

# Terrafame Oy:n purkuvesien leviäminen ja käyttäytyminen Sotkamon Nuasjärvellä loka- ja marraskuussa 2016

Jari Mäkinen



22.02.2017 / 50401-10119

Tekijät <b>Mäkinen Jari</b>	Raportin laji <b>22.02.2017 / 50401-10119</b>
Raportin nimi <b>Terrafame Oy:n purkuvesien leviäminen ja käyttäytyminen Sotkamon Nuasjärvellä loka- ja marraskuussa 2016</b>	Toimeksiantaja <b>Kainuun ELY-keskus</b>
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin Terrafame Oy:n kaivoksen purkuvesien kuormituksen leviämistä Nuasjärvessä sekä syvänteiden vedenlaatua ja kerrostumiskäyttäytymistä loka- marraskuussa 2016. Nuasjärven ja Rehjan alueella suoritettiin vedenlaadun kenttämittauksia ja vesinäytteenottoa 82 pisteestä 20. – 21.10.2016 välisenä aikana sekä 27 pisteestä 29.-30.11.2016 välisenä aikana. Lisäksi tarkasteltiin velvoitetarkkailun tuloksia ja verrattiin vedenlaadun muutoksia vuosien 2015 ja 2016 välisenä aikana. Tarkoituksena oli selvittää, miten purkuputken käyttöönotto 03.11.2015 on vaikuttanut veden laatuun Nuasjärvessä. Tutkimuksen mittausaineisto on annettu Kainuun ELY-keskuksen käyttöön.</p> <p>Velvoitetarkkailutulokset osoittavat, että vedenlaatu Nuasjärvessä ja Rehjan alueella on muuttunut seurantajakson 2015 – 2016 aikana, jolloin Terrafame Oy:n purkuputki on asennettu Nuasjärveen. Pintavedessä muutos näkyy lähinnä sähkönjohtavuuden kohoamisena tasolta 27 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math> tasolle 51 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math> vuosien 2015 ja 2016 aikana. Muutos johtuu etupäässä sulfaattipitoisuuden lisäyksestä 7 mg/l:sta (2015) 15 mg/l:aan (2016). Sulfaattipitoisuuden kaksinkertaistuminen vastaa kuormituslisää, sillä vuonna 2015 kuormitusta on tullut syyskuun loppupuolelle asti vain Jormasjoesta n. 12 000 t/v. Vuonna 2016 sulfaatin kuormituslisä purkuputken kautta on ollut liki samansuuruinen: n. 13 600 t. Muutos vastaa myös tämänhetkistä (v. 2016) alueellista tasoeroa, kun vesi virtaa Nuasjärven itäosasta Kajaaniin.</p> <p>Voimakkaimmin seurantajakson aikainen muutos ilmenee purkuputken lähistöllä olevissa syvänteissä Nj23 ja Nj35, joista Nj35:n kohdalla kuormitus vuonna 2016 on ollut huomattava. Nj35:n kohdalla sähkönjohtavuus ja sulfaattipitoisuus olivat suurimmillaan 470 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math> ja 200 mg/l. Kuormituslisää esiintyi myös läheisillä syvänteillä NjL6 ja Nj46. Lisääntyneen sulfaattikuormituksen vuoksi näissä kohteissa kevätkiertoa ei ole tapahtunut vuonna 2016, minkä vuoksi pohjanläheisen veden happipitoisuus on laskenut ja sedimentistä on alkanut vapautua mangaania veteen. Syyskierron aikana 2016 tilanne on korjaantunut, mutta jäiden muodostuttua marraskuun 2016 alussa on kemiallinen kerrostuneisuus alkanut muutaman päivän kuluttua. Seurantatulosten mukaan sulfaattipitoinen vesi kulkeutuu lähisyvänteisiin alle viikossa kun talvikerrostuneisuus käynnistyy ja/tai jääpeite alkaa muodostumaan. Ei-kerrostunutta ajanjaksoa on siten kestänyt mainituissa syvänteissä hieman yli kuukauden. Muualla kevät- ja syyskierto on edennyt normaalisti. Kevätkierron edellytykset olivat osin huonommat vuonna 2016, koska kevät oli lämpimämpi ja vähemmän tuulinen kuin 2015. Näinollen seurantajakson 2015 – 2016 väliseen eroon on todennäköisesti vaikuttanut myös erilaiset sääolosuhteet.</p>	

Vedenlaadun arvioinnissa on otettava huomioon myös juoksutukset, koska seurannan mukaan Koivukosken voimalaitoksen juoksutusten lisääminen parantaa vedenlaatua Nuasjärven itäosassa ja päinvastoin. Myös äkilliset muutokset juoksutusmäärissä liittyvät joskus ajallisesti voimakkaiseen sähkönjohtavuuden muutokseen Nuasjärven puolella. Lisäksi muutokset vedenlaadussa näkyvät viiveellä alajuoksulla Rehjan tarkkailupisteellä. Siten vuosien 2015 ja 2016 vedenlaatueroihin voi osittain vaikuttaa myös pienemmät juoksutukset vuonna 2016.

Lokakuun 2016 mittauskampanjan mukaan syyskierto eteni hyvin Rehjan ja Nuasjärven alueella, jolloin koko vesirungon lämpötila oli lähes sama ja happitilanne hyvä. Rehjan puolella vesi oli hieman lämpimämpää kuin Nuasjärven puolella. Lämpötilan ja happipitoisuuden alueellinen jakauma riippui osittain myös veden syvyydestä, sillä alle 10 m alueilla vesi on hieman kylmempää ja hapekkaampaa kuin syvemmillä alueilla.

Syyskierrosta huolimatta Selkäsaaren lounaispuolella olevassa syvänteessä (Nj35) esiintyi taustastaan kohonneita sähkönjohtavuusarvoja, jotka liittyvät purkuputken päästöihin. Myös purkuputken pienialaisten lähisyvänteiden alusvedessä esiintyi lokakuussa purkuputken kuormituksesta johtuvaa kemiallista kerroksellisuutta. Vaikutus oli havaittavissa yli 7,5 metrin syvyisillä vesialueilla noin 1,2 kilometrin etäisyydellä purkuputkesta. Muissa purkuputken läheisissä syvänteissä ei esiintynyt merkittävästi sähkönjohtavuusarvojen kohoamista. Kartoituksen perusteella purkuputkesta tuleva sulfaattikuormitus eteni syksyn 2016 aikana voimakkaimmin pohjoiseen/luoteeseen kohti syvännettä Nj35.

Purkuputken läheisyydessä sulfaattikuormitteinen vesi esiintyy pohjan tuntumassa n. < 1,5 m vahvuisena kerroksena, joka ohenee etäisyyden kasvaessa. Kohtalaisesti sulfaattikuormitteista vettä tavataan syyskierron aikana n. 190 ha alueella mm. pienialaisissa syvännetskuissa n. 10 – 14 m syvyydellä.

Purkuputken itä- ja koillispuoleisella alueella on syvänealue, jossa sulfaattikuormitteinen vesi sekoittuu Sotkamon reitiltä tulevaan puhtaampaan veteen. Vedenlaatu saattaa vaihdella melko pienpiirteisesti, sillä paikoin puhtaampaa vettä on sulfaattikuormitteisen veden alapuolella tai päinvastoin.

Marraskuussa 2016, n. kolme viikkoa jäidentulon jälkeen Nuasjärven puolelle oli kehittynyt selvä kemiallinen kerroksellisuus kaikkiin Jormasjokisuuta ja purkuputkea lähellä oleviin syvänteisiin n. 12 m syvyydelle, ja se johtui pääosin sulfaattikuormituksesta. Sähkönjohtavuus oli noussut tasolle 100 – 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , suurimpien pohjanläheisten arvojen ollessa 300 – 440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Alkavaa happi- tai lämpötilakerroksellisuutta esiintyi myös, mutta hapen osalta tilanne oli vielä hyvä. Pääsääntöisesti sulfaattikuormitus oli levinnyt pohjanmyötäisesti kaikkiin lähialueen syvänteisiin, mutta pohjan läheiset virtaukset näyttivät kuljettavan kuormitusta hieman tehokkaammin purkuputkesta kohti luode-itä-kaakko –sektoria kaikkina vuodenaikoina. Sulfaattikuormitteinen alue oli alkutalven aikaan karkeasti arvioiden 896 ha.

Jääpeitteen aikana vertikaaliset vedenlaadun vaihtelut lisääntyvät Selkäsaaren ja Muuraussaaren välisessä syvänteessä kohti Muuraussaarta (syvänteen koillisreuna), minkä vuoksi voimakkaimman virtauksen voisi olettaa sijaitsevan Muuraussaaren edustalla.

Mainittujen piirteiden perusteella kuormitusmaksimien sijoittuminen luode-itä-kaakko-sektorille johtuu joko 1) batymetriasta – eli sulfaattikuormitteinen vesi virtaa kaakkoon pohjan painanteita pitkin, tai 2) itään suuntautuva pohjavirtaus kuljettaa sulfaattia sisältävää vettä mukanaan, leviten sitten laajemmalle alueelle. Alueella olisi siten vastapäivään kiertävä pohjavirtaus, joka kuljettaa sulfaattikuormitteista vesikerrosta ensin itään puhtaan vesikerroksen alle tai päälle (riippuen vuodenajasta) ja siitä edelleen kohti pohjoista, Muuraussaaren editse. Osa purkuputken vedestä virtaa suoraan kohti syvännettä Nj35, mikä on Nuasjärven kuormittunein yksittäinen alue.

Purkuputken kuormituksen leviämisen tutkimista jatketaan. Kenttämittauksia ja vesinäytteenottoa on toistettu 30.1. – 2.2.2017.

Asiasanat (kohde, menetelmät jne.)

Nuasjärvi, Terrafame Oy, purkuputki, vedenlaatu, YSI, Cast Away, sähkönjohtavuus

Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä)

Suomi, Sotkamo, Nuasjärvi

Karttalehdet

Muut tiedot

Arkistosarjan nimi

Arkistotunnus

Kokonaissivumäärä

Kieli

Hinta

Julkisuus

Yksikkö ja vastuualue

Hanketunnus

Allekirjoitus/nimen selvennys

Allekirjoitus/nimen selvennys



Heikki Forss



Jari Mäkinen

## Sisällysluettelo

### Kuvailulehti

1	Johdanto	6	
2	Menetelmät	6	
2.1	Mittareiden väliset erot		10
2.2	Määritelmät		10
3	Tulokset	11	
3.1	Velvoitetarkkailutulokset 2015 ja 2016		11
3.2	Arvio purkuputken vaikutuksesta keskimääräiseen vedenlaatuun vuosien 2015 ja 2016 aikana		14
3.3	Lämpötila ja happi lokakuussa 2016		15
3.4	Sähkönjohtavuus lokakuussa 2016		15
3.5	Lämpötila happi pH ja redox marraskuussa 2016		17
3.6	Sähkönjohtavuus marraskuussa 2016		17
3.7	Vesianalyysit loka-marraskuussa 2016		18
3.8	Batymetrinen tarkastelu		18
4	Johtopäätökset	19	
5	Tulevia tutkimuksia	21	



## 1 JOHDANTO

Terrafamen kaivoksen purkuvesistä tulee kuormitusta Nuasjärveen Oulujoen vesistön purkureitille johdetuista vesistä Jormasjoen kautta sekä Juurikkalahden edustalle 3.11.2015 käyttöön otetun purkuputken kautta. Ennen purkuputken varsinaista käyttöönottoa tehtiin koekäyttöä 25.9. alkaen.

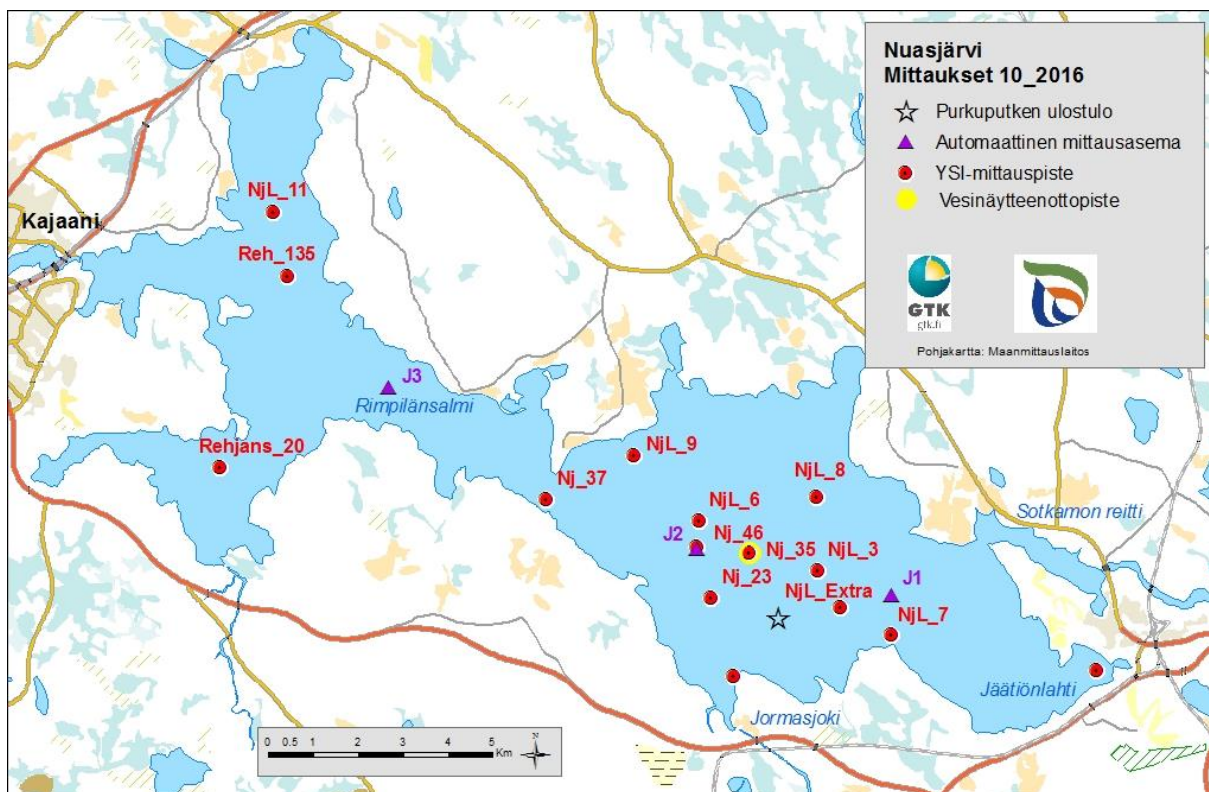
Pohjois-Suomen aluehallintovirasto myönsi Nuasjärven purkuputkelle ympäristöluvan 24.4.2015 (43/2015/1). Aluehallintovirasto oli päätöksellään sallinut 24 000 t sulfaatin vuosikuormituksen. Vaasan hallinto-oikeus puolitti 10.9.2015 antamalla välipäätöksellä (15/0235/2) purkuputken sulfaattikiintiön ja rajoitti sen 1 000 t kuukaudessa. 28.4.2016 Vaasan hallinto-oikeus rajoitti päätöksellään vuotuisen sulfaattikuormituksen 15 000 t ja asetti kuukausikohtaisen rajan, joka on 2 000 t sulan veden aikana (toukokuu-marraskuu) ja 1 000 t jääpeitteisten kuukausien (joulukuuhuhtikuu) aikana. Purkuputkea pitkin johdettavaa vesimäärää ei ole rajoitettu aluehallintoviraston eikä hallinto-oikeuden päätöksillä. Jormasjoen kautta kulkeutuu Nuasjärveen sulfaattikuormitusta noin 12 000 t vuodessa. Vuonna 2015 Nuasjärveen on tullut sulfaattikuormitusta syyskuuhun asti vain Jormasjoesta. Purkuputken kautta Nuasjärveen johdettiin sulfaattikuormitusta 3149 t vuoden 2015 syyskuun ja joulukuun välisenä aikana. Vuonna 2016 purkuputken kautta tuleva sulfaattikuormitus on ollut 13 600 t.

Kainuun ELY-keskus on seurannut tehostetusti purkuputken kuormituksen vaikutuksia Nuasjärvestä ja tilannut GTK:lta tässä raportissa kuvatun tutkimuksen. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää vedenlaatua Nuasjärven ja Rehjan alueella kaikissa merkittävässä syvänteissä, Jormasjoen suulla ja Terrafame Oy kaivokselta tulevan purkuputken läheisyydessä, syyskierron sulana aikana lokakuussa (20.-21.10.2016, Kuvat 1a, 1b, 1c) sekä marraskuussa n. kolme viikkoa jääpeitteen muodostumisen jälkeen (29.-30.11.2016, Kuva 2). Lisäksi hyödynnettiin veloitettarkkailutietoja vuosien 2015-2016 ajalta. Tulosten perusteella pyrittiin luomaan yleiskuva siitä, miten kaivokselta tuleva sulfaattikuormitus on levinnyt järven eri osiin ja siitä, millä tavoin vedenlaatu muuttuu jääpeitteen muodostumisen jälkeen ja miten purkuputken käyttöönotto on vaikuttanut Nuasjärven vedenlaatuun vuosien 2015 ja 2016 aikana. Olennaista tutkimuksessa oli, että mittaukset tehtiin koko järven alueella lyhyellä aikajänteellä, jolloin tuulten aiheuttamien virtausten vaikutus mittaustuloksien alueelliseen jakaumaan sulana aikana olisi mahdollisimman vähäinen. Seurantatulosten mukaan pintaveden vedenlaatu voi paikoin vaihdella tuulten vaikutuksesta merkittävästi eri ajankohtina.

## 2 MENETELMÄT

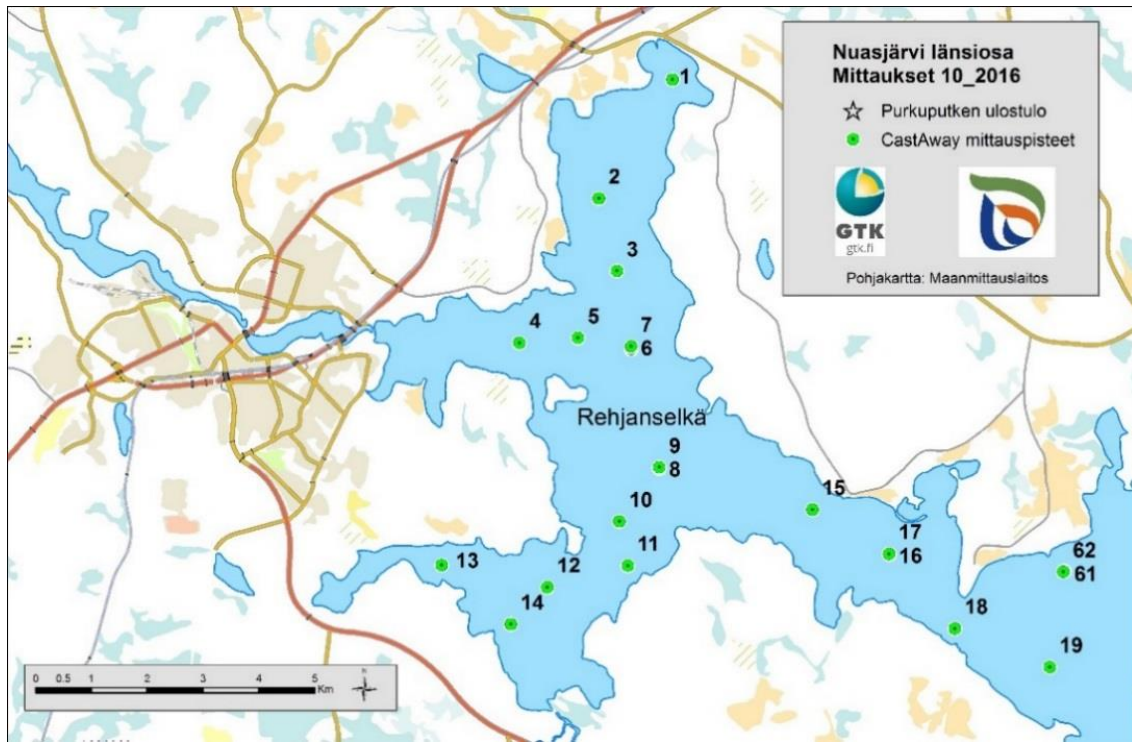
Vedenlaadun profiilimittaaminen tapahtui kolmella eri instrumentilla: 1) YSI-ProDSS-sondi, jossa oli DO (liuennut happi, mg/l), ODO (happiprosentti, %), T (lämpötila, °C), pH, ORP (redox- eli hapetus-pelkistyspotentiaali, mV) ja sähkönjohtavuus-anturit (=ominaissähkönjohtavuus, SPC,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lämpötilakorjaus 25 °C). Laitteeseen oli saatavilla vain 30 m kaapeli, joten yli 30 m syvyiset kohteet mitattiin 2) YSI600XLM-sondilla, jossa oli myös DO (mg/l), ODO (%), T (°C), pH, ORP (mV) ja sähkönjohtavuus-anturit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Mittaukset tehtiin lokakuussa n. 30 h kokonaisajassa, joten nopeasta työskentelyaikataulusta (2 – 11 min/mittaus) johtuen pH ja redox-mittaustulokset ovat vain

suuntaa antavia. Marraskuussa kokonaismittausaika oli n. 1 h/piste, joten näiltä osin myös pH ja redox-tulokset ovat relevantteja. Tulosten perusteella kuitenkin näytti, että edes n. 20 min ei aina ollut riittävä pH-anturin tasapainottumiselle, koska ensimmäisessä mittauspisteessä (Nj35, 11\_2016, Kuva 37) pintaveden pH oli > 7, vaikka muissa pisteissä pH oli < 7. Lisäksi oli käytössä 3) Cast Away-sondi, jolla mitattiin lämpötila (T, °C) ja sähkönjohtavuus ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (<http://www.sontek.com/productsdetail.php?CastAway-CTD-11>). Mittauksia tehtiin lokakuussa sulana aikana 82 pisteestä (Numerointi CastAway-pisteissä 1 – 82) ja marraskuussa jäältä 27 pisteestä (Numerointi CastAway-pisteissä 101 – 127). YSI-laitteen mittaukset kohdistettiin vedenlaadun tarkkailupisteisiin. Marraskuussa mittaus keskittyi Nuasjärven puolelle. Lisäksi otettiin vesinäytteitä Limnos-vesinäytteenottimella muutamien Terrafamen velvoitetarkkailupisteiden kohdilta (NjL6, Nj35). Vedestä tehtiin monialkuainemääritykset kokonais- ja liukoisina pitoisuuksina, anionit ja elohopea (Labtium Oy, Taulukko 5). Mittausajankohtana ja sitä edeltävinä päivinä lokakuussa tuulisuus oli melko heikkoa (n. 0 – 2,6 m/s), joten tuulten aiheuttamien virtausten vaikutus vedenlaadun alueelliseen jakaumaan lienee melko vähäinen. Mittaukset suoritettiin GTK:n veneellä. Marraskuun mittaukset tehtiin Kainuun pelastuslaitoksen ilmatyynyaluksella (Kansikuva). Jään paksuus oli tuolloin n. 5 – 10 cm, josta vain puolet teräsjäätä.

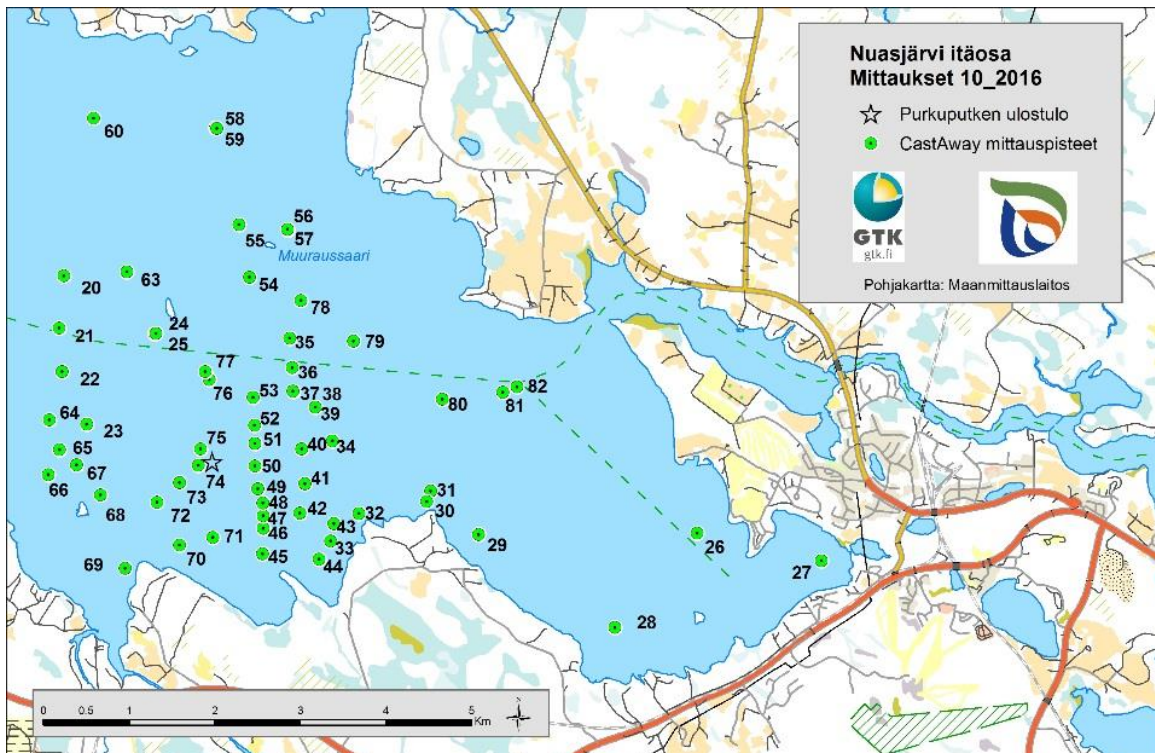


Kuva 1a. Tutkimusalue, velvoitetarkkailupisteet ja YSI-mittauspisteet lokakuussa. Tutkimuspisteiden koordinaatit taulukossa 1. Terrafame Oy:n purkuputki ja automaattiset mittausasemat J1 – J3. J1 sijaitsee reittivesistön tulovirtaaman lähellä, itäpuolella ja ylävirtaan purkuputkesta. J3 sijaitsee länsipuolella alavirran suuntaan. Vesinäytteenottoa on merkitty keltaisella (Taulukko 5).



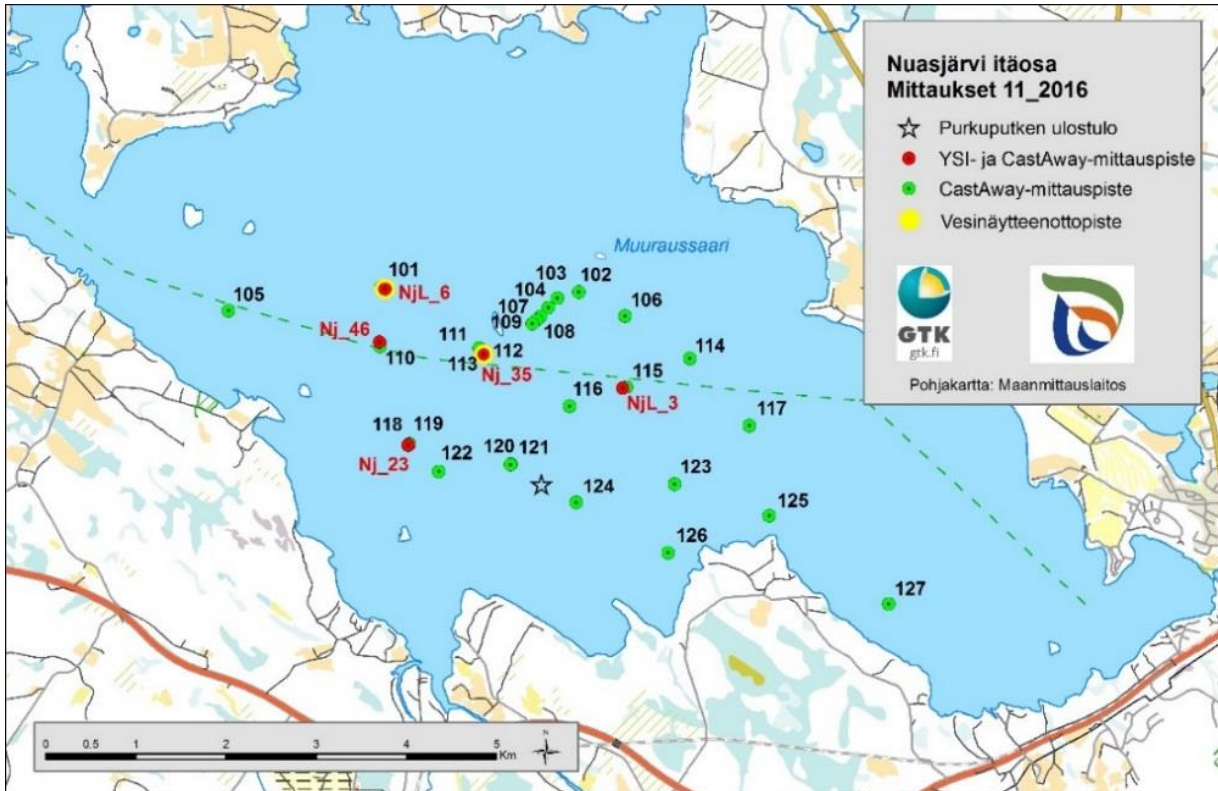


Kuva 1b. Rehjan alue ja CastAway-mittauspisteet lokakuussa 2016. Mittauspisteiden koordinaatit taulukossa 2.



Kuva 1c. Nuasjärven alue ja CastAway-mittauspisteet lokakuussa 2016. Mittauspisteiden koordinaatit taulukossa 2.





Kuva 2. YSI- ja CastAway-mittauspisteet marraskuussa 2016. Tutkimuspisteiden koordinaatit taulukoissa 1 ja 3. Vesinäytteenottokohdat on merkitty keltaisella (Taulukko 5).

Nuasjärven velvoitetarkkailutuloksia (Profiilimittaukset NjL6, Nj23, Nj35 ja Nj46 ja vesianalyysit, Ramboll Oy), (NjL6 = Nj49, uusi numerointi) käsiteltiin maaliskuusta 2015 lähtien tilanteesta, jolloin Nuasjärveen laskettu purkupuutke ei ollut vielä käytössä. Morfologisesti Nj23 ja Nj46 sijaitsevat samassa syvänteessä, kun taas NjL6 ja Nj35 sijaitsevat eri syvänteissä (Kuvat 1 ja 17). Lisäksi oli käytössä Terrafame Oy:n automaattimittausasemien (Kuva 1) tiedot 10. – 29.09.2015 lähtien. Mittausasema J1, sijaitsee Nuasjärven itäosassa, J2 Nuasjärven länsiosassa purkupuutken länsipuoleisessa syvänteessä (tarkkailupiste Nj46) ja J3 Rehjan itäpuoleisessa syvänteessä (tarkkailupiste Nj34), Rimpilänsalmen lähellä. Asemien ylemmät anturit mittaavat pintavedestä lämpötilaa, pH, ja sähkönjohtavuutta 3 m syvyydeltä. Alemmat mittausanturit ovat poijuissa J1, J2 ja J3 syvyydellä 12, 33 ja 20 m. Joissakin sähkönjohtavuusantureiden tuloksissa esiintyi mittausvirheitä tai anturi oli likaantunut seurantajakson aikana, minkä vuoksi osa havainnoista poistettiin virheellisinä. Terrafame Oy:ltä saatiin myös purkupuutkesta tulevan veden koostumustiedot vuoden 2016 ajalta.

Jatkuvatoimisten mittaustulosten tulkinnan apuna käytettiin Kajaanin lentoaseman säähavaintoja, jotka saatiin ilmatieteen laitokselta. Lisäksi Koivukosken voimalan juoksutustiedot haettiin ympäristöhallinnon sivuilta. Graafisia esityksiä varten aineistot laskettiin päiväkohtaisiin keskiarvoihin.

## 2.1 Mittareiden väliset erot

YSI-ProDSS- ja YSI600XLM-sondien tuloksia verrattiin limittäin n. 5 m matkalla. Erot lämpötilassa, happipitoisuudessa ja hapen kylläisyysasteessa olivat 3,1 %, 0,8 % ja 0,2 %. YSI600XLM-tulokset normeerattiin YSI-ProDSS-tulosten tasolle. Myös YSI-ProDSS- ja CastAway-mittauksia verrattiin ja tulosten mukaan riippuvuus ei ollut täysin systemaattista, sillä CastAway-sähkönjohtavuusarvot olivat n. 50 – 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  välillä n. 2 % pienempiä mutta n. 200-300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  välillä n. 3 % suurempia kuin YSI-DSS-mittariarvot. Myös lämpötilan suhteen oli pientä eroavuutta, sillä n. 6 – 8 °C lämpötila-alueella CastAway-mittarilukema oli n. 3 % suurempi, mutta lämpötila-alueella 1,3 °C vastaavasti 17 % suurempi kuin YSI-DSS-mittarilla. CastAway-lukemat ulottuivat pienimmillään n. 0,3 – 0,4 °C arvoihin, kun taas YSI-DSS-lukemat olivat alimmillaan 0,1 – 0,2 °C. Kuvassa 29 on esitetty samasta pisteestä mitatut sähkönjohtavuusarvot: YSI-piste Nj35 ja CastAway-piste 25. Kuvien mukaan sähkönjohtavuuden vaihtelu korreloi, mutta pienellä tasoerolla. Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että loka-marraskuussa saadut mittausarvot ovat luotettavia. Koska CastAway-mittauksia on enemmän, ovat raportissa ilmoitetut lämpötila-arvot CastAway-laitteella mitattuja, ellei asiasta erikseen mainita (Kuvat 1b – 1c).

Mittaustuloksia verrattiin myös Terrafame Oy:n jatkuvatoimisten mittausasemien tuloksiin. Mittausasemissa J1 ja J3 lämpötila ja sähkönjohtavuus oli 5,5 ja 5,1 °C sekä 51 ja 52  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . YSI- ja CastAway-mittareiden mukaan lämpötila lähialueilla 20. – 21.10.2016 oli n. 5,7 – 6,4 °C ja sähkönjohtavuus n. 48 – 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Eniten poikkesi J2:n tulokset, sillä pintaosassa sähkönjohtavuus oli ylemmässä vesikerroksessa 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja alemmassa vesikerroksessa 63  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Lämpötila oli molempien antureiden mukaan n. 6,2 °C. Samasta pisteestä tehdyn YSI-mittaustuloksen mukaan veden lämpötila oli n. 6,4 °C ja sähkönjohtavuus n. 59  $\mu\text{S}/\text{cm}$  koko vesirungon mitalta. Jatkuvatoimisten mittareiden mukaan vedenlaadussa ei tuolloin esiintynyt myöskään vuorokausivaihtelua, joka voisi vääristää CastAway-tulosten tulkintaa.

## 2.2 Määritelmät

Ylemmällä vesikerroksella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa koko vesirunkoa, joka on n. 1 m pohjan yläpuolella ja siitä ylöspäin pintaan saakka. Pohjanläheisellä vesikerroksella tarkoitetaan 0 – 1 m pohjan yläpuolella olevaa alusvettä. Nimistö on tässä tutkimuksessa vain datajoukon analysoinnin ja esityksen luokitusperusteena. Lämpötilakorjatusta (25 °C) ominaissähkönjohtavuudesta laskettiin lisäksi maksimi- ja minimiarvot joka mittausprofiilille ja arvojen alueelliset jakaumat esitettiin karttaesityksinä. Valikoiduista mittauspisteistä esitettiin koko näyteprofiilin kuvaaja XY-diagrammilla.

Sulfaattikuormituksella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa vettä, jossa on tausta- tai lähiympäristön sähkönjohtavuusarvoihin verrattuna normaalia suurempia mittausarvoja. Sulfaatin lisäksi vedessä on myös muita yhdisteitä/alkuaineita, jotka voidaan liittää kaivokselta tullessiin päästöihin ja vaikuttavat sähkönjohtavuuteen, joten sulfaattikuormitus –termi on tässäkin suhteessa yleistys. Mittaustulosten mukaan vähäisetkin vaihtelut sähkönjohtavuudessa voidaan liittää pääosin sulfaattipitoisuuksiin, joten menetelmänä se on kustannustehokas ja informatiivinen (Kuva 14).

Sotkamon reitin kautta Nuasjärveen tulevan veden sähkönjohtavuus on tasolla n. 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mutta purkuputken ympärillä pintavedessä n. 1,5 – 2,5 km etäisyydellä n. 55 – 65  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Tällöin voidaan katsoa sulfaattikuormituksen lisääntyneen vähän. Suurimmat sähkönjohtavuusarvot mitattiin purkuputken välittömässä läheisyydessä sekä eri puolilla syvänteitä. Noin 100 – 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arvot katsottiin kuvastavan kohtalaista sulfaattikuormitusta ja lähestyttäessä 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arvoja, kuormitus on huomattavaa. Vertikaalisuuntaisessa tarkastelussa sähkönjohtavuuden kohoaminen voidaan tulkita myös kemialliseksi kerroksellisuudeksi. Mikäli lämpötilassa tai happipitoisuudessa esiintyy

kerroksellisuutta, kysymys on vastaavasti lämpötila- tai happikerroksellisuudesta. Nuasjärvellä tarkoitetaan tässä yhteydessä järven itäosaa ja läntisestä osasta käytetään Rehjanselkä –nimitystä.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Velvoitetarkkailutulokset 2015 ja 2016

Velvoitetarkkailutietoja on käsitelty tässä yhteydessä vuosien 2015 ja 2016 ajalta ja kuten edellä mainittiin, aineisto edustaa vain osan ajanjaksosta. On myös huomattava, että v. 2015 tilanne ennen purkuputkea, ei edusta ”luontaista” vertailukohdetta, sillä Jormasjoen kautta on tullut jo tässä vaiheessa kaivosalueelta sulfaattikuormitusta noin 12 000 tonnia vuodessa. Siksi mm. kevään 2015 profiilimittauksissa sähkönjohtavuusarvot ovat selvästi koholla (esim. Kuva 6).

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että Nuasjärven vedenlaadussa on tapahtunut vuosien 2015 ja 2016 välillä muutoksia. Pintaveden osalta muutokset ovat olleet vähäisempiä, mutta purkuputken läheisyydessä (< 2 km) olevissa syvänteissä muutos on ollut voimakkainta. Muilla syvännealueilla muutos on ollut vähäistä. Sen vuoksi tarkastelussa keskistytään voimakkaimman muutoksen alueeseen (NjL6, Nj23, Nj35 ja Nj46).

Maaliskuussa 2015 oli profiilimittausten mukaan sulfaattipitoisen veden yläraja n. 8 – 9 m syvyydellä (pinnasta) ja sähkönjohtavuus tasolla 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Kuvat 6-8). Kevät/kesä –kaudella 2015 on mittauksia vain rajoitetusti, mutta mm. havainto elokuulta 2015 osoittaa (Kuva 6), että syvänteessä Nj23 ei ole kemiallista kerroksellisuutta – ja kierto on tapahtunut kevään/kesän 2015 aikana. Myös syvänteessä Nj35 kemiallista kerroksellisuutta ei esiinny kesäkuun 2015 jälkeisenä sulana kautena (Kuva 8). Loppuvuoden 2015 profiilimittausten mukaan merkittäviä muutoksia sähkönjohtavuudessa ei ole tapahtunut, mutta veden happipitoisuus on kasvanut kohti loppuvuotta joulukuulle jatkuneen kierron ansiosta (Kuvat 7 ja 9, seuraavat kappaleet).

Ensimmäiset jatkuvatoimiset mittaustulokset alkavat 10.09.2015 lähtien asemalla J2, jossa syyskierto tapahtui 21.-23.09.2015. Kierto osuu ajankohtaan, jossa ilman ja veden keskilämpötila alkavat laskea ja kolme päivää aiemmin (18.09.2015) keskimääräinen tuulen nopeus on ollut 4,6 m/s (Kuvat 3 ja 4). Asemalla J1 syyskierto on tapahtunut jo ennen jatkuvaseurannan alkamista 19.09.2015.

Purkuputki otettiin käyttöön 03.11.2015 ajankohtana, jolloin koko vesimassa oli syyskierron aikana tasalaatuinen. Länsipuoleisella J2-aseamalla sähkönjohtavuudessa ei esiintynyt merkittävää äkillistä kohoamista, mutta arvot kohosivat tasaisesti loka-marraskuun aikana tasolta 31  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tasoon 38  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Kuva 5). Sen sijaan asemalla J1 sähkönjohtavuus nousi loka-marraskuun aikana tasolta 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  huippuunsa 45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  13.11.2015.

Kohtalaisen voimakkaat tuulet loppusyksystä pitivät koko vesimassan sekoittuneena (4,0 m/s, 16.11.2015-10.12.2015), kunnes sää tyyntyi, veteen alkoi muodostua kerroksellisuutta, mikä puolestaan mahdollisti sulfaattipitoisen veden virtaamisen pohjan painanteita pitkin syvänteisiin. Kolmen tyynen päivän kuluttua (13.12.2015) sulfaattipitoinen vesi saavutti syvänteen J2, jossa sähkönjohtavuus kohosi äkillisesti ja pysyi korkealla tasolla seuraavaan vuoteen saakka. Tässä yhteydessä ei voi kuitenkaan päätellä, tuliko sulfaattipitoinen pohjavirtaus purkuputken suunnasta, Jormasjoesta vai molemmista ja missä suhteissa. Säätilan muutokseen liittyi myös pakastuminen – 12 °C:een 17.12.2015, josta alkoi talviaikainen lämpötilakerrostuneisuus kaikkien mittausasemien syvänteissä. Joulukuun lopulla sää pakastui ja järvi jäättyi vuodenvaihteessa.



Vuoden 2015 lopulla ja v. 2016 alkupuolella on havaittavissa sähkönjohtavuuden ja Koivukosken voimalaitoksen juoksu- ja virtausvälistä riippuvuutta, ja muutokset vaihtelevat riippuen siitä, onko mittausasema ylä- vai alapuolella purkuputkea ja virtausta (Kuva 5). Aseman J1 (purkuputken ja virran yläpuolella) sähkönjohtavuussarjassa on havaittavissa pieni maksimi 13.11.2015 kohdalla, mutta sen jälkeen arvot pienenevät juoksu- ja virtausvälistä lisääntyessä. Juoksu- ja virtausarvoja pienennettiin äkillisesti 23.01.2016 lähtien ja sen jälkeen 27.01.-05.02.2016 mitattiin asemalla J1 koko vesirungossa suuria sähkönjohtavuusarvoja. Samalla myös J2:n ylempi (3 m) anturi alkoi rekisteröidä korkeita sähkönjohtavuusarvoja ja arvot pysyivät korkeina 10.05.2016 saakka. Toisaalta havainnot J2:n kohdalla viittaavat siihen, että purkuputken lähialue oli täytynyt sulfaattipitoisella vedellä 25.01.2016 mennessä, joten yhteys juoksu- ja virtausväliin ei ole yksiselitteinen. Mainittakoon, että sähkönjohtavuushavainnot J2:n ylemmän anturin ja profiilimittausten välillä ovat ristiriitaisia, sillä ylempi anturi on 3 m syvyydessä mutta profiilimittausten mukaan voimakas sähkönjohtavuuden kohoaminen alkoi vasta n. 7 m syvyydeltä (Kuvat 6 ja 8). Joka tapauksessa purkuputken ympärillä olevan vesimassan väkevytymisen sulfaattilla n. 7 m syvyyteen kesti n. viisi viikkoa. Aseman J3 kohdalla (virran alapuolella) sähkönjohtavuus kohosi 17.12.2015 asti, jonka jälkeen arvot pienenevät talven ajaksi. Pieni erkauma ylemmän ja alemman vesikerroksen mittausarvoissa oli 25.12.2015 – 19.01.2016.

Maaliskuussa 2016 oli profiilimittausten mukaan selvästi sulfaattipitoisen veden yläraja n. 7 m pinnasta (Kuvat 6, 8, 10 ja 12). Sähkönjohtavuus oli n. 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kaikilla mittauspisteillä (NjL6, Nj23, Nj35 ja Nj46), joten arvot ovat suurempia kuin vuotta aiemmin (n. 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Huhtikuussa 2016 syvänteiden Nj23 ja Nj35 sähkönjohtavuus kasvoi tasolle 300-400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Huhtikuussa 04.04.2016 lopetettiin Koivukosken juoksu- ja virtaus, jonka jälkeen n. 12 vuorokauden kuluttua alkoi J1:n alemman mittausanturin ja J2:n ylemmän mittausanturin kohdalla sähkönjohtavuusarvot kohoamaan. Mahdollisesti sulfaattipitoisuudet alkoivat kohota Nuasjärven osassa, kun läpivirtaus heikkeni.

Kevään edetessä Koivukosken juoksu- ja virtaus aloitettiin jälleen 24.04.2016 ja juoksu- ja virtausmäärä oli suurimmillaan 216  $\text{m}^3/\text{s}$  04.05.2016. Myös tuuli oli kohtalaisen voimakasta (4,6 m/s, 25.-26.04.2016), jonka jälkeen tapahtui kevätkierro. Vedenlaadun muutokset kevätkierrossa tapahtuivat ensimmäisenä J1:n kohdalla, jossa sähkönjohtavuus vaihteli voimakkaasti 27.04.-01.05.2016 ja aleni selvästi 02.-11.05.2016 kun juoksu- ja virtaus oli voimakkaimmillaan – eli Nuasjärven virtasi runsaasti puhdasta vettä yläjuoksulta. J2:n kohdalla voimakkain sähkönjohtavuuden alenema tapahtui kaksi päivää myöhemmin, 04.04.2016, kun taas alavirtaan mentäessä J3:ssa muutos oli päinvastainen ja tapahtui viiveellä. Sähkönjohtavuus alkoi kohota J3:ssa 02.05.2016 ja oli huipussaan 13.05.2016. J3:n kohdalla juoksu- ja virtausmäärien maksimiarvojen aikaero on siten n. 10 vrk – eli tässä ajassa ja näillä juoksu- ja virtausmäärillä sulfaattipitoinen pulssi virtasi n. 5 km Nuasjärveltä kohti Rehjanselkää. Kevätkierro 2016 eteni suurimmassa osassa järveä normaalisti, mutta syvänteiden NjL6, Nj23, Nj35 ja Nj46 kohdalla kiertäjä jäi vajaaksi lisääntyneen sulfaattikuormituksen takia. Mittausaseman J1 kohdalla lämpötilakerrostuneisuus purkautui ajoittain myös muulloin kesäkaudella 2016, kunnes 11.08.2016 tapahtui syyskierto. J3:n kohdalla syyskierto tapahtui 24.09.2016 ja viimeksi asemalla J2 29.09.2016.

Vaikka em. syvänteissä kevätkierro 2016 jäi vajaaksi niin seurantamittausten mukaan sulfaattipitoisen vesikerroksen paksuus alkoi pienentyä ja sitä jatkui koko kesän syyskiertoon saakka, kunnes koko vesirunko oli sekoittunut. Samalla pohjanläheisen vesikerroksen koostumus muuttui, sillä sähkönjohtavuus ja sulfaattipitoisuus pienentyi kesän aikaan (NjL6, Nj23 ja Nj46, Kuva 14). Selvimmin sähkönjohtavuus korreloi sulfaatti-, nikkeli ja sinkkipitoisuuden kanssa. Kuitenkin



pisteessä Nj35 alemman vesikerroksen sulfaattikuormitus näyttää vielä lisääntyneen jäidenlähdön jälkeen, koska suurimmat sähkönjohtavuusarvot ja sulfaattipitoisuudet esiintyvät touko-kesäkuun 2016 näytteissä. Myös alueellisia eroja esiintyi kolmen, purkuputken läheisen syvänteen välillä kesällä 2016: 1) syvänteessä Nj23/Nj46 alemman vesikerroksen sähkönjohtavuus oli n. 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; 2) syvänteessä Nj35 n. 425  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja 3) syvänteessä NjL6 n. 140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Syvänteen NjL6 sijaitsee kauimpana purkuputkesta, syvänteen Nj46 pohjoispuolella.

Vaikka kemiallinen kerroksellisuus ”laimeni” kesän 2016 aikana, riitti se kuitenkin huonontamaan pohjanläheisen veden happitilannetta, koska mm. lämpötilan kohotessa hapenkulutus pohjan lähellä lisääntyi. Velvoitetarkkailun elo- ja syyskuun tulokset osoittavat, että sulfaattikuormitteisten syvänteen happipitoisuudet olivat alhaiset ennen syyskiertoa. Syvänteen NjL6 happipitoisuus oli elokuussa vain 0,5 mg/l. Syvänteen Nj35 ja Nj46 happipitoisuudet olivat syyskuussa 1,4 mg/l ja 2 mg/l. Tämä puolestaan aiheutti mangaanin vapautumista sedimentistä pohjanläheiseen veteen, minkä seurauksena mangaanipitoisuudet olivat suurimmillaan (3700  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) syyskuun lopulla. Piirre havaittiin voimakkaimpana pisteiden Nj23 ja Nj35 vesinäytteissä, mutta myös Rehja135-näytesarjassa mangaanipitoisuus kohosi heinäkuun 2016 pohjanläheisessä vesikerroksessa tasolle 500  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Mangaanin vapautuminen sedimentistä kerroksellisuuden aikaan näyttää siten olevan tyypillistä Nuasjärvellä, mutta n. 8-9 kk kestävä kemiallinen kerroksellisuus voimistaa sitä.

Jatkuvatoimisten mittareiden käyttökelpoisia koko vuoden 2016 kattavia sähkönjohtavuussarjoja on vain ylemmistä antureista (Kuva 5), mutta velvoitetarkkailutulosten mukaan n. 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sähkönjohtavuusarvoja tavattiin J2:n viereltä alemmasta vesikerroksesta vielä 22.08.2016 (Kuva 6, Nj23). Lämpötilasarjan mukaan mittausasemalla J2 pohjaan asti ulottunut syyskierto on tapahtunut vasta 29.09.2016. Tilanne on samanlainen syvänteessä Nj35, jossa kierto v. 2016 on tapahtunut vasta syys-lokakuun välisenä ajankohtana. Tämän jälkeen pohjanläheisen veden laatu parani.

Jatkuvatoimimisissa mittauksissa J1:n ja J3:n kohdalla näkyy myös loppuvuonna melko selvä juoksumäärien ja pintavedenlaadun välinen yhteys. J1:n kohdalla juoksumäärien lisääntyminen pienentää pintaveden sähkönjohtavuusarvoja ja päinvastoin. Selvimmin tämä näkyy jaksolla 08.10.-16.11.2016 sekä ylemmässä että alemmassa vesikerroksessa. Syy tähän lienee sijainti lähellä Sotkamon reitin tulovirtaamaa. Sen sijaan J3:n kohdalla oli jälleen näkyvissä viiveellä tapahtuva sähkönjohtavuuden kohoaminen, joka oli huipussaan 14.08.2016. Kesän juoksumäärien huippuajankohta oli 26.07.2016, 154  $\text{m}^3/\text{s}$ , joten tässä tapauksessa ja näillä virtaamilla viipymä oli n. 19 vrk. Korostettakoon, että juoksumäärien ja vedenlaadun välisen riippuvuuden tarkempi arviointi mahdollistuu tulevaisuudessa pidemmällä seurantajaksoilla. Lisäksi käsittelyä tulisi tarkentaa ottamalla mukaan purkuputken päästöarvojen vaihtelu.

Loppusyksystä ilman lämpötila laski 06.11.-14.11.2016 n.  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ :een ja järvi alkoi jäätyä mahdollistaen kemiallisen kerroksellisuuden muodostumisen. Sähkönjohtavuustulosten mukaan muutos syvänteessä alkoi 12.11.2016. Mainituissa syvänteissä ei-kerroksellista ajanjaksoa on siten esiintynyt vain syyskierron 2016 aikana hieman yli kuukauden. Mielenkiintoista on, että tässäkin tapauksessa sulfaattipitoinen pohjavirtaus on edennyt n. 2 – 4 vuorokaudessa syvänteen pohjalle, kuten edellisen vuoden syksyllä. Silloin tapahtumaa edelsi tyyntyminen ja sitä seuraava lämpötilan väliaikainen laskeminen.

### 3.2 Arvio purkuputken vaikutuksesta keskimääräiseen vedenlaatuun vuosien 2015 ja 2016 aikana

Jatkuvatoimisten mittausten perusteella voidaan todeta, että purkuputken käyttöönoton (03.11.2015) jälkeen sähkönjohtavuus Nuasjärvellä on noussut keskimäärin tasolta 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tasolle 51  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Kuva 6, Ylemmät anturit).

Pintaveden koostumusta verrattiin sekä Rehjan että Nuasjärven alueella vuosien 2014 – 2016 seurantatiedoista. Pintaveden koostumuskeskiarvot laskettiin vuosittaisista syksyn (elo-lokakuu) aineistoista kun koko vesirunko oli sekoittunut (Taulukko 4). Aineisto ei siten edusta vain pintavettä, vaan käytännössä koko Nuasjärven vesimassaa syksyllä 2015 ja 2016. Tilastollisen edustavuuden ( $n = 43$ ) varmistamiseksi käytettiin osaksi myös välikerroksesta otettuja näytteitä, koska niiden koostumus ei juurikaan poikennut pintaveden koostumuksesta. Vuosien 2015 ja 2016 tiedot valittiin pisteistä Nj23, Nj24, Nj34, Nj35, Nj37, Rehja\_itä, Reh\_135.

Taulukossa 4 on esitetty Nuasjärven ja Rehjan pintaveden koostumukset ennen (2015) ja jälkeen (2016) purkuputken käyttöönottoa. Tulosten mukaan sähkönjohtavuuden kaksinkertaistuksessa on sulfaattipitoisuus lisääntynyt samassa suhteessa 7 mg/l:sta 15 mg/l:aan. Myös kalsium- ja natriumpitoisuuksissa on ollut lisäystä. Metalleista mainittakoon Rehjanselällä mangaani, jonka pitoisuus on lisääntynyt 41  $\mu\text{g}/\text{l}$ :sta 84  $\mu\text{g}/\text{l}$ :aan. Sulfaattipitoisuuksien (ja sähkönjohtavuuden) kaksinkertaistumien sopii purkuputken kautta tulleeseen kuormituslisään. Nuasjärveen on tullut sulfaattikuormitusta v. 2015 syyskuuhun asti vain Jormasjoesta n. 12 000 t/v. Purkuputken kuormituslisä v. 2016 on ollut liki samansuuruinen: n. 13 600 t, joten kuormitus on kaksinkertaistunut tarkasteluajanjaksona.

Terrafame Oy:ltä saatujen purkuputken vedenlaatutietojen mukaan keskimääräiset nikkeli-, kupari-, sinkki-, mangaani-, sulfaatti- ja natriumpitoisuudet olivat v. 2016 aikana keskimäärin 25  $\mu\text{g}/\text{l}$ , 1  $\mu\text{g}/\text{l}$ , 26  $\mu\text{g}/\text{l}$ , 350  $\mu\text{g}/\text{l}$ , 1972 mg/l ja 428  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Siten ainakin sulfaatti-, natrium- ja sinkkipitoisuuksien kohoaminen pintavedessä voidaan liittää purkuputken päästöihin. Mangaanin osalta tilanne on monimutkaisempi, koska mangaania näyttää vapautuvan sedimenteistä veteen vähähappisissa olosuhteissa (Kuva 14). Nikkelin ja sinkin pitoisuudet näyttävät osittain jopa pienentyneen vuosien 2015 – 2016 välillä (Taulukko 4). Eräs mahdollisuus on metallien lisääntynyt kertyminen sedimentteihin.

Velvoitetarkkailumittausten mukaan v. 2015 ja 2016 elokuussa syvänealueilla on esiintynyt pohjan lähellä alhaisia happipitoisuuksia. Elokuussa 2015 happipitoisuus pisteessä Nj35 on ollut minimissään n. 4,5 mg/l ja elokuussa 2016 vastaava arvo on ollut 4,4 mg/l. V. 2016, kuukautta myöhemmin happipitoisuus aleni syyskuussa pienimpään havaittuun arvoon 1,4 mg/l. Myös pisteissä NjL6 ja Nj46 happipitoisuus laski loppukesästä voimakkaasti (Kuvat 11 ja 13). Kuitenkin molempina syksyinä syyskierron jälkeen tilanne normalisoitui, happipitoisuus nousi tasolle 10-14 mg/l ja veteen liuenneiden alkuaineiden pitoisuudet laskivat.

Rehjanselän pohjanläheisessä vesikerroksessa (Rehja\_135, Kuva 9) on havaittavissa sama ajallinen yleispiirre kuin Nuasjärvellä, eli sähkönjohtavuus on lähes kaksinkertaistunut vuosien 2015 ja 2016 välillä (Taulukko 4). Myös sulfaattipitoisuus on lisääntynyt samassa suhteessa. Huomaa, että Taulukossa 4 esitetyt sähkönjohtavuusarvot ovat Ramboll Oy:n velvoitetarkkailumittauksista, kun taas kuvassa 6 on jatkuvatoimisten mittareiden lukuarvoja.

Syksyn 2015 ja 2016 vedenlaatua vertailtaessa on kuitenkin huomioitava erot Koivukosken voimalan juoksumäärissä. Syys-marraskuussa 2015 juoksumäärä oli keskimäärin 90  $\text{m}^3/\text{s}$  kun taas syys-marraskuussa 2016 keskimäärin 54  $\text{m}^3/\text{s}$  (Kuva 5). Virtauksen pienentyessä purkuputken

suhteellinen vaikutus veden koostumukseen lisääntyy. Juoksutukset olivat myös alhaiset keväällä 2016 johtuen voimalaitoksen huoltotöistä. Vuositasolla Koivukosken virtaama oli v. 2015 keskimäärin 131 m<sup>3</sup>/s ja v. 2016 85 m<sup>3</sup>/s. Keskimääräinen virtaama v. 1948 – 2015 on ollut 89 m<sup>3</sup>/s. Juoksutusmäärään vakioituna olisi vuosien 2015 ja 2016 välinen koostumusero siten edellä esitettyä hieman pienempi.

Vuosien 2015 ja 2016 vertailussa täytyy huomioida myös vallinneet sääolosuhteet. Kajaanin lentoasemaseurannan mukaan touko-kesäkuussa 2015 keskimääräinen tuulen nopeus oli 3,7 m/s ja kahdeksana päivänä tuulen nopeus oli enimmillään > 8 m/s. Sen sijaan touko-kesäkuussa 2016 keskimääräinen tuulen nopeus oli 2,7 m/s ja vain kolmena päivänä tuulen nopeus oli enimmillään > 8 m/s. Lisäksi toukokuun keskilämpötila vuosina 2015 ja 2016 oli 8,4 °C ja 11,6 °C. On siten todennäköistä, että vähäisempi tuulisuus ja lämpimämpi ilmanala v. 2016 on osaltaan yleisesti pienentänyt kevätkierron voimakkuutta edelliseen vuoteen verrattuna.

### 3.3 Lämpötila ja happi lokakuussa 2016

Yleisesti voidaan todeta, että lokakuussa syyskierron tapahduttua Rehjanselän ja Nuasjärven missään osassa ei esiintynyt merkittävää kerroksellisuutta lämpötilan tai happipitoisuuden suhteen. Kuvissa 15-20 on esitetty koko mittausalueen ylemmän ja pohjanläheisen vesikerroksen alueelliset lämpötila ja happijakaumat. Lisäksi Rehjan ja Nuasjärven puolilta yhteensä kuudesta merkittävimmästä syvänteestä on esitetty vertikaaliset lämpötila-, happi- ja sähkönjohtavuuskuvaajat (Kuvat 25-28). Veden lämpötila, happipitoisuus ja hapen kylläisyys koko syvyysalueella oli keskimäärin 6,7 °C, 11,4 mg/l ja 94 %. pH ja Redox-potentiaali olivat keskimäärin 7,0 ja 161 mV. Merkittävää alueellista ja vertikaalista vaihtelua esiintyi kuitenkin sähkönjohtavuusarvoissa, ja vaihtelu kohdistui Terrafamen purkuputken läheisyyteen (Seuraava luku). Samassa yhteydessä esiintyi myös vähäistä vertikaalista lämpötilavaihtelua.

Vaikka vedenlaatu oli useiden muuttujien osalta varsin yhdenmukainen, lähempi tarkastelu osoitti pientä vaihtelua Rehjan ja Nuasjärven välillä. Lämpötila, happipitoisuus ja hapen kylläisyys oli Rehjan puolella keskimäärin 7,7 °C, 11,0 mg/l ja 91,4 % (Pisteet 1 – 14, Kuva 1b) kun taas Nuasjärven puolella vastaavat arvot olivat 6,4 °C, 11,7 mg/l ja 95,6 % (Pisteet 15-82, Kuva 1c). Lisäksi oli havaittavissa vähäistä lämpötila- ja happikerroksellisuutta Rehjan puolella (NjL11 ja Rehjanselkä\_135) n. 20-25 m syvyydellä sekä n. 5 m pohjan yläpuolella. Voidaan myös todeta, että alle 10 m syvyisillä alueilla sekä Jormasjoen ja Sotkamon vesireittien tuloalueilla vesi on kylmempää ja hapekkaampaa kuin syvänteiden keskiosissa.

### 3.4 Sähkönjohtavuus lokakuussa 2016

Näkyvimvät erot järveden koostumuksessa tavattiin sähkönjohtavuudessa, mikä näkyy alueellisina ja vertikaalisina vaihteluina. Kysymys tässä tapauksessa on vain kemiallisesta kerroksellisuudesta, koska muiden muuttujien suhteen koko vesirunko oli kaikkialla lähes homogeeninen.

Ylemmän vesikerroksen sähkönjohtavuusjakauman perusteella järvestä voitiin hahmotella tiettyjä osa-alueita (Kuva 21). Vähäisintä sulfaattikuormitus on Nuasjärven itäosassa, Sotkamon reitin tulokohdan edustalla sekä Jäätiönlahden alueella (sähkönjohtavuusarvot; 32 – 42 µS/cm). Selvimmin sulfaattikuormitus näkyy purkuputken ympäristössä n. 1,5 km etäisyydelle itään ja n. 2,5 km etäisyydelle länteen sekä Jormasjokisuun edustalla, missä ylemmän vesikerroksen sähkönjohtavuusarvot ovat luokkaa n. 56-65 µS/cm. Muualla Nuasjärven ja Rehjan alueella sähkönjohtavuusarvot ovat n. 42-59 µS/cm. Kokonaisuudesta voidaan päätellä, että virratessaan

Nuasjärven itäosasta Kajaaniin, veden sähkönjohtavuus kohoaa arvosta 32  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tasolle 54  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Tasoero vastaa automaattimittauksissa havaittua ajallista muutosta ennen ja jälkeen purkuputken käyttöönottoa (Vrt. Kuva 5).

Pohjanläheisen vesikerroksen sähkönjohtavuus ja sen vaihtelu olivat suurimmillaan purkuputken lähellä ja merkittäväntä on voimakkaan sulfaattikuormituksen kulkeutuminen kohti kohti luodepohjoista syvänteisiin, missä kemiallisesti kerrostuneen vesikerroksen paksuus on suurimmillaan n. 5 m (Pisteet 75, 76, 77, 24/25 ja Nj35, Kuvat 21, 22, 28 ja 29). N. 0,5 km etäisyydellä purkuputkesta suurimmat sähkönjohtavuusarvot olivat n. 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (49, 75) ja elektrolyyttejä sisältävän pohjanläheisen vesikerroksen paksuus on n. 1 – 1,5 m. Huomionarvoista on kuitenkin, että yli 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  enimmäismittausarvoja esiintyy myös n. 1 km etäisyydellä syvänteiden reunoilla olevissa ”taskuissa” (Esim. 48, 53, 66, 66, Kuvat 1c, 22, 29, 30). ”Taskujen” syvyys on n. 10,5 – 13,5 m ja ympäröivä alue on topografialtaan tasaista ja n. 10 m syvää. Näissä tapauksissa sulfaattikuormitteinen vesi on puhtaamman, mutta kylmemmän tai lämpimämmän veden alla (Kuva 29). Sulfaattikuormitus näyttää leviävän myös purkuputken kaakkoispuolelle (mm. Pisteet 34, 36, 42, Kuvat 1c, ja 22). Tässä suhteessa on erikoista, että purkuputken länsipuolen syvänteessä mittausarvot ovat lähes taustatasolla (Pisteet 21, 22 ja 23).

Mikäli sulfaattikuormituksen vaikutus pohjanläheisessä vesikerroksessa rajataan arvoon 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ulottuu vaikutus epäsymmetrisesti soikion muotoisena luoteis-itä-kaakko-sektorilla n. 1,2 km etäisyydelle ja yli 7,5 m syvyysalueelle. Pisteessä Nj35/24/25 sähkönjohtavuusarvot ovat pohjan tuntumassa 79/106/102  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , joten mittausmenetelmästä riippuen näkyvä vaikutusalue purkuputken ympärillä syyskierron aikana on tämän arvion mukaan n. 190 ha (Kuva 48). Lisäksi kuormituksen määrä vaihtelee voimakkaasti topografian mukaan.

Jormasjoen edustalla tavataan myös kohonneita sähkönjohtavuusarvoja (245  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Piste 69, Kuvat 1c, ja 22). Pistejoukon perusteella Jormasjoen vesi näyttää virtaavan kohti luodetta ja sen merkittävää vaikutusta ei tässä havaintojoukossa ole enää havaittavissa 3,5 km etäisyydellä. Lämpötila- ja sähkönjohtavuusmuutosten suhde Jormasjoen puolella on erilainen kuin purkuputken lähistöllä, sillä Jormasjoen edustalla sulfaattikuormitteinen pohjanläheinen vesikerros on n. 0,4 °C kylmempi kuin ylempi (Kuvat 23 ja 24, esim. pisteet 64-69, Kuva 30). Kuitenkin voidaan todeta, että voimakkaan kuormituksen alueella sulfaattipitoinen vesi on aina pohjan tuntumassa riippumatta vesirungon lämpötilajakaumasta ( $T > 4$  °C, vrt. edellinen kappale).

Muuraussaaren eteläpuoleisella alueella tilanne on edellisistä hieman poikkeava, sillä pohjanläheisen vesikerroksen (3 – 5 m) sähkönjohtavuus on paikoin pienempi (Kuvat 23 ja 31) kuin ylempässä vesikerroksessa. Kuitenkin aivan pohjan tuntumassa on ohut kerros sulfaattikuormitteista vettä (esim. pisteet 35 ja 54). Sähkönjohtavuusarvojen ja lämpötilan pieneminen kohti pohjanläheistä vesikerrosta viittaa siihen, että osa Sotkamon reitiltä tulevasta puhtaasta ja kylmästä vedestä kulkeutuu syyskierrossa pohjan lähelle ja osa heikosti sulfaattikuormitteista ja lämpimämpää vettä ( $< 60$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) virtaa purkuputken suunnasta katsoen kohti koillista puhtaan veden päälle (Kuva 45). Tilanne purkuputken luoteis-kaakko-sektorilla näyttää syyskierron aikana siten varsin monimutkaiselta, ja todennäköisesti kysymyksessä on Sotkamon reittiveden ja sulfaattikuormitteisen veden sekoittumisvyöhyke.

Toisaalta hieman kohonneita sähkönjohtavuusarvoja pohjan tuntumassa tavataan Nuasjärven pohjoispuoleisessa osa-altaassa Muuraussaaren pohjoispuolella (esim. pisteet 55 ja 59, Kuvat 1c ja 32). Pisteessä 59 on vähäinen sähkönjohtavuus –minimi n. syvyydellä 11 – 14 m. Molemmassa tapauksissa vesi kylmenee kohti pohjaa, joten tässäkin tapauksessa tiheysero määrättyy lämpötilan



mukaan. Tässä tapauksessa pohjanläheinen vesikerros on todennäköisesti peräisin purkuputken itäpuoleisesta ”sekoittumisvyöhykkeestä”, koska vesi on kylmempää kuin purkuputken kohdalla.

Mualla Nuasjärven ja Rehjan alueella sähkönjohtavuusarvojen muutokset vesirungossa ovat vähäisiä. Mainittakoon kuitenkin, että pienellä alueella Rehjan puolella Rimpilänsalmen länsipuolella, on pisteissä 9 ja 10 (Kuvat 1b ja 22) välittömästi pohjan yläpuolella hieman suurempia arvoja (55,3 ja 63,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) kuin muualla Rehjan alueella. Myös YSI-pisteessä NjL11 aivan pohjan tuntumassa sähkönjohtavuus kohoaa hieman (Kuva 28). Sulfaattikuormitus näyttää siten heijastuvan koko alavirtaan, kuitenkin väheten etäisyyden kasvaessa. Toisaalta jakaumakuvat osoittavat sähkönjohtavuusmittausten toimivuutta sulfaattikuormituksen jäljittämässä.

### 3.5 Lämpötila happi pH ja redox marraskuussa 2016

Marraskuussa jäiden muodostumisen jälkeen veden lämpötila oli laskenut Nuasjärvellä kauttaaltaan 1,6 °C alapuolelle ja pinnassa n. 7 – 10 m syvyyteen asti tasolle 0,1 – 1,0 °C (Kuva 33). Useissa profiileissa näkyy myös pieni lämpötilamaksimi n. 10 m syvyydellä, joka sijoittuu kohtaan, missä sähkönjohtavuus vastaavasti alkaa kohoamaan. Samassa kohtaa happipitoisuudessa esiintyy paikoin pieni minimi (Kuva 34).

Marraskuussa pintaveden alueellinen lämpötilajakauma 1 – 4 m syvyydellä oli päinvastainen kuin lokakuussa, sillä marraskuussa kylmin vesi oli Nuasjärven keskiosissa ja ”lämpimintä” Nuasjärven itäosissa lähellä Sotkamon reitin tuloaluetta ja Jäätiönlahtea (Kuva 39).

Jään muodostumisen jälkeen vesi oli edelleen hyvin hapekasta, mutta alkavaa kerrostumista oli havaittavissa. Pinnasta n. 10 m syvyyteen happipitoisuus oli n. 13,3 mg/l. Vastaavasti pH ja ORP oli 6,7 ja 193 mV (Kuvat 34-38). Syvemmillä happipitoisuus, pH ja ORP olivat 12,3 mg/l, 6,5 ja 211 mV. Pisteessä Nj35 oli aivan pohjan tuntumassa normaalia voimakkaampaa happipitoisuuden pienenemistä.

### 3.6 Sähkönjohtavuus marraskuussa 2016

Merkittävimmät vedenlaatumuutokset lokakuusta marraskuuhun ovat sähkönjohtavuuden kohoaminen ja kemiallisen kerroksellisuuden muodostuminen. Kaikissa purkuputken lähistöllä olevissa yli 20 m syvänteissä sähkönjohtavuus oli kohonnut n. 100 – 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tasolle (Kuva 36). Sulfaattipitoisen veden yläpinta on n. 10-13 m syvyydessä (Nj35 ja 125, Kuvat 36 ja 42). Kuitenkaan purkuputken lähistöllä ei sulfaattipitoisen vesikerroksen paksuus ole muuttunut paljon loka- (Pisteet 48 ja 75) ja marraskuun (Kuva 42, Pisteet 121, 124) välisenä aikana. Siten sulfaattikuormitteen alueen suuruutta marraskuussa arvioitiin laskemalla yli 12 m syvyysalueen pinta-ala: 582 ha (Kuva 49). Arvoihin on lisättävä myös purkuputken ympärillä oleva n. 1 km säteellä oleva yli 7,5 m syvä alue: 246 ha. Sulfaattikuormitteen alue loppuvuoden 2016 aikana on siten n. 896 ha. Muualla Nuasjärven alueella muutos on ollut vähäisempää.

Suurimpia sähkönjohtavuusarvoja tavataan purkuputken luoteis-, itä- ja kaakkoon suuntautuvalla sektorilla ja arvot sijoittuvat pohjan tuntumaan (300 – 444  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Kuvat 40 ja 42). Tätä vasten on kuitenkin mielenkiintoista, että purkuputken itäpuolella, n. 8 m syvyydessä esiintyvät pienimmät sähkönjohtavuusarvot (ts. Sotkamon reitin tulovirtaaman kohdalla, Kuvat 41 ja 44, esim. 106). Vertikaalisuunnassa tämä tarkoittaa, että purkuputken itäpuolella pintaosa on vähiten kuormittunut, mutta yli 10 m syvyydessä ja aivan pohjan tuntumassa on sulfaattikuormitus voimakkainta koko järven alueella. Piirre on sama kuin lokakuun mittauksissa, mikä viittaa pohjanläheisten virtausten kuljettavan sulfaattikuormitusta mieluummin itään kuin länteen päin. Havainnot tukevat Pöyry Oy:n

laatimia mallinnuksia, joissa myös todettiin itään-kaakkoon suuntautuva kuormitus (Talvivaara Sotkamo. Uuden purkureitin ympäristölupahakemus, 1.12.2014) Samalla Sotkamon reitiltä tuleva vesi virtaa idästä länteen, mutta tällä kertaa pinnanläheisenä (Kuva 46).

Sähkönjohtavuuden vertikaalivaihteluun liittyy myös lämpötilavaihtelua (Kuvat 42 – 44). Kylmintä sulfaattikuormitteinen vesi on purkuputken länsipuolella ja pisteessä Nj35 < 1 °C, mutta pisteessä 125 n. 1,6 °C. Riippuvuus voidaan tulkita siten, että n. 9 m syvyydessä oleva kylmä (0,8 °C, Kuva 33) ja sulfaattipitoinen vesi valuu pohjan painanteita pitkin kohti syvänealueita. Tällöin kysymyksessä on nimenomaan purkuputken läheisyydestä (n. 9 m) tuleva vesi. Jormasjoen edustalla sähkönjohtavuus/lämpötila-riippuvuus on päinvastainen, sillä lämpötila kohoaa sähkönjohtavuuden kasvaessa (Kuvat 33, 36 ja 32). Voisi siten olettaa, että Jormasjoen edustalla ja purkuputken länsipuolella oleva syväne (Nj23 ja Nj46) olisi enemmän kuormittunut Jormasjoen kuin purkuputken vaikutuksesta. Lämpötilaerot ovat kuitenkin pieniä ja pistejoukko rajallinen, mutta ne tukevat havaintoa purkuputken luoteis-kaakko-sektorin kuormitusvaikutuksesta. Asiaa on syytä tarkentaa seuraavissa mittauksissa.

Lisäksi CastAway-mittausten pistejonossa 102, 103, 104, 106, 107, 108 ja 109 vertikaalinen vedenlaadun vaihtelu kasvaa siirryttäessä lounaasta kohti Muuraussaarta (Kuvat 40 ja 44). Muuraussaaren lähistöllä olevissa pisteissä 102, 103 ja 106 vesi on vähiten kuormittunut n. 8 m syvyydellä mutta pohjan lähellä sähkönjohtavuusarvot ovat suuria. Erot ovat vähäisempiä pisteissä 107, 108 ja 109. Tilanne on eri kuin syyskierron aikana, jolloin puhdas vesi virtaa pohjan tuntumassa n. 3 – 5 m vahvuisena kerroksena Muuraussaaren edustalla (Kuvat 31 ja 45).

### 3.7 Vesianalyysit loka-marraskuussa 2016

Nuasjärvestä otettiin lokakuussa yksi näyte syvänteestä Nj35 sekä marraskuussa syvänteistä Nj35 ja NjL6 (Kuvat 1a, 2, Taulukko 5) Tulosten mukaan toksisia pitoisuuksia ei pohjanläheisessä vedessä esiintynyt, mutta vedenlaatu oli muuttunut merkittävästi syvänteessä Nj35 seurantajakson välillä. Sulfaattipitoisuus pisteessä Nj35 oli lokakuussa 17 mg/l ja marraskuussa 120 mg/l. Sulfaatin lisäys oli siten n. 7,5-kertainen. Lähes täysin liukoisessa muodossa olevien kalsiumin ja natriumin pitoisuudet lisääntyivät myös n. 5-kertaiseksi lokakuun tasolta 5 ja 4 mg/l tasolle 28 ja 21 mg/l. Metalleista mainittakoon mangaani, jonka liukoiset pitoisuudet olivat lokakuussa 85 µg/l ja marraskuussa 208 µg/l. Kuitenkin mangaanin totaalipitoisuus pieneni pitoisuudesta 558 µg/l tasolle 228 µg/l. Liukoisen nikkelin pitoisuudet oli alhaisia loka- ja marraskuussa: 1,34 ja 2,1 µg/l. Useiden alkuaineiden ja sulfaatin pitoisuudet olivat pisteessä NjL6 n. 1,5-kertaa pienemmät kuin pisteessä Nj35.

### 3.8 Batymetrinen tarkastelu

Batymetrinen kartan mukaan purkuputki sijaitsee n. 9,5 m syvyydessä ja sen ympäristössä on melko tasainen alue, jonka syvyys vaihtelee 8,5 – 9,5 m välillä (Kuva 47). Purkuputkesta tulevan vesimassan paksuus on enimmillään n. 1,5, joten pelkästään gravitatiivisesti etenemällä – ilman tuulten aiheuttamia virtauksia, raskaampi sulfaattikuormitteinen vesi voi levittäytyä konvektiovirtauksena kolmeen eri suuntaan. Kuitenkin purkuputken lähistöllä on loiva kaakkoisuuntainen topografinen gradientti joten periaatteessa tällainenkin ero voi selittää sulfaattikuormituksen voimistumisen kaakkoon ja siitä edelleen itään ja pohjoiseen.

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että vedenlaatu Nuasjärvessä ja Rehjan alueella on muuttunut seurantajakson 2015 – 2016 aikana. Pintavedessä muutos näkyy lähinnä sähkönjohtavuuden kohoamisena tasolta 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tasolle 51  $\mu\text{S}/\text{cm}$  vuosien 2015 ja 2016 aikana. Muutos johtuu etupäässä sulfaattipitoisuuden lisäyksestä 7 mg/l:sta (2015) 15 mg/l:aan (2016). Muutos vastaa tämänhetkistä (v. 2016) alueellista tasoeroa, kun vesi virtaa Nuasjärven itäosasta Kajaaniin. Sulfaattipitoisuuksien ja sähkönjohtavuuden kaksinkertaistuminen sopii yhteen myös kuormitustietojen kanssa, sillä sulfaattikuormitus Nuasjärveen on kaksinkertaistunut purkuputken käyttöönoton jälkeen.

Voimakkaimmin seurantajakson aikainen muutos ilmenee purkuputken lähistöllä olevissa syvänteissä NjL6, Nj23/Nj46, Nj35 ja joista Nj35:n kohdalla kuormituslisä on ollut suurin. Näissä kohteissa kevätkierto jäi vaillinaiseksi v. 2016 kuormituslisän seurauksena, minkä vuoksi pohjanläheisen veden happipitoisuus on laskenut ja sedimentistä on alkanut vapautua mangaania veteen. Kuitenkin sulfaattikuormitteen vesikerroksen paksuus on pienentynyt kohti syksyä ja syyskierron aikana 2016 tilanne on korjaantunut, mutta jäiden muodostuttua marraskuun 2016 alussa on kemiallinen kerrostuneisuus alkanut muutaman päivän kuluttua. Seurantatulosten mukaan sulfaattipitoinen vesi kulkeutuu lähisyvänteisiin alle viikossa kun talvikerrostuneisuus käynnistyy ja/tai jääpeite alkaa muodostumaan. Ei-kerrostunutta ajanjaksoa on siten kestänyt hieman yli kuukauden. Seurantajakson 2015-2016 väliseen eroon on todennäköisesti vaikuttanut myös erilaiset sääolosuhteet. Kevät 2016 oli vähemmän tuulinen ja lämpimämpi kuin kevät 2015, minkä vuoksi kevätkierron edellytykset olivat näiltä osin huonommat v. 2016.

Lokakuun mittauskampanjan mukaan syyskierto on edennyt hyvin Rehjan ja Nuasjärven alueella, jolloin koko vesirungon lämpötila on lähes sama ja happitilanne hyvä. Rehjan puolella vesi on hieman lämpimämpää kuin Nuasjärven puolella. Lämpötilan ja happipitoisuuden alueellinen jakauma riippuu osittain myös veden syvyydestä, sillä alle 10 m syvyisillä rannan läheisillä reittivesien tuloalueilla vesi on kylmempää ja hapekkaampaa kuin syvemmillä alueilla.

Syyskierrosta huolimatta Nuasjärvessä esiintyy kemiallista kerroksellisuutta, joka johtuu purkuputkesta peräisin olevista sulfaattipäästöistä. Taustastaan kohonneita sähkönjohtavuusarvoja esiintyy purkuputken välittömässä läheisyydessä, Selkäsaaren lounaispuoleisessa syvänteessä (Nj35, syvyys 30 m) sekä pienialaisissa syvänetaskuissa (syvyys n. 10 – 14 m). Tulosten perusteella näyttää siltä, että purkuputkesta tuleva sulfaattikuormitus on suuntautunut syksyn aikana voimakkaimmin luode-itä-kaakkois puoleiselle sektorille ja näkyy epäsymmetrisesti n. 1,2 – 1,6 km etäisyydelle saakka. Kuormittunut alue on syyskierron aikana karkeasti arvioiden 190 ha. Muissa > 20 m syvänteissä on vesi vaihtunut syyskierron aikana. Syyskierron aikana purkuputken tai Jormasjoen kuormitusta ei ole kuitenkaan kohdistunut länsiosan syvänealueisiin (Nj23, Nj46). Alueellinen jakauma kertoo myös virtausdynamiikasta: laajoissa syvänteissä syyskierto etenee tehokkaasti, mutta suojaisissa kapea-alaisissa syvänteissä kaivoskuormitteinen vesi jää helpommin syvänteen pohjalle. Tällainen on mm. Selkäsaaren lounaisosassa oleva syväne (Nj35).

Purkuputken itä- ja koillispuolella on syvänealue, jossa sulfaattikuormitteinen vesi sekoittuu Sotkamon reitiltä tulevaan puhtaampaan veteen. Vedenlaatu saattaa vaihdella melko

pienpiirteisesti, sillä paikoin puhtaampi vesi virtaa n. 3-5 m vahvuisena kerroksena vain vähän sulfaattikuormitteisen ( $< 60 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) veden alapuolella tai päinvastoin. Siten Muuraussaaren eteläpuoleisella itä-länsi-suuntaisella syvänealueella näyttää pohjan läheinen vesi korvautuvan puhtaalla vedellä tehokkaasti. Toisaalta heikosti sulfaattikuormitteinen ja kylmempi vesikerros voi virrata puhtaamman vesikerroksen alla, kuten Muuraussaaren pohjoispuolen syvänealueella. Tässä tapauksessa veden tiheysero määrättyä veden lämpötilan mukaan.

Marraskuussa, n. kolme viikkoa jäidentulon jälkeen on Nuasjärven puolelle kehittynyt selvä kemiallinen kerroksellisuus kaikkiin Jormasjokisuuta ja purkupuutkea lähellä oleviin syvänteisiin n. 12 m syvyydelle, ja se johtuu pääosin sulfaattikuormituksesta. Sähkönjohtavuus on noussut tasolle 100 – 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , suurimpien pohjanläheisten arvojen ollessa 300-440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Alkavaa happi- tai lämpötilakerroksellisuutta esiintyy myös, mutta hapen osalta tilanne on vielä hyvä.

Pääsääntöisesti sulfaattikuormitus on levinnyt pohjanmyötäisesti kaikkiin lähialueen syvänteisiin, mutta pohjan läheiset virtaukset näyttävät kuljettavan kuormitusta hieman tehokkaammin purkupuutkesta kohti luode-itä-kaakko –sektoria kaikkina vuodenaikoina. Sulfaattikuormitteinen alue alkutalven aikaan on karkeasti arvioiden 896 ha.

Jääpeitteen aikana vertikaaliset vedenlaadun vaihtelut lisääntyvät Selkäsaaren ja Muuraussaaren välisessä syvänteessä kohti Muuraussaarta (syvänteen koillisreuna), minkä vuoksi voimakkaimman virtauksen voisi olettaa sijaitsevan Muuraussaaren edustalla.

Mainittujen piirteiden perusteella kuormitusmaksimien sijoittuminen luode-itä-kaakko-sektorille johtuu joko 1) batymetriasta – eli sulfaattikuormitteinen vesi virtaa kaakkoon pohjan painanteita pitkin, tai 2) itään suuntautuva pohjavirtaus kuljettaa sulfaattia sisältävää vettä mukanaan laajemmalle alueelle. Alueella olisi siten vastapäivään kiertävä pohjavirtaus, joka kuljettaa sulfaattikuormitteista vesikerrosta ensin itään puhtaan vesikerroksen alle tai päälle (riippuen vuodenaikasta) ja siitä edelleen kohti pohjoista, Muuraussaaren editse (Kuvat 45 ja 46). Osa purkupuutken vedestä virtaa suoraan kohti syvännettä Nj35, mikä on Nuasjärven kuormittunein yksittäinen alue.

Mikäli sähkönjohtavuusarvoja verrataan mittausasemien J1 ja J2 välillä, on kuormitus niiden mukaan suurempaa aseman J2 kohdalla, missä sijaitsee velvoitetarkkailupiste Nj46. Tämä puolestaan viittaa siihen, että virtaus etenee kohti länttä. Kuukausittain tehtävän velvoitetarkkailuseurannan mukaan kuitenkin purkupuutken kuormituslisä on kohdistunut voimakkaammin pisteeseen Nj35 kuin Nj23.

Tulevan 2017 talven kehityksestä voi arvioida ainakin sen, että sulfaattikuormitteisen veden yläpinta tulee nousemaan todennäköisesti 10 m yläpuolelle. Tässä tapauksessa lopputalvesta on myös läntisempi Nuasjärven syväne sulfaattikuormitteinen (Kuva 49), jolloin kuormituksen pinta-ala lisääntyy. Helmikuun alussa 2017 toistettujen mittauksen kenttätulokset näyttävät tukevan näitä arvioita.

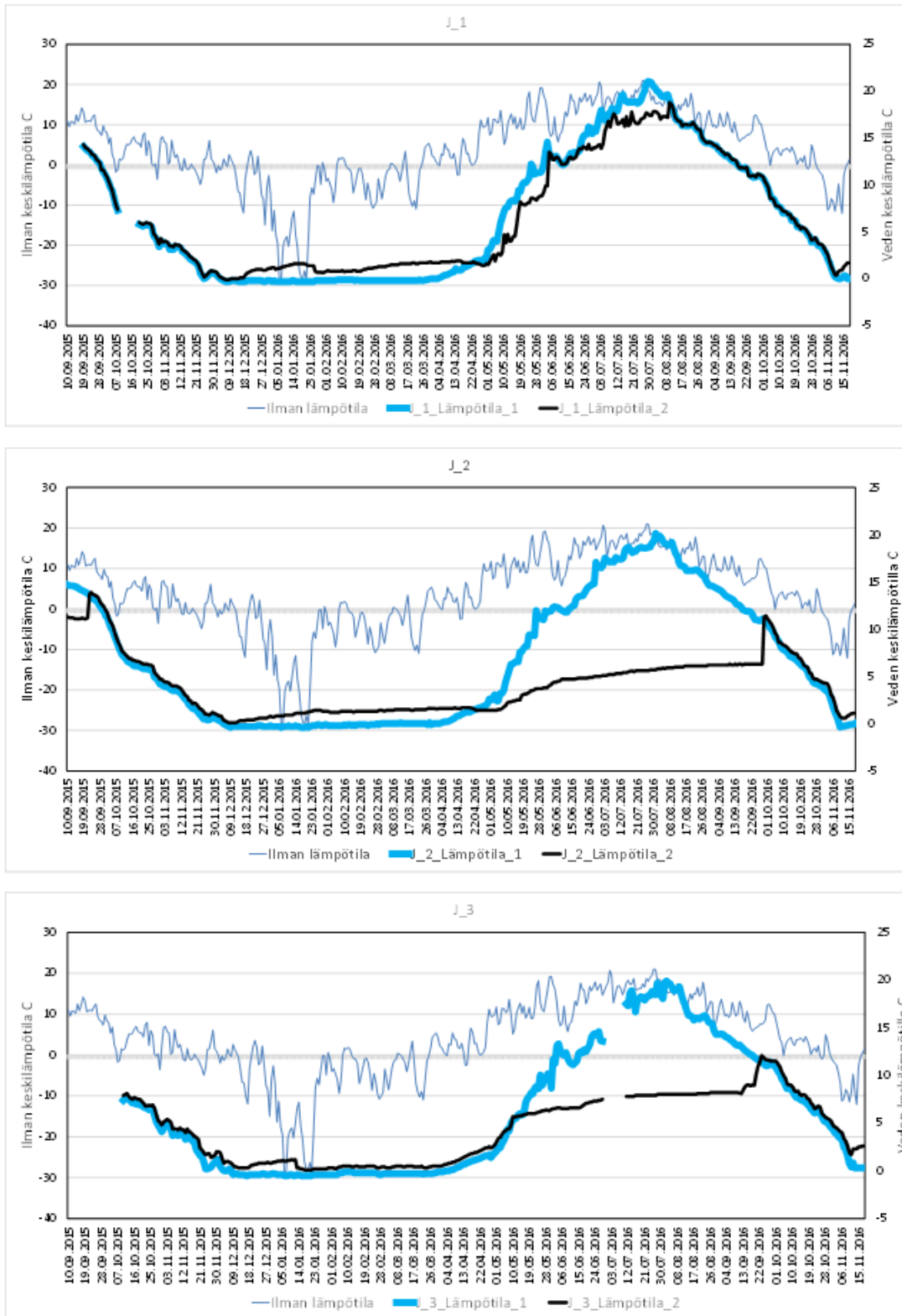


## 5 TULEVIA TUTKIMUKSIA

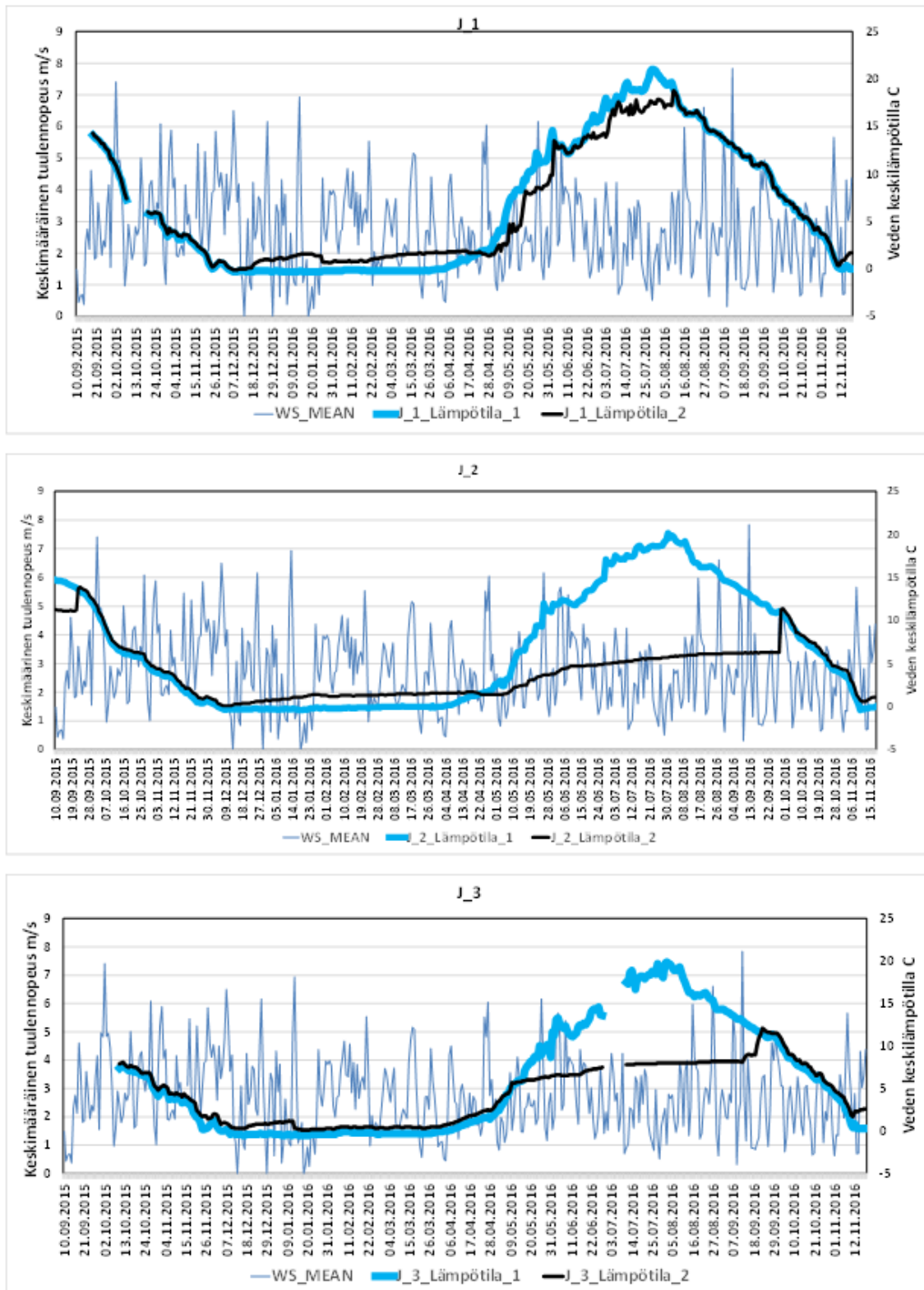
Talven/kevättalven aikana tulisi selvittää sulfaattikuormituksen lateraalista ja vertikaalista vaihtelua purkuputken ja Jormasjokisuun läheisyydessä CastAway- ja/tai virtausmittauksilla. Tarkoituksena olisi selvittää detaljiluontoisesti veden virtaussuuntia, jossa ei näkyisi tuulten vaikutus

Syväne Nj35 on kuormittunein yksittäinen alue Nuasjärvessä, joten lisähuomiota tulisi kiinnittää tälle alueelle. Lisäksi kuormitus kohdentuu purkuputken kaakkoispuolelle Petäjäniemen edustalla olevaan alueeseen (NjL2 ja NjL7). Alueella esiintyy alkutalven suurimmat sähköjohtavuusarvot, joten lisähuomiota voisi kohdentaa myös tälle alueelle.

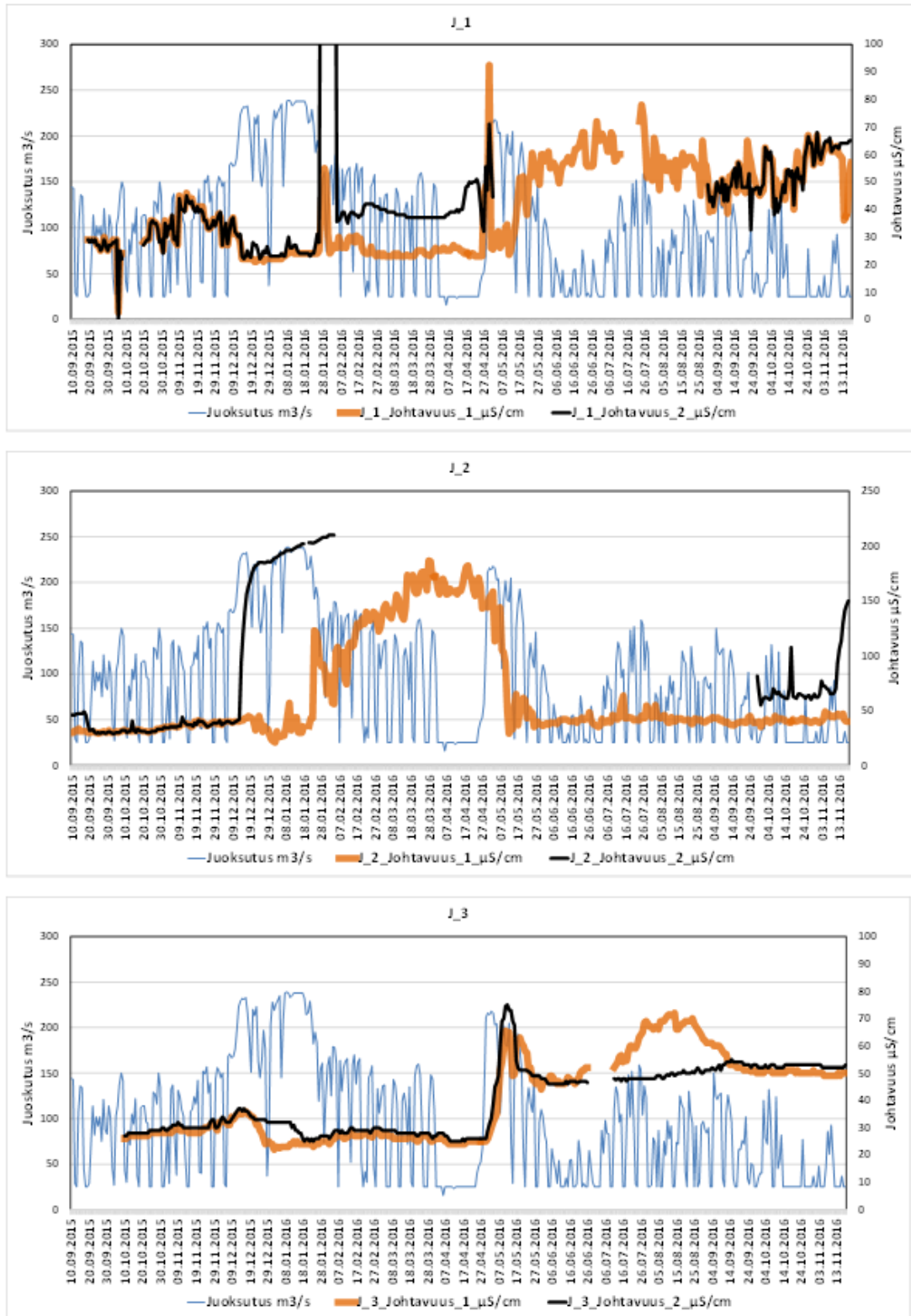
Nuasjärven jatkuvaseuranta sekä velvoitetarkkailu tuottaa paljon vedenlaatutietoa ja tiedon määrä kasvaa koko ajan. Lisäksi kohteesta kertyy myös jatkuvasti virtaamatietoa sekä alueellista säätietoa. Kun tietoa on riittävästi, datat kannattaa yhdistää ja niiden perusteella voi arvioida tässä raportissa havaittujen piirteiden merkitystä. Selvityksen avulla voi mahdollisesti löytää menetelmiä Terrafame Oy:n vedenhallinnan parantamiseksi.



Kuva 3. Päivittäinen ilman lämpötila sekä veden lämpötila automaattisilla mittausasemilla J1, J2 ja J3. Lämpötila\_1 = ylempi mittausanturi ja Lämpötila\_2 = alempi mittausanturi. Aineistosta on poistettu virheelliset mittausarjat. Seurantajakson aikana sää on pakastunut ja jääpeite muodostunut v. 2015/2016 vuodenvaihteessa ja seuraavan kerran n. 7. –10. 11.2016.

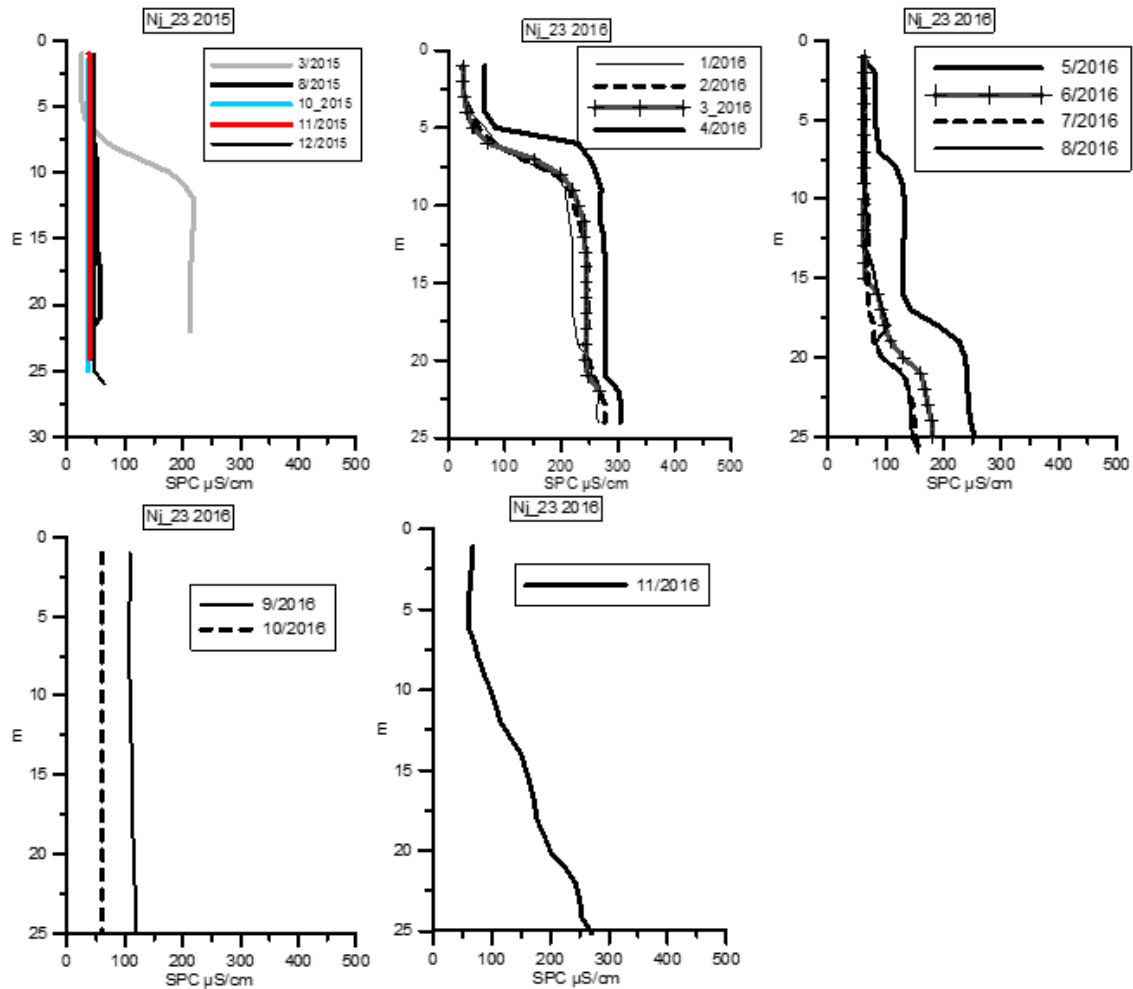


Kuva 4. Keskimääräinen tuulen nopeus (m/s) päivittäin sekä veden lämpötila automaattisilla mittausasemilla J1, J2 ja J3.

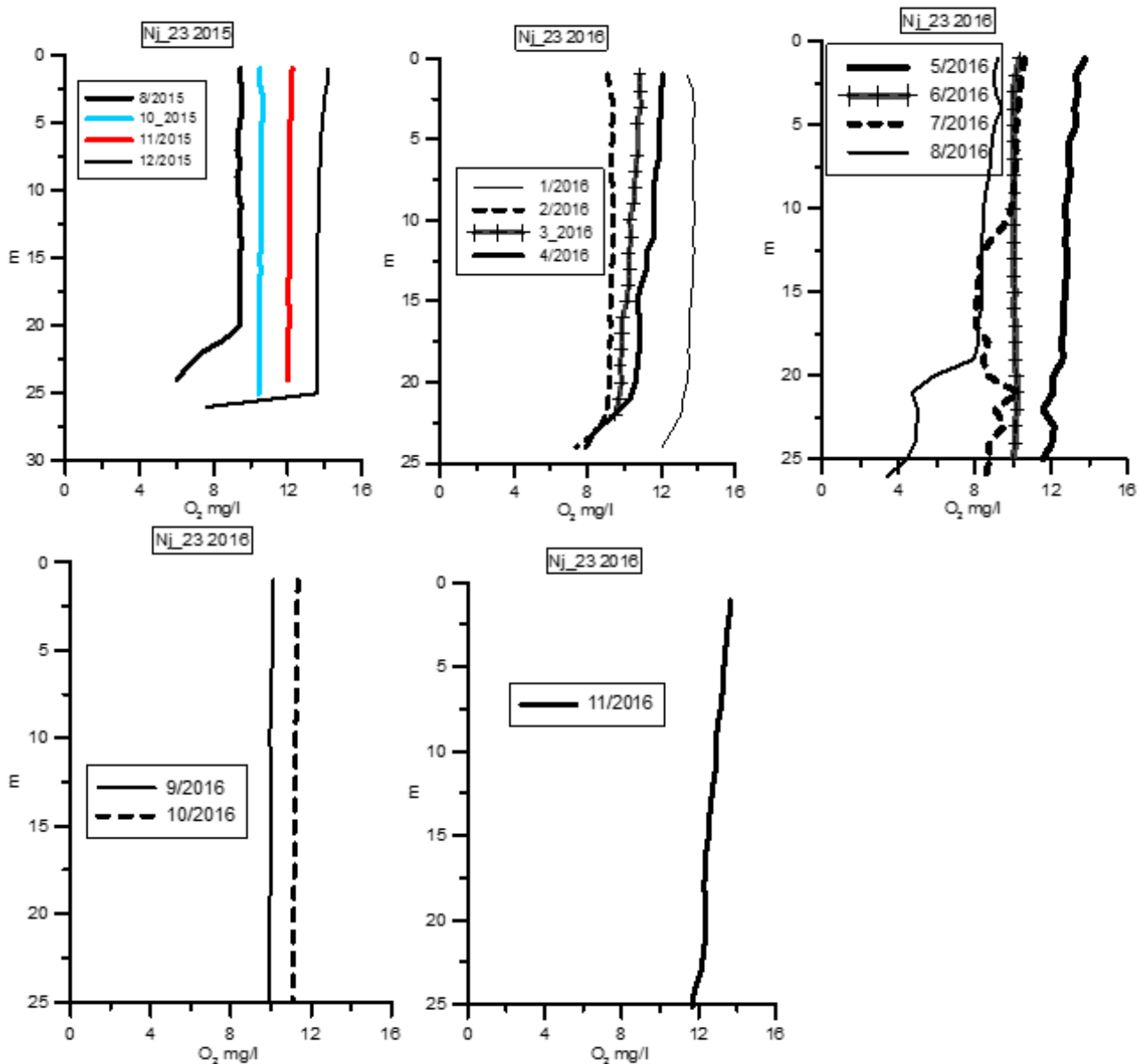


Kuva 5. Päivittäinen Koivukosken juoksutus sekä sähkönjohtavuus automaattisilla mittausasemilla J1, J2 ja J3. Johtavuus\_1 = ylempi mittausanturi ja Johtavuus\_2 = alempi mittausanturi. Aineistosta on poistettu virheelliset mittaussarjat. Huomaa kuvien eri skaalat sähkönjohtavuudessa

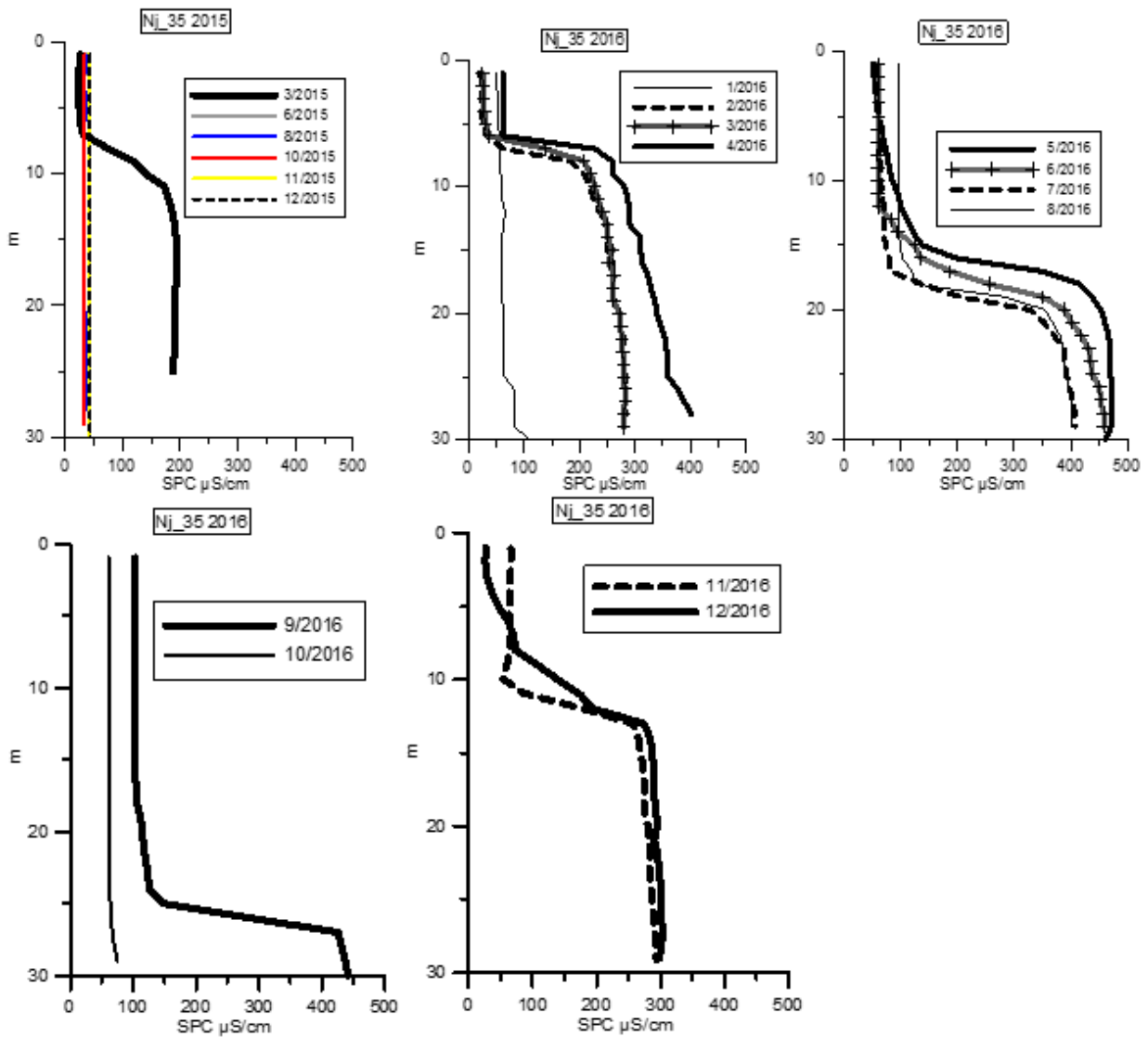




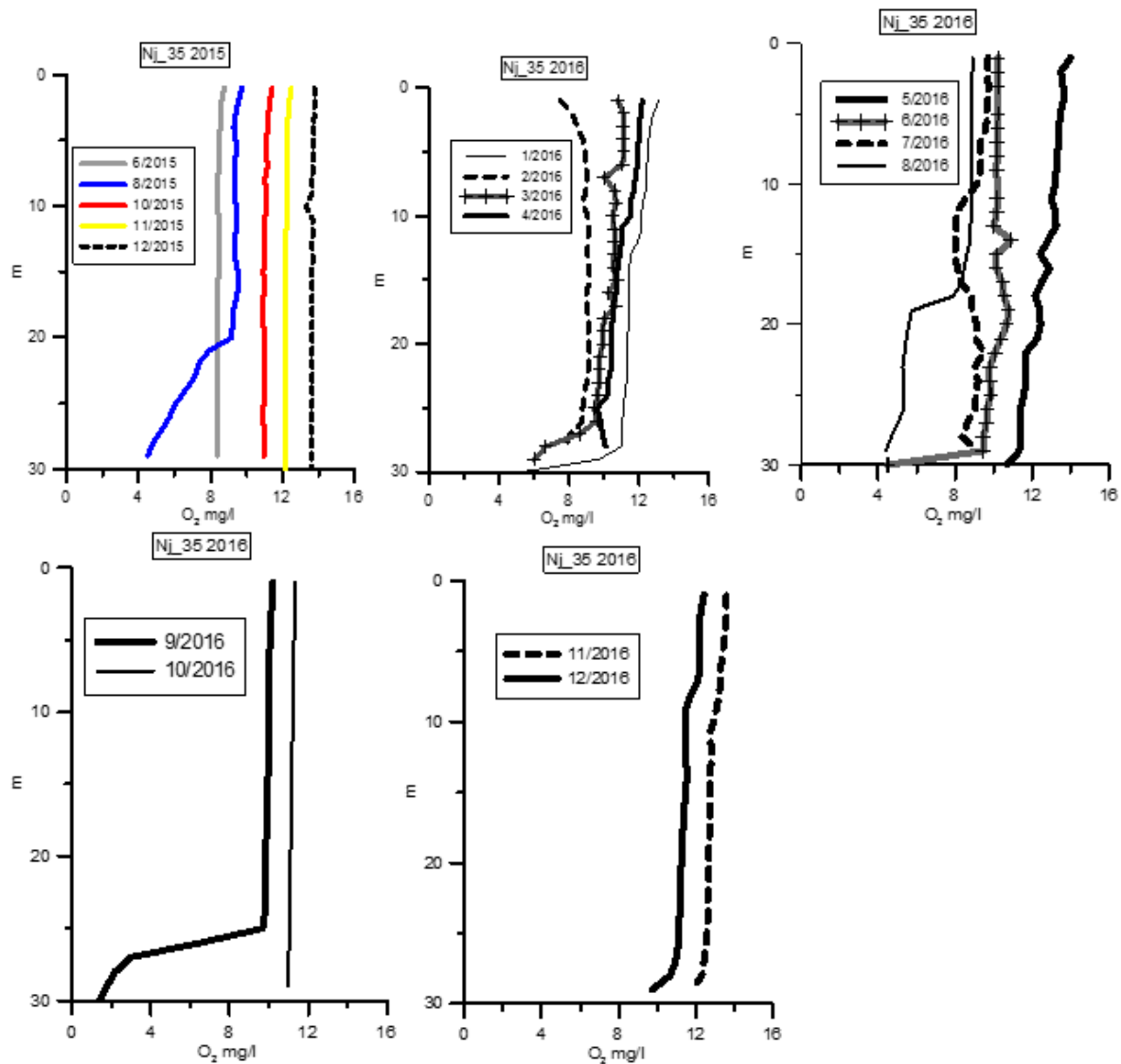
Kuva 6. Veden sähkönjohtavuusprofiilit vuosilta 2015 – 2016 pisteessä Nj23. Selvästi kohonneita sähkönjohtavuusarvoja esiintyy v. 2015 maaliskuussa, mutta kesän 2015 kuluessa arvot ovat normaalilla tasolla. Enimmäistaso 2015 on n. 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Kevättalvella 2016 arvot kohoavat selvästi ja arvot ovat suurimmillaan keväällä 2016, n. 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sulfaattikuormitteisen vesikerroksen paksuus pienenee kesän 2016 aikana. Syyskierron myötä kemiallinen kerroksellisuus on hävinnyt.



Kuva 7. Veden happipitoisuusprofiilit vuosilta 2015 – 2016 pisteessä Nj23. Happipitoisuus on ollut lähes koko vuoden hyvällä tasolla, mutta molempien vuosien elokuussa happipitoisuus on vähentynyt pohjanläheisessä vesikerroksessa. Elokuussa 2016 happipitoisuus on ollut pienimmillään.

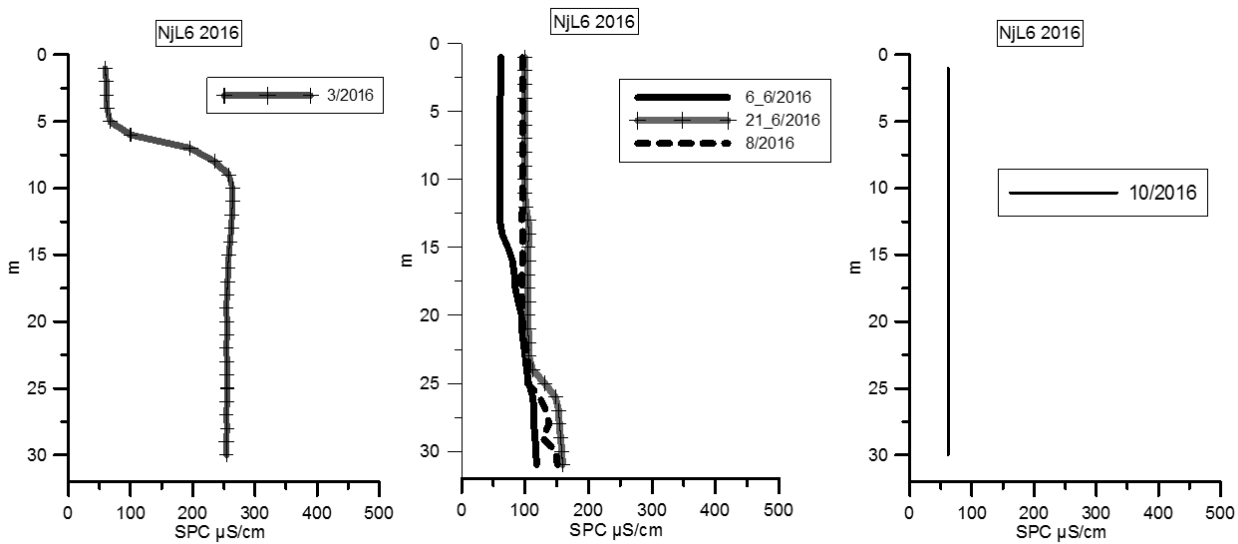


Kuva 8. Veden sähkönjohtavuusprofiilit vuosilta 2015 – 2016 pisteessä Nj35. Selvästi kohonneita sähkönjohtavuusarvoja esiintyy v. 2015 maaliskuussa, mutta kesän 2015 kuluessa arvot ovat normaalilla tasolla. Enimmäistaso 2015 on n. 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Kevättalvella 2016 arvot kohoavat selvästi ja arvot ovat suurimmillaan keväällä 2016, n. 470  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sulfaattikuormitteisen vesikerroksen paksuus pienenee kesän 2016 aikana. Kemiallisesti voimakas kerroksellisuus hävisi v. 2016 vain tammi- ja lokakuun ajaksi.

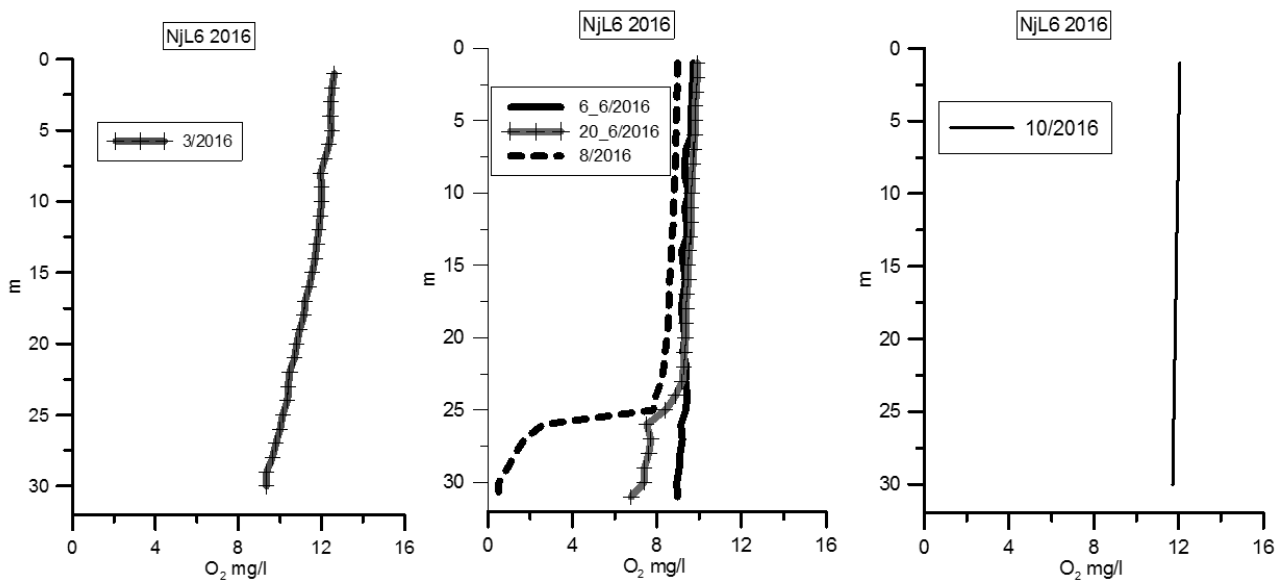


Kuva 9. Veden happipitoisuusprofiilit vuosilta 2015 – 2016 pisteessä Nj35. Happipitoisuus on ollut lähes koko vuoden hyvällä tasolla, mutta molempien vuosien elokuussa happipitoisuus on vähentynyt pohjanläheisessä vesikerroksessa. Syyskuussa 2016 happipitoisuus on ollut pienimmillään.

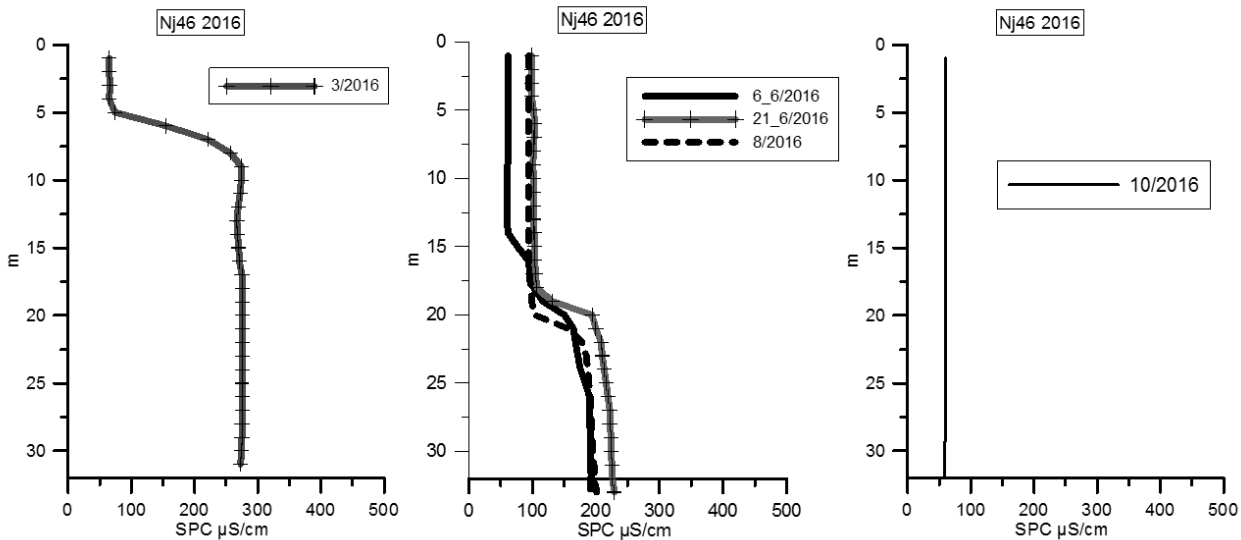




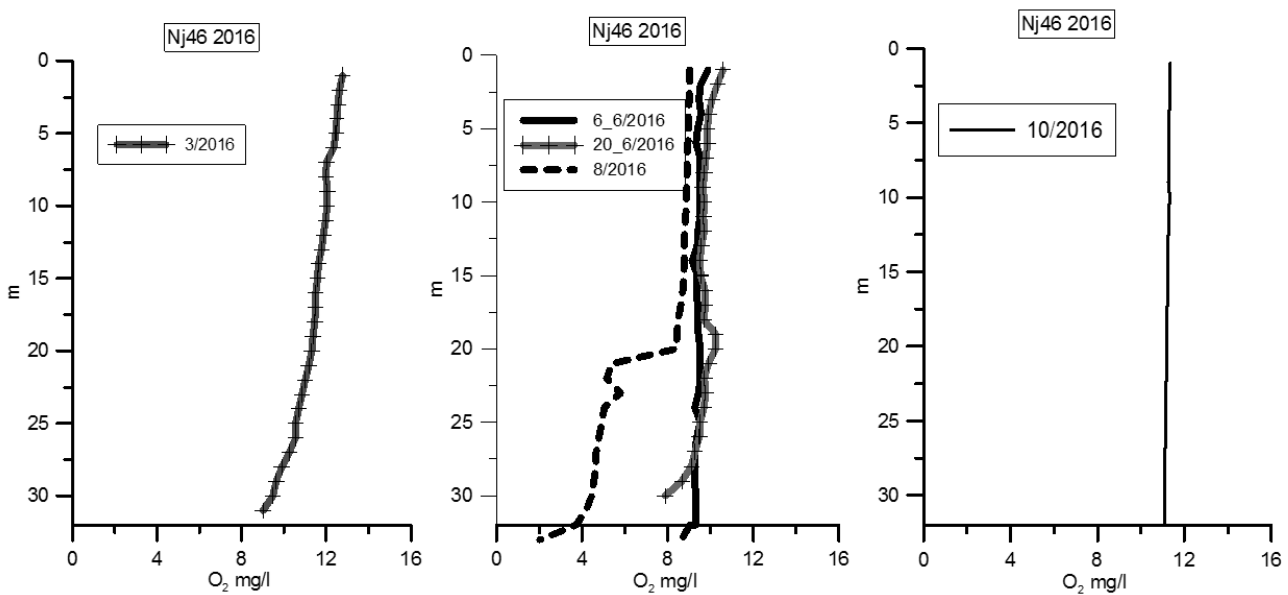
Kuva 10. Veden sähkönjohtavuusprofiilit v. 2016 pisteessä NjL6. Arvot ovat suurimmillaan alemmassa vesikerroksessa kevään aikana, mutta pienenevät kesän aikana. Samalla sulfaattikuormitteisen vesikerroksen paksuus pienenee.



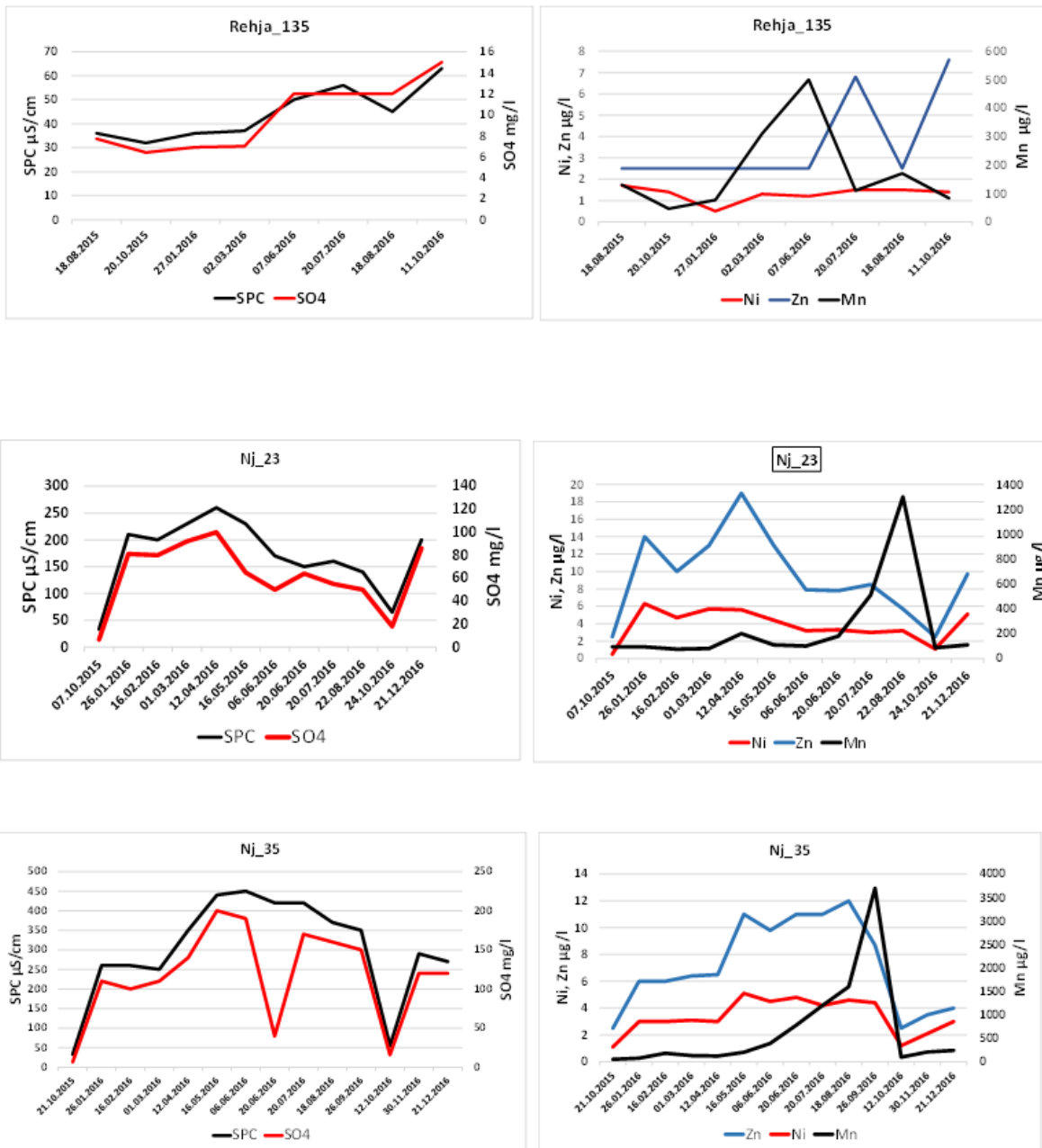
Kuva 11. Veden happipitoisuusprofiilit v. 2016 pisteessä NjL6. Alimmillaan happipitoisuus alemmassa vesikerroksessa oli elokuussa 2016.



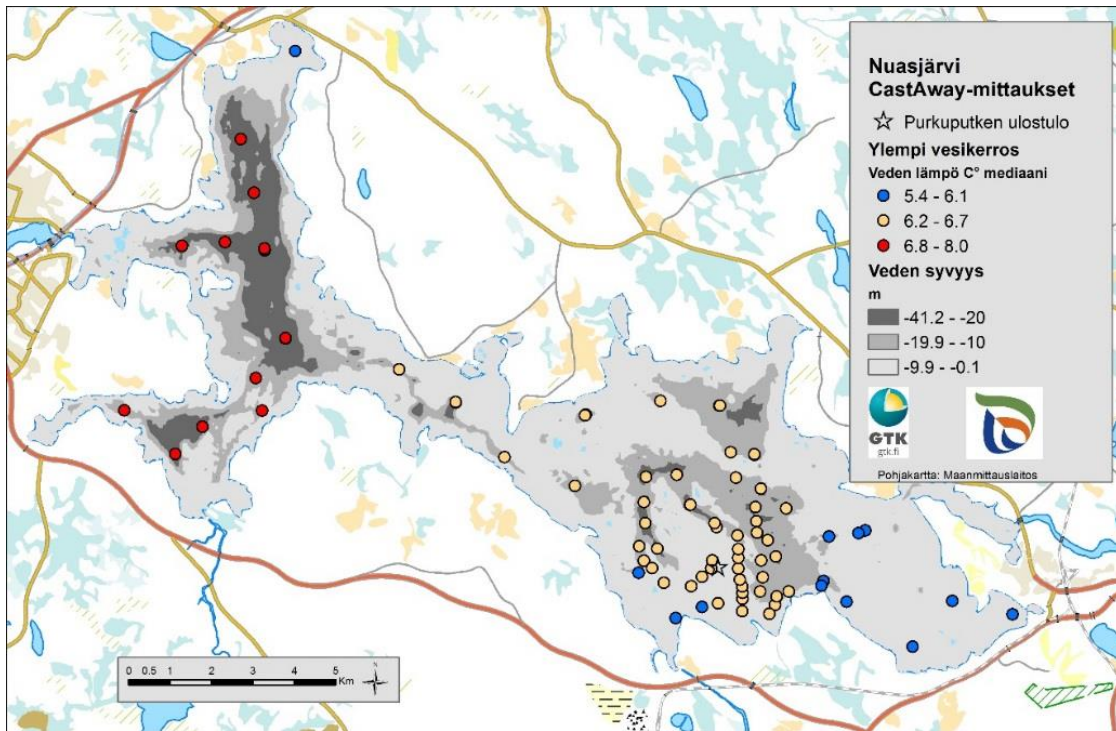
Kuva 12. Veden sähkönjohtavuusprofiilit v. 2016 pisteessä Nj46. Arvot ovat suurimmillaan alemmassa vesikerroksessa kevään aikana, mutta pienenevät kesän aikana. Samalla sulfaattikuormitteisen vesikerroksen paksuus pienenee.



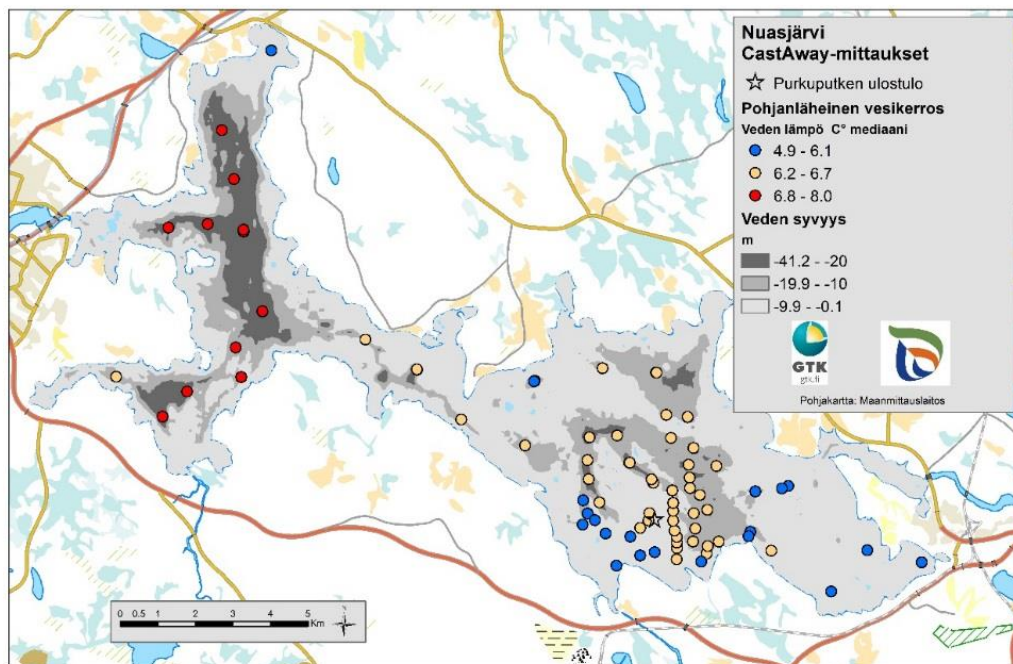
Kuva 13. Veden happipitoisuusprofiilit v. 2016 pisteessä Nj46. Alimmillaan happipitoisuus alemmassa vesikerroksessa oli elokuussa 2016.



Kuva 14. Vedenlaatu pohjanläheisessä vesikerroksessa vuosina 2015 – 2016 pisteissä Rehja135, Nj23 ja Nj35. Sulfaattipitoisuus on hieman kohonnut Rehjanselän pisteessä vuodesta 2015 vuoteen 2016. Nuasjärven puolella pisteissä Nj23 ja Nj35 on sähkönjohtavuus, sulfaatti-, nikkeli- ja sinkkipitoisuus olleet selvästi koholla loppuvuodesta 2015 syyskuuhun 2016 saakka. Tänä aikana on mangaanipitoisuus kohonnut elo-syyskuuhun 2016 saakka, jonka jälkeen pitoisuus pieneni äkisti syyskierron myötä lokakuussa 2016. Suurimmillaan sulfaattipitoisuus oli 200 mg/l pisteessä Nj35. Kesäkuun sulfaattipitoisuudessa on analyysivirhe, koska ajankohdan rikkipitoisuus on samalla tasolla kuin touko-heinäkuun näytteissä.

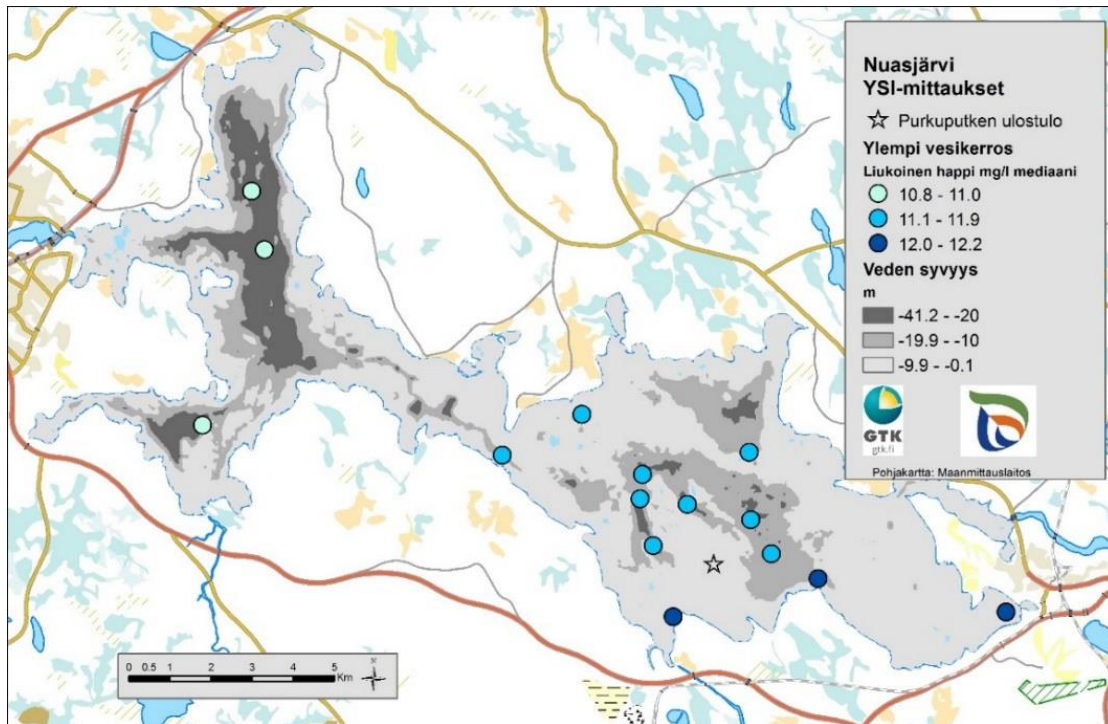


Kuva 15. Lämpötilan mediaani ylempässä vesikerroksessa. Lokakuun aineisto.

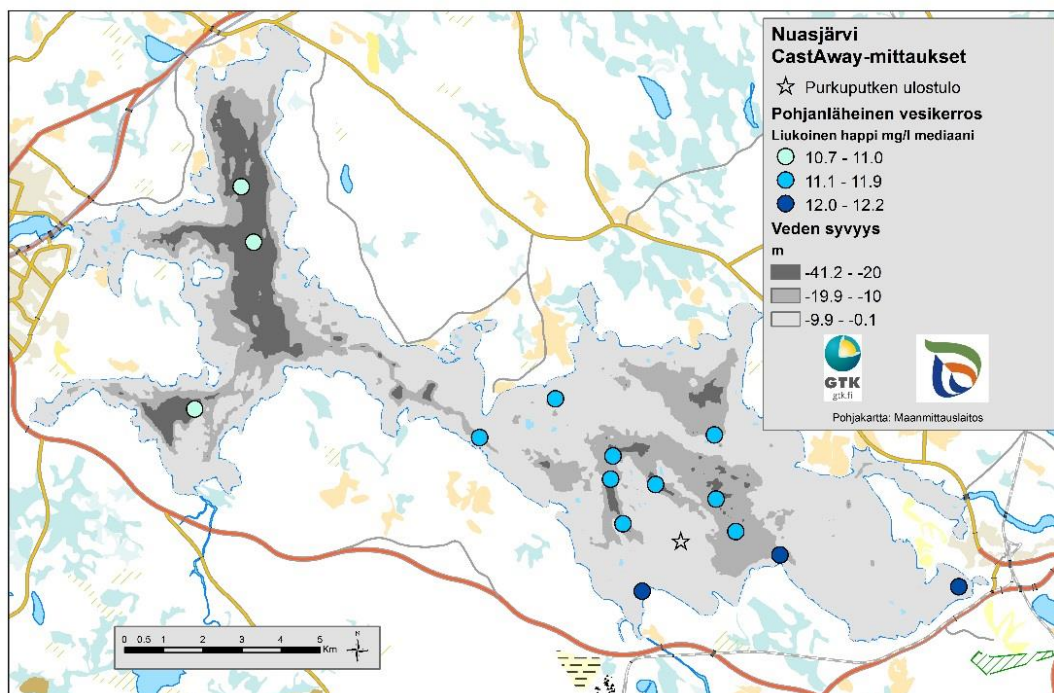


Kuva 16. Lämpötilan mediaani pohjanläheisessä vesikerroksessa. Lokakuun aineisto.

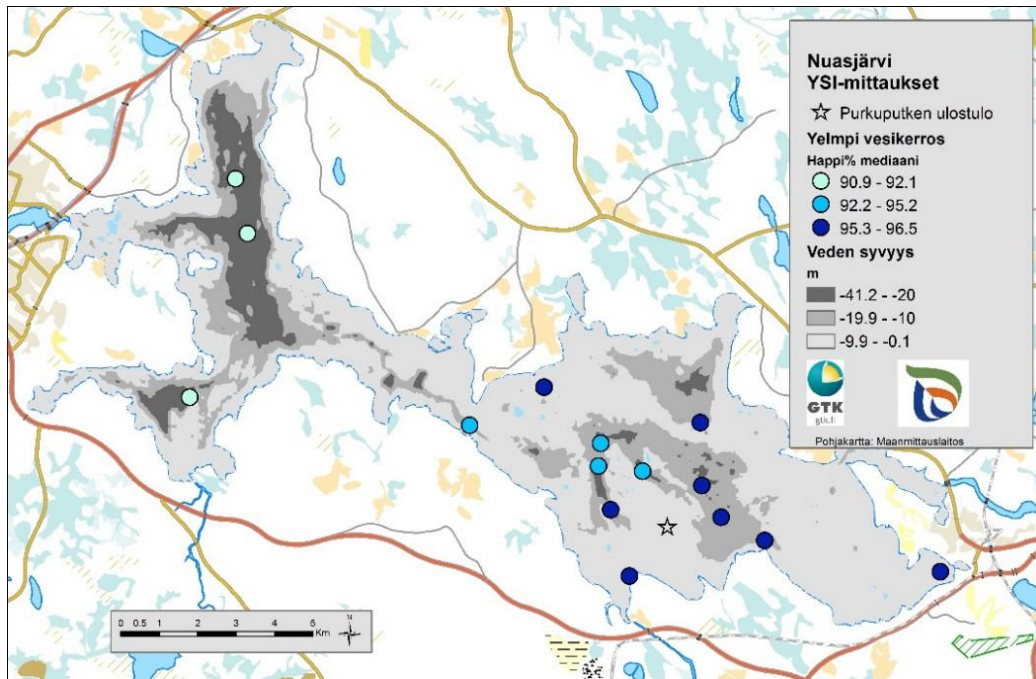




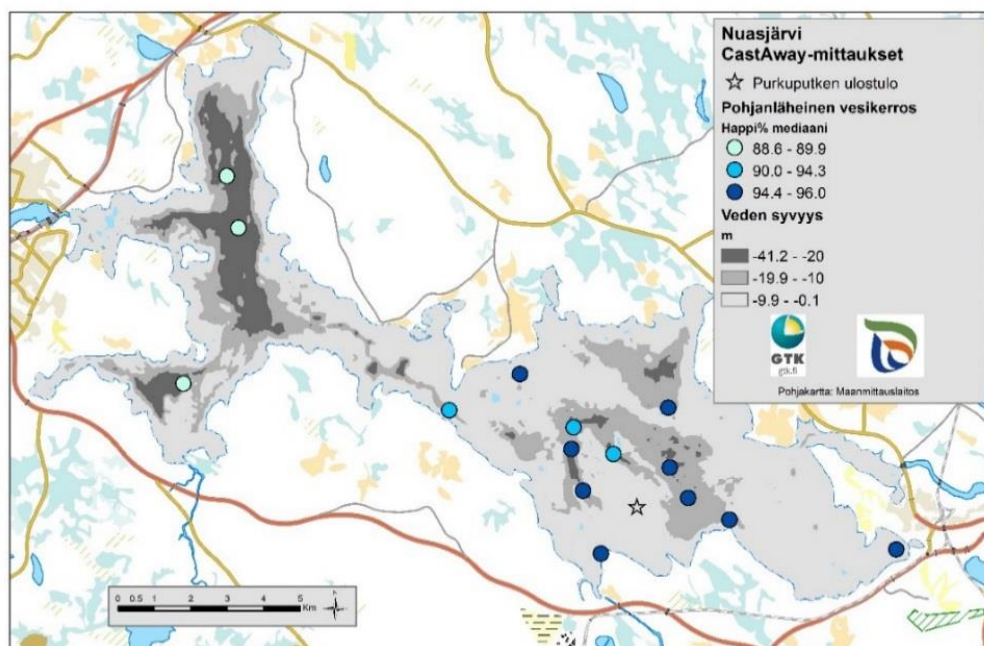
Kuva 17. Liukoisen hapen määrä ylempässä vesikerroksessa. Mediaani. Lokakuun aineisto.



Kuva 18. Liukoisen hapen määrä pohjanläheisessä vesikerroksessa. Mediaani. Lokakuun aineisto.

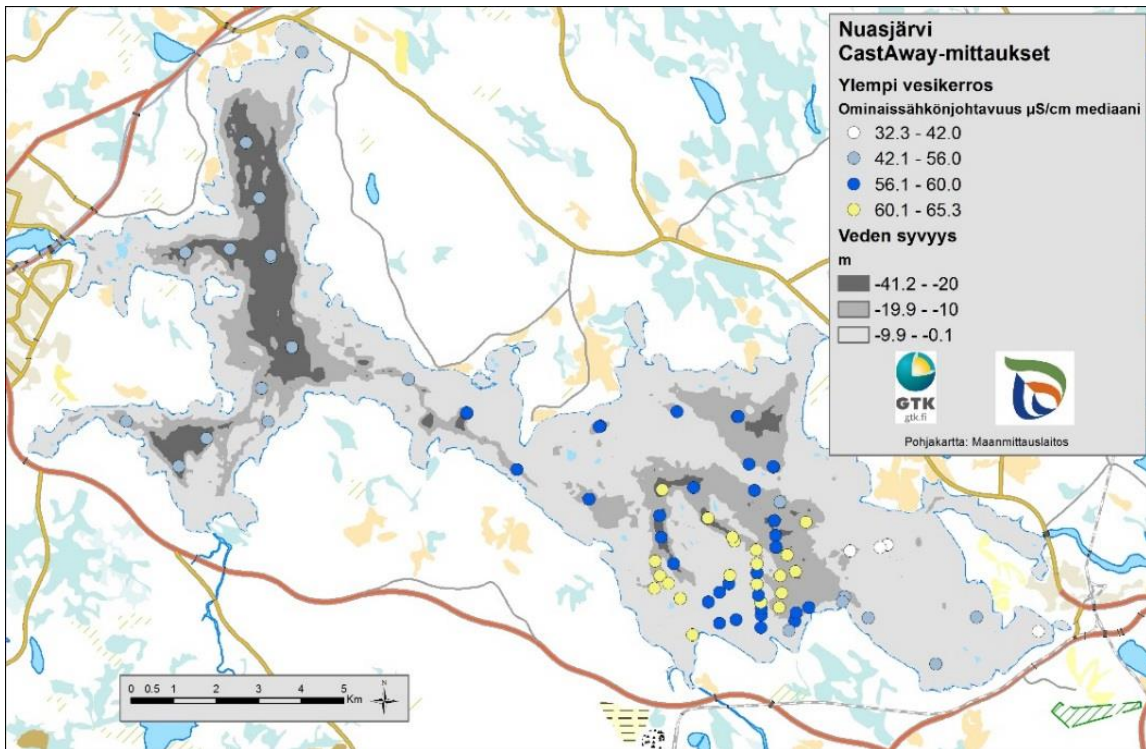


Kuva 19. Ylemmän vesikerroksen happi-%. Mediaani. Lokakuun aineisto.

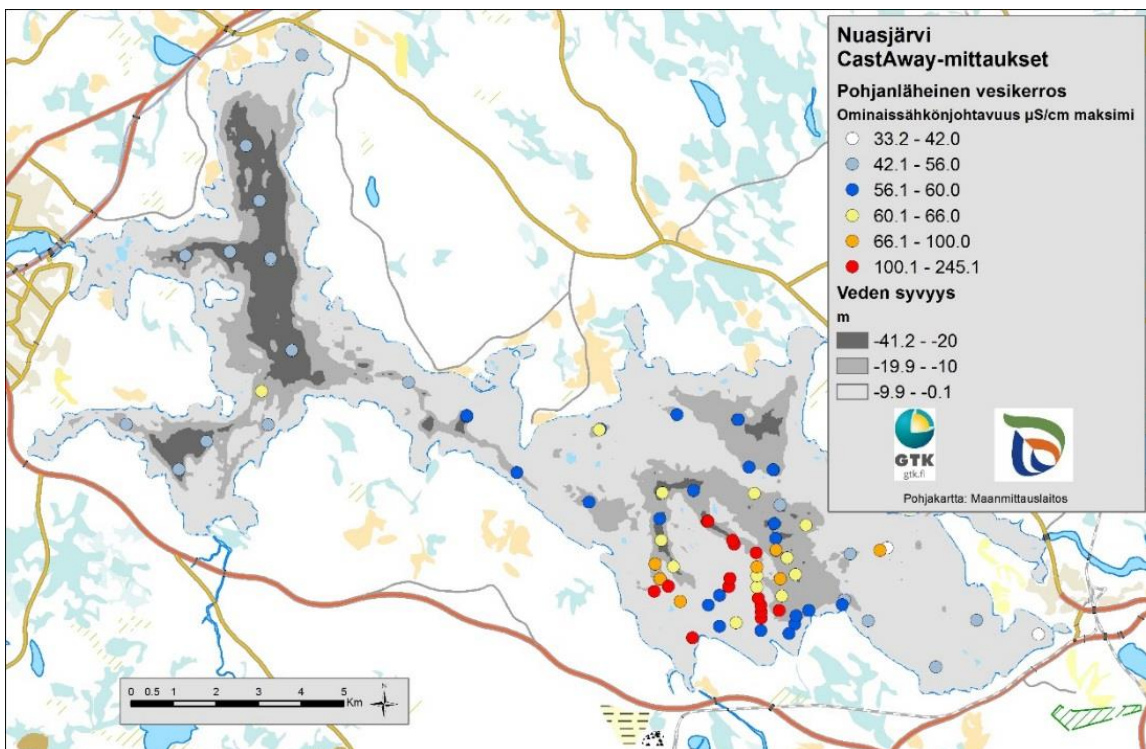


Kuva 20. Pohjanläheisen vesikerroksen happi-%. Mediaani. Lokakuun aineisto.

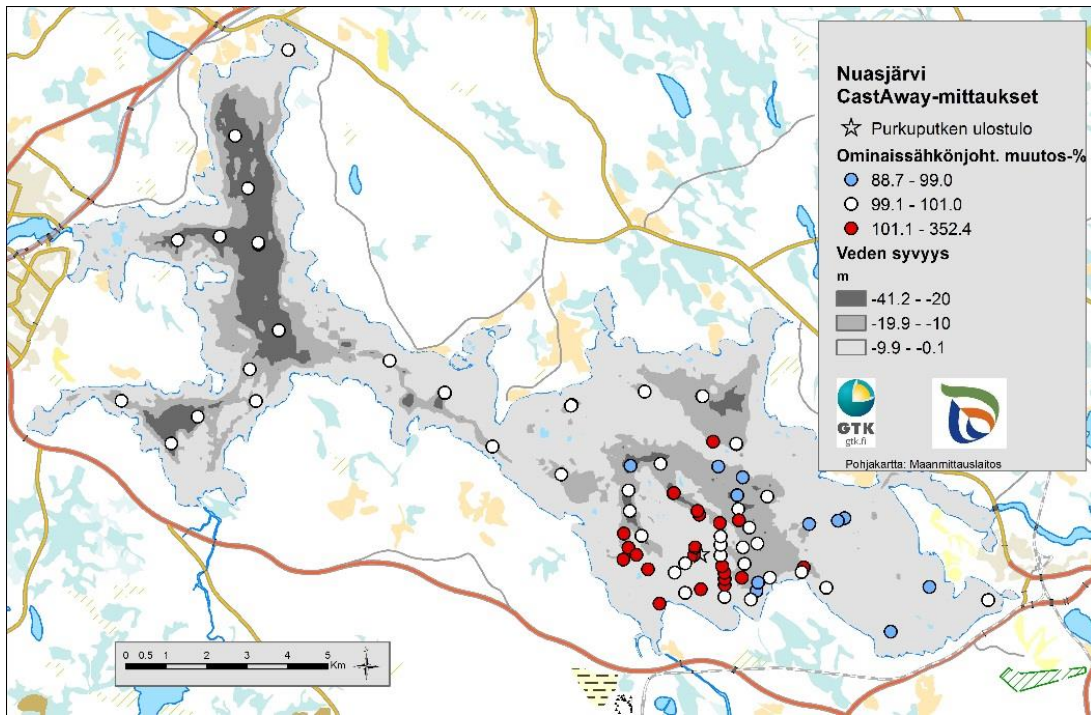




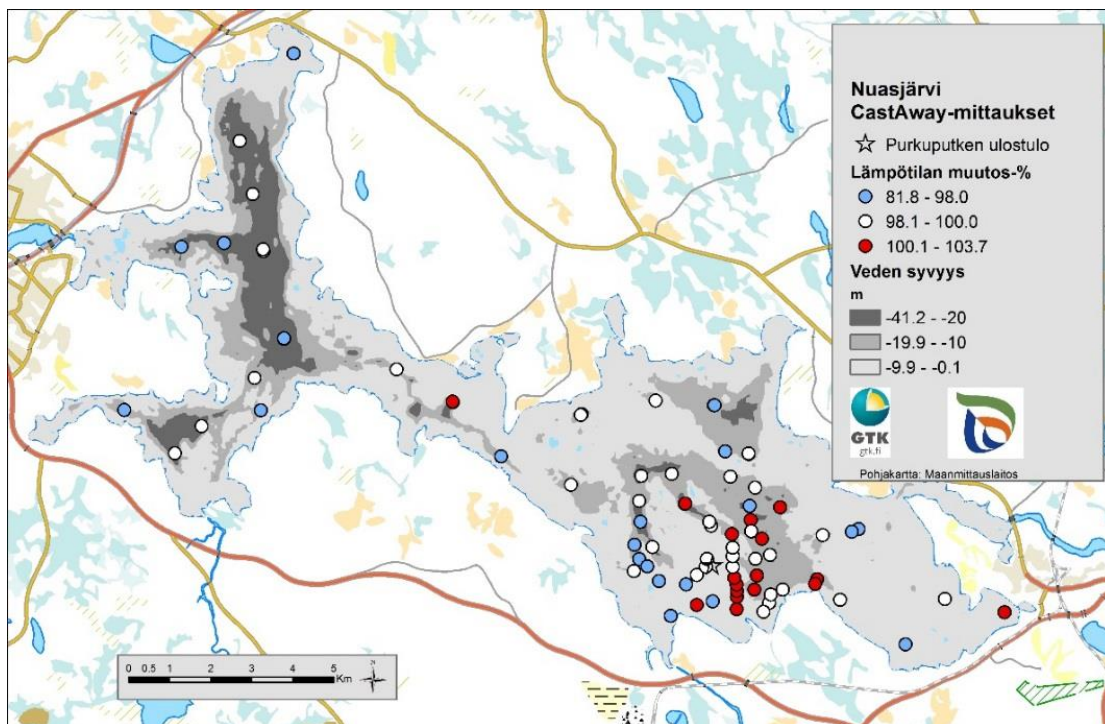
Kuva 21. Ylemmän vesikerroksen sähkönjohtavuus. Mediaani. Lokakuun aineisto.



Kuva 22. Sähkönjohtavuuden maksimiarvot pohjanläheisessä vesikerroksessa. Lokakuun aineisto.

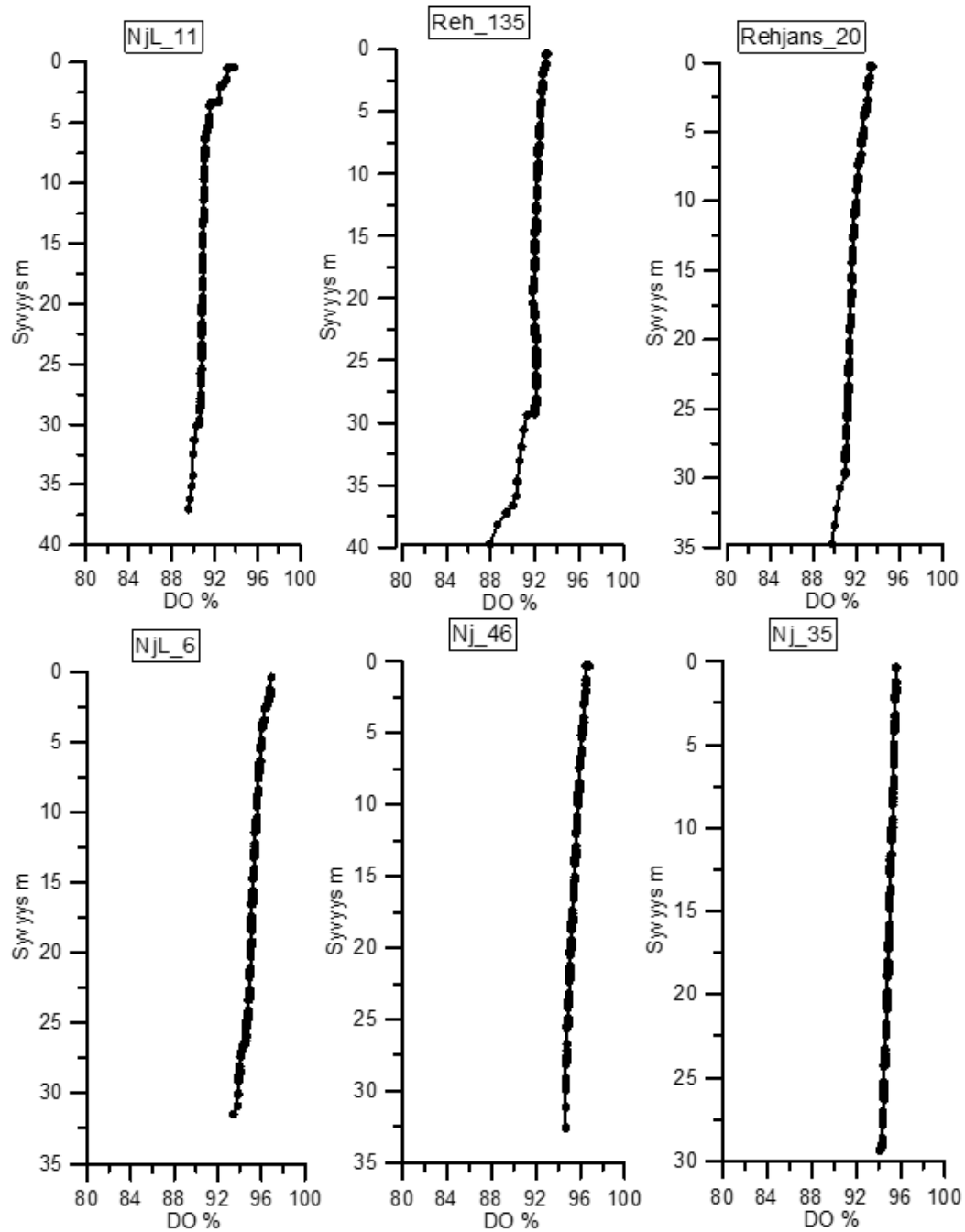


Kuva 23. Sähkönjohtavuuden muutos\_% ylemmän ja pohjanläheisen vesikerroksen välillä. Punaisten symbolien kohdalla sähkönjohtavuus kasvaa syvyyden kasvaessa (Kuva 29) kun taas sinisten symbolien kohdalla tilanne on päinvastainen (Kuva 31). Lokakuun aineisto.

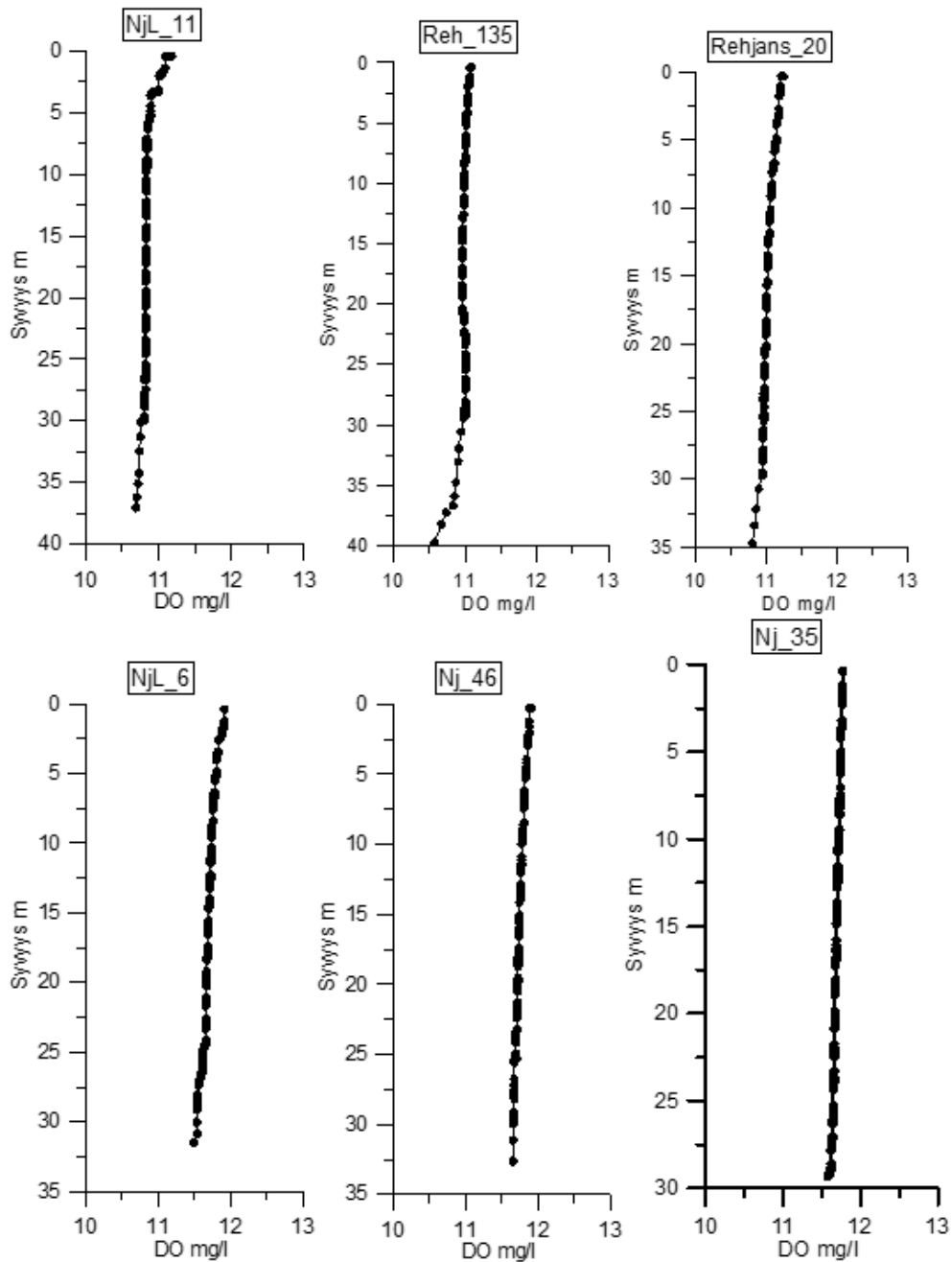


Kuva 24. Lämpötilan muutos\_% ylemmän ja pohjanläheisen vesikerroksen välillä. Punaisten symbolien kohdalla lämpötila kasvaa syvyyden kasvaessa (Kuva 29) kun taas sinisten symbolien kohdalla tilanne on päinvastainen (Kuva 31). Lokakuun aineisto.

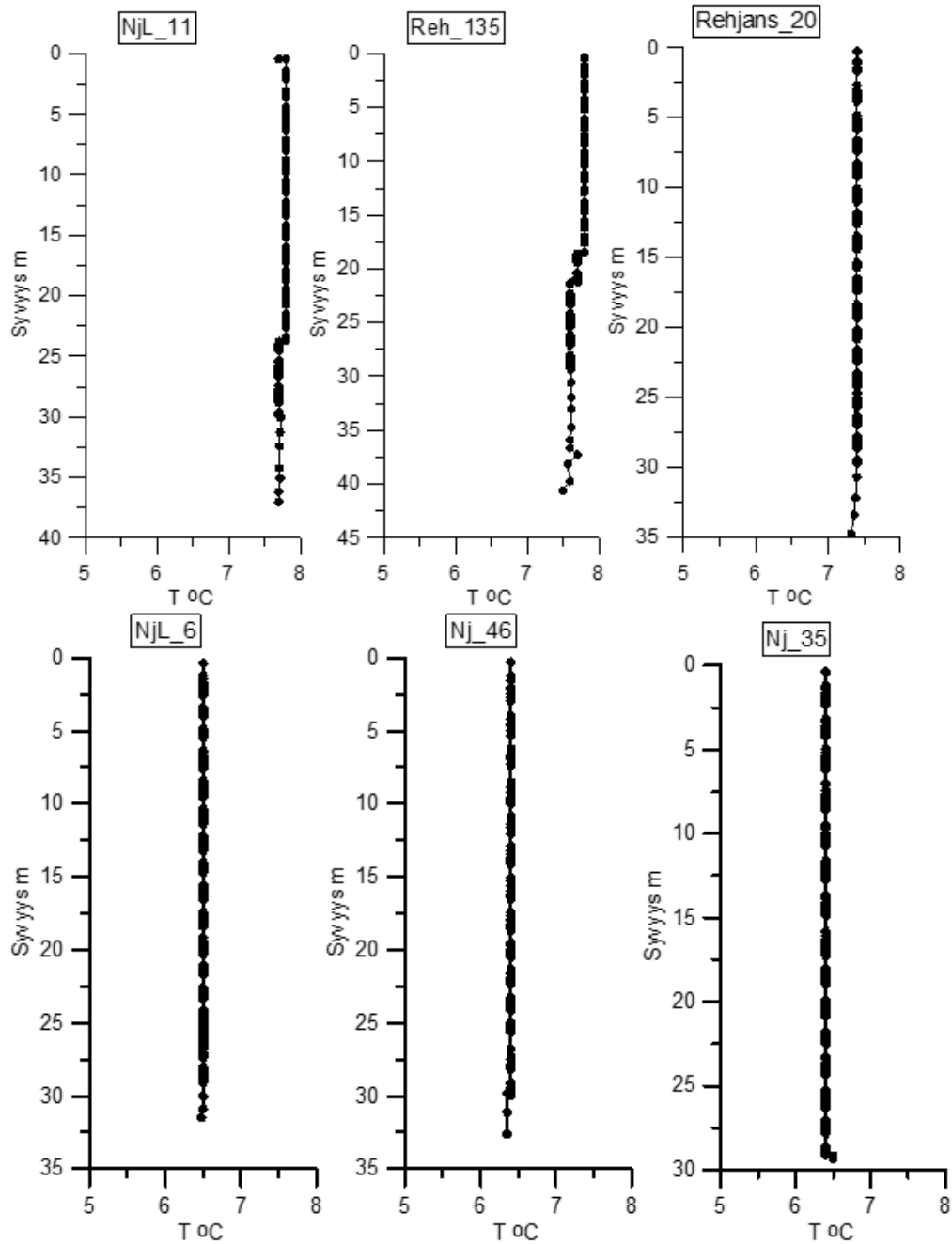




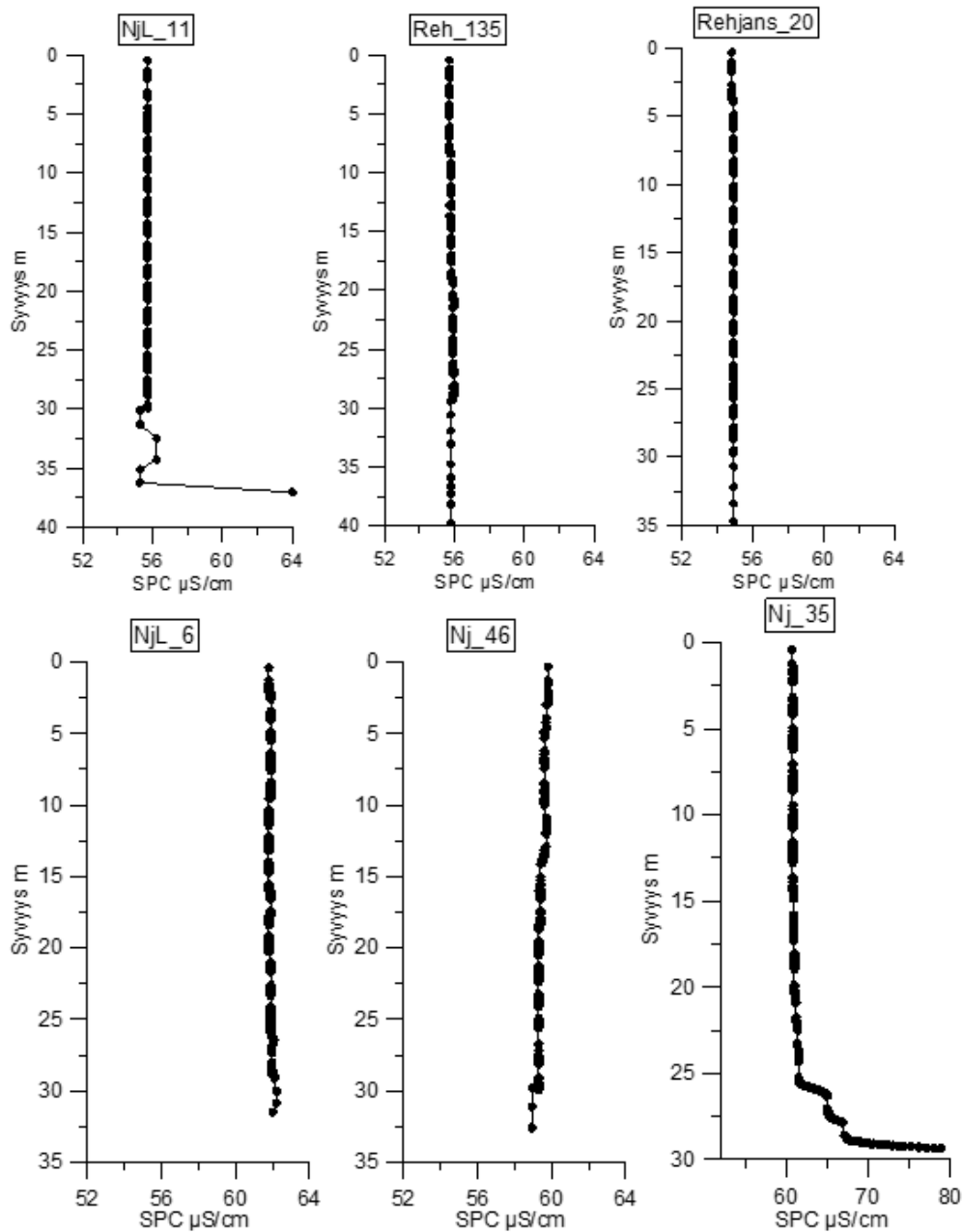
Kuva 25. Happi-% muutamissa Rehjan ja Nuasjärven syvänneprofileissa lokakuussa.



Kuva 26. Happi muutamissa Rehjan ja Nuasjärven syvänneprofiileissa lokakuussa.

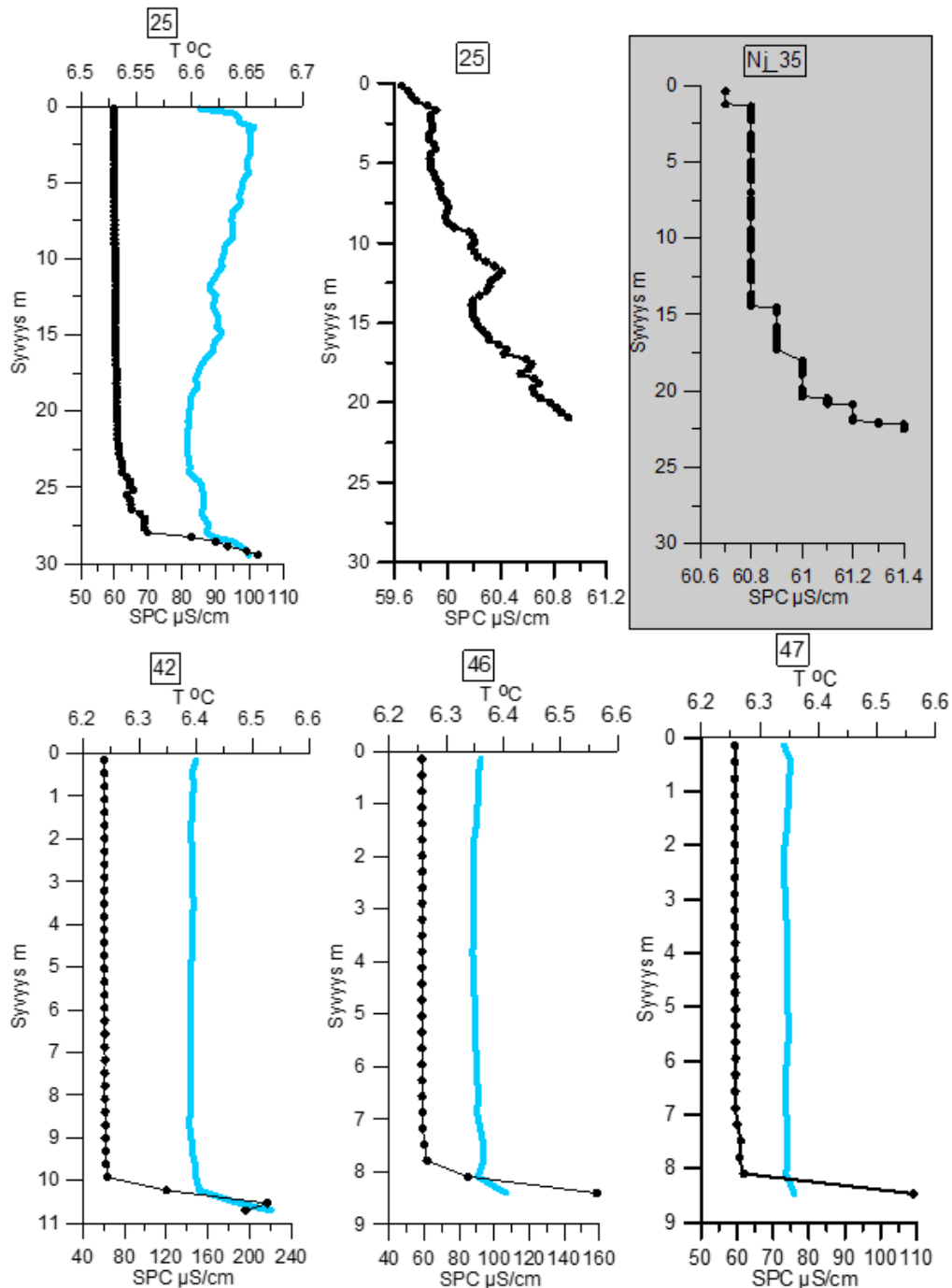


Kuva 27. Veden lämpötila muutamissa Rehjan ja Nuasjärven syvänneprofiileissa lokakuussa.

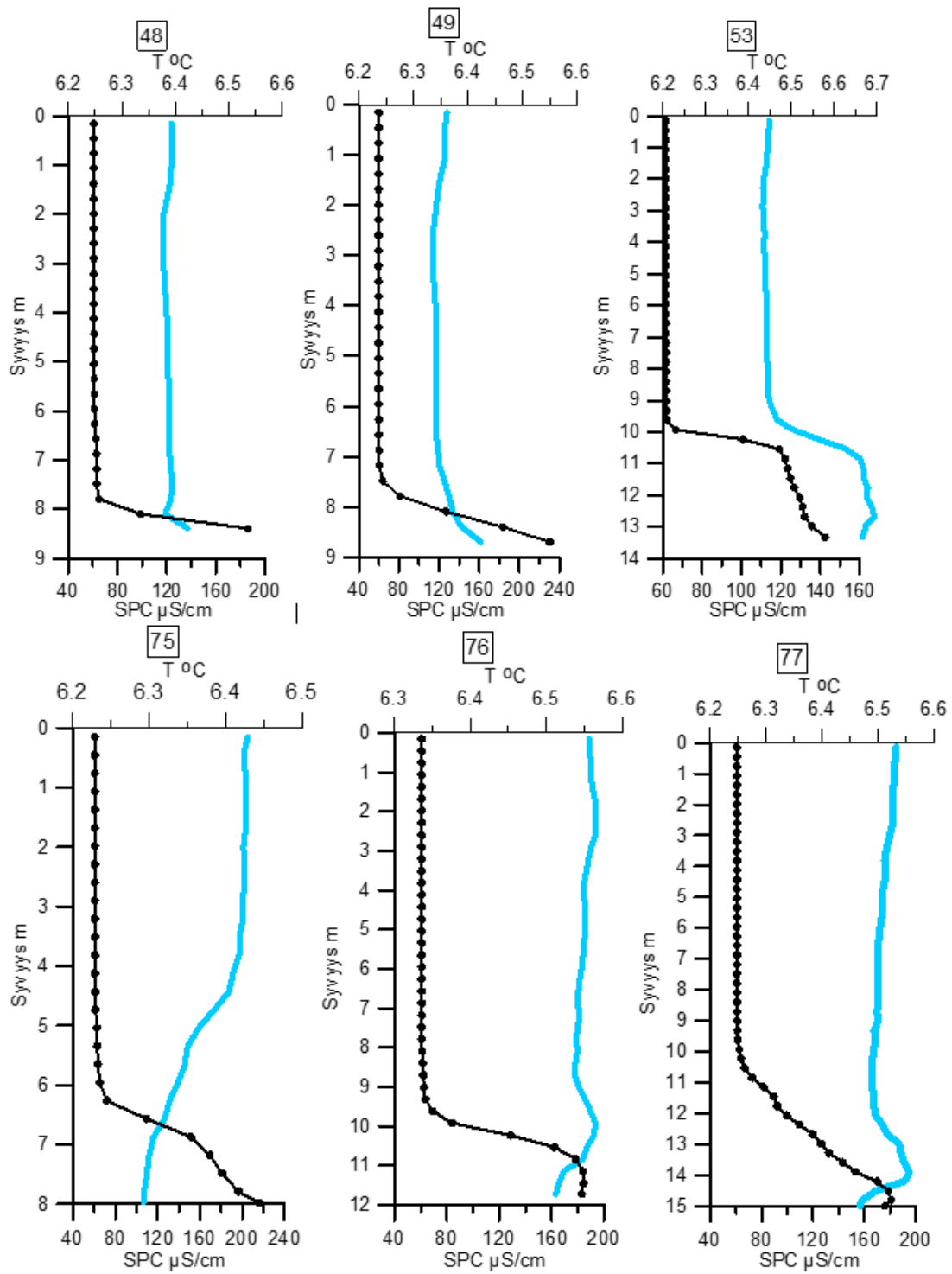


Kuva 28. Sähkönjohtavuus muutamissa Rehjan ja Nuasjärven syvänneprofiileissa lokakuussa. YSI-mittari. Nj35 pisteestä on mitattu myös CastAway-mittarilla profiili 25 (Kts. kuva 29).

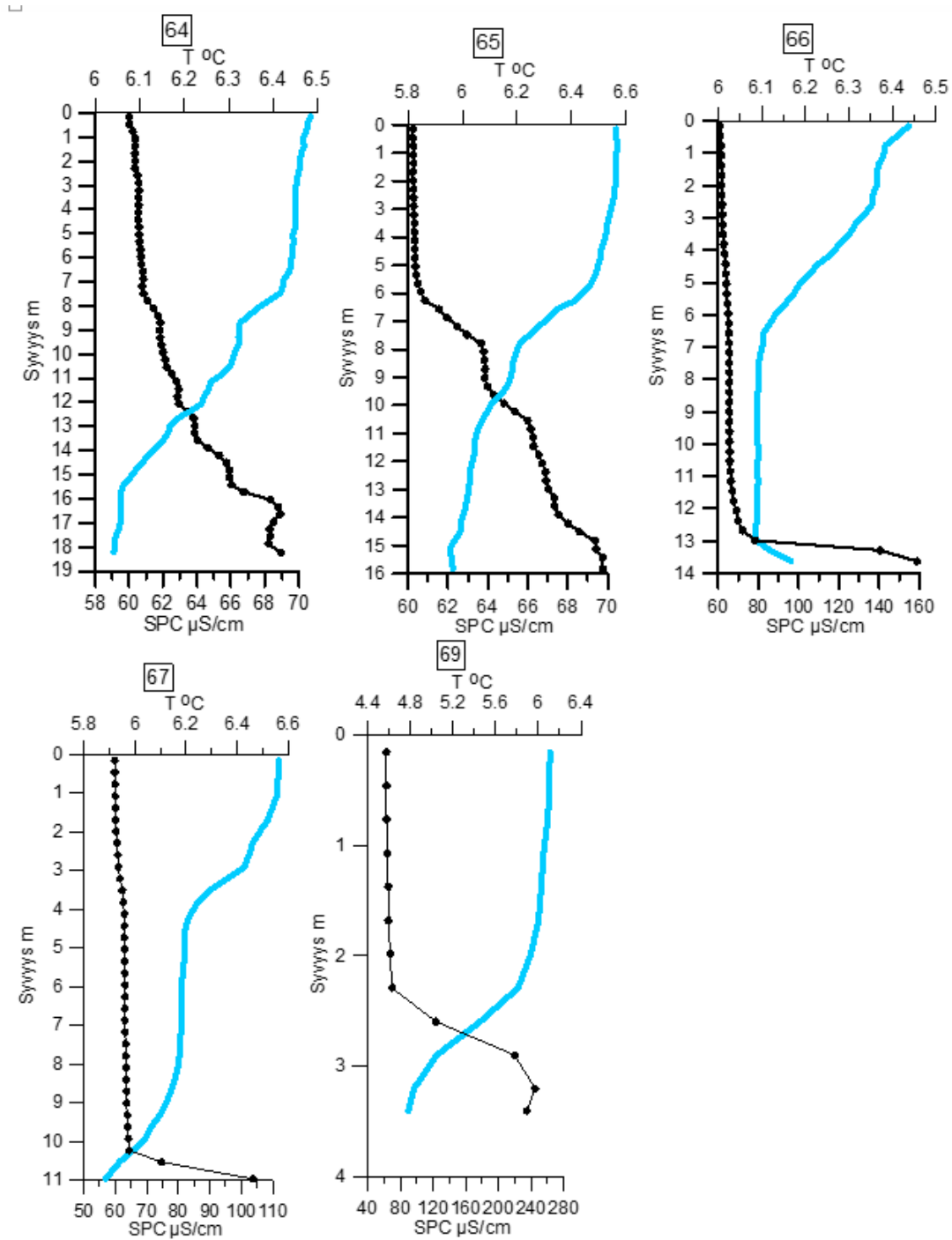




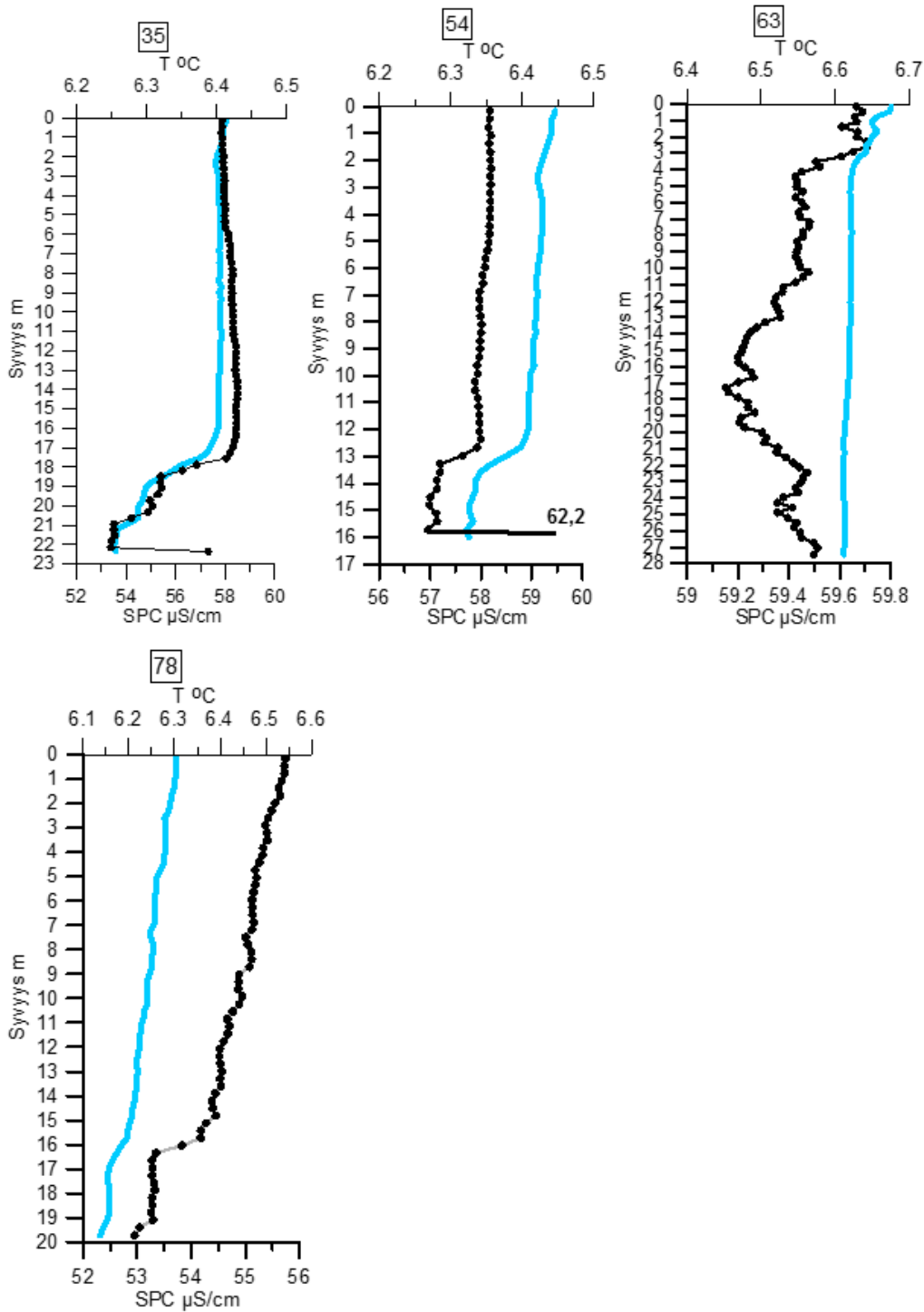
Kuva 29. Sähkönjohtavuus (musta) ja veden lämpötila (sininen) muutamissa Nuasjärven CastAway-mittauspisteissä lokakuussa. Suurimpia arvoja tavataan pohjan läheisessä kerroksessa. Tilanne on päinvastainen kuin kuvissa 30 ja 31. Vertailun vuoksi on samasta pisteestä mitatut CastAway- (25) ja YSI profiili (Nj35, harmaa tausta) on esitetty vierekkäin. Molemmissa mittauksissa näkyvää alkavaa sähkönjohtavuuden kohoamista esiintyy jo syvyydellä 15 m.



Kuva 29. Jatkuu...

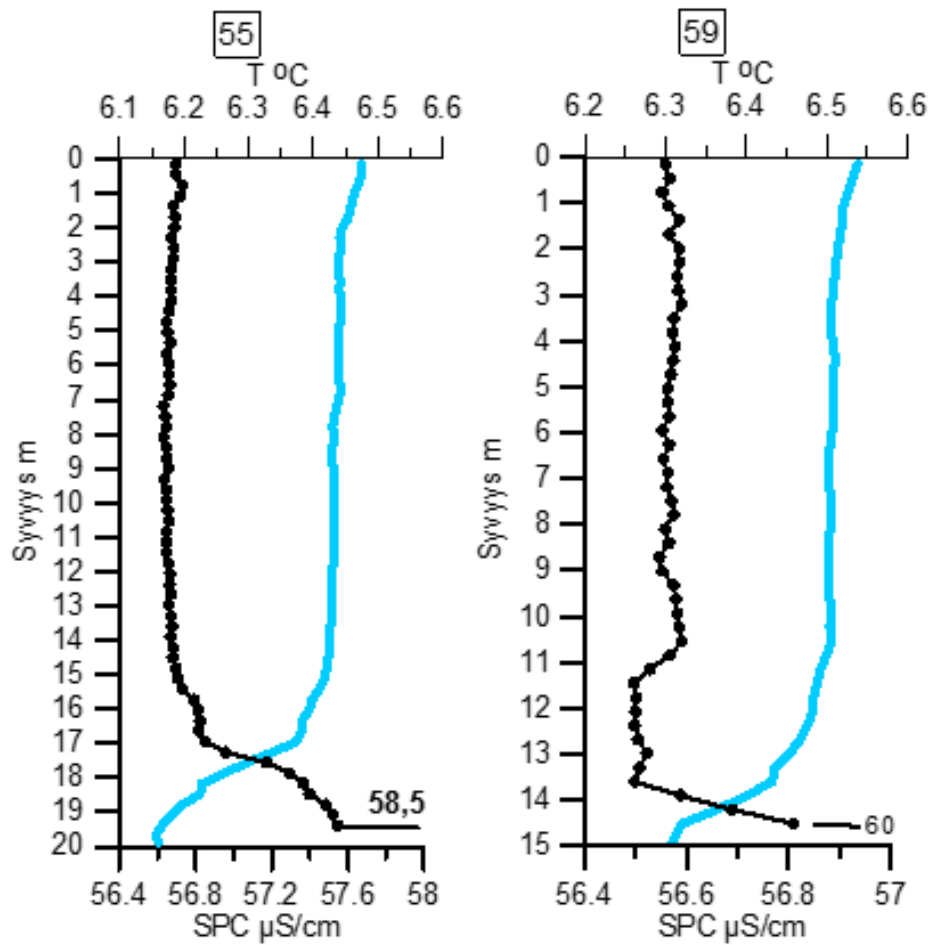


Kuva 30. Sähkönjohtavuus (musta) ja veden lämpötila (sininen) Jormasjoen CastAway-mittauspisteissä lokakuussa. Kylmä ja sulfaattikuormitteinen vesi on kertynyt pohjan tuntumaan.

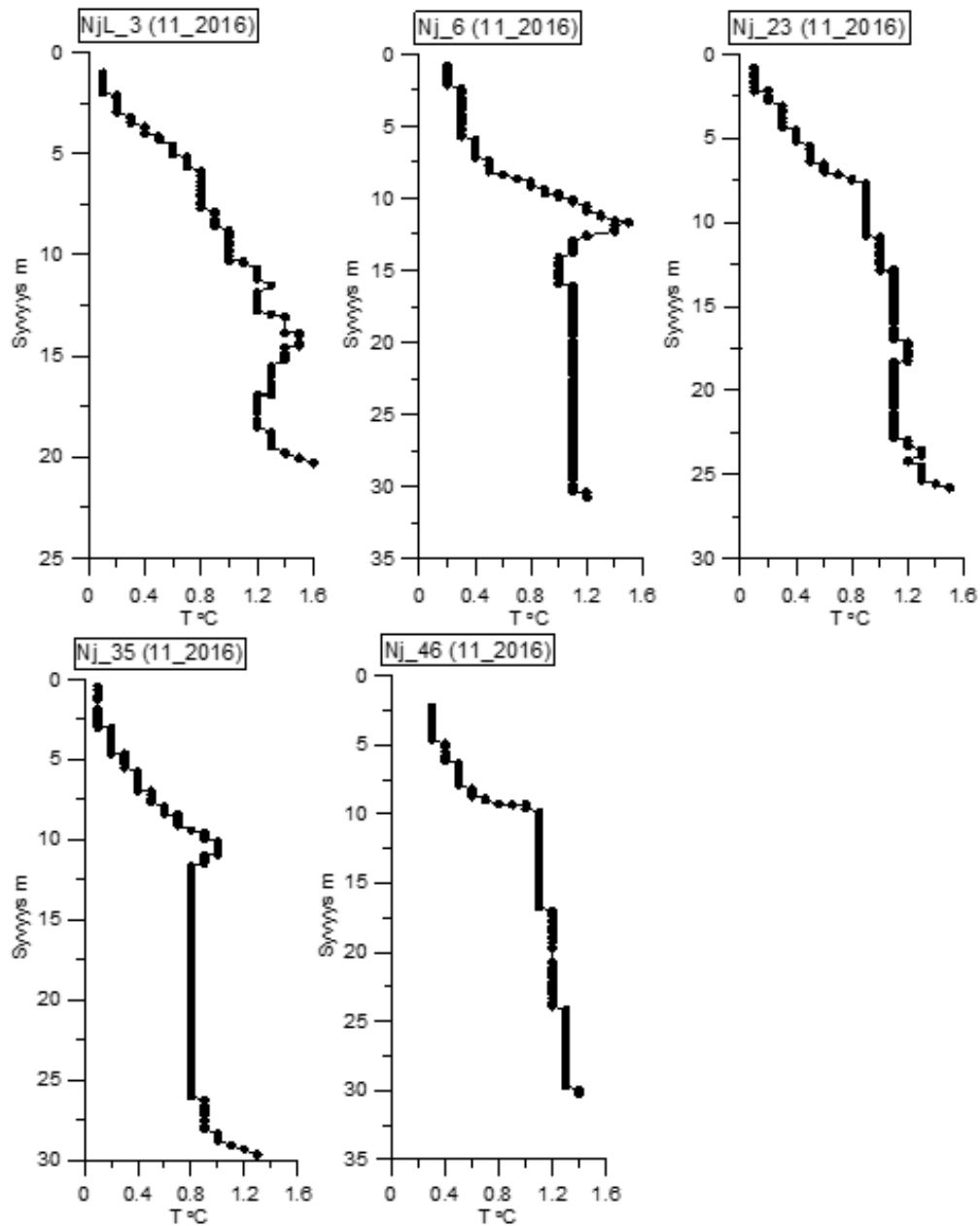


Kuva 31. Sähkönjohtavuus (musta) ja veden lämpötila (sininen) muutamissa Nuasjärven CastAway-mittauspisteissä lokakuussa. Näissä kohteissa pienimpiä sähkönjohtavuusarvoja ja alhaisimpia lämpötiloja tavataan lähellä pohjaa. Vrt. Kuva 29, jossa tilanne on päinvastainen. Kts. kaavamainen esitys virtauksista Kuvassa 45.

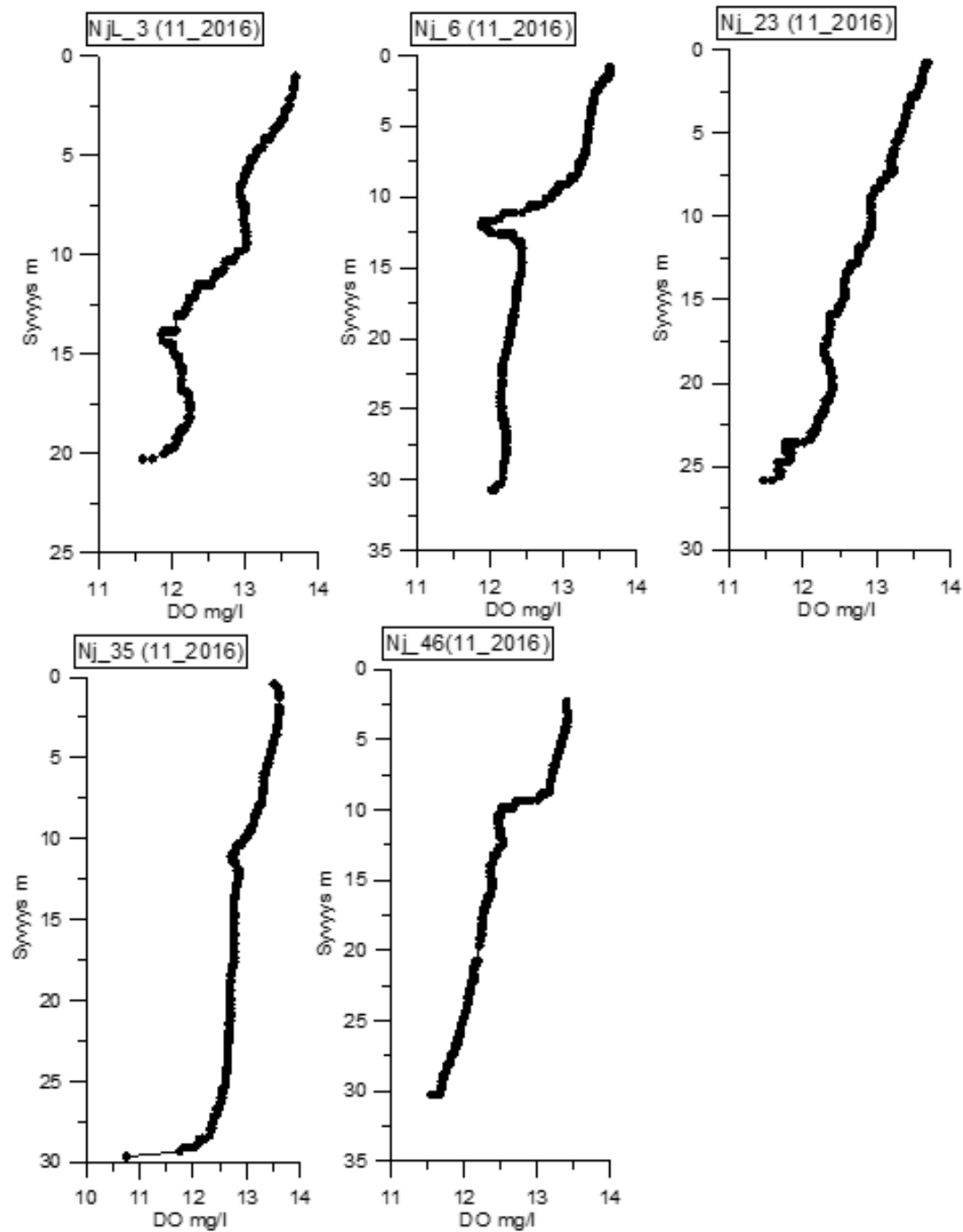




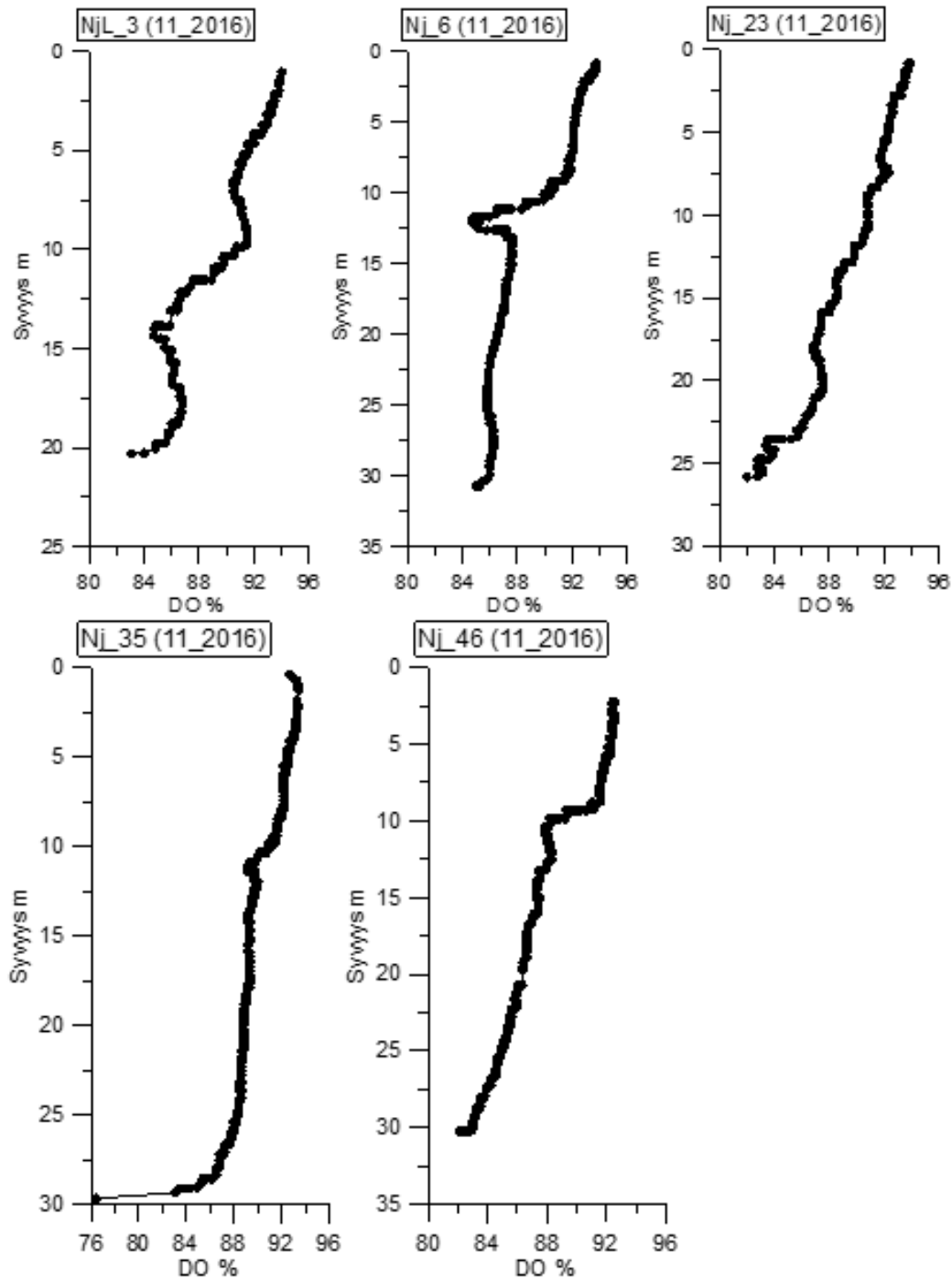
Kuva 32. Sähkönjohtavuus (musta) ja veden lämpötila (sininen) Nuasjärven pohjoisosan kahdessa CastAway-mittauspisteessä lokakuussa.



Kuva 33. Veden lämpötila Nuasjärven syväneprofiileissa marraskuussa. YSIDSS-mittaus.

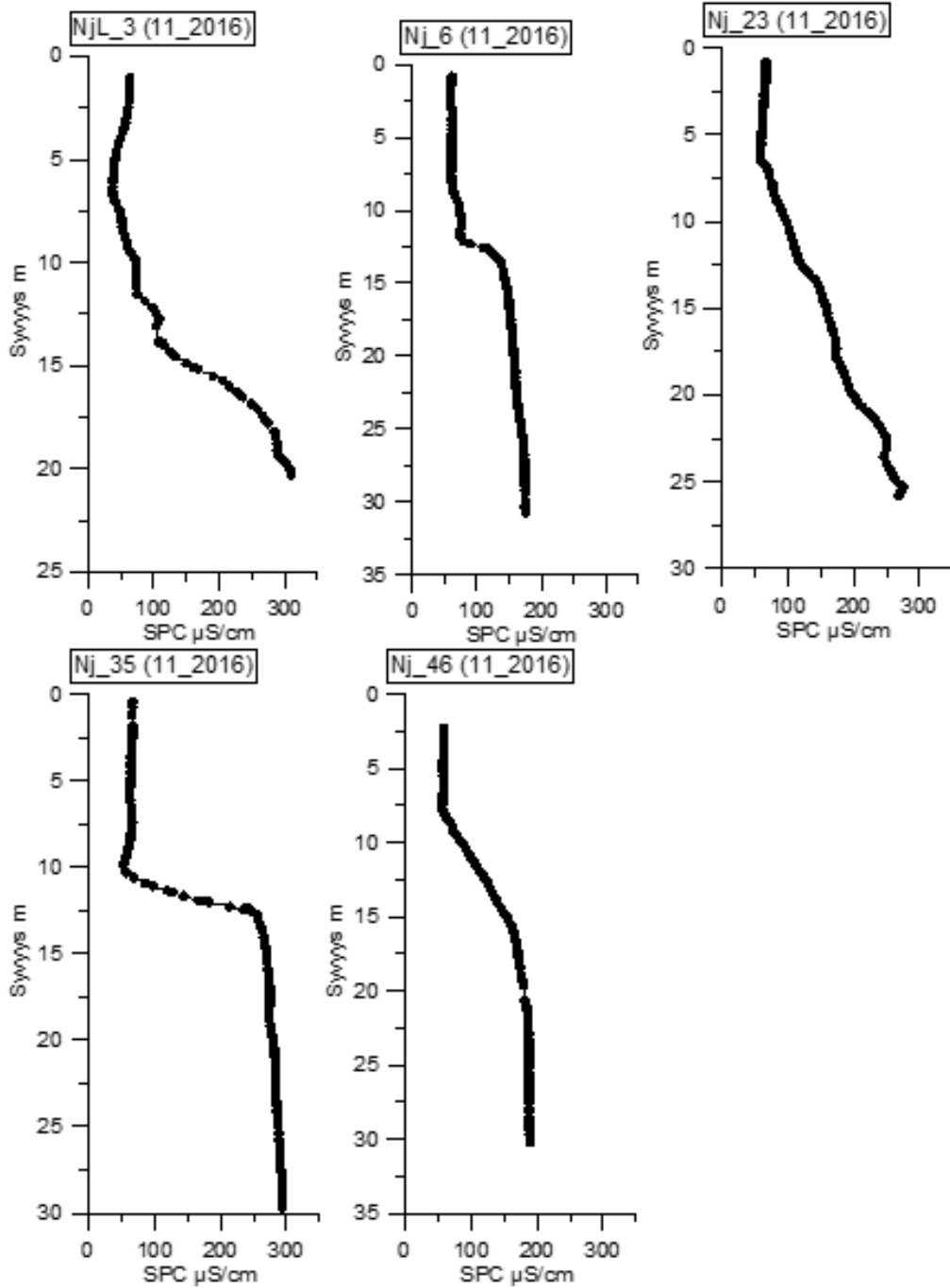


Kuva 34. Happipitoisuus Nuasjärven syväneprofileissa marraskuussa. YSIDSS-mittaus.

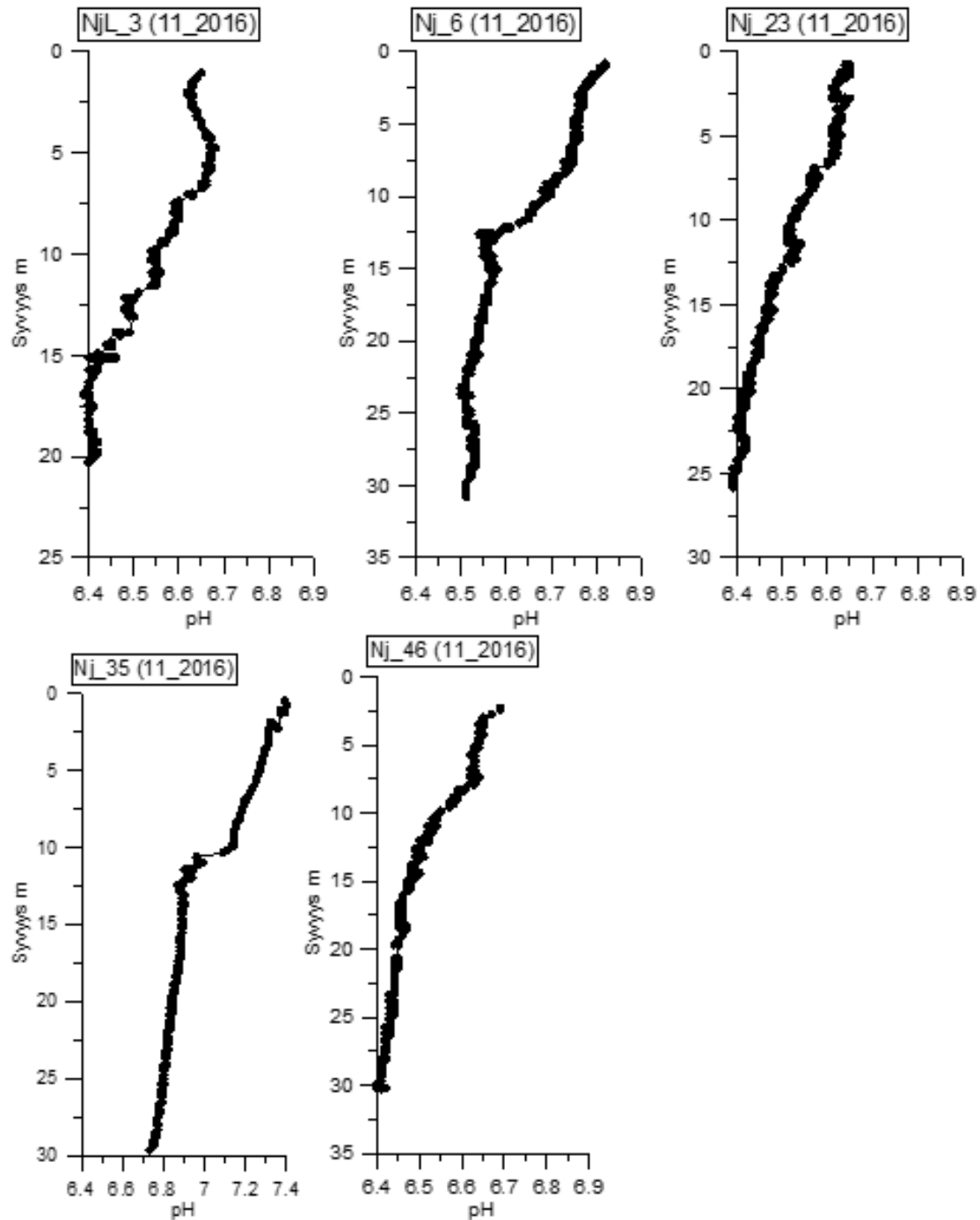


Kuva 35. Hapen prosenttiosuus Nuasjärven syvänneprofiileissa marraskuussa. YSIDSS-mittaus.

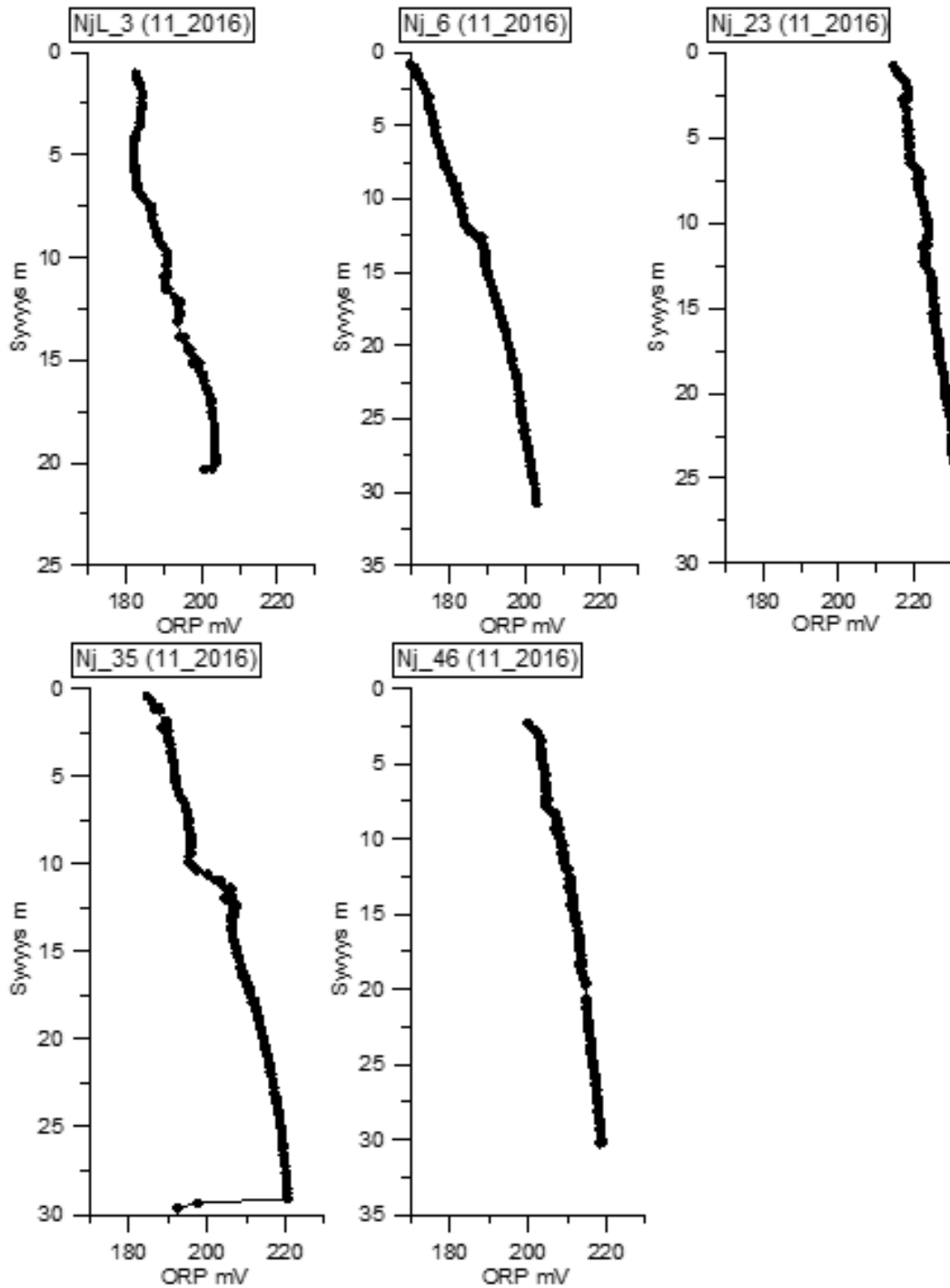




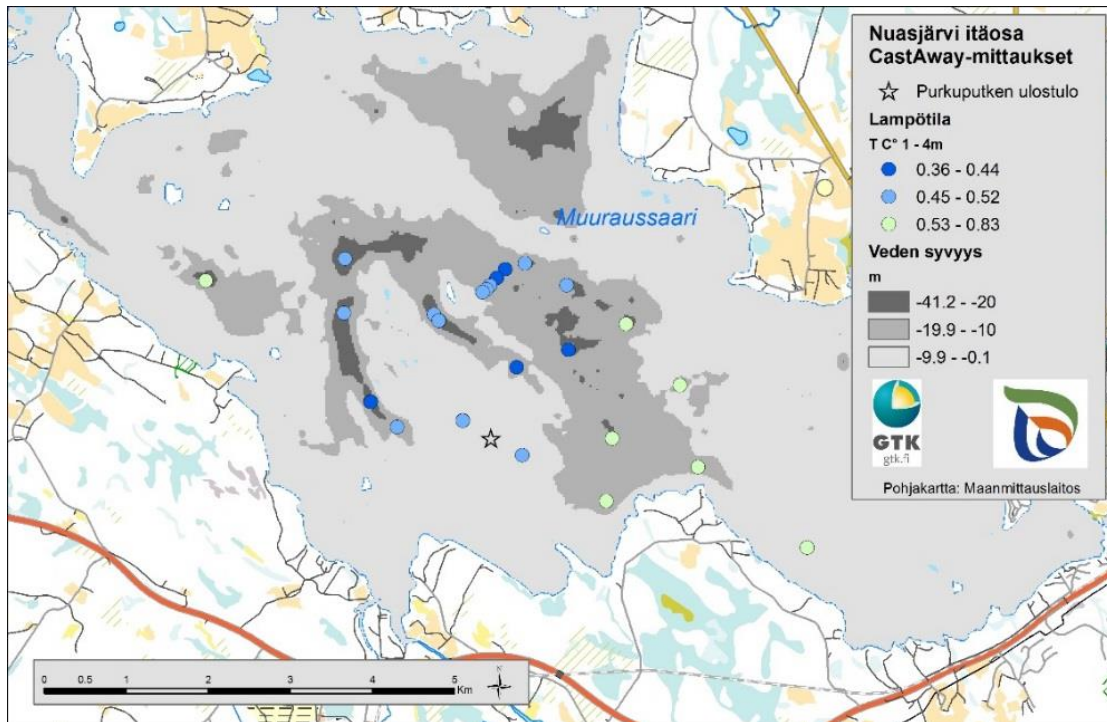
Kuva 36. Sähkönjohtavuus Nuasjärven syvänneprofiileissa marraskuussa. YSIDSS-mittaus.



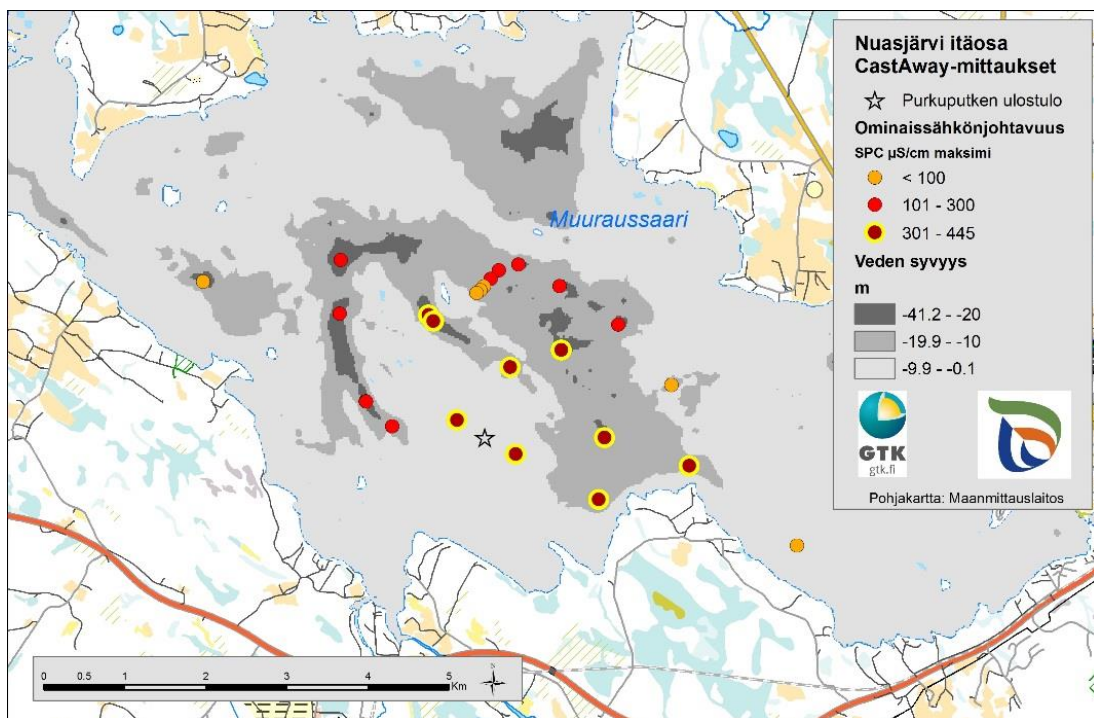
Kuva 37. pH Nuasjärven syvännepiireissa marraskuussa. Pisteessä Nj35 ei pH-elektrodi ole tasapainottunut vielä 20 min aikana (< 10 m). YSIDSS-mittaus.



Kuva 38. Redox-potentiaali, ORP, Nuasjärven syvänneprofiileissa marraskuussa. YSIDSS-mittaus.

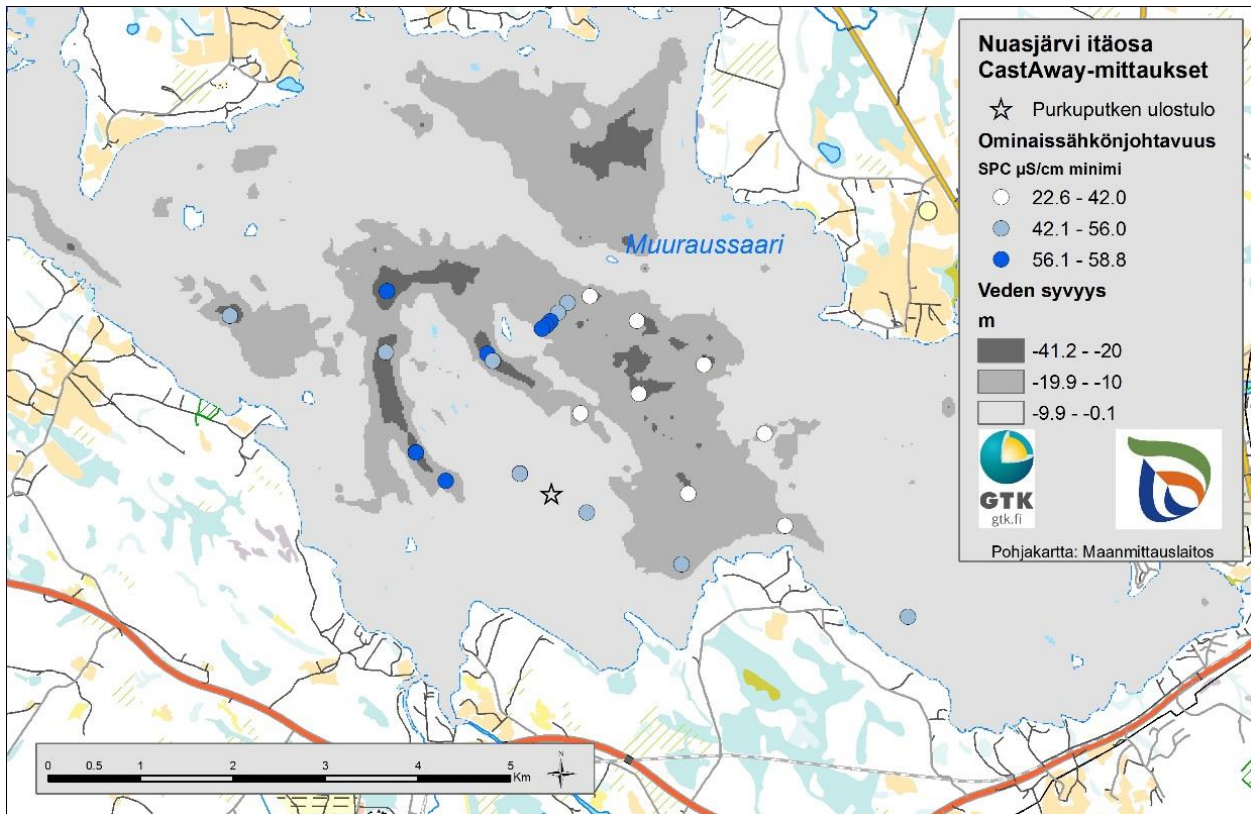


Kuva 39. Lämpötilajakauma vedessä 1 – 4 m syvyydellä marskuussa. ”Lämpimintä” vesi on järven itäosassa, ja tilanne on siten päinvastainen kuin lokakuussa (Kuvat 15 ja 16)

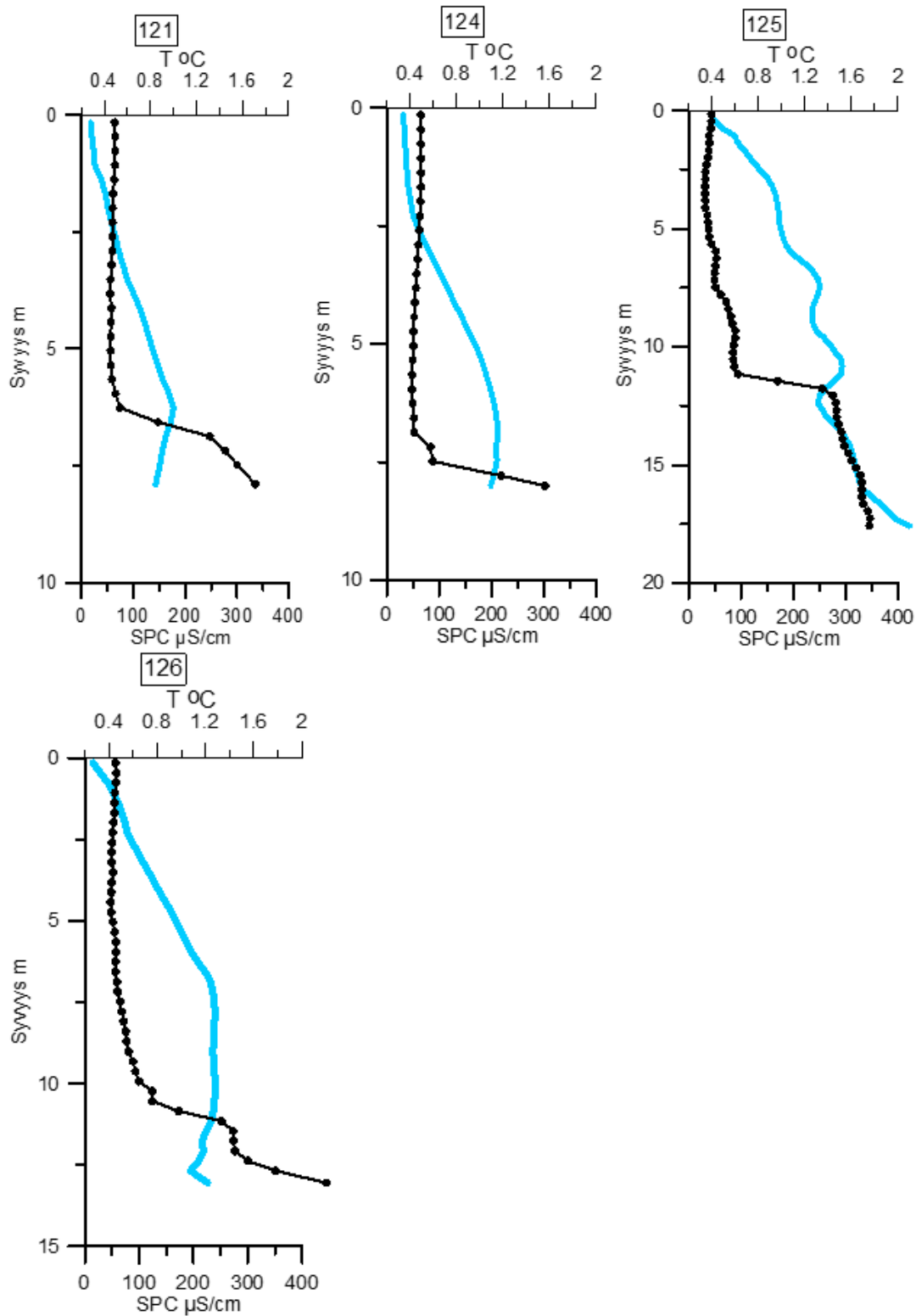


Kuva 40. Veden sähkönjohtavuuden maksimiarvot marraskuun mittauksissa. Maksimiarvot sijoittuvat järven pohjaosiin (Kts. Kuva 42).

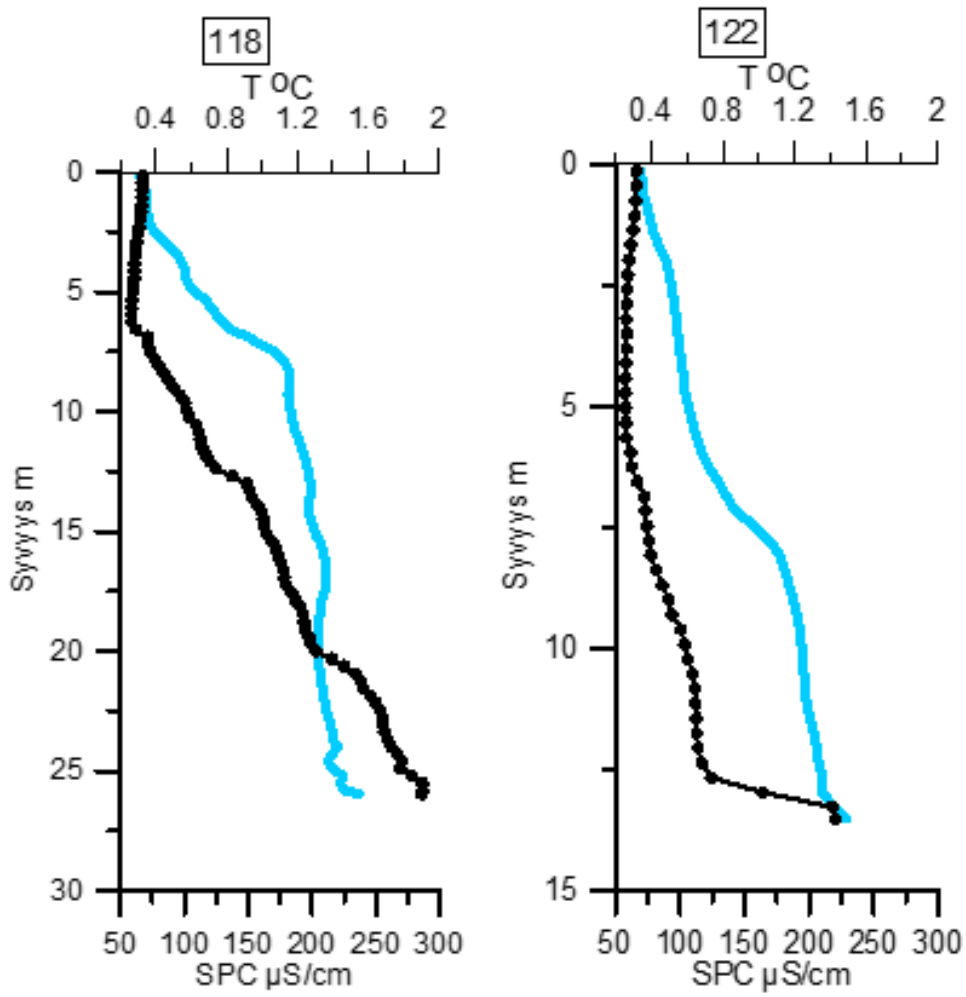




Kuva 41. Sähkönjohtavuuden minimiarvot marraskuun mittauksissa. Minimiarvot sijoittuvat n. 8 m syvyyteen – eli puhtain, Sotkamon reitiltä tuleva vesi virtaa n. 8 m syvyydellä (Kts. Kuvat 44 ja 46).

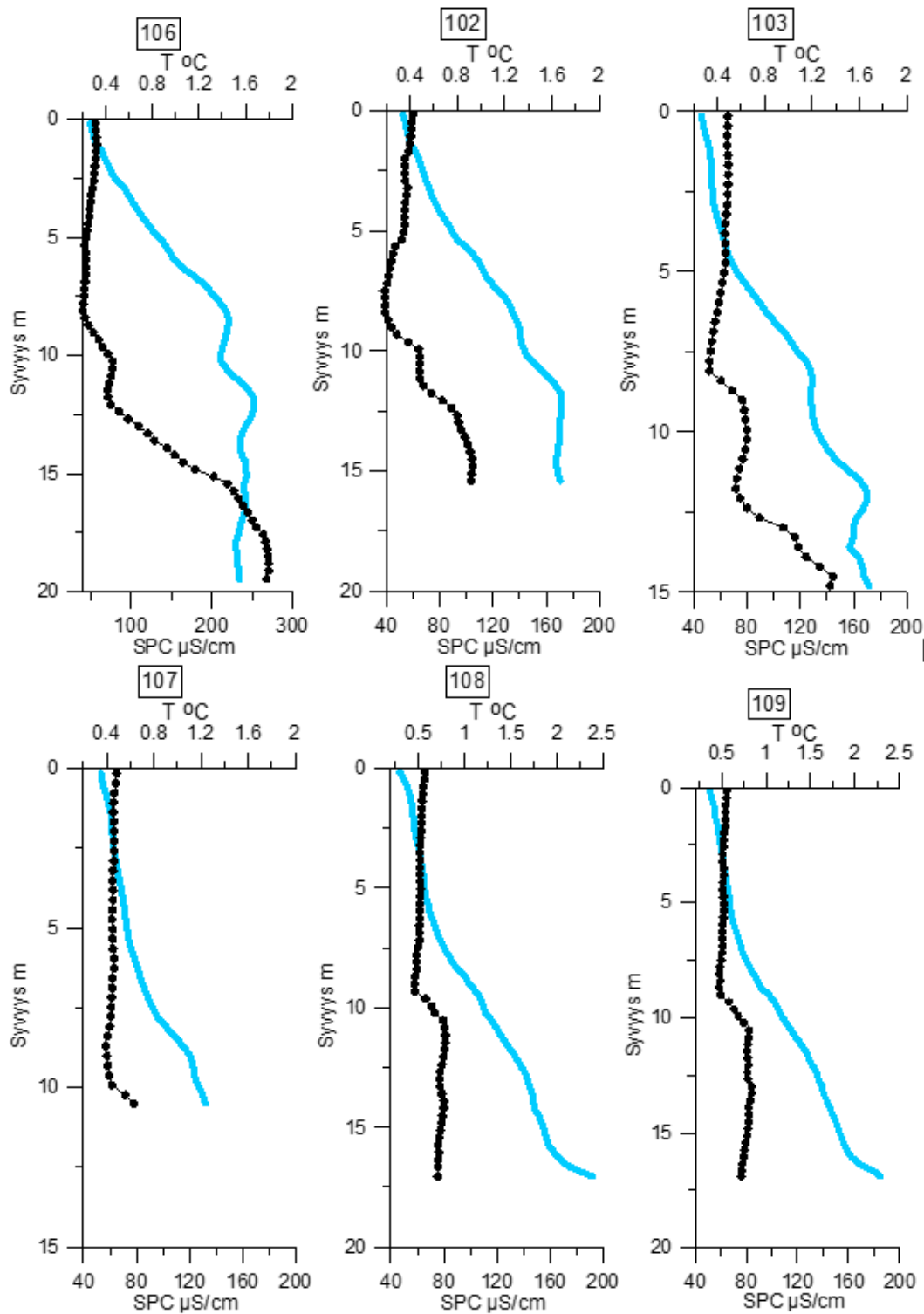


Kuva 42. Purkuputken lähistön ja itäpuoleisen voimakkaasti kuormittuneen alueen sähkönjohtavuus- (musta) ja lämpötilakuvaajat (sininen).

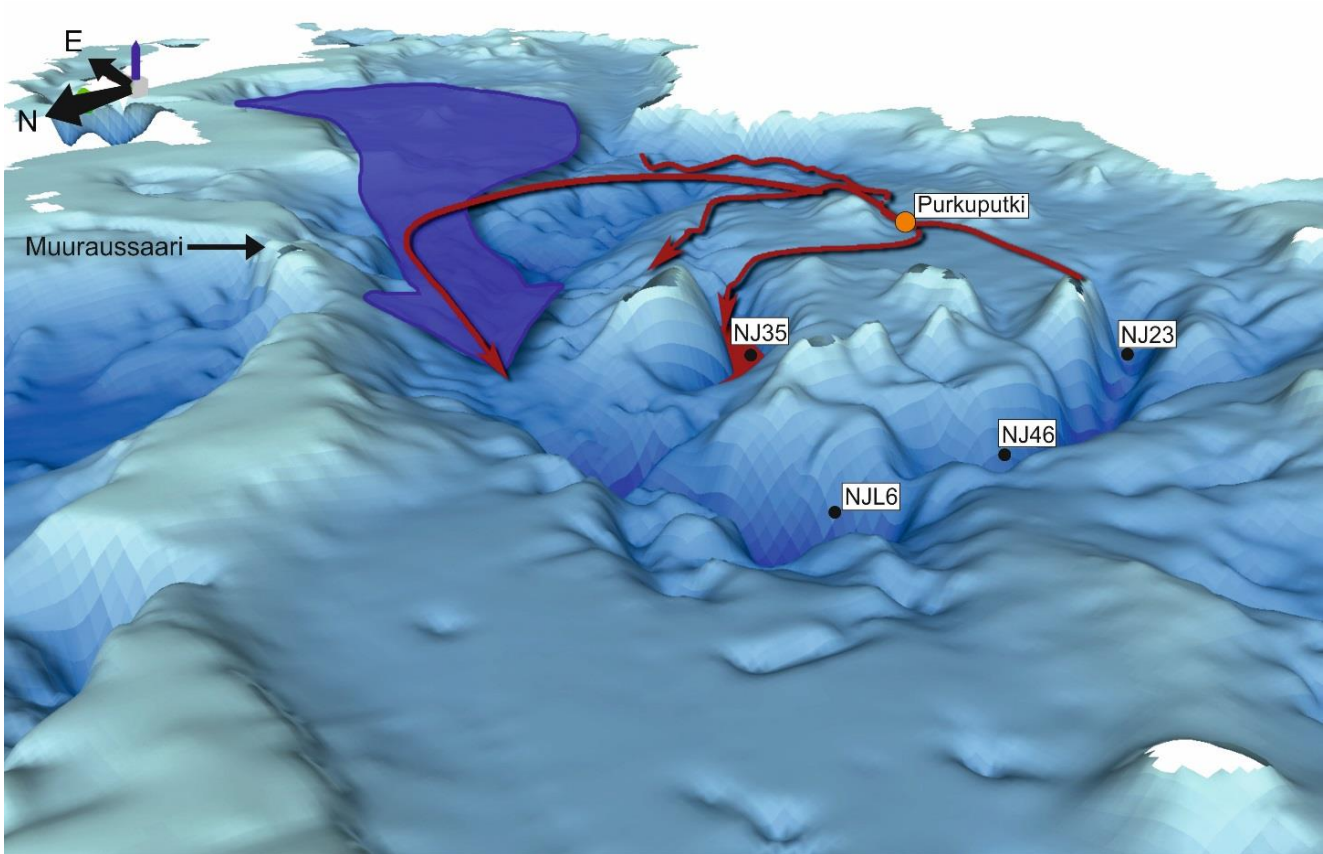


|

Kuva 43. Sähkönjohtavuus (musta) ja veden lämpötila (sininen) marraskuussa Jormasjokisuun edustalla sijaitsevassa kahdessa pisteessä.

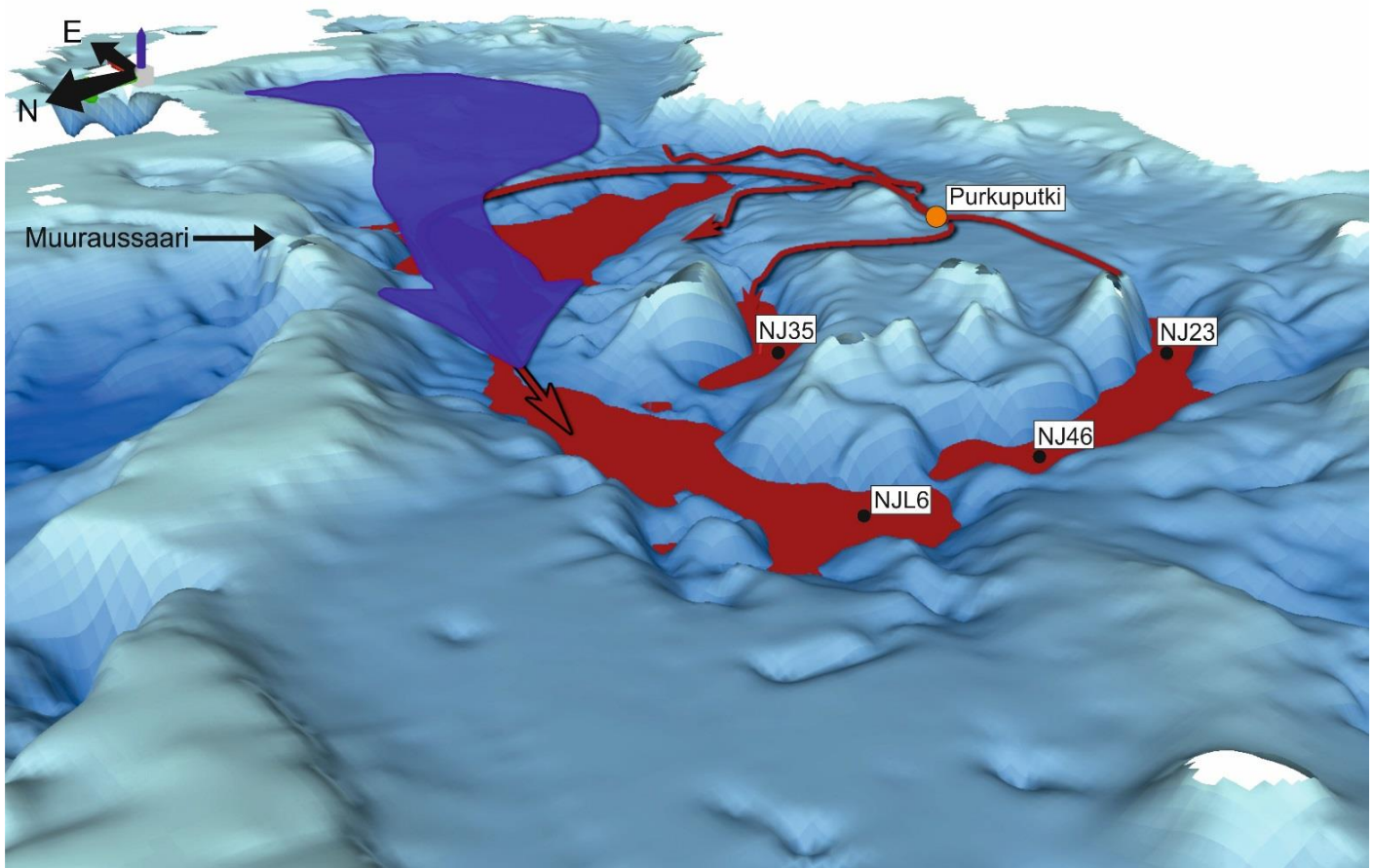


Kuva 44. Sähkönjohtavuus (musta) ja veden lämpötila (sininen) marraskuussa Muuraussaaren lounaispuolen mittauspisteissä (Kuva 40). Sähkönjohtavuusarvot ovat pienimmillään n. 8 m syvyydellä ja suurimmillaan pohjan lähellä järjestyksessä 106, 102, 103, 107, 108 ja 109. Vastaavasti pohjan läheisen veden lämpötila lisääntyy. Kts. Kuvat 41 ja 46.

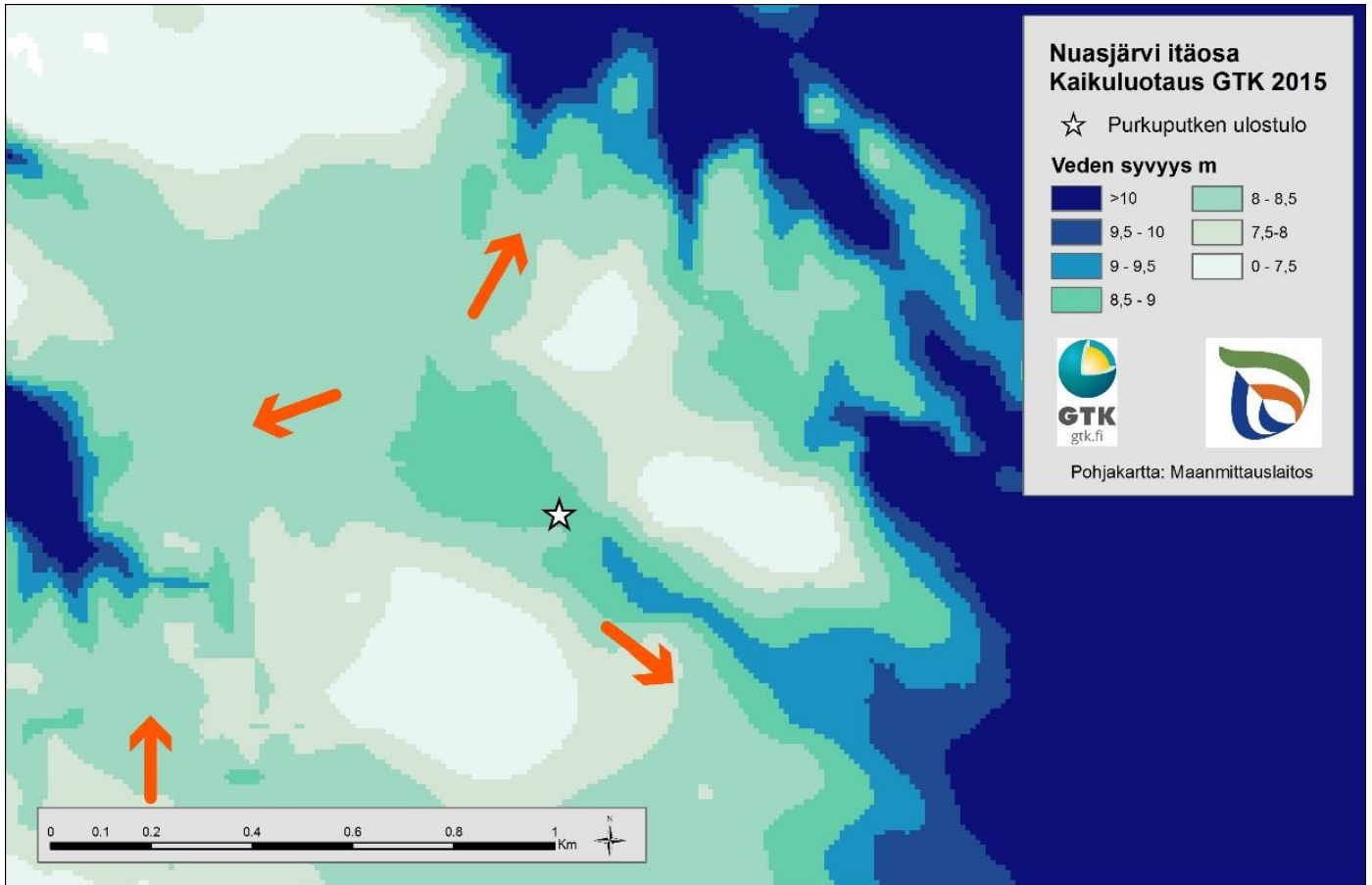


Kuva 45. Kaavamainen 3D-esitys Nuasjärvestä syyskierron aikaan. Kuvan suunta luoteesta kaakkoon. Puhdas, Sotkamon reitiltä tuleva vesi (sininen nuoli) virtaa pohjan tuntumassa. Sen päällä on heikosti sulfaattikuormitteista vettä (punainen nuoli) Kts. Kuva 31. Enin sulfaattikuormitus suuntautuu purkupuutken itäpuolelle ja syvänteeseen Nj35. Kuvan mukaan piste Nj\_35 sijaitsee muista pohjavirtauspaikoista erillisessä syvänteessä ja siellä on alkavaa sulfaattikuormitusta (punainen).

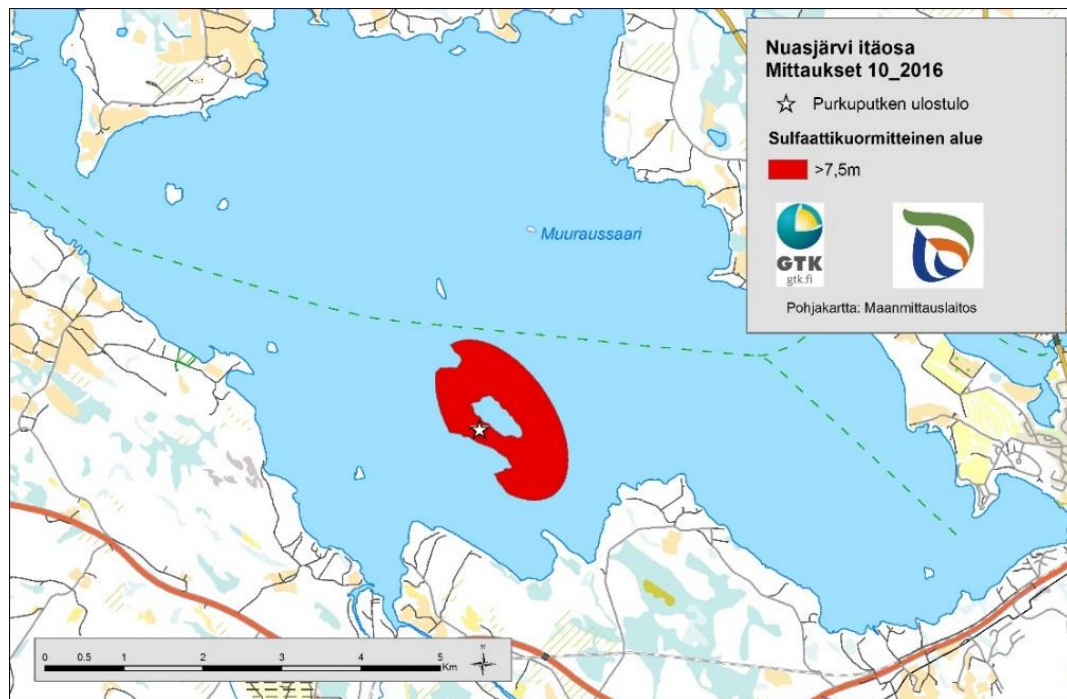




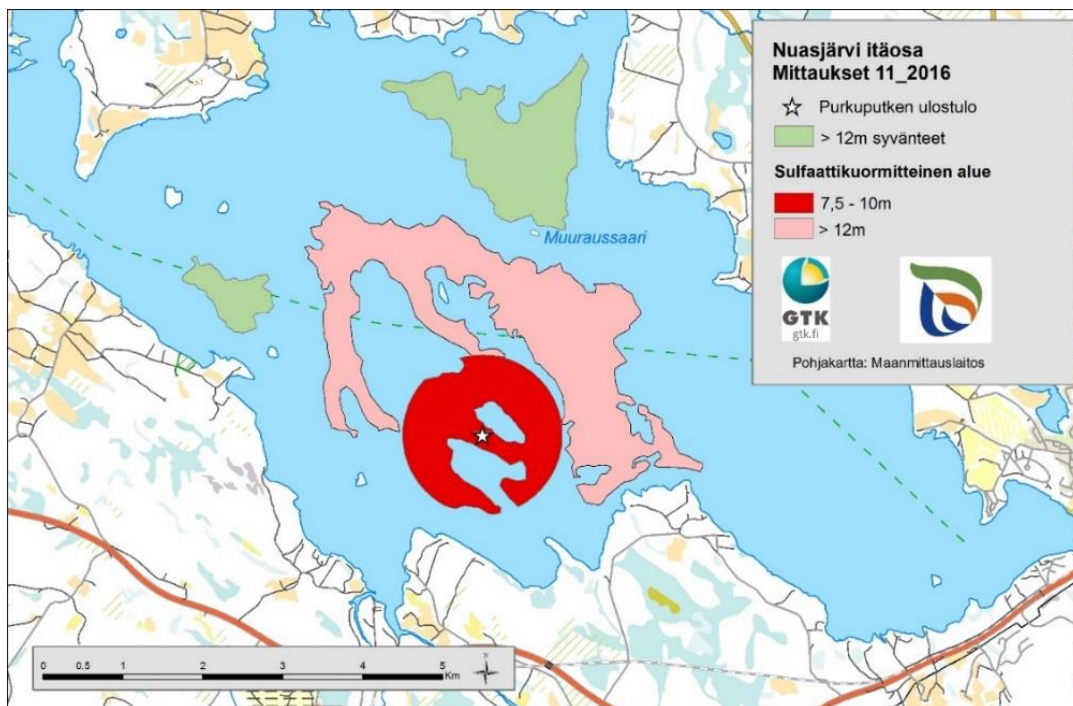
Kuva 46. Kaavamainen 3D-esitys Nuasjärvestä alkutalvesta jääpeitteen muodostumisen jälkeen. Sulfaattipitoinen vesi on täyttänyt kaikki > 12 m syvänealueet purkupuutken ympäristössä muodostaen siten kemiallisen kerroksellisuuden (punainen). Purkupuutkesta tuleva vesi virtaa pohjanmyötäisesti erityisesti luoteis-kaakko-sektorille, josta se vasenkätisen virtauksen vaikutuksesta etenee kohti pohjoista/luodetta (punaiset nuolet, kts. Kuvat 41 ja 44). Osa kuormituksesta kohdistuu suoraan kohti syvännettä Nj35. Puhdas Sotkanselältä tuleva vesi virtaa sulfaattikuormitteisen veden päällä (sininen nuoli)



Kuva 47. Pohjan topografia purkupuutken lähialueilla. Kuvassa on korostettu 7,5 – 10 m syvyysalueet, koska purkupuutken sijaitsee n. 9 m syvyydellä ja sulfaattikuormitteisen veden kerrospaksuus on enimmillään n. 1,5 m. Kuvan mukaan pohjan topografiassa on n. 0,5 m kaade/korkeusero kaakkoon purkupuutken lähiympäristössä, joten pelkän topografian perusteella kuormitus on suurin kaakon suuntaan. Loiva topografia kuitenkin mahdollistaa sulfaattipitoisen veden virtaamisen purkupuutken kohdalta myös länteen ja pohjoiseen (punaiset nuolet). Sulfaattikuormitusta tulee alueelle myös Jormasjoesta (eteläisin nuoli).



Kuva 48. Arvio sulfaattikuormitteisesta alueesta lokakuussa 2016 syyskierron aikaan. Alue on yli 7,5 m syvyydellä ja pinta-ala 190 ha.



Kuva 49. Kaavamainen esitys sulfaattikuormitteisista alueista Nuasjärvellä marraskuussa 2016. Punainen alue = purkuputkesta 1 km säteellä oleva alue, joka on yli 7,5 m syvydessä ja jossa on sulfaattikuormitusta; vaaleanpunainen alue = yli 12 m syvyinen alue, jossa on sulfaattikuormitteista vettä. Vihreällä on muut yli 12 m syvänealueet, joissa ei ole sulfaattikuormitusta. Punaisen alueen koko on 246 ha ja vaaleanpunaisen alueen koko on 582 ha.



Taulukko 1. YSI-mittauspisteet loka- ja marraskuussa 2016. Koordinaatit EUREF-FIN-järjestelmässä.

YSI-mittauspiste	Euref_X	Euref_Y	Lokakuu 2016	Marraskuu 2016
Rehjans_20	541166	7117811	X	
NjL_11	542356	7123492	X	
Reh_135	542673	7122072	X	
Nj_37	548453	7117080	X	
NjL_9	550395	7118071	X	
NjL46	551806	7116020	X	X
NjL6	551864	7116609	X	X
Nj_23	552122	7114880	X	X
Nj_35	552957	7115885	X	X
NjL_8	554461	7117149	X	
NjL_3	554503	7115509	X	X
NjL_Extra	555004	7114682	X	
NjL_7	556137	7114083	X	
Jaationl	560708	7113272	X	

Taulukko 2. Lokakuun CastAway-mittauspisteiden koordinaatit EUREF-TM35FIN-järjestelmässä.

ID	Euref_X	Euref_Y	ID	Euref_X	Euref_Y	ID	Euref_X	Euref_Y
1	543394	7126900	31	556103	7113984	61	550413	7118119
2	542078	7124778	32	555312	7113844	62	550390	7118101
3	542399	7123480	33	554983	7113522	63	552606	7116664
4	540655	7122194	34	555003	7114691	64	551697	7114937
5	541701	7122283	35	554506	7115888	65	551817	7114590
6	542657	7122086	36	554533	7115544	66	551684	7114296
7	542654	7122133	37	554549	7115265	67	552013	7114412
8	543159	7119955	38	554544	7115268	68	552296	7114058
9	543157	7119968	39	554806	7115082	69	552584	7113203
10	542444	7119003	40	554645	7114597	70	553218	7113473
11	542595	7118214	41	554682	7114190	71	553605	7113562
12	541152	7117829	42	554622	7113847	72	552954	7113973
13	539264	7118224	43	555020	7113723	73	553219	7114204
14	540498	7117166	44	554846	7113308	74	553439	7114406
15	545900	7119213	45	554188	7113373	75	553463	7114598
16	547276	7118411	46	554195	7113668	76	553565	7115404
17	547270	7118425	47	554194	7113817	77	553519	7115499
18	548449	7117090	48	554192	7113966	78	554638	7116330
19	550151	7116400	49	554133	7114132	79	555249	7115853
20	551866	7116614	50	554097	7114397	80	556286	7115177
21	551812	7116004	51	554097	7114658	81	557161	7115321
22	551848	7115500	52	554095	7114871	82	556993	7115258
23	552135	7114883	53	554076	7115199			
24	552927	7115937	54	554035	7116597			
25	552941	7115944	55	553912	7117214			
26	559263	7113615	56	554484	7117150			
27	560715	7113291	57	554479	7117158			
28	558303	7112514	58	553638	7118338			
29	556710	7113598	59	553652	7118334			
30	556152	7114103	60	552213	7118451			



Taulukko 3. Marraskuun CastAway-mittauspisteiden koordinaatit EUREF-TM35FIN-järjestelmässä.

ID	Euref_Y	Euref_X	ID	Euref_Y	Euref_X
101	7116631	551823	116	7115312	553915
102	7116576	554015	117	7115093	555906
103	7116507	553777	118	7114892	552134
104	7116401	553675	119	7114890	552135
105	7116366	550127	120	7114665	553259
106	7116311	554525	121	7114662	553258
107	7116306	553590	122	7114585	552460
108	7116261	553546	123	7114446	555078
109	7116224	553500	124	7114241	553984
110	7115973	551810	125	7114096	556127
111	7115956	552909	126	7113684	555006
112	7115881	552971	127	7113116	557454
113	7115881	552969			
114	7115838	555248			
115	7115524	554544			

Taulukko 4. Pintaveden koostumuksia Nuasjärven ja Rehjan alueella syyskierron aikaan ennen (2015) ja jälkeen (2016) purkputken asentamista. TOC = orgaaninen hiili, totaali, DOC = orgaaninen hiili, liuennut, SO<sub>4</sub> = sulfaatti, N = typpi, kokonais, Ca = kovuus, P = fosfori, kokonais, Cd = kadmium, liukoinen, Mn = mangaani, totaali, Na = natrium, totaali, Ni = nikkeli, liukoinen, Fe = rauta, totaali, Zn = sinkki, liukoinen. Merkittävimmät pitoisuuslisät vuodesta 2015 vuoteen 2016 on lihavoitu. Mittaukset ja analyysit Ramboll Oy.

	pH	SPC µS/cm	O <sub>2</sub> %	TOC mg/l	DOC mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	N µg/l	Ca mmol/l	P µg/l	Cd µg/l	Mn µg/l	Na µg/l	Ni µg/l	Fe µg/l	Zn µg/l
Nuas_2015	6.6	34	88	11.1	11.6	7.1	349	0.07	11.3	0.015	58	2.0	1.3	384	3.0
Nuas_2016	6.8	<b>56</b>	87	10.5	10.3	<b>15.5</b>	316	<b>0.11</b>	8.6	0.015	<b>75</b>	<b>3.3</b>	1.2	368	2.7
Rehja_2015	6.6	32	90	11.2	11.2	6.6	348	0.06	6.5	0.015	41	1.8	1.5	314	2.5
Rehja_2016	6.9	<b>62</b>	88	10.0	10.0	<b>15.0</b>	325	<b>0.11</b>	7.1	0.015	<b>84</b>	<b>3.4</b>	1.4	335	<b>7.1</b>

Taulukko5. Vesianalyysitulokset. Lokakuussa otettu näyte (VE\_JEM\$-2016-13.1) sijaitsee seurantapisteessä Nj35 (Kuva 1a) Marraskuussa otetut näytteet (VE\_JEM\$-2016-14.1, VE\_JEM\$-2016-15.1) sijaitsevat seurantapisteissä NjL6 ja Nj35, Kuva 2). Liukoinen alkuainepitoisuus \_L = monialkuainemääritys ICP-MS-tekniikalla SFS-EN ISO 17294-2; ICP-OES-tekniikalla, SFS-EN ISO 11885; anionien määritys IC-tekniikalla; SFS-EN-ISO 10304-1; Elohopean määritys vedestä AFS-tekniikalla ISO 17852; Totaalipitoisuus, monialkuainemääritys märkäpoltetusta vesinäytteestä ICP-MS-tekniikalla, SFS-EN ISO 17294-2; Labtium Oy.

	Ag_L	Al_L	As_L	B_L	Ba_L	Be_L	Bi_L	Cd_L	Co_L	Cr_L	Cu_L	I_L	Li_L	Mn_L	Mo_L	Ni_L	P_L	Pb_L
Määrittäysraja	0.01	1	0.05	5	0.05	0.05	0.5	0.02	0.02	0.2	0.1	2	0.1	0.02	0.02	0.05	20	0.05
Mittayksikkö	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
VE_JEM\$-2016-13.1	<0.01	65.8	0.35	<5	8.49	<0.05	<0.5	<0.02	0.05	0.6	0.58	2.49	1.07	85.8	0.23	1.34	<20	0.09
VE_JEM\$-2016-13.1 (2)	<0.01	61.9	0.33	<5	8.38	<0.05	<0.5	<0.02	0.05	0.56	0.59	2.16	1.04	84.3	0.13	1.34	<20	0.09
VE_JEM\$-2016-14.1	<0.01	74.9	0.27	<5	9.63	<0.05	6.92	<0.02	0.05	0.49	0.74	2.24	3.23	97.7	<0.02	2.13	<20	0.1
VE_JEM\$-2016-14.1 (2)	<0.01	76.7	0.26	<5	9.63	<0.05	5.07	<0.02	0.05	0.49	0.72	2.27	3.35	99.3	<0.02	2.13	<20	0.1
VE_JEM\$-2016-15.1	<0.01	82.1	0.26	<5	10.6	<0.05	3.11	<0.02	0.11	0.52	0.7	2.38	5.97	208	<0.02	2.1	<20	0.12

	Rb_L	Sb_L	Se_L	Sr_L	Th_L	Tl_L	U_L	V_L	Zn_L	Ca_L	Fe_L	K_L	Mg_L	Na_L	S_L	Si_L	Br_L
Määrittäysraja	0.01	2	0.5	0.1	2	0.01	0.01	0.05	0.2	0.1	0.03	0.01	0.1	0.2	1	0.1	0.1
Mittayksikkö	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
VE_JEM\$-2016-13.1	1.4	<2	<0.5	18.5	<2	<0.01	0.07	0.43	1.64	5.26	0.39	0.55	1.39	3.92	5.88	2.26	<0.1
VE_JEM\$-2016-13.1 (2)	1.38	<2	<0.5	16.3	<2	<0.01	0.07	0.4	1.65	5.39	0.38	0.49	1.4	3.91	5.94	2.26	<0.1
VE_JEM\$-2016-14.1	2.11	<2	<0.5	31.8	<2	<0.01	0.08	0.37	2.94	15.8	0.57	0.77	2.7	11.7	22.1	2.55	<0.1
VE_JEM\$-2016-14.1 (2)	2.17	<2	<0.5	31.2	<2	<0.01	0.08	0.37	2.93	15.7	0.48	0.89	2.68	11.7	22.1	2.54	<0.1
VE_JEM\$-2016-15.1	3.22	<2	<0.5	50.9	<2	<0.01	0.1	0.57	3.51	28.3	0.52	1.01	3.85	20.6	40.5	2.51	<0.1

	Cl	F	NO3	SO4	Hg
Määrittäysraja	0.2	0.1	0.2	0.1	0.02
Mittayksikkö	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
VE_JEM\$-2016-13.1	0.8	<0.1	0.26	17	0.05
VE_JEM\$-2016-13.1 (2)	0.8	<0.1	0.25	16	0.06
VE_JEM\$-2016-14.1	1	<0.1	0.46	65	<0.02
VE_JEM\$-2016-14.1 (2)	1	<0.1	0.45	65	<0.02
VE_JEM\$-2016-15.1	1.2	<0.1	0.54	120	<0.02

	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb
Määrittäysraja	0.1	10	0.2	10	1	0.5	5	0.2	0.1	1	5	0.5	0.5	0.2	5	100	1	0.5
Mittayksikkö	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
VE_JEM\$-2016-13.1	<0.1	65.8	0.35	11.8	7.32	<0.5	64.5	1.77	1.89	1.96	<5	1.21	551	1.9	13.7	115	<1	1.24
VE_JEM\$-2016-13.1 (2)	<0.1	61.9	0.33	11.8	7.59	<0.5	53.2	1.8	1.92	1.95	6.2	1.05	564	2.2	13.8	141	<1	1.3
VE_JEM\$-2016-14.1	0.15	81.6	<0.2	<10	8.86	<0.5	25	0.32	0.11	<1	<5	2.73	104	<0.2	<5	115	1.02	1.94
VE_JEM\$-2016-14.1 (2)	<0.1	80.9	<0.2	<10	8.92	<0.5	20.2	<0.2	<0.1	<1	<5	3.05	104	0.21	<5	112	<1	1.97
VE_JEM\$-2016-15.1	<0.1	80.1	<0.2	<10	9.84	<0.5	17	0.48	0.11	<1	<5	5.04	228	<0.2	<5	127	<1	2.97

	Sb	Se	Sr	Th	Tl	U	V	Zn	Ca	Fe	K	Mg	Na	S	Si
Määrittäysraja	10	0.5	0.5	10	0.2	0.05	0.2	5	0.1	0.05	0.01	0.05	1	1	0.1
Mittayksikkö	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
VE_JEM\$-2016-13.1	<10	<0.5	14.1	<10	<0.2	0.06	0.78	26.4	5.63	0.55	0.59	1.27	3.92	5.94	2.34
VE_JEM\$-2016-13.1 (2)	<10	<0.5	14.9	<10	<0.2	0.06	0.79	14.6	5.52	0.54	0.65	1.2	3.84	5.78	2.34
VE_JEM\$-2016-14.1	<10	<0.5	27.6	<10	<0.2	0.09	0.44	<5	13.7	0.47	0.83	2.16	9.18	17.7	2.05
VE_JEM\$-2016-14.1 (2)	<10	<0.5	27.4	<10	<0.2	0.08	0.44	<5	14.1	0.48	0.72	2.21	9.31	18.1	2.1
VE_JEM\$-2016-15.1	<10	<0.5	45.2	<10	<0.2	0.1	0.4	<5	25.2	0.47	1.02	3.16	16.8	34	2.1