

**Pro gradu -tutkielma**

**Turve- ja metsätalouden vaikutukset kahden  
metsäjärven surviaissääskiyhteisöihin:  
paleolimnologinen tutkimus**

**Tiina Ahokas**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Akvaattiset tieteet

12.4.2015

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos  
Akvaattiset tieteet

AHOKAS TIINA, K.I.: Turve- ja metsätalouden vaikutukset kahden metsäjärven surviaissäskiyhteisöihin: paleolimnologinen tutkimus  
Pro gradu: 41 s.  
Työn ohjaajat: Prof. Jarmo J. Meriläinen, FT Heikki Hämäläinen  
Tarkastajat: Prof. Jarmo J. Meriläinen, FT Tomi Luoto  
Huhtikuu 2015

---

Hakusanat: Matala humusjärvi, rehevöityminen, sedimentti, soiden ojitus, surviaissääski, valuma-alue

## TIIVISTELMÄ

Tutkielmassa selvitettiin turve- ja metsätalouden vaikutuksia Martinjärven ja Iso Kivijärven surviaissäskiyhteisöihin paleolimnologisen menetelmän avulla. Järvien sedimenttiprofiileita tarkasteltiin viimeisen 400 vuoden ajalta. Järvet ovat pieniä, matalia humusjärviä ja sijaitsevat Keski-Suomessa Keuruulla vierekkäisillä valuma-alueilla. Surviaissäskiyhteisöjen muutosten perusteella tutkittiin järvien rehevyyden ja humoosisuuden muutoksia ennen ja jälkeen metsätalouden ja turvetuotannon aloittamista. Soiden laajamittainen ojitus metsätalouden käyttöön alkoi 1960-luvulla molempien järvien valuma-alueilla. Martinjärven valuma-alueella aloitettiin lisäksi turpeen kaivu 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa. Turvetuotantoalueiden jätevedet laskevat Martinjärven yläpuolisiin vesistöihin. Iso Kivijärveä käytettiin Martinjärven vertailujärvenä turvetuotannon osalta. Molempien järvien valuma-alueilla harjoitetaan myös peltoviljelyä. Surviaissäskiyhteisöjen muutoksia tarkasteltiin pääkomponenttianalyysin (PCA), syvänpohjaeläinindeksin (Profundal Invertebrate Community Metrics) ja surviaissäskiyhteisöjen monimuotoisuuden perusteella. Sedimenttiprofiilien alkuaineanalyysin perusteella havaittiin mineraalimaa-ainesten eroosion voimakas kasvu 1960-luvulta lähtien molempien järvien valuma-alueilla. Luonnontilassa molempien järvien surviaissäskilajisto oli meso-eutrofisille järville tyypillistä. 1960- ja 1970-lukujen ojitusten aikaan rehevyyttä ilmentävien taksonien osuus kasvoi ja karumpien vesien taksonien osuus väheni molemmissa järvissä. Surviaissäskijäänteiden perusteella järvien lievä rehevöityminen jatkui näihin päiviin saakka. Surviaissäskiyhteisöjen muutos rehevemmän elinympäristön lajistoksi oli Iso Kivijärvessä hieman voimakkaampaa kuin Martinjärvessä, mikä voi osittain selittyä järvien erilaisilla hydrologis-morfologisilla ominaisuuksilla. Turvetuotannon alkuvaihetta lukuun ottamatta Martinjärven surviaissäskiyhteisöissä ei havaittu pelkästään turvetuotantoon yhdistettävissä olevia muutoksia. Martinjärven lähivaluma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksen järven surviaissäskiyhteisöihin arvioitiin olleen kauempana sijaitsevien turvetuotantoalueiden ja peltojen vaikutusta merkittävämpää.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science  
Aquatic sciences

AHOKAS TIINA, K.I.: Effects of peat mining and forestry on chironomid communities of two forest lakes: a paleolimnological study

Master of Science Thesis: 41 p.

Supervisors: Prof. Jarmo J. Meriläinen, PhD Heikki Hämäläinen

Inspectors: Prof. Jarmo J. Meriläinen, PhD Tomi Luoto

April 2015

---

Key Words: Catchment area, chironomids, ditching, eutrophication, sediment, shallow dystrophic lake

## ABSTRACT

Sedimentary chironomid remains of Lake Martinjärvi and Lake Iso Kivijärvi in Central Finland were studied from sediment cores covering the last 400 years. Both lakes are small, shallow and highly dystrophic forest lakes. The major aim of the study was to assess the effects of intensive forestry activities and peat mining on ecosystems of the lakes. The changes in the lakes' trophic status and degree of humosity were studied by using sedimentary chironomid remains. Extensive ditching of bogs for forestry within the catchments of both lakes was started in the 1960s. Peat mining in the catchment of Martinjärvi was started in the 1980s. Run off water from peat mining sites drains first to lakes situated above Martinjärvi. Iso Kivijärvi was used as a reference lake to assess the effects of peat mining on chironomid assemblages of Martinjärvi. There are also agricultural lands in the catchment areas of both lakes. The changes in chironomid communities were analyzed using Principal Component Analysis (PCA), Profundal Invertebrate Community Metrics (PICM) and diversity indices. Increased erosion of mineral soil starting from the 1960s was detected in chemical stratigraphies of 33 elements analyzed from the sediment cores. In the natural state the chironomid communities of both lakes consisted of taxa typical of meso-eutrophic waters. Since the 1960s their communities indicated slight eutrophication which continued until recent. The change in the chironomid assemblages was greater in Iso Kivijärvi. Differences in hydromorphological properties of study lakes were partly responsible for the fact that environmental changes and effects of eutrophication remained smaller in Martinjärvi than in the reference lake. Change in chironomid communities of Martinjärvi in early 1980s could be partly related to peat mining. Otherwise the effects of peat mining on the chironomid communities could not be separated from the effects of forestry. As the land use adjacent to the shoreline of Martinjärvi consists almost exclusively of forestry, the effects of forestry practices on chironomid communities of Martinjärvi were assumed to be greater than the effects of peat mining sites and fields situated further away.

## Sisältö

<b>1. JOHDANTO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....</b>	<b>6</b>
2.1. Tutkimusasetelma.....	6
2.2. Tutkimuskohteet.....	7
2.3. Näytteenotto ja kaikuluotaus.....	11
2.4. Sedimentin ajoitus ja fysikaaliset ja kemialliset analyysit.....	13
2.5. Surviaissääskinäytteiden esikäsittely ja määrittäminen.....	14
2.6. Numeeriset analyysit.....	15
<b>3. TULOKSET.....</b>	<b>16</b>
3.1. Sedimentin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet.....	16
3.2. Surviaissääskianalyysi.....	21
3.2.1. Martinjärven ja Iso Kivijärven surviaissääsket.....	21
3.2.2. Pääkomponenttianalyysi.....	25
3.2.3. Järvien trofiatason ja surviaissääskiyhteisöjen monimuotoisuuden muutokset.....	29
<b>4. TULOSTEN TARKASTELU.....</b>	<b>31</b>
4.1. Valuma-alueiden eroosion alkuperä.....	31
4.2. Turvetuotannon ja metsätalouden vaikutukset surviaissääskiyhteisöihin.....	32
4.3. Tulosten vertailu eri maankäyttömuotojen kuormituslaskelmiin.....	33
4.4. Järvien hydrologis-morfologisten erojen vaikutus kuormitusvasteeseen.....	34
<b>Kiitokset.....</b>	<b>35</b>
<b>Kirjallisuus.....</b>	<b>35</b>

## 1. JOHDANTO

Turvetuotannon ja metsätalouden vaikutus vesistöjen ekologiseen tilaan ja veden laatuun on saanut runsaasti huomiota osakseen viime vuosina. Turvemaiden ojitus aiheuttaa kiintoaineen, liukoisen orgaanisen aineen, typen, fosforin ja raudan huuhtoutumista vesistöihin (Alatalo 2000, Mattsson ym. 2006, Väyrynen ym. 2008, Heikkinen ym. 2009). Turvetuotantoalueiden ja metsätalousmaiden kuivatusvesiä vastaanottavissa vesistöissä on havaittu veden tummumista, samentumista, roskaantumista, liettymistä, kalakantojen heikkenemistä sekä rantojen ja pyydysten limoittumista (Marjaaho & Koskinen 1989, Alatalo 2000, Väyrynen ym. 2008). Näitä ongelmia on havaittu myös tämän tutkimuksen kohteena olevassa Martinjärvessä (Aluehallintovirasto 2013). Veden tummuminen ohentaa perustuotantoon soveltuvaa vesikerrosta ja pidentää lämpötilakerrostuneisuutta veden lämmitessä nopeammin keväällä (Vuorenmaa ym. 2014). Voimistuneen kerrostumisen seurauksena alusveden happiolot heikentyvät, kun alusveteen ei pääse sekoittumaan riittävässä määrin happea. Valuma-alueelta tulevan orgaanisen aineen määrän kasvu lisää alusveden hapenkulutusta, ja järven rehevöityminen saattaa voimistua sedimenttiin sitoutuneen fosforin vapautuessa herkemmin hapettomissa oloissa (Kalff 2003).

Turvetuotannon ja metsätalouden vesistövaikutuksia on tutkittu jo vuosikymmenien ajan (Hilka-Aaltonen 2006, Klöve ym. 2012). Monista vesistöistä ei kuitenkaan ole riittävän pitkäaikaisia veden laadun seurantatietoja saatavilla, jotta näiden maankäyttömuotojen vesistövaikutuksia tietyssä kohteessa pystyttäisiin osoittamaan. Järvisedimentti kuitenkin sisältää tietoa ympäristön muutoksista tuhansien vuosien ajalta, ja tätä hyödynnetään paleolimnologisissa tutkimuksissa (Smol 2008). Järvien ekologisen tilan muutosten tutkimisessa käytetään mm. sedimenttiin hautautuneita päällysveden tilaa kuvaavien piilevien ja alusveden tilaa ilmentävien surviaissäskitoukkien jäänteitä. Surviaissäskiä (kaksisiipisiin Diptera, kuuluva heimo Chironomidae) on hyödynnetty paleoekologisissa tutkimuksissa 1980-luvulta lähtien (Walker 2001). Paleolimnologista surviaissäskianalyysiä on käytetty Suomessa useissa järvien luonnontilan ja kuormitushistorian selvittämiseen keskittyneissä tutkimuksissa (mm. Itkonen ym. 1999, Meriläinen ym. 2001, Meriläinen ym. 2003, Luoto 2010). Turvetuotannon vesistövaikutusten tutkimisessa paleolimnologista surviaissäskianalyysiä ei juurikaan ole käytetty (Smol 2008).

Surviaissäskien käyttö muutosten indikaattorina perustuu tietoon niiden ekologiasta sekä fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista ympäristövaatimuksista (Walker 2001). Indikaattorina surviaissäsket ovat käyttökelpoisia, sillä ne ovat yleisiä, ne reagoivat herkästi ympäristön muutoksiin, niiden elinkierto on lyhyt ja eri taksonit suosivat erilaisia olosuhteita. Eri lajien toukat elävät sedimentissä ja kasvien tai kivien pinnalla (Tolonen ym. 2001, Walker 2001), osa kaivautuu puunkappaleisiin tai vesikasveihin (Brooks ym. 2007). Monet surviaissäskien toukat ovat detritivoreja ja suodattajia, kun taas osa syö levää ja bakteereita (Brooks ym. 2007). Joidenkin sukujen toukat ovat omnivoreja ja saalistavat myös eläinravintoa. Surviaissäskiyhteisöjen perusteella voidaan arvioida mm. vesistön rehevyyden, humoosisuuden sekä alusveden happipitoisuuden muutoksia (Saether 1979, Wiederholm 1980, Luoto 2013). Paleolimnologinen surviaissäskianalyysi soveltuu näin ollen hyvin valuma-alueen eroosiota ja vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavien maankäyttömuotojen vesistövaikutusten tutkimiseen.

Tässä pro gradu-tutkielmassa selvitettiin turvetuotannon ja metsätalouden vaikutuksia Keuruulla sijaitsevien Martinjärven ja Iso Kivijärven surviaissäskiyhteisöihin ja veden laatuun niiden ilmentämänä. Järvien surviaissäskiyhteisöjen muutoksia tutkittiin

paleolimnologisella menetelmällä viimeisimmän 400 vuoden ajalta. Tutkimusjärvet ovat pieniä metsäjärviä haja-asutusalueella, ja niistä on niukasti veden laadun seurantatietoja, joten paleolimnologinen tutkimus oli ainoa keino selvittää niiden ekologisen tilan muutoksia. Tutkielma liittyy Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Martinjärven sedimenttitutkimukseen. Martinjärven valuma-alueella on turvetuotantoalueita, joista etenkin lähimpänä sijaitsevan Kalmunevan vaikutuksia Martinjärveen tarkasteltiin käyttäen vertailujärvenä viereisellä valuma-alueella sijaitsevaa Iso Kivijärveä. Molempien järvien valuma-alueilla on runsaasti metsätalouden käyttöön ojitettuja soita. Järvien lähekkäisen sijainnin ansiosta maaperän, ilmaston ja kaukokulkeutumien vaikutus järviin on ollut samanlaista.

Tutkimus sai alkunsa, kun sekä Vapo Oy, että Martinjärven vesienhoitoyhdistys tiedustelivat GTK:lta sedimenttitutkimuksesta Martinjärven sedimenttien iän selvittämiseksi. Kalmunevan kuivatusvesiä vastaanottavan Suojärven alapuolella sijaitsevassa Martinjärvestä oli ilmennyt mm. turvelauttoja, veden samentumista, limalevää ja kalapyydysten liettymistä (Aluehallintovirasto 2013). Myös järven luontaisesta syvyydestä oli kiistanalaista tietoa, ja turvetuotannon epäiltiin lisänneen sedimentin paksuutta useilla metreillä. Kalmunevan turvetuotantoalueen jätevesien tarkkailu ja vesiensuojelutoimenpiteet olivat osoittautuneet puutteellisiksi etenkin ylivaluma-aikoina (Aluehallintovirasto 2013), mikä oli omiaan aiheuttamaan epäluottamusta alueen asukkaissa.

Kumpikaan tahoista ei kuitenkaan tilannut tutkimusta, vaan GTK päätti toteuttaa hankkeen omin varoin yhteistyössä Jyväskylän yliopiston kanssa. GTK toteutti näytteenoton sekä sedimenttien fysikaaliset ja kemialliset analyysit. Jyväskylän yliopisto toteutti pro gradu -töinä sedimenttien biologiset analyysit surviaissääskien lisäksi piilevistä.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1. Tutkimusasetelma

Turvetuotannon ja metsätalouden aiheuttamien maa-ainesten eroosion ja ravinteiden huuhtoutumisen seurauksena havaittu järvien rehevöityminen, näkösyvyyden aleneminen ja pohjan liettyminen ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat eri surviaissääskitaksonien menestymiseen (mm. Brooks ym. 2007). Näin ollen oletuksena tässä tutkimuksessa oli, että turvetuotanto ja metsätalous ovat muuttaneet Martinjärveä rehevämmäksi, ja että sen surviaissääskilajisto ilmentää rehevöitymistä, veden tummumista ja pohjan liettymistä maankäytön muutosten seurauksena. Turvetuotannon vaikutusta Martinjärven surviaissääskiyhteisöihin pyrittiin selvittämään vertailujärvenä käytetyn Iso Kivijärven avulla. Metsätalouden oletettiin aiheuttaneen Iso Kivijärven rehevöitymistä, mutta surviaissääskiyhteisöjen muutosten oletettiin olevan vähäisempiä kuin Martinjärvestä.

Tutkimusjärvien valuma-alueiden maankäyttöhistoriaa selvitettiin ja verrattiin sedimenttien ajoitustuloksiin sekä eroosiota ilmentävien alkuaineiden pitoisuuksien muutoksiin. Etenkin sedimentin kaliumpitoisuuden kasvu ilmentää kivennäismaalajien eroosiota (Smol 2008). Sedimentin vesipitoisuuden ja hiilipitoisuuden kasvu puolestaan ilmentää turvemaan eroosiota.

Tulosten tulkinnassa käytetyt surviaissääskitaksonien elinympäristövaatimukset perustuvat Saetherin (1979), Wiederholmin (1980, 1983), Brooks ym. (2007), Luodon (2013) ja Jyväsjärven ym. (2014) julkaisuihin. Surviaissääskiyhteisöjen muutoksia

verrattiin sedimenttien ajoitustuloksiin, alkuainepitoisuuksien muutoksiin sekä maankäytön historiatietoihin, jotta saatiin selville ovatko muutokset surviaissääskiyhteisöissä yhdistettävissä valuma-alueilla tehtyihin maanmuokkauksiin. Lisäksi surviaissääskiaineistosta saatuja tuloksia verrattiin samoista sedimenttiprofiileista tehdyn piileväanalyysin tuloksiin.

Turvetuotannon vaikutusta Martinjärven surviaissääskiyhteisöihin tarkasteltiin vertaamalla ennen turvetuotannon aloittamista muodostuneiden sedimenttikerrostumien eläinyhteisöjä ja turvetuotannon aloittamisen jälkeen muodostuneiden sedimenttikerrostumien eläinyhteisöjä toisiinsa. Lisäksi Martinjärven surviaissääskiyhteisöjä verrattiin Iso Kivijärven eläinyhteisöihin. Metsätalouden vaikutusta molempien järvien surviaissääskiyhteisöihin tarkasteltiin vertaamalla ennen suometsäojitusten aloittamista muodostuneiden sedimenttikerrostumien eläinyhteisöjä ja suometsäojitusten jälkeen muodostuneiden sedimenttikerrostumien eläinyhteisöjä toisiinsa. Myös avohakkuiden ja lannoituksen aiheuttama ravinnekuormitus otettiin huomioon.

Eri maankäyttömuotojen vesistökuormitusta vertailtiin kirjallisuudesta saatujen kuormitustietojen avulla ja näitä verrattiin tässä tutkimuksessa saatuihin tuloksiin. Surviaissääskianalyysin tuloksia verrattiin myös samassa tutkimushankkeessa tehdyn Martinjärven ja Iso Kivijärven piileväanalyysin tuloksiin.

## 2.2. Tutkimuskohteet

Järvet sijaitsevat Keuruulla Liesjärven ja Valkeajärven kylien läheisyydessä (Kuva 1). Martinjärvi on osa Pihlajaveden järvireittiä, jonka pohjoisosassa sijaitsevasta Liesjärvestä vedet laskevat Liesjoen kautta Vähä-Suojärveen, siitä edelleen Suojärveen ja Ryönänkosken kautta Martinjärveen. Iso Kivijärvi on latvavesi, eikä yläpuolisia järviä ole. Molemmat järvet ovat matalia ja laakeita, mutta Iso Kivijärvessä on myös selkeitä syvänteitä (Kuvat 2 ja 3). Keskeisimpiä eroja järvien välillä ovat vesistöalueen pinta-ala ja järvisyys, veden viipymä, järvien suurin syvyys ja järviältaiden tilavuus (Taulukko 1). Tutkimusjärvien pinta-alat ovat mukana vesistöalueiden pinta-aloissa Taulukossa 1. Martinjärven ekologinen luokittelu puuttuu ympäristöhallinnon Hertta-tietokannasta, mutta asiantuntija-arvion mukaan sen tila on tyydyttävä. Iso Kivijärven ekologinen tila on luokiteltu tyydyttäväksi.

Tietoa valuma-alueiden ominaisuuksista saatiin Mika Niemisen (tutkija, Suomen ympäristökeskus, henkilökohtainen tiedonanto) tuottamasta paikkatietoaineistosta. Molempien järvien aineistot on laskettu 25.2.2014. Soiden osuus vesistöalueen pinta-alasta on noin 38,6 % molempien järvien vesistöalueilla. Iso Kivijärven vesistöalueella metsätalouden käytössä on 92,9 % soista ja loput ovat luonnontilaisia. Martinjärven vesistöalueella soista 80,5 % on ojitettu metsätalouden ja 11,3 % turvetuotannon käyttöön. Suometsätalouden, turvetuotannon ja luonnontilaisten soiden osuudet on saatu SOJT\_09b1 -aineistosta, joka perustuu sekä CORINE2006 aineistoon (Suomen ympäristökeskus 2010) että maastotietokannan 2008 aineistoihin. Valuma-alueiden rajat Kuvassa 1 on määritetty molemmille järville Suomen ympäristökeskuksen VALUE-työkalulla, joka perustuu Maanmittauslaitoksen tuottamaan digitaaliseen korkeusmalliin (10 metrin hila) (tutkija Mika Nieminen, Suomen ympäristökeskus, henkilökohtainen tiedonanto). VALUE-työkalua on käytetty ESRIn ArcGIS 10.2 ohjelmistolla.

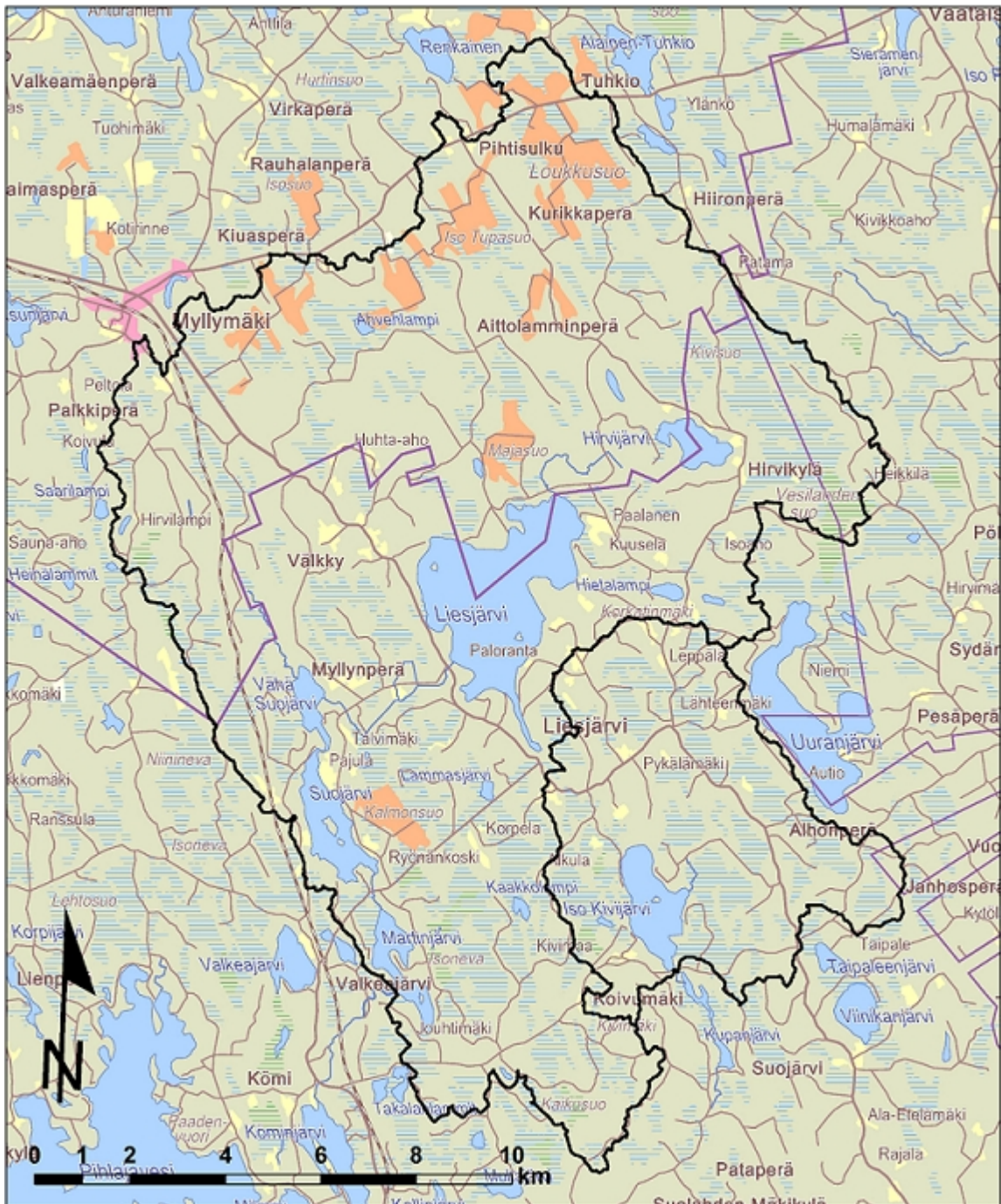
Taulukko 1. Tietoa järvistä ja vesistöalueista (va) (Tommi Kauppila, GTK, henkilökohtainen tiedonanto<sup>a</sup>, Kauppila 2014<sup>b</sup>, Mika Nieminen, SYKE, henkilökohtainen tiedonanto<sup>c</sup>, OIVA 2014<sup>d</sup>).

	Martinjärvi	Iso Kivijärvi
Järven pinta-ala (km <sup>2</sup> ) <sup>d</sup>	1,1	1,9
Keskisyvyys (m) <sup>a</sup>	1,0	1,8
Suurin syvyys (m) <sup>d</sup>	1,8	4,5
Tilavuus (milj. m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	1,1	3,1
Viipymä (vrk) <sup>b</sup>	7	90
Vesistöalueen pinta-ala (km <sup>2</sup> ) <sup>c</sup>	183,3	38,2
Vesistöalueen järvisyys (%) <sup>c</sup>	7,2	5,2
Suometsätalouden osuus va:n pinta-alasta (%) <sup>c</sup>	31,1	35,8
Turvetuotannon osuus va:n pinta-alasta (%) <sup>c</sup>	4,4	0
Luonnontilaisten soiden osuus va:n pinta-alasta (%) <sup>c</sup>	3,2	2,7
Peltojen osuus va:n pinta-alasta (%) <sup>c</sup>	1,8	2,8
Mökkien ja ympärivuotisen asutuksen osuus va:n pinta-alasta (%) <sup>c</sup>	0,7	0,9

Asutuksen ja maanviljelyn osuus on vähäinen molempien järvien vesistöalueilla (Taulukko 1). Keuruun kaupungilta saadun tiedon perusteella asutus ja maanviljely ovat levinneet Martinjärven ja Iso Kivijärven valuma-alueille pääosin 1900-luvun alussa (paikkatietoinsinööri Tuula Laaksonen, Keuruun kaupunki, henkilökohtainen tiedonanto). Martinjärven valuma-alueella vanhimmat ympärivuotisen asutuksen rakennukset sijaitsevat Liesjärven läheisyydessä ja ovat vuosilta 1885 ja 1890. Suojärven ympärillä vanhimmat rakennukset ovat vuodelta 1920. Iso Kivijärven valuma-alueella vanhin ympärivuotinen asutus on 1920-luvulta. Vähä-Suojärven, Suojärven, Martinjärven ja Iso Kivijärven ranta-asutus on pääasiassa 2000-luvulla rakennettuja mökkejä.

Vanhimmat pellot ovat oletettavasti 1800- ja 1900-lukujen vaihteesta kuten vanhin asutuskin. Peltoala on karttojen vertailun perusteella molempien järvien valuma-alueilla ollut suurempi vuonna 1960 kuin nykyään (Maanmittaushallitus 1960a, 1960b, Maanmittauslaitos 2014a). Peltojen osuus on ollut lähes nykyisellään vuodesta 1983 lähtien (Maanmittaushallitus 1983a, 1983b, 1989a, 1989b). Vuonna 2006 käytössä olevien peltojen osuus vesistöalueella oli 1,8 % Martinjärven vesistöalueella ja 2,8 % Iso Kivijärven vesistöalueella (tutkija Mika Nieminen, Suomen ympäristökeskus, henkilökohtainen tiedonanto). Martinjärveä lähimmät pellot sijaitsevat sen yläpuolisen Suojärven rannassa (yhteensä noin 40 ha). Iso Kivijärveä lähimmät pellot sijaitsevat järven luoteispuolella 10 m etäisyydellä rannasta (noin 1,6 ha), järven lounaispuolella 250 m etäisyydellä rannasta (noin 5 ha) ja järveen laskevan Loilonpuron varrella noin 650 m etäisyydellä järvestä (noin 7 ha). Peltojen pinta-alat ja etäisyydet järviin määritettiin QGIS-ohjelmalla Maanmittauslaitoksen (2014b ja c) Maastotietokannan kartoista.





Kuva 1. Vesistöalueiden rajat CORINE land cover aineistolla määritettynä © SYKE (osittain ©METLA, MMM, MML, VRK) (tutkija Mika Nieminen, Suomen ympäristökeskus, henkilökohtainen tiedonanto).

Vilholan (1986) mukaan Keuruun seudulla tehtiin kaupallisia hakkuita jo 1870-luvun alussa. Vuoteen 1928 mennessä määrämittäisiä hakkuita pidempään suorittaneilla metsänomistajilla oli hakattavissa enää pienempää puutavaraa, minkä seurauksena yksityisiä metsämaita myytiin runsaasti yhtiöille (Vilholan 1986). Näin varhaisia tietoja juuri tutkimusjärvien valuma-alueilla mahdollisesti tehdyistä metsätaloustoimenpiteistä ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan ollut käytettävissä.

Vanhojen peruskarttojen (Maanmittaushallitus 1960a, 1960b, 1983a, 1983b, 1989a, 1989b) mukaan tutkimusjärvien ympäristö on ollut vähäpuustoista suota sekä avosuota ja kangasmetsää ennen soiden ojittamista. Ojia näkyy jo vuoden 1960 kartoissa. Vilholan

(1986) mukaan Keuruun metsälautakunta kehottikin jo vuonna 1929 maanomistajia ojittamaan metsämaitaan. Martinjärven valuma-alueen suot on ojitettu lähes nykyiselleen vuoteen 1983 mennessä ja vuoden 1989 tilanne on sama kuin nykyään. Iso Kivijärven valuma-alueen suot on ojitettu nykyiselleen vuoteen 1983 mennessä. Tutkimusjärvien valuma-alueilla metsiä omistavien tahojen Metsähallituksen, UPM:n ja yksityisiä metsänomistajia edustavan Keski-Suomen metsäkeskuksen mukaan suurin osa soiden ojituksista on tehty 1960- ja 1980-lukujen välisenä aikana, kuten peruskartoistakin selviää. Soiden ojituksen selvittämistä tämän tarkemmin vaikeutti metsänomistajien arkistojen puutteellisuus tai arkistojen läpikäymisen työläys 1990-lukua vanhempien tietojen osalta.

Tutkimusjärvien valuma-alueilla tehtyä metsien lannoitusta ei erikseen selvitetty, mutta johtopäätöksissä otettiin huomioon Suomessa metsätalouselialla vallinneita käytäntöjä. Ojitettujen turvemaiden metsänkasvua pyrittiin Suomessa parantamaan laajamittaisilla fosfori- ja kaliumlannoituksilla 1960- ja 1970-luvuilla (Kenttämies 2006). Turvemaiden lannoitus väheni voimakkaasti 1970-luvun lopulla ja lähes loppui 1990-luvun alussa. Kivennäismaiden typpilannoitus yleistyi 1970-luvulla ja väheni 1990-luvulla. Metsätalouden fosforikuormituksesta 39 % aiheutui 1970-luvulla kuitenkin uudisojituksesta lannoituksen osuuden ollessa 29 %. 1970-luvulla suurin osa typpikuormituksesta aiheutui uudisojituksesta (60 %) ja raskaasti muokatuista hakkuista (18 %), joissa uudistusala aurattiin ja mätästettiin.

Kunnostusojitukset ja täydennysojitukset tutkimusjärvien valuma-alueilla ovat Metsähallitukselta, UPM:ltä ja Suomen metsäkeskukselta saatujen tietojen mukaan keskittyneet 2000-luvulle. Suurin osa kyseisistä ojituksista on tehty Martinjärven valuma-alueella vuosina 2005–2007 ja Iso Kivijärven valuma-alueella vuosina 2004–2006. Suurin osa Martinjärven valuma-alueella tehdyistä 2000-luvun ojituksista on tehty Suojärven ympäristössä (luonnonhoidon asiantuntija, Juha Jämsén, Suomen metsäkeskus, henkilökohtainen tiedonanto; suunnittelija Janne Polvela, Metsähallitus, henkilökohtainen tiedonanto) ja Vähä-Suojärven yläpuolisilla alueilla (metsäasiantuntija Jari Peltonen, UPM, henkilökohtainen tiedonanto). Ojien perkausta ja täydennysojitusta on tehty myös Martinjärven itäpuolella Juurikassuolla ja Peltomäessä Martinjärven eteläpuolella (suunnittelija Janne Polvela, Metsähallitus, henkilökohtainen tiedonanto).

Kunnostusojituksia on tehty Vähä-Suojärven, Suojärven ja Martinjärven ympäristössä arviolta 40 ha alalla vuosittain vuosien 2001–2010 välillä. Vuosien 2001–2010 välillä on ojitettu vuosittain arviolta 45 ha Iso Kivijärven valuma-alueella. Kunnostusojitusten kuormitusvaikutus on kirjallisuudesta löytyvien tietojen perusteella yhtä suuri tai suurempi kuin uudisojituksella (Manninen 1998, Joensuu 2013). Tietoa 2000-luvulla tehdyistä kunnostusojituksista Liesjärven pohjoispuolisella alueella ei tässä tutkimuksessa ollut käytettävissä. Myös Iso Kivijärven itäpuolisilta alueilta jäi tietoja puuttumaan. Tämä otettiin huomioon valuma-alueiden eri maankäyttömuotojen aiheuttaman kuormituksen vertailussa.

Lähes kaikki kivennäismaiden kangasmetsät, joita on yhteensä noin 42 % Martinjärven vesistöalueesta ja 43 % Iso Kivijärven vesistöalueesta (tutkija Mika Nieminen, Suomen ympäristökeskus, henkilökohtainen tiedonanto), on Luonnonvarakeskuksen (2015) paikkatietoaineiston mukaan avohakattu 30–40 vuotta sitten lukuun ottamatta Liesjärven pohjoispuolta. Molempien järvien vesistöalueiden pinta-alasta noin 1,1 % on avohakattu 2000-luvulla. Molempien järvien rannan tuntumasta on avohakattu metsää kivennäismailla 30–45 vuotta sitten (Luonnonvarakeskus 2015). 2000-luvulla hakattujen alueiden pinta-alat määritettiin Maanmittauslaitoksen (2015)

Paikkatietoikkuna-sivuston mittaustyökalulla. Metsitetyillä soilla puusto on nyt pääasiassa 50–60-vuotiaista (Luonnonvarakeskus 2015).

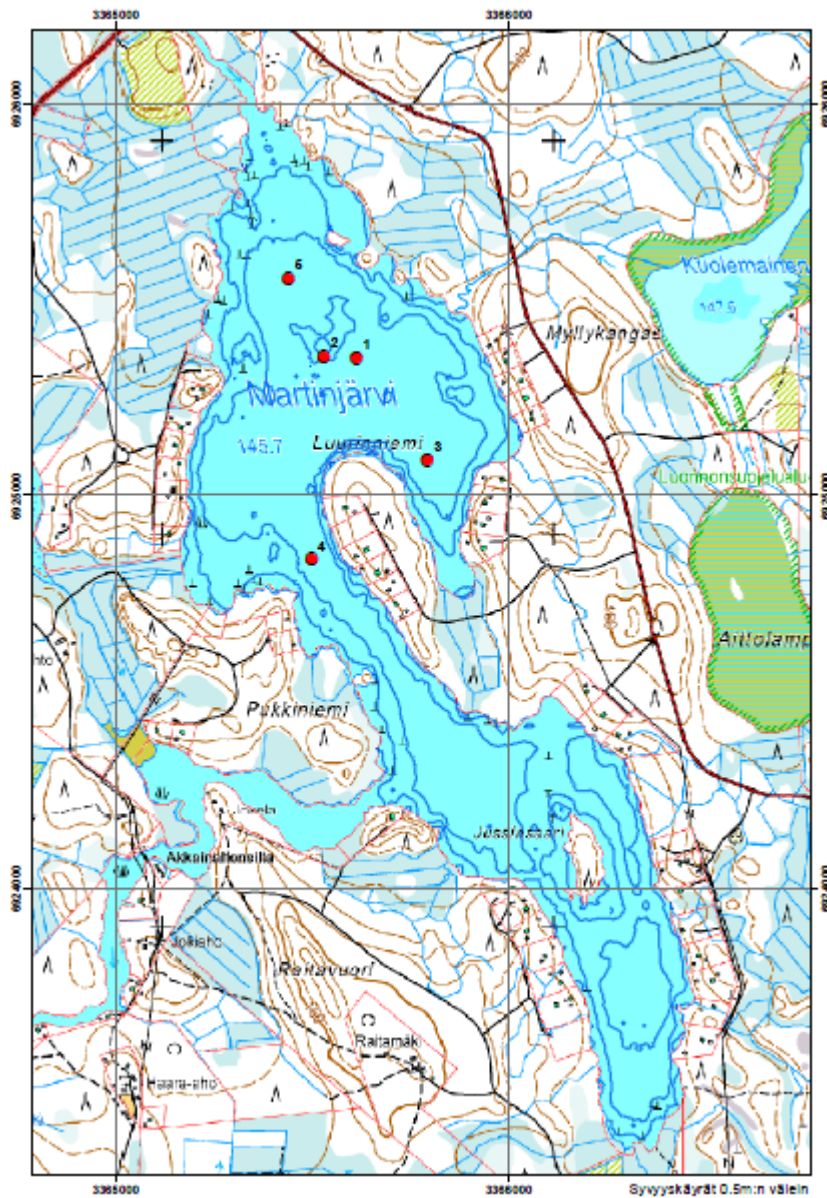
Martinjärveä lähin turvetuotantoalue sijaitsee Kalmunevalla (Kalmonsuo Kuvassa 1), jonka kuivatusvedet laskevat Martinjärven yläpuoliseen Suojärveen. Kalmunevan turvetuotantoalueen laajuus on enimmillään ollut 95 ha. Vuoden 2013 lupapäätöksessä mainitaan nykyisen tuotantoalueen auma-alueineen kattavan 55,9 ha. Muut turvetuotantoalueet Majasuo, Loukkusuo, Mustasuo, Kiuassuo, Pieni Tupasuo ja Iso Tupasuo sijaitsevat valuma-alueen pohjoisosassa yli 10 km etäisyydellä Martinjärvestä (Kuva 2). Mustasuon ja Kiuassuon valumavedet laskevat Kaijanpuron kautta Vähä-Suojärveen. Liesjärveen laskevat Majasuon valumavedet sekä Loukkusuon valumavedet Hirvijärven ja Hirvijoen kautta, Iso Tupasuon valumavedet Majapuron ja Hirvijoen kautta sekä Pieni Tupasuon valumavedet Kuolemaisempuron kautta. Valuma-alueen pohjoisosan tuotantoalueilla turpeen kaivuu on aloitettu vuosien 1972–1985 välillä.

Turvetuotantoalueen kuivatustyöt Martinjärven yläpuolisen Suojärven itäpuolella sijaitsevalla Kalmunevalla on aloitettu vuonna 1978 ja turvetuotanto vuonna 1982 (Aluehallintovirasto 2013). Vuoden 1960 peruskartan mukaan Kalmuneva on ollut luonnontilassa avosuo. Vesiensuojelumenetelmänä Kalmunevalla on käytetty kesästä 2012 lähtien uutta pumppausallasta ja pumppaamoja, pintapuomilla varustettuja laskeutusaltaita ja vanhaa pumppaamoja sekä tuotannosta poistuneelle alueelle perustettua 4,7 ha kosteikkoa (Aluehallintovirasto 2013). Tätä ennen vesistökuormituksen vähentämiseen on käytetty sarkaojia, laskeutusaltaita ja hakepatoa. Aluehallintovirasto (2013) on myöntänyt ympäristöluvan turpeennostoon Kalmunevalla vuoden 2015 loppuun saakka.

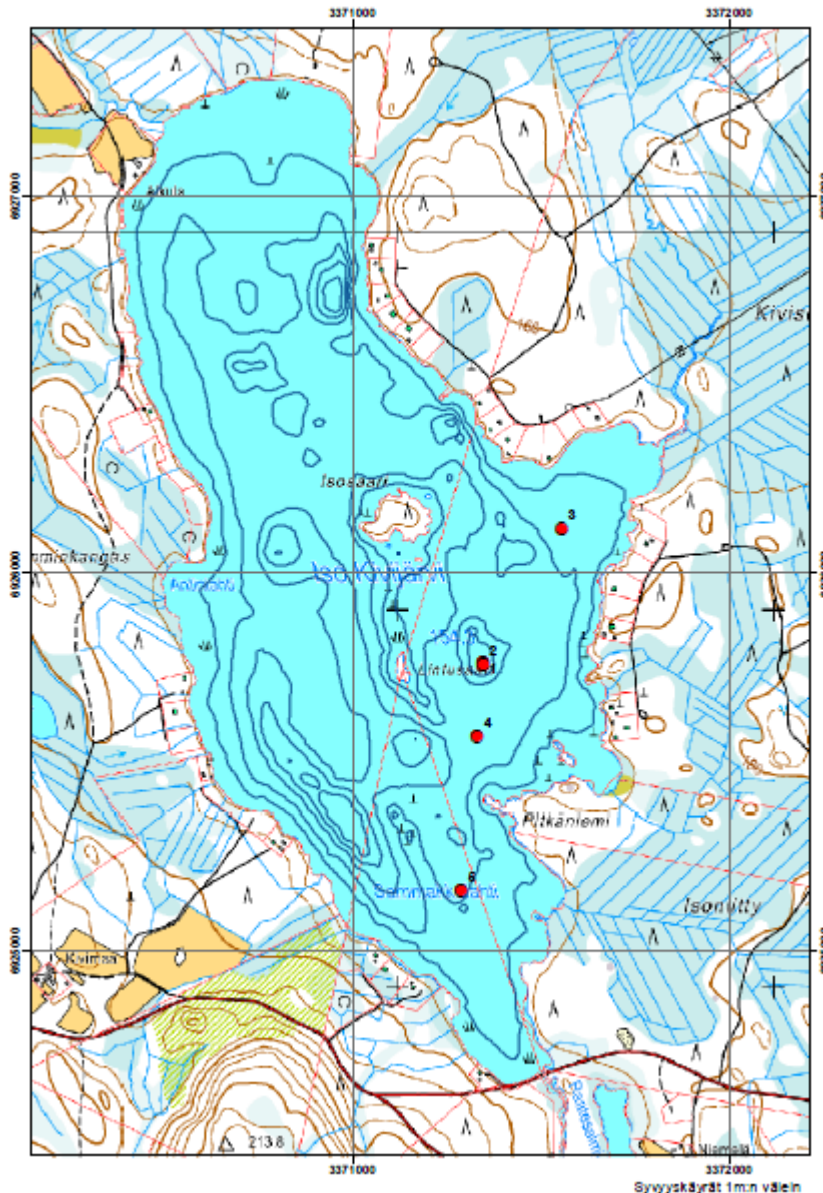
### 2.3. Näytteenotto ja kaikuluotaus

Geologian tutkimuskeskus kairasi sedimenttinäytteet Martinjärvestä ja Iso Kivijärvestä maaliskuussa 2012. Ajoitustulosten luotettavuuden varmistamiseksi GTK kairasi sedimenttiprofiileita useista eri kohdista erilaisilla noutimilla (Kuvat 2 ja 3). Kairaukseen käytettiin Limnos-sedimenttinoudinta (d=92 mm, h=60 cm), GTK:n kehittämää Bertta-mäntänoudinta (d=146 mm, h=150 cm) ja <sup>14</sup>C-ajoitusta varten pidempää mäntäkairaa (d=59 mm, h=niin paljon kuin tarvitaan, esim. 750 cm).

Piilevä- ja surviaissääskianalyysiin käytetyt sedimenttiprofiilit kairattiin järvien valituista syvänteistä Bertta-mäntänoutimella. Näytteenottopaikkojen valinta Martinjärvellä perustui syvyyskartoitukseen, joka oli tehty koetintangolla. Iso Kivijärvellä näytteenottopaikkojen valinta perustui paikallisten asukkaiden tietoihin syvänteiden sijainnista. Kesällä 2013 järvien pohjien profiilit (Kuvat 2 ja 3) ja sedimenttikerrostumien rakenteet tutkittiin kaikuluotaamalla (Kauppila 2013). Kaikuluotaukseen käytettiin pehmeisiin sedimentteihin tunkeutuvaa 24 kHz matalataajuuskaikuluotainta. Kaikuluotauksen perusteella näytteenotto osui syvänteisiin, joista saatiin edustavat kairausnäytteet.



Kuva 2. Martinjärven näytteenottoaikat ja syvyysskäyrät 0,5 metrin välein (Pekka Forsman, GTK, henkilökohtainen tiedonanto). Numero 2 on Bertta-noutimella kairatun profiilin kairauspaikka. Numerot 1 ja 3–5 ovat Limnos-sedimenttinoutimella kairattujen profiilien kairauspaikkoja.



Kuva 3. Iso Kivijärven näytteenottoaikat ja syvyyskäyrät 1 metrin välein (Pekka Forsman, GTK, henkilökohtainen tiedonanto). Numero 2 on Bertta-noutimella kairatun profiilin kairauspaikka. Numerot 1 ja 3–5 ovat Limnos-sedimenttinoutimella kairattujen profiilien kairauspaikkoja.

#### 2.4. Sedimentin ajoitus ja fysikaaliset ja kemialliset analyysit

Bertta-mäntänoutimella kairatut sedimenttiprofiilit jaettiin 1 cm paksuisiin viipaleisiin (osanäytteisiin) ja kunkin viipaleen alarajan ikä määritettiin  $^{210}\text{Pb}$ -ajoituksella.  $^{137}\text{Cs}$ -ajoituksella määritettiin syvyys, johon vuoden 1986 Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuudesta aiheutuneen  $^{137}\text{Cs}$ -laskeuman aikainen sedimenttikerros sijoittui. Säteilyturvakeskus määrittä  $^{137}\text{Cs}$ - ja  $^{210}\text{Pb}$ -pitoisuudet profiilista 25 cm syvyyteen saakka, ja raportoi tulosten perusteella Martinjärven sedimentin iän 13 cm syvyyteen saakka ja Iso Kivijärven sedimentin iän 16 cm syvyyteen saakka (Säteilyturvakeskus 2013). Näitä syvempien sedimenttikerrosten ikä 36 cm saakka määritettiin ekstrapoloimalla lineaarisesti excel-ohjelmalla (johtava tutkija Tommi Kauppila, GTK, henkilökohtainen tiedonanto). Luonnontieteellinen keskusmuseo (2014) teki vanhempien pitkällä mäntänoutimella kairattujen sedimenttien (100–300 cm) iän määrittämisen  $^{14}\text{C}$ -ajoituksella.

Sedimenttiprofiileista määritettiin myös magnetoituvien mineraalimaa-ainesten määrää kuvaava magneettinen susceptibiliteetti sekä sedimentin vesipitoisuus ja tiheys. Magneettinen susceptibiliteetti tukee ajoitustulosten tulkintaa, kun tunnetaan ajankohta, jolloin valuma-alueella on harjoitettu mineraalimaa-ainesten eroosiota aiheuttavaa toimintaa (Smol 2008). Sedimentin vesipitoisuudesta ja tiheydestä voidaan päätellä kivennäismaalajien ja niitä löyhemmän ja kevyemmän turvemaan eroosiota valuma-alueella. Runsaasti orgaanista ainetta sisältävän sedimentin vesipitoisuus on suurempi kuin kivennäismaalajeja sisältävän.

Bertta-mäntänoutimella kairatuista sedimenttiprofiileista tehtiin 33 alkuaineen määrittäminen. Ag, As, Bi, Cd, Mo, Sb, Se, Th, Tl ja U määritettiin monialkuainemäärityksenä ICP-MS-tekniikalla GTK:n laboratoriossa. Al, B, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti, V ja Zn määritettiin monialkuainemäärityksenä ICP-OES-tekniikalla. C ja N määritettiin CHN-analysaattorilla. Alkuainepitoisuuksien muutoksista sekä hiilen ja kiintoaineen vuotuisesta kertymästä pääteltiin valuma-alueilla tapahtunutta eroosiota. Lyijypitoisuutta käytettiin ajoitustulosten tukena, sillä ympäristön lyijypitoisuus oli Pohjois-Euroopassa korkeimmillaan 1970- ja 1980-luvuilla kunnes teollisuuden ja liikenteen lyijypäästöjä alettiin rajoittaa (Bränvall ym. 2001).

Lisäksi tarkasteltiin hiili- ja typpipitoisuuksien (C/N), rauta- ja mangaanipitoisuuksien (Fe/Mn) sekä rauta- ja fosforipitoisuuksien (Fe/P) suhteita. Hiilen ja typen suhteen kasvu kertoo runsaasta valuma-alueelta tulevan hiilen määrästä (Kaushal & Binford 1999). Suhdeluvun lasku puolestaan kertoo levien runsastumisesta eli järven rehevöitymisestä. Korkea Fe/Mn kertoo orgaanisen aineksen hajotustoimintaan liittyvistä pelkistävästä olosuhteista mangaanin pelkistyessä rautaa helpommin (Mackereth 1966, Pihlaja 2001). Raudan ja fosforin suhteesta voidaan päätellä sedimentin fosforinsitomiskykyä (Jensen ym. 1992). Jensenin ym. (1992) mukaan sedimentti pystyy sitomaan fosforia, kun sedimentin Fe/P on yli 15.

## 2.5. Surviaissäskinäytteiden esikäsittely ja määrittäminen

Surviaissäskianalyysi tehtiin Bertta-mäntänoutimella kairattujen sedimenttiprofiilien päällimmäisistä kerrostumista 36 cm syvyyteen saakka. Kummastakin järvestä analyysiin käytettiin yhden sedimenttiprofiilin sedimenttiä. Surviaissäskianalyysiin käytettiin 1,5–10 g märkää sedimenttiä jokaisesta 1 cm paksuisesta osanäytteestä. Näiden määrien arvioitiin sisältävän 50–100 pääkapselia, jota pidetään riittävänä määränä luotettavien tulosten saamiseksi (Walker 2001). Suurimmat sedimenttimäärät tarvittiin pintanäytteistä niiden suuren vesipitoisuuden vuoksi. Samoista sedimenttiprofiileista tehtiin myös ajoitukset ja alkuainemääritykset.

Molemmista järvistä tutkittiin 21 näytettä. <sup>137</sup>Cs-ajoituksen perusteella vuoden 1986 sedimenttikerrostuma oli molemmissa järvissä noin 8 cm syvyydellä. Surviaissäskianalyysissä sedimenttiprofiileista tutkittiin jokainen näyte 16 cm saakka, jotta saatiin mahdollisimman tarkkaan selville surviaissäskien yhteisökoostumus ennen ja jälkeen turvetuotannon aloittamisen. Tämän lisäksi tutkittiin joka toinen näyte 20 cm saakka ja kolme näytettä syvemmistä kerroksista. Vanhimman näytteen sedimentti 35–36 cm syvyydeltä oli <sup>210</sup>Pb-ajoituksen perusteella vuosilta 1641–1653 Martinjärvessä ja vuosilta 1611–1624 Iso Kivijärvessä.

Sedimentin märkämässä punnittiin ja punnittu näyte laitettiin yöksi 10 % KOH-liuokseen huoneenlämpöön orgaanisen aineen liuottamiseksi. Näyte seulottiin 100 µm seulalla, ja kaikki surviaissäskitoukkien pääkapselit ja sulkasääskitoukkien mandibelit poimittiin ura-alustaa käyttäen. Poiminnassa käytettiin preparointimikroskooppia (25–50

kertainen suurennos). Pääkapselit kestävästi Euparal®-liuokseen preparaattilasille lajintunnistusta varten. Pintanäytteitä ja syvempien kerrostumien näytteitä määritettiin satunnaisessa järjestyksessä ja vuorotellen molemmista järvistä.

Määrittämiseen käytettiin Leica Labrolux S tutkimusmikroskooppia 125–1250 kertaisella suurennoksella. Taksonien tunnistaminen tehtiin surviaissääskien suuosien (mandibeli, antenna, mentum, ventromentaalilevy) ja sulkasääskien mandibelien perusteella tunnistuskirjallisuutta (Hofmann 1971, Saether 1975, Wiederholm 1983, Nilsson 1997, Brooks ym. 2007) käyttäen. Kaksi saman taksonin (samankokoista) pääkapselin puolikasta laskettiin yhdeksi yksilöksi. Kaksi sulkasääsken mandibelia laskettiin yhdeksi yksilöksi.

## 2.6. Numeeriset analyysit

Molemmille järville laadittiin C2-ohjelmalla stratigrafiat, jotka havainnollistavat eri surviaissääskitaksonien yleisyyttä eri sedimenttikerroksissa. Stratigrafioissa käytettiin kunkin taksonin suhteellista osuutta kaikista näytteessä havaituista taksoneista. Humoosisuuden muutosten tarkastelemiseksi surviaissääskitaksonit jaoteltiin oligohumoosisien, mesohumoosisien ja polyhumoosisien vesien tyypillisiin taksoneihin Saetherin (1979) ja Luodon (2013) mukaan (Liite 1), ja laskettiin niiden osuudet kaikista näytteissä havaituista taksoneista kussakin 1 cm sedimenttikerrostumassa.

Järvien trofiatason muutoksia tarkasteltiin laskemalla pohjaeläinyhteisöihin perustuva Profundal Invertebrate Community Metrics -indeksi (PICM) (Aroviita ym. 2012, Jyväsjärvi ym. 2014). PICM soveltuu matalille järville paremmin kuin Wiederholmin (1980) Benthic Quality Index (BQI), sillä se sisältää suuremman määrän taksoneita (Jyväsjärvi ym. 2014). Asteikolla 1-5 suuret arvot kuvaavat oligotrofiaa ja pienet arvot eutrofiaa, kuten BQI:ssä (Jyväsjärvi ym. 2014). PICM laskettiin Ympäristöhallinnon laskupohjalla (Suomen ympäristökeskus 2013).

Surviaissääskiyhteisöjen muutoksia tarkasteltiin pääkomponenttianalyysillä, joka kuvaa näytteiden välisiä yhteisörakenteiden eroja. Analyysissä käytettiin kunkin taksonin suhteellista osuutta kaikista näytteessä havaituista taksoneista. Pääkomponenttianalyysissä aineistosta jätettiin pois vähälukuiset taksonit, joiden osuus oli kaikissa näytteissä alle 1 %. Myös useita erilaisissa ympäristöissä esiintyviä lajeja sisältävät taksonit Orthocladinae, Tanypodinae, *Tanytarsus* ja *Procladius* jätettiin pois pääkomponenttianalyysistä. Pääkomponenttianalyysi toteutettiin R-ohjelmalla.

Surviaissääskiyhteisöjen muutosten yhteyttä alkuainepitoisuuksien muutoksiin tarkasteltiin laskemalla korrelaatio ja piirtämällä hajontakuviot pääkomponenttianalyysissä surviaissääskiaineiston vaihtelusta eniten selittävän PC1-akselin piste-arvojen ja sedimentin alkuainepitoisuuksien välillä. Myös PC1-akselin piste-arvojen ja PICM-arvojen välinen korrelaatio laskettiin molemmille järville. Korrelaatioanalyysi toteutettiin R-ohjelmalla.

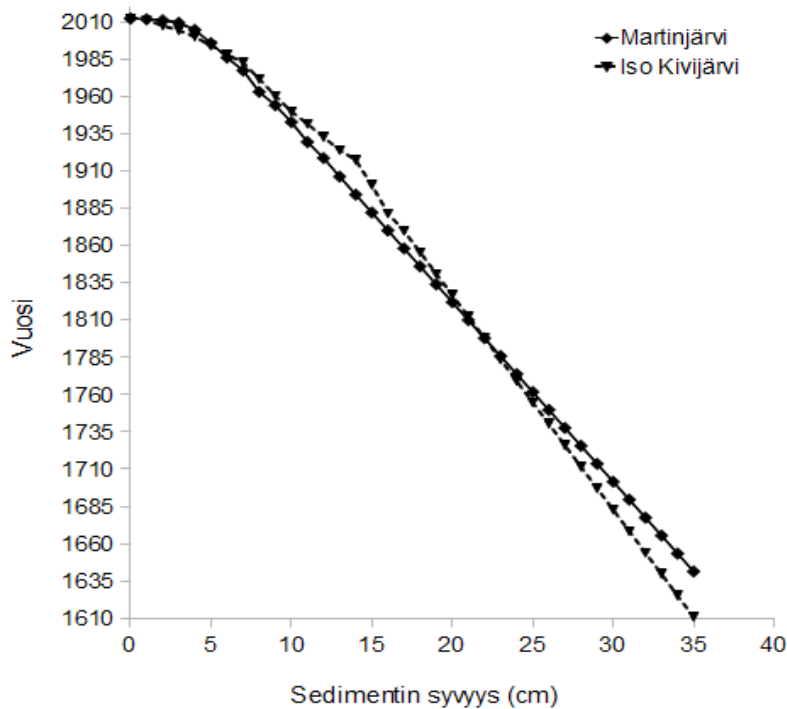
Muutoksia havainnoitiin myös laskemalla lajirunsaus ja Shannonin diversiteetti-indeksi eri sedimenttikerroksissa. Näiden laskemisessa huomioitiin näyteeseen vaikutus yksilömäärään ja lajirunsauteen vakioimalla kaikkien näytteiden yksilömäärä pienimmän näytteen yksilömäärän (70) mukaan. Laskentaan käytettiin Excel-makrolla toteutettua rarefaktiota 1000 permutaatiolla.

### 3. TULOKSET

#### 3.1. Sedimentin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet

$^{137}\text{Cs}$ -ajoituksen perusteella vuoden 1986 aikainen kerrostuma sijoittui molempien järvien sedimentissä 7-8 cm syvyyteen syvänteistä kairatuissa profiileissa (Kauppila 2013).  $^{210}\text{Pb}$ - ja  $^{241}\text{Am}$  -määritykset antoivat yhtäpitävän tuloksen  $^{137}\text{Cs}$ -ajoituksen kanssa (Kauppila 2013).  $^{210}\text{Pb}$ -ajoituksen perusteella tässä tutkielmassa tarkastellun viimeisimmän 400 vuoden aikana sedimentaatio oli lähes yhtä nopeaa molemmissa järvissä (Kuva 4), mutta syvemällä ero kasvoi huomattavaksi.  $^{14}\text{C}$ -ajoituksen perusteella Martinjärven sedimentti oli 100 cm syvyydellä noin 3600 vuotta vanhaa ja Iso Kivijärvellä vastaavassa syvyydessä sedimentin ikä oli noin 4800 vuotta (Kauppila 2014).

Magneettisen susceptibiliteetin analyysi osoitti magneetoituvien mineraalimaa-ainesten osuuden alkaneen kasvaa Martinjärven sedimentissä noin 14 cm syvyydellä ja Iso Kivijärven sedimentissä noin 15 cm syvyydellä, mikä vastasi radiolyijyjajoituksen perusteella 1900-luvun alkua molemmissa järvissä. Voimakkain magneettisen susceptibiliteetin kasvu alkoi 8–9 cm syvyydellä Martinjärven sedimentissä, mikä vastaa vuosien 1963–1976 kerrostumaa ja Iso Kivijärvellä 10–11 cm syvyydessä, mikä vastaa vuosien 1950–1960 kerrostumaa.

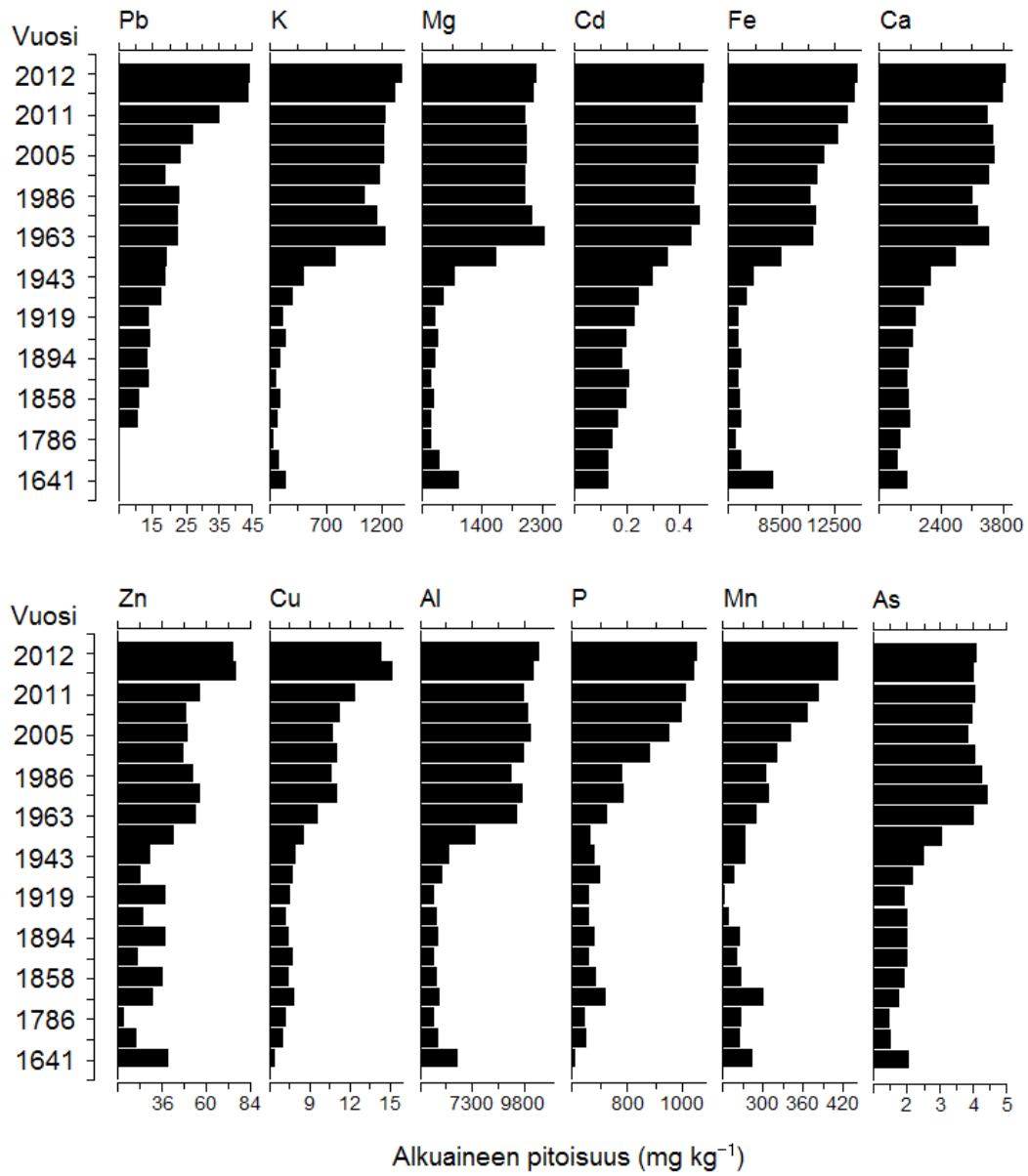


Kuva 4. Martinjärven ja Iso Kivijärven pintasedimenttikerrosten ikä radiolyijyjajoituksen perusteella.

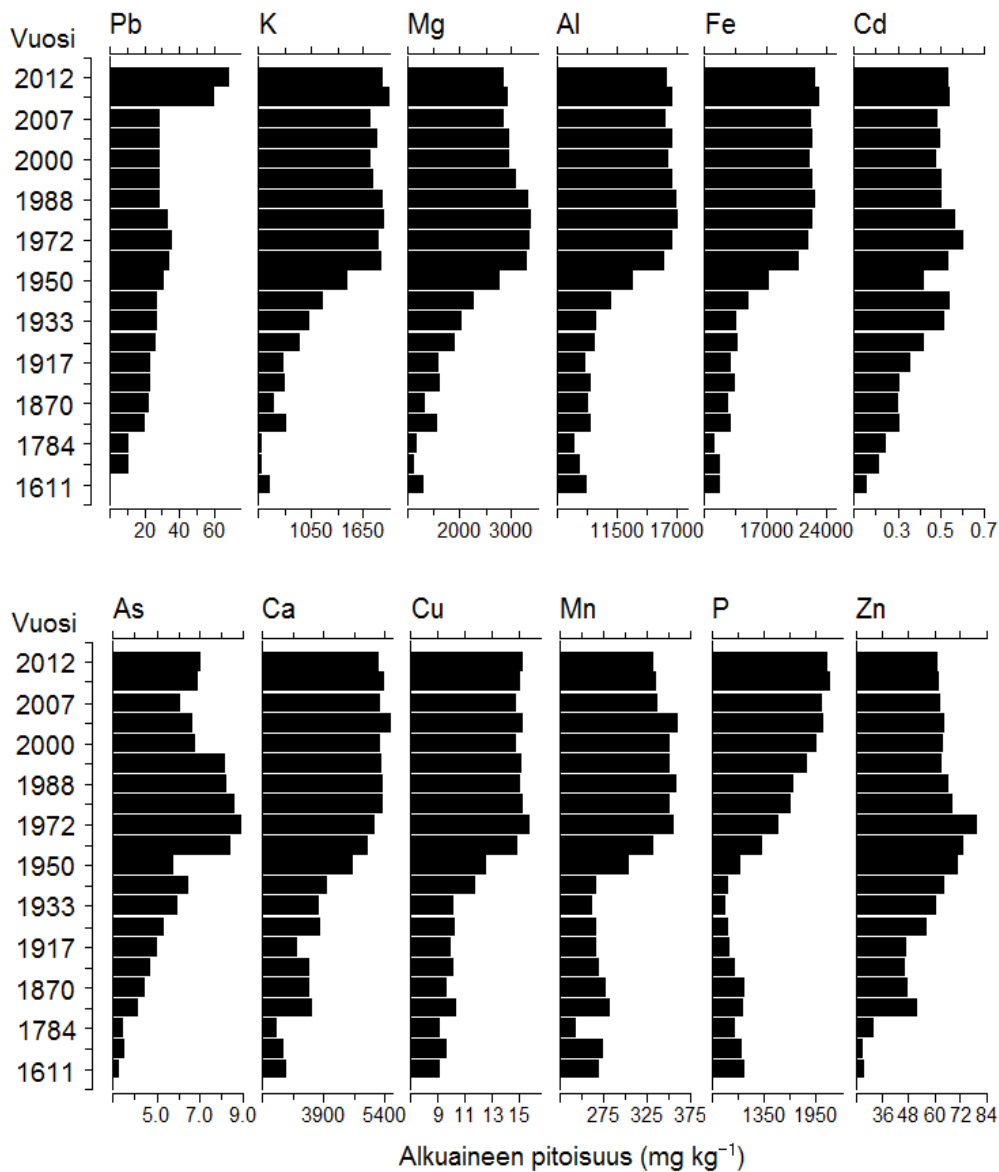
Sedimenttikemian analyysi osoitti mineraalimaa-ainesten eroosiota ilmentävän kaliumpitoisuuden alkaneen kasvaa molempien järvien sedimenteissä 1900-luvun alussa (Kuvat 5 ja 6). Voimakkain kaliumpitoisuuden kasvu ajoittui 1960-luvulle. Myös muiden alkuaineiden pitoisuudet kasvoivat näihin aikoihin. Martinjärven sedimentin kalium-, rauta- ja alumiinipitoisuudet laskivat 1980-luvun sedimenteissä, mutta kasvoivat jälleen hieman 1990-luvun puolivälin jälkeen. Iso Kivijärvellä niiden pitoisuuksien kasvu loppui



1980-luvulla ja kääntyi laskuun, mutta pitoisuudet kasvoivat hieman vuosien 2004–2006 kerrostumassa.

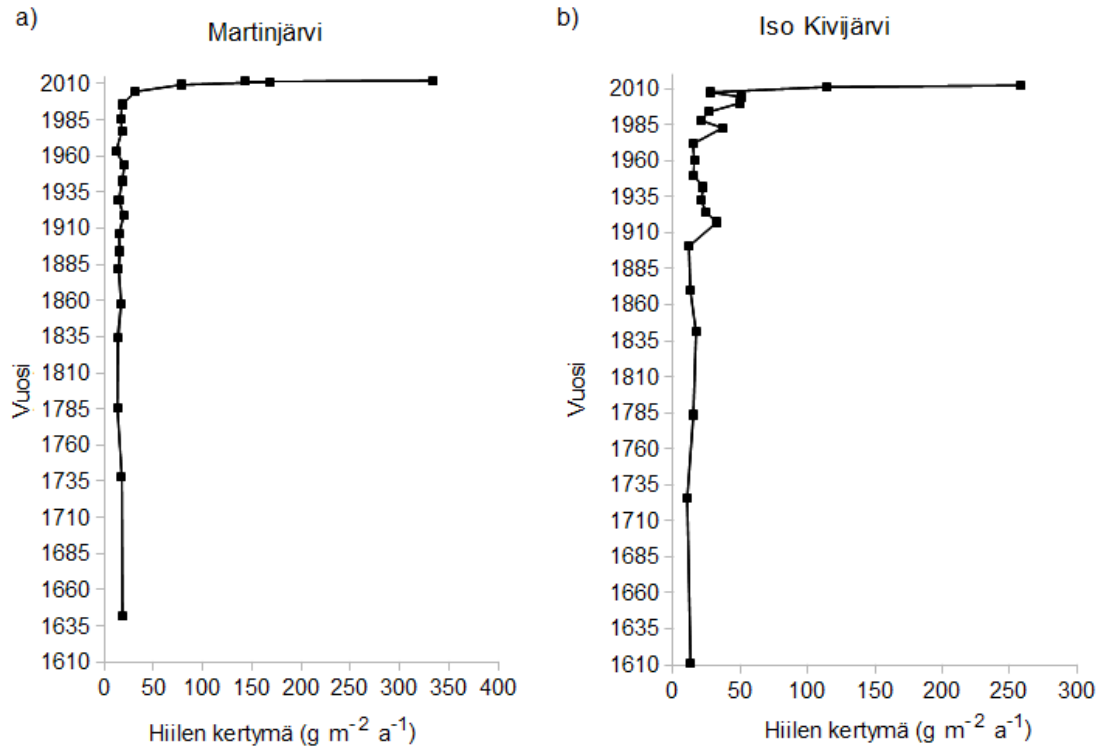


Kuva 5. Valittujen alkuaineiden pitoisuusvaihtelu Martinjärven sedimentissä.



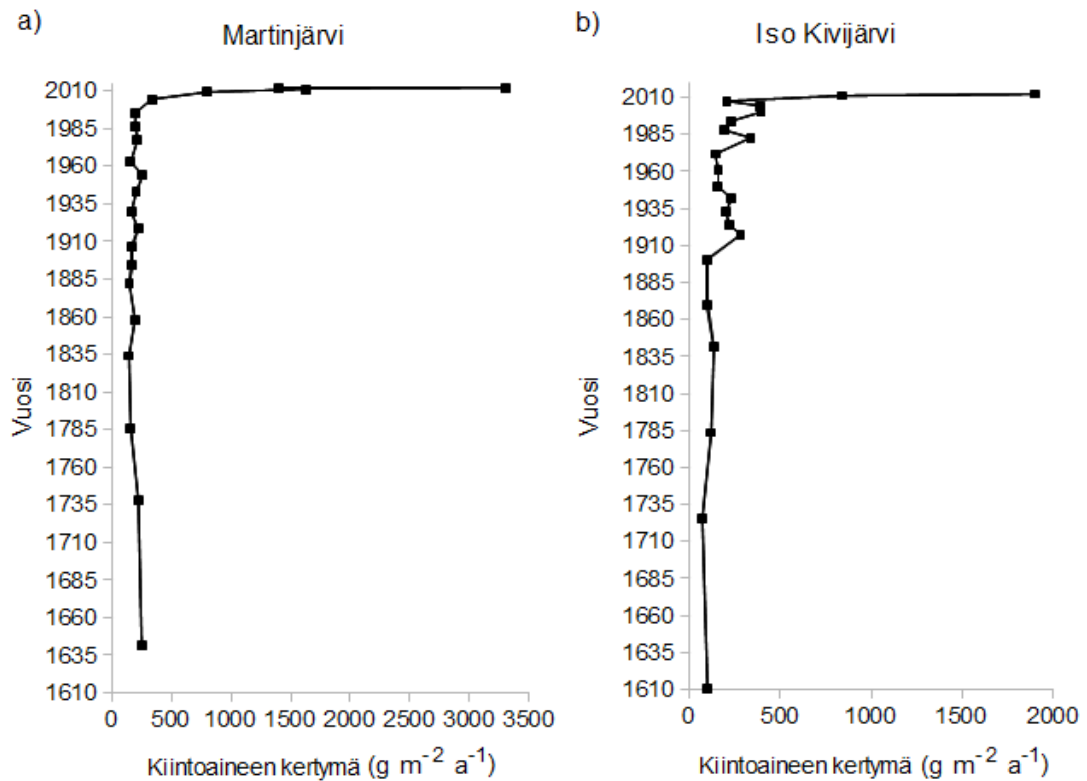
Kuva 6. Valittujen alkuaineiden pitoisuusvaihtelu Iso Kivijärven sedimentissä.

Hiilen kertymä oli Martinjärvessä 12–16 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> vuoteen 2003 saakka ja 31–78 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> vuosina 2004–2010 (Kuva 7 a). Pintanäytteissä (0–3 cm) hiilen kertymä oli Martinjärvellä 140–330 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. Iso Kivijärvessä hiilen kertymä oli 11–17 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> vuoteen 1916 saakka (Kuva 7 b). Vuosina 1917–1924 kertymä kasvoi 2–3 kertaiseksi ja palasi 1900-lukua edeltävälle tasolle vuosien 1950–1981 ajaksi. Hiilen vuotuinen kertymä kasvoi kolminkertaiseksi 1980-luvulla. Kertymä laski hieman 1990-luvulla, jolloin se oli 20–27 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. 2000-luvun alussa hiilen kertymä kasvoi jälleen ja oli noin 50 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> vuosina 2000–2006. Tämän jälkeen hiilen kertymä laski ja oli 2007–2011 kerrostumissa 27 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. Pintanäytteissä (0–2 cm) hiilen kertymä oli Iso Kivijärvellä 110–260 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>.



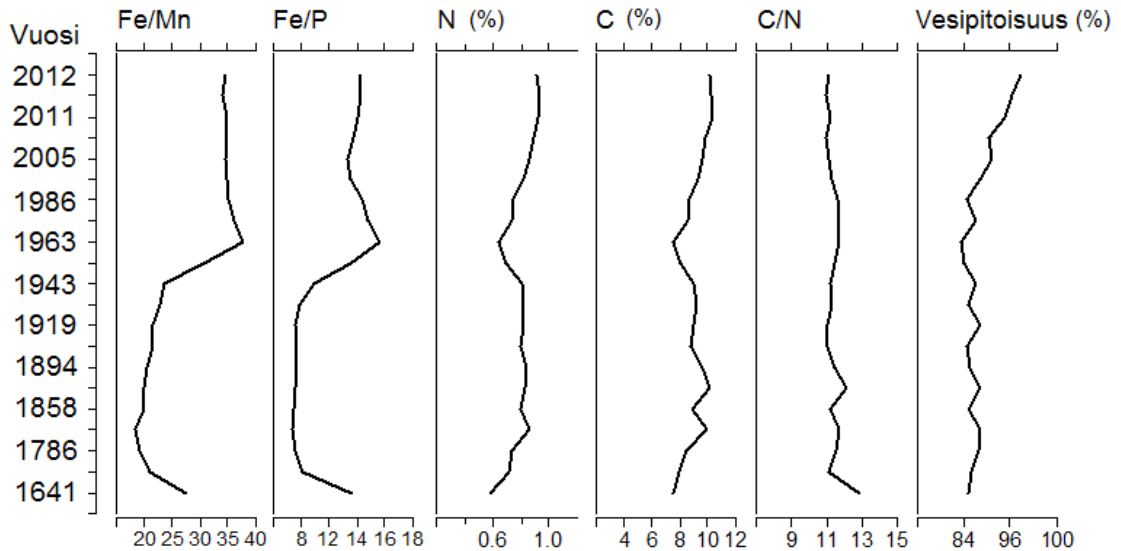
Kuvat 7 a ja b. Hiilen vuotuinen kertymä tutkimusjärvissä.

Molempien järvien kiintoaineen kertymässä havaittiin samanlainen trendi kuin hiilen kertymässä (Kuvat 8 a ja b). Kiintoaineen kertymä kasvoi Iso Kivijärvessä 2000-luvulla nelinkertaiseksi vuosien 1610–1910 kerrostumiin verrattuna eli hieman vähemmän kuin hiilen kertymä, joka kasvoi vastaavana aikana lähes viisinkertaiseksi (Kuva 7 b).



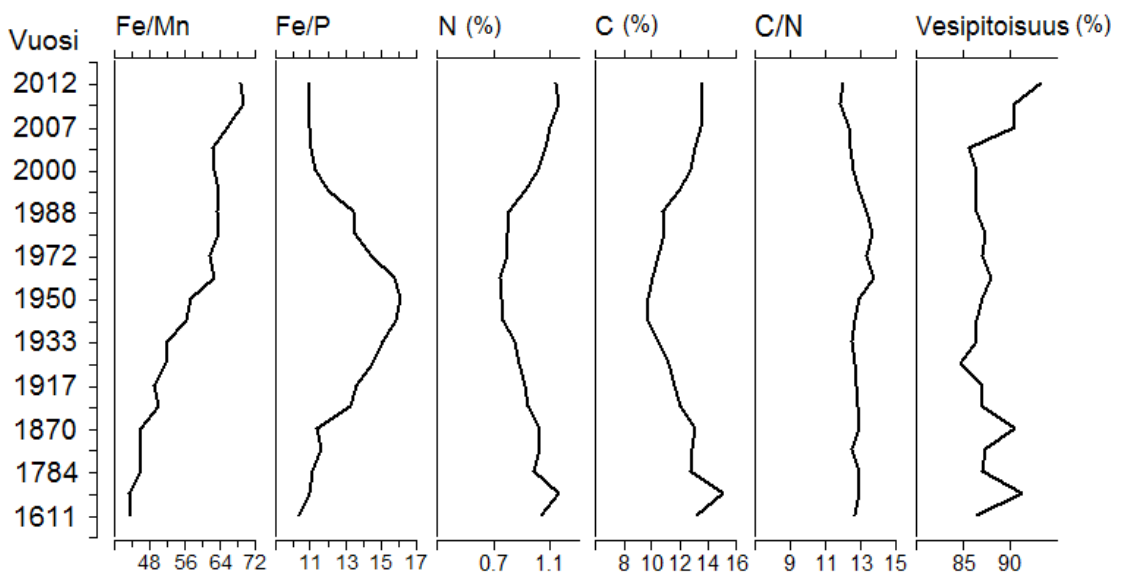
Kuvat 8 a ja b. Kiintoaineen vuotuinen kertymä tutkimusjärvissä.

Tutkimusjärvien sedimenttien hiili- ja typpipitoisuudet laskivat samaan aikaan kun muiden alkuaineiden pitoisuudet kasvoivat voimakkaasti 1960-luvulla (Kuvat 9 ja 10). Hiili- ja typpipitoisuudet kasvoivat hieman 1980-luvun jälkeen muiden alkuaineiden pitoisuuksien vakiintumisen jälkeen. Molempien järvien sedimenttien hiilen ja typen suhde (C/N) sekä vesipitoisuus kasvoivat hieman soiden ojittamisen aikoihin 1960- ja 1980-lukujen välisenä aikana (Kuvat 9 ja 10). Muutokset olivat kuitenkin pieniä ja etenkin vesipitoisuus vaihteli myös muina aikoina.



Kuva 9. Martinjärven sedimentin ominaisuuksia.

Rauta- ja mangaanipitoisuuksien suhde (Fe/Mn) kasvoi voimakkaasti Martinjärven sedimentissä 1960-luvulla (Kuva 9) ja tasoittui suhdeluvun 35 tasolle. Iso Kivijärvellä Fe/Mn oli 1600-luvulla 44 ja se kasvoi nykypäivää kohti ollen 2000-luvulla 68 (Kuva 10). Kuvien 9 ja 10 perusteella molempien järvien sedimentin fosforinpidätyskyky kasvoi 1960-luvulle tullessa, mutta heikentyi pian sen jälkeen. Sedimentin Fe/P ei laskenut Martinjärvellä yhtä voimakkaasti kuin Iso Kivijärvellä, joten Martinjärvellä oli 1960-luvun jälkeen suurempi kapasiteetti sitoa fosforia kuin Iso Kivijärven syvänteen sedimentillä.



Kuva 10. Iso Kivijärven sedimentin ominaisuuksia.

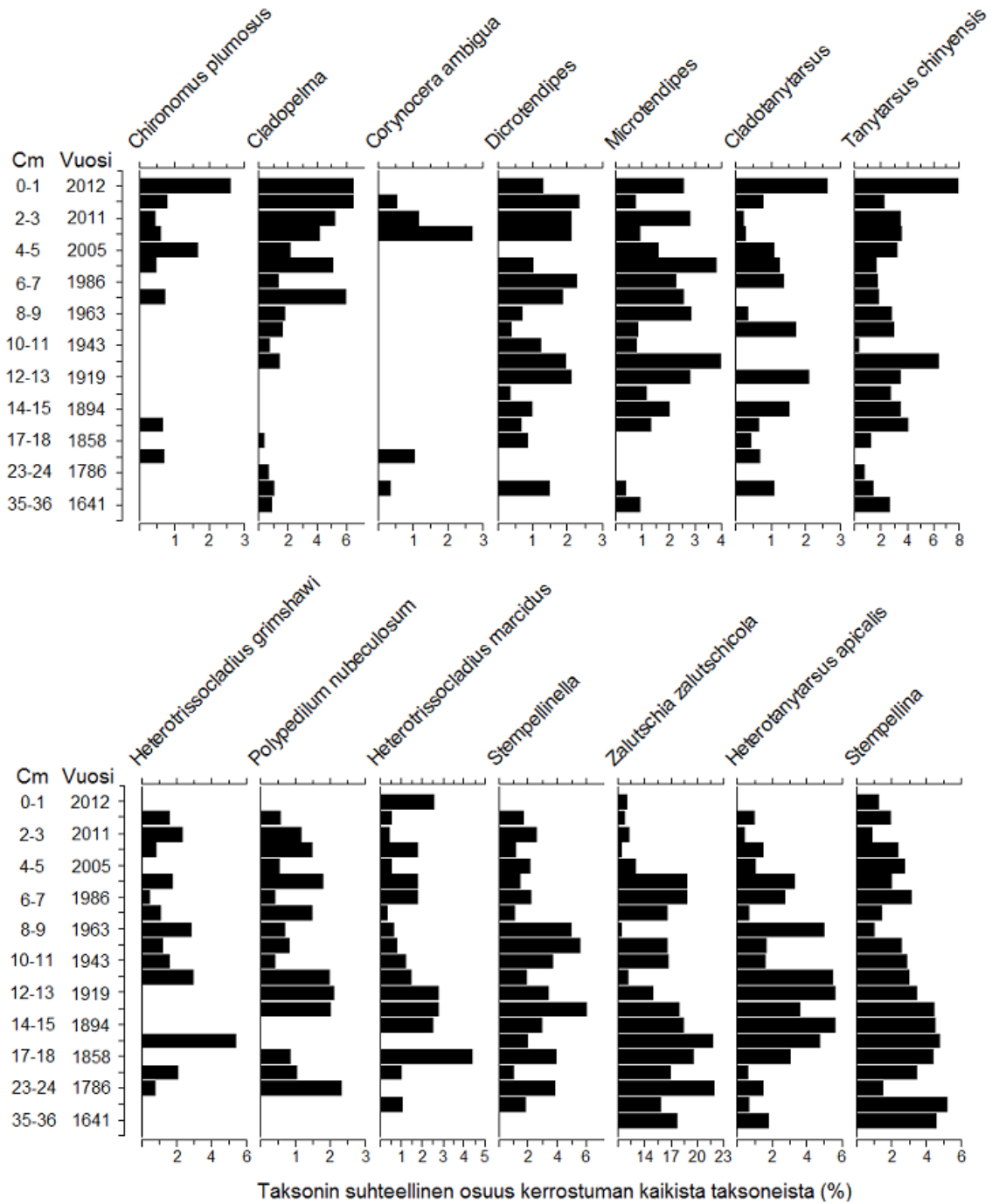
## 3.2. Surviaissääskianalyysi

### 3.2.1. Martinjärven ja Iso Kivijärven surviaissääsket

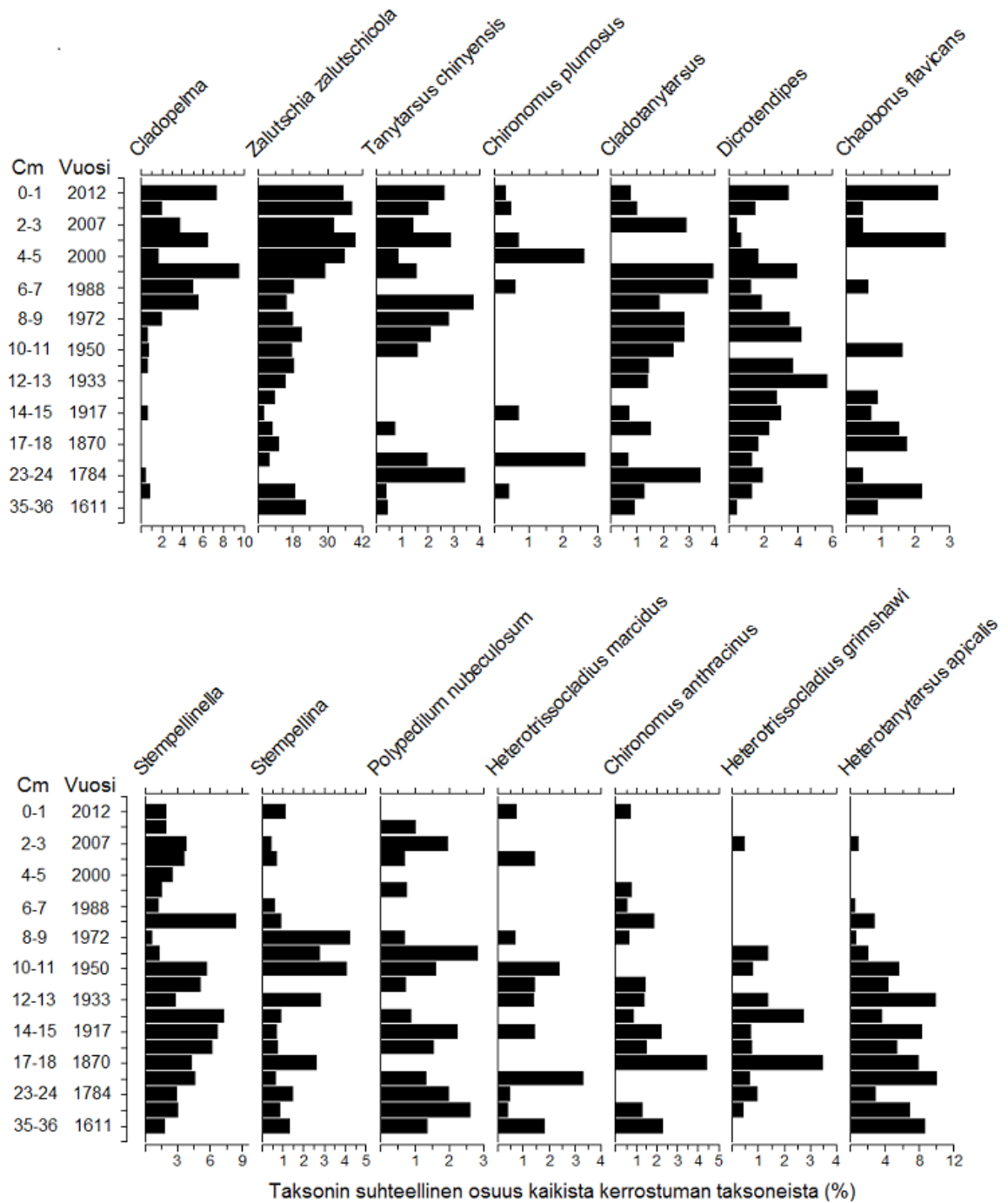
Aineistosta tunnistettiin yksi sulkasääskitaksoni ja 55 surviaissääskitaksonia, joista osa pystyttiin määrittämään lajilleen, mutta suurin osa sukutasolle (Liite 1). Jotkin huonosti säilyneet yksilöt pystyttiin määrittämään vain heimotasolle. Martinjärven runsain taksoni oli *Tanytarsus* 1640- ja 1740-luvuilla, *Z. zalutschicola* vuosina 1784–1932, Orthocladiinae vuosina 1933–1962 ja *Tanytarsus* jälleen vuosina 1963–2012. Iso Kivijärven runsain taksoni oli *Tanytarsus* vuosina 1726–1993 ja *Z. zalutschicola* 1610-luvulla sekä vuosina 1994–2012. Viimeisen kahden vuosikymmenen ajan *Z. zalutschicola* -toukkien osuus Iso Kivijärven kaikista taksoneista oli keskimäärin 35 % kun se ennen 1990-lukua oli keskimäärin 15 %. *Tanytarsus* -toukkien osuus puolestaan väheni 27 prosentista 18 prosenttiin. Martinjärvessä runsaimpien taksonien osuudet eivät muuttuneet yhtä voimakkaasti.

Runsaimpien ja indikaattoriarvoltaan tärkeimpien taksonien tarkastelun perusteella lajistomuutokset olivat suurempia Iso Kivijärvessä kuin Martinjärvessä (Kuvat 11 ja 12). Martinjärvellä karumpien vesien taksonien osuus vähentyi ja rehevämpien vesien taksonien osuus kasvoi 1960- ja 1970-luvuilta lähtien (Liite 1). Molempia oli kuitenkin yhtä aikaa koko tarkastelujakson ajan. Rehevän ja runsashumuksisen elinympäristön taksoni *Cladopelma* runsastui Martinjärvessä selvästi jo 1930-luvulla, mutta voimakkaammin 1970-luvun lopusta lähtien. Myös eutrofisten vesien laji *Chironomus plumosus* runsastui 1970-luvun lopulta lähtien. Oligo- ja mesotrofisten vesien taksoneista vähentyivät 1970-luvun lopulla etenkin *Heterotanytarsus apicalis* ja *Stempellinella*. Etenkin vuosien 1977–1985 välillä eutrofiaa ilmentävien lajien osuudet kasvoivat ja oligotrofiaa ilmentävien lajien osuudet vähenivät. Muutos ei ollut pysyvä, mutta oligotrofiaa ilmentävien lajien osuudet vähenivät jälleen 2000-luvulla eutrofisten vesien lajien osuuden kasvaessa.

Myös Iso Kivijärvellä karumman elinympäristön taksonien osuus vähentyi ja rehevämpien elinympäristön taksonien osuus kasvoi 1960- ja 1970-luvuilta lähtien (Kuva 12, Liite 1). Kirkkaampien vesien taksonit *Heterotrissocladus marcidus*, *Heterotrissocladus grimshawi* ja *Chironomus anthracinus* vähentyivät 1900-luvun puolivälin jälkeen (Kuva 12). Myös liikuteltavan suojakotelon hiekasta rakentavat taksonit *Stempellina*, *Stempellinella* ja *Heterotanytarsus apicalis* vähentyivät niihin aikoihin. Iso Kivijärvellä runsastuivat 1990-luvun alun jälkeen runsashumuksisten vesien tyypilliset taksonit *Zalutschia zalutschicola*, *Cladopelma*, *Chironomus plumosus* ja *Tanytarsus chinyensis*. Iso Kivijärvellä selvimmän runsastunut taksoni *Z. zalutschicola* esiintyy tyypillisesti oligotrofisissa järvissä, mutta myöskin runsastuneet *Cladopelma*, *Chironomus plumosus*, *Tanytarsus chinyensis* ja *Cladotanytarsus* ovat tyypillisesti meso- ja eutrofisten elinympäristöjen taksoneita.

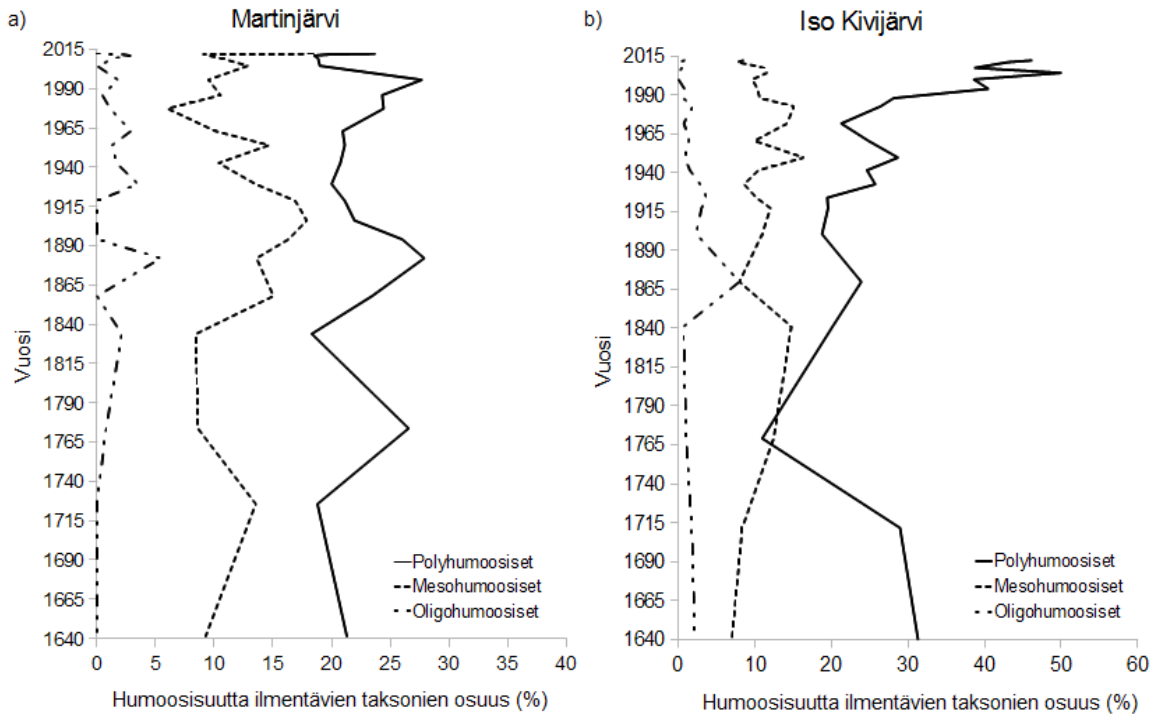


Kuva 11. Runsaimpien ja indikaattoriarvoltaan tärkeimpien taksonien suhteellisen runsauden ajallinen vaihtelu Martinjärven.



Kuva 12. Runsaimpien ja indikaattoriarvoltaan tärkeimpien taksonien suhteellisen runsauden ajallinen vaihtelu Iso Kivijärven sedimentissä.

Molemmassa järjessä oli koko tarkastellun ajanjakson ajan runsashumuksisten vesien tyypillisiä surviaissääskilajeja (Liite 1). Tämän tutkimuksen näytteissä esiintyneistä taksonista 35 %:lla humoosisuusoptimi tunnetaan. Martinjärven surviaissääskiyhteisössä ei havaittu merkittäviä muutoksia humoosisuutta ilmentävien taksonien osuudessa tarkastelujakson aikana (Kuva 13 a). Iso Kivijärven yhteisöissä runsashumuksisuutta ilmentävien taksonien osuus sen sijaan kasvoi 1990-luvulta lähtien (Kuva 13 b).



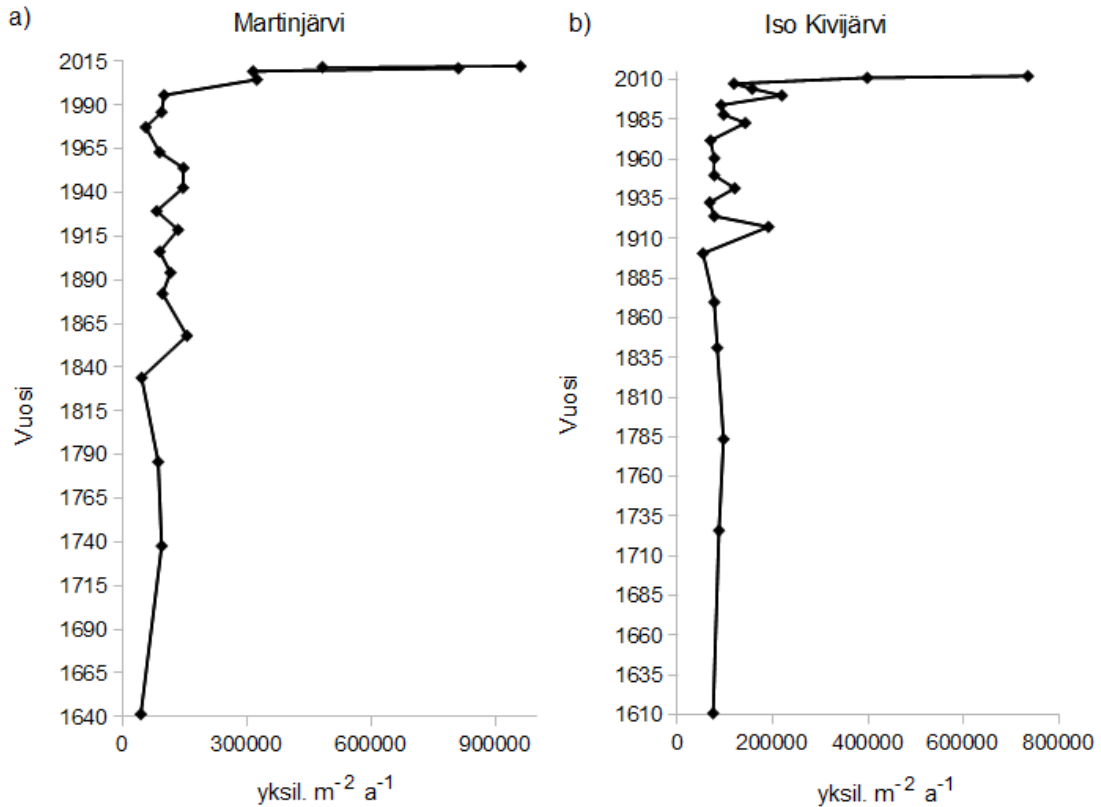
Kuvat 13 a ja b. Eri humoosisuusasteita ilmentävien taksonien osuus kaikista kerrostuman taksonista Martinjärven ja Iso Kivijärven sedimenteissä.

Pääkapselien vuotuinen kertymä (Kuvat 14 a ja b) vaihteli Martinjärvessä vuosina 1640–1857 44 000 ja 94 000 yksil.  $m^{-2} a^{-1}$  välillä. Vuosien 1858–1994 aikana kertymä vaihteli 55 800 ja 155 000 yksil.  $m^{-2} a^{-1}$  välillä ja oli alhaisimmillaan vuosina 1977–1985. Vuosien 2004–2011 välillä vuotuinen kertymä oli keskimäärin 320 000 yksilöä neliometrillä ja vuosien 2011–2012 kerrostumissa kertymä oli 483 000–961 000 yksil.  $m^{-2} a^{-1}$ .

Iso Kivijärvellä pääkapselien vuotuinen kertymä oli 74 700–96 500 yksil.  $m^{-2} a^{-1}$  vuosina 1610–1899. 1900-luvulla kertymä vaihteli 53 400 ja 190 000 yksil.  $m^{-2} a^{-1}$  välillä ja vuosina 2000–2010 kertymä oli 118 000–219 000 yksil.  $m^{-2} a^{-1}$ . Vuosien 2011–2012 kerrostumissa (0-2 cm) pääkapselien vuotuinen kertymä oli 398 000–735 000 yksil.  $m^{-2} a^{-1}$ .

Pääkapselien ja hiilen kertymän välinen lineaarinen korrelaatio oli voimakas molemmissa järvissä (Martinjärvi  $R=0,95$ ,  $p<0,001$  ja Iso Kivijärvi  $R=0,99$ ,  $p<0,001$ ).



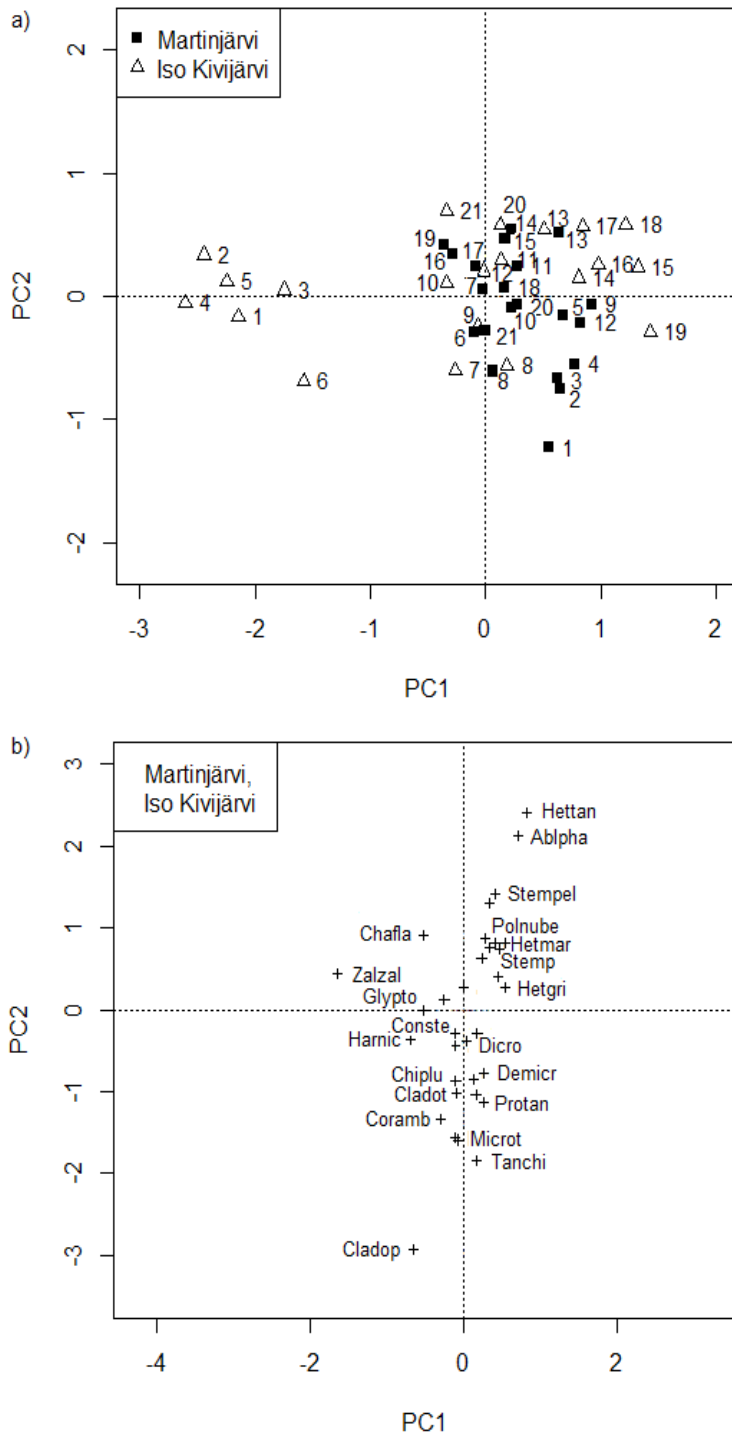


Kuvat 14 a ja b. Pääkapselien vuotuinen kertymä a) Martinjärven ja b) Iso Kivijärven sedimentteihin.

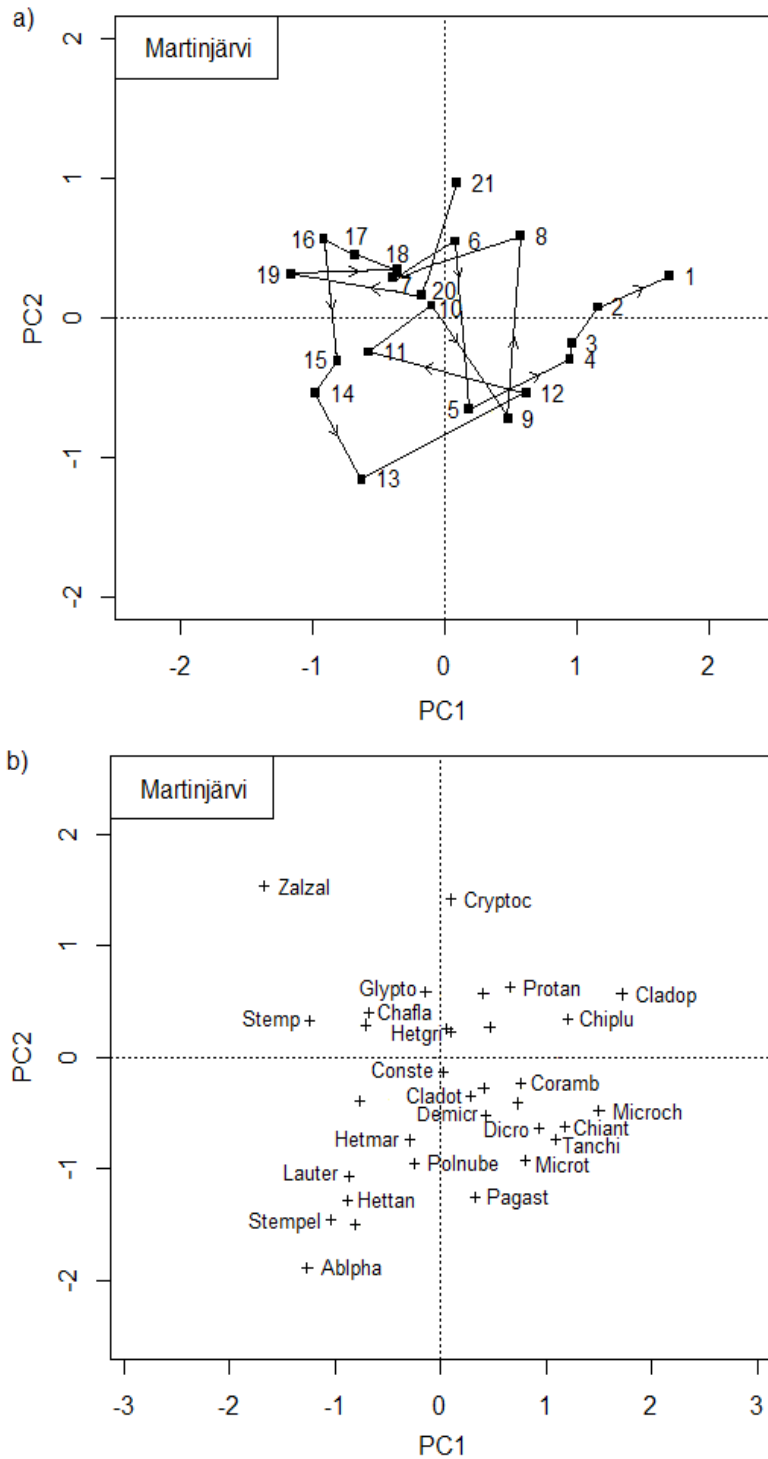
### 3.2.2. Pääkomponenttianalyysi

Pääkomponenttianalyysin (PCA) perusteella Martinjärven surviaissääskiyhteisön koostumus muuttui eri suuntaan kuin vertailujärvessä (Kuvat 15 a ja b). Martinjärven ajallisesti lähekkäisten surviaissääskiyhteisöjen väliset erot olivat suuria ja muutoksen suunta vaihteli. Iso Kivijärven yhteisöt muuttuivat selvemmin tiettyyn suuntaan. Martinjärven yhteisöjen muutos oli pientä (PC1-akselilla alle 1,5 yksikköä ja PC2-akselilla 2 yksikköä) Iso Kivijärven yhteisöjen muutokseen verrattuna (PC1-akselilla 4 yksikköä ja PC2-akselilla alle 1,5 yksikköä).

Järvien surviaissääskiyhteisöt olivat jokseenkin erilaiset 1600-luvulta 1900-luvun loppupuolelle saakka (molempien järvien näytteet 9–21 Kuvassa 15a). Molempien järvien yhteisöissä oli suurehkoa luontaista vaihtelua, mutta Iso Kivijärven yhteisö muuttui selvemmin PC1-akselin suuntaisesti. Martinjärven vuosien 1977–1985 surviaissääskiyhteisö (näyte 8) oli samankaltainen Iso Kivijärven 1980-luvun yhteisön (näyte 8) kanssa. 1980-luvun lopun ja 1990-luvun puolivälin kerrostumissa järvien eläinyhteisöjen välinen ero kasvoi, ja 1990-luvulta lähtien Iso Kivijärven yhteisöt muuttuivat voimakkaasti eri suuntaan kuin Martinjärven yhteisöt. Lajiston perusteella (Kuva 15 b) Martinjärven yhteisöissä runsastuivat rehevämmän ympäristön lajit ja Iso Kivijärven yhteisöissä yleistyivät runsashumuksisemman ja rehevämmän ympäristön lajit.

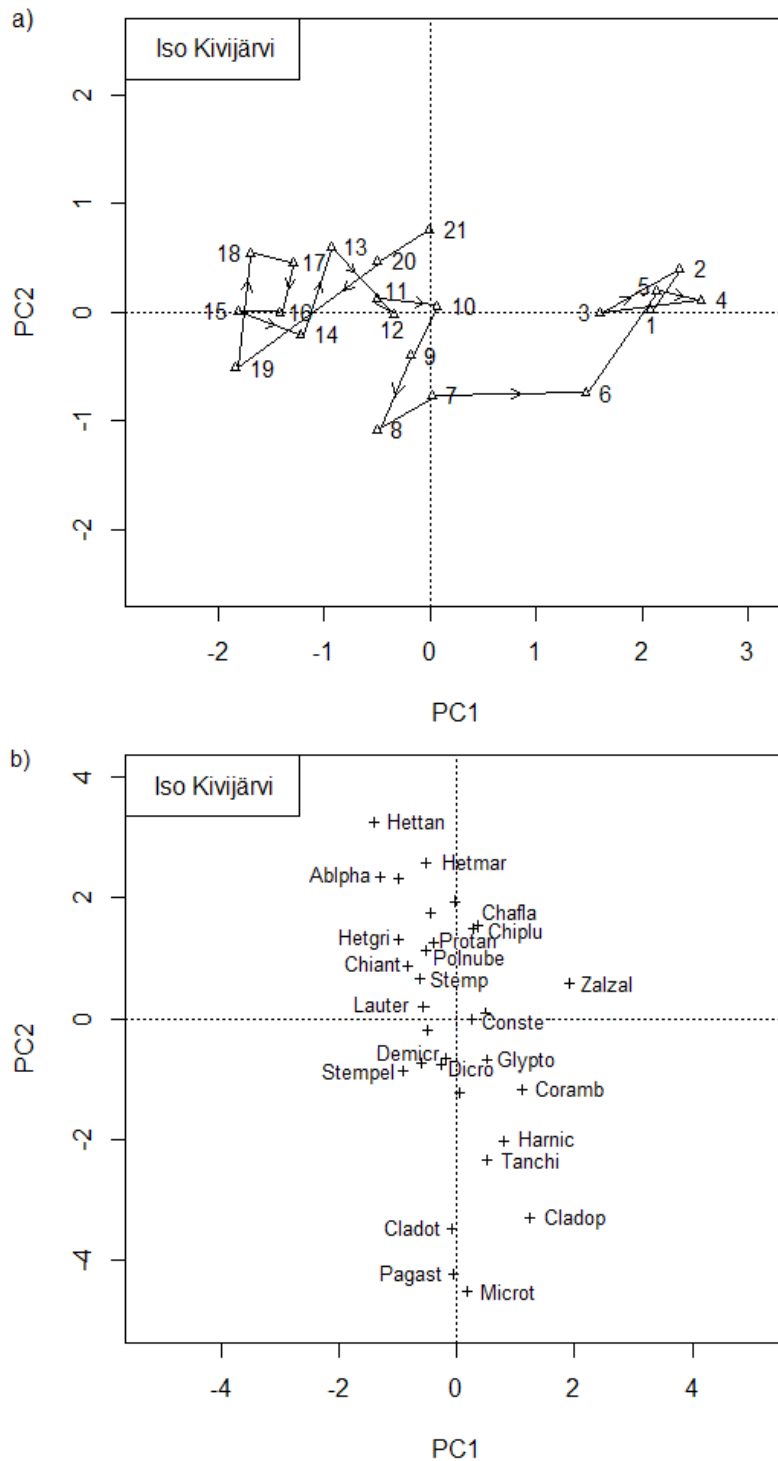


Kuvat 15 a ja b. Näytteiden a) ja taksonien b) sijoittuminen surviaissääkitaksonien suhteellisiin osuuksiin perustuvassa pääkomponenttianalyysissä. Martinjärven näyte 1 vastaa vuotta 2012 ja näyte 21 vuosia 1641–1653. Iso Kivijärven näyte 1 vastaa vuotta 2012 ja näyte 21 vuosia 1611–1624. Lyhenteet on selitetty liitteessä 1. PC1-akseli selittää 60 % varianssista ja PC2-akseli 12 %.



Kuvat 16 a ja b. Martinjärven näytteiden a) ja taksonien b) sijoittuminen surviaissääkitaksonien suhteellisiin osuuksiin perustuvassa pääkomponenttianalyysissä. PC1-akseli selittää 39 % varianssista ja PC2-akseli 18 %.

Pelkästään Martinjärven aineistolle tehdyssä pääkomponenttianalyysissä eläinyhteisöt 1600-luvulta 1950-luvulle sijoituivat PC1-akselilla pääasiassa eri puolelle kuin tätä nuorempien kerrostumien eläinyhteisöt (Kuva 16 a). Useat ajallisesti lähekkäiset yhteisöt erosivat paljon toisistaan, etenkin 1930- ja 2000-lukujen välillä. Selvä muutossuunta näkyi vain vuosien 2009–2012 eläinyhteisöissä (nrot 1–4), joissa myös oli eniten rehevän elinympäristön lajistoa.



Kuva 17. Iso Kivijärven näytteiden a) ja taksonien b) sijoittuminen surviaissääskitaksonien suhteellisiin osuuksiin perustuvassa pääkomponenttianalyysissä. PC1-akseli selittää 76 % varianssista ja PC2-akseli 8 %.

Iso Kivijärven aineistolla tehdyssä pääkomponenttianalyysissä järven vanhimpien sedimenttikerrostumien eläinyhteisöt sijoittuivat PC1-akselilla eri puolelle kuin nuorempien kerrostumien eläinyhteisöt (Kuva 17 a). Selvin muutossuunta näkyy vuosien 1994–2012 surviaissääskiyhteisöissä (1–6), jotka muodostivat oman ryhmänsä. Lajiston perusteella Iso Kivijärven uudemmissa sedimenttikerrostumissa oli enemmän

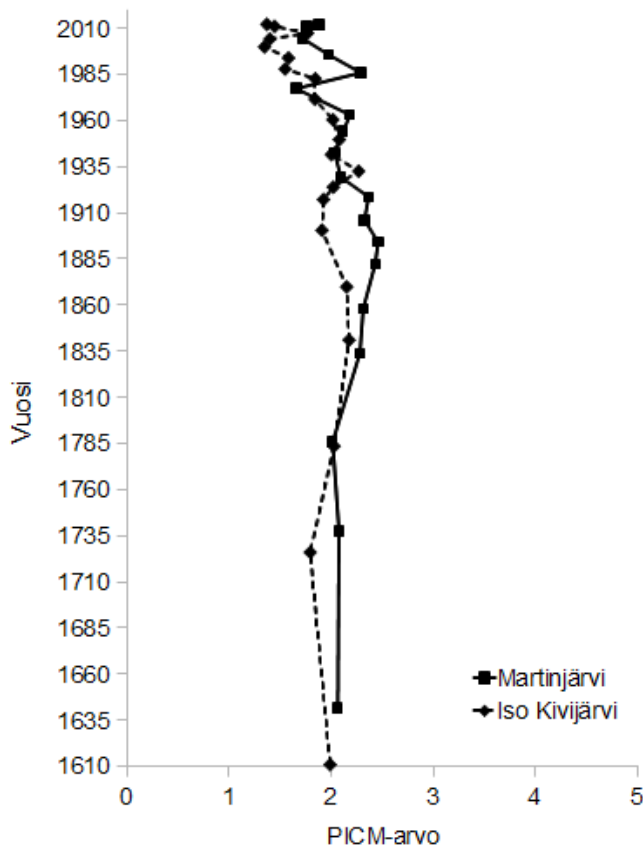
runsashumuksisten vesien tyypillisiä lajeja, kuin vanhemmissa kerrostumissa (Kuvat 17 a ja b). Vanhemmissa kerrostumissa oli myös enemmän minerogeenisen elinympäristön lajistoa kuin uudemmissa.

Vertailussa sedimentin alkuainepitoisuuksien kanssa Martinjärven aineiston pääkomponenttianalyysissä lasketut PC1-akselin pistearvot korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) kaikkien muiden sedimentin alkuainepitoisuuksien paitsi C, Mo ja N -pitoisuuksien kanssa. Hajontakuvioiden perusteella lineaarinen riippuvuus oli voimakkain PC1-akselin pistearvojen ja Cr, Fe ja Pb -pitoisuuksien välillä ( $R^2 > 0,7$ ) sekä PC1-akselin pistearvojen ja Al, Ba, Ca, Co, Cu, Mn, Na, P, Sr ja Zn -pitoisuuksien välillä ( $R^2 > 0,6$ ).

Iso Kivijärven aineiston pääkomponenttianalyysissä lasketut PC1-akselin pistearvot korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) kaikkien muiden alkuaineiden paitsi C, Mo, N, Tl ja Zn -pitoisuuksien kanssa. Hajontakuvioiden perusteella lineaarinen riippuvuus oli havaittavissa ainoastaan PC1-akselin pistearvojen ja Ba, Fe, P ja Sr -pitoisuuksien välillä ( $R^2 > 0,6$ ).

### 3.2.3. Järvien trofiatason ja surviaissääskiyhteisöjen monimuotoisuuden muutokset

Järven trofiatasoa kuvaavan Profundal Invertebrate Community Metrics -indeksin (Kuva 18) perusteella Martinjärven ekologinen tila heikentyi 1970- ja 1980-luvun vaihteesta lähtien. Iso Kivijärvellä rehevöityminen alkoi 1970-luvun alussa ja eteni Martinjärveä voimakkaammin. Martinjärven indeksi-arvo oli keskimäärin 2,1 koko tarkastelujakson aikana ja Iso Kivijärven vastaavasti 1,8.

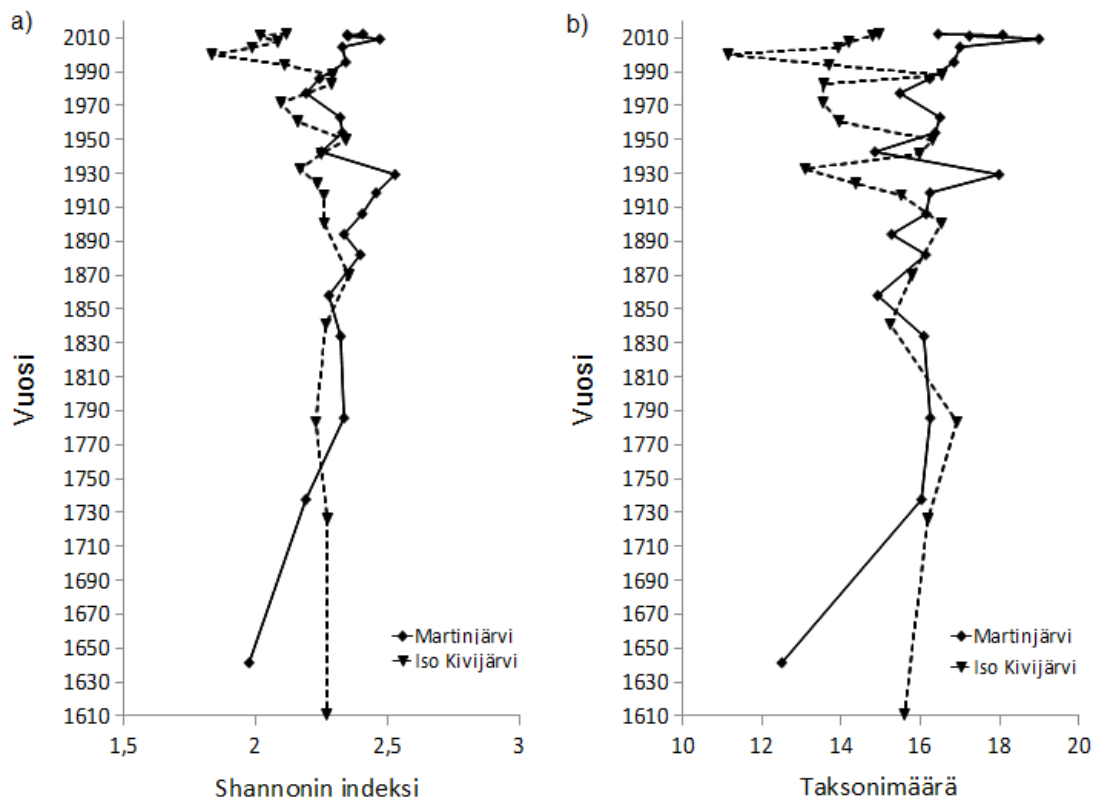


Kuva 18. PICM-arvojen ajallinen vaihtelu Martinjärvessä ja Iso Kivijärvessä.

Martinjärvessä suurin PICM-arvo oli 2,5 vuosien 1894–1905 sedimenteissä ja pienimmillään arvo oli 1,7 vuosina 1977–1985. Tarkastelussa ennen ja jälkeen laajamittaisten suo-ojitusten Martinjärven PICM-arvo oli keskimäärin 2,2 vuosien 1640–1962 välillä ja keskimäärin 1,9 vuosien 1963–2012 välisenä aikana. Myös Kalmunevan turvetuotannon alkamisen jälkeen eli vuosien 1977–2012 kerrostumissa Martinjärven PICM-indeksi-arvo oli keskimäärin 1,9. Vuosina 1963–1977 indeksi-arvo oli kuitenkin vielä 2,2. Vuosien 1977–1985 heikentymisen jälkeen järven ekologinen tila koheni 1900-luvun alun tasolle vuosina 1986–1995. Pysyvämpi muutos rehevempään suuntaan tapahtui 1990-luvulta lähtien ja vuosien 1996–2012 indeksi-arvo oli keskimäärin 1,8.

Iso Kivijärven PICM-indeksi-arvo oli suurimmillaan 2,3 vuosina 1933–1941 ja pienimmillään 1,4 vuosina 2000–2003. Tarkastelussa ennen ja jälkeen laajamittaisten suo-ojituksen Iso Kivijärven indeksi-arvo oli keskimäärin 2,0 vuosina 1611–1960 ja keskimäärin 1,6 vuosina 1961–2012. Vuosina 1961–1971 indeksi-arvo oli kuitenkin vielä 2,0. PICM-indeksi-arvo oli keskimäärin 1,5 vuosina 1994–2012, jolloin pääkomponenttianalyysissä havaittiin surviaissääskiyhteisöjen suuri muutos.

Martinjärven ja Iso Kivijärven PICM-arvojen ja pääkomponenttianalyysin PC1-akselin piste-arvojen välillä oli tilastollisesti merkitsevä korrelaatio (Martinjärvi  $R=-0,7$ ,  $p<0,001$  ja Iso Kivijärvi  $R=-0,8$ ,  $p<0,001$ ). Pääkomponenttianalyysi näin ollen osoitti molempien järvien surviaissääskiyhteisöjen muutoksen ilmentävän rehevöitymistä.



Kuva 20. Martinjärven a) ja Iso Kivijärven b) surviaissääskiyhteisöjen monimuotoisuutta kuvaavat Shannonin indeksi ja taksonimäärä.

Shannonin indeksin ja taksonimäärän tarkastelun perusteella surviaissääskiyhteisön monimuotoisuus oli järvissä suunnilleen yhtä suuri ennen 1900-lukua (Kuvat 20 a ja b). Shannonin indeksi-arvo kasvoi Martinjärvessä 1930-luvulle saakka, minkä jälkeen se laski hieman 1940–1990-luvuilla (Kuva 20 a). Martinjärven yhteisön monimuotoisuus kasvoi jälleen hieman viime vuosikymmeninä. Martinjärvessä monimuotoisuus ei muuttunut

merkittävästi tarkastelujakson aikana, mutta trendi oli kuitenkin hieman kasvava etenkin taksonimäärän perusteella (Kuva 20 b). Taksonimäärä oli suurimmillaan vuosina 2009–2010. Iso Kivijärven surviaissääskiyhteisön monimuotoisuus heikentyi hieman 1930- ja 1960-luvuilla, ja alhaisimmillaan indeksiarvo sekä taksonimäärä olivat vuosina 2000–2003. Monimuotoisuuden vaihtelu oli suurempaa kuin Martinjärvessä.

Iso Kivijärven näytteistä löytyi runsashumuksisissa ja vähähappisissa oloissa menestyvän sulkasääsken *Chaoborus flavicans* jäänteitä vuosien 1610–1924 väliseltä ajalta sekä myöhemmistä sedimenteistä 1950-luvun, 1990-luvun ja 2000-luvun näytteistä. Martinjärvestä löytyi sulkasääsken mandibeleita vain vuosien 1785–1833 sedimenttikerrostumasta.

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

### 4.1. Valuma-alueiden eroosion alkuperä

Sedimenttien ajoituksen, magneettisen susceptibiliteetin ja alkuaineanalyysin tulosten vertailu maankäytön historiatietoihin osoittaa mineraalimaa-ainesten eroosion 1900-luvun alusta 1960-luvulle johtuneen pääasiassa peltoviljelystä. Voimakkaampi eroosio 1960-luvulta lähtien voidaan yhdistää soiden laajamittaisiin koneellisiin ojituksiin molempien järvien valuma-alueilla. Peltojen vaikutus on jatkunut nykyaikaan saakka, mutta pelloilta aiheutuva eroosio on todennäköisesti hieman vähentynyt 1960-luvun tasosta peltopinta-alan vähennyttyä 1980-luvulla. Tutkimusjärviä lähimmät pellot ovat kuitenkin edelleen käytössä.

Valuma-alueella 1900-luvulta lähtien tehdyt maanmuokkaustoimenpiteet eivät kasvattaneet huomattavissa määrin hiilen ja kiintoaineen vuotuista kertymää Martinjärven sedimenttiin 1600- ja 1900-lukujen väliseen aikaan verrattuna. Tämä johtune suurelta osin veden lyhyestä viipymästä, mikä vuoksi kiintoainetta ei todennäköisesti ehdi sedimentoitua yhtä paljon kuin järvessä, jossa veden viipymä on pitempi. Turvemailta kulkeutuva orgaaninen kiintoainne on löyhää ja kevyttä ja sedimentoituu hitaasti (Koistinen 2012). Matalissa järvissä myös resuspensio voi vähentää sedimentaatiota (Niemistö ym. 2008). Martinjärven sedimentin kaliumpitoisuuden aleneminen 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa voi kuitenkin johtua turvetuotantosoiden avaamisen myötä kasvaneesta orgaanisen aineen huuhtoutumisesta (Kauppila 2014). Vanhempiin kerrostumiin verrattuna moninkertainen hiilen sedimentaatio Martinjärven sedimentin pintakerroksissa (0–5 cm) johtune suurimmaksi osaksi hiilen keskeneräisestä mineralisaatiosta ja todennäköisesti myös siitä, ettei kyseisten kerrostumien ajoitus ole tarkka (johtava tutkija Tommi Kauppila, GTK, henkilökohtainen tiedonanto). Iso Kivijärven sedimentin pintakerrosten (0–2 cm) suuri sedimentaatio johtune samoista syistä kuin Martinjärvellä. Sama pintasedimenttien ajoitukseen liittyvä ongelma näkyi myös kiintoaineen vuotuisessa kertymässä molemmissa järvissä.

Iso Kivijärven sedimentin metallipitoisuuksien pieneneminen 1980-luvun jälkeen johtuu todennäköisesti vanhojen ojien umpeenkasvusta ja eroosion vähenemisestä. Kaliumin ja muiden metallien pitoisuuksien kasvu vuosien 2004–2006 sedimenteissä voi johtua kunnostusojituksista. Hiilen ja kiintoaineen vuosittaisen kertymän vaihtelu 1900-luvun alun jälkeen on selitettävissä peltoviljelyllä ja varhaisilla metsätaloustoimenpiteillä 1900-luvun alkupuolella sekä soiden uudisojituksella 1970- ja -80-luvuilla ja kunnostusojituksilla 2000-luvulla. Valuma-alueella tehdyn maanmuokkauksen intensiteetin vaihtelu näkyi siis Martinjärveä voimakkaammin Iso Kivijärven sedimenteissä.

#### 4.2. Turvetuotannon ja metsätalouden vaikutukset surviaissääskiyhteisöihin

Molemmissa järvissä esiintyi koko tarkastelujakson ajan runsashumuksisten vesien tyypillisiä surviaissääskilajeja, joten järvet ovat olleet luonnostaan tummavetisiä. Mataluudesta johtuen lajisto oli litoraalille tyypillistä koko tarkastelujakson ajan. Surviaissääskiyhteisöjen melko suuri luontainen vaihtelu, mikä havaittiin etenkin Martinjärvellä, on tavallista matalissa järvissä (Jyväsjärvi ym. 2012). PICM-indeksin perusteella järvet ovat olleet luonnostaan meso-eutrofisia ja muuttuneet hieman rehevämmiksi.

Tutkimuksen perusteella metsätalous on aiheuttanut muutoksia Martinjärven ja Iso Kivijärven surviaissääskiyhteisöissä. Turvetuotanto on voinut aiheuttaa muutoksia Martinjärven surviaissääskiyhteisöissä ainakin Kalmunevan tuotantoalueen kuntoonpanovaiheessa. Stratigrafioiden perusteella molempien järvien surviaissääskiyhteisöissä runsastuivat rehevämpiä vesiä suosivat lajit ja karumpien vesien lajit vähenivät samaan aikaan kuin mineraalimaa-ainesten eroosio valuma-alueilla kasvoi 1960-luvun ojitusten aikoihin. PICM-arvojen perusteella selvä rehevöitymiskehitys alkoi Martinjärvessä 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa ja Iso Kivijärvellä 1970-luvulla, jolloin metsätalouden turvemaita ojitettiin ja lannoitettiin voimakkaasti. Tällöin aloitettiin myös turpeen kaivu Martinjärven valuma-alueella. Yhteisömuutosten voi siten todeta aiheutuneen metsätalouden ja Martinjärvellä mahdollisesti myös turvetuotannon seurauksena, kun valuma-alueen eroosion myötä kiintoainetta ja ravinteita huuhtoutui järviin.

Martinjärven PICM-arvon aleneminen vuosien 1977–1985 ajaksi voi johtua Kalmunevan kuivatuksen ja turpeennoston alkamisen myötä lisääntyneestä kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta. Muutoin turpeen nosto 1980-luvun alusta lähtien ei ole aiheuttanut metsätaloudesta erotettavissa olevaa muutosta Martinjärven surviaissääskiyhteisössä. Turvetuotannon vähäiseltä näyttävää vaikutusta Martinjärveen selittänee osaltaan se, että suuri osa turvetuotannon aiheuttamasta kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta pidättyy todennäköisesti yläpuolisiin järviin (Hynynen ym. 1994). Turvetuotannon alkamisen jälkeen 1980-luvun aikana uudisojitettiin Martinjärven itäpuolella myös soita metsätalouden käyttöön. Myös tätä vanhemmilla uudisojituksilla voidaan arvioida olleen vielä tuolloin kuormitusvaikutusta. 2000-luvulla hakkuut ja kunnostusojitus ovat lisänneet metsätalouden vesistökuormitusta. Vertailujärven rehevöityminen on jatkunut 1980-luvun jälkeen metsien ojituksen ja lannoituksen vähenemisestä huolimatta, joten myös Martinjärven viimeaikaisen rehevöitymisen voi katsoa aiheutuneen ainakin osaksi metsätaloudesta. Matalissa järvissä tyypillinen pohjaeläinyhteisöjen suuri luontainen vaihtelu voi osaltaan heikentää ihmistoiminnan vaikutusten erottumista Martinjärvessä (Jyväsjärvi ym. 2012).

Surviaissääskiyhteisöjen muutos oli voimakkaampaa Iso Kivijärvessä kuin Martinjärvessä. Järvien surviaissääskilajisto ei kuitenkaan muuttunut kokonaan siten, että runsaita lajeja olisi jäänyt pois tai uusia tullut tilalle. Suurin muutos Martinjärven surviaissääskiyhteisöissä tapahtui pääkomponenttianalyysin perusteella vasta 2000-luvulla ja Iso Kivijärven yhteisöissä 1990-luvulta lähtien, minkä perusteella kuormituksen voi arvioida kasvaneen vähitellen niin suureksi, että se on muuttanut järvien surviaissääskiyhteisöt aiempaa rehevämmän ja Iso Kivijärvessä myös runsashumuksisemman elinympäristön lajistoksi. Pääkomponenttianalyysissä havaittu voimakkain muutos Iso Kivijärven yhteisössä 1990-luvun alussa johtuu suurelta osin *Z. zalutschicola* -toukkien osuuden huomattavasta kasvusta ja surviaissääskiyhteisön monimuotoisuuden heikentymisestä.



Surviaissääskianalyysin perusteella Martinjärvellä suurin vaikutus surviaissääskiyhteisöön näyttäisi olleen rehevöitymisellä. Iso Kivijärvellä sekä humoosisuuden kasvu että rehevöityminen vaikuttavat aiheuttaneen muutoksen surviaissääskiyhteisössä. Tutkimusjärvien rehevöitymistä maankäytön muutosten seurauksena ilmentävät myös surviaissääskitoukkien pääkapselien vuosittaisen kertymän kasvu ja pääkapselien kertymän voimakas korrelaatio hiilen vuosittaisen kertymän kanssa (Itkonen ym. 1999). Vanhempia kerrostumia huomattavasti suurempi pääkapselien vuotuinen kertymä molempien järvien sedimentin pintakerroksissa on ilmeisesti yliarvio, ja johtunee suurimmaksi osaksi kyseisten sedimenttikerrostumien ajoituksen epätarkkuudesta.

Liikuteltavan suojakotelon hiekasta rakentavien taksonien väheneminen molemmissa järvissä 1960-luvulta lähtien johtunee järvien pohjan muuttumisesta mutaisemmaksi. *Cladopelma* -toukkien yleistymisen molemmissa järvissä 1970-luvulta lähtien indikoi puolestaan järviruo'on (*Phragmites australis*) runsastumista (Luoto 2010). Rehevöitymiskehitystä ilmentävät myös muutokset järvien surviaissääskiyhteisöjen monimuotoisuudessa. Surviaissääskiyhteisön monimuotoisuuden on havaittu kasvavan lievän rehevöitymisen myötä, mutta laskevan rehevöitymisen voimistuessa (Wiederholm 1980). Yhteisöjen monimuotoisuuden kasvu Martinjärvessä osoittaa järven lievää rehevöitymistä ja monimuotoisuuden heikentyminen Iso Kivijärvessä ilmentää voimakkaampaa rehevöitymistä. Iso Kivijärvellä monimuotoisuuden heikentyminen voidaan yhdistää valuma-alueen eroosioon, sillä se ajoittui 1900-luvun alun maanmuokkausten, soiden uudisojitusten ja kunnostusojitusten kanssa samoihin ajanjaksoihin. Näiden aikojen välillä Iso Kivijärven yhteisöjen monimuotoisuus myös hieman kasvoi.

Sulkasääsken *Chaoborus flavicans* runsaampi esiintyminen Iso Kivijärvessä kuin Martinjärvessä voi johtua Iso Kivijärven syvänteen alhaisemmasta happipitoisuudesta ja suuremmasta syvyydestä. *C. flavicans* menestyy runsashumuksisissa vesissä ja alhaisissa happipitoisuuksissa (Uutala 1990, Luoto 2013). Iso Kivijärven syvänteissä sulkasääsken toukat pystyvät välttämään kalojen saalistusta todennäköisesti helpommin kuin Martinjärvessä.

Martinjärven ja Iso Kivijärven sedimenttien piileväanalyysin tulokset tukevat surviaissääskiaineistosta saatuja tuloksia, sillä myös piileväyhteisöjen muutosten perusteella järvissä on tapahtunut rehevöitymistä maankäytön aiheuttaman kuormituksen seurauksena (Nikolajev-Wikström 2015). Piileväjäänteiden perusteella molemmat järvet rehevöityivät vähitellen 1920-luvulta lähtien. Martinjärven piileväyhteisöjen muutokset ilmensivät suurta luontaista vaihtelua. Selvä muutos Martinjärven piileväyhteisöissä tapahtui 1980-luvun lopulta lähtien. Iso Kivijärvessä rehevöityminen voimistui piileväaineiston perusteella 1970-luvulta lähtien. Iso Kivijärven piileväyhteisöissä havaittiin suuri muutos viimeisen vuosikymmenen aikana, mikä on yhtenevä tulos surviaissääskiyhteisöistä todetun kehityksen kanssa.

### 4.3. Tulosten vertailu eri maankäyttömuotojen kuormituslaskelmiin

Eri maankäyttömuotojen kuormituslukujen (Svahnäck 2007, Launiainen ym. 2014) ja käytettävissä olleiden maankäyttötietojen tarkastelun perusteella suurin osa vuotuisesta kokonaistyyppi-kuormituksesta on saattanut aiheutua turvetuotannosta Martinjärven valuma-alueella ja peltoviljelystä Iso Kivijärven valuma-alueella. Launiainen ym. (2014) julkaisussa esitettyjen ominaiskuormituslukujen perusteella peltoviljelyn osuus Martinjärven ja Iso Kivijärven valuma-alueiden vuotuisesta kokonaisfosfori- ja kiintoainekuormituksesta on saattanut olla turvetuotantoa ja metsätaloutta suurempi

valuma-alueiden pienestä peltopinta-alasta huolimatta. Svahnäckin (2007) tutkimuksessa esitettyjen turvetuotannon vuotuisten kuormituslukujen perusteella turvetuotannon kiintoaine- ja fosforikuormitus on voinut olla peltoviljelyä suurempaa Martinjärven valuma-alueella. Laskennassa käytettiin Launianen ym. (2014) julkaisusta peltoviljelyn eri toimenpiteiden kuormituslukujen keskiarvoja, turvetuotannon perustason ja metsätalouden turvemaiden kunnostusojituksen ja kivennäismaiden uudistushakkuiden lukuja. Svahnäckin (2007) julkaisusta käytettiin eri maatuneisuusasteiden ja turvelajien keskiarvoja, sillä tarkkoja tietoja näistä ei tutkimusalueen tuotantosoista ollut käytettävissä. Svahnäckin (2007) julkaisun luvuilla laskettaessa käytettiin Kalmunevan ympäristöluvassa määrättyä puhdistustehoa (kiintoaine 50 %, Ptot 30 %, Ntot 15 %) (Aluehallintovirasto 2013). Peltoviljely ei kuitenkaan aiheuttanut tämän tutkimuksen perusteella tutkimusjärvien surviaissäskiyhteisöihin vaikuttavaa rehevöitymistä ennen 1960-lukua, vaan vasta peltojen yhteisvaikutus soiden laajamittaisen ojituksen, metsien lannoituksen ja Martinjärvellä todennäköisesti myös turvetuotannon kanssa aiheutti järvien rehevöitymisen.

Aiemmissä tutkimuksissa esitettyjen kuormituslukujen (Alatalo 2000, Kenttämies 2006, Svahnäck 2007, Launiainen ym. 2014) perusteella turvetuotannon aiheuttama kiintoaine-, fosfori- ja typpikuormitus Martinjärven valuma-alueen vesistöihin on voinut olla metsätaloutta suurempaa 1990-luvulta lähtien. Metsäojituksen kiintoainekuormitus vähenee kirjallisuuden perusteella noin 70 % jo ensimmäisen vuoden kuluttua ojituksesta (Alatalo 2000, Kenttämies 2006, Launiainen ym. 2014). Turvetuotannon kuormitus puolestaan kasvaa tuotannon edetessä maatuneempiin kerroksiin (Klöve 2000, Svahnäck 2007, Heikkinen ym. 2009). Myös 2000-luvun kunnostusojitusten ja avohakkuiden aiheuttama kuormitus Martinjärven valuma-alueen vesistöihin on Launianen ym. (2014) julkaisussa esitettyjen lukujen perusteella ollut turvetuotantoalueiden aiheuttamaa kuormitusta pienempi.

Pelloilta ja turvetuotantoalueilta tuleva kiintoaine- ja ravinnekuormitus kuitenkin kulkeutuu Martinjärven yläpuolisten järvien kautta, joten niiden vaikutus Martinjärven ekologiseen tilaan voi olla pienempi kuin järven lähivaluma-alueella sijaitsevien metsätalousalueiden vaikutus. Useiden järvien ketjuissa kiintoainetta ja ravinteita sedimentoituu ja pidättyy ketjun eri altaiisiin, ja kunkin järven lähivaluma-alueen maankäytöllä on todennäköisesti suurin vaikutus järven tilaan (Alahuhta ym. 2012). Hynynen ym. (1994) havaitsivat järviketjua koskeneessa tutkimuksessaan turvetuotannon aiheuttaneen merkittäviä muutoksia ainoastaan tuotantoaluetta lähimmän järven eliöyhteisöissä. Lähivaluma-alueelta peräisin olevalla kuormituksella oli suurin vaikutus myös Etelä-Päijänteen Vähä-Äiniönlahden pohjaeläinyhteisöihin (Meriläinen ym. 2001). Liukoiset ravinteet voivat kuitenkin kulkeutua kauas, ja DOC-pitoisuus voi olla järviketjun alemmissa järvissä yläpuolisia järviä suurempi (Kratz ym. 1997).

Launianen ym. (2014) mukaan valuma-alueen vesistökuormituksen arviointi ominaiskuormituslaskelmien perusteella sisältää monia virhelähteitä, jotka korostuvat suurella vesistöalueella. Laskelma ei huomioi kuormituslähteen etäisyyttä vesistöä, valuma-alueen topografiaa eikä vuotuista sadannan vaihtelua. Ominaiskuormituslaskelman perusteella voidaan lähinnä arvioida valuma-alueen vesistöihin kohdistuvaa potentiaalista kuormitusta.

#### **4.4. Järvien hydrologis-morfologisten erojen vaikutus kuormitusvasteeseen**

Järvien hydrologiset ja morfologiset erot voivat osittain selittää eroavaisuuksia valuma-alueelta tulleen kuormituksen vaikutuksessa. Syväne ilmentää herkemmin valuma-alueelta peräisin olevan kuormituksen vaikutuksia kuin laakea järven pohja

(Jyväsjärvi ym. 2012). Järvien sedimenttien rauta- ja mangaanipitoisuuksien suhteiden perusteella Martinjärven alusveden happipitoisuus on tarkastelujaksolla ollut suurempi kuin Iso Kivijärven syvänteessä. Martinjärven mataluuden ja veden nopean vaihtuvuuden vuoksi pysyvää kerrostuneisuutta ei todennäköisesti kesällä muodostu, mikä edesauttaa runsashappisen päällysveden sekoittumista alusveteen. Iso Kivijärvessä suurempi syvyys mahdollistaa Martinjärveä pysyvämmän kerrostumisen. Kerrostumisen ja alusveden pienen tilavuuden seurauksena Iso Kivijärven alusveden happipitoisuus voi laskea syvänteissä alhaisemmaksi kuin Martinjärvessä.

Molempien järvien sedimentin fosforipitoisuuden kasvu selittyy ainakin osittain rautapitoisuuden samanaikaisella kasvulla, sillä hapellisissa oloissa fosforia sitoutuu sedimenttiin raudan vaikutuksesta (Kalff 2003). Sedimenttien rauta- ja fosforipitoisuuksien suhteiden perusteella Martinjärvi ei ole yhtä altis rehevöitymiselle kuin Iso Kivijärvi, jossa sedimentin fosforin sitomiskapasiteetti on vähentynyt voimakkaammin. Sedimentin rautapitoisuus riippuu toisaalta raudan huuhtoutumisen määrästä, mutta myös alusveden happipitoisuudesta (Pihlaja 2001). Iso Kivijärven syvänteen alhaisemman happipitoisuuden vuoksi sedimentin rautapitoisuuskin on voinut pienentyä verrattuna Martinjärveen raudan heikomman sitoutumisen vuoksi.

Tutkimus heijastelee sitä miten järven morfologiset ja hydrologiset ominaisuudet kuten syvyys, alusveden tilavuus ja veden viipymä vaikuttavat siihen kuinka järveen tuleva kiintoaine-, humus- ja ravinnekuormitus vaikuttaa järven kemialliseen ja ekologiseen tilaan. Myös valuma-alueen järvisyydellä on merkitystä maankäytöstä vesistöihin kohdistuvan kuormituksen vaikutusten arvioinnissa. Nämä asiat tulisi huomioida tuloksia yleistettäessä.

## KIITOKSET

Haluan kiittää tutkimukseeni apurahaa myöntäneitä Keuruun kaupunkia, Maa- ja vesitekniikan tuki ry:tä sekä Suomen Biologian Seura Vanamo ry:tä. Kiitän Jarmo Meriläistä ja Heikki Hämäläistä erinomaisesta ohjauksesta, sekä Tommi Kauppilaa GTK:lta hyvästä yhteistyöstä tutkimushankkeessa. Opiskelijakollega Leena Nikolajev-Wikströmiä kiitän antoisista pohdintoista yhteisen tutkimusaiheen parissa. Esitän kiitokset myös Suomen ympäristökeskuksen tutkija Mika Niemiselle suuresta avusta valuma-alueen maankäytön selvittämisessä. Kiitokset ansaitsevat myös Santtu Tikka, Jani Rantanen, Tino Hovinen ja Jyväskylän yliopiston tutkija Fabio Ercoli, jotka auttoivat minua R-ohjelman ja monimuuttuja-analyysien kanssa. Haluan kiittää myös Jyväskylän yliopiston lehtori Timo Marjomäkeä avusta surviaissääskien diversiteetti-indeksien laskemisessa.

Eriyiskiitokset lopuksi vanhemmilleni, muille perheenjäsenille ja ystäville tuesta, joka edesauttoi suuresti työn valmistumista.

## KIRJALLISUUS

- Alahuhta J., Kanninen A. & Vuori K.-M. 2012. Response of macrophyte communities and status metrics to natural gradients and land use in boreal lakes. *Aquatic Botany* 103: 106–114.
- Alatalo M. 2000. *Metsätaloustoimenpiteistä aiheutunut ravinne- ja kiintoainekuormitus*. Suomen ympäristö 381, SYKE.
- Aluehallintovirasto 2013. Päätös nro 223/2013/1. Kalmunevan turvetuotantoalueen ympäristölupa ja toiminnan aloittamislupa, Keuruu.
- Aroviita J., Hellsten S., Jyväsjärvi J., Järvenpää L., Järvinen M., Karjalainen S.M., Kauppila P., Keto A., Kuoppala M., Manni K., Mannio J., Mitikka S., Olin M., Perus J., Pilke A., Rask

- M., Riihimäki J., Ruuskanen A., Siimes K., Sutela T., Vehanen T. & Vuori K.-M. 2012. Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012–2013 – päivitetty arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. *Ympäristöhallinnon ohjeita* 7.
- Brooks S.J., Langdon P.G. & Heiri O. 2007. *The identification and use of palearctic chironomid larvae in paleoecology*. Quaternary Research Association. Technical Guide no. 10. London 2007.
- Bränvall M-L., Bindler R., Emteryd O. & Renberg I. 2001. Four thousand years of atmospheric lead pollution in northern Europe: a summary from Swedish lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 25: 421–435.
- Heikkinen K., Karjalainen S.M. & Ihme R. 2009. Turvetuotannon vesistövaikutukset ja vesiensuojelu. *Vesitalous* 1: 6–8.
- Hilska-Aaltonen M. 2006. Alkusanat. Teoksessa: Kenttämies K. & Mattsson T. (toim.) *Metsätalouden vesistökuormitus, MESUVE-hankkeen loppuraportti*. Suomen ympäristö 816: 3–4.
- Hofmann W. 1971. Zur Taxonomie und Palökologie subfossiler Chironomiden (Dipt.) in Seesedimenten. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 6: 1-50.
- Hynynen J., Palomäki A., Granberg K. & Bibiceanu S. 1994. Turvetuotannon biologiset pitkäaikaisvaikutukset pienissä ruskeavetisissä metsäjärvisissä. *Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja* 145. Ympäristötutkimuskeskus, Jyväskylän yliopisto.
- Itkonen A., Marttila V., Meriläinen J.J. & Salonen V.-P. 1999. 8000-year history of palaeoproductivity in a large boreal lake. *Journal of Paleolimnology* 21: 271–294.
- Jensen H.S., Kristensen P., Jeppesen E. & Skytthe A. 1992. Iron:phosphorus ratio in surface sediments as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235/236: 731–743.
- Joensuu S. 2013. Vesilaki uudistui – Miten se näkyy metsätaloudessa? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2013.
- Jyväsjärvi J., Aroviita J. & Hämäläinen H. 2012. Performance of profundal macroinvertebrate assessment in boreal lakes depends on lake depth. *Fundam. Appl. Limnol.* 180: 91–100.
- Jyväsjärvi J., Aroviita J. & Hämäläinen H. 2014. An extended Benthic Quality Index for assessment of lake profundal macroinvertebrates: addition of indicator taxa by multivariate ordination and weighted averaging. *Freshw. Sci.* 33: 995–1007.
- Kalff J. 2003. *Limnology: inland water ecosystems*. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, NJ.
- Kauppila T. 2013. Martinjärven ja Iso Kivijärven vertailututkimuksen järvisedimenttien Cs-ajoitustulokset. Geologian tutkimuskeskus, väliraportti 5.8.2013.
- Kauppila T. 2014. Martinjärven ja Iso Kivijärven sedimenttitutkimuksista. Esitys Keuruulla 2.5.2014.
- Kaushal S. & Binford M.W. 1999. Relationship between C:N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA. *Journal of Paleolimnology* 22: 439–442.
- Kenttämies K. 2006. Metsätalouden fosfori- ja typpikuormituksen määrittäminen. Teoksessa: Kenttämies K. & Mattsson T. (toim.) *Metsätalouden vesistökuormitus, MESUVE-hankkeen loppuraportti*. Suomen ympäristö 816: 9–28.
- Klöve B. 2000. Effect of peat harvesting on peat hydraulic properties and runoff generation. *Suo* 51: 121–129.

- Klöve B., Tuukkanen T., Marttila H., Postila H. & Heikkinen K. 2012. *Turvetuotannon kuormitus - Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä*. TASO-hankkeen raportti. Suomen ympäristökeskus ja Oulun yliopisto.
- Koistinen A. 2012. Keski-Suomen vesien tila. [http://www.keskisuomi.fi/filebank/22757-koistinen\\_maakuntavaltuusto\\_060612.pdf](http://www.keskisuomi.fi/filebank/22757-koistinen_maakuntavaltuusto_060612.pdf) Hakupäivä 12.4.2015.
- Kratz T.K., Webster K.E., Bowser C.J., Magnuson J.J. & Benson B.J. 1997. The influence of landscape position on lakes in northern Wisconsin. *Freshwater Biology* 37: 209–217.
- Launiainen S., Sarkkola S., Laurén A., Puustinen M., Tattari S., Mattsson T., Piirainen S., Heinonen J., Alakukku L. & Finér L. 2014. KUSTAA-työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja* 33.
- Luonnonvarakeskus 2015. Puuston ikä 2011. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>. Hakupäivä 14.1.2015.
- Luoto T.P. 2010. *Spatial and temporal variability in midge (Nematocera) assemblages in shallow Finnish lakes (60–70 °N): community-based modelling of past environmental change*. Helsinki University Print. Helsinki.
- Luoto T.P. 2013. Dystrophy in determining midge community composition in boreal lakes. *Écoscience* 20: 391–398.
- Maanmittaushallitus 1960a. Peruskartta 1:20 000, lehti 2241 04 Valkeajärvi. Maanmittaushallituksen kivipaino, Helsinki.
- Maanmittaushallitus 1960b. Peruskartta 1:20 000, lehti 2241 07 Liesjärvi. Maanmittaushallituksen kivipaino, Helsinki.
- Maanmittaushallitus 1983a. Peruskartta 1:20 000, lehti 2241 04 Valkeajärvi. Maanmittaushallituksen karttapaino, Helsinki.
- Maanmittaushallitus 1983b. Peruskartta 1:20 000, lehti 2241 07 Liesjärvi. Maanmittaushallituksen karttapaino, Helsinki.
- Maanmittaushallitus 1989a. Peruskartta 1:20 000, lehti 2241 04 Valkeajärvi. Maanmittaushallituksen karttapaino, Helsinki.
- Maanmittaushallitus 1989b. Peruskartta 1:20 000, lehti 2241 07 Liesjärvi. Maanmittaushallituksen karttapaino, Helsinki.
- Maanmittauslaitos 2014a. <http://www.kansalaisen.karttapaikka.fi> Hakupäivä 5.11.2014.
- Maanmittauslaitos 2014b. Maastotietokanta, karttalehti N4232L. <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta> Hakupäivä 5.11.2014.
- Maanmittauslaitos 2014c. Maastotietokanta, karttalehti N4232R. <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta> Hakupäivä 5.11.2014.
- Maanmittauslaitos 2015. Karttaikkuna – Paikkatietoikkuna. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>. Hakupäivä 14.1.2015.
- Mackereth F.J.H. 1966. Some chemical observations on post-glacial lake sediments. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 250: 165–213.
- Manninen, P. 1998. Effects of forestry ditch cleaning and supplementary ditching on water quality. *Boreal Env. Res.* 3: 23–32.
- Marja-aho J. & Koskinen K. 1989. *Turvetuotannon vesistövaikutukset*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 36. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Mattsson T., Ahtiainen M., Kenttämies K. & Haapanen M. 2006. Avohakkuun ja ojituksen pitkäaikaisvaikutukset valuma-alueen ravinne- ja kiintoainehuuhtoumiin. Teoksessa:

- Kenttämies K. & Mattsson T. (toim.) *Metsätalouden vesistökuormitus, MESUVE-hankkeen loppuraportti*. Suomen ympäristö 816: 73–81.
- Meriläinen J.J., Hynynen J., Palomäki A., Veijola H., Witick A., Mäntykoski K., Granberg K. & Lehtinen K. 2001. Pulp and paper mill pollution and subsequent ecosystem recovery of a large boreal lake in Finland: a palaeolimnological analysis. *Journal of Paleolimnology* 26: 11–35.
- Meriläinen J.J., Hynynen J., Palomäki A., Mäntykoski K. & Witick A. 2003. Environmental history of an urban lake: a palaeolimnological study of Lake Jyväsjärvi, Finland. *Journal of Paleolimnology* 30: 387–406.
- Niemistö J., Holmroos H., Pekcan-Hekim Z. & Horppila J. 2008. Interactions between sediment resuspension and sediment quality decrease the TN : TP ratio in a shallow lake. *Limnol. Oceanogr.* 53: 2407–2415.
- Nikolajev-Wikström L. 2015. *Pro gradu -tutkielma*. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto. Käsikirjoitus.
- Nilsson A. 1997. *Aquatic Insects of North Europe. A taxonomic handbook. Vol. 2 Odonata-Diptera*. Apollo Books, Senstrup, Denmark.
- OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu. Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta. Pintavesien tila. Martinjärvi ja Iso Kivijärvi. <https://www.wp2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp> Hakupäivä 30.10.2014.
- Pihlaja J. 2001. Sedimenttien kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista 31 Suomen järvessä. Geologian tutkimuskeskus, Maaperätutkimukset.
- Saether O.A. 1975. Nearctic and Palearctic *Heterotrissocladius* (Diptera: Chironomidae). *Bull. Fish. Res. Board Can.* 193: 1–67.
- Saether O.A. 1979. Chironomid communities as water quality indicators. *Holarctic Ecology* 2: 65–74.
- Smol J.P. 2008. *Pollution of lakes and rivers: A paleoenvironmental perspective*. 2nd edition. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford.
- Suomen ympäristökeskus 2010. CORINE maanpeite 2006 (CLC2006). [http://www.d3.ymparisto.fi/d3/Static\\_rs/spesific/corinelandcover.html](http://www.d3.ymparisto.fi/d3/Static_rs/spesific/corinelandcover.html).
- Suomen ympäristökeskus 2013. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien\\_tila/Pintavesien\\_tilan\\_seuranta/Biologisten\\_seurantamenetelmien\\_ohjeet/Biologisten\\_muuttujien\\_laskentapohjat](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien_tila/Pintavesien_tilan_seuranta/Biologisten_seurantamenetelmien_ohjeet/Biologisten_muuttujien_laskentapohjat). Hakupäivä 1.2.2015.
- Svahnbäck L. 2007. *Precipitation-induced runoff and leaching from milled peat mining areas by peat types: a comparative method for estimating the loading of water bodies during peat production*. Yliopistopaino. Helsinki.
- Säteilyturvakeskus 2013. Radioaktiivisuusmääritykset ja sedimenttiprofiilin iän määrittäminen sedimenttinäytteistä. Tulosseloste 121/7020/2013 25.9.2013.
- Tolonen K.T., Hämäläinen H., Holopainen I.J. & Karjalainen J. 2001. Influences of habitat type and environmental variables on littoral macroinvertebrate communities in a large boreal lake. *Arch. Hydrobiol.* 152: 39–67.
- Uutala A.J. 1990. *Chaoborus* (Diptera: Chaoboridae) mandibles – paleolimnological indicators of the historical status of fish populations in acid-sensitive lakes. *Journal of Paleolimnology* 4: 139–151.
- Vilhola T. 1986. *Vanhan Ruoveden historia. 3:3:2, Keuruun ja Pihlajaveden historia 1918–1969*. Keuruun ja Pihlajaveden historiatoimikunta, 1986 (Jyväskylä: Gummerus).

- Vuorenmaa J., Salonen K., Arvola L., Mannio J., Rask M. & Horppila P. 2014. Water quality of a small headwater lake reflects long-term variations in deposition, climate and in-lake processes. *Boreal Env. Res.* 19: 47–65.
- Väyrynen T., Aaltonen R., Haavikko H., Juntunen M., Kalliokoski K., Niskala A.-L. & Tukiainen O. 2008. *Turvetuotannon ympäristönsuojeluopas*. Ympäristöopas. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Edita Prima Oy, Helsinki.
- Walker I.R. 2001. Midges: Chironomidae and related Diptera. Teoksessa: Smol J.P., Birks H.J.B. & Last W.M. (toim.) *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 4 Zoological indicators*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Wiederholm T. 1980. Use of benthos in lake monitoring. *Journal WPCF*, 52: 537–547.
- Wiederholm T. (toim.) 1983. *Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1. Larvae*. Entomologica Scandinavica. Supplement No. 19. Borgströms Tryckeri AB, Motala.

Liite 1. Järvistä määritetyt sääskitaksonit ja niistä käytetyt lyhenteet. Humoosisuusoptimit: Saether (1979)<sup>a</sup>, Luoto (2013)<sup>b</sup>. Rehevyysoptimit: Saether (1979)<sup>c</sup>, Jyväsjärvi ym. (2014)<sup>d</sup>.

Taksoni	Lyhenne	Iso Kivijärvi	Martinjärvi	Humoosisuusoptimi	Rehevyysoptimi
<i>Ablabesmyia phatta</i>	Ablpha	x	x		
<i>Chironomus</i>		x			
<i>Chironomus anthracinus</i>	Chiant	x	x	Oligohumoosinen <sup>a</sup>	Meso-eutrofia <sup>c</sup> , eutrofia <sup>d</sup>
<i>Chironomus plumosus</i>	Chiplu	x	x	Mesohumoosinen <sup>a,b</sup>	Eutrofia <sup>c, d</sup>
<i>Chironomini</i>		x	x		
<i>Chaoborus flavicans</i>	Chafla	x	x	Polyhumoosinen <sup>b</sup>	Eutrofia <sup>d</sup>
<i>Cladopelma</i>	Cladop	x	x	Polyhumoosinen <sup>a</sup>	Eutrofia <sup>d</sup>
<i>Cladotanytarsus</i>	Cladot	x	x	Mesohumoosinen <sup>a,b</sup>	Mesotrofia <sup>d</sup>
<i>Constempellina</i>	Conste	x	x		
<i>Corynocera ambigua</i>	Coramb	x	x		
<i>Corynoneura</i>		x	x		
<i>Cryptochironomus</i>	Cryptoc	x	x		Eutrofia <sup>d</sup>
<i>Demicryptochironomus</i>	Demicr	x	x	Polyhumoosinen <sup>a</sup>	Meso-eutrofia <sup>c, d</sup>
<i>Dicrotendipes</i>	Dicro	x	x		Meso-eutrofia <sup>d</sup>
<i>Einfeldia</i>			x		
<i>Endochironomus</i>		x	x		
<i>Glyptotendipes</i>	Glypto	x	x	Polyhumoosinen <sup>a,b</sup>	
<i>Harnischia</i>	Harni	x	x	Mesohumoosinen <sup>a</sup>	
<i>Heterotrissocladius</i>		x	x		
<i>Heterotrissocladius grimshawi</i>	Hetgri	x	x	Oligohumoosinen <sup>a,b</sup>	Oligotrofia <sup>c</sup> , mesotrofia <sup>d</sup>
<i>Heterotrissocladius marcidus</i>	Hetmar	x	x	Mesohumoosinen <sup>a</sup>	Oligotrofia <sup>c</sup> , mesotrofia <sup>d</sup>
<i>Heterotanytarsus</i>	Hettan	x	x	Polyhumoosinen <sup>a</sup>	Oligotrofia <sup>c, d</sup>
<i>Lauterborniella</i>	Lauter	x	x		
<i>Macropelopia</i>			x		
<i>Microchironomus</i>		x	x		Eutrofia <sup>d</sup>



<i>Microtendipes</i>	Microt	x	x		Meso-eutrofia <sup>d</sup>
<i>Nanocladius</i>			x		
<i>Nilotanypus</i>			x		
<i>Orthoclaadiinae</i>		x	x		
<i>Pagastiella</i>	Pagast	x	x	Polyhumoosinen <sup>a</sup>	Oligotrofia <sup>c</sup> , meso-eutrofia <sup>d</sup>
<i>Parachironomus</i>		x	x		
<i>Parakiefferiella fennica</i>		x	x		
<i>Paralimnophyes</i>			x		
<i>Paratanytarsus</i>			x		
<i>Paratendipes</i>		x	x		
<i>Phaenopsectra</i>		x	x		
<i>Polypedilum convictum</i>			x		
<i>Polypedilum nubeculosum</i>	Polnube	x	x		Eutrofia <sup>c, d</sup>
<i>Polypedilum nubifer</i>		x	x		
<i>Polypedilum pedestre</i>		x			
<i>Polypedilum sordens</i>			x		
<i>Procladius</i>		x	x		
<i>Prodiamesa</i>			x		
<i>Protanypus</i>	Protan	x	x	Polyhumoosinen <sup>a</sup>	Oligotrofia <sup>c, d</sup>
<i>Psectrocladius</i>			x		
<i>Sergentia</i>			x		Meso-eutrofia <sup>d</sup>
<i>Stempellina</i>	Stemp	x	x	Mesohumoosinen <sup>a</sup>	Oligotrofia <sup>c</sup>
<i>Stempellinella</i>	Stempel	x	x	Mesohumoosinen <sup>a, b</sup>	Oligotrofia <sup>c</sup>
<i>Tanypodinae</i>		x	x		
<i>Tanytarsini</i>		x	x		
<i>Tanytarsus</i>		x	x		
<i>Tanytarsus chinyensis</i>	Tanchi	x	x	Mesohumoosinen <sup>b</sup>	
<i>Tribelos</i>			x		
<i>Xenochironomus</i>			x		
<i>Zalutschia zalutschicola</i>	Zalzal	x	x	Polyhumoosinen <sup>a, b</sup>	Oligotrofia <sup>c</sup> , mesotrofia <sup>d</sup>
<i>Zavreliella</i>			x		