



Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine



august 2026

Töö nimetus: Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine

Töö number: 25058

Tellijä: Kambja Vallavalitsus

Vastutav täitja: Karl Kupits

Koostajad: Karl Kupits, Kadri Normak-Käosaar, Eesti Maaülikoolist Ingmar Ott, Peeter Pall, Henn Timm, Kätlin Blank, Aimar Rakko, Teet Krause, Anu Palm, Katrin Ott, Maili Lehtpuu

Kaanefoto: Maa- ja Ruumiameti kaldaerofoto 20.04.2023

Maves OÜ

Marja 4D Tallinn, registrikood 10097377

www.maves.ee e-post: maves@maves.ee

Ettevõte on sertifitseeritud kvaliteedijuhtimissüsteemi standardi ISO 9001:2015 alusel.

SISUKORD

1	SISSEJUHATUS.....	4
2	KAMBJA JÄRV JA VARASEMAD UURINGUD.....	5
2.1	ASEND JA ÜLDANDMED.....	5
2.2	JÄRVE KUJUNDAMINE JA 2007.–2009. AASTA SANEERIMINE.....	7
2.3	VARASEMAD ANDMED VEE JA SETTE KVALITEEDI KOHTA.....	9
2.4	JÄRVE KASUTUS JA PROBLEEMIPÜSTITUS	10
3	UURINGUD ÖKOLOOGILISE SEISUNDI MÄÄRAMISEKS.....	12
3.1	VÄLITÖÖD JA METOODIKA	12
3.1.1	<i>Vee füüsikalise-keemilised omadused</i>	13
3.1.2	<i>Fütoplankton</i>	13
3.1.3	<i>Zooplankton</i>	13
3.1.4	<i>Suurtaimestik</i>	13
3.1.5	<i>Fütobentos</i>	14
3.1.6	<i>Suurselgrootud</i>	14
3.1.7	<i>Kalastik</i>	14
3.1.8	<i>Setted, fosfori fraktsioonid ja inkubatsioonikatse</i>	14
3.2	VEE FÜSIKALIS-KEEMILISED OMADUSED.....	15
3.3	FÜTOPLANKTON	18
3.4	ZOOPLANKTON.....	19
3.5	SUURTAIMESTIK	20
3.6	FÜTOBENTOS	21
3.7	SUURSELGROOTUD	22
3.8	KALASTIK	22
3.9	SETTED, FOSFORI FRAKTSIOONID JA SISEKOORMUS	23
4	ÖKOLOOGILISE SEISUNDI KOONDHINNANG	27
5	JÄRVE VEEBILANSS NING SISSE- JA VÄLJAVOOLUDE VEE KVALITEET	29
5.1	SEIREPUNKTID JA METOODIKA	29
5.2	VOOLUHULGAD	30
5.3	VEE KVALITEET SISSE- JA VÄLJAVOOLUS	31
6	SETTE PAKSUSE MÕÕTMISED JA SETTE MAHT.....	35
7	KOORMUS.....	39
7.1	VÄLSKOORMUSE HINDAMISE METOODIKA.....	39
7.2	PUNKTKOORMUSALLIKAD JA REOVEEKÄITLUS.....	40
7.3	MAAKASUTUS JA HAJUKOORMUS.....	42

7.4	JÄRVE VÄLISKOORMUSE TALUVUS	46
7.5	SISEKOORMUS	49
8	MEETMEKAVA.....	52
8.1	MEETMEKAVA EESMÄRK JA KOOSTAMISE ALUSED	52
8.2	MEETMETE LOETELU JA ALTERNATIIVIDE ANALÜÜS.....	52
8.3	FOSFORI KEEMILINE SIDUMINE SETTESSE ALUMIINIUMIGA (ALUM-MEETOD)	56
8.3.1	<i>Meetodi olemus.....</i>	56
8.3.2	<i>Regionaalne kogemus: TRUST ALUM ja Velnezersi järv Riias.....</i>	57
8.3.3	<i>Velnezersi ja Kambja järve võrreldavus</i>	58
8.3.4	<i>Kambja järve sobivus ALUM-töötluseks.....</i>	59
8.3.5	<i>Esialgne alumiiniumi annuse hinnang.....</i>	61
8.3.6	<i>Vajalikud eeluuringud ja töö ettevalmistus</i>	63
8.3.7	<i>Maksumus ja võrdlus alternatiividega.....</i>	64
8.3.8	<i>Riskid, piirangud ja avalikkuse kaasamine</i>	64
8.4	ALTERNATIIVIDE VÕRDLUS JA SOBIVAIMA LAHENDUSE VALIK.....	65
8.5	MEETMETE RAKENDAMISE JÄRJEKORD JA AJAKAVA.....	67
8.6	MEETMETE OODATAV MÕJU	68
8.7	SEIRE.....	70
8.8	ÕIGUSLIK RAAMISTIK	70
9	KOKKUVÕTE	72
10	KASUTATUD MATERJALID	74
10.1	KÄESOLEVA TÖÖ OSAD JA ALUSDOKUMENDID	74
10.2	VARASEMAD TÖÖD KAMBJA JÄRVE KOHTA	74
10.3	METOODIKA JA JÄRVEDE TERVENDAMINE.....	74
10.4	ALUM-MEETOD JA TRUST ALUM PROJEKT	76
10.5	ÕIGUSAKTID, ANDMEBAASID JA MUUD ALLIKAD	76

Lisa 1. Ott, I. jt, 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu (koos lisadega 1–3: vee abiootilised omadused, fütoplanktoni koondtabel, suurselgrootute nimekiri).

Lisa 2. Kambja järve sisse- ja väljavoolude veeseire tabel 2025–2026.

Lisa 3. Kambja järve settepaksuse mõõtmiste algandmed 14.01.2026.

Lisa 4. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ katseprotokollid.

1 SISSEJUHATUS

Käesolev töö on koostatud Kambja Vallavalitsuse tellimusel riigihanke nr 294466 „Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine” raames¹. Töövõtuleping nr 12-17/118 sõlmiti 13.06.2025 ja töö täitmise ajaks lepidi kokku 01.07.2025–30.09.2026. Töö teostas Maves OÜ. Uuringu limnoloogilise osa viis alltöövõtjana läbi Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool². Veeproovid analüüsis Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ Tartu osakond.

Töö eesmärgiks on hinnata Kambja järve (VEE2094300) ökoloogilist seisundit ning selgitada välja järve seisundit halvendavad tegurid, et töötada välja meetmed järve seisundi parandamiseks. Lähteülesande kohaselt viiakse selleks läbi järve välis- ja sisekoormuse uuring, mille põhjal koostatakse meetmekava³.

Lähteülesandest tulenevalt koosnes töö neljast osast:

- järve elustiku kompleksne uuring – vee füüsikalise-keemilised omadused ja fütoplankton neljal korral kasvuperioodil, zooplankton kahel korral ning suurtaimestik, põhjaloostik, kalastik ja fütobentos ühel korral;
- inimtekkelise väliskoormuse analüüs – valgala punkt- ja hajukoormusallikate kaardistamine andmebaaside ja välitööde põhjal ning koormuse hindamine maakasutustüüpide ja fosfori ärakande koefitsientide alusel, samuti järve koormustaluvuse hindamine;
- järve sisse- ja väljavoolude veeseire koos vooluhulkade mõõtmisega ning sette paksuse mõõtmine ja sette kogumahu hindamine;
- sette sisekoormuse hindamine – kuivaine ja orgaanilise aine sisaldus, fosfori fraktsioonid ja inkubatsioonikatse fosfori vette lahustumise hindamiseks – koos limnoloogilise eksperthinnanguga.

Uuringu üksikasjalikud algandmed on esitatud aruande lisades.

¹ Kambja Vallavalitsus, 2025. Hankedokumendid. Riigihange nr 294466 „Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine”. Kambja Vallavalitsus, Ülenurme.

² Ott, I. (vastutav täitja), Timm, H., Rakko, A., Lehtpuu, M., Blank, K., Ott, K., Palm, A., Krause, T., Pall, P., 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu. Käesoleva aruande lisa 1.

³ Kambja Vallavalitsus, 2025. Tehniline kirjeldus. Riigihange nr 294466 „Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine”. Kambja Vallavalitsus, Ülenurme. <https://riigihanked.riik.ee>

2 KAMBJA JÄRV JA VARASEMAD UURINGUD

2.1 Asend ja üldandmed

Kambja järv asub Tartu maakonnas Kambja vallas Kambja alevikus, kiriku ja Vastse-Kambja mõisapargi vahetus naabruses. Tegemist on tehisjärvega, mis on eeldatavasti rajatud loodusliku oru süvendamise ja paisutamise teel 1960.–1970. aastatel⁴. Järv on kitsas ja piklik, ulatudes ligi 570 m ulatuses loodest kagusse. Läänekallas on hoonestatud ühepereelamutega, mille kinnistud ulatuvad järve kaldani. Idakaldal paiknevad kirik, kalmistu ja haljasalad. Järve kallastel on kaks avalikku supluskohta ning ümber järve kulgeb kõnnitee.

Järve limnoloogilised üldandmed on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Kambja järve üldandmed.

NÄITAJA	ÜHIK	VÄÄRTUS	ALLIKAS / MÄRKUS
Veekogu kood		VEE2094300	Keskkonnaportaali
Veepeegli pindala	ha	3,98	ETAK 2026 (möödetud)
Järve pikkus	m	570	EELIS
Kaldajoone pikkus	m	1311	EELIS
Kalda liigendatus	–	1,9	arvutatud; suur
Suurim möödetud sügavus	m	6,1	EMÜ 29.09.2025
Keskmine sügavus	m	2,9	19 möödetepunkti keskmine
Vee maht	m ³	≈115 000	arvutatud (3,98 ha × 2,9 m)
Valgala pindala	km ²	0,75	kõrgusmudeli alusel
Üldaluselisus	mg HCO ₃ ⁻ /l	147 (104–177)	keskmine vaatlusperioodil
Kollane aine	mg/l	3,7	väike sisaldus
Looduslähedane veekogutüüp	–	S2	kihistumata keskmise karedusega heledaveeline

⁴ Kuusik, R., Piir, A., 2008. Kambja järve saneerimise ehitusprojekt. Töö nr IB 50/2007. Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ, Tartu.

Keskkonnaregistris on Kambja järve pindalaks märgitud 2,3 ha ja kaldajoone pikkuseks 805 m.⁵ Need andmed pärinevad ajast enne 2009. aasta saneerimistööid ega vasta enam tegelikkusele. Käesolevas töös on kasutatud Maa- ja Ruumiameti topograafia andmekogu (ETAK) 2026. aasta kaardikihi järgi mõõdetud veepeegli pindala 39 766 m² ehk 3,98 ha⁶. Soovitame registriandmete ajakohastamist.

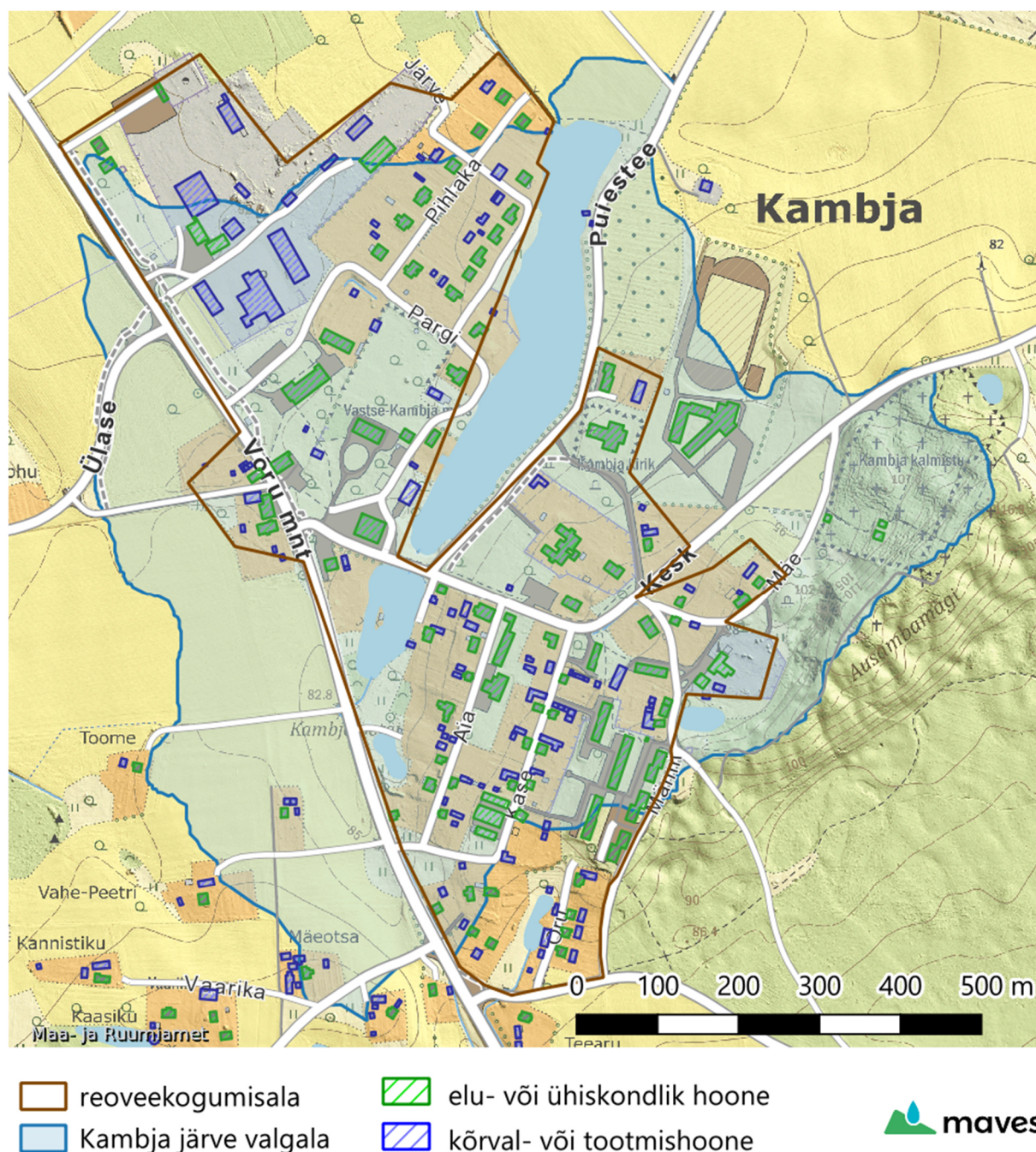
Järv toitub peamiselt põhjaveest ja allikatest. Alaline pindmine sissevool puudub⁷. Lõunaotsas on ühendus Kambja paisjärvega (VEE2028210), kust vesi jõuab järve truubi kaudu. Väljavool toimub järve põhjaotsast lähtuva maaparanduskraavi kaudu Tatra jõkke. Tatra jõgi kuulub pinnaveekogumisse 1045500_1 (tüüp V1B), mille 2023. aasta ökoloogiline seisund on hinnatud kesiseks. Kuni 2022. aastani oli seisund hea⁸. Seisundihinnangu languse põhjuseks on toodud paisude (Aarike I ja II, Tatraveski) mõju lõhejõe (üks ületamatu ja kaks raskesti ületatavat paisu) ning maaparanduse mõju. Varem paise seisundihinnangus ei arvestatud, kuna Keskkonnaameti andmetel oli ühe paisu loas märgitud, et kalapääsu rajamine ei ole vajalik.

⁵ Keskkonnaportaali Veekogude register: Kambja järv (VEE2094300). Kliimaministeerium, Tallinn.
https://keskkonnaportaali.ee/register?kkk_kood=VEE2094300

⁶ Eesti topograafia andmekogu (ETAK) maakatte kaardikihid, 2026. Maa- ja Ruumiamet, Tallinn.
<https://geoportaali.maaamet.ee>

⁷ Kuusik, R., Piir, A., 2008. Kambja järve saneerimise ehitusprojekt. Töö nr IB 50/2007. Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ, Tartu.

⁸ Ida-Eesti vesikonna veemajanduskava 2022–2027. Kliimaministeerium, Tallinn.
<https://envir.ee/veemajanduskavad-2022-2027>



Joonis 1 Kambja järve valgala ja Kambja aleviku reoveekogumisala piir. Aluskaart: Maa- ja Ruumiamet 2026.

2.2 Järve kujundamine ja 2007.–2009. aasta saneerimine

2007. aasta oktoobris ja novembris tehti järvel ja selle ümbruses geodeetiline mõõdistus ja sondeerimistööd ning 2008. aastal valmis Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ koostatud Kambja järve saneerimise ehitusprojekt⁷. Projekti koostamise ajal oli järve avaveelise osa settekihi tüsedus keskmiselt ligikaudu 0,6 m ja mudasette mahuks hinnati ca 14 000 m³. Järve põhjapoolne osa oli kinni kasvanud ligikaudu 1,5 ha

suuruseks õõtsiksooks, kus turbalasundi maksimaalne tusedus ületas 7 m ja lagunemisaste jäi vahemikku 30–50%. Põhjakihi esines 10–20 cm paksuselt sapropeeli, mille all lasus saviliiv.

Projektiga kavandati tööd kahes etapis: esimeses etapis lõunapoolse avaveelise osa puhastamine settest ujuvekskavaatori ja mudapumbaga koos sette selitamise ja ladestamisega (ca 14 000 m³), teises etapis põhjapoolse kinnikasvanud osa süvendamine kuni 3 m sügavuseni (väljakaevatava pinnase maht ca 36 000 m³, kaevetööde kogumaht ca 43 000 m³). Lisaks nähti ette kahe suplusala rajamine kogupindalaga 1340 m², 730 m kruuskatendiga kõnniteid, tuletõrje veevõtukohta rekonstrueerimine, 223 m äravoolukraavi rekonstrueerimine ning maakivikindlustusega ülevool järve veetaseme hoidmiseks tasemel 81,50 m^{9;10}. Kavandatavale tegevuse keskkonnamõju hinnati 2008. aastal¹¹.

Saneerimistööd viidi läbi 2009. aastal. Järve põhjapoolne õõtsikuga osa tühjendati ja sellega suurenes järve veepeegli pindala 1,45 ha võrra ligikaudu 3,8 hektarini. Setteid järve avaveelisest lõunapoolsest osast ei eemaldatud. Ortofotod järvest enne saneerimist (2002), vahetult pärast saneerimist (2011) ja tänapäeval (2025) on esitatud joonisel 2.

⁹ Kuusik, R., Piir, A., 2008. Kambja järve saneerimise ehitusprojekt. Töö nr IB 50/2007. Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ, Tartu.

¹⁰ EH2000 kõrgussüsteemis 81,67 m abs

¹¹ Järvet, A., Pajula, R., Piir, A., Laanetu, N. 2008 Kambja järve saneerimisprojekti keskkonnamõju hindamise aruanne.



Joonis 2 Maa- ja Ruumiameti ortofotod Kambja järvest. Vasakul 2002, keskel 2011 ja paremal 2025. aasta ortofoto. Allikas: Maa- ja Ruumiamet.

Kambja järve tervendusprojekti tulemuslikkust on hinnatud Eesti järvetervendusprojektide võrdlevas analüüsis¹². Analüüsi kohaselt oli Kambja järve projekti tulemuslikkus „möödukas“ (kasumäär 57,1%), asetudes 11 võrreldud projekti hulgas neljandale kohale. Ökosüsteemiteenuste väärtused tõusid kaalutud keskmisena 1,2 palli võrra. Ühegi ökosüsteemiteenuse väärtus ei vähenenud, paranesid ühe varustava, kolme reguleeriva ja nelja kultuurilise teenuse väärtused. Sama analüüs osutab, et Eesti järvetervendusprojektide läbivaks puuduseks on järelseire ning meetmete tõhususe hilisema hindamise puudumine.

2.3 Varasemad andmed vee ja sette kvaliteedi kohta

Vanimad kättesaadavad andmed Kambja järve seisundi kohta pärinevad 1998.–1999. aastal OÜ Tartu Keskkonnauuringud läbi viidud uuringust, mille tellis Tartu Maavalitsuse keskkonnanosakond¹³.

1998. aasta sügisel võetud veeproovid näitasid selget erinevust järve avaveelise osa ja väljavoolu vahel. Järve avaveelises osas olid kolme proovi keskmised näitajad järgmised: lahustunud hapnik 7,4 mg/l, üldlämmastik 1,2 mg/l, üldfosfor 0,13 mg/l ja BHT₇ 4,2 mg/l. Väljavoolus olid näitajad märkimisväärselt halvemad – hapnikusisaldus

¹² Teppo, T., 2016. Eesti järvetervendusprojektide tulemuslikkuse hindamine ja meetmete tõhusus. Magistritöö. Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

¹³ Tenno, J., 1998. Kambja järve vee- ja mudaproovide võtmise aruanne. OÜ Tartu Keskkonnauuringud, Tartu. Tellija: Tartu Maavalitsuse keskkonnanosakond.

langes 1,0 mg/l-ni, üldfosfor tõusis 1,2 mg/l-ni ja fosfaatne fosfor 1,1 mg/l-ni, mis on üle kümne korra kõrgem kui järve enda vees. Samuti esines väljavoolus suurenenud heljuvaine sisaldus (25 mg/l). See viitas õõtsikualal toimunud aktiivsele orgaanilise aine mineraliseerumisele ja denitrifikatsioonile ning toitainete intensiivsele leostumisele vette.

Tolleaegse klassifikatsiooni kohaselt vastas järve avaosa vesi üldfosfori järgi III (rahuldavale) ja üldlämmastiku järgi IV (halvale) veekvaliteediklassile. Väljavoolu vesi kuulus üldfosfori ja hapnikusisalduse järgi V ehk väga halba klassi¹⁴.

Sette kohta on 2007.–2008. aasta uuringutest teada, et õõtsikuala setetes oli orgaanilise aine sisaldus keskmiselt 41%, üldlämmastiku sisaldus 11 000 mg/kg ja üldfosfori sisaldus keskmiselt 1 190 mg/kg¹⁵. Õõtsikuala setteid ja kavandatud supluskohtade pinnast analüüsi ka raskmetallide (Cd, Pb, Zn, As, Ni, Cr, Cu, Co, Mo, Sn, Ba) suhtes – ükski neist ei ületanud kehtinud juhtarvu elutsoonis, mistõttu raskmetallid ei kujutanud järvele ega selle saneerimisele olulist ohtu.

Toonaste uuringute põhjal loeti Kambja järve halva seisundi peapõhjuseks järve põhjaosas välja kujunenud õõtsikuala, mis oli tekkinud pika aja jooksul hõljumi settimise, veetaimestiku vohamise ja nõukogude perioodil toimunud heitveereostuse tulemusena. Kuna õõtsikualal oli vesi oluliselt toitainerikkam kui avaveelises osas, järeldati, et järve seisundi parandamiseks piisab õõtsiku väljakaevamisest¹⁵. Käesoleva uuringu tulemused näitavad, et see eeldus ei pidanud paika: toitainete koormus järvele ei ole pärast õõtsiku eemaldamist piisavalt vähenenud ning avaveelisse ossa jäänud sete on jätkuvalt oluline fosforivaru.

2.4 Järve kasutus ja probleemipüstitus

Kambja järv on aleviku peamine puhkeala ja supluskoht. Ümberkaudsed elanikud on kurtnud, et järv on mudane ja kinni kasvanud ning et järves ujunud lastel on esinenud nahalööbeid¹⁶. Just supluskoha kvaliteedi parandamise soov oli valla jaoks käesoleva uuringu tellimise ajendiks.

¹⁴ Vabariigi Valitsuse 31.07.2001 määrus nr 269 (kehtetu) ja keskkonnaministri määrus nr 33/2001 pinnavee kvaliteediklasside kohta. Riigi Teataja.

¹⁵ Kuusik, R., Piir, A., 2008. Kambja järve saneerimise ehitusprojekt. Töö nr IB 50/2007. Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ, Tartu.

¹⁶ Lieberg, E., 2025. Teadlased võtavad Kambja järve aastaks luubi alla. Tartu Postimees, 23.07.2025. Postimees Grupp AS, Tartu.

Suplejatel esinevate lööbete kõige tõenäolisem põhjus Eesti järvedes ei ole sinivetikad, vaid tserkaardermatiit ehk suplejate sügelushaigus, mille põhjustavad perekonna *Trichobilharzia* imiussi vastsed (tserkaarid). Parasiidi vaheperemeesteks on vees elavad kopsteolised, eelkõige mudatigu ja kõrvteod. Lõpp-peremeesteks on veelinnud. Tserkaarid vabanevad tigudest soojal, tuulevaiksel ja päikeselisel ilmal, kui veetemperatuur ületab 20 °C, ning tungivad ujuja nahka, tekitades sääsehammustusi meenutava lööbe¹⁷. Käesoleva uuringu käigus leiti Kambja järve supluskoha litoraalist parasiidi vaheperemeheks sobivaid teoliike, sh kõrvtigu *Radix auricularia*¹⁸. See ei tõenda parasiidi olemasolu, kuid näitab, et tserkaardermatiidi tekkimiseks vajalikud eeldused on järves olemas. Kaebuste kordumisel oleks otstarbekas teha suplushooajal sihtotstarbeline tserkaariuuring.

Järvest läänes paiknevad Kambja kirik (muinsuskaitsemälestis nr 7182), mõisahooned (nr 7183) ja park (nr 7184) ning järve põhjapoolses otsas asub arheoloogiamälestis nr 12801¹⁵. Muinsuskaitseobjektide lähedust tuleb arvestada kõigi ehitustegevust eeldavate meetmete kavandamisel.



Foto 1 Kambja järv 21.07.2025. Nähtav on ulatuslik veesisene taimestik ja veepinnale tõusnud niitrohevetikate kogumikud. Foto: I. Ott.

¹⁷ Saar, K., Lagle-Zirnask, K., 2018. Suplejate sügelushaigus, millised on põhjused? Ettekanne Eesti Veepäeva konverentsil „Järvede majandamine ja kaitse“ 21.03.2018. Eesti Maaülikool, Tartu.

¹⁸ Ott, I. (vastutav täitja), Timm, H., Rakko, A., Lehtpuu, M., Blank, K., Ott, K., Palm, A., Krause, T., Pall, P., 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu. Käesoleva aruande lisa 1.

3 UURINGUD ÖKOLOOGILISE SEISUNDI MÄÄRAMISEKS

Käesolevas peatükis kirjeldatu põhineb Eesti Maaülikooli uuringul¹⁹ kui ei ole märgitud teisiti.

3.1 Välitööd ja metoodika

Järve elustiku ja sette uuringud viis läbi Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool. Metoodika ja algandmed on täies mahus esitatud EMÜ lõpparuandes, mis on käesoleva aruande lisa 1. Alljärgnevalt on metoodika esitatud kokkuvõtlikult. Uuringute ajakava on esitatud tabelis 2.

Tabel 2 Kambja järve välitööde ajakava.

UURITAV KVALITEEDIELEMENT	VÄLITÖÖDE AJAD	KORDI
Vee füüsikalise-keemilised omadused	21.07.2025; 22.08.2025; 29.09.2025; 19.05.2026	4
Fütoplankton	21.07.2025; 22.08.2025; 29.09.2025; 19.05.2026	4
Zooplankton	21.07.2025; 29.09.2025	2
Suurtaimestik	29.07.2025	1
Fütobentos	30.06.2025	1
Kalastik	19.–20.08.2025	1
Suurselgrootud	09.05.2026	1
Setteproovid ja inkubatsioonikatse	20.05.2026	1
Sette paksuse mõõtmine (Maves)	14.01.2026	1
Sisse- ja väljavoolude veeseire (Maves, EMÜ)	21.07.2025; 29.09.2025; 18.11.2025; 16.12.2025; 12.03.2026; 19.05.2026	6

¹⁹ Ott, I. (vastutav täitja), Timm, H., Rakko, A., Lehtpuu, M., Blank, K., Ott, K., Palm, A., Krause, T., Pall, P., 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu. Käesoleva aruande lisa 1.

3.1.1 Vee füüsikalised-keemilised omadused

Proove koguti järve sügavaimast kohast (6458245; 658444) pindmisest ja põhjalähedasest veekihist van Dorni tüüpi batomeetriga, lähtudes standardist EVS-ISO 5667-4. Kohapeal mõõdeti multisensoriga YSI Pro DSS vee temperatuur, lahustunud hapniku sisaldus ja küllastusprotsent, pH, elektri- ja erijuhtivus, lahustunud ainete üldsisaldus, redokspotentsiaal ja hägusus ning määrati Secchi ketta nähtavus ja vee värvus. Laboris määrati üldaluselisus (tiitrimine 0,05 M HCl-ga, EVS-EN ISO 9963-1), üldfosfor ja fosfaadid (kolorimeetriliselt askorbiinhappe ja molübdtaatreaktiiviga), üldlämmastik (mineraliseerimine kaaliumperoksodisulfaadiga ja NO_3^- määramine UV-spektrofotomeetriliselt) ning kollane aine. Seisundihinnang anti maismaa seisuveekogutüübi S2 klassipiiride alusel²⁰.

3.1.2 Fütoplankton

Kvalitatiivsed proovid koguti Apsteini planktonvõrkudega (silmasuurus 20 ja 48 μm), kvantitatiivsed proovid järve keskosast van Dorni batomeetriga ja fikseeriti Lugoli lahusega (EVS-EN 16698:2015). Proovid töödeldi Utermöhli meetodil (EVS-EN 16695:2015) ja loendati invertmikroskoobiga. Biomass arvutati vetikate ruumalade põhjal. Klorofüllide ja karotinoidide sisaldus määrati spektrofotomeetriliselt 96% etanooli ekstraktis. Seisundi hindamisel kasutati klorofüll a sisaldust, fütoplanktoni koondindeksit (FKI), ühtluse indeksit (J) ja koosluse kirjeldust.

3.1.3 Zooplankton

Zooplanktoni arvukuse ja biomassi määramiseks koguti 2-liitrise batomeetriga integraalselt 24 liitrit vett läbi kogu veesamba iga meetri järel kuni 0,5 m kauguseni põhjasettest ning kurnati läbi 48 μm planktonvõrgu (EVS-EN 15110:2006). Proovid analüüsiti Bogorovi kambris binokulaari all. Biomass arvutati mõõdetud isendite pikkuste ja laiuste ning liigispetsiifiliste valemite abil. Seisundihinnang anti liigilise koosseisu, arvukuses domineerivate taksonite ja indikaatorliikide alusel.

3.1.4 Suurtaimestik

Taimestikuga asustatud ala läbiti tervikuna, kirjeldades taimestikku transektimeetodil ligikaudu iga 150–200 m tagant. Registreeriti liigiline koosseis, liikide ohtrused Braun-

²⁰ Keskkonnaministri 16.04.2020 määrus nr 19 „Pinnaveekogumite nimekiri, pinnaveekogumite ja territoriaalmere seisundiklasside määramise kord, pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside kvaliteedinäitajate väärtused ja pinnaveekogumiga hõlmamata veekogude kvaliteedinäitajate väärtused“. RT I, 21.04.2020, 61. <https://www.riigiteataja.ee/akt/121042020061>

Blanquet' skaalal (1–5) ja maksimaalsed levikusügavused, eraldi hinnati suurte niitvetikate ohtrust. Ökoloogilise seisundi hindamisel kasutati järvetüübile iseloomulikke indikaatorliike ja arvutati ökoloogilise kvaliteedi suhe (ÖKS).

3.1.5 Fütobentos

Bentiliste ränivetikate proov koguti vähemalt viielt kivitl ligikaudu 0,5 m sügavuselt (EVS-EN 13946). Materjal töödeldi H₂O₂ ja HCl-ga ning valmistati püsipreparaadid, millest loendati ja määrati vähemalt 400 ränivetika rakku (EVS-EN 14407:2014). Indeksids IPS, WAT ja TDI arvutati tarkvaraga OMNIDIA 5.5 ning seisundihinnang anti kolme indeksi ÖKS-i keskmisena.

3.1.6 Suurselgrootud

Litoraali suurselgrootute liitproov võeti supluskoha lähedalt nelinurkse standardkahvaga (raami serva pikkus 25 cm, sõelaava 0,5 mm; EVS-EN ISO 10870:2012). Proov koosnes viiest 1 m pikkusest kahvatõmbest ja kvalitatiivsest proovist. Seisundit hinnati taksonirikkuse, Shannoni erisusindeksi, ASPT- ja EPT-indeksi alusel ning koondhinnang anti indeksite punktisummana etalonväärtuse suhtes (EQR).

3.1.7 Kalastik

Katsepüük viidi läbi standardi EVS-EN 14757:2005 põhimõtete kohaselt mitmesektsiooniliste Norden-tüüpi seirevõrkudega, mida täiendasid ühe silmasuurusega võrgud. Püük hõlmas kogu veesammast ja kestis vähemalt 12 tundi, hõlmates nii päikeseloojangut kui -tõusu. Saak analüüsiti värskelt: isendid määrati liigini, mõõdeti pikkus ja kaal ning hinnati võimalikke väärenguid ja kahjustusi.

3.1.8 Setted, fosfori fraktsioonid ja inkubatsioonikatse

Settekurnad koguti ühest proovipunktist Uwitec- ja Willneri tüüpi settepuuridega (läbimõõt 6–7 cm) koos sette pinna kohal oleva veekihiaga. Puursüdamikud lõigustati 2–5 cm paksusteks kihtideks ning säilitati kuni analüüsini 4 °C juures pimedas. Kuivainesisaldus määrati kuivatamisel 105 °C juures 24 tunni jooksul, orgaanilise aine sisaldus põletamisel 520 °C juures 5 tunni jooksul ja karbonaatide sisaldus edasisel kuumutamisel 950 °C juures 2 tunni jooksul. Terrigeense aine sisaldus leiti vahena. Fosfori fraktsioonid määrati keemilisel ekstraheerimisel Psenneri skeemi modifikatsiooni järgi²¹ ning fosforikontsentratsioonid määrati molübdeensinise

²¹ Psenner, R., Puccsko, R., Sager, M., 1984. Die Fraktionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten. Archiv für Hydrobiologie, Suppl. 70, 111–155.

värvusreaktsiooni meetodil. Sette sisekoormuse hindamiseks inkubeeriti settetorusid 31 ööpäeva 4 °C juures nii aeroobsetes kui ka anaeroobsetes tingimustes ning määrati sette kohal olevas vees lahustunud fosfaatioonide sisaldus enne katset, katse ajal ja pärast katset.

3.2 Vee füüsikalise-keemilised omadused

Järve sügavaima koha maksimaalne sügavus oli proovivõtukohas 5,4–6,1 m. Üldaluselisus kõikus vahemikus 104–177 mg HCO_3^- /l (keskmine 147 mg/l), mis vastab keskmisele vee karedusele. Kollase aine väike sisaldus (keskmiselt 3,7 mg/l) iseloomustab heledaveelist järve. Kuigi järv on suhteliselt sügav ja kihistus tekkis kahel vaatluskorral kolmekihilisena, ei olnud kihistumine püsiv ega hõlmanud kogu veesammast, mistõttu tuleb järve käsitleda kihistumata keskmise karedusega heledaveelisele järvele (tüüp S2) sarnase seisuveekoguna.

Vaatlusperioodi mõõtmistulemused on esitatud tabelis 3.

Tabel 3. Kambja järve vee füüsikalise-keemilised näitajad 2025.–2026. aastal (pind = 0,3 m; põhi = põhjalähedane kiht). LP – vee läbipaistvus, T – veetemperatuur, N_{üld} – lämmastiku üldsisaldus, P_{üld} – fosfori üldsisaldus.

KUUPÄEV	KIHT	LP, m	T, °C	O ₂ , %	pH	HCO ₃ ⁻ , mg/l	N _{üld} , mg/l	P _{üld} , µg/l	PO ₄ - P, µg/l
21.07.2025	pind	3,0	23,9	134	9,00	104	0,88	57	–
21.07.2025	põhi (5 m)		11,5	4	7,05				
22.08.2025	pind	3,5	17,8	79	8,02	122	0,80	54	28
22.08.2025	põhi (5 m)		15,0	6	7,00	171	1,10	100	39
29.09.2025	pind	3,0	12,4	63	7,54	128	0,93	89	42
29.09.2025	põhi (5,5 m)		12,0	12	6,91	143	0,95	84	37
19.05.2026	pind	2,27	16,8	110	7,94	168	0,93	61	14
19.05.2026	hüppekiht					168	1,00	74	17
19.05.2026	põhi (5 m)		8,7	–	–	177	1,08	71	17

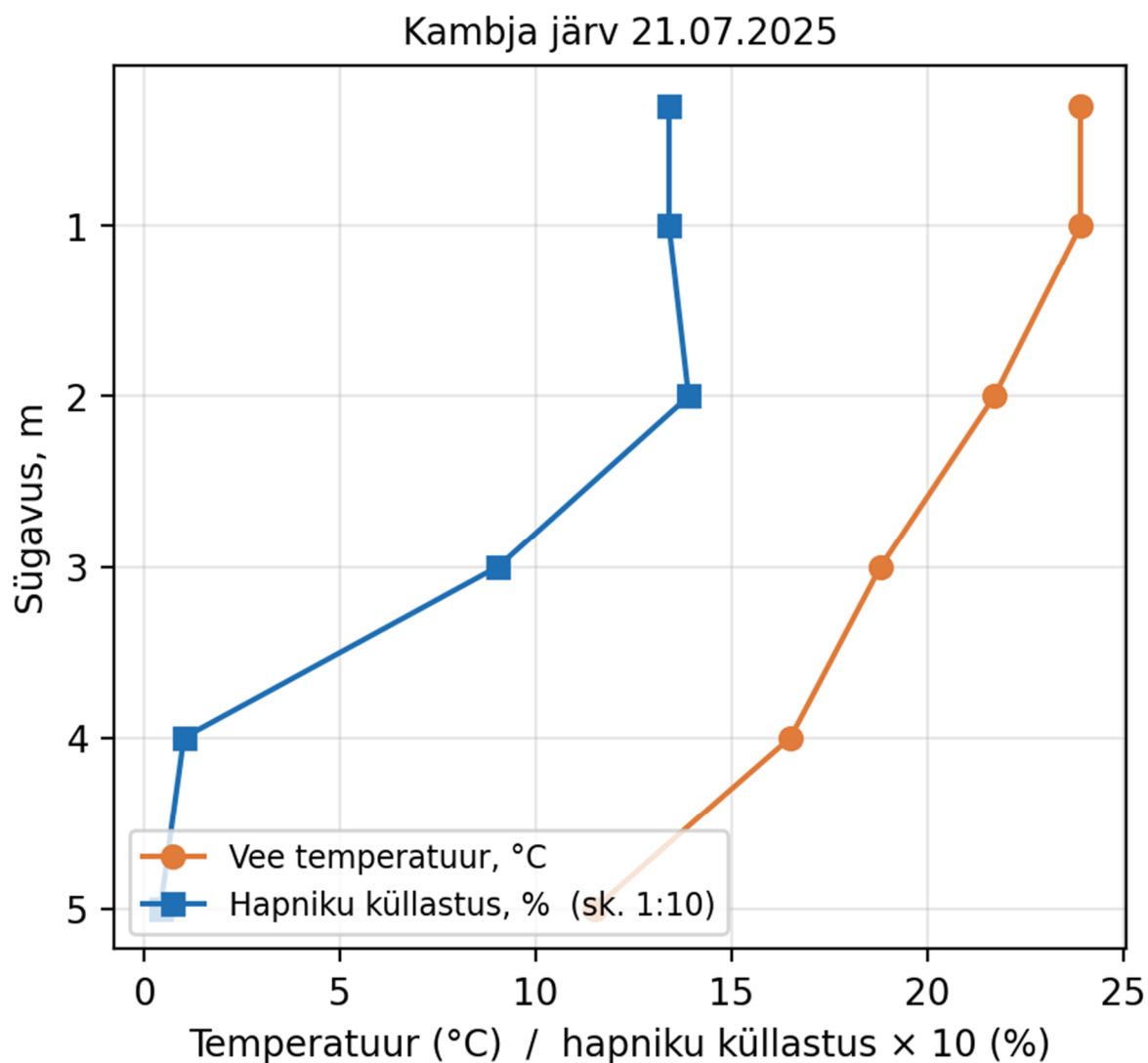
Ametlikus ökoloogilise seisundi hindamises kasutatakse S2 tüüpi järvedes vee läbipaistvust, toitainete sisaldusi ja pH-d. Nende näitajate aritmeetiliste keskmiste alusel antud hinnang on esitatud tabelis 4.

Tabel 4 Kambja järve ökoloogilise seisundi hinnang vee abiootiliste näitajate järgi.

NÄITAJA	VÄÄRTUS	SEISUNDIKLASS	HEA SEISUNDI PIIR (S2)
Vee läbipaistvus	2,74 m	hea	≥ 2 m
Üldlämmastik	956 $\mu\text{g/l}$	hea	$\leq 1\,000$ $\mu\text{g/l}$
Üldfosfor	73,7 $\mu\text{g/l}$	kesine	≤ 60 $\mu\text{g/l}$
pH	7,8	väga hea	7–8
KOONDHINNANG		kesine	

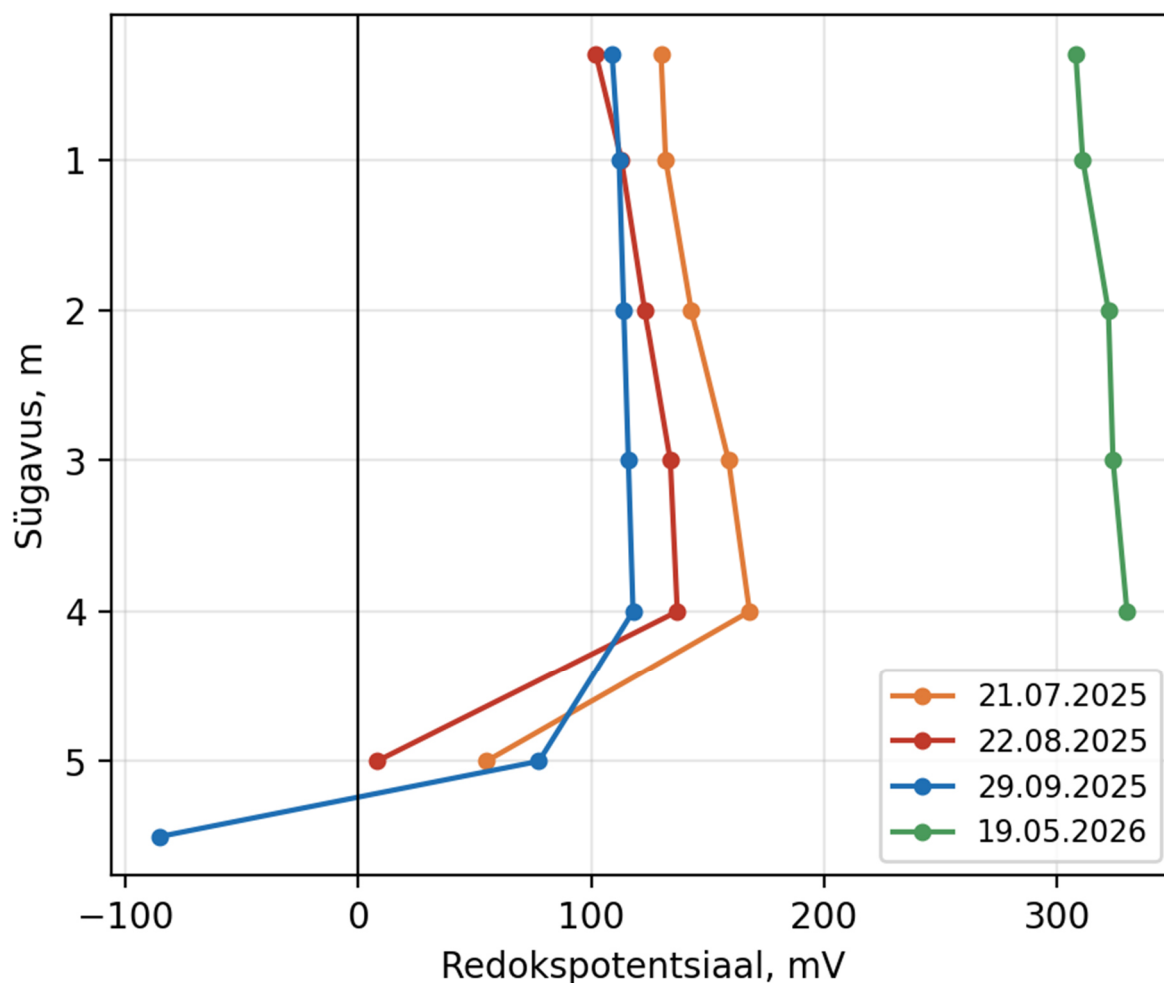
Määravaks osutus üldfosfori suur sisaldus. Rõhutada tuleb ka üldfosfori väärtuste ulatust (54–100 $\mu\text{g/l}$) ning kasvuperioodil mõõdetud fosfaatide suhteliselt suuri sisaldusi (14–42 $\mu\text{g/l}$). Tavaliselt on fosfaatide sisaldused kasvuperioodil kas alla määramispiiri või väga väikesed, sest fosfaadid on organismide poolt kasutuses. Fosfaatide püsimine mõõdetaval tasemel kogu kasvuperioodi jooksul viitab pidevale fosfori juurdevoolule – kas väliskoormusest või settest.

21.07.2025 mõõdetud profiil (Joonis 3) on vaatlusperioodi kõige ilmekam. Pinnakihi oli hapniku üleküllastus 134%, mis viitab intensiivsele fotosünteesile nii suurtaimede kui ka fütoplanktoni poolt. Samal ajal oli pH väärtus 9,0–9,02, mis on samuti intensiivse fotosünteesi tunnus ja võib juba kahjustada kalade olukorda. Neljandal meetril langes hapniku küllastus 10%-ni ja viiendal meetril 4%-ni – järve alumine ligikaudu 2 m paksune veekiht oli praktiliselt hapnikuta. Sama nähtus kordus augustis (põhjakihi 6%) ning kalastiku katsepüügil 19.–20.08.2025 mõõdeti sügavamal kui 3 m hapnikusisalduseks vaid 0,2–0,3 mg/l ehk 2% küllastusest.



Joonis 3 Vee temperatuuri ja hapnikuküllastuse jaotus Kambja järve veesambas 21.07.2025. Andmed: EMÜ.

Redokspotentsiaali väärtused iseloomustavad keskkonna oksüdeerivust: suured väärtused näitavad oksüdeerivaid ja madalad või negatiivsed väärtused redutseerivaid tingimusi ning orgaanilist ainet lagundavate bakterite intensiivset tegevust. Kambja järves olid kõigil vaatluskordadel peale 2026. aasta mai põhjakihtides madalad redokspotentsiaali väärtused, 29.09.2025 isegi negatiivsed (-85 mV) (Joonis 4). See näitab, et järves toodetud orgaanilist ainet on ülekülluses ning selle lagunemine tarbib põhjalähedases kihis kogu hapniku.



Joonis 4 Redokspotentsiaali väärtused Kambja järve veesambas 2025. ja 2026. aastal. Andmed: EMÜ.

Vee omaduste alusel on Kambja järve ökoloogiline seisund kesine.

3.3 Fütoplankton

Fütoplanktoni biomassid olid kõigil proovivõtukordadel väikesed, jäädes vahemikku 0,54–1,68 g/m³. Liikide arv loendusproovis oli keskmine, varieerudes 20–26 liigini. Klorofüll a sisaldus jäi vahemikku 7,05–23,26 µg/l. Tulemused on esitatud tabelis 5.

Tabel 5 Kambja järve seisundi hinnang fütoplanktoni näitajate järgi. Chl a – klorofüll a (µg/l); FKI – fütoplanktoni koondindeks; J – ühtluse indeks; BM – biomass (g/m³); FLA – liikide arv loendusproovis. Andmed: EMÜ.

KUUPÄEV JA KIHT	Chl a	FKI	J	KOOSLUS	BM	FLA
21.07.2025 pind	10,42	1,67	0,61	hea	1,34	22
22.08.2025 pind	9,07	–	–	–	–	–

KUUPÄEV JA KIHT	Chl a	FKI	J	KOOSLUS	BM	FLA
29.09.2025 pind	14,52	2,20	0,64	hea	1,68	20
29.09.2025 põhi	13,67	1,83	0,73	hea	0,90	26
19.05.2026 pind	7,05	0,88	0,73	hea	1,24	20
19.05.2026 hüppekiht	16,12	1,83	0,73	hea	1,25	24
19.05.2026 põhi	23,26	2,00	0,68	hea	0,54	21
KOONDHINNANG	hea	hea	hea	hea	hea	hea

Biomassist moodustasid peamise osa neelvetikad, koldvetikad ja vaguviburvetikad ning kohati ka sinivetikad. Juulis 2025 domineerisid neelvetikad *Cryptomonas* sp. ja *Rhodomonas* sp. ning sinivetikas *Dolichospermum spiroides*; septembris 2025 *Cryptomonas* sp., *Cryptomonas marssonii* ja vaguviburvetikas *Peridinium willei*; mais 2026 rohevetikas *Volvox aureus*, koldvetikas *Dinobryon divergens* ja *Dolichospermum spiroides* pinnakihi.

Kõigil proovivõtukordadel olid fütoplanktoni biomassi väärtused väikesed ja sinivetikate osakaal tagasihoidlik. Madalad FKI väärtused ja suhteliselt kõrged ühtluse indeksi väärtused viitavad heas seisundis fütoplanktoni kooslusele. Fütoplanktoni alusel on Kambja järve ökoloogiline seisund hea. Oluline on siiski tähele panna, et hea hinnang tuleneb suurte veetaimede domineerimisest, mis konkureerivad mikrovetikatega toitainete pärast ja hoiavad vee selge – see tasakaal on aga ebapüsiv (vt ptk 4).

3.4 Zooplankton

Zooplankton on veekogu ökosüsteemi oluline lüli, mis toitub fütoplanktonist ja on ise toiduks kaladele. Zooplanktoni koosseis reageerib tundlikult eutrofeerumisele, sinivetikate vohamisele ja kalade toitumissurvele, mistõttu peetakse teda väärtuslikuks bioindikaatoriks.

Kambja järve zooplanktoni proovidest leiti 24 taksonit: 15 kerilooma (63%), 5 vesikirbulist (21%) ja 4 aerjalgset (17%). Ligi pooled (46%) leitud taksonitest olid eutroofseid veekogusid eelistavad liigid – keriloomad *Anuraeopsis fissa*, *Brachionus angularis*, *Filinia longiseta*, *Hexartra mira*, *Keratella cochlearis tecta*, *Pompholyx sulcata* ja perekonna *Trichocerca* liigid ning vesikirbulised *Bosmina longirostris* ja *Daphnia cucullata*. Ükski eutroofsuse indikaatorliik ei kuulunud arvukuse dominantide hulka.

Arvukuse dominant oli peamiselt keriloom *Keratella cochlearis*, kes on eurütroofne ja eurütermne, kuid eutroofsetes veekogudes tavaliselt arvukam kui puhtamates.

Keriloomad moodustasid arvukusest juulis 97% ja septembris 72%. Juulis domineerisid biomassis perekonna *Polyarthra* liigid – väikese kerilooma domineerimine biomassis näitab, et planktonis on vähe vähilaadseid, mis omakorda tähendab, et zooplanktonil puudub võimekus hoida kontrolli all vetikate vohamist ning kalamaimude toidubaas on kasin. Septembris domineeris biomassis väike vesikirbuline *Bosmina longirostris*, keda peetakse eutroofsete järvede indikaatoriks. Suurte vesikirbuliste (nt perekond *Daphnia*) asendumine väikeste liikidega on eutrofeerumise tüüpiline tunnus.

Zooplanktoni alusel on Kambja järve ökoloogiline seisund kesine. Vähilaadsete väike osakaal, aerjalgsete koosluse koosnemine peamiselt noorjarkudest ja eutroofsete vete indikaatorliigi *B. longirostris* tugev domineerimine vesikirbuliste seas näitavad, et ka kalade toidubaas on kasin.

3.5 Suurtaimestik

Kambja järvest leiti 16 taimeliiki: 8 kaldavee-, 1 ujulehtedega, 3 uju- ja 5 veesisest taime (Tabel 6). Kaldaveetaimestikus olid valdavad tarnad, harilik kalmus (ohtram idapoolsetel kallastel), konnaosi ja laialehine hundinui. Ujulehtedega taimedest esines vaid ujuv penikeel. Järve põhjaotsas oli vette istutatud ohtralt kultuurvesiroose. Veesiseses taimestik domineeris kogu järves selgelt kanada vesikatk koos räni-kardheina ja tähk-vesikuusega. Tähk-vesikuusk levis kõrgematel ohtruse väärtustel ka järve sügavamates piirkondades.

Tabel 6 Kambja järves esinevad suurtaimede liigid ja nende ohtrused Braun-Blanquet' skaalal (1–5). Andmed: EMÜ.

ÖKOLOOGILINE RÜHM / LIIK	OHTRUS
Kaldaveetaimed	
harilik kalmus (<i>Acorus calamus</i>)	3
konnaosi (<i>Equisetum fluviatile</i>)	3
laialehine hundinui (<i>Typha latifolia</i>)	3
tarnad (<i>Carex spp.</i>)	3
harilik kukesaba (<i>Lythrum salicaria</i>)	2
harilik pilliroog (<i>Phragmites australis</i>)	2
jõgiputk (<i>Sium latifolium</i>)	2
harilik mürkputk (<i>Cicuta virosa</i>)	2

ÖKOLOOGILINE RÜHM / LIIK**OHTRUS**

Ujulehtedega ja ujutaimed	
ristlemmel (<i>Lemna trisulca</i>)	3
ujuv penikeel (<i>Potamogeton natans</i>)	3
hulgajuurine vesilääts (<i>Spirodela polyrrhiza</i>)	2
väike lemmel (<i>Lemna minor</i>)	2
Veesisesed taimed	
kanada vesikatk (<i>Elodea canadensis</i>)	4
räni-kardhein (<i>Ceratophyllum demersum</i>)	3
tähk-vesikuusk (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	3
väike vesikatk (<i>Elodea nuttallii</i>)	2
kaelus-penikeel (<i>Potamogeton perfoliatus</i>)	1
Niitrohevetikad	3

Suurtaimestiku näitajate ÖKS-i keskmine oli 0,45, mis vastab kesisele ökoloogilisele seisundile. Hinnangu tingivad kaelus-penikeele esinemine väga madalatel ohtruse väärtustel, rohketoitelisi ja degradeerunud tingimusi eelistavate liikide rohke esinemine ning niitrohevetikate suur rohkus (ohtrus 3, millele vastab halb seisund).

Suurtaimestiku alusel on Kambja järve ökoloogiline seisund kesine. Tähelepanu väärib kahe võõrliigi – kanada vesikatku ja väikese vesikatku – esinemine, kusjuures kanada vesikatk on kogu järve ulatuses ühtlane dominant. Vesikatku vohamine on tüüpiline toitainerikastes tehisveekogudes ning selle biomass moodustab olulise osa järve orgaanilise aine tootmisest, mis sügisel settides suurendab hapnikutarbimist ja sisekoormust.

3.6 Fütobentos

Kogutud proovist määrati 59 taksonit bentilisi ränivetikaid. Arvukad taksonid (suhteline arvukus üle 10%) puudusid. Arvutatud indeksitest näitasid kesist ökoloogilist seisundit IPS (11,4; ÖKS 0,62) ja TDI (66,9; ÖKS 0,51), WAT-indeksi tulemus (10,3; ÖKS 0,55) viitas halvale ökoloogilisele seisundile. Koondhinnang ÖKS-i keskmise väärtuse järgi on 0,56 ehk kesine, kuid väga lähedal halva seisundi piirile (0,50).

Tabel 7 Ökoloogilise seisundi hinnang fütobentose indeksite ja neile vastavate ÖKS väärtuste järgi. Andmed: EMÜ.

IPS	IPS ÖKS	WAT	WAT ÖKS	TDI	TDI ÖKS	FÜBE ÖKS	Hinnang
11,4	0,62	10,3	0,55	66,9	0,51	0,56	kesine

Fütobentose alusel on Kambja järve ökoloogiline seisund kesine, kuid piiripealne.

3.7 Suurselgrootud

Prooviala järve kagukalda supluskoha lähedal oli liivase-mudase põhjaga. Viiest kahvatõmbest saadi kokku 300 isendit ja määrati 20 taksonit. Liigistik oli tüüpiline rohketoitelistele karedaveelistele järvedele. Kõige arvukam liik oli tiigipäevik *Cloeon dipterum* (41%), surusääsklaste (Chironomidae) osakaal oli 31% ehk keskmine. Pooled seisundihinnangud olid väga heal, pooled kesisel tasemel, mis andis kokku EQR-i 0,7 ehk napilt hea koondseisundi.

Järve seisundit ei ole suurselgrootute järgi varem hinnatud. Arvestades järve tehislikkust on hea seisundihinnang parem kui võiks eeldada. Suurselgrootute alusel on Kambja järve ökoloogiline seisund hea.

3.8 Kalastik

Katsepüük toimus 19.–20. augustil 2025 vahelduvalt pilves ilma ja 3–4 m/s edela-läänetuulega. Püügipiirkonna suurim sügavus oli 5 m, kuid kaladele sobivat hapnikurikast vett (4,1–7,6 mg O₂/l; 44–83% küllastust) jätkus vaid kuni 3 m sügavuseni – sügavamal mõõdeti hapnikusisalduseks 0,2–0,3 mg O₂/l ehk 2% küllastusest. Veetemperatuur jäi vahemikku 13,4–19,4 °C.

Saagis oli viis kalaliiki: ahven, linask, roosärg, särg ja haug. Kalastiku alusel arvutatud indeksite keskmiseks hindeks kujunes 3,54, mis paigutab Kambja järve kesisesse seisundiklassi. Kuna Kambja järv on tehniliselt paisjärv, hinnati veekogu ka ökoloogilise potentsiaali alusel: liigilises koosseisus puudus jõeline komponent, liikide vanusstruktuur oli väga lünklik ja näitas vaid üksikuid põlvkondi (enim aastakäike – 7 – oli särjeasurkonnas), väärarenguid ei tuvastatud. Ka ökoloogilise potentsiaali hinnang on kesine.

Kalastiku alusel on Kambja järve ökoloogiline seisund ja ökoloogiline potentsiaal kesine. Kalastiku seisukohalt on määrav, et suvel on kaladele sobiv elupaik piiratud ülemise ligikaudu 3 m paksuse veekihi. Sügavamal olev hapnikuvaba veekiht ei ole

kaladele kasutatav. Koos kasina zooplanktoni toidubaasiga selgitab see lünklikku vanusstruktuuri.

3.9 Setted, fosfori fraktsioonid ja sisekoormus

Sette kuivainesisaldus oli väikseim kõige pindmisemas kihis (7,5% märgkaalust kihis 0–2 cm) ja kasvas sügavuti 16,4%-ni kihis 35–38 cm. Kogu uuritud 38 cm paksune settekiht on seega üsna vedel.

Sette kuivaine koostises valdas terrigeenne aine (52% pinnakihis), mis viitab sette lühiajalisele kuhjumisele järve. Karbonaatide sisaldus (16%) oli Eesti paljude järvedega sarnane ja korreleerub vee karedusega. Orgaanilise aine osakaal (31%) oli väiksem kui Eesti looduslikes järvedes tavaline – ka see viitab sette suhteliselt hiljutisele kujunemisele. Võrdluseks: 2007. aasta uuringu järgi oli järve põhjaosa öötsikualal orgaanilise aine sisaldus 41%²².

Fosfori fraktsioonide summa pindmises 10 cm paksuses settekihis oli vahemikus 1 357 – 1 382 µg P/g kuivaines ja kogufosfor samas kihis 1 920 – 1964 µg P/g. Sügavamal kasvasid mõlemad väärtused, ulatudes kihis 25–30 cm vastavalt 2 301 ja 2 650 µg P/g-ni (Tabel 8). Võrreldes teiste Eesti järvedega on Kambja järve sette pindmise kihi fosforisisaldus keskmisel tasemel – näiteks Ruusmäe järves on see 5 200, Arbi järves 4 460, Käsmu järves 3 051, Ähijärves 1 301 ja Võrtsjärves 1 010 µg P/g.

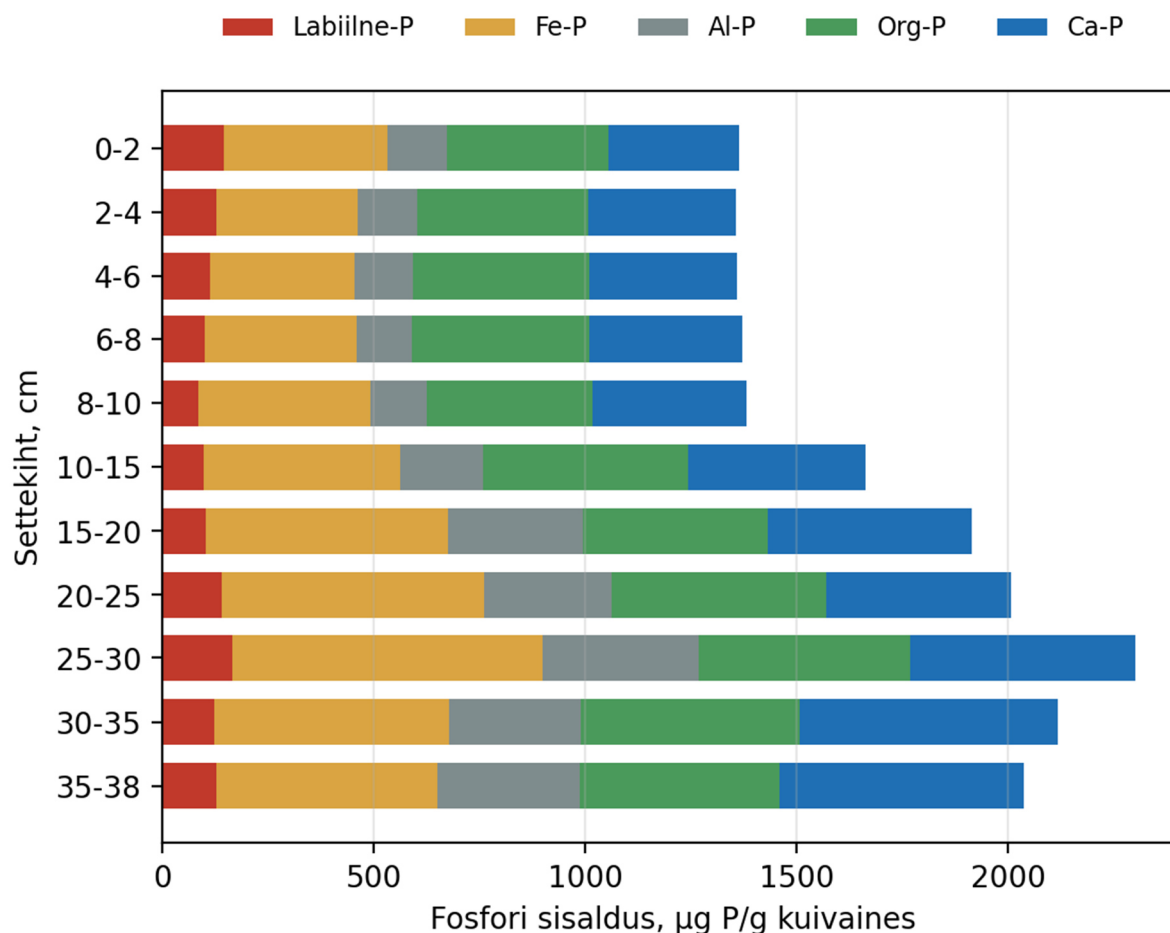
Tabel 8 Fosfori fraktsioonide summa ja üldfosfori sisaldus (µg P/g kuivaines) Kambja järve settes 2026. aastal. Andmed: EMÜ.

KIHT, cm	P FRAKTSIOONIDE SUMMA	ÜLDFOSFOR
0–2	1363	1920
2–4	1357	1924
4–6	1359	1944
6–8	1370	1927
8–10	1381	1964
10–15	1662	2225
15–20	1916	2472
20–25	2009	2409

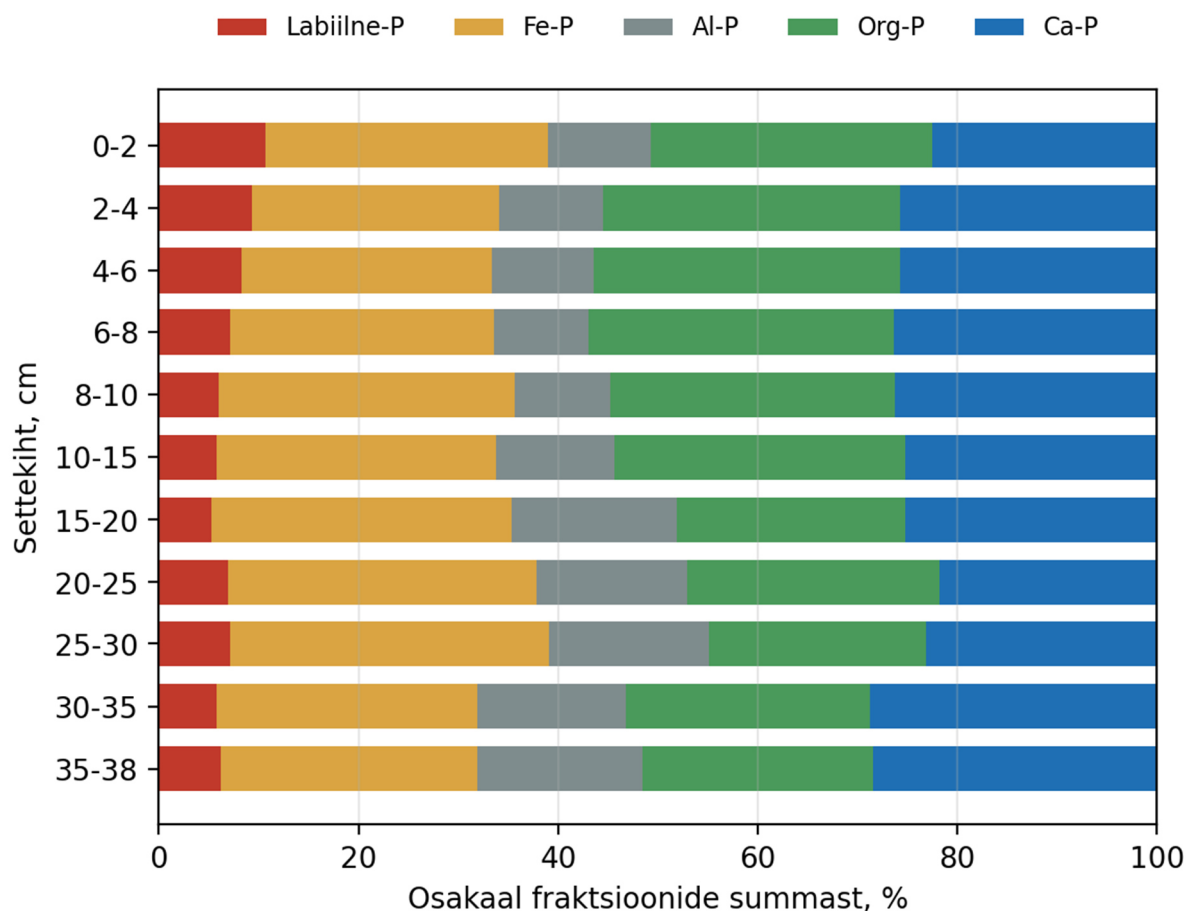
²² Kuusik, R., Piir, A., 2008, op. cit.

KIHT, cm	P FRAKTSIOONIDE SUMMA	ÜLDFOSFOR
25–30	2301	2650
30–35	2118	2533
35–38	2037	2472

Fraktsioonide jaotus on esitatud joonistel 5 ja 6. Kambja järve settes on suurim rauaga seotud fraktsioon (Fe-P), millele järgnevad raskesti lahustuvatesse orgaanilistesse ühenditesse seotud fosfor (Org-P) ja lubiainetega seotud inertne fraktsioon (Ca-P). Alumiiniumiga seotud fosfori (Al-P) osakaal on väiksem. Erakordne on labiilse fosfori fraktsiooni väga suur osakaal võrreldes teiste järvedega. Enamasti moodustab see fraktsioon mõne protsendi üldkogusest, Kambja järve pindmistes kihtides aga 6–12%. Labiilsest fraktsioonist võib fosfor väga kergelt lahustuda ja vette liikuda.



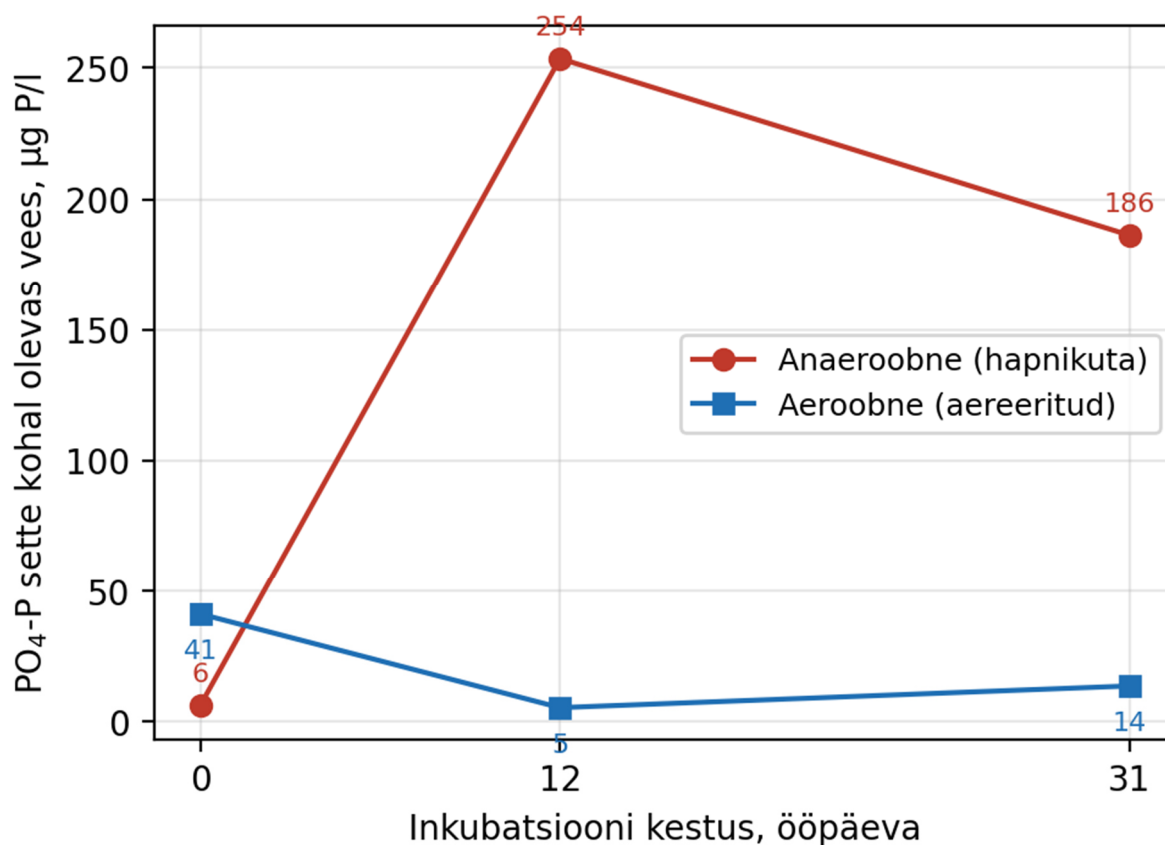
Joonis 5 Kambja järve sette fosfori fraktsioonide kogused. Andmed: EMÜ.



Joonis 6 Kambja järve sette fosfori fraktsioonide osakaalud. Andmed: EMÜ.

Kui järves valitseb kauakestev hapnikupuudus, võib eelkõige rauaga seotud fraktsioonist fosfor lahustuda vette liiges koguses. Kuna Fe-P osakaal on Kambja järve settes suur ja järves esineb kihistumist koos põhjakihi hapnikupuudusega, on tegemist nn enesereostuse ehk sisekoormuse riskiga.

Seda kinnitas 31 ööpäeva kestnud inkubatsioonikatse (Joonis 7). Aereeritavas torus seoti fosforit esimese 12 päeva jooksul (kontsentratsioon langes 41,1 µg P/l-lt 5,3 µg P/l-ni) ja edaspidi eraldus settest vette vaid vähesel määral (13,5 µg P/l). Hapnikuta tingimustes toimus samal ajavahemikul fosfaatide kontsentratsiooni ligikaudu neljakümnekordne suurenemine (6,2 → 253,5 µg P/l) ning kogu katseperioodi kestel kolmekümnekordne suurenemine (6,2 → 186,3 µg P/l). Nii suurt muutust ei ole EMÜ teiste Eesti väikejärvede setete katsetes varem täheldatud.



Joonis 7 Kambja järve settekuurna inkubatsioonikatses toimunud fosfaatide kontsentratsioonide muutused aeroobsetes ja anaeroobsetes tingimustes. Andmed: EMÜ.

Katse tulemus näitab üheselt, et Kambja järve sette fosforivaru on hapnikuolude halvenemisel kergesti mobiliseeritav. Sisekoormuse suurusjärg on hinnatud peatükis 7.5.

4 ÖKOLOOGILISE SEISUNDI KOONDHINNANG

Paisjärve ökoloogilist seisundit saab hinnata keskkonnaomadustelt kõige sarnasema loodusliku seisuveekogu tüübi alusel. Kambja järvel on selleks keskmise vee karedusega kihistumata heledaveeline järv (veepoliitika raamdirektiivi järgi Eesti järvetüüp S2)²³. Vaatlusperioodil esines küll mõnel ajavahemikul veesamba kihistumist, kuid see ei olnud püsiv ega kolmekihiline kogu suve vältel, nagu see on omane S3 tüüpi järvedele²⁴. Ökoloogilise seisundi koondhinnang kvaliteedielementide kaupa on esitatud tabelis 9.

Tabel 9 Kambja järve ökoloogilise seisundi koondhinnang. Andmed: EMÜ.

KVALITEEDIELEMENT	SEISUNDIHINNANG	MÄÄRAV NÄITAJA / PÕHJENDUS
vee abiootilised omadused	kesine	üldfosfor 73,7 µg/l (piir 60 µg/l)
fütoplankton	hea	väike biomass, sinivetikate väike osakaal
zooplankton	kesine	vähilaadsete vähesus, eutroofsete vete liigid
suurtaimestik	kesine	ÖKS 0,45; niitvetikate rohkus, eutrafendid
fütobentos	kesine	ÖKS 0,56 (piiripealne halva suhtes)
suurselgrootud	hea	EQR 0,7
kalastik	kesine	hinne 3,54; lüklilik vanusstruktuur
KOONDHINNANG	kesine	halvima elemendi reegel (VRD)

Kambja järve toimimise uuringute tulemused näitavad tehisveekogu toimimist. Ökosüsteemi stabiilsus ei ole sagedaste inimsekkumiste tõttu välja kujunenud. Ühest

²³ Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik (veepoliitika raamdirektiiv). Euroopa Liidu Teataja L 327, 22.12.2000. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>

²⁴ Ott, I. (vastutav täitja), Timm, H., Rakko, A., Lehtpuu, M., Blank, K., Ott, K., Palm, A., Krause, T., Pall, P., 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu. Käesoleva aruande lisa 1.

küljest on tunda olulist inimõju: sette koostis ja suur potentsiaalne sisekoormus annavad sellest tunnistust, sama näitavad taimekooslused, kus valdavad eutrafendid ehk suurt toitelisust iseloomustavad liigid. Teisalt ei ole koormus veel nii suur, et esineksid intensiivsed veeõitsengud, mis on siseveekogude väga kehvade olude tunnistajaks. Kambja järve vesi on fütoplanktonist vaene, selge ja läbipaistev enamikul kasvuperioodist²⁴.

Järv on praegu selgeveelises, suurtaimede poolt domineeritud olekus. Madalate ja keskmise sügavusega eutroofsete järvede puhul on teada, et sellised veekogud võivad esineda kahes alternatiivses stabiilses olekus: selgeveelises, kus domineerivad veesisesed suurtaimed, ja häguses, kus domineerib fütoplankton. Üleminek ühest olekust teise toimub tavaliselt järsku ja on tagasipööramiseks palju suuremat pingutust nõudev kui ülemineku ennetamine²⁵. Arvestades sette suurt mobiliseeritavat fosforivaru võib prognoosida olukorra muutust, kus ka mikrovetikad saavad osa sisekoormusest – sel juhul toimub oluline kvalitatiivne muutus, mille käigus ökoloogiline seisund halveneb kiiresti ja oluliselt²⁴.

Järve praegune kesine seisund ja üleminekuriski olemasolu tähendavad, et seisundi halvenemise pidurdamiseks tuleb rakendada tervendus- ja hooldusmeetmeid (vt ptk 8).

²⁵ Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.

5 JÄRVE VEEBILANSS NING SISSE- JA VÄLJAVOOLUDE VEE KVALITEET

5.1 Seirepunktid ja metoodika

Väliskoormuse hindamiseks seirati kolme voolusängi ja üht sademeveelasku (Joonis 8):

- sissevool Kambja paisjärve (Võru mnt truubi juures) – veevoolu jälgimiseks kogu uuringuperioodi vältel;
- kahe järve vahe – Kambja paisjärvest Kambja järve suubuv truup järve lõunaotsas (X 6458071, Y 658323); see on Kambja järve ainus pindmine sissevool;
- järve väljavool – maaparanduskraav järve põhjaotsas (X 6458627, Y 658475);
- sademeveelask kaupluse parkla juures järve edelanurgas (X 6458094, Y 658318).

Veeproove võeti kuuel korral²⁶ ajavahemikus 21.07.2025–19.05.2026. Proovidest määrati atesteeritud laboris biokeemiline hapnikutarve (BHT₅), üldlämmastik, üldfosfor ja heljuvaine²⁷. Alates 16.12.2025 asendati tellijaga kokkuleppel heljuvaine määramine ammoniumlämmastiku (NH₄-N) määramisega. Kohapeal mõõdeti vee temperatuur, hapnikusisaldus ja küllastusprotsent, pH, elektri- ja erijuhtivus, redokspotentsiaal, hägusus ning vooluhulk²⁸.

²⁶ lähteülesanne nägi ette ca 8 proovivõtukorda aastas. Tegelikult õnnestus proove võtta 6 korral, kuna sissevooludes ja väljavoolus puudus korduvalt vool ning proovi ei olnud võimalik võtta.

²⁷ Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, 2025–2026. Katseprotokollid TA25004053, TA25004054, TA25005827, TA25007300–TA25007302, TA25008069, TA25008070, TA26001057, TA26001058, TA26002390. EKUK Tartu osakond, Tartu. Käesoleva aruande lisa 4.

²⁸ Normak-Käosaar, K., Pall, P., 2026. Kambja järve sisse- ja väljavoolude veeseire tulemused 2025–2026. Maves OÜ, Tallinn. Käesoleva aruande lisa 2.



• veeseirepunkt

Joonis 8 Veeseirepunktid

5.2 Vooluhulgad

Kõigil vaatluskordadel olid vooluhulgad väga väikesed. Suurim mõõdetud väljavool oli 2 l/s (21.07.2025). Ülejäänud kordadel jäi väljavool vahemikku 0,1–0,5 l/s või puudus. Sissevool Kambja paisjärve oli kõigil kordadel nii väike, et proovi ei olnud võimalik võtta ega andurit sāngi paigaldada. Kahe järve vahelises truubis oli vool mõõdetav neljal korral (0,2–1,4 l/s) ja puudus kahel korral.

Tabel 10 Kambja järve sisse- ja väljavoolude vooluhulgad 2025.–2026. aastal, l/s.

VAATLUS	SISSEVOOL PAISJÄRVE	KAHE JÄRVE VAHE	JÄRVE VÄLJAVOOL
21.07.2025	vool puudus	0,6	2,0
29.09.2025	vool puudus	vool puudus	0,4
18.11.2025	vool puudus	0,2	0,1
16.12.2025	vool puudus	0,7	<0,5
12.03.2026	vool praktiliselt puudus	1,4	0,5
19.05.2026	vool puudus	vool puudus	<0,1

Mõõdetud pindmine läbivool on erakordselt väike: keskmiselt ligikaudu 0,6 l/s ehk umbes 19 000 m³ aastas. Järve veemahu (115 000 m³) juures tähendaks see vee viibeaega ligi kuus aastat. Kambja järv toimib seega praktiliselt umbjärvena. Tuleb siiski arvestada, et ühtegi mõõtmist ei tehtud kevadise suurvee ajal (märtsi lõpp – aprill), mil äravool on Eesti tingimustes aasta suurim. Tegelik aastane läbivool on seetõttu mõõdetust suurem.

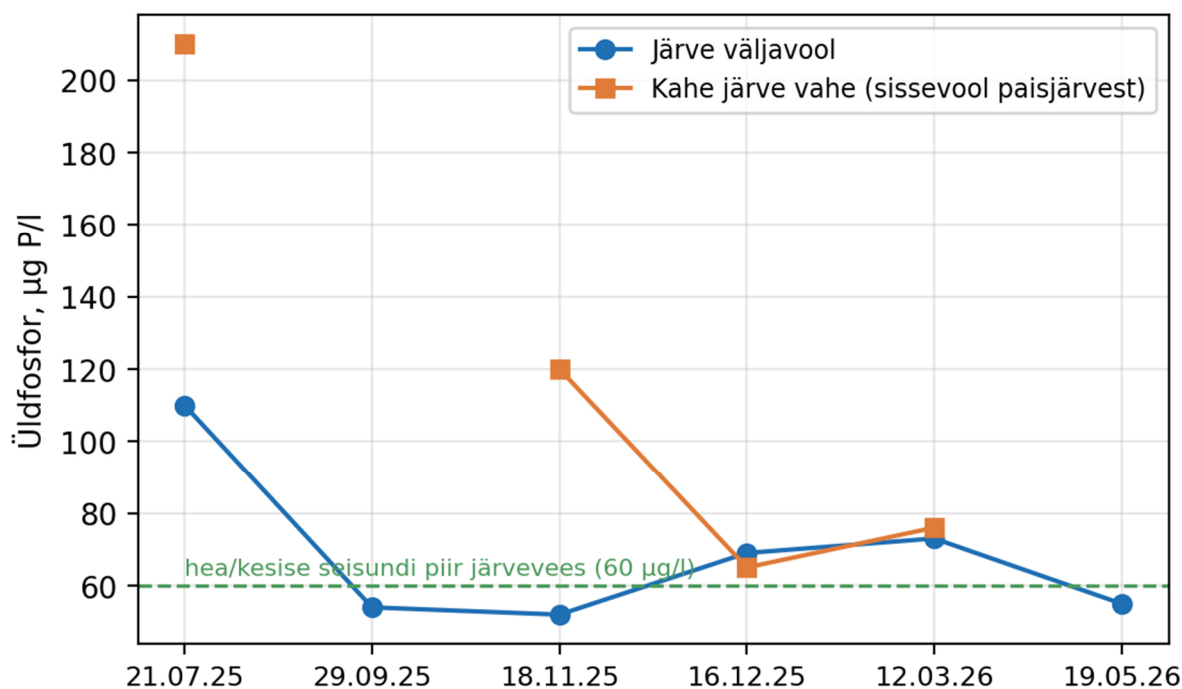
Teoreetiline veebilanss annab järgmise pildi. Sademed järve pinnale (3,98 ha × ligikaudu 680 mm) annavad ca 27 000 m³ ja aurumine järve pinnalt (ca 500 mm) viib ära ca 20 000 m³ aastas. Valgala pindalalt (71 ha) võiks Lõuna-Eesti keskmise äravoolumooduli juures (ligikaudu 200 mm) tekkida ca 140 000 m³ äravoolu aastas. Kuna mõõdetud pindmine äravool järvest on sellest kordades väiksem, järeldub, et suurem osa valgala äravoolust ei jõua järve pinnaveena – osa suunatakse sademeveekanalisatsiooniga mujale, osa immitseb hästi vett läbilaskvasse pinnasesse ning liigub põhjaveena. Ligikaudseks vee viibeajaks järves saab seega hinnata 1,5–3 aastat, tõenäoliselt ligikaudu 2 aastat.

5.3 Vee kvaliteet sisse- ja väljavoolus

Analüüside tulemused on esitatud tabelis 11 ja üldfosfori muutused joonisel 9.

Tabel 11 Kambja järve sisse- ja väljavoolude vee kvaliteet 2025.–2026. aastal. HA – heljuvaine.

KOHT	KUUPÄEV	T, °C	O ₂ , %	pH	El.juht., µS/cm	BHT ₅ , mgO ₂ /l	HA, mg/l	Üld-P, mg/l	NH ₄ -N, mgN/l	Üld-N, mg/l
Kahe järve vahe	21.07.2025	21,1	27,5	7,07	575	3,6	9,5	0,21	–	1,20
Kahe järve vahe	18.11.2025	1,9	81,3	8,18	396	4,1	–	0,12	0,12	0,60
Kahe järve vahe	16.12.2025	0,1	30,8	7,30	352	3,4	–	0,065	0,014	0,83
Kahe järve vahe	12.03.2026	2,4	43,2	7,48	131	3,2	–	0,076	0,091	0,74
Väljavool	21.07.2025	22,9	52,4	7,51	456	1,5	7,6	0,11	–	0,87
Väljavool	29.09.2025	11,1	68,3	7,56	368	1,6	–	0,054	0,037	0,72
Väljavool	18.11.2025	3,6	31,6	7,60	305	1,8	2,6	0,052	0,071	0,44
Väljavool	16.12.2025	–0,3	79,0	7,79	258	3,3	–	0,069	0,060	0,81
Väljavool	12.03.2026	6,1	73,2	7,51	325	2,6	–	0,073	<0,01	0,82
Väljavool	19.05.2026	–	–	–	–	2,9	–	0,055	<0,01	0,92
Sademeveelask	18.11.2025	4,8	82,0	7,65	10 075	21	–	0,31	0,54	3,00



Joonis 9 Üldfosfori sisaldus Kambja järve sissevoolus (kahe järve vahe) ja väljavoolus 2025.–2026. aastal.

Tulemustest ilmneb kolm olulist asjaolu.

Esiteks on Kambja paisjärvest tulev vesi järveveest toitainerikkam. Kahe järve vahel mõõdetud üldfosfori sisaldus oli keskmiselt 0,118 mg/l (0,065–0,21 mg/l), samal ajal kui järve enda vees oli see keskmiselt 0,074 mg/l ja väljavoolus 0,069 mg/l. Suvel (21.07.2025) oli sissevoolava vee üldfosfori sisaldus 0,21 mg/l ehk ligi kolm korda kõrgem kui järvevees, samuti oli seal hapnikusisaldus madal (27,5% küllastust) ja redokspotentsiaal negatiivne (–86,5 mV). See viitab, et Kambja paisjärv ja seda ühendav voolusäng on ise toitainete allikaks. Väikese vooluhulga tõttu on selle koormuse absoluutne suurus siiski väike – hinnanguliselt 2–3 kg P aastas.

Teiseks on väljavoolava vee üldfosfori sisaldus järvevee omaga sarnane, mis tähendab, et järv ei toimi fosfori suhtes tugeva puhvrina, vaid on saavutanud sisendite ja väljundite vahel tasakaalu, kus liigne fosfor akumuleerub settesse. Väljavooluga kantakse järvest välja hinnanguliselt vaid ligikaudu 1,3 kg P aastas.

Kolmandaks, väliskoormuse seisukohalt kõige olulisem, on sademeveelasust järve juhitud vesi selgelt reostunud. 18.11.2025 mõõdeti kaupluse parkla juures asuva toruotsa juures elektrijuhtivust 10 075 µS/cm, mis on ligikaudu 25–30 korda kõrgem kui järvevees ja viitab üheselt teedelt pärinevale soolakoormusele (sulava lume vesi). Samas proovis olid kõrged ka üldfosfor (0,31 mg/l), ammooniumlämmastik (0,54 mgN/l), üldlämmastik (3,0 mg/l) ja BHT₅ (21 mgO₂/l). Vesi oli hägune ja hallikas. Kuigi

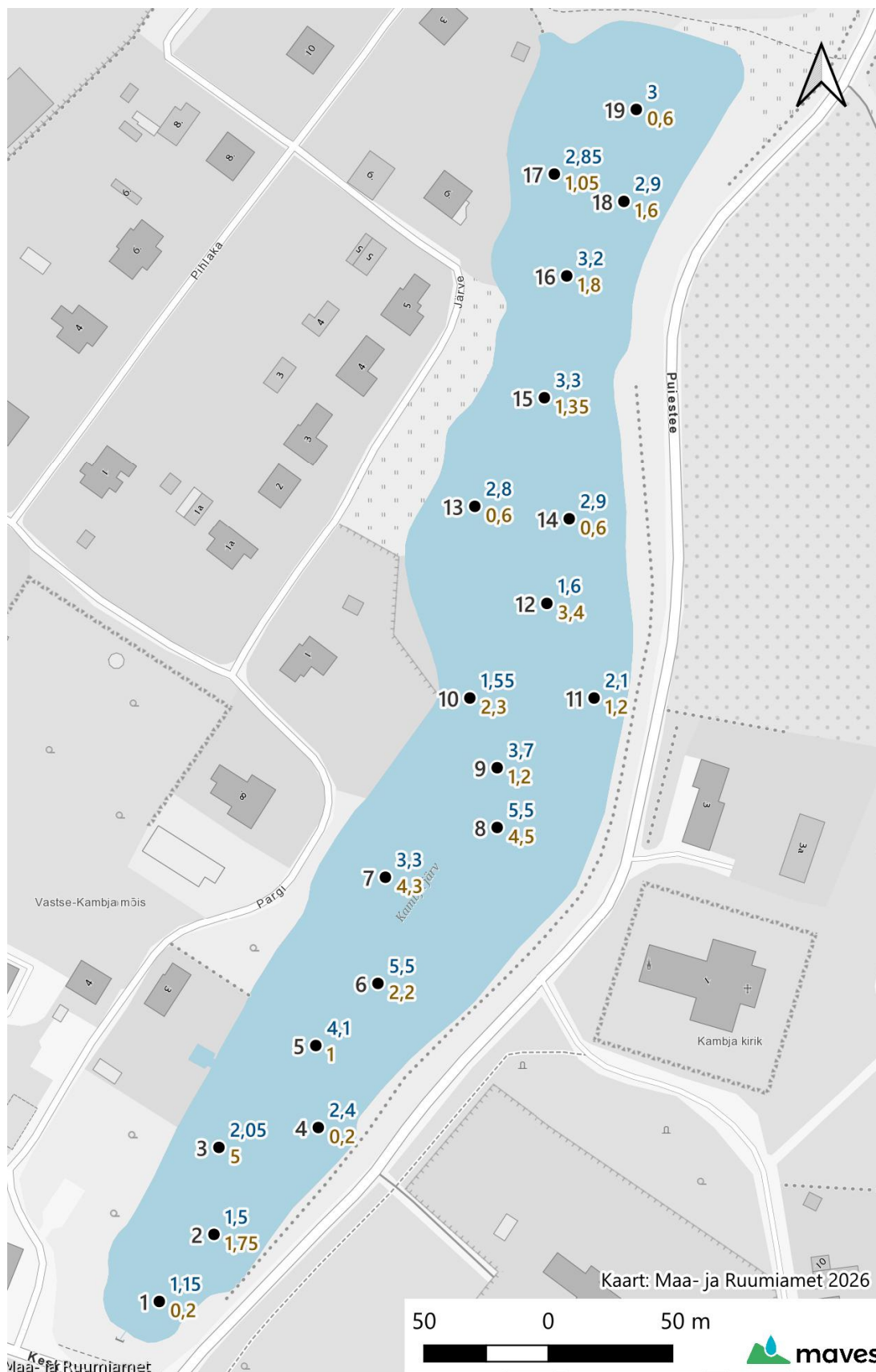
tegemist on ühe hetkeproovi tulemusega, näitab see, et sademevesi on Kambja järve jaoks oluline ja praegu käitlemata koormusallikas.

Heljuvaine sisaldus oli mõõdetud kordadel väike (väljavoolus 2,6–7,6 mg/l, sissevoolus 9,5 mg/l) ning BHT_5 jäi väljavoolus vahemikku 1,5–3,3 mgO_2/l , mis on tavapärane. Ammooniumlämmastiku sisaldused olid madalad ($<0,01$ – $0,12 \text{ mgN/l}$), mis ei viita otsesele olmereostusele. Ainus erand on sademeveelask (0,54 mgN/l).

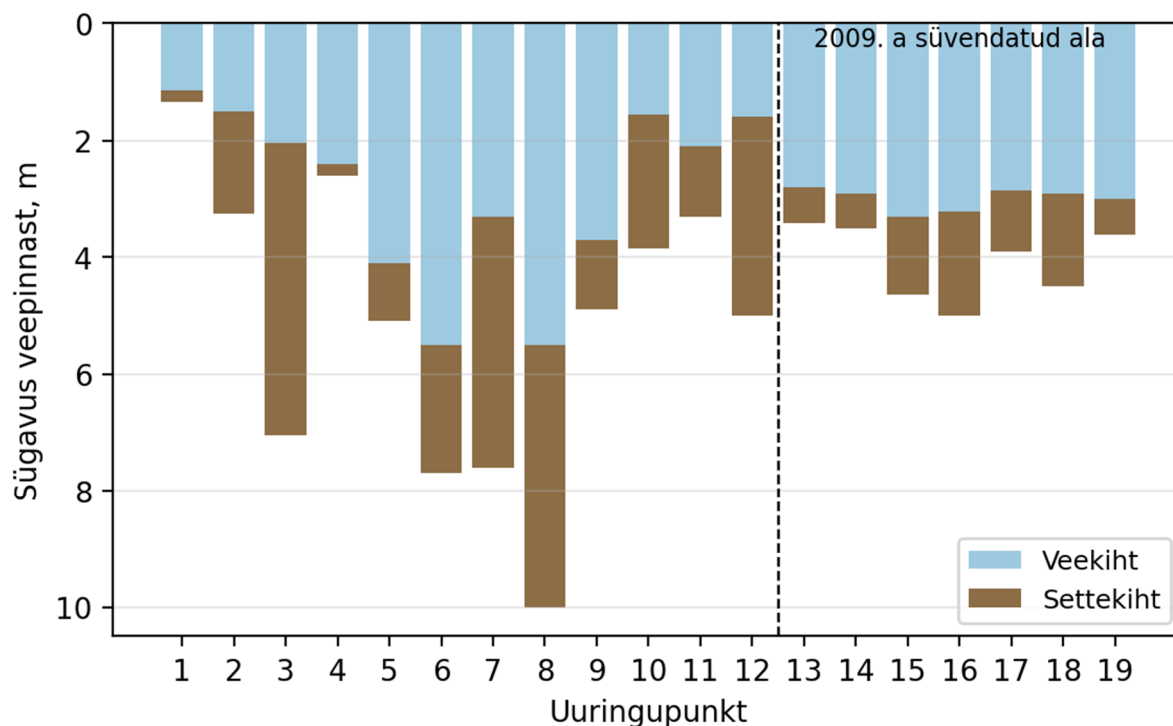
6 SETTE PAKSUSE MÕÕTMISED JA SETTE MAHT

Sette paksuse mõõtmised viidi läbi 14. jaanuaril 2026. Järve kattis jääkaas ning tööd tehti jää pealt. Välitöödel kasutati jääpuuri, GNSS-seadet, sette pealispinna mõõtmiseks kettaga plastvarrast (ketta läbimõõt vastas määruse „Maaparanduse uurimistöö nõuded“ § 25 lg 6 valemile), käsipuuri sette sügavuse määramiseks ning mõõdulinti.

Uuringupunktide asukohad määrati kameraaltööde käigus kaardil ning järvel navigeeriti punktidesse GNSS-seadme abil. Igas punktis määrati täpne asukoht, plastvarda ja ketta abil sette pealispinna sügavus veepinnast ning käsipuuriga mineraalse pinnase sügavus veepinnast, surudes puuri kerge jõuga settest läbi. Veetaseme absoluutkõrguse, sette pealispinna sügavuse ja mineraalse pinnase sügavuse abil määrati veekihi ja settekihi paksus. Sette paksus mõõdeti 19 punktis (Joonis 10, Joonis 11). Veetaseme absoluutkõrgus oli välitööde ajal 81,85 m ja jää paksus 15–25 cm.



Joonis 10 Kambja järve sette uuringupunktid. Musta värviga on toodud punkti number, sinisega veekihi paksus ja selle all pruuniga settekihi paksus meetrites. Aluskaart: Maa- ja Ruumiamet 2026.



Joonis 11 Vee- ja settekihi paksus Kambja järve 19 uuringupunktis 14.01.2026.

Keskmine veekihi paksus oli 2,92 m, keskmine settekihi paksus 1,83 m ja keskmine sügavus mineraalpõhjani 4,75 m. Veepeegli pindala 39 766 m² juures on pehme sette kogumaht järves ligikaudu 73 000 m³.

Sette paksus on järve eri osades väga erinev. Lõunapoolses avaveelises osas (punktid 1–12), mida 2009. aastal ei puhastatud, on keskmine settekihi paksus 2,27 m ja punktides 3, 7 ja 8 ulatub see 4,3–5,0 meetrini. Põhjaosas (punktid 13–19), kust 2009. aastal õõtsik eemaldati, on keskmine settekihi paksus 1,09 m. Punktides 5, 6, 8, 9 ja 11 tuvastati sette all turvas, mille түsedus ulatus kohati üle 10 m – see on kooskõlas 2007. aasta uuringutega, mille järgi järv on rajatud osaliselt turbalasundile²⁹.

Puuraugud 13–19 asuvad alal, kust 2009. aasta saneerimistööde käigus eemaldati õõtsik. Projekti järgi kavandati järve põhja absoluutkõrguseks 78,67 m ja veetasemeks 81,67 m (Balti kõrgussüsteemis vastavalt 78,5 m ja 81,5 m), seega pidi vee sügavus olema 3,0 m²⁹. 2026. aasta mõõtmiste ajal oli veetase jääkatte tõttu ligikaudu 0,18 m kõrgem (81,85 m) ja mõõdetud keskmine veesügavus 2,99 m. Kui projektijärgne põhi oleks säilinud muutumatuna, oleks veesügavus pidanud olema ligikaudu 3,18 m. Vahe – ligikaudu 0,19 m – vastab 17 aasta jooksul kuhjunud settele ehk keskmisele settekiirusele ligikaudu 1,1 cm aastas. Punktides 13–19 käsipuuriga mõõdetud pehme

²⁹ Kuusik, R., Piir, A., 2008. Kambja järve saneerimise ehitusprojekt. Töö nr IB 50/2007. Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ, Tartu.

kihi paksus (keskmiselt 1,09 m) ulatub allapoole projektijärgset põhja ning kujutab endast tõenäoliselt ka kaevamata jäänud pehmet turbajäänukit, mitte üksnes uut setet.

Settekiirus 1,1 cm aastas on väikese järve kohta suur (looduslikes järvedes tavaliselt 1–5 mm aastas) ja on kooskõlas EMÜ tähelepanekuga, et sette koostises valdab terrigeenne aine ja sete on kujunenud suhteliselt hiljuti. See tähendab, et valgalalt kantakse järve pidevalt heljumit ja järv mudastub jätkuvalt. Ilma väliskoormuse vähendamiseta ei anna setete eemaldamine kestmist tulemust.

7 KOORMUS

7.1 Väliskoormuse hindamise metoodika

Veekogu mõjutava inimtekkelise väliskoormuse analüüsiks kaardistati andmebaasides olemasoleva info põhjal Kambja järve valgatal asuvad punktikoormusallikad ja olulised hajukoormusallikad. Kasutati Maa- ja Ruumiameti ortofotosid ja kaldaerofotosid³⁰, PRIA veebikaarti, ehitisregistrit, keskkonnaportaali³¹, keskkonnalubade infosüsteemi KOTKAS³² ja Eesti looduse infosüsteemi EELIS³³. Valgala piir määrati maapinna kõrgusmudeli alusel. Maakasutuse analüüsimiseks kasutati ETAK maakatte kaardikihte³⁴.

Hajukoormust hinnati maakasutustüüpide ja toitainete ärakande koefitsientide alusel. Koefitsiendid on esitatud tabelis 12 ja pärinevad Eestis kasutatavast hajukoormuse hindamise metoodikast³⁵. Sama metoodikat on kasutatud ka teistes järvede tervendamise eeluuringutes³⁶.

Tabel 12 Lämmastiku ja fosfori ärakande koefitsiendid maakattetüüpide kaupa.

MAAKATTETÜÜP	N, kg/ha AASTAS	P, kg/ha AASTAS
Haritav maa (põllumaa)	20,0	0,24
Rohumaa, haljasala, muu kõlvik	3,0	0,12
Mets ja puittaimestik	1,5	0,06
Õuemaa (elamu- ja tootmisõu)	5,3	0,84

³⁰ Maa- ja Ruumiameti ortofotod ja kaldaerofotod. Maa- ja Ruumiamet, Tallinn.

<https://xgis.maaamet.ee>

³¹ [Avaleht | Keskkonnaportaal](#)

³² Keskkonnalubade infosüsteem KOTKAS. Keskkonnaamet, Tallinn. <https://kotkas.envir.ee>

³³ EELIS – Eesti looduse infosüsteem. Keskkonnaagentuur, Tallinn. <https://infoleht.keskkonnainfo.ee>

³⁴ Eesti topograafia andmekogu (ETAK) maakatte kaardikihid, 2026, op. cit.

³⁵ Hajukoormuse hindamise metoodika ja ärakande koefitsiendid, 2013. Eesti Keskkonnaministeerium, Tallinn. Vt ka Iital, A., Loigu, E., 2007. Hajukoormuse hindamine. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.

³⁶ Ott, I., Laarmaa, R., Maileht, K., Sepp, M., Saar, K., Lehtpuu, M., Timm, H., Palm, A., Krause, T., Tamre, R., 2020. Ao ja Nõmme Vesikijärve paisjärvede mõju veekogumile. Projekti lõpparuanne. Eesti Maaülikool, Tartu. <https://www.v-maarja.ee/sites/default/files/documents/2025-12/Ao%20ja%20N%C3%B5mme%20Vesikij%C3%A4rve%20paisj%C3%A4rvede%20m%C3%B5ju%20veekogumile.pdf>

MAAKATTETÜÜP	N, kg/ha AASTAS	P, kg/ha AASTAS
Tee, parkla, kõvakattega ala	5,3	0,84
Veekogud	4,5	0,00

7.2 Punktkoormusallikad ja reoveekäitlus

Kaardi- ja välitööde raames ei tuvastatud järve valgala pinna- ega põhjaveevõttu, veeheidet veekogusse, saastunud pinnasega alasid ega saastunud objekte. Valgalal ei ole väljastatud ühtegi vee erikasutuse keskkonnaluba, mis lubaks heitvee juhtimist Kambja järve³⁷.

Valgala ülevaatus käigus 18.11.2025 ei tuvastatud silmnähtavaid rikkumisi ega reostust. Tuvastati üks sademeveelask järve edelanurgas, mis juhib teedelt ja parklast koguneva sademevee järve (vt ptk 5.3). Välitööde käigus 19.05.2026 märgati Järve tn 3a servas järve kaldal lohku, mille puhul kahtlustati heitvee immitsemist. Kambja Vallavalitsuse kontrolli tulemusel selgus, et tegemist on elamu vundamendi ümbruse kuivenduse drenaažitoruga ning kinnistu on omaniku sõnul ühendatud ühiskanalisatsiooniga. Samal ajal Coopi kaupluse taga täheldatud kaevetööd osutusid mittetöötava tuletõrjehüdrandi väljakaevamiseks. Mõlemad kahtlused on välistatud.



Foto 2 Kaevetööd ja hoonedrenaaži väljalask (foto Kadri Normak-Käosaar)

Kambja järve valgale jääb 73 elu- või ühiskondlikku hoonet ja 2024. aasta andmeil elab valgala ligikaudu 450 inimest. Järve valgala jääb suures osas Kambja aleviku reoveekogumisala piiridesse (Joonis 1). Kambja Vallavalitsuse ehisregistri väljavõtte

³⁷ Keskkonnalubade infosüsteem KOTKAS.

kohaselt on valgalale jäävast 79 katastriüksusest (välja arvatud transpordi- ja veekogude maa) reoveekäitluse lahendus järgmine³⁸:

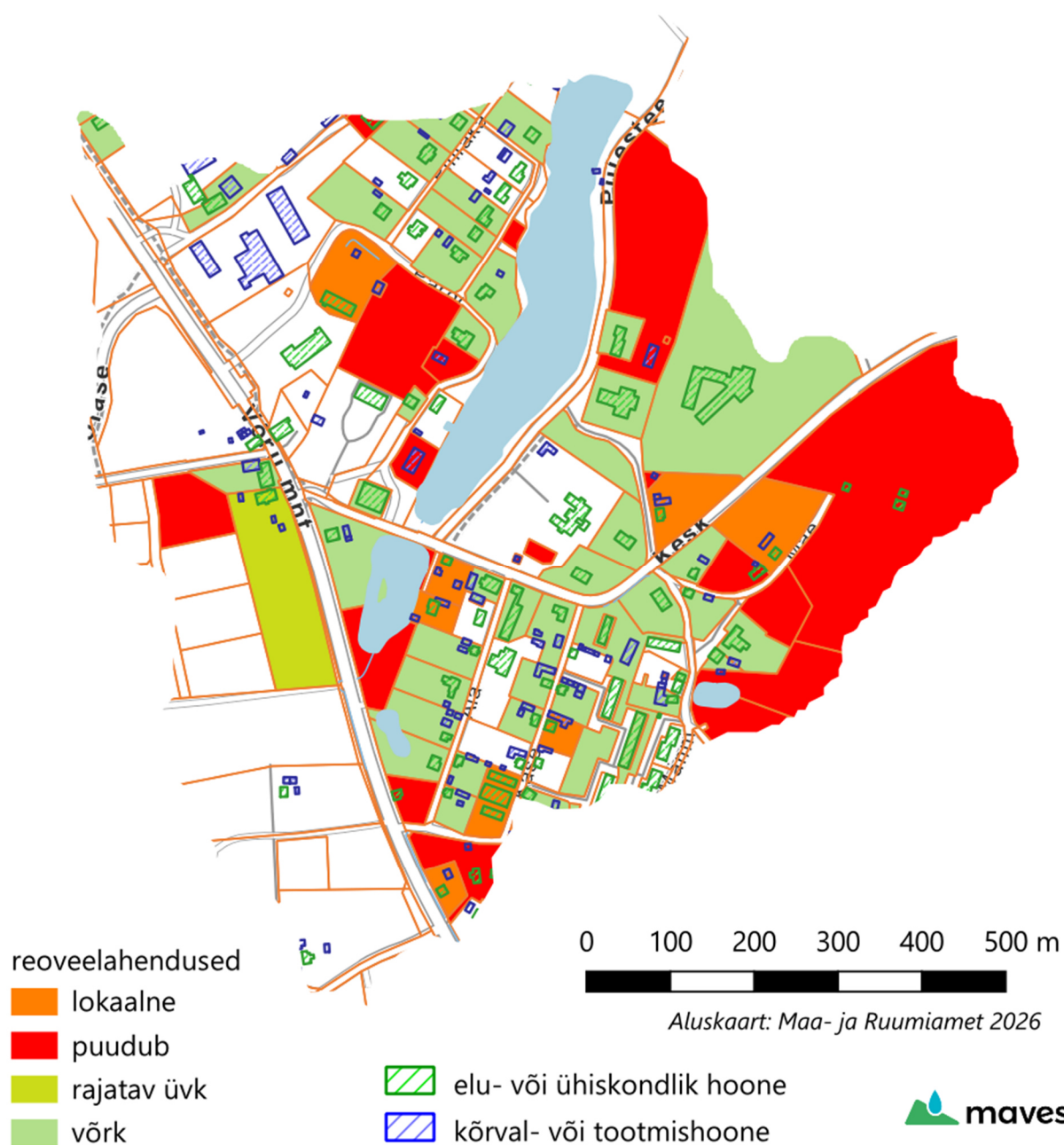
Tabel 13 Reoveekäitluse lahendused Kambja järve valgalale jäävatel katastriüksustel. Allikas: ehitisregister, Kambja Vallavalitsus 26.05.2026.

REOVEEKÄITLUSE LAHENDUS	KATASTRIÜKSUSI	OSAKAAL
Ühiskanaliseerimine (võrk)	47	59,5%
Lokaalne lahendus (septik, kogumismahuti)	9	11,4%
Rajatav ühisveevärk ja -kanaliseerimine	1	1,3%
Puudub või andmed puuduvad	22	27,8%
Kokku	79	100%

Ligikaudu veerandil valgala kinnistutest ei ole ehitisregistri andmetel reoveekäitluse lahendust kajastatud. Osa neist on kinnistud, mis reovee käitlemist ei nõuagi (nt alajaam, puurkaevu pumbajaam), kuid osa võib olla elamuid, mille reovesi juhitakse imbsüsteemi või lekkivasse kogumismahutisse. Kuna Kambja järv asub reoveekogumisalal ja pinnas on hästi vett läbilaskev, on nõuetele mittevastav reoveekäitlus järvele potentsiaalne koormusallikas.

Koormuse suurusjärku illustreerib järgmine arvutus. Ühe inimese reoveega eraldub ligikaudu 1,0 g fosforit ööpäevas ehk 0,37 kg aastas. Kui oletada, et 20% valgala elanikest (ligikaudu 90 inimest) käitleb reovett nõuetele mittevastavalt ja sellest 10% jõuab pinnase kaudu järve, on vastav koormus ligikaudu 3,3 kg P aastas ehk ligikaudu 10% valgala arvutuslikust koormusest. Kui aga suurem osa sellest reoveest jõuaks järve, oleks tegemist kogu muu väliskoormusega võrreldava allikaga. Reoveekäitluse korrastamine on seetõttu üks olulisi meetmeid.

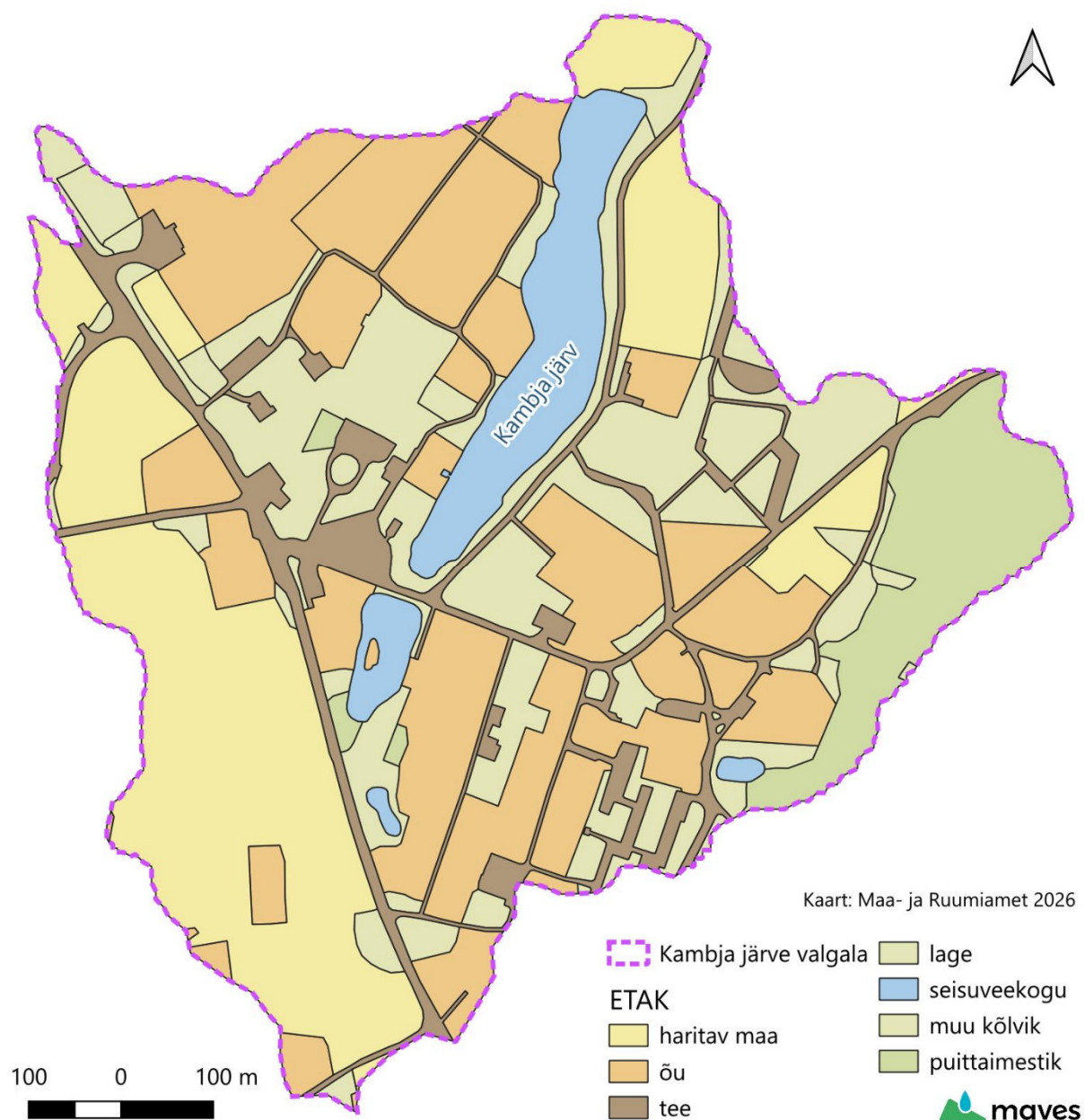
³⁸ Bomm, K., 2026. Kambja aleviku kinnistute reoveekäitluse andmed (väljavõte ehitisregistrist). Kambja Vallavalitsus, e-kiri 26.05.2026.



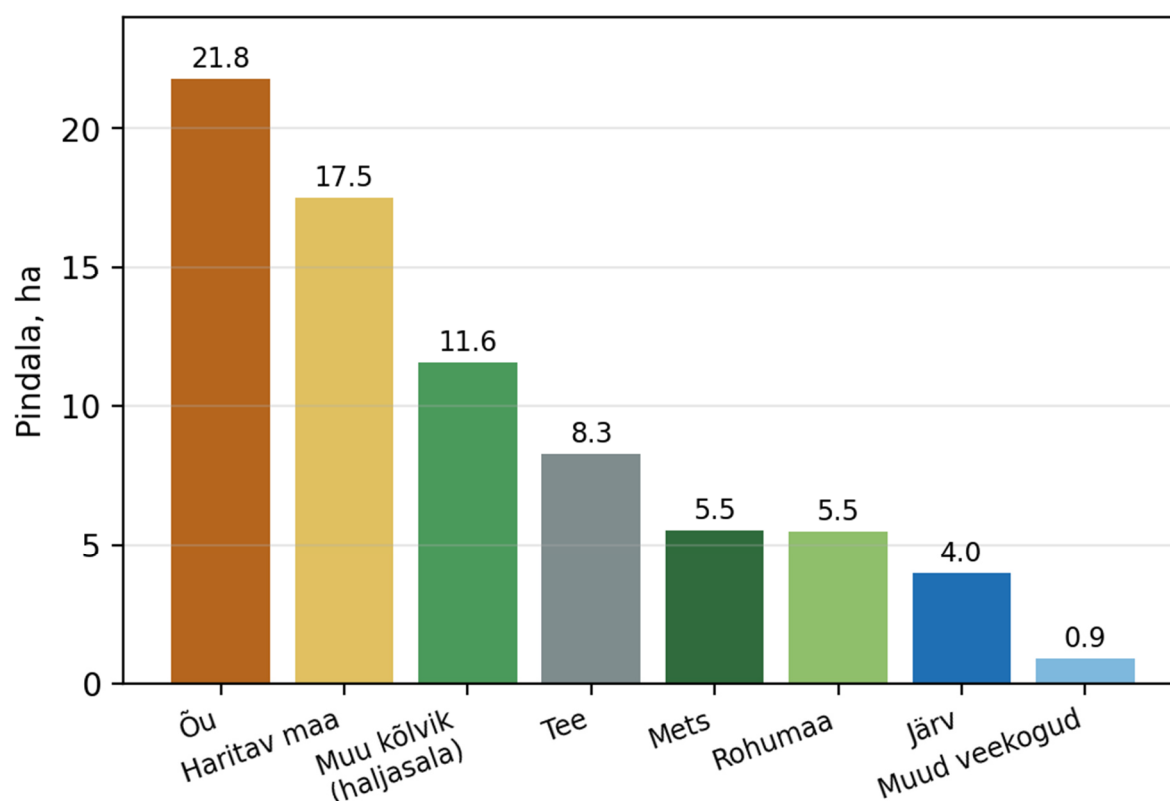
Joonis 12 Teadaolevad reoveelahendused järve valgalal

7.3 Maakasutus ja hajukoormus

Kambja järve valgala pindala on 0,75 km² ehk 75,0 ha, millest järve enda veepeegel moodustab 3,98 ha. Maakatte jaotus on esitatud joonisel 13 ja tabelis 14. Valgala on valdavalt tiheasustusega: õuema, teed ja haljasalad moodustavad kokku 41,6 ha ehk 55% valg alast. Haritav maa (17,5 ha, 23%) paikneb peamiselt valgala loode- ja lõunaosas.



Joonis 13 Kambja järve valgala maakate ETAK 2026 andmetel. Aluskaart: Maa- ja Ruumiamet.



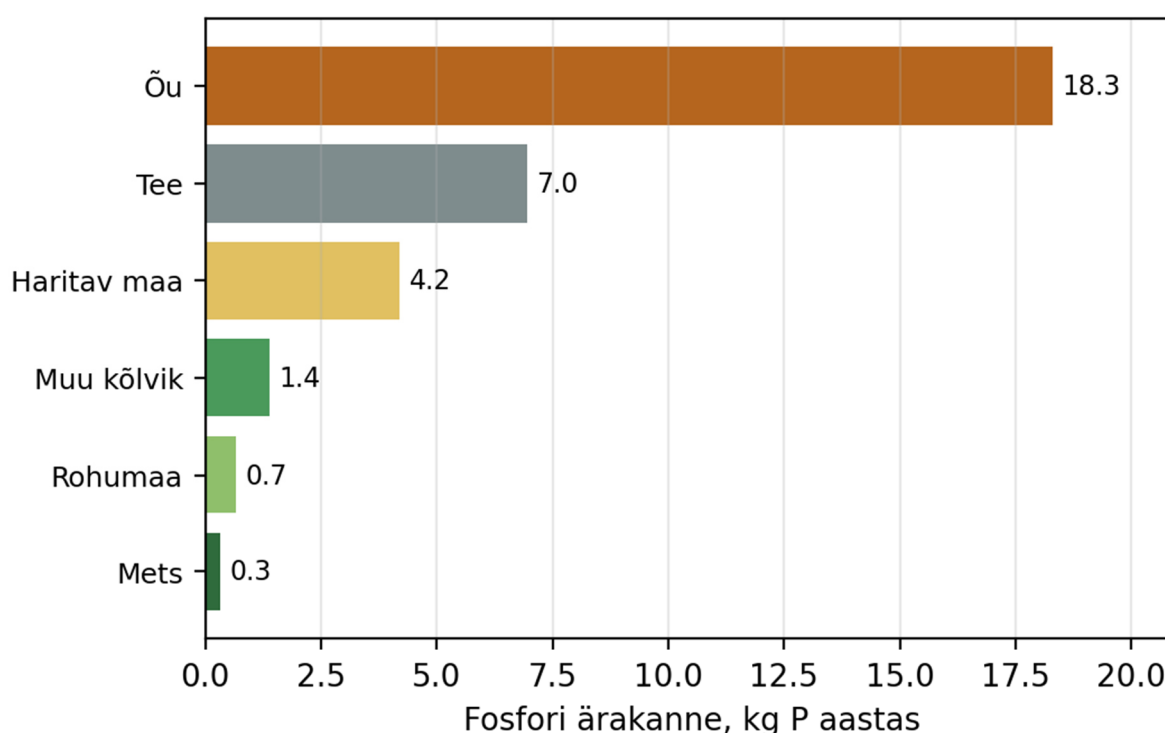
Joonis 14 Kambja järve valgala maakatte jaotus pindala järgi.

Tabel 14 Kambja järve valgala maakate ning lämmastiku ja fosfori arvutuslik äraanne.

MAAKATTE-TÜÜP	PINDALA, ha	OSAKAAL, %	N KOORMUS, kg/a	P KOORMUS, kg/a	P OSAKAAL, %
Õu	21,78	29,0	115,5	18,30	57,5
Haritav maa	17,49	23,3	349,8	4,20	13,2
Muu kõlvik (haljasala, park)	11,57	15,4	34,7	1,39	4,4
Tee ja parkla	8,29	11,1	43,9	6,96	21,9
Mets ja puittaimestik	5,51	7,3	8,3	0,33	1,0
Rohumaa (lage)	5,48	7,3	16,4	0,66	2,1
Muud veekogud	0,90	1,2	4,0	0,00	0,0
Valgala kokku (v.a järv)	71,02	94,7	572,7	31,84	100
Kambja järv	3,98	5,3	–	–	–

MAAKATTE- TÜÜP	PINDALA, ha	OSAKAAL, %	N KOOR- MUS, kg/a	P KOOR- MUS kg/a	P OSA- KAAL, %
Valgala koos järvega	75,00	100	572,7	31,84	100

Valgalalt järve kanduv arvutuslik toitainete koormus on 572,7 kg lämmastikku ja 31,8 kg fosforit aastas. Fosforikoormusest annab suurima osa õuemaa (18,3 kg/a ehk 58%), millele järgnevad teed ja parklad (7,0 kg/a ehk 22%) ning haritav maa (4,2 kg/a ehk 13%) (Joonis 15). Erinevalt tavapärasest maapiirkonna valgalt ei ole Kambja järve peamiseks fosforiallikaks põllumajandus, vaid tiheasustusalala pinnad – õuemaa ja kõvakattega alad.



Joonis 15 Fosfori arvutuslik ärakanne Kambja järve valgalt maakattetüüpide kaupa.

Arvutusliku koormuse ja mõõdetud sademevee kvaliteedi vastavust saab kontrollida sõltumatult. Teede ja parklate pindala on 8,29 ha. Kõvakattega pindadelt kandub sademetest äravoolu ligikaudu 30–50% ehk aastase sademehulga 680 mm juures ligikaudu 17 000–28 000 m³. Mõõdetud üldfosfori sisalduse 0,31 mg/l juures annaks see 5,3–8,7 kg P aastas, mis on väga hästi kooskõlas ärakande koefitsientide alusel arvutatud 7,0 kg P-ga aastas. Sademevee arvutuslik koormus on seega usaldusväärne.

Rõhutada tuleb, et ärakande koefitsientide meetod annab potentsiaalse koormuse eeldusel, et kogu valgala äravool jõuab järve. Nagu peatükis 5.2 näidatud, on mõõdetud pindmine sissevool Kambja järve väga väike, mistõttu tegelik järve jõudev

koormus on arvutuslikust väiksem. Tegelik koormuse hinnang on esitatud peatükis 7.5.

7.4 Järve väliskoormuse taluvus

Veekogu koormustaluvus näitab, kui suurt toitainete koormust veekogu talub ilma, et selle seisund halveneks. Kuna siseveekogudes on esmatootmist piiravaks toitaineiks üldjuhul fosfor, hinnatakse koormustaluvust fosfori kaudu. Käesolevas töös on kasutatud üldtuntud Vollenweideri püsiseisundi mudelit³⁹, mis on aluseks ka OECD järvede klassifikatsioonile⁴⁰:

$$[P] = L / (q_s \times (1 + \sqrt{\tau})), \text{ kus}$$

- $[P]$ – fosfori keskmine sisaldus järvevees, g/m^3 ;
- L – fosfori pindalakoormus, g P/m^2 aastas;
- q_s – hüdrauliline koormus ehk keskmine sügavus jagatud viibeaajaga (z/τ), m/a ;
- τ – vee viibeaeg järves, aastat; z – keskmine sügavus, m.

Lubatava koormuse leidmiseks lahendatakse valem koormuse L suhtes, seades $[P]$ väärtuseks soovitud seisundiklassile vastava piirväärtuse. S2 tüüpi järvedes vastab hea seisundi ülempiirile üldfosfori sisaldus $60 \mu\text{g/l}$ ja väga hea seisundi ülempiirile $30 \mu\text{g/l}$ ⁴¹. Kambja järve puhul on $z = 2,9 \text{ m}$ ja veepeegli pindala $39\,766 \text{ m}^2$. Vee viibeaeg on kõige suurem ebamäärasuse allikas. Arvutus on tehtud vahemikus 0,7–5 aastat, tõenäolise väärtusega 2 aastat (vt ptk 5.2). Tulemused on esitatud tabelis 15 ja joonisel 16.

Tabel 15 Kambja järve lubatav fosforikoormus Vollenweideri mudeli järgi erinevate vee viibeaegade korral.

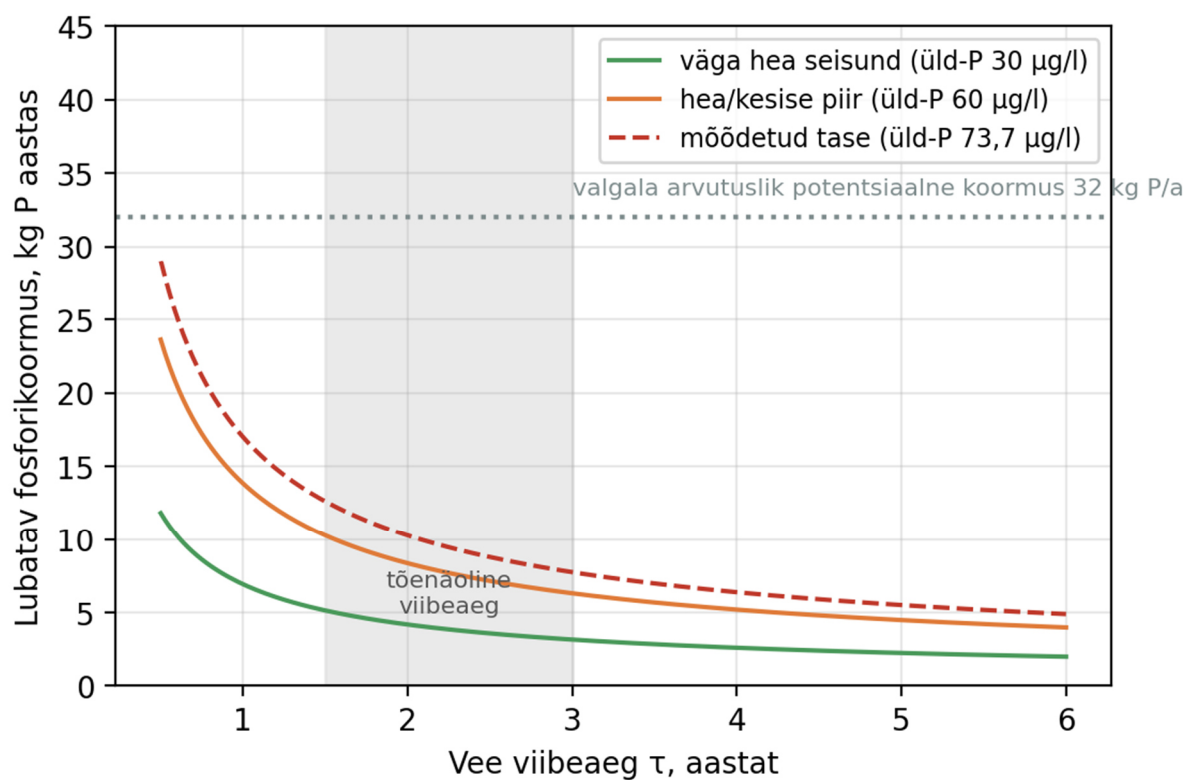
VEE VII- BEAEG τ , a	HÜDRAULILINE KOORMUS q_s , m/a	LUBATAV KOORMUS HEA SEISUNDI JAKS ($60 \mu\text{g/l}$)	LUBATAV KOORMUS VÄGA HEA SEISUNDI JAKS ($30 \mu\text{g/l}$)
0,7	4,14	18,2 kg P/a (0,46 $\text{g/m}^2\cdot\text{a}$)	9,1 kg P/a (0,23 $\text{g/m}^2\cdot\text{a}$)

³⁹ Vollenweider, R. A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia 33, 53–83.

⁴⁰ OECD, 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

⁴¹ Keskkonnaministri 16.04.2020 määrus nr 19 „Pinnaveekogumite nimekiri, pinnaveekogumite ja territoriaalmere seisundiklasside määramise kord, pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside kvaliteedinäitajate väärtused ja pinnaveekogumiga hõlmamata veekogude kvaliteedinäitajate väärtused“. RT I, 21.04.2020, 61. <https://www.riigiteataja.ee/akt/121042020061>

VEE VII- BEAEG τ , a	HÜDRAULILINE KOORMUS q_s , m/a	LUBATAV KOORMUS HEA SEISUNDI JAOKS (60 $\mu\text{g/l}$)	LUBATAV KOORMUS VÄGA HEA SEISUNDI JAOKS (30 $\mu\text{g/l}$)
1,5	1,93	10,3 kg P/a (0,26 g/m ² a)	5,1 kg P/a (0,13 g/m ² a)
2,0	1,45	8,4 kg P/a (0,21 g/m ² a)	4,2 kg P/a (0,11 g/m ² a)
3,0	0,97	6,3 kg P/a (0,16 g/m ² a)	3,2 kg P/a (0,08 g/m ² a)
5,0	0,58	4,5 kg P/a (0,11 g/m ² a)	2,2 kg P/a (0,06 g/m ² a)



Joonis 16 Kambja järve lubatav fosforikoormus sõltuvalt vee viibeaegast.

Punktiirjoon näitab valgala arvutuslikku potentsiaalset koormust.

Sama mudeliga saab hinnata ka järve tegelikku fosforikoormust, lähtudes mõõdetud üldfosfori sisaldusest järvevees (73,7 $\mu\text{g/l}$). Viibeaaja 2 aasta korral annab see kogukoormuseks (väliskoormus + sisekoormus) ligikaudu 10,3 kg P aastas, viibeaaja 3 aasta korral ligikaudu 7,9 kg P aastas. Tulemused on kokku võetud tabelis 16.

Tabel 16 Kambja järve fosforikoormuse koondhinnang (viibeaeg $\tau = 2$ a).

NÄITAJA	kg P AASTAS	MÄRKUS
valgala arvutuslik potentsiaalne koormus	31,8	ärakande koefitsientide alusel; eeldab, et kogu äravool jõuab järve
– sellest õuema	18,3	58% arvutuslikust koormusest
– sellest teed ja parklad	7,0	sademevesi; mõõtmisega kinnitatud
– sellest haritav maa	4,2	
mõõdetud sissevool kambja paisjärvest	≈2,6	0,7 l/s × 0,118 mg/l
järve tegelik kogukoormus (mudelist)	≈10,3	tagasi arvutatud üldfosfori sisaldusest järvevees
väljavooluga eemaldatav kogus	≈1,3	0,6 l/s × 0,069 mg/l
lubatav koormus hea seisundi jaoks	8,4	üldfosfor ≤ 60 µg/l
lubatav koormus väga hea seisundi jaoks	4,2	üldfosfor ≤ 30 µg/l
vähendamisevajadus hea seisundi saavutamiseks	≈2	ligikaudu 20% praegusest kogukoormusest

Järeldused koormustaluvuse kohta on järgmised.

- Järve praegune fosforikoormus ületab hea seisundi saavutamiseks lubatava koormuse ligikaudu 20–25% võrra. See on kooskõlas mõõdetud üldfosfori sisaldusega (73,7 µg/l), mis ületab hea seisundi piiri (60 µg/l) ligikaudu veerandi võrra. Hea seisundi saavutamiseks tuleb koormust vähendada ligikaudu 2 kg P aastas.
- Väga hea seisundi saavutamine ei ole realistlik eesmärk. See eeldaks koormuse vähendamist enam kui poole võrra, mis tiheasustusalal paikneva tehisjärve puhul ei ole mõistlike kuludega saavutatav.
- Valgala potentsiaalne koormus (31,8 kg P/a) ületab lubatavat koormust ligikaudu neljakordselt. See tähendab, et järve praegune suhteliselt hea olukord tugineb asjaolule, et suurem osa valgala äravoolust ei jõua järve. Iga tegevus, mis suunab täiendavalt sademevett järve (uued sademeveelasud, kõvakattega pindade laienemine, kraavide ühendamine), halvendab olukorda kiiresti ja oluliselt. See on planeerimisotsuste seisukohalt käesoleva töö tähtsaim järeldus.

- Koormustaluvuse hinnangu suurim ebamäärasus on vee viibeaeg. Selle täpsustamiseks tuleks mõõta väljavoolu vooluhulk kevadise suurvee ajal.

7.5 Sisekoormus

Sisekoormus on toitainete, eelkõige fosfori vabanemine põhjasettest tagasi veesambasse. Sisekoormus muutub oluliseks siis, kui põhjalähedases veekihi tekib hapnikupuudus: hapnikuvabades tingimustes redutseerub kolmevalentne raud kahevalentseks ja rauaga seotud fosfor (Fe-P) lahustub vette⁴². Kambja järves on selleks kõik eeldused olemas – peatükis 3.2 näidati, et põhjalähedases kihis esineb suvel praktiliselt täielik hapnikupuudus ja redokspotentsiaal langeb negatiivseks.

Sisekoormuse suurusjärgu hindamiseks on arvutatud mobiliseeritava fosfori varu sette pindmises 10 cm paksuses kihis. Arvutuse alused: veepeegli pindala 39 766 m², settekihi 0–10 cm maht 3 977 m³, keskmine kuivainesisaldus selles kihis 9,4% märgkaalust ja sette märgtihedus ligikaudu 1,03 t/m³, millest tuleneb kuivaine mass ligikaudu 385 t. Fraktsioonide keskmised sisaldused samas kihis on labiilne-P 113 µg/g ja Fe-P 367 µg/g⁴³. Tulemused on esitatud tabelis 17.

Tabel 17 Fosforivaru Kambja järve sette pindmises 10 cm kihis ja selle võrdlus muude fosforivarudega.

FOSFORIVARU	SISALDUS	KOGUS, kg P	VÕRDlus
Labiilne-P (kergesti vabanev)	113 µg/g	≈44	ligikaudu 5 korda suurem kui P varu järvevees
Fe-P (hapnikuvaeguses vabanev)	367 µg/g	≈141	
Labiilne-P + Fe-P (mobiliseeritav)	480 µg/g	≈185	ligikaudu 20 korda suurem kui P varu järvevees
Fosfori üldvaru (kõik fraktsioonid)	1370 µg/g	≈528	
Fosfori varu järvevees	73,7 µg/l	≈8,5	115 000 m ³ × 73,7 µg/l

⁴² Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.

⁴³ Ott, I. (vastutav täitja), Timm, H., Rakko, A., Lehtpuu, M., Blank, K., Ott, K., Palm, A., Krause, T., Pall, P., 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu. Käesoleva aruande lisa 1.

FOSFORIVARU	SISALDUS	KOGUS, kg P	VÕRDLUS
Järve aastane kogukoormus (võrdluseks)	–	≈10,3	vt Tabel 16

Sette pindmises 10 cm kihis olev kergesti vabanev fosforivaru (≈44 kg) on ligikaudu viis korda suurem kui kogu järvevees lahustunud fosfori kogus ja ligikaudu neli korda suurem kui järve aastane kogukoormus. Kogu potentsiaalselt mobiliseeritav varu (labiilne-P ja Fe-P kokku, ≈185 kg) ületab järvevee fosforivaru ligikaudu 20 korda. See tähendab, et isegi väike osa sellest varust vette liikudes võib järvevee fosforisisaldust märgatavalt tõsta.

Inkubatsioonikatse tulemuste põhjal saab hinnata ka fosfori vabanemise kiirust. Anaeroobsetes tingimustes tõusis sette kohal oleva vee fosfaadisisaldus 12 ööpäeva jooksul 6,2 µg/l-lt 253,5 µg/l-ni, seega 247 µg/l võrra. Eeldades, et settekuurnas oli sette kohal ligikaudu 15 cm veesammast, vastab see fosfori vabanemise kiirusele ligikaudu 3 mg P/m² ööpäevas. Kui hapnikuvaba on järve sügavam osa (sügavamal kui 3 m, ligikaudu 1,6 ha) 90 ööpäeva jooksul, annab see hooajaliseks sisekoormuseks ligikaudu 4–5 kg P. See kogus on võrreldav järve aastase väliskoormusega ning liigub vette just kasvuperioodil, kui toitainete mõju vetikakooslusele on suurim.

Labiilse fosfori erakordselt suur osakaal ei ole Eesti järvede seas ainulaadne. Väga sarnane olukord tuvastati Vana-Koiola järves Põlva vallas, kus labiilse fraktsiooni osakaal pindmises 10 cm paksuses kihis oli 9,2–13,3%, samal ajal kui varasemates Eesti järvede uuringutes on see jäänud alla ühe protsendi kuni mõne protsendini⁴⁴. Vana-Koiola järve ökoloogiline seisund hinnati halvaks ning selle peamiseks põhjuseks loeti just settesse ajalooliselt kogunenud fosforivaru koos väliskoormusega. Kambja järves on labiilse fraktsiooni osakaal (6–12%) sama suurusjärgu piires, kuid järve seisund on veel kesine, mitte halb. Kambja järv on Vana-Koiola järvega võrreldes varasemas arengujärgus – see tähendab, et sekkumine on praegu odavam ja tulemuslikum kui hiljem.

Kaudseks tõendiks sisekoormuse toimimise kohta on kasvuperioodil mõõdetud fosfaatide sisaldused (14–42 µg/l). Terves ökosüsteemis on fosfaadid kasvuperioodil praktiliselt täielikult vetikate ja taimede poolt tarbitud ning nende sisaldus jääb alla

⁴⁴ Normak, K., Ott, I., Rakko, A., Vilbaste, S., Ott, K., Pall, P., Timm, H., Blank, K., Palm, A., Krause, T., 2024. Uuring Vana-Koiola järve seisundi määramiseks ning järve tervendamiseks vajalike meetmete välja töötamiseks. Töö nr 22079. Maves OÜ, Tallinn. Tellija: Põlva Vallavalitsus.

määramispiiri⁴⁵. Nende püsimine mõõdetaval tasemel näitab pidevat fosfori juurdevoolu.

Kokkuvõttes: Kambja järve sisekoormus ei ole veel muutunud domineerivaks seisundit halvendavaks teguriks, kuid settes olev mobiliseeritav fosforivaru on väliskoormusega võrreldes suur ning hapnikuolude halvenemisel võib sisekoormus kiiresti kasvada. Ainuüksi väliskoormuse vähendamine ei pruugi seetõttu anda kiiret tulemust – seisundi paranemine võib viibida mitu aastat, kuni sette mobiliseeritav varu ammendub või hapnikuolud paranevad. See on tüüpiline eutrofeerunud järvede taastumise viivitus⁴⁶.

⁴⁵ Ott, I. (vastutav täitja), Timm, H., Rakko, A., Lehtpuu, M., Blank, K., Ott, K., Palm, A., Krause, T., Pall, P., 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli

⁴⁶ Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.

8 MEETMEKAVA

8.1 Meetmekava eesmärk ja koostamise alused

Meetmekava eesmärk on peatada Kambja järve seisundi halvenemine ja saavutada hea ökoloogiline seisund (üldfosfor järvevees $\leq 60 \mu\text{g/l}$), säilitades samal ajal järve väärtus supluskohta ja puhkealana. Meetmekava koostamisel on lähtutud käesoleva uuringu tulemustest, Eesti järvede tervendamise käsiraamatust⁴⁷, rahvusvahelisest järvetervenduse käsiraamatust⁴⁸ ning Eesti seniste järvetervendusprojektide tulemuslikkuse analüüsist⁴⁹.

Meetmete valikul on lähtutud järgmistest põhimõtetest:

- Väliskoormuse vähendamine on esmane. Kui välist toitainete koormust ei vähendata, on järvesiseste meetmete (biomanipulatsioon, keemiline setitamine, süvendamine) pikaajaline tõhusus ebatõenäoline ning seisundi säilitamiseks on vajalik pidev kordussekkumine⁴⁸.
- Odavamad ja tõhusamad meetmed esimesena. Meetmed on järjestatud kulutõhususe järgi: esmalt väikese maksumusega ja kindla mõjuga hooldus- ja koormusevähendusmeetmed, seejärel keskmise maksumusega järvesisesed meetmed ning viimasena suure maksumusega ja ebakindlama tulemusega tehnilised suurprojektid.
- Meetmed peavad olema vallale reaalselt teostatavad. Kambja vald on väike omavalitsus; meetmekava sisaldab seetõttu ka meetmeid, mida saab ellu viia olemasoleva hoolduseelarve raames.
- Seire on meetmekava osa. Eesti järvetervendusprojektide läbivaks puuduseks on järelseire ja meetmete tõhususe hindamise puudumine⁴⁹; käesolev meetmekava näeb seire ette.

8.2 Meetmete loetelu ja alternatiivide analüüs

Järvede tervendamise meetmed üldiselt jagunevad kolme rühma:

⁴⁷ Kõiv, T., Ott, I. (toim.), 2011. Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

⁴⁸ Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.

⁴⁹ Teppo, T., 2016. Eesti järvetervendusprojektide tulemuslikkuse hindamine ja meetmete tõhusus. Magistritöö. Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

- insener-tehnilised meetodid (veebilansi muutmine, veetaseme reguleerimine, kindlate veekihtide eemaldamine, õhustamine, toiteainete keemiline setitamine, setete isoleerimine ja eemaldamine, biomassi eemaldamine);
- ökoloogilised meetodid (biomanipulatsioon);
- kompleksmeetodid⁴⁷.

Kambja järve jaoks asjakohaste meetmete analüüs on esitatud tabelis 18. Maksumused on esitatud suurusjärgudena ega asenda maksumuskalkulatsiooni.

Tabel 18 Kambja järve tervendamise meetmete alternatiivide analüüs. Meetmed on järjestatud kulutõhususe järgi (kõige tõhusamad ja odavamad eespool).

NR	MEEDE	MÕJU FOSFORIKOORMUSELE	MAKSUMUSE SUURUSJÄRK	TEOSTATAVUS JA MÕJU KESTUS	HINNANG
1	Sademevee eelpuhastus: olemasoleva liiva- ja õlipüüduuri regulaarne tühjendamine ja hooldus, sademeveelasu ette settekaevu või settebasseini rajamine	Suur: kuni 3–5 kg P/a (kuni 50–70% sademevee koormusest)	Hooldus 0,5–1,5 tuh €/a; settekaev/basseini rajamine 5–20 tuh €	Lihtne; mõju kestev, kui hooldust tehakse regulaarselt	SOOVITATAV, I järk
2	Reoveekäitluse korrastamine: 22 lahenduseta katastriüksuse ülevaatus, ühiskanalisatsiooniga liitumise nõude täitmise kontroll reoveekogumisalal, omapuhastite ja kogumismahutite nõuetekohasuse kontroll	Keskmine kuni suur: 1–3 kg P/a; kõrvaldab suurima ebamäärasuse	Inventuur 2–5 tuh €; liitumiste maksumus kinnistuomanikel	Vallal on järelevalvepädevus; mõju püsiv	SOOVITATAV, I järk
3	Veekaitsevööndi tagamine ja hooldus: 10 m veekaitsevööndi märgistamine, maaomanike teavitamine keeldudest, vööndi väljajätmine põllumassiivist, niitmine koos niite äraveoga	Väike kuni keskmine: 0,5– 1,5 kg P/a; takistab otsest ärakannet	0,5–2 tuh €/a	Lihtne; nõuab järelevalvust	SOOVITATAV, I järk
4	Teavitus ja kaldaalade haldus: lehtede, niidetud rohu ja aiajäätmete järve viskamise vältimine, veelindude toitmise piiramine, teabetahvel supluskohas	Väike: 0,2–0,5 kg P/a; suur kaudne mõju hoiakute kaudu	0,5–2 tuh € (ühekordne) + hooldus	Lihtne; mõju sõltub elanike kaasatusest	SOOVITATAV, I järk
5	Talvise teesoola ja liiva kasutuse vähendamine järve valgalal (parkla, Puiestee ja Järve tänav); libedustõrjeliiva kogumine kevadel	Väike otsene mõju P-le; oluline mõju soolakoormusele ja heljumile	Ümberkorraldus olemasoleva hoolduseelarve raames	Lihtne; kohene mõju	SOOVITATAV, I järk
6	Veetaimestiku niitmine ja biomassi eemaldamine (kanada vesikatk, kardhein, niitrohevetikad) supluskotade ümbruses ja vähemalt 1 ha ulatuses; niide veetakse järvest välja	Keskmine: 2–5 kg P/a eemaldatakse järvest; parandab supluskoha kasutatavust	3–8 tuh €/a	Vajab korduvat teostamist igal aastal; mõju ajutine	SOOVITATAV, II järk
7	Seire: iga-aastane lihtseire (läbipaistvus, üldfosfor, hapnikuprofiil 2× suvel) ning 5 aasta järel kordusuuring	Otsene mõju puudub; hädavajalik meetmete tõhususe hindamiseks	1,5–3 tuh €/a; kordusuuring 15–25 tuh €	Lihtne; annab aluse edasisteks otsusteks	SOOVITATAV, II järk
8	Sissevoolu (Kambja paisjärve ühenduse) settebassein või märgala järve lõunaotsas	Väike kuni keskmine: 1–2 kg P/a	10–30 tuh €	Vajab projekteerimist ja maaomaniku nõusolekut; mõju kestev hoolduse korral	KAALUDA, II järk
9	Kalastiku majandamine (biomanipulatsioon): röövkalade (haug) kaitse kudeperioodil, lepiskala väljapüük	Kaudne; ilma väliskoormuse vähendamiseta lühiajaline	5–15 tuh € ühe püügitsükli kohta	Nõuab kordamist; tulemus ebakindel	MITTE ESIMESES JÄRJES

NR	MEEDE	MÕJU FOSFORIKOORMUSELE	MAKSUMUSE SUURUSJÄRK	TEOSTATAVUS JA MÕJU KESTUS	HINNANG
10	Fosfori keemiline sidumine settesse alumiiniumiühenditega (ALUM-meetod, polüalumiiniumkloriid) – vt ptk 8.3	Väga suur ja kiire mõju sisekoormusele: Velnezers järves langes üldfosfor kuni 91% ja fosfaadid 95–99%	Töötlus 70–110 tuh €; eeluuringud 15– 30 tuh €	Nõuab eeluuringuid ja luba; mõju 10–20 aastat, kui väliskoormus on vähendatud	SOOVITATAV, II–III järk; eeluuringud alustada kohe
11	Setete eemaldamine (süvendamine) ligikaudu 73 000 m ³ ulatuses	Väga suur ja pikaajaline mõju sisekoormusele	1,1–2,2 mln € (15– 30 €/m ³)	Nõuab ehitusprojekti, KMH-d, ladestusala ja selitite rajamist; töö kestus 1–2 aastat	mitte otstarbekas praeguses olukorras

NB! tabelis esitatud maksumused on hinnangulised suurusjärgud, mis põhinevad analoogsete tööde üldisel hinnatasemel.

8.3 Fosfori keemiline sidumine settesse alumiiniumiga (ALUM-meetod)

8.3.1 Meetodi olemus

Toiteainete keemiline setitamine töötati järvede tervendusmeetodina välja 1960.–1970. aastatel Rootsis. Meetod seisneb koagulandi pihustamises järve, mille tulemusena tekivad suured ja kiiresti settivad alumiiniumhüdroksiidi helbed, mis seovad veest lahustunud fosfaadid ning haaravad settimisel kaasa ka hõljuvad osakesed, vetikarakud ja orgaanilise aine. Järve põhja jõudes moodustab koagulant vee ja sette piirpinnale barjääri, mis ei lase toiteainetel enam veesambasse tagasi jõuda⁵⁰. Oluline on, et protsessi käigus ei lõhuta fütoplanktoni rakke ning vette ei pääse rakkudes olevaid toiteaineid ega toksine.

Alumiiniumisoolad on maailmas kõige laiemalt kasutatavad koagulandid nii veepuhastuses kui ka järvetervenduses. Praktilised kogemused näitavad, et alumiiniumiühendid kontrollivad väga tõhusalt fosfori vabanemist setetest, suurendavad vee läbipaistvust ja vähendavad fütoplanktoni biomassi. Töötluse järel on täheldatud sinivetikate asendumist rohe- ja ränivetikatega ning vesikirbuliste arvukuse kasvu⁵⁰. Meetodit on maailmas rakendatud enam kui 200 järves ja Rootsis on seda kasutatud üle 60 aasta⁵¹.

Kambja järve seisukohalt on määrav asjaolu, et alumiiniumiühendid ei ole hapnikupuuduse suhtes tundlikud. Juba settinud alumiiniumiühendid ei muutu anaeroobses keskkonnas lahustuvaks, mistõttu meetodit saab edukalt kasutada ka ilma täiendava aereerimiseta järvedes, kus põhjakihis hapnik stagnatsiooniperioodil kaob⁵⁰. Just see eristab alumiiniumi rauast: raud moodustab järve põhjas dünaamilise puhvri ja redokspotentsiaali langedes muutub raud lahustuvaks (Fe^{2+}) ega suuda enam fosforit seotuna hoida. Kambja järve settes on suurim just rauaga seotud fosfori fraktsioon (Fe-P) ning järves esineb igal suvel põhjalähedane hapnikupuudus (ptk 3.2 ja 7.5) – rauaühenditega töötlemine ei oleks siin seetõttu püsiv lahendus.

Alumiiniumiühendite toime kestab keskmiselt 10 aastat ja mitmel juhul on järved säilitanud hea seisundi üle kahekümne aasta. Näiteks 1986. aastal töödeldud Barleberi

⁵⁰ Kõiv, T., 2011. Kemomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu, ptk 8.

⁵¹ TRUST ALUM, 2023–2025. Building trust in target groups for ALUM treatment – an effective, yet misunderstood method for water quality improvement. Interreg Baltic Sea Region 2021–2027 projekt. Juhtpartner: Latvian Institute of Aquatic Ecology, Riia. <https://interreg-baltic.eu/project/trust-alum/>

järv Saksamaal on siiani läbipaistva veega ning töötlusele eelnenud sinivetikaõitsengud ei ole kordunud^{50;52}.

8.3.2 Regionaalne kogemus: TRUST ALUM ja Velnezersi järv Riias

Kuigi meetod on Rootsis, Soomes ja USA-s laialt kasutusel, ei olnud seda kuni hiljutise ajani Balti riikides rakendatud. Peamised takistused olid oskusteabe puudumine, skepsis tulemuste suhtes, arvamus meetodi kallidusest ja hirm alumiiniumi ohutuse pärast⁵¹. Nende tõkete ületamiseks viidi 2023.–2025. aastal ellu Interreg Baltic Sea Region programmi projekt TRUST ALUM, mille juhtpartner oli Läti Veeökoloogia Instituut (LHEI) ning partnerite hulka kuulusid Rootsi Põllumajandusülikool, Vattenresurs AB, Lake Restoration Sweden, Riia linnavalitsus, Läti Riiklik Keskkonnateenistus ja Kliima- ning Energiaministeerium, Leedu ECAT ning Eestist Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna keskus (SEI Tallinn)^{51;53}.

Projekti raames töödeldi 14.–18. oktoobril 2024 Riias Jugla linnaosas asuvat Velnezersi järve – see oli esimene ALUM-töötlus Balti riikides⁵⁴. Töö teostas Rootsi ettevõtte Vattenresurs AB, kes ehitas Velnezersi jaoks eraldi väiksema ja kergema töötlemispaadi. Kasutati polüalumiiniumkloriidi (PAC), mille optimaalseks annuseks modelleeriti 56 g Al/m².⁵¹

Töötlusjärgne seire toimus neljal korral (november 2024 ning jaanuar, aprill ja juuli 2025), proove võeti kolmelt sügavuselt. Tulemused olid järgmised⁵⁵:

- üldfosfori keskmine sisaldus langes kuni 91%;
- bioloogiliselt kättesaadava fosfori (ortofosfaatide) sisaldus langes olenevalt kuust 95–99%;
- vee läbipaistvus kasvas kuu ajaga 0,8 meetrilt 2,6 meetrini ning püsis järgnevatel hooaegadel töötluse-eelsest tasemest kõrgemal;

⁵² Jørgensen, S. E., Löffler, H., Rast, W., Straškraba, M., 2004. Lake and Reservoir Management. Developments in Water Science 54. Elsevier, Amsterdam.

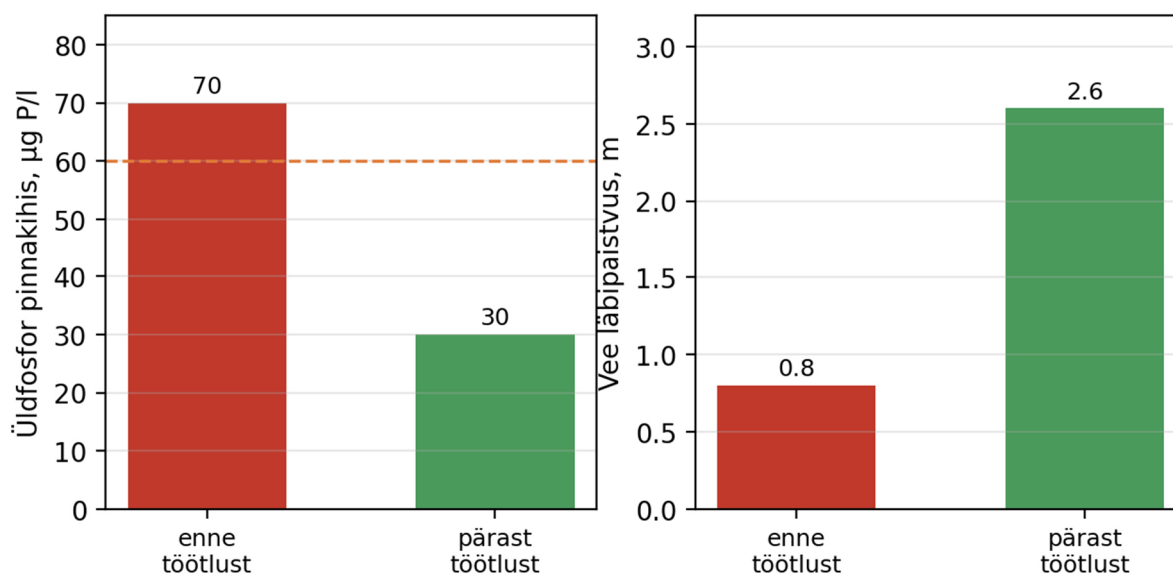
⁵³ Stockholm Environment Institute Tallinn Centre, 2025. TRUST ALUM. SEI Tallinn, Tallinn. <https://www.sei.org/projects/trust-alum-eng/>

⁵⁴ LSM, 2024. Polluted Riga lake being cleaned with new method. Latvijas Sabiedriskie mediji, 16.10.2024. <https://eng.lsm.lv/article/society/environment/16.10.2024-polluted-riga-lake-being-cleaned-with-new-method.a572700/>

⁵⁵ Dimante-Deimantovica, I. jt, 2025. New Beginning for Lake Velnezers: Monitoring water quality improvements following the ALUM treatment. Interreg Baltic Sea Region / Latvian Institute of Aquatic Ecology, Riia, 23.08.2025. <https://interreg-baltic.eu/project-posts/trust-alum/new-beginnings-for-lake-velnezers-monitoring-water-quality-improvements-following-the-alum-treatment/>

- pinnavee üldfosfori aasta keskmine langes 0,07 mg/l-lt 0,03 mg/l-ni, mille tulemusena tõusis järve ökoloogiline seisundihinnang kesise ja halva piirilt heaks;
- alumiiniumi sisaldus vees tõusis ootuspäraselt vahetult pärast töötlust, kuid püsis ohutult allpool joogivee piirväärtust ning langeb praeguseks ühtlaselt töötluste-eelse taseme suunas.

Velnezersi järv (Riia, Läti) – ALUM-töötlus oktoobris 2024



Joonis 17 Velnezersi järve (Riia) vee kvaliteedi muutus pärast ALUM-töötlust oktoobris 2024. Andmed: Läti Veeökoloogia Instituut / TRUST ALUM.

8.3.3 Velnezersi ja Kambja järve võrreldavus

Velnezersi järve ja Kambja järve sarnasus on käesoleva töö seisukohalt märkimisväärne: mõlemad on väikesed, ligikaudu 4 ha suuruse veepeegliga ja 6–7 m sügavuse asulasisesed järved, mille probleemiks on ajalooliselt settesse kogunenud fosforivaru ning suvine põhjalähedane hapnikupuudus. Eriti oluline on, et Velnezersi järve töötlusteelne üldfosfori sisaldus (0,07 mg/l) on praktiliselt sama, mis Kambja järves praegu mõõdetud tase (0,074 mg/l). Võrdlus on esitatud tabelis 19.

Tabel 19 Kambja järve võrdlus ALUM-meetodiga töödeldud Velnezersi järve ning Vana-Koiola järvega.

NÄITAJA	KAMBJA JÄRV	VELNEZERS (RIIA)	VANA-KOIOLA JÄRV
veepeegli pindala	3,98 ha	3,5 ha	7,1 ha
keskmise sügavus	2,9 m	3,5 m	5,1 m
suurim sügavus	6,1 m	7,4 m	13,2 m

NÄITAJA	KAMBJA JÄRV	VELNEZERS (RIIA)	VANA-KOIOLA JÄRV
läbivool	praktiliselt puudub	praktiliselt puudub	puudub (umbjärv)
üldfosfor pinnakihis	0,074 mg/l	0,07 mg/l (enne töötlust)	0,093 mg/l
vee läbipaistvus	2,74 m	0,8 m (enne töötlust)	1,9 m
labiilse P osakaal settes	6–12%	–	9,2–13,3%
ökoloogiline seisund	kesine	kesine/halb → hea (2025)	halb
rakendatud meede	otsustamisel	ALUM 10/2024, 56 g Al/m ²	ettepanek: P keemiline sidumine

Kolmas võrdlusobjekt – Vana-Koiola järv Põlva vallas – on Kambja järvega sama probleemiga, kuid kaugemale arenenud staadiumis. Vana-Koiola järve uuringus jõuti tervendamismeetodite võrdlemisel järeldusele, et kulutõhusaimad tervendamisvõimalused on settes oleva fosfori sidumine mittelahustuvaks vormiks – sealhulgas alumiiniumi- ja rauaühendite kasutamine – ning et setete eemaldamine on kordades kallim (Vana-Koiola puhul hinnanguliselt 1,3–3,7 mln €)⁵⁶. Sama uuring rõhutab, et enne tervendamismeetodi valikut tuleb järves läbi viia põhjalik sette leviku ja koostise uuring ning laboratoorsed katsetused.

8.3.4 Kambja järve sobivus ALUM-töötluseks

TRUST ALUM projekti raames koostati juhendmaterjal, mis loetleb tingimused, mille alusel hinnata järve sobivust ALUM-töötluseks⁵⁷. Kambja järve vastavus neile tingimustele on esitatud tabelis 20.

⁵⁶ Normak, K., Ott, I., Rakko, A., Vilbaste, S., Ott, K., Pall, P., Timm, H., Blank, K., Palm, A., Krause, T., 2024. Uuring Vana-Koiola järve seisundi määramiseks ning järve tervendamiseks vajalike meetmete välja töötamiseks. Töö nr 22079. Maves OÜ, Tallinn. Tellija: Põlva Vallavalitsus.

⁵⁷ TRUST ALUM, 2025. Toolbox: ALUM treatment. Recommendations, technical documentation and monitoring requirements, roadmap. Interreg Baltic Sea Region, Rostock. https://interreg-baltic.eu/wp-content/uploads/2025/05/TOOLBOX_FINAL.pdf

Tabel 20 Kambja järve sobivus ALUM-töötluks TRUST ALUM projekti kriteeriumide alusel.

KRITEERIUM	KAMBJA JÄRV	HINNANG
Järvel ei ole olulist sisse- ega väljavoolu	Mõõdetud läbivool 0,1–2 l/s; järv toimib praktiliselt umbjärvena	SOBIB
Ajalooline fosforikoormus settes, mida tuleb tõkestada	Mobiliseeritav P-varu 0–10 cm kihis ≈ 185 kg; labiilse fraktsiooni osakaal 6–12%	SOBIB
Järve sügavuskaart ja ruumiandmed on olemas	19 punkti sette- ja sügavusmõõtmised olemas, batümeetiline kaart puudub	VAJAB TÄIENDAMIST
Veetemperatuur töötluks ajal vähemalt 10 °C	Saavutatav mais-oktoobris	SOBIB
Ajaloolised ja jooksvad seireandmed on olemas	Käesolev uuring (2025–2026) + 1998.–1999. a andmed	SOBIB
Väliskoormus on ohjatatav	Arvutuslik koormus 31,8 kg P/a, peamiselt õuema ja sademevesi; ohjatatav meetmetega 1–5	SOBIB TINGIMUSLIKULT
Vee pH on aasta ringi üle 6	Mõõdetud pH 6,91–9,02; üldaluselisis 147 mg HCO_3^-/l (hea puhverdusvõime)	SOBIB (pH alumine piir ei ole probleem)
Vee sügavus vähemalt 2 m	Keskmine 2,9 m; 15 mõõtepunktis 19-st üle 2 m; madalad alad järve otstes	SOBIB OSALISELT (töödeldav ala ~ 3 ha)
Tugeva juurestikuga taimede alad	Pilliroog kaldavööndis, istutatud vesiroosid põhjaotsas; veesiseses taimestik domineerib kanada vesikat	VAJAB ARVESTAMIST
Veealused kaablid, torustikud, purskkaevud	Tuletõrje veevõtukohta veehaardetoru järve edelaosas	VAJAB ARVESTAMIST
Juurdepääs ja tehnika paigutamine	Järv asub aleviku keskel, juurdepääs Järve ja Puiestee tänavalt hea	SOBIB

Kokkuvõttes on Kambja järv ALUM-töötluks põhimõtteliselt sobiv. Kolm asjaolu vajavad siiski erilist tähelepanu.

Vee pH. Alumiiniumisoolade hüdroolüüsil on võtmeteguriks pH: järvedes tavalise pH 6–8 juures moodustub polümeerne ja mittelahustuv $\text{Al}(\text{OH})_3$, kuid liiga kõrge pH (>8) ei ole töötlemiseks sobiv, sest tekkivad $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ioonid seovad fosforit halvasti⁵⁸. Kambja järve pinnakihi mõõdeti 21.07.2025 pH väärtuseks 9,00–9,02, mis tuleneb suurtaimede ja fütoplanktoni intensiivsest fotosünteesist. Just suurtaimede fotosünteesist tingitud kõrge pH on kirjanduses toodud madalate järvede ALUM-töötamise ebaõnnestumiste peamise põhjusena⁵⁸. Kambja järve töötlemine tuleb seetõttu kavandada perioodile, mil pH on 7,5–8 – see tähendab kevadet (mai) või sügist (september–oktoober), mitte suve tippu. Ülejäänud vaatluskordadel jäi pinnakihi pH vahemikku 7,54–8,02, mis on sobiv. Sama järeldust toetab Velnezersi kogemus, kus töötlus tehti oktoobris.

Puhverdusvõime. Hüdroolüüsi käigus vabanevad vesinikioonid ja pH võib töötamise ajal langeda. See on tõsine probleem pehmeveelistes ja vähese puhverdusvõimega järvedes – kui karbonaatne karedus on alla 10 mg/l CaO, viib juba 3 mg/l Al^{3+} lisamine puhverdusvõime täieliku kadumiseni⁵⁸. Kambja järv on selles osas soodsas olukorras: üldaluselisus on keskmiselt 147 mg HCO_3^- /l (104–177), mis vastab keskmisele vee karedusele ja tagab hea puhverdusvõime. Erinevalt näiteks pehmeveelisest Vana-Koiola järvest (HCO_3^- ajalooliselt 26–35 mg/l) ei ole Kambja järves pH järsu languse ja alumiiniumi toksiliseks muutumise risk oluline. Ioonne Al^{3+} on veeorganismidele toksiline alates kontsentratsioonist üle 50 µg/l, kuid see tekib alles pH langedes alla 6.⁵⁸ Seepärast tuleb töötamise käigus pidevalt jälgida pH dünaamikat. Velnezersi järve kogemuse järgi on see väga tähtis tegevus. Kui pH langeb <6, siis tuleb tegevus kohe peatada.

Veesisene taimestik. Tihe taimestik segab töötlust ja kemikaalide ühtlast jaotumist ning suurtaimed võivad juurestiku kaudu muuta kättesaadavaks sügavamate settekihtide fosfori⁵⁸. Kambja järves domineerib Kanada vesikatk kogu järve ulatuses. Seetõttu on otstarbekas kavandada meede 6 (veetaimestiku niitmine ja biomassi eemaldamine) töötamisele eelnevas tegevuses, mitte sellest sõltumatuks meetmeks.

8.3.5 Esialgne alumiiniumi annuse hinnang

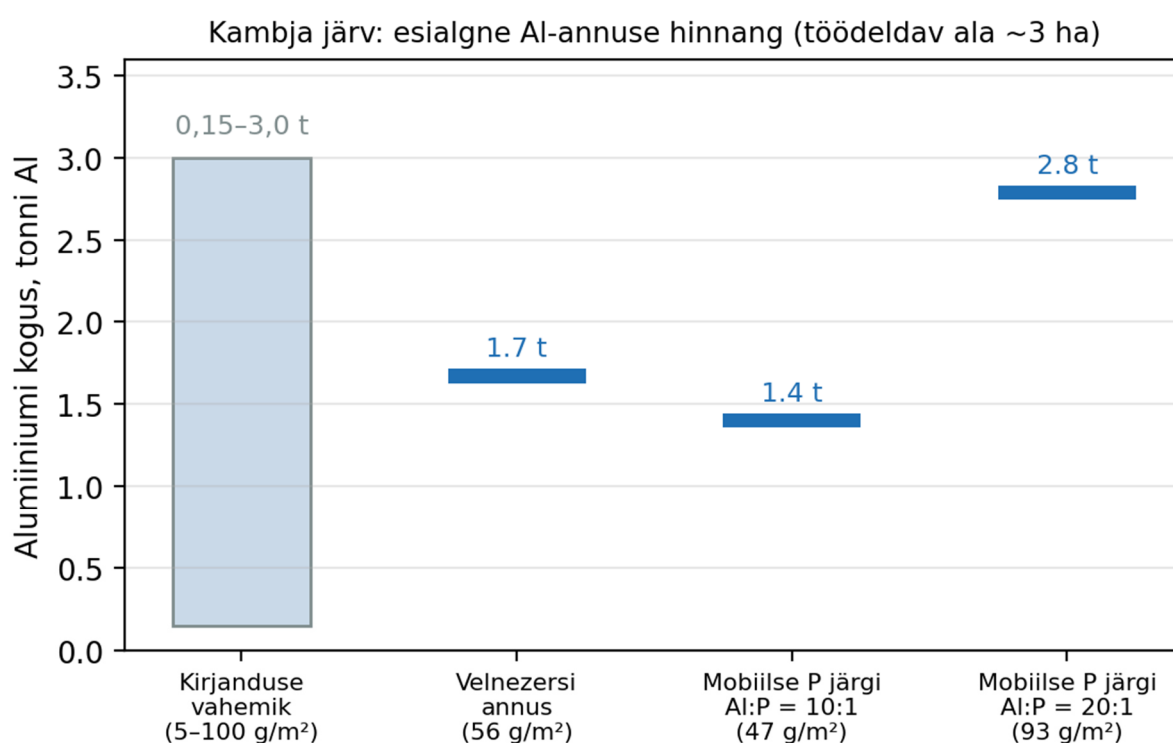
Töötlusel kasutatava alumiiniumikoguse täpne määramine on äärmiselt tähtis: siduda tuleb nii lahustunud fosfaadid kui ka heljumi kujul esinev fosfor, kuid samas ei tohi alumiiniumikogusega liialdada. Doseerimisjuhised põhinevad settes leiduva anorgaanilise (labiilse) fosfori koguse määramisel, fosfori sisekoormusel ja veekogu

⁵⁸ Kõiv, T., 2011. Kemomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu, ptk 8.

puhverdusvõime hindamisel. Senistel edukatel töötlemistel on lisatud alumiiniumi kogus jäänud vahemikku 5–100 g/m².^{59;60}

Käesoleva uuringu andmete põhjal saab anda esialgse suurusjärgu hinnangu (Joonis 18). Eeldusel, et töödeldakse ala, kus veesügavus on üle 2 m (ligikaudu 3 ha ehk 30 000 m²), annavad erinevad lähenemised järgmised kogused:

- Velnezersi järve modelleeritud annus 56 g Al/m² → ligikaudu 1,7 t Al;
- mobiilse fosforivaru (labiilne-P + Fe-P, 0–10 cm) alusel suhtega Al:P = 10:1 → ligikaudu 1,4 t Al (47 g Al/m²);
- sama, suhtega Al:P = 20:1 → ligikaudu 2,8 t Al (93 g Al/m²);
- kirjanduses toodud üldine vahemik 5–100 g Al/m² → 0,15–3,0 t Al.



Joonis 18 Kambja järve ALUM-töötamise alumiiniumiannuse esialgne suurusjärg erinevate arvutusaluste järgi.

Erinevad lähenemised annavad hästi kokkulangeva tulemuse: Kambja järve töötlemiseks vajalik alumiiniumikogus on suurusjärgus 1,5–3 tonni alumiiniumi, mis polüalumiiniumkloriidi lahusena tähendab oluliselt suuremat toote kogust (täpne kogus sõltub valitud toote alumiiniumisisaldusest). Rõhutame, et tegemist on üksnes

⁵⁹ Kõiv, T., 2011. Kemomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu, ptk 8.

⁶⁰ Rydin, E., Welch, E. B., 1998. Aluminum dose required to inactivate phosphate in lake sediments. Water Research 32(10), 2969–2976.

suurusjärgu hinnanguga. Lõplik annus ja doseerimisskeem tuleb määrata eeluuringute ja modelleerimise käigus (vt allpool).

Oluline on valida õige alumiiniumi substraat. Alumiiniumsulfaadi kasutamisel võib rohke sulfaatide lisandumine anaeroobse põhjakihiga järve võib luua soodsad tingimused väävelvesiniku tekkeks. Velnezersil kasutati polüalumiiniumkloriidi (PAC).

8.3.6 Vajalikud eeluuringud ja töö ettevalmistus

ALUM-töötluste rakendamine eeldab eeluuringuid, mille sisu ja järjekord on TRUST ALUM projekti juhendmaterjalis üksikasjalikult kirjeldatud⁶¹. Kambja järve puhul on osa vajalikest andmetest käesoleva uuringuga juba kogutud. Puuduolev on esitatud tabelis 21.

Tabel 21 ALUM-töötluste eeluuringute vajadus Kambja järves ja indikatiivne maksumus.

ETAPP	SISU	KAMBJA JÄRVE SEIS	MAKSUMUS
Esmane hinnang	Ühekordne ülevaatlik uuring meetodi sobivuse hindamiseks	TEHTUD – käesolev aruanne	–
Sügavuskaart	Batümeetiline mõõdistus, sügavuskaart ja ruumiandmed	PUUDU – olemas 19 punkti mõõtmised	0,6–3 tuh €
Töötlusteelne seire	Üks täisaasta igakuist seiret: läbipaistvus, värvus, temperatuur, pH, aluselisis, hapnik, elektrijuhtivus, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , üld-N, ortofosfaat, üld-P, filtreeritud üld-P, silikaat, DOC, klorofüll a, heljuvaine, kloriidid, sulfaat, Na, Ca, Mg, üldalumiinium ja filtreeritud alumiinium	OSALISELT – puuduvad Al, Ca, Mg, Na, SO ₄ , DOC, silikaat, filtreeritud P	10–15 tuh €/a
Setteuuring	Mitmest punktist settekuvad: kuivaine, orgaaniline süsinik, tihedus, üldfosfor ja fosfori järjestikune fraktsioneerimine	OSALISELT – tehtud üks settekuva; vaja katta kogu töödeldav ala	5–12 tuh €

⁶¹ TRUST ALUM, 2025. Toolbox: ALUM treatment. Recommendations, technical documentation and monitoring requirements, roadmap. Interreg Baltic Sea Region, Rostock. https://interreg-baltic.eu/wp-content/uploads/2025/05/TOOLBOX_FINAL.pdf

ETAPP	SISU	KAMBJA JÄRVE SEIS	MAKSUMUS
Järve mudel	Dünaamiline mudel fosforibilansi hindamiseks	PUUDU	1–3 tuh €
Annuse modelleerimine ja töötuse projekt	Alumiiniumi annuse ja doseerimisskeemi arvutus, laborikatsed	PUUDU	6–8 tuh €
Load ja avalikkuse kaasamine	Keskkonnaluba, ekspertarvamused mõju kohta kalastikule ja elustikule, avalikkuse kaasamise kava ja tagasiside	PUUDU	2–5 tuh €
KOKKU eeluuringud			24–46 tuh €

Vana-Koiola järve uuringus hinnati analoogsete eeluuringute maksumuseks 50 000–100 000 €. Kambja järve puhul on maht väiksem, sest järv on väiksem.

8.3.7 Maksumus ja võrdlus alternatiividega

TRUST ALUM projekti andmetel määratakse töötuse maksumus juhtumipõhiselt ning see sõltub eelkõige järve suurusest ja fosforikoormuse ulatusest. Võrdluseks: Rootsisis töödeldi 2024. aastal 5 ha suurune järv 90 000 euro eest ning 2023./2024. aastal 432 ha suurune järv 1 360 000 euro eest⁶¹. Velnezersi töötus oli tavapärasest kallim, sest selle jaoks ehitati eraldi paat ning kogu tehnika ja kemikaalid transporditi üle Läänemere.⁶¹

Kambja järve ligikaudu 3 ha suuruse töödeldava ala kohta võib eeldada töötuse maksumuseks 70 000 – 110 000 eurot, millele lisanduvad eeluuringud 24 000 – 46 000 eurot ja töötusjärgne seire 1 500 – 3 000 eurot aastas. Kogumaksumus jääb seega suurusjärku 95 000 – 160 000 eurot. Võrdluseks: setete eemaldamine mahus 73 000 m³ maksaks 1,1–2,2 miljonit eurot (ptk 8.2), mis on ligikaudu 10–20 korda rohkem. ALUM-töötus on Kambja järve sisekoormuse ohjamiseks kordades odavam kui süvendamine ja annab kirjanduse ning Velnezersi kogemuse põhjal kiirema ja usaldusväärsema tulemuse.

8.3.8 Riskid, piirangud ja avalikkuse kaasamine

- Töötus ei asenda väliskoormuse vähendamist. Meetod on vähe tõhus veekogudes, kus toitainete väliskoormus ületab kemikaalidega sekitatavate

biogeenide hulka. Väliskoormuse meetmed (ptk 8.2 meetmed 1–5) on ALUM-töötamise eeltingimus, mitte alternatiiv.

- Töötamise efektiivsust võivad vähendada põhjaloomad, kes segavad õhukese alumiiniumhelveste kihi läbi sügavamate setetega.
- Töötlus tuleb ajastada perioodile, mil vee pH on alla 8 ja temperatuur üle 10 °C (soovitavalt mai või september–oktoober).
- Alumiiniumi kasutamine järve tervendamiseks tekitab avalikkuses endiselt negatiivseid seoseid. Läti kogemus näitab, et avalikkuse kaasamise kava ja kogukonna tagasiside on loa saamise oluline eeldus; soovitatavad tegevused on avalikud teabekoosolekud, infomaterjalid, kohapealne infotelk töötamise ajal, lihtsad demonstratsioonkatsed (nn purgikatse) ja tagasisideküsitlused⁶¹.

8.4 Alternatiivide võrdlus ja sobivaima lahenduse valik

Meetmete – fosfori keemiline sidumine alumiiniumiga ja setete eemaldamine – puhul on tegemist kõige suurema ja kiireima mõjuga meetmetega järve sisekoormusele. Need kaks meetet erinevad aga maksumuselt ligikaudu kümnekordselt ning ka teostatavuselt oluliselt, mistõttu neid ei saa käsitleda samaväärsete alternatiividena. Setete eemaldamine on tõhus ning seda võib käsitleda möödunud olukorra taastamisena, kuid tegemist on kallil ettevõtmisega, mis eeldab põhjalikke uuringuid, planeerimist ja läbimõeldud teostust. Sete tuleb ladustada nõuetekohaselt, vastasel juhul võib toitainerikas vesi tagasi järve valguda⁶². Kambja järve puhul lisandub kaks olulist takistust: esiteks on osal järve alast sette all turbalasund, mille kaevamine tooks kaasa samasugused probleemid nagu 2009. aastal (turbasaarte kerkimine), ja teiseks näitab mõõdetud settekiirus (ligikaudu 1,1 cm aastas), et ilma väliskoormuse vähendamiseta hakkaks sete kohe uuesti kuhjuma.

Fosfori keemiline sidumine alumiiniumiga (ALUM-meetod, ptk 8.3) on arvukate projektide põhjal tõhus ja pikaajalise mõjuga meetod, kuid vähe tõhus madalates makrofüüdijärvedes, kus toitainete väliskoormus on suurem kui kemikaalidega setitavate biogeenide hulk⁶³. Järv on suurtaimede poolt domineeritud ja pinnakihi pH tõuseb suvel üle 9, mis on meetodi rakendamist raskendavad asjaolud. Otsustav on ajastus ja järjekord: väliskoormuse meetmed ja veetaimestiku eemaldamine tuleb ellu viia enne töötlust, töötlus ise tuleb kavandada kevadesse või sügisesse, mil pH on alla

⁶² Kisand, A., Timm, H., 2011. Setete eemaldamine. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

⁶³ Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.

8. Sellisel kujul rakendatuna on ALUM-meetod Kambja järve sisekoormuse ohjamiseks kõige kulutõhusam lahendus – sama järeltõhuseni jõuti ka Vana-Koiola järve uuringus.

Biomanipulatsiooni on hinnatud küllaltki tõhusaks eelkõige väikestes ja madalates järvedes, kuid juhul, kui välist toitainete koormust ei vähendata, on pikaajaline tõhusus ebatõenäoline ning järve seisundi säilitamiseks on vajalik regulaarne sekkumine⁶⁴. Kambja järves on kalastik niigi liigivaene ja lünkliku vanuse struktuuriga, hapnikuolud piiravad kalade elupaika ning zooplanktoni toidubaas on kasin – biomanipulatsiooni eeldused ei ole seetõttu head.

Veebilansi muutmine (reostunud sissevoolu möödajuhtimine) on tõhus meede juhul, kui sissevoolava vee toitainete sisaldus on oluliselt kõrgem järve omast⁶⁵. Kambja järve puhul on Kambja paisjärvest tuleva vee fosforisisaldus tõepoolest kõrgem, kuid vooluhulk on nii väike (keskmiselt 0,7 l/s), et möödajuhtimise mõju jääks väikeseks. Lisaks muutuks järv sel juhul täielikult umbjärveks, mis pikendaks vee viibeaega ja halvendaks olukorda. Meede ei ole soovitatav.

Veetaseme alandamist ei peeta looduslike järvede puhul sobivaks meetodiks, kuid tehisveekogude puhul kasutatakse seda ajutise lahendusena setete mineraliseerumise tõhustamiseks ja veetaimestiku ohjamiseks⁶⁵. Kambja järve puhul ei ole see teostatav, kuna järve isevoolne tühjendamine eeldaks väljavoolu süvendamist üle 3 meetri, mis on tehniliselt keerukas ja muudaks oluliselt järvega piirnevate kruntide maakasutust⁶⁵.

Sobivaim lahendus Kambja järve jaoks on kaheosaline meetmekomplekt. Esimene osa on väliskoormuse vähendamine ja järve hooldus (meetmed 1–7): sademevee eelpuhastus, reoveekäitluse korrastamine, veekaitsevööndi tagamine, teavitus, libedustõrje ümberkorraldus, veetaimestiku niitmine koos biomassi äraveoga ning seire. Need meetmed on odavad ja vajalikud igal juhul – valgala peamised fosforiallikad (õuema, teed ja parklad, reoveekäitus) on just need, mida saab kohaliku omavalitsuse pädevuses olevate vahenditega mõjutada. Teine osa on sisekoormuse ohjamine fosfori keemilise sidumisega alumiiniumiga, mille eeluuringutega tuleks alustada juba esimeses järgus, et töötlus oleks võimalik ellu viia pärast väliskoormuse meetmete rakendamist.

Kaheosalise lahenduse vajadus tuleneb sellest, et kumbki osa üksi ei vii eesmärgini. Ainuüksi väliskoormuse vähendamine ei pruugi anda kiiret tulemust, sest settes olev

⁶⁴ Panksep, K., Pedusaar, T., Järvalt, A., 2011. Biomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

⁶⁵ Kõiv, T., Ott, I. (toim.), 2011. Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

mobiliseeritav fosforivaru (≈ 185 kg) ületab järve aastast kogukoormust ligikaudu kaheksateistkümnekordselt ning põhjustab taastumise viivituse⁶⁶. Ainuüksi ALUM-töötlus ilma väliskoormuse vähendamiseta annaks aga ajutise tulemuse, sest järv täituks uuesti valgalalt tuleva fosforiga⁶⁷. Sama põhimõtet rõhutab ka TRUST ALUM projekti juhendmaterjal, mille kohaselt tuleb enne töötlust tagada, et järve jõudvad fosforiallikad oleksid kõrvaldatud⁶⁸.

Setete eemaldamist ei peeta praeguses olukorras otstarbekaks. Kui aga tulevikus otsustatakse siiski süvendamise kasuks – näiteks järve sügavuse ja supluskoha kvaliteedi parandamiseks – tuleks ALUM-töötlus teha alles pärast süvendamist, mitte enne.

8.5 Meetmete rakendamise järjekord ja ajakava

Tabel 22 Kambja järve meetmekava rakendamise ajakava.

JÄRK	AEG	MEETMED	INDIKATIIVNE MAKSUMUS
I järk	2026–2028	Meetmed: sademevee eelpuhastus ja hooldus; reoveekäitluse inventuur ja järelevalve; veekaitsevööndi tagamine; teavitus ja kaldaalade haldus; libedustõrje korraldus. Paralleelselt alustada ALUM-töötluste eeluuringutega (Tabel 21): batümeetiline mõõdistus, seire täiendamine ja setteuuring.	10–30 tuh € (ühekordselt) + 2–5 tuh €/a; eeluuringud 24–46 tuh €
II järk	2027–2030	Meetmed: veetaimestiku niitmine ja biomassi eemaldamine (ka ALUM-töötluste ettevalmistusena); igaaastane lihtseire. Annuse modelleerimine, töötluste projekt, loamenetlus ja avalikkuse kaasamine.	5–11 tuh €/a + 8–13 tuh € projekt ja load

⁶⁶ Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.

⁶⁷ Kõiv, T., 2011. Kemomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu, ptk 8.

⁶⁸ TRUST ALUM, 2023–2025. Building trust in target groups for ALUM treatment – an effective, yet misunderstood method for water quality improvement. Interreg Baltic Sea Region 2021–2027 projekt. Juhtpartner: Latvian Institute of Aquatic Ecology, Riia. <https://interreg-baltic.eu/project/trust-alum/>

JÄRK	AEG	MEETMED	INDIKATIIVNE MAKSUMUS
III järk	2029–2031	Meede: ALUM-töötlus (fosfori keemiline sidumine settesse polüalumiiniumkloriidiga) töödeldaval alal ~3 ha, kevadel või sügisel, mil vee pH on alla 8. Töötlusjärgne seire vähemalt üks aasta, soovitatavalt kauem.	70–110 tuh € + seire 1,5–3 tuh €/a
Vahehindamine	2032	Kordusuuring (vee omadused, fütoplankton, zooplankton, suurtaimestik, sete) ja meetmekava ülevaatamine	15–25 tuh €

Töötluste maksumus ületab väikese omavalitsuse tavapärase hoolduseelarve võimalused ning TRUST ALUM projekti soovitus riikidele on just seetõttu eraldada meetodi rakendamiseks sihtotstarbelist rahastust või toetada vähemalt selle osi, näiteks seiret või annuse modelleerimist⁶⁸. Eestis on sobivaimaks rahastusallikaks Keskkonnainvesteeringute Keskuse veekogude tervendamise ja korrashoiu alamprogramm⁶⁹.

8.6 Meetmete oodatav mõju

I ja II järgu meetmete täieliku rakendamise korral on oodatav fosforikoormuse vähenemine ligikaudu 6–13 kg P aastas, millest suurim osa tuleb sademevee käitlemisest (3–5 kg/a), veetaimestiku eemaldamisest (2–5 kg/a) ja reoveekäitluse korrastamisest (1–3 kg/a). See ületab arvutuslikku vähendamisvajadust (ligikaudu 2 kg P aastas) mitmekordselt, mis annab kindluse ka juhuks, kui koormushinnangu ebamäärasus osutub oodatust suuremaks.

Oodatavad muutused järve seisundis on järgmised. Lühiajaliselt (1–3 aastat) väheneb sademeveega kaasnev heljumi- ja soolakoormus. Keskpikas perspektiivis (3–7 aastat) peaks järvevee üldfosfori sisaldus langema hea seisundi piirile ($\leq 60 \mu\text{g/l}$). Arvestada tuleb, et settes olev mobiliseeritav fosforivaru ($\approx 185 \text{ kg}$) põhjustab taastumise viivituse

⁶⁹ Keskkonnainvesteeringute Keskus. Veekogude tervendamise ja korrashoiu toetusmeetmed. SA Keskkonnainvesteeringute Keskus, Tallinn. <https://kik.ee>

ning seisundi paranemine ei pruugi olla ainuüksi väliskoormuse meetmete tulemusena kohe mõõdetav⁷⁰.

ALUM-töötamise rakendamise korral on oodatav mõju oluliselt kiirem ja suurem. Velnezersi järve kogemuse põhjal võib prognoosida üldfosfori sisalduse langust kuni 90% ja ortofosfaatide sisalduse langust 95–99% ning vee läbipaistvuse paranemist juba kuu jooksul pärast töötlust⁷¹. Kambja järve puhul tähendaks üldfosfori langus praeguselt 74 µg/l tasemelt 30 µg/l tasemele üleminekut kesisest seisundist heasse ning – arvestades, et väga hea seisundi piir on samuti 30 µg/l – lähedale väga hea seisundi piirile. Alumiiniumiühendite toime kestab keskmiselt 10 aastat, soodsatel tingimustel üle kahekümne aasta⁷². Töötamise mõju säilimine sõltub sellest, kas väliskoormuse meetmed on rakendatud ja hooldust tehakse järjepidevalt.

Kambja järve puhul on ALUM-töötusel lisaks otsesele fosforimõjule oluline kaudne mõju: kuna helbed haaravad settimisel kaasa hõljuvad osakesed ja vetikarakud ning matavad enda alla bentiliste vetikate kooslused⁷², peaks vähenema ka niitrohevetikate rohkus, mis on praegu suurtaimestiku seisundihinnangut halvim näitaja (ohtrus 3, halb seisund) ja mis häirib supluskoha kasutamist kõige rohkem.

Meetmete rakendamata jätmise korral (nn nullalternatiiv) on tõenäoline stsenaarium järgmine: sette kuhjumine jätkub kiirusega ligikaudu 1 cm aastas, hapnikuvaba perioodi kestus põhjakihis pikeneb, sisekoormus kasvab ning mingil hetkel toimub üleminek suurtaimede poolt domineeritud selgeveelisest olekust fütoplanktoni poolt domineeritud hägusesse olekusse. Sellisel juhul muutub vesi suvel roheliseks, tekivad vetikaõitsengud ja supluskoha kasutamine muutub perioodiliselt võimatuks. Sellest olekust tagasipöördumine nõuaks oluliselt kulukamaid meetmeid kui praegune ennetamine⁷⁰.

⁷⁰ Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.

⁷¹ Dimante-Deimantovica, I. jt, 2025. New Beginning for Lake Velnezers: Monitoring water quality improvements following the ALUM treatment. Interreg Baltic Sea Region / Latvian Institute of Aquatic Ecology, Riia, 23.08.2025. <https://interreg-baltic.eu/project-posts/trust-alum/new-beginnings-for-lake-velnezers-monitoring-water-quality-improvements-following-the-alum-treatment/>

⁷² Kõiv, T., 2011. Kemomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu, ptk 8.

8.7 Seire

Meetmete tõhususe hindamiseks on vajalik järjepidev seire. Soovitatav seirekava on esitatud tabelis 23.

Tabel 23 Soovitatav Kambja järve seirekava.

NÄITAJA	SAGEDUS	AEG	EESMÄRK
Vee läbipaistvus (Secchi)	4× aastas	mai–september	seisundi kiire indikaator
Üldfosfor, üldlämmastik pinnakihis	2× aastas	juuli, september	koormuse muutuse jälgimine
Hapniku- ja temperatuuriprofiil	3× aastas	juuli, august, veebruar	sisekoormuse riski hindamine
Väljavoolu vooluhulk	4× aastas	sh kevadine suurvesi (aprill)	veebilansi ja viibeaja täpsustamine
Sademeveelasu vee kvaliteet	2× aastas	kevadine sulaperiood, sügis	sademevee meetmete tõhusus
Kordusuuring (elustik + sete)	1× 5 aasta jooksul	kasvuperiood	ökoloogilise seisundi hindamine

Kui otsustatakse ALUM-töötamise kasuks, tuleb seirekava sellega kohandada. TRUST ALUM projekti nõuete kohaselt on vajalik üks täisaasta igakuist töötamiselset seiret (vt Tabel 21), töötamise ajal pH ja aluselise määritamine iga tunni järel pärast iga alumiiniumilisandust ning töötusjärgne seire kord hooajas vähemalt ühe aasta jooksul, soovitatavalt kauem⁷³. Töötusjärgses seires on kohustuslikud näitajad veetase, läbipaistvus, värvus, temperatuur, pH, aluselisus, hapnik, elektrijuhtivus, üldlämmastik, ortofosfaat, üldfosfor ja üldalumiinium. Alumiiniumisisalduse jälgimine on avalikkuse usalduse seisukohalt eriti oluline: Velnezersi järves tõusis alumiiniumi sisaldus ootuspäraselt pärast töötust, kuid püsis ohutult allpool joogivee piirväärtust ja on seejärel ühtlaselt langenud⁷¹.

8.8 Õiguslik raamistik

Kambja järve kaldal kehtivad järgmised piirangud.

⁷³ TRUST ALUM, 2025. Toolbox: ALUM treatment. Recommendations, technical documentation and monitoring requirements, roadmap. Interreg Baltic Sea Region, Rostock. https://interreg-baltic.eu/wp-content/uploads/2025/05/TOOLBOX_FINAL.pdf

Veekaitsevöönd ulatub järve puhul 10 meetrini veekogu tavalisest veepiirist⁷⁴. Veekaitsevööndis on muu hulgas keelatud maavara ja maa-ainese kaevandamine, puu- ja põõsarinde raie ilma Keskkonnaameti nõusolekuta (välja arvatud maaparandussüsteemi ehitamiseks ja hoiuks), maaharimine, väetise ja reoveesette kasutamine ning sõnnikuhoidla ja -auna paigaldamine, registreerimata keemilise taimekaitsevahendi kasutamine, ehitamine (välja arvatud veekaitse ja ranna- ning kaldakaitse eesmärkidega kooskõlas olev ehitamine) ning pinnase kahjustamine ja muu tegevus, mis põhjustab veekogu ranna või kalda erosiooni või hajuheidet⁷⁴.

Lisaks kehtivad järvel kalda piiranguvöönd ja ehituskeeluvöönd⁷⁵. Kuna Kambja järve pindala on alla 10 hektari, on piiranguvöönd 50 m ja ehituskeeluvöönd 25 m laiune. Kambja alevik on tiheasustusala, kus ehituskeeld ei laiene kehtestatud detailplaneeringuga aladele.

Reoveekogumisalal asumatel kinnistutel kehtib ühisveevärgi ja -kanalisatsiooniga liitumise kohustus ning omavalitsusel on kohustus tagada ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamine⁷⁶. See annab vallale õigusliku aluse meetme 2 rakendamiseks.

Meetmekava elluviimist saab kaasrahastada Keskkonnainvesteeringute Keskuse veekogude tervendamise ja korrashoiu toetusmeetmetest⁷⁷. Toetuse taotlemisel hinnatakse muu hulgas projekti vajalikkust, teostatavust, jätkusuutlikkust ja keskkonnakaitselikust mõju ning vajalike uuringute olemasolu.

⁷⁴ Veeseadus. RT I, 22.02.2019, 1 (viimane redaktsioon Riigi Teatajas).

<https://www.riigiteataja.ee/akt/128122024060>

⁷⁵ Looduskaitseadus. RT I 2004, 38, 258 (viimane redaktsioon Riigi Teatajas).

<https://www.riigiteataja.ee/akt/126012018010>

⁷⁶ Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus. RT I 1999, 25, 363 (viimane redaktsioon Riigi Teatajas).

<https://www.riigiteataja.ee/akt/128122024024>

⁷⁷ Keskkonnainvesteeringute Keskus. Veekogude tervendamise ja korrashoiu toetusmeetmed. SA Keskkonnainvesteeringute Keskus, Tallinn. <https://kik.ee>

9 KOKKUVÕTE

Kambja järv (VEE2094300) on Kambja alevikus asuv 3,98 ha suuruse veepeegli ja ligikaudu 115 000 m³ veemahuga tehiskjärv, mille valgala pindala on 0,75 km². Järve keskmine sügavus on 2,9 m ja suurim sügavus 6,1 m. Järv toitub peamiselt põhjaveest. Pindmine läbivool on väga väike ja järv toimib praktiliselt umbjärvena.

Järve ökoloogiline seisund on kesine. Seitsmest hinnatud kvaliteedielemendist olid kaks (fütoplankton ja suurselgrootud) heas ja viis (vee abiootilised omadused, zooplankton, suurtaimestik, fütobentos ja kalastik) kesises seisundis. Määravaks näitajaks on üldfosfori sisaldus järvevees (keskmiselt 73,7 µg/l), mis ületab hea seisundi piiri (60 µg/l).

Järve iseloomustab praegu selgeveeline, suurtaimede poolt domineeritud olek. Vesi on läbipaistev (keskmiselt 2,74 m), fütoplanktoni biomass väike ja vetikaõitsenguid ei esine. See tasakaal on aga ebapüsiv: veesisene taimestik (dominandiks võõrliik kanada vesikat) ja niitrohevetikad vahavad, suvel tekib põhjalähedases kihis täielik hapnikupuudus ja settes on suur kergesti mobiliseeritav fosforivaru.

Sette paksuse mõõtmisel 19 punktis saadi keskmiseks settekihi paksuseks 1,83 m ja sette kogumahuks ligikaudu 73 000 m³. Sete on koostiselt terrigeenne ja suhteliselt hiljuti kujunenud. Hinnanguline settekiirus on ligikaudu 1,1 cm aastas. Sette pindmise 10 cm kihi kergesti vabanev fosforivaru on ligikaudu 44 kg ja kogu mobiliseeritav varu ligikaudu 185 kg, mis ületab järvevees lahustunud fosfori koguse vastavalt 5 ja 20 korda. Inkubatsioonikatse näitas, et hapnikuta tingimustes tõuseb sette kohal oleva vee fosfaadisaldus 12 ööpäevaga ligikaudu 40 korda – nii suurt muutust ei ole EMÜ teiste Eesti väikejärvede setete katsetes varem täheldatud.

Valgalalt järve kanduv arvutuslik toitainete koormus on 573 kg lämmastikku ja 31,8 kg fosforit aastas. Fosforikoormusest annab suurima osa õuemaa (58%), millele järgnevad teed ja parklad (22%) ning haritav maa (13%). Väliskoormuse seisukohalt on olulisim leid, et järve edelanurgas asuvast sademeveelasust juhitud vesi on selgelt saastunud: 18.11.2025 mõõdeti seal elektrijuhtivust 10 075 µS/cm, üldfosforit 0,31 mg/l ja BHT₅ 21 mgO₂/l.

Vollenweideri mudeli järgi on Kambja järve lubatav fosforikoormus hea seisundi säilitamiseks ligikaudu 8,4 kg P aastas, järve tegelik kogukoormus aga ligikaudu 10,3 kg P aastas. Koormust tuleb hea seisundi saavutamiseks vähendada ligikaudu 2 kg P aastas ehk ligikaudu 20%. Valgala potentsiaalne koormus (31,8 kg P/a) ületab lubatavat ligikaudu neljakordselt, mistõttu iga tegevus, mis suunab järve täiendavalt sademevett, halvendab olukorda kiiresti.

Meetmekava on kaheosaline. Esimene osa keskendub väliskoormuse vähendamisele ja järve hooldusele: esimeses järgus (2026–2028) soovitatakse sademevee eelpuhastust ja liiva- ning õlipüüduuri regulaarset hooldust, reoveekäitluse inventuuri ja järelevalvet, veekaitsevööndi tagamist, elanike teavitust ning libedustõrje ümberkorraldust. Teises järgus (2027–2030) lisanduvad veetaimestiku niitmine koos biomassi eemaldamisega ja iga-aastane lihtseire. Nende meetmete oodatav mõju on fosforikoormuse vähenemine 6–13 kg P aastas, mis ületab arvutuslikku vähendamisvajadust mitmekordselt.

Meetmekava teine osa käsitleb sisekoormust. Sobivaimaks lahenduseks peame fosfori keemilist sidumist settesse alumiiniumiga (ALUM-meetod), mida rakendati 2024. aasta oktoobris esimest korda Balti riikides Riia Velnezersis järves Interreg projekti TRUST ALUM raames. Velnezersis järv on Kambja järvega silmatorkavalt sarnane – 3,5 ha, keskmine sügavus 3,5 m, praktiliselt puuduv läbivool ja töötluseelne üldfosfori sisaldus 0,07 mg/l ehk sama, mis Kambja järves praegu. Töötluse tulemusena langes Velnezersis järve üldfosfor kuni 91% ja ortofosfaadid 95–99%, vee läbipaistvus kasvas kuu ajaga 0,8 meetrilt 2,6 meetrini ning järve ökoloogiline seisund tõusis kesise ja halva piirilt heaks.

Kambja järv vastab ALUM-meetodi rakendamise põhitingimustele: läbivool praktiliselt puudub, settes on suur ajalooline fosforivaru, vee puhverduvusvõime on hea (üldaluselisus 147 mg HCO_3^-/l) ja väliskoormus on väike ning ohjatatav. Tähelepanu vajavad kolm asjaolu: suvine pinnakihi pH tõuseb üle 9 (töötlus tuleb kavandada kevadesse või sügisesse), veesisene taimestik on tihe (niitmine tuleb teha enne töötlust) ning järve põhjaotsas asub arheoloogiamälestis. Esialgse hinnangu kohaselt on vajalik alumiiniumikogus 1,5–3 tonni Al ligikaudu 3 ha suurusel töödeldaval alal. Töötluse maksumus on hinnanguliselt 70 000 – 110 000 eurot ja eeluuringud 24 000 – 46 000 eurot, kokku 95 000 – 160 000 eurot. Võrdluseks: setete eemaldamine mahus 73 000 m³ maksaks 1,1–2,2 miljonit eurot ehk 10–20 korda rohkem.

Soovitame alustada ALUM-töötluse eeluuringutega – batümeetiline mõõdistus, seire täiendamine täisaastaks, mitmest punktist setteuring, järve mudel ja annuse modelleerimine – juba paralleelselt esimese järgu väliskoormuse meetmetega, et töötlus oleks võimalik ellu viia aastatel 2029–2031. Meetmete rakendamata jätmisel on tõenäoline järve üleminek fütoplanktoni poolt domineeritud hägusesse olekusse koos vetikaõitsengute ja supluskoha kasutuskõlbmatuks muutumisega.

10 KASUTATUD MATERJALID

Viited allikatele on esitatud allmärkustena. Alljärgnevalt on esitatud koondloetelu.

10.1 Käesoleva töö osad ja alusdokumendid

Ott, I. (vastutav täitja), Timm, H., Rakko, A., Lehtpuu, M., Blank, K., Ott, K., Palm, A., Krause, T., Pall, P., 2026. Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu. Käesoleva aruande lisa 1.

Normak-Käosaar, K., Pall, P., 2026. Kambja järve sisse- ja väljavoolude veeseire tulemused 2025–2026. Maves OÜ, Tallinn. Käesoleva aruande lisa 2.

Normak-Käosaar, K., Eller, E., 2026. Kambja järve settepakuse mõõtmised 14.01.2026. Maves OÜ, Tallinn. Käesoleva aruande lisa 3.

Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, 2025–2026. Katseprotokollid TA25004053, TA25004054, TA25005827, TA25007300–TA25007302, TA25008069, TA25008070, TA26001057, TA26001058, TA26002390. EKUK Tartu osakond, Tartu. Käesoleva aruande lisa 4.

Kambja Vallavalitsus, 2025. Tehniline kirjeldus. Riigihange nr 294466 „Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine”. Kambja Vallavalitsus. <https://riigihanked.riik.ee>

Kambja Vallavalitsus, 2025. Hankedokumendid. Riigihange nr 294466 „Kambja järve seisundi uuring ja tervendamismeetmete väljatöötamine”. Kambja Vallavalitsus.

Bomm, K., 2026. Kambja aleviku kinnistute reoveekäitluse andmed (väljavõte ehisregistrist). Kambja Vallavalitsus, e-kiri 26.05.2026.

10.2 Varasemad tööd Kambja järve kohta

Kuusik, R., Piir, A., 2008. Kambja järve saneerimise ehitusprojekt. Töö nr IB 50/2007. Inseneribüroo Urmas Nugin OÜ, Tartu.

Järvet, A., Pajula, R., Piir, A., Laanetu, N. 2008. Kambja järve saneerimisprojekti keskkonnamõju hindamise aruanne.

Tenno, J., 1998. Kambja järve vee- ja mudaproovide võtmise aruanne. OÜ Tartu Keskkonnauuringud, Tartu. Tellija: Tartu Maavalitsuse keskkonnaosakond.

Kambja II paisu inventuur, 2012. Objekt 9120142. Asukoha- ja juurdepääsu plaanid ning fotod.

Teppo, T., 2016. Eesti järvetervendusprojektide tulemuslikkuse hindamine ja meetmete tõhusus. Magistritöö. Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

Lieberg, E., 2025. Teadlased võtavad Kambja järve aastaks luubi alla. Tartu Postimees, 23.07.2025. Postimees Grupp AS, Tartu.

10.3 Metoodika ja järvede tervendamine

Kõiv, T., Ott, I. (toim.), 2011. Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.

- Kõiv, T., 2011. Kemomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu, ptk 8.
- Laas, A., Mugra, T., Sammalkorpi, I., Hamilton, D. P., 2011. Senised kogemused Eestis ja mujal maailmas. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu. <https://dspace.emu.ee/server/api/core/bitstreams/7450b494-dc3a-4618-bd5f-42d93a38cdb1/content>
- Kisand, A., Timm, H., 2011. Setete eemaldamine. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.
- Panksep, K., Pedusaar, T., Järvalt, A., 2011. Biomanipulatsioon. Rmt: Järvede tervendamise käsiraamat. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.
- Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A., Nichols, S. A., 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton.
- Jørgensen, S. E., Löffler, H., Rast, W., Straškraba, M., 2004. Lake and Reservoir Management. Developments in Water Science 54. Elsevier, Amsterdam.
- Vollenweider, R. A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* 33, 53–83.
- OECD, 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Rydin, E., Welch, E. B., 1998. Aluminum dose required to inactivate phosphate in lake sediments. *Water Research* 32(10), 2969–2976.
- North American Lake Management Society, 2021. The Use of Alum for Lake Management. NALMS Position Paper, Madison. <https://www.nalms.org/nalms-position-papers/the-use-of-alum-for-lake-management/>
- Ott, I., Laarmaa, R., Maileht, K., Sepp, M., Saar, K., Lehtpuu, M., Timm, H., Palm, A., Krause, T., Tamre, R., 2020. Ao ja Nõmme Vesikijärve paisjärvede mõju veekogumile. Projekti lõpparuanne. Eesti Maaülikool, Tallinn. <https://www.v-maarja.ee/sites/default/files/documents/2025-12/Ao%20ja%20N%C3%B5mme%20Vesikij%C3%A4rve%20paisj%C3%A4rvede%20m%C3%B5ju%20veekogumile.pdf>
- Normak, K., Ott, I., Rakko, A., Vilbaste, S., Ott, K., Pall, P., Timm, H., Blank, K., Palm, A., Krause, T., 2024. Uuring Vana-Koiola järve seisundi määramiseks ning järve tervendamiseks vajalike meetmete välja töötamiseks. Töö nr 22079. Maves OÜ, Tallinn. Tellija: Põlva Vallavalitsus.
- Hajukoormuse hindamise metoodika ja ärakande koefitsiendid, 2013. Eesti Keskkonnaministeerium, Tallinn.
- Vt ka Iital, A., Loigu, E., 2007. Hajukoormuse hindamine. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.
- Maastik, A., 2006. Veemajanduse alused. Eesti Maaülikool, Tartu.
- Kisand, A., 2008. Sediment phosphorus forms and their role in lake ecosystems. Doktoritöö. Eesti Maaülikool, Tartu.
- Psenner, R., Puccsko, R., Sager, M., 1984. Die Fraktionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten. *Archiv für Hydrobiologie, Suppl.* 70, 111–155.
- Saar, K., Lagle-Zirnask, K., 2018. Suplejate sügelushaigus, millised on põhjused? Ettekanne Eesti Veepäeva konverentsil „Järvede majandamine ja kaitse“ 21.03.2018. Eesti Maaülikool, Tartu.

10.4 ALUM-meetod ja TRUST ALUM projekt

TRUST ALUM, 2023–2025. Building trust in target groups for ALUM treatment – an effective, yet misunderstood method for water quality improvement. Interreg Baltic Sea Region 2021–2027 projekt. Juhtpartner: Latvian Institute of Aquatic Ecology, Rii. <https://interreg-baltic.eu/project/trust-alum/>

TRUST ALUM, 2025. Toolbox: ALUM treatment. Recommendations, technical documentation and monitoring requirements, roadmap. Interreg Baltic Sea Region, Rostock. https://interreg-baltic.eu/wp-content/uploads/2025/05/TOOLBOX_FINAL.pdf

Dimante-Deimantovica, I. jt, 2025. New Beginning for Lake Velnezers: Monitoring water quality improvements following the ALUM treatment. Interreg Baltic Sea Region / Latvian Institute of Aquatic Ecology, Rii, 23.08.2025. <https://interreg-baltic.eu/project-posts/trust-alum/new-beginnings-for-lake-velnezers-monitoring-water-quality-improvements-following-the-alum-treatment/>

Latvian Institute of Aquatic Ecology, 2025. Velnezers – seireandmed ja tervendamise ülevaade. Latvian Institute of Aquatic Ecology, Rii. <https://lhei.lv/velnezers/>

Stockholm Environment Institute Tallinn Centre, 2025. TRUST ALUM. SEI Tallinn, Tallinn. <https://www.sei.org/projects/trust-alum-eng/>

LSM, 2024. Polluted Riga lake being cleaned with new method. Latvijas Sabiedriskie mediji, 16.10.2024. <https://eng.lsm.lv/article/society/environment/16.10.2024-polluted-riga-lake-being-cleaned-with-new-method.a572700/>

10.5 Õigusaktid, andmebaasid ja muud allikad

Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik (veepoliitika raamdirektiiv). Euroopa Liidu Teataja L 327, 22.12.2000. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>

Keskkonnaministri 16.04.2020 määrus nr 19 „Pinnaveekogumite nimekiri, pinnaveekogumite ja territoriaalmeri seisundiklasside määramise kord, pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside kvaliteedinäitajate väärtused ja pinnaveekogumiga hõlmamata veekogude kvaliteedinäitajate väärtused”. RT I, 21.04.2020, 61. <https://www.riigiteataja.ee/akt/121042020061>

Veeseadus. RT I, 22.02.2019, 1 (viimane redaktsioon Riigi Teatajas). <https://www.riigiteataja.ee/akt/128122024060>

Looduskaitseadus. RT I 2004, 38, 258 (viimane redaktsioon Riigi Teatajas). <https://www.riigiteataja.ee/akt/126012018010>

Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus. RT I 1999, 25, 363 (viimane redaktsioon Riigi Teatajas). <https://www.riigiteataja.ee/akt/128122024024>

Ida-Eesti vesikonna veemajanduskava 2022–2027. Kliimaministeerium, Tallinn. <https://envir.ee/veemajanduskavad-2022-2027>

Keskkonnaportaali. Veekogude register: Kambja järv (VEE2094300). Kliimaministeerium, Tallinn. https://keskkonnaportal.ee/register?kkr_kood=VEE2094300

EELIS – Eesti looduse infosüsteem. Keskkonnaagentuur, Tallinn. <https://infoleht.keskkonnainfo.ee>

Eesti topograafia andmekogu (ETAK) maakatte kaardikihid, 2026. Maa- ja Ruumiamet, Tallinn. <https://geoportal.maaamet.ee>

Maa- ja Ruumiameti ortofotod ja kaldaerofotod. Maa- ja Ruumiamet, Tallinn. <https://xgis.maaamet.ee>

Keskkonnalubade infosüsteem KOTKAS. Keskkonnaamet, Tallinn. <https://kotkas.envir.ee>

Keskkonnainvesteeringute Keskus. Veekogude tervendamise ja korrashoiu toetusmeetmed. SA
Keskkonnainvesteeringute Keskus, Tallinn. <https://kik.ee>