen mukaiseen kausivaihteluun.

5. Kirjallisuus

Eurofins Ahma Oy. 2021. Agnico Eagle. Kittilän kaivoksen kalataloustarkkailu v. 2020. Projektinro: 11186.

Hämäläinen, E. 2015. Kittilän kaivoksen käsiteltyjen kuivatus ja prosessivesien vaikutukset kaivoksen alapuolisessa vesistössä: Kaivosvesien sekoittuminen ja laimeneminen Seurujoessa. Opinnäytetyö. Ammattikorkeakoulututkinto. Tekniikan ja liikenteen ala. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Helminen, J. & Karppinen, P. 2022. Kittilän kaivoksen purkuvesien vaikutus kalojen käyttäytymiseen. Kala- ja vesijulkaisuja nro 337. Kala- ja vesitutkimus Oy.

Kala- ja vesitutkimus Oy 2021. Kalojen vaellus- ja liikkumiskäyttäytymisen selvittäminen Kittilän kaivoksen jätevesien purkupisteen alueella. Tutkimussuunnitelma. Päivitetty versio 15.6.2021.

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta - opasvihkonen. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry.

Liite 1. Loukisessa tehdyt sähkönjohtavuuden mittaukset

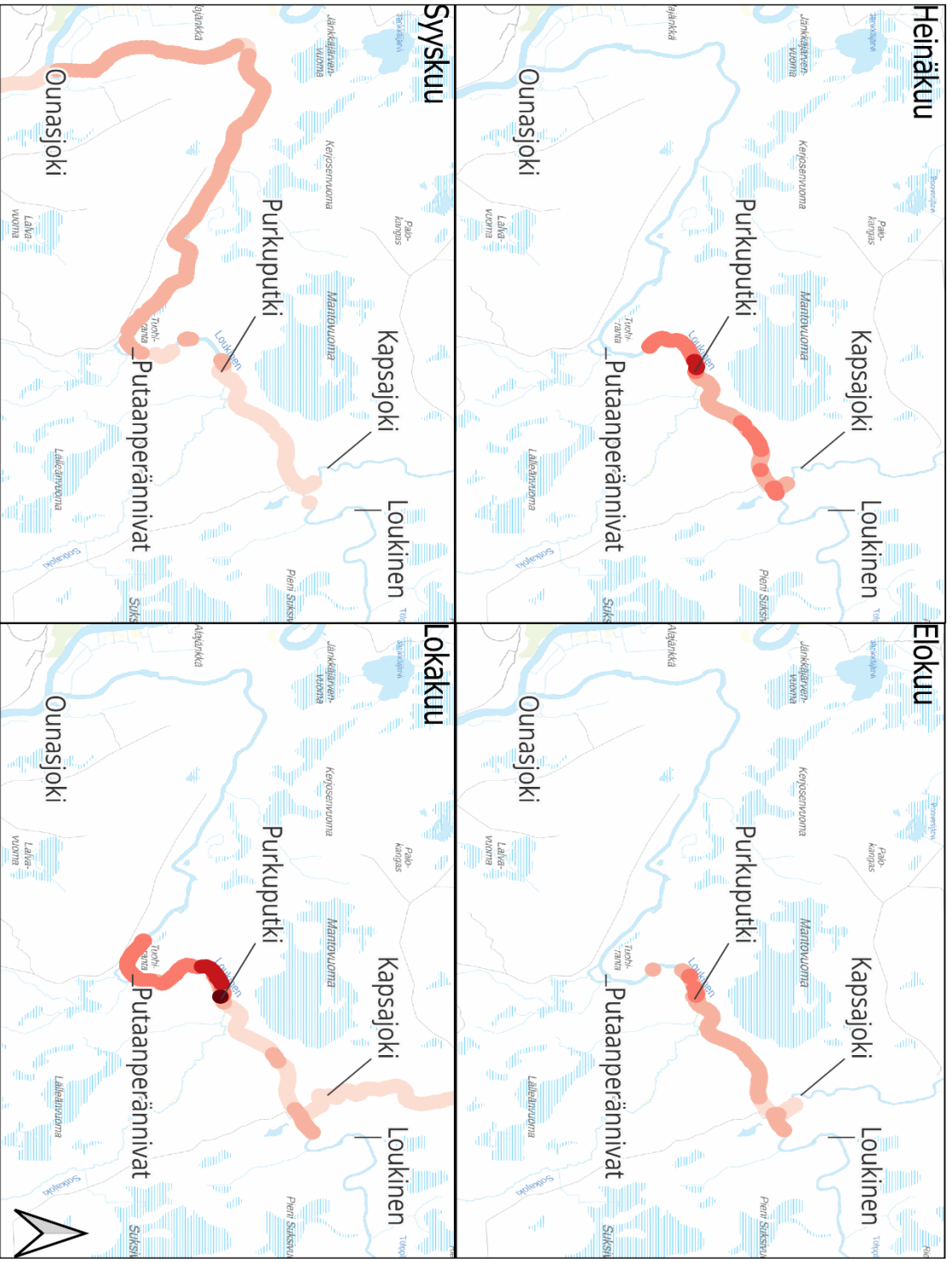
Jokialueella tehtiin sähkönjohtokyvyn mittauksia veneestä kalojen paikannusten yhteydessä. Mitatut alueet ja niitä vastaavat mittaustulokset on esitetty karttapohjalla.

Liite 2. Kalojen liikekaaviot

Liikekaavioissa siniset pisteet kuvaavat havaittuja kalojen sijainteja. Vaakaviivat osoittavat vastaanottimien sijainnit ja niiden etäisyyden jokisuusta. Vahvennettu viiva osoittaa purkuputken kohdalla olevan vastaanottimen sijainnin ja katkoviivat sen ympärillä lähimpien vastaanottimien sijainnit tarkemman liikeseurannan alueella.

Erikoislähettimellä varustettujen kalojen liikekaavioissa on kalojen liikkeiden lisäksi esitetty kalan kulloisenkin sijainnin mukaiset erikoislähettimen mittaamat sähkönjohtavuusarvot.

Liite 1. Loukisessa tehtyt sähköjohtavuuden mittaukset

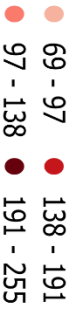


Sisältää Maanmittauslaitoksen ja SYKE:n avoimia aineistoja (04.03.2024)

CRS: EPSG:3067

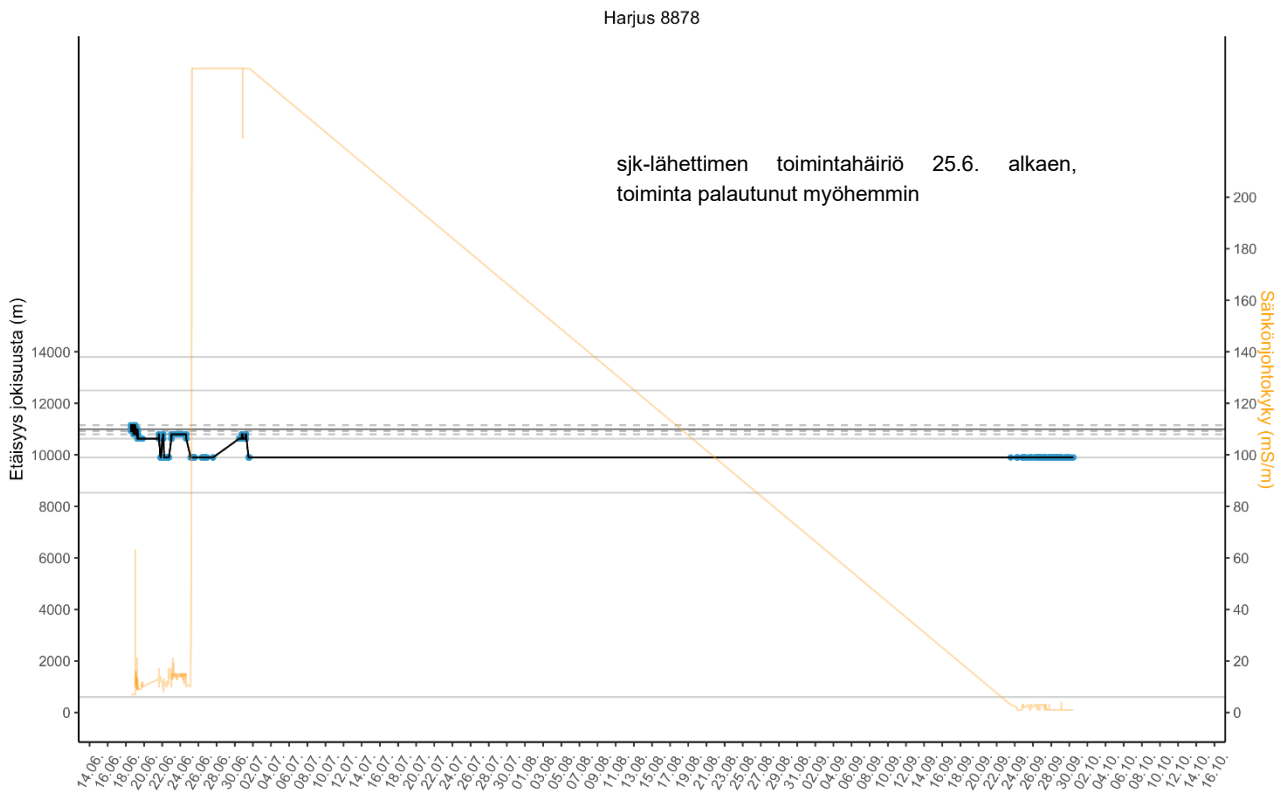
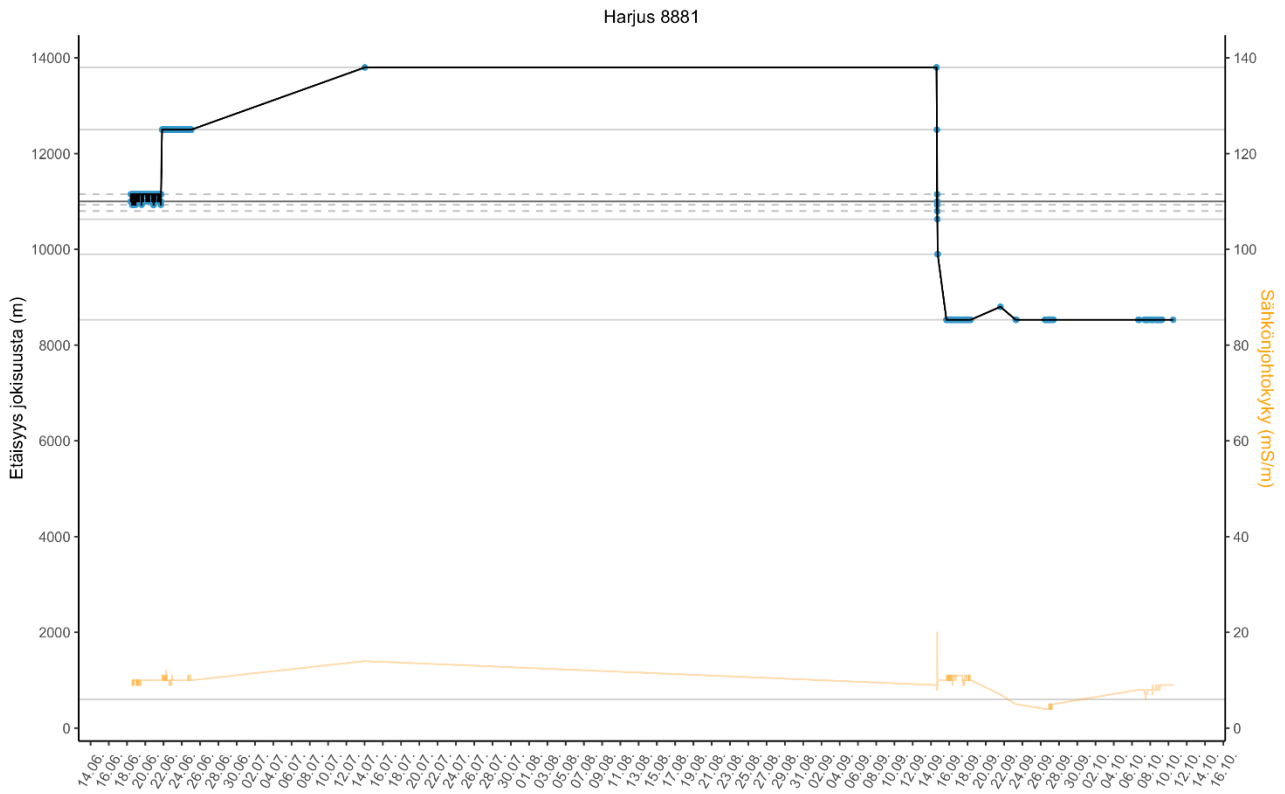


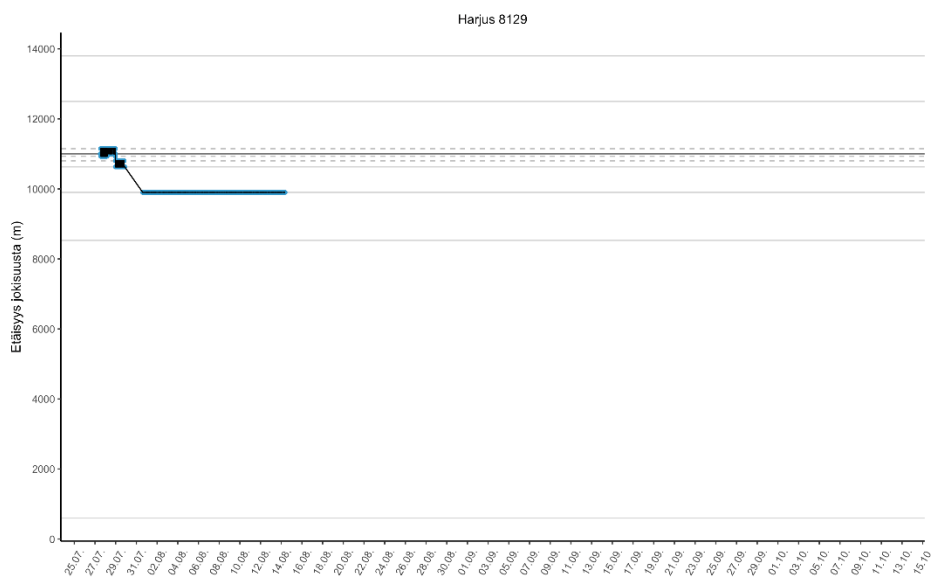
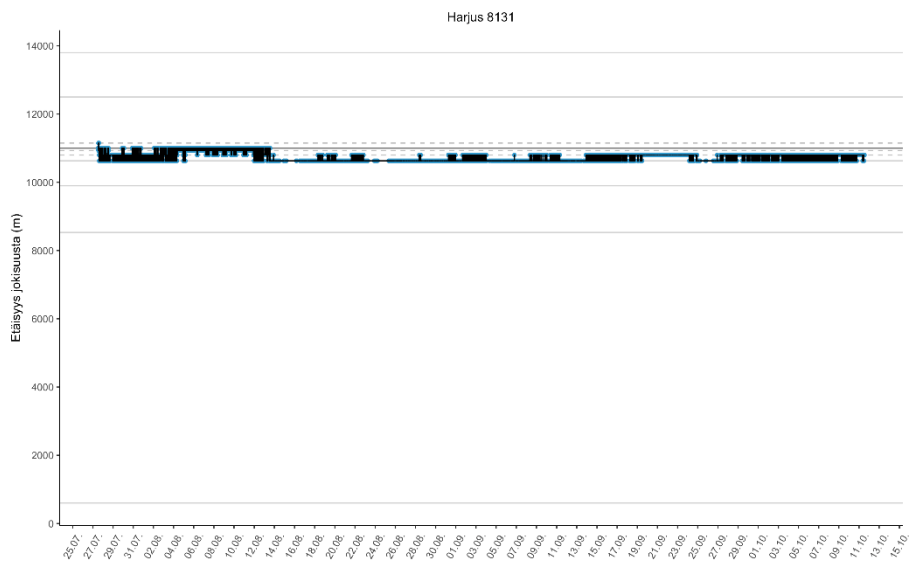
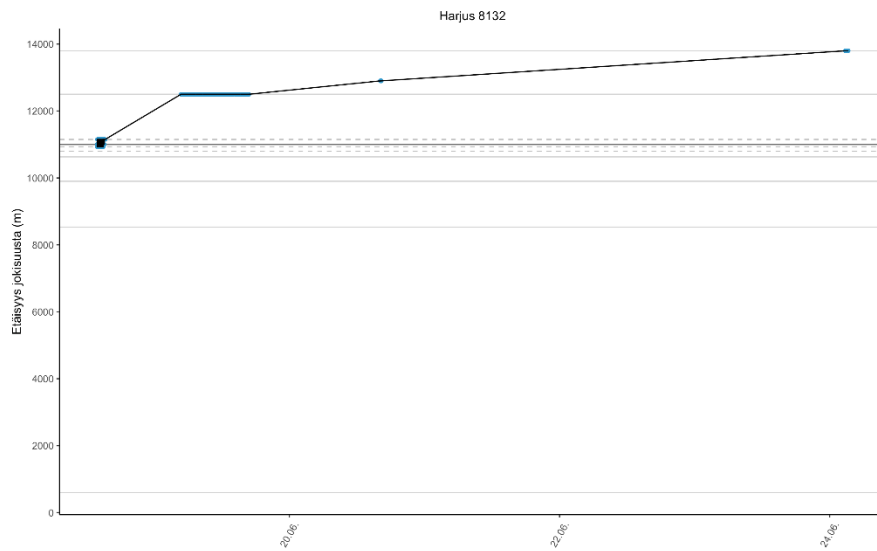
Sähköjohtavuus (uS/cm)



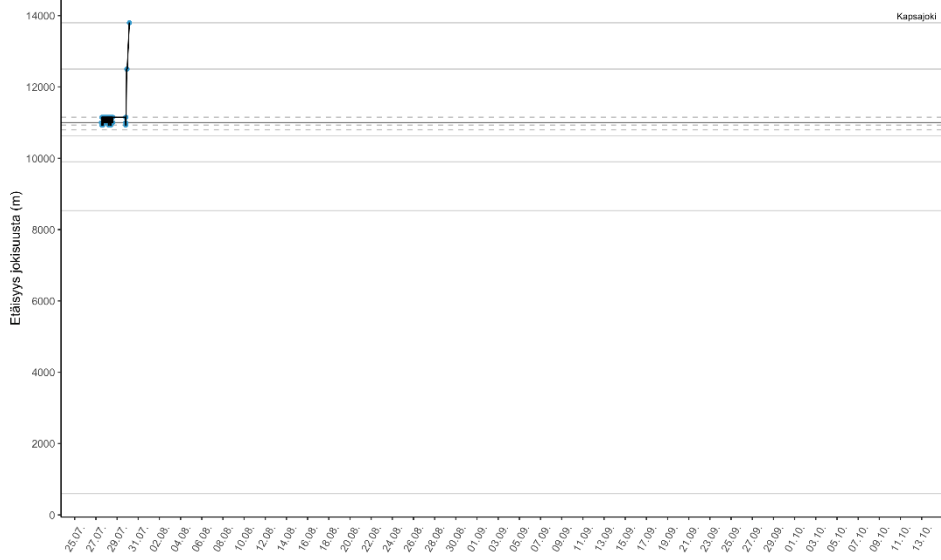
04.03.2024

Liite 2. Kalojen liikekaaviot

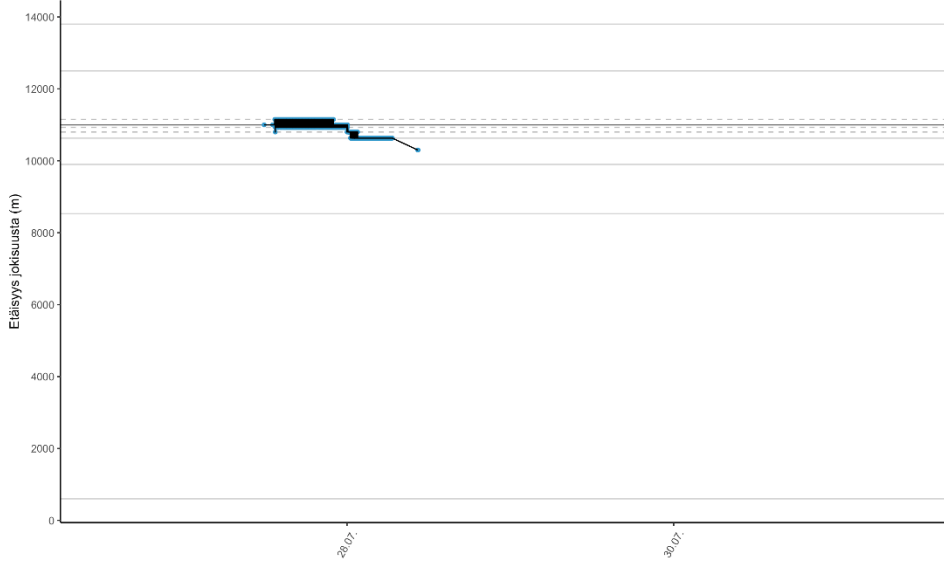




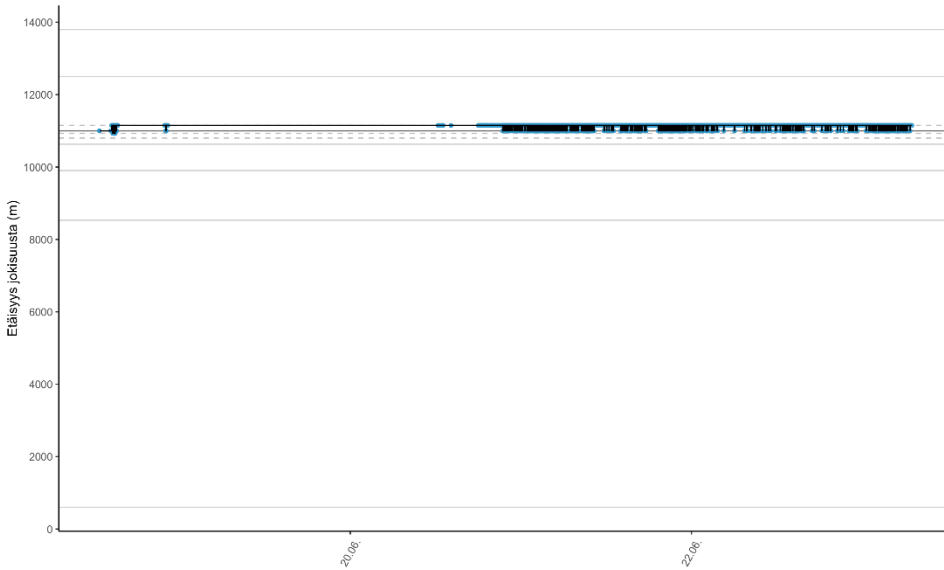
Harjus 8125

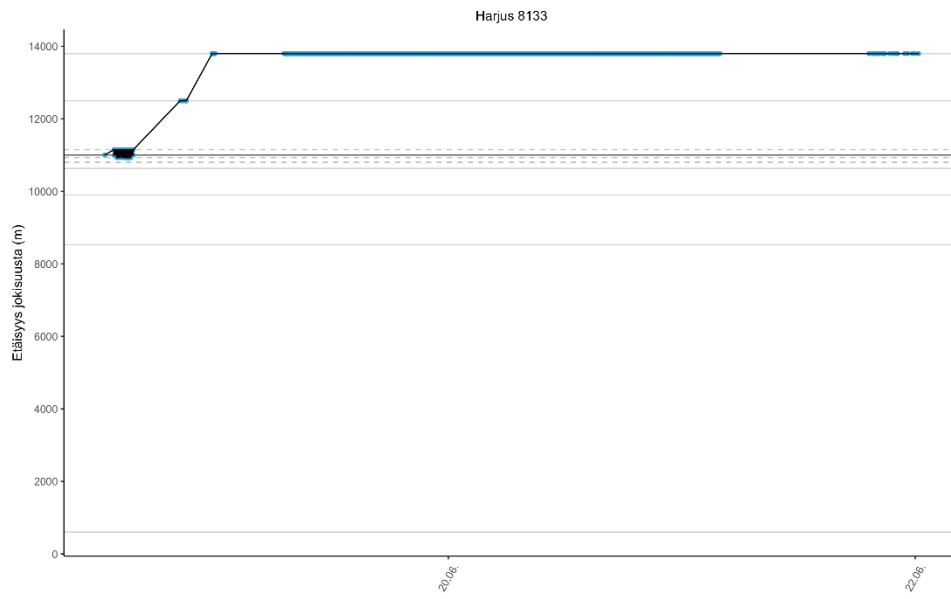


Harjus 8141

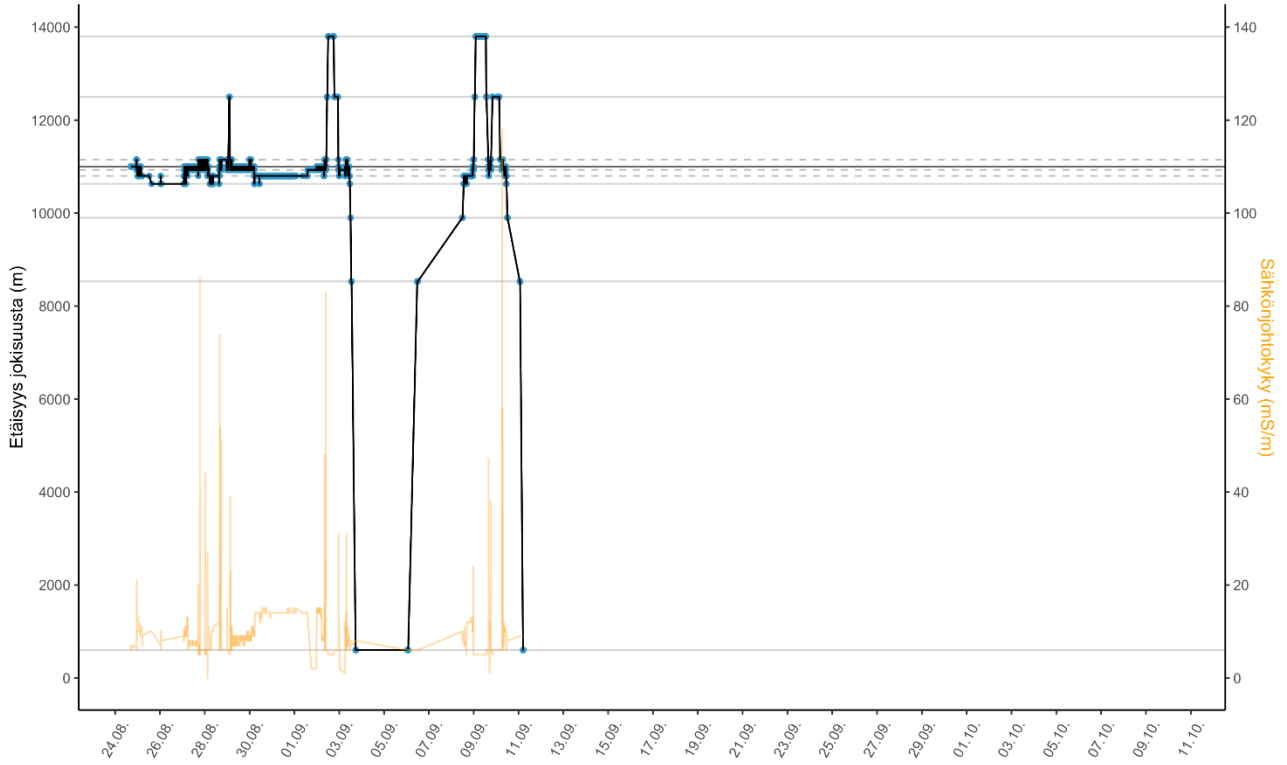


Harjus 8135

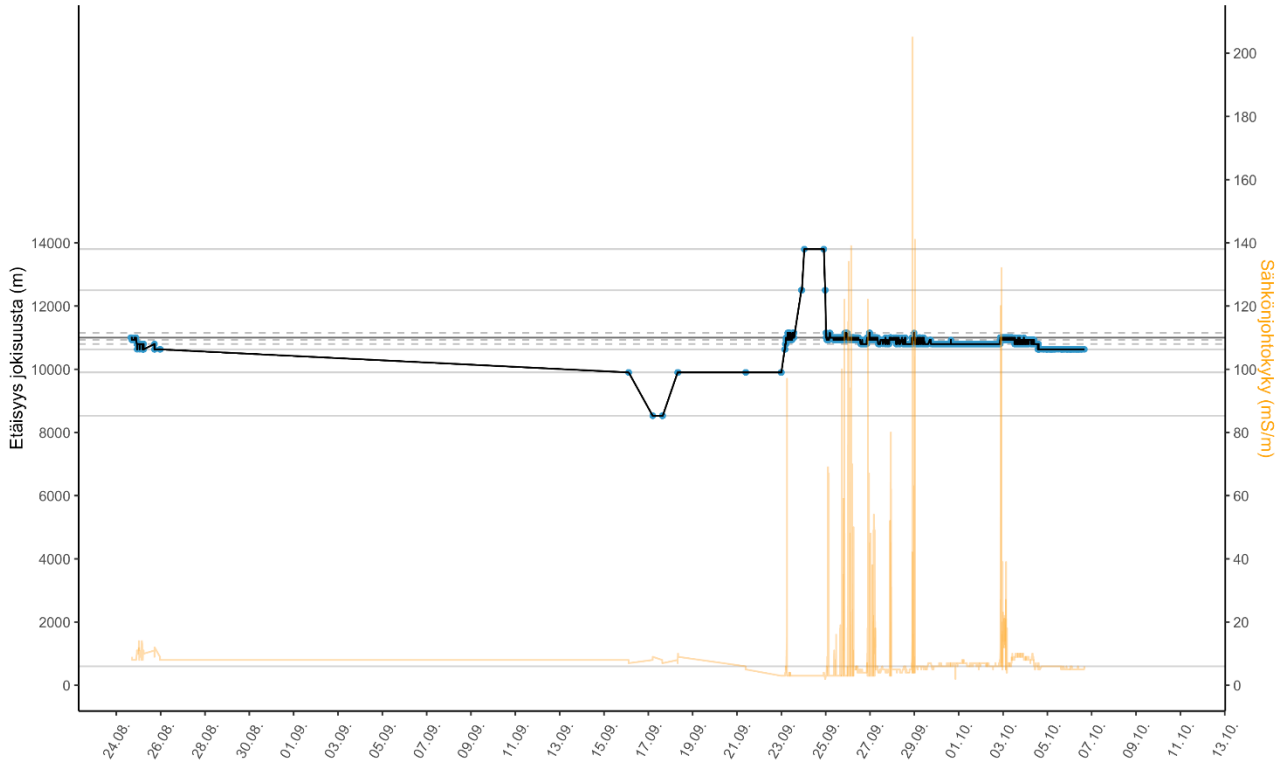




Taimen 8880



Taimen 8879



Taimen 8877

