



Pro gradu –tutkielma
Geologia
Hydrogeologia ja ympäristögeologia

POHJAVESIVAIKUTUS LAMMIN LÖYTTYNOJAN JA
KOIRANSUOLENOJAN VIRTAAMISSA JA
VEDENLAADUSSA

Johanna Turula

2019

HELSINGIN YLIOPISTO
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN OSASTO
GEOLOGIA

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto



Tiedekunta – Fakultet – Faculty		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Geotieteiden ja maantieteen laitos	
Tekijä – Författare – Author			
Mervi Johanna Turula			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Pohjavesivaikutus Lammin Löyttynojan ja Koiransuolenojen virtaamissa ja vedenlaadussa			
Työn laji – Arbetets art – Level		Aika – Datum – Month and year	
Pro Gradu -tutkielma		06/2019	
		Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages	
		80	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Tutkimuskohteena on Lammin Löyttynoja ja Koiransuolenoja, jotka ovat olleet Lammin biologisen aseman tutkimuksen alla jo pitkään. Tutkielman tarkoituksena on kartoittaa purojen kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia ja verrata niitä aiempiin tutkimustuloksiin sekä selvittää kuinka pohjavesivaikutteisia purot ovat.</p> <p>Puroista otettiin näytteitä vuoden 2016 maalisi- ja heinäkuussa, samalla näytteitä otettiin myös alueen lähteistä, Pääjärvestä sekä Lammin biologisen aseman pohjavesiputkista. Näytteistä analysoitiin pääionit (F^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), alkaliteetti, liuennut silikaatti (DSi) ja hapen ja vedyn stabiilit isotopit (^{18}O ja D). Näytteenoton yhteydessä näytepisteiltä mitattiin sähkönjohtavuus, pH ja veden lämpötila sekä heinäkuussa myös sedimentin lämpötila. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin Lammin biologisen aseman keräämää seurantatietoa Löyttynojan ja Koiransuolenojen kemiallisista ominaisuuksista sekä lämpötilan ja virtaaman vaihtelusta</p> <p>Löyttynojan pääionipitoisuudet vastaavat Hämeen alueen puroveden taustapitoisuuksia, mutta Koiransuolenojen Na^-, K^-, Ca^-, Cl^-, NO_3^- ja SO_4^- pitoisuudet ylittävät tausta-arvojen pitoisuudet. Löyttynojaan verrattuna Koiransuolenojen pääionipitoisuudet ja sähkönjohtavuus ovat lähes kaksinkertaisia ja pitoisuuksien eroja voidaan selittää valuma-alueiden erilaisuudella. Löyttynojan valuma-alueen maalajeista lähes 40 % on soraa ja hiekkaa, kun taas yli puolet Koiransuolenojen maalajeista on hiesua ja hietaa. Lammin alueen hienojakoinen sedimentti, Lammin lössi, sisältää paikoittain melko runsaasti kalsiumia, joka selittää Koiransuolenojen Löyttynojaa korkeampia pitoisuuksia. Hienojakoiset maalajit voivat myös sisältää reliktejä suoloja, jotka nostavat kloridi- ja natriumpitoisuuksia. Koiransuolenojen valuma-alueella on enemmän peltoja, jolloin sähkönjohtavuuden, kalium- ja nitraattipitoisuuksien koholla olevia arvoja voidaan selittää maatalouden päästöillä.</p> <p>Purojen lämpötiloissa on selkeät erot, kesäisin Löyttynojan lämpötilat ovat Koiransuolenojen lämpötiloja viileämpiä, talvella tilanne on päinvastainen. Tämä viittaa suurempaan pohjavesivaikutukseen Löyttynojassa verrattuna Koiransuolenojaan. Myös Koiransuolenojen korkeammat TOC-pitoisuudet voivat viitata suurempaan pintavalunnan määrään. Liuenneen silikaatin, pH:n ja hapen ja vedyn stabiilien isotooppien arvot ovat samankaltaiset molemmissa puroissa, ja liuenneen silikaatin pitoisuuksien perusteella molemmat purot ovat pohjavesivaikutteisia.</p> <p>Virtaama on Löyttynojassa kautta linjan korkeampi kuin Koiransuolenojassa. Talven alivalumakaudella Löyttynojan virtaama pysyy voimakkaana, kun taas Koiransuolenojen virtaamat ovat alhaisia. Tämä viittaa siihen, että Löyttynojalla on melko suuri pohjavesivarasto toisin kuin Koiransuolenojassa, jossa pohjavesivarasto on selkeästi niukempi ja vesi liikkuu hienojakoisen maa-aineksen läpi hitaammin.</p> <p>Molempien purojen voidaan havaita olevan pohjavesivaikutteisia, mutta Löyttynojassa pohjavesivaikutus on voimakkaampaa kuin Koiransuolenojassa.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Hydrogeologia, hydrogeokemia, vesikemia, Lammi, Löyttynoja, Koiransuolenoja			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
HELDA - Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
1.1. Puroveden alkuperä ja laatu	5
2. TUTKIMUSALUE	6
2.1. Geologinen tausta	7
2.1.1. Maa- ja kallioperä	8
2.1.2. Pohjavesi ja valuma	10
2.2. Maankäyttö	11
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	12
3.1. Näytteenotto	12
3.2. Lammin biologisen aseman tuottama pitkäaikaisdata	14
3.3. Hapen ja vedyn stabiilit isotoopit	15
3.4. Liuennut silikaatti	17
3.5. Kemialliset merkkiaineet	17
3.6. Lämpötila, sähkönjohtavuus ja pH	19
3.7. Tilastolliset menetelmät ja käytetyt ohjelmat	19
4. TULOKSET	20
4.1. Veden laatu	20
4.2. Pääionit	22
4.2.1. Natrium	22
4.2.2. Kalium	24
4.2.3. Kalsium	26
4.2.4. Magnesium	28
4.2.5. Kloridi	29
4.2.6. Nitraatti	32
4.2.7. Sulfaatti	34
4.2.8. Alkaliteetti	36
4.2.9. Fluoridi	38
4.2.10. Ionibalanssi	38
4.3. Lämpötila, sähkönjohtavuus ja pH kenttämittauksissa	38
4.3.1. Lämpötila	38

4.3.2. Sähkönjohtavuus.....	41
4.3.3. pH.....	44
4.4. Hapen ja vedyn stabiilit isotoopit	45
4.5. Liuennut silikaatti	49
4.6. Pitkäaikaistulokset	51
4.6.1. Lämpötila	51
4.6.2. Virtaama.....	53
4.6.3. Sähkönjohtavuus.....	55
4.6.4. TOC	57
4.6.5. pH.....	59
4.6.6. Pääionit ja hivenaineet	59
5. TULOSTEN TARKASTELU.....	63
5.1. Pitkäaikaistulosten ja vuoden 2016 tulosten vertailu.....	63
5.1.1. Pääionit	63
5.1.2. Lämpötila, sähkönjohtavuus ja pH	63
5.2. Löytnöjan ja Koiransuolenöjan tulosten vertailu.....	65
5.2.1. Pääionit	66
5.2.2. Sähkönjohtavuus.....	69
5.2.3. Lämpötila	70
5.2.4. pH.....	71
5.2.5. TOC	72
5.2.6. Virtaama.....	73
5.2.7. Liuennut silikaatti, hapen ja vedyn stabiilit isotoopit sekä D-excess	74
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	76
7. KIITOKSET.....	78
8. VIITELUETTELO.....	78
9. LIITTEET	80

1. JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää Lammin Löyttynojan ja Koiransuolenojan pohjavirtaaman määrää ja laatua sekä verrata saatuja tuloksia niihin tutkimuksiin, joita alueelta on tehty jo aikaisemmin. Lammin Löyttynoja (Kuva 1. ja Koiransuolenoja ovat olleet jo pitkään tarkan tutkimuksen alla, sillä ne sijaitsevat Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman lähellä. Tämän vuoksi alue on ihanteellinen tutkimuskohde vanhan tutkimuksen sekä uudempien menetelmien testaamiseen ja vertaamiseen. Tässä työssä on käytetty itse kerättyä aineistoa sekä Lammin biologisen aseman tuottamaa pitkäaikaisaineistoa Löyttynojan ja Koiransuolenojan veden laadusta.

Tutkimustuloksia on verrattu Lahermo et al. (1996) ”Suomen geokemian atlas, osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit” teoksessa julkaistuihin Suomen purovesien tyypillisiin kemiallisiin pitoisuuksiin. Pohjavesien tausta-aineistona on käytetty Birgitta Backmanin väitöskirjassa ”Groundwater quality, acidification, and recovery trends between 1969 and 2002 in South Finland” esitettyjä vuosien 1969–2002 keskiarvoisia pitoisuuksia kahdesta kaivosta (PEHHE1 ja PEHTA1), jotka sijaitsevat Jahkolan kylän alueella (Kuva 2).



Kuva 1. Löyttynojan alkupuolelta. Puro virtaa peltojen vierestä. Kuva Anne Rautio 28.7.2016.

1.1. Puroveden alkuperä ja laatu

Purovesi muodostuu suoravalunnasta sekä pohjavalunnasta, jossa suoravalunta koostuu maanpintavalunnasta sekä pintakerrosvalunnasta (Lahermo et al. 1996). Pintakerrosvalunta koostuu maavedestä, joka ajan myötä voi myös sekoittua pohjavaluntaan (Lahermo et al. 1996). Puroveden laatuun ja kemiallisten komponenttien välisiin suhteisiin vaikuttavat sadannan ja haihdunnan väliset suhteet, luonnollinen ja antropogeeninen laskeuma, valuma-alueen topografia, kallioperä, maaperän rakeisuus ja vedenjohtavuus, valuma-alueen maankäyttötavat ja likaantuminen sekä alueen puuston ja kasvipeitteen lajikoostumus sekä tiheys (Lahermo et al. 1996, Lepistö 1996).

Suuri osa vesistöjen valunnasta on maaperässä ennen lumen sulamista ollutta esivettä (Lepistö 1996) ja isotooppi- ja hydrogeokemiallisella tutkimuksella on osoitettu, että joillakin alueilla jopa 70-90% pintavalunnasta tulee puroon 10-20 metrin etäisyydeltä uomasta (Kullberg et al. 1993). Täten pintavalunnan kautta virtaavan veden kemiallinen koostumus kuvastaa hyvin paikallisen maa- ja kallioperän geokemiallista luonnetta. (Lahermo et al. 1996).

Pohjavalunnan eli puroon purkautuvan pohjaveden osuus on suuri kevättalvella ennen lumien sulamista, ja silloin liuenneiden epäorgaanisten aineiden pitoisuus latvapuroissa on korkein (Lahermo et al. 1996). Lumien sulaessa ainesmäärät laimenevat ja vaihtelevat kesän ja syksyn aikana sateisuuden mukaan, talvella maan jäätyessä valuntaolosuhteet vakiintuvat ja pitoisuudet kasvavat (Lahermo et al. 1996).

Purovesien pääkomponentit ovat HCO_3^- , SO_4^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} ja Na^+ , ja niiden pitoisuudet ovat kääntäen verrannollisia vesimäärän vaihteluihin, aiheutuen sulamis- ja sadevesien laimentavasta vaikutuksesta (Lahermo et al. 1996).

Tämän työn tarkoituksena on selvittää Löyttynojan ja Koiransuolenojan purojen kemiallisten ominaisuuksien, lämpötilan, liuenneen silikaatin sekä isotooppien samankaltaisuuksia ja eroavaisuuksia. Tuloksia verrataan myös Suomen purovesien sekä

yleiseen että paikalliseen tasoon ja alueen pohjavesien tyypillisiin pitoisuuksiin sekä pohditaan mahdollisia aiheuttajia purojen kemiallisille sekä fysikaalisille ominaisuuksille ja pyritään selvittämään pohjavesivaikutuksen suhteellista määrää puroissa.

2. TUTKIMUSALUE

Tutkimuksen kohteena ovat purot Löyttynoja ja Koiransuolenoja, sijaitsevat Kanta-Hämeessä, entisen Lammin kunnan alueella, noin 120 km pohjoiseen Helsingistä, Hämeenlinnan ja Lahden välillä. Löyttynoja ja Koiransuolenoja laskevat molemmat Pääjärveen (Kuva 2), joka kuuluu Vanajaveden valuma-alueeseen. Laajemmassa



Kuva 2. Löyttynojan ja Koiransuolenojan valuma-alueet (Tikkanen et al. 1985 mukaisesti) sekä niitä ympäröivät tiet, pellot ja muut rakenteet. Pohjakartat Maanmittauslaitos ©

mittakaavassa purot sijaitsevat Kokemäenjoen vesistön latva-alueella, josta vesi kulkeutuu lopulta Pohjanlahteen.

Löyttynoja ja Koiransuolenoja pituudeltaan ja valuma-alueen suuruudeltaan muistuttavat toisiaan. Löyttynojan valuma-alueen pinta-ala on 8,02 km² ja Koiransuolenojan 6,75 km² (Tikkanen et al. 1985).

Alueella on runsaasti lähteitä, joista on vesisyöttöä molempiin puroihin. Erityisen paljon lähteitä on Löyttynojan alueella ja puron päähaara saa alkunsa Löyttynlähteestä, mutta myös esimerkiksi Löyttynojan sivuhaaraan, Koskisenojaan liittyy pohjaveden purkautumista, uoman vieressä sijaitsee mm. Pannulähde.

Lammin vuotuinen keskilämpötila on 4,1 C⁰ (Lammin biologisen aseman pitkäaikaisaineisto, Liite 2) ja keskimääräinen sademäärä 634 mm vuodessa (FMI-latauspalvelu Ilmatieteen laitos).

2.1. Geologinen tausta

Löyttynojan ja Koiransuolenojan valuma-alueiden sedimentit ovat muodostuneet viimeisimmän Veiksel-jääkauden aikana ja sen päättyessä (Kuusisto 1973). Kerrostuneet sedimentit liittyvät erityisesti Toisen Salpausselkään, joka muodostui mannerjäätikön perääntymisen pysähtyessä nuoremman dryaksen kylmän ajanjakson aikana noin 11 800 – 11 600 vuotta sitten (Kukkonen 1982, Kuusisto 1973, Saarnisto ja Saarinen 2001).

Löyttynojan valuma-alueella on runsaasti kartiomaisia sora- ja hiekkaharjuja sekä kuolleen jään synnyttämiä suppia (Kuusisto 1973). Koiransuolenojan ja erityisesti Löyttynojan valuma-alueelle on hienoainesvaltaisille, heikosti vettä johtaville alueille muodostunut soita, jotka kasvillisuudeltaan ovat pääasiassa saravaltaisia (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984, Kuusisto 1973)

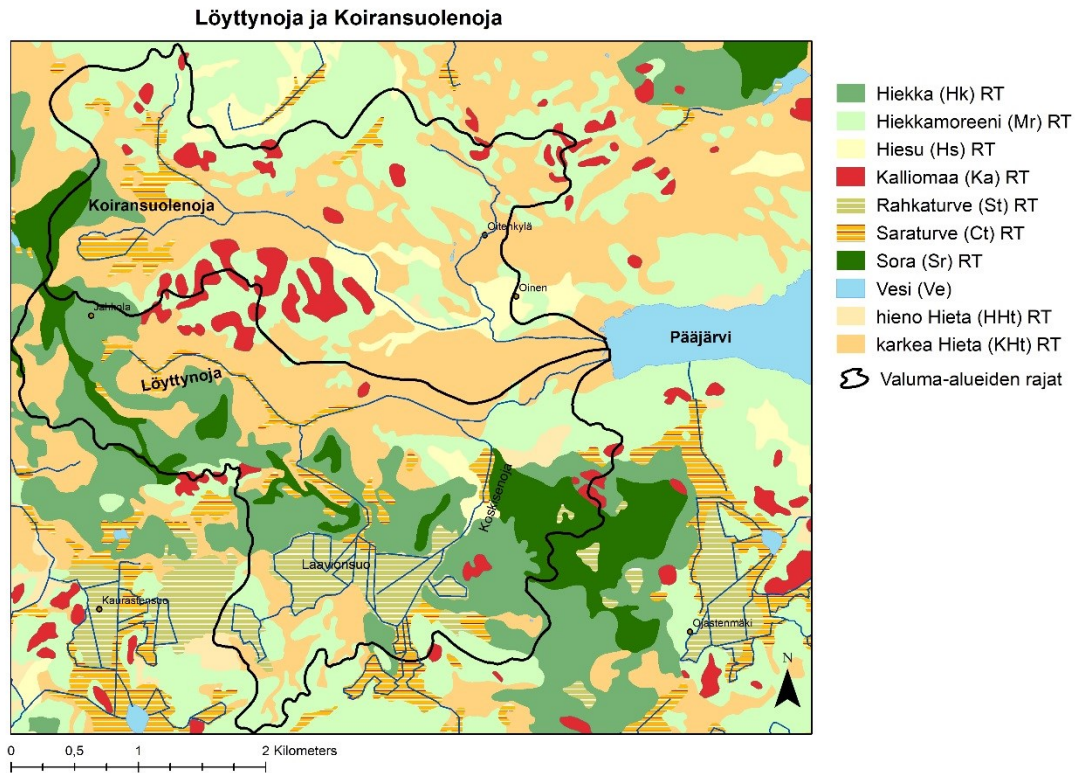
Kylmän ajan jakson aikana jäätiköltä virranneet sulamisvedet kerrostivat deltamuodostumia, joita on Koiransuolenojan valuma-alueen reunoilla ja monin paikoin Löyttynojan alueella (Kuusisto 1973, Wohlfarth et al. 2008). Reunadeltojen muodostumisen aikaan Baltian jääjärven vesi oli korkealla, sillä Itämeren allas oli

patoutunut maankohoamisen ja jäätikön vaikutuksesta. Deltojen pinnat edustavat tätä tasoa (+160 m mpy) (Björck 1995, Wohlfarth et al. 2008).

Baltian jääjärvi-vaiheen päättyessä, kun Itämeren altaasta avautui yhteys Pohjanmereen, laski vedenpinta Lammin alueella noin 25 – 27 m, jolloin Yoldiavaiheen alkaessa aallokon ja tuulen toiminta pääsi vaikuttamaan paljastuneilla harjuselänteillä ja deltataseilla (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984, Jakobsson et al. 2007). Tämän seurauksen Lammin alueelle on kerrostunut ”Lammin lössinä” tunnettu 20 – 50 cm paksu silttikerrostuma, joka on tuulen toiminnan seurauksena kerrostunut kuivalle maalle sekä osittain veteen, jolloin rantavoimat ovat vaikuttaneet sen muodostumiseen (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984, Lindström 2016). Maakerros pidättää hyvin vettä ja sen ravinnepitoisuus, sekä paikka paikoin kalkkipitoisuus, on korkea, minkä seurauksena Lammin alueella on ympäristöä rehevämpää kasvillisuutta ja esimerkiksi pähkinälehtoja. (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984).

2.1.1. Maa- ja kallioperä

Purojen valuma-alueille on kerrostunut jäätikön toiminnan seurauksena runsaasti hiekka- ja sorakerrostumia sekä alavilla mailla eolista hienoa hiekkaa ja silttiä (Kuva 3) (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984). Lisäksi alueella on runsaasti kallioperän topografiaa tasoittavaa pohjamoreenia, jonka kerrospaksuus varsinkin eteläosan korkeilla mäkimailloilla on vain 1 – 3 m (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984).



Kuva 3. Kartta Löyttynojan ja Koiransuolenojan maalajeista. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, uomat SYKE ©

Koiransuolenojan valuma-alueetta hallitsevat runsaat hiesukerrostumat sekä runsas hiekkamoreenin määrä (Taulukko 1). Löyttynojan valuma-alueella on myös paljon hietakerrostumia, mutta enemmän korostuu suurempi hiekka-, sora- ja hiekkamoreenimuodostumien yhteismäärä verrattuna Koiransuolenojaan. Löyttynojassa suurempi soiden määrä näkyy myös suurempana turpeen prosentuaalisena osuutena verrattuna Koiransuolenojaan.

Taulukko 1. Löyttynojan ja Koiransuolenojan maalajit laskettuina maaperäkartan 1:20 000, karttalehti 2134 04 GTK © perusteella.

Maalaji	Löyttynoja %	Koiransuolenoja %
Turve	14,9	4,9
Hiesu	1,3	6,7
Hieta	29,5	43,7
Hiekka	27,3	2,8
Sora	9,9	1,6
Hiekkamoreeni	14,3	32,8
Kalliomaa	2,8	7,4

Alueen kallioperä edustaa svekokarelidisen vuorijonovyöhykkeen erodoituneita juuria ja koostuu kiillegneisseistä, amfiboliiteista, metavulkaanisista kivilajeista, gabbroista, peridotiiteistä ja granodioriiteistä (Laitakari 1980).

Löyttynojan pääuoman alkujuoksun kallioperä on granodioriittia, joka vaihtuu alajuoksulla amfiboliittiksi, Löyttynojan sivuhaarojen Koskisenojan ja Sorvettulanojan yläjuoksun kallioperä koostuu rakoilleesta gneissistä (Tikkanen et al. 1985). Koiransuolenojan päähaaran ja sen sivuhaarojen alkuosien kivilaji on amfiboliitti/tuffiitti, joka vaihtuu granodioriitiksi alajuoksulle päin, päähaara saa myös hieman kosketusta gabroon (Tikkanen et al. 1985).

Mannerjäätikön vaikutus kallioperän suurmuotoihin on ollut vähäinen, mutta erityisesti jäätikön kulkusuunnan (luode-kaakko) mukaiset laaksot ja ruhjevyyöhykkeet ovat korostuneet morfologiassa (Laitakari 1980).

Tikkanen et al. (1985) havaitsi tutkimuksessaan, että jokien geokemiallisia ominaisuuksia dominoivat lähinnä maaperän ominaisuudet, valuma-alueen kallioperällä sen sijaan ei havaittu suurta vaikutusta.

2.1.2. Pohjavesi ja valuma

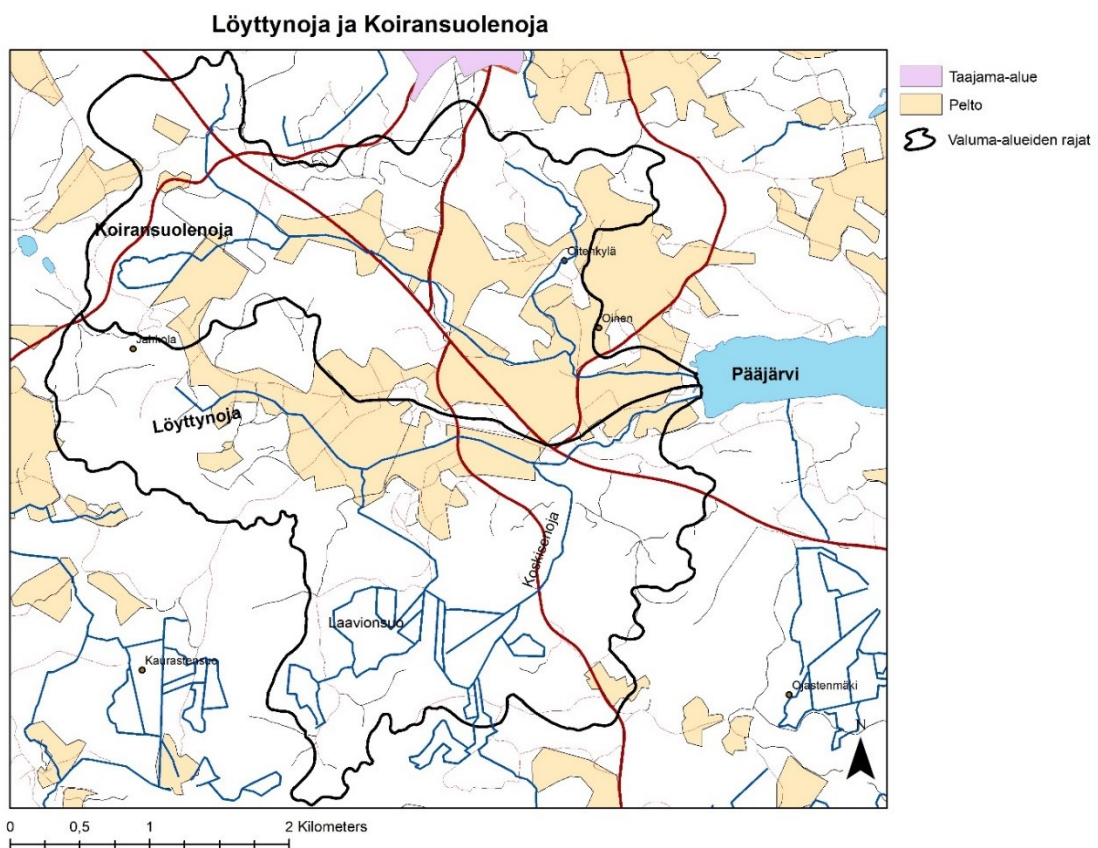
Löyttynojan alueen pohjavesivarat ovat varsin suuret, mikä ilmenee suhteellisen korkeina talven alivalumina (Kuusisto 1973). Kuusiston (1973) mukaan vuosien 1971 ja 1972 keskivalumat olivat Löyttynojalla 10,4 ja 10,1 l/s km² ja Koiransuolenojalla 8,4 ja 8,5 l/s km². Koiransuolenojan alivalumat talvikausilla 1970-71 ja 1971-72 olivat 3,4 ja 1,5 l/s km². Löyttynojan alivalumat olivat vastaavalta ajalta 8,3 ja 5,5 l/s km² (Kuusisto 1973). Löyttynojan talven alivalumat ovat suhteellisen korkeita verrattuna sekä Koiransuolenojaan, että Etelä- ja Keski-Suomen pienien valuma-alueiden talvalivaluman keskiarvoon, joka on 1,85 l/s km² (Mustonen 1971).

Alueen pohjavedet ovat tyypillisiä sisämaan vesiä (Haavisto-Hyvärinen et al. 1985), lievästi happamia, pH 6,1 – 6,3 (Backman 2004). Nitraattipitoisuudet ovat koholla savenalaisiin kerroksiin tehdyissä kaivoissa sekä useissa moreenin kaivojen vesissä,

mutta asettuvat kuitenkin hyvän talousveden asettamiin pitoisuusrajoihin (Haavisto-Hyvärinen et al. 1985).

2.2. Maankäyttö

Valuma-alueiden matalat, hienojakoisten sedimenttien peittämät osat ovat viljelyskäytössä (Kuusisto 1973), mikä tarkoittaa, että purouomia ympäröivät pitkälti peltoalueet (Kuva 4). Lahti-Tampere valtatie (VT12) kulkee molempien valuma-alueiden läpi ja alueella on satunnaisia taloja.



Kuva 4. Löyttynojan ja Koiransuolenojan uomia ympäröivät pellot. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, pellot, taajama-alueet ja uomat SYKE © .

Stenbergin (2007) kartta-aineistojen analysointiin perustuvan tutkimuksen mukaan Koiransuolenojan pinta-alasta 68,1 % on metsää, 26,5 % peltoja, 5 % metsäistä suota ja 0,4 % avosuota. Löyttynojan pinta-alasta 68,0 % on metsää, 14,6 % peltoja, 14,0 % metsäistä suota ja 3,4 % avosuota. Kuusiston (1973) mukaan vuonna 1970-luvulla Koiransuolenojan valuma-alueen pelloista 33 % on salaojitettuja ja 62 % avo-ojitettuja,

Löyttynojan pelloista 75 % on salaojitettuja. Peltojen osuus valuma-alueiden pinta-alasta on melko tyypillinen koko Etelä-Suomen olosuhteita ajatellen (Kuusisto 1973).

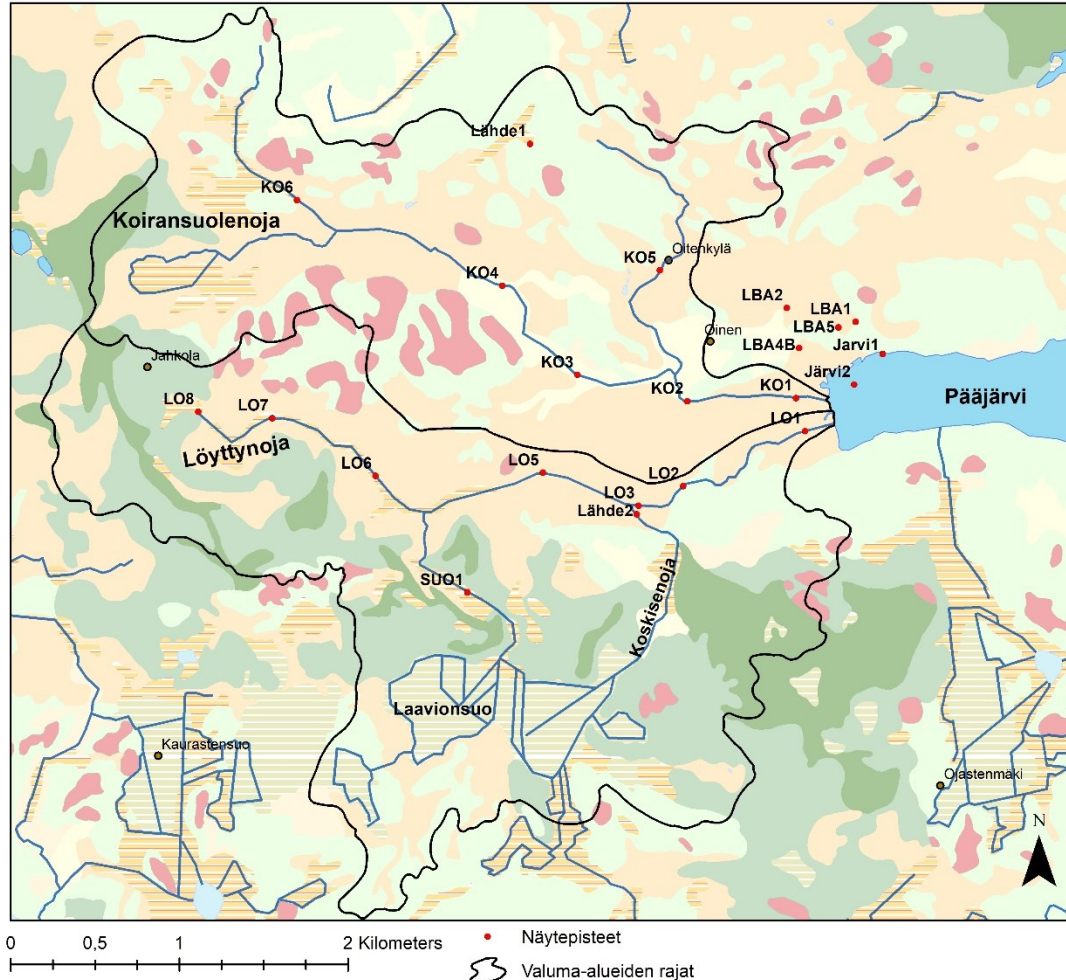
Lehtimetsän osuus metsistä on noin 10 % (Kuusisto 1973) mutta alueen hallitsevin puulaji on kuusi, kuivemmilla alueilla mänty (Soveri 1933, Haavisto-Hyvärinen et al. 1985). Alueella on myös runsaasti lehtoja, joissa on jaloista lehtipuista lehmusta ja pähkinäpensasta (Soveri 1933).

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1. Näytteenotto

Vesinäytteet otettiin 7.-8.3.2016 ja 27.-28.7.2016, jolloin pintavalunta oli mahdollisimman pieni ja pohjavalunta suuri. Näytteitä otettiin alueelta yhteensä 39 kappaletta, 20 näytettä talvikaudella ja 19 kesäkaudella. Näytteet pyrittiin ottamaan kattavasti purojen alueelta (Kuva 5). Näytteitä otettiin lisäksi Pääjärvestä sekä Lammin biologisen aseman pohjavesiputkista. Täydellinen luettelo näytteistä on Liitteenä 1.

Löyttynoja ja Koiransuolenoja



Kuva 5. Näytteenottopisteet Löyttynojoissa ja Koiransuolenojissa, Pääjärven sekä Lammin biologisen aseman pohjavesiputket (LBA1, LBA2, LBA4B, LBA5). Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Näytteet otettiin puosta joko näytteenottimella tai suoraan HDPE muovipulloihin, jotka oli puhdistettu ionivaihdetulla vedellä. Näyte otettiin mahdollisimman syväältä puosta ilman että pohjan ainesta tuli näytteen mukana. Näytteenoton yhteydessä pullot huuhdeltiin näytteenottovedellä kahdesti ennen kuin itse näyte otettiin pulloon. Pohjavesiputkista pumpattiin vettä usean minuutin ajan ennen näytteenottoa, jotta näyte edustaisi pohjaveden normaalitilaa mahdollisimman hyvin.

Maaliskuun ensimmäisenä näytteenottopäivänä 7.3.2016 lämpötila oli -1 C° ja lunta satoi koko päivän, edeltävät päivät olivat olleet pakkasen puolella. Toisena

näytteenottopäivänä 8.3.2016 lämpötila kohosi 0 C asteeseen ja sää oli sumuinen, mutta tällöin toteutettiin näytteenotto pohjavesiputkista ja järven jääkannen alta, jolloin pintavettä ei päässyt sekoittumaan näytteisiin. Heinäkuussa näytteet otettiin hellejakson aikana, jolloin molempina päivinä 27.–28.7.2016 lämpötila oli 27 C° ja sää puolipilvinen.

3.2. Lammin biologisen aseman tuottama pitkäaikaisdata

Lammin biologisella asemalla kerätään seurantatietoa Löyttynojan ja Koiransuolenojan kemiallisista ominaisuuksista sekä sähkönjohtavuuden, lämpötilan ja virtaaman vaihtelusta. Mittauspisteet sijaitsevat purojen alajuoksulla, Koiransuolenojan mittauspiste sijaitsee 0,83 km Pääjärveltä ylävirtaan ja Löyttynojan mittauspiste sijaitsee 0,1 km Lahti-Tampere valtatieltä (VT12) alavirtaan ja 0,4 km Pääjärvestä ylävirtaan (Kuva 6) (Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema ja Vanajavesikeskus 2019.). Tässä tutkimuksessa on käytetty molempien purojen lämpötilaa, virtaamaa, ja muuttujien TOC, Cl, SO₄, K, Na, Ca, Mg, Mn ja Fe mittaustuloksia aikaväliltä 2007 – 2011 sekä sähkönjohtavuus-mittauksia vuosilta 2007–2009 ja 2011 ja pH-mittauksia vuodelta 2011. Aikaväli valikoitui sillä perusteella, että molemmista puroista on eniten yhtenäistä mittausdataa tältä ajanjaksolta. Käytössä on myös Lammin biologisella asemalla mitattua sääaineistoa kyseisiltä vuosilta.

Mittauksia Löyttynojan ja Koiransuolenojan kemiallisista ja muista ominaisuuksista on ajanjaksona tehty yleensä noin kerran viikossa, mutta joukossa on myös poikkeuksia ja joitakin mittauksia on jäänyt väliin. Tämä havainnoidaan tarkemmin kappaleessa 4.6, jossa tarkastellaan pitkäaikaisaineistoa yksityiskohtaisesti.



Kuva 6. Puron vedenlaadun tarkkailupiste Löyttynojassa, Kuva Anne Rautio 7.3.2016.

3.3. Hapen ja vedyn stabiilit isotoopit

Veden hapen (^{18}O) ja vedyn (^2H tai D) isotooppikoostumusta käytetään kuvaamaan veden alkuperää ja viipymää hydrologisessa kierrossa. Menetelmä perustuu Friedmanin (1953) havaintoon, että vesimolekyylit, jotka koostuvat vedyn ja hapen painavimmista isotoopeista ($^2\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$) ei haihdu yhtä helposti kuin kevyemmistä isotooppimassan omaavista isotoopeista muodostunut vesimolekyylit, jolloin nestemäinen vesi rikastuu painavammista isotoopeista. Vastaavasti ilmakehän vesihöyry köyhtyy painavammista isotoopeista, sillä painavimmat isotoopit kondensoituvat herkemmin sadepisariksi (Friedman 1953).

Pintavedet rikastuvat haihtumisen seurauksena painavimmista ^{18}O ja D isotoopeista verrattuna sadeveden ja matalan pohjaveden koostumukseen (Craig 1961), jolloin pintavesien haihtunutta isotooppikoostumusta voidaan käyttää merkkiaineena pintapohjavesitutkimuksissa (Krabbenhoft et al. 1990). Pinta- ja pohjavesien isotooppikoostumuksessa on myös vuotuista vaihtelua, sillä kesäisin sadevesi on köyhtynyt painavimmista isotoopeista verrattuna talven sadantaan (Rozanski et al. 1982) ja lumien sulaessa keväällä pintavedet rikastuvat progressiivisesti painavammista isotoopeista (Stichler 1987). Sama vaihtelu havaitaan myös pohjavesissä, mutta

huomattavasti heikentyneenä. Lauhkean vyöhykkeen matalien akviferien isotooppikoostumus vastaa yleensä paikallisen sadannan vuosittaista keskiarvoa (mm. Clark ja Fritz 1997, Kortelainen ja Karhu 2004). Tämä isotooppikoostumusten ero pinta- ja pohjavesien välillä voi mahdollistaa vesityyppien erottamisen toisistaan (Clark ja Fritz 1997).

Isotooppitulokset esitetään promillien erona Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)-standardiin (Kaava 1). Isotooppituloksia verrataan usein Global Meteoric Water Line (GMWL) eli sadannan isotooppikuvaajaan, joka perustuu ympäri maailmaa kerättyjen sadannasta mitattujen isotooppituloksiin (Craig 1961). Tämän tutkimuksen isotooppiarvoja on verrattu myös Kortelaisen (2007) paikalliseen sadannan isotooppikuvaajaan, joka on muodostettu Suomen sadannasta kerättyjen isotooppiarvojen perusteella.

$$\delta^{18}\text{O} \text{ tai } \delta\text{D} = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{VSMOW}}}{R_{\text{VSMOW}}} * 1000$$

(Kaava 1)

Hapen ja vedyn isotooppien $\delta^{18}\text{O}$ and δD arvojen avulla voidaan laskea ”deuterium excess” (Kaava 2) arvo, jota käytetään havainnoimaan kuinka haihtunutta vesi on (Dansgaard 1964). Veden voidaan havaita olevan haihtunutta, jos deuteriumin ylijäämäarvo alittaa maailmanlaajuisen sadannan 10 ‰ arvon (Kendall and Coplen 2001).

$$d - excess = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$$

(Kaava 2)

Isotooppinäytteet analysoitiin Picarro L1115-i analysaattorilla Helsingin yliopiston geotieteiden osastossa kesäkuussa 2016, maaliskuun aikana otettujen näytteiden osalta ja syyskuussa 2016 heinäkuussa otettujen näytteiden osalta. Analyysit toteuttivat Helsingin yliopiston laboratorion henkilökunta noudattaen normaaleja laboratorio standardeja (Virkanen et al. 2014).

3.4. Liuennut silikaatti

Liuennutta silikaattia (DSi) ei esiinny sadevedessä lähes ollenkaan, vaan kaikki pitoisuudet ovat peräisin maaperästä. Suomessa pohjaveden DSi- pitoisuuksien keskiarvo on 6.5 ppm matalissa kaivoissa (Lahermo et al. 2002). Liunneen silikaatinpitoisuudet eivät vaihteile pH:n, suolaisuuden, pinnan kasvillisuuden, lämpövyöhykkeen tai lämpötilan mukaisesti, jos lämpötila ei kohoa yli 35 C° (Davis 1964) vaan silikaatinpitoisuudet vaihtelevat riippuen akviferin maaperän rakeisuudesta, kivilajista sekä pohjaveden viipymästä akviferissa (Davis 1964, Sandborg 1993, Soveri et al. 2001). Silikaattipitoisuus on virtaavassa vesistössä korkeimmillaan alivirtaaman aikaan ja matalimmillaan ylivirtaaman aikaan (Neal et al. 2005). Tämän vuoksi liuennutta silikaattia usein käytetään pohjaveden indikaattorina pinta-pohjavesitutkimuksissa (mm. Asano et al. 2003).

Liuennut silikaatti tutkittiin Helsingin yliopiston geologian osaston laboratoriossa käyttäen plasmamassaspektrometriä (ICP-MS) Agilent 7500ce/c. Analyysit toteuttivat laboratorion henkilökunta noudattaen Geotieteiden ja maantieteen ympäristölaboratorion toimintakäsikirjassa esitettyjä toimintatapoja, joka sisältää muun muassa referenssimateriaalien analyysit ja että näytteen joukossa oli myös vertailu- ja nollanäytteitä.

3.5. Kemialliset merkkiaineet

Pohjavedessä on enemmän liuenneita elektrolyyttejä kuin sadevedessä, sillä pohjavesi reagoi maa- ja kallioperän mineraalien välillä. Mitä pidempi viipymä pohjavedellä on, sitä enemmän on ehtinyt tapahtua reaktioita pohjaveden ja mineraalien välillä. Eniten epäorgaanisia liuenneita aineita on pohjavedessä myöhään talvella, ennen lumen sulamista (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, Mälkki 1999). Puroissa liuenneiden aineiden pitoisuus on usein kääntäen verrannollinen vesimäärän vaihteluun, pienen virtaaman aikaan pitoisuudet ovat suuria ja virtaaman kasvaessa sade- tai sulamisvesien vaikutuksesta pitoisuudet laimenevat (Lahermo et al. 1996).

Näytteiden anionit (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) ja kationit (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) analysoitiin ionikromatografia (IC) menetelmällä käyttäen Metrohm MIC-12 ionikromatografia. Kationien analyyseissa noudatettiin standardia SFS EN-ISO 14911 ja anionien analyyseissa standardia SFS EN-ISO 10304. Tässä työssä ei käsitellä näytteiden PO_4^{3-} tuloksia, sillä suurin osa tuloksista oli alle määrittäysrajan.

Alkaliteetti analysoitiin potentiometrisellä automaattisella titraajalla noudattaen standardia SFS EN-ISO 9969-1. Alkaliteetti analysoinnissa näytteet titrattiin virheellisesti pH tasolle 5,4 kun noudatettava pH taso on pH 4,5. Tämän seurauksena alkaliteetti jäi liian alhaiseksi, mutta mittausvirhettä kompensoitiin kertomalla alkaliteetti vakiolla 1,22, joka määritettiin laboratorioden välisen Niva vertailuraportin (Niva report SNO. 6029-2010) avulla.

Vedellä ei ole varausta, vaan sen sisältämien kationien ja anionien varausten summa pitäisi olla suurin piirtein nolla. Kationien ja anionien välistä suhdetta voidaan tarkastella laskemalla ionibalanssi, ja se lasketaan kaavalla 3 (Freeze and Cherry 1979).

$$IB (\%) = 100 * \frac{\Sigma kationi - \Sigma anioni}{\Sigma kationi + \Sigma anioni}$$

(Kaava 3)

Vaikka ionibalanssi on optimaalisissa olosuhteissa 0, käytännössä vesinäytteiden kanssa käytetään 10 % rajaa (Appelo and Postma 2004). Analysoidun näytteen ionibalanssin ylittäessä 10 prosenttia on mahdollista, että näytteenoton, analyysin tai laskelmien kanssa on käynyt jokin virhe. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että tulos automaattisesti hylätään, vaan pyritään selvittämään mikä aiheuttaa korkean ionibalanssin ja jos syy on hyväksyttävä, voidaan tulosta käyttää tutkimuksessa.

3.6. Lämpötila, sähkönjohtavuus ja pH

Lämpötila, pH ja sähkönjohtavuus ovat yleisesti käytettyjä parametreja tutkittaessa veden laatua.

Kaikilta näytesteistä, lukuun ottamatta pohjavesiputkia, mitattiin YSI600-moniparametrimittarilla veden lämpötila, sähkönjohtavuus ja pH sekä heinäkuussa myös sedimentin lämpötila Therma Plus stainless steel sediment temperature probe (Electronic Temperature instruments Ltd., accuracy 0.10 °C) lämpötilamittarilla (Kuva 7).



Kuva 7. Näytteenottoa Löyttynojasta.. Kuvassa näkyvät käytetyt HDPE pullot, valkoisessa putkessa on sedimentinlämpötilamittari Therma Plus, kuvassa näkyy myös YSI600, jolla mitattiin veden lämpötilaa, pH:ta sekä sähkönjohtavuutta. Kuva Anne Rautio 28.7.2016.

3.7. Tilastolliset menetelmät ja käytetyt ohjelmat

Tilastollisessa analysoinnissa käytettiin ohjelman IBM SPSS Statistics versiota 24 ja 25. Kartat ovat tehty ESRI ArcGIS 10.4 ohjelmalla ja taulukot Microsoft Excel 2016 ohjelmalla. Kuvien muokkaukseen on käytetty ohjelmaa Inkscape 0.92.4.

Purojen kemiallisia ominaisuuksia vertailtiin hierarkkisella klusterianalyysillä, joka vertaa näytteiden arvoja pareittain toisiinsa ja muodostaa ryhmiä niistä joiden arvot ovat vähiten erilaisia (Bridges 1966). Menetelmää käytetään ryhmittämään hydrogeokemiallisia näytteitä (Güler et al. 2002, Cloutier et al. 2008, Daughney et al. 2011)

Tässä työssä käytettiin Wardin menetelmää, joka vertaa yksittäisiä näytteitä toisiinsa ja ryhmittää ne pareiksi samankaltaisuutensa mukaisesti ja jatkaa ryhmien yhdistämistä pareiksi kunnes kaikki on sijoitettu yhteen, suureen ryhmään, johon kuuluu koko aineisto (Ward 1963). Wardin menetelmässä käytettiin ”Euclidean distance”a ryhmien välisenä erona, joka on suositeltu väli käytettäväksi Wardin menetelmän kanssa.

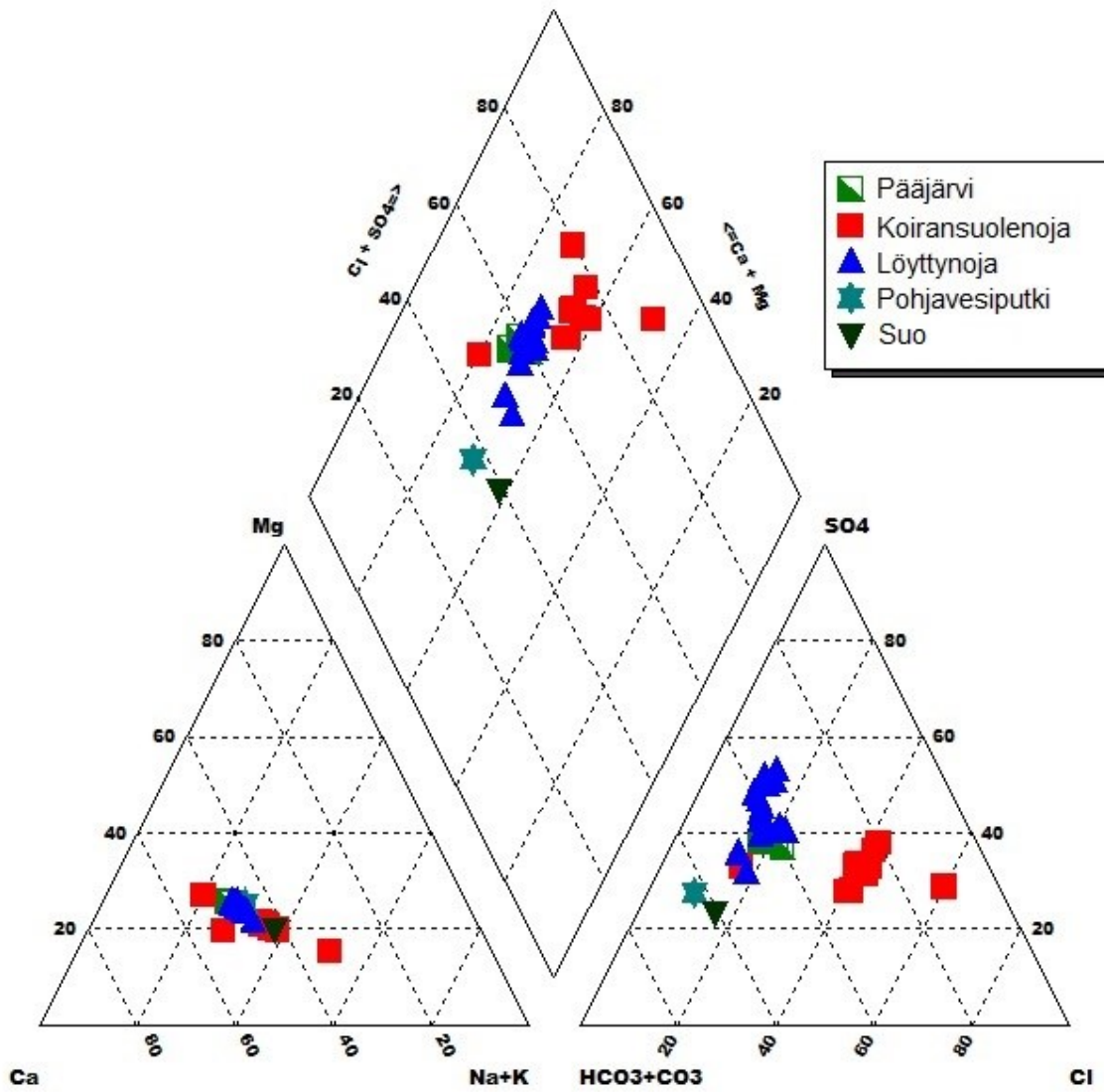
4. TULOKSET

Tulokset esitetään alla karttaprojektioina ja tarkemmat arvot ovat liitteessä 1.

4.1. Veden laatu

Löyttynojan ja Koiransuolenojan vesityypit (Kuva 8) poikkeavat purovesien yleisimmästä vesityypistä Ca-HCO₃ (Lahermo et al 1996). Löyttynojan vedet edustavat pääasiassa Ca-SO₄ vesiä, poikkeuksena heinäkuussa otetut näytteet LO2 ja LO1, jossa vesityyppi on Ca-HCO₃.

Koiransuolenojan vedet ovat Ca-Cl-vesiä lukuun ottamatta näytteitä KO5 (maaliskuu), jonka vesityyppi on Ca-HCO₃ ja KO6 (heinäkuu), joka edustaa vesityyppiä Na-Cl. Pääjärvi, Lähde2 ja suo ovat Ca-HCO₃ vesityyppiä.

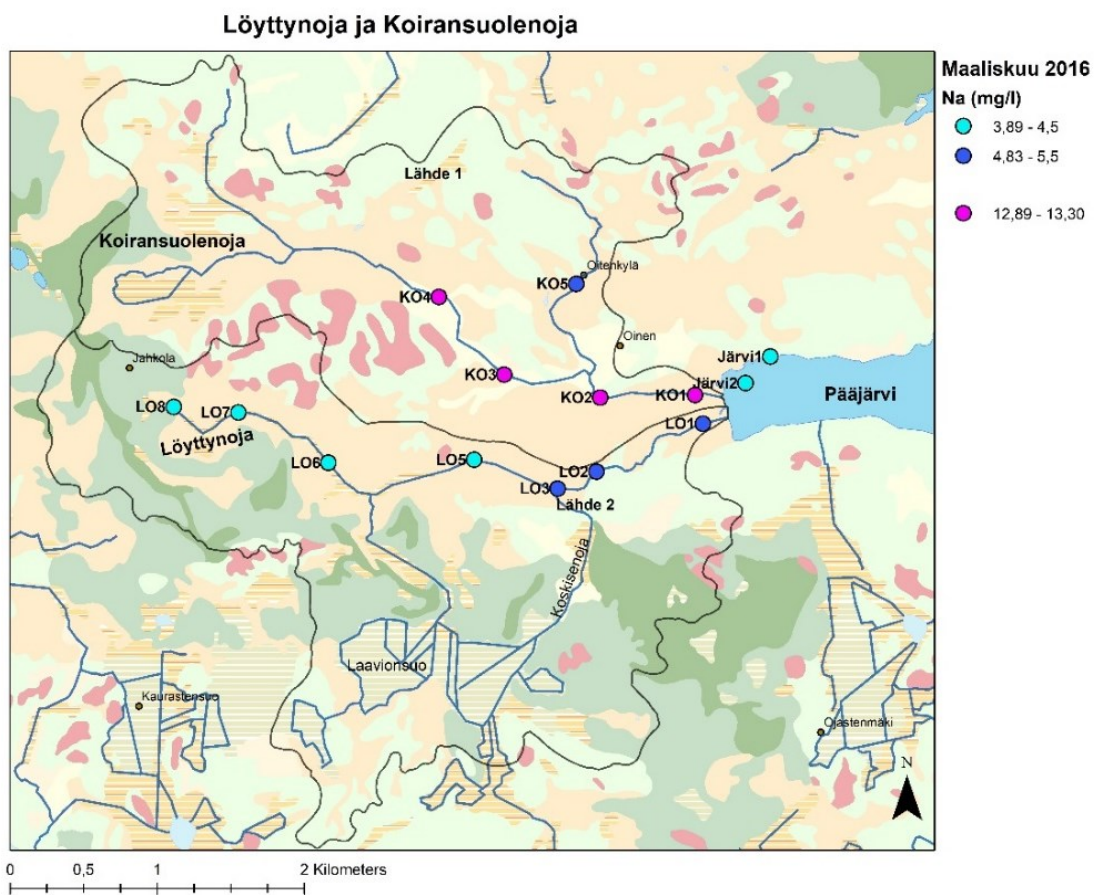


Kuva 8. Piper diagrammi Löyttynojan, Koiransuolenojan, lähde ja suo näytteiden, Pääjärven sekä Lammin biologisen aseman pohjavesiputkesta otettujen näytteiden pääionikoostumuksista.

4.2. Pääionit

4.2.1. Natrium

Löyttynojan maaliskuun ja heinäkuun natriumpitoisuudet ovat yhdenmukaisia (Kuva 9, Kuva 10), mutta Koiransuolenojassa heinäkuun pitoisuudet ovat hieman korkeammat kuin maaliskuun, erityisesti heinäkuussa korostuu piste KO6 Koiransuolen yläjuoksulla (Kuva 10), jossa natriumpitoisuudet ovat 26,4 mg/l eli yli 10 mg/l suuremmat kuin muissa mittauspisteissä. Maaliskuussa 2016 tältä alueelta ei ole saatu näytettä, joten vertailu maaliskuun ja heinäkuun arvojen suhteen tämän näytepisteen kohdalta ei ole mahdollista.



Kuva 9. Maaliskuun 2016 natriumpitoisuudet Löyttynojassa ja Koiransuolenojassa sekä Pääjärvessä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©



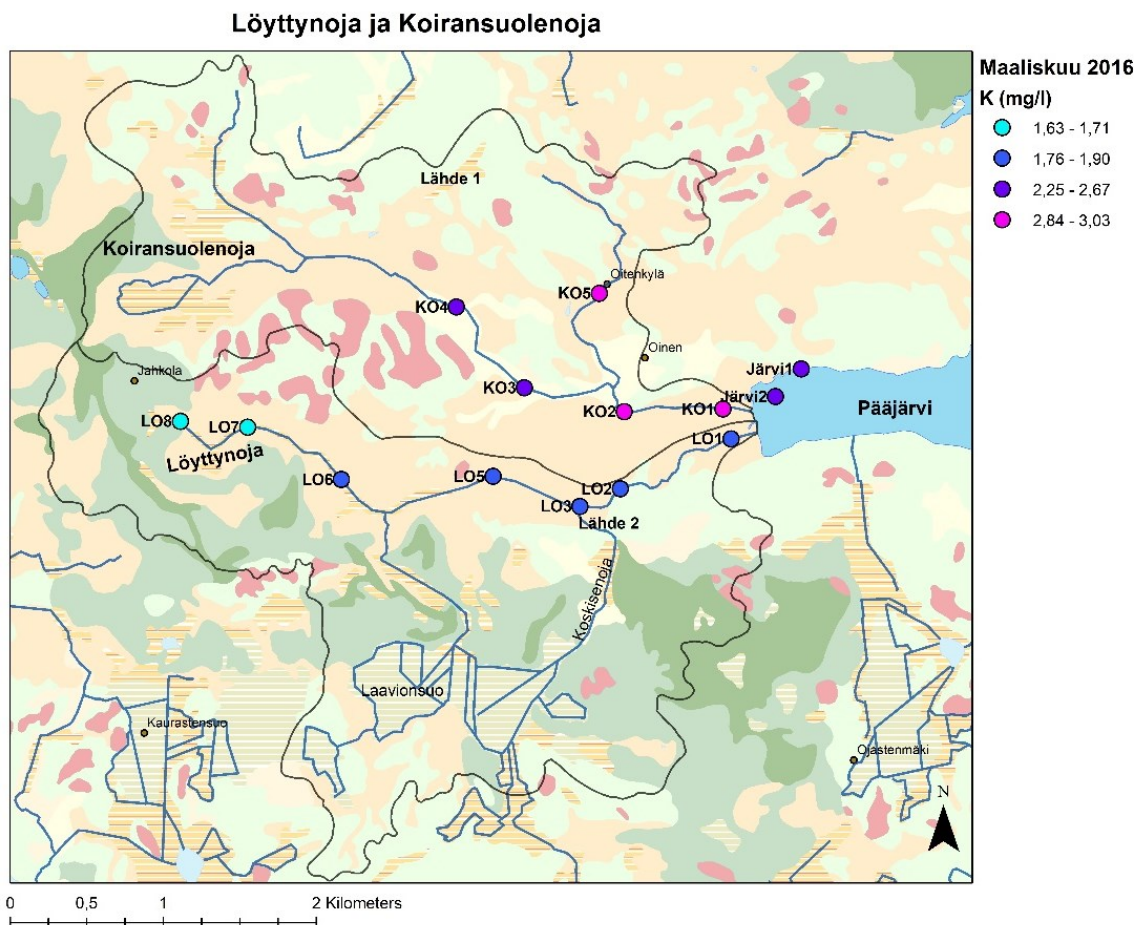
Kuva 10. Heinäkuun 2016 natriumpitoisuudet Löyttynojoissa ja Koiransuolenojissa sekä Pääjärjessä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Purovesien tyypilliset natriumpitoisuudet vaihtelevat välillä 1,3–14 mg/l (Lahermo et al. 1996), johon haarukkaan Löyttynojojen maaliskuun ja heinäkuun tulokset sopivat hyvin samaten kuin Koiransuolenojen maaliskuun pitoisuudet. Heinäkuussa Koiransuolenojen pitoisuudet sen sijaan kohoavat hieman tämän tason yläpuolelle ja ne eroavat selkeästi Hämeen alueen tyypillisistä pitoisuuksista, jotka vaihtelevat välillä 1,5–9,0 mg/l (Lahermo et al. 1996).

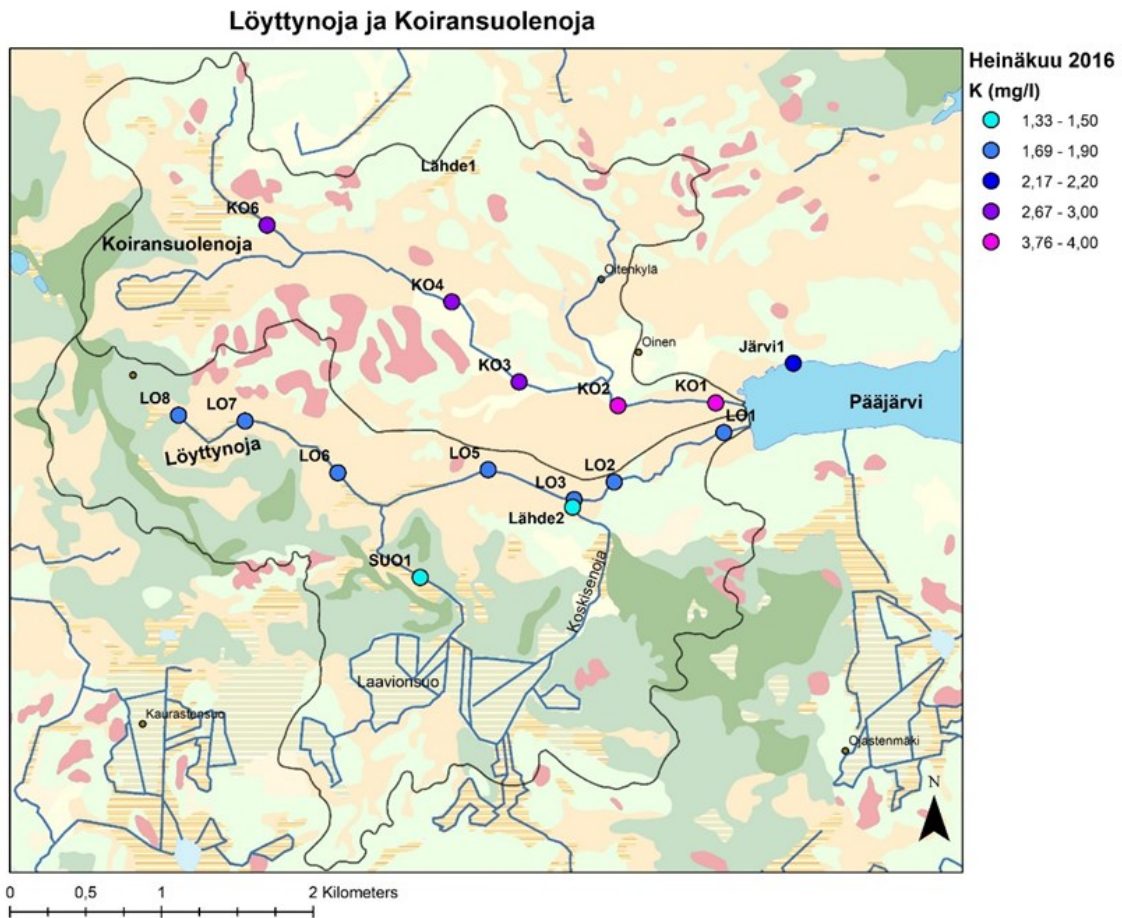
Alueen pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 5,5 mg/l (PEHHE1) ja 8,2 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004), jolloin Löyttynojojen pitoisuudet vastaavat pohjaveden pitoisuuksia, mutta Koiransuolenojen pitoisuudet ovat selkeästi pohjavedentasa korkeammat.

4.2.2. Kalium

Löyttynojan maaliskuun ja heinäkuun kaliumpitoisuudet ovat hyvin samantapaisia (Kuva 11, kuva 12). Heinäkuussa hienoisena erona korostuu näytteiden Lähde 2 ja Suo1 näytteiden muita alhaisempi pitoisuus, mutta ero ei ole suuri. Koiransuolenojan heinäkuun (Kuva 12) kaliumpitoisuudet ovat matalampia kuin maaliskuun pitoisuudet (Kuva 11).



Kuva 11. Maaliskuun kaliumpitoisuudet Löyttynojoissa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvenissä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©



Kuva 12. Heinäkuun kaliumpitoisuudet Löyttynojoissa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärven Pääjärven. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, uomat SYKE ©

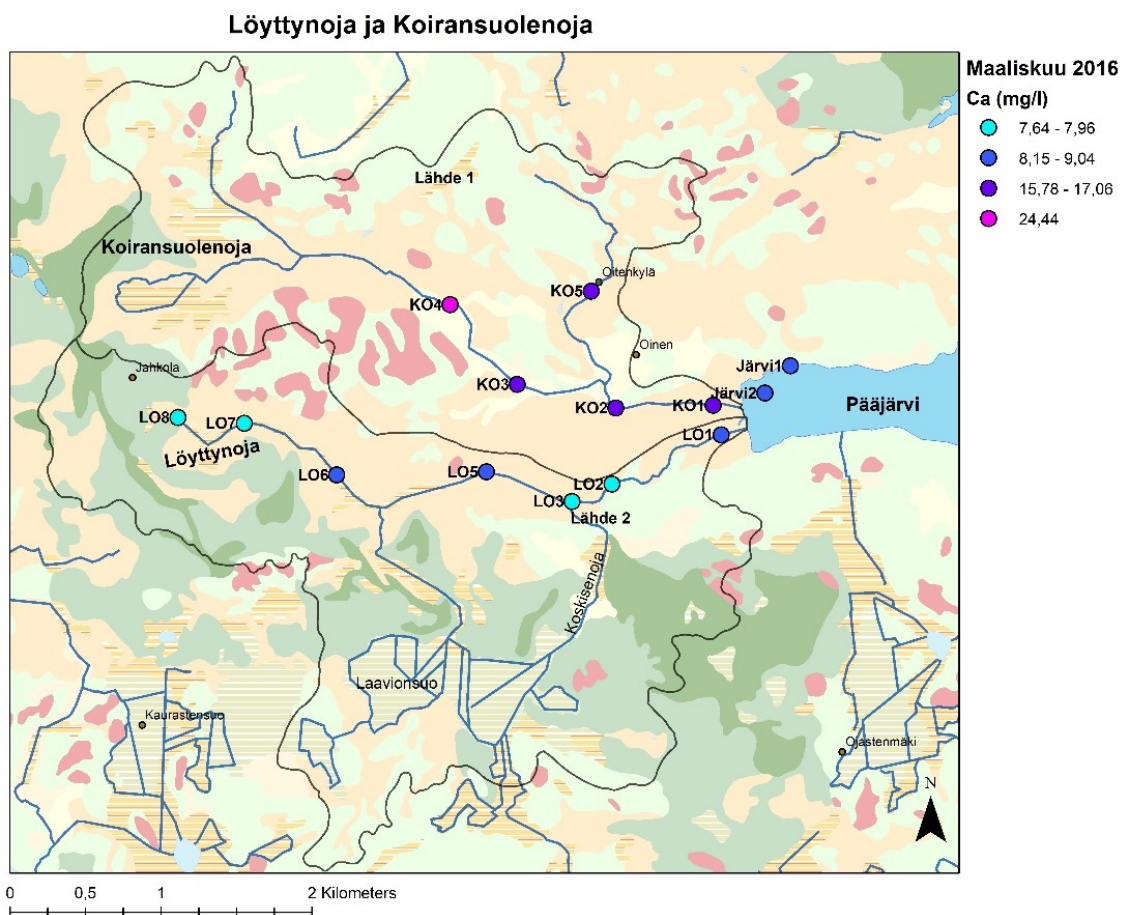
Molempien purojen kaliumpitoisuudet asettuvat hyvin Suomen purojen normaaleihin vaihteluväleihin 0,24–4,0 mg/l, mutta Koiransuolenojan pitoisuudet ovat hiukan koholla verrattuna Hämeen alueen tyypillisiin arvoihin 0,45–2,75 mg/l (Lahermo et al. 1996).

Alueen pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 1,6 mg/l (PEHHE1) ja 2,1 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004). Löyttynojojen kaliumpitoisuudet vastaavat pohjaveden pitoisuuksia, Koiransuolenojan pitoisuudet ovat pohjaveden pitoisuuksia korkeampia.

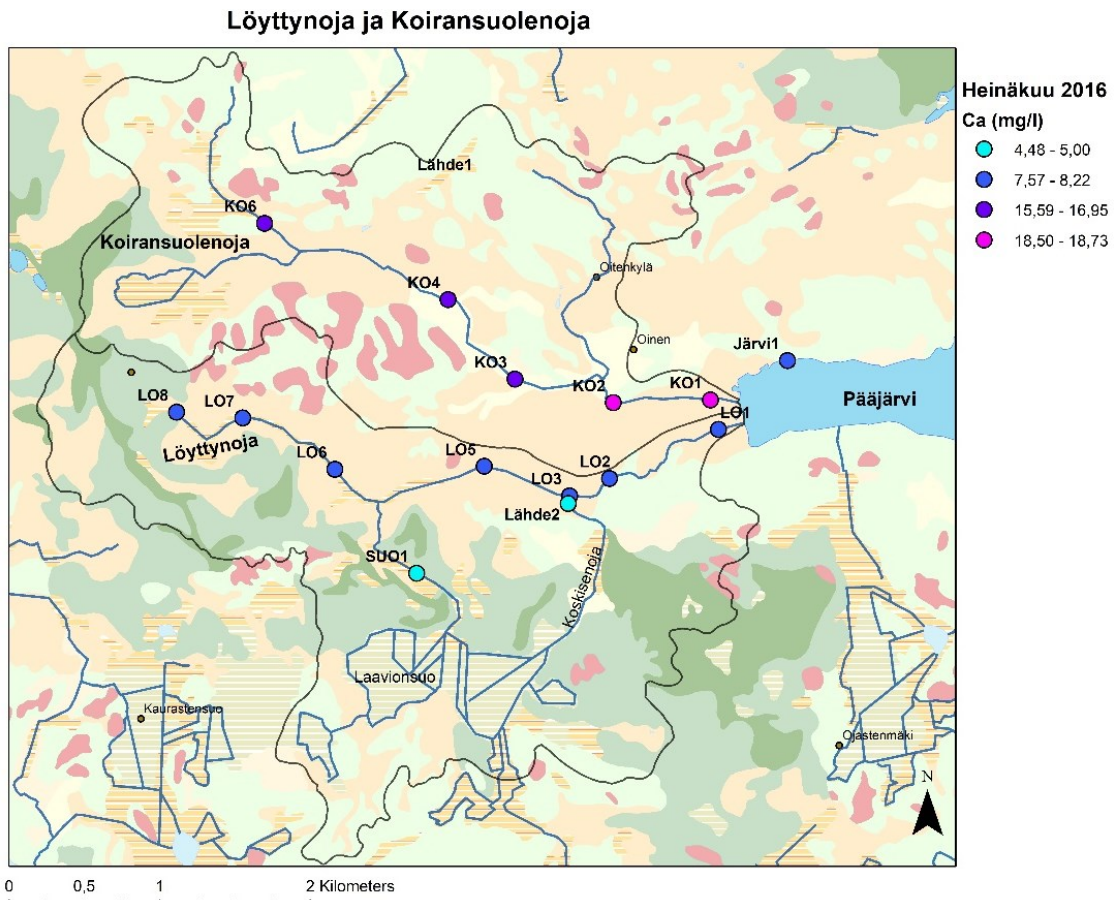
4.2.3. Kalsium

Koiransuolenojan maaliskuun kalsiumpitoisuudet (Kuva 13) ovat hieman matalammat kuin heinäkuun pitoisuudet (Kuva 14), erityisesti pitoisuudet ovat hieman korkeammat puron alajuoksulla näytepisteissä KO1 ja KO2. Maaliskuussa kyseisten pisteiden pitoisuudet olivat 17,06 mg/l, 16,81 mg/l ja heinäkuussa 18,73, 18,5 mg/l.

Löyttynojan kalsiumpitoisuudet ovat hyvin samantapaisia sekä maaliskuussa (Kuva 13) että heinäkuussa (Kuva 14), mutta Lähde2 ja Suo1 korostuvat jälleen muita alhaisemmilla kalsiumpitoisuuksillaan.



Kuva 13. Maaliskuun kalsiumpitoisuudet Löyttynojassa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvessä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©



Kuva 14. Heinäkuun kalsiumpitoisuudet Löyttynojoissa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvessä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

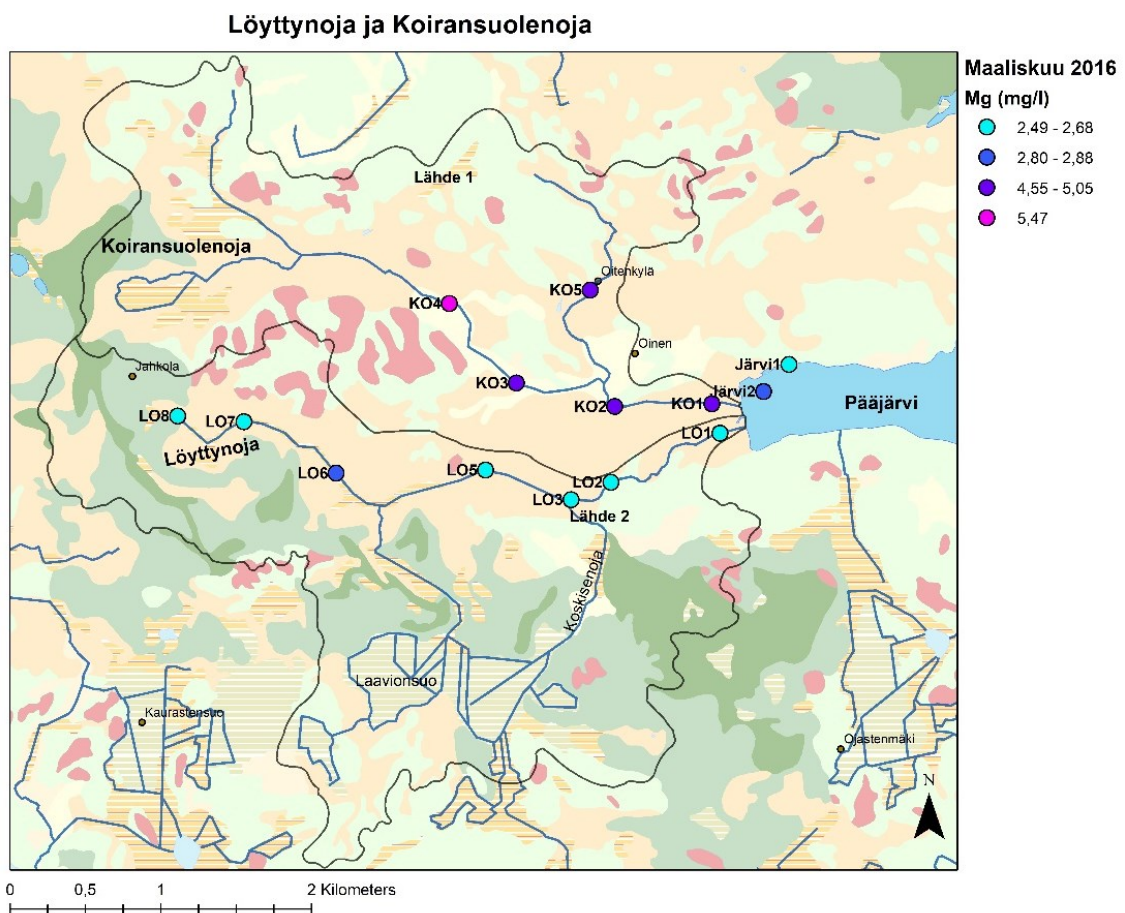
Purojen kalsiumpitoisuudet asettuivat Suomen purovesien tyypillisiin pitoisuuksiin 1,7–18,0 mg/l (Lahermo et al. 1996) lukuun ottamatta maaliskuun näytettä KO4. Näytteen KO4 ionibalanssi oli 14 % joten tulokset ovat hieman epävarmoja.

Koiransuolenojan pitoisuudet ovat koholla suhteessa alueen paikallisiin pitoisuuksiin, jotka ovat 2,6–14,1 mg/l, mutta Löyttynojojen arvot ovat alueelle tyypillisiä (Lahermo et al. 1996).

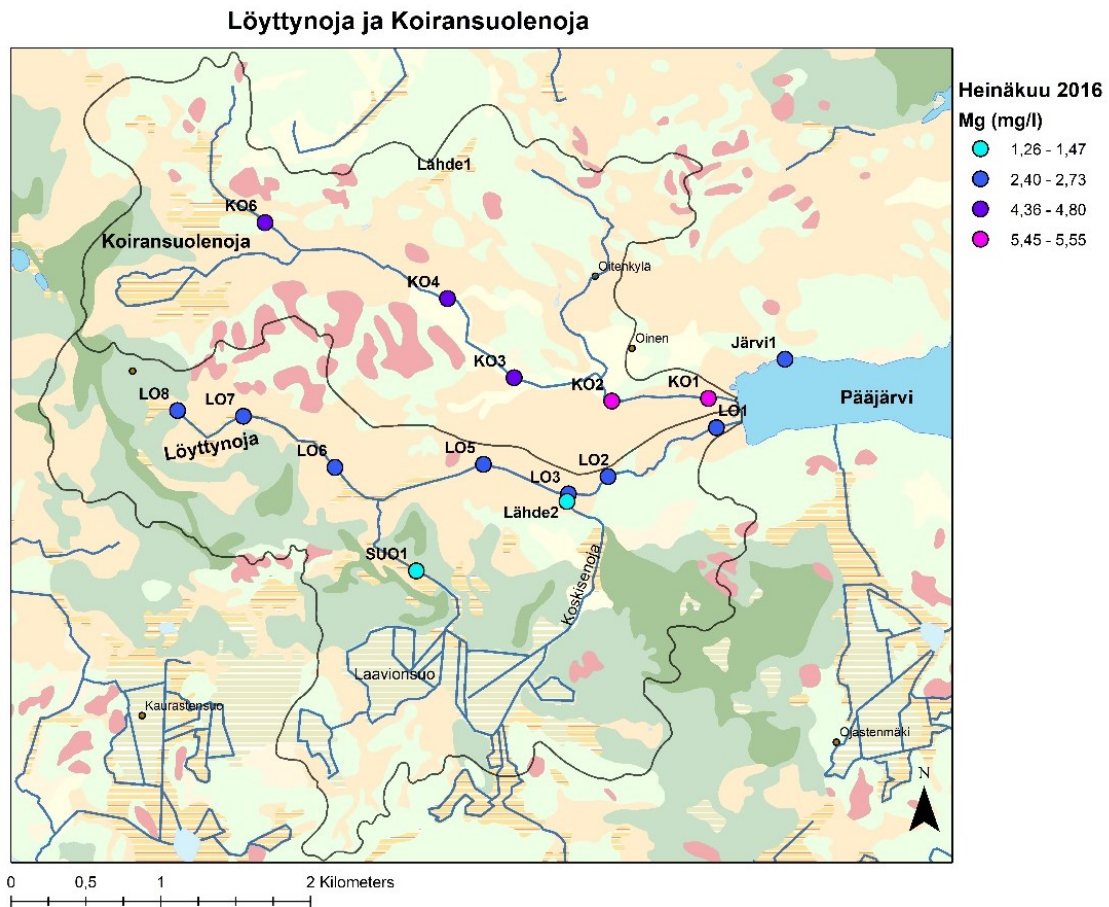
Löyttynojojen kaliumpitoisuudet alittavat alueen pohjavesien keskiarvot, sen sijaan Koiransuolenojan pitoisuudet ovat lähellä pohjavesien pitoisuuksia 11,8 mg/l (PEHHE1) ja 15,0 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004).

4.2.4. Magnesium

Purojen maaliskuun (Kuva 15) ja heinäkuun (kuva 16) magnesiumipitoisuuksissa ei ollut suurta eroa, Koiransuolen ojan alajuoksulla heinäkuun pitoisuudet olivat hieman koholla verrattuna maaliskuun arvoihin. Löyttynojassa heinäkuun pienimmät pitoisuudet olivat näytepisteissä Suo1 (1,26 mg/l) ja Lähde2 (1,47 mg/l), joissa muidenkin pääionien pitoisuudet ovat pienemmät.



Kuva 15. Maaliskuun magnesiumipitoisuudet Löyttynojassa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvässä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, uomat SYKE ©



Kuva 16. Heinäkuun magnesiumipitoisuudet Löyttynojassa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvässä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Purovesien tyypilliset magnesiumipitoisuudet ovat 0,6 – 7,0 mg/l ja alueen paikalliset taustapitoisuudet ovat 1,0–6,8 mg/l (Lahermo et al. 1996). Molempien tutkimuspurojen pitoisuudet asettuvat näille vaihteluväleille.

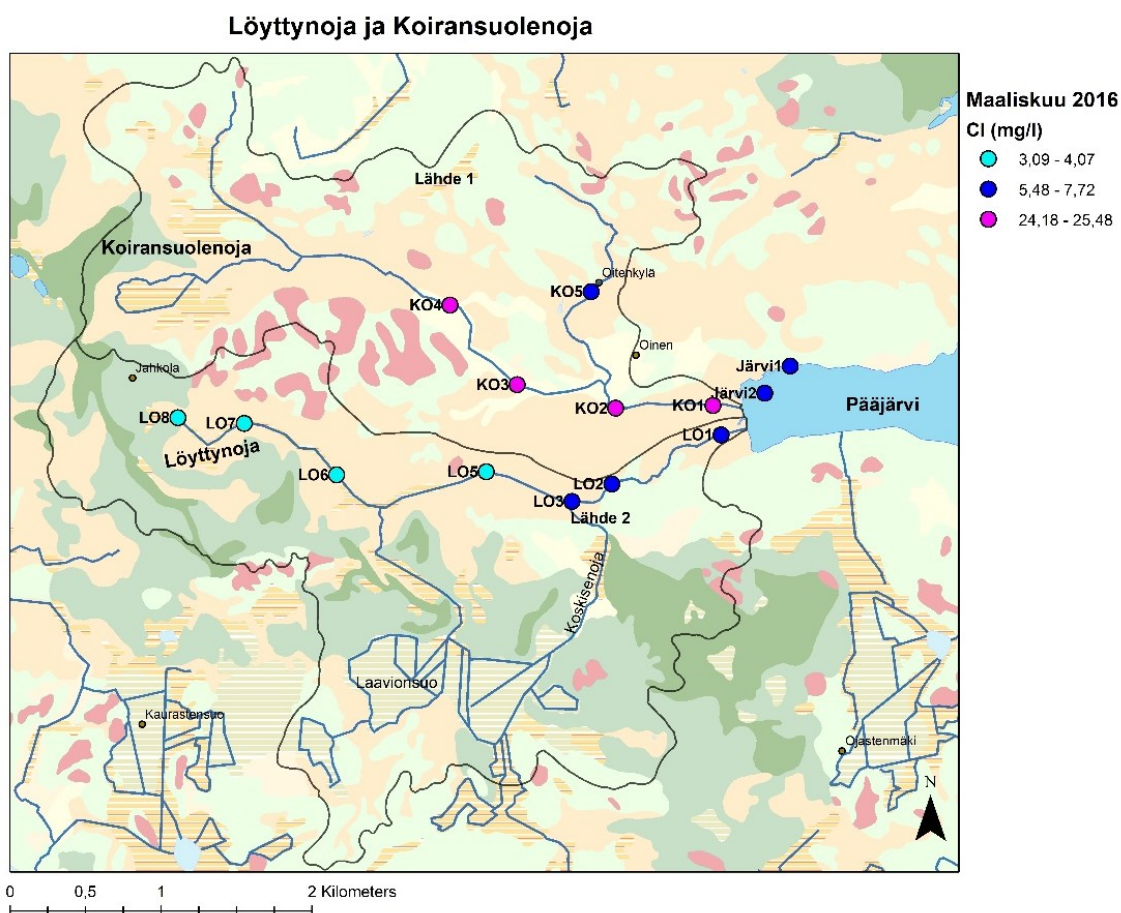
Alueen pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 3,1 mg/l (PEHHE1) ja 2,2 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004), jolloin Löyttynojan pitoisuudet ovat lähellä pohjaveden arvoja. Koiransuolenojan pitoisuudet sen sijaan ovat hieman pohjaveden pitoisuuksia suurempia.

4.2.5. Kloridi

Löyttynojassa maaliskuun pitoisuudet (Kuva 17) ovat hieman pienemmät kuin heinäkuun (Kuva 18), maaliskuussa näytteet voidaan jakaa kahteen kategoriaan 3,09-4,07 mg/l ja 5,48-7,72 mg/l, jossa yläjuoksun näytteet LO5-LO8 edustavat pienempiä arvoja ja

alajuoksun näytteet LO1-LO3 korkeampia. Heinäkuussa näytteillä LO6 ja LO5 arvot hieman korkeammalla, mutta pienemmän pitoisuuden ryhmän muodostavat yläjuoksunäytteet LO8, LO7 sekä Löyttynojan haaroista otetut näytteet SUO1 ja Lähde2.

Suomen purovesien kloridipitoisuus vaihtelee välillä 0,5 – 15 mg/l (Lahermo et al. 1996) ja suhteessa tähän Koiransuolenojan pitoisuudet ovat selkeästi korkeammat. Heinäkuun Koiransuolenojan pitoisuudet (Kuva 18) ovat kautta linjan korkeampia kuin maaliskuun pitoisuudet (Kuva 17), erityisesti heinäkuussa näyte KO6 Koiransuolenojan yläjuoksulta erottuu muista 45,13 mg/l pitoisuudellaan joka on yli 15 mg/l korkeampi kuin muut puron pitoisuudet.



Kuva 17. Maaliskuun kloridipitoisuudet Löyttynojassa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärressä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, uomat SYKE ©



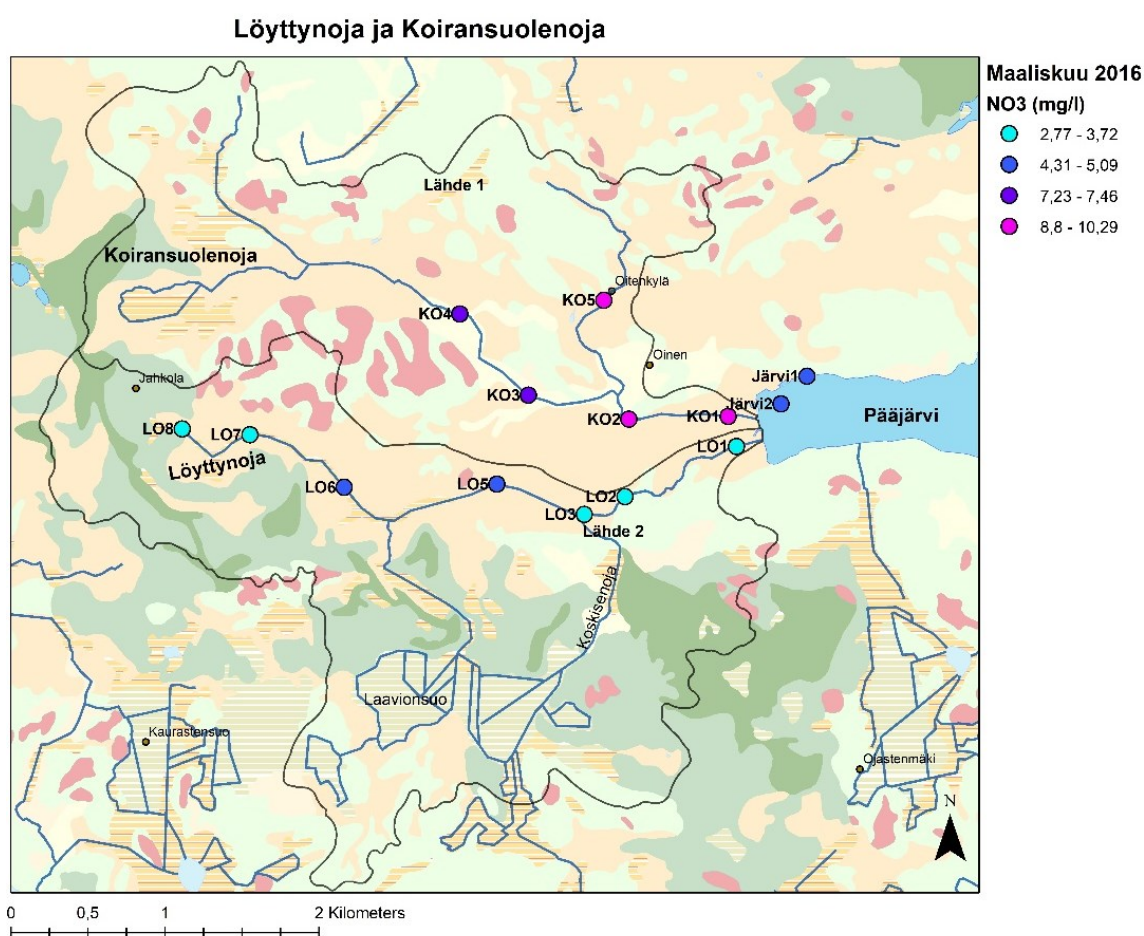
Kuva 18. Heinäkuun kloridipitoisuudet Löyttynojoissa, Koiransuolenojissa sekä Pääjärvässä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Löyttynojojen pitoisuudet asettuvat alueen tyypillisiin arvoihin 1,0–7,9 mg/l (Lahermo et al. 1996), mutta Koiransuolenojen pitoisuudet ylittävät tämän tason voimakkaasti.

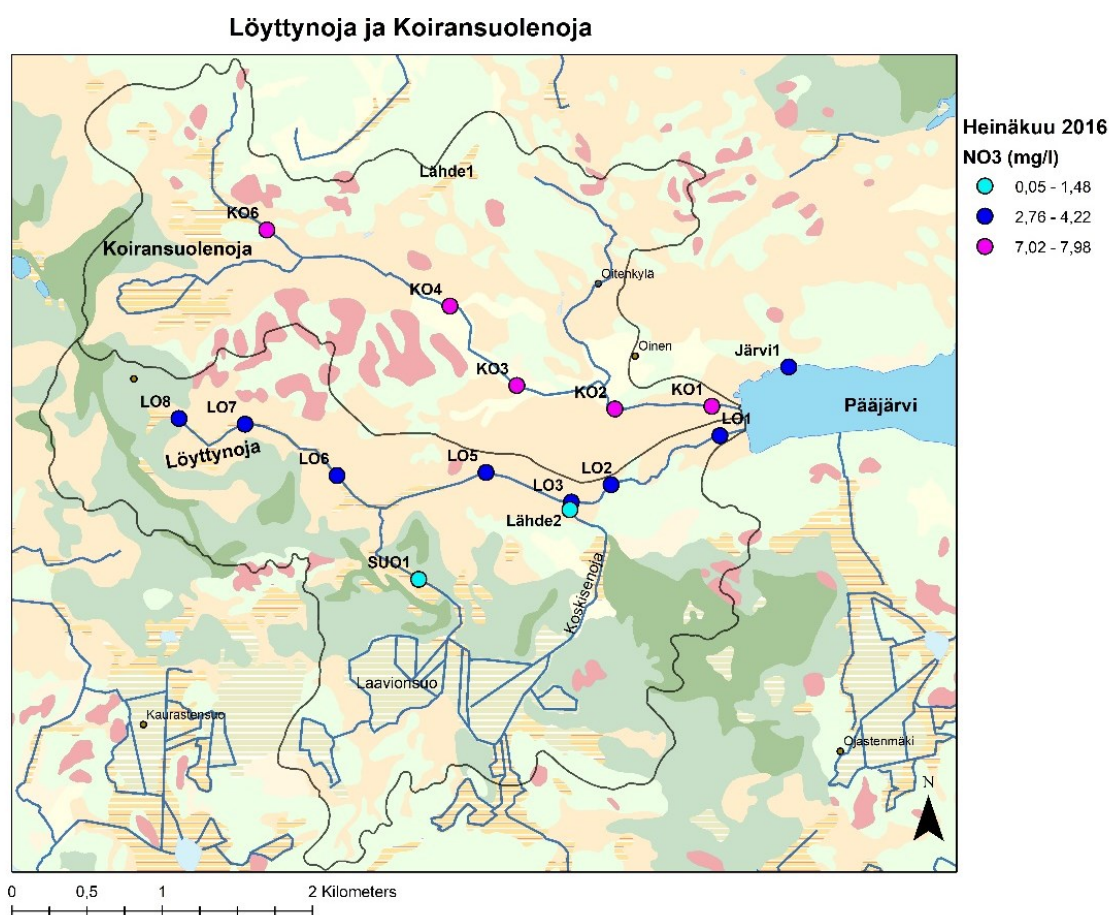
Alueen pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 5,8 mg/l (PEHHE1) ja 10 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004). Löyttynojojen kloridipitoisuudet ovat lähellä pohjaveden keskiarvoja, Koiransuolenojen pitoisuudet ovat huomattavasti taustapitoisuuksia korkeampia.

4.2.6. Nitraatti

Muista pääaineista poiketen maaliskuun pitoisuudet (Kuva 19) ovat heinäkuun pitoisuuksia (kuva 20) korkeammat molemmissa puroissa, tosin Löyttynojassa korostuu jälleen näytteet Suo1 ja Lähde2, joiden pitoisuudet ovat selkeästi muita pienempiä. Koiransuolenojan korkein pitoisuus maaliskuussa on näytteessä KO5 (10,29 mg/l), joka edustaa Koiransuolenojan sivuhaaraa, ja tämä nostaa pitoisuuksia alajuoksun näytteissä KO2 ja KO1.



Kuva 19. Maaliskuun nitraattipitoisuudet Löyttynojassa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvässä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, uomat SYKE ©



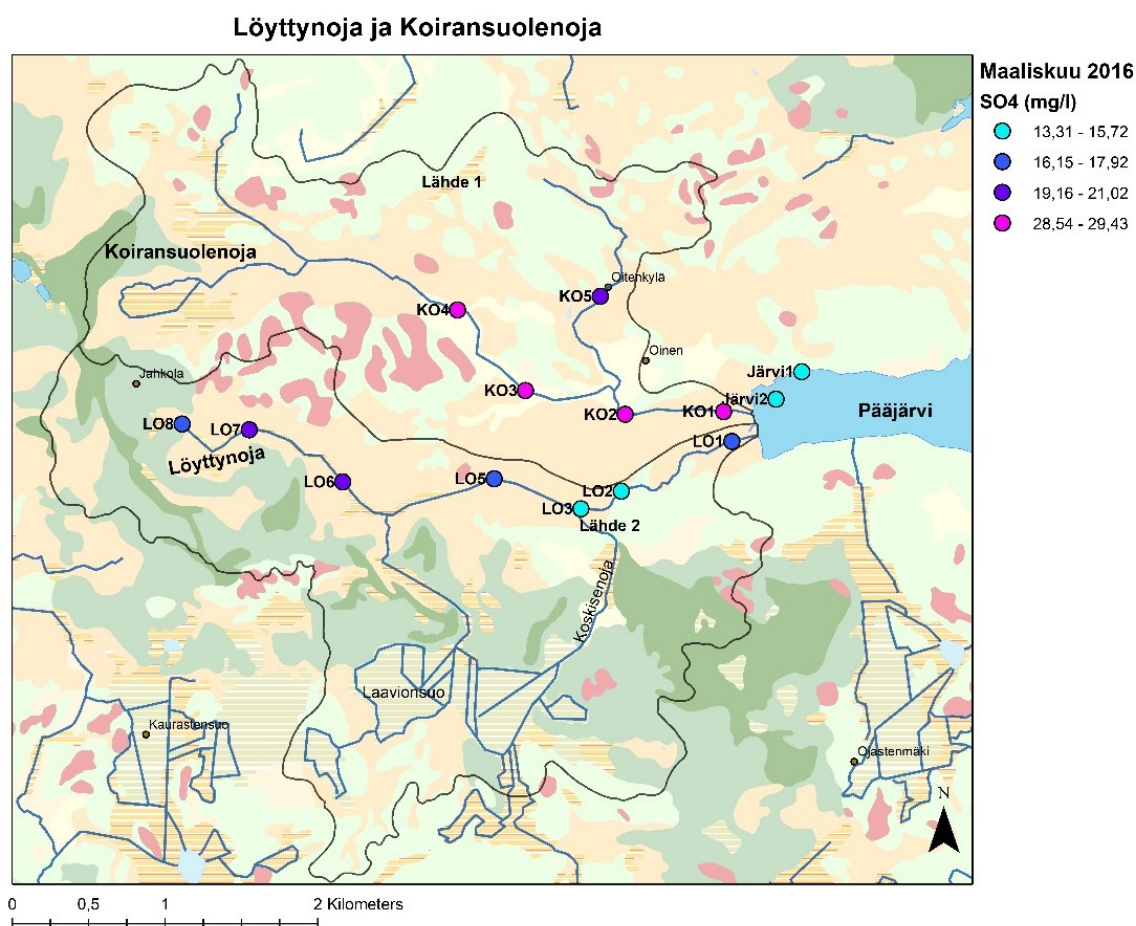
Kuva 20. Heinäkuun nitraattipitoisuudet Löyttynojoissa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvessä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, uomat SYKE ©

Tyypilliset Suomen purovesien nitraattipitoisuudet ovat 0,2 – 3,0 mg/l ja Hämeen alueen tausta-arvot ovat 0,1-3,58 mg/l (Lahermo et al. 1996). Suurimmat Hämeen pitoisuudet ovat alueen etelä- ja kaakkoisosissa eli juuri Lammin alueella (Lahermo et al. 1996), joka voidaan havaita molempien purojen korkeina pitoisuuksina suhteessa tyypillisiin arvoihin.

Molempien purojen pitoisuudet heinäkuussa ovat alueen pohjavesien tausta-arvoja pienempiä, pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 12,6 mg/l (PEHHE1) ja 9,6 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004). Maaliskuussa 2016 Koiransuolenojan pitoisuudet olivat pohjavesien kanssa samalla tasolla.

4.2.7. Sulfaatti

Maaliskuun sulfaattipitoisuudet esitetään kuvassa 21. ja heinäkuun kuvassa 22. Näytteillä, jotka on otettu sekä maaliskuussa että heinäkuussa pitoisuudet ovat hyvin samankaltaisia, mutta Löyttynojassa muita alhaisempia pitoisuuksia korostuvat heinäkuussa otetut näytteet Suo1 ja Lähde2. Löyttynojassa korkeammat sulfaattipitoisuudet havaitaan sekä maaliskuussa että heinäkuussa puron yläjuoksulla, ja pitoisuudet pienenevät alajuoksulle päin. Koiransuolenojassa pitoisuudet ovat melko samankaltaiset koko puron matkalla.



Kuva 21. Maaliskuun sulfaattipitoisuudet Löyttynojassa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärvessä. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©



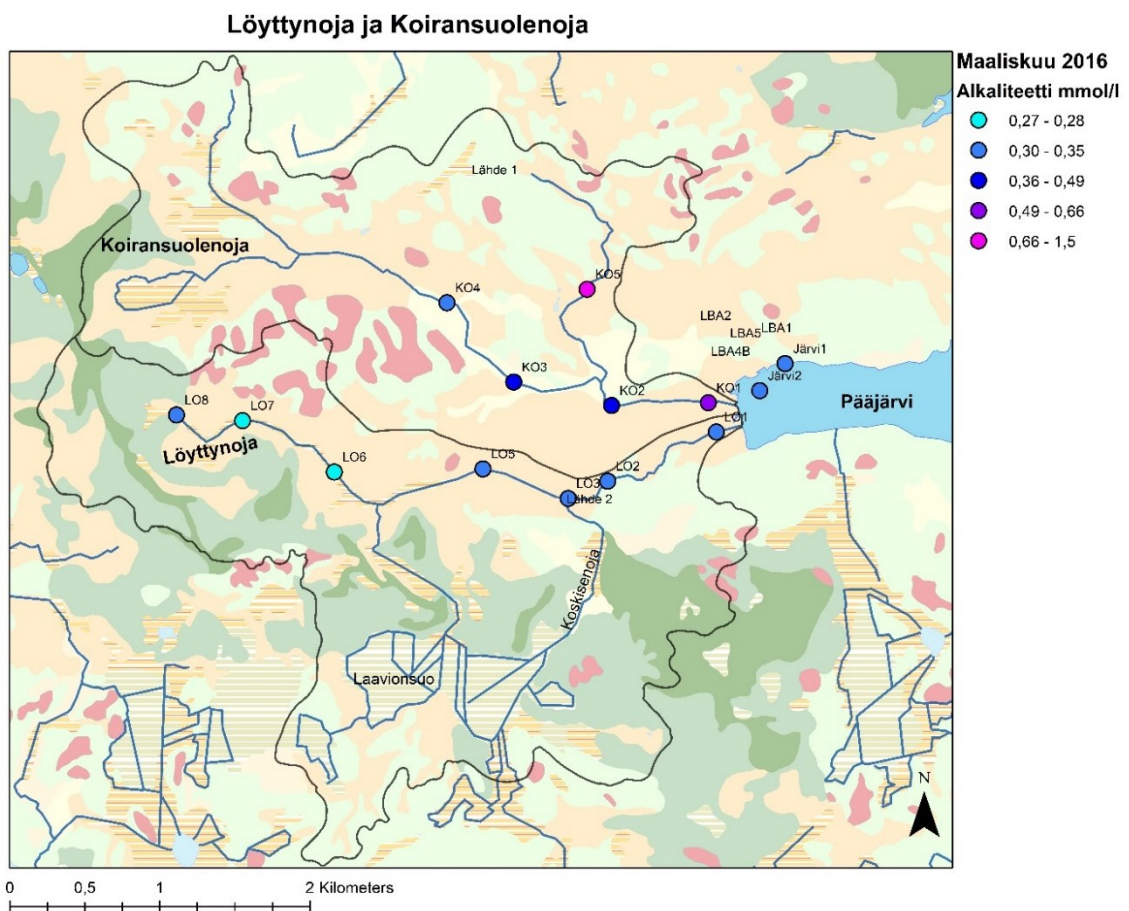
Kuva 22. Heinäkuun sulfaattipitoisuudet Löyttynojoissa, Koiransuolenojassa sekä Pääjärven alueella. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Suomen purovesien tyypilliset sulfaattipitoisuudet ovat 1,0 – 35 mg/l (Lahermo et al. 1996) mihin vaihteluväliin molemmat purot asettuvat. Hämeen tyypilliset pitoisuudet sen sijaan yleensä vaihtelevat välillä 3,0 – 20,9 mg/l ja suhteessa tähän erityisesti Koiransuolenojan pitoisuudet ovat koholla.

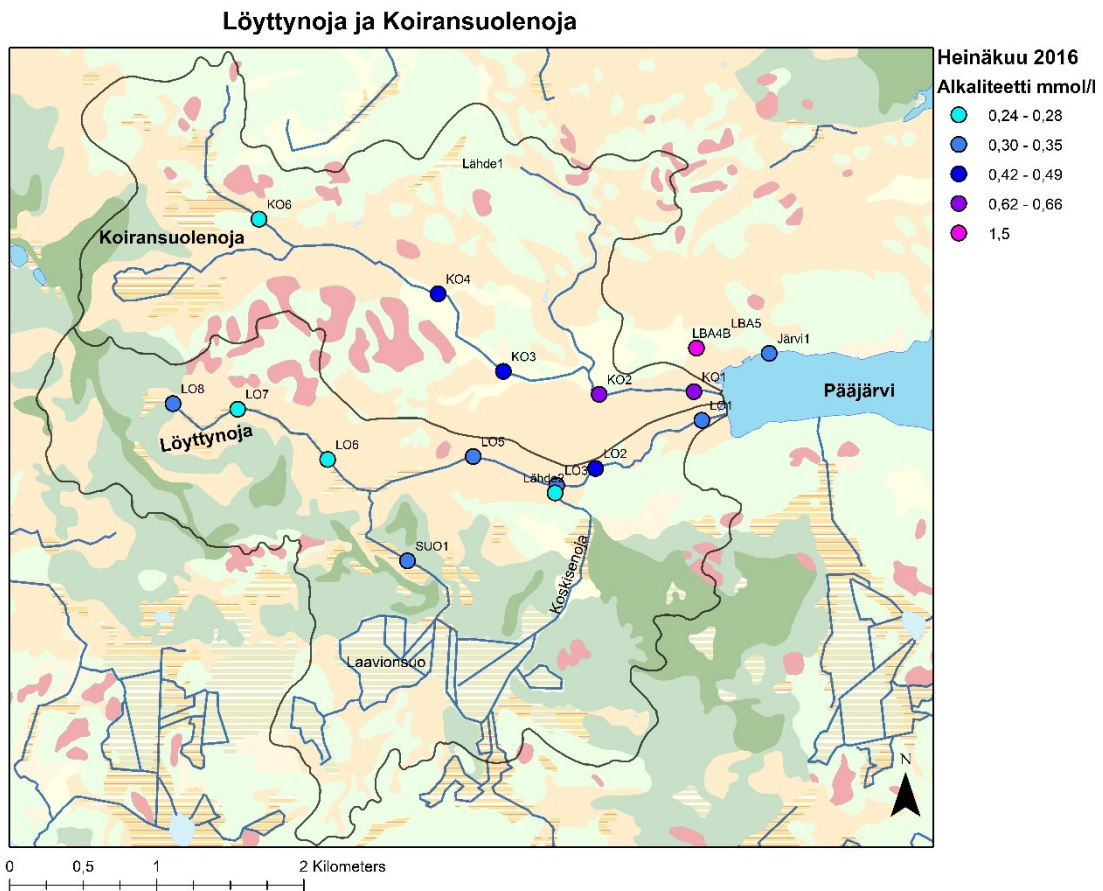
Alueen pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 12,6 mg/l (PEHHE1) ja 9,6 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004), suhteessa tähän Koiransuolenojan pitoisuudet ovat erittäin korkeita ja Löyttynojojen yläjuoksun näytteet ovat hieman näitä korkeampia mutta alajuoksun näytteet suurin piirtein vastaavat pohjaveden taustapitoisuuksia.

4.2.8. Alkaliteetti

Maaliskuun (Kuva 23) ja heinäkuun (Kuva 24) alkaliliteetit ovat hyvin samankaltaisia, purojen yleisestä tasosta eroavia näytteitä ovat lähinnä Koiransuolenojan maaliskuun KO5 näyte, jossa alkaliteetti on 0,66 mmol/l sekä heinäkuussa KO6 näyte, jonka alhainen alkaliteetti 0,24 mmol/l vastaa enemminkin Löyttynojan tasoa.



Kuva 23. Maaliskuun 2016 Löyttynojan ja Koiransuolenojan alkaliteetti (mmol/l). Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©



Kuva 24. Heinäkuun 2016 Löyttynojan ja Koiransuolenojan alkaliteetti. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Suomen purovesien tyypillinen alkaliteetti vaihtelee välillä 0,01-1,00 mmol/l, keskiarvo on 0,3 mmol/l ja Hämeen tyypillinen alkaliteetti vaihtelee välillä 0,12 – 0,91 mmol/l (Lahermo et al. 1996), joihin vaihteluväleihin molemmat purot asettuvat.

Alueen pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 0,56 mmol/l (PEHHE1) ja 0,67 mmol/l (PEHTA1) (Backman 2004). Koiransuolenojan alkaliteetti vastaa pitkälti pohjaveden pitoisuuksia, mutta Löyttynojan pitoisuudet ovat niitä alhaisemmat. Lammin biologisen aseman pohjavesiputkesta heinäkuussa 2016 otetun näytteen pitoisuudet ovat tausta-arvoja selkeästi korkeammat (1,5 mmol/l).

4.2.9. Fluoridi

Fluoridin maaliskuun pitoisuudet ovat hyvin samankaltaisia molemmissa puroissa ja pitoisuudet vaihtelevat välillä 0,10–0,12 mg/l. Heinäkuun pitoisuuksissa on hieman enemmän hajontaa ja Koiransuolenojan pitoisuudet ovat hiukan korkeampia kuin Löyttynojan. Pitoisuudet ovat kuitenkin niin pieniä (0,085 – 0,157 mg/l), ettei niillä ole tutkimuksen kannalta suurta merkitystä ja ne ovat lähellä fluoridin määrittämissä. Tarkemmat näytekohdaiset tulokset esitetään Liitteessä 1.

4.2.10. Ionibalanssi

Maaliskuun 2016 ionibalanssit vaihtelevat välillä -1,36–5,0 %, poikkeuksena näyte KO4, jossa ionibalanssi on 14,09 %. KO4 pitoisuudet poikkeavat jonkin verran muista näytteistä, ja tämä voi aiheutua mahdollisista mittausvirheistä. Heinäkuussa 2016 otettujen näytteiden ionibalanssi vaihtelee välillä -6,97–5,03 % eli kaikkien tulosten voidaan olettaa olevan luotettavia.

Tarkemmat tulokset ovat liitteissä 1.

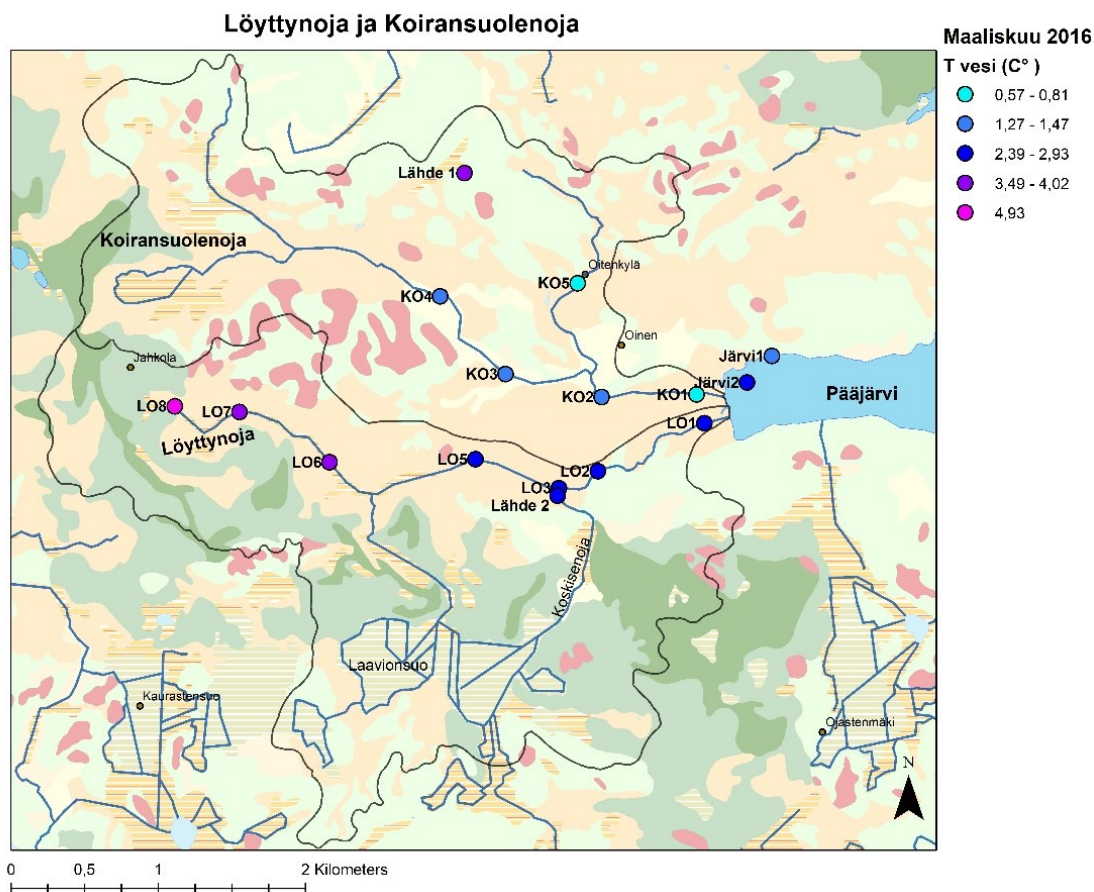
4.3. Lämpötila, sähkönjohtavuus ja pH kenttämittauksissa

Sähkönjohtavuus, lämpötila ja pH mitattiin maaliskuussa ja heinäkuussa 2016 näytepisteiltä näytteenoton yhteydessä

4.3.1. Lämpötila

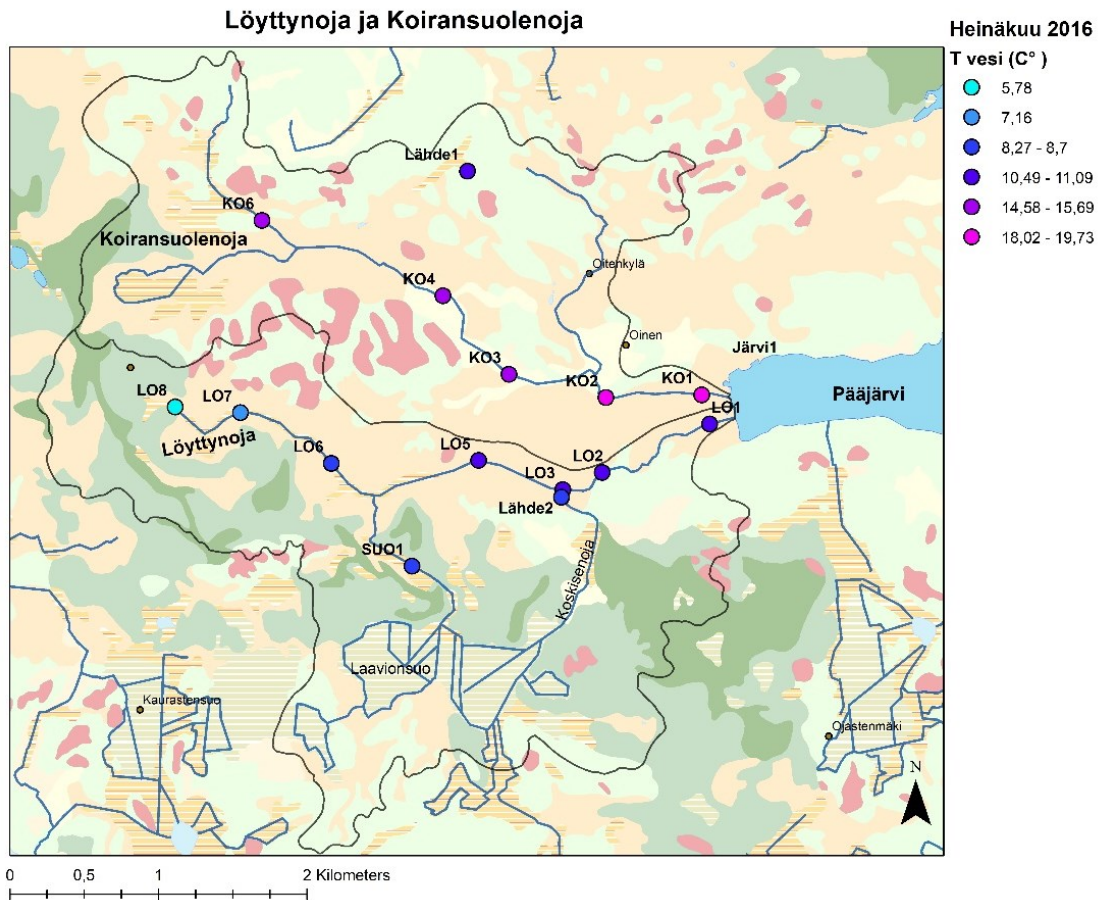
Maaliskuussa Löyttynojan lämpötilat vaihtelivat välillä 2,4–4,9 C° ja Koiransuolenojassa välillä 0,6–1,5 C° (Kuva 25). Löyttynojan lämpötilalukemat ovat korkeammat yläjuoksulla, erityisesti näytepisteessä LO8, joka edustaa Löyttynlähdetä. Koko Löyttynojan lämpötilojen keskiarvo on 3,2 C° ja Koiransuolenojan 1,10 C°. Lämpötilalukemat laskevat alajuoksulle päin. Pääjärven mittauspisteiden (Järvi1 ja

Järvi2) lämpötilat ovat matalampia kuin mitä suurin osa Löyttynojan mittauspisteiden lämpötilat, mutta samaa tasoa tai korkeampia kuin Koiransuolenojan lämpötilat.



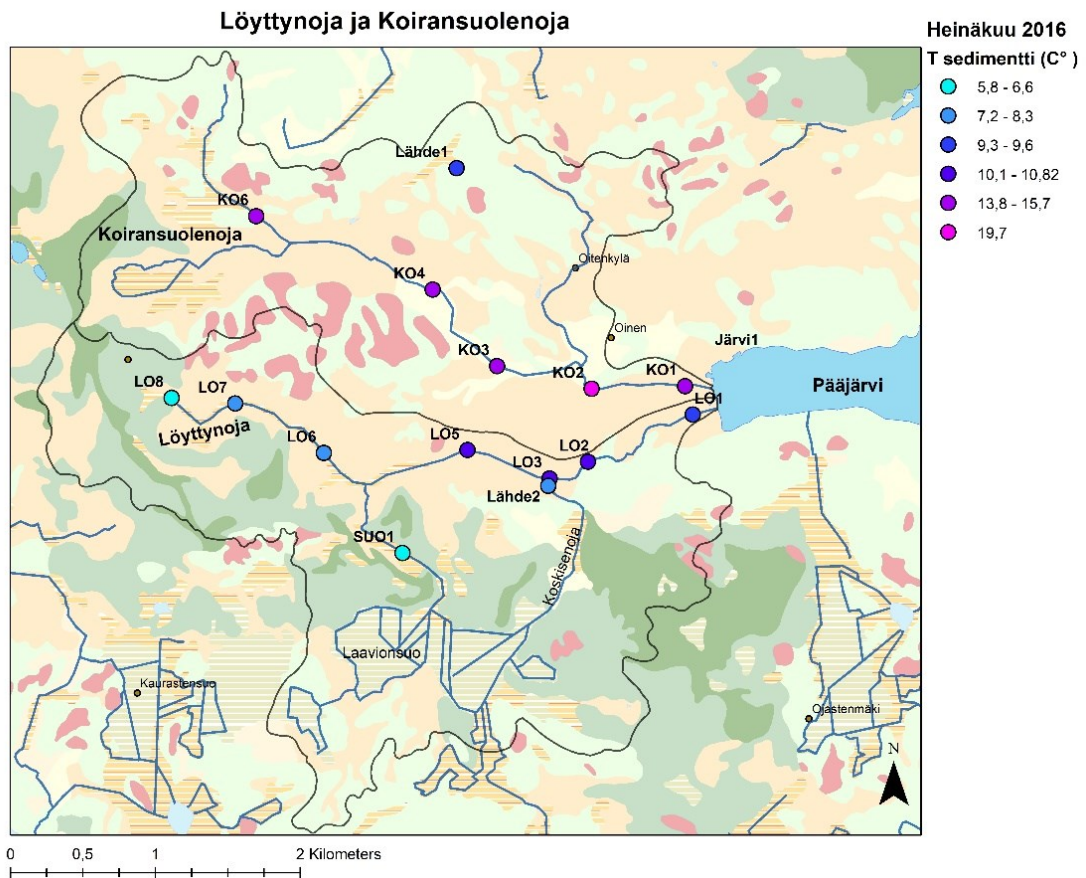
Kuva 25. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sekä Pääjärven veden lämpötilat maaliskuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Heinäkuussa Löyttynojan lämpötilat ovat selkeästi matalampia kuin Koiransuolenojan (Kuva 26), purojen kaikkein matalin arvo on näytepisteessä LO8 (5,78 C°), Koiransuolenojan matalin lämpötila löytyy näytepisteestä Lähde1 (11,0 C°). Molempien purojen lämpötila on matalampi yläjuoksulla ja nousee alajuoksua kohden, tosin suuntaus on selkeämpi Löyttynojoissa.



Kuva 26. Löyttynojan ja Koiransuolenojen sekä Pääjärven veden lämpötilat heinäkuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Heinäkuussa mitattiin vedenlämpötilan lisäksi myös sedimentinlämpötila (Kuva 27). Sedimentin lämpötilat ovat yleisesti ottaen matalampia kuin vedenlämpötilat, ero on erityisen selkeä näytepisteessä Suo1, jossa sedimentinlämpötila on 6,6 C° ja veden lämpötila 8,7 C°. Sedimentin lämpötilat noudattavat samaa trendiä kuin heinäkuussa mitatut vedenlämpötilatkin, lämpötilat ovat matalampia yläjuoksulla ja kasvavat alajuoksulle päin.

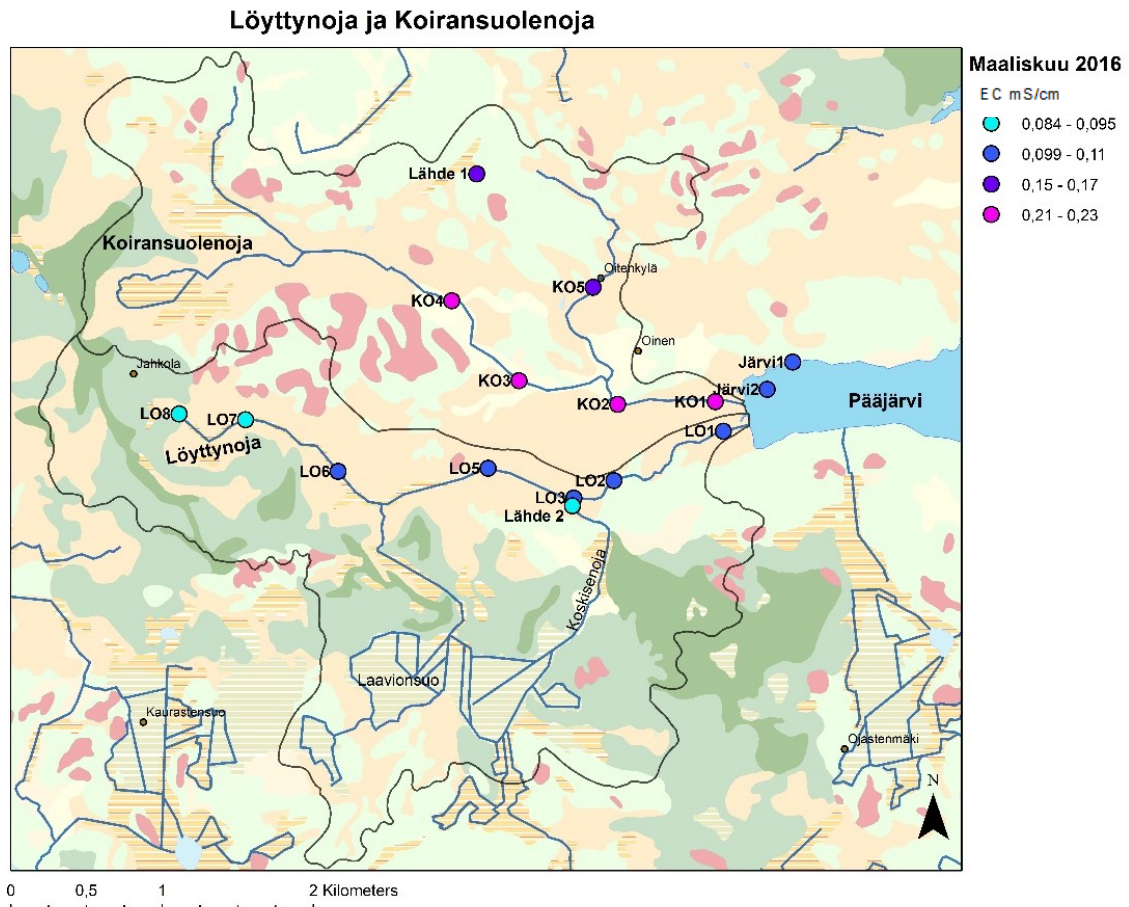


Kuva 27. Heinäkuun 2016 sedimentin lämpötila. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

4.3.2. Sähkönjohtavuus

Löyttynojan ja Koiransuolenojen maaliskuun sähkönjohtavuus (EC) on esitetty kuvassa 28. Koiransuolenojen sähkönjohtavuus on erittäin tasainen läpi puron päähaaran (0,21-0,23 mS/cm), Vain näytteiden Lähde1 (0,15 mS/cm) ja KO5 (0,17 mS/cm) arvot poikkeavat tästä yleisestä linjasta.

Löyttynojan sähkönjohtavuus on melkein puolta pienempi kuin Koiransuolenojassa, sähkönjohtavuus on matalampi puron yläjuoksulla sekä Koskisenojan sivuhaarassa näytepisteellä Lähde2 (0,084 mS/cm) ja sähkönjohtavuus kasvaa päähaaran alajuoksulle päin (LO1 0,11 mS/cm).



Kuva 28. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sekä Pääjärven sähkönjohtavuudet (EC) maaliskuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, uomat SYKE ©

Heinäkuussa sähkönjohtavuus (Kuva 29) on molemmissa puroissa hyvin samankaltainen kuin maaliskuussa. Koiransuolenojan näytesteellä KO6 mitattiin puron korkein sähkönjohtavuus (0,29 mS/cm), mutta valitettavasti maaliskuussa kyseistä näytettä ei otettu joten tuloksia ei voida verrata keskenään. Lähde1 näytteellä on heinäkuussakin Koiransuolenojan matalin arvo (0,13 mS/cm), joka selkeästi poikkeaa puron yleisestä tasosta (0,22-0,25 mS/cm).

Löyttynojan matalimmat arvot ovat näytesteissä Lähde2 (0,06 mS/cm) ja LO2 (0,05 mS/cm), eikä purossa ole samankaltaista suuntausta kuin maaliskuussa, jossa yläjuoksun sähkönjohtavuus on matalampi kuin alajuoksun.



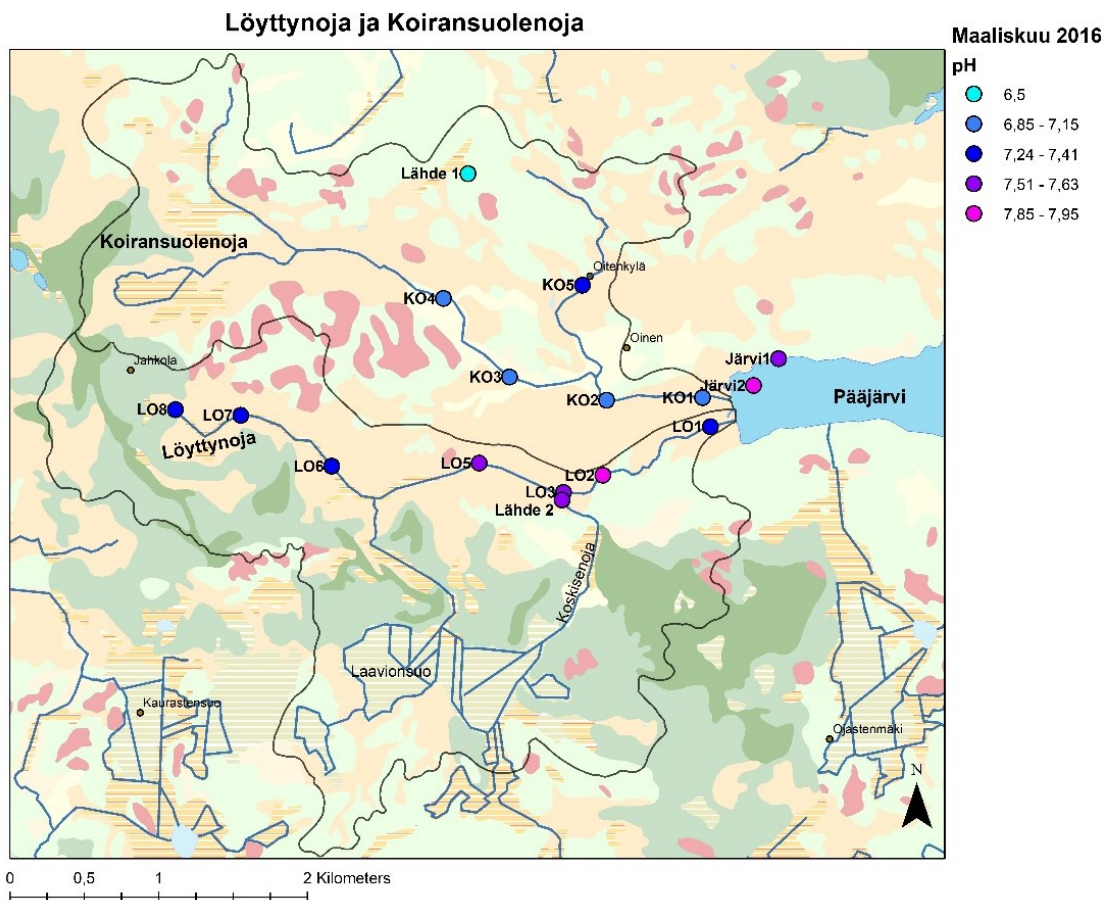
Kuva 29. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sekä Pääjärven sähköjohtavuudet (EC) heinäkuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Suomessa purovesien sähköjohtavuus on yleensä 0,02-0,22 mS/cm ja Hämeen tyypilliset arvot ovat 0,028–0,169 mS/cm (Lahermo et al. 1996). Löyttynojan sähköjohtavuuden arvot sopivat molempiin vaihteluväleihin, mutta Koiransuolenojan arvot ylittävät paikalliset arvot ja ovat suhteessa koko Suomen purovesien tyypillisen sähköjohtavuuden ylärajoilla.

Backmanin (2004) tutkimuksessa havaittiin alueen pohjaveden sähköjohtavuuden keskiarvon vuosilta 1969-2002 olevan 0,147 mS/m (PEHHE1) ja 0,153 mS/m (PEHTA1), jolloin Löyttynojan sähköjohtavuudet erityisesti näytteen LO2 osalta jää pohjaveden tausta-arvoja huomattavasti alemmaksi. Koiransuolenojan sähköjohtavuus on hieman pohjavettä korkeampi.

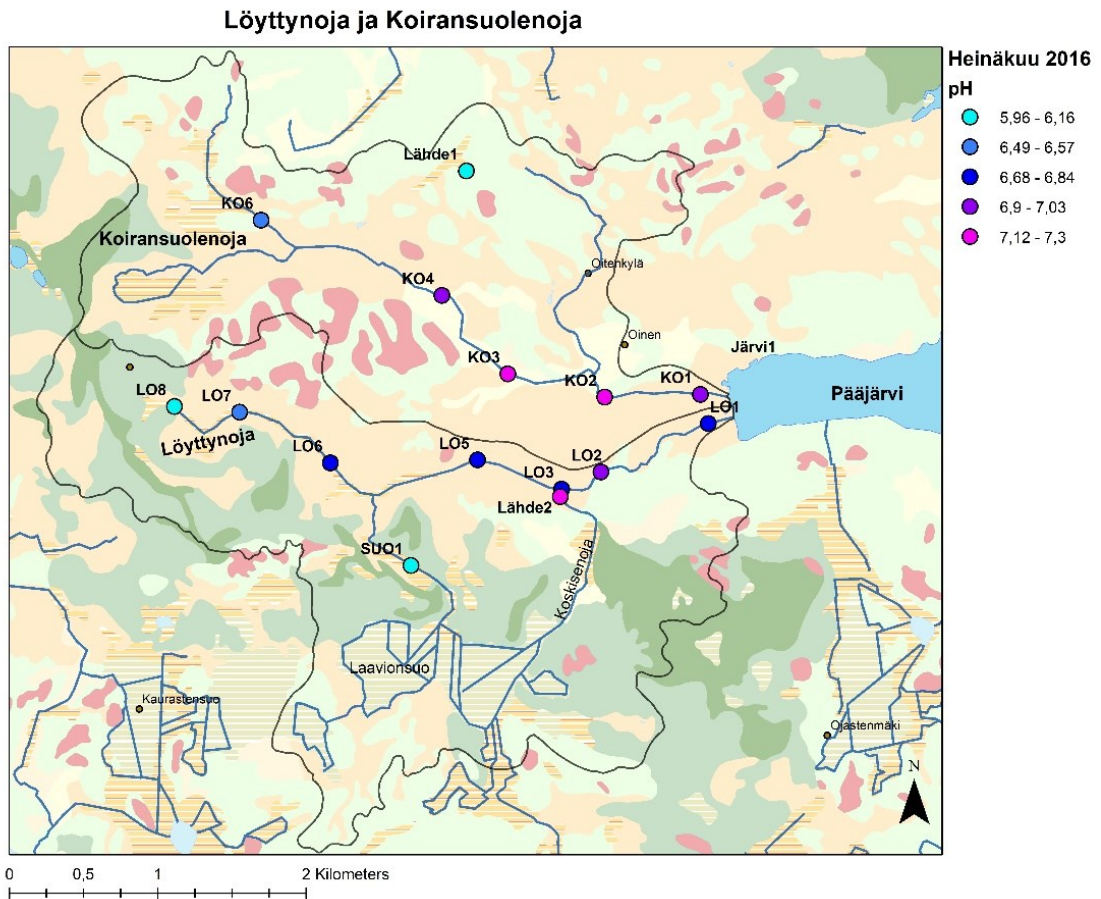
4.3.3. pH

Löyttynojan maaliskuussa mitatut pH arvot (Kuva 30) vaihtelivat välillä 5,99–7,03, jolloin happamin pH arvo oli Löyttynlähteellä (piste LO8) ja korkein arvo alajuoksulla (piste LO2). Koiransuolenojan pH arvot vaihtelevat 6,57–7,30 (Kuva 30) välillä ja Koiransuolenojan valuma-alueen alhaisin pH on näytepisteessä Lähde1 (6,5). Koiransuolenojan vesi on kauttaaltaan hieman happamampaa kuin Löyttynojan vesi.



Kuva 30. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sekä Pääjärven pH maaliskuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Heinäkuussa (Kuva 31) purojen pH arvot kääntyvät päinvastaisiksi verrattuna maaliskuuhun ja Löyttynojan vesi on Koiransuolenojaa happamampaa. Tästä huolimatta kaikkein matalin pH on edelleen Koiransuolenojan näytepisteessä Lähde1 (5,96). Löyttynojassa matalimmat pH-arvot ovat näytepisteessä LO8 (5,99) ja Suo1 (6,16).

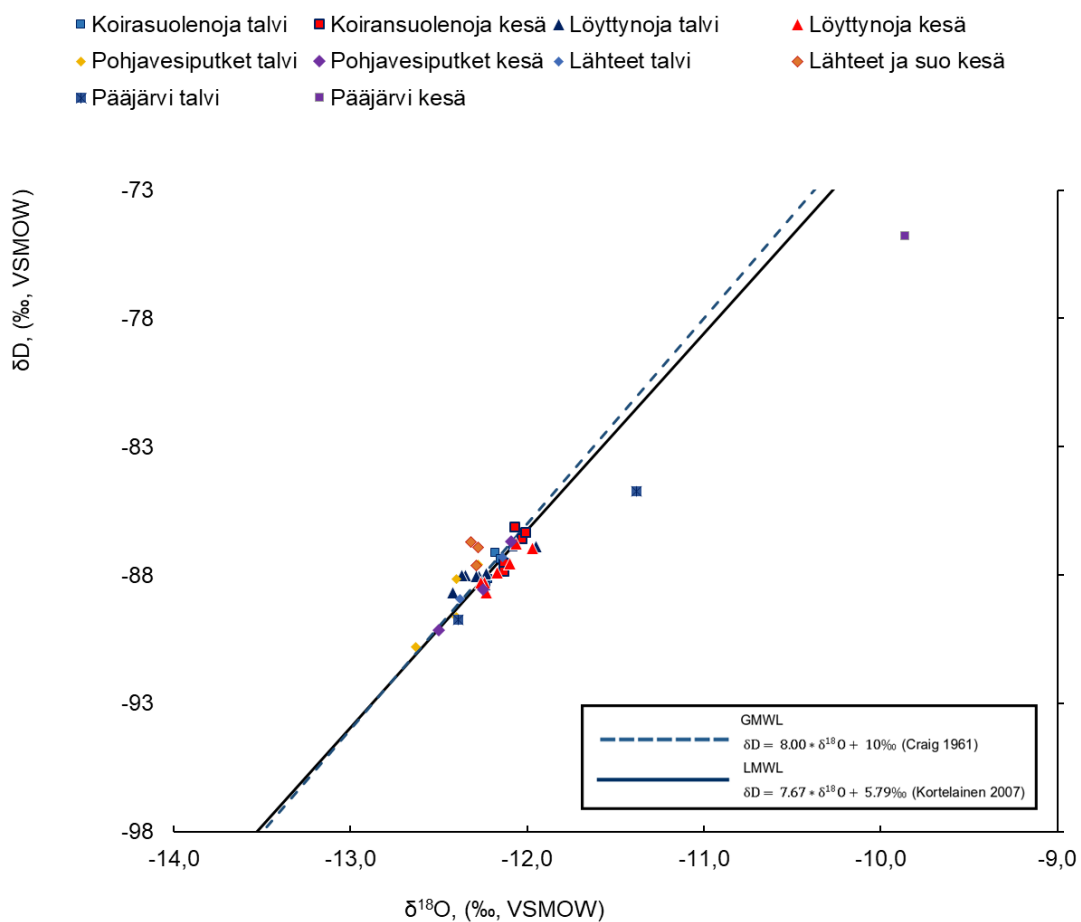


Kuva 31. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sekä Pääjärven pH heinäkuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

Suomen purovesien pH vaihtelee välillä 4,7 – 6,6 ja Hämeen alueen arvot ovat 5,1–6,5 (Lahermo et al. 1996). Suhteessa näihin arvoihin molempien purojen pH taso on hiukan koholla.

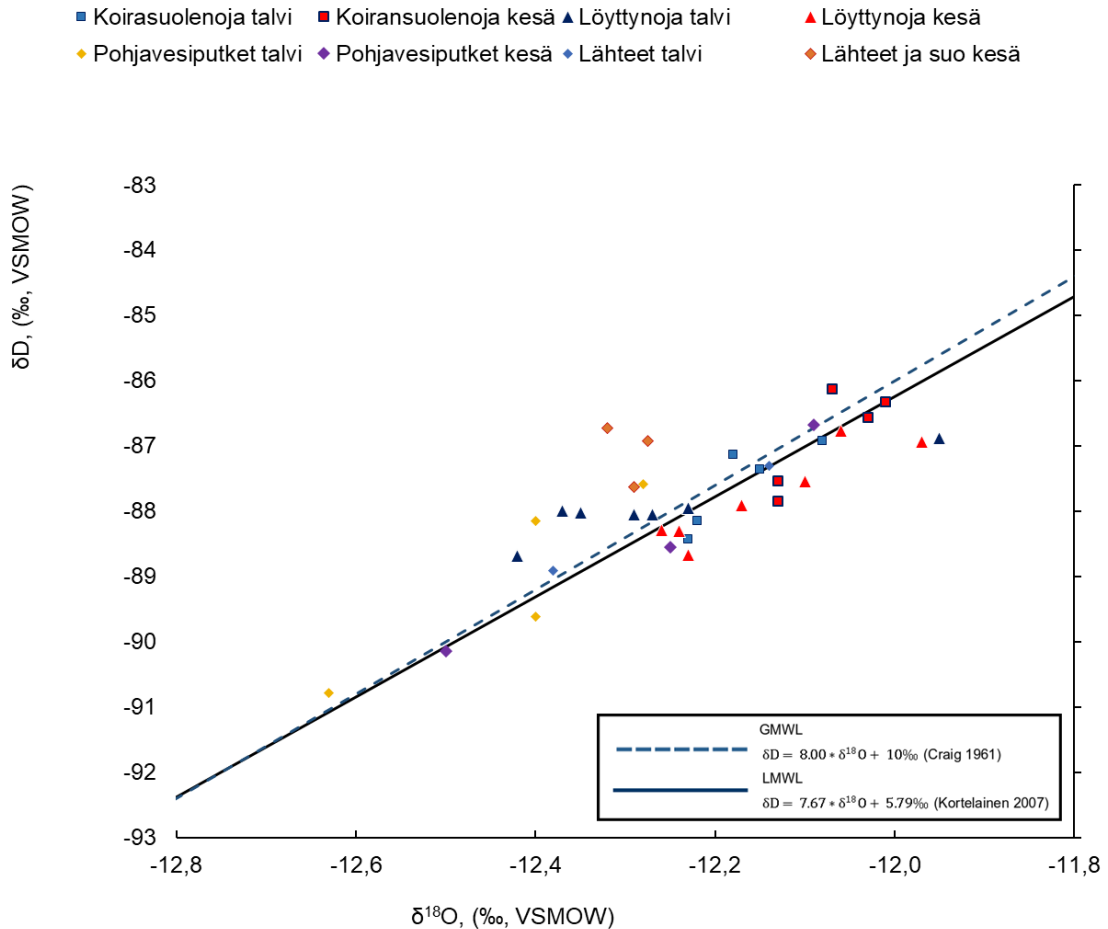
4.4. Hapen ja vedyn stabiilit isotoopit

Isotooppituloksissa selkeinten muista erottuvat Pääjärven tulokset (Kuvan 32), mikä on hyvin luonnollista, sillä järvivesi edustaa haihtunutta pintavettä. Osa Löyttynojan $\delta^{18}\text{O}$ - ja δD -arvoista ovat hieman matalampia kuin Koiransuolenojan, varsinkin maaliskuun arvojen osalta, mutta pääasiassa arvot ovat hyvin saman suuruisia.



Kuva 32. δD arvot suhteessa $\delta^{18}O$ arvoihin. Löyttynojan, Koiransuolenojan, niihin liittyvien lähteiden sekä Laavionsuon, Lammin biologisen aseman pohjaputkien ja Pääjärven isotooppitulokset.

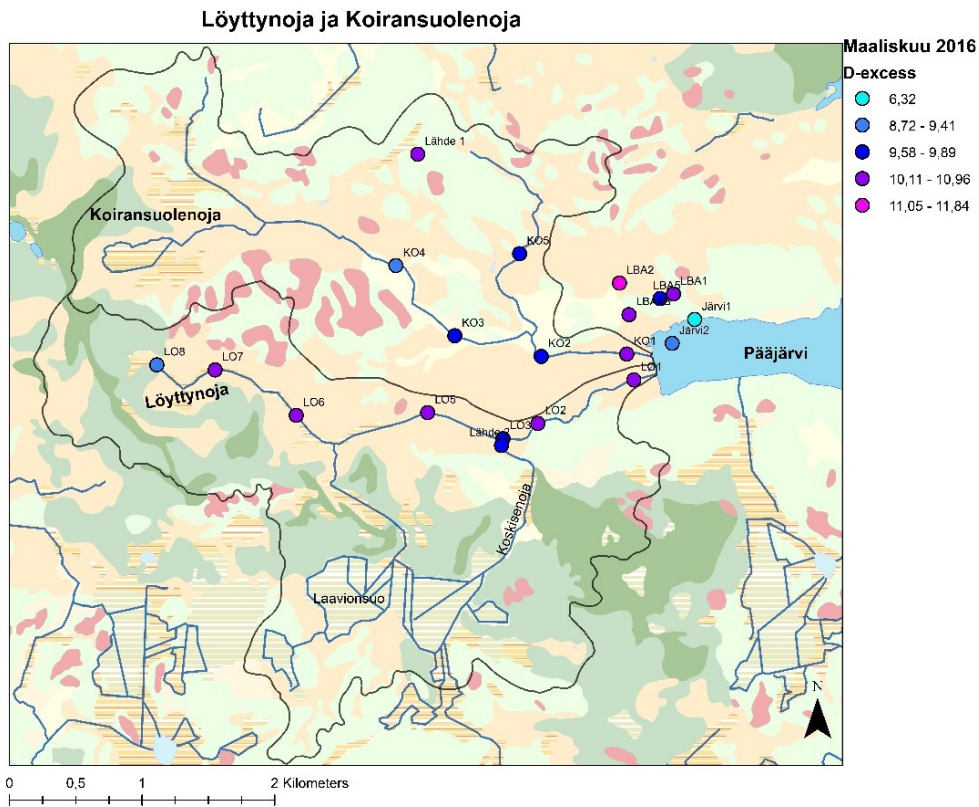
Isotooppitulosten samankaltaisuuden takia tuloksia on hankala erottaa toisistaan muista tuloksista eroavien Pääjärven tulosten ollessa mukana kuvaajassa, joten kuvassa 33 on kaikki muut mitatut isotooppitulokset paitsi Pääjärven tulokset keskitettynä pienemmälle lukualueelle.



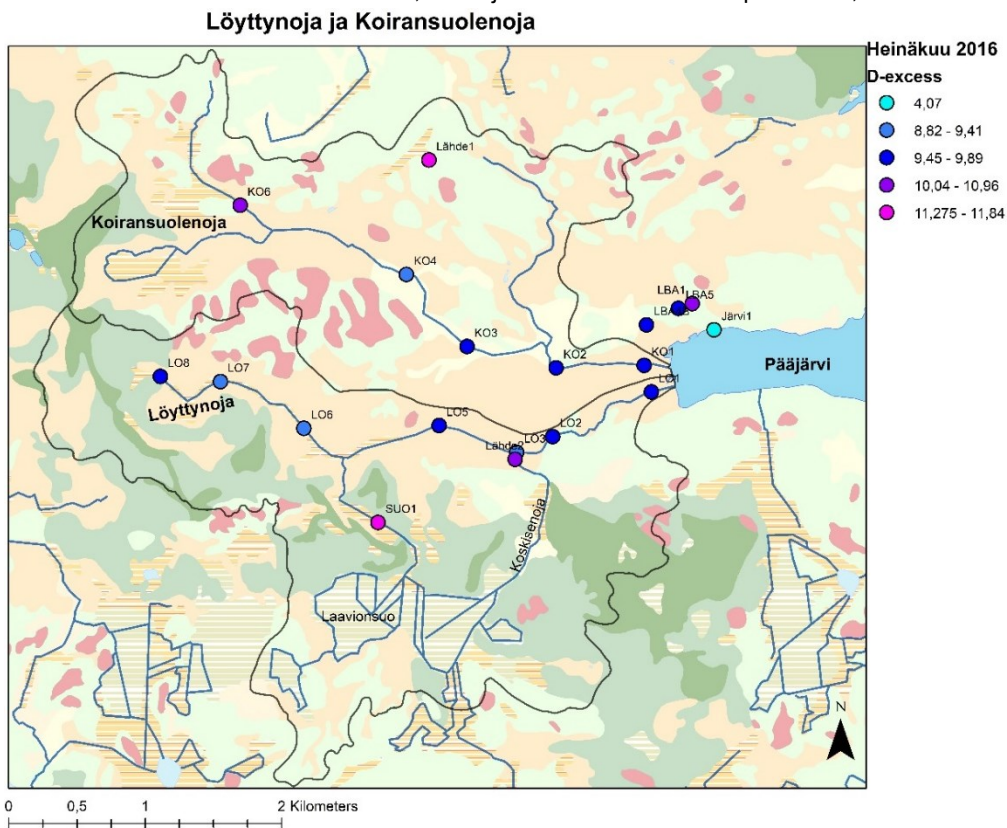
Kuva 33. δD arvot suhteessa $\delta^{18}O$ arvoihin. Löyttynojan, Koiransuolenojan, niihin liittyvien lähteiden sekä Laavionsuon ja Lammin biologisen aseman pohjaputkien isotooppitulokset.

Löyttynojan kesän arvot asettuvat suorien alapuolelle, kun taas talven arvot ovat pääasiassa suoran yläpuolella. Koiransuolenojan näytteissä havaintaan samaa suuntausta, mutta sekä talven että kesän näytteitä on sijoittunut molemmin puolin suoraa. Lähteiden talven arvot sijoittuvat juuri ja juuri suorien yläpuolelle, mutta kesän arvot ovat selkeästi suorien yläpuolella. Pohjavesiputkien sekä kesän että talven arvot sijoittuvat molemmin puolin suoraa.

D-excess arvot (Kuva 34, 35) ovat näytteillä yhtäläillä samankaltaiset kuin isotooppituloksetkin. Yksikään näytteistä ei ole saanut negatiivista tai lähellä nollaa olevaa arvoa. Maaliskuun D-excess arvot ovat hieman matalampia Löyttynojalla kuin Koiransuolenojalla. Heinäkuussa korkein D-excess arvo on Koiransuolenojan Lähde1 näytteellä (11,84) ja toiseksi korkein Löyttynojan Suo1 näytteellä (11,28).



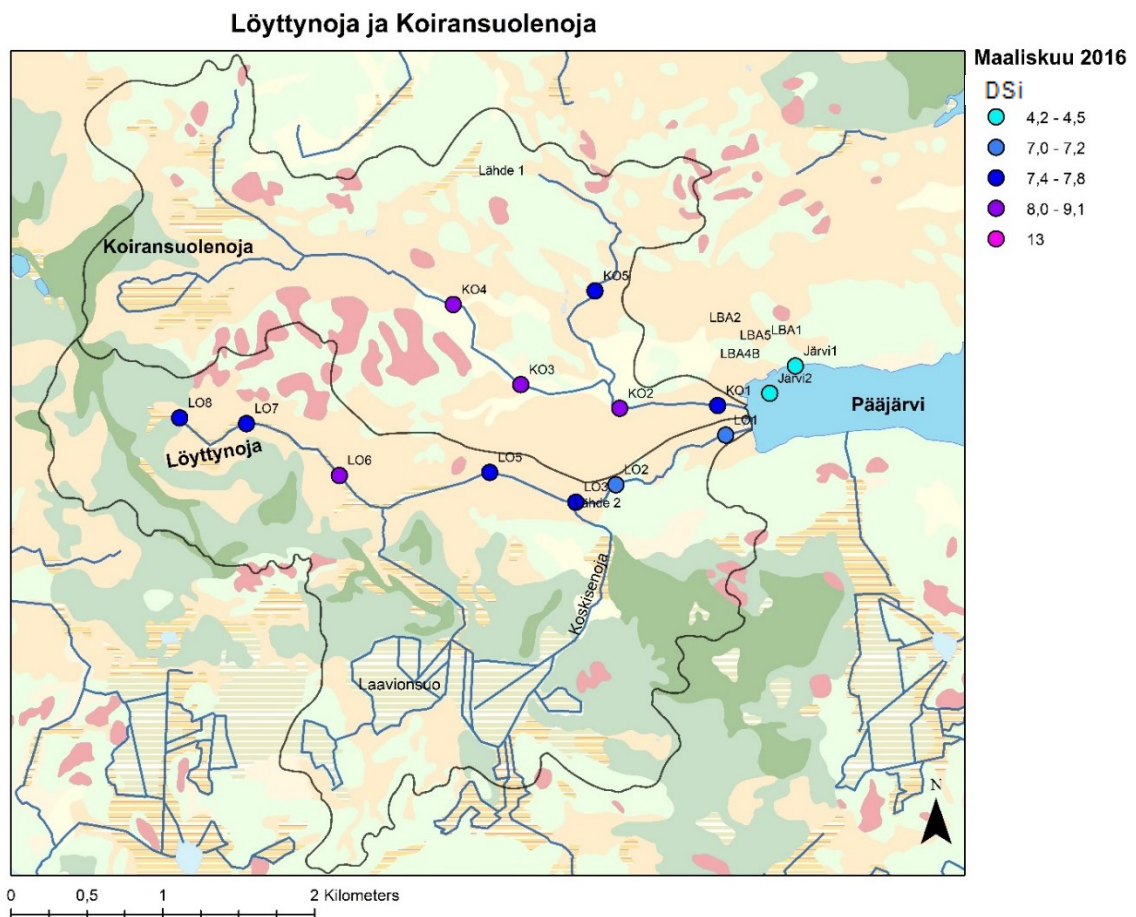
Kuva 34. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sekä Pääjärven D-excess arvot maaliskuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, omat SYKE ©



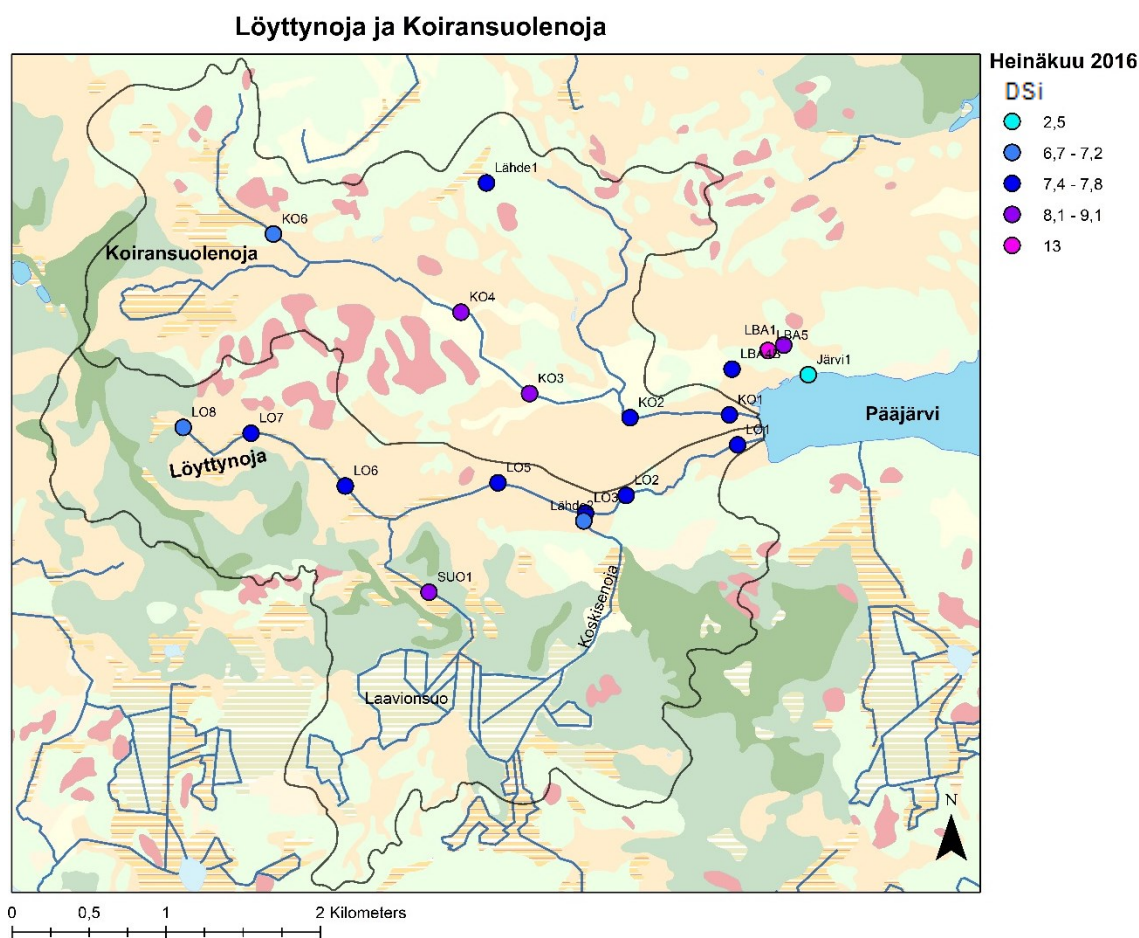
Kuva 35. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sekä Pääjärven D-excess arvot heinäkuussa 2016. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkartta, omat SYKE ©

4.5. Liuenut silikaatti

Maaliskuun (Kuva 36) ja heinäkuun (kuva 37) liuenneen silikaatinpitoisuudet ovat molemmissa puroissa hyvin samantapaisia. Pienimmät pitoisuudet löytyvät sekä maaliskuusta heinäkuussa Pääjärvestä. Suurin pitoisuus on Löyttynojan heinäkuussa otetun Suo1 näytteen arvo (9,05 mg/l). Maaliskuussa Koiransuolenojan pitoisuudet ovat joko samalla tasolla tai hieman korkeampia kuin Löyttynojan mutta heinäkuussa näytteen KO6 (6,66 mg/l) pitoisuus on puronäytteistä pienin ja Lähde1 (7,44 mg/l) näyte vastaa Löyttynojan yleistä tasoa.



Kuva 36. Maaliskuun 2016 liuenneen silikaatin (DSi (mg/l)) pitoisuudet Löyttynojoissa ja Koiransuolenojassa. Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©



Kuva 37. Heinäkuun 2016 liuenneen silikaatin (DSi (mg/l)) pitoisuudet Löyttynojassa ja Koiransuolenojassa Valuma-alueet Tikkanen et al. 1985 mukaisesti, maalajit GTK © 1:20 000 maaperäkarta, uomat SYKE ©

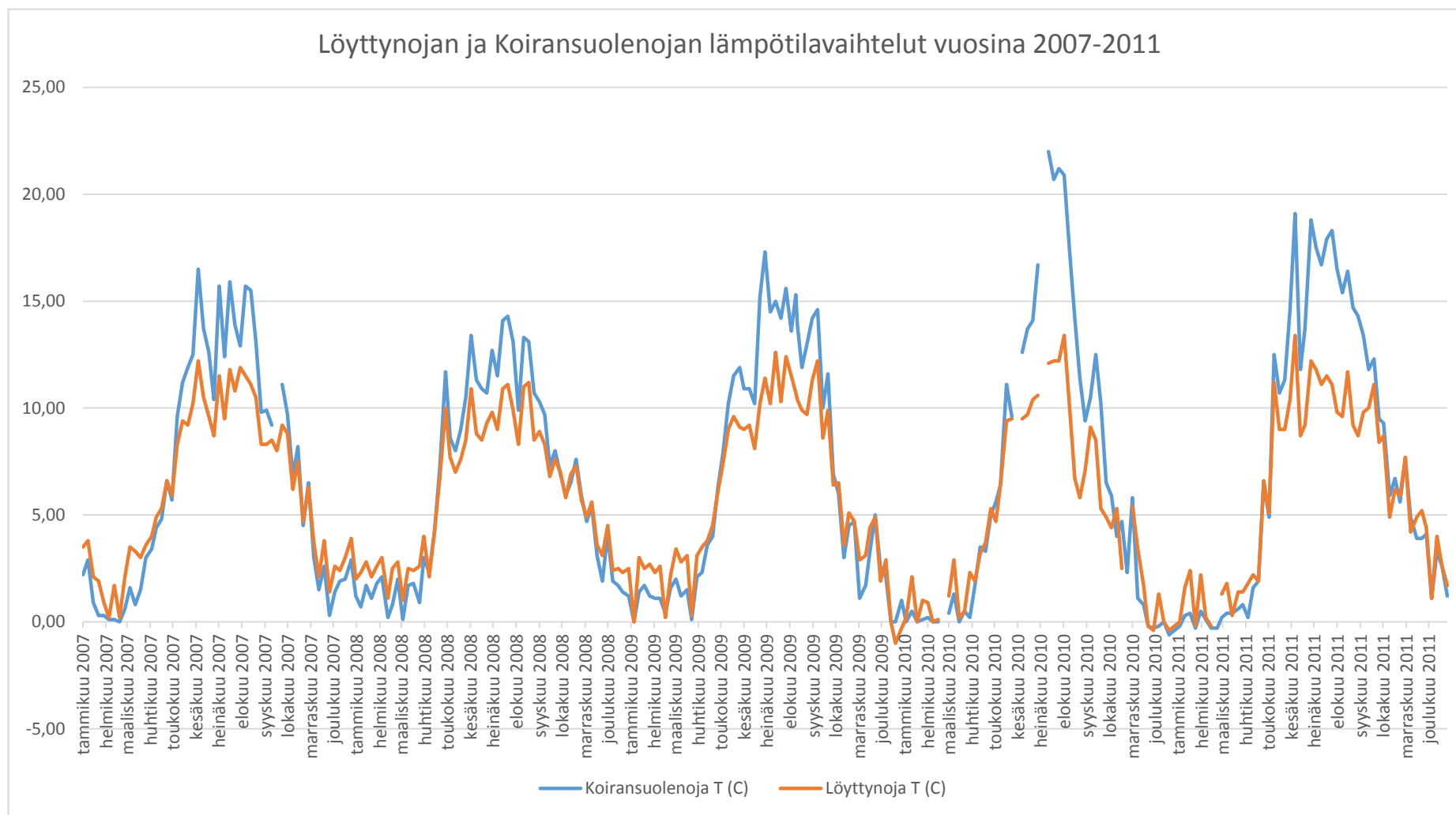
Suomessa pohjaveden liuenneen silikaatin pitoisuuksien keskiarvo on 6,5 mg/l matalissa kaivoissa (Lahermo et al. 2002), ja purojen kaikki näytteet ylittävät tämän tason.

Alueen pohjavesien keskiarvot vuosien 1969 – 2002 ajalta ovat 16,5 mg/l (PEHHE1) ja 12,7 mg/l (PEHTA1) (Backman 2004). Parhaiten tätä tasoa vastaa Lammin biologisen aseman pohjavesiputkesta otettu näyte LBA4B (13,0 mg/l), purojen DSi-pitoisuudet ovat pohjaveden tausta-arvoja alhaisempia.

4.6. Pitkäaikaistulokset

4.6.1. Lämpötila

Löyttynojan ja Koiransuolenojan lämpötilat (Kuva 38) vastaavat hyvin paikallisia lämpötilan vaihteluita (Liite 2). Purovesien lämpötilan muutos paikallisen lämpötilan mukaan voidaan havaita selkeästi molemmista puroista, mutta Löyttynojan veden lämpötila ei reagoi yhtä voimakkaasti lämpötilan vaihteluihin kuin Koiransuolenojan lämpötila. Tämän lisäksi Löyttynojan vedenlämpötila on kesäisin viileämpää ja talvisin lämpimämpää kuin Koiransuolenojan vedenlämpötila.

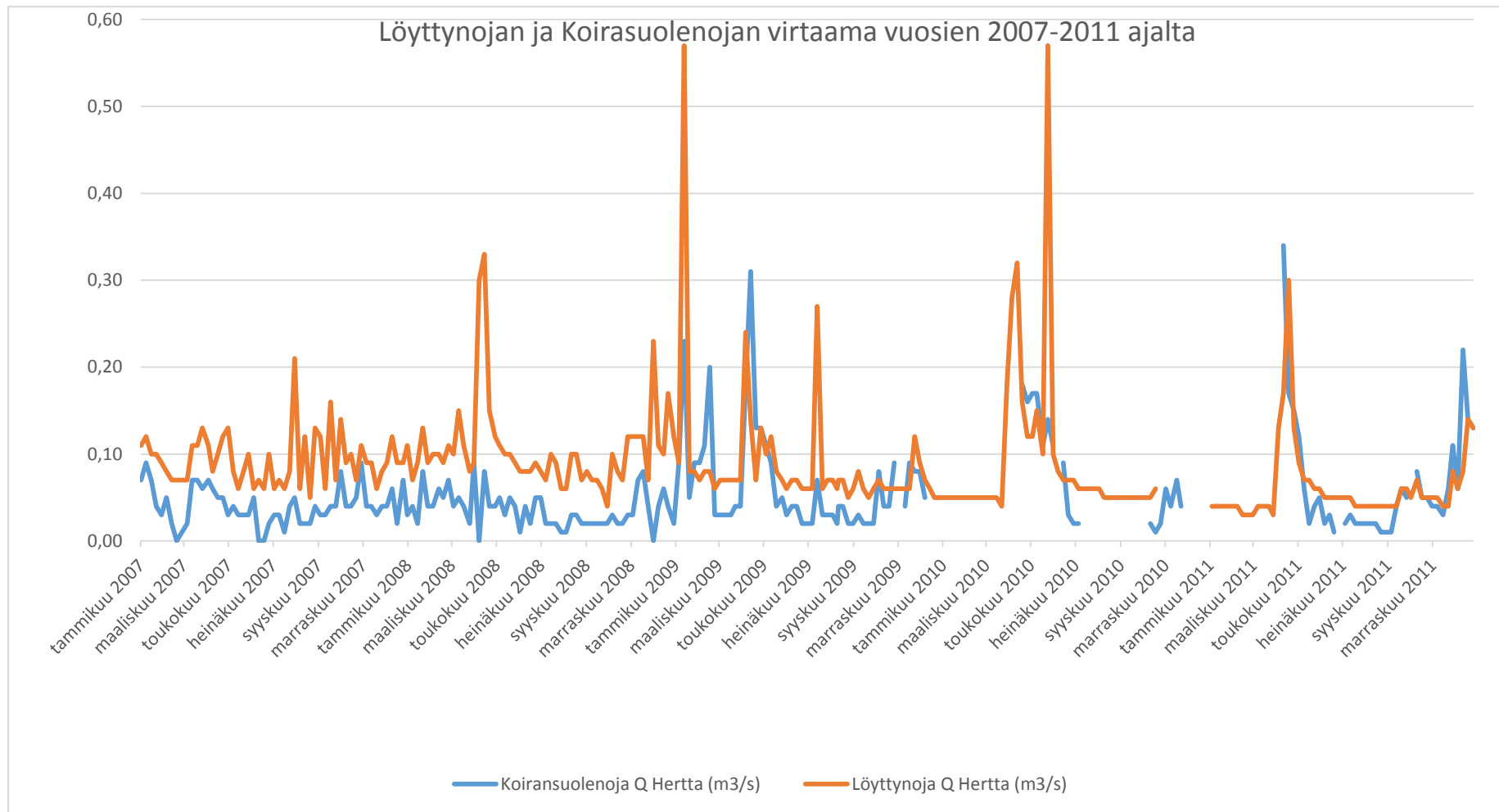


Kuva 38. Löyttynojan ja Koiransuolenojan puroveden lämpötilavaihtelut vuosina 2007–2011. Aineisto Lammin biologisen asema.

4.6.2. Virtaama

Löyttynojan ja Koiransuolenojan virtaamatiedot vuosilta 2007–2011 on esitetty kuvassa 39. Kuten jo Kuusisto (1973) havaitsi, Löyttynojassa on jatkuva virtaus läpi vuoden, toisin kuin Koiransuolenojassa, jossa virtaama vähenee talviaikaan. Virtaamien yleinen trendi noudattaa suurin piirtein samaa kaavaa molemmissa puroissa, mutta usein virtaaman kasvaessa Löyttynojan virtaama lisääntyy voimakkaammin kuin Koiransuolenojan virtaama.

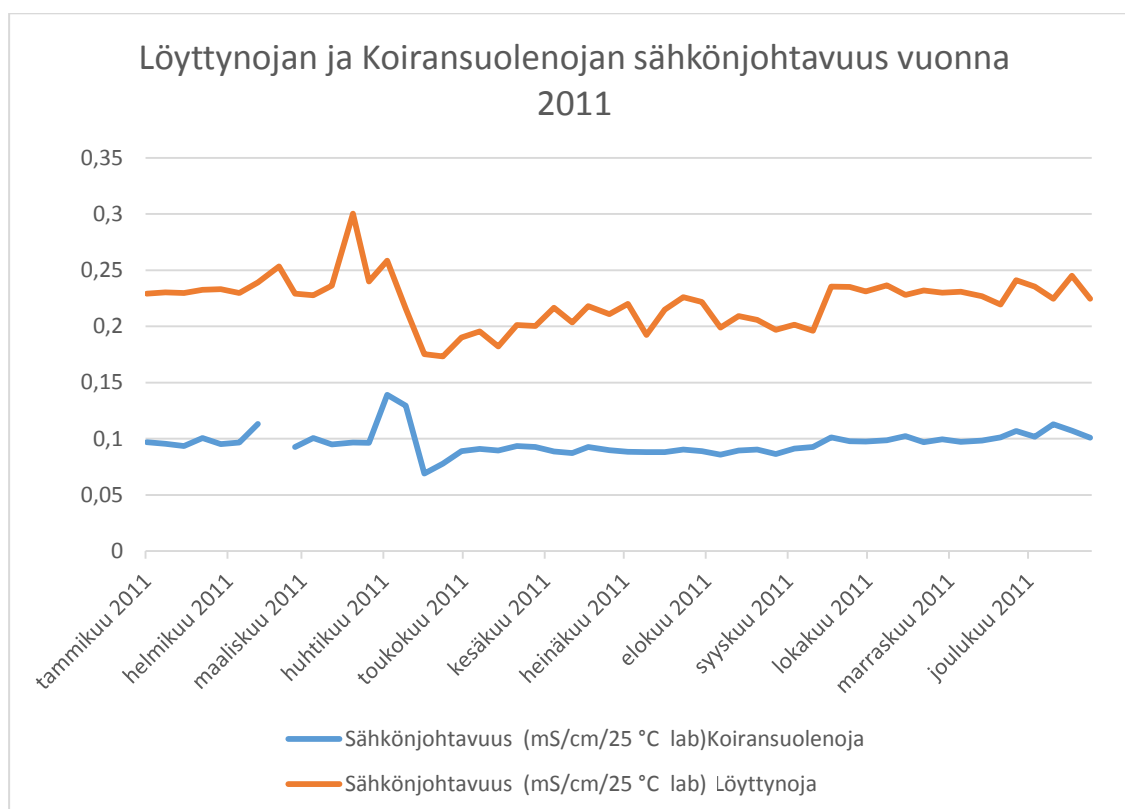
Virtaamat kasvavat aina keväisin, yleensä huhtikuussa, usein myös syksyisin lokamarraskuussa. Vuonna 2009 Koiransuolenojan virtaamassa on selkeä piikki helmimaaliskuun aikana, kun taas Löyttynojan virtaama säilyy tasaisena. Samaten huhtikuun virtaama on suurempi Koiransuolenojalla, vaikka myös Löyttynojan virtaama kasvaa silloin.



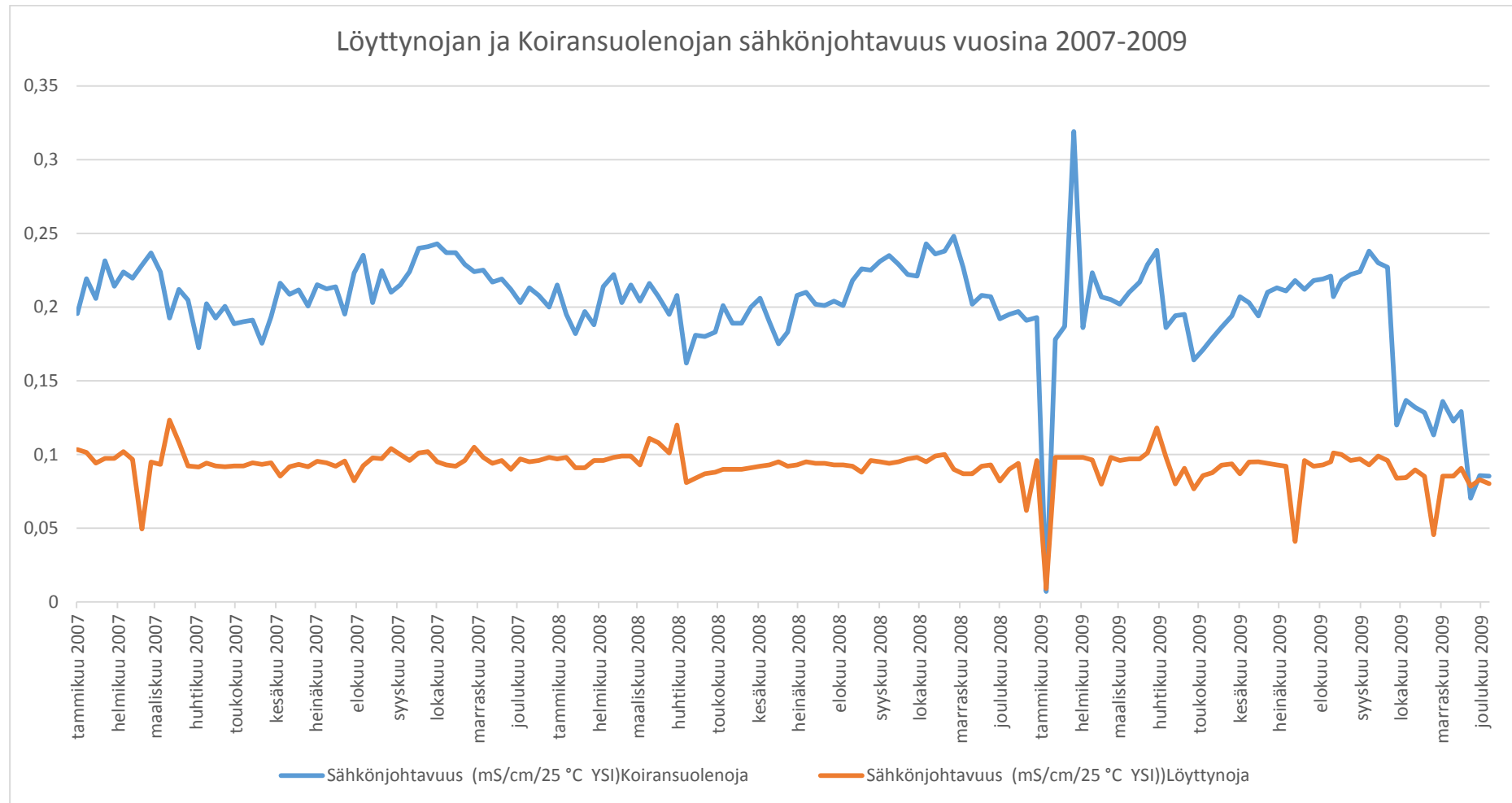
Kuva 39. Löyttynojan ja Koiransuolenojan virtaaman m³/s vuosina 2007–2011. Aineisto Lammin biologisen asema.

4.6.3. Sähkönjohtavuus

Sähkönjohtavuudesta on saatavilla kenttämittarilla mitattuja arvoja vuosilta 2007–2009 (Kuva 41) ja laboratoriossa mitattuja arvoja vuodelta 2011 (Kuva 40). Koiransuolenojan sähkönjohtavuuden keskiarvo vuosilta 2007–2009 ja 2011 on 0,20 mS/cm ja Löyttynojoalle vastaava arvo on 0,09 mS/cm.



Kuva 40. Löyttynojojan ja Koiransuolenojan sähköjohtavuus laboratoriossa mitattuna vuonna 2011. Aineisto Lammin biologisen asema.



Kuva 41. Löyttynojan ja Koiransuolenojen sähkönjohtavuus YSI mittarilla mitattuna 2007–2009. Aineisto Lammin biologisen asema.

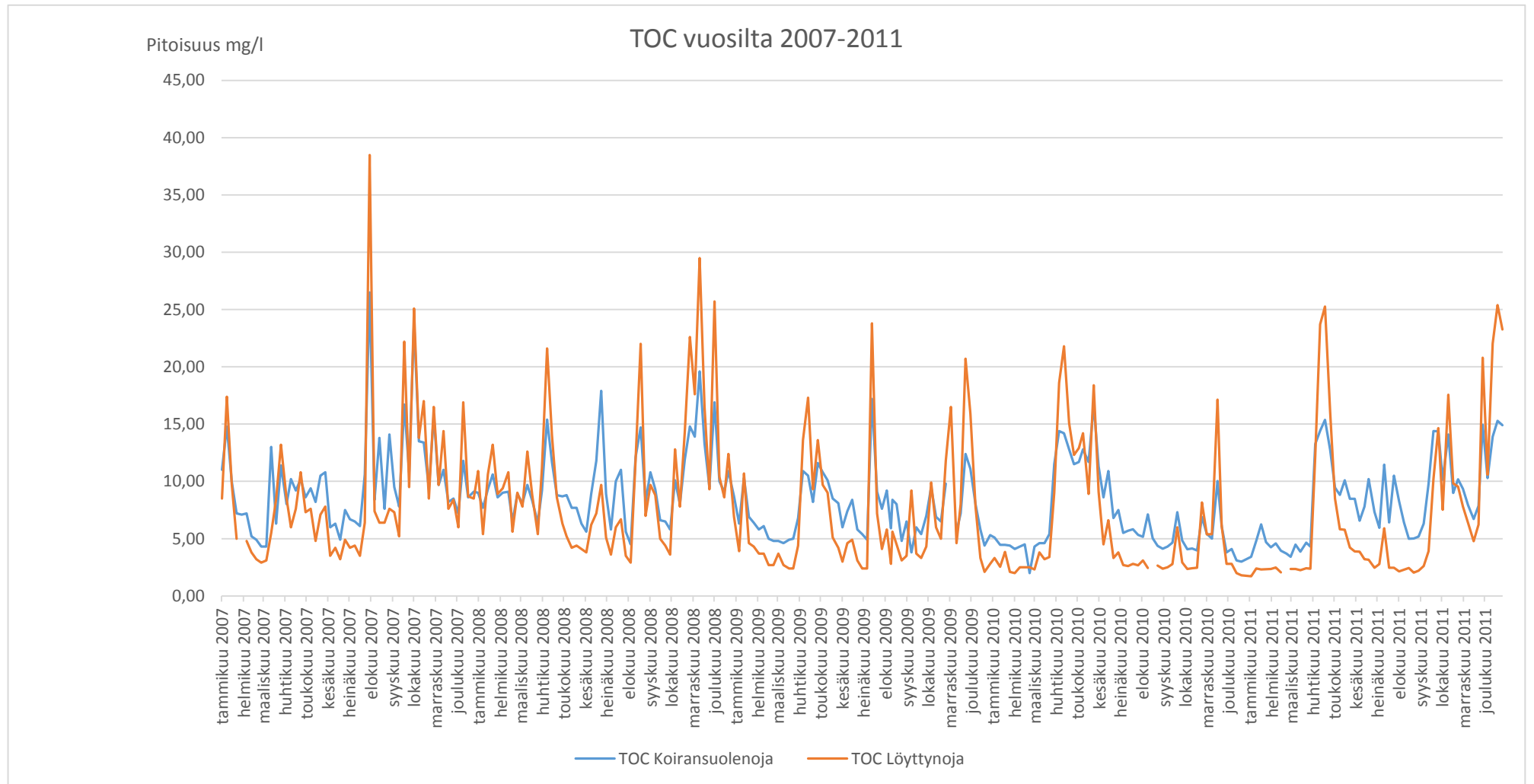
4.6.4. TOC

TOC (total organic carbon) eli orgaaninen kokonaishiili päätyy puroveteen biologisten aineiden maatumisen, sekä ravinteiden kierron ja rapautumisen seurauksena (Kullberg et al. 1993). Suurin osa TOC:stä tulee puroveteen pintavalunnan mukana ja TOC:n määrä kasvaa virtaaman kasvaessa (Kullberg et al. 1993). Tämä perustuu siihen, että maaperässä tapahtuu pidättämisreaktiota, joissa orgaanista hiiltä sitoutuu kivennäismaakerrokseen (Deb ja Shukla 2011), erityisesti saves-fraktio pidättää orgaanista ainesta (Kaiser et al. 1996, Bolan et al. 2011). Korkean virtaaman jatkuessa useiden viikkojen ajan, köyhtyvät pintamaan TOC-lähteet ja valuman TOC-pitoisuus laskee (Kullberg et al. 1993, Mulholland 2003).

Löyttynojan ja Koiransuolenojan TOC-pitoisuudet (Kuva 42) ovat hyvin samantapaiset. Löyttynojan keskimääräinen TOC-pitoisuus on Koiransuolenojaa pienempi (Taulukko 2), mutta TOC pitoisuuden kasvaessa molemmissa puroissa, Löyttynojan TOC-pitoisuus nousee enemmän kuin Koiransuolenojan.

Taulukko 2. Löyttynojan ja Koiransuolenojan TOC-pitoisuuksien keskiarvot

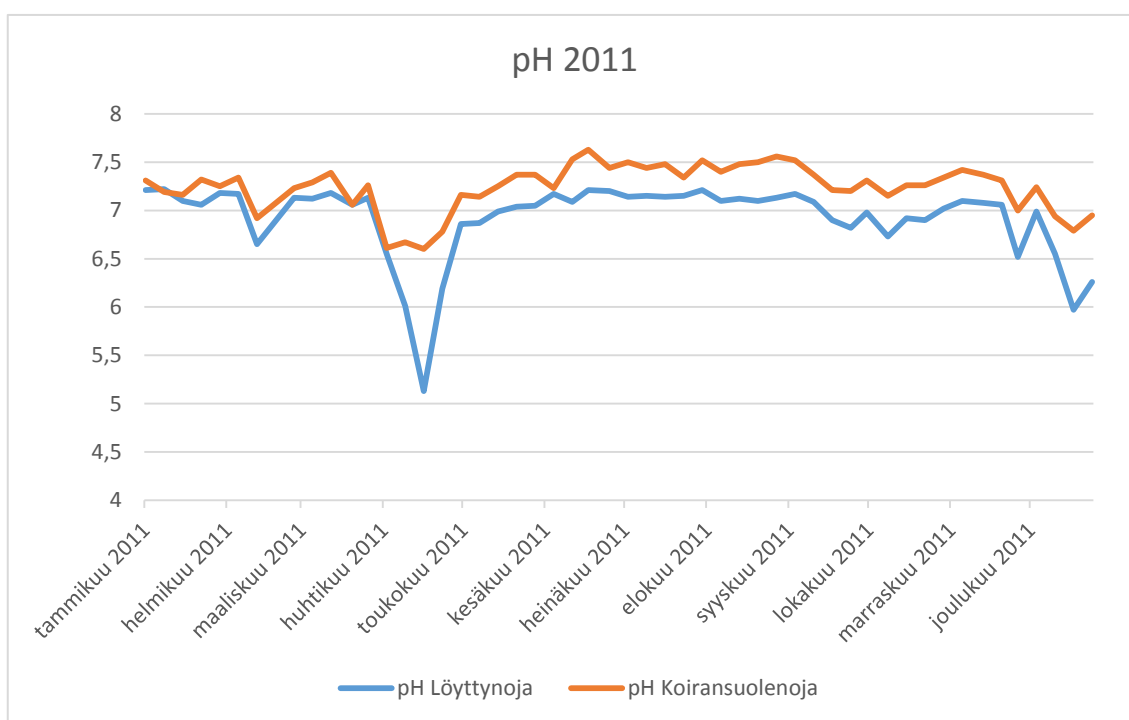
Vuosi	Löyttynoja TOC (mg/l)	Koiransuolenoja TOC (mg/l)
2007	9,00	9,90
2008	9,80	9,74
2009	6,59	7,42
2010	5,74	6,74
2011	7,32	8,61



Kuva 42. TOC-pitoisuudet vuosina 2007–2011. Aineisto Lammin biologisen asema.

4.6.5. pH

Löyttynojan ja Koiransuolenojan vuoden 2011 pH tulokset ovat kuvassa 43. Löyttynojan pH on koko vuoden ajalta matalampi kuin Koiransuolenojan, mutta molemmissa yleinen suuntaus on samanlainen.

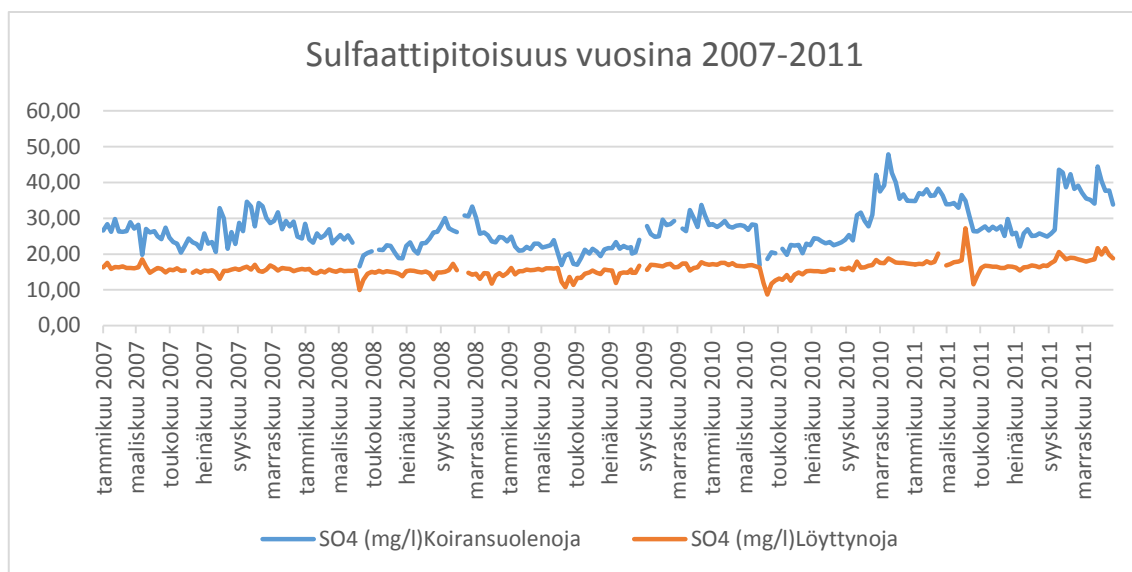


Kuva 43. Löyttynojan ja Koiransuolenojan pH vuonna 2011. Aineisto Lammin biologisen asema.

Koko vuoden 2011 pH:n keskiarvo Löyttynojalle on 6,92 ja 7,24 Koiransuolenojalle.

4.6.6. Pääionit ja hivenaineet

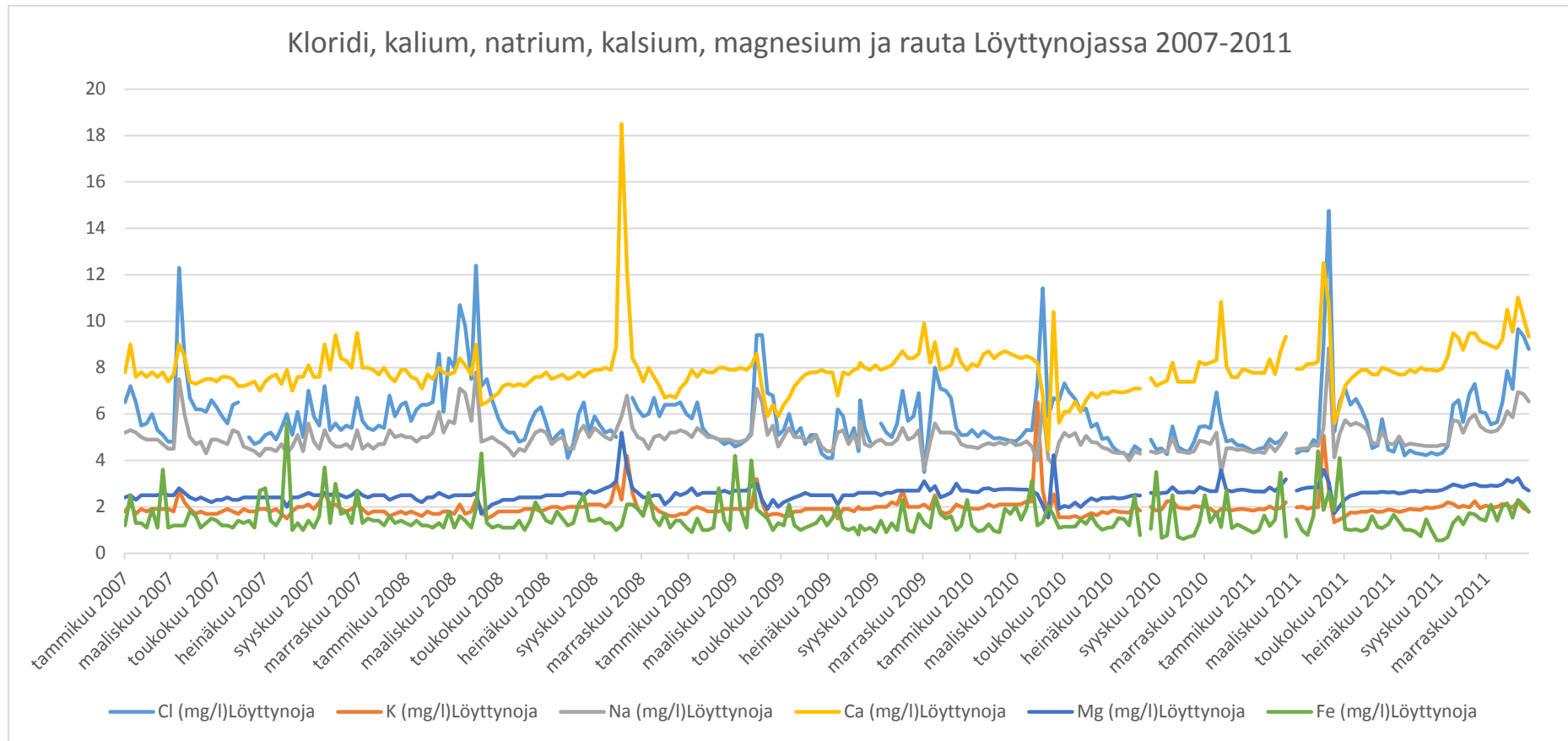
Löyttynojan ja Koiransuolenojan sulfaattipitoisuudet vuosilta 2007-2011 esitetään kuvassa 44. Koiransuolenojan SO_4 -pitoisuudet ovat kautta linjan korkeammat kuin Löyttynojan. Löyttynojan pitoisuudet seuraavat jonkin verran Koiransuolenojan pitoisuudet muutoksia kuten pitoisuudet piikkejä, mutta eivät aina, eivätkä aina yhtä voimakkaasti.



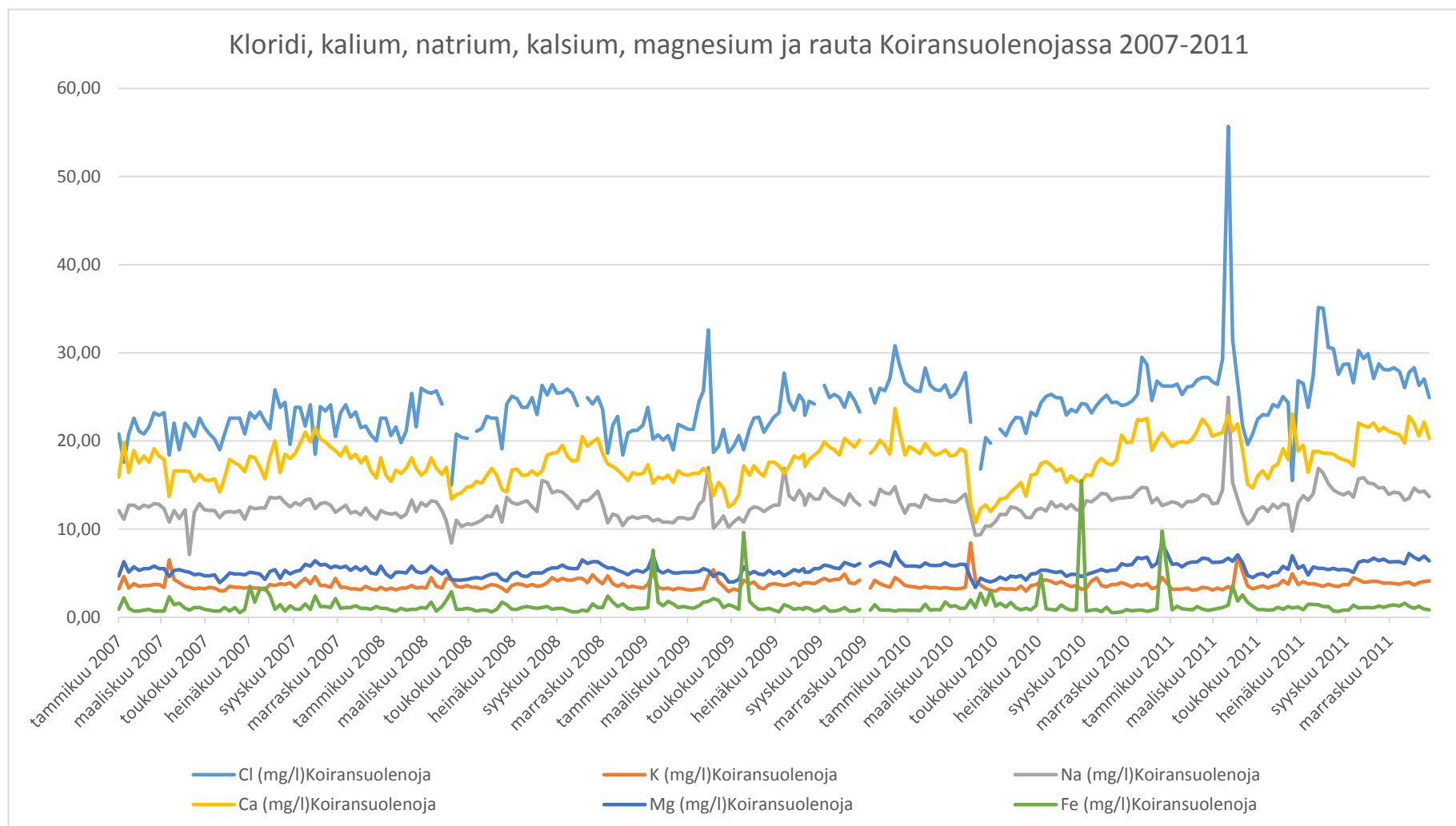
Kuva 44. Löyttynojan ja Koiransuolenojan sulfaattipitoisuudet vuosina 2007- 2011. Aineisto Lammin biologisen asema.

Löyttynojan ja Koiransuolenojan kloridi, kalium, natrium, kalsium, magnesium ja rauta pitoisuudet vuosilta 2007–2011 esitetään kuvissa 45 ja 46. Alkuaineiden pitoisuuksien vaihteluissa voidaan havaita paljon yhtenäisyyksiä, erityisesti vuonna 2008. Molemmissa puroissa natrium ja kloridi noudattavat samaa yleistä trendiä, samaten kalium, kalsium ja magnesium noudattavat keskenään yhtenäistä trendiä. Raudan pitoisuusvaihtelut yhdistyvät osittain K, Ca ja Mg vaihteluihin, mutta rautapitoisuus voi kasvaa silloinkin, kun muiden aineiden pitoisuudet eivät kohoa.

Purojen alkuaineiden pitoisuuksissa havaitaan selkeitä vuodenaikaisia piikkejä, jotka ovat erityisen selkeitä Löyttynojan pitoisuuksissa. Pitoisuudet kasvavat keväisin, todennäköisesti alivirtaaman aikaan, ennen lumen sulamista. Koiransuolenojassa tämä voidaan havaita selkeästi esimerkiksi huhtikuussa 2009 ja maaliskuussa 2011



Kuva 45. Löyttynojan kloridi-, kalium-, natrium-, magnesium- ja rautapitoisuudet vuosina 2007–2011. Aineisto Lammin biologinen asema.



Kuva 46. Koiransuolenojan kloridi-, kalium-, natrium-, magnesium- ja rautapitoisuudet vuosina 2007–2011. Aineisto Lammin biologisen asema.

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1. Pitkäaikaistulosten ja vuoden 2016 tulosten vertailu

Maalis- ja heinäkuussa 2016 saaduista tutkimustuloksista saadaan ajan suhteen hyvin pistemäistä tietoa, mutta niiden avulla voidaan tarkastella purojen ominaisuuksia niiden koko pituudelta. Pitkäaikaistulokset edustavat sen sijaan purojen alajuoksulta, yhdestä pisteestä mitattuja ominaisuuksia, mutta niiden avulla voidaan tarkkailla purojen vedenlaadun ajallista vaihtelua.

Seuraavissa kappaleissa vertaillaan pitkäaikaisaineistoa sekä vuonna 2016 mittaustuloksia sekä korostetaan näytepisteitä, joiden ominaisuudet poikkeavat purojen yleisestä tasosta.

5.1.1. Pääionit

Löyttynojan maaliskuun ja heinäkuun 2016 mitatut pääionitasot vastaavat pitkäaikaisaineiston yleistä tasoa. Löyttynojan valuma-alueelta otetut Suo1 ja Lähde2 pitoisuudet edustavat alimpia arvoja, joita alueelta mitattiin ja ne ovat alhaiset verrattuna pitkäaikaisaineiston pitoisuuksiin.

Koiransuolenojan magnesium- ja kaliumpitoisuudet vastaavat pitkäaikaisaineiston tasoa kun taas kloridin- ja natriuminpitoisuudet vastaavat korkeimpia mitattuja arvoja, joita pitkäaikaisaineistossa havaitaan. Sulfaattipitoisuudet maaliskuussa ja heinäkuussa 2016 ovat alhaisia verrattuina vuosien 2010 ja 2011 tasoihin mutta vastaavat edellisten vuosien keskiarvoja. Koiransuolenojan natrium-, kloridi- ja sulfaattipitoisuuksissa KO5 näytteen pitoisuudet ovat muita alempia kun taas KO6 näytteen pitoisuudet ovat koholla verrattuna pitkäaikaisaineiston pitoisuuksiin.

5.1.2. Lämpötila, sähkönjohtavuus ja pH

Löyttynojan maaliskuussa 2016 alajuoksulta mitatut lämpötilat vastaavat pitkäaikaisaineistossa esitettyjä lämpötiloja, mutta yläjuoksun (mm. Löyttynlähde)

lämpötilat ovat 2-3 °C korkeampia. Sama toistuu heinäkuun 2016 mittauksissa päin vastaisena: alajuoksun lämpötilat vastaavat pitkäaikaistuloksia, mutta yläjuoksun lämpötilat ovat n. 2-3 °C matalampia. Tämä hyvin ymmärrettävää, sillä mittauspiste sijaitsee Löyttynojan alajuoksulla. Puro saa alkunsa lähteestä, joten yläjuoksun talvella mitatut lämpötilat ovat alajuoksun lämpötiloja korkeampia ja kesällä matalampia.

Koiransuolenojan heinäkuussa 2016 mitatut vedenlämpötilat ovat hiukan korkeampia kuin mitä vuosina 2007, 2008, 2009 mitatut lämpötilat mutta vuosien 2010 ja 2011 tulokset ovat samankaltaisia. Maaliskuussa 2016 mitatut vastaavat pitkäaikaisaineistossa esitettyjä lämpötiloja.

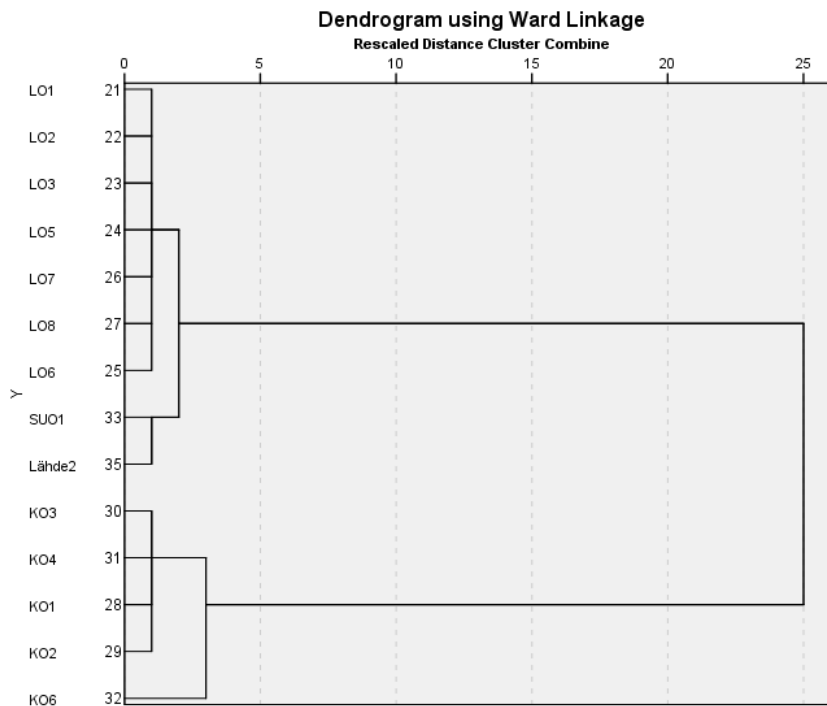
Molempien purojen maaliskuu- ja heinäkuun 2016 sähkönjohtavuus vastaa pitkäaikaistulosten tasoa. Löyttynojassa heinäkuun näytepisteiden Lähde2 ja LO2 sähkönjohtavuus on hieman matalampi kuin mitä pitkäaikaistulosten sähkönjohtavuudet yleensä ovat heinäkuussa. Erot eivät kuitenkaan ole suuria, yleinen taso heinäkuussa on ollut n. 0,09-0,1 mS/cm ja Lähde2 sähkönjohtavuus on 0,05 mS/cm ja LO2 0,06 mS/cm.

Koiransuolenojan maaliskuun näytepisteet Lähde1 ja KO5 edustavat matalia arvoja purossa (0,15–0,17 mS/cm) suhteessa pitkäaikaistuloksiin, missä maaliskuun yleinen taso on 0,2 mS/cm. Heinäkuussa näytepistettä KO5 ei ole mitattu. Lähde1 sähkönjohtavuus on maaliskuutakin matalampi (0,13 mS/cm). Pitkäaikaisaineiston yleistä tasoa korkeampi sähkönjohtavuus mitattiin KO6 näytepisteeltä Koiransuolenojan yläjuoksulta, jossa sähkönjohtavuus oli 0,29 mS/cm.

Molempien purojen pH vastaa pitkäaikaistulosten tasoa. Tietoa purojen pH:sta on pitkäaikaistuloksissa ainoastaan vuoden 2011 ajalta, joten otos ei ole yhtä kattava kuin muiden kemiallisten ominaisuuksien osalta.

5.2. Löyttynojan ja Koiransuolenojan tulosten vertailu

Löyttynojasta ja Koiransuolenojasta saadut tulokset poikkeavat selkeästi toisistaan. Puroista otettiin yhteensä 29 näytettä, joiden tuloksia tarkasteltiin Mann-Whitney U testillä. Testin perusteella havaittiin, että tilastollisesti merkittävää eroa on purojen pää-ionipitoisuuksilla, sähkönjohtavuudella sekä puroveden ja sedimentin lämpötiloissa. Sen sijaan hapen ja vedyn stabiileissa isotoopeissa, D-excess arvoissa, liuenneen silikaatin pitoisuuksissa ja pH:ssa ei ollut merkitseviä eroja. Tulosten tarkastelua jatkettiin hierarkkisella klusteri analyysillä, josta havaitaan purojen erottuvan täysin omiksi ryhmikseen (Kuva 47.).



Kuva 47. Hierarkkisen klusterin tulos esitettynä dendrogrammina, jossa Löyttynoja ja Koiransuolenoja asettuvat omiksi ryhmikseen. Dendrogrammi on muodostettu käyttämällä Wardin metodia ja etäisyytenä on käytetty Euclidian distancea.

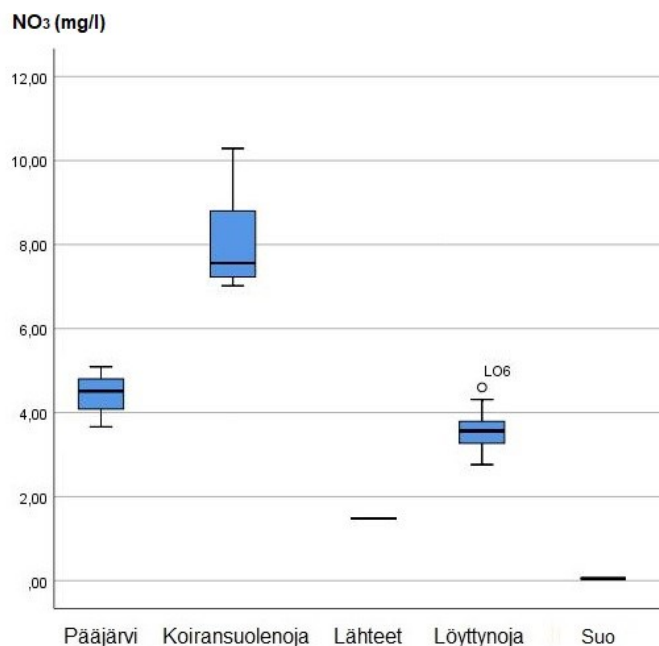
Löyttynojan päähaaran näytteet muodostavat oman ryhmänsä, josta erottuvat Suo1 ja Lähde2 näytteet omaksi yksikökseen. Koiransuolenojan näytteistä KO6 korostuu omaksi yksikökseen.

5.2.1. Pääionit

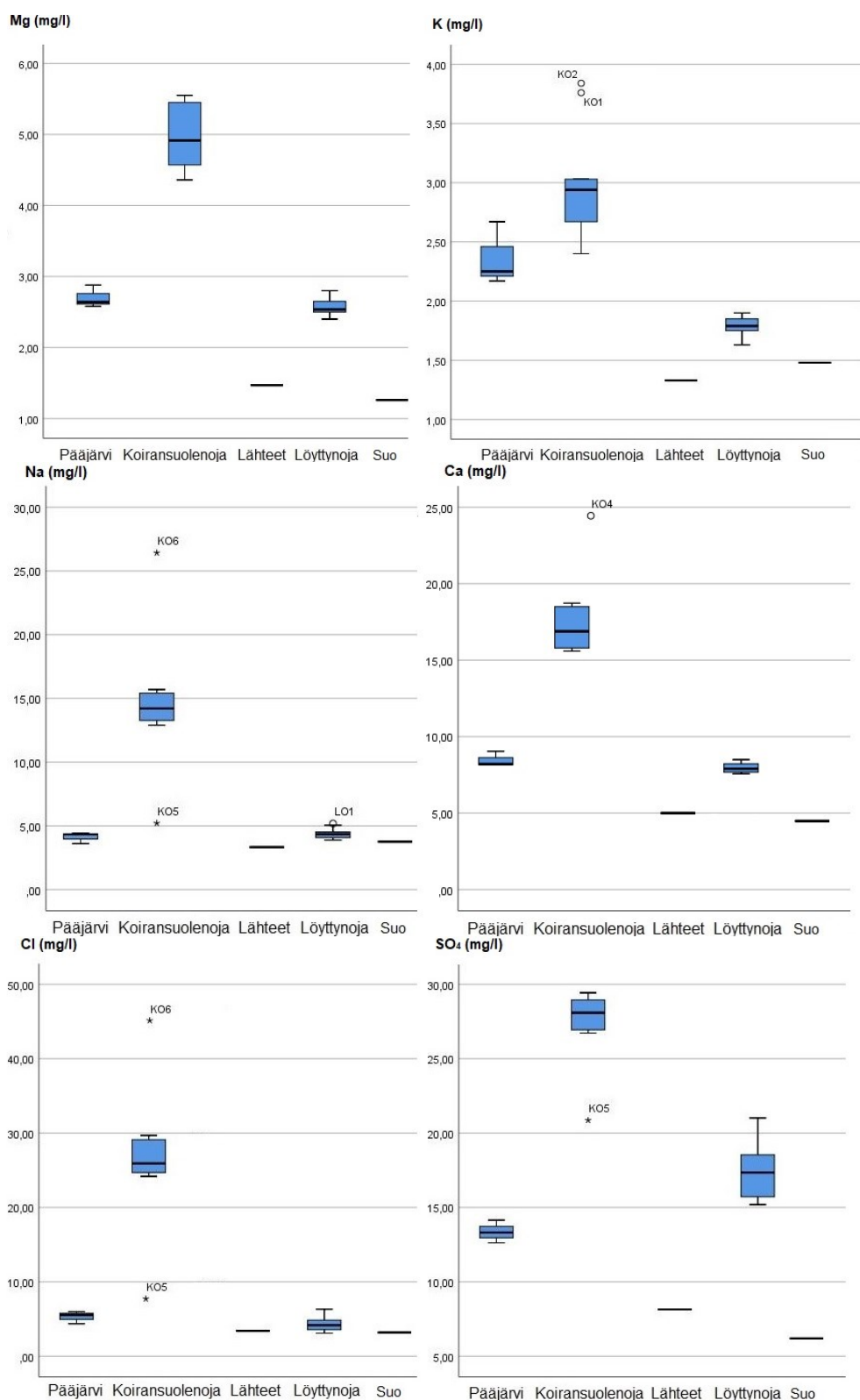
Koiransuolenojan pääionipitoisuudet ovat lähes aina kaksinkertaisia Löyttynojan pitoisuuksiin verrattuna (Kuvat 48, 49). Erityisesti natrium- ja kloridipitoisuudet ovat Koiransuolenojassa korkeita verrattuna Löyttynojan pitoisuuksiin. Pääjärven pitoisuudet ovat usein hyvin lähellä Löyttynojan pitoisuuksia, poikkeuksina kaliumpitoisuudet, jotka ovat lähes yhtä korkeat kuin Koiransuolenojan pitoisuudet sekä sulfaattipitoisuudet, jotka ovat pienempiä kuin kummankaan puron pitoisuudet.

Alimmat pääionipitoisuudet mitattiin molempien purojen yhteydessä olevista lähteistä sekä Löyttynojan valuma-alueelta otetusta näytteestä Suo1. Löyttynojan puron sisäiset pääionipitoisuudet eivät vaihtele suuresti, suurimmat erot ovat Lähde2 ja Suo1 näytteiden sekä Löyttynojan varsinaisesta pääuomasta otettujen näytteiden LO1-LO8 välillä.

Koiransuolenojan pääionipitoisuuksissa on enemmän vaihtelua kuin Löyttynojan pitoisuuksissa. Erityisesti näytteet KO5 ja KO6 erottuvat muista, KO5 alhaisilla Na-, Cl-, ja SO₄-pitoisuuksilla ja KO6 korkeilla Na- ja Cl-pitoisuuksilla. Lisäksi näytteiden KO1 ja KO2 K-pitoisuus ja näytteen KO4 Ca-pitoisuus ovat muita näytteitä korkeampia.



Kuva 48. Pääjärven, Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan ja suon heinäkuun ja maaliskuun 2016 nitraattipitoisuudet esitettynä box-plot kuvaajana.



Kuva 49. Päijärven, Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan ja suon heinäkuun ja maaliskuun 2016 magnesium-, kalium-, natrium-, kalsium-, kloridi-, ja sulfaattipitoisuudet box-plot kuvaajina.

Löyttynojan pääionien pitkäaikaistuloksista voidaan havaita pitoisuuksien kasvavan keväisin, vuodesta riippuen helmi- huhtikuu välisellä ajalla. Tämä voi edustaa pohjavalunnan pitoisuuksia ennen lumien sulamista, sillä liuenneiden epäorgaanisten aineiden pitoisuus usein suurin ennen lumien sulamista (Lahermo et al. 1996). Koiransuolenojassa havaitaan samaa suuntausta, mutta se ei ole yhtä selkeää.

Kuten kappaleissa 4.2.1 – 4.2.8 käsiteltiin, Löyttynojan pääionipitoisuudet vastaavat Hämeen alueen puroveden taustapitoisuuksia, mutta Koiransuolenojan natriumin-, kaliumin-, kalsiumin-, kloridin-, nitraatin- ja sulfaatinpitoisuudet ylittävät tausta-arvojen pitoisuudet.

Koiransuolenojan korkeita natrium- ja kloridipitoisuuksia voidaan mahdollisesti selittää hienojakoisten maakerrosten huokosvesissä olevilla relikteisillä suoloilla (Lahermo et al. 1996). Kalsiumpitoisuuksia nostaa Lammin lössin melko runsaat kalsiumpitoisuudet (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984)

Kaliumin ja nitraatin pitoisuuksiin vaikuttaa maatalouden päästöt, sillä molempia puroja ympäröivät pellot ja alimmat pitoisuudet tavataankin Löyttynojan valuma-alueen lähteistä ja suosta, jotka sijaitsevat alueilla joissa on vähän tai ei ollenkaan maataloutta. Maaperän laadulla on myös paljon merkitystä kaliumpitoisuuksissa, sillä erityisesti Koiransuolenojan valuma-alueella on paljon hienojakoisia sedimenttejä, joissa esiintyy kaliumia (Lahermo et al. 1996).

Koiransuolenojan korkeat sulfaattipitoisuudet selittyvät moreenin määrällä Koiransuolenojan valuma-alueella (30 % maalajeista), sillä sulfaattipitoisuudet heijastelevat paikallisen moreenin pitoisuuksia (Lahermo et al. 1996).

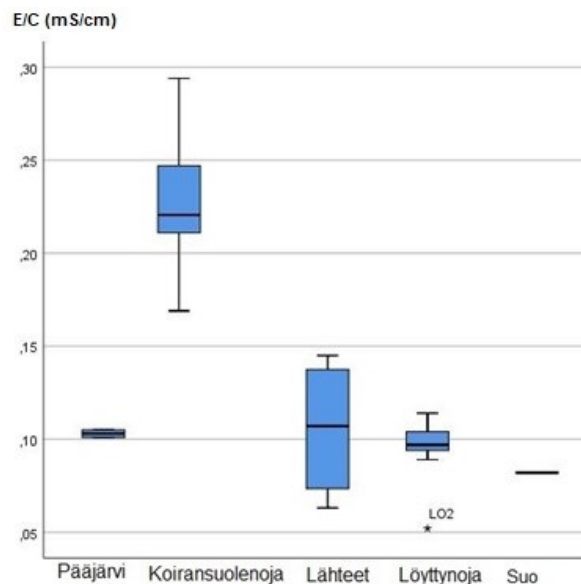
Löyttynojan ja Koiransuolenojan pitoisuuksien eroavaisuuksia voidaan selittää valuma-alueiden erilaisilla maalajeilla. Koiransuolenojan valuma-alueella yli puolet maalajeista ovat hiesua ja hietaa ja 30 % maalajeista hiekkamoreenia. Löyttynojan maalajeista noin

30 % on hiesua ja hietaa, melkein 40% soraa ja hiekkaa sekä n. 14% hiekkamoreenia (Taulukko1)

Löyttynojan vesikemialla on paljon yhteistä alueen pohjaveden kanssa Na-, K-, Mg-, Cl- ja SO₄- pitoisuudet vastaavat Backmanin (2004) havaitsemia vuosien 1969-2002 alueen pohjaveden keskiarvoja. Sen sijaan Ca-, NO₃- ja alkaliteettipitoisuudet ovat alhaisempia kuin pohjaveden pitoisuudet. Koiransuolenojassa sen sijaan Ca-, NO₃- ja alkaliteettipitoisuudet vastaavat tai ovat hyvin lähellä alueen pohjavettä, kun taas muut pääionipitoisuudet ylittävät pohjaveden taustapitoisuudet.

5.2.2. Sähkönjohtavuus

Sähkönjohtavuudessa on selkeitä vuodenaikaisia vaihteluita. Sähkönjohtavuus arvot kohoavat aina maaliskuussa sekä syksyisin syys-lokakuussa. Koiransuolenojan sähkönjohtavuudet ovat Löyttynojaa korkeampia (Kuva 50.) ja puron sähkönjohtavuuden vaihteluvälit ovat voimakkaammat.



Kuva 50. Pääjärven, Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan ja suon heinäkuun ja maaliskuun 2016 sähkönjohtavuus esitettyinä box-plot kuvaajana.

Kuten kappaleessa 4.3.2 käsiteltiin, Löyttynojan sähkönjohtavuus arvot vastaavat Hämeen alueen puroveden tausta-arvoja, mutta Koiransuolenojan sähkönjohtavuus

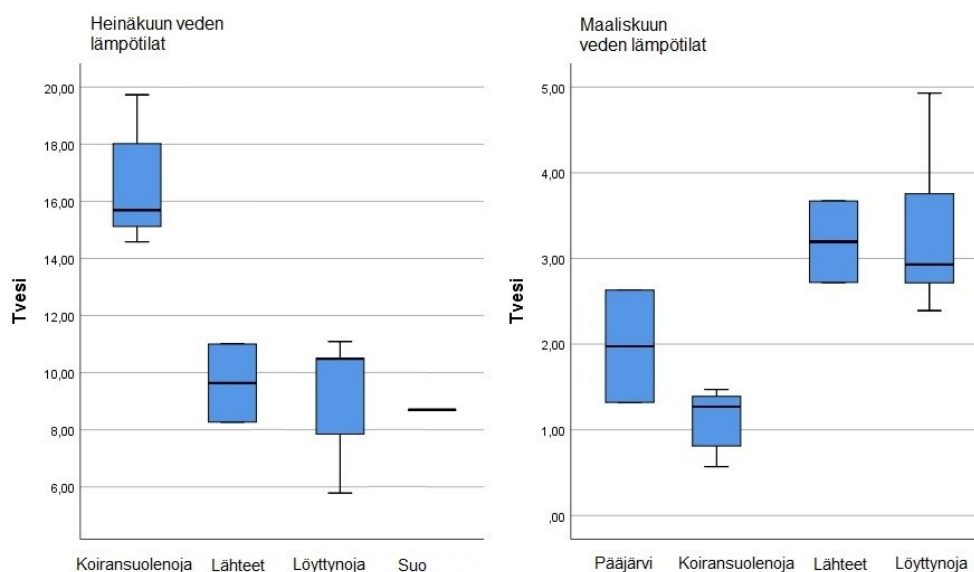
ylittää paikalliset arvot ja ovat suhteessa koko Suomen purovesien tyypillisen sähkönjohtavuuden ylärajoilla.

Koiransuolenojan korkeampia sähkönjohtavuus arvoja voi selittää valuma-alueen suurempi peltojen osuus verrattuna Löyttynojaan, sillä Lahermo et al. (1996) mukaan sähkönjohtavuus lisääntyy peltoalan suhteellisen osuuden lisääntyessä. Sähkönjohtavuutta kasvattaa myös se, että Koiransuolenojan valuma-alueen maalajeista melkein 50% on hietaa ja hiesua kun Löyttynojan vastaava osuus on noin 30 % (Taulukko 1).

Huomioitavaa on myös, että paikallisen pohjaveden sähkönjohtavuus on 0,147 – 0,153 mS/m (Backman 2004), jolloin Löyttynojan sähkönjohtavuus jää alle pohjaveden arvojen, mutta pohjaveden vaikutus voi olla yksi syy Koiransuolenojan korkeisiin sähkönjohtavuus-arvoihin.

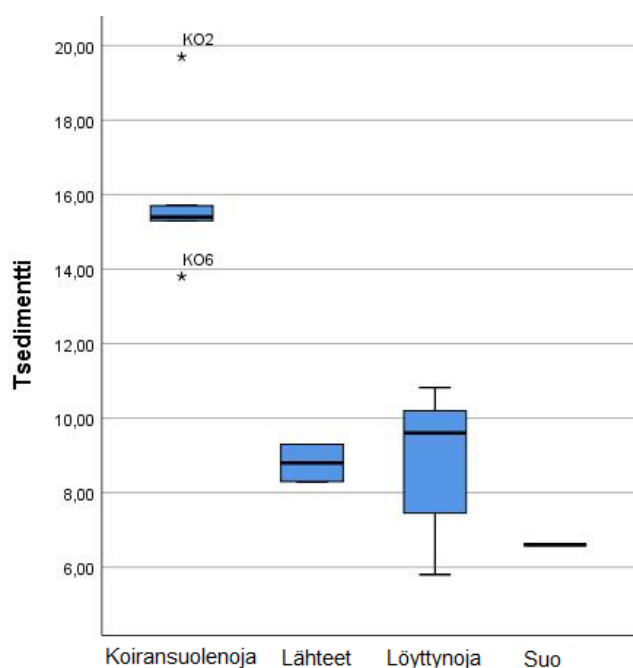
5.2.3. Lämpötila

Löyttynojan ja Koiransuolenojan purojen veden lämpötiloissa on selkeitä eroja (Kuva 51). Heinäkuussa 2016 Koiransuolenojan veden lämpötila on selkeästi korkeampi kuin Löyttynojan, Koiransuolenojan valuma-alueella ainoastaan lähteestä (Lähde1) mitattu arvo on Löyttynojan kanssa samalla tasolla. Maaliskuussa mitatuista lämpötiloista Koiransuolenojan lämpötilat ovat kylmimpiä, Pääjärven lämpötilat ovat melkein samalla tasolla kuin Koiransuolenojan, jolloin lähteet ja Löyttynoja edustavat lämpimämpää, pohjaveden vaikutukseen viittaavaa tasoa.



Kuva 51. Heinäkuun ja maaliskuun 2016 Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan ja suon lämpötilat (C°) esitettyinä box-plot kuvaajana.

Heinäkuussa mitattujen uoman sedimentin lämpötilojen tulokset (Kuva 52) vastaavat veden lämpötilojen tuloksia. Koiransuolenojan sedimentin lämpötilat ovat korkeampia kuin Löyttynojan, lähteiden tai suon lämpötilat. Lähteissä, suolla ja Löyttynojassa matalampi lämpötila kertoo pohjaveden vaikutuksesta.



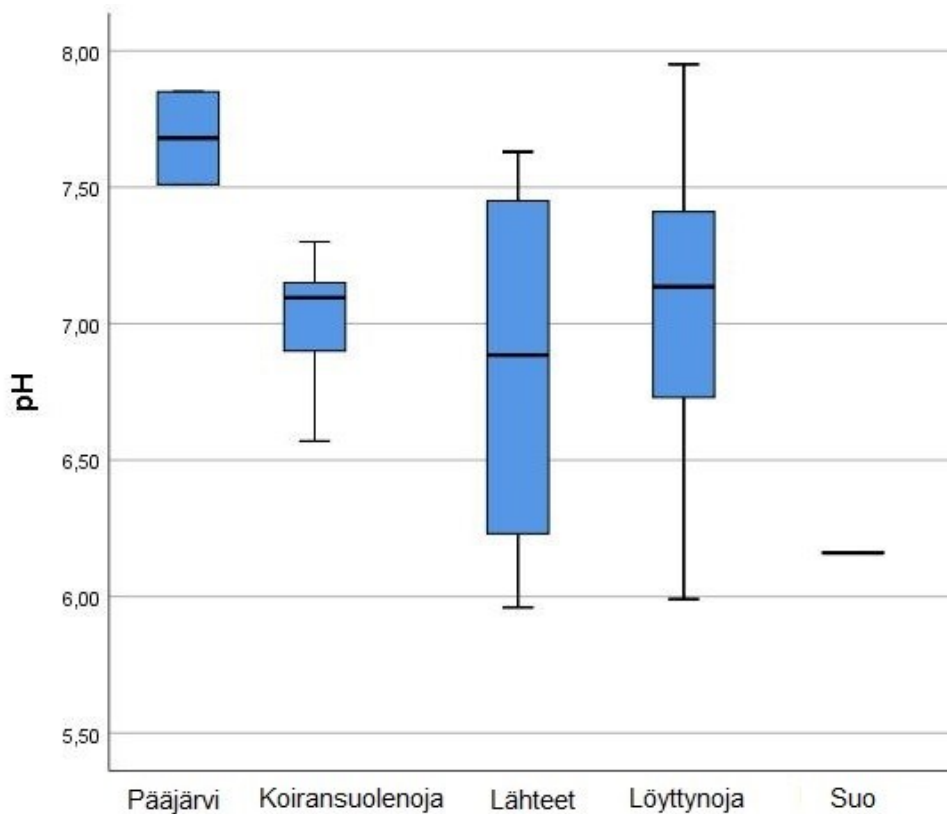
Kuva 52. Heinäkuun 2016 Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan sekä suon sedimentin lämpötilat (C°) esitettyinä box-plot kuvaajana.

5.2.4. pH

Maaliskuun ja heinäkuun 2016 pH tulokset purojen välillä ovat hyvin samankaltaisia (Kuva 53). Pääjärven pH on hieman emäksisempi kuin kummankaan puron pH. Löyttynojan pH:ssa on enemmän vaihtelua kuin Koiransuolenojan pH:ssa ja vuoden 2011 pitkäaikaistulosten perusteella Löyttynojan pH on matalampi kuin Koiransuolenojan, mutta molemmissa puroissa yleinen suuntaus on samanlainen.

Matalimmat pH:t mitattiin näytepisteiltä LO8 (5,99), Suo1 (6,16) ja Lähde1 (5,96), LO8 edustaa Löyttynlähdettä. Backmanin (2004) mukaan alueen pohjavedet ovat lievästi happamia pH 6,1 – 6,3, joten LO8, Suo1 ja Lähde1 edustavat alueen pohjaveden tasoa.

Löyttynojan yleinen alhaisempi pH taso viittaa mahdollisesti suurempaan pohjavesivaikutukseen kuin Koiransuolenojassa.



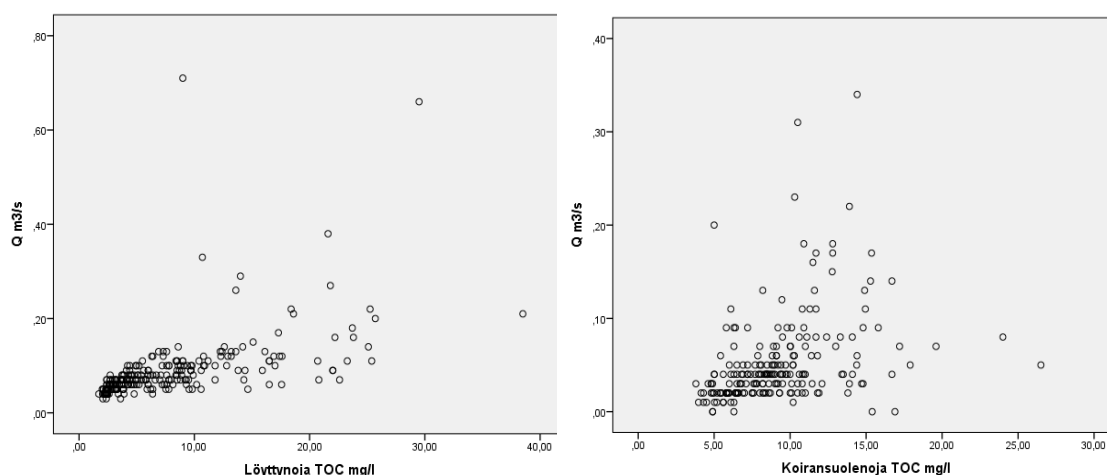
Kuva 53. Maaliskuun ja heinäkuun 2016 Pääjärven, Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan sekä suon pH esitettyinä box-plot kuvaajana.

5.2.5. TOC

Tutkimusalueella Koiransuolenojan TOC-pitoisuudet ovat hieman Löyttynojan pitoisuuksia korkeampia. Tämä on yllättävää siinä suhteessa, että isompi soiden osuus kasvattaa TOC-pitoisuutta (Kortelainen et al. 2006, Sarkkola et al. 2009) ja Löyttynojan valuma-alueen maalajeista 14,9 % on turvetta kun vastaava luku Koiransuolen valuma-alueella on 4,9% (Taulukko 2).

Suurin osa TOC:stä tulee puroveteen pintavaluntana (Kullberg et al. 1993), joten on mahdollista, että Koiransuolenojan korkeammat TOC-pitoisuudet viittaavat suurempaan pintaveden osuuteen kuin Löyttynojassa.

Vaikka Koiransuolenojan yleinen TOC-pitoisuustaso on korkeampi kuin Löyttynojojassa, TOC-pitoisuuden kasvaessa molemmissa puroissa, Löyttynojan TOC-pitoisuus nousee enemmän kuin Koiransuolenojan (Kuva 42). Tämä voi olla seurausta Löyttynojan korkeammista virtaamista (Kuva 39), sillä usein TOC-pitoisuus kasvaa virtaaman kasvaessa (Kullberg et al. 1993). Löyttynojassa on selkeää korrelaatiota TOC-pitoisuuden ja virtaaman kanssa (Kuva 54). Koiransuolenojassa voidaan jonkin verran havaita samaa, mutta ei yhtä selkeästi kuin Löyttynojassa (Kuva 54).



Kuva 54. Vasemmalla Löyttynojan, oikealla Koiransuolen sirontakaavio virtaaman ja TOC-pitoisuuden suhteesta, TOC-pitoisuus kasvaa virtaaman kasvaessa.

5.2.6. Virtaama

Löyttynojasta havainnointiin jo vuonna 1973 (Kuusisto 1973), että Löyttynojassa on jatkuva virtaus läpi vuoden, toisin kuin Koiransuolenojassa, jossa virtaama laskee talviaikaan. Tämä voidaan havaita myös vuosien 2007–2011 tuloksista. Molempien purojen virtaamien yleinen trendi noudattaa suurin piirtein samaa kaavaa, mutta usein virtaaman kasvaessa Löyttynojan virtaama lisääntyy voimakkaammin kuin Koiransuolenojan. Virtaamatiedoissa on havaittavissa lumen sulamisen aiheuttama virtauspiikki aina keväisin, yleensä huhtikuussa.

Vuonna 2009 Koiransuolenojan virtaamassa on selkeä piikki helmi-maaliskuun aikana, kun taas Löyttynojan virtaama säilyy tasaisena. Samaten huhtikuun virtaama on suurempi Koiransuolenojalla, vaikka myös Löyttynojan virtaama kasvaa silloin. Tämä voi olla

merkki Kuusiston (1973) mainitsemasta pohjaveden muodostumisesta Löyttynojan valuma-alueella, jossa sulamisvesistä muodostuu pohjavettä ja valunta on siten pienempää. Koiransuolenojan valuma-alueella pohjavettä ei muodostu yhtä helposti, sillä sen maalajit ovat hienojakoisempia kuin Löyttynojassa.

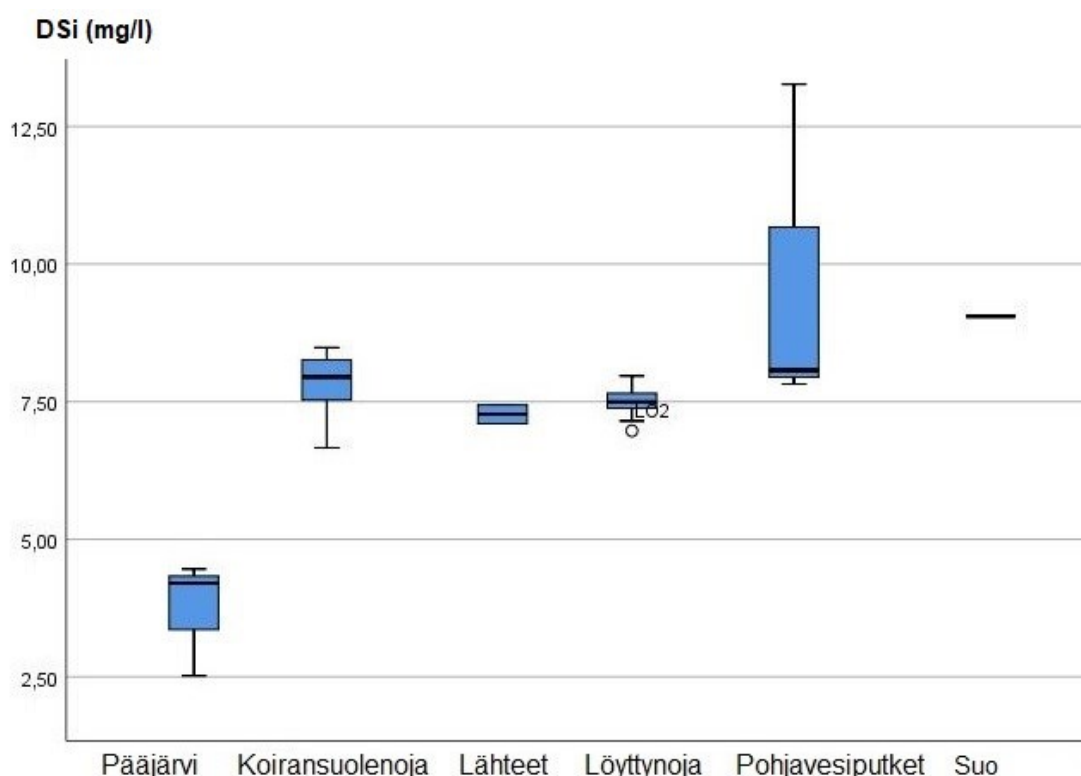
Virtaamien suuruus vastaa jonkin verran sadantaa, mutta vaihtelua on yllättävän paljon. Esimerkiksi vuoden 2008 elokuun sadanta oli 119,1 mm mutta virtaamat ajanjaksolla olivat vain 0,06 m³/s (Löyttynojan) ja 0,01 m³/s (Koiransuolenojan). Heinäkuussa 2009 sadanta oli 157,1 mm ja Löyttynojan virtaama tällöin oli 0,27 m³/s ja Koiransuolenojan 0,06 m³/s. Yksi selitys eroavaisuuksille on se että, kasvukaudella sadanta sitoutuu kasvillisuuteen, jolloin pintavalunnan osuus pienenee (Kajosaari 1973a). Sadantatiedot on esitetty liitteessä 3.

Yleisesti ottaen Löyttynojan virtaama on suurempi kuin Koiransuolenojan ja Löyttynojan virtaama pysyy voimakkaana myös talvikaudella, mitä on pidetty merkkinä Löyttynojan alueen suurista pohjavesivarastoista (Kuusisto 1973). Vuosien 2007–2011 tulosten perusteella vaikuttaakin siltä, että Löyttynojan pohjavesivarastot ovat suurempia kuin Koiransuolenojan ja, että Löyttynojan pohjavalunnan osuus on suurempi kuin Koiransuolenojan.

5.2.7. Liuenneet silikaatti, hapen ja vedyn stabiilit isotoopit sekä D-excess

Mann-Whitney U testin mukaisesti liuenneen silikaatin pitoisuuksissa purojen välillä ei ole merkittävää eroa ja tämä voidaan myös havaita box-plot kuvaajasta (Kuva 55), jossa suurimmat erot liuenneen silikaatin pitoisuuksissa on Pääjärven ja Lammin biologisen aseman pohjavesiputkien välillä. Suo1 näyte myös korostuu hieman muita korkeammilla pitoisuuksillaan. Pääjärven pitoisuuksien voidaan katsoa edustavan pintavesien silikaattipitoisuuksia. Suomessa pohjaveden liuenneen silikaatin pitoisuuksien keskiarvo on 6.5 mg/l matalissa kaivoissa (Lahermo et al. 2002) ja molempien purojen sekä lähde- ja suonäytteiden liuenneen silikaatinpitoisuudet ovat hieman tätä tasoa korkeampia.

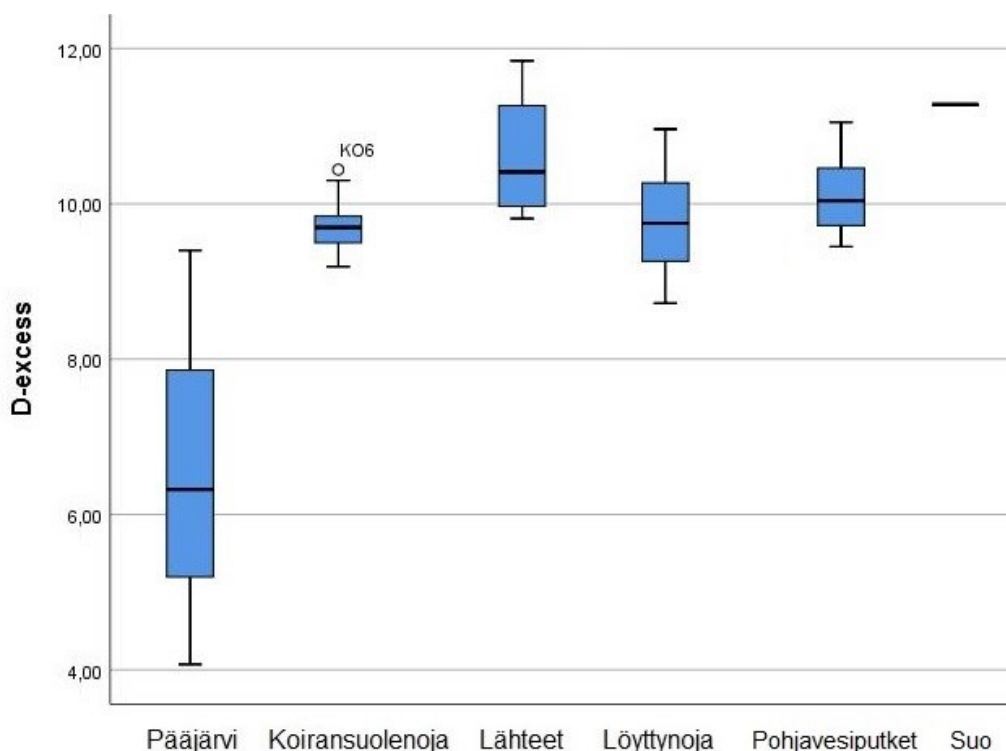
Tämä näkyy myös alueen pohjaveden silikaattipitoisuuksista, jotka ovat korkeita suhteessa Suomen pohjaveden keskiarvoon: Lammin biologisen aseman pohjavesiputkien silikaattipitoisuus vaihtelee välillä 7,8–13,2 mg/l ja Backmanin (2004) tutkimuksessa alueen pohjavesistä silikaattipitoisuuden keskiarvot olivat 16,5 mg/l (PEHHE1) ja 12,7 mg/l (PEHTA1). Molempien purojen silikaattipitoisuuksien voidaan katsoa kuvastavan pohjaveden vaikutusta puroissa.



Kuva 55. Pääjärven, Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan, pohjavesiputkien ja suon heinäkuun ja maaliskuun 2016 liuenneen silikaatin pitoisuudet (DSi) esitettyinä box-plot kuvaajana.

Kuten liuenneen silikaatinpitoisuudet myös isotooppiarvot sekä D-excess arvot ovat molemmissa puroissa hyvin samankaltaiset. D-excess arvoissa (Kuva 56) Pääjärvi edustaa haihtunutta pintavettä, Koiransuolenojan, Löyttynojan, lähteiden ja suon D-excess arvot ovat pohjavesiputkien kanssa samalla tasolla ja täten voivat edustaa pohjaveden arvoja. Sama on nähtävissä stabiilien isotooppien arvoista, lukuunottamatta Pääjärveä kaikkien näytteiden stabiilien isotooppien arvot vastaavat pohjavesiputkien isotooppisuhteita.

Purojen D-excess arvoissa voidaan havaita maaliskuun ja heinäkuun 2016 välillä (kuvat 34 ja 35) Suomen sadannalle tyypillinen vaihtelu (Kortelainen 2007). Pohjavesien ja sadannan isotooppiarvot ovat kuitenkin hyvin samankaltaisia (Kortelainen 2007), eikä tulosten perusteella voida päätellä pohjavesivaikutuksen suuruutta, ennemminkin tulosten perusteella molemmissa puroissa voidaan havaita selkeä pintavaluntakomponentti.



Kuva 56. Pääjärven, Koiransuolenojan, lähteiden, Löyttynojan, pohjavesiputkien ja suon heinäkuun ja maaliskuun 2016 D-excess arvot esitettyinä box-plot kuvaajana.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Löyttynojan pääionipitoisuudet vastaavat Hämeen alueen puroveden taustapitoisuuksia, mutta Koiransuolenojan natriumin-, kaliumin-, kalsiumin-, kloridin-, nitraatin- ja sulfaatinpitoisuudet ylittävät tausta-arvojen pitoisuudet. Löyttynojaan verrattuna Koiransuolenojan pääionipitoisuudet ja sähkönjohtavuus ovat lähes kaksinkertaisia ja pitoisuuksien eroja voidaan selittää valuma-alueiden poikkeavilla sedimenttijakaumilla.

Löyttynojan vesikemialla on paljon yhteistä alueen pohjaveden kanssa, Na-, K-, Mg-, Cl- ja SO₄-pitoisuudet vastaavat pohjaveden pitoisuuksia kun taas Ca-, NO₃-pitoisuudet ja alkaliteetti ovat pohjaveden tasoa alhaisempia. Koiransuolenojan pitoisuudet suhteessa pohjaveden arvoihin ovat päin vastaiset Löyttynojaan verrattuna, Ca-, NO₃-pitoisuudet ja alkaliteetti vastaavat tai ovat hyvin lähellä alueen pohjavettä, kun taas muut pääionipitoisuudet ylittävät pohjaveden taustapitoisuudet.

Löyttynojan puroveden sekä sedimentin lämpötilat osoittavat selkeästi pohjavesivaikutusta koko puron mitalta, kun taas Koiransuolenojan lämpötiloissa pohjavesivaikutus ei ole yhtä selkeästi nähtävissä. Myös Koiransuolenojan korkeammat TOC-pitoisuudet kertovat puron suuremmasta pintavalunnan määrästä verrattuna Löyttynojaan. Kuitenkin liuenneen silikaatin perusteella molemmat purot ovat selkeästi pohjavesivaikutteisia.

Löyttynojassa virtaama pysyy melko korkeana läpi talven alivalumakauden ja onkin todennäköistä, että valuma-alueen pohjavesivarastot ovat melko suuret. Koiransuolenojan virtaama sen sijaan on kauttaaltaan pienempi. Tulosten perusteella on todennäköistä, että Koiransuolenojan pohjavesivarasto on pienempi kuin Löyttynojan ja sen antoisuus on Löyttynojan akviferia niukempaa. Tämän puolesta puhuu myös valuma-alueiden maalajien eroavaisuudet: Löyttynojan valuma-alueen maalajeista lähes 40 % on hyvin vettä johtavaa soraa ja hiekkaa, kun taas yli puolet Koiransuolenojan maalajeista on heikosti vettä johtavaa hiesua ja hietaa.

Koiransuolenojan korkeampia pääionipitoisuuksia voidaan selittää valuma-alueen hienojakoisilla sedimenteillä, sillä pohjaveden viipymän kasvaessa liuenneiden epäorgaanisten aineiden määrä kasvaa. Lisäksi Lammin alueen hienojakoinen maalaji, Lammin lössi, sisältää paikoin melko runsaasti kalsiumia, joka havaitaan Koiransuolenojan Löyttynojaa korkeampina pitoisuuksina. Hienojakoiset maalajit voivat myös sisältää reliktisiä suoloja, jotka nostavat puron kloridi- ja natriumpitoisuuksia.

Koiransuolenojan valuma-alueella on enemmän peltoja kuin Löyttynojan valuma-alueella, jolloin sähkönjohtavuuden, kaliumin ja nitraatin korkeampia pitoisuuksia voidaan selittää maatalouden päästöillä.

Tulosten perusteella molemmat purot ovat pohjavesivaikutteisia, mutta pohjavesivaikutuksen määrä on korkeampi Löyttynojassa kuin Koiransuolenojassa.

7. KIITOKSET

Suurkiitos ohjaajalleni Kirsti Korkka-Niemelle kaikesta tuesta ja avusta tämän työn osalta. Kiitoksen ansaitsevat myös Anne Rautio kaikista neuvoista ja korvaamattomasta avusta kenttätöissä sekä Veli-Pekka Salonen, joka oli mukana muotoilemassa tämän työn aiheetta.

Erityisesti haluan muistaa Lammin biologisen aseman henkilökuntaa heidän auliisti tarjoamastaan avusta näytteiden keruun kanssa, kiitos myös John Loehrille hänen toimittamastaan Löyttynojan ja Koiransuolenojan pitkäaikaisaineistosta. Erityiskiitokset myös Lammin biologisen aseman Ympäristötutkimuksen Säätiölle heidän tätä työtä varten myöntämästään 1000 € stipendistä.

Viimeiseksi haluan esittää nöyrimmät kiitokseni perheelleni ja ystävilleni, ilman heidän tukeaan tämä työ ei olisi nyt tässä.

8. VIITELUETTELO

- Asano, Y., Uchida, T., & Ohte, N. 2003. Hydrologic and geochemical influences on the dissolved silica concentration in natural water in a steep headwater catchment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67, 1973-1989.
- Appelo, C.A.J. ja Postma, D. 2004. *Geochemistry, groundwater and pollution*. CRC press, 2004.
- Backman, B. 2004. Groundwater quality, acidification, and recovery trends between 1969 and 2002 in South Finland. Espoo: Geological Survey of Finland, Bulletin 404. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 110 s. (väitöskirja).
- Björck, S. 1995. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP. *Quaternary International* 27, 19-40.

- Bolan, N. S., Adriano, D. C., Kunhikrishnan, A., James, T., McDowell, R. ja Senesi, N. 2011: Dissolved organic matter: Biogeochemistry, Dynamics, and environmental significance in soils. — Teoksessa: Sparks, D.L. (toim.), *Advances in Agronomy*, 110. Elsevier Imprint. San Diego, 367s.
- Bridges, C. 1966. Hierarchical cluster analysis. *Psychological reports* 18, 851-854.
- Clark, I. and Fritz, P. 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. CRC press, 290 s.
- Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702-1703.
- Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R. ja Savard, M.M. 2008. Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology* 353, 294–313.
- Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16, 436-468.
- Daughney, C.J., Raiber, M., Moreau-Fournier, M., Morgenstern, U. ja Raaij, R. van der. 2012. Use of hierarchical cluster analysis to assess the representativeness of a baseline groundwater quality monitoring network: comparison of New Zealand's national and regional groundwater monitoring programs. *Hydrogeology Journal* 20, 185–200.
- Deb, S. K. ja Shukla, M. K. 2011: A Review of Dissolved Organic Matter Transport Processes Affecting Soil and Environmental Quality. — *Environmental ja Analytical Toxicology*. 1.
- Davis, S.N. 1964. Silica in streams and ground water. *American Journal of Science* 262, 870-891.
- FMI-latauspalvelu. 2019. The Finnish Meteorological Institute's open data. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- Friedman, I. 1953. Deuterium content of natural waters and other substances. *Geochimica et Cosmochimica*, 4, 89-103.
- Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E. ja Turner, A.K. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal* 10, 455–474.
- Haavisto-Hyvärinen, M., Kokko, J. ja Taka, M. 1984. Lammi. Suomen geologinen kartta 1: 20 000, maaperäkartta, lehti 2134 04. Geologian tutkimuslaitos, Espoo, 34 s.
- Haavisto-Hyvärinen, M. ja Taka, M. 1985. Lammin maaperäkarttojen 2134 01 – 12 selitykset. Geologian Tutkimuskeskus, raportti P 13.1.092, Espoo, 13 – 15.
- Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema ja Vanajavesikeskus. 2019. sivulla vierailtu 26.5.2019. <http://vanajavesi.masinotek.com/>
- Jakobsson, M., Björck, S., Alm, G., Andrén, T., Lindeberg, G. ja Svensson, N.-O. 2007. Reconstructing the Younger Dryas ice dammed lake in the Baltic Basin: Bathymetry, area and Volume. *Global and Planetary Change* 57, 355–370.
- Kaiser, K., Guggenberger, G. ja Zech, W. 1996. Sorption of DOM and DOM fractions to forest soils. — *Geoderma*. 74, 281–303.
- Kendall, C. ja Coplen, T.B. 2001. Distribution of oxygen-18 and deuterium in river waters across the United States. *Hydrological Processes* 15, 1363-1393.
- Korkka-Niemi, K. ja Salonen, V-P. 1996. Maanalaiset vedet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja. Turun yliopisto, 181 s.
- Kortelainen, P.; T. Mattsson, L. Finér, M. Ahtiainen, S. Saukkonen & T. Sallantausta. 2006. Controls on the export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. *Aquatic Sciences* 68, 453–468.
- Kortelainen, N. 2007. Isotopic fingerprints in surficial waters: stable isotope methods applied in hydrogeological studies, *Erikaisjulkaisut*, 2007, Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 41 s.
- Krabbenhoft, D. P., Bowser, C. J., Anderson, M. P., ja Valley, J. W. 1990. Estimating groundwater exchange with lakes: 1. The stable isotope mass balance method. *Water Resources Research*, 26, 2445-2453.
- Kukkonen, M. 1982. Maaperäkartoituksesta Lammin 2134 ja Padasjoen 2143 yhteistyöalueella 1982. Geologian tutkimuslaitos, Raportti P 13.1.067, Espoo, 1 – 17.
- Kullberg, A. Bishop, K. H., Hargeby, A., Jansson, M. ja Petersen, R. C. 1993. The ecological significance of dissolved organic carbon in acidified waters. *Ambio* 22, 331 – 337.

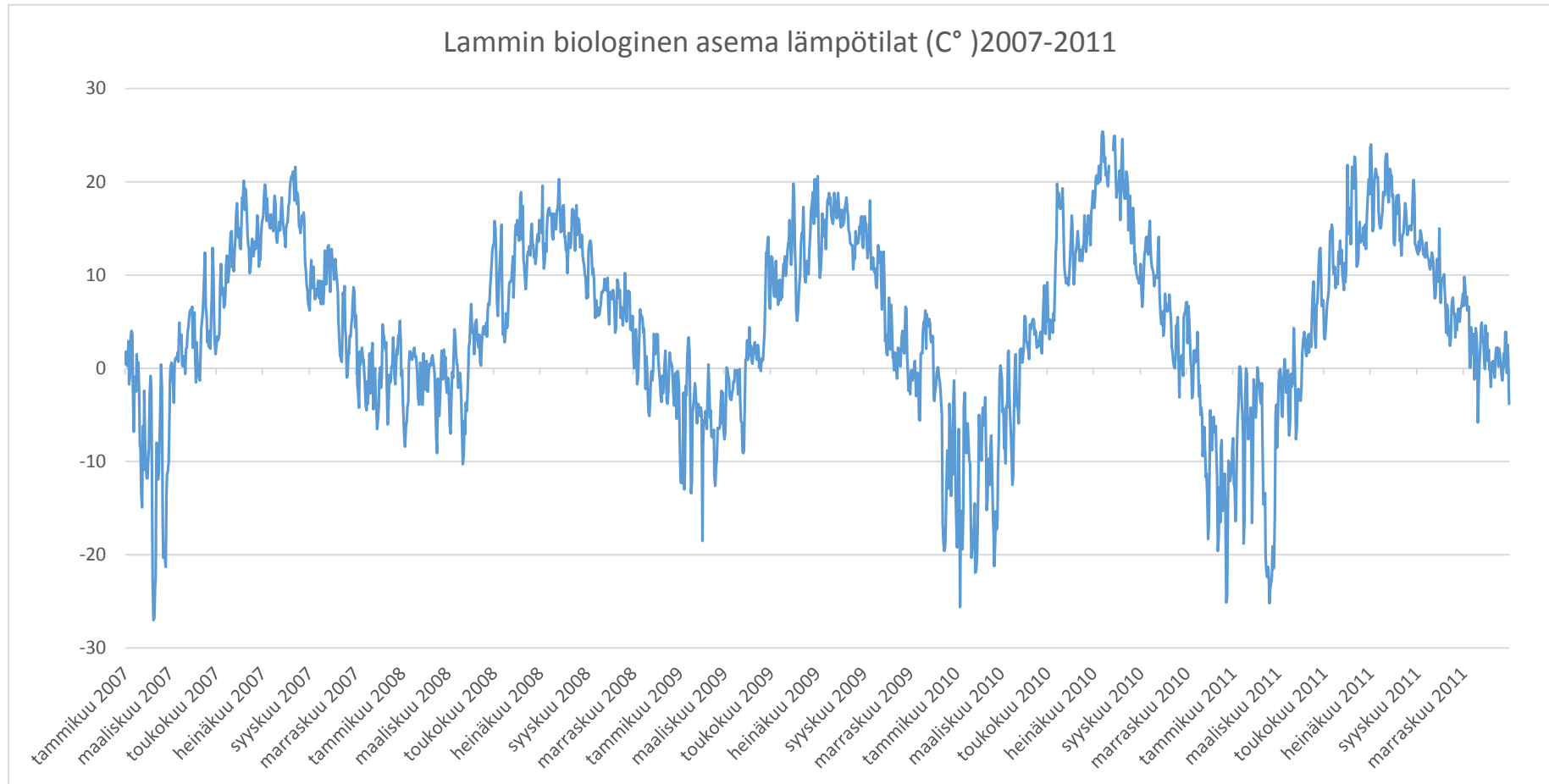
- Kuusisto, E. 1973: Lumen sulamisesta ja sulamiskauden vesitaseesta Lammin Pääjärvellä 1970-72. Vesihallitus, Tiedotus 46, 121 s.
- Lahermo, P., P. Väänänen, T. Tarvainen ja R. Salminen. 1996. Suomen geokemian atlas. Osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja -sedimentit. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 54 s.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakoma, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P. and Väisänen, U. 2002. Tuhat kaivoa–Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Tutkimusraportti 155. Geologian tutkimuskeskus 2002: 1-92.
- Laitakari, I. 1980. Lammi. Suomen geologinen kartta 1 : 100 000, kallioperäkartta, lehti 2134. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo, 34 s.
- Lepistö, A. 1996. Hydrological processes contributing to nitrogen leaching from forested catchments in Nordic conditions. Finnish Environment Institute, 71 s.
- Lindström, A. 2016. Lammin lössi. Pro gradu-tutkielma Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Geotieteiden ja maantieteen laitos, 68 s.
- Mulholland, P. J. 2003: Large-Scale Patterns in Dissolved Organic Carbon Concentration, Flux and Sources. — Teoksessa: Findlay, S. E. ja Sinsabaugh, R. L. (toim.), Aquatic Ecosystems, Interactivity of Dissolved Organic Matter: 138–157. Elsevier Imprint. London, 512 s.
- Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki, 304 s.
- Neal, C., Neal, M., Reynolds, B., Maberly, S. C., May, L., Ferrier, R. C., Smith, J. ja Parker, J. E. 2005. Silicon concentrations in UK surface waters. *J. of Hydrol.*, 304, 75-93.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R. and Dutter, R. 2011. Statistical data analysis explained: applied environmental statistics with R. John Wiley ja Sons, 335 s.
- Rozanski, K., Sonntag, C. and Münnich, K. O. 1982. Factors controlling stable isotope composition of European precipitation. *Tellus* 34, 142-150.
- Saarnisto, M. ja Saarinen, T. 2001. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega Basin to the Salpausselkä End Moraines. *Global and Planetary Change* 31, 387–405.
- Sandborg, M. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Tutkimusraportti 1: Pohjaveden laatuun vaikuttavien aineiden geokemiallisia ominaisuuksia, Vesi- ja ympäristöhallitus 328, 57 s.
- Sarkkola, S.; H. Koivusalo, A. Laurén, P. Kortelainen, T. Mattsson, T. Palviainen, S. Piirainen, M. Starr & L. Finér 2009. Trends in hydrometeorological conditions and stream water organic carbon in boreal forested catchments. *Science of the Total Environment* 408, 92–101
- Soveri, J. 1933. Lammin pitäjän kasvisto. *Annales Botanicæ Societatis Zoologicae-botanicæ Fennicæ Vanamo* 4, nro 3, 83 s.
- Stenberg, L., 2007. Lammin Pääjärven ja Lahden Vesijärven vesitase: maankäytön vaikutus valuntaan ja haihduntaan. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo, rakennus- ja ympäristötekniikka, vesitalous ja vesirakennus, 85 s.
- Stichler, W. 1987. Snowcover and snowmelt processes studied by means of environmental isotopes. Teoksessa: Jones H.G., Orville-Thomas W.J. (toim.) *Seasonal Snowcovers: Physics, Chemistry, Hydrology* 211. Springer, Dordrecht, 673-726.
- Tikkanen, M., Seppälä, M. ja Heikkinen, O. 1985. Environmental properties and material transport of two rivulets in Lammi, southern Finland. *Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisuja*, A 127, 217-282.
- Ward, J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58, 236-244.
- Wohlfarth, B., Björck, S., Funder, S., Houmark-Nielsen, M., Ingólfsson, Ó., Lunkka, J.-P., Mangerud, J., Saarnisto, M. ja Vorren, T. 2008. Quaternary of Norden. *Episodes* 31, 73–80.

9. LIITTEET

Liite 1 Löyttynojan ,Koiransuolenojan sekä Pääjärven ja Lammin biologisen aseman pohjavesiputkista mitatut pääionit, ionibalanssi, silikaatti, sähkönjohtavuus, paikanpäällä mitattu pH sekä isotoopit.

ID	Alue	Aika	Na (mg l ⁻¹)	K (mg l ⁻¹)	Ca (mg l ⁻¹)	Mg (mg l ⁻¹)	F (mg l ⁻¹)	Cl (mg l ⁻¹)	NO3 (mg l ⁻¹)	alkaliteetti mmol l ⁻¹	HCO3 (mg l ⁻¹)	IB%	Si	T vesi (C °)	T sedimentti (C °)	E/C(mS/m)	pH	Vety	Happi	D-excess
LO1	Löyttynoja	Talvi	5,18	1,80	8,49	2,65	0,10	6,33	3,57	16,15	0,31	1,48	7,15	2,39	-	0,105	7,36	-88,02	-12,35	10,78
LO2	Löyttynoja	Talvi	5,05	1,76	7,96	2,52	0,11	5,89	3,56	15,72	0,31	0,27	6,97	2,78	-	0,114	7,95	-88,00	-12,37	10,96
LO3	Löyttynoja	Talvi	4,83	1,76	7,88	2,49	0,11	5,48	3,59	15,55	0,30	0,75	7,49	2,65	-	0,099	7,55	-87,95	-12,23	9,89
LO5	Löyttynoja	Talvi	4,28	1,82	8,24	2,68	0,10	4,07	4,31	17,58	0,32	-0,56	7,38	2,93	-	0,101	7,58	-88,69	-12,42	10,67
LO6	Löyttynoja	Talvi	4,45	1,90	8,26	2,80	0,10	3,93	4,60	21,02	0,27	-0,47	7,97	3,49	-	0,104	7,24	-88,05	-12,27	10,11
LO7	Löyttynoja	Talvi	4,00	1,71	7,64	2,50	0,11	3,11	3,72	19,16	0,28	-1,36	7,78	4,02	-	0,095	7,31	-88,05	-12,29	10,27
LO8	Löyttynoja	Talvi	3,89	1,63	7,67	2,56	0,10	3,09	2,77	17,92	0,31	-0,79	7,46	4,93	-	0,094	7,41	-86,88	-11,95	8,72
KO1	Koiransuolenoja	Talvi	13,27	3,02	17,06	5,05	0,12	25,44	8,80	28,54	0,49	-0,75	7,50	0,57	-	0,227	7,15	-87,14	-12,18	10,3
KO2	Koiransuolenoja	Talvi	13,28	3,03	16,81	4,97	0,12	25,48	8,99	28,62	0,47	-0,88	8,07	1,27	-	0,225	7,07	-87,36	-12,15	9,84
KO3	Koiransuolenoja	Talvi	12,89	2,40	15,81	4,55	0,12	24,69	7,46	28,95	0,36	-0,01	8,30	1,39	-	0,211	6,85	-88,15	-12,22	9,61
KO4	Koiransuolenoja	Talvi	13,27	2,48	24,44	5,47	0,12	24,18	7,23	29,43	0,32	14,09	8,48	1,47	-	0,208	7,15	-88,43	-12,23	9,41
KO5	Koiransuolenoja	Talvi	5,21	2,84	15,78	4,86	0,11	7,72	10,29	20,86	0,66	0,01	7,53	0,81	-	0,169	7,26	-86,92	-12,08	9,72
Lähde 1	Koiransuolenojan sivuhaara	Talvi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,67	-	0,145	6,5	-88,91	-12,38	10,13
Lähde 2	Löyttynojan sivuhaara	Talvi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,72	-	0,084	7,63	-87,31	-12,14	9,81
Järvi1	Pääjärvi	Talvi	4,43	2,67	8,15	2,58	0,11	5,98	4,51	13,31	0,30	3,41	4,46	1,32	-	0,101	7,51	-84,72	-11,38	6,32
Järvi2	Pääjärvi	Talvi	4,33	2,25	9,04	2,88	0,11	5,56	5,09	14,15	0,31	5,00	4,20	2,63	-	0,105	7,85	-89,72	-12,39	9,4
LBA5	Pohjavesiputki	Talvi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-89,62	-12,4	9,58
LBA1	Pohjavesiputki	Talvi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-87,58	-12,28	10,66
LBA4B	Pohjavesiputki	Talvi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-90,78	-12,63	10,26
LBA2	Pohjavesiputki	Talvi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-88,15	-12,4	11,05
LO1	Löyttynoja	Kesä	4,52	1,84	7,86	2,52	0,09	4,84	3,22	15,49	0,35	-1,17	7,64	10,49	9,60	0,096	6,73	-88,30	-12,24	9,62
LO2	Löyttynoja	Kesä	4,40	1,78	7,57	2,40	0,09	4,47	3,27	15,19	0,43	-6,97	7,56	11,09	10,30	0,052	7,03	-88,29	-12,26	9,79
LO3	Löyttynoja	Kesä	4,26	1,86	7,79	2,50	0,09	4,28	3,53	16,24	0,33	-1,25	7,65	10,50	10,82	0,089	6,84	-86,94	-11,97	8,82
LO5	Löyttynoja	Kesä	4,29	1,85	7,92	2,55	0,09	4,17	3,79	17,11	0,33	-1,72	7,67	10,51	10,10	0,098	6,80	-87,91	-12,17	9,46
LO6	Löyttynoja	Kesä	4,49	1,90	8,22	2,73	0,12	4,17	4,22	20,17	0,28	-0,95	7,50	8,54	7,70	0,104	6,68	-88,67	-12,23	9,17
LO7	Löyttynoja	Kesä	4,08	1,75	7,59	2,52	0,09	3,50	3,52	18,54	0,28	-1,00	7,42	7,16	7,20	0,094	6,49	-87,54	-12,10	9,26
LO8	Löyttynlähde	Kesä	3,98	1,69	7,99	2,61	0,11	3,57	2,76	17,71	0,31	-0,06	7,20	5,78	5,80	0,095	5,99	-86,77	-12,06	9,71
KO1	Koiransuolenoja	Kesä	15,41	3,76	18,73	5,55	0,15	29,12	7,30	26,94	0,64	0,81	7,83	18,02	15,70	0,247	6,92	-86,57	-12,03	9,67
KO2	Koiransuolenoja	Kesä	15,70	3,84	18,50	5,45	0,14	29,68	7,66	27,06	0,62	0,05	7,77	19,73	19,70	0,248	7,30	-86,32	-12,01	9,76
KO3	Koiransuolenoja	Kesä	15,21	2,97	16,95	4,80	0,16	26,91	7,02	26,72	0,45	2,35	8,26	15,69	15,40	0,216	7,12	-87,54	-12,13	9,50
KO4	Koiransuolenoja	Kesä	15,14	2,91	15,80	4,57	0,12	26,35	7,11	27,62	0,42	0,93	8,13	15,12	15,30	0,216	6,90	-87,85	-12,13	9,19
KO6	Koiransuolenoja	Kesä	26,42	2,67	15,59	4,36	0,10	45,13	7,98	29,33	0,24	2,09	6,66	14,58	13,80	0,294	6,57	-86,12	-12,07	10,44
SUO1	Laaviosuo	Kesä	3,76	1,48	4,48	1,26	0,09	3,20	0,05	6,20	0,34	-3,22	9,05	8,70	6,60	0,082	6,16	-86,93	-12,28	11,28
Lähde1	Koiransuolenojan sivuhaara	Kesä	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,44	11,00	9,30	0,130	5,96	-86,72	-12,32	11,84
Lähde2	Löyttynojan sivuvirta	Kesä	3,33	1,33	5,00	1,47	0,12	3,40	1,48	8,15	0,27	-1,04	7,10	8,27	8,30	0,063	7,27	-87,63	-12,29	10,69
Järvi1	Pääjärvi	Kesä	3,60	2,17	8,20	2,64	0,09	4,37	3,66	12,62	0,30	5,03	2,52	-	-	-	-	-74,81	-9,86	4,07
LBA1	Pohjavesiputki	Kesä	-	-	-	-	-	-	-	-	1,47	-	8,07	-	-	-	-	-86,68	-12,09	10,04
LBA4B	Pohjavesiputki	Kesä	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,82	-	-	-	-	-88,55	-12,25	9,45
LBA5	Pohjavesiputki	Kesä	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,27	-	-	-	-	-90,14	-12,50	9,86

Liite 2. Lammin biologisen aseman alueen lämpötilat vuosilta 2007–2011. Aineisto Lammin biologinen asema.



Liite 3. Hämeenlinna Lammi Pappila sääaseman sadantatiedot vuosille 2007–2011. (FMI-latauspalvelu).

