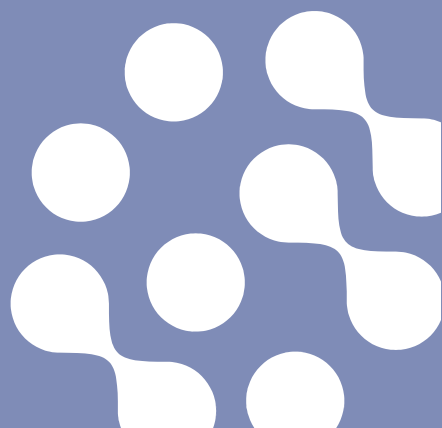


Eurofins Ahma Oy
31.3.2022

TERRAFAME OY SEDIMENTIN LAATU 2021



TERRAFAME OY, SEDIMENTIN LAATU 2021

1.	JOHDANTO	1
2.	TARKKAILUPISTEET JA NÄYTTEENOTTO	2
2.1	NÄYTTEENOTTO, -PISTEET JA ANALYYSIT	2
2.2	TARKKAILUN TOTEUTUMINEN VUONNA 2021	4
2.3	METEOROLOGISET OLOSUHTEET	4
3.	TARKKAILUTULOKSET	6
3.1	JÄRVIEN ALUSVEDET	6
3.2	SEDIMENTTIEN OMINAISUUDET	7
3.2.1	<i>Sedimenttien fysikaaliset ominaisuudet</i>	7
3.2.2	<i>Sedimenttien kemialliset ominaisuudet</i>	10
3.3	NUASJÄRVEN PURKUPUTKEN VAIKUTUSTARKKAILU	15
4.	EPÄVARMUUSTEKIJÄT	20
5.	YHTEENVETO	21
	LÄHTEET	23

LIITTEET

Liite 1.	Näytepistekartta
Liite 2.	Sedimentin laadun analyysitulokset v. 2021
Liite 3.	Sedimentin laadun kenttämittaustulokset v. 2021
Liite 4.	Sedimentin kemiallisen laadun tulokset v. 1993-2021

Pohjakartat: © Maanmittauslaitos

Eurofins Ahma Oy

31.3.2022

Joonas Kellokumpu
Ympäristöasiantuntija

Heikki Laitala
Ympäristöasiantuntija

Tiina Härmä
Projektipäällikkö

Yhteystiedot

Nuottasaarentie 17
90400 OULU
etunumisukunimi@eurofins.fi

www.eurofins.fi

1. JOHDANTO

Nykyisen Terrafamen kaivospiirin vaikutusalueella on tehty sedimenttitutkimuksia Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) toimesta jo ennen toiminnan aloittamista alueella vuonna 1993. Sedimenttitutkimuksia on tehty myös sen jälkeen vuonna 2008 ja syksyllä 2012, sekä kipsisakka-altaan vuodon jälkeen helmikuussa 2013. Sedimenttitarkkailun tutkimukset on tehty pääpiirteissään samalla tavalla kuin GTK:n toimesta vuonna 2008. Sedimenttinäytteenottoa laajennettiin vuonna 2015 Nuasjärveen uuden purkuputken tarkkailuun liittyen. Geologian tutkimuskeskus (GTK) on tutkinut sedimentin laatua myös näillä pisteillä. Sedimenttinäytteet on otettu aiemmin vuosina 2015 ja 2017 Ramboll Oy:n toimesta ja vuonna 2021 Eurofins Ahma Oy:n toimesta.

Terrafame Oy:n purkuvesien johtamisen vaikutuksia Nuasjärven sedimentin laatuun seurataan 31.7.2015 laaditun ja Kainuun ja Lapin ELY-keskusten 18.12.2015 hyväksymän (KAI-ELY/752/2014 ja LAPELY/1147/5723-2015) ympäristötarkkailusuunnitelman mukaisesti. Vesien johtaminen kaivosalueelta purkuputkella Nuasjärveen aloitettiin vuonna 2015. Sedimenttien taustapitoisuustasot kartoitettiin ennen vesien johtamisen alkamista vuonna 2015 (Ramboll). Purkuvesiä on johdettu aikaisemmin alueelta edellisen toiminnanharjoittajan osalta kahteen eri suuntaan, Oulujoen vesistöön sekä Vuoksen vesistöön. Kaivospiiri sijainti vedenjakajalla. Myös Terrafamen toiminnasta syntyviä purkuvesiä ohjataan molempiin vesistöihin.

Mustaliuskejaksojen yhteydessä pinta- ja pohjavesien pH-arvot ovat tyypillisesti alhaisia ja metallipitoisuudet ovat mustaliuskejakson ulkopuolisia taustapitoisuuksia korkeampia. Näin on myös Terrafamen alueella. Alueen pohjavesipurkaumien sekä pienten purojen ja lampien pH-arvot sekä puskurikyky ovat alhaisia ja metallipitoisuudet mediaanipitoisuuksia suurempia. Mustaliuskeen rapautuessa ympäristön pintavedet ja maaperä happamoituvat, mikä edesauttaa metallien liukenemista maa- ja kallioperästä paikalliseen pinta- tai pohjaveteen, jonka kautta ainesta päätyy lähialueen vesistöihin ja osa materiaasta sedimentoituu lähialueen vesistöjen pohjiin.

Tässä raportissa esitetään vuonna 2021 otettujen sedimenttinäytteiden tulokset ja niitä verrataan vuosien 2012, 2015 ja 2017 sekä ennen vesienjohtamista otettujen näytteiden tuloksiin (v. 1993 ja 2008) soveltuvien osin. Tämä raportti on osa Terrafamen ympäristötarkkailun vuosiraporttia. Terrafamen vesipäästöjen ja pintavesien laadun tarkkailutulokset on kuvattu omissa raporteissaan. Tarkkailua toteutetaan Ramboll Finland Oy:n 18.12.2019 (täydennetty 26.5.2020) laatiman tarkkailuohjelman mukaisesti.

2. TARKKAILUPISTEET JA NÄYTTEENOTTO

2.1 Näytteenotto, -pisteet ja analyysit

Sedimenttinäytteet otettiin 23.-27.9.2021 sekä 21-27.10.2021 välisenä aikana. Näytteet otettiin tarkkailusuunnitelman mukaisesti Salmisesta, Kalliojärvestä, Kolmisopesta, Jormasjärvestä, Kivijärvestä (pohjoinen ja etelä) sekä Laakajärvestä (2 pistettä). Nuasjärven sedimenttinäytteet otettiin 1.11.2021. Näytteet otettiin tarkkailusuunnitelman mukaisesti Nuasjärvestä kolmesta tarkkailupisteestä (Nuasjärvi 1, 2 ja 16).

Salmisen, Kalliojärven, Kolmisopen, Jormasjärven, sekä Nuasjärven tarkkailupisteet sijaitsevat Oulujoen vesistön suunnalla. Kivijärven ja Laakajärven tarkkailupisteet sijaitsevat puolestaan Vuoksen vesistön suunnalla. Tarkkailupisteiden sijainnit on esitetty kartalla kuvassa 2-1 ja koordinaatit taulukossa 2-1

Taulukko 2-1. Tarkkailupisteet ja koordinaatit

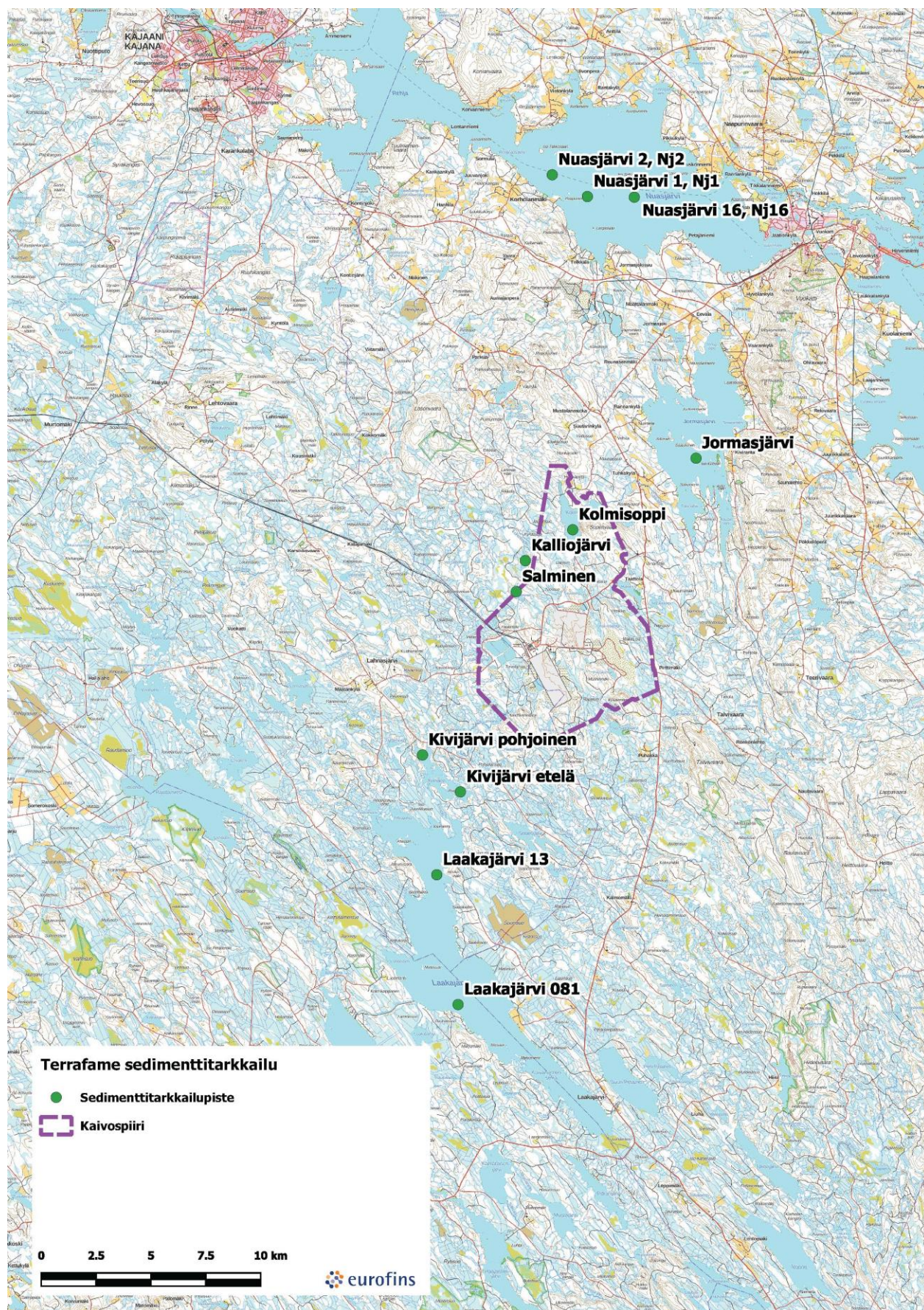
Pisteet	ETRS N	ETRS E
Salminen	7097338	548569
Kalliojärvi	7098752	548978
Kolmisoppi	7100159	551141
Jormasjärvi	7103416	556756
Kivijärvi pohjoinen	7089906	544301
Kivijärvi etelä	7088224	546025
Laakajärvi 13	7084449	544950
Laakajärvi 081	7078540	545920
Nuasjärvi 1, Nj1	7115330	551808
Nuasjärvi 2, Nj2	7116320	550208
Nuasjärvi 16, Nj16	7115302	553943

Sedimenttinäytteet otettiin järven pohjasta Limnos-noutimella. Näytteenoton yhteydessä mitattiin tarkkailupisteen alusveden lämpötila, pH, redox-potentiaali sekä syvyys. Sedimenttiprofiileista määritettiin kenttämittarilla pH- ja redox-mittaukset, sekä lämpötila 1 cm välein noin 15–20 cm syvyydelle asti. Näytteenotosta vastasivat Eurofins Ahma Oy:n sertifioidut näytteenottajat.

Sedimenttinäytteistä tehtävät analyysit tutkittiin pintasedimentistä (0-2 cm syvyydeltä), koska se kuvastaa parhaiten lähivuosien vaikutuksia sedimentaation seurauksena.

- Näytteistä määritettiin fysikaaliset suureet: pH, kosteus (%), kuiva-aine (%), hehkutushäviö ja -jäännös (%), TOC (%) ja typpi.
- Lisäksi näytteistä määritettiin alkuaineet: K, Na, Ca, Mg, S, Al, Fe, Mn, Sb, As, Ba, Be, Hg, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Pb, Mo, Ni, Rb, Se, Zn, Tl, Ti, Th, U ja V. Metalleista määritettiin kokonaispitoisuudet.
- Sedimenttinäytteiden huokosvedestä määritettiin sulfaatti ja fosfaatti.

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021



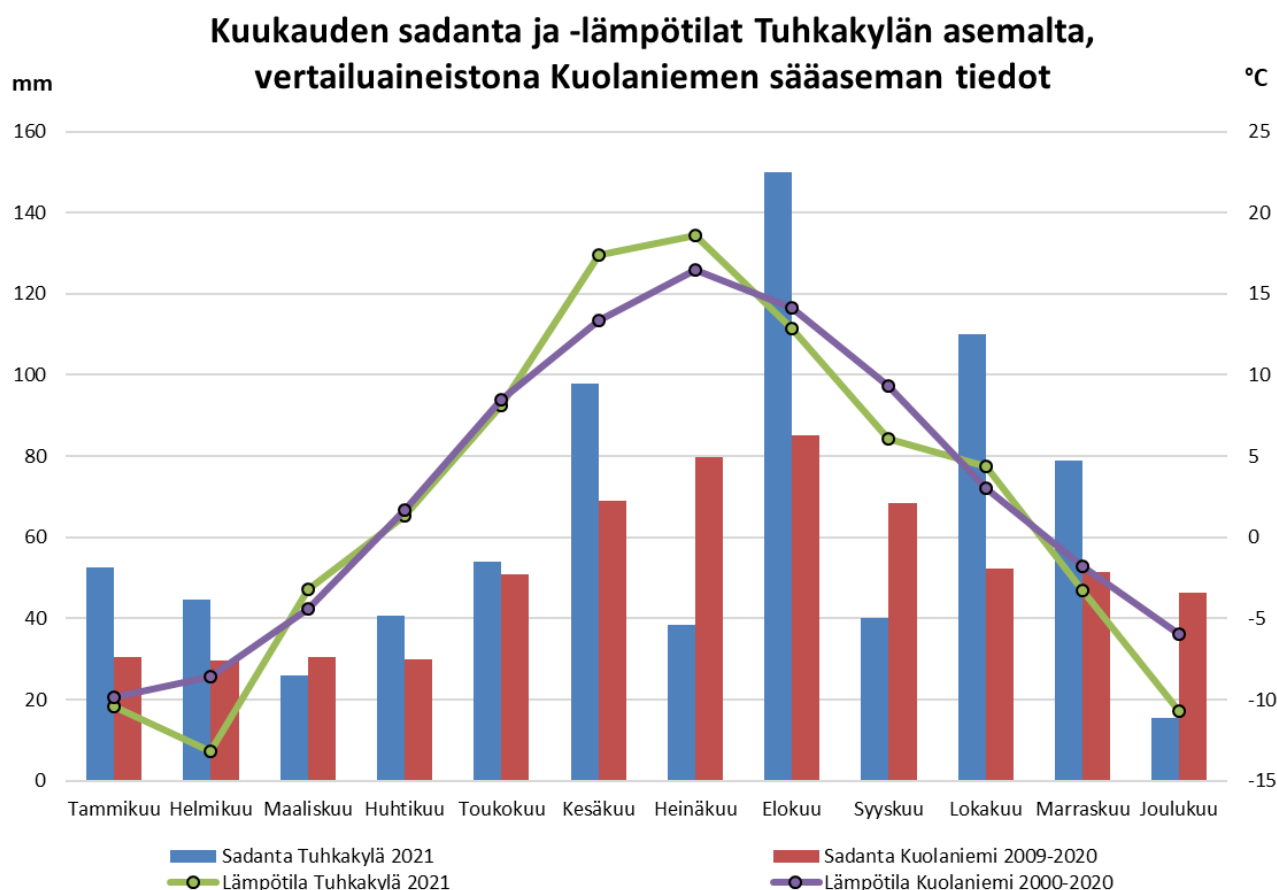
Kuva 2-1. Alueella sijaitsevat sedimentin laadun tarkkailupisteet. Suurempi kuva liitteessä 1.

2.2 Tarkkailun toteutuminen vuonna 2021

Vuoden 2021 Terrafamen sedimenttien laadun tarkkailusta vastasi Eurofins Ahma Oy. Tarkkailu toteutui ohjelman mukaisesti. Näytteet analysoitiin Eurofins Environment Testing Finland Oy:n Lahden laboratoriossa FINAS:n akkreditoimilla menetelmillä.

2.3 Meteorologiset olosuhteet

Sääolosuhteita alueella kuvataan tässä raportissa Ilmatieteen laitoksen Tuhkakylän sekä Kuolaniemen sääasemien mittaustietojen perusteella. Tuhkakylän sääasema perustettiin loppuvuodesta 2019 ja se sijaitsee noin 5 kilometriä alueelta koilliseen. Asemalta saatua tietoa käytetään kuvaamaan vuoden 2021 sääoloja. Kuolaniemen sääasema sijaitsee noin 18 kilometrin etäisyydellä alueelta koilliseen. Asemalta saatua lämpötilatietoja vuosilta 2000-2020 ja sadantatietoja vuosilta 2009-2020 hyödynnetään pitempiaikaisena vertailutietona. (Kuva 2-2)



Kuva 2-2. Meteorologiset tiedot Tuhkakylän ja Kuolaniemen sääasemilta. Kuolaniemen lämpötilatiedot esitetty vuodesta 2000 alkaen ja sadantatiedot vuodesta 2009 alkaen. (Ilmatieteen laitos, avoin data 3.1.2022)

Vuoden 2021 tammi- ja helmikuu olivat selvästi pitkänajan keskiarvoa sateisempia ja helmikuu tavallista kylmempi, minkä seurauksena lumipeitteen paksuus kasvoi Kainuussa. Tuhkakylän sääaseman tietojen mukaan lumipeitteen paksuus oli suurimmillaan helmi- ja maaliskuun lopussa (85 cm). Huhti- ja toukokuu olivat

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021

lämpötiloiltaan samankaltaisia vertailujaksoon verrattuna. Kevään sulamiskausi ajoittui huhtikuun lopulle ja 25.4. mitattiin lumensyvyudeksi enää 2 cm. Seuraavana päivänä lumi oli jo sulanut.

Vuoden keskilämpötila Tuhkakylässä oli 2,3 °C, kun vertailujaksolla se oli n. 3 °C. Tuhkakylän vuoden sadesumma oli 749 mm, ja vertailujaksolla 624 mm. Vuoden jälkimmäiselle puoliskolle, varsinkin elo- ja lokakuulle ajoittui muutamia rankkasadejaksoja. 9.8.2021 mitattiin vuoden suurin vuorokauden sademääräkertymä 36,8 mm. Kesä- ja heinäkuu olivat vuonna 2021 vuosien 2000-2020 keskiarvoa lämpimämpiä. Loppuvuosi oli pääasiassa Kuolaniemen pitkän ajan vertailujaksoa kylmempi ja sateisempi.

3. TARKKAILUTULOKSET

3.1 Järvien alusvedet

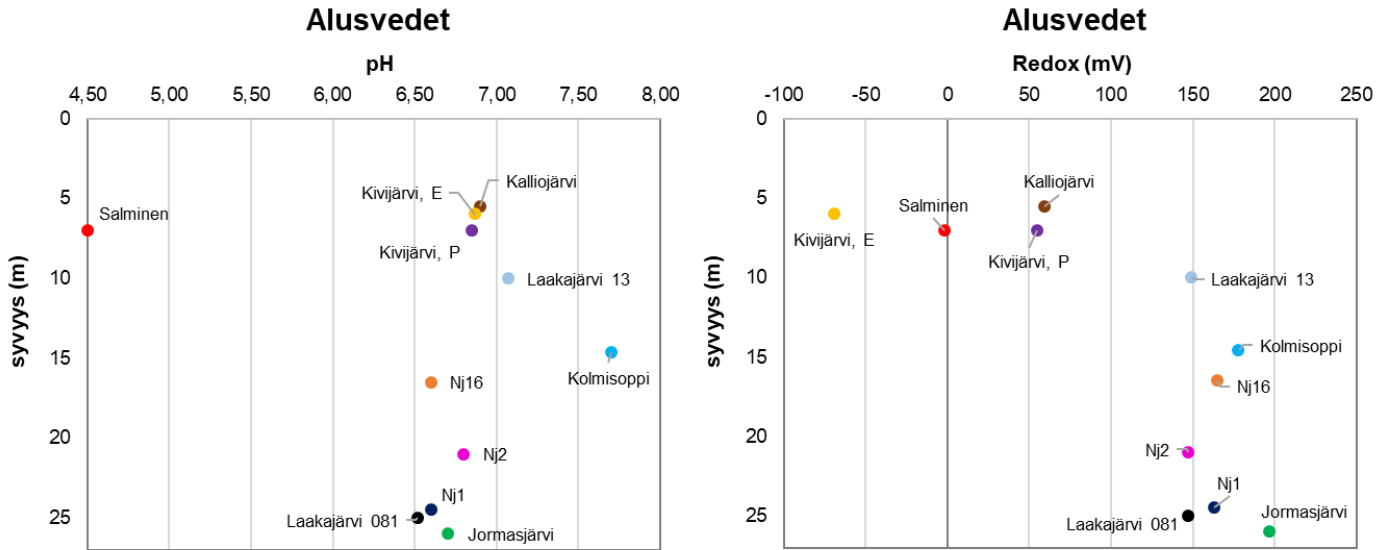
Alusveden fysikaaliset parametrit on esitetty taulukossa 3-1. ja eri tarkkailupisteiden syvyys suhteessa pH- ja Redox-arvoihin kuvassa 3-1 sekä liitteessä 3.

Alusveden pH-arvot olivat pääasiassa lievästi happamia kaikilla tarkkailupisteillä, Salmisen pistettä lukuun ottamatta, jossa veden pH oli hapan (4,5). Kolmisopen vesi oli puolestaan lievästi emäksinen (7,7 pH) ja Laakajärvi 13 pisteen alusvesi oli lievästi emäksinen (7,07 pH). Alusveden redox-arvot olivat pääasiassa positiivisia ja ympäristöt hapettavia (taulukko 3-1, kuva 3-1)

Redox-potentiaalia mitataan yleensä ympäristöstä millivolteissa (mV) ja se kuvaa yleisesti veden ja sedimenttien pelkistäviä tai hapettavia olosuhteita. Redox-potentiaali on suuresti positiivinen (>300 mV) niin kauan, kun vedessä (tai sedimentin huokosvedessä) on saatavilla runsaasti happea. Pelkistävässä ympäristössä, kuten hapettomissa oloissa redox-potentiaali saa alhaisia arvoja (<100 mV). Siten esim. järvien kerrostuneisuusolosuhteet ja alusveden happitilanteen kehitys vaikuttavat hapetus-/pelkistyspotentiaaliin ja alhaisemmat arvot ovat tavanomaisempia mm. syvänteiden hienoaimesedimenteissä. Ulkoinen hapettavan tai pelkistävän aineen kuormitus voi vaikuttaa sedimentin hapetus-/pelkistysolosuhteisiin ja myös mikrobitoiminnalla voi olla vaikutusta hapetus-/pelkistyspotentiaaliin. Siten kaivospiirin lähijärvissä Terrafamen kuormituksella voi olla vaikutuksia happitilanteen ohella sedimentin hapetus-/pelkistyspotentiaaliin. Redox-potentiaalilla on merkitystä mm. raudan ja fosforin pidättymiseen sedimentissä. Hyvin pelkistävässä ympäristössä rautaa ja fosforia voi vapautua sedimentistä vesiympäristöön, riippuen ympäristön pH- ja CO₂-olosuhteista.

Taulukko 3-1. Näytepisteiden alusveden fysikaalisia tuloksia sedimenttimittausten yhteydessä.

Näytepiste	Alusvesi				
	pvm.	Syvyys (m)	pH	Redox (mV)	lämpötila °C
Salminen	29.9.2021	7	4,50	-2	7,3
Kalliojärvi	29.9.2021	5,5	6,90	59	7,1
Kolmisoppi	23.9.2021	14,6	7,70	178	8
Jormasjärvi	21.10.2021	26	6,70	197	5,2
Kivijärvi, P	27.9.2021	7	6,85	55	9
Kivijärvi, E	27.9.2021	6	6,87	-69	7,9
Laakajärvi 13	27.10.2021	10	7,07	149	2,3
Laakajärvi 081	27.10.2021	25	6,52	147	3,2
Nuasjärvi 1	1.11.2021	24,5	6,60	163	4,8
Nuasjärvi 2	1.11.2021	21	6,80	147	4,9
Nuasjärvi 16	1.11.2021	16,5	6,60	165	4,6



Kuva 3-1. Alusvesien pH- ja Redox-potentiaali sedimenttimittausten yhteydessä.

3.2 Sedimenttien ominaisuudet

3.2.1 Sedimenttien fysikaaliset ominaisuudet

Sedimenttien fysikaaliset tulokset on esitetty taulukoissa 3-2. ja 3-3. sekä liitteessä 2.

Sedimentti oli kaikissa tarkkailupisteissä tummanruskeaa liejua. Aiemmin vuoden 2015 tarkkailuissa (Ramboll 2016) on havaittu Kivijärven sedimenttiprofilissa mustia kerroksia, jotka viittaavat sulfaatin pelkistykseen ja sulfidien muodostukseen. Lisäksi Salmisen sedimenttiprofiilin pinnasta oli löytynyt selvä vaalea kerros, joka ilmensi kipsisakka-altaan vuotoa v. 2012.

Vuonna 2021 sedimentin pintakerros (0-2 cm) koostui suureksi osaksi eloperäisestä aineksesta hehkutushäviön (LOI %) vaihdella välillä 28-93 % Oulujoen vesistön suunnalla ja 30-42 % Vuoksen vesistön suunnalla. Sedimentti voitiin tämän perusteella luokitella eloperäiseksi maalajiksi. Orgaanisen kokonaishiilen (TOC %) pitoisuudet vaihtelivat välillä 14-21 % molempien vesistöjen järvillä ja olivat pääosin samankaltaisia kuin aikaisempina mittauskertoina. Kokonaistypen (N) osuus Oulujoen suunnalla vaihteli välillä 1,5-3,4 % ja oli kasvussa verrattuna vuoden 2015 pitoisuuksiin (0,5 - 0,84 %). Vuoksen suunnalla kokonaistypen pitoisuus vaihteli välillä 1,5-2,9 %, ja oli nousussa verrattuna vuoteen 2015 (1,0-1,5 %).

Hiili-typin-suhde (C/N) oli matalin Oulujoen suunnalla Jormasjärven ja Kalliojärven tarkkailupisteillä, sekä Vuoksen suunnalla Kivijärvi pohjoinen ja Laakajärvi 081 pisteillä, ilmentäen näille alueille kohdistuvaa korkeinta ulkoista ravinnekuormitusta. Suhdeluvut olivat matalampia kuin aikaisempina vuosina (2012-2015) kaikilla tarkkailupisteillä, ilmentäen typen kuormituksen kasvua alueella. Kuormitus voi kuitenkin mahdollisesti johtua hajakuormituksesta alueella Jormasjärven, Kalliojärven, Kivijärven ja Laakajärven osalta. Nuasjärven tarkkailupisteillä Nj1 ja Nj2 typen määrä on lievästi kasvanut, mutta purkutupkea lähinnä olevalla Nj16 pisteellä pienentynyt.

C/N-suhde kuvaa karkeasti maa-aineksen sisältämän energian ja ravinteiden suhdetta (hiilen ja typen suhdetta). Tämä suhde on tärkeää maan laadulle, mm. hajotusprosessien osalta. Jos orgaaninen aines/maa-aines sisältää enemmän typpeä kuin mitä mikrobit tarvitsevat suhteessa tarjolla olevaan hiileen (C), ylimääräinen typpi vapautuu ympäristöön kasvien käyttöön tai alttiiksi huuhtoutumiselle. Jos puolestaan hiiltä on ylimäärin, niin mikrobit kuluttavat kasveille käyttökelpoista typpeä sitomalla sen orgaanisen aineen muotoon. Sitominen on hallitsevaa orgaanisessa aineessa, kun C/N-suhde on suurempi kuin 25. C/N suhteessa 10-12 orgaanisen aineksen hajoamisen katsotaan olevan hallitsevaa. Suomessa järvisedimenttien tyypillinen C/N suhde on n. 10-12 ja peltomaan 10-16. Merisedimenteissä puolestaan tyypillinen C/N-suhde

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021

on 4-10, korkeampien arvojen ollessa peräisin mantereisista lähteistä. (GTK 2001, Troeh & Thompson 2005, Eurofins 2020).

Taulukko 3-2. Pintasedimenttien (0-2 cm) fysikaaliset parametrit Oulujoen suunnalta v. 2012-2021.

Näytepaikka	Vuosi	Kosteus %	Kuiva-aine %	Humuspitoisuus %, (LOI %)	TOC %	N %	C/N
Oulujoen suunta							
Salminen	2012	96	4	49	27	1,8	15,00
Salminen	2015	97	2,9	43	14	0,5	28,00
Salminen	2021	97	3	57	20	2,2	9,09
Kalliojärvi	2012	96	4	18	18	1,4	12,86
Kalliojärvi	2015	97	3,1	40	17	0,84	20,24
Kalliojärvi	2021	96	4,1	93	20	3,4	5,88
Kolmisoppi	2012	89	11	12	12	0,74	16,22
Kolmisoppi	2015	88	12	28	12	0,65	18,46
Kolmisoppi	2021	91	9,3	28	14	1,2	11,67
Jormasjärvi	2012	96	4	15	15	1,1	13,64
Jormasjärvi	2015	87	13	25	11	0,84	13,10
Jormasjärvi	2021	94	6,3	30	15	2,8	5,36

Taulukko 3-3. Pintasedimenttien (0-2 cm) fysikaaliset parametrit Vuoksen suunnalta v. 2012-2021.

Näytepaikka	Vuosi	Kosteus %	Kuiva-aine %	Humuspitoisuus %, (LOI %)	TOC %	N %	C/N
Vuoksen suunta							
Kivijärvi pohjoinen	2012	96	3,8	39	21	1,7	12,35
Kivijärvi pohjoinen	2015	96	3,9	39	19	1,5	12,67
Kivijärvi pohjoinen	2021	94	5,8	42	19	2,9	6,55
Kivijärvi etelä	2012	95	4,6	38	20	1,8	11,11
Kivijärvi etelä	2015	96	3,9	40	17	1,5	11,33
Kivijärvi etelä	2021	95	5,3	41	21	2,3	9,13
Laakajärvi 13	2012	94	5,9	30	16	1,4	11,43
Laakajärvi 13	2015	90	10	30	14	1,1	12,73
Laakajärvi 13	2021	95	5,2	30	16	1,5	10,67
Laakajärvi 081	2012						
Laakajärvi 081	2015	89	11	29	13	1,0	13,00
Laakajärvi 081	2021	95	4,9	28	14	2,2	6,36

Kenttämittauksissa mitatut sedimenttiprofiilien (0-20 cm) pH- ja redox tulokset on esitetty kuvissa 3-2 ja 3-3 sekä liitteessä 3.

Järvisedimenttien pH-arvot olivat pääosin lievästi happamia, mutta Salmisen pH oli selvästi muita tarkkailupisteitä alaisempi (4,4-4,6). Kivijärven tarkkailupisteiden ja Kalliojärven sedimenttiprofiilien pH oli lievästi emäksinen pintakerroksesta kuuden senttimetrin syvyyteen asti, mutta happamoitui syvemmälle mentäessä 20 cm syvyyteen asti. Myös Kolmisopen sedimentin pH happamoitui lievästi profiilin pohjalle asti. (kuva 3-2).

Rambollin (2016) mukaan Salmisen sedimenttiprofiilin pinnassa oli havaittavissa vuonna 2015 selvä vaalea kerros ja Salmisen sedimenttiprofiili oli pH-arvoiltaan selvästi muiden vesistöjen sedimenttinäytteitä happamampaa myös vuoden 2015 sedimenttitutkimuksessa. Tuolloin Salmisen sedimenttiprofiilin pH-arvot olivat laskeneet vuoden 2012 tuloksiin nähden. Vuoden 2012 marraskuussa tapahtuneen kipsisakka-altaan vuodon seurauksena osa kipsisakka-altaan happamasta ja metallipitoisesta kipsisakka-altaan liuoksesta pääsi kulkeutumaan lähipuroihin ja lähivesistöihin. Vuodon vaikutukset olivat havaittavissa Salmisen sedimentin pH-arvoissa. Sedimenttiprofiilin pH:n lasku on noudattanut Salmisen pohjan läheisen veden pH-muutoksia tuon ajankohdan jälkeen, ja pisteen alusveden pH oli vuonna 2021 syyskuussa edelleen matala (4,50 pH).

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021

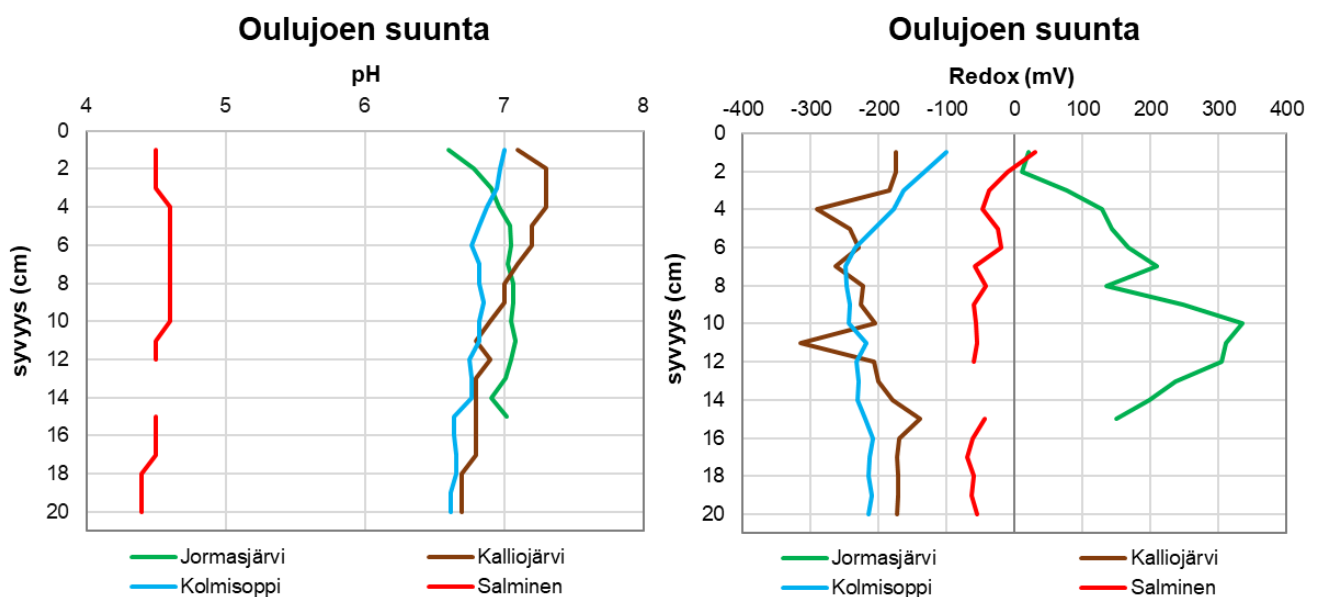
Järvisedimenttien redox-arvot olivat pääosin negatiivisia ja pelkistäviä olosuhteiltaan, vaihdellen välillä +40 – -316 mV, Jormasjärven koko sedimenttiprofiilia, sekä Salmisen- ja Laakajärven pintasedimenttejä lukuun ottamatta. Jormasjärven sedimenttiprofiilissa havaittiin muista pisteistä poikkeavat, korkeat redox-arvot (+11 - +335 mV). Redox-arvo oli pintasedimentissä matala, joka indikoi viime vuosina vallinneita pelkistäviä olosuhteita kerrostumisympäristössä. Redox-arvot nousivat profiilissa syvemmälle mentäessä aina 10 cm syvyyteen asti, jossa redox-potentiaaliarvot indikoivat hapettavia olosuhteita kerrostumisympäristössä, kuten myös redox-arvo tällä hetkellä indikoi järven alusvedessä (+197 mV). (kuva 3-2).

Salmisen sedimentin pintakerroksen (0-2 cm) redox -potentiaali oli lievästi positiivinen (+30 mV) vuonna 2021, mutta aleni arvoiltaan negatiiviseksi syvemmälle mentäessä (-11 – -70 mV). Alusveden redox-potentiaali oli mittaushetkellä alhainen (-2 mV) ja vesi suhteellisen happiköyhää. Vuonna 2015 Salmisen pintasedimentin (+156 mV), sekä alusveden redox-arvo (+164 mV) olivat korkeampia kuin vuonna 2021 ja kerrostumisympäristö siten hapekkaampi. (kuva 3-2).

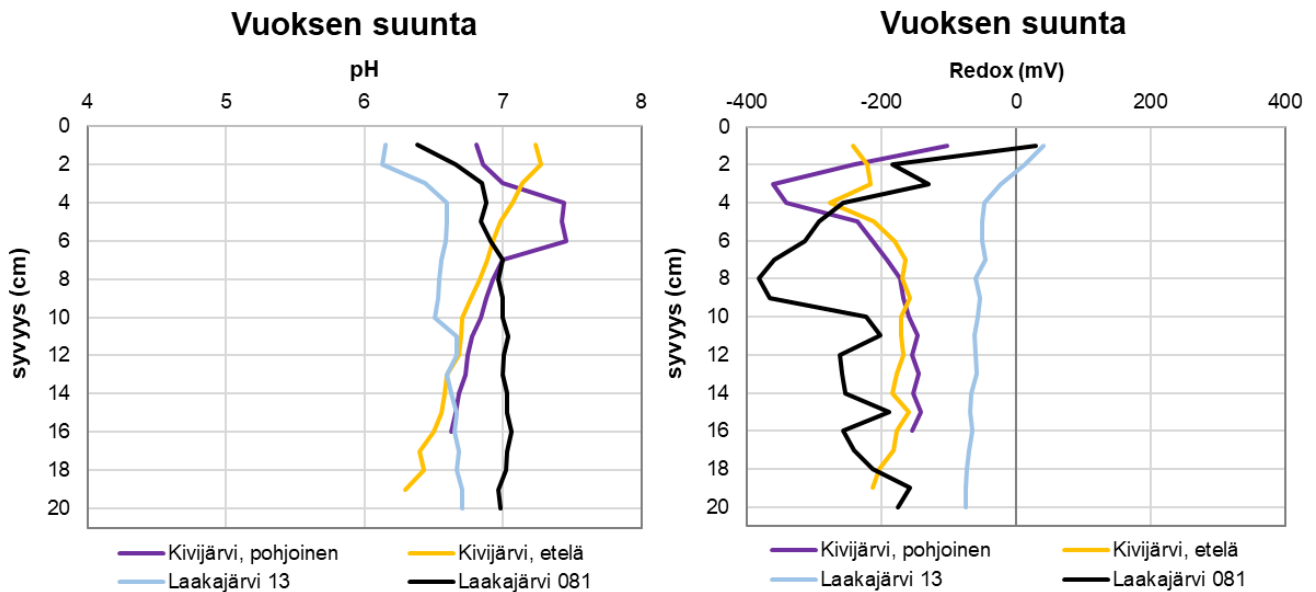
Oulujoen purkureitillä Terrafamen alueen läheisistä järvistä Salminen ja Kalliojärvi olivat pitkään pysyvästi kerrostuneita alusveden ollessa hapetonta. Kalliojärven alusveden happitilanne on hieman parantunut vuodesta 2019 alkaen, mutta esim. sedimentin pintakerroksen redox-potentiaalissa (v. 2021 1-2 cm, -175 mV) ei ole tapahtunut huomattavaa parannusta vuoden 2015 tilanteeseen verrattuna (v. 2015 0-2 cm, -105 mV). Salmisessa sedimentin pinnan redox-potentiaali (v. 2021 1-2 cm +30 – -11 mV) oli laskenut vuoden 2015 tilanteeseen nähden (0-2 cm, 156-164 mV). Kolmisopen sedimentin pinnassa redox-potentiaali (v. 2021 1-2 cm, -100 – -133 mV) oli samaa luokkaa kuin vuonna 2015 (0-2 cm, -96 mV). (Eurofins 2021)

Vuoksen suunnalla Kivijärven syvännepisteillä vesi on ollut ympärivuotisesti kerrostunutta vuodesta 2011 saakka, mutta viime vuosina tilanne on hieman parantunut Kivijärven pohjoispään pisteellä. Kivijärven molemmat pisteet sijaitsevat syvyydessä 5 m, kun vesistötarkkailupisteillä syvyys on 7-8 m ja 10-11 m. Vuonna 2021 Kivijärven molempien tarkkailupisteiden sedimentin redox-potentiaali oli Laakajärvi 13 pistettä selvästi alhaisempi ja sedimentin redox-potentiaali aleni syvemmälle profiilia mentäessä. Vuonna 2015 päinvastoin Kivijärven pisteiden redox-potentiaali oli alhaisin pintasedimentissä ja arvo nousi syvemmälle mentäessä. Kivijärvessä pohjoisen pisteen alusveden redox-potentiaali oli korkeampi (+55 mV) kuin eteläpisteen (-69 mV). (kuva 3-3)

Laakajärvellä pintasedimentti oli molemmissa pisteissä lievästi positiivinen (+30-40 mV) ja Laakajärven pisteiden alusveden redox-potentiaalit olivat samankaltaisia (+147-149 mV). Vuonna 2015 Laakajärven pisteiden pintasedimenttien redox-arvot olivat kuitenkin negatiivisia, mikä indikoi happitilanteen paranemista kerrostumisympäristössä vuosien 2016-2021 aikana. Laakajärven syvännepisteen (Laa 081) redox-potentiaali oli selvästi alhaisempi verrattuna pohjoispään pisteeseen Laa 13 sedimenttiprofiilia syvemmälle mentäessä. Vesistötarkkailutulosten perusteella Laakajärven alusveden happitilanteissa ei ole kuitenkaan havaittu merkittäviä eroja pisteiden välillä, alusveden hapen kylläisyysaste vuosina 2016-2021 oli pisteellä Laa 13 keskimäärin n. 58 % ja pisteellä Laa 81 keskimäärin 56 %. (Kuva 3-3) (Eurofins 2021).



Kuva 3-2. Sedimenttiprofiilien pH- ja redox-potentiaaliarvot syvyyksittäin Oulujoen suunnalta.



Kuva 3-3. Sedimenttiprofiilien pH- ja redox-potentiaaliarvot syvyyksittäin Vuoksen suunnalta.

3.2.2 Sedimenttien kemialliset ominaisuudet

Sedimentin kemiallisen laadun tarkkailutulokset on koottu yhteenvedotaulukkoon, joka on esitetty liitteessä 4. Tuloksia verrattiin tarkkailutuloksiin ennen kaivos- ja teollisuustoiminnan purkuvesien johtamista (Pöry, 2008). Salmisen kohdalla vertailuna käytettiin vuoden 1993 (GTK) tuloksia. Tarkastelussa verrattiin pitoisuuksien kehitystä myös edellisten tarkkailukertojen (v. 2015 ja v. 2012) tuloksiin.

Terrafamen lähialueen kallioperä koostuu pääosin grafiitti- ja sulfidipitoisesta mustaliuskeesta (90 %), kiilleliuskeesta, kvartsiitista ja metakarbonaattikivestä (10 %). Mustaliuske sisältää yleensä poikkeavia määriä tiettyjä metalleja ja alueen taustapitoisuudet ovat luontaisesti korkeampia. Kolmisoppi ja Jormasjärvi sijaitsevat kiilleliusketta ja mustaliusketta käsittävällä kivilajialueella, jossa metallipitoisuudet (esim. Ni, Cd, Co ja Zn) ovat korkeammat kuin graniittigneissialueilla sijaitsevilla Salmisessa ja Kalliojärvessä.

Terrafamen alueelta tuleva vesikuormitus koostuu pääosin sulfaateista, natriumista ja mangaanista. Lisäksi ympäristöön johdettavassa vedessä on pieniä määriä muita malmisissa esiintyviä metalleja, mm. Ni, Zn, Co, Cu (ks. vesipäästöraportti). Päästövesissä esiintyvä sulfaatti on peräisin osittain malmin sisältämästä rikistä ja osittain bioliuotusprosessissa käytettävästä rikkihaposta. Natrium on puolestaan peräisin metallien talteenottolaitoksella käytettävästä lipeästä ja kalsium neutraloinnissa käytettävistä kalkkimateriaaleista. Sulfaattikuormituksen ja vesipäästöjen aiheuttama suolakierrostuneisuus (Salminen, Kalliojärvi ja Kivijärvi) estää täyskierron aikaisen alusveden happitäydennyksen, minkä seurauksena alusveden happivaje vaikuttaa metallien liukoisuuteen ja kiertokulkuun. Toisaalta myös alueiden luontaiset taustapitoisuudet (eri kivialueiden metallipitoisuudet) ja valuma-alueelta tuleva muu kuormitus vaikuttavat sedimentin alkuainepitoisuuksiin.

Vesistökuormituksen vaikutukset ovat näkyneet tarkkailuhistorian aikana selvimmin Oulujoen suunnalla Salmisen ja Kalliojärven sedimentin laadussa, ja vähemmän Vuoksen vesistön suunnalla. Tuotantoalueella vuonna 2012 tapahtunut kipsisakka-altaan vuoto näkyi selvimmin Salmisen vuoden 2015 sedimenttituloksissa selvästi syksyn 2012 tuloksia korkeampina metallipitoisuuksina (Ni, Fe, Mn, Al, U, S) korreloiden myös alusveden kemiallisen laadun muutoksien kanssa. Rikin osuus sedimentissä n. kaksinkertaistui ja nikkelin pitoisuus n. 10-kertaistui vuoden seurauksena. Myös Kalliojärvessä vuoden 2015 tulokset poikkesivat ko. metallien osalta selvästi vuoden 2012 tuloksista, ja rikin osuus nousi noin 25 % ja nikkelin 10-kertaistui. Kolmisopen ja Jormasjärven tarkkailupisteissä toiminnan vaikutukset ovat olleet vähäisemmät, eikä kipsisakka-altaan vuotoa ole selvästi havaittavissa metallipitoisuuksista. Vuonna 2015 Kolmisopen sedimentin kalsiumpitoisuudet olivat koholla johtuen todennäköisimmin kaivos- ja teollisuustoiminnan aiheuttamasta kuormituksesta tai kipsisakka-altaan vuodosta. Jormasjärvessä vuonna 2015 kohonnut mangaanipitoisuus ilmentää mahdollisesti valuma-alueelta tulevaa hajakuormitusta (esim. suo- ja turvemailta ojituksen ja tuotannosta peräisin), eikä kaivos- ja teollisuustoiminnan vesipäästöjen vaikutuksia havaita muissa

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021

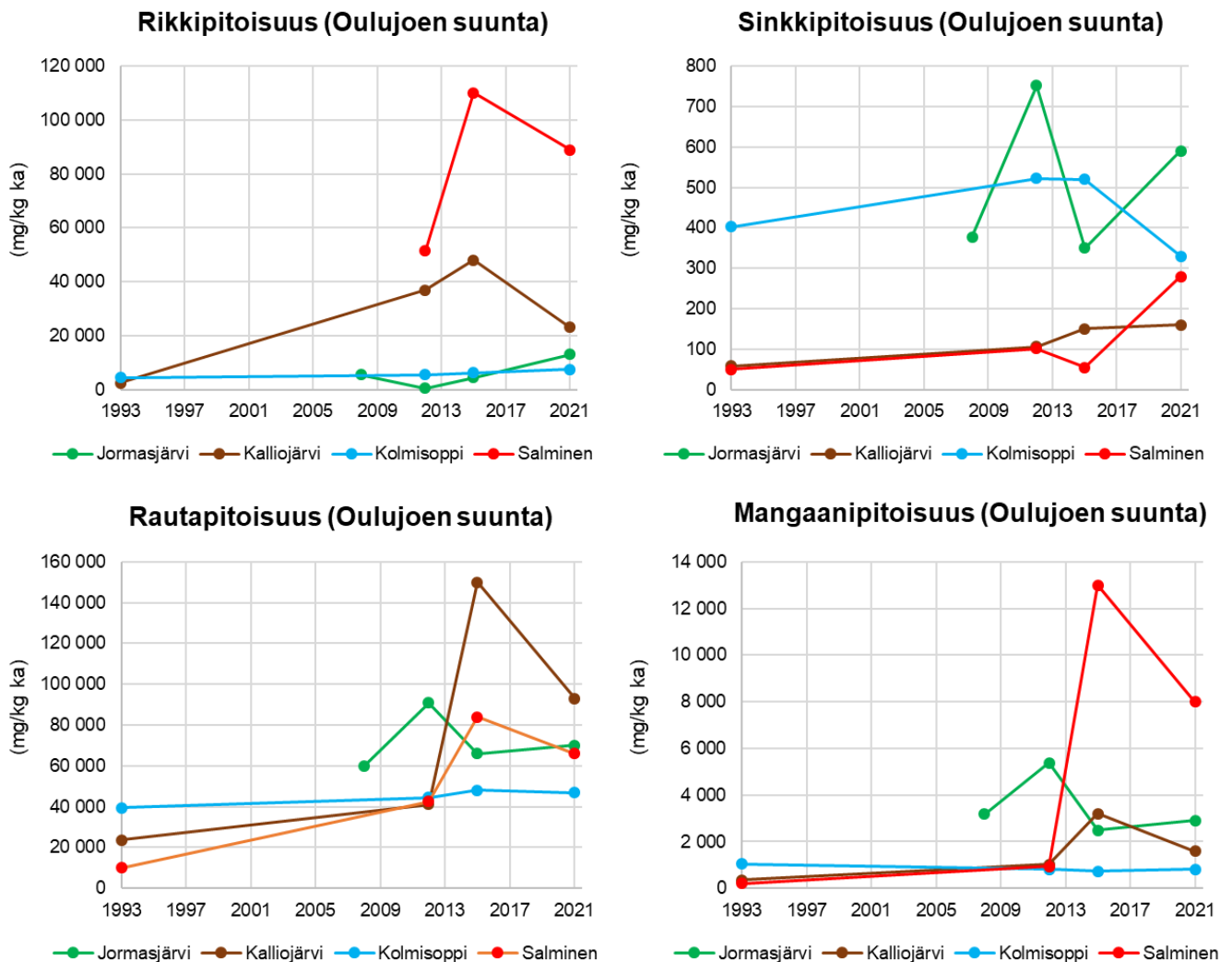
metallipitoisuuksissa ja siten voida liittää suoraan kaivos- ja teollisuustoiminnasta peräisin olevaksi. Vuoksen suunnalla kipsisakka-altaan vuodon vaikutuksia havaittiin lähinnä Kivijärven tarkkailupisteillä.

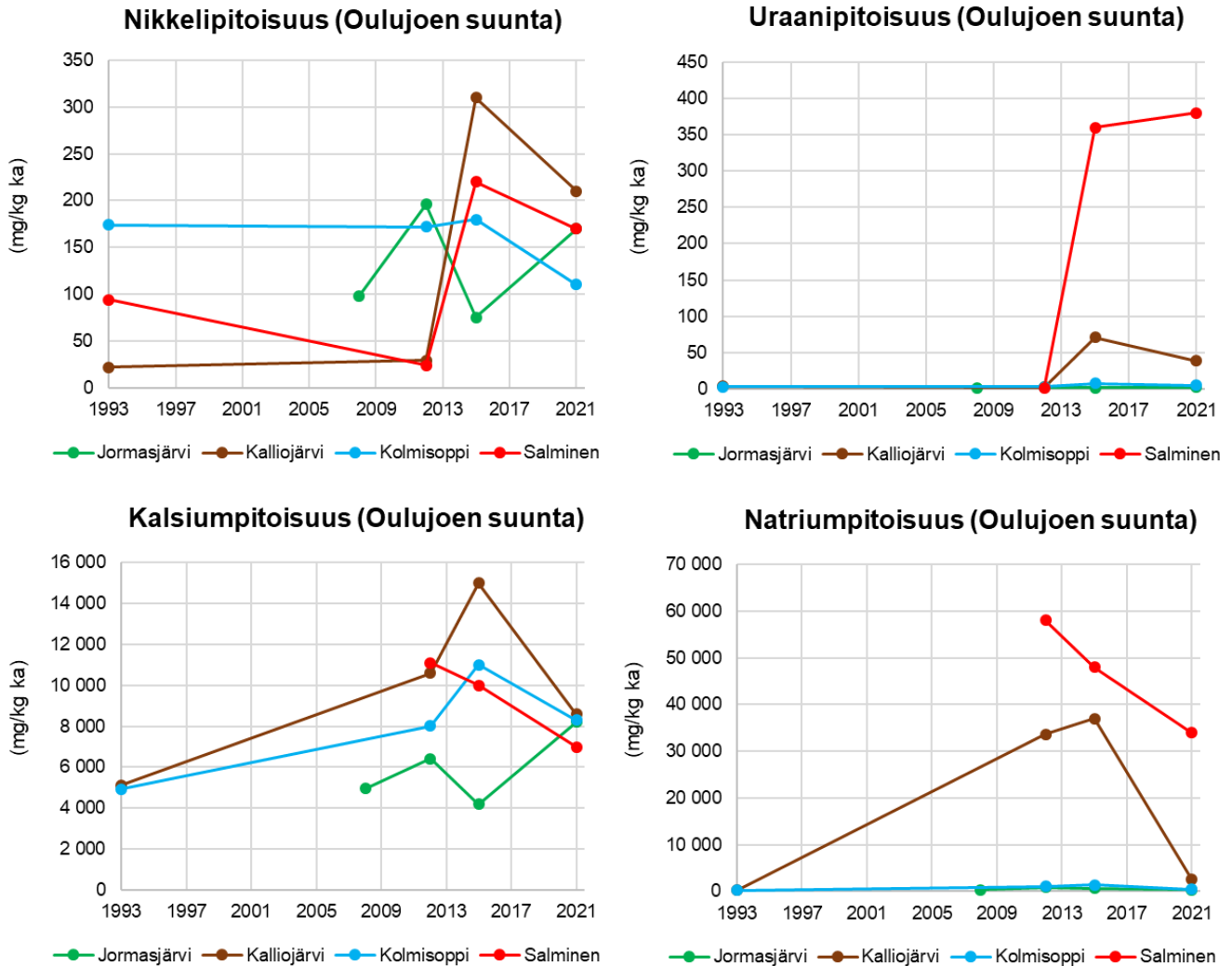
Oulujoen suunta

Vuonna 2021 Oulujoen suunnan sedimenttitarkkailutuloksissa todettiin paikoin korkeita pitoisuuksia rikin, natriumin, mangaanin, nikkelin, kalsiumin, raudan ja alumiinin osalta, mutta pitoisuudet olivat pääosin selvästi laskussa vuoteen 2015 verrattuna. Lisäksi Salmisessa ja Kalliojärven v. 2012-2015 havaitut korkeat kalsium- ja natriumpitoisuudet olivat selvästi laskussa vuonna 2021. (Kuva 3-4).

Korkeimmat pitoisuudet (Al, S, Mn, U, Na) havaittiin edelleen Terrafamen teollisuusaluetta lähimpänä sijaitsevalta pisteeltä Salminen. Suurin muutos edellisvuosiin verrattuna havaittiin kuitenkin Kalliojärven pisteillä, jossa korkeat Al-, Fe-, Mn-, Ni- ja S-, sekä kalsium- ja natrium pitoisuudet olivat selvästi laskeneet vuoteen 2015 verrattuna, vaikka Zn-, Cr-, Pb-, Ti-, U- ja V pitoisuuksissa oli tapahtunutkin hieman nousua. Myös Salmisen pisteellä havaittiin metalli- ja suolapitoisuuksissa laskua vuoteen 2015 verrattuna, ja edellä mainituissa harvinaisemmissa metallipitoisuuksissa lievää nousua. Vuonna 2015 Salmisen pisteellä havaittiin korkea uraanipitoisuus muihin tarkkailupisteisiin verrattuna ja sedimentin uraanipitoisuus oli edelleen hieman kohonnut vuonna 2021. (Kuva 3-4).

Alla kuvassa 3-4 on esitetty keskeisempien parametrien kehitys tarkkailuvuosien ajalta. Vuoden 1993 ja 2008 pitoisuudet ovat GTK:n tutkimustuloksia alueelta ennen toiminnan aloittamista ja vuosien 2012-2015 tulokset kuvastavat osin edellisestä toiminnanharjoittajasta aiheutuneita muutoksia sekä muita lähiympäristön muutoksia.





Kuva 3-4. Oulujoen suunnan järvien pintasedimenttien (0-2 cm) rikki-, rauta-, mangaani-, nikkeli-, sinkki-, uraani- ja suolapitoisuuksien kehitys vuosina 1993-2021.

Kolmisopen- ja Jormasjärven sedimenttien pitoisuuksissa ei pääosin havaittu suuria muutoksia vuosiin 2008-2015 verrattuna. Jormasjärven rikkipitoisuus oli kuitenkin noin kolminkertaistunut aikaisempiin vuosiin verrattuna, ja kalsiumpitoisuus kaksinkertaistunut. Kolmisopen sinkki- ja nikkelipitoisuuksissa havaittiin puolestaan laskua vuosiin 2012-2015 verrattuna, ja kalsiumpitoisuudessa vuoteen 2015 verrattuna. (kuva 3-4).

Vuoden 2015 sedimenttitarkkailussa tutkittiin lisäksi laaja kokonaisuus alkuaineita (Mg, K, Sb, Ba, Be, Cr, Li, Mo, Rb, Se, Tl, Ti, Th ja V), joita ei ollut aiemmilla tarkkailukerroilla määritetty. Näiden osalta ei todettu merkittäviä pitoisuuksia. Ainoastaan Salmisessa magnesiumipitoisuus (25 000 mg/kg ka) poikkesi selvästi muista tuloksista (1 400-8 600 mg/kg ka). Vuonna 2021 tutkittiin uudelleen kyseiset alkuaineet. Salmisen magnesiumipitoisuus poikkesi edelleen muista tarkkailupisteistä. Harvinaisemmissa alkuaineissa havaittiin jonkin verran vaihtelua ja pääasiassa lievää nousua, mutta pitoisuudet ovat vielä suhteellisen pieniä (liite 4).

Sedimentin huokosvesinäytteissä Salmisen sulfaattipitoisuus (7 000 mg/l) poikkesi selvästi muista Oulujoen suunnan tarkkailupisteistä. Kalliojärven huokosveden sulfaattipitoisuus (330 mg/l) oli Jormasjärveä (120 mg/l) ja Kolmisoppea korkeampi (79 mg/l). Fosfaattifosforin osalta tarkkailupisteiden pitoisuudet olivat samankaltaisia (8,4 - 20 µg/l). Suurin fosfaattifosforin pitoisuus havaittiin Kolmisopella ja seuraavaksi suurin Salmisella. Alusvedestä ei mitattu vuonna 2021 sulfaattipitoisuuksia, eikä fosfaattifosforia, joten huokosvesipitoisuuksien vertailu alusvedenlaatuun ei ole mahdollista. Terrafamen vesistö päästöt Oulujoen suuntaan olivat sulfaatin osalta n. 14 000 t vuoden aikana (Eurofins 2021).

Vuoksen suunta

Vuoksen purkuvesien reitillä kaivos- ja teollisuustoiminnan vesistökuormituksen vaikutukset ovat näkyneet tarkkailuhistoriassa selvimmin Kivijärven sedimentin laadussa. Pitoisuudet kohosivat kipsisakka-altaan vuodon jälkeen (v. 2012), mutta tilanne on parantunut sen jälkeen Terrafamen toiminnan aikana.

Vuoksen suunnan tarkkailupisteissä Terrafamen vesistökuormituksen vaikutus näkyi vuonna 2021 selvästi lievempänä kuin vuonna 2015. Vuoden 2021 aikana Vuoksen suuntaan juoksutettiin vain 7 % kaikista Terrafamen vesipäästöistä. Laakajärven osalta tarkkailutuloksia ei ole saatavilla ennen vuotta 2012, ja eteläisemmältä pisteeltä (Laakajärvi 081) on tuloksia vasta vuodesta 2015 eteenpäin.

Vuoksen suunnalla sedimenttien pintakerroksissa havaittiin (Oulujoen suunnan tapaan) pääasiassa selvää laskua tarkkailtavien alkuaineiden pitoisuuksissa vuosiin 2012-2015 verrattuna. Kivijärvi pohjoinen -pisteellä rikin pitoisuus laski noin 27 % (4,1 % ka:sta 3,0 % ka) ja etelä -pisteellä rikin pitoisuus laski 71 % (5,5 % ka:sta 1,6 % ka) vuoteen 2015 verrattuna. Nikkeli puolestaan laski noin 78 % Kivijärvi pohjoinen -pisteellä, ja 50 % Kivijärvi etelä -pisteellä. Kalsiumin pitoisuus pisteillä laski noin 38-46 %. (kuva 3-5).

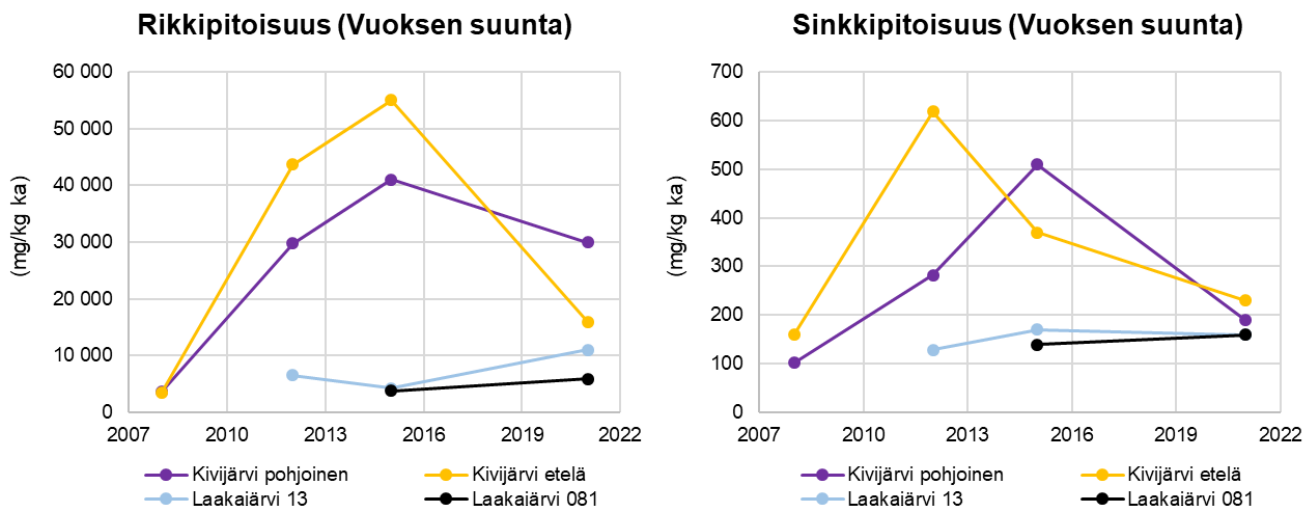
Laakajärven syvännepisteessä 081 rauta- ja mangaanipitoisuus nousivat poikkeuksellisesti vuosiin 2012-2015 verrattuna (alumiini lievemmin) ja olivat Kivijärven pitoisuuksia korkeampia, vaikka muut metallipitoisuudet- ja kuormittajat olivat pääosin edelleen korkeampia Kivijärven tarkkailupisteillä. Lisäksi Laakajärven pisteillä havaittiin myös rikkipitoisuuden nousua vuosiin 2012-2015 verrattuna. Pisteessä Laakajärvi 13 rikkipitoisuus nousi noin kaksinkertaiseksi (rikkipitoisuus 1,1 % ka), mutta syvännepisteellä lievemmin. Suurimmat rikki- ja suolapitoisuudet havaittiin kuitenkin edelleen Kivijärven sedimenteissä (rikkipitoisuus 1,6-3,0 % ka). (kuva 3-5).

Kivijärvi etelä -pisteellä natriumpitoisuuden havaittiin laskeneen merkittävästi vuonna 2015 mitatusta korkeasta arvosta ja vuonna 2021 mitattu pitoisuus oli lähellä vuoden 2008 tasoa. Kivijärvi pohjoinen -pisteellä pitoisuus oli kuitenkin lievästi noussut edellisestä verrattuna. Kivijärven kalsiumpitoisuudet olivat kuitenkin laskeneet selvästi molemmissa pisteissä. Laakajärvellä natriumpitoisuudet olivat hyvin pieniä verrattuna Kivijärven sedimenttien vastaaviin, eikä niissä ollut tapahtunut suuria muutoksia vuoteen 2015 verrattuna. Laakajärven pisteiltä natriumpitoisuuksia on mitattu kuitenkin vasta vuodesta 2015 lähtien, eikä vertailudataa ole saatavilla tätä edeltäviltä vuosilta. (kuva 3-5).

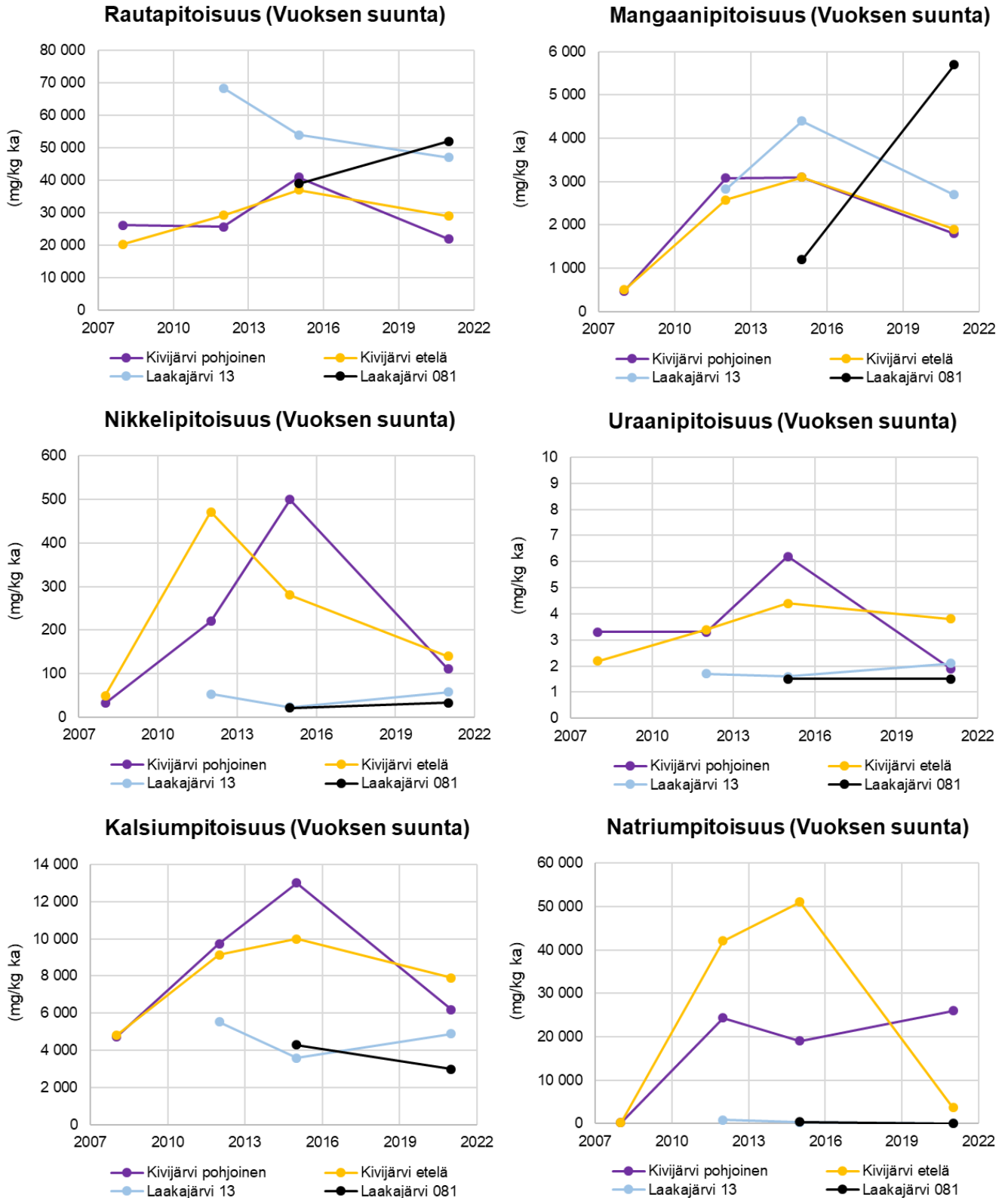
Muiden vuonna 2021 tarkkailussa mukana olleiden alkuaineiden (Mg, K, Sb, Ba, Be, Cr, Li, Mo, Rb, Se, Tl, Ti, Th ja V) osalta ei todettu merkittäviä pitoisuuksia tai muutoksia vuoteen 2015 verrattuna.

Sedimenttien huokosvesinäytteiden perusteella Kivijärvi erottui selvästi Laakajärvestä korkeamman sulfaattipitoisuutensa johdosta. Kivijärvi pohjoisen sulfaattipitoisuus (4 200 mg/l) oli selvästi suurempi kuin Kivijärvi eteläpisteellä (560 mg/l). Laakajärvellä sulfaattipitoisuudet olivat alhaisia, Laakajärvi 13 pisteessä sulfaattipitoisuus oli enää 52 mg/l ja 081 pisteellä 34 mg/l. Fosfaattifosforin pitoisuuksissa ei ollut merkittäviä eroja tarkkailupisteiden välillä, eikä myöskään Vuoksen ja Oulujoen suuntien pisteiden välillä (liite 2).

Vuoksen suunnan tarkkailupisteiden keskeisiä parametreja tarkkailuvuosien ajalta on esitetty kuvassa 3-5. Vuoden 2008 pitoisuudet ovat GTK:n tutkimustuloksia alueelta ennen toiminnan aloittamista ja vuosien 2012-2015 tulokset kuvastavat osin edellisestä toiminnanharjoittajasta aiheutuneita muutoksia sekä muita lähiympäristön muutoksia.



TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021



Kuva 3-5. Vuoksen suunnan järvien pintasedimenttien (0-2 cm) rikki-, rauta-, mangaani-, nikkeli-, sinkki-, uraani- ja suolapitoisuuksien kehitys vuosina 2008-2021.

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021

Koska sedimenttien haitta-ainepitoisuuksille ei ole määritetty kansallisia ekotoksisuuden raja-arvoja, kohteessa todettuja haitta-ainepitoisuuksia verrattiin kirjallisuudessa aineiden ekotoksisuuden perusteella määritettyihin viitearvoihin makean veden sedimenteissä (taulukko 3-4). Tuloksia verrattiin Kanadalaisen ympäristöministerineuvoston (CCME) "Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life" PEL-viitearvoihin (arvot ylittävillä pitoisuuksilla todetaan usein haitallisia biologisia vaikutuksia). Tuloksia verrattiin myös Euroopan Kemikaaliviraston (ECHA) määrittämiin PNEC-arvoihin (arvot alittavilla pitoisuuksissa ei arvioida olevan haitallisia vaikutuksia) makean veden sedimenteissä.

Taulukko 3-4. Makean veden sedimenttipitoisuuksien ekotoksikologinen riskiarviointi EHCA- ja CCME-viitearvojen perusteella vuonna 2021.

	Antimoni	Arseeni	Kadmium	Koboltti	Kromi	Kupari	Lyijy	Nikkeli	Elohopea	Sinkki	Vanadiini
	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
PNEC*	11,2	-	1,8	9,5	205,7	87-174	186	109	9,3	117,8	240
PEL**	-	17	3,5	-	90	197	91,3	-	0,486	315	-
Salminen	<0,50	4,2	0,82	4,6	44	38	16	170	0,17	280	79
Kalliojärvi	<0,50	5	0,59	8,7	27	35	31	210	0,21	160	55
Kolmisoppi	<0,50	5	2,1	20	38	47	26	110	0,33	330	69
Jormasjärvi	<0,50	9,2	4	57	54	55	39	170	0,24	590	82
Kivijärvi pohjoinen	<0,50	3,9	0,83	8,9	25	31	35	110	0,32	190	43
Kivijärvi etelä	<0,50	4,8	1,1	10	30	33	53	140	0,31	230	62
Laakajärvi 13	<0,50	3,9	0,74	16	31	29	38	57	0,25	160	65
Laakajärvi 081	<0,50	5,5	1,4	28	24	22	54	33	0,23	160	57
Nuasjärvi Nj1	<0,50	23	1,9	39	76	29	40	83	<0,1	270	84
Nuasjärvi Nj2	<0,50	15	1,6	42	110	41	52	86	<0,1	260	110
Nuasjärvi Nj16	<0,50	12	1,1	24	73	28	34	55	<0,1	590	73

*PNEC = arvot alittavilla pitoisuuksissa ei arvioida olevan haitallisia vaikutuksia

**PEL = arvot ylittävillä pitoisuuksilla todetaan usein haitallisia biologisia vaikutuksia

Pintasedimenttien pitoisuuksia verrattiin kirjallisuudesta saatuihin sedimenttien viitearvoihin. Arseenin osalta vain Nuasjärven Nj1 pisteellä arseenipitoisuus ylitti Kanadan ympäristöministerineuvoston (CCME) PEL-arvon. Nikkelin pitoisuudet ylittivät PNEC-arvon Oulujoen suunnan järvien näytteissä, sekä Kivijärven osalta Vuoksen suunnalta. Kadmiumin osalta Jormasjärven näytteen pitoisuus ylitti PEL-arvon, ja Kolmisopen ja Nuasjärven pitoisuudet ylittivät PNEC-arvon. Koboltin osalta PNEC-arvot ylittyivät suurimmalla osalla tarkkailupisteitä, Salmista, Kalliojärveä ja Kivijärvi pohjoinen pistettä lukuun ottamatta. Kromin pitoisuus ylitti PEL-arvon Nuasjärven Nj2 pisteellä. Sinkin pitoisuus ylitti PEL-arvon Kolmisopen, Jormasjärven ja Nuasjärven Nj16 pisteillä. Muilla pisteillä PNEC-arvot ylittyivät sinkin osalta. Suurin osa PEL-arvojen ylityksistä oli pieniä, joten haitallisia vaikutuksia ei arvioida olevan. Huolta aiheuttavat sinkin Jormasjärven ja Nuasjärvi Nj16 kaksinkertainen pitoisuus verrattuna PEL-arvoon.

3.3 Nuasjärven purkuputken vaikutustarkkailu

Nuasjärven purkuputki asennettiin vuonna 2015. Nuasjärven sedimenttitarkkailunäytteet vuonna 2015 otettiin ennen vesien purkamisen aloittamista ja näin ollen ne toimivat vertailunäytteinä purkuputken vaikutustarkkailulle. Näytteet haettiin myös vuonna 2017 sekä vuonna 2021.

Nuasjärven pintasedimentti oli vuonna 2021 pääosin eloperäistä (LOI 13-17 %) ja väriltään tummaa liejua. Verrattuna Oulujoen ja Vuoksen suunnan pintasedimenttien humuspitoisuuteen, Nuasjärven näyte oli selvästi humuspitoisuudeltaan pienempää. Kuiva-aineksen osuus sedimentissä vaihteli välillä 8,7-13 %. Orgaanisen kokonaishiilen pitoisuus vaihteli välillä 5,5-7,7 % ollen selvästi alhaisempi kuin Jormasjärvessä (15 %). Kokonaistypen pitoisuudet olivat nousseet vuosien 2015-2017 tuloksista vain hieman Nj1 ja Nj2 tarkkailupisteiden osalta, ja lähempänä purkuputkea sijaitsevalla pisteellä Nj16 typen pitoisuus oli laskenut. Kokonaistypen osuudet vaihtelivat Nuasjärven pisteillä välillä 0,39-0,73 %, mikä oli selvästi vähemmän kuin Jormasjärvessä (2,8 %).

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021

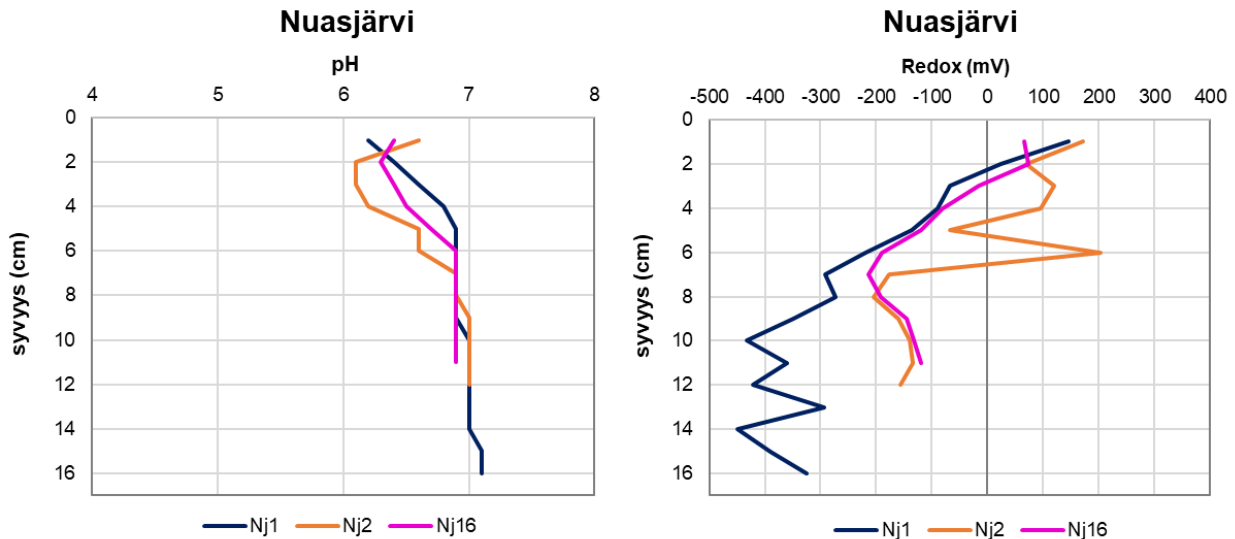
Hiili-typpisuhde Nuasjärvessä vuonna 2021 laski hieman Nj1 ja Nj2 pisteillä verrattuna aiempiin vuosiin 2015-2017. C/N-suhde oli (2021) välillä 8,21-10,55, kun se oli vuosina 2015-2017 välillä 11,08-12,50 %. Pisteellä Nj16 C/N-suhde nousi kuitenkin aikaisempiin vuosiin verrattuna. Nuasjärven tarkkailupisteiden hiili-typpi-suhteet olivat Jormasjärven ja Kalliojärven C/N-suhdetta selvästi korkeampia, ilmentäen viime vuosina Nuasjärveen kohdistuneen typpikuormituksen olleen vähäisempää. Sedimenttien fysikaaliset tulokset on esitetty taulukossa 3-5 ja liitteessä 2.

Taulukko 3-5. Nuasjärven sedimenttien fysikaaliset ominaisuudet vuosina 2015-2021.

Näytepaikka	Vuosi	Kosteus %	Kuiva-aine %	Humuspitoisuus %, (LOI %)	TOC %	N %	C/N
Nuasjärven purkupuutken tarkkailu							
Nuasjärvi Nj1	2015	86	14	18	7	0,58	12,07
Nuasjärvi Nj1	2017	92	8,1	17	7,2	0,65	11,08
Nuasjärvi Nj1	2021	91	8,7	17	7,7	0,73	10,55
Nuasjärvi Nj2	2015	77	23	13	5	0,4	12,50
Nuasjärvi Nj2	2017	91	9,2	16	6,6	0,53	12,45
Nuasjärvi Nj2	2021	87	13	13	5,5	0,67	8,21
Nuasjärvi Nj16	2015	82	18	16	6,5	0,57	11,40
Nuasjärvi Nj16	2017	90	9,9	14	6	0,51	11,76
Nuasjärvi Nj16	2021	88	12	14	6	0,39	15,38

Sedimenttiprofiilien pH-arvot vaihtelivat Nuasjärvellä välillä 6,1-7,1, lievästi ja kohtalaisesti happamista pintasedimenteistä syvemmälle mentäessä neutraaliin. Pisteillä Nj1 ja Nj16 pH oli alhaisin pintakerroksessa (0-2 cm), jonka jälkeen pH nousi lineaarisesti melkein neutraaliksi viiden senttimetrin syvyydessä. Pisteellä Nj2 pH-arvo aleni pintakerroksen jälkeen, ollen matalimmillaan 3-4 cm syvyydessä. Sedimentin pH nousi nopeasti neutraaliksi 7 cm syvyyteen mennessä. pH-arvojen muutokset pisteillä olivat pääasiassa lieviä, mutta muutokset profiilisissa voivat kertoa erilaisista hapetusolosuhteista alusveden kerrostumisympäristössä vuosien aikana, ja myös kuormitusvaihteluista eri vuosina. (kuva 3-6).

Sedimentin pintakerroksen redox-arvot olivat Nuasjärven pisteillä korkeammat kuin Terrafamen lähijärvien tarkkailussa Oulujoen ja Vuoksen suunnalla, joka viittaa sedimentin parempiin hapetusolosuhteisiin ja hapekkaampiin alusvesiin Nuasjärven pisteillä (alusvedet +147-165 mV), sekä täyskierron ulottumisesta koko vesimassaan. Nuasjärven sedimentin humuspitoisuudet ovat kuitenkin pienempiä kuin Oulujoen ja Vuoksen vesistöjen tarkkailupisteillä, joten järven pohjalla orgaanista ainetta on vähemmän ja siten myös happea kuluttavaa toimintaa, kuin muilla tarkkailupisteillä. Myös sedimentti on todennäköisesti pintakerroksesta huokoisempaa orgaanisen aineen puuttumisen myötä, ja siten ilmavampaa. Nuasjärven sedimenttien redox-arvot laskevat profiilissa syvemmälle mentäessä, ja pysähtyvät -200 mV arvoon 7-8 cm kohdalla pisteillä Nj2 ja Nj16. Pisteellä Nj1 redox-arvot alenivat edelleen ja olivat alhaisimpia 10 cm ja 14 cm syvyydessä (-433 mV ja -450 mV). Sedimenttiprofiilin pH-arvot ja redox-potentiaalit on esitetty kuvassa 3-6 sekä liitteessä 3.



Kuva 3-6. Sedimenttiprofiilien pH- ja redox-potentiaaliarvot syvyyksittäin Nuasjärven tarkkailupisteiltä.

Nuasjärven sedimentin tarkkailutulokset on esitetty liitteissä 2 ja 4. Tuloksia verrattiin keskeisimpien parametrien osalta Jormasjärven v. 2012-2021 tuloksiin, ja tarkkailupisteiden tuloksia vertailtiin keskenään.

Nuasjärven ja Jormasjärven tulosten välillä ei ollut havaittavissa merkittäviä eroja, muutoin kuin rikin osalta. Jormasjärven pintasedimentistä mitattiin selvästi korkeampi rikkipitoisuus (23 000 mg/kg ka), sekä hieman korkeampi nikkelpitoisuus (170 mg/kg ka) kuin Nuasjärven pisteiltä (S: 700-2300 mg/kg ka; Ni: 55-83 mg/kg ka). Lisäksi Jormasjärvellä mitattiin myös lievästi suurempia arvoja mm. Co-, Rb-, Se- ja Th -pitoisuuksien osalta. (kuva 3-7).

Nuasjärven pisteillä Nj1 ja Nj2 rautapitoisuudet (100 000 mg/kg ka ja 85 000 mg/kg ka) olivat Jormasjärven pitoisuutta (70 000 mg/kg ka) suurempia. Myös mangaanipitoisuudet olivat Jormasjärveä noin puolet korkeampia (5300-5800 mg/kg ka vrt. Jormasjärvi 2900 mg/kg ka). Lahnasjokea ja Jormasjokea lähimpänä sijaitsevan Nuasjärven Nj1 arseenipitoisuudet olivat hieman muita tarkkailupisteitä korkeampia. Vuoden 2006 GTK:n tutkimuksessa tältä alueelta todettiin sedimentin pintaosasta kohonneita arseeni-, nikkeli- ja rikkipitoisuuksia, mikä voidaan suureksi osaksi selittää Lahnaslammen kaivosalueelta (nykyisin Elementis Minerals) tulevalla kuormituksella (Ramboll 2015). Osa nikkelistä on tullut ilmeisesti myös Jormasjoen kautta Jormasjärven maankäyttöön liittyvistä päästölähteistä (maanmuokkaus, ojitus). (kuva 3-7).

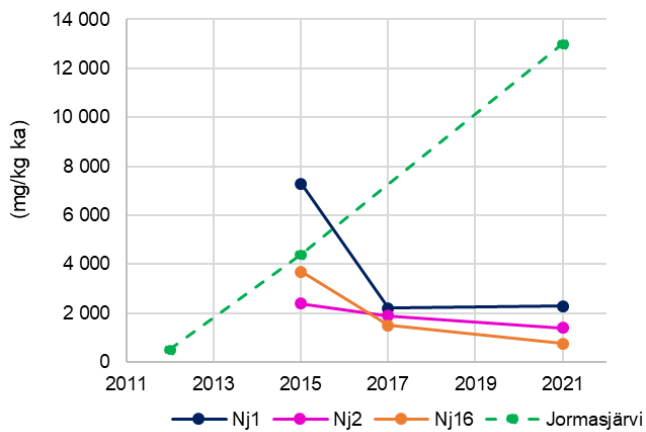
Nuasjärven Nj1, Nj2 ja N16 pisteiden pintasedimentissä rikin määrä vuonna 2021 on laskenut vuoden 2015 tuloksista, mutta pysynyt samankaltaisena vuoteen 2017 nähden. Lievää laskua on kuitenkin nähtävissä pisteillä Nj2 ja Nj16. Metallipitoisuuksissa, selvimmän Al, Fe, Mn, Zn, U -pitoisuudet ovat nousseet kaikissa pintasedimenteissä vuosiin 2015-2017 verrattuna, mutta nikkelpitoisuus on pysynyt samankaltaisena pisteellä Nj16. Kalsiumpitoisuudet ovat nousseet selvästi ja ovat suhteellisen korkeita, mutta natriumpitoisuuksissa nousua on tapahtunut lievemmin ja pitoisuudet ovat vielä melko matalia. (kuva 3-7).

Nuasjärven sedimentin huokosveden sulfaattipitoisuus oli laskenut selvästi vuoteen 2017 (75-84 mg/l) verrattuna kaikilla tarkkailupisteillä vuonna 2021 (25-36 mg/l) ja pitoisuudet olivat pääosin vuoden 2015 tasoa. Liukoisen fosfaatin pitoisuudet olivat vuonna 2021 lievästi suurempia (57-79 µg/l) kuin vuonna 2017 mitatut kokonaisfosfaattipitoisuudet (33-56 µg/l). Vuosien 2017 ja 2021 pitoisuudet olivat kuitenkin selvästi alhaisempia kuin vuonna 2015 mitatut kokonaisfosfaattipitoisuudet (3600-11000 µg/l). Vuoden 2015 poikkeavat tulokset saattavat selittyä myös mittausvirheellä. (liite 4).

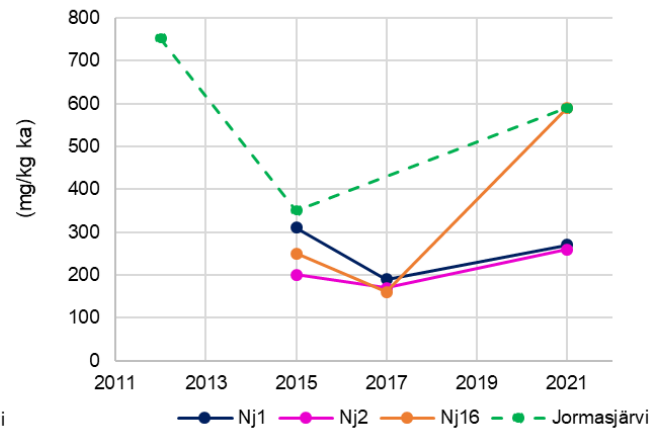
Nuasjärven purkuputken vaikutustarkkailun sedimenttien keskeisiä parametreja tarkkailuvuosien ajalta on esitetty kuvassa 3-7. Vuosien 2012-2015 tulokset kuvastavat osin edellisestä toiminnanharjoittajasta, Lahnaslammen kaivoksesta sekä lähialueesta aiheutuneita muutoksia. Tulokset vuodesta 2017 eteenpäin kuvastavat puolestaan osin Terrafamen, Lahnaslammen kaivoksen sekä lähialueen ympäristövaikutuksia.

TERRAFAMEN SEDIMENTIN LAATU 2021

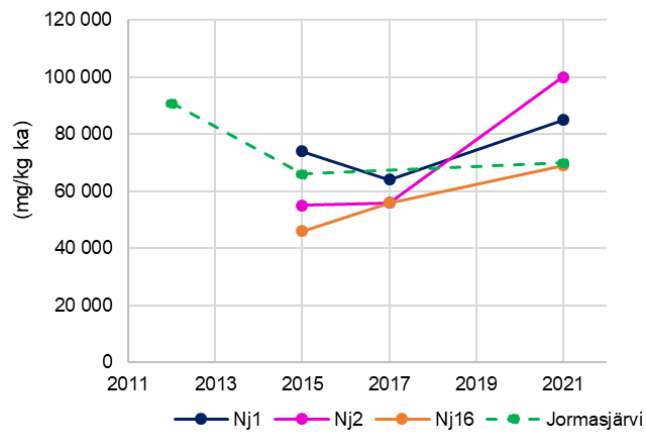
Rikkipitoisuus (Nuasjärvi)



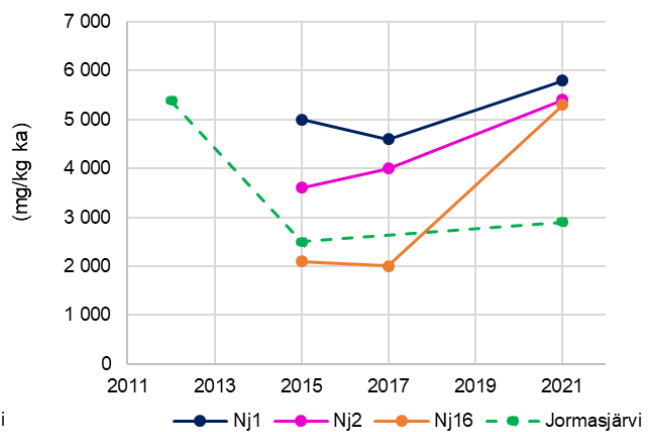
Sinkkipitoisuus (Nuasjärvi)



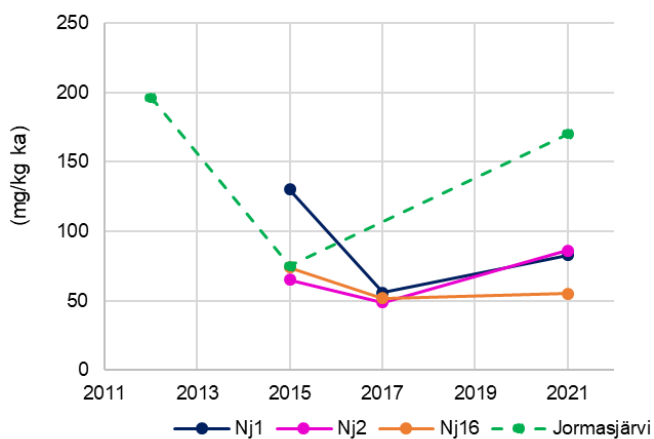
Rautapitoisuus (Nuasjärvi)



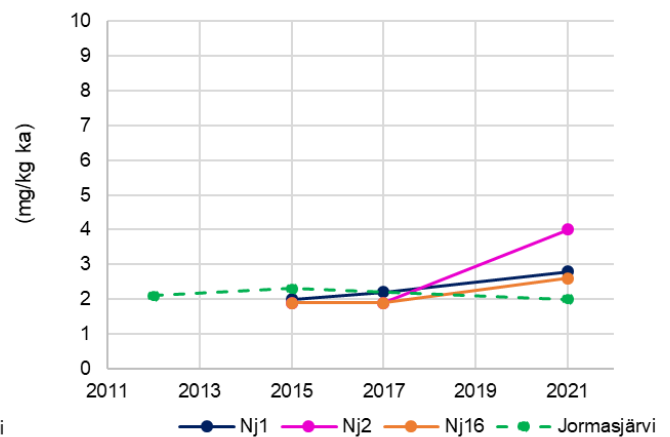
Mangaanipitoisuus (Nuasjärvi)

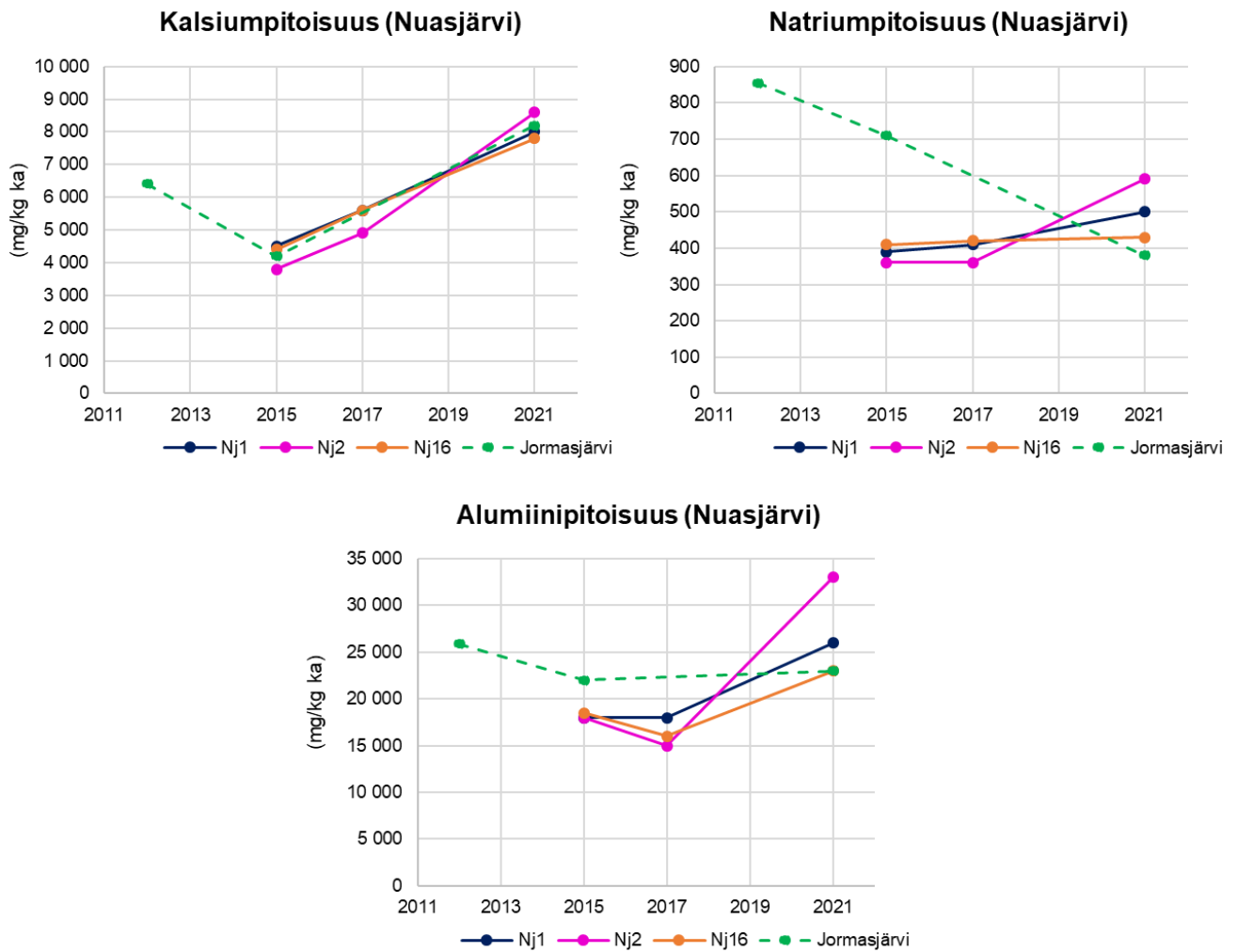


Nikkelipitoisuus (Nuasjärvi)



Uraanipitoisuus (Nuasjärvi)





Kuva 3-7. Nuasjärven pintasedimenttien (0-2 cm) rikki-, rauta-, mangaani-, nikkeli-, sinkki- ja uraani pitoisuuksien kehitys vuosina 2008-2021.

4. EPÄVARMUUSTEKIJÄT

Sedimentin laadun tarkkailun epävarmuus muodostuu eri epävarmuustekijöistä. Näitä ovat mm. näytteenottoon (näytteenottovälineet ja mittarien kalibrointi sekä elektrodin kunto, näytteenottajan ammattitaito, sääolosuhteet), näytteiden kuljetukseen ja säilytykseen, näytteen analysointiin ja käsittelyyn sekä myös tulosten tulkintaan liittyvät epävarmuudet.

Näytteenotosta vastasi Eurofins Ahma Oy:n sertifioitu ja kokenut näytteenottaja, joka noudattaa työssään näytteenoton standardeja ja ympäristöhallinnon erikseen antamia ohjeita.

Näytteenotto, ottovälineet ja näytteenottaja ovat standardoituja, jolloin tarkkailun epävarmuustekijät pystytään minimoimaan. Näytepisteiden koordinaatit tunnetaan ja näytepisteiden sijainnit tarkistettiin GPS-laitteella ennen näytteenottoa. Lisäksi näytteiden säilytys ja kuljetus on toteutettu yleisten ohjeiden ja standardien mukaisesti. Siten näytteenoton toistettavuuteen ja näytteiden kuljetukseen liittyvät epävarmuustekijät voidaan minimoida. Laboratorioanalyysit on tehty tutkimussuunnitelman mukaisilla menetelmillä FINAS - akkreditoidussa Eurofins Environment Testing Finland Oy:n Lahden laboratoriossa, jossa analyysien mittausepävarmuutta seurataan laadunvalvonnan mukaisesti.

Suurin epävarmuus muodostuu kuitenkin kertaluonteisen näytteen tuloksen luotettavuudesta ja vertailusta kuvastamaan koko järven sedimentin laatua. Tuloksia verrataan kuitenkin useamman vuoden tuloksiin, jolloin voidaan seurata sedimentin laadun kehittymistä pidemmällä ajanjaksolla ja saadaan näin luotettavampi kuva järven sedimentin laadusta ja sen kehityksestä, sekä kerrostumisympäristön olosuhteista.

5. YHTEENVETO

Oulujoen suunta

Sedimenttitarkkailun tulosten perusteella Oulujoen suunnalla purkuvesien vaikutukset olivat nähtävissä selvimmin Salmisen ja Kalliojärven tarkkailupisteillä. Oulujoen suunnan pintasedimentissä todettiin paikoin korkeita pitoisuuksia rikin, natriumin, mangaanin, nikkelin, kalsiumin, raudan ja alumiinin osalta, mutta pitoisuudet olivat pääosin selvästi laskussa vuoteen 2015 verrattuna. Lisäksi Salmisessa ja Kalliojärvessä v. 2012-2015 havaitut korkeat kalsium- ja natriumpitoisuudet olivat selvästi laskussa vuonna 2021. Vuonna 2015 Salmisen pisteellä havaittiin korkea uraanipitoisuus muihin tarkkailupisteisiin verrattuna ja sedimentin uraanipitoisuus oli edelleen hieman noussut vuonna 2021.

Salmisen sedimentin pintakerros on metallipitoisten vuotovesien neutraloinnissa syntyntä saostunutta sakkaa. Salmisen huono vedenlaatu kuormittaa jatkossakin sedimenttiä, joten vaikutukset ovat todennäköisesti pitkäaikaisia. Terrafamen mukaan Salmisen kunnostamisen suunnittelu on aloitettu vuoden 2021 loppupuolella. Myös Kalliojärven vesipatsaan korkeat metallipitoisuudet vaikuttavat jatkossakin sedimentaation kautta sedimentin laatuun.

Pitoisuustasot Terrafamen lähijärvissä vuonna 2021 ovat tulosten mukaan yleisesti hieman laskussa vuosiin 2012-2015 verrattuna ja kipsisakka-altaan vuodon vaikutukset ovat pienentyneet, muutoin kuin uraanin osalta Salmisessa. Vuodosta seuranneet jätevesipäästöt ovat todennäköisesti vuosien kuluessa sedimentoituneet syvemmälle pohjasedimenttiin ja nykyinen alempi kuormitus vähentää pitoisuuksien määrää näytteissä.

Kolmisopen- ja Jormasjärven sedimenttien pitoisuuksissa ei suurimmaksi osin havaittu pitoisuuden muutoksia vuosiin 2008-2015 verrattuna. Vesipäästöjen vaikutukset ilmenivät vuonna 2021 lähinnä Jormasjärven pisteiden rikkipitoisuuden kolminkertaistumisena aikaisempiin vuosiin verrattuna ja kalsiumpitoisuuden kaksinkertaistumisena. Pitoisuudet olivat kuitenkin vielä pieniä. Kolmisopen osalta sinkki- ja nikkelpitoisuuksissa havaittiin puolestaan laskua vuosiin 2012-2015 verrattuna, ja kalsiumpitoisuudessa vuoteen 2015 verrattuna. Metallipitoisuuksia verrattiin myös makean veden sedimenttien ekotoksikologisiin viitearvoihin. Oulujoen suunnan pintasedimenttinäytteissä PEL-arvojen ylityksiä havaittiin vain Jormasjärven ja Kolmisopen sinkkipitoisuuksien kohdalla, sekä Jormasjärven kadmiumpitoisuudessa. PEL-arvojen ylitykset olivat pääosin pieniä, joten haitallisia vaikutuksia vesieliöstöille ei arvioida olevan. Huolta voi aiheuttaa kuitenkin Jormasjärven sinkin kaksinkertainen pitoisuus PEL-arvoon verrattuna.

Vuoksen suunta

Vuoksen purkuvesien reitillä kaivoksen vesistökuormituksen vaikutukset ovat näkyneet tarkkailuhistoriassa selvimmin Kivijärven sedimentin laadussa. Pitoisuudet kohosivat silloisen Talvivaara Oy kipsisakka-altaan vuodon jälkeen (v. 2012), mutta tilanne on parantunut sen jälkeen Terrafamen toiminnan aikana. Vuoden 2021 aikana Vuoksen suuntaan juoksetettiin vain 7 % kaikista vesipäästöistä. Laakajärvessä toiminnan vaikutuksia sedimentin laadussa ei ollut selkeästi havaittavissa.

Kivijärven sedimenttiprofiilit ilmensivät voimakkaasti pelkistyneitä olosuhteita, ja järven alusvesi oli olosuhteiltaan pelkistävää. Tämä on todennäköisesti seurausta v. 2012 tapahtuneesta kipsisakka-altaan vuodosta tai orgaanisen aineen suuresta määrästä järven pohjalla.

Vuoksen suunnan tarkkailupisteissä kaivoksen vesistökuormituksen vaikutus näkyi vuonna 2021 selvästi lievempänä kuin vuonna 2015. Kivijärvellä sedimentin pintakerroksessa rikin pitoisuus laski n. 27-71 % vuoteen 2015 verrattuna. Nikkelin pitoisuus puolestaan laski n. 50-78 % ja kalsiumin noin 38-46 %. Myös natriumin pitoisuus laski Kivijärvi eteläpisteellä, mutta ei pohjoispisteellä. Laakajärven pisteillä havaittiin rauta- ja mangaanipitoisuuksissa nousua Kivijärven pitoisuustasojen yläpuolelle. Lisäksi Laakajärvellä havaittiin rikkipitoisuuden nousua vuosiin 2012-2015 verrattuna noin 50-150 %, mutta pitoisuudet ovat edelleen pieniä. Suurimmat muiden metallien pitoisuudet, sekä rikki- ja suolapitoisuudet havaittiin edelleen Kivijärven sedimentissä. Kivijärven vesipatsaan korkeat metallipitoisuudet vaikuttavat todennäköisesti jatkossakin sedimentaation kautta sedimentin laatuun. Sedimenttien metallipitoisuuksia verrattiin myös makean veden sedimenttien ekotoksikologisiin viitearvoihin, eikä Vuoksen suunnan järvisedimenttinäytteissä PEL-arvojen ylityksiä havaittu.

Nuasjärvi

Nuasjärvi on tyypiltään karu humuspitoinen järvi. Vuonna 2021 täyskierto ulottui koko vesimassaan sekä kevät-että syystäyskierron aikana, eikä Nuasjärvessä havaittu viitteitä happikadosta tai pysyvistä kerrostuneisuudesta. Nuasjärven pintasedimentin tarkkailutuloksiin voi vaikuttaa Terrafamen purkuvesien ohella myös Elementis Mineralsin Lahnaslammen kaivoksen uudelleen käynnistetty toiminta ja syntyvät purkuvedet, sekä lisäksi järveen kohdistuva hajakuormitus mm. matkailu- ja ihmistoiminnan lisääntymisen seurauksena alueella.

Ennen Terrafamen purkuvesien johtamisen aloittamista purkuputken kautta Nuasjärveen otettiin vaikutustarkkailua varten taustapitoisuusnäytteet syksyllä 2015 Nuasjärven kolmesta tarkkailupisteestä (Nj1, Nj2 ja Nj16) edellisen konsultin (Ramboll Oy) toimesta. Vuonna 2021 Terrafamen vesien johtamisen vaikutuksia Nuasjärven sedimentin laatuun kartoitettiin ottamalla sedimenttinäytteet velvoitetarkkailun kolmesta pisteestä.

Kaikista Terrafamen vuoden 2021 vesipäästöistä noin 86 % johdettiin purkuputken kautta Nuasjärveen, ja vettä juoksutettiin yhteensä 7 663 607 m³. Suurin vesistökuormitus Nuasjärveen muodostuu suuruusjärjestyksessä sulfaatista, mangaanista, natriumista, sinkistä, nikkelistä ja kuparista. Varsinkin mangaanipitoisuuksissa havaittiin nousua Nuasjärven pintasedimenteissä vuosiin 2015-2017 verrattuna. Myös rauta-, alumiini- sekä kalsiumpitoisuuksissa havaittiin nousua samaisella aikavälillä. Natriumpitoisuuksissa nousua tapahtui kuitenkin lievemmin ja pitoisuudet olivat vielä matalia. Muiden Terrafamen vesikuormituksen keskeisimpien metallien (kupari, nikkeli, sinkki ja uraani) osalta vaikutukset todettiin tarkkailutulosten perusteella vähäisiksi. Uraanipitoisuus nousi kuitenkin lievästi kaikilla tarkkailupisteillä vuosiin 2015-2017 verrattuna ja lisäksi purkuputkea lähimpänä sijaitsevalla tarkkailupisteellä Nj16 sinkkipitoisuus nousi taustapitoisuutta (2015) sekä vuotta 2017 korkeammaksi. Lahnasjokea ja Jormasjokea lähimpänä sijaitsevan Nuasjärven Nj1 arseenipitoisuudet olivat hieman muita tarkkailupisteitä korkeampia. Vuoden 2006 GTK:n tutkimuksessa tällä alueelta todettiin sedimentin pintaosasta kohonneita arseeni-, nikkeli- ja rikkipitoisuuksia, mikä voidaan suureksi osaksi selittää Lahnaslammen kaivosalueelta (nykyisin Elementis Minerals) tulevalle kuormituksella.

Nuasjärven pintasedimentti oli vuonna 2021 pääosin eloperäistä (LOI 13-17 %) ja väriltään tummaa liejua. Verrattuna Oulujoen ja Vuoksen suunnan pintasedimenttien humuspitoisuuteen, Nuasjärven näyte oli selvästi humuspitoisuudeltaan pienempää. Kokonaistypen pitoisuudet olivat nousseet vuosien 2015-2017 tuloksista hieman Nj1 ja Nj2 tarkkailupisteiden osalta, kun lähimpänä purkuputkea sijaitsevalla pisteellä Nj16 typen pitoisuus oli laskenut. Kokonaistypen määrä oli Nuasjärvellä selvästi pienempi kuin muiden vesistöjen tarkkailupisteillä, ilmentäen viime vuosina Nuasjärveen kohdistuneen typpikuormituksen olleen vähäisempää. Sedimentin pintakerroksen redox-arvot olivat Nuasjärven pisteillä korkeammat kuin kaivoksen lähijärvien tarkkailussa Oulujoen ja Vuoksen suunnalla, joka viittaa sedimentin parempiin hapetusolosuhteisiin ja hapekkaampiin alusvesiin, sekä toteutuneeseen täyskiertoon.

Vuoden 2021 tuloksia verrattaessa taustapitoisuuksiin sekä vuoteen 2017, voidaan todeta Nuasjärven tarkkailupisteiden pitoisuuksien olevan pääosin korkeampia suurimpien vesipäästökuormittajien osalta kuin edellisvuosina. Kohonneita pitoisuuksia verrattiin makean veden sedimenttien ekotoksikologisiin viitearvoihin, joiden perusteella PEL-arvojen ylitykset olivat pieniä, eikä haitallisia vaikutuksia arvioida olevan vesieliöille. Huolta voi aiheuttaa kuitenkin Nuasjärvi Nj16 sinkin lähes kaksinkertainen pitoisuus verrattuna PEL-arvoon.

Nuasjärven ja Jormasjärven tulosten välillä ei ollut havaittavissa merkittäviä pitoisuseroja, muutoin kuin rikin osalta Jormasjärvessä. Jormasjärven sedimentistä mitattiin selvästi Nuasjärven pisteitä suurempi määrä rikkiä, jonka pitoisuus on noussut jokaisena tarkkailuvuotena. Lisäksi Jormasjärven pisteillä havaittiin suurempi nikkelipitoisuus kuin Nuasjärven pisteiltä. Nuasjärven pisteillä rikin määrä oli laskenut selvästi vuoteen 2015 verrattuna, sekä hieman vuoteen 2017 nähden.

LÄHTEET

Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines.

ECHA. 2021. Information on chemicals. <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals>

Eurofins Viljavuuspalvelu Oy. 2020. <https://www.eurofins.fi/agro>

Eurofins Ahma Oy. 2021. Terrafame Oy - Pintavesitarkkailun vuosiraportti 2021.

Eurofins Ahma Oy. 2021. Terrafame Oy - Pohjaeläinten tarkkailun vuosiraportti 2021.

Eurofins Ahma Oy. 2021. Terrafame Oy - Vesipäästöjen tarkkailun vuosiraportti 2021.

Geologian tutkimuskeskus. 2001. Maaperätutkimukset P 34.4.034, raporttiedosto: 4475. Sedimenttien fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista 31 Suomen järvessä.

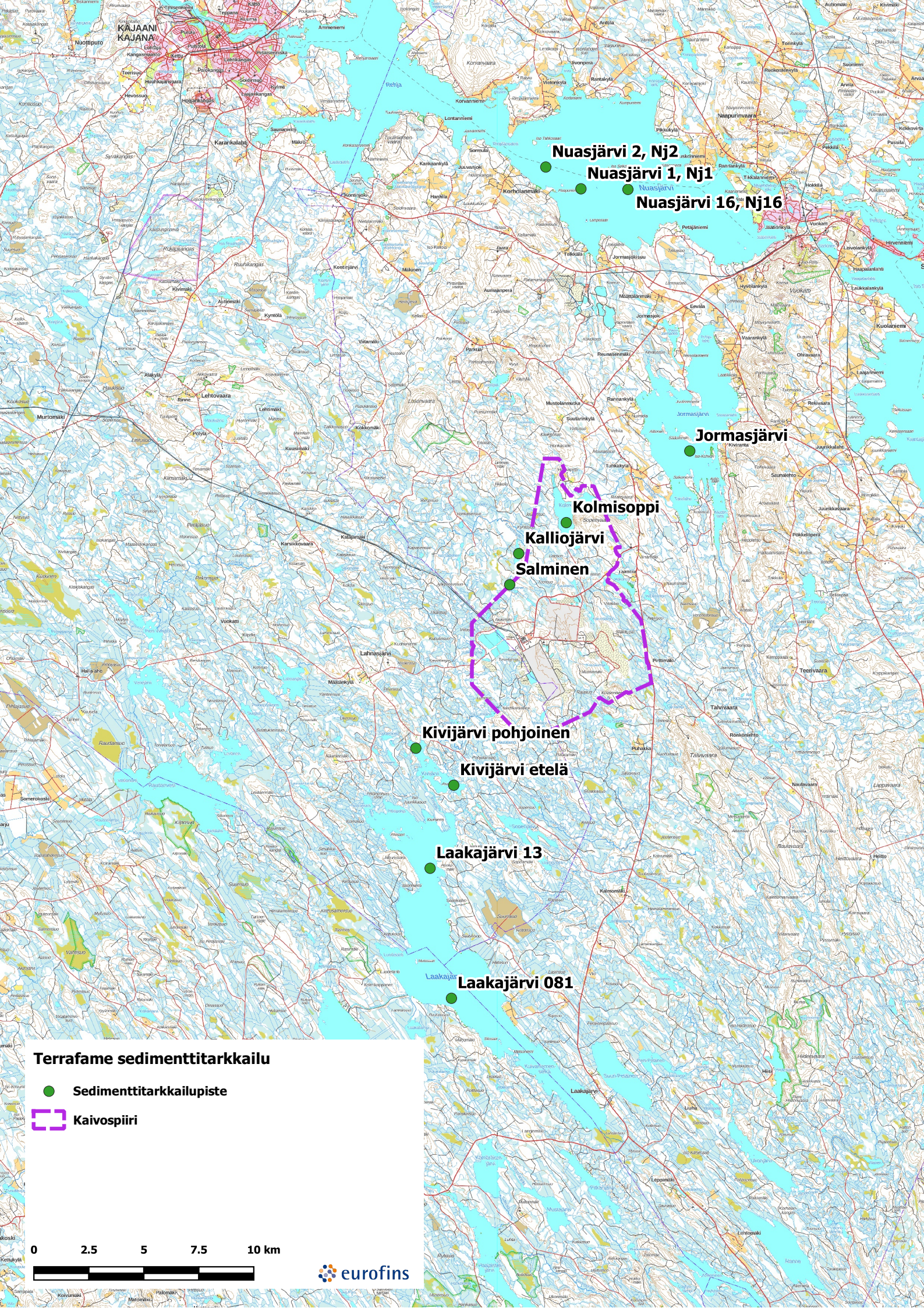
Ilmatieteen laitos. 2022. <http://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Ramboll Oy 2016. Terrafame Oy – Osa VII: Sedimentin laatu ja Nuasjärven purkuputken vaikutustarkkailu. 10 s. + liitteet.

Ramboll Oy. 2018. Terrafame Oy - Osa XI: Sedimentin laatu ja Nuasjärven purkuputken vaikutustarkkailu. 9 s. + liitteet.

Ramboll Oy. 2020. Terrafame Oy:n ympäristötarkkailuohjelmat, päivitetty 26.5.2020.

Troeh, F. R. & Thompson, L. M. 2005. Soils and soil fertility. Ames, Iowa, USA: Blackwell. 498 s.



Terrafame sedimentitarkkailu

● Sedimenttitarkkailupiste

⬡ Kaivospiiri

0 2.5 5 7.5 10 km

euofins

Sedimentin laadun tulokset v. 2021																														
Tunnus	Parametri	Kokonaissyv yys	Näytteenott osyvyys	100 Ilman lämpötila, KT, °C	105 Pilvisyys, KT	120 Tuulen nopeus, KT, m/s	125 Tuulen suunta, KT, °	310 Haju, KT	Ulkonäkö	Hehkutushä viö, LOI (550 °C), % ka	Hehkutusjäähä nnös (550 °C), % ka	Kokonaiskos teus	Kuiva-aine, kiinteä (TS) (pl. jäte)	Lämpötila, vesi	pH maa/kiinteä näyte	Rikki (S) / RZJ01	Sulfaatti	Kokonaistyyppi, maa, lanta, komposti	Fosfaatti, liukoinen Gallery	Orgaaninen hiili, vedetön TOC m-%	Kalium (K) / RZJ01	Kalsium (Ca) / RZJ01	Magnesium (Mg) / RZJ01	Natrium (Na) / RZJ01	Alumiini (Al) / RZJ01	Antimoni (Sb) / RZJ01	Arseni (As) / RZJ01	Barium (Ba) / RZJ01	Beryllium (Be) / RZJ01	
	Yksikkö	m	m	°C		m/Seconds	°			% dw	% dw	%	%	°C		mg/kg dry	mg/l	g/kg ka	µg/l	% dw	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry
Salminen	29.9.2021	7	7	4	8	0	0	H	RU	57	43	97	3	7	4,7	89000	7000	22	15	20	490	7000	16000	34000	56000	<0,5	4,2	75	4,3	
Kalliojärvi	29.9.2021	5,5	5,5	4	8	0	0	H	RU	93	6,8	96	4,1	7	6,9	23000	330	34	8,4	20	1200	8600	4100	2600	22000	<0,5	5	160	1,1	
Kolmisoppi	23.9.2021	14,6	14,6	4	8	5	180	H	RU	28	72	91	9,3	8	7	7400	79	12	20	14	2300	8300	5400	430	16000	<0,5	5	120	<1	
Jormasjärvi	21.10.2021	26	26	2	8	4	180	H	RU	30	70	94	6,3	4,5	7,3	13000	120	28	9,4	15	2800	8200	6000	380	23000	<0,5	9,2	170	1,2	
Kivijärvi pohjoinen	27.9.2021	7	7	8	2	2	180	H	RU	42	58	94	5,8	9	7	30000	4200	29	17	19	1300	6200	5100	26000	10000	<0,5	3,9	120	<1	
Kivijärvi etelä	27.9.2021	6	6	8	2	1	170	H	RU	41	59	95	5,3	7,9	6,8	16000	560	23	62	21	1600	7900	4700	3700	12000	<0,5	4,8	130	<1	
Laakajärvi 13	27.10.2021	10	10							30	70	95	5,2	2,3	7	11000	52	15	33	16	350	4900	2500	<100	13000	<0,5	3,9	130	<1	
Laakajärvi 081	27.10.2021	25	25	3	8	3	250	H	RU	28	72	95	4,9	3,2	6,4	5900	34	22	25	14	<100	3000	1600	<100	13000	<0,5	5,5	150	<1	
Nuasjärvi 1	1.11.2021	24,5	24,5	4	6	2	180	H	RU	17	83	91	8,7	4,8	7,1	2300	36	7,3	58	7,7	3400	8000	8200	500	26000	<0,5	23	290	<1	
Nuasjärvi 2	1.11.2021	21	21	4	8	2	180	H	RU	13	87	87	13	5,4	7	1400	25	6,7	79	5,5	4100	8600	13000	590	33000	<0,5	15	330	<1	
Nuasjärvi 16	1.11.2021	16,5	16,5	4	6	2	180	H	RU	14	86	88	12	4,6	7	770	27	3,9	57	6	2700	7800	8700	430	23000	<0,5	12	220	<1	

Tunnus	Elohopea (Hg) / RZJ01	Kadmium (Cd) / RZJ01	Koboltti (Co) / RZJ01	Kromi (Cr) / RZJ01	Kupari (Cu) / RZJ01	Litium (Li) / RZJ02	Lyijy (Pb) / RZJ01	Mangaani (Mn) / RZJ01	Molybdeeni (Mo) / RZJ01	Nikkeli (Ni) / RZJ01	Rauta (Fe) / RZJ01	Rubidium (Rb) / RZJ02	Seleen (Se) / RZJ01	Sinkki (Zn) / RZJ01	Tallium (Tl) / RZJ01	Titaani (Ti) / RZJ02	Torium (Th) / RZJ02	Uraani (U) / RZJ01	Vanadiini (V) / RZJ01
	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry	mg/kg dry
Salminen	0,17	0,82	4,6	44	38	7,9	16	8000	<2	170	66000	4,4	7,2	280	<1	240	6,1	380	79
Kalliojärvi	0,21	0,59	8,7	27	35	6,7	31	1600	<2	210	93000	10	3,4	160	<1	760	4,2	39	55
Kolmisoppi	0,33	2,1	20	38	47	13	26	810	<2	110	47000	24	2,3	330	<1	1300	5,2	4,9	69
Jormasjärvi	0,24	4	57	54	55	14	39	2900	3,4	170	70000	92	1,9	590	<1	1400	16	2,7	82
Kivijärvi pohjoinen	0,32	0,83	8,9	25	31	7,8	35	1800	<2	110	22000	12	1,3	190	<1	600	3,4	1,9	43
Kivijärvi etelä	0,31	1,1	10	30	33	9,3	53	1900	<2	140	29000	14	2,4	230	<1	930	4,6	3,8	62
Laakajärvi 13	0,25	0,74	16	31	29	4,9	38	2700	3,6	57	47000	17	1,1	160	<1	710	5,4	2,1	65
Laakajärvi 081	0,23	1,4	28	24	22	3,3	54	5700	2,5	33	52000	9,6	1,2	160	<1	560	3,6	1,5	57
Nuasjärvi 1	<0,1	1,9	39	76	29	17	40	5800	2,9	83	85000	34	<1	270	<1	1800	8	2,8	84
Nuasjärvi 2	<0,1	1,6	42	110	41	28	52	5400	3	86	100000	50	<1	260	<1	2900	13	4	110
Nuasjärvi 16	<0,1	1,1	24	73	28	18	34	5300	2,3	55	69000	34	<1	590	<1	2000	8,2	2,6	73

Oulujoen suunnan tarkkailupisteet

Jormasjärvi cm	21.10.2021 lämpötila	Syvyys 26 m	
		pH	redox
alusvesi	5,2	6,7	197
1	4,7	6,6	20
2	4,9	6,78	11
3	5,2	6,91	76
4	5	6,96	129
5	4,6	7,04	143
6	4,8	7,05	167
7	5	7,03	209
8	5	7,07	135
9	5	7,07	248
10	5	7,05	335
11	4,9	7,08	310
12	5	7,05	304
13	5,1	7,01	237
14	5	6,91	197
15	5,2	7,02	150

Kalliojärvi cm	1.10.2021 lämpötila	Syvyys 5,5 m	
		pH	redox
alusvesi	7,1	6,9	59
1	7	7,1	-175
2	6,8	7,3	-175
3	6,7	7,3	-184
4	6,9	7,3	-291
5	7	7,2	-242
6	6,9	7,2	-229
7	7	7,1	-264
8	7,1	7	-224
9	7,1	7	-226
10	7,1	6,9	-206
11	7,2	6,8	-316
12	7	6,9	-207
13	7,3	6,8	-200
14	7,3	6,8	-180
15	7,2	6,8	-140
16	7,2	6,8	-170
17	7,4	6,8	-173
18	7,3	6,7	-172
19	7,5	6,7	-172
20	7,4	6,7	-174

SALMINEN cm	29.9.2021 lämpötila	Syvyys 7 m	
		pH	redox
alusvesi	7,3	4,5	-2
1	7,3	4,5	30
2	7,3	4,5	-11
3	7,3	4,5	-38
4	7,3	4,6	-47
5	7,3	4,6	-25
6	7,3	4,6	-20
7	7,2	4,6	-59
8	7,2	4,6	-42
9	7,3	4,6	-60
10	7,1	4,6	-57
11	7	4,5	-55
12	7,3	4,5	-60
13			
14			
15	7,3	4,5	-45
16	7,2	4,5	-62
17	7,3	4,5	-70
18	7,3	4,4	-61
19	7,2	4,4	-64
20	7,2	4,4	-55

Kolmisoppi cm	29.8.2021 lämpötila	Syvyys 14,6 m	
		pH	redox
alusvesi	8	7,7	178
1	6,6	7	-100
2	6,5	6,97	-133
3	6,4	6,95	-163
4	6,6	6,88	-178
5	7	6,82	-207
6	6,6	6,77	-234
7	6,8	6,82	-249
8	7	6,82	-247
9	7,4	6,85	-243
10	7,5	6,82	-244
11	7,4	6,82	-218
12	7,5	6,75	-233
13	7	6,77	-230
14	7,2	6,77	-232
15	7,6	6,64	-220
16	7,6	6,64	-208
17	7,3	6,66	-214
18	7,1	6,66	-215
19	7,6	6,62	-210
20	7,5	6,62	-215

Vuoksen suunnan tarkkailupisteet

Kivijärvi Pohjoinen cm	27.9.2021 lämpötila	Syvyys 7 m	
		pH	redox
alusvesi	9	6,85	55
1	9	6,81	-102
2	8,4	6,86	-240
3	8,3	7	-361
4	8,2	7,44	-342
5	8,3	7,43	-236
6	8,3	7,46	-213
7	8,3	7	-192
8	8,5	6,93	-172
9	8,3	6,88	-167
10	8,3	6,84	-160
11	8,2	6,78	-147
12	8,2	6,75	-155
13	8,2	6,73	-145
14	8,1	6,68	-153
15	8	6,66	-142
16	8,2	6,63	-155
17			
18			
19			
20			

Kivijärvi Etelä cm	27.9.2021 lämpötila	Syvyys 6 m	
		pH	redox
alusvesi	7,9	6,87	-69
1	9,2	7,24	-242
2	9,2	7,28	-221
3	9,1	7,14	-216
4	8,8	7,07	-276
5	8,8	6,98	-212
6	8,8	6,93	-181
7	8,7	6,89	-165
8	8,7	6,83	-169
9	8,8	6,77	-158
10	8,5	6,71	-171
11	8,6	6,7	-170
12	8,7	6,68	-168
13	8,5	6,6	-177
14	8,6	6,58	-184
15	8,6	6,56	-159
16	8,6	6,5	-177
17	8,5	6,4	-183
18	8,5	6,43	-203
19	8,3	6,3	-213
20			

Laakajärvi 13 cm	28.10.2021 lämpötila	Syvyys 10 m	
		pH	redox
alusvesi	2,3	7,07	149
1	2,5	6,15	40
2	2,5	6,13	13
3	2,7	6,44	-23
4	2,8	6,6	-48
5	2,8	6,6	-51
6	2,9	6,59	-51
7	2,9	6,56	-45
8	3	6,54	-61
9	3,1	6,53	-54
10	3,1	6,51	-57
11	3,1	6,67	-62
12	3,3	6,67	-60
13	3,4	6,6	-59
14	3,5	6,63	-66
15	3,6	6,67	-68
16	3,7	6,65	-65
17	3,8	6,68	-70
18	3,9	6,67	-73
19	4	6,71	-75
20	4	6,71	-75

Laakajärvi 081 cm	28.10.2021 lämpötila	Syvyys 25 m	
		pH	redox
alusvesi	3,2	6,52	147
1	5,2	6,38	30
2	3,4	6,66	-184
3	3,5	6,85	-130
4	3,6	6,88	-257
5	3,9	6,84	-292
6	4	6,91	-314
7	4,1	7	-360
8	4,2	6,97	-382
9	4,3	7	-366
10	4,4	7	-223
11	4,5	7,04	-202
12	4,6	7,01	-262
13	4,7	7	-258
14	4,8	7,03	-253
15	4,8	7,03	-188
16	5	7,06	-257
17	5	7,03	-241
18	5	7,02	-213
19	5,5	6,97	-158
20	5,2	6,98	-175

Nuasjärven tarkkailupisteet

NJ1 cm	1.11.2021 lämpötila	Syvyys 24,5 m	
		pH	redox
alusvesi	4,8	6,6	163
1	5,3	6,2	146
2	5,3	6,4	24
3	5,3	6,6	-67
4	5,2	6,8	-90
5	5,2	6,9	-136
6	5,1	6,9	-220
7	5,2	6,9	-292
8	5,3	6,9	-274
9	5,3	6,9	-350
10	5,3	7	-433
11	5,4	7	-361
12	5,4	7	-422
13	5,4	7	-293
14	5,4	7	-450
15	5,4	7,1	-390
16	5,4	7,1	-325

NJ2 cm	1.11.2021 lämpötila	Syvyys 21 m	
		pH	redox
alusvesi	4,9	6,8	147
1	5,4	6,6	171
2	5,4	6,1	70
3	5,5	6,1	120
4	5,5	6,2	95
5	5,5	6,6	-68
6	5,3	6,6	204
7	5,3	6,9	-176
8	5,3	6,9	-205
9	5,3	7	-160
10	5,3	7	-140
11	5,4	7	-135
12	5,4	7	-156
13			
14			
15			
16			

NJ16 cm	1.11.2021 lämpötila	Syvyys 16,5 m	
		pH	redox
aluvesi	4,6	6,6	165
1	5,2	6,4	66
2	5,4	6,3	73
3	5,7	6,4	-15
4	5,4	6,5	-80
5	5,3	6,7	-120
6	5,2	6,9	-189
7	5,3	6,9	-213
8	5,3	6,9	-191
9	5,3	6,9	-145
10	5,4	6,9	-132
11	5,4	6,9	-119
12			
13			
14			
15			
16			

Sedimentin kemiallisen laadun tuloksia vuosilta 1993-2021.

Näytteen- ottopaikka	Pvm.	Syvyys	K	Ca	Mg	Na	S	Al	Sb	As	Ba	Be	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Pb	Mn	Mo	Ni	Fe	Rb	Se	Zn	Tl	Ti	Th	U	V
		cm	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
Oulujoen suunta																															
Salminen	1993	0-9								2,4			0,34	0,75	2,9		29		50	208		94	10119			50					
Salminen	2012	0-2		11100		58000	51400	10400		7,6			0,32	0,79	5,5		39		37	951		24	42500			101				1,47	
Salminen	2015	0-2	380	10000	25000	48000	110000	41000	<0,50	2,5	42	3	<0,10	0,25	4,5	31	54	7	8,4	13000	<2,0	220	84000	2,4	3,6	55	<1,0	94	2,9	360	19
Salminen	2021	0-2	490	7000	16000	34000	89000	56000	<0,50	4,2	75	4,3	0,17	0,82	4,6	44	38	7,9	16	8000	<2,0	170	66000	4,4	7,2	280	<1,0	240	6,1	380	79
Kalliojärvi	1993	0-2		5120		259	2510	12900		6,2			0,15	<0,5	5		28		38	363		22	23600			58				3,5	
Kalliojärvi	2012	0-2		10600		33600	36900	12000		7,6			0,23	0,83	8,6		36		32	1020		29	41100			106				2,3	
Kalliojärvi	2015	0-2	570	15000	7300	37000	48000	31000	<0,50	4,1	130	2	<0,10	0,54	6,6	17	19	9	15	3200	<2,0	310	150000	3,5	1,3	150	<1,0	230	1,4	71	32
Kalliojärvi	2021	0-2	1200	8600	4100	2600	23000	22000	<0,50	5	160	1,1	0,21	0,59	8,7	27	35	6,7	31	1600	<2,0	210	93000	10	3,4	160	<1,0	760	4,2	39	55
Kolmisoppi	1993	0-2		4930		296	4370	18100		<5			0,15	1,5	23		63		31	1040		174	39400			403				2,9	
Kolmisoppi	2012	0-2		8030		1040	5450	21500		8,3			0,17	3,9	27		55		23	823		172	44500			522				2,9	
Kolmisoppi	2015	0-2	3600	11000	7200	1400	6300	20000	<0,50	4	150	<1,0	0,19	3,8	25	53	59	22	26	730	2,6	180	48000	31	1,1	520	<1,0	1700	3,8	8	81
Kolmisoppi	2021	0-2	2300	8300	5400	430	7400	16000	<0,50	5	120	<1,0	0,33	2,1	20	38	47	13	26	810	<2,0	110	47000	24	2,3	330	<1,0	1300	5,2	4,9	69
Jormasjärvi	2008	0-2		4960		330	5520	24600		9,5			0,2	2,1	35		41		38	3180		98	59900			378				2,1	
Jormasjärvi	2012	0-2		6410		855	505	25900		19			0,25	6,7	63		56		32	5380		196	90800			752				2,3	
Jormasjärvi	2015	0-2	2500	4200	5200	710	4400	22000	<0,50	8,2	230	<1,0	0,18	2,1	39	51	35	13	36	2500	3	75	66000	24	1,5	350	<1,0	1200	3	2	71
Jormasjärvi	2021	0-2	2800	8200	6000	380	13000	23000	<0,50	9,2	170	1,2	0,24	4	57	54	55	14	39	2900	3,4	170	70000	92	1,9	590	<1,0	1400	16	2,7	82
Vuoksen suunta																															
Kivijärvi pohjoinen	2008	0-2		4730		252	3610	15900		<5			0,25	0,95	8,1		40		54	478		32	26200			102				3,3	
Kivijärvi pohjoinen	2012	0-2		9740		24300	29800	15100		8,6			0,28	1,5	13		52		57	3080		220	25700			282				3,3	
Kivijärvi pohjoinen	2015	0-2	1600	13000	8200	19000	41000	12000	<0,50	4,2	230	0	0,19	1,4	20	31	50	11	45	3100	4	500	41000	12	2,3	510	<1,0	880	4	6,2	63
Kivijärvi pohjoinen	2021	0-2	1300	6200	5100	26000	30000	10000	<0,50	3,9	120	<1,0	0,32	0,83	8,9	25	31	7,8	35	1800	<2,0	110	22000	12	1,3	190	<1,0	600	3,4	1,9	43
Kivijärvi etelä	2008	0-2		4800		225	3460	14200		7,3			0,21	1,1	8,9		43		48	507		49	20400			160				2,2	
Kivijärvi etelä	2012	0-2		9130		42100	43700	16100		8,4			0,24	2,3	24		69		30	2580		471	29300			618				3,4	
Kivijärvi etelä	2015	0-2	1500	10000	8600	51000	55000	11000	<0,50	3,9	180	0	0,21	1,4	16	31	48	11	37	3100	2,6	280	37000	11	1,7	370	<1,0	680	3,1	4,4	63
Kivijärvi etelä	2021	0-2	1600	7900	4700	3700	16000	12000	<0,50	4,8	130	<1,0	0,31	1,1	10	30	33	9,3	53	1900	<2,0	140	29000	14	2,4	230	<1,0	930	4,6	3,8	62
Laakajärvi 13	2012	0-2		5540		845	6580	12600		9,8			0,26	0,72	11		28		33	2830		53	68400			129				1,7	
Laakajärvi 13	2015	0-2	680	3600	1400	320	4300	13000	<0,50	5,2	760	<1,0	0,23	1,5	32	27	21	<5	64	4400	4,1	23	54000	6,5	1,1	170	<1,0	490	1,6	1,6	58
Laakajärvi 13	2021	0-2	350	4900	2500	<100	11000	13000	<0,50	3,9	130	<1,0	0,25	0,74	16	31	29	4,9	38	2700	3,6	57	47000	17	1,1	160	<1,0	710	5,4	2,1	65
Laakajärvi 081	2015	0-2	640	4300	1500	380	3800	11000	<0,50	4,1	88	<1,0	0,18	0,93	14	26	19	<5	42	1200	3	21	39000	6	1,3	140	<1,0	500	1,3	1,5	54
Laakajärvi 081	2021	0-2	<100	3000	1600	<100	5900	13000	<0,50	5,5	150	<1,0	0,23	1,4	28	24	22	3,3	54	5700	2,5	33	52000	9,6	1,2	160	<1,0	560	3,6	1,5	57
Nuasjärven purkuputken vaikutustarkkailu																															
Nuasjärvi Nj1	2015	0-2	2500	4500	5800	390	7300	18000	<0,50	30	300	<1,0	0,16	1,7	51	61	33	14	34	5000	2,8	130	74000	24	<1,0	310	<1,0	1200	3,3	2	74
Nuasjärvi Nj1	2017	0-2	2700	5600	4800	410	2200	18000	<0,50	14	320	<1,0	0,17	1,4	25	60	24	10	32	4600	2,2	56	64000	26	<1,0	190	<1,0	1900	7,4	2,2	65
Nuasjärvi Nj1	2021	0-2	3400	8000	8200	500	2300	26000	<0,50	23	290	<1,0	<0,1	1,9	39	76	29	17	40	5800	2,9	83	85000	34	<1,0	270	<1,0	1800	8	2,8	84
Nuasjärvi Nj2	2015	0-2	2500	3800	6600	360	2400	18000	<0,50	9,7	230	<1,0	0,12	1,2	27	61	28	15	30	3600	2,2	65	55000	26	<1,0	200	<1,0	1700	3,8	1,9	67
Nuasjärvi Nj2	2017	0-2	2400	4900	4300	360	1900	15000	<0,50	12	280	<1,0	0,15	1,2	22	52	21	8,8	28	4000	<2,0	49	56000	28	<1,0	170	<1,0	1700	8,1	1,9	58
Nuasjärvi Nj2	2021	0-2	4100	8600	13000	590	1400	33000	<0,50	15	330	<1,0	<0,1	1,6	42	110	41	28	52	5400	3	86	100000	50	<1,0	260	<1,0	2900	13	4	110
Nuasjärvi Nj16	2015	0-2	2700	4400	6400	410	3700	18500	<0,50	10	195	<1,0	0,16	1,5	25	64	31	15	35	2100	2,5	74	46000	<0,5	<1,0	250	<1,0	1350	3,4	1,9	67
Nuasjärvi Nj16	2017	0-2	2400	5600	5100	420	1500	16000	<0,50	12	200	<1,0	0,15	1,1	20	56	22	11	26	2000	<2,0	52	56000	31	<1,0	160	<1,0	1900	8,3	1,9	59
Nuasjärvi Nj16	2021	0-2	2700	7800	8700	430	770	23000	<0,50	12	220	<1,0	<0,1	1,1	24	73	28	18	34	5300	2,3	55	69000	34	<1,0	590	<1,0	2000	8,2	2,6	73

Huokosvesi	Pvm.	Sulfaatti mg/l	Fosfaatti, liukoinen µg/l	Fosfaatti, kok. µg/l
Salminen	29.9.2021	7000	15	
Kalliojärvi	29.9.2021	330	8,4	
Kolmisoppi	2.10.2015	430		1800
Kolmisoppi	23.9.2021	79	20	
Jormasjärvi	2.10.2015	71		2100
Jormasjärvi	21.10.2021	120	9,4	
Kivijärvi pohjoinen	27.9.2021	4200	17	
Kivijärvi etelä	27.9.2021	560	62	
Laakajärvi 13	2.10.2015	43		
Laakajärvi 13	27.10.2021	52	33	920
Laakajärvi 081	2.10.2015	81		
Laakajärvi 081	27.10.2021	34	25	1500

Huokosvesi	Pvm.	Sulfaatti mg/l	Fosfaatti, liukoinen µg/l	Fosfaatti, kok. µg/l
Nuasjärvi 1	2.10.2015	28		11000
Nuasjärvi 1	20.7.2017	79		56
Nuasjärvi 1	1.11.2021	36	58	
Nuasjärvi 2	2.10.2015	32		5600
Nuasjärvi 2	20.7.2017	75		44
Nuasjärvi 2	1.11.2021	25	79	
Nuasjärvi 16	2.10.2015	25		3600
Nuasjärvi 16	20.7.2017	84		33
Nuasjärvi 16	1.11.2021	27	57	