



Parasiitide riski maandamine, eeskätt pinnavett kasutavates veevõrkides (eriti tulvaperioodidel) ja sinivetika toksiooni ohu kindlakstegemine

KIK projekt nr RES.4.10.24-0040

Projekti uuringuraport

Koostajad: Kristina Aidla, Natalja Šubina, Avo Telling (Terviseamet)

Kaasatud konsultant: Annika Mikomägi (Kliimaministeerium)

KIKi koordinaator: Krister Randver

Uuringuid teostas Terviseameti rahvatervise labor

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
Uuringu metoodika.....	5
Kirjanduse ülevaade.....	6
Krüptosporiidium ja Giardia pinnavees.....	7
Iseloomustus ja riskifaktorid.....	8
Epidemioloogia ja tervisemõjud.....	10
Keskkonnaseire ja QMRA näited.....	10
Parasiitide tuvastamise meetodid vees: traditsioonilised ja molekulaarsed lähenemised.....	11
Joogivee töötlemine ja jälgimine praktikas.....	11
Mikrotsüstiin-LR leidumine ja tsüanobakterite vohamine.....	13
Mikrotsüstiin-LR omadused.....	14
Pinnavee kasutamine joogiveena – riskid ja seosed.....	16
Rahvusvahelised regulatsioonid.....	16
Vee puhastusmeetodid AS Narva Vesi ja AS Tallinna Vesi veepuhastusjaamades .	21
Narva veepuhastusjaama tehnoloogilise protsessi kirjeldus.....	21
Tallinna veepuhastusjaama tehnoloogilise protsessi kirjeldus.....	22
Uuringu tulemused ja analüüs.....	23
Tallinna pinnavesi. Ülemiste veepuhastusjaam.....	32
Narva pinnavesi. Narva veepuhastusjaam.....	37
Tallinna ja Narva pinnavee allikate vee temperatuurid aastatel 2020 – 2025.....	41
Parasiitide esinemissageduse ja tasemete võrdlus Tallinna ja Narva pinnavees.	43
Mikrotsüstiin-LR esinemine pinnavees.....	43
Statistilised erinevused Tallinna ja Narva pinnavee vahel.....	44
Temperatuuri, ajatrendi, asukoha ja parasiitide ning mikrotsüstiin-LR seosed.....	45
Keskmised kuised sademed, pinnavee temperatuur, parasiitide ja mikrotsüstiin-LR sisaldus.....	47
Puhastustehnoloogiate efektiivsus uuritavate näitajate suhtes.....	57
Krüptosporidioosi ja giardiaasi (lambliaasi) haigestumise analüüs Eestis.....	58
Krüptosporidioos.....	59

Giardiaas (lambliaas).....	60
Kokkuvõte ja järeldused.....	62
Soovitused	66
Kasutatud kirjandus	68

Sissejuhatus

Kliimamuutused põhjustavad nii maismaa kui ka merealade temperatuuride tõusu ning sademete muustrite muutumist, mis omakorda toob kaasa ülemaailmse meretaseme tõusu, rannikuerosiooni ning sagedasemad ekstreemsed ilmastikuolud, sealhulgas põuad, üleujutused ja tormid. Sademete ja hüdroloogiliste tingimuste muutused mõjutavad otseselt vee kvaliteeti: tugevad vihmasajud võivad keskkonnast vette kanda saasteaineid ja patogeene, samas kui pikaajalised põuaperioodid võivad kontsentreerida vees olevaid saasteaineid. Soojemad veetemperatuurid, suurenenud sademed ja vähene jääkate soodustavad ka sinivetikate vohamist, mis võib viia sinivetikate toksiinide sattumiseni joogivette. Temperatuuri tõus mõjutab ka fenoloogiat, mõjutades vees ja maal elavate organismide käitumist ning elutsüklit, mis võib suurendada invasiivsete liikide, kahjurite ja teatavate inimestel esinevate haiguste sagedust.

Eestis kasutatakse pinnavett joogivee tootmiseks peamiselt kahes piirkonnas: Tallinnas ja Narvas. Tallinnas pärineb suurem osa joogiveest Ülemiste järvest, mis varustab ka mitut Tallinna lähipiirkonna asulat, teenindades kokku umbes 395 000 tarbijat. Narvas kasutatakse joogivee allikana Narva jõe vett, teenindades umbes 53 626 tarbijat. Kokku sõltub ligikaudu kolmandik Eesti elanikkonnast pinnaveeallikatest. See rõhutab vajadust pöörata erilist tähelepanu riskiteguritele, mille tõenäoline suurenemine on seotud kliimasoojenemisega, et tagada elanikkonna tervisekaitse.

Hetkel puudub Eestis rutiinne andmestik, mis võimaldaks hinnata, kas kliimamuutustel on mõju vees levivate parasiitide ja sinivetikate toksiinide levikule ning kas need kujutavad endast reaalselt terviseriski.

Projekti eesmärk oli analüüsida pinnavett kasutavate veevõrkude joogivee kliimamuutustest tulenevaid riske parasiitide ja sinivetikate toksiinide näitel ning vajadusel välja töötada riskide maandamise meetmed. Projekti tulemusi kommenteeriti joogiveekäitlejatele, omavalitsustele, tervishoiuteenuse osutajatele ja poliitikakujundajatele.

Projekti raames hinnati pinnavett kasutavate veevõrkude (Tallinna, sealhulgas Harku, ja Narva veevõrk) vee kvaliteeti allikast kuni tarbija kraanini. Uuring keskendus parasiitide (*Giardia* tsüstide, *Krüptosporiidiumi* ootsüstide) ja mikrotsüstiin-LR kontsentratsiooni seirele, mida viidi läbi perioodiliselt – 2 korda kuus ning teatud perioodidel kord nädalas – ühe aasta jooksul. Seire sagedus sõltus vee temperatuuride muutustest. Kogutud andmed annavad olulist teavet parasiitide ja sinivetikate toksiinide leviku kohta ning toetavad elanikkonnale nõuetekohase ja ohutu joogivee tagamist.

Projekt sai rahastuse Sihtasutus Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK) Veemajanduskavade meetmete programmist. Projekti kestus: 01.08.2024–27.02.2026.

Uuringu metoodika

Projekti raames viidi läbi pinnavett kasutavate veevõrkude tarbimiseladel joogivee kliimamuutustest tulenevate riskide hindamine, keskendudes valitud parasiitidele (Giardia tsüstid ja Krüptosporiidiumi ootsüstid) ning sinivetikate toksiinile (mikrotsüstiin-LR). Need on rahvusvaheliselt tunnustatud joogivee ohutust mõjutavad tegurid ning nende jälgimine võimaldab hinnata veekvaliteeti ja ennetada potentsiaalseid terviseriske, sealhulgas muutunud kliimatingimustest tulenevaid riske. Käesoleva uuringu raames keskendume neile näitajatele, kuid võimalusel võib edaspidiseks analüüsiks kaaluda ka teiste algloomade ja toksiinide kaasamist.

Uuringu ulatus ja proovivõtu strateegia

Uuring hõlmab pinnavett kasutavate veevõrkude, Tallinna pinnaveepiirkonna (sh Harku) ja Narva linna veevärgi, vee kvaliteedi hindamist allikast kuni tarbija kraanini. Parasiitide ja mikrotsüstiin-LR sisaldust hinnati neljas proovivõtupunktis:

- Joogivee allikas (toorvesi)
- Peale puhastusprotsesse (enne lõpliku desinfitseerimist)
- Peale veetötlust (peale lõplikku desinfitseerimist)
- Tarbija kraan (Tallinnas: Järve Õendus- ja Hooldushaigla, aadressil Tervise 8 / Energia 8, 13415 Tallinn; Narvas: Narva Sotsiaaltöökeskus, aadressil Rahu põik 10, 20604 Narva)

Proovide kogumine toimus terve aasta vältel, alustades 2024. aasta oktoobris ja lõpetades 2025. aasta septembri lõpus. Nädalase seire sagedus kehtis, kuni veetemperatuur langes alla 10 °C; külmal perioodil võeti proove kaks korda kuus. Alates 2025. aasta aprillist, kui Ülemiste järve temperatuur tõusis 10,0–11,5 °C (Narva vees 6,1–7,2 °C), võeti proove iganädalaselt, arvestades kirjandusandmete põhjal parasiitide elujõulisust ka madalamatel temperatuuridel.

Proove koguti:

- Külmal perioodil (oktoober 2024 – märts 2025): kaks korda kuus
- Soojal perioodil (aprill 2025 – september 2025): kord nädalas

Analüüsiks koguti 12 kuu jooksul kokku 312 proovi mikrotsüstiin-LR kohta ning 312 proovi Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide kohta, 624 proovi mõlemas veepuhastusjaamas ja nende teeninduspiirkondades kokku.

Uuringu ülesanded

- Proovide võtmine ja laboratoorsed analüüsid, hinnates:
 - Giardia tsüste
 - Krüptosporiidiumi ootsüste
 - Sinivetika toksiooni mikrotsüstiin-LR
- Kogutud andmete analüüs

- Kirjanduse ülevaate koostamine
- Lõppraporti koostamine ning vajadusel leevendusmeetmete väljatöötamine
- Tulemuste avalikustamine Terviseameti veebilehel ja tulemusi tutvustava koosoleku korraldamine

Täpsustatud metoodika

- Koostati proovivõtu kava, mille alusel koguti joogivee proove Tallinnas ja Narvas.
- Mõõdeti veetemperatuuri iga proovivõtukohta juures.
- Täideti proovivõtu protokoll ja kaaskiri iga proovivõtupunkti kohta.
- Giardia ja Krüptosporiidiumi (oo)tsüstide analüüsil kasutati järgneval standardil põhinevat meetodit: EVS-ISO 15553:2023 *Vee kvaliteet. Veest Krüptosporiidiumi ootsüstide ja Giardia tsüstide isoleerimine ning identifitseerimine*. Analüütiline meetod hõlmas kõiki Krüptosporiidiumi ja Giardia liike ega võimaldanud liikide eristamist.
- Mikrotsüstiin-LR analüüsil kasutati järgneval standardil põhinevat meetodit: ISO 22104:2021 *Water quality-Determination of microcystins- Method using liquid chromatography and tandem mass spectrometry* (LC-MS/MS).
- Kogutud andmete ja kirjanduse põhjal koostati kokkuvõtte ning anti soovitusi.
- Uuringutulemuste analüüsimiseks kasutati statistilist andmetöötlust (*Pearson'i* korrelatsiooninäitajat).
- Tulemuste arutelu osas on kasutatud "riskinäitaja" mõistet kirjeldamiseks seosesid teiste faktoritega. Riskinäitaja uuringu tulemuste tõlgendamisel tähendab järgmist: tugev seos ($>0,4$); nõrk seos ($<0,2$).
- Projekti tulemustest teadlikkuse tõstmiseks korraldatakse teabepäev joogiveekäitlejatele ja teistele huvitatud osapooltele sh poliitikakujundajad.

Kirjanduse ülevaade

Ulatus, eesmärgid ja meetodid

Kirjanduse ülevaade keskendub pinnavee kvaliteedile ning mikrobioloogilistele näitajatele, sealhulgas Krüptosporiidium, Giardia ja sinivetikatoksiinile mikrotsüstiin-LR. Peamine fookus oli uuringutel aastatel 2010–2025, võttes arvesse ka teiste riikide kogemusi. Lisaks vaadeldi teadusartikleid ning erinevate riikide ja rahvusvaheliste allikate aruanded, mis käsitlesid mikroorganismide ja toksiinide levikut, tuvastust ja tervisemõjusid.

Ülevaade

Kliimamuutused mõjutavad oluliselt mageveeökosüsteeme ja nende kaudu ka joogivee kvaliteeti ja ohutust (IPCC, 2022). Suurenev sademete hulk, tõusev veetemperatuur ning ekstreemsed ilmastikunähtused (tulvaveed, põuad) loovad soodsa keskkonna veepõhiste patogeenide ja toksiinide, sealhulgas parasiitide (nt Krüptosporiidium ja

Giardia) ning tsüanobakterite poolt toodetavate toksiinide (nt mikrotsüstiin-LR) levikuks pinnavees (WHO, 2022; IPCC, 2022). Pisut alla poole Eesti elanikkonnast tarbib joogiveeks vett, mis saadakse pinnaveest, mistõttu pinnavee kvaliteedi muutused võivad kujutada ohtu rahvatervisele (Terviseamet, 2025).

Krüptosporiidium ja Giardia pinnavees

Üldine iseloomustus

Krüptosporiidium (*Cryptosporidium* spp.) ja Giardia (*Giardia duodenalis*) on levinud veepõhised enteropatogeensed parasiidid, mis võivad põhjustada inimestel seedetrakti haigusi (WHO, 2022). Nende ootsüstid ja tsüstid on keskkonnas väga vastupidavad ning tavapärase klooripõhine desinfitseerimine ei pruugi neid efektiivselt kahjutuks muuta, mistõttu võivad need jõuda joogiveeni juhul, kui veetöötluses ei kasutata piisavaid füüsilisi barjääre või täiendavaid inaktiveerivaid tehnoloogiaid (WHO, 2022; Efstratiou, Ongerth ja Karanis, 2017).

Kirjanduses on esitatud erinevaid tulemusi Krüptosporiidiumi ja Giardia (oo)tsüstide elujõulisuse ning säilivuse kohta veekeskkonnas sõltuvalt temperatuurist. Mitmed allikad viitavad sellele, et nende parasiitide (oo)tsüstid võivad püsida elujõulisena madalatel kuni mõõdukatel temperatuuridel (ligikaudu 0–15 °C), kus inaktiveerumine toimub aeglasemalt, samas kui kõrgematel temperatuuridel (>20 °C) võib elujõulisus väheneda (Robertson ja Gjerde, 2006; Health Canada, 2019; Olson, et al., 1999). Samal ajal on kirjanduses kirjeldatud, et soojematel perioodidel võib patogeeni leidumine või kontsentratsioon pinnavees suurened teiste keskkonnategurite koosmõjul, sealhulgas suurenenud äravoolu ja valguspõhise reostuskoormuse tõttu (WHO, 2002). Samas on ka uuringuid, mis osutavad (oo)tsüstide püsivusele soojemates tingimustes. Seega viitab kirjandus, et nende parasiitide esinemine ja püsimine veekeskkonnas on seotud mitmete omavahel põimuvate teguritega ning võib varieeruda sõltuvalt keskkonnatingimustest ja geograafilisest piirkonnast.

Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) käsitluste kohaselt on Giardia nakkusdoos väga madal ning haigestumine võib tekkida juba väikese arvu tsüstide allaneelamisel. WHO ja teaduskirjanduse põhjal on kirjeldatud nakkuse teket ligikaudu 10 tsüsti või isegi väiksema hulga korral, sõltuvalt peremehe vastuvõtlikkusest ja parasiidi tüvest.

WHO andmetel on ka Krüptosporiidiumi nakkusdoos väga madal ning nakkus võib tekkida väga väikese arvu ootsüstide allaneelamisel. WHO rõhutab, et haigestumisi on täheldatud juba kümnete ootsüstide korral ning et nakkuse tekkeks ei ole võimalik määratleda kindlat lävendit, kuna see sõltub nii parasiidi tüvest kui ka peremehe immuunseisundist (WHO, 2022).

Leviku tegurid pinnavees.

Ootsüstide ja tsüstide esinemist pinnavees mõjutavad peamiselt fekaalne reostus (nii inim- kui loomne päritolu), hüdroloogilised sündmused (nt tugevad vihmad, üleujutused) ja erinevad keskkonnategurid, mis soodustavad nende veekeskonda sattumist ja püsivust (Wang, Wang ja Cao, 2023; *Europ. Clim. Adapt. Plat.*, 2025):

- tugevate sademetega kaasnev pinnase ja reovee äravool võib transportida fekaalset materjali veekogudesse, suurendades ootsüstide ja tsüstide kontsentratsiooni;
- üleujutused ja tormid võivad episoodiliselt suurendada ootsüstide sissevoolu veekogudesse, sest sademed soodustavad saaste kandumist valgalalt veekogudesse;
- temperatuur mõjutab ootsüstide säilimist ja transporti: soojem temperatuur ja niisked tingimused võivad soodustada nende püsivust ja levikut.

Kliimamuutuste roll

Uuemad ülevaated ja mudel-põhised uuringud näitavad, et kliimamuutustega seotud muutused sadememustrites ja üleujutuste sageduses suurendavad pinnaveekogude häiritust ning võivad kasvatada Krüptosporiidiumi ootsüstide ja Giardia tsüstide esinemise tõenäosust pinnavees (Wang, Wang & Cao, 2023; *Euro. Clim. Adapt. Plat.*, 2025). Riskid on eriti olulised arengumaades, kus veekaitsemeetmed võivad olla ebapiisavad ja veetötlus ei pruugi katta ootamatuid toorvee kvaliteedi langusi (*Euro. Clim. Adapt. Plat.*, 2025). Kvantitatiivsed riskihindamised (QMRA) näitavad, et pärast tugevaid sademesündmusi või ekstreemseid kliimaolusid kasvab levimus ja tarbijani jõudev risk, mis nõuab paindlikku seiret ja operatiivset reageerimist (Eregno, F. E., *et al.*, 2016).

Iseloomustus ja riskifaktorid

Krüptosporiidium

Bioloogia ja tervisemõjud: Krüptosporiidium on algloom, mis võib põhjustada krüptosporidioosi – seedetrakti haigust, mille raskusaste varieerub; oht on eriti suur immuunpuudulikkusega isikutel. Peamised sümptomid on äge vesine kõhulahtisus, millega võivad kaasneda kõhuvalud, iiveldus ja palavik. Tervetel inimestel on haigus tavaliselt isepiirduv ja kestab 1–2 nädalat (CDC, 2024).

Keskkonnas püsivus ja transport: Ootsüstid on väga vastupidavad – suudavad pinnavees püsida pikemat aega ning levik on peamiselt fekaal-oraalne (Efstratiou, Ongerth ja Karanis, 2017). Haigustekitajad võivad levida haigelt inimeselt tervele inimesele temaga lähedal kokkupuutumisel, loomalt inimesele (näiteks looma/linnu farmide küllastamisel või seal töötamisel, samuti lemmikloomadelt), joogivee, toorpiima või toidu kaudu (Terviseamet, *Krüptos...*).

Tuvastusmeetodid: Lisaks traditsioonilistele meetoditele (mikroskoopia, immunomärgistus) on viimastel aastatel levinud molekulaarsed meetodid (nt *real-time* PCR), mis võimaldavad tundlikumat ja spetsiifilisemat tuvastust (Efstratiou, Ongerth ja Karanis, 2017; Xiao, L., *et al.*, 2017; Ligda, P. *et al.*, 2020).

Kliimamuutustundlikkus: Uurimused näitavad, et intensiivsed sademed ja üleujutused võivad suurendada Krüptosporiidiumi esinemist pinnavees, sest suure sademete hulga ning voolumuutustega kaasneb reostuse äravool suuremates kogustes veekogudesse (*Euro. Clim. Adapt. Plat.*, 2025; Kliimaministeerium, 2017).

Joogivee töötlemise mõju: Parim kaitse on mitmeastmeline lähenemine - koagulatsioon + filtratsioon (nt membraanid) + desinfitseerimine (UV või osoon). Selline kombinatsioon on osutunud efektiivsemaks kui ainult kloorimine. (WHO, 2022)

Krüptosporiidiumi ootsüstid on väikesed (ligikaudu 4–6 µm), ümarad või kergelt elliptilised ja parasiidi elutsükkel koosneb kahest põhifaasist: (i) peremeesorganismi epiteelrakkudes toimuv sisekasv faas ning (ii) ootsüstide moodustumine, mille käigus valminud ootsüstid väljutatakse väljaheitega. Ootsüstid võivad olla kas kohe nakkavaks saanud (sporuleeritud) või vajada enne nakkusvõimeliseks muutumist keskkonnas täiendavat arengut. Nakkusdoos on madal ning jääb vahemikku 10 – 100 (kuni mõnikümmend ootsüsti võib piisata nakkuse tekitamiseks). Ootsüstid on keskkonnas väga püsivad ning võivad säilida nädalatest kuude või isegi üle aasta, sõltuvalt temperatuurist ja niiskustingimustest (WHO, 2022; Ligda, P., *et al.*, 2020).

Giardia

Bioloogia ja tervisemõjud: *Giardia lamblia* (sün. *G. duodenalis*) on flagellaatne protozoaarne parasiit, mis põhjustab giardiaasi – seedetrakti haigust, mille sümptomiteks on kõhulahtisus, kõhuvalu ja iiveldus; tsüstid võivad põhjustada infektsiooni ka suhteliselt väheste kogustega kokkupuutel (WHO, 2022; Leung *et al.*, 2019).

Keskkonnas püsivus ja transport: Giardia tsüstid on keskkonnas stabiilsed ja vastupidavad, võivad pinnavees püsida pikka aega (nädalatest kuni mitme kuuni, eriti jahedas ja valguse eest kaitstud keskkonnas) ning levivad peamiselt fekaal-oraalselt (Leung *et al.*, 2019; CDC, 2024). Haigustekitajad võivad levida haigelt inimeselt tervele inimesele temaga lähedal kokkupuutumisel, loomalt inimesele (näiteks looma/linnu farmide külastamisel või seal töötamisel, samuti lemmikloomadelt), joogivee, toorpiima või toidu kaudu (Terviseamet, *Giardi...*).

Tuvastusmeetodid: Tsüstide tuvastamisel kasutatakse immunoloogilisi meetodeid (nt ELISA) ja molekulaarseid meetodeid (nt qPCR), mis on tundlikumad ja võimaldavad ka genotüüpimist, eriti madalate kontsentratsioonide korral (Vicente *et al.*, 2024).

Kliimamuutustundlikkus: Suured sademete kogused ja hüdrooloogilised muutused soodustavad Giardia tsüstide äravoolu veekogudesse, mis omakorda suurendab nende levikut ja potentsiaalset riskipiirkonda (*Euro. Clim. Adap. Plat.*, 2025).

Joogivee töötlemise mõju: Nagu Krüptosporiidiumi puhul nii ka Gardia tsüstide puhul on soovitatav mitmetasandiline töötlemine (filtratsioon + desinfitseerimine); ainult klooreerimine ei suuda tsüste täielikult hävitada (*Euro. Clim. Adap. Plat.*, 2025).

Giardia tsüstid on tavaliselt ovaalse kujuga ning mõõtmetega umbes 8–14 µm (pikkus) × 7–10 µm (laius). Nende elutsükkel koosneb kahest põhietapist: aktiivne trofozoiit, mis elab peremehe soolestikus ja paljuneb, ning keskkonnas vastupidav tsüst, mis on nakkusvõimeline ülekandevorm. Tsüstid võivad keskkonnas püsida nädalatest kuni mitme kuuni (jahedas vees isegi kuni 2–3 kuud). Nakatumine võib toimuda juba väikese hulga tsüstide allaneelamisel (hinnanguliselt alates umbes 10 tsüstist), kuigi suurema tsüstide hulga korral suureneb nakatumise tõenäosus. (Zmirou-Navier *et al.*, 2006; Leung *et al.*, 2019)

Epidemioloogia ja tervisemõjud

Krüptosporiidiumi ja Giardia põhjustatud haigused on peamiselt seedetrakti ägedad infektsioonid – kõhulahtisus, oksendamine ja dehüdratatsioon (vedelikupuudus) – ning võivad olla raskemad immuunpuudulikkusega isikutel, väikelastel ja eakatel (Checkley *et al.*, 2015; Zmirou-Navier *et al.*, 2006). Epidemioloogilised andmed Euroopas näitavad, et giardiaasi ja krüptosporidioosi juhtumite hulk on hooajaline, sageli seotud veeallikatest või suplusveest põhjustatud puhangutega, mis rõhutab vajadust tõhusta seire ja kiire reageerimise järele (ECDC, ...; *Euro. Clim. Adap. Plat.*, 2025).

Tervisemõjude poolest peetakse krüptosporidioosi tavaliselt tõsisemaks kui giardiaasi, kuna Krüptosporiidiumi ootsüstid on väikese nakkusdoosiga ja võivad põhjustada ägedamaid suure vedelikukaotusega kõhulahtisuse episoode, eriti immuunpuudulikkusega patsientidel, samas kui giardiaasi kulg on sageli subkliiniline või pikemaajaline krooniline kõhulahtisus (Checkley *et al.*, 2015; Leung *et al.*, 2019). Seetõttu on krüptosporidioosi puhul risk väikese hulgaga kokkupuutel suurem, mis teeb selle avaliku tervise seisukohalt prioriteetsemaks haigustekitajaks veepõhistes puhangutes.

Keskkonnaseire ja QMRA näited

Keskkonnaseire uuringud näitavad, et Krüptosporiidiumi ootsüste ja Giardia tsüste esineb pinnaveekogudes regulaarselt mõõdetavatel tasemetel ning nende esinemissagedus ja kontsentratsioonid on seotud hüdrometeoroloogiliste teguritega, eelkõige sademete ja nendest tingitud äravoolu suurenemisega. Mitmed ülevaateuuringud on leidnud, et tugevate vihmasadude, üleujutuste ja muude ekstreemsete ilmastikunähtuste ajal ning vahetult pärast neid suureneb nende

algloomade tuvastamise tõenäosus pinnavees võrreldes tavapäraste tingimustega, mis viitab suurenenud sisendkoormusele ja reostuse äravoolule valgala tasandil (Cann *et al.*, 2013; Hofstra, N., 2011).

Kvantitatiivse mikroobse riskihindamise (QMRA) uuringud on kasutanud keskkonnaseire andmeid, et hinnata, kuidas sademesündmused ja vooluhulga suurenemine mõjutavad inimese terviseriski joogiveeallikate kaudu. Näiteks on QMRA-põhistes analüüsid näidatud, et pärast tugevaid vihmasademeid ja üleujutusi suureneb tõenäosus *Giardia* tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemiseks toorvees ning sellest tulenev nakkusrisk tarbijale, eriti juhul kui veetöötlusprotsessid ei ole kohandatud kiiresti muutuvatele toorvee kvaliteedinäitajatele (de Man *et al.*, 2014).

QMRA lähenemised võimaldavad seostada keskkonnaseire tulemusi terviseriskidega ning toetavad otsustamist olukordades, kus aktsepteeritav riskitase võib olla ületatud, aidates määrata sobivaid riskijuhtimise meetmeid, nagu tõhustatud filtratsioon, alternatiivsete veevõtuallikate kasutamine või ajutised operatiivsed sekkumised.

Parasiitide tuvastamise meetodid vees: traditsioonilised ja molekulaarsed lähenemised

Traditsioonilised parasiitide tuvastamise meetodid vees, nagu mikroskoopia ning immunomagnetiline eraldamine koos immunofluorestsentsmikroskoopiaga (IMS + IFM), põhinevad veeproovide filtreerimisel, (oo)tsüstide kontsentreerimisel ja visuaalsel määramisel. Kuigi need meetodid on laialdaselt kasutusel ning standardiseeritud, võib nende tundlikkus olla piiratud, eriti madalate kontsentratsioonide korral, ning analüüsiprotsess on aja- ja tööjõumahukas (EPA, 2012).

Viimastel aastatel on järjest enam rakendust leidnud molekulaarsed meetodid, nagu reaalaja PCR (qPCR) ja *droplet-digital* PCR (ddPCR), mis võimaldavad Krüptosporiidiumi ja *Giardia* DNA tuvastamist väga madalatel tasemetel ning parandavad seeläbi detekteerimise tundlikkust võrreldes ainult mikroskoopial põhinevate lähenemistega. Schipper jt (2025) näitasid, et optimeeritud molekulaarsed meetodid, eriti ddPCR, on keskkonnaproovides vähem tundlikud PCR-inhibiitorite suhtes ning võimaldavad usaldusväärsemat patogeenide tuvastamist veega seotud süsteemides.

Seetõttu peetakse molekulaarseid meetodeid väärtuslikuks täienduseks traditsioonilistele analüüsimeetoditele ning kombineeritud lähenemised (nt kontsentreerimine koos molekulaarse tuvastusega) pakuvad suurt potentsiaali veekvaliteedi seire täpsuse ja riskihindamise parandamiseks.

Joogivee töötlemine ja jälgimine praktikas

Joogivee tootmises peetakse parimaks lähenemiseks mitmeetapilist ehk *multi-barrier* süsteemi, mille eesmärk on vähendada terviseriske kogu tarneahela ulatuses. See

lähenemine hõlmab nii veekogu kaitset, reoveeheite kontrolli kui ka hoolikalt kavandatud ja omavahel kombineeritud veetöötlusprotsesse ning pidevat seiret (WHO, 2017).

Tavapäraselt kasutatakse esmalt koagulatsiooni ja sellele järgnevat filtratsiooni (nt liiv-, kiud- või membraanfiltrid), mis võimaldavad eemaldada nii suspendeeritud osakesi kui ka parasiitide ootsüste ja tsüste. Need protsessid moodustavad olulise füüsilise barjääri Krüptosporiidiumi ja Giardia suhtes ning on tõhusamad kui ainult keemiline desinfitseerimine (WHO, 2017; EPA, 2006).

Pärast füüsilist puhastust rakendatakse desinfitseerimist. Krüptosporiidiumi ja Giardia tõhusaimateks tõrjemeetoditeks peetakse UV-töötlust ja osoneerimist, sest need parasiidid on suhteliselt resistentsed tavapärase kloorimise suhtes. Desinfitseerimise efektiivsus sõltub aga oluliselt vee kvaliteedist, sealhulgas lahustunud orgaanilise aine sisaldusest ja doseerimise täpsusest, näiteks võib osooni toime väheneda kõrge orgaanilise süsiniku (TOC) taseme korral (von Gunten, 2003; Hijnen *et al.*, 2006).

Membraanfiltratsioon ja ultrafiltratsioon on tänapäeval üha laialdasemalt kasutusel, kuna need toimivad tugeva füüsilise barjäärina ning võimaldavad parasiitide väga järjekindlat eemaldamist. Parima tulemuse saavutamiseks kombineeritakse sageli mitut puhastustehnoloogiat, järgides *multi-barrier* põhimõtet (WHO, 2017).

Lisaks puhastusprotsessidele on keskse tähtsusega pidev seire. Reaalajas töötavad automaatsed seiresüsteemid, sealhulgas SCADA-lahendused ja online-andurid, võimaldavad jälgida vee kvaliteeti ja puhastusprotsesside toimivust ning reageerida kiiresti võimalikele häiretele või riskisituatsioonidele, toetades seeläbi joogivee ohutuse tagamist (WHO, 2017).

Uuemad uuringud ja esilekerkivad tähelepanekud

Ühes uuringus leiti, et Krüptosporiidiumi ja Giardia esinemine pinnavees oli tavaline ning ilmnes hooajaline muster, kus saastatus oli suurem talvel ja kevadel, mis on seotud suurema sademete hulga ja loomade karjatamisega (Ligda *et al.*, 2020).

2024. aastal Brasiilias läbiviidud uuring näitas, et Krüptosporiidiumi ootsüste ja Giardia tsüste leidub nii pinnavees, joogiveeks võetavas toorvees kui ka taaskasutatud reovees, mis viitab, et veekogude ja reoveesüsteemide vahelised riskid on läbipõimunud ning saasteallikaid ei ole alati võimalik selgelt eristada (de Araújo *et al.*, 2024). Seetõttu on eriti oluline, et vee seire ja puhastusprotsessid oleksid rangemad ja järjepidevad.

Kõige tõhusamaks parasiitide tuvastamiseks vees peetakse kombineeritud meetodeid, näiteks immunomagnetiline kontsentratsioon koos reaalajalise PCR-i (qPCR) meetodiga, mis võimaldab tuvastada ootsüste ja tsüste väga madalates

kontsentratsioonides, olles tundlikum ja usaldusväärsem kui traditsioonilised meetodid (Wang *et al.*, 2023).

Uuemad kliimamuutustega seotud uuringud näitavad, et sadememustrite muutused ja üleujutuste sageduse kasv võivad suurendada Krüptosporiidiumi ja Giardia kontsentratsiooni pinnavees, tõstes seeläbi terviseriske, eriti piirkondades, kus veekaitsemeetmed on ebapiisavad (*Euro. Clim. Adap. Plat.*, 2025).

Mikrotsüstiin-LR leidumine ja tsüanobakterite vohamine

Mikrotsüstiin-LR (MC-LR) on üks toksilisemaid tsüanobakterite toodetud mikrotsüstiine, mida seostatakse eriti *Microcystis aeruginosa* õitsengutega pinnaveekogudes. (WHO, 2020)

Sinivetikate (*Cyanobacteria*) vohamine on sagedasem rahuliku veevahetusega, toitaineterikastes veekogudes, eriti järvedes ja aeglase vooluga jõgedes, kus valgus ja kõrge veetemperatuur ning suur lämmastiku ja fosfori sisaldus soodustavad fotosünteesi ning biomassi kuhjumist (Paerl ja Otten, 2013). Tsüanobakterite õitsengud on kõige tavalisemad suve- ja varasügisperioodil, mil veetemperatuurid on kõrged ja lämmastiku ning fosfori kontsentratsioonid tõusnud.

Sinivetikate ja nendega seotud tsüanotoksiinide, sealhulgas mikrotsüstiin-LR esinemine pinnaveekogudes on rahvusvaheliselt tunnustatud keskkonna- ja rahvatervise probleem, mis võib mõjutada nii joogivee tootmist kui ka suplusvee kvaliteeti ning nõuab seetõttu süstemaatilist seiret ja riskijuhtimist veekvaliteedi tagamiseks (WHO, 2020).

Kliimamuutused ja toitaineterikkad tingimused soodustavad nende vetikate kasvu, kuna:

- Tõusev veetemperatuur annab tsüanobakteritele konkurentsieelise teiste planktoniorganismide ees, kuna nende kasv ja paljunemine kiirenevad soojemas vees (Paerl ja Paul, 2012).
- Suurenenud toitainete (lämmastiku ja fosfori) sissevool vihmavee äravoolu kaudu kiirendab eutrofeerumisprotsesse, luues tsüanobakteritele soodsamad kasvutingimused (Gobler *et al.*, 2016).
- Seisvad või aeglase vooluga veekogud, sealhulgas katmata pinnaveehoidlad erinevalt kaetud või kontrollitud veehoidlatest, on eriti tundlikud toitainete järsule sissevoolule ja vetikate õitsengutele, kuna sellistes süsteemides puuduvad sageli täiendavad looduslikud või tehnilised kaitse- ja filtreerimismeetmed (Paerl ja Otten, 2013).

Mikrotsüstiin-LR (MC-LR) on keemiliselt stabiilne tsüanotoksiin, mis võib akumulieruda veetaimes ja -loomades ning jõuda inimese organismi joogivee või toiduahela kaudu (WHO, 2020; Pham *et al.*, 2018). MC-LR on eeskätt tuntud oma hepatotoksilise toime

poolest, põhjustades maksarakkude struktuurseid ja funktsionaalseid kahjustusi. Samuti on kirjeldatud selle potentsiaalset kantserogeenset mõju, sealhulgas seoseid maksavähi ja muude maksahaigustega (IARC, 2010; Zagura, 2016; WHO, 2020).

MC-LR tervisemõjud ei piirdu üksnes maksakahjustusega. Loomkatsetes ja epidemioloogilistes uuringutes on leitud, et pikaajaline kokkupuude MC-LR-ga võib esile kutsuda oksüdatiivset stressi, põletikulisi reaktsioone, rakkude apoptoosi ning tsütoskeleti kahjustusi, mis võivad soodustada neoplaasia teket (Jiang *et al.*, 2013).

Oluline on rõhutada, et ka madalate MC-LR kontsentratsioonide pikaajaline ekspositsioon joogivee kaudu võib kujutada terviseriski, eriti tundlikele elanikkonnarühmadele nagu lapsed, eakad ja immuunpuudulikkusega isikud (WHO, 2020). Need teadmised rõhutavad vajadust hinnata MC-LR esinemist nii pinnavees kui ka joogivees ning rakendada tõhusaid puhastus- ja riskihindamisstrateegiaid, eriti kliimamuutuste kontekstis, kus tsüanobakterite õitsengute sagedus ja ulatus võivad suurenedada.

Mikrotsüstiin-LR omadused

Bioloogia ja tervisemõjud: Maksatoksiin, mida toodavad sinivetikad (eelkõige *Microcystis* liigid). Suurtes kogustes kokkupuutel tekitab maksakahjustust ning pikaajaline ekspositsioon võib põhjustada oksüdatiivset stressi, põletikulisi protsesse ja apoptoosi, mis võivad soodustada neoplaasia teket (IARC, 2010; Jijang *et al.*, 2013; WHO, 2020).

Keskkonnas püsivus ja transport: MC-LR on veekeskkonnas keemiliselt suhteliselt stabiilne, vastupidav mõõdukale pH-muutusele ja tavapärasele looduslikule lagunemisele. See võib püsida pinnavees ka pärast tsüanobakterite õitsengu taandumist. Inimesele avaldub peamine kokkupuuteviis joogivee (kui toksiiniga saastunud pinnavett kasutatakse ilma piisava töötlemiseta) või suplusvee kaudu. (WHO, 2020; Paerl ja Otten, 2013).

Mikrotsüstiini esinemine on sagedasem veetemperatuuridel üle 18–20 °C, mis soodustavad *Microcystis* liikide kasvu. Samas on üksikutes uuringutes tuvastatud mikrotsüstiine madalates kontsentratsioonides ka kevadel ja sügisel, kui veetemperatuur on madalam, eriti toitaineterikastes ja eutroofsetes pinnaveekogudes (Paerl & Otten, 2013; WHO, 2020).

Tuvastusmeetodid: ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*, ensüümidega seotud immunosorbentmeetod), LC-MS/MS (*Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry*, vedelkromatograafia koos tandem-massspektromeetriaga), qPCR (*quantitative Polymerase Chain Reaction*, kvantitatiivne polümeraasi ahelreaktsioon). Tundlikkus ja spetsiifilisus varieeruvad (Meriluoto *et al.*, 2017; Rinta-Kanto *et al.*, 2005; WHO, 2020).

Kliimamuutustundlikkus: Tõusev temperatuur ja muutunud sadememustrid suurendavad vetikapuhangute sagedust ja intensiivsust (Paerl ja Paul, 2012; Gobler *et al.*, 2016).

Joogivee töötlemine: Tõhus eemaldus saavutatakse aktiivsöe adsorptsiooni ja osoonitöötlemisega. Tavaline kloorimine või ultravioletti desinfitseerimine ei pruugi olla piisav, eriti suure MC-LR kontsentratsiooni korral (WHO, 2020; Meriluoto *et al.*, 2017).

Kohalik kontekst: Eesti järved ja veehoidlad võivad olla vetikapuhangutele vastuvõtlikud soojematel kuudel.

Uuringud Eestis ja põhjapoolsetes vetes

Ferraz jt (2024) uurisid mikrotsüstiin-LR esinemist Peipsi järves, keskendudes *Microcystis* sinivetikate *mcyE* geeni esinemisele ja mikrotsüstiini tasemetele. Autorid analüüsisid hooajalisi muutusi *mcyE* geeni esinemises ning mikrotsüstiini tootlike rakkude arvukustes kogu kasvuperioodil (mai–oktoober). Tulemused näitasid, et *mcyE* geeni esinemine püsis järves kogu perioodi vältel, kusjuures maksimaalsed arvukused registreeriti septembris ajal, mil veetemperatuurid olid madalamad (~8.9–11.1 °C) võrreldes suve keskmiste temperatuuridega. See viitab, et MC-LR tootvad sinivetikad võivad esineda ka jahedamatel kuudel, mis on oluline arvestada pinnavee kvaliteedi ja joogiveeohutuse hinnangutes.

Ühes 2024. aasta uuringus analüüsiti MC-LR esinemist põhjapoolsetes veekogudes, sealhulgas Rootsis ja Läänemeres. Kokku uuriti 98 sinivetikate öitsengut ning fookuses oli just MC-LR levimus. Tulemused näitasid, et MC-LR oli kõige sagedamini esinev mikrotsüstiin, mida leiti 55% proovides; vaba toksiin tuvastati umbes kümnendikus juhtudest. Toksiini esinemine oli tugevalt seotud teatud *Microcystis* liikidega, mis on tuntud toksiinootjad. Uuring rõhutab, et ka põhjapoolsetes vetes tuleb MC-LR riski tõsiselt võtta, eriti joogivee kvaliteedi hindamisel (Dirks *et al.*, 2024).

Mikrotsüstiin-LR on Eesti seadusandluses reguleeritud. Sotsiaalministri 24.09.2019 määruse nr 61 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ja analüüsimeetodid ning tarbijale teabe esitamise nõuded“ § 5 sätestab keemiliste näitajate piirnormid, sealhulgas mikrotsüstiin-LR piirnormi, milleks on 1 µg/l (edaspidi määrus nr 61). Määruse nr 61 märkustes on täpsustatud, et mikrotsüstiin-LR sisaldust määratakse üksnes juhul, kui veallikat ohustab veeöitseng, st esineb suurenenud tsüanobakterite rakutihedus või veeöitsengu tekkimise võimalus. Joogivesi peab mikrotsüstiin-LR puhul vastama §-s 5 sätestatud väärtusele hiljemalt 12. jaanuaril 2026. aastal. Joogivee käitleja rakendab joogivee vastavuse tagamiseks vajaduse korral asjakohaseid meetmeid.

Pinnavee kasutamine joogiveena – riskid ja seosed

Pinnaveekogude (nt jõgede ja järvede) kasutamine joogiveena võib kujutada ohtu, kui puuduvad efektiivsed veetötlusmeetodid, nagu UV-desinfitseerimine, aktiivsöe filtrid või kombineeritud mehhaaniline ja keemiline puhastus (Hrudey *et al.*, 2004; WHO, 2022). Riski suurendab vee kvaliteedi hooajaline ja kliimasõltuv kõikumine, näiteks sinivetikate õitsengud suvel või üleujutustest tulenev saaste (Ferraz *et al.*, 2024; Dirks *et al.*, 2024). Kliimamuutuste tõttu muutuvad üleujutuste ja äärmuslike sademete mustrid, suurendades mikroorganismide ja toksiinide kontsentratsiooni ning seeläbi terviseriski. Tundlikud elanikkonnarühmad, nagu imikud, eakad ja immuunpuudulikkusega inimesed, on eriti haavatavad (WHO, 2022). Kombineeritud esinemine, näiteks Giardia, Krüptosporiidium ja MC-LR, võib veelgi suurendada terviseriski.

Rahvusvahelised regulatsioonid

Krüptosporiidiumi ja Giardia puhul joogivees lähtutakse rahvusvahelises praktikas põhimõttest, et (oo)tsüstide tuvastatav esinemine joogivees ei ole aktsepteeritav. Nende patogeenide jaoks ei ole enamasti kehtestatud konkreetseid arvulisi piirnorme, kuna igasugune esinemine joogivees võib viidata veetötluse ebaefektiivsusele või toorvee saastumisele ning kujutada terviseriski.

Erinevalt parasiitidest on mikrotsüstiin-LR (MC-LR) puhul joogivees kehtestatud konkreetne piirsaldus, mis tuleneb nii rahvusvahelistest suunistest kui ka Euroopa Liidu regulatsioonidest. Maailma Terviseorganisatsioon (WHO) on soovitanud MC-LR maksimaalseks lubatud kontsentratsiooniks joogivees 1,0 µg/l, lähtudes kroonilise toksilisuse ja maksakahjustuse riskist (WHO, 2020). Sama piirväärtus on üle võetud ka Euroopa Liidu joogiveedirektiivi (EL) 2020/2184, kus MC-LR on käsitletud terviseparameetrina ning see on omakorda rakendatud Eesti õigusesse määrusega nr 61.

Joogivee kvaliteedi tagamisel rakendatakse seetõttu riskipõhist lähenemist, mis hõlmab pinnavee ja toorvee seiret, veetötlusprotsesside toimivuse kontrolli (nt filtreerimise ja UV-desinfitseerimise efektiivsuse hindamist) ning rutiinset mikrobioloogiliste indikaatorite, nagu *Escherichia coli*, jälgimist. Kuigi indikaatororganismid ei ole otseselt seotud ei (oo)tsüstide ega mikrotsüstiinide esinemisega, kasutatakse neid veesüsteemi üldise hügieenilise seisundi hindamiseks ja võimalike riskide varajaseks tuvastamiseks.

Sarnaselt paljudele teistele riikidele puuduvad ka Eestis hetkel spetsiifilised piirnormid Krüptosporiidiumi ootsüstide ja Giardia tsüstide esinemise kohta pinnavees ja joogivees, samas kui MC-LR piirväärtus joogivees tuleneb otse Euroopa Liidu joogiveedirektiivist. Seetõttu on põhjendatud võrrelda käesoleva uuringu tulemusi parasiitide osas rahvusvaheliste juhiste ja regulatsioonidega ning käsitleda MC-LR

esinemist joogivees kehtestatud piirväärtuse kontekstis, arvestades nende ohutegurite erinevat regulatiivset käsitlust.

Alljärgnevalt on toodud Krüptosporiidiumi ja Giardia osas leitud suunised:

Maailma terviseorganisatsioon (WHO – *World Health Organization*)

WHO annab joogivee ohutuse kohta rahvusvahelised suunised, kuid ei kehtesta pinnaveele ega joogiveele Krüptosporiidiumi ootsüstide või Giardia tsüstide suhtes fikseeritud arvulisi piirnorme. WHO lähenemine põhineb tervisepõhisel sihttasemel ($\leq 10^{-6}$ DALY inimese kohta aastas) ning riskipõhisel joogivee tootmisel, rõhutades mitmebarjäärilise veepuhastuse olulisust. See on eriti oluline, kuna Krüptosporiidiumi ootsüstid ja Giardia tsüstid on tavapärase kloorimise suhtes suhteliselt resistentsed (WHO, 2022).

WHO riskihindamise materjalides on Krüptosporiidiumi toorvee kontsentratsiooni suurusjärku $\sim 0,1$ ootsüsti/l (≈ 1 ootsüst 10 l kohta) kasutatud näitliku lähteväärtusena vajaliku log-eemalduse määramisel tervisepõhise sihttaseme saavutamiseks (WHO, 2009). Tegemist ei ole regulatiivse piirnormiga, kuid sellise suurusjärgu esinemine viitab vajadusele hinnata puhastustõhusust ja mitmebarjäärilise veetöötuse piisavust.

Ameerika Ühendriigid

Joogivee regulatsiooni eest vastutab USA Keskkonnaagentuur (EPA). Pinnavee kasutamisel joogiveeallikana määratakse toorvee Krüptosporiidiumi keskmise kontsentratsiooni alusel riskiklass, millele vastab nõutav log-eemaldus puhastusprotsessis. Näiteks toorvee sisaldus vahemikus 0,075–1,0 ootsüsti/l nõuab täiendavat 1-log eemaldust, kõrgemad kontsentratsioonid aga 2–2,5-log eemaldust (EPA, 2006). Seega paigutub $\sim 0,1$ ootsüsti/l (≈ 1 ootsüst 10 l kohta) toorvee näitlikult kõrgendatud riskikategooriasse, mis eeldab täiendavaid puhastus- ja kontrollimeetmeid.

Suurbritannia

Suurbritannias reguleerib joogivee kvaliteeti joogiveeinspeksioon (Drinking Water Inspectorate - DWI). Riigis rakendatakse ennetavat riskihindamist ja pideva seire põhimõtet joogiveena kasutatavatele pinnaveeallikatele.

Krüptosporiidiumi osas on seatud eesmärgiks vähemalt 99,9% eemaldus (3-log) joogivee töötlemisel. Kui seire käigus tuvastatakse saastumine või suurenenud risk, rakendatakse täiendavaid seire-, uurimis- ja puhastustoiminguid, sealhulgas allikapõhist riskianalüüsi ja puhastusprotsesside tõhustamist. Konkreetseid arvulisi piirnorme pinnaveele ei ole kehtestatud, kuid iga tuvastatud leid käsitletakse potentsiaalse terviseriskina (DWI, 2025).

Kanada

Kanadas kehtestab joogivee juhised Kanada terviseministeerium (*Health Canada*). Pinnaveele otseseid piirnorme ei ole, kuid joogivee tootmisel lähtutakse põhimõttest, et Krüptosporiidiumi ja Giardia ei tohiks joogivees tuvastada.

Soovituslikud puhastustasemed on:

Giardia: ≥ 3 -log eemaldamine (99,9%)

Krüptosporiidium: ≥ 2 -log eemaldamine (99%)

Kui pinnavees tuvastatakse ≥ 1 ootsüst/10 L, loetakse veeallikas kõrgema riskiga allikaks ning rakendatakse tõhustatud puhastusmeetmeid (*Health Canada, 2019*).

Saksamaa

Saksamaal reguleerib joogivee kvaliteeti joogiveemäärus (Trinkwasserverordnung), mille eest vastutab Keskkonnaamet (Umweltbundesamt). Pinnaveele ei ole kehtestatud eraldi piirnorme Krüptosporiidiumile ja Giardiale, kuid joogivee tootmisel lähtutakse 0 ootsüsti/L põhimõttest.

Iga ootsüsti leid pinnavees, mida kasutatakse joogivee tootmiseks, käsitletakse potentsiaalse terviseriskina ning eeldab piisava filtreerimise ja desinfitseerimise rakendamist (*Umweltbundesamt, 2023*).

Soome

Soomes tegelevad joogivee ohutusega Tervise ja Heaolu Instituut (THL) ning veekaitseorganisatsioonid. Kuigi otseseid piirväärtusi pinnaveele ei ole, soovitakse Krüptosporiidiumi ja Giardia seirata riskipiirkondades, näiteks loomakasvatuse või võimaliku reoveereostuse läheduses.

Eesmärk on 0 ootsüsti joogivees, ning iga leid pinnavees nõuab täiendavat uurimist ja riskihindamist (THL, 2025; *Sosiaali- ja terveysminister, 2016*).

Austraalia ja Uus-Meremaa

Austraalias ja Uus-Meremaal juhendatakse vastavalt Austraalia joogivee juhendi (Australian Drinking Water Guidelines - ADWG) ja Uus-Meremaa joogivee standardi (New Zealand Drinking Water Standards - NZDWS) põhimõtetest. Pinnaveele ei kehtestata kindlaid arvulisi piirnorme, vaid rakendatakse riskipõhist lähenemist.

Kui Krüptosporiidiumi või Giardia sisaldus ületab 1 ootsüsti/10 L, loetakse veeallikas kõrge riskiga ning vajalikuks peetakse täiendavat puhastust või alternatiivse veeallika kasutamist (NHMRC, 2025; *Ministry of Health NZ, 2022*).

Regulatsioonide võrdlus WHO, EL, Eesti

Riik/ ühendus	Näitaja	Standard	Järelevalve sagedus	Analüüsimeetod	Töötlemise nõuded
WHO	Krüptosporiidium	Ei ole konkreetset	Vastavalt riigi regulatsioonidele	qPCR, mikroskoopia	Mitmetasandiline lähenemine
	Giardia	Ei ole konkreetset	Vastavalt riigi regulatsioonidele	qPCR, mikroskoopia	Mitmetasandiline lähenemine
	Mikrotsüstiin-LR	1 µg/L	Regulaarne järelevalve vetikapuhangu ajal	ELISA, LC-MS/MS	Aktiivsüsi, osoon
EL	Krüptosporiidium	Ei ole konkreetset	Vastavalt riigi regulatsioonidele	qPCR, mikroskoopia	Mitmetasandiline lähenemine
	Giardia	Ei ole konkreetset	Vastavalt riigi regulatsioonidele	qPCR, mikroskoopia	Mitmetasandiline lähenemine
	Mikrotsüstiin-LR	1 µg/L	Regulaarne järelevalve vetikapuhangu ajal	ELISA, LC-MS/MS	Aktiivsüsi, osoon
Eesti	Krüptosporiidium	Ei ole konkreetset	Aasta ringi järelevalve	qPCR, mikroskoopia	Mitmetasandiline lähenemine
	Giardia	Ei ole konkreetset	Aasta ringi järelevalve	qPCR, mikroskoopia	Mitmetasandiline lähenemine
	Mikrotsüstiin-LR	1 µg/L	Vetikapuhangu ajal	ELISA, LC-MS/MS	Aktiivsüsi, osoon

Millest juhindume käesolevas uuringus

Erinevates riikides ja rahvusvahelistes juhistes on esitatud soovituslikud tasemed Krüptosporiidiumi ootsüstide ja Giardia tsüstide sisaldusele pinnavees, mis aitavad hinnata vajaliku veepuhastuse taset. Kuna konkreetseid regulatiivseid piirnorme pinnaveele ei ole, kasutame neid juhiseid tingliku võrdlusena meie uuringus tehtud proovide hindamisel.

Allikas	Tinglik riskiväärtus pinnavees
WHO	~1 ootsüst/10 l toorvees → viitab vajadusele riskihindamiseks ja puhastuse tõhustamiseks
EPA (USA)	~0,1 ootsüsti/l (≈1 ootsüst/10 l) → kõrgendatud risk, vajab täiendavat log-eemaldust
Kanada	≥1 ootsüst/10 l → 2–3-log eemaldus
UK	Tuvastamine → seire ja puhastus, 99,9 % eemaldus
Saksamaa	0 ootsüsti/l joogivees, pinnavee leid eeldab täiendavat puhastust või riskihindamist
Soome	0 ootsüsti/l joogivees, pinnavee leid eeldab riskihindamist
Austraalia/NZ	~0,1 ootsüsti/l (≈1 ootsüst/10 l) → kõrge risk, vajab puhastust või alternatiivset allikat

Näitlikult: kui proovides tuvastatakse näiteks 3 ootsüsti/10 l, ületab see WHO ja EPA soovitusliku lähtetaseme ning viitab kõrgendatud mikrobioloogilisele riskile, mis eeldab täiendavaid puhastus- või kontrollimeetmeid.

Erinevalt Krüptosporiidiumist ja Giardia-st on mikrotsüstiin-LR-i puhul joogivees kehtestatud konkreetne piirväärtus, mis tuleneb Euroopa Liidu joogiveedirektiivist (0,1 µg/l). Seetõttu käsitletakse MC-LR-i käesolevas töös normatiivse võrdlusena, samas kui parasiitide puhul lähtutakse riskihindamisest ja rahvusvahelistest suunistest. Selline erinev regulatiivne lähenemine peegeldab nende ohutegurite bioloogilisi omadusi, tuvastatavust ning joogivee töötlemise praktikaid.

Vee puhastusmeetodid AS Narva Vesi ja AS Tallinna Vesi veepuhastusjaamades

Käesolevas peatükis kirjeldatakse AS Narva Vesi ja AS Tallinna Vesi veepuhastusjaamades rakendatavaid puhastusmeetodeid. Meetodite kirjeldused põhinevad veepuhastusjaamade poolt edastatud infol.

Narva veepuhastusjaama tehnoloogilise protsessi kirjeldus

Narva veepuhastusjaam kasutab joogivee tootmiseks pinnavett, mis võetakse Narva jõest Mustajõe veehaardest. Jaam oli juba varem töös, kuid 2015. aastal tehti veetöötlusjaama uuendused, mille käigus koostöös Eesti ehitusettevõtte Merko Ehitus AS ja Taani firma KRÜGER A/S (*Veolia Water Technologies*) arendajatega täiustati jaama tehnoloogiat. Tänapäeval on jaam isevoolse, kuue-etapilise puhastustehnoloogiaga:

Vee vastuvõtt ja esmased filtrid

Toorvesi läbib esmalt 10 mm avadega veevõtuvõred ja suunatakse vastuvõtukambritesse. Sealt pumbatakse vesi läbi 5 mm avadega mehaanilise filtri ning 26 km pikkuse toorvee torustiku kaudu Narva veepuhastusjaama. Puhastusjaamas filtreeritakse vesi uuesti mehaanilise filtri kaudu (5 mm avad).

Keemilised ettevalmistused ja koagulatsioon

Töödeldavasse vette lisatakse väävelhapet pH taseme optimeerimiseks koagulatsiooniks ning seejärel doseeritakse polüalumiiniumkloriidi koagulant, et veest eemaldada suurem osa orgaanilistest saasteainetest.

Flotatsioon ja filtreerimine

Vesi liigub flotatsiooniliini, kus koagulatsiooni ja flotatsiooni käigus eemaldatakse veest orgaanilised saasteained. Seejärel filtreeritakse vesi läbi kahekihiliste antratsiidi- ja kvartslivatäitega filtrite, et eemaldada koagulatsioonijäägid.

Osoniseerimine ja desinfitseerimine

Järgmine samm on osoneerimine, mille käigus oksüdeeritakse orgaanilised jäägid ning hävitatakse vees viirused ja bakterid. Pärast seda juhitakse vesi läbi granuleeritud aktiivsöefiltri, kus eemaldatakse jääkreostus ning parandatakse vee maitse- ja lõhnaomadusi.

UV-töötlus ja lõplik desinfitseerimine

Veepuhastus sisaldab ka ultraviolettkiirgusega töötlemist. Enne joogivee suunamist reservuaaridesse toimub lõplik desinfitseerimine naatriumhüpokloriti lahusega (10–15% aktiivkloori). Samuti reguleeritakse joogivee pH taset vahemikku 7,0–7,5, doseerides vajadusel 30% naatriumhüdrosiidi.

Järelevalve ja automaatika

Kogu tehnoloogilist protsessi jälgitakse ja juhitakse reaajas SCADA juhtimissüsteemi (automaatjuhtimissüsteem) abil. Operatiivpersonal kontrollib süsteemi 24/7. Kõik kemikaalide doseerimised ja tehnoloogilised parameetrid toimuvad automatiseeritult ning proportsionaalselt töödeldava vee koguse või kvalitatiivsete näitajatega. Lisaks kasutatakse kõigis etappides "online" analüsaatoreid, mis jälgivad vee kvaliteeti ja võimaldavad vajadusel parameetreid kohandada.

Tallinna veepuhastusjaama tehnoloogilise protsessi kirjeldus

Kuigi Ülemiste järve vett on kasutatud juba keskajast, algas vee süstemaatiline puhastamine 1927. aastal.

Tallinna veevarustuse ajalugu ulatub 14. sajandisse, mil rajati kanal Ülemiste järvest linna. 1927. aastal valmis arhitekt Erich Jacoby projekteeritud veepuhastusjaam – Eesti esimene funktsionalistlik tööstushoone, mis on siiani säilinud ja osaliselt kasutuses.

Veepuhastusjaam on aastakümnete jooksul pidevalt arenenud. Teiste arenduste seas toimus 2007 – 2008 aastatel veepuhastuses biomanipulatsiooni kasutuselevõtt ja automaatse juhtimissüsteemi uuendus ning aastatel 2014 – 2017 joogiveereservuaaride rekonstrueerimine. Täna läbib Ülemiste veepuhastusjaamas vesi 17-tunnise mitmeetapilise puhastuse, mis tagab joogivee kõrge kvaliteedi.

Joogivee tootmine algab toorvee võtmisest Ülemiste järvest, kust see suunatakse veepuhastusjaama. Protsess hõlmab järgmisi etappe:

Võrede ja mikrofiltrite abil eraldatakse järveveest suurem praht, vetikad ja hõljum. Ka järve kalad jäävad esimese võre taha ega pääse jaama.

Mikrofiltreeritud vett töödeldakse osooniga.

Osoneeritud veele lisatakse veepuhastuskemikaale- koagulanti ja flokulanti.

Peale kemikaalide lisamist suunatakse vesi selititesse, kus toimub vees oleva sademe ja kemikaalide poolt tekitatud helveste eemaldamine.

Selitatud vee täiendav puhastamine toimub filtritel. Filtrid on kahekihilised: antratsiit ja liiv. Filtreid ja seliteid pestakse regulaarselt ning pesuvesi suunatakse kanalisatsiooni.

Filtreeritud veele lisatakse enne puhta vee reservuaari jõudmist kloori niisuguses kogus, et veevõrku juhitavas vees oleks vaba kloori sisaldus kuni 1 mg/l.

Kloreeritud vesi suunatakse joogivee reservuaaridesse ja sealt edasi linna veevõrku.

Veepuhastuse protsessid on täielikult automatiseeritud ning juhitavad läbi SCADA juhtimissüsteemi (automaatjuhtimissüsteem).

Uuringu tulemused ja analüüs

Käesolevas peatükis esitatakse ühe aasta jooksul AS Tallinna Vesi ja AS Narva Vesi veepuhastusjaamadest ning jaotusvõrgust kogutud veeproovide analüüsi tulemused Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide ja mikrotsüstiin-LR esinemise kohta. Lisaks käsitletakse sama ajavahemiku sademete ja veetemperatuuride andmeid ning krüptosporidioosi ja giardiaasi haigestumuse näitajaid.

Uuringu perioodil koguti kokku 312 proovi Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide määramiseks ning 312 proovi mikrotsüstiin-LR analüüsimiseks. Mõlema näitaja puhul pärinesid pooled proovid Tallinna Ülemiste veepuhastusjaama piirkonnast ja pooled Narva veepuhastusjaama piirkonnast. Seega analüüsiti kummastki piirkonnast 156 mikrobioloogilist proovi ning 156 keemilist proovi.

Tabel 1. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidumine (proovide arv) toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus.

Proovivõtukoht	Krüptosporiidiumi ootsüstid (leiuga proovide arv, sulgudes esinemise % proovivõtukohta proovide arvu kohta)	Giardia tsüstid (leiuga proovide arv, sulgudes esinemise % proovivõtukohta proovide arvu kohta)	Mikrotsüstiin-LR (leiuga proovide arv, sulgudes esinemise % proovivõtukohta proovide arvu kohta)
Ülemiste veepuhastusjaam töötlemata toorvesi	15 (38%)	21 (54%)	7 (18%)
Ülemiste veepuhastusjaam peale puhastusprotsesse	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Ülemiste veepuhastusjaam peale lõplikku desinfitseerimist	0 (0%)	1 (3%)	0 (0%)
Ida-Tallinna Keskaigla Õendusabikliinik	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Narva veepuhastusjaama töötlemata toorvesi	8 (21%)	15 (38%)	4 (10%)
Narva veepuhastusjaam kraan peale puhastusprotsesse	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Narva veepuhastusjaam peale lõplikku desinfitseerimist	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Narva Sotsiaaltöökeskuse hooldekodu	1 (3%)	0 (0%)	0 (0%)

Uuringu käigus avastati Ülemiste järvest (proovivõtukoht: Ülemiste veepuhastusjaam, töötlemata toorvesi) Krüptosporiidiumi ootsüste 15 proovis (4,8% kõikidest uuritud proovidest ja 38% selle proovivõtukohtast uuritud proovidest) ning Giardia tsüste 21 proovis (7,0% uuritud proovidest ja 54% selle proovivõtukohta uuritud proovidest). Seega Ülemiste veepuhastusjaama pinnaveeproovides oli Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemissagedus mõõdukas ja Giardia tsüste esines veidi sagedamini, pisut enam kui

pooltes proovidest. Puhastusetappidel leiti Giardia tsüste pärast lõplikku desinfitseerimist ühes proovis (0,32% uuritud proovidest ja 3% selle proovivõtukoha uuritud proovidest). Seega puhastusetappidel peale puhastusprotsesse parasiitide (oo)tsüste ei leitud, peale lõpliku desinfitseerimist enne joogivee laskmist jaotusvõrku oli üksikleid (väga harv esinemine). Jaotusvõrgus (Ida-Tallinna Keskhaigla Õendusabikliinik) parasiite ei tuvastatud.

Narva veepuhastusjaama veevõtukohast (Mustajõe veehaare) avastati Krüptosporiidiumi ootsüste 8 proovis (2,2% kõikidest uuritud proovidest ja 21% selle proovivõtukohast uuritud proovidest) ning Giardia tsüste 15 proovis (4,8% kõikidest uuritud proovidest ja 38% selle proovivõtukoha uuritud proovidest). Seega Narva veepuhastusjaama pinnaveeproovides oli parasiitide (oo)tsüstide esinemissagedus mõõdukas, kuid Giardia tsüstide esinemissagedus oli kõrgem kui Krüptosporiidiumi ootsüstide puhul. Puhastusetappidel parasiite ei leitud, kuid üks leid registreeriti Narva Sotsiaaltöökeskuse hooldekodus (0,32% uuritud proovidest). Seega Narva veepuhastusjaama jaotusvõrgus parasiitide (oo)tsüstide esinemine on väga harv.

Kokkuvõttes esineb Giardia tsüste toorvees sagedamini kui Krüptosporiidiumi ootsüste. Ülemiste järvest ja Mustajõe veehaardest kokku avastati Giardia tsüste 37 proovis, samas kui Krüptosporiidiumi ootsüste leiti ligikaudu 1,5 korda vähem – 24 proovis. Samas Ülemiste puhastusjaama pinnavees (Ülemiste järv) on esinemise sagedus kõrgem kui Narva veepuhastusjaama pinnavees (Mustajõe veehaare).

Mikrotsüstiin-LR leiti üksnes toorvees ning väga madalatel tasemetel (alla joogivee piirsisaldust). Kõik leiud olid määratavad kogused, st ületasid meetodi mõõtemääramatuse. Ülemiste järve proovides leiti mikrotsüstiin-LR 7 proovis ja Mustajõe veehaardes 4 proovis.

Tabel 2. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidude keskmised, miinimum ja maksimum tasemed toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus.

Asukoht	Krüptosporiidiumi ootsüstid/10l			Giardia tsüstid/10l			Mikrotsüstiin-LR µg/l		
	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max
Ülemiste veepuhastusjaam töötlemata toorvesi	1	6	17	1	14	92	0,1	0,13	0,2
Ülemiste veepuhastusjaam peale puhastusprotsesse	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ülemiste veepuhastusjaam peale lõplikku desinfitseerimist	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Ida-Tallinna Keskaigla Õendusabikliinik	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Narva veepuhastusjaama töötlemata toorvesi	1	3	5	1	4	24	0,1	0,15	0,2
Narva veepuhastusjaam kraan peale puhastusprotsesse	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Narva veepuhastusjaam peale lõplikku desinfitseerimist	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Narva Sotsiaaltöökeskuse hooldekodu		2		0	0	0	0	0	0

Tabelis 2 on toodud Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR esinemise leidude keskmised tasemed toorvees, erinevate puhastusetappide järgselt ja jaotusvõrgus. Parasiitide (oo)tsüstide leidude keskmised tasemed on ümardatud lähima täisarvuni, kuna elusorganismide kvantitatiivseid näitajaid on tavapärase esitada täisühikutes. Analoogset lähenemist kasutatakse ka teaduskirjanduses, kus keskmisi väärtusi esitatakse ligikaudsetena, märkides näiteks, et 10 liitris vees esineb umbes (ligikaudu) X (oo)tsüsti (Rose et al., 2002). Tabelist selgub, et Ülemiste veeproovides esinesid Krüptosporiidiumi ootsüstid minimaalselt 1 ootsüsti/10 l kuni maksimaalselt 17 ootsüsti/10 l, keskmise väärtusena esines umbes 6 ootsüsti/10 l. Giardia tsüstide arv oli vahemikus 1–92 tsüsti/10 l, keskmiselt umbes 14 tsüsti/10 l. Mikrotsüstiin-LR kontsentratsioon oli madal, ulatudes 0,1–0,2 µg/l ning keskmiselt 0,13 µg/l.

Vastavalt Narva veeproovid näitasid Krüptosporiidiumi ootsüstide madalamat esinemistaset, kus esinesid Krüptosporiidiumi ootsüstid minimaalselt 1 ootsüsti/10 l kuni maksimaalselt 5 ootsüsti/10 l, leidude keskmine tase oli umbes 3 ootsüsti/10 l. Giardia tsüstide arv oli vahemikus 1–24 tsüsti/10 l, leidude keskmine tase umbes 4 tsüsti/10 l. Mikrotsüstiin-LR esines ainult toorvees väga madalatel tasemetel (alla piirsaldust joogiveses) ja leiud on näidatud määratavates kogustes (kõik leiud, mis

ületavad meetodi mõõtemääramatust). Mikrotsüstiin-LR kontsentratsioonid ulatusid 0,1 kuni 0,2 µg/l, keskmiselt 0,15 µg/l.

Kokkuvõttes olid nii Krüptosporiidiumi ootsüstide kui ka Giardia tsüstide leidude keskmised tasemed üldiselt suhteliselt madalad, välja arvatud üks Ülemiste järve proov Giardia tsüstidega, milles tuvastati 92 tsüsti/10 l.

Ülemiste veeproovides olid nii Krüptosporiidiumi kui Giardia (oo)tsüstide leidude keskmised ja maksimaalsed tasemed kõrgemad kui Narva proovides, samas mikrotsüstiin-LR kontsentratsioonid on mõlemas piirkonnas madalad ja üsna sarnased.

Narva veepuhastusjaamas puhastusetappidel parasiite ei leitud, kuid jaotusvõrgus (Narva Sotsiaaltöökeskuse hooldekodu) esines Krüptosporiidiumi ootsüste ühes proovis tasemel 2 ootsüsti/10 l.

Käesoleva töö raames uuriti Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR esinemist erinevatel temperatuuridel.

Tabel 3. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidumine erinevatel temperatuuridel (proovide arv).

Temperatuurid °C	Krüptosporiidiumi ootsüstid (leiuga proovide arv)	Giardia tsüstid (leiuga proovide arv)	Mikrotsüstiin-LR µg (leiuga proovide arv)
0-2,5	0	0	0
2,5-5	0	2	0
5-7,5	0	3	0
7,5-10	3	3	1
10-12,5	3	3	0
12,5-15	4	7	2
15-17,5	9	12	5
17,5-20	3	5	1
20-22,5	0	0	2
22,5-25	2	2	0

Tabeli 3 ja joonise 1 järgi tulemused näitavad, et Giardia tsüstide esinemise veetemperatuurivahemik on lai, ulatudes 2,5–5,0 °C-st kuni 25,0 °C-ni. Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemise vahemik on pisut kitsam, jäädes 7,5–10,0 °C ja 25,0 °C vahele. Mõlema parasiidi suurim leidude arv registreeriti temperatuurivahemikus 15,0–17,5°C. Sellele järgneb temperatuurivahemik 12,5–15°C ja siis 17,5–20°C. Temperatuuridel vahemikus 7,5–10°C ja 10–12,5°C avastati mõlemaid parasiite võrdses koguses.

Temperatuurivahemikus 15–17,5 °C, mil mõlemaid tsüste esines kõige rohkem, leiti Giardia tsüste kaheteistkümnes proovis ja Krüptosporiidiumi ootsüste üheksas proovis. Temperatuurivahemikus 12,5–15°C avastati Giardia tsüste seitsmes proovis ja

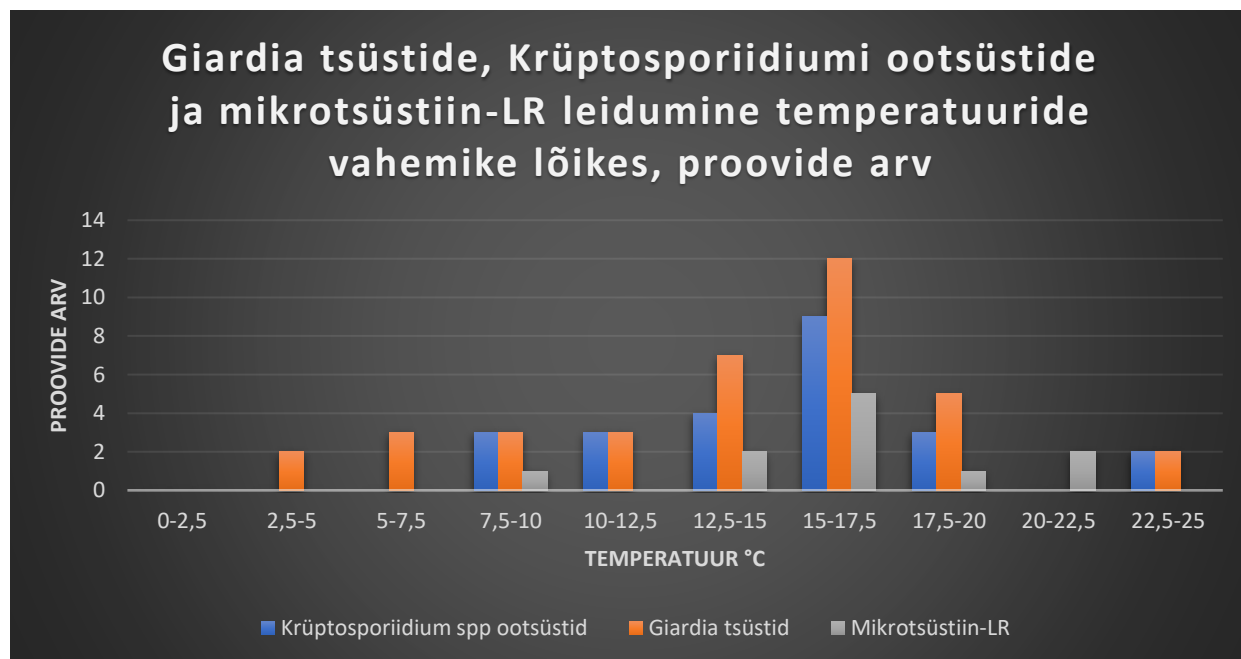
Krüptosporiidiumi ootsüste neljas proovis. Temperatuurivahemikus 17,5–20°C avastati Giardia tsüste viies proovis ja Krüptosporiidiumi ootsüstide kolmes proovis.

Temperatuurivahemikes 12,5–15,0°C ja 17,5–20,0°C leiti Giardia tsüste rohkem kui Krüptosporiidiumi ootsüste. Külmematel temperatuuridel (2,5–7,5°C) esinesid ainult Giardia tsüstid.

Mikrotsüstiin-LR leiti toorvees temperatuurivahemikus 7,5–10°C ühes proovis, 12,5–15,0°C kahes proovis, 15,0–17,5°C viies proovis, 17,5–20°C ühes proovis ja 20–22,5°C kahes proovis.

Seega on sinivetikate (tsüanobakterite) poolt produtseeritav mikrotsüstiin-LR tuvastatav vees temperatuurivahemikus 7,5–22,5°C, kusjuures kõige sagedamini on mikrotsüstiin-LR avastatud proovides, mille temperatuur jäi vahemikku 15,0–17,5°C.

Neid järeldusi illustreerib ka joonis 1, kus on toodud Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leiud (proovide arv) erinevatel temperatuuridel.



Joonis 1. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidumine temperatuuride vahemike lõikes (proovide arv).

Tabel 4. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidude keskmine, miinimum ja maksimum tase erinevatel temperatuuridel.

Temperatuurid °C	Krüptosporiidiumi ootsüstid/ 10 l			Giardia tsüstid/ 10 l			Mikrotsüstiin-LR µg/l		
	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max
0-2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5-5	0	0	0	2	2	2	0	0	0
5-7,5	0	0	0	7	15	31	0	0	0
7,5-10	1	4	8	18	30	47	0,1	0,1	0,1
10-12,5	4	7	11	1	34	92	0	0	0
12,5-15	1	5	10	2	3	5	0,1	0,15	0,2
15-17,5	1	5	17	1	4	10	0,1	0,14	0,2
17,5-20	1	4	10	1	6	23	0,2	0,2	0,2
20-22,5	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
22,5-25	2	3	3	5	8	10	0	0	0

Giardia tsüstide leidude keskmised tasemed olid kõige kõrgemad temperatuurivahemikus 7,5–12,5°C, kus leidude keskmine tase ulatus ligikaudu 30–34 tsüstini 10 liitri vee kohta. Nii sellest vahemikust madalamatel kui ka kõrgematel temperatuuridel olid Giardia tsüstide leidude keskmised tasemed märgatavalt madalamad.

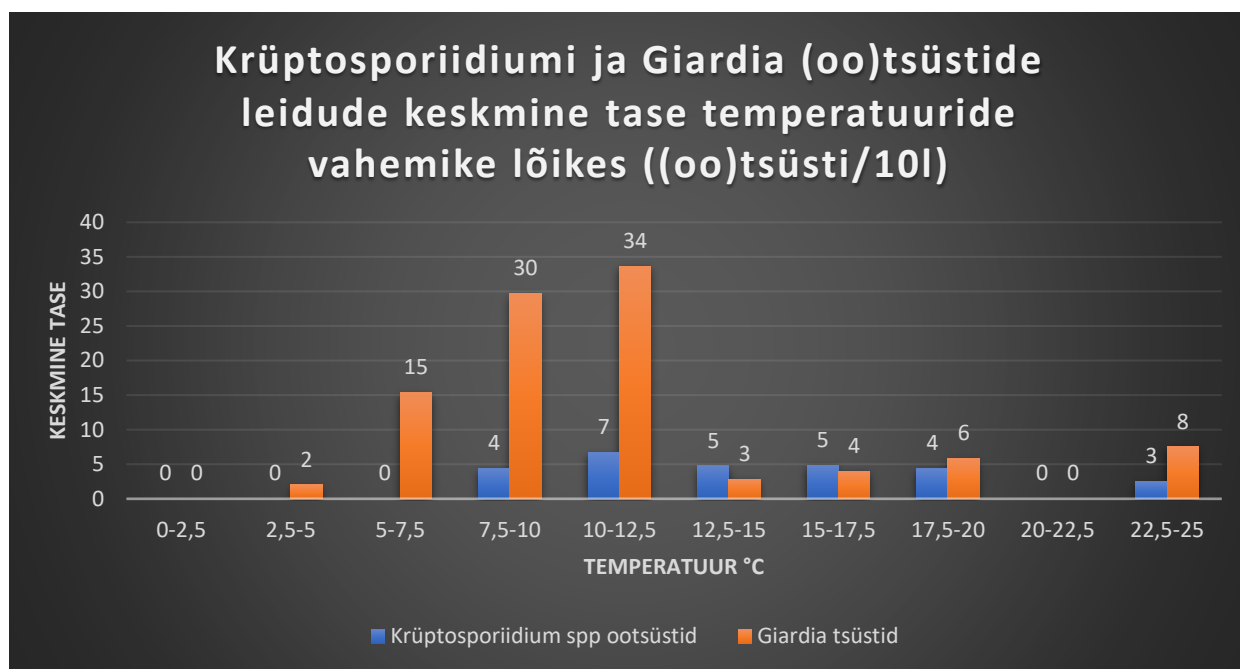
Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmised tasemed olid kõrgeimad temperatuurivahemikus 10–17,5 °C, kus keskmine esinemissagedus jäi vahemikku ligikaudu 5–7 ootsüsti 10 liitri kohta. Ka Krüptosporiidiumi ootsüstide puhul täheldati, et nii madalamatel kui ka kõrgematel temperatuuridel olid leidude keskmised tasemed madalamad.

Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmiste tasemete võrdlus näitab, et Giardia tsüstide keskmine tase oli oluliselt kõrgem kui Krüptosporiidiumi ootsüstidel, erinevus ulatudes ligikaudu 4,9–5-kordseni.

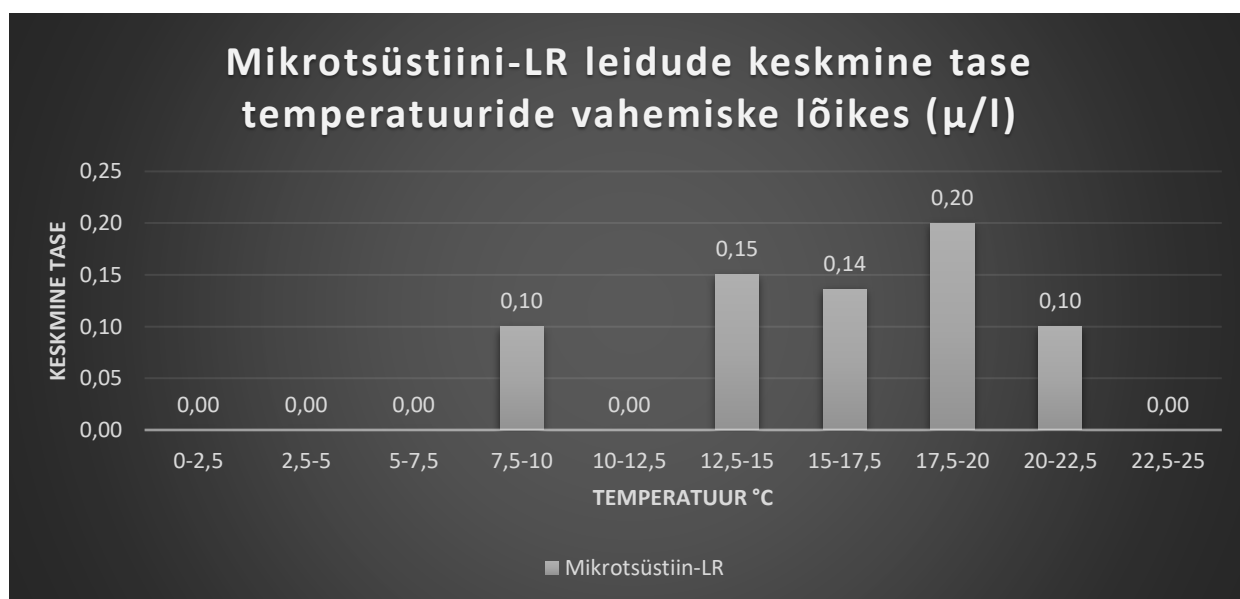
Tabelis esitatud andmete põhjal ei ilmne siiski selget ega otsest korrelatsiooni veetemperatuuri ning Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmiste tasemete vahel. Mõlema parasiidi (oo)tsüstide esinemine vees varieerus nii madalamatel kui ka kõrgematel temperatuuridel, mis viitab sellele, et temperatuuri mõju on kompleksne ning tõenäoliselt seotud teiste ökoloogiliste või keskkonnateguritega.

Samuti ei ilmne tabeli andmete põhjal mikrotsüstiin-LR puhul tugevat seost temperatuuri ja keskmise kontsentratsiooni vahel, kuna kõik mõõdetud väärtused olid madalad ja suhteliselt ühtlased.

Ülaltoodud järeldusi kinnitavad ka joonis 2.1 ja 2.2.



Joonis 2.1. Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmine tase erinevatel temperatuuridel.



Joonis 2.2. Mikrotsüstiini-LR leidude keskmine tase erinevatel temperatuuridel.

Tabel 5. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidumine kuude lõikes (proovide arv)

Kuu	Krüptosporiidiumi ootsüstid proovide arv	Giardia tsüstid proovide arv	Mikrotsüstiin-LR proovide arv	Keskmine temperatuur °C
Oktoober	0	0	0	12,0
November	0	2	0	7,7
Detsember	0	1	1	5,9
Jaanuar	0	0	0	4,1
Veebruar	0	1	0	4,1
Märts	0	0	0	4,5
Aprill	2	4	0	7,1
Mai	5	4	0	10,5
Juuni	4	6	4	15,2
Juuli	5	6	2	17,9
August	4	5	2	19,3
September	4	8	2	16,7

*selles ja allolevates tabelites on näidatud keskmine temperatuur proovivõtupäevadel

Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidumine kuude lõikes viitab nende esinemise seotusele hooajaliste muutustega. Kõige rohkem Krüptosporiidiumi ootsüstide on avastatud mai- ja juulikuus, millal leiti ootsüste kummaski kuus viies proovis, sellele järgneb juuni, august, september, millal leiti ootsüste kummaski kuus neljas proovis ja nendele järgneb aprill, millal ootsüste avastati kahes proovis.

Giardia tsüste on kõige rohkem avastatud septembris: kaheksas proovis (2,56% uuritud proovidest), sellele järgneb juuni ja juuli, millal tsüste on avastatud kummaski kuus kuues proovis (1,92% uuritud proovidest), siis august, millal tsüste on avastatud viies proovis (1,6% uuritud proovidest) ja siis aprill-mai, millal tsüste on avastatud kummaski kuus neljas proovis (1,28% uuritud proovidest). Novembris, detsembris ja veebruaris on tsüste avastatud kummaski kuus 1-2 proovis (0,32-0,64% uuritud proovidest).

Kuude lõikes ilmnes Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemises hooajalisus. Krüptosporiidiumi ootsüste tuvastati aprillist septembrini, enim mais ja juulis. Giardia tsüstid esinesid praktiliselt aastaringselt, välja arvatud oktoobris, jaanuaris ja märtsis.

Mikrotsüstiin-LR leiti peamiselt suvekuudel, kõige rohkem juunis (neljas proovis), üksikuid leide esines ka juulis, augustis (kahes proovis), septembris (kahes proovis) ja detsembris (ühes proovis).

Tabel 6. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidude keskmine, miinimum ja maksimum tase kuude lõikes

Kuu	Krüptosporiidiumi ootsüstid/10l			Giardia tsüstid/10l			Mikrotsüstiin-LR ug/l			Keskmine temperatuur °C
	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	
Oktoober	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
November	0	0	0	7	16	24	0	0	0	7,7
Detsember	0	0	0	2	2	2	0,1	0,1	0,1	5,9
Jaanuar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1
Veebruar	0	0	0	2	2	2	0	0	0	4,1
Märts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5
Aprill	4	6	8	8	45	92	0	0	0	7,1
Mai	1	6	11	1	8	18	0	0	0	10,5
Juuni	1	7	17	2	5	10	0,1	0,15	0,2	15,2
Juuli	2	5	10	2	7	23	0,1	0,1	0,1	17,9
August	1	2	4	1	3	10	0,1	0,15	0,2	19,3
September	2	3	5	1	2	4	0,1	0,15	0,2	16,7

Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemise keskmine tase kuude lõikes on samuti erinev.

Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmine tase on kõige kõrgem aprillis, mais ja juunis, mil see varieerub vahemikus umbes 6–7 ootsüsti/10l. Juulis keskmine tase pisut langeb, võrreldes eelnevate kuudega, olles umbes 5 ootsüsti/10 l. Augustis on tase umbes 2 ootsüsti/10 l ning septembris umbes 3 ootsüsti/10 l. Seega on Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemise perioodil aprillist septembrini selgelt eristatav kõrgeim tase aprillist juunini ning juulist septembrini ilmneb langustrend.

Giardia tsüstide leidude keskmine tase oli kõige kõrgem aprillis, olles umbes 45 tsüsti/10 l. Järgnevalt registreeriti kõrgem keskmine tase novembris – umbes 16 tsüsti/10 l). Mais, juunis ja juulis jäi Giardia tsüstide leidude keskmine tase vahemikku umbes 5–8 tsüsti/10 l. Madalamad leidude keskmised tasemed, vahemikus umbes 2–3 tsüsti/10 l, esinesid augustis, septembris, detsembris ja veebruaris.

Seega esinesid Giardia tsüstid praktiliselt aastaringselt ning selget hooajalist või ajas ühesuunalist esinemistrendi ei täheldatud.

Tallinna pinnavesi. Ülemiste veepuhastusjaam

Tabel 7. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidumine Ülemiste vee puhastusjaama toorvees, kuude ja temperatuuride lõikes (proovide arv)

*selles ja allolevates tabelites on näidatud keskmine temperatuur proovivõtupäevadel

Kuu	Krüptosporiidiumi ootsüstid proovide arv	Giardia tsüstid proovide arv	Mikrotsüstiini-LR proovide arv	Keskmine temperatuur °C
Oktoober	0	0	0	11,5
November	0	0	0	6,9
Detsember	0	0	0	5,7
Jaanuar	0	0	0	4,6
Veebruar	0	0	0	4,5
Märts	0	0	0	5,4
Aprill	2	4	0	9,1
Mai	4	4	0	12,3
Juuni	2	4	4	16,8
Juuli	3	3	2	19,5
August	2	2	1	19,8
September	2	5	0	17,1

Ülemiste järves ilmnes Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide leidumises sesoonsus aprillist septembrini, temperatuurivahemikus 9,1–19,8 °C. Giardia tsüste leiti keskmiselt 1,5 korda rohkemates proovides kui Krüptosporiidiumi ootsüste.

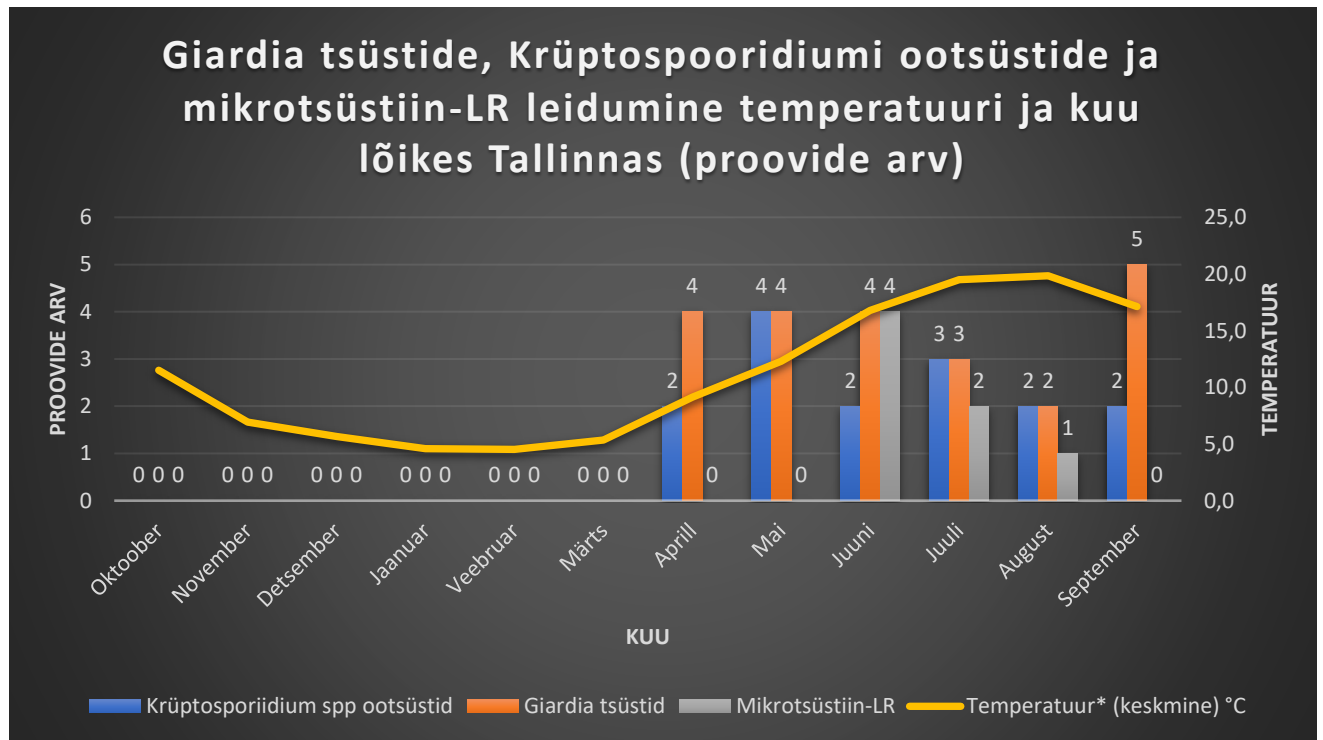
Septembris leiti Giardia viies proovis aprillis, mais ja juunis neljas proovis kummaski kuus, juulis kolmes proovis ja augustis kahes proovis.

Krüptosporiidiumi on avastatud väiksemas arvus proovides: maikuus neljas proovis, juulikuus kolmes proovis ja aprillis, juunis, augustis ja septembris kahes proovis kummaski kuus.

Keskmiselt Giardia tsüste esines 1,5 rohkemates proovides võrreldes Krüptosporiidiumi ootsüstide proovidega.

Mikrotsüstiini-LR esinemises Ülemiste järves võib märgata samuti sesoonsust juunist augustini ning selle esinemine on seotud tsüanobakterite elutsükliga.

Kõige rohkem on leitud mikrotsüstiini-LR määratavates kogustes juunis (neljas proovis), sellele järgneb juuli (kahes proovis) ja augustis ühes proovis.



Joonis 3. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidumine Ülemiste vee puhastusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus kuude ja temperatuuride lõikes (proovide arv).

Madala temperatuuri perioodil (oktoober–märts, ~4–7°C) on Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide leidumine väga väike või puudub. Temperatuuri tõustes alates aprillist (üle ~9°C) kasvab mõlema parasiidi esinemissagedus, saavutades kõrgema taseme suvekuudel (mai–september). See viitab positiivsele seosele temperatuuri ja parasiitide leidumise vahel – kõrgem temperatuur soodustab nende esinemist vees.

Mikrotüstiin-LR väärtused on madalad või olematud külmadel kuudel. Alates juunist, kui temperatuur ületab ~16 °C, ilmneb Mikrotüstiin-LR tõus, eriti juulis–augustis, mil temperatuur on kõrgeim. See näitab selget positiivset seost temperatuuri ja mikrotüstiin-LR kontsentratsiooni vahel, mis on kooskõlas tsüanobakterite soodsa kasvuga soojemas vees.

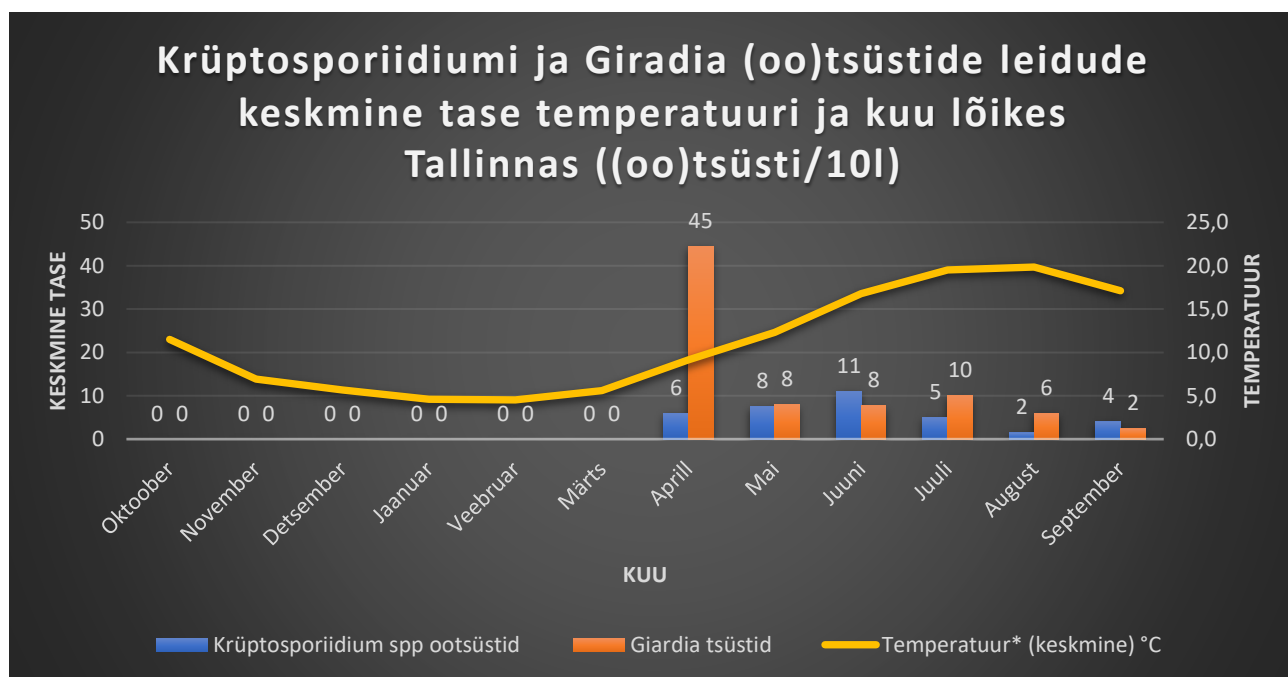
Tabel 8. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidude keskmine tase Ülemiste veepuhustusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgu kuude ja temperatuuride lõikes

Kuu	Krüptosporiidiumi ootsüstid/10l			Giardia tsüstid/10l			Mikrotsüstiini-LR ug/l			Temperatuur (keskmine) °C
	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	
Oktoober	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,9
Detsember	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,7
Jaanuar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6
Veebruar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5
Märts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,6
Aprill	4	6	8	8	45	92	0	0	0	9,1
Mai	4	8	11	1	8	18	0	0	0	12,3
Juuni	5	11	17	4	8	10	0,1	0,15	0,2	16,8
Juuli	2	5	10	2	10	23	0,1	0,1	0,1	19,5
August	1	2	2	2	6	10	0,1	0,1	0,1	19,8
September	3	4	5	1	2	4	0	0	0	17,1

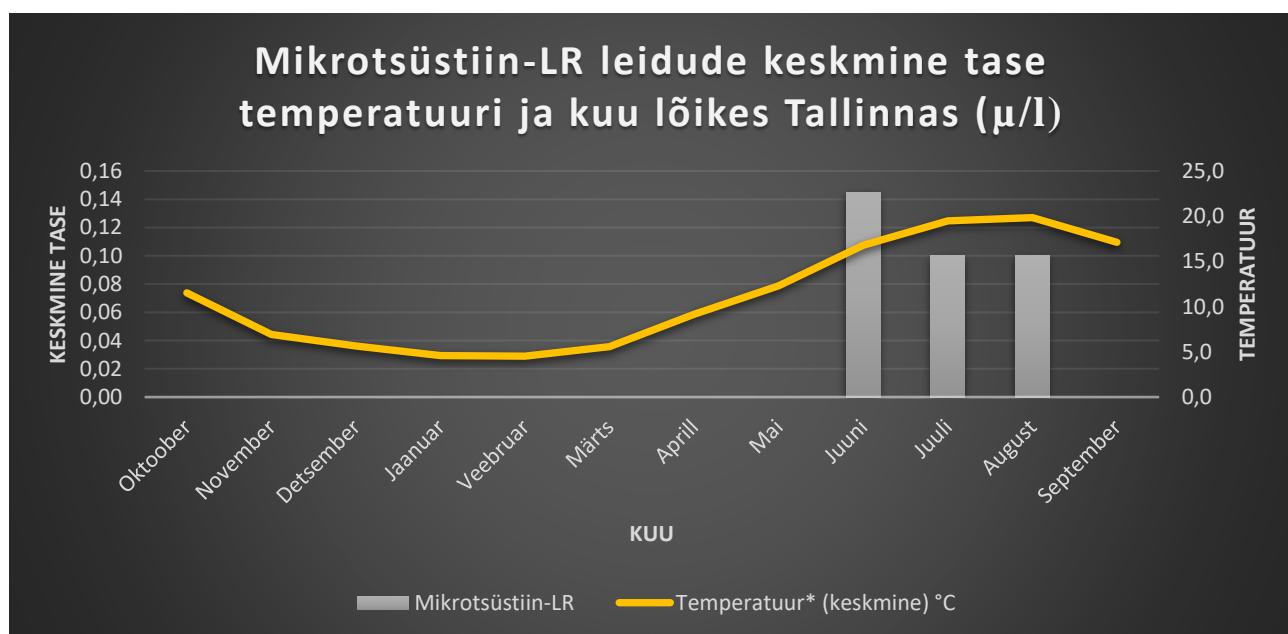
Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmised tasemed varieeruvad kuude lõikes ning hooajalises esinemises ei täheldatud selget tõusu- või langustrendi.

Giardia tsüstide keskmine tase Ülemiste järve vees oli kõrgeim aprillis: umbes 45 tsüsti/10l, sellele järgnes juuli: umbes 10 tsüsti/10l ning mai–juuni: umbes 8 tsüsti/10l. Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmine tase oli kõrgeim juunis: umbes 11 ootsüsti/10l, järgnes mai - umbes 8 ootsüsti/10l ja aprill- 6 umbes ootsüsti/10l. Aprillis täheldati kõige suuremat Giardia tsüstide leidude maksimaalset taset: temperatuuril 10,1 °C esines 92 tsüsti/10l.

Mikrotsüstiini-LR esines väga väikestes kogustes ajavahemikus juunist augustini. Andmetest võib täheldada kergemat langustrendi, kusjuures juuni tasemed olid veidi kõrgemad kui juulis ja augustis.



Joonis 4.1. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmine tase Ülemiste vee puhastusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus kuude ja temperatuuride lõikes.



Joonis 4.2. Mikrotsüstiin-LR leidude keskmine tase Ülemiste vee puhastusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus kuude ja temperatuuride lõikes.

Kuna parasiitide (oo)tsüstide ja mikrotsüstiin-LR tasemete määramisel kasutatakse erinevaid mõõtühikuid, on põhjendatud nende leidude keskmiste tasemete visualiseerimine eraldi graafikutel. Joonistel on esitatud Giardia tsüstide,

Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR keskmised tasemed Ülemiste järve vees kuude ja vee temperatuuri lõikes.

Giardia tsüstide leidude kõrgeim esinemise tase täheldati aprillis, kui vee temperatuurid olid kõige madalamad. Temperatuuri tõustes mai–juuni–juuli jooksul ilmneb leidude esinemise keskmise taseme kasvutrend, kuid augustis, kõige kõrgematel temperatuuridel, tase jälle langeb. See võib olla seotud Giardia elutsükliga, kus soojemal ajal on rohkem vegetatiivseid vorme. Giardia tsüstide puhul on keskmise taseme kõrgeim punkt madalama temperatuuri juures (aprill), kuid see tase langeb kuigi temperatuur tõuseb edasi – selget positiivset korrelatsiooni temperatuuri ja Giardia tsüstide leidude keskmiste tasemete vahel ei ole.

Krüptosporiidiumi ootsüstide puhul täheldati aprillist juunini, vee temperatuuri tõustes 6–12,3 °C juures, esinemise taseme kasvutrendi. Juulist septembrini, kõrgematel temperatuuridel 16,8–19,8 °C, leidude keskmine tase väheneb. Sarnaselt Giardiaiga võib see olla seotud parasiidi elutsükliga. Leidude keskmised tasemed on osaliselt korrelatsioonis temperatuuri graafikuga (aprill-juuni) ja suve teisel poolel sellist seost ei esine.

Mikrotüstiin-LR leidude keskmine tase on kas väga madal või ei ole leitav enamikus kuudes, vähene tõus on nähtav vaid suve lõpus (juulis ja augustis), mil temperatuur on kõrge.

Uurimuse andmete põhjal ei ilmne selget seost vee keskmise temperatuuri ja Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ega mikrotüstiin-LR leidumiste keskmiste tasemete vahel Ülemiste järves. Kuigi temperatuur varieerub hooajaliselt selgelt, ei kajastu see uuritavate näitajate järjepidevas kasvus ega languses. Näiteks Giardia tsüstide leidude keskmine tase on kõrgeim madalama temperatuuri perioodil aprillis ning seejärel langeb, kuigi temperatuur jätkab tõusu.

Seega on tõenäoline, et lisaks temperatuurile mõjutavad uuritavate näitajate taset ka teised keskkonna- ja ökoloogilised tegurid või muud bioloogilised protsessid.

Narva pinnavesi. Narva veepuhastusjaam

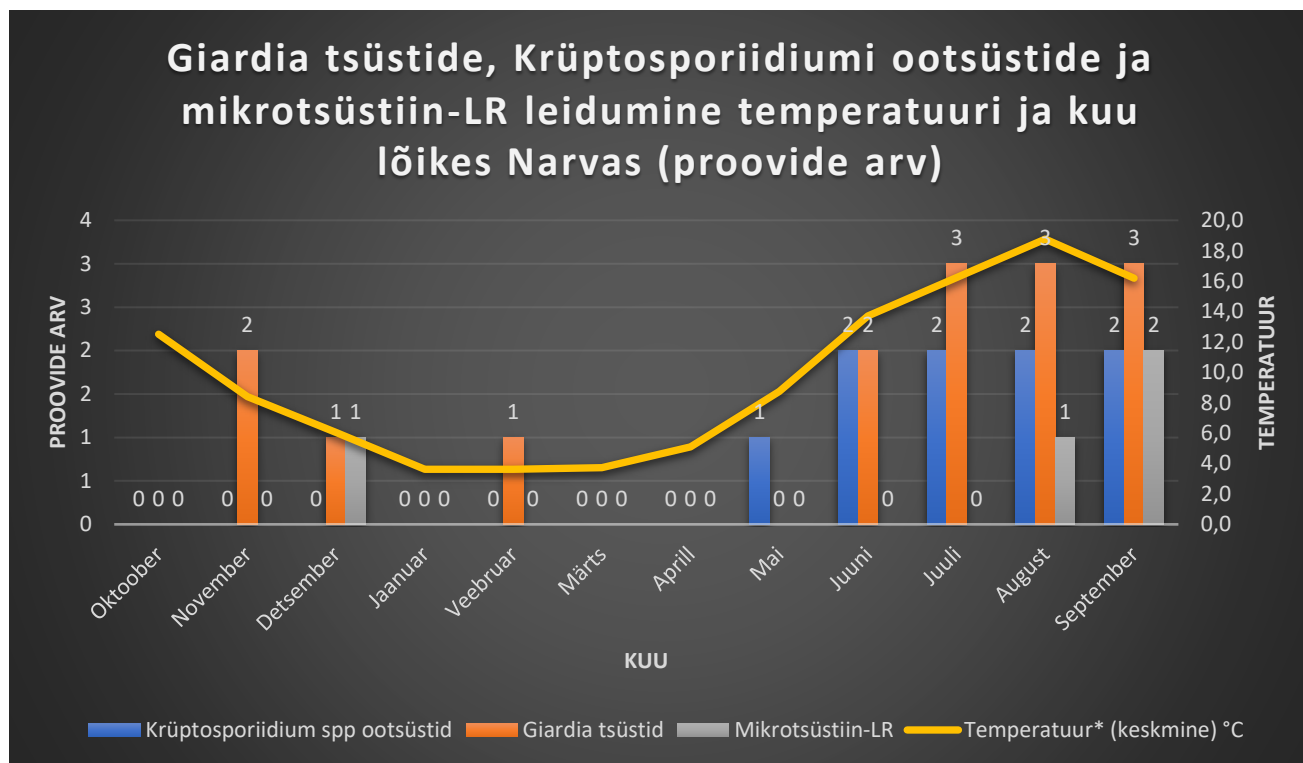
Tabel 10. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidumine Narva veepuhastusjaama toorvees, kuude ja temperatuuride löikes (proovide arv).

Kuu	Krüptosporiidiumi ootsüstid proovide arv	Giardia tsüstid proovide arv	Mikrotsüstiini-LR proovide arv	Keskmine temperatuur °C
Oktoober	0	0	0	12,5
November	0	2	0	8,4
Detsember	0	1	1	6,1
Jaanuar	0	0	0	3,6
Veebruar	0	1	0	3,6
Märts	0	0	0	3,7
Aprill	0	0	0	5,1
Mai	1	0	0	8,7
Juuni	2	2	0	13,7
Juuli	2	3	0	16,2
August	2	3	1	18,8
September	2	3	2	16,2

Narva veepuhastusjaama veevõtukohas (Mustajõe veehaare) on Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemises märgata sesoonsust: neid leiti mai–september perioodil, vee temperatuuride vahemikus 8,7–18,8 °C. Enamikus kuudes sellel perioodil registreeriti ootsüste kahe proovi kohta, maikuu leiti ootsüste ühes proovis.

Giardia tsüste leiti novembris kahes proovis (keskmine temperatuur proovivõtupäevadel 8,4°C), detsembris ühes proovis (T° 6,1 °C), veebruaris ühes proovis (T° 3,6°C) Perioodil juuni–september registreeriti Giardia järgmistes proovides: juunis kahes, juulis kolmes, augustis kolmes ja septembris kolmes proovis (T° 3,7–18,8 °C). Seega Mustajõe veehaardes Giardia esinemise temperatuuri vahemik on väga lai: 3,6–18,8°C.

Mikrotsüstiini-LR on väga väikestes kogustes avastatud detsembris ühes proovis, augustis ühes proovis ja septembris kahes proovis.



Joonis 5. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidumine Narva veepuhastusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus kuude ning temperatuuride lõikes (proovide arv).

Jooniselt 5 nähtub Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidumine Mustajõe veehaarde vees kuude ja temperatuuride lõikes.

Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemine Mustajõe veehaarde vees korreleerub vee temperatuuri muutustega. Novembrist veebruarini, kui vee temperatuur langeb 12,5 °C-lt 3,6 °C-ni, on samas langustrendis ka Giardia tsüstide esinemine, samal ajal Krüptosporiidiumi ootsüste ei leitud. Vee temperatuuri tõustes 5,1 °C-lt 18,8 °C-ni hakkavad toorvee proovides esinema Krüptosporiidiumi ootsüstid alates maist (T° 5,1 °C) ning Giardia tsüstid alates juunist (T° 8,7 °C). Mõlema parasiidi esinemist täheldati uurimisperioodi lõpuni, kuni septembrini.

Mikrotsüstiin-LR leidumine on detsembrist märtsini väga madal või puudub, tõuseb suve lõpuks, mis sarnaneb temperatuuri muutusega.

Mustajõe veehaarde veeproovide analüüs näitab, et Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidumine vees on üldjoontes seotud vee temperatuuri hooajalise tõusuga: leidumine on madalam külmematel kuudel ja suureneb soojematel suvekuudel. Siiski on täheldatud ka kõrget Giardia leidumist madalamatel temperatuuridel (novembris), mis viitab, et temperatuuri mõju ei ole ainus ning uuritavate parameetrite esinemist mõjutavad ka teised keskkonnategurid.

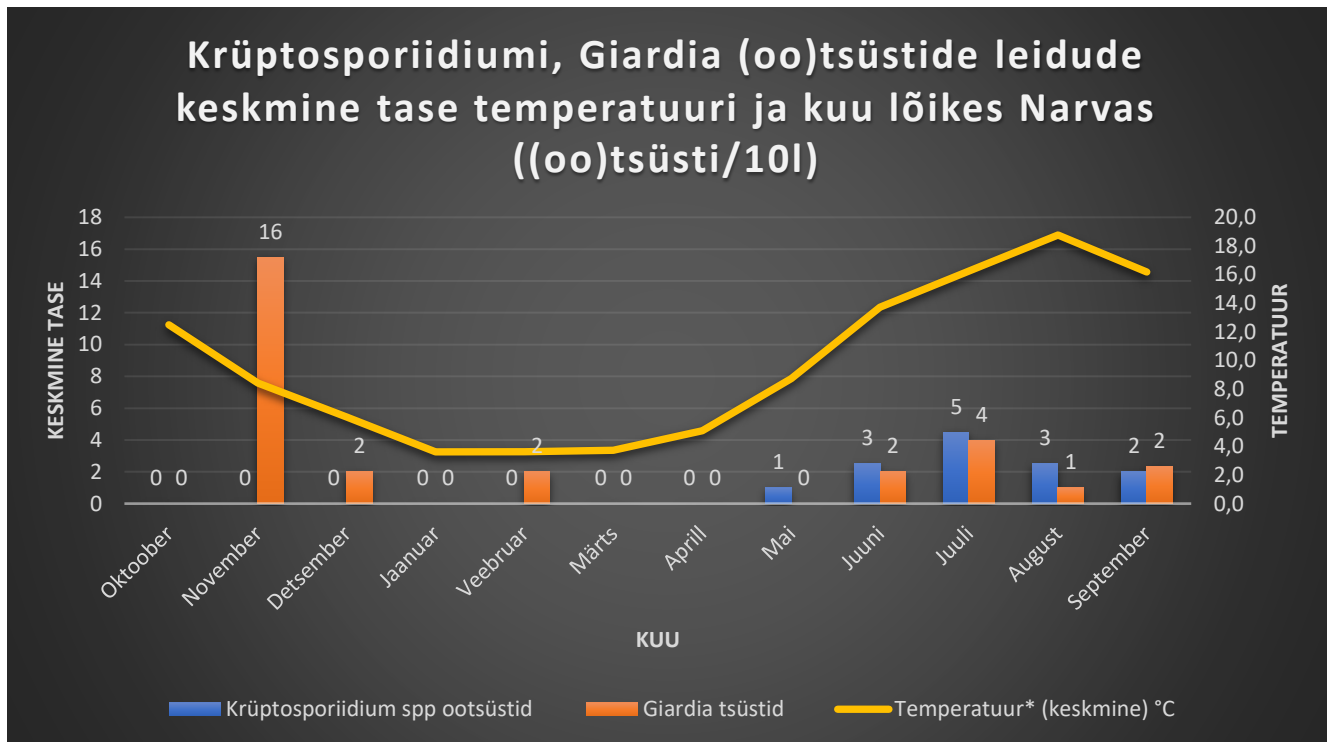
Tabel 11. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidude keskmine, miinimum ja maksimum tase Narva veepuhastusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus kuude ja temperatuuride lõikes.

Kuu	Krüptosporiidiumi ootsüstid/10l			Giardia tsüstid/10l			Mikrotsüstiin-LR ug/l			Keskmine temperatuur °C
	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	Min	Keskmine	Max	
Oktoober	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,5
November	0	0	0	7	16	24	0	0	0	8,4
Detsember	0	0	0	2	2	2	0,1	0,1	0,1	6,1
Jaanuar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,6
Veebruar	0	0	0	2	2	2	0	0	0	3,6
Märts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7
Aprill	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,1
Mai	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8,7
Juuni	1	3	4	2	2	2	0	0	0	13,7
Juuli	4	5	5	2	4	7	0	0	0	16,2
August	1	3	4	1	1	1	0,2	0,2	0,2	18,8
September	2	2	2	1	2	3	0,1	0,15	0,2	16,2

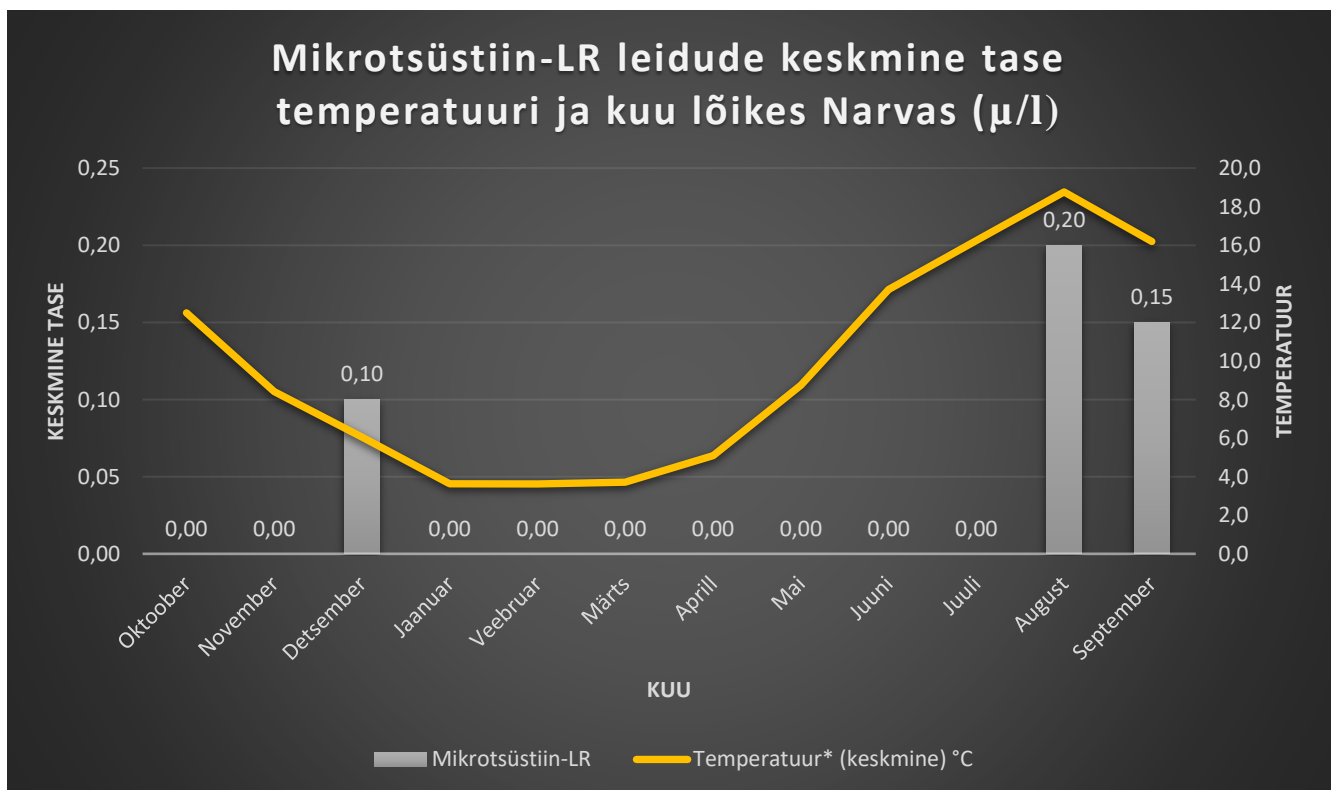
Narva pinnavees ilmnes Krüptosporiidiumi ootsüstide sesoonsus maist septembrini. Mustajõe veehaarde vees hakkas Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmine tase tõusma alates maist, mil leidude keskmine tase oli umbes 1 ootsüst/10 l, saavutades kõrgeima taseme juulis, mil leidude keskmine tase oli umbes 5 ootsüsti/10 l. Augustis, juunis ja septembris langes leidude keskmine tase vahemikku umbes 2-3 ootsüsti/10l.

Giardia tsüstide leidude keskmine tase on Mustajõe veehaardes kõige kõrgem novembris – umbes 16 tsüsti/10 l, sellele järgneb juuli – umbes 4 tsüsti/10 l ning juuni, august, september detsember ja veebruar, millal leidude vahemik on 1-2 tsüsti/10l. Giardia tsüstide esinemise temperatuuri vahemik oli lai (3,6–18,8 °C), hõlmates nii külmema kui ka soojema perioodi.

Mikrotsüstiin-LR tuvastati Mustajõe veehaarde vees väga väikestes kogustes detsembris (keskmine tase 0,10 µg/l), augustis (0,20 µg/l) ja septembris (0,15 µg/l). Võrreldes mikrotsüstiin-LR joogivee normiga (1,0 µg/l) olid toorvees mõõdetud kontsentratsioonid ligikaudu 5–10 korda väiksemad.



Joonis 6.1. Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiini-LR leidude keskmine tase Narva veepuhastusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus kuude ja temperatuuride lõikes.



Joonis 6.2. Mikrotsüstiini-LR leidude keskmine tase Narva veepuhastusjaama toorvees, puhastusetappidel ja jaotusvõrgus kuude ja temperatuuride lõikes.

Joonistelt 6.1 ja 6.2 nähtub Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR esinemise keskmised tasemed Mustajõe veehaarde vees kuude ja temperatuuride lõikes.

Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmine esinemistase oli ajavahemikus maist juulini kasvutrendis ning korreleerus vee temperatuuri tõusuga vahemikus 5,1–13,7 °C. Augustis ja septembris, kõrgematel temperatuuridel 16,2–18,8 °C, täheldati ootsüstide taseme langust, mis võib olla seotud Krüptosporiidiumi elutsükliga.

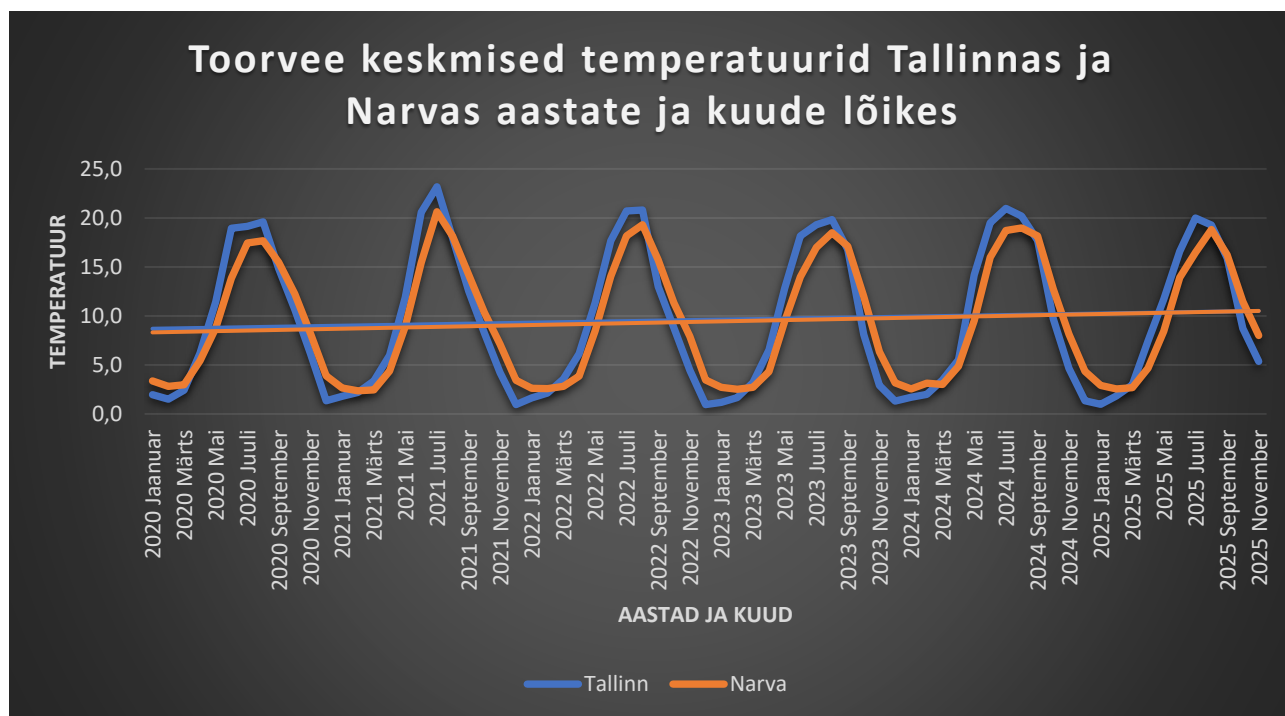
Giardia tsüstide leidude keskmised tasemed on graafiku järgi väheses korrelatsioonis temperatuuriga (juuni-juuli (tõus); november-vebruar (langus)) ja suve teisel poolel sellist seost ei esine.

Mikrotsüstiin-LR leidude keskmised tasemed on madalad, ei näita otsest seost temperatuuriga.

Uurimuse andmete põhjal ei ilmne selget seost vee keskmise temperatuuri ja Giardia tsüstide, Krüptosporiidiumi ootsüstide ega mikrotsüstiin-LR keskmiste tasemete vahel Mustajõe veehaarde vees. Kuigi temperatuur varieerub hooajaliselt selgelt, ei kajastu see uuritavate näitajate järjepidevas kasvus ega languses.

Tallinna ja Narva pinnavee allikate vee temperatuurid aastatel 2020 – 2025

Käesoleva töö raames on uuritud ka Tallinna ja Narva pinnavee allikate vee temperatuure aastatel 2020–2025 veepuhastusjaamade andmete alusel, kus vee temperatuure mõõdetakse iga päev, et välja selgitada nende võimalikud erinevused ja tutvuda viimaste aastate trendidega.



Joonis 7. Tallinna ja Narva pinnavee keskmised temperatuurid 2020–2025.a kuude ja aastate lõikes.

Võrreldes ajavahemiku 2020–2025 pinnavee temperatuure Ülemiste järves ja Mustajõe veehaardes, ilmnevad mitmed erinevused, mis võivad olla seotud veekogude tüübiga ja hüdrooloogiliste tingimustega.

Tallinn kasutab peamiselt järvevett, mis soojeneb kiiremini, samas kui Narva piirkonna veekasutus on rohkem seotud jõeveega, kus pidev veevahetus piirab temperatuuri tõusu. Selle tulemusena saavutab Tallinna toorvesi igal aastal kõrgema suvise maksimumtemperatuuri kui Narva toorvesi. Keskmine erinevus suviste tippude vahel jääb ligikaudu 0,5–1,5 °C Tallinna kasuks ning Tallinna temperatuurimaksimumid on visuaalselt järsemad ja teravamalt väljendunud.

Talveperioodil mõjutab jõgede pidev veevahetus temperatuuri stabiilsust, samas kui järvedes võib jääkate põhjustada tugevamat jahtumist. Selle tulemusena on Tallinna toorvesi mõnel aastal talvel 0,5–1,0 °C võrra külmem kui Narva toorvesi. Narvas püsivad minimaalsed temperatuurid seevastu stabiilsemad ning ilma järskude langusteta.

Üldiselt sõltub Tallinna toorvee temperatuur rohkem ilmastikutingimustest ja aastaajalisest muutlikkusest, samas kui Narva tingimused on stabiilsemad. Tallinnas on sooja ja külma perioodi vahe oluliselt suurem ning temperatuuri kõikumise amplituud on kõrgem, Narvas on aastane temperatuuri varieeruvus väiksem ja muutused sujuvamad.

Kevadperioodil reageerib järvevesi päikesekiirgusele kiiremini kui jõgi. Tallinna toorvee temperatuur hakkab kevadel tõusma veidi varem ning tõus toimub kiiremini, samas kui Narvas on soojenemine ühtlasem ja jaotub pikema ajavahemiku peale. Mõnel aastal

saavutab Tallinna toorvesi maksimaalse temperatuuri kuni üks kuu varem (nt juunis), samas kui Narva maksimumid koonduvad sagedamini juuli lõppu ja augustisse.

Sügisperioodil (september–november) langeb Narvas vee temperatuur kiiremini kui Tallinnas, kus pinnavesi säilitab kõrgema temperatuuri pikema aja jooksul. Kuigi mõlemas asukohas on täheldatav tõusev lineaarne temperatuuritrend, on Tallinna trendijoon pisut järsema tõusunurgaga, viidates tugevamale temperatuuri tõusule Tallinna toorvees. Võimaliku selgitusena võib välja tuua, et järved soojenevad kliimamuutuse mõjul kiiremini kui jõed.

Parasiitide esinemissageduse ja tasemete võrdlus Tallinna ja Narva pinnavees

Tallinna pinnavees oli nii Giardia tsüstide kui ka Krüptosporiidiumi ootsüstide leidumus üldiselt kõrgem kui Narva pinnavees. Proovivõtu sagedus oli ajavahemikus oktoobrist aprillini kaks korda kuus ning aprillist septembrini iganädalane.

Giardia tsüstide maksimaalsed leiud registreeriti Tallinna pinnavees ajavahemikus aprillist juunini, mil tsüste tuvastati igakuiselt neljas proovis. Narva pinnavees oli Giardia tsüstide esinemissagedus madalam, ulatudes maksimaalselt kolme positiivse proovini kuus ajavahemikus juunist septembrini.

Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemine oli Tallinna pinnavees sagedasem ning algas varasemal perioodil võrreldes Narvaga: Tallinna pinnavees tuvastati esimesed ootsüstid aprillis, Narva pinnavees mais. Seega langes parasiitide tsüstide ja ootsüstide esinemissageduse suurenemine ajaliselt kokku vee temperatuuri tõusuga, viidates võimalikule seosele soojema perioodi ja mikrobioloogilise riski suurenemise vahel.

Mikrotsüstiin-LR esinemine pinnavees

Mikrotsüstiin-LR kontsentratsioonid püsisid kogu vaatlusaluse perioodi jooksul mõlema linna pinnavees madalad. Sarnaselt parasiitide esinemisele hakkas mikrotsüstiin-LR Tallinna pinnavees esinema varem kui Narva pinnavees ning selle kontsentratsioonid jäid joogivee kvaliteedinormist ligikaudu 6,7–10 korda madalamaks. Tallinna pinnavees tuvastati mikrotsüstiin-LR esmakordselt juunis, Narvas aga alles augustis.

Tallinna pinnavees ilmnes ajavahemikus juunist augustini mikrotsüstiin-LR esinemissageduses langustrend, mida iseloomustas positiivsete proovide arvu vähenemine. Narva pinnavees ei täheldatud selget hooajalist mustrit ega ühesuunalist esinemistrendi.

Statistilised erinevused Tallinna ja Narva pinnavee vahel

Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemistasemetes ilmnesid statistiliselt mõningased erinevused Tallinna ja Narva pinnavee vahel. Tallinna pinnavees olid Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmised tasemed kogu vaadeldud perioodi vältel kõrgemad võrreldes Narva pinnaveega. Suurim erinevus ilmnes mais, mil Tallinna pinnavees ületas ootsüstide leidude keskmine tase Narva vastavaid väärtusi 7,5-kordselt. Juunis oli erinevus 4,4-kordne, juulis 1,1-kordne ning septembris 2-kordne.

Kõrgeim registreeritud Krüptosporiidiumi ootsüstide tase määrati Tallinna pinnavees ning see oli 17 ootsüsti/10 l (27.06.2025).

Sarnane trend ilmnes ka Giardia tsüstide esinemise keskmistes tasemetes. Tallinna pinnavees oli Giardia tsüstide esinemine selgelt hooajaline, piirdudes peamiselt ajavahemikuga aprillist septembrini, samas kui Narva pinnavees tuvastati Giardia tsüste praktiliselt aastaringselt. Vaatamata sellele oli Giardia tsüstide leidude keskmine tase Tallinna pinnavees suveperioodil märkimisväärselt kõrgem: juunis 3,8-kordselt, juulis 2,5-kordselt ning augustis 6-kordselt võrreldes Narva pinnaveega. Septembris olid Giardia tsüstide keskmised tasemed mõlemas linnas ligikaudu võrdsed.

Sarnaselt Krüptosporiidiumi ootsüstidega registreeriti ka Giardia tsüstide leidude kõrgeimad tasemed Tallinna pinnavees, ulatudes 92 tsüstini/10 l (21.04.2025). Võrdluseks oli Narva pinnavees kõrgeim registreeritud Krüptosporiidiumi ootsüstide tase 5 ootsüsti/10 l (08.07.2025) ning Giardia tsüstide kõrgeim tase 24 tsüsti/10 l (12.11.2024).

Temperatuuri, ajatrendi, asukoha ja parasiitide ning mikrotsüstiin-LR seosed

Korrelatsioonianalüüs viidi läbi Tallinna (Ülemiste) ja Narva pinnavee proovide põhjal, et hinnata veetemperatuuri, ajatrendi (hooajalisuse), asukoha ning parasiitide (Krüptosporiidium, Giardia) ja sinivetikatoksiini mikrotsüstiin-LR omavahelisi seoseid.

Tabel 12. Korrelatsioonimaatriks: Temperatuuri ja uuritud näitajate vahelised seosed. (Tugev seos (>0,4); Nõrk seos (<0,2); tugevam seos tähistatud punase värviga, nõrk seos rohelse värviga).

	Ajaline trend	Tallinna mõju	Veetemperatuur	Krüptosporiidiumi ootsüstid (keskm. tase)	Krüptosporiidiumi ootsüstid (leidumine)	Giardia tsüstid (keskm. tase)	Giardia tsüstid (leidumine)	Mikrotsüstiin-LR (keskm. tase)	Mikrotsüstiin-LR (leidumine)
Ajaline trend	-								
Tallinna mõju	0,02	-							
Veetemperatuur	0,74	0,19	-						
Krüptosporiidiumi ootsüstid (keskm. tase)	0,24	0,29	0,29	-					
Krüptosporiidiumi ootsüstid (leidumine)	0,41	0,18	0,44	0,72	-				
Giardia tsüstid (keskm. tase)	0,00	0,24	0,03	0,34	0,33	-			
Giardia tsüstid (leidumine)	0,42	0,19	0,45	0,46	0,56	0,37	-		
Mikrotsüstiin-LR (keskm. tase)	0,25	0,08	0,33	0,15	0,11	-0,03	0,25	-	
Mikrotsüstiin-LR (leidumine)	0,24	0,12	0,34	0,11	0,05	-0,05	0,20	0,95	-

Ajaline trend ja veetemperatuur

Tulemused (tabel 12) näitavad tugevat positiivset seost ajatrendi ja veetemperatuuri vahel ($r = 0,74$), mis kinnitab oodatud hooajalist mustrit – vee temperatuur tõuseb aja edenedes, eeskätt suveperioodil. See loob eeldused bioloogiliste ja mikrobioloogiliste protsesside intensiivistumiseks pinnavees.

Ajalise trendi ja parasiitide riskinäitajate (leidude arvu) vahel ilmneseid mõõdukad kuni tugevad seosed, eeskätt:

Krüptosporiidiumi risk ($r = 0,41$),

Giardia risk ($r = 0,42$).

See viitab, et patogeenide leidumine ja nendega seotud risk suureneb ajas, mis on kooskõlas hooajalise riskikasvu hüpoteesiga.

Veetemperatuur ja patogeenide esinemine

Veetemperatuuril ilmnese mõõdukas kuni tugev seos parasiitide riskinäitajatega (leidumistega), eriti:

Krüptosporiidiumi risk ($r = 0,44$),

Giardia risk ($r = 0,45$).

Seosed parasiitide leidumiste keskmiste tasemetega ja veetemperatuuri vahel olid pigem nõrgad kuni mõõdukad, mis viitab sellele, et temperatuur ei pruugi otseselt suurendada patogeenide esinemise taset, kuid on oluline tegur riskitaseme (leidumiste arv) kujunemisel (nt eluvõime, nakkuspotentsiaal, kokkupuute tõenäosus).

Tallinna ja Narva võrdlus (asukoha mõju)

Tallinna mõju (asukohategur) seosed parasiitide ja mikrotsüstiini näitajatega olid valdavalt nõrgad ($r < 0,3$). See viitab, et:

Tallinna (Ülemiste) ja Narva pinnavee kvaliteet on paljude näitajate osas võrreldav, asukoht ei ole domineeriv seletav tegur võrreldes ajatrendi ja veetemperatuuriga.

Mõõdukad seosed Tallinna mõjuga Krüptosporiidiumi leidumiste keskmiste tasemetega ($r = 0,29$) ja Giardia leidude keskmiste tasemetega ($r = 0,24$) puhul võivad siiski viidata mõningatele lokaalsele erinevustele, kuid need ei ole domineerivad.

Mikrotsüstiin-LR ja seosed teiste näitajatega

Mikrotsüstiin-LR leidude keskmiste tasemetega ja riskinäitaja (leidumiste arv) vahel ilmnes väga tugev seos ($r = 0,95$), mis kinnitab, et mikrotsüstiini kontsentratsiooni tõus kajastub otseselt ka riskitaseme (leidumiste arvu) suurenemises.

Veetemperatuuril oli mikrotsüstiin-LR näitajatega mõõdukas seos:

mikrotsüstiin-LR (keskmine tase): $r = 0,33$

mikrotsüstiin-LR (leidumine): $r = 0,34$

See viitab, et soojem vesi soodustab sinivetikate toksiinide esinemist, kuid temperatuur ei ole ainus määrav tegur – olulised võivad olla ka toitainete sisaldus ja hüdrooloogilised tingimused.

Huvitaval kombel ei ilmnenud olulist positiivset seost mikrotsüstiini ja parasiitide koguste vahel, mis viitab, et sinivetikate vohamine ja parasiitide esinemine ei pruugi olla otseselt seotud, vaid neid juhivad osaliselt erinevad keskkonnategurid.

Kokkuvõtlik tõlgendus

Üldiselt näitavad tulemused, et:

- hooajalisus ja veetemperatuur on keskse tähtsusega riskinäitajate (leidude arvu) kujunemisel;
- parasiitide esinemise risk (leidude arv), mitte niivõrd nende keskmised tasemed, on tugevamalt seotud temperatuuri ja ajatrendiga;
- mikrotsüstiini esinemise risk (leidude arv) on tihedalt seotud selle kontsentratsiooniga ning mõõdukalt seotud veetemperatuuriga;

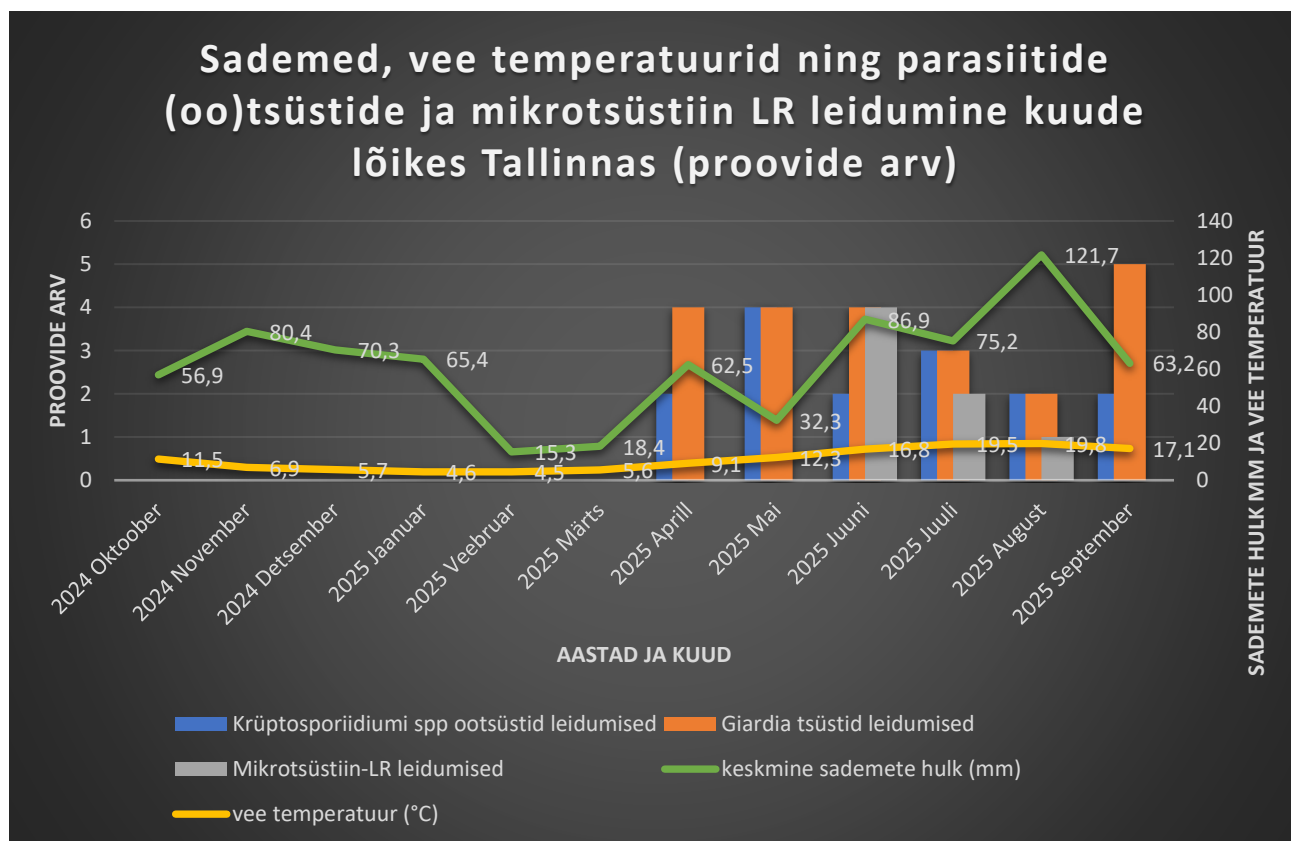
- asukoha mõju (Tallinn vs Narva) on võrreldes kliimatingimustega pigem teisejärguline.

Keskised kuised sademed, pinnavee temperatuur, parasiitide ja mikrotsüstiin-LR sisaldus

Selles peatükis on toodud ülevaade uuringuperioodi (oktoober 2024 – september 2025) kuude kaupa kogutud keskmistest sademetest (allikas: Keskkonnaagentuur, Ilmateenistus), vee temperatuuridest (Narva ja Tallinna VPJ) ning Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidude keskmistest tasemetest Mustajõe ja Narva pinnavees. Analüüsi eesmärk on tuua välja leidude keskmised väärtused ja hooajalised mustrid, mis aitavad hinnata keskkonnatingimuste võimalikku mõju parasiitide esinemisele. Samuti juhime tähelepanu analüüsi piirangutele, kuna ühe aasta andmed ei võimalda teha kindlaid statistilisi järeldusi.

Tallinn

Joonised 8, 9.1 ja 9.2 näitavad uuringuperioodi (oktoober 2024–september 2025) kuude kaupa kogutud keskmisi sademete hulka, vee temperatuure ning Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidusid ning leidude keskmiseid tasemeid Tallinna pinnavees.

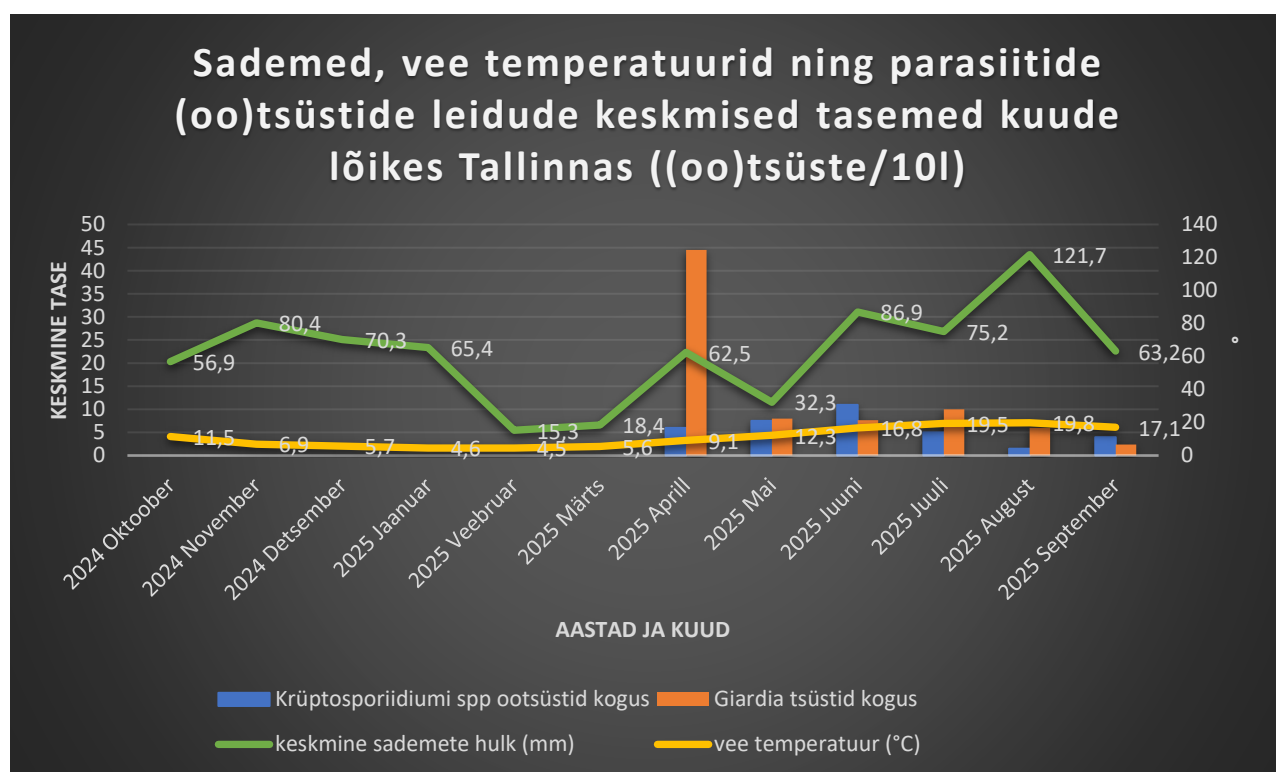


Joonis 8. Keskised sademete hulgad, Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide, mikrotsüstiin-LR leidumine Tallinna pinnavees.

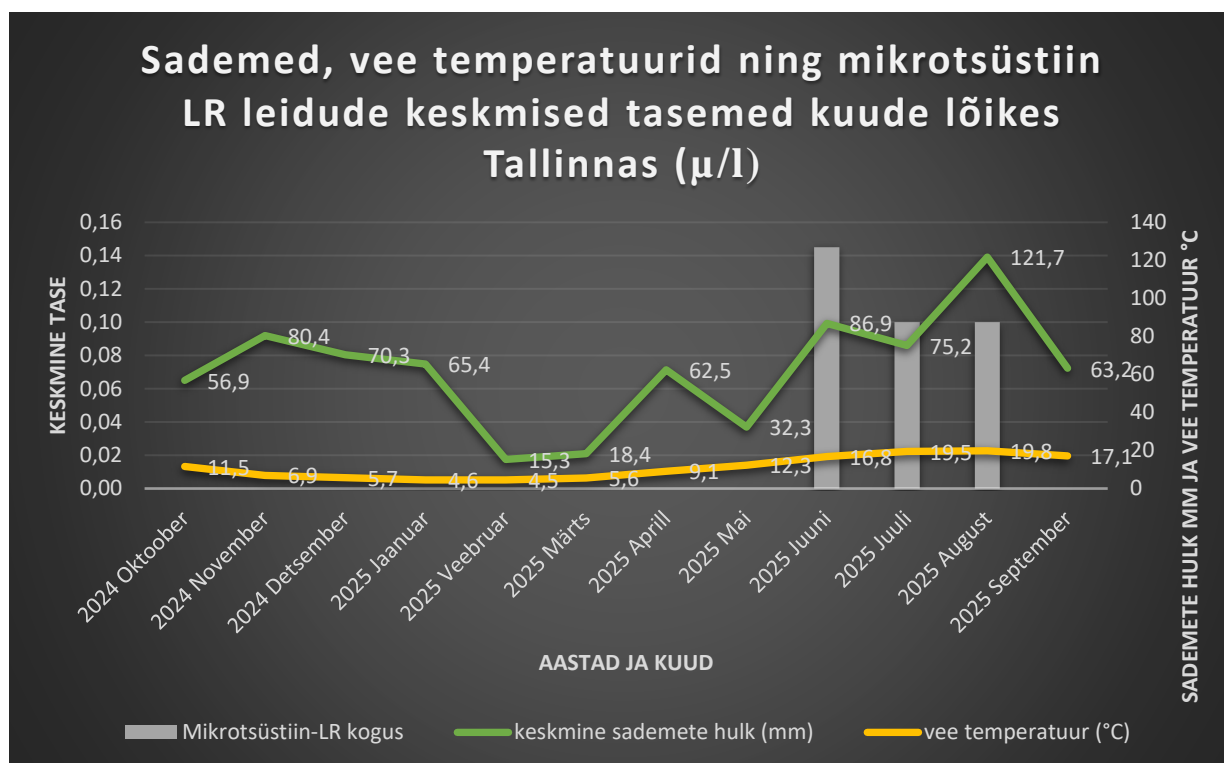
Tallinna graafikute põhjal on näha, et parasiitide (Krüptosporiidium ja Giardia) (oo)tsüstide ning mikrotsüstiin-LR leidumised esinevad valdavalt kevad- ja suveperioodil. Talve- ja varakevadel (detsember–märts) leidumisi ei ole, mis viitab selgele hooajalisusele.

Sademe hulga ja leidumiste vahel ei ole graafikute põhjal tuvastatav selge ega järjepidev seos. Leidumisi esineb nii kuudel, mil sademete hulk on suurem, kui ka kuudel, mil sademete hulk on mõõdukas. Samuti esineb perioode, kus sademete hulk on suhteliselt kõrge, kuid uuritud näitajate leidumisi ei täheldata. Leidumiste sagedus ei suurene ega vähene kooskõlas sademete kuiste kõikumistega.

Seega viitavad Tallinna leidumiste graafikud sellele, et uuritud näitajate esinemine on pigem seotud üldise hooajalisusega kui sademete hulga muutustega. Graafikute põhjal ei ole võimalik järeldada sademete otsest mõju parasiitide ega mikrotsüstiin-LR leidumisele.



Joonis 9.1 Keskmised sademete hulgad ning Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide leidude keskmised tasemed Tallinna pinnavees.



Joonis 9.2. Keskmised sademete hulgad ning mikrotsüstiin-LR leidude keskmised tasemed Tallinna pinnavees.

Joonistelt 9.1 ja 9.2 on näha, et Tallinna pinnavees Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide ning mikrotsüstiin-LR leidude keskmised tasemed on kuude lõikes muutlikud. Talveperioodil ei ole uuritavaid näitajaid tuvastatud, samas kui kevad- ja suveperioodil esineb üksikuid kõrgemaid väärtusi.

Suvekuude keskmised veetemperatuurid jäid vahemikku 16,8–19,8 $^{\circ}\text{C}$ ning sademete hulgad olid kõrgeimad juunist augustini (86,9–121,7 mm kuus) ja Tallinna pinnavees langeb parasiitide suurim esinemine kokku kõrgemate veetemperatuuridega ja mingil määral ka sademete hulgaga. Samas novembrist jaanuarini olid samuti suhteliselt kõrgemad sademete hulgad (65,4-80,4 mm kuus) kuid uuritud näitajaid ei esinenud. Seega otsene seos sademete hulgaga ei ole selgelt eristatav.

Giardia tsüstide leidude keskmine tase suurenes kevadel, eriti aprillis, mil sademete hulk oli mõõdukalt kõrgem. Suvekuudel ei järgnenud sarnasele või suuremale sademete hulgale Giardia taseme tõus, mis viitab, et ka muud keskkonnategurid mõjutavad parasiitide esinemist.

Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmised tasemed jäid kogu perioodi jooksul madalaks ja ei näidanud selget seost sademete muutustega.

Selgeim seos ilmnes mikrotsüstiin-LR puhul. Kõrgemad kontsentratsioonid esinesid suvel, mil veetemperatuur ja sademed olid suuremad. See viitab, et sademed võivad

kaudselt mikrotsüstiin-LR taset mõjutada, näiteks toitainete liikumine veekogusse, kuid peamine tegur on tõenäoliselt veetemperatuur ja suvine bioloogiline aktiivsus.

Sademetes hulga ja leidude keskmiste tasemete vahel ei ilmne jooniste ja andmete põhjal selget ega järjepidevat seost. Kuudel, mil sademete hulk on suurem, ei suurene vastavalt leidude keskmised tasemed. Samuti esineb kuusid, kus leidude keskmised tasemed on kõrgemad ilma selge seoseta sademete maksimumidega. Leidude keskmiste tasemete kõikumine ei peegelda sademete kuiseid muutusi üheselt ega prognoositavalt.

Seega viitavad Tallinna keskmiste tasemete joonis ja andmed sellele, et uuritud näitajate keskmiste tasemete muutused on pigem episoodilised ja hooajalised ning ei ole otseselt seostatavad sademete hulga muutustega.

Uuringust selgub, et Ülemiste järves ei ole sademete hulga ja uuritud näitajate (mikrotsüstiin-LR, Giardia tsüstid, Krüptosporiidiumi ootsüstid) vahel üheselt tugevat ega lineaarset seost. Mõningatel perioodidel langevad kõrgemad sademetasemed kokku mõnede näitajate suurenemisega, kuid see muster ei ole järjepidev kogu vaatlusaasta jooksul.

Sademetes, veetemperatuuri ja ainete seosed Tallinna pinnavees

Korrelatsioonianalüüs viidi läbi Tallinna (Ülemiste) pinnavee andmete põhjal, et hinnata sademete hulga, veetemperatuuri ja ajatrendi (kuu/hooajalisuse) seoseid parasiitide (Krüptosporiidium, ja Giardia (oo)tsüstide) ning sinivetikatoksiini mikrotsüstiini-LR leidumiste keskmistele tasemetele ja leidumiste arvule.

Tabel 13. Maatriks: Sademete ja uuritud näitajate seosed Tallinnas (Tugev seos (>0,4); Nõrk seos (<0,2); tugevam seos tähistatud punase värviga, nõrk seos rohelise värviga).

	Ajaline trend	Sademetes hulk	Vee-temperatuur	Krüptosporiidiumi ootsüstid (keskm. tase)	Krüptosporiidiumi ootsüstid (leidumine)	Giardia tsüstid (keskm. tase)	Giardia tsüstid (leidumine)	Mikrotsüstiin-LR (keskm. tase)	Mikrotsüstiin-LR (leidumine)
Kuu	-								
Sademetes hulk	0,29	-							
Vee-temperatuur	0,77	0,59	-						
Krüptosporiidiumi ootsüstid (keskm. tase)	0,59	0,16	0,57	-					
Krüptosporiidiumi ootsüstid (leidumine)	0,75	0,19	0,72	0,79	-				
Giardia tsüstid (keskm. tase)	0,26	0,11	0,14	0,49	0,43	-			
Giardia tsüstid (leidumine)	0,80	0,21	0,69	0,86	0,86	0,54	-		
Mikrotsüstiin-LR (keskm. tase)	0,55	0,62	0,73	0,57	0,43	0,06	0,38	-	
Mikrotsüstiin-LR (leidumine)	0,44	0,45	0,60	0,69	0,37	0,06	0,40	0,94	-

Ajaline trend, sademed ja veetemperatuur

Ajalise trendi ja veetemperatuuri vahel ilmnes väga tugev positiivne seos ($r = 0,77$), mis viitab selgele hooajalisusele ning vee soojenemisele suveperioodil. Samuti oli mõõdukalt tugev seos sademete hulga ja veetemperatuuri vahel ($r = 0,59$), mis osutab sellele, et sademerohkemad perioodid langevad sageli kokku soojema aastaajaga.

Ajalise trendi ja sademete hulga vaheline seos oli nõrk kuni mõõdukas ($r = 0,29$), mis viitab, et kuigi sademetel on teatav hooajaline komponent, ei ole nende jaotus ajas nii üheselt määratud kui veetemperatuuril.

Krüptosporiidium ja seosed sademete ning temperatuuriga

Krüptosporiidiumi leidude keskmiste tasemete ja veetemperatuuri vahel esines mõõdukalt tugev seos ($r = 0,57$), samas kui seos sademete hulgaga oli nõrk ($r = 0,16$). See viitab, et soojem vesi soodustab patogeeni esinemist, samas kui sademete otsene mõju leidude keskmise tasemele on piiratud.

Krüptosporiidiumi riskinäitaja (leidumised, ehk proovide arv) oli väga tugevalt seotud nii ajatrendi ($r = 0,75$) kui ka veetemperatuuriga ($r = 0,72$), ning samuti patogeeni leidude keskmise tasemega ($r = 0,79$). Sademete hulgaga oli seos taas nõrk ($r = 0,19$). Tulemused osutavad, et temperatuur ja hooajalisus mängivad olulisemat rolli näitajare tõenäosuse kujunemisel kui sademed.

Giardia ja seosed keskkonnateguritega

Giardia leidude keskmiste tasemete seosed veetemperatuuri ($r = 0,14$) ja sademete hulgaga ($r = 0,11$) olid nõrgad, viidates, et patogeeni leidumiste keskmised tasemed võivad olla ebastabiilsed ja juhuslikud. Samas ilmnes mõõdukas seos Giardia ja Krüptosporiidiumi leidude keskmiste tasemete vahel ($r = 0,49$), mis võib viidata ühistele saasteallikatele või sarnastele levikumehhanismidele.

Giardia riskinäitaja (leidude, ehk proovide arv) seevastu oli tugevalt seotud ajatrendi ($r = 0,80$) ja veetemperatuuriga ($r = 0,69$) ning väga tugevalt Krüptosporiidiumi riskinäitajaga (leidumiste, ehk proovide arvuga) ($r = 0,86$). See näitab, et riskitase (leidumiste arv) suureneb eeskätt soojemal ja hooajaliselt soodsal perioodil, isegi kui leidumiste keskmised tasemed ei kasva samas ulatuses.

Mikrotsüstiin-LR ja seosed sademete ning temperatuuriga

Mikrotsüstiini leidude keskmised tasemed olid mõõdukalt tugevalt seotud nii sademete hulgaga ($r = 0,62$) kui ka veetemperatuuriga ($r = 0,73$). See viitab, et sinivetikate toksiinide teke on seotud nii soojemate tingimuste kui ka sademetest tingitud toitainete sissekandega.

Mikrotsüstiini leidude arv oli tugevalt seotud selle kontsentratsiooniga ($r = 0,94$) ning mõõdukalt seotud veetemperatuuri ($r = 0,60$) ja sademete hulgaga ($r = 0,45$). Parasiitide

(oo)tsüstide leidude keskmiste tasemete ja mikrotsüstiini kontsentratsiooni vahel esinesid valdavalt nõrgad seosed, mis viitab, et sinivetikate vohamist ja parasiitide esinemist mõjutavad osaliselt erinevad keskkonnategurid.

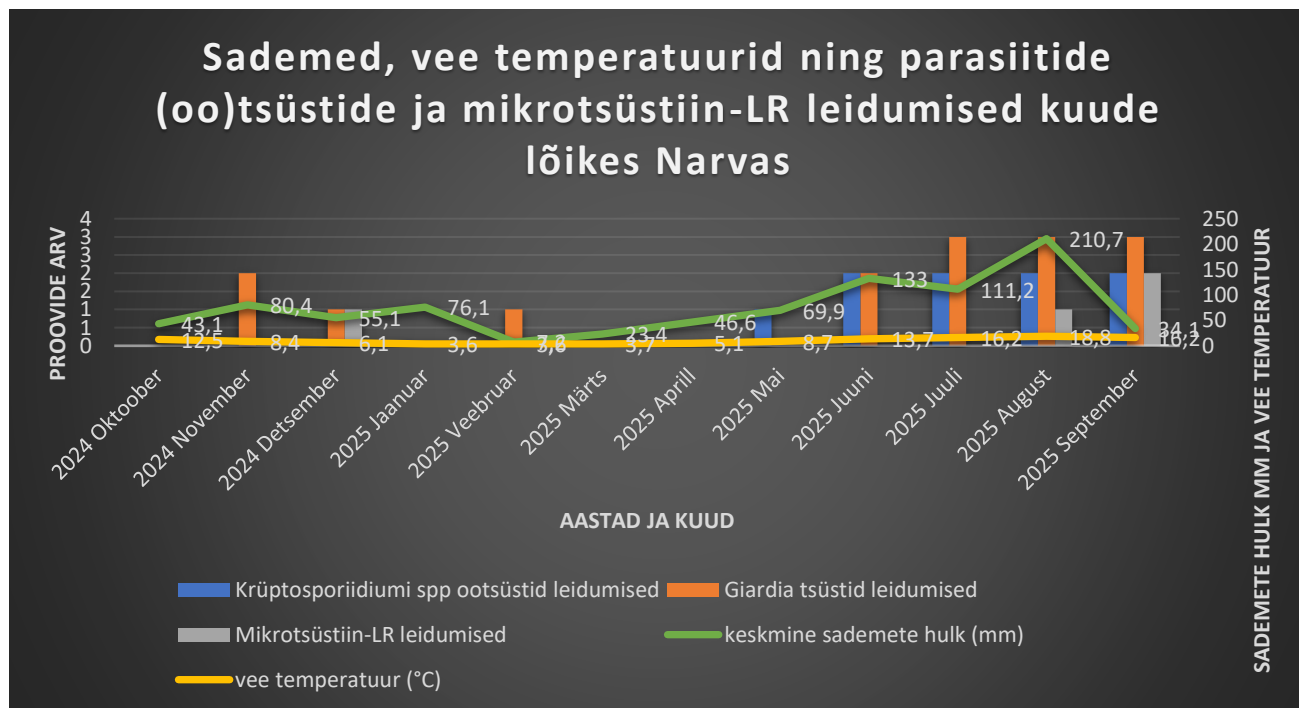
Üldine tõlgendus Tallinna pinnavee kohta

Kokkuvõttes näitavad Tallinna andmed, et:

- veetemperatuur ja hooajalisus on keskse tähtsusega parasiitide ja mikrotsüstiini riskinäitajate (leidumiste arvu) kujunemisel;
- sademed mõjutavad eeskätt mikrotsüstiin-LR-i, tõenäoliselt toitainete äravoolu kaudu;
- parasiitide riskinäitajad (leidude, ehk proovide arv) reageerivad keskkonnatingimustele tugevamalt kui nende leidude keskmine tase;
- soojemad ja sademerohked perioodid kujutavad endast kõrgendatud riski joogivee kvaliteedile Tallinna pinnavees.

Narva

Joonised 10, 11.1 ja 11.2 näitavad uuringuperioodi (oktoober 2024–september 2025) kuude kaupa kogutud keskmisi sademete hulkasid, vee temperatuure ning Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidusid ning leidude keskmiseid tasemeid Narva pinnavees.

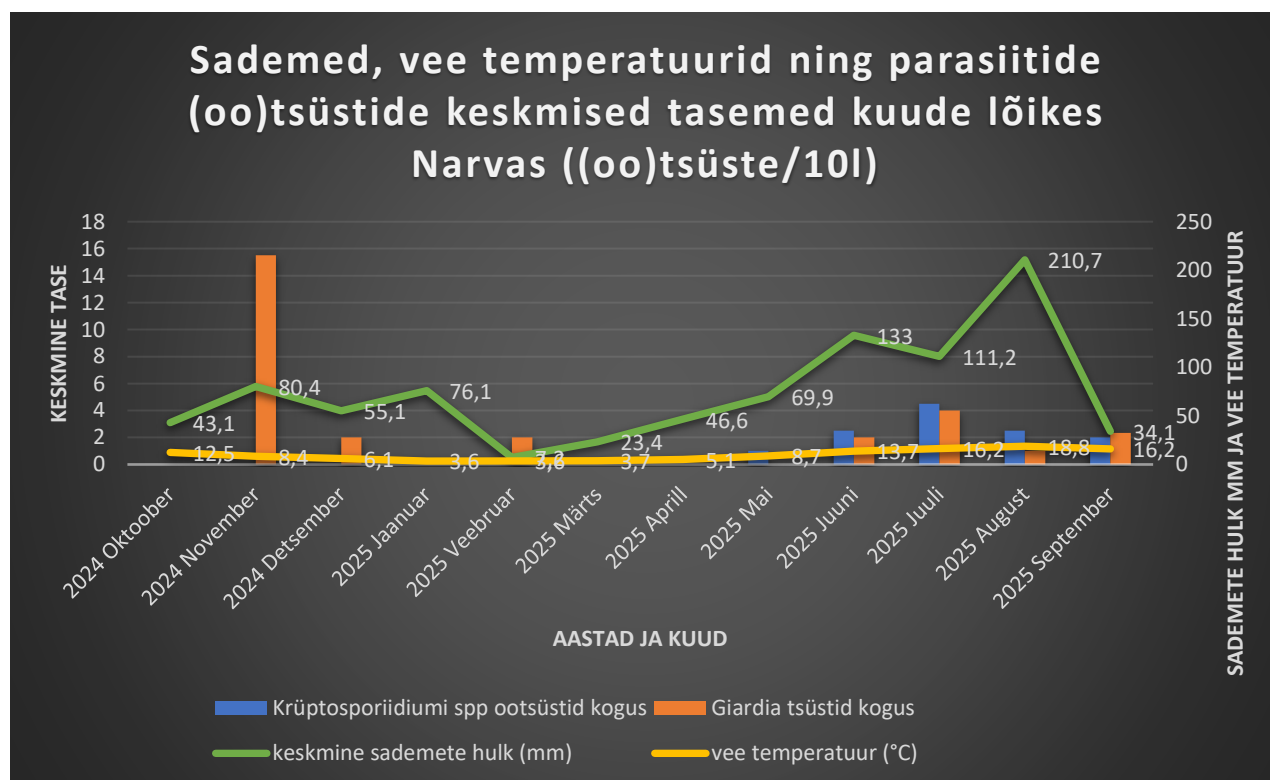


Joonis 10. Keskmised sademete hulgad, Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide, mikrotsüstiin-LR leidumised Narva pinnavees.

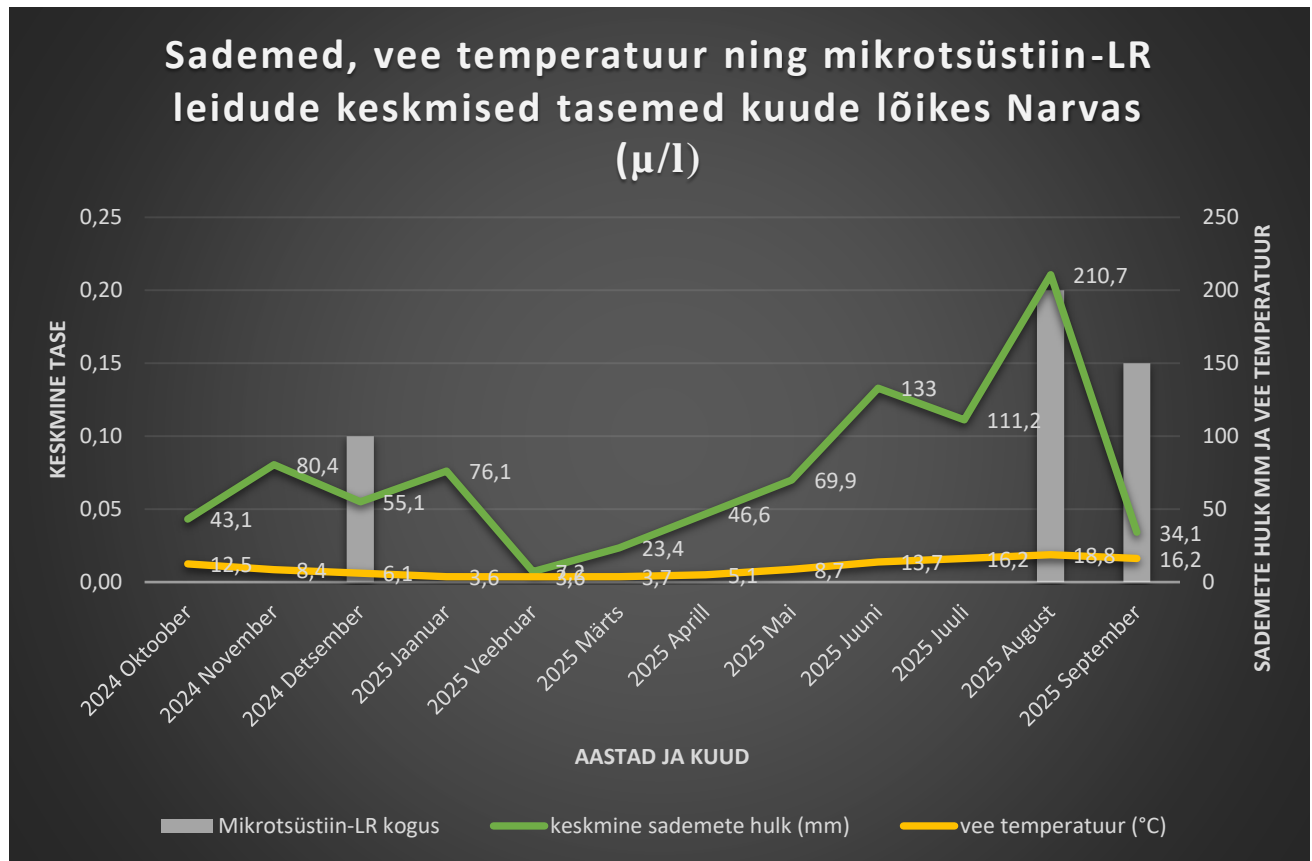
Uurimisandmete alusel Mustajõe veehaarde uuritavate näitajate leidumised näitavad, et parasiitide ja mikrotsüstiin-LR leidumised koonduvad peamiselt soojemasse aastaega. Selge hooajaline esinemise trend on ainult Krüptosporiidiumi ootsüstidel. Giardia tsüste leidub praktiliselt aastaringselt, kuid juunist-septembrini leiud on igakuised ja tihedamad, mis viitab võimalikule esinemise hooajalisuse trendile. Mikrotsüstiini-LR leidumised on suuremad augustis-septembris, kuid üksikleid on avastatud detsembris, mis samuti viitab võimalikule esinemise hooajalisuse trendile.

Samas ei ole Narvas täheldada selget ega üheselt tõlgendatavat seost sademete hulga ja uuritud näitajate leidumiste vahel. Krüptosporiidiumi ootsüstide leidumisi esineb nii suuremate kui ka mõõdukate sademete hulkadega kuudel. Suve- ja talvekuudel võivad Giardia tsüstide leidumised mõnevõrra korreleeruda sademete hulgaga Narvas.

Narva leidumiste andmete ja graafikute põhjal ei ole võimalik eristada selget seost, mis viitaks sademete hulga otsesele või prognoositavale mõjule parasiitide (oo)tsüstide või mikrotsüstiin-LR esinemisele. Uuritavate näitajate leidumised on peamiselt hooajalises trendis.



Joonis 11.1. Keskmised sademete hulgad ning Krüptosporiidiumi ootsüstide ja Giardia tsüstide keskmised tasemed Narva pinnavees.



Joonis 11.2 Keskmised sademete hulgad ning mikrotsüstiin-LR leidude keskmised tasemed Narva pinnavees.

Narva pinnavees tuvastati Krüptosporiidiumi ootsüstid esmakordselt maikuus (1,0/10l), saavutades kõrgeima taseme juulis (4,5/10 l). Giardia tsüstide arv oli suurim novembrikuus (15,5/10 l), jäädes muudel kuudel madalamaks. Mikrotsüstiin-LR esines suvekuudel (august–september) keskmisel tasemel 0,15–0,20 $\mu g/l$, detsembrikuus üksikleilul mikrotsüstiin-LR tase oli 0,10 $\mu g/l$.

Suvekuude keskmised veetemperatuurid jäid vahemikku 13,7–18,8 $^{\circ}C$ ning sademete hulgad olid kõrgeimad juunist augustini (111–211 mm kuus). Veel üks sademete hulgakasv on täheldatud novembrist jaanuarini (80-76 mm kuus), praktiliselt samal perioodil (novembrikuus, detsembrikuus ja veebruarikuus) on Narva pinnavees leitud Giardia tsüste ja detsembris mikrotsüstiin-LR-i. Talvisel perioodil olid sademete hulgad sarnased mõlemas piirkonnas. Samas Tallinnas talvisel ajal leiud puudusid.

Suvekuude keskmised veetemperatuurid jäid vahemikku 13,7–18,8 $^{\circ}C$ ning suurimad sademete hulgad registreeriti perioodil juunist augustini (111–211 mm kuus). Täiendav sademete hulga suurenemine ilmses ajavahemikus novembrist jaanuarini (76–80 mm kuus). Samal perioodil (novembris, detsembris ja veebruaris) tuvastati Narva pinnavees Giardia tsüste ning detsembris ka mikrotsüstiin-LR-i. Talveperioodil olid sademete hulgad sarnased mõlemas uuritud piirkonnas, kuid erinevalt Narvast puudusid Tallinnas sel ajal nii parasiitide (oo)tsüstide kui ka mikrotsüstiini leiud.

Tulemused viitavad võimalikule seosele suurenenud sademete hulga ja mikrobioloogiliste ning toksikoloogiliste leidude esinemise vahel suvisel- ja talvisel perioodil Narva pinnavees. Tallinnas sarnaste leidude puudumine viitab sellele, et lisaks sademetele võivad olulist rolli mängida ka kohalikud hüdrooloogilised tingimused, valgala eripärad.

Narva leidude keskmiste tasemete graafikute puhul on samuti näha, et uuritud näitajate leidude keskmised tasemed on kuude lõikes varieeruvad. Giardia tsüstide leidude keskmine tase oli kõige kõrgem novembrikuus. Seejärel kuude lõikes leidude keskmine tase kõigub ja tasemetes ei esine selget trendi. Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmine tase hakkab kasvama maikuus, jõuab oma kõrgeimale tasemele juulikuus ja hakkab langema augustist septembrini. Mingil määral on see korrelatsioonis sademete hulgaga ja veetemperatuuriga (mai-juuli).

Üldiselt andmete põhjal ei ilmne selget ega üheselt tõlgendatavat seost sademete hulga ja leidude keskmiste tasemete vahel. Suuremate sademete hulkadega kuudel ei ole täheldatav järjepidev ega proportsionaalne leidude keskmiste tasemete tõus. Samuti esineb kuusid, kus leidude keskmised tasemed on kõrgemad ilma vastava sademete tiputa.

Narva pinnavee andmete põhjal ei ole seega võimalik eristada kindlat trendi, mis viitaks sademete hulga otsesele või prognoositavale mõjule parasiitide (oo)tsüstide või mikrotsüstiin-LR leidude keskmistele tasemetele. Mingil määral on eristatav lühiajaline seos Krüptosporiidiumi ootsüstide ja mikrotsüstiin-LR leidude keskmiste tasemete ja sademete hulga vahel.

Sademetes, veetemperatuuri ja ainete seosed Narva pinnavees

Korrelatsioonianalüüs Narva pinnavee andmete põhjal võimaldas hinnata ajatrendi (hooajalisuse), sademete hulga ja veetemperatuuri mõju parasiitide (Krüptosporiidium, Giardia) ning sinivetikatoksiini mikrotsüstiin-LR leidumiste keskmistele tasemetele ja leidumiste arvule.

Tabel 14. Maatriks: Sademete ja uuritud näitajate seosed Narvas. (Tugev seos (>0,4); Nõrk seos (<0,2); tugevam seos tähistatud punase värviga, nõrk seos rohelise värviga)

	Ajaline trend	Sademete hulk	Vee-temperatuur	Krüptosporiidiumi ootsüstid (kesk. tase)	Krüptosporiidiumi ootsüstid (leidumine)	Giardia tsüstid (kesk. tase)	Giardia tsüstid (leidumine)	Mikrotsüstiin-LR (kesk. tase)	Mikrotsüstiin-LR (leidumine)
Kuu	-								
Sademete hulk	0,44	-							
Veetemperatuur	0,62	0,66	-						
Krüptosporiidiumi ootsüstid (kesk. tase)	0,77	0,62	0,81	-					
Krüptosporiidiumi ootsüstid (leidumine)	0,88	0,64	0,87	0,92	-				
Giardia tsüstid (kesk. tase)	-0,25	0,09	0,07	0,00	-0,06	-			
Giardia tsüstid (leidumine)	0,62	0,56	0,79	0,77	0,79	0,41	-		
Mikrotsüstiin-LR (kesk. tase)	0,49	0,44	0,56	0,28	0,48	-0,10	0,58	-	
Mikrotsüstiin-LR (leidumine)	0,47	0,09	0,46	0,22	0,43	-0,06	0,54	0,88	-

Ajaline trend, sademed ja veetemperatuur

Ajalise trendi ja veetemperatuuri vahel ilmnes tugev positiivne seos ($r = 0,62$), mis viitab selgele hooajalisele soojenemisele. Samuti oli tugev seos sademete hulga ja veetemperatuuri vahel ($r = 0,66$), mis osutab, et sademerohkemad perioodid langevad Narva puhul sageli kokku soojema aastaajaga.

Ajalise trendi ja sademete hulga vaheline seos oli mõõdukalt tugev ($r = 0,44$), mis näitab, et Narvas on sademetel võrreldes Tallinnaga tugevam hooajaline komponent.

Krüptosporiidium ja seosed keskkonnateguritega

Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmised tasemed oli väga tugevalt seotud veetemperatuuriga ($r = 0,81$) ning tugevalt seotud ka ajatrendiga ($r = 0,77$) ja sademete hulgaga ($r = 0,62$). See viitab, et nii soojus kui ka sademed soodustavad Narva pinnavees patogeeni ootsüstide tasemete suurenemist, tõenäoliselt nii paljunemise kui ka valgla kaudu sissekande tõttu.

Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude arv (proovide arv) näitas erakordselt tugevaid seoseid ajatrendiga ($r = 0,88$), veetemperatuuriga ($r = 0,87$), sademete hulgaga ($r = 0,64$) ning patogeeni kogusega ($r = 0,92$). Tulemused osutavad, et Narva pinnavees on Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmised tasemed ja leidumiste arv väga tugevalt juhitud keskkonnatingimustest, eriti temperatuuri ja sademete koosmõjust.

Giardia ja seosed keskkonnateguritega

Giardia tsüstide leidude keskmiste tasemete seosed ajatrendi ($r = -0,25$), veetemperatuuri ($r = 0,07$) ja sademete hulgaga ($r = 0,09$) olid nõrgad või olematud, viidates, et leidude keskmised tasemed on ebastabiilsed ja juhuslikud ning ei sõltu otseselt mõõdetud keskkonnateguritest.

Giardia tsüstide leidumiste arv seevastu oli tugevalt seotud ajatrendi ($r = 0,62$), veetemperatuuri ($r = 0,79$) ja mõõdukalt sademete hulgaga ($r = 0,56$). Samuti esines tugev seos Krüptosporiidiumi ootsüstide leidumiste arvuga ($r = 0,79$). See näitab, et leidude arv suureneb soojematel ja sademerohketal perioodidel, isegi kui leidude keskmised tasemed ei pruugi samas tempos kasvada.

Mikrotsüstiin-LR ja seosed sademete ning temperatuuriga

Mikrotsüstiin-LR leidude keskmised tasemed oli mõõdukalt seotud ajatrendi ($r = 0,49$), veetemperatuuri ($r = 0,56$) ja sademete hulgaga ($r = 0,44$). See viitab, et sinivetikate toksiinide teke Narva pinnavees sõltub nii soojuslikest tingimustest kui ka sademete kaudu toimuvast toitainete sissekandest.

Mikrotsüstiin-LR leidude arv oli tugevalt seotud selle kontsentratsiooniga (keskmiste tasemetega - $r = 0,88$) ning mõõdukalt seotud veetemperatuuri ($r = 0,46$) ja ajatrendiga ($r = 0,47$), kuid seos sademete hulgaga oli nõrk ($r = 0,09$). See viitab, et mikrotsüstiin-LR leiud Narvas on rohkem seotud vee soojenemise ja toksiini olemasoluga kui otseselt sademete intensiivsusega.

Üldine tõlgendus Narva pinnavee kohta

Narva andmed näitavad, et:

- temperatuur ja sademed koos mõjutavad tugevalt Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemist ja sellega seotud riski;
- parasiitide (oo)tsüstide leidude arvud reageerivad keskkonnateguritele oluliselt tugevamalt kui leidude keskmised tasemed;
- Giardia tsüstide leidude keskmised tasemed on ebastabiilsed, kuid leidude arv suureneb selgelt hooajaliselt;
- Mikrotsüstiin-LR teke on mõõdukalt seotud nii soojuse kui ka sademetega, kuid riskitaseme kujunemisel on määravam toksiini kontsentratsioon (leidude keskmine tase).

Puhastustehnoloogiate efektiivsus uuritavate näitajate suhtes

Uuritavate parasiitide (protozoa) proove võeti ja analüüsiti nii puhastusetappidel (pärast esmast puhastamist enne lõplikku desinfitseerimist, samuti pärast lõplikku desinfitseerimist enne vee laskmist jaotusvõrku) kui ka jaotusvõrgus.

Uuringu käigus tuvastati üksikud juhtumid, kus uuritavate parasiitide tsüstid ja ootsüstid esinesid vees ka pärast lõplikku desinfitseerimist ning jaotusvõrgus.

Ülemiste veepuhastusjaamas tuvastati 30.06.2025 pärast lõplikku desinfitseerimist ühest proovist Giardia tsüste tasemel 2 tsüsti/10 l.

Narva linna jaotusvõrgus tuvastati 09.09.2025 ühest proovist Krüptosporiidiumi ootsüste tasemel 2 ootsüsti/10 l.

Maailma Terviseorganisatsioon (WHO) ei ole kehtestanud joogiveses konkreetset tervisepõhist piirmäära Krüptosporiidiumi või Giardia (oo)tsüstide kontsentratsioonile, vaid soovib riskipõhist lähenemist ja piisavat töötlustehnilist barjääri patogeenide eemaldamiseks. Mõnes regulatiivses raamistikus kasutatakse väärtust ≤ 1 ootsüst/10 l pigem töötluste tulemuslikkuse või seire sihttasemena, mitte otsese terviseriski lävena.

Kirjanduse andmetel jääb Krüptosporiidiumi ootsüstide ja Giardia tsüstide minimaalne nakkusdoos üldjuhul suurusjärku alates ligikaudu 10 (oo)tsüstist, kuigi nakkusvõime sõltub peremehe vastuvõtlikkusest ja patogeeni tüvest. Seetõttu on käesolevas uuringus tuvastatud tasemed madalad, kuid nende esinemine joogiveses viitab vajadusele hinnata puhastusprotsessi toimivust ja võimalikke riskitegureid.

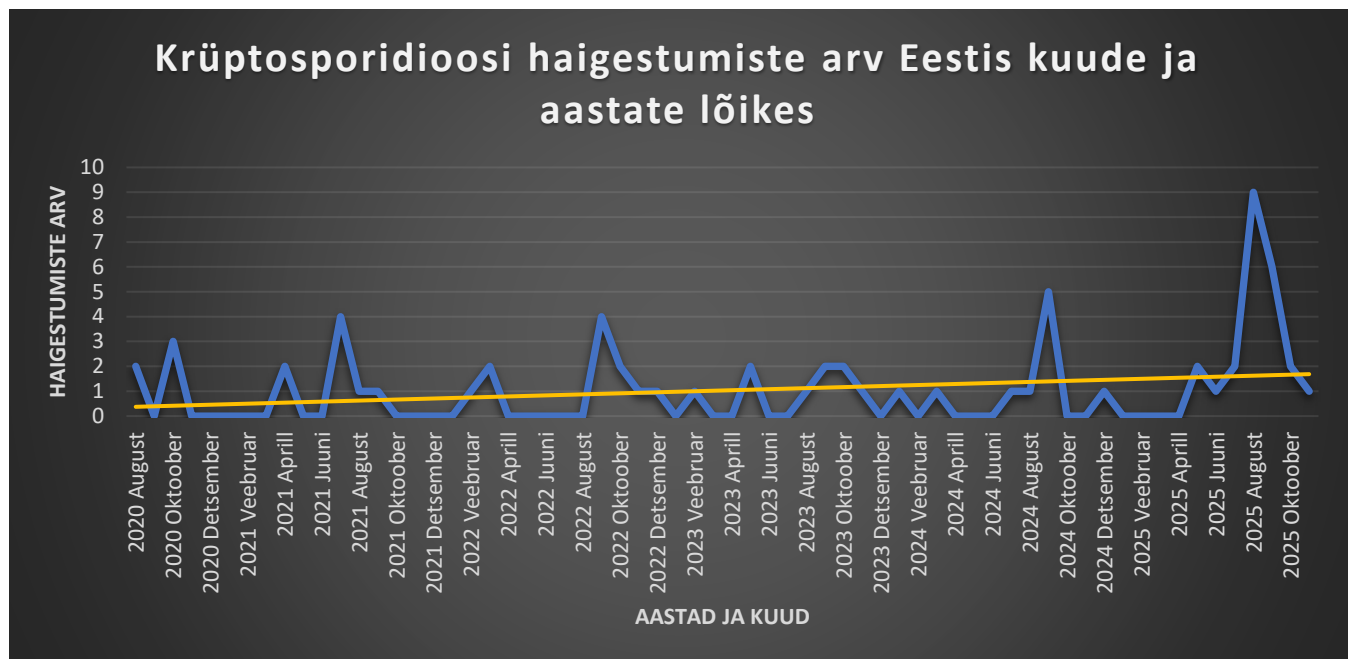
Arvestades, et tegemist on üksikute positiivsete proovidega, ei ole nende põhjal võimalik teha kindlaid ega üldistavaid järeldusi veepuhastusprotsesside üldise efektiivsuse kohta. Siiski osutavad need leiud asjaolule, et teatud tingimustel võivad parasiitide tsüstid ja ootsüstid säilida ka töödeldud joogiveses ning jõuda jaotusvõrku. See võib viidata kas puhastusmeetmete piiratud tõhususele konkreetsetel hetkedel või parasiitide kõrgele vastupidavusele keskkonnatingimustele ja tavapärastele joogivee töötlemisprotsessidele.

Krüptosporidioosi ja giardiaasi (lambliaasi) haigestumise analüüs Eestis

Käesolevas peatükis on toodud Eestis registreeritud krüptosporidioosi ja giardiaasi haigestumusandmeid aastatel 2020-2025. Kuna andmed ei ole ruumiliselt ega ajaliselt otseselt seostatavad käesoleva töö uurimisobjekti ja analüüsitud keskkonnanäitajatega, siis ei ole andmed otseselt rakendatavad käesoleva töö eesmärkide või tulemuste hindamisel, kuid need pakuvad olulist taustteavet epidemioloogilise olukorra kohta.

Uuringus kasutatud haigestumusandmed pärinevad Terviseameti Nakkushaiguste infosüsteemist (NAKIS) ning kajastavad uuritaval ajaperioodil registreeritud haigusjuhte. Analüüsis kasutati isikustamata andmeid.

Krüptosporidioos



Joonis 12. Krüptosporidioosi haigestumiste arv kuude ja aastate lõikes (2020–2025).

Andmed (joonis 12) kajastavad krüptosporidioosi haigestumist kogu Eesti ulatuses aastatel 2020-2025.

Epidemioloogiliste andmete põhjal registreeriti vaadeldaval perioodil (2020–2025) kokku 66 krüptosporidioosi haigusjuhtu, millest 53 juhul oli vajalik hospitaliseerimine. Enamik hospitaliseeritud haigestunutest olid lapsed vanuses 1–16 aastat, sealhulgas 36 last vanuserühmas 1–7 aastat. Väike osa haigestunutest (7 isikut) oli enne haigestumist kokku puutunud suplusveega, näiteks järvedes või veekeskustes, ning mitmel juhul märgiti võimaliku riskitegurina koduloomade olemasolu. Lisaks oli 10 haigestunutest vahetult enne haigestumist viibinud välismaal puhkusel.

Elukoha andmete põhjal elas 19 haigestunut Tallinnas või Harku vallas, kuid kõik neist ei pruugi kasutada pinnaveel põhinevat joogiveevarustust. Seetõttu on nende andmete kasutamine pinnavee kvaliteedi ja krüptosporidioosi esinemise seose hindamisel piiratud.

Haigestumusandmete analüüsist selgub, et krüptosporidioosi esinemine on kogu vaadeldava perioodi jooksul valdavalt madal ning haigusjuhud on ebaregulaarsed. Enamikul kuudel jääb haigestumiste arv nulli või üksikjuhtude tasemele, kuid aeg-ajalt esineb üksikuid kõrgemaid tippe. Trendijoon viitab kergele kasvule ajas, kuid see on mõjutatud üksikutest kõrgematest väärtustest, eriti aastatel 2024 ja 2025, mistõttu ei saa järeldada ühtlast haigestumuse suurenemist kogu perioodi vältel.

Kõrgem haigestumus esineb valdavalt suve- ja varasügisperioodil, mis võib viidata haiguse hooajalisusele ning suurenenud kokkupuutele keskkonnateguritega. Samas ei

ilmne mitmel aastal selgeid korduvaid mustreid, mis osutab sellele, et krüptosporidioosi levikut mõjutavad lisaks keskkonnateguritele ka muud tegurid. Seetõttu on vajalik jätkata krüptosporidioosi haigestumuse jälgimist ka edaspidi, et hinnata aastatel 2024–2025 täheldatud haigestumuse suurenemist pikemaajaliste trendide kontekstis.

Kokkuvõttes näitavad andmed, et krüptosporidioosi esinemine on ajas muutlik ja üldiselt harv, kuigi esineb üksikuid kõrgema haigestumusega perioode. Täpsemate järelduste tegemiseks oleks vajalik põhjalikum analüüs ning seoste võrdlemine teiste keskkonna- ja tervisenäitajatega.

Giardiaas (Iambliias)



Joonis 13. Giardiaasi haigestumiste arv kuude ja aastate lõikes (2020–2025).

Joonisel 13 esitatud andmed kajastavad giardiaasi haigestumust Eesti üldpopulatsioonis. Epidemioloogiliste andmete kohaselt registreeriti ajavahemikul 2020. aasta jaanuarist kuni 2025. aasta novembrini kokku 191 giardiaasi haigusjuhtu. Neist 134 juhtu esines vanuserühmas 0–14 aastat ning 11 juhtu vanuserühmas 15–19 aastat. Hospitaliseerimist vajas 40 haigestunut. Enamik hospitaliseeritutest kuulus vanuserühma 0–14 aastat (25 last), sealhulgas 21 last vanuses 0–9 aastat.

Elukohaandmete analüüs näitas, et 95 haigestunut olid registreeritud elukohaga Tallinnas ning 4 Narvas. Samas puudub teave haigestunute tegeliku joogiveeallika kohta, mistõttu ei ole võimalik üheselt määrata, kas nad kasutasid pinnaveel põhinevat joogiveevarustust. Seetõttu on nimetatud andmete kasutamine pinnavee kvaliteedi ja giardiaasi esinemise vahelise võimaliku seose hindamisel metodoloogiliselt piiratud ning nõuab täiendavaid täpsustavaid andmeid.

Vaadeldaval perioodil ilmneb giardiaasi haigestumuses selgelt väljendunud langustrend. Aastatel 2020–2021 oli haigestumuse tase suhteliselt kõrge ning kuude lõikes märkimisväärselt kõikuv. Kõrgeim näitaja registreeriti 2021. aasta märtsis, mil haigestumiste arv ulatus ligikaudu 19 juhuni. Samuti esines 2020. aastal mitmeid kõrgema haigestumusega kuid, mil juhtude arv küündis ligikaudu 13 juhuni kuus.

Alates 2022. aastast on täheldatav haigestumuse oluline vähenemine ning stabiliseerumine madalal tasemel. Aastatel 2022–2023 registreeriti mitmel kuul vaid 0–1 haigusjuhtu ning üldjuhul jäi haigestumus vahemikku 0–3 juhtu kuus. Perioodil 2024–2025 esineb üksikuid väiksemaid tõuse, kuid võrreldes vaatlusaluse ajavahemiku algusega püsib haigestumus märkimisväärselt madalamal tasemel. Esitatud trendijoon kinnitab kogu perioodi vältel järkjärgulist langust.

Hooajalisuse hindamisel ei ilmne selgelt korduvat hooajalist trendi. Kuigi aastatel 2020–2021 registreeriti kõrgemaid näitajaid sagedamini talve- ja varakevadkuudel, ei jätku see suundumus järjepidevalt järgnevatel aastatel. Aastatel 2022–2025 on haigestumus ajas hajus ning kuudevahelised erinevused on väikesed. Seetõttu ei ole käesoleva andmestiku põhjal alust pidada hooajalisust giardiaasi haigestumuse kujunemisel määrava tegurina.

Krüptosporidioosi ja giardiaasi (lambliaasi) haigestumise võrdlus

Vaadeldaval perioodil registreeriti 66 krüptosporidioosi ja 188 giardiaasi haigusjuhtu, mis näitab giardiaasi suuremat levikut Eesti elanikkonnas. Giardiaasi puhul täheldati selget langustrendi: haigestumus oli kõrgeim aastatel 2020–2021 ning alates 2022. aastast stabiliseerus madalal tasemel. Krüptosporidioosi juhtumid olid kogu perioodi jooksul suhteliselt harvad ja hajusad, kuigi aastatel 2024–2025 täheldati mõningast tõusu, mis nõuab edasist jälgimist.

Hooajalisuse osas oli krüptosporidioos sagedamini seotud suve- ja varasügiskuudega, mis võib viidata kokkupuutele keskkonnateguritega. Giardiaasi puhul selget korduvat hooajalist tõusu ei täheldatud.

Haigestumiste raskusastmes esines olulisi erinevusi: krüptosporidioosi juhtudest vajas hospitaliseerimist enamik, eriti väiksed lapsed, samas kui giardiaasi hospitaliseerimisjuhtumid olid vähem levinud. Riskiteguritena toodi krüptosporidioosi puhul esile suplusvesi, koduloomad ja välisreisid, giardiaasi puhul riskitegureid täpsemalt ei analüüsitud.

Kokkuvõttes oli giardiaas sagedasem ja langustrendis haigus, krüptosporidioos aga harvem esinev, kuid raskema kuluga. Mõlema haiguse leviku paremaks mõistmiseks on vajalik täiendav põhjalik epidemioloogiline ja keskkonnaandmete analüüs.

Kokkuvõte ja järeldused

Käesolev aruanne annab ülevaate teaduskirjanduse ja laboratoorsete uuringute tulemustest, mis käsitlevad kliimamuutustest mõjutatavate veekvaliteedi näitajate – Krüptosporiidiumi ootsüstide, Giardia tsüstide ja mikrotsüstiin-LR-i – esinemist ja võimalikku mõju joogivee ohutusele Eestis, keskendudes Tallinna ja Narva pinnavee joogiveeallikatele. Kuigi käesoleval hetkel ei toimu eelnimetatud näitajate regulaarset seiret joogivees (va hooajaliselt mikrotsüstiin-LR alates 2026. a), näitavad käesoleva projekti raames tehtud uuringu tulemused, et nimetatud parameetrid esinevad toorvees aasta jooksul varieeruvalt. Kliimamuutused võivad tulevikus ka Eestis mõjutada nende näitajate levikut, püsivust ja tasemeid veekogudes, mistõttu võib osutuda vajalikuks nende süsteemsem kaasamine joogivee seiresse. Ühe aasta andmete põhjal ei ole siiski võimalik teha usaldusväärseid järeldusi näitajate esinemisdünaamika ega seoste kohta keskkonnateguritega.

Töös kasutati seoste hindamiseks *Pearson'i* korrelatsioonianalüüsi, mis näitas mõõdukat seost veetemperatuuri ja parasiitide (oo)tsüstide leidumise vahel. Siiski piiratud andmemahu tõttu tuleb saadud tulemuste tõlgendamisel olla ettevaatlik. Uuringu kordamine pikema ajaperioodi (kokku vähemalt 3 aastat) jooksul võimaldaks tulevikus usaldusväärsemalt hinnata võimalikke seoseid vee temperatuuri, sademete hulga ning parasiitide (oo)tsüstide ja mikrotsüstiin-LR esinemise vahel ning toetaks täpsemate järelduste ja soovitude tegemist kliimamuutuste mõju kohta pinnavee kvaliteedile.

Krüptosporiidium ja Giardia

Käesoleva uuringu tulemused näitavad, et Giardia ja Krüptosporiidium on keskkonnastressidele vastupidavad algloomad, mis suudavad pinnavees püsida ka madalatel veetemperatuuridel. Ülemiste järve vees esinevad Krüptosporiidiumi ootsüstid, Giardia tsüstid ning mikrotsüstiin-LR kevad- ja suveperioodil. Talvel- ja varakevadel (detsember–märts) leide ei olnud, mis viitab selgele hooajalisusele.

Mustajõe veehaardes ilmnes Krüptosporiidiumi ootsüstide esinemisel selge hooajalisus, koondudes peamiselt soojemasse perioodi (mai–september), samas kui Giardia tsüste tuvastati nii soojematel kui ka külmematel perioodidel (november, detsember, veebruar ja juuni–september) esinedes praktiliselt aastaringiselt. See võib viidata Giardia laiemale ökoloogilisele taluvusele ja püsivamale riskile pinnaveega joogiveevarustuses.

Mõlema patogeeni (oo)tsüstide suurim leidude arv registreeriti vee temperatuurivahemikus 15–17,5 °C. Temperatuuride tõustes üle 17,5 °C hakkas leidude arv vähenema, mis võib olla seotud parasiitide elutsükli eripärade või keskkonnatingimuste muutumisega. Madalatel veetemperatuuridel (<7,5 °C) oli Giardia tsüstide esinemine minimaalne või puudus täielikult. Krüptosporiidiumi ootsüste väga

madalatel veetemperatuuridel ei esinenud. See viitab veetemperatuuri olulisele rollile parasiitide levikus.

Samas ei ilmnenud parasiitide leidude keskmiste tasemete ja veetemperatuuri vahel järjepidevat ega stabiilset seost, mis viitab sellele, et lisaks temperatuurile mõjutavad nende tasemeid ka teised keskkonna ja antropogeensed tegurid.

Giardia tsüstide leidude keskmised tasemed jäid vahemikku u 2–45 tsüsti/10 l, samas kui Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmised tasemed olid madalamad umbes 2–7 ootsüsti/10 l, olles üldiselt kõrgemad kevadel ja madalamad suve teises pooles. Giardia tsüstide kõige kõrgema tasemega leid oli aprillis (92 tsüsti/10 l) ja Krüptosporiidiumi ootsüstide kõige kõrgema tasemega leid oli juunis (17 ootsüsti/10 l). Tulemused on kooskõlas varasemate teadusuuringutega, mille kohaselt esineb Giardia tsüste toorvees sagedamini ja kõrgematel tasemetel kui Krüptosporiidiumi ootsüste.

Siiski ei tähenda Giardia tsüstide suurem esinemissagedus iseenesest kõrgemat terviseriski, kuna Krüptosporiidiumi ootsüstid on väliskeskkonnas oluliselt vastupidavamad ja võivad veekeskkonnas kauem säilida.

Ülalpool toodud järeldusi kinnitab ka käesolevas töös läbiviidud korrelatsiooni analüüs, mis näitas tugevat seost Krüptosporiidiumi ootsüstide leidumise ja hooajalisuse ning vee temperatuuri vahel.

Krüptosporiidiumi ootsüstide leidude keskmiste tasemete ja hooajalisuse ning veetemperatuuri vahel oli mõõdukalt tugev seos.

Vastavalt korrelatsiooni analüüsile on näha tugevat seost Giardia tsüstide leidude ning hooajalisuse ja temperatuuri vahel nii Tallinnas kui Narvas. Giardia tsüstide leidude keskmiste tasemete ja temperatuuri ning hooajalisuse vahel on väga nõrk seos või täiesti puudub nii Tallinnas kui Narvas.

Kirjanduse põhjal on Krüptosporiidiumi ja Giardia (oo)tsüstide elujõulisus ja esinemine veekeskkonnas seotud eeskätt temperatuuriga, kuid sõltub ka mitmete teiste keskkonnategurite koosmõjust, mistõttu võivad nende püsimine ja kontsentratsioonid varieeruda sõltuvalt keskkonnatingimustest ja geograafilisest piirkonnast.

Mikrotsüstiin-LR

Mikrotsüstiin-LR on tsüanobakterite poolt toodetav maksatoksiin, mille esinemine on seotud veetemperatuuri ja toitainete kättesaadavusega. Uuringu raames määratud mikrotsüstiin-LR sisaldused toorvees jäid 5–10 korda alla Eestis joogiveele kehtestatud piirväärtust (1,0 µg/l), viidates hetkel madalale riskitasemele. Samas kinnitavad tulemused, et mikrotsüstiin-LR esineb ka Eesti pinnavees ning kliimamuutustest tingitud soojemad temperatuurid ja muutunud sadememustrid võivad tulevikus suurendada vetikapuhangute ning sellega seotud toksiiniriskide tõenäosust.

Uuritud andmete põhjal mikrotsüstiin-LR esineb valdavalt soojematel veetemperatuuridel ning madalatel temperatuuridel oli ainult üksikleid. Mikrotsüstiin-LR leidis veetemperatuuri juures alates ~12,5 °C, mis viitab seosele esinemise ja kõrgema veetemperatuuri vahel.

Mikrotsüstiin-LR esines Tallinna pinnavees varem kui Narvas, kuid selle leidude keskmised tasemed olid kogu vaatlus perioodi jooksul mõlemas linnas madalad ning oluliselt allpool joogivee kvaliteedinormi. Nii Tallinna, kui Narva pinnavees avastati mikrotsüstiin-LR suveperioodil, samas Narvas oli mikrotsüstiin-LR üksikleid ka detsembris.

Näitajate esinemiste seosed sademete keskmiste hulkadega

Uuringu tulemused näitasid, et Tallinnas ei ilmnenud selget ega järjepidevat seost sademete hulga ja uuritud näitajate leidumiste vahel. Narvas võib täheldada seost sademete ja uuritud näitajate vahel. Seda kinnitavad ka korrelatsiooni maatriksid.

Näitajate leidude keskmiste tasemete analüüs ei kinnitanud selget seost sademetega. Nii Tallinnas kui Narvas ei kasvanud parasiitide ega mikrotsüstiin-LR leidude keskmised tasemed järjepidevalt koos sademete hulga suurenemisega. Üksikud kõrgemad leidude keskmised väärtused ei kujundanud püsivat trendi ning ei langenud süstemaatiliselt kokku sademete maksimumidega.

Tallinna ja Narva sademete andmete võrdlus uuritava perioodil näitas, et Narvas on suveperioodil sademete hulk suurem kui Tallinnas, samas talvisel perioodil olid sademete hulgad sarnasemad.

Eelnevast võib järeldada, et kuigi uuritud näitajate esinemine pinnavees on hooajaline, ei võimalda käesolevad andmed ja graafiline analüüs teha kindlaid järeldusi sademete otsese mõju kohta parasiitide ja mikrotsüstiin-LR leidumisele ega nende keskmistele tasemetele.

Samas korrelatsioonianalüüs näitab mõningaid erinevusi võrreldes graafikute alusel tehtud järeldustega. Korrelatsioonianalüüs näitas, et Tallinnas on sademete mõju parasiitide (oo)tsüstide leidumisele nõrk, kuid mikrotsüstiini-LR puhul esineb mõõdukas seos leidude ja sademete hulga ning mõnevõrra tugevam seos keskmiste kontsentratsioonide ja sademete vahel. Narvas oli mõõdukalt tugev korrelatsioon krüptosporiidiumi ootsüstide leidude ja nende keskmiste tasemete vahel; Giardia tsüstide puhul oli seos leidude ja sademete vahel keskmine ning keskmiste tasemete puhul nõrk. Mikrotsüstiini-LR puhul ilmnes mõõdukas seos nii leidude esinemise kui ka keskmiste kontsentratsioonide ja sademete vahel.

Tallinn vs Narva

Tallinn kasutab peamiselt järvevett, mis soojeneb kiiremini, samas kui Narva kasutab jõevett, mille pidev veevahetus piirab temperatuuri tõusu. Seetõttu on Tallinna toorvee suvised maksimum temperatuurid igal aastal kõrgemad kui Narvas, keskmine erinevus on ~0,5–1,5 °C. Tallinna temperatuurimaksimumid on järsemad ja suurema amplituudiga.

Talvel on Tallinna toorvesi mõnel aastal 0,5–1,0 °C võrra külmem kui Narvas, kuid Narvas jõevee madalamad temperatuurid püsivad kauem ja stabiilsemalt. Üldiselt on Tallinna toorvee temperatuur tugevamalt seotud ilmastiku ja hooajalisusega, Narvas on aastane varieeruvus mingil määral väiksem ja muutused sujuvamad. Kevadel tõuseb Tallinna toorvee temperatuur varem ja kiiremini; maksimum võib saabuda kuni kuu varem (nt juunis), samas kui Narvas koonduvad maksimumid sagedamini juuli lõppu–augustisse. Sügisel langeb Narvas Mustajõe veehaarde vee temperatuur kiiremini, Tallinnas Ülemiste järves püsib soojem vesi kauem. Mõlemas asukohas esineb tõusev lineaarne trend, mis on Tallinnas järsem, viidates võimalikule järvede kiiremale soojenemisele kliimamuutuse mõjul.

Tallinna pinnavees olid Giardia tsüstide ja Krüptosporiidiumi ootsüstide leidumised üldiselt kõrgemad kui Narvas. Giardia tsüstide suurimad leiud Tallinna pinnavees registreeriti aprillist juunini (kuni neli positiivset proovi kuus); Narva pinnavees suurimad leiud olid juunist septembrini (kuni kolm positiivset proovi kuus). Krüptosporiidiumi ootsüstid hakkasid esinema Tallinnas varem (aprillis) kui Narvas (mais). Parasiitide esinemise tõus langes ajaliselt kokku veetemperatuuri tõusuga.

Uuring näitas, et parasiitide (oo)tsüstide leidude keskmised tasemed olid Tallinna pinnavees enamuses kõrgemad, kui Narva pinnavees.

Mikrotsüstiin-LR kontsentratsioonid olid kogu perioodi vältel mõlemas asukohas madalad (0,1 – 0,2 µg/l) ja jäid joogivee normist 5–10 korda madalamaks. Tallinnas tuvastati mikrotsüstiin-LR varem (juunis) kui Narvas (augustis).

Leidumine jaotusvõrgus ja puhastuse viimasel etapil

Protozoade tsüste ja ootsüste tuvastati üksikjuhtudel ka pärast lõplikku desinfitseerimist ja jaotusvõrgus. Ülemiste veepuhastusjaamas leiti pärast lõplikku desinfitseerimist ühest proovist 2 Giardia tsüsti 10 l. Narva linna jaotusvõrgus tuvastati ühest proovist 2 Krüptosporiidium ootsüsti 10 l. Need väärtused ületavad WHO soovituslikku sihttasemet (≤ 1 ootsüst/10 l) töötlemata toorvees, kuid jäävad alla hinnangulist minimaalset nakkusdoosi (10 ootsüsti).

Tegemist oli üksikleidudega, mis ei võimalda teha üldistavaid järeldusi puhastusprotsesside efektiivsuse kohta, kuid viitavad parasiitide võimalikule

püsimisele töödeldud joogivees. Tulemuste täpsemaks hindamiseks on vajalik suurendada jaotusvõrgu proovivõtukohtade arvu.

Soovitused

Alljärgnevad soovitused põhinevad käesoleva töö tulemuste ja kirjanduse allikate analüüsil ning on mõeldud toetama joogivee ohutuse tagamist Eesti veekäitlejate, järelevalveasutuste ja kohaliku omavalitsuse tasandil.

Pikaajaline seire

Uurimistöö tulemuste põhjal on soovitatav kavandada ja ellu viia järjepidevad ning pikaajalised seireuringud Eesti pinnaveekogudes, mille eesmärk on hinnata kliimamuutustega seotud keskkonnategurite mõju Krüptosporiidiumi ja Giardia (oo)tsüstide ning tsüanobakterite poolt toodetava mikrotsüstiin-LR esinemissageduse ja -tasemete muutustele ajas. Sellised seireprogrammid võimaldaksid tuvastada pikaajalisi trende, hinnata äärmuslike ilmastikunähtuste ja hüdroloogiliste muutuste mõju veekvaliteedile ning pakkuda teaduspõhist sisendit nii joogivee ohutuse tagamiseks kui ka tõhusamate riskihindamis- ja veemajandusmeetmete väljatöötamiseks kliimamuutuste tingimustes. Soovitatav on parasiitide (oo)tsüstide esinemist laiemalt uurida jaotusvõrgus rohkemates proovivõtukohtades ning võimalusel kaasata proovivõttu lisaks ühisveevärgile ka erakaevuvesi.

Kiired tuvastusmeetodid

Uurimistöö tulemused viitavad vajadusele arendada ja rakendada kiireid ning kuluefektiivseid patogeenide ja toksiinide tuvastusmeetodeid, mis võimaldaksid õigeaegselt ja usaldusväärselt määrata Krüptosporiidiumi ootsüste, Giardia tsüste ning mikrotsüstiin-LR esinemist pinnavees ja joogivee allikates. Selliste meetodite kasutuselevõtt toetaks operatiivset riskihindamist, parandaks seireprogrammide tõhusust ning võimaldaks veekäitlejatel ja järelevalveasutustel reageerida kiiremini võimalikele veekvaliteedi halvenemistele, eriti muutuvate kliimatingimuste kontekstis.

Veetöötlusprotsesside hindamine

Lisaks on soovitatav pikemas perspektiivis hinnata olemasolevate veetöötlusprotsesside tõhusust erinevates kliima- ja hüdroloogilistes tingimustes, sealhulgas suurenenud sademete, üleujutuste, põuaperioodide ja veetemperatuuri tõusu korral. Selline hindamine võimaldaks tuvastada võimalikke kitsaskohti veetöötlussüsteemides, hinnata protsesside suutlikkust eemaldada või inaktiveerida parasiitide (oo)tsüste ja tsüanotoksiine ning anda sisendit veepuhastustehnoloogiate kohandamiseks ja täiustamiseks kliimamuutuste mõjude leevendamiseks.

Veeallikate ja valgala kaitse

Uurimistöö järelused näitavad samuti valgala- ja veeallikate kaitse olulisust, mistõttu on soovitatav edendada integreeritud lähenemist maakasutuse planeerimisele ja reguleerimisele, sealhulgas piirangute kehtestamist potentsiaalsetele reostusallikatele. Selliste meetmete rakendamine aitaks vähendada haja- ja punktreostust, piirata patogeenide ja toitainete sattumist veekogudesse ning seeläbi ennetada mikroobse saastatuse ja tsüanobakterite vohamise riske juba veekaitse ahela varajases etapis.

Andmepõhine juhtimine ja koostöö

Edaspidiste riskihindamiste ja seiretegevuste tõhustamiseks on soovitatav kasutada olemasolevaid kliima-, meteoroloogilisi ja hüdrooloogilisi andmestikke, et hinnata veekvaliteediga seotud riske ning määrata seireprioriteete ruumiliselt ja ajaliselt. Selline andmepõhine lähenemine võimaldaks keskenduda kõrgema riskiga perioodidele ja piirkondadele, parandada seireprogrammide kulutõhusust ning toetada ennetavat ja prognoosivat veekvaliteedi juhtimist.

Samuti on oluline arendada ja tugevdada koostööd veekäitlejate, teadusasutuste ja riiklike järelevalveasutuste vahel, et rakendada riskipõhist seiret Krüptosporiidiumi, Giardia (oo)tsüstide ja mikrotsüstiin-LR esinemise jälgimiseks. Koostööpõhine lähenemine, mis tugineb olemasolevatele seire-, kliima- ja veekvaliteedi andmetele, võimaldaks parandada andmevahetust, ühtlustada seiremetoodikaid ning toetada tõenduspõhiste otsuste tegemist nii veemajanduse korraldamisel kui ka rahvatervise kaitsel.

Regulatsioonide ajakohastamine

Vajadusel on oluline ajakohastada joogivee ohutust reguleerivaid õigusakte ja standardeid, arvestades kliimamuutustest tulenevaid riske, et tagada regulatsioonide jätkuv asjakohasus ning tõhusus muutuvates keskkonnatingimustes.

Kasutatud kirjandus

Baldursson, S., Karanis, P. (2011). *Waterborne transmission of protozoan parasites: Review of worldwide outbreaks—an update 2004–2010*. Water Research, 15;45(20):6603-14. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22048017/>

Bilal, H., et al. (2024). *Unveiling the Dynamics of Cryptosporidium in Urban Surface Water: A Quantitative Microbial Risk Assessment and Insights into Climatic and Seasonal Influences*. Water (MDPI), 16(10), 1352. <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/10/1352>

Bourli, P., Eslahi, A. V., et al., (2023). *Waterborne transmission of protozoan parasites: a review of worldwide outbreaks – an update 2017–2022*. Water & Health, Volume 21, Issue 10: 1421–1447
<https://iwaponline.com/jwh/article/21/10/1421/97388/Waterborne-transmission-of-protozoan-parasites-a>

Cann, K. F., Thomas, D. R., Salmon, R. L., Wyn-Jones, A. P., & Kay, D. (2013). *Extreme water-related weather events and waterborne disease*. Epidemiology & Infection, 141(4), 671–686. <https://doi.org/10.1017/S0950268812001653>

CDC – US Centre for Disease Control and Prevention.(2024). *Cryptosporidiosis*. <https://www.cdc.gov/dpdx/cryptosporidiosis/>

CDC – US Centre for Disease Control and Prevention. (2024). *Giardia Infection Prevention and Control*. <https://www.cdc.gov/giardia/prevention/index.html>

Checkley W, White AC Jr, Jaganath D, Arrowood MJ, Chalmers RM, Chen XM, Fayer R, Griffiths JK, Guerrant RL, Hedstrom L, Huston CD, Kotloff KL, Kang G, Mead JR, Miller M, Petri WA Jr, Priest JW, Roos DS, Striepen B, Thompson RC, Ward HD, Van Voorhis WA, Xiao L, Zhu G, Hout R. (2015). *A review of the global burden, novel diagnostics, therapeutics, and vaccine targets for cryptosporidium*. Lancet Infect Dis.15(1):85-94. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25278220/>

Chorus, I., & Bartram, J. WHO. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. London and New York. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-safety-and-quality/toxic-cyanobacteria---1-st-ed.pdf?sfvrsn=338a8c22_1

de Araújo, R. S., et al. (2024). *Environmental surveillance of Cryptosporidium and Giardia in surface supply water and treated sewage intended for reuse from an urban area in Brazil*. Environmental Pollution. Volume 363, Part 1 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749124018062>

de Man, H., et al. (2014). *Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater*. *Water Res.*;48:90-9.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24095592/>

Dirks, C., Cappelli, P., et al. (2024). *Cyanotoxin Occurrence and Diversity in 98 Cyanobacterial Blooms from Swedish Lakes and the Baltic Sea*. *Marine Drugs*, 22(5), 199. <https://www.mdpi.com/1660-3397/22/5/199>

DWI – Drinking Water Inspectorate. (2025). *CRYPTOSPORIDIUM - REVIEW OF THE REPORTS OF THE GROUP OF EXPERTS, LITERATURE AND EVENTS*. https://dwi-production-files.s3.eu-west-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2025/12/08152625/70_2_345_Final-report.pdf

DWI – Drinking Water Inspectorate. (2021). *Annual report on drinking water quality in England and Wales*. London: DWI. <https://www.dwi.gov.uk/what-we-do/annual-report/drinking-water-2021/>

ECDC – European Centre for Disease Prevention and Control. *Cryptosporidiosis overview*. <https://www.ecdc.europa.eu/en/cryptosporidiosis>

ECDC – European Centre for Disease Prevention and Control. *Giardiasis*. <https://www.ecdc.europa.eu/en/giardiasis>

Efstratiou, A., et al. (2017). *Evolution of monitoring for Giardia and Cryptosporidium in water*. *Water Research, Volume 123, Pages 96-112*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417305171?via%3Dihub>

Efstratiou, A., Ongerth, J. E., Karanis, P. (2017). *Waterborne transmission of protozoan parasites: Review of worldwide outbreaks – An update 2011–2016*. *Water Research*, 114, 14–22.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313541730043X>

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule*. <https://www.epa.gov/dwreginfo/long-term-2-enhanced-surface-water-treatment-rule-documents>

EPA – Environmental Protection Agency. (2012). *Consumer confidence report guidance for water utilities*. Washington, D.C.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-05/documents/epa816s12004.pdf>

EPA – United States Environmental Protection Agency. (2012). *Method 1623.1: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA* (EPA 816-R-12-001). Office of Water, U.S. EPA.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100J7G4.PDF?Dockkey=P100J7G4.PDF>

European Climate Adaptation Platform (Climate-ADAPT). (2025). *Cryptosporidiosis – water and food-borne diseases factsheet*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/et/observatory/topics-new/health-impacts/water-and-food-borne-diseases/cryptosporidiosis-factsheet>

Fasil Ejigu Eregno, Ingun Tryland, Torulv Tjomsland, Mette Myrmel, Lucy Robertson, Arve Heistad. (2016). *Quantitative microbial risk assessment combined with hydrodynamic modelling to estimate the public health risk associated with bathing after rainfall events*. *Science of The Total Environment*, Volumes 548–549, Pages 270-279

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971630033X?via%3DiHub>

Ferraz M. P., Agasild H., et al. (2024). *Seasonal dynamics of toxigenic Microcystis in a large, shallow Lake Peipsi (Estonia) using microcystin mcyE gene abundance*. *Environ Monit Assess*, 196(8):747. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39023771/>

Fradette, M-S., et al., (2022). *Detection of Cryptosporidium spp. and Giardia spp. in Environmental Water Samples: A Journey into the Past and New Perspectives*. *Microorganisms*, 10(6):1175. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9228427/>

Gobler, C. J., et al. (2016). *The dual role of nitrogen supply in controlling the growth and toxicity of cyanobacterial blooms*. *Harmful Algae*, Volume 54, Pages 87-97. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568988316300269?via%3DiHub>

Gupta K., Soni N., et al. (2024). *Microcystin-LR in drinking water: An emerging role of mitochondrial-induced epigenetic modifications and possible mitigation strategies*. *Toxicol Rep.*,13:101745. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11474209/>

Health Canada. (2019). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Guideline Technical Document. Enteric Protozoa: Giardia and Cryptosporidium*. Ottawa: Health Canada. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/environmental-workplace-health/reports-publications/water-quality/enteric-protozoa-giardia-cryptosporidium/pub1-eng.pdf>

Health Canada. (2025). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality—Summary Tables*. Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, Ontario. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/water-quality/guidelines-canadian-drinking-water-quality-summary-table.html#t1>

Hijnen, W.A.M. , Beerendonk, E.F. , Medema, G.J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water*

Research, Volume 40, Issue 1, Pages 3-22.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313540500610X?via%3DiHub>

Hrudey S. E., Hrudey E. J. (2004). *Safe Drinking Water, Lessons from Recent Outbreaks in Affluent Nations*. London, England: IWA Publishing.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6976236/>

Hu, H., Zhang, Z., (2024). *Potential health risk assessment of cyanobacteria across global lakes.*, Appl Environ Microbiol. 90(11):e0193624

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11577754/>

Hörman, A., et al., (2004). *Campylobacter spp., Giardia spp., Cryptosporidium spp., Noroviruses, and Indicator Organisms in Surface Water in Southwestern Finland, 2000-2001*. Appl Environ Microbiol. 2004 Jan;70(1):87-95.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC321284/>

IARC – International Agency for Research on Cancer. (2010). *Ingested Nitrate and Nitrite, and Cyanobacterial Peptide Toxins*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 94. <https://publications.iarc.who.int/112>

Ikiroma, I. A., & Pollock, K. G. (2020). Influence of weather and climate on cryptosporidiosis—A review. *Zoonoses and Public Health*, 68(4), 285–298.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33225635/>

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (Working Group II – IPCC AR6). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> ;

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/>

Jiang J, Shan Z, Xu W, Wang X, Zhou J, Kong D, Xu J. (2013). *Microcystin-LR induced reactive oxygen species mediate cytoskeletal disruption and apoptosis of hepatocytes in Cyprinus carpio L.* PLoS One.

8(12):e84768. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24376844/>

Kliimaministerium. (2017). *Kliimamuutustega kohanemise arengukava aastani 2030*.

[https://kliimaministerium.ee/sites/default/files/documents/2021-](https://kliimaministerium.ee/sites/default/files/documents/2021-06/Kliimamuutustega%20kohanemise%20arengukava%20aastani%202030.pdf)

[06/Kliimamuutustega%20kohanemise%20arengukava%20aastani%202030.pdf](https://kliimaministerium.ee/sites/default/files/documents/2021-06/Kliimamuutustega%20kohanemise%20arengukava%20aastani%202030.pdf)

Lanrewaju, A. A., et al. (2022). *A review on disinfection methods for inactivation of waterborne viruses*. Frontiers in Microbiology. Sec. Infectious Agents and Disease. Volume 13

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2022.991856/full>

Ligda P., Claerebout E., Kostopoulou D., Zdragas A., Casaert S., Robertson L.J., Sotiraki S. (2020). *Cryptosporidium and Giardia in surface water and drinking water: Animal*

sources and towards the use of a machine-learning approach as a tool for predicting contamination. Environmental Pollution, Volume 264.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026974912030676X>

Leung AKC, Leung AAM, Wong AHC, Sergi CM, Kam JKM. (2019). *Giardiasis: An Overview.* Recent Pat Inflamm Allergy Drug Discov.;13(2):134-143.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31210116/>

Meriluoto, J., Spoof, L., & Codd, G. A. et al. (2017). *Handbook of cyanobacterial monitoring and cyanotoxin analysis.* John Wiley & Sons. <https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/natural-sciences/handbook-of-cyanobacterial-monitoring-and-cyanotoxin-analysis-978-1-119-06868-6>

Ministry of Health NZ. (2022). *Drinking-water Standards for New Zealand.*

<https://www.health.govt.nz/our-work/environmental-health/drinking-water>

Nakada, L. Y. K., et al. (2020). *Pre-ozonation of surface water: An effective water treatment process to reduce the risk of infection by Giardia in drinking water.*

Environmental Pollution. Volume 266, Part 3, 115144.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749120325951>

NHMRC – National Health and Medical Research Council. (2011; updated 2025).

Australian Drinking Water Guidelines 6. Canberra. Version 4.0 Updated June 2025

<https://www.nhmrc.gov.au/sites/default/files/documents/attachments/publications/Australian-drinking-water-guidelines-6-Version%204.pdf>

<https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines>

Nynke Hofstra. (2011). *Quantifying the impact of climate change on enteric waterborne pathogen concentrations in surface water.* Current Opinion in

Environmental Sustainability, Volume 3, Issue 6, Pages 471-479,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343511001138>

Olson, Merle E., et al. (1999). *Giardia Cyst and Cryptosporidium Oocyst Survival in Water, Soil, and Cattle Feces.* Journal of Environmental Quality, Volume 28, Issue 6, pp.

1991-1996, 6 pp. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1999JEnvQ..28.1991O/abstract>

Paerl, H. W., & Paul, V. J. (2012). *Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria.* Water Research, 46(5), 1349–1363.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135411004386?via%3Dihub>

Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2013). *Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls.* Microbial Ecology, 65(4), 995–1010.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23314096/>

Pham, T.-L., Utsumi, M. (2018). *An overview of the accumulation of microcystins in aquatic ecosystems. Journal of Environmental Management*, Volume 213, Pages 520-529

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479718300938?via%3Dihub>

Rinta-Kanto, J. M., Ouellette, et al. (2005). *Quantification of toxic Microcystis spp. during the 2003 and 2004 blooms in western Lake Erie using quantitative real-time PCR. Environmental Science & Technology*, 39(11), 4198–4205.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es048249u>

Robertson, L. J., & Gjerde, B. K. (2006). *Fate of Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in the Norwegian aquatic environment over winter. Microbial Ecology*, 52(4), 597–602. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17082998/>

Salubi EA, Gizaw Z, Schuster-Wallace CJ, Pietroniro A. (2025). *Climate change and waterborne diseases in temperate regions: a systematic review. J Water Health*. 23(1):58-78. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39882854/>

Schipper, R. M., et al. (2025). *Optimized Molecular Detection of Cryptosporidium Within the Water-Soil-Plant-Food Nexus: Advancing Surveillance in Agricultural Systems. Journal of Food Protection*, Volume 88, Issue 9.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X25001206>

Sosah, K. F., et al.(2025). *How long do pathogens persist and survive in water?. Front. Microbiol.*16:1654785. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12602397/>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). (2021). *Household water safety. https://www.thl.fi*

Terviseamet. *Giardiaas ehk lambliaas. Giardiaas ehk lambliaas | Terviseamet*

Terviseamet. *Krüptosporidioos. Krüptosporidioos | Terviseamet*

Terviseamet. (2025). *Joogivesi.*

<https://www.terviseamet.ee/keskkonnatervis/vesi/joogivesi>

TrinkwV – Trinkwasserverordnung. (2023). *German Drinking Water Ordinance. Berlin: Bundesministerium für Gesundheit. https://www.gesetze-im-internet.de/englisch_trinkwv/index.html*

UK Health Security Agency. (2023). *Guidance. Cryptosporidium: public advice. https://www.gov.uk/guidance/cryptosporidium-public-advice*

Umweltbundesamt. (2025). *Empfehlungen und Stellungnahmen zu Trinkwasser*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/rechtliche-grundlagen-empfehlungen-regelwerk/empfehlungen-stellungnahmen-zu-trinkwasser>

Umweltbundesamt & Bundesministerium für Gesundheit. (2025). *Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland 2020–2022*. <https://openumwelt.de/entities/publication/f63fb0b0-7e57-4a3c-8cea-7e83971dc760>

Umweltbundesamt. *Drinking water – general information*. <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/water/drinking-water>

Urs von Gunten. (2003). *Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation*. *Water Research*, Volume 37, Issue 7, Pages 1443-1467. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135402004578?via%3Dihub>

Vesiensuojeluyhdistys (Finnish Water Protection Associations). *Monitoring and management of Finnish water bodies* <https://vesiensuojeluyhdistys.fi/>

Vicente, B., Freitas, A., Freitas, M., Midlej, V. (2024). *Systematic Review of Diagnostic Approaches for Human Giardiasis: Unveiling Optimal Strategies*. *Diagnostics* (Basel).;14(4):364. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38396402/>

Wang, X., Wang, X., & Cao, J. (2023). *Environmental factors associated with Cryptosporidium and Giardia*. *Pathogens*, 12(3), 420. <https://doi.org/10.3390/pathogens12030420>

WHO – World Health Organization. (2009). *Risk Assessment of Cryptosporidium in Drinking Water*. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/b520422c-63b5-4035-ab64-65bf4cdcc03d/content>

WHO – World Health Organization. (2012). *Water safety planning for small community water supplies. Step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities*. Geneva: WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548427>

WHO – World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

WHO – World Health Organization. (2020). *Cyanobacterial toxins: microcystins – Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality and Guidelines for safe recreational water environments*.

https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/microcystins-background-201223.pdf?sfvrsn=6d60aa6d_3

WHO – World Health Organization. (2022). *Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th edition (koos täiendustega)*. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality/drinking-water-quality-guidelines>

Xiao L, Feng Y. (2017). *Molecular epidemiologic tools for waterborne pathogens Cryptosporidium spp. and Giardia duodenalis*. Food Waterborne Parasitol.;8-9:14-32. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32095639/>

Young, I., et al. (2015). *A systematic review and meta-analysis of the effects of extreme weather events and other weather-related variables on Cryptosporidium and Giardia in fresh surface waters*. J Water Health. 2015. 13(1):1-17
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25719461/>

Zegura, B. (2016). *An Overview of the Mechanisms of Microcystin-LR Genotoxicity and Potential Carcinogenicity*. Mini Rev Med Chem. 16(13):1042-62.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26951459/>

Zhu L., Cao P., et al. (2023). *Prolonged exposure to environmental levels of microcystin-LR triggers ferroptosis in brain via the activation of Erk/MAPK signaling pathway*. Ecotoxicol Environ Saf. 15:267:115651.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37913581/>

Zmirou-Navier D, Gofti-Laroche L, Hartemann P. (2006). *Waterborne microbial risk assessment: a population-based dose-response function for Giardia spp. (E.M.I.R.A study)*. BMC Public Health.;6:122. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1468406/>