



# PRIODIVERSITY LIFE JA LINTUVESIEN INNOVATIIVINEN PINTASEDIMENTIN POISTOPILOTTI -

Lajisto, vedenlaatu ja sedimentin  
ominaisuudet kohdejärvellä

Laura H. Härkönen, Kaarina Lukkari, Minna Kuoppala, Ismo Laakso  
Jukka Hirvonen, Tuomas Hirvonen, Jyrki Viidanoja

Priodiversity LIFE -hankkeen raportti

2025



Euroopan unionin  
osarahoittama



Kirjoittajat: Laura H. Härkönen<sup>1</sup>, Kaarina Lukkari<sup>1</sup>, Minna Kuoppala<sup>1</sup>, Ismo Laakso<sup>2</sup>  
Jukka Hirvonen<sup>1</sup>, Tuomas Hirvonen<sup>1</sup>, Jyrki Viidanoja<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Suomen ympäristökeskus (Syke)

<sup>2</sup>Metsähallitus Luontopalvelut

Taitto: Laura H. Härkönen



**Euroopan unionin  
osarahoittama**

Priodiversity LIFE (LIFE22-IPN-FI-Priodiversity LIFE) on saanut rahoitusta Euroopan unionilta. Esitetyt näkemykset ovat kirjoittajien omia eivätkä välttämättä vastaa Euroopan unionin tai CINEAn näkemyksiä. Euroopan unionia tai CINEAa ei voida pitää niistä vastuussa.

Priodiversity LIFE (LIFE22-IPN-FI-Priodiversity LIFE) has been co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

## Sisällys

Tiivistelmä .....	4
Summary .....	4
1 Tausta .....	5
2 Järven ja valuma-alueen perustiedot .....	5
3 Pintasedimentin poiston suunnittelua edeltävät taustaselvitykset .....	9
3.1 Järven morfologia .....	9
3.2 Vedenlaatu .....	11
3.3 Sedimentin ominaisuudet .....	13
3.3.1 Ravinnepitoisuudet sedimentissä ja huokosvedessä .....	16
3.3.2 Metallit .....	18
3.3.3 Haitta-aineet .....	20
3.4 Lajisto .....	22
3.4.1 Kalat .....	22
3.4.2 Kasviplankton .....	23
3.4.3 Linnusto .....	25
3.4.4 Luontodirektiivin liitteen IV lajit .....	26
3.4.5 Selkärangattomat .....	29
3.4.6 Vesikasvillisuus .....	32
4 Pintasedimentin poisto .....	35
4.1 Menetelmän kuvaus .....	35
4.2 Alustava toteutussuunnitelma .....	36
5 Muut vesiensuojelu- ja kunnostustoimenpiteet .....	38
5.1 Järvikunnostustoimenpiteet .....	38
5.2 Valuma-alueitoimenpiteet .....	39
6 Kiitokset .....	40
7 Lähteet .....	41
8 Liitteet .....	45



## Tiivistelmä

Priodiversity LIFE (LIFE22-IPN-FI-Priodiversity LIFE) -hankkeessa kehitetään lintuvesille innovatiivista, hitaan virtauksen imuruoppaukseen perustuvaa pintasedimentin poistomenetelmää, jolla pyritään poistamaan järveen kertyneitä ylimääräisiä ravinteita ja orgaanista hiiltä. Tavoitteena on parantaa kunnostettavan lintuvesikohteen vedenlaatua ja siten myös pesimäelinympäristön tilaa pitkäkestoisemmin.

Pintasedimentin poiston pilottikohteena on Iisalmen Keskimmäinen. Järvellä toteutettiin vuoden 2025 aikana kattavat lajistoa, vedenlaatua ja sedimenttiä koskevat taustaselvitykset, joiden tulokset esitetään tässä raportissa. Taustaselvitysten tuloksia tullaan hyödyntämään sedimentin poiston tarkemmassa suunnittelussa sekä menetelmän edellyttämässä vesilain mukaisessa lupaprosessissa ja Natura-arviossa.

## Summary

Priodiversity LIFE (LIFE22-IPN-FI-Priodiversity LIFE) project develops an innovative method for removing surface sediment from waterfowl lakes. Using low-flow suction dredging, excess nutrients and organic carbon that have accumulated in the lake will be eliminated. The goal is to improve the water quality of the restored waterfowl lake and thereby enhance the condition of the breeding habitat in longer term.

The pilot site for surface sediment removal is Lake Keskimmäinen in Iisalmi. During 2025, comprehensive background studies on species composition, water quality, and sediment were carried out at the lake, and the results are presented in this report. The results will be used in the more detailed planning of sediment removal, as well as in the permit processes following the Water and Nature Conservation Acts.



## 1 Tausta

Suomen sisävesillä pesivät vesilintulajit ovat taantuneet viimeisten 30 vuoden aikana (Laaksonen et al. 2019; Lehikoinen et al. 2019). Puolet lajeista on todettu uhanalaisiksi (Lehikoinen et al. 2019). Vesilintukannat ovat taantuneet niin rehevillä kuin karuilla vesillä, mutta rehevillä vesillä taantumisen on ollut jyrkempää (Piha et al. 2022). Yhdeksi syyksi taantumisen taustalla on tunnistettu ravinne- ja kiintoainekuormituksesta aiheutuva vesistöjen rehevöityminen ja sameneneminen. Ne heikentävät vesilintujen pesimämenestystä ravintovarojen vähenemisen, vesilintujen saalistustehon heikkenemisen ja vesistöjen umpeenkasvun vuoksi (Holopainen et al. 2015; Laaksonen et al. 2019; Lehikoinen et al. 2016; Pöysä et al. 2013). Samenenemisen ohella myös orgaanisen hiilen kuormituksesta aiheutuva veden tummuminen vähentää uposkasvien ja pohjalehtisten vesikasvien kasvualaa sekä sukeltajille ja puolisukeltajien poikasille tarjolla olevaa selkärangatonravintoa (Arzel et al. 2020; Virkkala 2016).

Nykyisin yleisesti käytössä olevat lintuvesien kunnostusmenetelmät, kuten avovesikäytävien pienimuotoiset ruoppaukset, kasvillisuuden poisto sekä pesimäsaarekkeiden perustaminen eivät vaikuta rehevöitymisen tai tummumisen taustalla oleviin ylimääräisiin ravinteisiin tai orgaaniseen hiileen. Järvikunnostusten tavoitteeksi tulisi asettaa hyvän tilan saavuttaminen ilman jatkuvia hoitotoimenpidetarpeita (Suding and Gross 2006). Myös lintuvesillä tulisi jatkossa keskittyä entistä enemmän elinympäristön tilaa parantavien toimenpiteiden ohella myös sekä sisäisen että ulkoisen ravinnekuormituksen vähentämiseen (Härkönen et al. 2022).

Priodiversity LIFE-hankkeessa kehitetään lintuvesille innovatiivista, hitaan virtauksen imuruoppaukseen perustuvaa pintasedimentin poistomenetelmää. Menetelmän avulla pyritään poistamaan pysyvämmiin rehevöitymisen taustalla olevia, järveen kertyneitä ylimääräisiä ravinteita ja tummumista aiheuttavaa orgaanista hiiltä. Tavoitteena on parantaa kunnostettavan lintuvesikohteen vedenlaatua ja siten myös pesimäelinympäristön tilaa pitkäkestoisemmin. Pilottikohteenä on lusalmen Keskimmäinen. Järvellä toteutettiin vuoden 2025 aikana kattavat taustaselvitykset, joiden tulokset esitetään tässä raportissa.

## 2 Järven ja valuma-alueen perustiedot

lusalmen Keskimmäinen (04.533.1.002) lukeutuu mataliin runsashumuksisiin järviin (MRh) ja sen pinta-ala on 39 ha (Kuva 1). Järven ekologinen tila on arvioitu kolmannella vesienhoidon luokittelukaudella tyydyttäväksi. Tummanvetisen järven tilaa heikentää rehevöityminen.

CORINE-maankäyttöaineiston perusteella järven 55,4 km<sup>2</sup> valuma-alueesta 73,6 % on metsiä, 19,9 % maatalousalueita, 2,2 % rakennettuja alueita, 3,0 % kosteikkoja ja avoimia soita sekä 1,3 % vesistöjä. Järven laskennallinen viipymä on ainoastaan 22 vrk. Junaradan alittava tulouoma on kuitenkin ummessa ja lokakuun 2024 alussa toteutetun maastotarkastelun perusteella päätulouoman virtaus oli omenamenetelmällä mitattuna noin 0,08 m/s. Järven pohjoisosaan laskevan Mustapuron virtaamaa, eikä luusuan virtaamaa mitattu. Keskimmäisen ja sen alapuolisen Tismiön välinen uoma on lintulaskentojen yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella lähes umpeenkasvanut (Yliluoma 2025). Keskimmäisen todellinen viipymä on siten todennäköisesti laskennallista viipymää pitempi. Keskimmäiseen laskevan Ylemmäisen laskennallinen viipymä on 127 vrk.

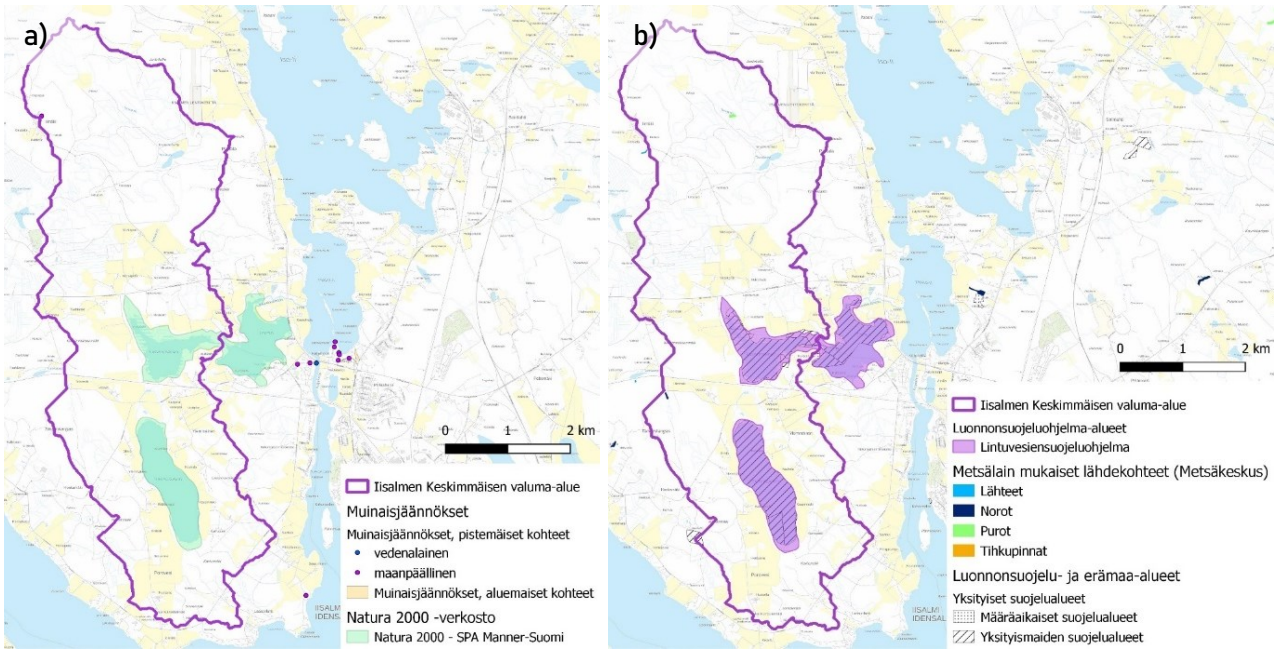


*Kuva 1. Iisalmessa sijaitseva Keskimäinen ilmakuvassa. Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.*

Keskimäinen sisältyy SPA-alueena Iisalmen lintuvedet nimiseen Natura 2000 -alueeseen (FI0600056), jonka muodostavat Keskimäisen ohella sen yläpuolinen Ylemmäinen ja alapuolinen Tismiö- (Kuva 2). Valuma-alueella ei ole tunnettuja muinaisjäänköhteitä, jotka tulisi huomioida järven kunnostuksen tai vesiensuojelun suunnittelussa (Jussila 2003). Keskimäinen, Ylemmäinen ja Tismiö lukeutuvat yksityisinä suojelualueina myös lintuvesiensuojeluohjelmaan.

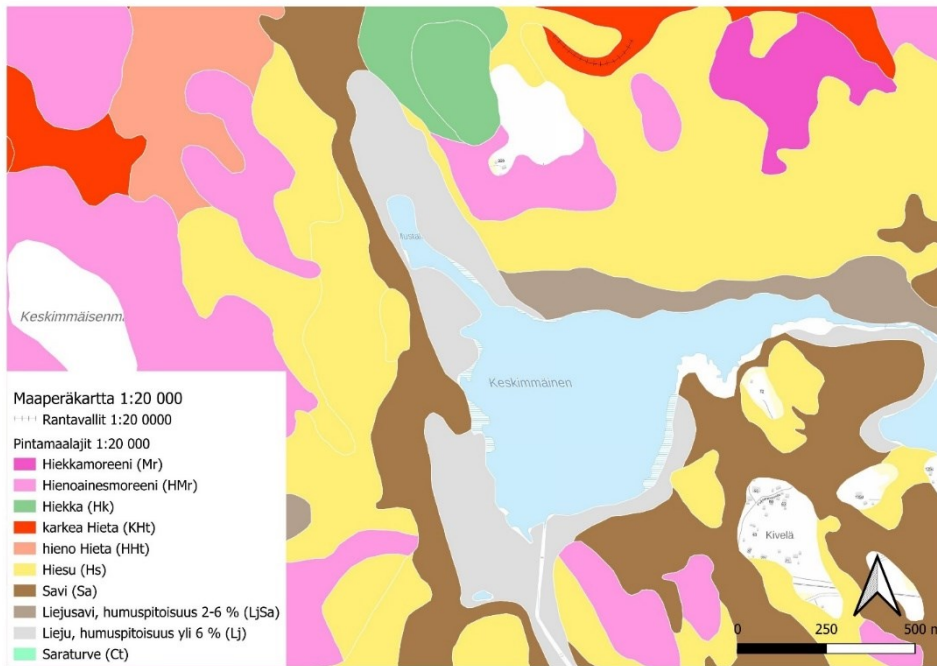
Valuma-alueella ei ole muihin suojeluohjelmiin kuuluvia kohteita. Valuma-alueella ei myöskään ole pohjavesialueita, eikä potentiaalisesti happamia sulfaattimaita tai mustaliuskealueita, jotka tulisi ottaa pintasedimentin poiston suunnittelussa huomioon.

Metsälain erityisistä pienvesielinympäristöistä valuma-alueelta on tunnistettu ainoastaan yksi purokohde, joka sijaitsee valuma-alueen pohjoisosassa, eikä siten vaikuta sedimentin poiston suunnitteluun.



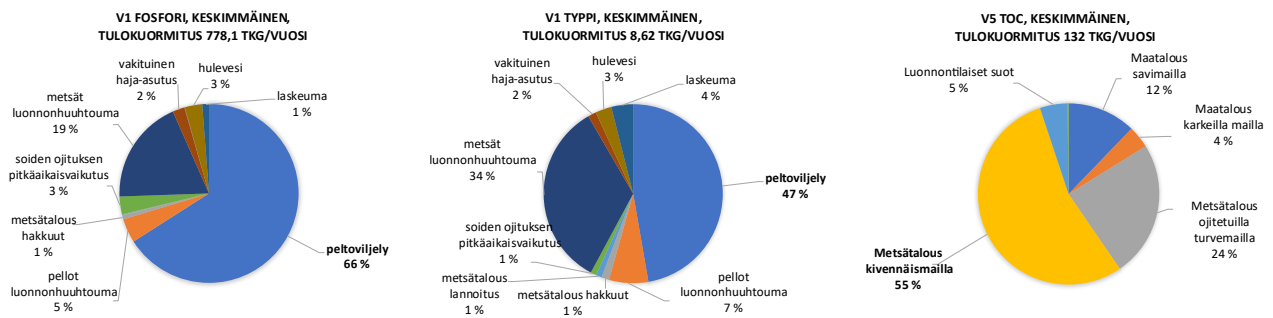
Kuva 2. Iisalmen Keskeisen valuma-alueen ja a) Natura-alueen rajaukset sekä valuma-alueen ulkopuolella olevat pistemäiset muinaisjäännöskohteet sekä b) suojeluohjelmaan kuuluvat alueet ja metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt. Sisältää Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Museoviraston aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

Keskeisen lähivaluma-alueella pintamaalajit koostuvat suureksi osaksi hienojakoisista maa-aineksista eli liejusta, liejusavesta, savesta ja hiesusta sekä Keskeisen pohjoisosassa vähäisiltä osiltaan myös hienoainesmoredenista ja hiekasta (Kuva 3). Keskeisen pohjoispuolella on havaittavissa myös muinaisen Saimaan rantatörmä (Jussila 2003).



Kuva 3. Iisalmen Keskeisen valuma-alueen pintamaalajitiedot. Sisältää Maanmittauslaitoksen ja Geologian tutkimuskeskuksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

VEMALA-mallin perusteella Keskimmäiseen kohdistuvasta fosforin ja typen ulkoisesta kuormituksesta VEMALAN perusteella suurin osa on peräisin peltoviljelystä (Kuva 4). Orgaanisen hiilen kuormitusta muodostuu puolestaan pääosin kivennäismaiden metsätaloudesta. Orgaanisen hiilen osalta luonnonhuuhtouman suuruutta ei ole VEMALAssa eroteltu maa- tai metsätaloudeksi olevien kivennäis- ja turvemaiden aiheuttamasta kuormituksesta. Valuma-alueella on maastokartan perusteella melko vähän metsätaloudeksi varten intensiivisesti ojitettuja turvemaita.



Kuva 4. VEMALAN avulla mallinnettu lisälmen Keskimmäiseen valuma-alueelta kohdistuva fosforin, typen ja orgaanisen hiilen kuormitus päästölähteittäin. Lähde: WSFS-Vemala/Syke, 9/2024.

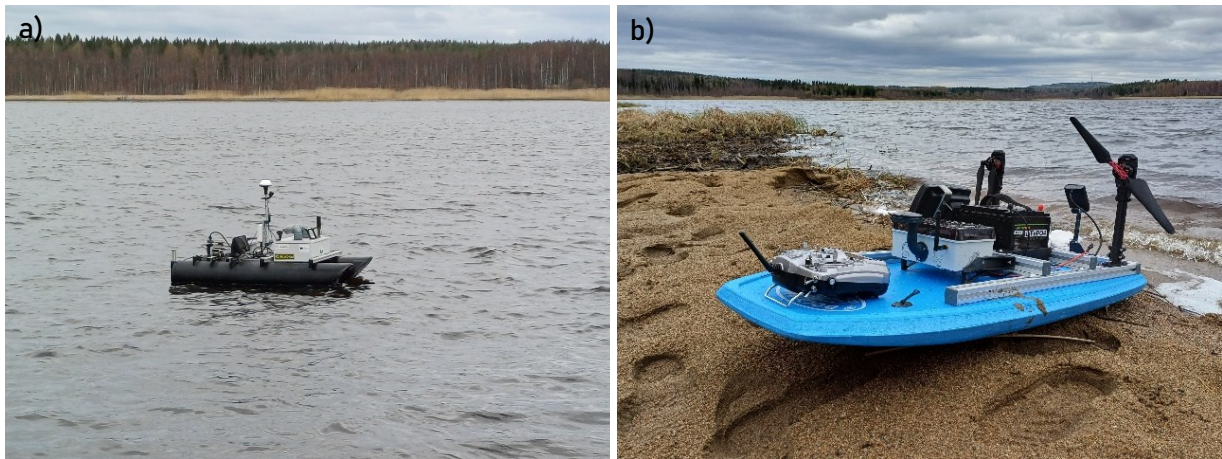
Keskimmäisen valuma-alueen länsilaidalla on ampumarata ja sen alapuolella ortokuvien perusteella allasmaisia vesiensuojelurakenteita, jotka todennäköisesti laskevat ojastoa pitkin Keskimmäisen pohjoisosaan. Ulkoampumaradat voivat aiheuttaa maaperään ja pintavesiin kohdistuvia lyijy-, antimoni-, kupari-, sinkki- ja arseenipäästöjä (Heinonen 2013). Lisäksi valuma-alueen pohjoisosassa on Savon Voima Oyj:n tuhkanläjitysalue, jonne läjitetään Parkatin voima- ja lämpölaitoksella syntyvää kiinteää puu- ja turveperäistä polttotuhkaa ja sen peittoon tarkoitettua maa-ainesta. Savon Voima Oyj:llä on läjitykselle lisälmen seudun ktt ky:n ympäristölautakunnan 5.9.2002 myöntämä lupa (28.8.2002 §92). Lupa läjitykselle on Ylä-Savon SOTE-kuntayhtymän ympäristölautakunnan (15.2.2012, Dno 490/2011) sekä Ylä-Savon ympäristölautakunnan (4.11.2025, Dnro IIS/535/11.01.00.01/2024) tekemin muutoksin voimassa 30.6.2028 saakka, jonka jälkeen alueen tulee olla maisemoituna 31.12.2028 mennessä. Ympäristöluvan muutoksessa (4.11.2025, Dnro IIS/535/11.01.00.01/2024) esitetyn perusteella tuhka sisältää naftaleenia, sulfaattia, sekä raskasmetalleista bariumia, kromia, molybdeenia, vanadiinia ja kloridia. Valumavesistä otettujen näytteiden perusteella arseeni-, kadmium- ja nikkelpitoisuudet ovat olleen tuhkanläjitysalueen alapuolisessa ojastossa hieman koholla. Läjitysalueen vedet laskevat Tervalammen kautta Mustapuroon ja siitä edelleen Keskimmäiseen.

## 3 Pintasedimentin poiston suunnittelua edeltävät taustaselvitykset

### 3.1 Järven morfologia

Ympäristöhallinnon rekisteriin kirjattu Keskimmäisen maksimisyvyys on 2,7 m. Maastokarttarasterin perusteella järven keskiosissa on noin 1,5 m syvyistä aluetta, mutta aiempia syvyyskarttoja järveltä ei ollut saatavilla.

Sedimentin poiston suunnittelun tueksi Keskimmäisellä toteutettiin toukokuussa 2025 syvyysluotaus, jota täydennettiin marraskuussa 2025 (Kuva 5). Luotaus toteutettiin USV-lautalla, joka on varustettu Humminbird Helix 9 -viistokaikuluotaimella. Matalimmilla alueilla hyödynnettiin lisäksi kevyempää USV-lauttaa Humminbird 561 -luotaimella. Täydentäviä luotauksia tehtiin kumiveneellä Humminbird Helix 7 -viistokaikuluotaimella. Luotaus kohdistettiin oletetulle syvänteeseen alueelle jättäen matalimmat, kasvillisuuden peittämät ranta-alueet pääosin luotaamatta (Kuva 6).

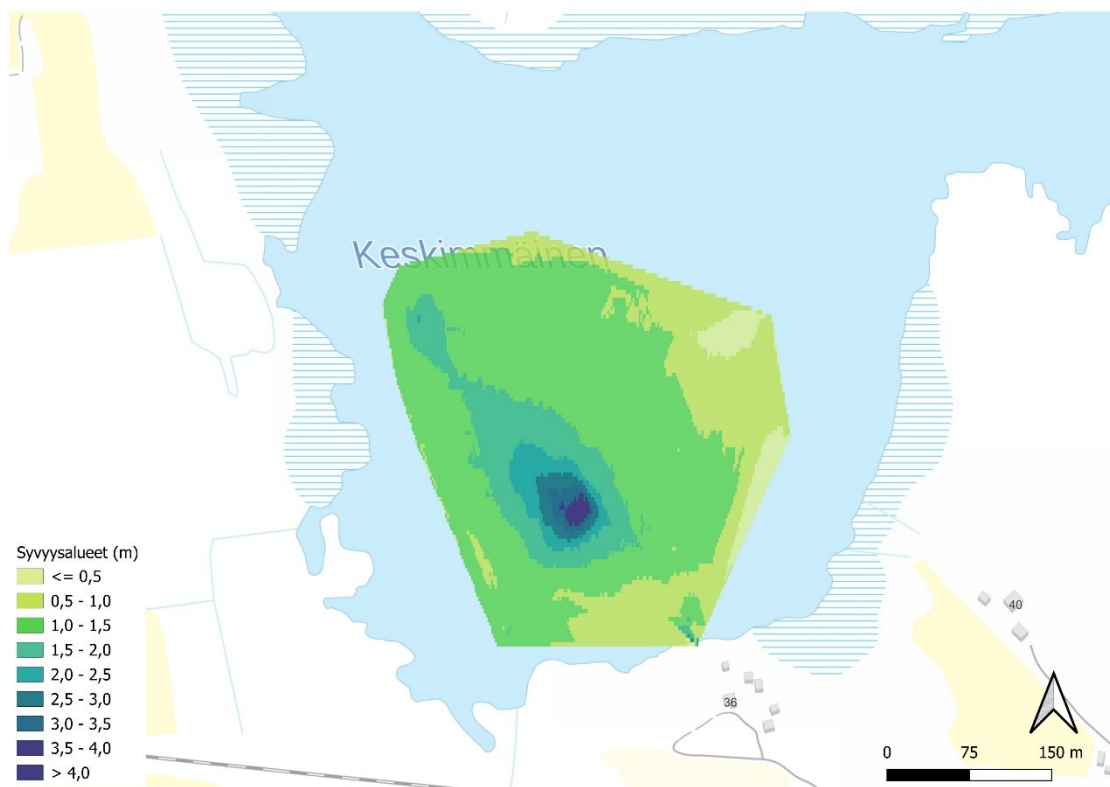


*Kuva 5. Keskimmäisen luotauksessa käytetty kalusto. Kuvat: Laura Härkönen*

Luotauksen perusteella Keskimmäinen on suurimmaksi osaksi alle 1,5 m syvyistä aluetta (Kuva 7). Sitä syvempien alueiden pinta-ala on noin 1,9 ha, joka kattaa noin 5 % koko järven pinta-alasta. Luotauksen aikana havaittu maksimisyvyys oli 4,1 m. Keskimmäisen eteläosassa sijaitseva syvänealue on kapea-alainen. Luotauksen ajankohdilta ei ole havaintoja Keskimmäisen vedenkorkeudesta. Vuosien 2021-2024 vedenkorkeushavaintojen perusteella arvioitu Keskimmäisen keskivedenkorkeus (MW) on noin N2000+86,40 m (Maveplan 2025).



Kuva 6. Keskimäinen dronekuvassa 15.5.2025, näkymä järven itäpäädyistä koilliseen. Kasvillisuuspeitteettömän syvänteen alue erottuu kuvassa taka-alalla. Kuva: Juho-Ville Marttila, Pohjois-Savon ELY-keskus.



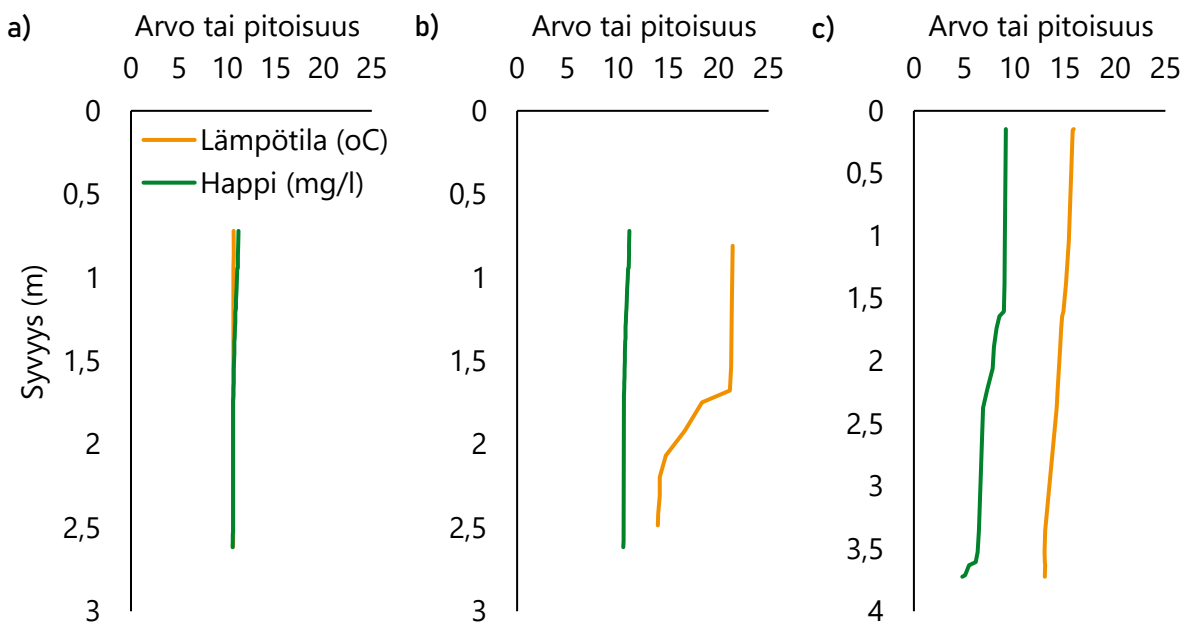
Kuva 7. Iisalmen Keskimäisen syvyyssalueet. Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

## 3.2 Vedenlaatu

Keskimmäisen vedenlaatua on seurattu hajanaisesti 1980 ja 1990-lukujen taitteessa. Systemaattisempi vedenlaadun seuranta on käynnistetty vuonna 2022 osana Helmi-elinympäristöohjelman kunnostustoimien suunnittelua ja toteutusta. Keskimmäisen vedenlaadun seuranta tihennettiin vuonna 2025, jolloin näytteet otettiin maaliskuu-, touko-, kesä-, elo-, syys- ja lokakuussa. Näytteistä on määritetty akkreditoitussa laboratorioissa standardimenetelmin kokonaisfosfori (TP), fosfaattifosfori ( $PO_4$ ), kokonaistyyppi (TN), nitraatti- ja nitriittityypen summa ( $NO_{2+3}$ ), ammoniumtyppi ( $NH_4$ ), liuennut happi ( $O_2$ ), orgaaninen kokonaishiili (TOC), sameus, kiintoaine, kokonaisrauta (Fe), mangaani (Mn), kemiallinen hapenkulutus ( $COD_{Mn}$ ), pH, väri, alkaliniteetti ja sähkönjohtavuus sekä kasvukaudella (kesä-syyskuu) myös a-klorofylli (Chl-a). Lisäksi otettiin sedimenttinäytteenoton yhteydessä 2.9.2025 vesinäytteet, joista määritettiin  $O_2$ , TP ja  $PO_4$ , sekä sedimenttinäytteiden kanssa yhteneväisesti alumiinin (Al), bariumin (Ba), kaliumin (K), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), natriumin (Na), rikin (S), sinkin (Zn), strontiumin (Sr) sekä titaanin (Ti) pitoisuudet.

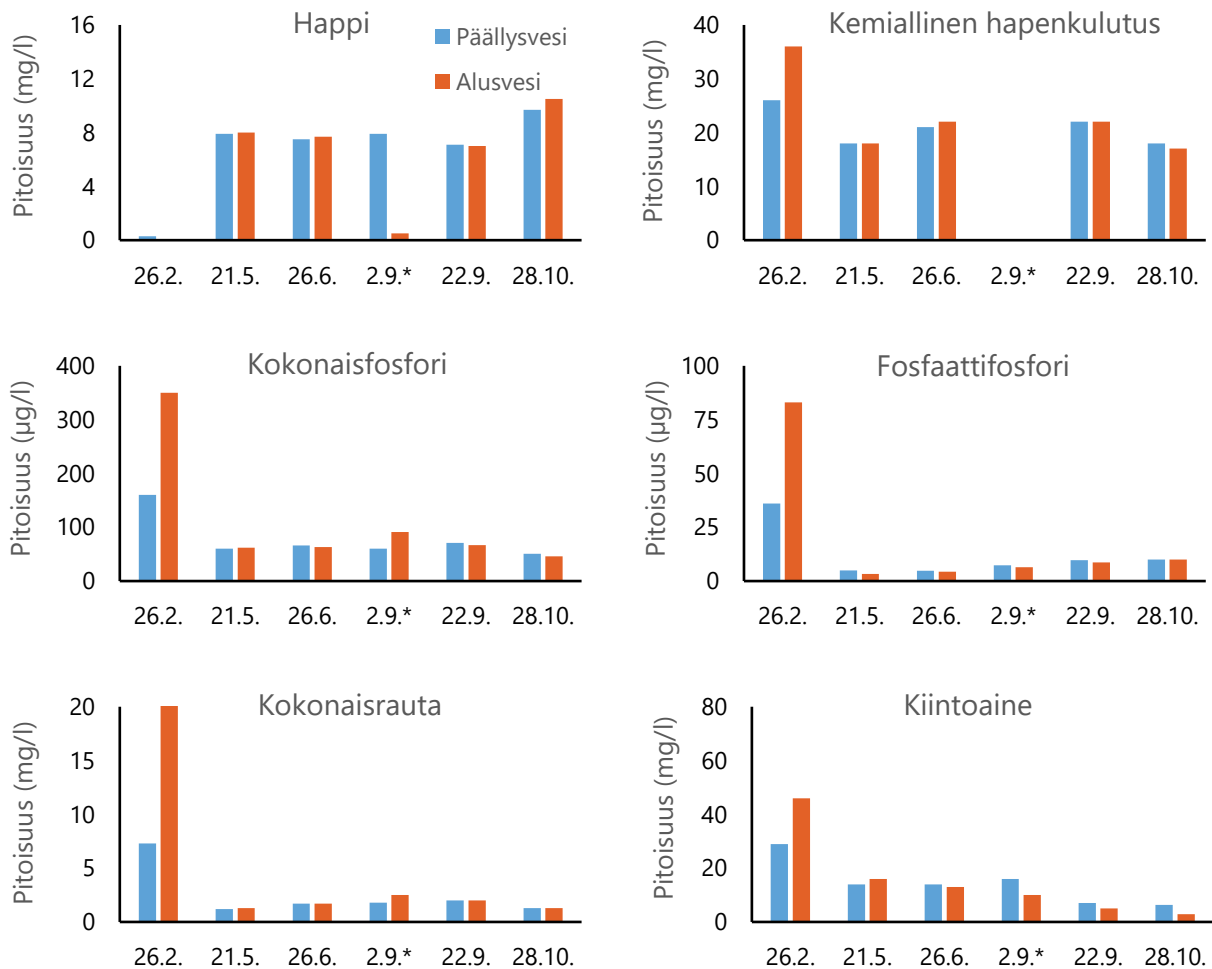
Ennen vuotta 2025 vesinäytteet on otettu järven syvänealueelta noin yhden metrin syvyydestä. Vuonna 2025 näytteet otettiin lisäksi 0,5 m pohjan yläpuolelta. Vesianalyysitulokset on tallennettu ympäristöhallinnon avoimeen Hertta-järjestelmään.

Lisäksi luotauksen aikana toukokuussa, kasvillisuuskartoituksen aikaan elokuussa ja sedimenttinäytteenoton aikaan syyskuussa 2025 mitattiin järven syvänealueella hapen ja lämpötilan vertikaaliprofiilit pinnasta pohjaan jatkuvatoimisella mittarilla (EX02, YSI Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA). Vertikaaliprofiilimittausten perusteella järvi oli lievästi lämpötilakerrostunut elokuun alussa, jolloin lämpötilan harppauskerros havaittiin noin 1,6-2 m syvyydessä (Kuva 8). Hapen vertikaaliprofiilissa ei kuitenkaan havaittu kyseisellä mittauskerralla huomattavaa muutosta, vaikka kerrostuneisuuden aikainen alusveden happikato on yleinen ilmiö humusjärvisissä (Fulthorpe and Paloheimo 1985). Keskimmäisen väriluku vuoden 2025 päällysvedestä otettujen näytteiden perusteella oli keskimäärin 131 mg Pt/l.



Kuva 8. Lämpötilan ja hapen vertikaaliprofiilit Keskimmäisen syvänealueella a) 14.5., b) 7.8. sekä c) 2.9.2025. Huomaa y-akselin erilaiset skaalat.

Vuoden 2025 aikana tiheämmin otettujen vesinäytteiden perusteella Keskimmäisen syvänealueella happi on lähes kulunut loppuun helmikuussa jääkannen alla sekä päällys- että alusvedessä (Kuva 9). Samaan aikaan kemiallisesti hapettuvien yhdisteiden määrästä kertova kemiallinen hapenkulutus on ollut suurimmillaan ja alusveden kokonaisfosfori-, fosfaattifosfori- ja rautapitoisuudet korkeimmillaan ilmentäen niiden vapautumista sedimentistä. Myös kiintoainepitoisuus oli korkeimmillaan jään alta otetuissa näytteissä. Vaikka vertikaaliprofiilimittauksissa ei havaittu merkittävää happipitoisuuden laskua vesipatsaassa avovesikauden aikana (Kuva 8), syyskuun alussa sedimenttinäytteenoton yhteydessä otetussa alusveden näytteessä happipitoisuus on kuitenkin ollut alhainen (0,5 mg/l) ja vastaavasti TP- ja Fe-pitoisuudet ovat olleet lievästi koholla (Kuva 9).



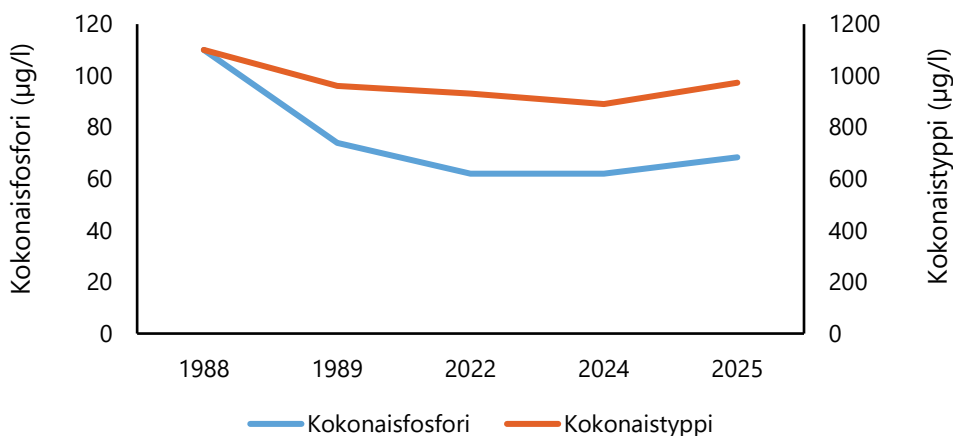
Kuva 9. Hapen, kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisfosforin sekä -raudan pitoisuudet Keskimmäisen päällys- ja alusvedessä vuonna 2025. Päällysveden näytteet on otettu 1 m pinnan alapuolelta ja alusveden näytteet 0,5 m pohjan yläpuolelta. Sedimenttinäytteenoton yhteydessä 2.9.2025 otetuista näytteistä ei määritetty kemiallista hapenkulutusta. Huomaa y-akselin erilaiset skaalat.

Keskimmäisen vesipatsaassa havaittiin pieniä pitoisuuksia alkali- ja raskasmetalleja sedimenttinäytteenoton yhteydessä. Pitoisuudet olivat monen alkuaineen kohdalla keskimäärin hieman korkeampia alusvedessä verrattuna päällysveden arvoihin (Taulukko 1).

Taulukko 1. Keskimäisen sedimenttinäytteenoton yhteydessä määritetyt alumiinin (Al), bariumin (Ba), kaliumin (K), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), rikin (S), sinkin (Zn), strontiumin (Sr) sekä titaanin (Ti) keskimääräiset pitoisuudet (N=5) sedimenttinäytteenotuspisteiden päällyss- (1 m pinnan alapuolella) ja alusvedessä (0,5 m pohjan yläpuolella). Ks. Kuva 11 sedimenttinäytteenotuspisteiden sijainnista.

Näytesyvyys	Keskimääräinen pitoisuus (µg/l)										
	Al	Ba	K	Ca	Mg	Mn	Na	S	Zn	Sr	Ti
Päällyysvesi	94,6	17,6	1,8	6,3	2,4	166,0	3,0	1120,0	2,1	38,4	2,1
Alusvesi	112,2	20,0	1,8	6,3	2,4	236,0	3,0	1100,0	1,7	38,4	3,2

Korkeimmat kasvukauden (kesä-syyskuu) keskimääräiset päällyssveden TP- ja TN-pitoisuudet on mitattu vuonna 1988, jonka jälkeen pitoisuudet ovat pysyneet melko vakaina (Kuva 10). Vuonna 2025 kasvukauden keskimääräiset pitoisuudet (68 µg TP/l ja 973 µg TN/l) kuvastivat fosforin osalta välttävää ja typen osalta tyydyttävää matalien runsashumuksisten järvien ekologista tilaa (Aroviita et al. 2025).



Kuva 10. Kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskimääräiset pitoisuudet Keskimäisen päällyssvedessä (0-1,5 m syvyydessä) kasvukaudella (kesä-syyskuussa) vuosien 1988-2025 välillä.

### 3.3 Sedimentin ominaisuudet

Keskimäisen sedimenttinäytteet otettiin 2.-4.9.2025 viipaloivalla Limnos-sedimenttinoutimella, jonka sisähalkaisija on 10 cm. Näytteitä otettiin viidestä näytteenotuspisteestä, jotka oli sijoitettu eri puolille ja eri syvyyksille Keskimäisen syvännealuetta (Kuva 11). Näytteenottimella saatiin otettua näytepisteestä riippuen 0-27 cm pituiset sedimenttiprofiilit (koorit), jota syvemmälle näytteenotin ei pystynyt sedimentin tiivyydestä johtuen tunkeutumaan (Kuva 12).

Sedimenttikooreja otettiin jokaiselta näytteenotuspisteeltä kolme. Kaksi kooreista viipaloitiin ravinne- ja metallianalyysijä sekä huokosvesien suodatusta varten 2 cm paksuisiksi viipaleiksi lukuun ottamatta näytteen syvintä osaa, jonka paksuudeksi tuli näytteenottimesta ja näytteenotuspisteistä saatujen koorien pituuksista riippuen 5-6 cm (Liitetaulukko 1-3). Organisten haitta-aineiden (polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) sekä per- ja polyfluoratut alkyylilyhdisteet (PFAS)) analyysijä varten erilliset sedimenttikoorit viipaloitiin 6 cm paksuisiksi viipaleiksi lukuun ottamatta näytteen syvintä osaa, jonka paksuudeksi tuli näytteenottimesta ja näytteenotuspisteistä saatujen koorien pituuksista riippuen 7-11 cm (Liitetaulukko 4-5).



Kuva 11. Keskimääräisen sedimenttikartoituksessa hyödynnetyt näytteenottpisteet (IIK1-5) järven syvännealueella. Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

Yksi koori siivutettiin 2 cm viipaleisiin, jotka suljettiin tiiviisti muovipusseihin ja joista erotettiin välittömästi näytteenoton jälkeen noin 10–20 ml huokosvettä Rhizon-ruiskusuodattimella (huokoskoko 0,2  $\mu\text{m}$ ) kylmäpatruunoilla viilennetyssä kylmälaatikossa. Suodatetut huokosvesinäytteet siirrettiin ruiskuista näyteputkiin ja pakastettiin (noin  $-18^\circ\text{C}$ ) kuljetusta varten. Syken laboratoriossa näytteet sulatettiin ja niistä analysoitiin spektrofotometrisesti (Genesys 10S UV-Vis)  $\text{PO}_4$  (Koroleff 1983) sekä kahdenarvoinen rauta ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ja kolmenarvoinen rauta ( $\text{Fe}^{3+}$ ) pelkistettynä (hydroksyyliamiinihydrokloridilla) kahdenarvoiseksi raudaksi ( $\text{Fe}^{2+/3+}$ ). Menetelmät eivät ole akkreditoituja, mutta tulosten oikeellisuus varmistettiin analysoinnin yhteydessä kaupallisilla sertifioituilla laadunvarmistusnäytteillä (Merck ja AccuStandard). Lisäksi pohjan yläpuolisesta (0,5 m sedimentin pinnan yläpuolelta) vedestä otettiin näyte, josta osa pakastettiin suodattamattomana ja osa suodatettuna (vakuumisuodatus 0,4  $\mu\text{m}$  Nuclepore-membraanisuoatimilla). Alusveden  $\text{PO}_4$  ja  $\text{Fe}^{2+/3+}$  analysoitiin kuten yllä.

Sedimenttiviipaleet pakastettiin (noin  $-18^\circ\text{C}$  –  $-20^\circ\text{C}$ ) ja näytteitä kuivattiin kylmäkuivurissa ( $-90^\circ\text{C}$ ) noin kaksi viikkoa. Sedimenttinäytteiden vesipitoisuus määritettiin punnitsemalla näyte pakastettuna ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen.

Kylmäkuivatuista sedimenttinäytteistä määritettiin heikutushäviö (LOI). Ennen tätä, niiden vesipitoisuus tarkistettiin kuivaamalla keraamisiin upokkaisiin punnitut noin 0,500 g:n osanäytteet  $105^\circ\text{C}$ :ssa lämpökaapissa noin 24 tuntia, minkä jälkeen ne punnittiin uudelleen. Orgaanisen aineen pitoisuudesta kertova LOI määritettiin polttamalla kuivatut näytteet upokkaissa muhveliunissa  $550^\circ\text{C}$ :ssa kahden tunnin ajan ja polttohäviö punnittiin.



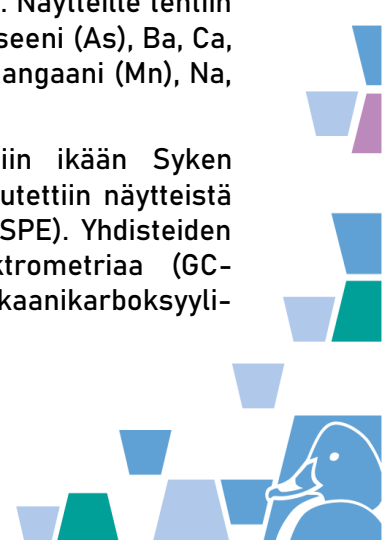
Sedimentin fosforivarastojen selvittämiseksi sedimentinäytteistä analysoitiin kemiallisella uutolla fosforin eri sitoutumis- ja liukoisuusmuotoja (ts. fraktioita, (Jensen and Thamdrup 1993; Lukkari et al. 2007; Psenner et al. 1988)). Näytteistä määritettiin ensin huokosveden liukoinen ja heikosti sitoutunut fosfori, joka uutettiin MilliQ-vedellä (Ads-P). Tämän jälkeen uutettiin pelkistyvän raudan oksihydroksideihin sitoutunut fosfori (natriumditioniitti bikarbonaattipuskurissa (pH 7), Fe-P) ja edelleen alumiinioksideihin sitoutunut fosfori (Al-P) sekä labiili orgaaninen fosfori (Lab org P) (liukoinen ja kokonaisfosfori natriumhydroksidissa). Lopuksi uutettiin stabiilimmat apatiittifosfori (suolahappo, Apatite-P) sekä jäännösfosfori (suolahappouutto hehkutuksen jälkeen, Res-P), joista jälkimmäinen on pääasiassa hajotusta kestävää orgaanista fosforia. Suodatetuista uutteisista analysoitiin liukoinen fosfaatti ja suodattamattomista kokonaisfosfori spektrofotometrisesti (Genesys 10S UV-Vis, (Koroleff 1983)).




Kuva 12. Keskimmäiseltä viipaloivalla Limnoksella otettu a) 24 cm paksuinen sedimentinäyte sekä b) sedimentinäytteen syvimmästä 5 cm kerroksesta pilkistävä surviaissääsken toukka (*Chironomus plumosus*). Kuvat: a) Laura Härkönen, b) Kaarina Lukkari.

Alkali-, maa-alkali-, puoli- ja raskasmetallipitoisuudet määritettiin Syken akkreditoidussa laboratoriossa induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrillä (ICP-MS). Näytteille tehtiin märkäpoltto suolahapon ja typpihapon seoksella ja näytteistä määritettiin Al, arseeni (As), Ba, Ca, kadmium (Cd), koboltti (Co), kromi (Cr), kupari (Cu), Fe, elohopea (Hg), K, Mg, mangaani (Mn), Na, nikkeli (Ni), lyijy (Pb), S, antimoni (Sb), Sr, Ti, vanadiini (V) ja Zn.

Orgaaniset haitta-ainepitoisuudet (PAH ja PFAS-yhdisteet) määritettiin niin ikään Syken laboratoriossa. Näytteistä määritettiin yhteensä 30 eri PAH-yhdistettä, jotka uutettiin näytteistä käyttäen kiinteä-neste -uuttoa, ja uute puhdistettiin kiinteäfaasiuuton avulla (SPE). Yhdisteiden pitoisuudet määritettiin hyödyntäen kaasukromatografia-tandemmassaspektrometriä (GC-MS/MS). Lisäksi sedimentinäytteistä määritettiin yhteensä 64 eri perfluorialkaanikarboksyli-





(PFCA), perfluorialkaanisulfony- (PFSA), fluorotelomeerikarboksyli-, fluorotelomeerisulfony- (FTSA), perfluorialkyylieetterikarboksyli-happohin, perfluorialkaanisulfonyamideihin (FASA) ja niiden johdannaisiin, perfluorialkyylieetterisulfony- (PFESA), perfluorialkyylifosfiinihappoihin (PFPIA) sekä dialkyloituihin fosfaattiestereihin (DiPAP) sisältyvää PFAS-yhdistettä. PFAS-yhdisteet uutettiin näytteistä käyttäen kiinteä-neste -uuttoa, puhdistettiin kiinteäfaasiuutolla (SPE) grafiittista mustaa hiiltä (Graphitic Carbon Black) adsorbenttina hyödyntäen, ja yhdisteiden pitoisuudet määritettiin käyttäen nestekromatografi-tandemmassaspektrometriaa (LC-MS/MS).

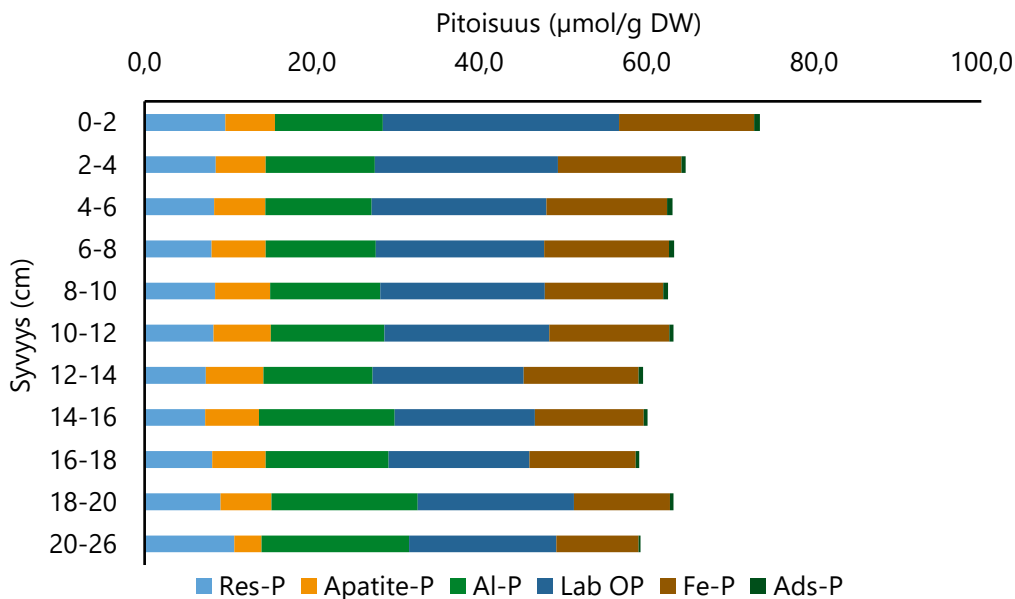
### 3.3.1 Ravinnepitoisuudet sedimentissä ja huokosvedessä

Fraktiointitulosten perusteella Keskimmäisen sedimentissä korkein fosforipitoisuus havaittiin pintasedimentissä 0-2 cm syvyydessä (uuttuneiden jakeiden summa km. 74  $\mu\text{mol/g}$  kuivapainosta (DW)) ja alimmillaan fosforipitoisuus oli puolestaan syvemmissä 16-18 ja 20-26 cm syvyyksissä (59  $\mu\text{mol/g}$  DW) (Kuva 13, Liitetaulukko 1).

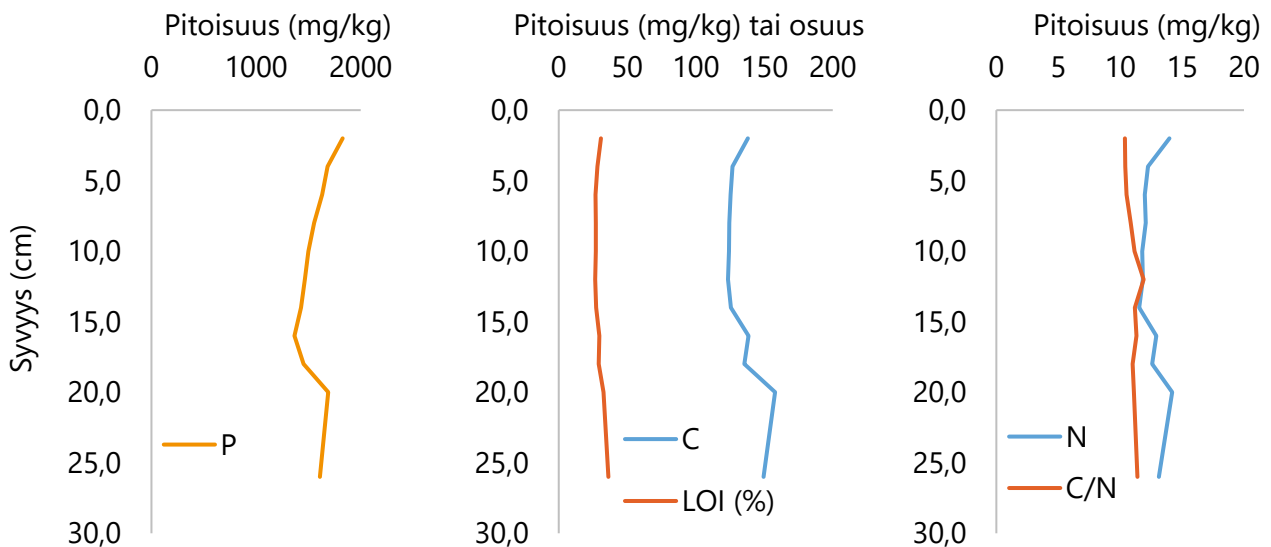
Fraktiointin perusteella karkeasti ottaen puolet uutetusta fosforista oli potentiaalisesti labiilissa muodossa. Tästä suoraan käyttökelpoista, heikosti adsorboitunutta fosforia (Ads-P) oli tyypillisesti kuiva-ainetta kohti laskettuna vähiten ja suurin osa oli ajan myötä sedimentin biogeokemiallisissa prosesseissa mahdollisesti vapautuvaa raudan oksihydroksideihin sitoutunutta (Fe-P) tai labiilia orgaanista fosforia (Lab-OP). Ensinmainittu voi vapautua pelkistävässä oloissa ja jälkimmäinen fraktio sisältää myös jo hajonneen orgaanisen fosforin hajoamistuotteita. Noin puolet uutetusta fosforista oli puolestaan immobiilissa muodossa, alumiinioksideihin (Al-P) sitoutuneena, apatiittifosforina (Apatite-P) tai heikosti hajoavana orgaanisena fosforina (Res-P) (Kuva 13, Liitetaulukko 1).

Päällimmäisen pintasedimentin suurempi uutettavissa olevan fosforin pitoisuus kuvastaa muun muassa sedimentoituvan ravinnerikkaan aineksen laskeutumista pintaan, mikä näkyy etenkin labiilin orgaanisen fosforin suurempana pitoisuutena pintakerroksessa. Lisäksi se kuvastaa biogeokemiallisissa prosesseissa, esimerkiksi orgaanisen aineksen hajoamisen ja oksihydroksidien raudan pelkistymisen seurauksena vapautuvan fosfaatin diffundoitumista kohti pintaa ja sitoutumista hapelliseen pintakerrokseen. Sedimentin pinnassa olikin eniten pelkistyvän raudan oksihydroksideihin sitoutunutta fosforia ja sitä oli vähiten syvimmissä kerroksissa. Suuremmat fosforipitoisuudet syvemmissä kerroksissa voivat puolestaan viitata esimerkiksi sedimentaation muutokseen tiettyä aikana tai siihen, että kyseiseen kerrokseen on saostunut tai sitoutunut alemmista kerroksista vapautunutta fosfaattia. Sedimentin prosesseissa vapautunut fosfaatti on voinut sitoutua esimerkiksi alumiinin oksihydroksideihin, jotka eivät ole herkkiä pelkistymiselle ja voivat pidättää fosfaattia myös hapettomissa olosuhteissa ja pelkistyneissä kerroksissa. Tähän voi viitata se, että alumiinin oksihydroksideihin sitoutunutta fosforia oli eniten syvimmissä kerroksissa.

Sedimentistä määritetyn kokonaisfosforin, hiilen ja typen pitoisuudet olivat korkeimmillaan paitsi sedimentin pintakerroksessa myös syvemmissä, yli 18 cm sedimenttikerroksissa (Kuva 14, Liitetaulukko 1). Myös labiilin orgaanisen fosforin pitoisuus oli 18-20 cm sedimenttikerroksessa hieman ala- tai yläpuolisia kerroksia suurempi (Kuva 13). Tämä voi viitata orgaanisiin jäämiin, kuten esimerkiksi kasvinosiin tai pohjaeläinten toiminnasta aiheutuvaan aineksen kulkeutumiseen. Sedimentin heikutushäviö vaihteli välillä 27-36 % ja kasvoi hieman syvempiä kerroksia kohti.



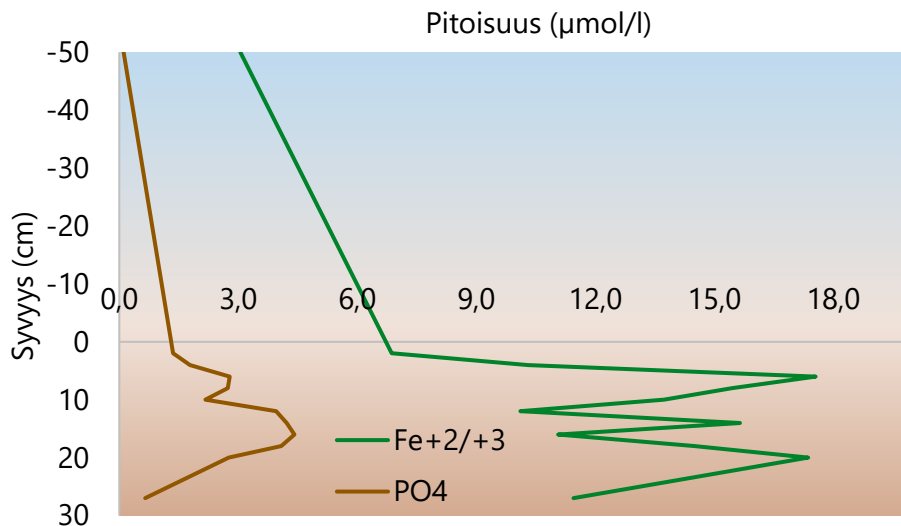
Kuva 13. Fosforin fraktiot Keskimmäisen sedimentissä 0-26 cm syvyyksistä otetuissa sedimenttikooresseissa. Pitoisuudet on ilmoitettu suurimman pitoisuuden mukaan, sillä näytteenottopisteiden välillä oli eroa koorien paksuudessa, eikä keskiarvoja syvemmille yli 18 cm kerroksille voitu laskea.



Kuva 14. Fosfori-, hiili- ja typpipitoisuudet sekä hiilen ja typen suhde Keskimmäisen sedimentissä syvyyden funktiona. Huomaa x-akselin erilaiset skaalat. Pitoisuudet on ilmoitettu suurimman pitoisuuden mukaan, sillä näytteenottopisteiden välillä oli eroa koorien paksuudessa, eikä keskiarvoja syvemmille yli 18 cm kerroksille voitu laskea.

Keskimmäisen sedimentissä huokosvesien fosfaattifosforin ( $PO_4$ ) pitoisuudet olivat alhaisimmillaan 0-2 cm syvyydessä, nousivat melko tasaisesti välillä 2-18 cm ja laskivat jälleen 20-27 cm syvyydessä lähelle pintasedimentin arvoja (Kuva 15, Liitetaulukko 2). Huokosveden liukoisen raudan ( $Fe^{+2/+3}$ ) pitoisuudet olivat puolestaan korkeimmillaan 4-6 cm sekä 18-20 cm syvyyksissä. Huokosveden pintaa kohti alenevat  $PO_4$ - ja  $Fe^{+2/+3}$ -pitoisuudet viittaavat sitoutumiseen sedimentin hapettuneeseen pintakerrokseen. Fosfaattifosforin pitoisuudet olivat suurimmillaan näyteköörin keskivaiheilla, johon on mahdollisesti kertynyt mineralisaation ja pelkistymisen vapauttamaa

hitaasti pintakerroksia kohti diffundoituvaa fosfaattifosforia. Rauta analysoitiin näytteen pelkistämisen jälkeen, joten se sisälsi sekä kahdenarvoisen liukoisen että kahdenarvoiseksi pelkistyneen kolmenarvoisen raudan huokosvedestä. Rautaa vapautuu huokosveteen sedimentistä pelkistymisen seurauksena, mutta se voi olla myös sitoutuneena orgaanisiin yhdisteisiin.



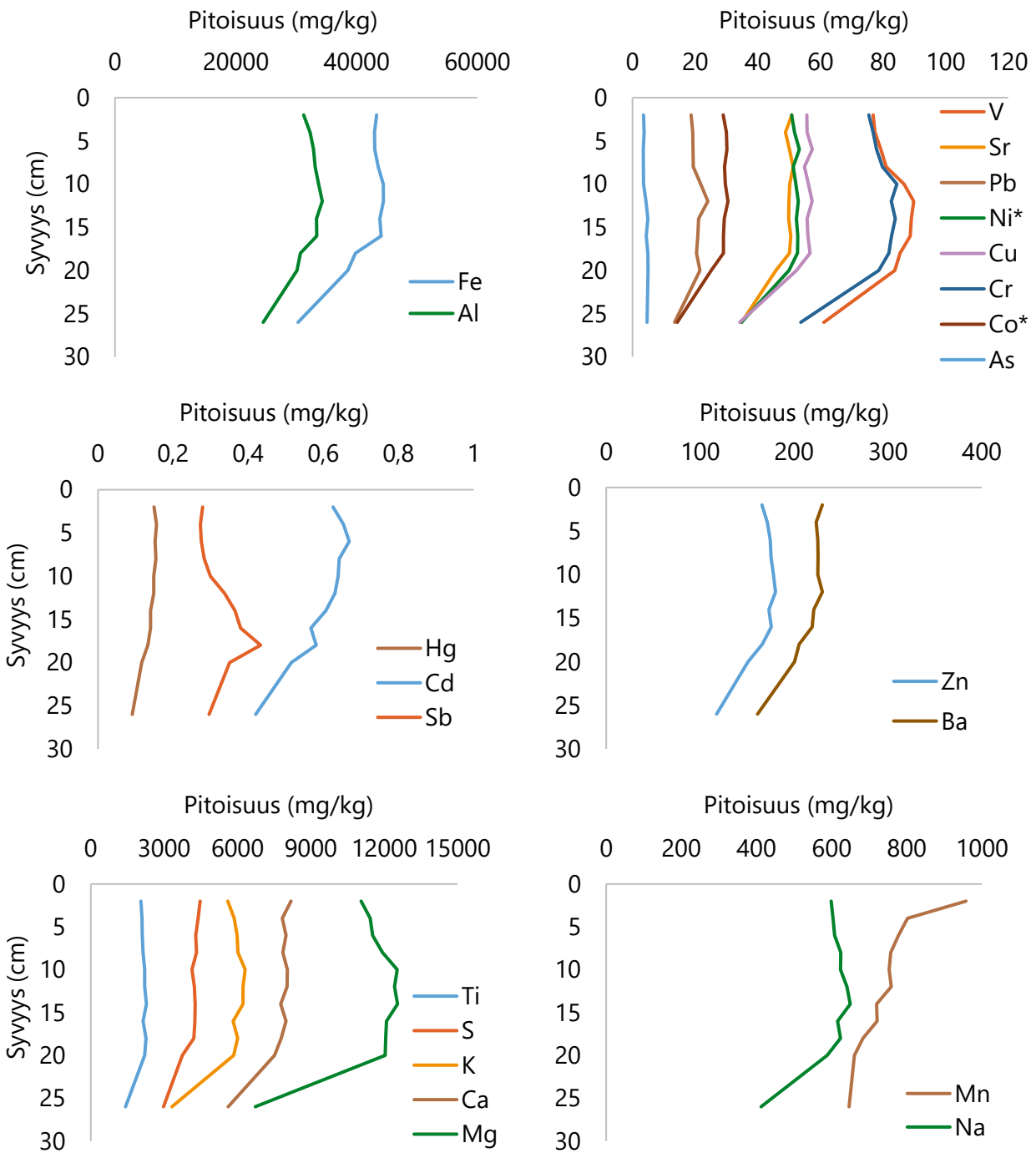
Kuva 15. Keskimmäisen sedimentin huokosveden suurimmat liukoisen raudan ( $Fe^{+2/+3}$ ) sekä fosfaattifosforin ( $PO_4$ ) pitoisuudet sedimentin yläpuolisessa vedessä (kuvassa päälimmäinen näytesyvyys -50-0 cm) ja eri sedimenttikerroksissa syvyyksillä 0-27 cm. Pitoisuudet on ilmoitettu suurimman pitoisuuden mukaan, sillä näytteenottopisteiden välillä oli eroa koorien paksuudessa, eikä keskiarvoja syvyyksille 18-27 cm on voitu laskea.

### 3.3.2 Metallit

Keskimmäisen sedimentistä määritettyjen alkali-, maa-alkali-, puoli- ja raskasmetallien pitoisuudet pysyivät melko vakaina tai nousivat hieman lähes kaikkien alkuaineiden osalta näytesyvyyksissä 0-16 cm, jonka jälkeen pitoisuudet lähtivät laskuun (Kuva 16, Liitetaulukko ). Keskimmäisen sedimentissä esiintyneiden metallien pitoisuuksia verrattiin valtioneuvoston antamaan asetukseen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (PIMA, 214/2007) sekä ympäristöhallinnon ohjeeseen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (Ympäristöministeriö 2007). Vanadiinin osalta pitoisuudet ylittivät maaperän kynnysarvon sedimenttisyvyyksissä 4-20 cm (77 mg/kg, (Ympäristöministeriö 2007)). Nikkelin osalta pitoisuus ylitti puolestaan PIMA-asetuksen kynnysarvon (50 mg Ni/kg) sedimenttisyvyyksissä 0-20 cm ja koboltin osalta kynnysarvon (20 mg Co/kg) syvyyksissä 0-20 cm (Kuva 16, Liitetaulukko ).

Suomessa ei ole toistaiseksi ohjeistusta tai raja-arvoja sedimenttien pilaantuneisuuden, tai ympäristö- ja terveysriskien arviointiin (Häkkinen et al. 2022). Ruoppaus- ja läjitysohje määrittelee sedimenttien läjityskelpoisuuden vapaaseen veteen, muttei ota kantaa niiden pilaantuneisuuteen, eikä sen sisältämiä raja-arvoja ruoppausmassoille ole tarkoitettu sovellettavaksi paikalleen jätettävien koonneita haitta-ainepitoisuuksia sisältävien sedimenttien riskien tai kunnostustarpeen arviointiin (Ympäristöministeriö 2015).

Keskimmäisellä koboltin, nikkelin ja vanadiinin ylityksiä tapahtui kaikissa näytteenottopisteissä (Liitetaulukko ). Ylitysten vuoksi Keskimmäisen sedimentti ei soveltune ainakaan sellaisenaan lannoitekäyttöön. Hyödyntämismahdollisuudet esimerkiksi maanrakennusaineena tai vaihtoehtoinen käsittely ja läjitys pilaantuneena maa-aineksena on arvioitava erikseen.



Kuva 16. Keskimäisen sedimenttiviipaileista määritettyjen alkali-, maa-alkali-, puoli- ja raskasmetallien suurimmat havaitut pitoisuudet eri syvyyksissä. Huomaa x-akselin erilaiset skaalat. \*PIMA-asetuksen kynnyksiarvo ylittyy (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007)).

### 3.3.3 Haitta-aineet

Keskimmäisen sedimentissä havaittiin joitakin PAH-yhdisteitä, joista monien pitoisuudet olivat suurimmillaan 12-18 cm syvyydessä (Taulukko 2). Pitoisuudet eivät ylittäneet kotimaisia kynnyksarvoja, jotka on esitetty ympäristöhallinnon ohjeissa maaperän pilaantuneisuuden tai sedimenttien läjityksen arvioinnille (Ympäristöministeriö 2007; Ympäristöministeriö 2015). Ainoastaan antraseenin kohdalla kansainvälisistä tutkimuksista johdettu kynnyksarvo ylittyi niukasti 6-12 ja 18-29 cm sedimenttisyvyyksissä (Taulukko 2).

*Taulukko 2. Keskimmäisen sedimentissä määrittämisen ylittäneiden polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) suurimmat pitoisuudet eri sedimenttikerroksissa. Taulukossa on esitetty ainoastaan ne yhdisteet, joiden pitoisuudet ylittivät määrittämisen rajan, joka on kaikille yhdisteille 2 µg/kg. Kynnyksarvot pitoisuuksille \*ympäristöhallinnon ohje maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (Ympäristöministeriö 2007), \*\*ympäristöhallinnon ohje sedimenttien ruoppaukselle ja läjitykselle, taso 1C tai sen puuttuessa 2 (Ympäristöministeriö 2015), \*\*\*kansainvälisistä ympäristölaatuunormeista johdetut esimerkkikynnyksarvot (Häkkinen et al. 2022).*

PAH-yhdiste	Sedimenttikerros				Kynnyksarvo (µg/kg)
	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm	18-29 cm	
2-Metyylifenantreeni	2,6	0,0	0,0	2,9	
3-Metyylifenantreeni	2,2	0,0	0,0	2,7	
9-Metyylifenantreeni	0,0	0,0	0,0	2,7	
Antraseeni	0,0	2,5**	2,1	2,4**	1000*; 500** 2,4***
Asenaftyleeni	0,0	3,4	2,3	0,0	33***
Bentso[a]antraseeni	5,0	6,7	6,9	14,9	1000*; 100**; 60***
Bentso[a]pyreeni	12,6	19,6	21,6	29,3	200*; 450**; 180***
Bentso[b]fuoranteeni	15,3	19,0	30,3	32,5	140***
Bentso[e]pyreeni	19,5	67,4	52,2	48,4	
Bentso[ghi]peryleeni	21,9	24,2	50,1	44,5	100**; 84***
Bentso[j]fuoranteeni	7,7	9,7	16,1	18,1	
Bentso[k]fuoranteeni	6,7	8,9	14,1	18,2	1000*; 250**; 140***
Dibentso[a,h]antraseeni	2,7	3,4	5,6	5,7	27**
Fenantreeni	14,8	11,2	13,0	15,8	1000*; 780**
Fluoranteeni	16,2	19,9	24,0	40,3	
Indeno[1,2,3-cd]pyreeni	19,6	23,2	44,2	42,0	100**; 63***
Kryseeni	6,1	7,7	8,4	16,1	300**; 280***
Naftaleeni	5,1	5,2	5,4	4,1	1000*; 250**; 27***
Peryleeni	73,5	102,2	336,5	264,5	
Pyreeni	16,4	17,1	26,8	38,3	280**; 84***
Trifenyyleeni	3,6	5,1	10,0	10,3	
PAH, summa	251,4	356,5	669,7	653,7	15000*

Keskimmäisen sedimenteissä havaittiin pieniä pitoisuuksia myös PFAS-yhdisteitä, joiden pitoisuudet olivat pääosin suurimmillaan sedimenttisyvyyksissä 0-12 cm (Taulukko 3, Liitetaulukko 5). Ainoastaan perfluorioktaanisulfonihapolle (PFOS) on asetettu vesipuitteiden direktiivissä (VPD, 2000/60/EY, 2013/39/EU) ympäristölaatuunormi (Environmental Quality Standard; EQS) kalan lihaksessa, joka on sisä- ja rannikkovesissä 9,1 µg/kg. Kyseinen kynnyksarvo ei ylittynyt Keskimmäisen sedimenteissä. PFOS:lle on myös hetkellisen pitoisuuden ympäristölaatuunormi (MAC-EQS) sisävesien vedelle (36 µg/l) (direktiivi 2013/39/EU), mutta ympäristölaatuunormeja

muille PFAS-yhdisteille tai yleisesti ottaen sedimentin pitoisuuksille ei ole asetettu (Perkola et al. 2023).

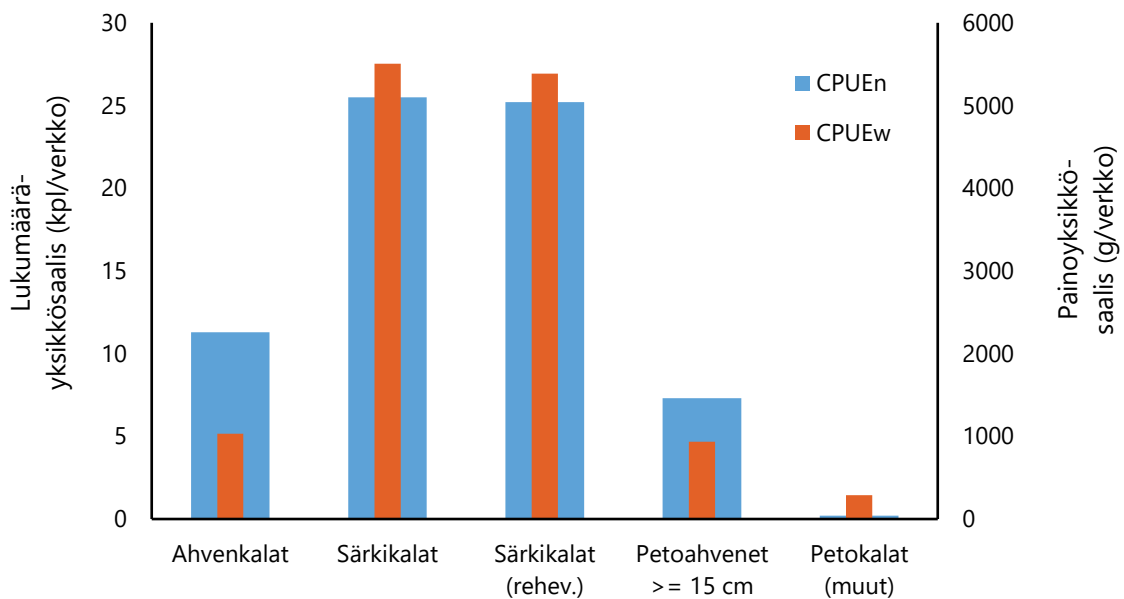
*Taulukko 3. Suurimmat per- ja polyfluorattujen alkylyyhdisteiden (PFAS) pitoisuudet (µg/kg) Keskimäisen sedimenttikerroksissa. Taulukossa on esitetty ainoastaan ne yhdisteet, joiden pitoisuudet ylittivät määritysrajan.*

PFAS-yhdiste (lyhenne, määr.raja)	Sedimenttikerros			
	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm	18-29 cm
<b>Perfluoributaanihappo</b> (PFBA, 0,01)	0,038	0,023	0,029	0,016
<b>Perfluorioktaanihappo</b> (PFOA, 0,005)	0,012	0,010	0,009	0,008
<b>Perfluorinonaanihappo</b> (PFNA, 0,005)	0,015	0,013	0,013	0,012
<b>Perfluoridekaanihappo</b> (PFDA, 0,01)	0,013	0,011	0,009	0,005
<b>Perfluoriundekaanihappo</b> (PFUdA, 0,001)	0,030	0,037	0,022	0,007
<b>Perfluoridodekaanihappo</b> (PFDoA, 0,001)	0,013	0,011	0,008	0,002
<b>Perfluoritridekaanihappo</b> (PFTrDA, 0,001)	0,022	0,019	0,016	0,004
<b>Perfluoritetradekaanihappo</b> (PFTeDA, 0,001)	0,007	0,005	0,005	0,001
<b>Perfluorioktaanisulfonihappo</b> (PFOS, 0,01)	0,068	0,060	0,039	0,020
<b>N-etyyliperfluorioktaanisulfonamidietikkahappo</b> (N-EtFOSAA, 0,01)	0,011	0,014	0,016	
<b>Bis(Perfluoriheksyyli)fosfiinihappo</b> (6:6 PFPiA, 0,01)	0,003	0,001	0,001	

## 3.4 Lajisto

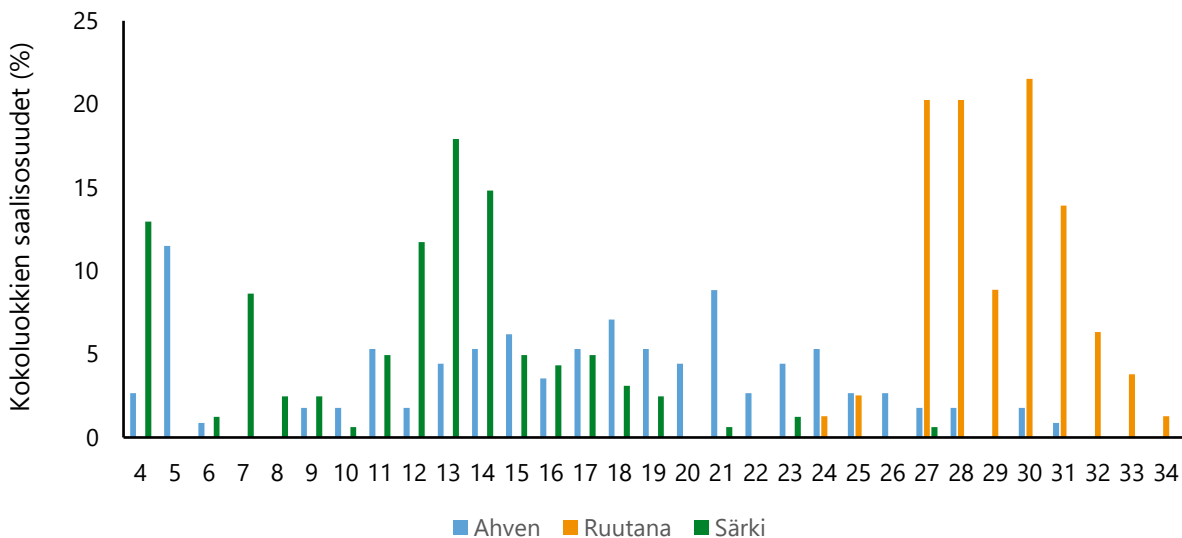
### 3.4.1 Kalat

Keskimmäisellä on toteutettu koekalastus vuonna 2023 osana Helmi-elinympäristöohjelmaa. Koekalastus toteutettiin standardinmukaisesti Nordic-yleiskatsausverkoilla hyödyntäen kymmentä yleiskatsausverkkoa. Runsaimpina esiintyvät lajit sekä lukumäärä- että painoyksikkösaaliin perusteella olivat ahven (*Perca fluviatilis*), sekä rehevyyttä ilmentävistä särkikalosta ruutana (*Carassius carassius*) ja särki (*Rutilus rutilus*). Lisäksi koekalastussaaliissa esiintyi harvakseltaan haukea (*Esox lucius*), lahnaa (*Abramis brama*) ja säyneettä (*Leuciscus idus*) (Kuva 17). Kokonaislukumääräyksikkösaalis oli 37 yks./verkkoyö ilmentäen erinomaista ekologista tilaa, kun taas kokonaisbiomassa (6825 g/verkkoyö) ja särkikalojen osuus painoyksikkösaaliista (81 %) ilmensivät huonoa ekologista tilaa (Aroviita et al. 2025).



Kuva 17. Keskimmäisellä 2023 toteutettujen standardinmukaisten koeverkotusten lukumäärä- ja painoyksikkösaaliit. Ahvenkalat koostuivat yksinomaan ahvenesta ja särkikalat ruutanasta, lahnanasta, särjestä ja säyneestä. Näistä ruutana, lahna ja särki edustivat rehevyyttä ilmentäviä särkikalajoja. Muihin petokaloihin lukeutui hauki.

Yleisimmin esiintyvät kalalajit oli mitattu solmuvälikohtaisesti. Mittausten perusteella ahvenia esiintyi kokoluokissa 4–31 cm ja kokoluokkien 5 cm ja 21 cm edustajat olivat yleisimpiä (Kuva 18). Särjistä puolestaan runsaimpina esiintyivät kokoluokkien 4, 7 ja 12–14 cm edustajat. Koekalastuksissa saaliiksi saadut ruutanat olivat pääsääntöisesti yli 27 cm pituisia.

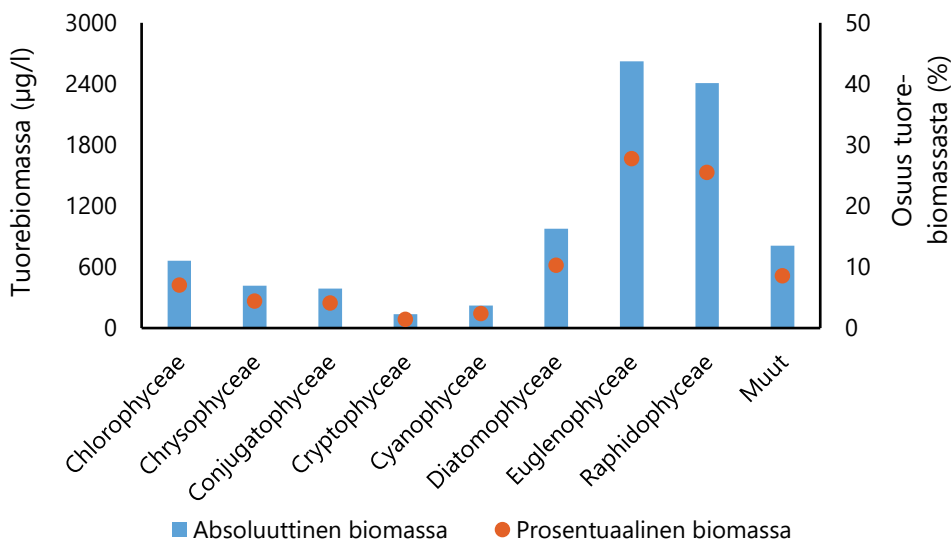


Kuva 18. Keskimmäisen koekalastuksessa saaliiksi saatujen yleisimpien kalalajien kokoluokkakohtaiset yksilömääräiset saalisosuudet.

### 3.4.2 Kasviplankton

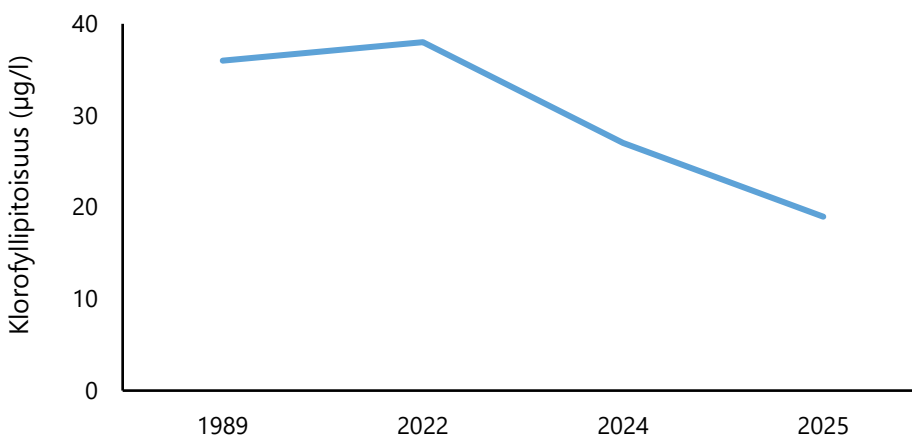
Keskimmäisen kasviplanktonyhteisön koostumusta on selvitetty ainoastaan 22.8.2022, jolloin runsaimpina esiintyivät humusjärville tyypilliset silmälevien (Euglenophyceae) sekä limalevien (Raphidophyceae) lahkot (Kuva 19). Silmälevistä yleisimpänä esiintyivät *Euglena* spp., sekä *Trachelomonas* spp. ja limalevistä yksinomaan *Gonyostomum semen*. Piilevien (Diatomophyceae) lahkosta runsaimpina esiintyivät *Aulacoseira* sp. sekä *Cyclotella* spp. Sinilevien osuus kasviplanktonbiomassassa oli ainoastaan 2,4 %, josta runsaimpina esiintyvä laji oli *Aphanocapsa holsatica*.

Havaittujen kasviplanktonitaksonien kokonaislukumäärä vuonna 2022 oli 90, a-klorofylli 38 µg/l, kokonaisbiomassa 8 661 µg/l, haitallisten sinilevien osuus n. 1 % ja kasviplanktonin trofiaindeksi 1.6. Näistä haitallisten sinilevien osuus kuvasti matalien runsashumuksisten järvien erinomaista tilaa, kun puolestaan a-klorofylli ilmensi tyydyttävää, ja kokonaisbiomassa sekä kasviplanktonin trofiaindeksi välttävää ekologista tilaa (Aroviita et al. 2025).



Kuva 19. Keskimäisen kasviplanktonituorebiomassa laikoittain 22.8.2022. Ryhmä "Muut" sisältää lahot Choanoflagellidea, Dinophyceae, Klebsormidiophyceae, Mamiellophyceae, Synurophyceae, Trebouxiophyceae sekä Tribophyceae.

Keskimäisen perustuotannon voimakkuudesta kertova pällysveden keskimääräinen a-klorofyllipitoisuus on ollut korkeimmillaan vuosina 1989 ja 2022 (36-38 µg/l), jonka jälkeen pitoisuudet ovat puolittuneet vuoteen 2025 mennessä (19 µg/l; Kuva 20). Keskimäisellä aloitettiin vuonna 2024 hoitokalastus osana Helmi-elinympäristöohjelmaa (Ks. Muut vesiensuojelu- ja kunnostustoimenpiteet). Eläinplanktonia saalistaviin särkikaloihin kohdennetulla hoitokalastuksella on useiden tutkimusten perusteella pystytty vaikuttamaan välillisesti kasviplanktonituotannon voimakkuuteen (Hansson et al. 1998; Jeppesen et al. 2012; Salonen et al. 2020; Triest et al. 2016) ja hoitokalastuksen voidaan olettaa vaikuttaneen klorofyllipitoisuuteen myös Keskimäisellä. Seuranta-aineisto on kuitenkin toistaiseksi niin harvaa, ettei luotettavaa tilastollista analyysia hoitokalastuksen vaikutuksesta ole mahdollista tehdä. Vuoden 2025 klorofyllipitoisuus kuvasti hyvää ekologista tilaa (Aroviita et al. 2025).

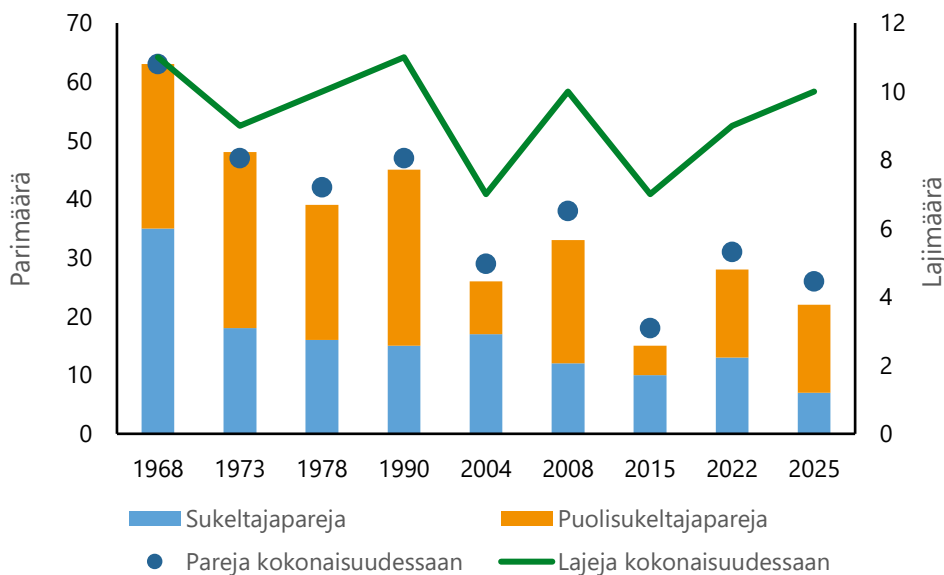


Kuva 20. Keskimäisen keskimääräinen a-klorofyllipitoisuus pällysvedessä (0-1,5 m) kasvukaudella (kesä-syyskuu) vuosien 1989-2025 välillä. Vuosien 1989-2024 arvot kuvastavat ainoastaan yhden näytteenotokerran pitoisuuksia. Kasvukaudella 2025 näytteenotokertoja oli kolme.

### 3.4.3 Linnusto

Keskimmäisen pesimälinnustoa on seurattu vuodesta 1968 saakka. Pesivien vesilintujen parimäärä on laskenut voimakkaasti sekä sukeltajien että puolisukeltajien osalta (Kuva 21). Erityisesti vaarantuneiden ja uhanalaisten puolisukeltajasorsien, kuten haapanan (*Mareca penelope*) ja jouhisorsan (*Anas acuta*) parimäärät ovat laskeneet, eikä kyseisiä lajeja havaittu 2000-luvulla joinakin vuosina lainkaan pesimässä (Taulukko 4). Sukeltajasorsista erityisesti uhanalaiset punasotka (*Aythya ferina*) ja tukkasotka (*A. fuligula*) ovat taantuneet voimakkaasti, eikä pesiviä mustakurkku-uikkuja ole havaittu Keskimmäisellä vuoden 1968 jälkeen. Yleisellä tasolla Keskimmäisellä havaittu vesilintujen pitkän ajan taantuma vastaa valtakunnallista trendiä (Laaksonen et al. 2019; Lehikoinen et al. 2019). Keskimmäisellä taantuman taustalla on todennäköisesti useita tekijöitä. Esimerkiksi veden tummuminen ja sameneneminen uhkaavat heikentää uposkasvillisuuden esiintymistä, joka voi heijastua vesiselkärangattomien runsauteen ja siten vesilintujen ravinnonhankintaan (Arzel et al. 2020; Virkkala 2016). Lisäksi järven avoimet rantaniityt ovat umpeutuneet ja haittaavat etenkin kahlaajien pesintää.

Viimeisimpinä vuosina on kuitenkin havaittu myös positiivista kehitystä sillä pesivien vesilintulajien lukumäärä on noussut vuosien 2004 ja 2015 alhaisimmista määristä ja vuonna 2025 lajeja havaittiin 11 (Kuva 21, Taulukko 4). Merkkinä positiivisesta kehityksestä esimerkiksi pesivien telkkien (*Bucephala clangula*) lukumäärä on ollut 2000-luvulla nousussa ja laulujoutsen (*Cygnus cygnus*) on alkanut pesiä järvellä (Taulukko 4).



Kuva 21. Keskimmäisen vesilintujen parimäärät ja yleinen pesivien vesilintujen lajimäärä vuosien 1968-2025 välillä (Kauhanen 1969; Pynnönen 2004; Ruokolainen 2008; Tuomainen 1986; Ukkonen 1978; Väänänen 1990; Yliluoma 2015; Yliluoma 2022; Yliluoma 2025). Sukeltajiin lukeutuvat mustakurkku-uikku, punasotka, telkkä, tukkasotka sekä silkkiuikku ja puolisukeltajiin puolestaan haapana, heinätavi, jouhisorsa, lapasorsa, tavi sekä sinisorsa. Näiden lisäksi Keskimmäisellä ovat pesineet laulujoutsen ja nokikana.

Vesilintujen pesimämenestys on kuitenkin lajien välillä vaihdellut poikuelaskentojen perusteella huomattavasti. Vuonna 2025 esimerkiksi laulujoutsenen pesintä oli keskeytynyt ja nokikanojen pesintä epäonnistui todennäköisesti pienpetojen ja osin myös ruskosuohaukan (*Circus aeruginosus*) saalistuksen takia (Yliluoma 2025). Haapanalla, lapasorsalla, telkällä ja sinisorsalla sen sijaan havaittiin poikuelaskennoissa onnistuneet pesinnät (Yliluoma 2025). Pesiään

voimakkaasti puolustavaa naurulokkiyhdyksuntaa (*Chroicocephalus ridibundus*) ei havaittu Keskimmaisella vuoden 2025 laskennoissa (Yliluoma 2025), millä voi olla heikentävä vaikutus etenkin sotkien pesintään (Pöytä et al. 2019).

*Taulukko 4. Keskimmaisen pesivien vesilintujen parimäärät 1968-2025 (Kauhanen 1969; Pynnönen 2004; Ruokolainen 2008; Tuomainen 1986; Ukkonen 1978; Väänänen 1990; Yliluoma 2015; Yliluoma 2022; Yliluoma 2025). Lajien uhanalaisuusarvioinnin (Hyvärinen et al. 2019) mukaiset uhanalaisuusluokat ovat CR = äärimmäisen uhanalainen, EN = erittäin uhanalainen, LC = elinvoimainen, NT = silmällä pidettävä, VU = vaarantunut.*

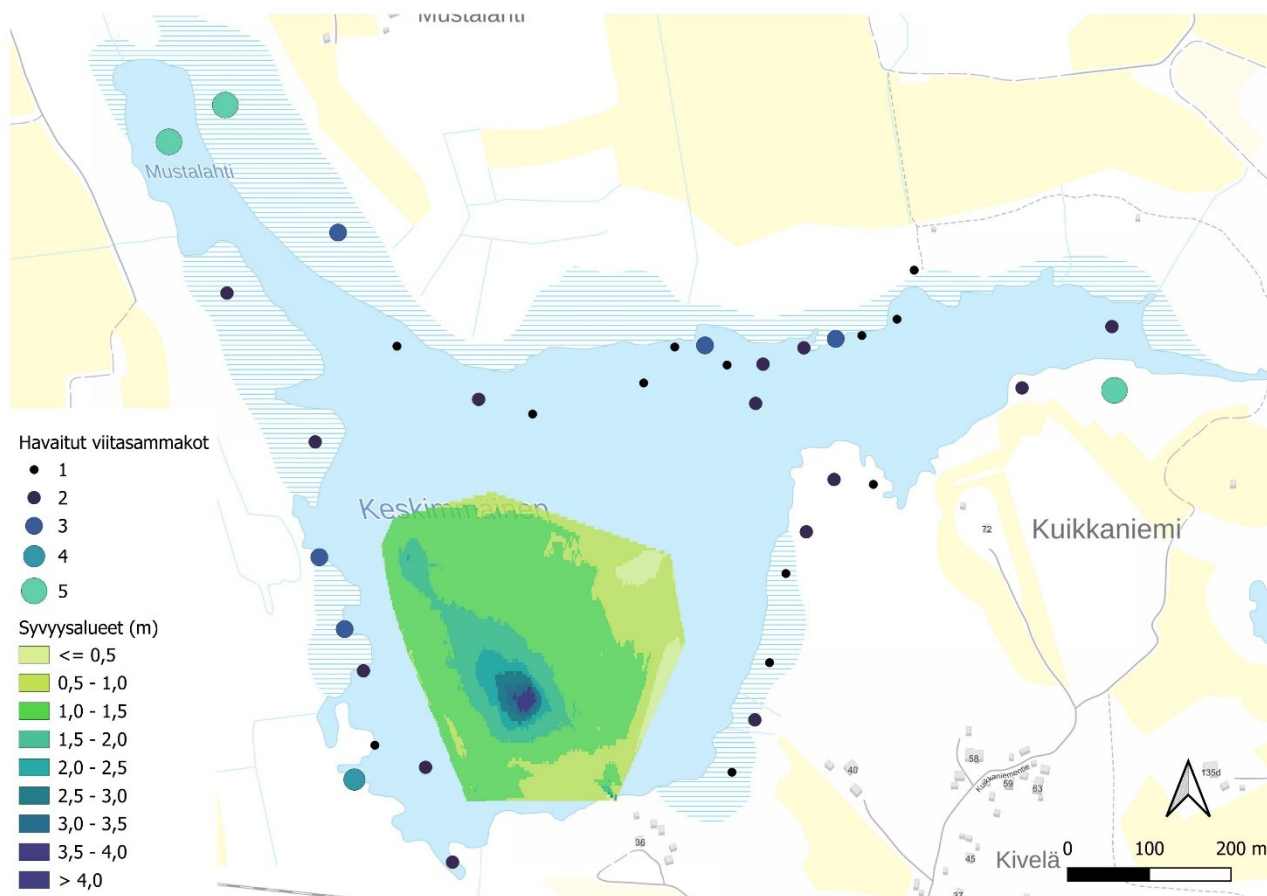
Laji		1968	1973	1978	1990	2004	2008	2015	2022	2025
Haapana ( <i>Mareca penelope</i> )	VU	7	8	10	4		2			2
Heinätaivi ( <i>Spatula querquedula</i> )	VU	2	2	2	2				3	
Jouhisorsa ( <i>Anas acuta</i> )	VU	6	4	2	5					1
Lapasorsa ( <i>Spatula clypeata</i> )	LC	1	3	1	7	5	5		3	2
Laulujoutsen ( <i>Cygnus cygnus</i> )	LC						1	2	1	1
Mustakurkku-uikku ( <i>Podiceps auritus</i> )	EN	3								
Nokikana ( <i>Fulica atra</i> )	EN			2	3	3	4	1	2	3
Punasotka ( <i>Aythya ferina</i> )	CR	8	1	2	2	1	1			
Silkkiuikku ( <i>Podiceps cristatus</i> )	NT	9	4	5	5	13	3	3	2	2
Sinisorsa ( <i>A. platyrhynchos</i> )	LC	4	5	5	3	3	7	1	5	4
Tavi ( <i>A. crecca</i> )	LC	8	8	4	9	1	7	4	4	6
Telkkä ( <i>Bucephala clangula</i> )	LC	4			2		6	6	8	4
Tukkasotka ( <i>A. fuligula</i> )	EN	11	13	9	6	3	2	1	3	1

### 3.4.4 Luontodirektiivin liitteen IV lajit

#### Viitasammakko

Viitasammakon (*Rana arvalis*) ja sen lisääntymis- ja levähdyspaikoiksi soveltuvien elinympäristöjen esiintymistä Keskimmaisella on kartoitettu 19.5.2022 (A. Kanninen ja V.-M. Vallinkoski, laji.fi [ladattu 26.2.2025]). Kartoituksen aikana vallitsi tyyni, poutainen sää. Kartoituksessa kierrettiin järvi kanootilla rannan myötäisesti samalla koiraiden ääntelyä kuulostellen. Laulavien koiraiden lukumäärä tulkittiin ja elinympäristön soveltuvuutta viitasammakolle arvioitiin.

Kartoituksen aikana havaittiin arviolta yhteensä 75 viitasammakkokoirasta. Keskimmaisen viitasammakkohavainnot painottuvat odotetusti järven rantaluhdille ja matalimmille rantavyöhykkeille (Kuva 22). Viitasammakko on koko maassa rauhoitettu (LSA 2023/1066) EU:n luontodirektiivin liitteen IV(a) laji. Viimeisimmässä lajien uhanalaisuusarvioinnissa viitasammakko on arvioitu elinvoimaiseksi (Hyvärinen et al. 2019).



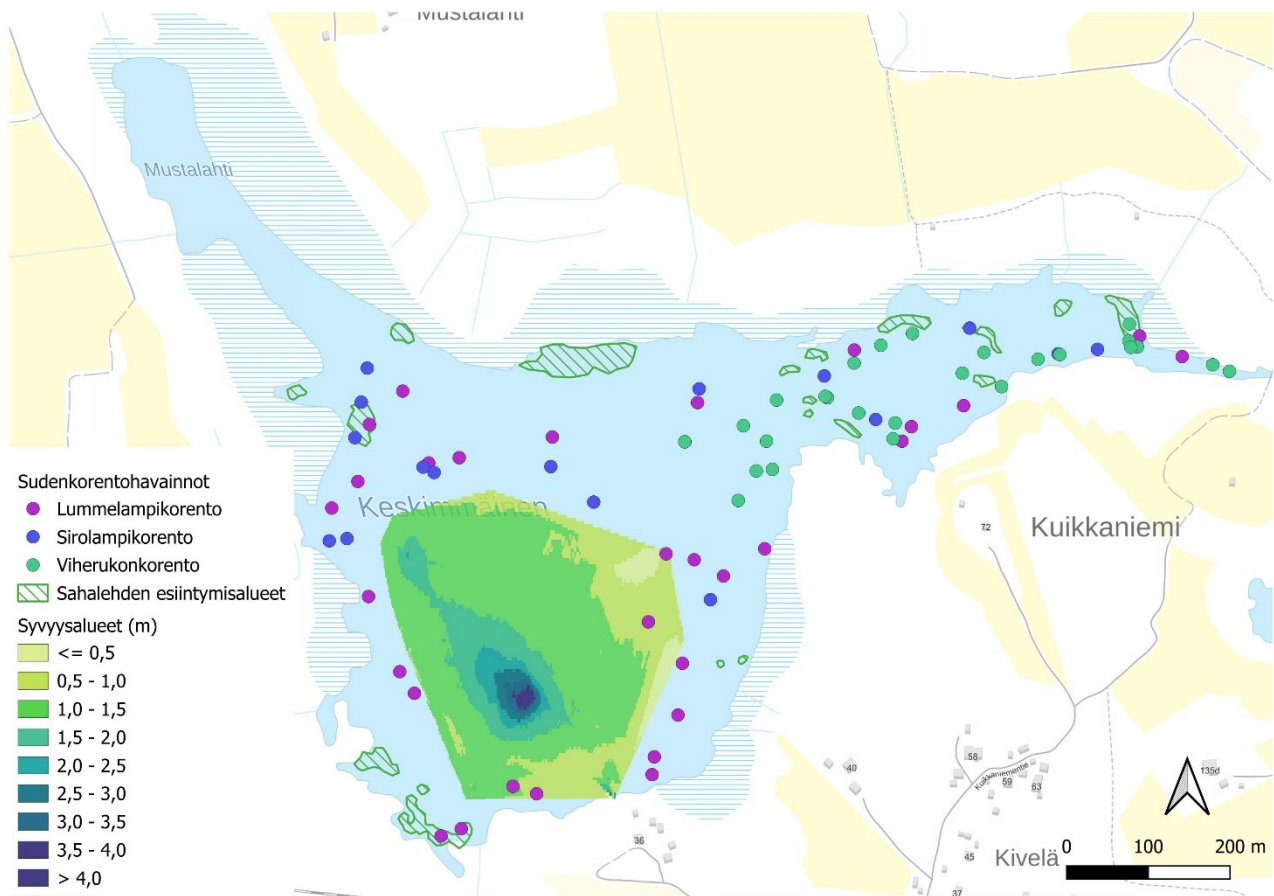
Kuva 22. Iisalmen Keskimmäisellä tehdyt viitasammakkohavainnot vuonna 2022. Lähde: Antti Kanninen ja Veli-Matti Vallinkoski, Pohjois-Savon ELY-keskus. Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

## Sudenkorennot

Keskimmäisellä esiintyvät sudenkorennot kartoitettiin kesällä 2025 keskittyen erityisesti luontodirektiivin liitteessä IV(a) mainittujen täplä- (*Leucorrhinia pectoralis*), siro- (*L. albifrons*) ja lummelampikorentojen (*L. caudalis*) sekä viherukonkorenon (*Aeshna viridis*) potentiaalsiin esiintymispaikkoihin (Kumpula and Metsänen 2025). Kartoitukset suoritettiin sudenkorenoille optimaalisissa sääolosuhteissa aurinkoisina, lämpiminä ja vähätuulisina päivinä. Keskimmäisen ranta-alueet kierrettiin kanootilla ja soveltuvissa paikoissa pysähdyttiin havainnoimaan korentoja pidemmäksi aikaa. Havainnointi kattoi kelluslehtisvyöhykkeen, ilmaversoiskasvustot sekä mahdollisuuksien mukaan luhat ja erilliset allikot.

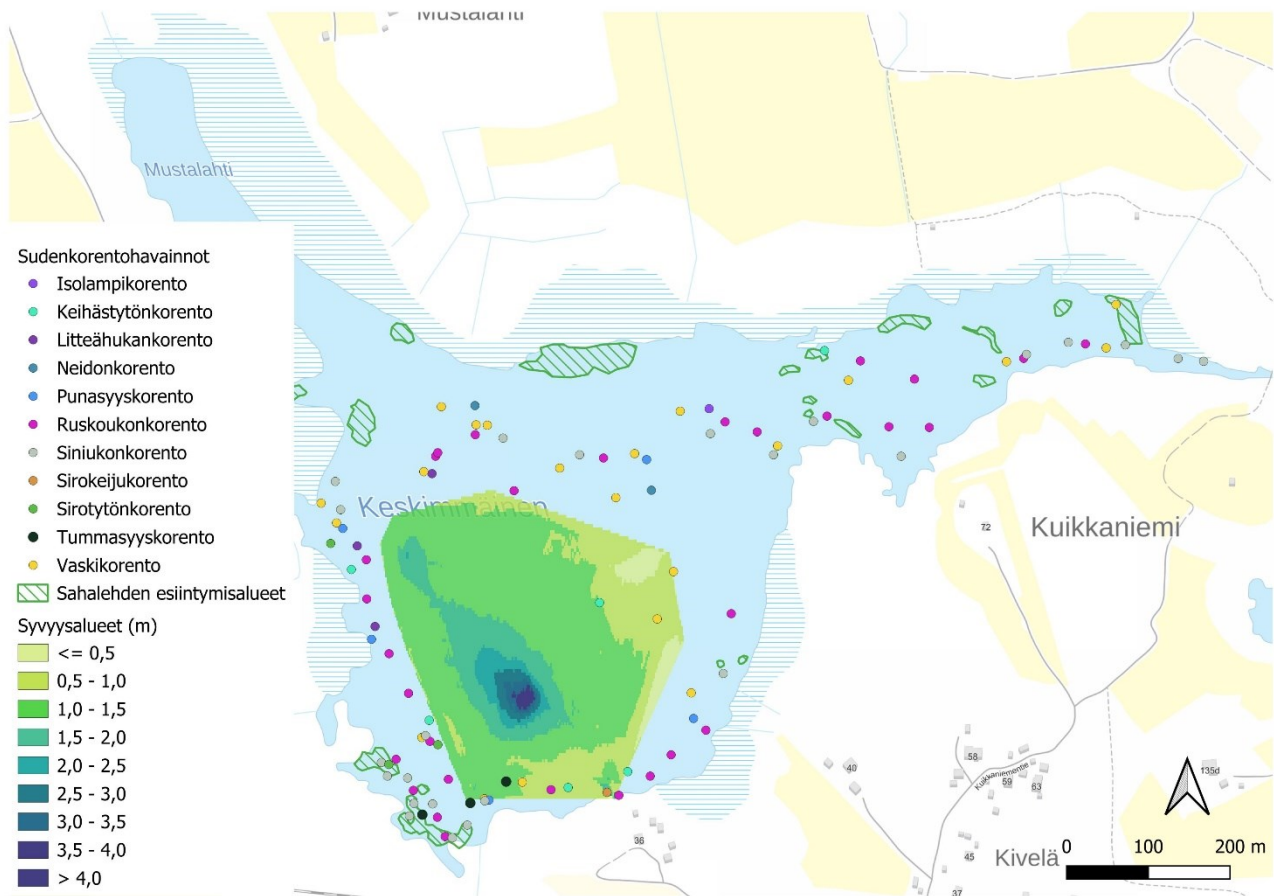
Kartoituksen perusteella Keskimmäisellä esiintyy siro- ja lummelampikorentoja sekä viherukonkorentoja (Kuva 23) (Kumpula and Metsänen 2025). Kyseiset lajit ovat koko maassa rauhoitettuja (LSA 2023/1066). Siro- ja lummelampikorennot on viimeisimmässä lajien uhanalaisuusarvioinnissa tulkittu elinvoimaisiksi (Hyvärinen et al. 2019). Viherukonkorento on sen sijaan arvioitu vaarantuneeksi suppean ja voimakkaasti pirstoutuneen esiintymisen vuoksi (Hyvärinen et al. 2019). Viherukonkorenon esiintyminen on sidoksissa sahalehden esiintymiseen (Nieminen and Ahola 2017), joiden esiintymisalueita paikannettiin Keskimmäisen korentokartoituksen yhteydessä (Kumpula and Metsänen 2025). Sahalehden yleisyyden vuoksi Keskimmäinen on merkittävä alueellinen viherukonkorenon esiintymiskohde.

Täplälampikorentoja ei havaittu Keskimmäisen kartoituksessa (Kumpula and Metsänen 2025).



Kuva 23. Keskimäisen sudenkorentoselvityksessä kesällä 2025 havaitut luontodirektiivin liitteen IV(a) sudenkorennot ja arvioidut sahalehden esiintymisalueet (Kumpula and Metsänen 2025). Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

Keskimäisen sudenkorentokartoituksessa havainnoitiin karkealla tasolla myös muita kuin luontodirektiivin liitteen IV(a) sudenkorentoja. Muita kuin luontodirektiivin liitteen sudenkorentolajeja havaittiin 11 lajia laajalti eri puolilla järven litoraalityöhykettä (Kuva 24).

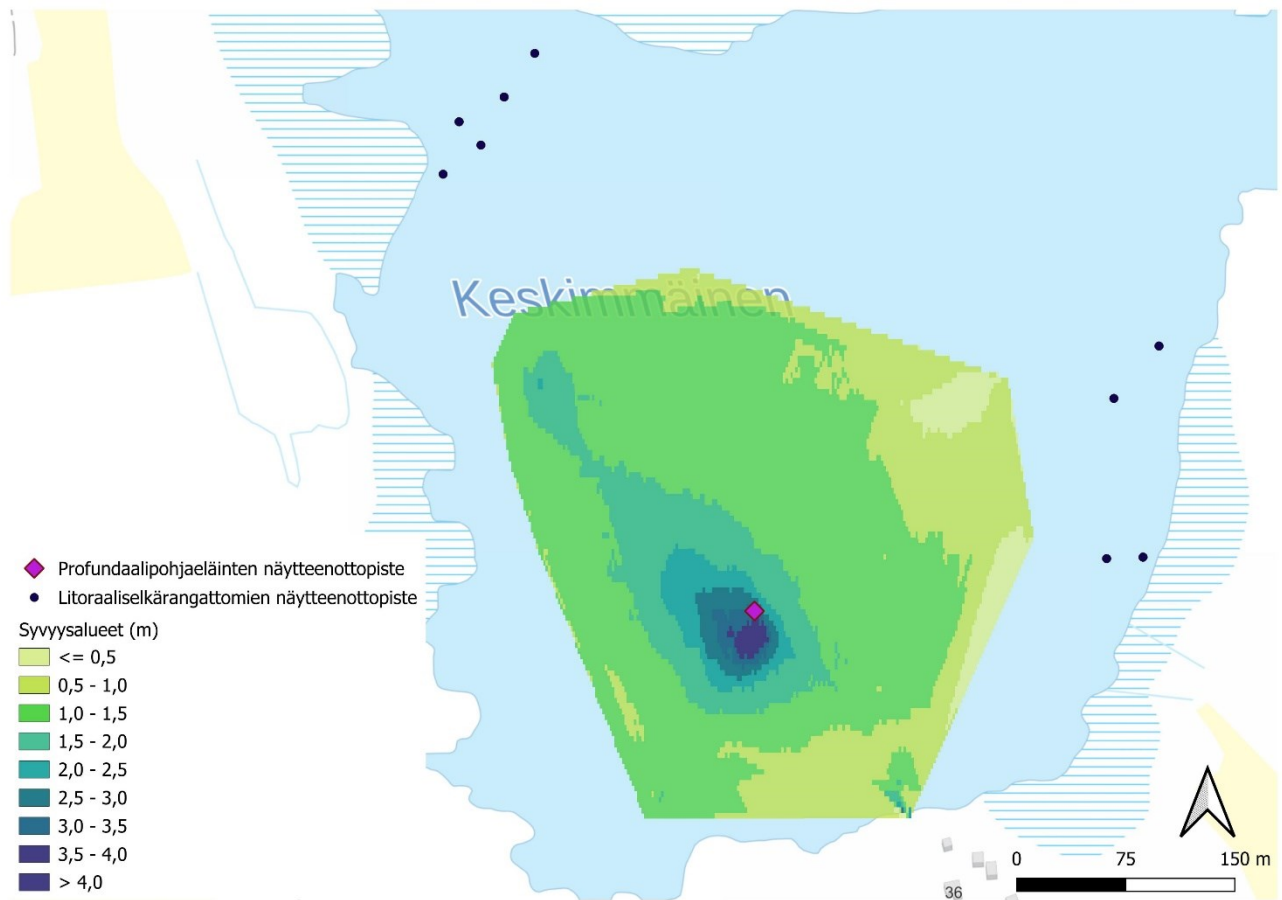


Kuva 24. Keskimmäisen sudenkorentoselvityksessä kesällä 2025 havaitut, muut kuin luontodirektiivin liitteen IV(a) sudenkorennot sekä arvioidut sahalehden esiintymisaluet (Kumpula and Metsänen 2025). Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

### 3.4.5 Selkärangattomat

Keskimmäisen syvännealueen, eli profundaalin pohjaeläimistö kartoitettiin 28.10.2025. Kvantitatiiviset näytteet (8 kpl) otettiin Ekman-noutimella järven syvännealueelta, pehmeältä pohjalta 2,2-3,0 m syvyydestä (Kuva 25). Näytteet seulottiin 0,6 mm seulalla.

Keskimmäisen rantavyöhykkeellä esiintyviä vesipatsaan selkärangattomia on kartoitettu kvalitatiivisesti kesinä 2024 ja 2025 aktiivipyydysten avulla mukailen Nummi et al. (2012) kuvaamaa lintuvesillä tavallisesti hyödynnettyä menetelmää. Kesällä 2025 hyödynnettiin lisäksi syöttirysiä, joiden avulla voidaan pyytää erityisesti sukeltajakuoriaisia päälimmäisestä 15 cm vesikerroksesta. Näissä standardoimattomissa menetelmissä ei ole suoraa ohjetta pyydysten määrästä ja sijoittelusta. Heinäkuussa 2024 hyödynnettiin yhdeksää pyydystä, ja heinäkuussa 2025 puolestaan 30 aktiivipyydystä ja 10 syöttirysiä, jotka oli asetettu rannan myötäisesti (Kuva 25).

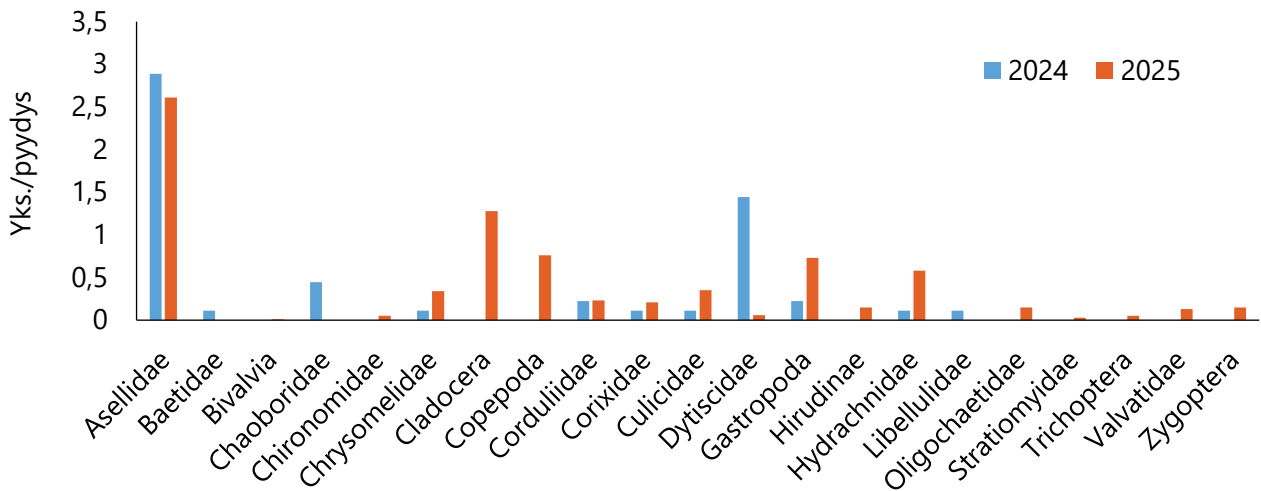


Kuva 25. Iisalmen Keskimmäisen selkärangaton selvitysten näytteenottopisteet järven profundaalissa ja litoraalissa. Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

### Litoraalin selkärangattomat

Pydyksissä vuonna 2024 havaittujen taksonien lukumäärä oli 19 ja vuonna 2025 lukumäärä oli 18. Vuonna 2024 runsaimpina esiintyivät Asellidae-heimon vesisiirat (*Asellus aquaticus*) sekä sukeltajat (Dytiscidae). Näistä vesisiiroja havaittiin keskimäärin 2,9 yksilöä pyydystä kohden ja sukeltajia keskimäärin 1,4 yksilöä pyydystä kohden (Kuva 26). Vuonna 2025 runsaimmin esiintyvät ryhmät olivat vesisiirojen ohella vesikirput (Cladocera), hankajalkaiset (Copepoda), kotilot (Gastropoda) sekä vesipunkit (Hydrachnidae). Uhanalaisista, luontodirektiivin liitteen IV(a) lajeista isolampisukeltajaa (*Graphoderus bilineatus*) tai jättisukeltajaa (*Dytiscus latissimus*) ei havaittu vuosien 2024–2025 selkärangatonpyynnissä. Näistä ei myöskään ole Keskimmäiseltä havaintoja laji.fi-portaalissa [ladattu 17.12.2025].

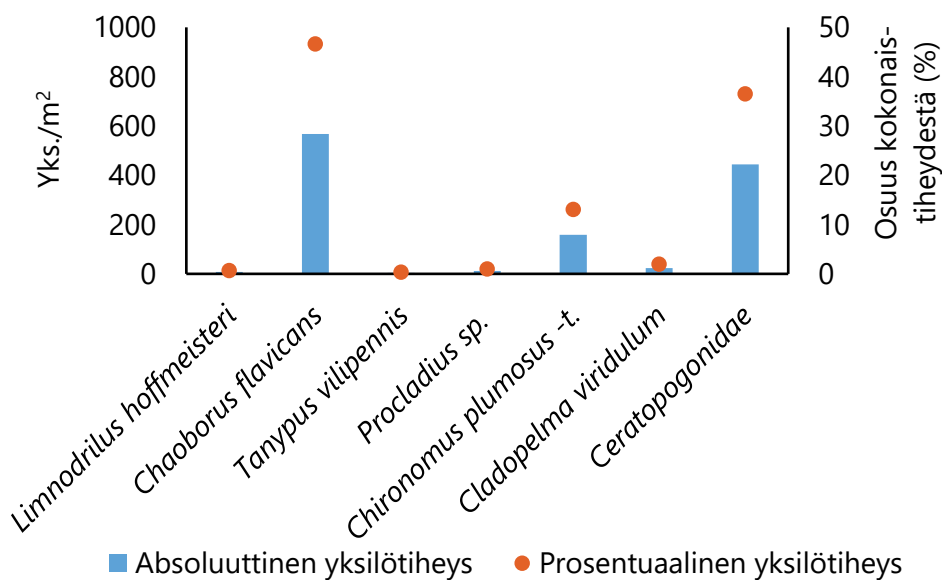
Huomionarvoista on, että standardoimaton aktiivipyydysmenetelmä ei anna luotettavaa kvantitatiivista kuvaa litoraalin selkärangatonlajistosta ja pyytää parhaiten vesifaasissa uivia lajeja. Menetelmän avulla voidaan kuitenkin laadullisesti arvioida litoraalivyöhykkeellä vesilintujen ravinnoksi saatavilla olevaa selkärangatonlajistoa. Keskimmäisellä aktiivipyydyksin ja syöttirysin tehtyjen selkärangaton selvitysten perusteella litoraalin selkärangattomien keskimääräiset pyydyskohtaiset lukumäärät ovat hieman keskiarvoa korkeammat verrattuna vastaaviin reheviin Pohjois-Savon lintuvesiin (Laakso & Pesonen julkaisematon).



Kuva 26. Keskimäisen liitoraalivyöhykkeeltä aktiivipyydyksen menetelmällä (Nummi et al. 2012) ja syöttirsillä havaitut selkärangatonheimot tai -lahkot keskimääräisinä pyydysyksikkösaaliina.

### Profundaalin selkärangattomat

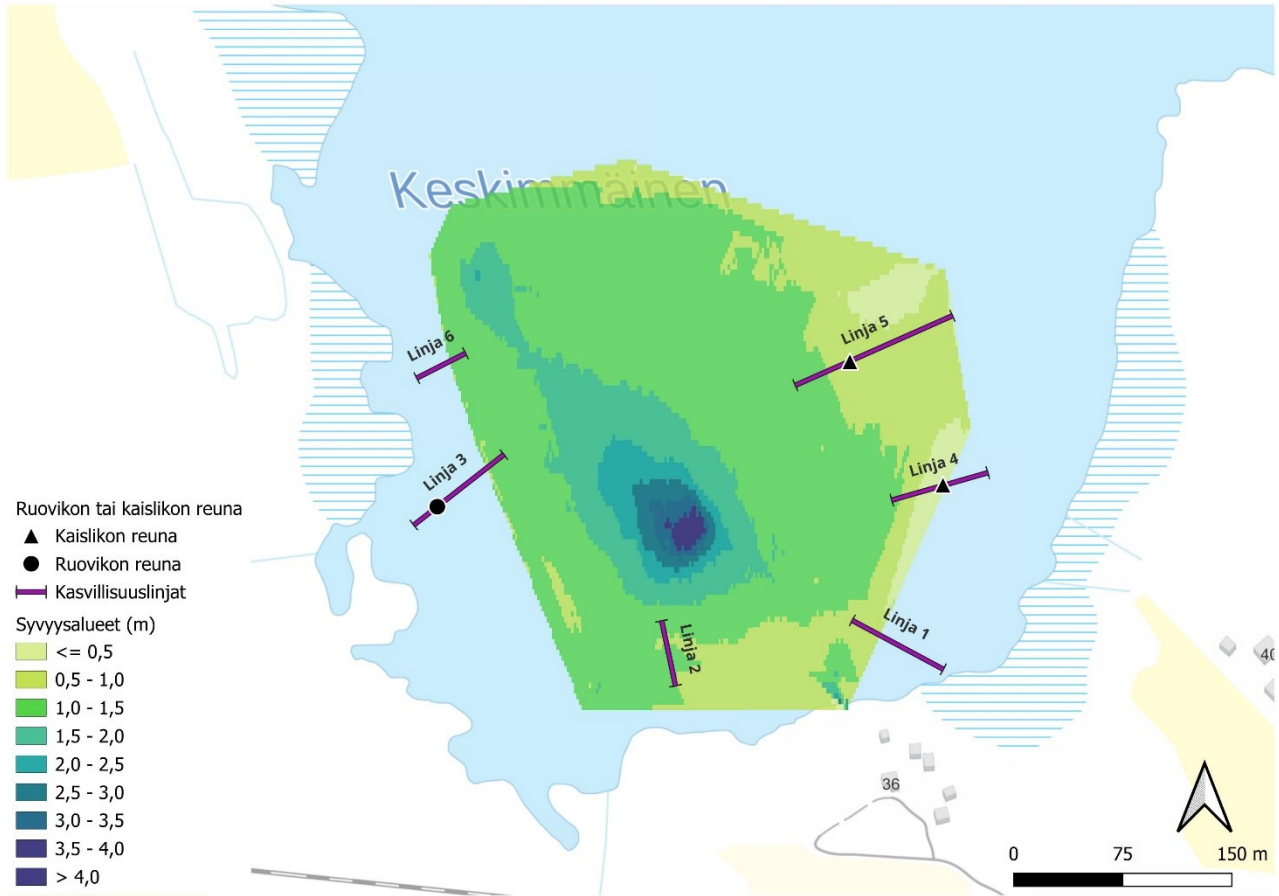
Näytteissä havaittujen taksonien kokonaismäärä oli seitsemän. Kaikki lajit huomioiden pohjaeläinten keskimääräinen yksilötiheys Keskimäisen syvänealueella oli 1218,3 yks./m<sup>2</sup>. Keskimäärin runsaimpina esiintyivät sulkasääsken (*Chaoborus flavicans*), surviaissääsken (*Chironomus plumosus* -t), sekä polttiaisten (Ceratopogonidae) heimon kuuluvat toukat (Kuva 27). Näistä erityisesti *C. flavicans* sekä *C. plumosus* ovat sopeutuneita vähähappisiin olosuhteisiin ja esiintyvät tyypillisesti sekä rehevöityneiden että humusjärvien pohjaeläimistöissä (Brodersen et al. 2004; Jyväsjärvi et al. 2009; Jäger and Walz 2002). *C. flavicans* sekä Ceratopogonidae liikkuvat osin myös vesifaasissa ja voivat siten välttää pohjan vähähappisimpia pohja-alueita.



Kuva 27. Iisalmen Keskimäisen syvänteellä lokakuussa 2025 havaittujen pohjaeläinten absoluuttiset ja prosentuaaliset keskimääräiset yksilötiheydet.

### 3.4.6 Vesikasvillisuus

Keskimmäisen vesikasvillisuus päälinjavyöhykkeittäin kartoitettiin kuudella kasvillisuuslinjalla 6.-8.8.2025 (Kuva 28). Päälinjavyöhykkeiden alkupisteet sijoitettiin rantaluhdan reunaan niin lähelle järven rantaviivaa, kuin veneellä oli mahdollista päästä (Kuva 29). Linjojen kokonaispituus oli 493 m ja linjojen kattama kokonaispinta-ala 2465 m<sup>2</sup>.



Kuva 28. Iisalmen Keskimmäisen kasvillisuuskartoituksessa tarkastellut päälinjavyöhykkeet, linjoilta määritetyt ilmaversoisten esiintymisen reuna-alueet sekä järven syvyysohykkeet kartoitusalueella. Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.

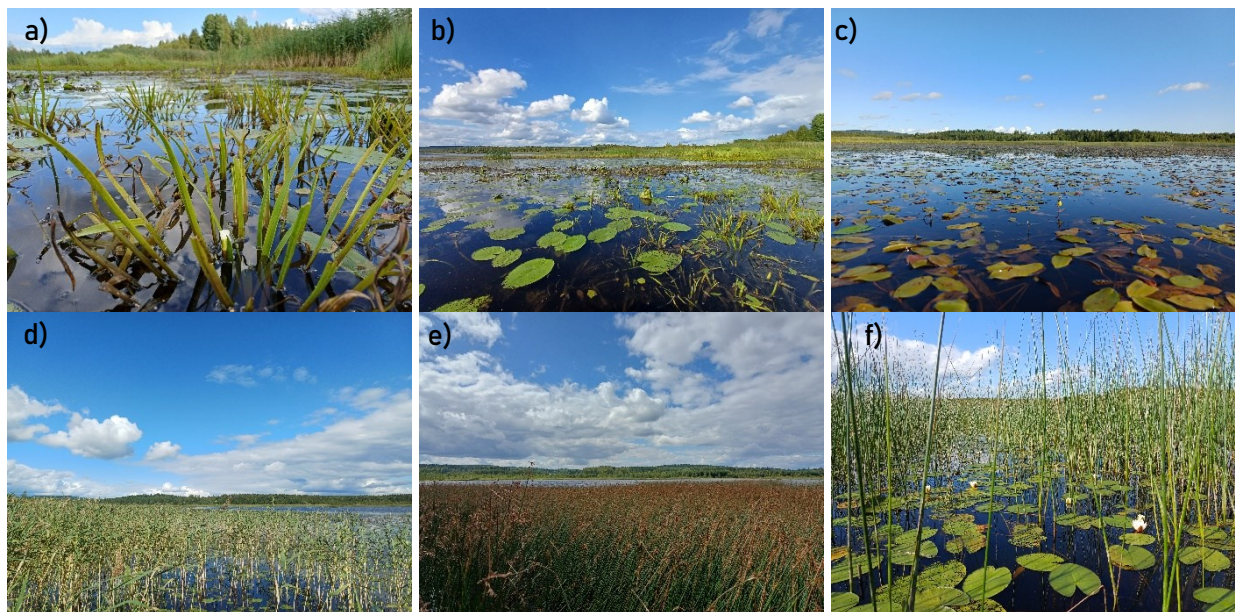
Taksonien kokonaislukumäärä kasvillisuuskartoituksessa oli 27. Yleisimmin esiintyvät lajit olivat ratamosarpio (*Alisma plantago-aquatica*), pikkulimaska (*Lemna minor*), ulpukka (*Nuphar lutea*), suomenlumme (*Nymphaea tetragona*), uistinviita (*Potamogeton natans*), sekä sahalehti (*Stratiotes aloides*), jotka esiintyivät jokaisella kartoitetulla kasvillisuuslinjalla (Taulukko 5). Suurimmat peittävyudet olivat puolestaan pullosaralla (*Carex rostrata*), kurjenjalalla (*Comarum palustre*), ulpukalla, pohjanlumpeella (*Nymphaea alba* ssp. *candida*), järviruo'olla (*Phragmites australis*), uistinvidalla sekä sahalehdellä (Taulukko 5).

Pohjan laatu kaikilla linjoilla oli lieju. Uposlehtisten suurin havaittu esiintymissyvyys oli 0,9 m. Pohjalehtisiä makrofytyttejä ei havaittu. Näkösyvyys linjojen päätepisteissä vaihteli välillä 0,5-0,8 m. Kasvillisuuskartoituksen aikaan järven litoraali-alueella havaittiin runsaasti metaanin kuplinnan nostamia turvelauttoja (Kuva 30).



*Kuva 29. Keskimmäisen kasvillisuuslinjan nro 6 alkupiste rantaluhdan reunassa, elokuu 2025. Kuva: Laura Härkönen*

Suurin osa Keskimmäisellä havaituista makrofytytilajeista ilmensi meso-eutrofiaa tai oli riippumattomia ravinteisuudesta (Taulukko 5). Järvellä ei havaittu uhanalaisia tai luontodirektiivin liitteessä II mainittuja makrofytytilajeja. Keskimmäisellä havaituista suomen- ja pohjanlumpeista valtakunnallisesti rauhoitettuja ovat ainoastaan punakukkaiset muodot, joita ei havaittu Keskimmäisen kasvillisuuskartoituksessa.



*Kuva 30. Keskimmäisen kasvillisuutta elokuussa 2025. a) sahalentiä kasvillisuuslinjalla 1, näkymä koilliseen, b) ulpukoita ja turvelauttoja kasvillisuuslinjalla 1, näkymä luoteeseen, c) uistinviotoja linjalla 6, näkymä pohjoiseen, d) ruovikkoa linjalla 3, näkymä pohjoiseen, e) järvikaislikkoa linjalla 4, näkymä länteen ja f) suomenlumpeita ja järvikaislaa linjalla 5, näkymä luoteeseen.*



Taulukko 5. Keskimmäisen kasvillisuuskartoituksessa päävyöhykelinjoilla havaitut lajit, niiden ravinteisuusluokat, esiintymisen yleisyydet sekä keskimääräiset peittävydet linjoilla.

Laji	Ravinteisuusluokka	Yleisyys (linjafrekvenssi, %)	Keskimääräinen peittävyys, %
Ratamosarpio ( <i>Alisma plantago-aquatica</i> )	m-e	83	3
Vehka ( <i>Calla palustris</i> )	i	50	5
Pullosara ( <i>Carex rostrata</i> )	i	67	46
Myrkkyykeiso ( <i>Cicuta virosa</i> )	m	67	5
Kurjenjalka ( <i>Comarum palustre</i> )	i	67	48
Järvikorte ( <i>Equisetum fluviatile</i> )	i	50	4
Vesikuusi ( <i>Hippuris vulgaris</i> )	o-m	33	1
Kilpukka ( <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> )	e	83	2
Pikkulimaska ( <i>Lemna minor</i> )	m-e	100	1
Terttualpi ( <i>Lysimachia thyrsiflora</i> )	i	67	2
Ranta-alpi ( <i>Lysimachia vulgaris</i> )		17	1
Rantakukka ( <i>Lythrum salicaria</i> )	m	83	4
Ulpukka ( <i>Nuphar lutea</i> )	i	100	35
Pohjanlumme ( <i>Nymphaea alba</i> ssp. <i>candida</i> )	i	50	32
( <i>Nymphaea alba</i> ssp. <i>candida</i> x <i>tetragona</i> )		17	15
Suomenlumme ( <i>Nymphaea tetragona</i> )	o-m	100	4
Järviruoko ( <i>Phragmites australis</i> )	i	50	33
Heinävita ( <i>Potamogeton gramineus</i> )	m	17	1
Uistinvita ( <i>Potamogeton natans</i> )	i	100	30
Tylppälehtivita ( <i>Potamogeton obtusifolius</i> )	m-e	83	3
Sorsansammal ( <i>Ricciocarpos natans</i> )	m-e	50	1
Pystykeiholehti ( <i>Sagittaria sagittifolia</i> )	m-e	17	10
Järvikaista ( <i>Schoenoplectus lacustris</i> )	i	83	15
Rantapalpakko ( <i>Sparganium emersum</i> )	i	50	2
Sahalehti ( <i>Stratiotes aloides</i> )	e	100	31
Pikkuvesiherne ( <i>Utricularia minor</i> )	o-m	33	1
Isovesiherne ( <i>Utricularia vulgaris</i> )	i	83	3

## 4 Pintasedimentin poisto

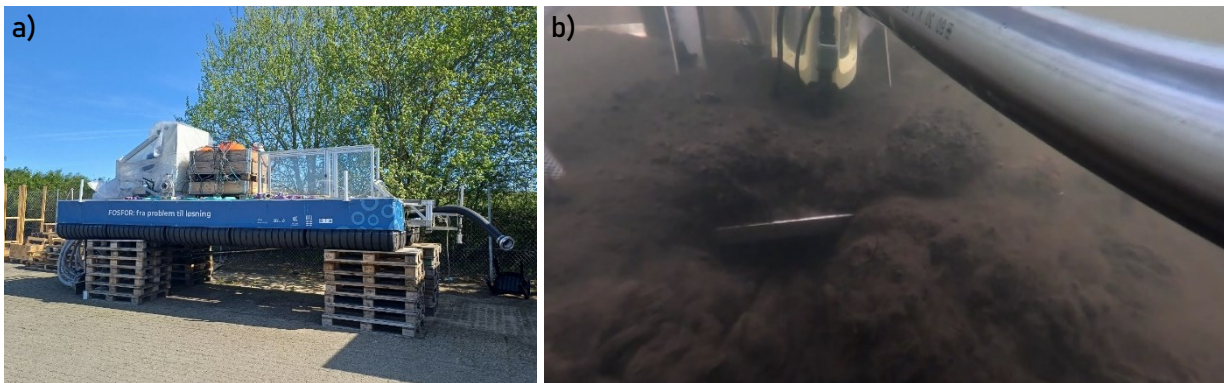
### 4.1 Menetelmän kuvaus

Menetelmä perustuu Ruotsissa ja Tanskassa kehitettyyn, hitaalla virtauksella toteutettuun imuruoppaukseen, joka on ympäristölle perinteistä menetelmää hellävaraisempi (Herbertsson 2022). Menetelmässä pintasedimenttiä poistetaan kalustolla, joka välttää pohjan tarpeetonta häiriintymistä ja ehkäisee siten merkittävästi työnaikaista samenessaamista ja vähentää riskiä ravinteiden, raskasmetallien ja haitta-aineiden resuspensiolle ja toisaalta myös liukoisten ja kiintoainekseen sitoutuneiden haitta-aineiden mobilisoitumiselle (Kuva 31). Navigointilaitteiston avulla toteutus pystytään rajaamaan tarkasti käsiteltävälle alueelle ja pintasedimentin poisto tehdään järjestelmällisesti ajolinja kerrallaan. Ruotsalaisilla ja tanskalaisilla kohteilla käytetty virtaama on ollut noin 10 % perinteisessä imuruoppauksessa hyödynnetystä virtaamasta.

Lisätietoa hitaan virtauksen imuruoppausmenetelmästä tanskalaisilla ja ruotsalaisilla verrokkikohteilla:

- Rich Waters LIFE IP <https://www.richwaters.se/>
- rePair-projekti <https://repairprojektet.dk/>
- LIFE SURE <https://kalmar.se/bygga-bo-och-miljo/life-sure.html>

Keskustelut kotimaisen toimijan kanssa hitaan virtauksen imuruoppauskaluston kehittämiseksi on käynnistetty. Mikäli kotimaista kalustoa ei toteutusvaiheessa ole saatavilla, kalusto voidaan tarvittaessa vuokrata muista pohjoismaista.

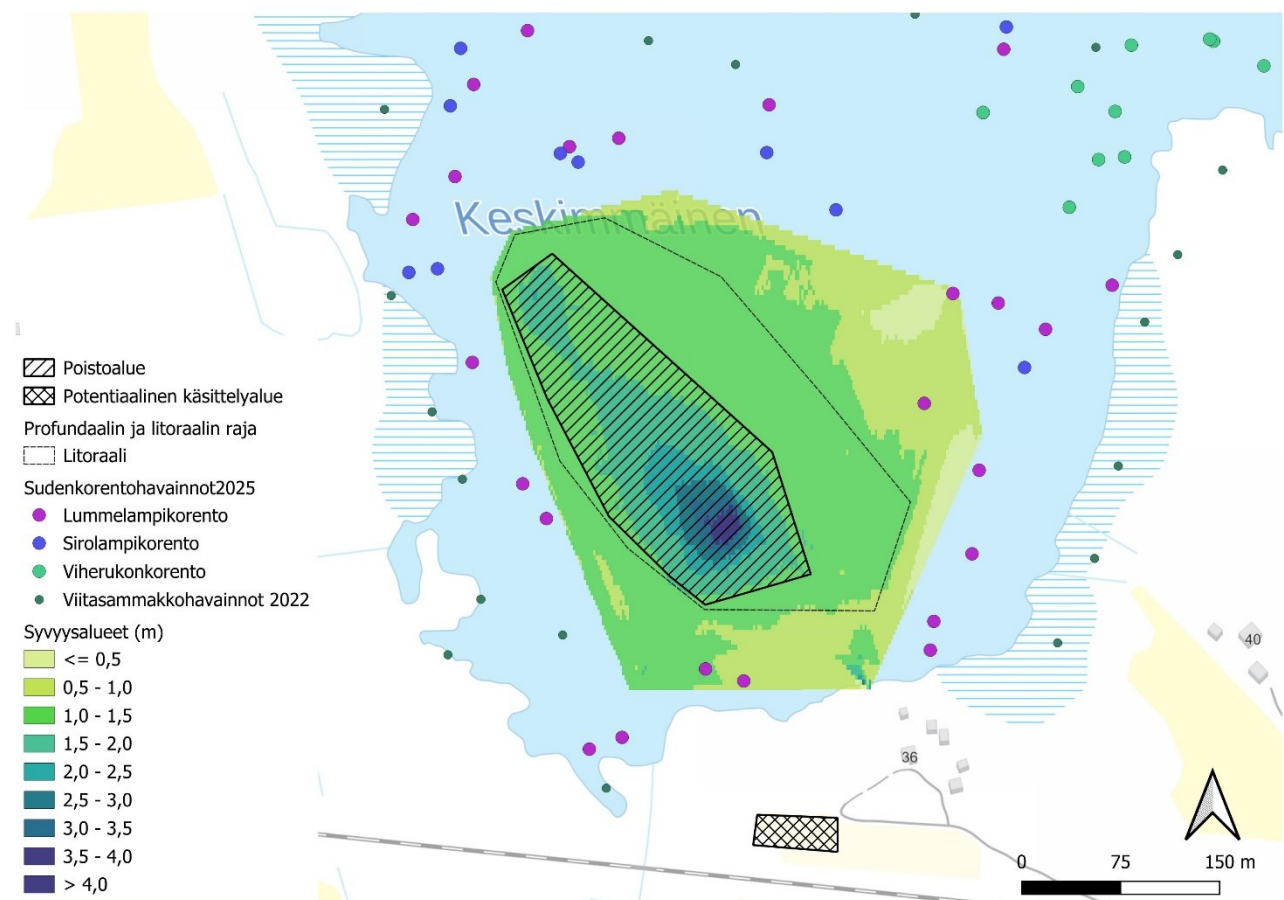


Kuva 31. Tanskalainen rePair-hankkeessa kehitetty hitaan virtauksen imuruoppauskalusto a) kuivalla maalla sekä b) toiminnassa veden alla. Kuvat: a) Laura Härkönen, b) Ole Wolff (kuvakaappaus vedenalaisesta videosta, joka esittelee menetelmän vähäistä työnaikaista vaikutusta veden samenessaamiseen)


## 4.2 Alustava toteutussuunnitelma

Keskimmäisen sedimentin poisto on suunniteltu rajattavan syvänteen alueelle, yli 1,5 m syvyyksille alueille. Käsiteltävän alueen pinta-ala on alustavassa suunnitelmassa noin 2,8 ha. Pintasedimentin poistosyvyys järvikunnostushankkeissa on yleisesti vaihdellut noin 0,2-1,0 m välillä (Härkönen et al. 2025; Peterson 1981; Tammeorg et al. 2024). Riittävä poistosyvyys on edellytys sille, että sisäiseen ravinnekuormitukseen voidaan vaikuttaa (Liu et al. 2015).

Poistosyvyys määritetään tarkemmin teknisen suunnitelman laatimisen yhteydessä. Keskimmäiseltä otettujen sedimenttinäytteiden perusteella fosfori, metallit sekä orgaaniset haitta-aineet ovat pääasiassa konsentroituneet päällimmäiseen 0-20 cm sedimenttikerrokseen. Näin ollen päällimmäisen 30 cm sedimenttikerroksen poistaminen voisi olla realistinen vaihtoehto sisäisen ravinnekuormituksen vähentämistavoitetta ja toisaalta sedimentin pintakerrokseen konsentroituneiden raskasmetallien ja orgaanisten haitta-aineiden poistamista ajatellen. Poistosyvyyden tarkemmaksi määrittämiseksi ja sedimentaationopeuden arvioimiseksi sedimentistä pyritään ottamaan talven 2026 aikana kairalla täydentävä, ajoitettava sedimenttinäyte jään alta. Mikäli pintasedimenttiä poistettaisiin 30 cm, poistettavan massan määrä 2,8 ha poistoalueella olisi noin 8400 m<sup>3</sup>. Keskimmäisellä pintasedimentin poistohanke edellyttää joka tapauksessa vesilain (VL, 587/2011) mukaisen luvan, sillä poistettavan massan määrä tulee ylittämään 500 m<sup>3</sup>.



Kuva 32. Keskimmäisen alustava suunnitelma pintasedimentin poistoalueesta, kasvillisuuskartoituksen perusteella hahmoteltu profundaali- ja litoraalivyöhykkeen raja, järvellä tehdyt luontodirektiivin liitteen IV(a) sudenkorentohavainnot (Kumpula and Metsänen 2025) ja viitasammakkohavainnot sekä potentiaalinen sedimentin käsittelyalue järven eteläpuolella. Sisältää Maanmittauslaitoksen aineistoa, lisenssi CC BY 4.0.



Vesilakia sovellettaessa on lisäksi noudatettava luonnonsuojelulakia (LSL, 9/2023), eikä Natura 2000-verkoston kuuluvan alueen suojelun perusteena olevia luonnonarvoja saa kunnostustoimilla merkittävästi heikentää (Härkönen et al. 2022). Heikentämiskieltoon liittyy LSL 35§:n mukainen Natura-arviointivelvollisuus ja hankkeen vaikutuksia tullaan tarkastelemaan erikseen Keskimmäisen suojeluperusteena olevien luontotyyppien ja lajien kannalta. Mikäli pintasedimentin poistolla arvioidaan olevan heikentäviä vaikutuksia Keskimmäisellä havaittujen luontodirektiivin liitteen IV(a) lajien lisääntymis- ja levähdyspaikkoihin, hankkeelle haetaan LSL 83§:n mukaista poikkeuslupaa. Ensisijaisesti pyritään kuitenkin toteuttamaan pintasedimentin poisto siten, että poikkeukseen ei tarvitsisi turvautua. Suunnittelussa ja toteutuksessa noudatetaan kauttaaltaan pienimmän haitan periaatetta.

Pintasedimentin poiston rajaaminen valottoman profundaalin alueelle auttaa suojaamaan Keskimmäisen uposkasvillisuutta, jonka esiintymisen enimmäissyvyyden todettiin kasvillisuuskartoituksessa olevan 0,9 m. Uposkasvillisuudella on merkittävä rakenteellinen vaikutus matalissa järvissä (esim. Scheffer 2004). Vesilintujen pesinnän ja ravinnonhankinnan kannalta merkittävimmät alueet Keskimmäisellä sijaitsevat niin ikään litoraalivyöhykkeellä. Kyseiset alueet ovat tärkeitä elinympäristöjä myös luontodirektiivin liitteen IV(a) sudenkorennoille sekä viitasammakoille, joita on havaittu laajasti litoraalivyöhykkeellä ja Keskimmäisen rantaluhdilla (Kuva 32). Kyseisten lajien lisääntymis- ja levähdyspaikkojen hävittäminen ja heikentäminen on kiellettyä LSL 78 §:n nojalla kaikkialla, missä niitä esiintyy. Syvännealueelle rajaamisella varmistetaan, että mahdolliset haitat vesilintujen ravinnonhankinnalle voidaan minimoida, ja että viitasammakoiden ja luontodirektiivin liitteessä IV(a) mainittujen korentojen esiintymisalueet saadaan kokonaisuudessaan rajattua pintasedimentin poistoalueen ulkopuolelle. Keskimmäisellä ei havaittu luontodirektiivin liitteessä II mainittuja vesikasvilajeja.

Pintasedimentin poiston ajoituksessa otetaan huomioon vesilintujen pesimäaika huhtikuulta heinäkuulle ja poiston toteutus ajoitetaan vuosittain pesimäajan ulkopuolelle. Samalla pystytään huomioimaan Keskimmäisellä esiintyvien petokalojen (ahven, hauki) keväiset kutuajat. Sedimentin poistoa pystytään toteuttamaan ainoastaan avovesikauden aikana, joten vuosittainen toteutusaika ajoittuu elokuulta lokakuun loppupuolelle saakka. Karkea arvio toteutuksen kestosta on kolmesta viiteen vuotta. Arvio toimenpiteen kestosta tarkentuu teknisen suunnitelman laatimisen yhteydessä.

Pintasedimentin poisto aiheuttaa väistämättä haittavaikutuksia profundaalin pohjaeläimistöille niiden elinympäristön tuhoutuessa väliaikaisesti (Wan et al. 2025). Kansainvälisissä tutkimuksissa pohjaeläimistön on kuitenkin havaittu palautuneen muutaman vuoden kuluessa jopa laajamittaisen, koko järven kattavan pintasedimentin poiston jälkeen (Tammeorg et al. 2024). Keskimmäiselle suunniteltu pintasedimentin poisto kattaisi ainoastaan rajatun kokoisen profundaalivyöhykkeen ja pohjaeläimistön oletetaan palautuvan 1-3 vuoden kuluessa sedimentin poiston jälkeen.

Alustavan suunnitelman mukaisesti poistettava sedimentti johdetaan kellutettavia imuputkia pitkin käsittelyalueelle sijoitettaviin geotuubeihin, joissa sedimentti ja vesi erotellaan toisistaan. Potentiaalisen käsittelyalueen maanomistaja kontaktoidaan ennen vesilain mukaisen lupaprosessin käynnistämistä. Sedimentin ja veden erottelussa tullaan hyödyntämään laboratoriotestien avulla kohdekohtaisesti määritettävää polymeeriä, joka tehostaa kiintoaineen saostumista. Toteutuksen ympäristökestävyyden parantamiseksi ja mikromuovien leviämisen ehkäisemiseksi pyritään mahdollisuuksien mukaan hyödyntämään esimerkiksi juuttikankaasta valmistettuja geotuubeja (Ghosh et al. 2014; Kiffle et al. 2017) sekä biopolymeeria (Haasler et al. 2023; Simoni et al. 2024). Geotuubeista suotautuva vesi johdetaan hiekkasuodattimelle ja siitä edelleen pintavalutuksena takaisin Keskimmäiseen. Mahdollisesti haitallisia aineita sisältävän suotoveden käsittelystä on huolehdittava siten, etteivät veteen lienneet haitta-aineet

merkittävästi kuormita maaperää tai kulkeudu takaisin veteen ja vesialueen pohjasedimenttiin (Ympäristöministeriö 2015). Sedimentin käsittelyssä varmistetaan, etteivät massat pääse esimerkiksi sateen aikana valumaan läjitysalueelta takaisin vesistöön.

Geotuubeissa kuivatun sedimentin jatkosijoitus ja -käsittely suunnitellaan erikseen teknisen suunnitelman laatimisen yhteydessä. Ruoppausmassoja ei lähtökohtaisesti sijoiteta vesialueelle, rantamaisemaan tai Natura 2000 -alueelle. Mahdollisuuksien mukaan pyritään edistämään sedimentin uudelleenkäyttöä. Ravinnerikkaalla sedimentillä on tutkitusti lannoitepotentiaalia (Haasler et al. 2024; Tammeorg et al. 2025), mutta sedimentteihin kerääntyneet raskasmetallit ja haitta-aineet saattavat kerääntyä ravintokasveihin ja siten rajoittaa uudelleenkäyttöä maataloudessa (Cao et al. 2024; Fořt et al. 2025; Haasler et al. 2024). Keskimmäisen sedimentissä havaittiin PIMA-asetuksen raja-arvot ylittäviä nikkelin ja koboltin pitoisuuksia sekä maaperän kynnysarvon ylittäviä vanadiinipitoisuuksia (Ympäristöministeriö 2007). Ylitysten vuoksi Keskimmäisen sedimentti ei sovellu ainakaan sellaisenaan lannoitekäyttöön. Bioremediaation tai komposiittimateriaalien hyödyntämistä Keskimmäiseltä poistetun sedimentin haitta-aineiden poistamisessa pyritään selvittämään sedimentin hyötykäyttövaihtoehtojen parantamiseksi (Huo et al. 2024; Newete and Byrne 2016; Tammeorg et al. 2025). Kohonneet raskasmetallipitoisuudet eivät välttämättä estä sedimentin hyötykäyttöä esimerkiksi maanrakennusaineena (Fořt et al. 2025; Härkönen et al. 2025), jonka vuoksi myös vaihtoehtoisia hyödyntämismahdollisuuksia esimerkiksi maisemointikäytössä tullaan arvioimaan. Viimeisenä vaihtoehtona arvioidaan sedimentin käsittelyä ja läjitystä pilaantuneena maa-aineksena.

## 5 Muut vesiensuojelu- ja kunnostustoimenpiteet


### 5.1 Järvikunnostustoimenpiteet

Keskimmäinen on arvokkaana lintuvesikohteen mukana ympäristöministeriön ja maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa Helmi-elinympäristöohjelmassa. Vuosille 2021–2030 ajoittuvassa ohjelmassa kunnostetaan matalia ja reheviä lintujärviä sekä merenlahtia, jotka ovat merkittäviä pesimäympäristöjä vesi- ja rantalinnuille ja usein tärkeitä muutonaikaisia levähdysalueita. Helmi-ohjelman toimet lintuvesien kunnostamiseksi kohdennetaan ensisijaisesti Natura 2000-verkoston lintudirektiivin (2009/147/EY) erityisille suojelualueille (Special Protection Area, SPA).

Osana Helmi-ohjelmaa Keskimmäisellä on aloitettu hoitokalastus vuonna 2024, jolloin järvestä poistettiin yhteensä 3020 kg särkikalaa (n. 77 kg/ha). Rysäpyynti toteutettiin 7.7.–16.8.2024 ja pyynti kohdistettiin erityisesti koekalastuksissa havaittuun ruutanaan. Lukumääräisesti suhteellisesti suurin osuus saaliista koostui särjistä ja painon perusteella puolestaan ruutanasta (Taulukko 6). Hoitokalastusta on jatkettu rysäpyynnin kesällä 2025.

*Taulukko 6. Keskimmäisen hoitokalastuksissa vuonna 2024 saaliiksi saatujen kalalajien suhteelliset lukumäärä- ja painosuudet saaliissa sekä vapautettujen haukien ja >15 cm pituisten ahventen absoluuttiset lukumäärät. Järvestä poistettu kalan kokonaisbiomassa vuonna 2024 oli 3020 kg.*

Laji	lkm (%)	kg (%)	Vapautettujen lkm
Ahven	23	4	24
Hauki			537
Lahna	17	20	
Ruutana	11	65	
Särki	48	9	
Säyne	1	2	



Hoitokalastusten lisäksi Keskimmaisella on toteutettu mosaiikkimaista kaislikoin niittoa, jolla on pyritty muodostamaan vesilintujen pesintää ja ravinnonhankintaa tukevia avovesikäytäviä ja lampareita. Niittoa on tehty ainoastaan alueilla, joilla järvikaisla muodostaa tiheitä kasvustoja. Keskimäinen on runsaiden sahalehtikasvustojen vuoksi merkittävä esiintymisalue Suomessa laikuittaisesti esiintyvälle viherukonkorenolle, jonka vuoksi sahalehtikasvustoissa ja lampikorentojen lisääntymispaikoilla ei tulisi suorittaa vesikasvien laajamittaista niittoa ja poistoa juurineen (Kumpula and Metsänen 2025).

Vuoden 2025 lintulaskentojen yhteydessä todettiin, että Keskimäisen vesilinnut todennäköisesti kärsivät pienpetojen saalistuspaineesta ja pienpetojen määrää tulisi vähentää onnistuneen pesinnän tukemiseksi (Yliluoma 2025). Pesimäsaarten perustaminen osana Helmi-ohjelmaa on suunnitteilla.

## 5.2 Valuma-alueitoimenpiteet

Keskimäisen valuma-alue on kohdealueena Euroopan maaseuturahaston 2023-2027 rahoittamassa Monimuotoisuutta valuma-alueyhteistyöllä (Vamos) -hankkeessa, jossa kehitetään monivaikutteista valuma-alueyötä lintuvesien vesiensuojelun tehostamiseksi ja vesilintujen pesimäelinympäristön tilan parantamiseksi. Savonia-ammattikoulun koordinoima hanke toteutetaan vuosina 2025-2027 yhteistyössä Suomen metsäkeskuksen ja Syken kanssa. Hankkeessa tullaan aktivoimaan maanomistajia ilmasto-, ja vesistökestävien, luontopositiivisten maankäytön toimintatapojen käyttöönottoon, laaditaan yksityiskohtaiset valuma-alueiden vesiensuojelun tehostamissuunnitelmat sekä toteutetaan konkreettisia vesienhallintaa ja vesiensuojelua tehostavia teknisiä ratkaisuja hankkeen kolmella kohdevaluma-alueella.

## 6 Kiitokset

Iisalmen Keskimmäistä koskevat taustaselvitykset lajiston, sedimentin ja vedenlaadun osalta on toteutettu osana Priodiversity LIFE (LIFE22-IPN-FI-Priodiversity LIFE) -hanketta, joka on saanut rahoitusta Euroopan unionilta. Keskimmäisen sedimentin haitta-aineita on lisäksi arvioitu osana Vamos (337445) -hanketta, jota rahoittaa Euroopan maaseuturahasto 2023-2027. Keskimmäisen lajistonselvityksiä ja vesinäyteanalytiikkaa on osin rahoittanut myös ympäristöministeriön ja maa- ja metsätalousministeriön yhteinen Helmi-elinympäristöohjelma.

Kiitämme lämpimästi Seppo ja Ulla Lammia veneen ja rannan lainasta sekä kärsivällisyydestä taustaselvitysten aikana. Kiitämme lämpimästi myös Koljolan osakaskuntaa taustaselvitysten toteutusmahdollisuudesta ja mielenkiinnosta pintasedimentin poistopilottia kohtaan. Kiitämme Pohjois-Savon ELY-keskuksen (POSELY) Veli-Matti Vallinkoskea, Antti Lammia, Mika Wellingiä, Sanna-Kaisa Rautiota, Mari Jänttiä ja Petri Niemistä, ympäristöministeriön Maaret Väänästä sekä Syken Markku Mikkola-Roosia, Aili Jukaraista ja Kim Jaatista sekä Iisalmen kaupungin Jyrki Könttää hyvistä keskusteluista ja myötämielisyydestä pilottia kohtaan. Kiitämme lämpimästi POSELYn Antti Kannista, Roosa Pesosta, Veli-Matti Vallinkoskea ja Juho-Ville Marttilaa kaikesta avusta järven taustatietojen kartoituksessa, Helsingin yliopiston Jukka Horppilaa näytteenottimen lainasta sekä Syken Kirsi Järvenmäkeä, Mira Granlundia, Pia Varmasta, Timo Sara-Ahoa, Hanna Niemikoskea, Mika Sarkkista, Anne Rahikaista, Ritva Nilivaaraa, Niklas Trebsiä, Kimmo Sipilää, Olga Kovrua sekä Jaana Heiskasta avusta vesi- ja sedimenttinäytteiden analysoinnissa. Kiitämme Eurofinsin pohjaeläinanalyysiin osallistuneita asiantuntijoita tulosten kiirehtimisestä. Lisäksi kiitämme Savonia-ammattikorkeakoulun Teija Rantalaa, Sanna Antikaista, Inka Nykästä ja Marko Häkkistä haitta-aineiden arviointiin ja näytteiden käsittelyyn liittyvästä avusta.

Lopuksi kiitämme Kotkan Merityö Oy:n Olli Kallioista ja Antti Vuorenpaloa hyvistä keskusteluista ja kiinnostuksesta pilottia kohtaan sekä Jenny Herbertssonia, Mikael Strandia, Johan Perssonia, Renate Foksia, Frank Schmiederiä, Ole Wolffia, Martin Søndergaardia ja Kirstine Thiemiä vieraanvaraisuudesta ja mahdollisuudesta vierailla pilotin pohjoismaisilla verrokkikohteilla.



*Keskimmäisen kasvillisuutta ja hoitokalastuksessa hyödynnettyjä rysiä dronekuvassa elokuussa 2024. Näkymä syvännealueen yläpuolelta itään kohti Tismiötä. Kuva: Ismo Laakso, POPELY.*

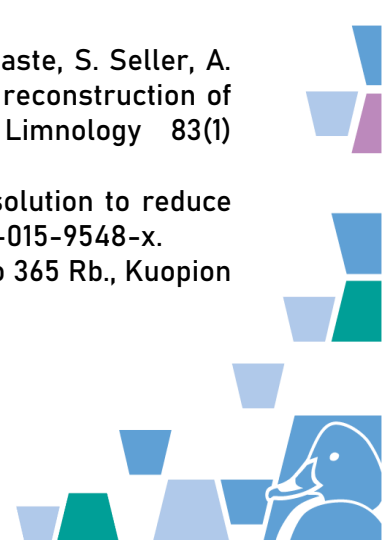
## 7 Lähteet

- Aroviita, J., K. Siimes, K. Martinmäki-Aulaskari, J. Turunen, L. Hoikkala, J. Attila, L. Järvenpää, M. Järvinen, S. Lehtinen, H. Mykrä, H. Nygård, A. Takolander, K. Tolonen, K. Karttunen, S. M. Karjalainen, M. Kuoppala, P. Korhonen, K. Kulo, M. Olin, T. Ruokonen, S. Sairanen, K. Aronsuu, A. Ruuskanen & S. Mitikka, 2025. Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon neljännellä kaudella Suomen ympäristökeskuksen raporteja. vol 37. Suomen ympäristökeskus (Syke).
- Arzel, C., P. Nummi, L. Arvola, H. Pöysä, A. Davranche, M. Rask, M. Olin, S. Holopainen, R. Viitala, E. Einola & S. Manninen-Johansen, 2020. Invertebrates are declining in boreal aquatic habitat: The effect of brownification? *Science of The Total Environment* 724:138199 doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138199>.
- Brodersen, K. P., O. Pedersen, C. Lindegaard & K. Hamburger, 2004. Chironomids (Diptera) and oxygen regulatory capacity: An experimental approach to paleolimnological interpretation. *Limnol Oceanogr* 49(5):1549-1559 doi:<https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.5.1549>.
- Cao, Q., B. You, W. Liu, H. Xu, S. Ma & T. Wang, 2024. Using dredged sediments from Lake Taihu as a plant-growing substrate: Focusing on the impact of microcystins. *Journal of Environmental Management* 370:122927 doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122927>.
- Fořt, J., A. Afolayan, V. Kočí, L. Scheinherrová, J. Jan, J. Borovec & R. Černý, 2025. Potential of water sediments in construction materials: Current approaches and critical consideration of future challenges. *Heliyon* 11(1):e41121 doi:10.1016/j.heliyon.2024.e41121.
- Fulthorpe, R. R. & J. E. Paloheimo, 1985. Hypolimnetic Oxygen Consumption in Small Lakes. *Can J Fish Aquat Sci* 42(9):1493-1500 doi:10.1139/f85-187.
- Ghosh, S. K., R. Bhattacharyya & M. M. Mondal, 2014. A review of jute geotextile - Part I. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology* 3(2).
- Haasler, S., M. L. Christensen & K. Reitzel, 2023. Synthetic and biopolymers for lake restoration – An evaluation of flocculation mechanism and dewatering performance. *Journal of Environmental Management* 331:117199 doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117199>.
- Haasler, S., T. Kragh, J. Magid, K. C. Gunnarsen, D. Müller-Stöver, A.-M. Klamt, K. Krogstrup, H. Sorensen, U. G. Nielsen & K. Reitzel, 2024. Recycling of phosphorus from dredged lake sediment: Importance of iron-bound phosphates for plant growth. *Sustainable Environment* 10(1):2362503 doi:10.1080/27658511.2024.2362503.
- Hansson, L.-A., H. Annadotter, E. Bergman, S. F. Hamrin, E. Jeppesen, T. Kairesalo, E. Luokkanen, P.-Å. Nilsson, M. Søndergaard & J. Strand, 1998. Biomanipulation as an Application of Food-Chain Theory: Constraints, Synthesis, and Recommendations for Temperate Lakes. *Ecosystems* 1(6):558-574 doi:10.1007/s100219900051.
- Heinonen, H., 2013. Ampumaratojen pintavesitutkimukset. Case: Upinniemen ampumaradat. . AMK opinnäytetyö, Lahden ammattikorkeakoulu.
- Herbertsson, J., 2022. Miljövänlig borttagning av näringsrika sediment i sjön Öljaren genom lågföresmuddring. Katrineholm Kommun.
- Holopainen, S., C. Arzel, L. Dessborn, J. Elmberg, G. Gunnarsson, P. Nummi, H. Pöysä & K. Sjöberg, 2015. Habitat use in ducks breeding in boreal freshwater wetlands: a review. *Eur J Wildl Res* 61(3):339-363 doi:10.1007/s10344-015-0921-9.
- Huo, P. S., X. R. Fu, Z. Che, J. B. Liang, D. X. Li, Y. L. Liu & S. Lyu, 2024. Simultaneous Improvement of Water/Fertility Retention and Physical Properties of Dredged Sediment Using a Novel Composite Amendment. *Water Air Soil Pollut* 235(7):18 doi:10.1007/s11270-024-07279-y.
- Hyvärinen, E., A. Juslén, E. Kemppainen, A. Uddström & U.-M. Liukko (eds), 2019. Suomen lajien uhanalaisuus : Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus.

- Häkkinen, J., M. Immonen, V. Junntila, M. Leppänen & O. Pyy, 2022. Sedimenttien pilaantuneisuuden ja puhdistamistarpeen arviointi ja sääntely Suomen ympäristökeskuksen raportteja. vol 26.
- Härkönen, L. H., J. Ilmonen, K. T. Tolonen, K. Vuorio, M. Ahola, A. Vaso, T. Käki, V. Lehtovaara, S. Haapalehto, S. Koljonen, J. Hautamäki, P. Olli, K. Leinonen, M. Tiusanen, A. Leinonen, N. Myllykangas & S. Hellsten, 2022. Vesistö- ja valuma-aluekunnostukset Natura 2000 -alueilla: suunnittelun toimintamalli Suomen ympäristökeskuksen raportteja. vol 37.
- Härkönen, L. H., A. Taskinen, O. Tammeorg & A.-L. Granlund-Blomfelt, 2025. Long-term water quality responses to sediment removal in a small, shallow, urban lake. *Ecological Engineering* 219:107715 doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107715>.
- Jensen, H. S. & B. Thamdrup, 1993. Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. *Hydrobiologia* 253(1):47-59 doi:10.1007/BF00050721.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, T. L. Lauridsen, T. A. Davidson, Z. Liu, N. Mazzeo, C. Trochine, K. Özkan, H. S. Jensen, D. Trolle, F. Starling, X. Lazzaro, L. S. Johansson, R. Bjerring, L. Liboriussen, S. E. Larsen, F. Landkildehus, S. Egemose & M. Meerhoff, 2012. Chapter 6 - Biomanipulation as a Restoration Tool to Combat Eutrophication: Recent Advances and Future Challenges. In Woodward, G., U. Jacob & E. J. O'Gorman (eds) *Advances in Ecological Research*. vol 47. Academic Press, 411-488.
- Jussila, T., 2003. Iisalmen kaupungin Kilpijärven, Iso-li -järven, Keskimäinen ja Tismiö järvien, Poroveden pohjoisrannan alueiden muinaisjäännösinventointi 2003. Mikroliitti Oy, 42.
- Jyväsjärvi, J., K. T. Tolonen & H. Hämäläinen, 2009. Natural variation of profundal macroinvertebrate communities in boreal lakes is related to lake morphometry: implications for bioassessment. *Can J Fish Aquat Sci* 66(4):589-601 doi:10.1139/F09-025.
- Jäger, I. S. & N. Walz, 2002. *Chaoborus flavicans* (Diptera) is an oxy-regulator. *Archiv für Hydrobiologie* 155(3):401-411.
- Kauhanen, H., 1969. Vesilinnustosta eräissä Iisalmen seudun eutrofisissa järvissä. *Ornis Fennica* 46:132-135.
- Kiffle, Z. B., S. E. Steele, S. K. Bhatia & J. L. Smith, 2017. Use of Jute as a Sustainable Alternative for PP in Geotextile Tubes *Geotechnical Frontiers* 2017. Proceedings, 369-378.
- Koroleff, F., 1983. Determination of phosphorus. In Grasshoff, K., M. Ehrhardt & K. Kremling (eds) *Methods of seawater analysis*. 2 edn. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 125-142.
- Kumpula, L. & T. Metsänen, 2025. Iisalmen Keskimäisen sudenkorentoselvitykset 2025. Luontoselvitys Metsänen Oy, 8.
- Laaksonen, T., A. Lehikoinen, H. Pöysä, P. Sirkiä & K. Ikonen, 2019. Sisävesien vesilintujen kannanvaihtelut 1986-2018. *Linnut-vuosikirja*:46-55.
- Lehikoinen, A., A. Jukarainen, M. Mikkola-Roos, A. Below, T. Lehtiniemi, J. Pessa, A. Rajasärkkä, J. Rintala, P. Rusanen, P. Sirkiä, T. J. & J. Valkama, 2019. Linnut. In Hyvärinen, E., A. Juslén, E. Kempainen, A. Uddström & U.-M. Liukko (eds) *Suomen lajien uhanalaisuus: Punainen kirja 2019*. Ympäristöministeriö.
- Lehikoinen, A., J. Rintala, E. Lammi & H. Pöysä, 2016. Habitat-specific population trajectories in boreal waterbirds: alarming trends and bioindicators for wetlands. *Animal Conservation* 19(1):88-95 doi:<https://doi.org/10.1111/acv.12226>.
- Liu, C., Q. Shen, Q. Zhou, C. Fan & S. Shao, 2015. Precontrol of algae-induced black blooms through sediment dredging at appropriate depth in a typical eutrophic shallow lake. *Ecological Engineering* 77:139-145 doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.030>.
- Lukkari, K., H. Hartikainen & M. Leivuori, 2007. Fractionation of sediment phosphorus revisited. I: Fractionation steps and their biogeochemical basis. *Limnology and Oceanography: Methods* 5(12):433-444 doi:<https://doi.org/10.4319/lom.2007.5.433>.
- Maveplan, 2025. Esiselvitys Tismiön, Keskimäisen ja Ylimmäisen vedennoston vettymishaitoista.



- Newete, S. W. & M. J. Byrne, 2016. The capacity of aquatic macrophytes for phytoremediation and their disposal with specific reference to water hyacinth. *Environ Sci Pollut Res* 23(11):10630-10643 doi:10.1007/s11356-016-6329-6.
- Nieminen, M. & A. e. Ahola, 2017. Euroopan unionin luontodirektiivin liitteen IV lajien (pl. lepakot) esittelyt Suomen ympäristö. vol 1.
- Nummi, P., V.-M. Väänänen, M. Rask, K. Nyberg & K. Taskinen, 2012. Competitive effects of fish in structurally simple habitats: perch, invertebrates, and goldeneye in small boreal lakes. *Aquat Sci* 74(2):343-350 doi:10.1007/s00027-011-0225-4.
- Perkola, N., J. Mehtonen, V. Junttila, J. Reinikainen, H. Ahkola, T. Seppälä, P. Fjäder & J. Juvonen, 2023. PFAS-yhdisteet ympäristössä – tietopaketti. Suomen ympäristökeskus, 33.
- Peterson, S. A., 1981. Sediment removal as a lake restoration technique. Corvallis Environmental Research Laboratory, Office of Research and ....
- Piha, M., A. Lindén, A. Lehtikoinen & T. Rajala, 2022. Vesilintuseurannan tulokset 2022 Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. Luonnonvarakeskus.
- Psenner, R., B. Boström, M. Dinka, K. Pettersson, R. Pucsko & M. Sager, 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. *Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol* 30:98-110.
- Pynnönen, J., 2004. J. Pynnönen, reittilomake 2004 nro 9518 Keskimäinen. Eläinmuseo Helsinki.
- Pöysä, H., E. Lammi, S. Pöysä & V.-M. Väänänen, 2019. Collapse of a protector species drives secondary endangerment in waterbird communities. *Biol Conserv* 230:75-81 doi:<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.016>.
- Pöysä, H., J. Rintala, A. Lehtikoinen & R. A. Väisänen, 2013. The importance of hunting pressure, habitat preference and life history for population trends of breeding waterbirds in Finland. *Eur J Wildl Res* 59(2):245-256 doi:10.1007/s10344-012-0673-8.
- Ruokolainen, K., 2008. Iisalmen Keskimäisen, Tismiön ja Ylemmäisen linnusto viime vuosikymmeninä. Pohjois-Savon ympäristökeskus.
- Salonen, K., J. Sarvala, J. Horppila, J. Keto, I. Malin, T. Malinen, J. Niemistö & J. Ruuhijärvi, 2020. Development of Lake Vesijärvi through four decades of remediation efforts. *Hydrobiologia* 847(21):4601-4619 doi:10.1007/s10750-020-04338-3.
- Scheffer, M., 2004. Ecology of Shallow Lakes. Springer Dordrecht.
- Simoni, G., P. Cheali, P. Roslev, S. Haasler, K. Reitzel, A. M. Smith, M. H. S. Haferbier & M. L. Christensen, 2024. Flocculating and dewatering of lake sediment: An in-situ pilot study comparing synthetic polymers and biopolymers for restoring lake water quality and reusing phosphorus. *Science of The Total Environment* 913:169597 doi:10.1016/j.scitotenv.2023.169597.
- Suding, K. N. & K. L. Gross, 2006. The dynamic nature of ecological systems: Multiple states and restoration trajectories. In Falk, D. A., M. A. Palmer & J. B. Zedler (eds) *Foundations of Restoration Ecology*. Society for Ecological Restoration International, 190-209.
- Tammeorg, O., M. Kiani, S. Kalu, S. Nabavi, A. Simojoki & P. Tammeorg, 2025. Recycling of lake sediments as phosphorus fertilizer: promising results from a greenhouse experiment with six different sediments. *Environmental Technology & Innovation*:104638 doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104638>.
- Tammeorg, O., M. Kiani, P. Nöges, K. Blank, T. Feldmann, J. Haberman, R. Laugaste, S. Seller, A. Tuvikene & P. Tammeorg, 2024. Management implications following the reconstruction of the small and shallow Lake Mustijärv (Estonia). *Journal of Limnology* 83(1) doi:10.4081/jlimnol.2024.2188.
- Triest, L., I. Stiers & S. Van Onsem, 2016. Biomanipulation as a nature-based solution to reduce cyanobacterial blooms. *Aquatic Ecology* 50(3):461-483 doi:10.1007/s10452-015-9548-x.
- Tuomainen, J., 1986. Iisalmen Tismiön rantojen arvo ja rakentamistilanne. Muistio 365 Rb., Kuopion lääninhallitus. Ympäristönsuojelutoimisto.





- Ukkonen, M., 1978. Tismiön, Keskimmäisen ja Ylemmäisen lintulaskenta. Ympäristöministeriö luonnonsuojeluosasto.
- Virkkala, R., 2016. Variation in population trends and spatial dynamics of waterbirds in a boreal lake complex. *Ornis Fennica* 93(4):197–211 doi:10.51812/of.133901.
- Väänänen, V. M., 1990. Iisalmen valtakunnalliseen lintuvesiensuojeluohjelmaan kuuluvien kosteikkojen linnusto ja suojeluarvo. Kuopion lääninhallitus.
- Wan, W., H.-P. Grossart, Q. L. Wu, X. Xiong, W. Yuan, W. Zhang, Q. Zhang, W. Liu & Y. Yang, 2025. Global meta-analysis deciphering ecological restoration performance of dredging: Divergent variabilities of pollutants and hydrobiontes. *Water Research* 280:123506 doi:10.1016/j.watres.2025.123506.
- Yliluoma, J., 2015. Iisalmen Keskimmäisen, Tismiön ja Ylemmäisen vesilinnut 1968 – 2015. Pohjois-Savon ELY-keskus.
- Yliluoma, J., 2022. Iisalmen Keskimmäisen, Tismiön ja Ylemmäisen vesilinnuston parimäärät vuosina 1968 – 2022. Pohjois-Savon ELY-keskus.
- Yliluoma, J., 2025. Iisalmi Ylemmäinen, Keskimmäinen ja Tismiö - vesilinnusto vuosina 1968-2025. Pohjois-Savon ELY-keskus.
- Ympäristöministeriö, 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi Ympäristöhallinnon ohjeita. vol 2.
- Ympäristöministeriö, 2015. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje Ympäristöhallinnon ohjeita. vol 1.



## 8 Liitteet

*Liitetaulukko 1. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritetyt hiilen (C) ja typen (N) pitoisuudet, niiden suhteet, hehkutushäviöt (LOI), vesipitoisuudet (W), sekä kokonaisuudessaan uuttuvan fosforin (Tot-ExtrP), heikosti sitoutuneen labiilin fosforin (Ads-P), rautahydroksidiin sitoutuneen fosforin (Fe-P), ja labiili orgaanisen fosforin (Lab org P), alumiinioksideihin sitoutuneen fosforin (Al-P), kalsiumiin sitoutuneen apatiittifosforin (Apatiitti-P) sekä jäännösfosforin (Kest Org P) pitoisuudet sedimenttikerroksissa. (Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla)*

Näytepiste	Kerros (cm)	N [g/kg]	C [g/kg]	C/N	LOI (%)	W (%)	Tot-ExtrP [mg/kg]	Ads-P [mg/kg]	Fe-P [mg/kg]	Lab Org P [mg/kg]	Al-P [mg/kg]	Apatiitti-P [mg/kg]	Kest Org P [mg/kg]
IIK1	0-2	11,5	117,4	10,2	26,2	92,6	52,5	0,4	9,4	21,6	8,9	5,9	6,3
IIK1	2-4	11,7	118,3	10,1	25,9	89,8	52,7	0,4	8,8	21,2	9,6	6,0	6,7
IIK1	4-6	11,0	113,9	10,3	24,8	89,0	50,6	0,3	8,4	19,3	9,5	6,1	7,0
IIK1	6-8	10,1	108,0	10,7	23,9	88,5	47,2	0,3	8,4	17,0	9,6	6,3	5,7
IIK1	8-10	9,4	102,3	10,9	22,4	86,8	46,9	0,3	7,8	15,6	10,2	6,6	6,4
IIK1	10-12	8,9	97,2	10,9	21,6	85,5	44,7	0,2	7,7	14,2	9,9	6,8	5,9
IIK1	12-14	8,7	94,9	10,9	20,9	84,7	43,4	0,3	7,4	13,6	10,1	6,9	5,1
IIK1	14-16	9,3	99,1	10,6	21,3	84,0	42,1	0,2	7,1	13,0	9,2	6,4	6,2
IIK1	16-18	12,6	135,5	10,8	29,1	87,7	50,3	0,3	8,5	16,8	12,9	4,4	7,3
IIK1	18-20	13,7	150,3	11,0	32,4	87,9	57,1	0,3	10,3	17,7	17,5	3,5	7,8
IIK1	20-26	13,0	145,2	11,2	31,4	87,5	56,0	0,2	9,8	17,6	17,6	3,3	7,5
IIK2	0-2	12,0	121,9	10,2	26,3	94,1	56,3	0,3	11,3	21,4	9,9	5,6	7,8
IIK2	2-4	11,2	116,6	10,4	24,8	91,6	53,8	0,3	9,4	21,1	9,9	6,0	7,2
IIK2	4-6	11,0	113,4	10,3	24,5	90,1	51,5	0,3	9,2	20,0	9,3	6,1	6,6
IIK2	6-8	10,1	108,8	10,8	23,2	88,5	48,9	0,3	8,9	17,3	9,6	6,5	6,4
IIK2	8-10	8,9	99,7	11,2	21,7	86,2	46,0	0,2	8,0	15,1	10,5	6,6	5,5
IIK2	10-12	8,7	103,9	11,9	23,0	83,7	44,6	0,2	7,7	14,6	10,5	6,0	5,4
IIK2	12-14	11,3	125,7	11,1	27,4	85,3	47,0	0,2	8,1	15,3	11,6	4,5	7,3
IIK2	14-16	12,9	138,5	10,7	29,0	86,8	54,2	0,2	10,4	16,8	16,2	3,4	7,2
IIK3	0-2	13,4	130,7	9,8	28,4	94,6	63,2	0,5	12,1	25,5	10,0	5,3	9,6
IIK3	2-4	11,9	123,0	10,3	25,8	91,5	56,1	0,4	10,8	21,3	10,4	6,0	7,2
IIK3	4-6	11,3	117,8	10,4	24,9	90,1	51,7	0,4	10,4	19,2	10,3	6,1	5,3
IIK3	6-8	10,6	112,9	10,7	23,9	88,7	52,1	0,3	9,7	18,2	9,8	6,3	7,8
IIK3	8-10	10,1	110,0	10,9	23,9	87,9	50,4	0,3	9,5	17,0	10,4	6,4	6,7
IIK3	10-12	9,5	105,3	11,0	22,1	86,9	48,4	0,3	8,8	15,6	10,4	6,5	6,7
IIK3	12-14	8,8	97,9	11,2	20,5	85,0	44,0	0,2	7,8	13,6	9,6	6,6	6,2
IIK3	14-16	9,3	105,0	11,3	21,7	84,3	41,8	0,2	6,9	13,5	9,0	6,1	6,1
IIK3	16-18	12,1	132,0	10,9	27,4	87,0	49,1	0,3	8,0	16,3	11,7	4,7	8,1
IIK3	18-20	14,2	157,9	11,1	32,8	88,1	58,9	0,4	10,3	18,6	16,8	3,7	9,1
IIK3	20-26	13,1	149,4	11,4	36,2	87,0	56,1	0,3	8,8	17,4	15,8	3,2	10,7

*Liitetaulukko 1. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritetyt hiilen (C) ja typen (N) pitoisuudet, niiden suhteet, hehkutushäviöt (LOI), vesipitoisuudet (W), sekä kokonaisuudessaan uuttuvan fosforin (Tot-ExtrP), heikosti sitoutuneen labiiliin fosforin (Ads-P), rautahydroksidiin sitoutuneen fosforin (Fe-P), ja labiili orgaanisen fosforin (Lab org P), alumiinioksideihin sitoutuneen fosforin (Al-P), kalsiumiin sitoutuneen apatiittifosforin (Apatiitti-P) sekä jäännösfosforin (Kest Org P) pitoisuudet sedimenttikerroksissa. (jatkoa edelliseltä sivulta)*

Näytepiste	Kerros (cm)	N [g/kg]	C [g/kg]	C/N	LOI (%)	W (%)	Tot-ExtrP [mg/kg]	Ads-P [mg/kg]	Fe-P [mg/kg]	Lab Org P [mg/kg]	Al-P [mg/kg]	Apatiitti-P [mg/kg]	Kest Org P [mg/kg]
IIK4	0-2	12,5	129,6	10,4	28,4	94,5	64,8	0,7	16,2	21,5	12,9	5,6	7,9
IIK4	2-4	12,2	126,8	10,4	27,5	90,4	61,8	0,5	14,8	20,5	13,0	5,6	7,4
IIK4	4-6	12,0	125,3	10,5	26,8	90,2	61,9	0,6	14,4	20,2	12,7	5,6	8,3
IIK4	6-8	12,1	124,4	10,3	27,1	88,9	62,5	0,6	14,9	20,1	13,2	5,7	8,0
IIK4	8-10	11,8	124,2	10,5	27,2	88,5	61,8	0,6	14,2	19,7	13,1	5,8	8,4
IIK4	10-12	11,8	123,5	10,4	26,6	88,4	62,0	0,5	14,3	19,7	13,6	6,0	7,8
IIK4	12-14	11,5	119,8	10,4	26,2	88,1	58,1	0,5	13,7	18,1	13,0	6,0	6,7
IIK4	14-16	10,7	115,4	10,8	25,6	86,6	56,1	0,5	13,0	16,3	13,2	6,2	7,0
IIK4	16-18	10,2	111,7	11,0	24,7	85,1	54,5	0,4	12,7	13,8	14,7	6,4	6,4
IIK4	18-20	10,5	115,8	11,0	24,6	84,1	53,3	0,3	11,5	15,0	14,0	6,1	6,4
IIK5	0-2	14,0	138,1	9,9	30,7	96,4	64,8	0,5	12,1	28,2	9,9	5,2	8,9
IIK5	2-4	12,2	126,6	10,4	28,2	92,6	55,8	0,3	9,3	21,9	10,2	5,7	8,5
IIK5	4-6	11,8	123,6	10,5	26,7	90,8	53,2	0,4	9,6	20,9	10,1	6,0	6,3
IIK5	6-8	11,1	120,3	10,8	25,9	90,2	52,1	0,3	9,5	19,2	10,1	6,1	6,8
IIK5	8-10	10,9	117,3	10,8	24,9	89,2	49,8	0,3	9,2	17,5	9,8	6,1	7,0
IIK5	10-12	10,3	113,9	11,0	23,9	88,1	49,7	0,3	8,9	16,2	9,9	6,1	8,2
IIK5	12-14	9,6	106,3	11,1	22,8	86,1	46,4	0,2	7,9	14,6	9,9	6,4	7,3
IIK5	14-16	9,7	109,2	11,3	29,7	84,5	43,8	0,2	7,4	14,5	9,5	6,1	6,1
IIK5	16-18	11,1	121,6	11,0	26,2	85,3	44,1	0,2	6,9	14,2	10,3	5,4	7,1
IIK5	18-20	13,3	140,0	2,9	31,0	86,6	50,9	0,2	8,0	16,8	14,6	4,0	7,3

*Liitetaulukko 2. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritetyt huokosveden liukoisin raudan Fe<sub>2+/3+</sub> ja fosfaattifosforin (PO<sub>4</sub>) pitoisuudet sedimenttikerroksissa. (Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla)*

Näytepiste	Sedimenttikerros (cm)	Fe <sub>2+/3+</sub> [µmol/l]	PO <sub>4</sub> [µmol/l]
IIK1	0-2	6,9	0,1
IIK1	2-4	5,3	0,9
IIK1	4-6	7,6	1,6
IIK1	6-8	4,6	1,4
IIK1	8-10	5,7	1,4
IIK1	10-12	5,3	1,8
IIK1	12-14	14,9	3,5
IIK1	14-16	11,1	4,4
IIK1	16-18	13,0	4,1
IIK2	0-2	2,7	0,2
IIK2	2-4	3,4	0,4
IIK2	4-6	5,3	0,4
IIK2	6-8	3,4	0,4
IIK2	8-10	5,0	0,5
IIK2	10-12	3,4	0,4
IIK2	12-14	5,7	0,8
IIK2	14-16	5,7	1,1
IIK2	16-21	7,6	1,3

*Liitetaulukko 2. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritetyt huokosveden liukoisen raudan Fe<sub>2+/3+</sub> ja fosfaattifosforin (PO<sub>4</sub>) pitoisuudet sedimenttikerroksissa. (Jatkoa edelliseltä sivulta)*

Näytepiste	Sedimenttikerros (cm)	Fe <sub>2+/3+</sub> [µmol/l]	PO <sub>4</sub> [µmol/l]
IIK3	0-2	6,3	0,3
IIK3	2-4	7,4	1,5
IIK3	4-6	17,6	2,8
IIK3	6-8	15,5	2,7
IIK3	8-10	11,8	1,6
IIK3	10-12	10,1	4,0
IIK3	12-14	15,6	4,2
IIK3	14-16	9,5	1,5
IIK3	16-18	14,5	3,3
IIK3	18-23	17,4	2,8
IIK4	0-2	6,5	1,4
IIK4	2-4	4,0	1,8
IIK4	4-6	6,7	0,9
IIK4	6-8	4,0	0,8
IIK4	8-10	4,2	0,9
IIK4	10-12	3,6	0,4
IIK4	12-14	4,0	0,5
IIK4	14-16	5,3	1,0
IIK4	16-18	7,6	2,1
IIK4	18-20	3,8	0,7
IIK4	20-27	11,5	0,7
IIK5	0-2	3,8	0,1
IIK5	2-4	10,3	1,6
IIK5	4-6	14,9	1,0
IIK5	6-8	11,8	1,6
IIK5	8-10	13,7	2,2
IIK5	10-12	8,4	0,8
IIK5	12-14	7,4	2,4
IIK5	14-16	9,9	1,7
IIK5	16-18	12,6	2,7
IIK5	18-23	5,9	1,9

Liitetäulukko 3. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritetyt alumiinin (Al), arseenin (As), bariumin (Ba), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (Co), kromin (Cr), kuparin (Cu), raudan (Fe), elohopean (Hg), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), nikkelin (Ni), fosforin (P), lyijyn (Pb), rikin (S), antimonin (Sb), strontiumin (Sr), tinan (Ti), vanadiinin (V) ja sinkin (Zn) pitoisuudet sedimenttikerroksissa induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrilla (ICP-MS) määritettynä. Kaikki pitoisuudet yksikössä mg/kg. (Taulukko jatkuu seuraavalla sivua)

Näyte- piste	Sedimentti- kerros (cm)	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sr	Ti	V	Zn
IIK1	0-2	32073,5	3,2	233,8	8066,5	0,6	25,3	75,5	49,8	43135,5	0,2	5583,7	11059,0	788,0	591,3	47,5	1612,3	17,2	3927,9	0,3	47,9	2045,5	76,9	162,9
IIK1	2-4	32615,0	3,2	220,6	7828,8	0,6	25,2	75,2	50,8	42982,0	0,2	5866,9	11174,0	725,7	604,1	48,0	1613,2	17,7	3868,8	0,3	45,9	2095,9	75,6	162,1
IIK1	4-6	33089,5	3,2	221,8	7698,7	0,6	26,5	76,3	51,2	43208,5	0,2	5731,2	11504,0	693,7	608,2	48,3	1532,8	17,7	3865,3	0,3	46,3	2047,5	75,5	167,1
IIK1	6-8	33698,0	3,1	224,5	7638,8	0,6	27,4	78,7	52,1	43869,0	0,1	5878,9	11763,0	697,4	624,0	49,4	1452,5	18,1	3850,2	0,3	47,4	2069,9	79,2	167,6
IIK1	8-10	34297,0	3,4	226,4	7712,9	0,6	26,9	79,9	52,4	44724,0	0,1	6115,6	12134,0	688,3	623,8	50,0	1387,7	18,6	3870,6	0,3	45,5	2127,8	81,9	169,6
IIK1	10-12	34716,0	3,5	227,4	7692,8	0,6	26,8	82,7	53,1	45384,0	0,1	6123,4	12356,0	677,1	637,2	50,9	1361,1	19,3	3766,5	0,3	45,8	2191,6	85,0	172,2
IIK1	12-14	34713,5	3,8	223,9	7593,2	0,5	27,1	83,9	52,1	45933,0	0,1	6129,4	12509,0	679,4	642,8	51,5	1320,8	19,5	3853,5	0,3	44,0	2162,0	87,4	170,7
IIK1	14-16	33270,0	4,4	215,1	7119,1	0,5	27,0	82,7	49,5	44676,0	0,1	5823,7	12090,0	651,5	603,5	52,2	1250,7	20,0	3520,8	0,4	42,7	2138,7	88,7	168,1
IIK1	16-18	27681,0	4,9	187,3	6224,3	0,5	21,8	64,8	43,1	36189,0	0,1	4200,2	8662,0	625,0	492,5	44,6	1463,7	19,6	4148,7	0,5	38,3	1687,4	71,6	151,4
IIK1	18-20	25194,0	5,0	176,2	6003,3	0,5	16,9	57,5	37,0	33028,0	0,1	3560,7	7104,0	631,9	411,6	38,5	1714,5	15,9	3743,3	0,4	36,8	1455,4	63,9	131,7
IIK1	20-26	24789,0	4,3	167,1	5513,1	0,3	14,3	53,7	31,9	31749,5	0,1	3315,0	6677,0	645,2	412,4	34,3	1666,9	12,7	2761,4	0,3	34,5	1413,7	61,1	113,6
IIK2	0-2	32013,0	3,1	232,2	8187,7	0,6	27,2	74,0	50,5	44542,0	0,1	5600,8	10916,0	893,3	598,7	47,4	1771,1	18,4	4095,7	0,3	49,0	1909,9	74,9	167,2
IIK2	2-4	33060,0	3,1	225,6	7477,0	0,6	28,0	76,9	52,7	43513,0	0,1	5717,6	11425,0	767,8	592,5	49,4	1591,9	18,9	3743,1	0,3	45,5	2044,0	76,8	171,7
IIK2	4-6	33699,0	3,1	230,0	7495,1	0,7	28,4	77,7	52,2	44125,0	0,1	5979,5	11523,0	754,7	601,3	49,6	1581,0	19,0	3699,5	0,3	48,1	2100,1	78,1	174,4
IIK2	6-8	34248,0	3,3	228,8	7654,8	0,6	29,4	79,8	54,0	45039,0	0,1	6013,8	11932,5	757,5	624,7	51,3	1478,9	19,4	3782,7	0,3	47,4	2134,6	81,0	177,7
IIK2	8-10	35531,0	3,6	229,6	7514,9	0,6	29,2	84,4	53,1	46459,0	0,1	6312,5	12530,0	753,3	623,1	52,2	1380,6	21,8	3582,9	0,3	45,8	2199,9	86,8	179,4
IIK2	10-12	36034,0	4,3	237,1	7386,9	0,6	30,5	82,6	49,6	46066,0	0,1	6218,7	12418,0	758,9	641,0	51,5	1333,7	24,1	3424,4	0,5	44,9	2188,0	89,8	186,1
IIK2	12-14	30720,0	4,9	200,0	6452,5	0,6	25,2	68,1	43,4	39701,0	0,1	5019,1	9657,0	719,6	551,6	44,2	1401,6	21,0	3410,3	0,5	39,5	1861,9	76,9	155,3
IIK2	14-16	25052,0	4,4	165,9	5490,9	0,5	17,3	55,0	35,2	33690,5	0,1	3444,7	7032,5	721,2	407,7	36,5	1599,0	16,1	2863,2	0,3	33,6	1422,9	61,5	129,7

Liitetaulukko 3. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritetyt alumiinin (Al), arseenin (As), bariumin (Ba), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (Co), kromin (Cr), kuparin (Cu), raudan (Fe), elohopean (Hg), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), nikkelin (Ni), fosforin (P), lyijyn (Pb), rikin (S), antimonin (Sb), strontiumin (Sr), tinan (Ti), vanadiinin (V) ja sinkin (Zn) pitoisuudet sedimenttikerroksissa induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrilla (ICP-MS) määritettynä. Kaikki pitoisuudet yksikössä mg/kg. (Jatkoa edelliseltä sivulta)

Näyte- piste	Sedimentti- kerros (cm)	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sr	Ti	V	Zn
IIK3	0-2	30493,0	3,0	217,8	7515,3	0,6	25,1	68,6	51,5	41792,0	0,1	5317,4	10172,0	828,7	566,5	45,4	1833,0	16,9	4242,7	0,3	46,2	1832,6	70,7	159,2
IIK3	2-4	32406,0	3,2	220,3	7520,3	0,6	26,8	75,1	54,4	42494,0	0,2	5683,0	11045,0	760,5	600,3	49,3	1678,7	17,8	4377,6	0,3	46,3	2000,7	75,8	170,5
IIK3	4-6	33008,0	3,3	223,0	7543,5	0,7	27,9	76,9	56,1	42241,0	0,2	5573,9	11502,0	751,2	584,9	50,4	1590,1	18,1	4139,3	0,3	46,4	1990,1	78,1	174,2
IIK3	6-8	33376,0	3,4	224,7	7463,0	0,6	27,6	79,9	54,9	43070,0	0,2	5819,8	11597,0	734,8	592,2	50,8	1496,7	18,6	4128,7	0,3	46,0	2125,5	80,7	174,0
IIK3	8-10	33415,0	3,5	222,4	7496,3	0,6	27,6	81,0	56,1	43642,0	0,2	5724,1	11682,0	717,9	601,0	51,4	1436,6	18,7	4036,2	0,3	45,8	2117,9	83,3	176,4
IIK3	10-12	34440,0	3,7	232,7	7408,0	0,6	27,5	82,0	54,6	43923,0	0,1	5971,0	12062,0	708,0	602,9	52,6	1407,5	19,6	4183,6	0,3	45,1	2203,0	86,3	174,1
IIK3	12-14	34826,0	4,1	226,8	7425,9	0,6	27,6	83,9	53,4	45287,0	0,1	6219,8	12544,0	699,7	649,8	52,4	1329,7	21,1	4058,1	0,4	44,9	2274,3	89,1	174,9
IIK3	14-16	33466,5	4,3	213,7	6946,1	0,5	26,2	79,1	50,3	43442,5	0,1	5630,6	11735,0	667,1	568,4	50,0	1236,2	20,8	3783,0	0,4	40,8	2056,4	84,6	169,0
IIK3	16-18	30331,0	4,7	194,8	6508,3	0,6	20,6	68,7	44,8	38567,0	0,1	4763,0	9647,0	651,0	525,2	44,0	1412,2	20,3	3928,6	0,5	39,1	1879,9	73,5	153,4
IIK3	18-20	26236,0	4,5	175,5	6106,8	0,6	15,9	58,1	38,5	33052,0	0,1	3725,6	7415,0	643,9	439,8	37,8	1665,0	17,6	3699,2	0,4	36,9	1537,8	62,8	134,9
IIK3	20-26	24534,0	4,6	161,2	5616,6	0,4	14,1	53,2	34,2	30305,0	0,1	3301,8	6726,0	646,6	397,0	34,8	1608,6	13,4	2971,8	0,3	34,8	1418,5	58,7	117,5
IIK4	0-2	31992,5	3,5	235,3	7895,8	0,7	28,9	74,4	55,7	44056,5	0,2	5533,9	10866,5	871,9	575,4	50,8	1983,9	18,7	4290,2	0,3	50,9	1924,4	76,5	184,5
IIK4	2-4	31935,0	3,7	231,4	7791,6	0,7	30,0	76,0	55,8	43754,0	0,2	5383,7	11147,0	782,7	550,2	51,8	1844,9	19,3	4235,7	0,3	48,9	1946,2	77,5	187,1
IIK4	4-6	32317,0	3,5	230,4	7979,8	0,7	30,2	78,0	57,4	43156,0	0,2	5556,4	11281,0	719,6	562,6	53,3	1868,1	19,3	4172,8	0,3	50,1	1957,0	79,3	187,3
IIK4	6-8	32001,0	3,5	230,9	7850,8	0,7	27,8	75,4	54,8	43277,0	0,2	5467,0	11190,0	698,9	560,7	50,1	1819,9	19,3	4108,2	0,3	51,3	1965,2	77,5	186,0
IIK4	8-10	32307,0	3,6	230,8	8037,5	0,7	29,6	76,2	56,2	43821,5	0,2	5580,5	11266,5	675,8	575,9	51,8	1836,0	19,7	4129,4	0,3	50,2	2012,6	78,5	187,6
IIK4	10-12	33389,0	3,7	231,2	8025,0	0,7	30,4	78,0	57,4	43485,0	0,2	5714,5	11426,0	673,9	606,0	52,9	1817,5	19,7	4237,3	0,3	50,0	2083,5	80,8	190,3
IIK4	12-14	32978,0	3,6	231,8	7760,5	0,7	29,3	78,1	55,8	43577,0	0,2	5883,2	11446,0	676,7	586,2	52,0	1757,6	19,6	4116,0	0,3	49,8	2062,3	80,2	188,2
IIK4	14-16	33687,0	3,8	232,4	7980,1	0,7	29,0	80,9	56,1	44441,0	0,2	5753,9	11688,0	683,6	616,3	52,8	1696,9	20,1	3996,2	0,3	50,6	2114,3	83,9	189,9
IIK4	16-18	34434,5	3,8	240,2	7791,4	0,7	29,0	81,9	56,7	44880,0	0,2	6002,5	12055,5	683,3	623,9	52,7	1627,1	20,5	3748,6	0,3	50,1	2255,9	85,5	189,8
IIK4	18-20	34114,0	4,5	224,1	7508,5	0,7	25,1	78,6	52,3	44780,0	0,1	5838,0	12041,0	660,7	588,3	50,0	1527,6	21,5	3495,4	0,4	45,8	2204,6	83,7	178,7
IIK5	0-2	29593,0	2,9	231,1	8067,5	0,6	24,4	67,0	48,3	43170,0	0,1	5288,9	9981,0	957,9	594,2	44,0	1935,8	16,4	4471,6	0,3	48,1	1951,8	69,6	155,7
IIK5	2-4	31571,0	3,3	220,7	7506,2	0,7	26,2	72,6	52,6	42131,0	0,2	5471,9	10604,0	802,5	571,2	47,0	1690,1	17,3	4390,1	0,3	45,5	1985,9	73,3	166,7
IIK5	4-6	32369,0	3,2	221,2	7466,3	0,7	26,9	74,5	53,4	42361,5	0,2	5581,1	11012,0	777,9	572,9	48,7	1586,2	18,1	4292,9	0,3	46,2	1987,2	75,2	169,9
IIK5	6-8	32339,0	3,3	219,6	7331,4	0,7	27,0	75,4	54,3	42613,0	0,2	5499,1	11084,0	754,3	577,9	49,4	1528,4	18,4	4320,5	0,3	46,0	1998,7	75,8	172,8
IIK5	8-10	33069,0	3,5	218,0	7322,5	0,7	27,9	76,9	55,3	43486,0	0,1	5602,4	11452,0	742,5	575,5	49,9	1457,5	18,4	4136,7	0,3	46,7	2022,4	78,4	178,0
IIK5	10-12	33038,0	3,6	222,6	7418,2	0,6	27,7	78,9	55,4	43401,0	0,2	5744,6	11724,0	726,3	610,3	50,5	1412,6	18,7	4161,6	0,3	45,5	2089,0	81,0	178,7
IIK5	12-14	33523,5	3,9	222,9	7292,5	0,6	27,2	80,7	55,6	44801,0	0,1	5899,7	11922,0	694,2	618,3	51,2	1344,7	19,9	4263,1	0,3	44,0	2127,9	84,0	177,4
IIK5	14-16	33175,0	4,3	216,2	7023,2	0,6	27,5	78,4	52,3	43663,0	0,1	5613,8	11633,0	669,8	592,4	51,0	1282,8	20,2	4261,0	0,4	42,6	2022,4	82,6	175,9
IIK5	16-18	30373,0	4,6	199,2	6406,0	0,5	25,9	71,3	49,4	39584,0	0,1	4967,9	10189,0	637,8	520,7	47,5	1318,2	19,7	4208,3	0,4	38,9	1864,9	76,2	169,6
IIK5	18-20	26126,0	4,1	176,8	5849,9	0,4	15,8	56,4	35,0	32299,0	0,1	3581,3	7466,0	618,8	420,7	36,6	1468,6	13,3	3240,9	0,3	35,6	1525,1	62,5	123,7

Liitetaulukko 4. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritettyjen polyaromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet eri sedimenttikerroksissa. Taulukossa on esitetty ainoastaan ne yhdisteet, joiden pitoisuudet ylittivät vähintään yhdessä sedimenttikerroksessa määritysrajan, joka on kaikille yhdisteille 2 µg/kg. Kaikki pitoisuudet yksikössä µg/kg.

Näyte piste	Sedi- mentti- kerros (cm)	Nafta- leeni	Ase- nafty- leeni	Fenan- - treeni	Antra- seeni	3- Metyy- life- nan- treeni	2- Metyy- life- nan- treeni	9- Metyy- life- nan- treeni	Fluo- ran- teeni	Pyree- ni	Bent- so- [a]ant- ra- seeni	Trife- nylee- ni	Kry- seeni	Bent- so- [b]fu- ran- teeni	Bent- so- [k]fu- ran- teeni	Bent- so- [j]fu- ran- teeni	Bent- so- [e]py- reeni	Bent- so- [a]py- reeni	Pery- leeni	Di- bent- so[a,h ]antra- seeni	Inde- no[1,2 ,3- cd]py- reeni	Bent- so- [ghi]- pery- leeni
IIK1	0-6	4,4	<2	15	<2	2,2	2,6	<2	15	16	3,3	3,2	5,1	13	5,6	6,8	11	8,8	60	2,2	17	20
IIK1	6-12	4,3	<2	8,1	<2	<2	<2	<2	15	12	5,1	3,3	5,0	15	6,8	7,2	29	14	52	2,4	18	20
IIK1	12-19	3,3	<2	9,5	<2	<2	<2	<2	15	14	4,8	5,3	6,0	17	7,9	8,6	24	14	240	2,9	23	28
IIK2	0-6	4,4	<2	9,1	<2	<2	<2	<2	15	13	4,3	3,6	5,5	15	6,5	7,1	20	13	67	2,5	18	21
IIK2	6-12	5,2	3,4	11	2,5	<2	<2	<2	20	17	6,7	5,1	7,7	19	8,9	9,7	67	19,6	58	3,4	23	24
IIK2	12-17	4,5	<2	11	<2	<2	<2	<2	19	20	6,9	10	7,1	30	14	16	48	22	336	5,6	44	50
IIK3	0-6	4,1	<2	11	<2	<2	<2	<2	15	14	3,6	3,5	6,1	14	5,6	6,7	11	8,7	56	2,4	16	19
IIK3	6-12	4,7	<2	10	<2	<2	<2	<2	17	13	5,2	4,0	5,2	15	7,0	7,5	19	14	102	2,6	18	22
IIK3	12-21	5,4	<2	12	<2	<2	<2	<2	21	20	6,5	7,5	8,4	22	11	12	29	17	271	4,1	32	37
IIK4	0-6	5,1	<2	9,6	<2	<2	<2	<2	16	13	5,0	3,6	6,0	15	6,7	7,7	17	12	73	2,7	20	22
IIK4	6-12	5,2	<2	8,6	<2	<2	<2	<2	15	12	4,5	3,7	5,7	15	7,2	7,8	17	12	75	3,0	20	22
IIK4	12-18	5,0	<2	9,9	<2	<2	<2	<2	17	14	4,9	4,7	6,3	17	7,1	8,7	26	15	92	2,8	20	23
IIK4	18-29	4,1	<2	16	2,4	2,7	2,9	3	40	38	15	10	16	33	18	18	48	29	264	5,7	42	45
IIK5	0-6	3,9	<2	12	<2	<2	<2	<2	16	15	4,2	3,3	5,5	15	5,8	7,2	13	9,8	61	2,4	17	20
IIK5	6-12	4,6	<2	8,8	<2	<2	<2	<2	16	14	5,1	3,7	5,7	15	7,1	7,7	23	15	79	2,6	18	22
IIK5	12-22	4,9	2,3	13	2,1	<2	<2	<2	24	27	6,5	5,7	8,4	20	9,5	11	52	22	151	3,4	24	26

Liitetaulukko 5. Keskimmäisen sedimenttipisteistä IIK1-5 määritettyjen per- ja polyfluorattujen alkyylilyhdisteiden (PFAS) pitoisuudet eri sedimenttikerroksissa. Taulukossa on esitetty ainoastaan ne yhdisteet, joiden pitoisuudet ylittivät vähintään yhdessä sedimenttikerroksessa muuttujakohtaisen, sulussa esitetyn määritysrajan (LOQ). Kaikki pitoisuudet yksikössä µg/kg.

Näyt e-piste	Sedimentti-kerros (cm)	Perfluoributa a-nihappo (0,01)	Perfluoriokta a-nihappo (0,005)	Perfluorinona a-nihappo (0,005)	Perfluorideka a-nihappo (0,001)	Perfluoriunde-kaanihappo (0,001)	Perfluoridode-kaanihappo (0,001)	Perfluoritride-kaanihappo (0,001)	Perfluoritetra-dekaanihappo (0,001)	Perfluorioktaani-sulfonihappo (0,01)	N-etyyliperfluori-oktaanisulfo-namidietikka-happo (0,01)	Bis(Perfluori-heksyyli)fosfiini-happo (0,001)
IIK1	0-6	0,031	0,011	0,014	0,013	0,029	0,011	0,018	0,0051	0,055	<LOQ	0,0021
IIK1	6-12	0,017	0,0082	0,013	0,011	0,037	0,011	0,019	0,0036	0,06	0,013	0,0013
IIK1	12-19	0,015	0,0066	0,012	0,0076	0,016	0,0037	0,0042	0,0012	0,035	0,016	<LOQ
IIK1	0-6	0,035	0,012	0,012	0,01	0,03	0,013	0,022	0,0052	0,068	0,011	0,0019
IIK2	6-12	0,02	0,0076	0,013	0,0093	0,026	0,0079	0,013	0,0026	0,042	0,014	<LOQ
IIK2	12-17	0,029	0,0094	0,012	0,0086	0,0077	<LOQ	0,001	<LOQ	0,03	0,011	<LOQ
IIK3	0-6	0,033	0,012	0,014	0,011	0,027	0,011	0,018	0,0055	0,04	<LOQ	0,0029
IIK3	6-12	0,018	0,0082	0,011	0,0092	0,03	0,0086	0,018	0,0033	0,045	0,012	0,001
IIK3	12-21	0,014	0,0074	0,011	0,0079	0,014	0,0024	0,0043	<LOQ	0,027	0,016	<LOQ
IIK4	0-6	0,031	0,01	0,011	0,0095	0,022	0,011	0,02	0,0073	0,043	<LOQ	0,0019
IIK4	6-12	0,021	0,0097	0,011	0,0098	0,021	0,0095	0,019	0,0053	0,054	<LOQ	0,0013
IIK4	12-18	0,015	0,0092	0,013	0,0091	0,022	0,0084	0,016	0,0048	0,039	<LOQ	0,0013
IIK4	18-29	0,016	0,0083	0,012	0,0054	0,0068	0,0023	0,004	0,0014	0,02	<LOQ	<LOQ
IIK5	0-6	0,038	0,012	0,015	0,012	0,029	0,011	0,018	0,0055	0,049	<LOQ	0,0014
IIK5	6-12	0,023	0,0097	0,013	0,011	0,029	0,011	0,018	0,0043	0,043	<LOQ	0,001
IIK5	12-22	0,015	0,0075	0,013	0,0088	0,022	0,0048	0,0078	0,0018	0,034	0,013	<LOQ