



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut
Limnoloogiakeskus

Kadri Juhanson

**ZOOPLANKTON KUI EESTI VÄIKEJÄRVEDE TROOFSUSE
INDIKAATOR**

ZOOPLANKTON AS THE INDICATOR OF TROPHIC STATUS IN
ESTONIAN SMALL LAKES

Bakalaurusetöö
Vee ja maismaa ökosüsteemide rakendusbioloogia õppekava

Juhendaja: Ronald Laarmaa, M.Sc.

Tartu 2016

Sisukord

SISSEJUHATUS	3
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	4
1.1. Zooplankton.....	4
1.2. Zooplanktonit mõjutavad tegurid	5
1.3. Zooplankton vee toiduahelas	7
1.4. Zooplanktoni näitajad	8
1.4.1. Arvukus ja biomass	8
1.4.2. Zooplanktoni kooslus	10
1.4.3. Zooplanktoni ja fütoplanktoni suhe.....	10
1.4.4. Zooplankteri keskmine kaal	11
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	12
2.1. Materjal.....	12
2.2. Metoodika.....	12
3. TULEMUSED	16
3.1. Zooplanktoni biomass	16
3.2. Zooplanktoni arvukus	17
3.3. Troofsusindeksid	18
3.4. Troofsusklassid erinevate näitajate järgi	20
3.5. Parameetrite hindamisskaalde ühtlustamine.....	22
4. ARUTELU	23
4.1. Zooplanktoni biomass	23
4.2. Zooplanktoni arvukus	24
4.3. Eutroofsuse ja oligotroofsuse indeks	24
KOKKUVÕTE	27
SUMMARY	28
KASUTATUD KIRJANDUS	29
LISAD	33
Lisa 1.	34

SISSEJUHATUS

Zooplankton on väga mitmekesine rühm, mille kooslused ja erinevad näitajad on seotud biootiliste ja abiootiliste teguritega (Gyllstrom et al., 2005). Reageerides kiiresti erinevatele keskkonnamuutustele, peetakse zooplanktonit heaks indikaatoriks järvede seires, iseloomustamaks järvede ökoloogilist seisundit ja troofsust. (Jeppsen et al., 2011).

Käesoleva bakalaaurusetöö eesmärgiks on uurida zooplanktoni koosluseid iseloomustavaid näitajaid (arvukus, biomass, oligotroofsuse ja eurtroofsuse indeksid) Eesti väikejärvedes ja hinnata zooplanktoni indikaatorväärtust. Samuti soovitakse viia zooplanktoni hindamisel kasutatavad näitajad ühisele võrdluskalale.

Selleks, et täita töö eesmärgid, püstitati hüpotees: zooplankton on indikatiivne rühm, kelle koosluse indikaatorliigiline koosseis muutub keskkonnatingimuste muutumisel ning see peegeldab järve ökoloogilist seisundit.

Töös on kasutatud 2015. aasta väikejärvede seire käigus 25 järvest kogutud proove. Töös kasutatakse näitajatest zooplanktoni arvukust, biomassi ja troofsuse indekseid.

Avaldan tänu oma juhendajale Ronald Laarmaa'le heade nõuannete eest ning kelle suur abi ja nõuanded olid käesoleva bakalaaurusetöö kirjutamisel suureks abiks.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Zooplankton

Zooplankton on vees vabalt hõljuvate, valdavalt heterotroofse toitumistüübiga loomakeste (zooplankterite) kogum. Eristatakse ainurakset ehk protozooplanktonit ja hulkrakset ehk metazooplanktonit. Zooplanktereid jaotatakse suuruse järgi mikrozooplanktoniks (20-200µm) ja makrozooplanktoniks (0,2-20 mm). Toitumistüübilt jaotatakse zooplankton kolme rühma: 1) taimtoidulised ehk herbivoorsed, kes filtreerivad veest toiduks vetikaid, baktereid ja detriiti; 2) röövvormid, kes söövad teisi zooplanktereid ja ainurakseid (Lens, 2000).

Eesti magevee kolm peamist metazooplanktoni rühma on: 1) keriloomad (Rotifera), 2) vesikirbulised (Cladocera), 3) aerjalalised (Copepoda).

Vesikirbulised (Cladocera) on zooplanktoni rühm, kellel on oluline osa toiduahelas. Toitudes peamiselt vetikatest ja olles toiduks planktontoidulistele kaladele, on nad põhilised veekogu orgaanilise aine ja energia transportijad vetikatest kaladesse. Suured vesikirbulised määravadki veekogu avavees valitseva toiduahela tüübi ning selle efektiivsuse (Haberman et al., 2008).

Vesikerbulised on soojalembeline rühm, kes ilmuvad veekogusse võrreldes teiste rühmadega hiljem ja saavutavad maksimaalse arvukuse kõige soojemal aastaajal (Mäemets, 1961). Näiteks Peipsi planktonisse ilmuvad vesikirbulised juba vähesel hulgal mais (keskmise veetemperatuur Peipsi Suurjärves 8°C, Lämmijärves 11,8°C) ja saavutavad maksimumi juulis-augustis (19-20°C). Peale seda hakkab nende hulk vähenema ja langeb talveks miinimumini. Talvises planktonis vesikirbulised kas puuduvad või on neid mõni üksik isend (Haberman et al., 2008).

Keriloomad (Rotifera) on metazooplanktoni loomadest kõige väiksemad. Enamik neist on taim- ja pudetoidulised ning kuuluvad väikeste mõõtmete tõttu mikrofiltraatorite hulka, kes saavad süüa vaid baktereid, ainurakseid ja üliväikeseid vetikaid (Lens, 2000).

Osaliselt peetakse keriloomadest röövtoidulisteks perekondade *Asplanchna*, *Synchaeta* ja *Bipalpus* liike, kes söövad nii vetikaid kui ka väikeseid zooplanktereid (Haberman, 2008).

Keriloomad on potentsiaalsed bioindikaatorid ja troofsuse näitajad, neil on lühike eluiga ja nad on võimelised reageerima keskkonnamuutustele väga kiiresti (Ejmont-Karabin, 2012). Keriloomade kasutamine troofsuse näitajana tugineb eeldusel, et erinevused arvukuse ja liigilise koosseisu vahel on reguleeritud peamiselt "alt-üles", mitte "ülalt-alla" survestajate poolt (Dembowska et al., 2015).

Aerjalgsed (Copepoda) arenevad moondega. Munast koorub vähikvastne ehk nauplius, kellest areneb juba rohkem täiskasvanud loomaga sarnanev kopepodiit. Kopepodiidid läbivad kasvades suuruse ja toitumistüübi alusel viis arenguastet. Erinevalt enamikest vesikirbulistest ja keriloomadest on täiskasvanud aerjalgsed ja nende IV–V astme kopepodiidid röövloomad, kes söövad endast väiksemaid zooplanktereid ja ainurakseid. Taimtoidulised on aerjalgstetest naupliused, I–III astme kopepodiidid ja ka liik *Eudiaptomus gracilis*; pooleldi lepistoiduline ning pooleldi röövtoiduline on näiteks *Heterocope appendiculata* (Haberman, 2008).

Suhteliselt suurte zooplankteritena on aerjalgsed tähtsad kalatoiduna, kuid samas on nad ka kalade toidukonkurendid (Ibnejeva, 1983).

1.2. Zooplanktonit mõjutavad tegurid

Zooplanktonit iseloomustab väga suur mitmekesisus ja erinevad kooslused, mis on sageli seotud füüsikaliste, keemiliste või bioloogiliste faktoritega (Havens & Hanazato, 1993).

Sageli on raske eraldada üksiku tegurite mõju üldisest elutingimuste kompleksist, seda enam, et terve rea faktorite koosmõjul võib ühe teguri mõju olla hoopis erinev, võrreldes tema üksikmõjuga (Mäemets, 1961).

On märgatud, et abiootiliste keskkonnategurite (veetemperatuur, tuul, lained) mõju zooplanktonile esineb eriti kevadel ja sügisel, kuid biootiliste tegurite mõju (toit, kiskjad) on tavaliselt suurem just suvel (Herzig, 1994).

Vee pH mõju veeorganismile võib olla otsene (näiteks vesinik-iooni mõju) ja/või kaudne (vaba CO₂, lahustunud soolade mõju). Looduslikes tingimustes mitmesuguste keskkonnatingimuste kombinatsioonide juures on pH mõju väga keeruline. Eriti tähtis on vees lahustunud soolade koostis ja hulk, mis varieerub väga suures ulatuses. Samuti sõltub vee aktiivse reaktsiooni mõju veeorganismidele suuresti vee temperatuurist, vee pH mõju on suurim kõrge temperatuuri juures, kuna madala temperatuuri puhul on see tähtsusetu (Mäemets, 1961).

Sügavamates mesotroofsetes järvedes põhjustab vee pH tõusu ja perekond *Holopedium* väljalangemist fütoplanktoni suhteliselt tugev areng, mis vahel veeõitsemiseks muutub. Tüüpilistes eutroofsetes vetes ei esine perekond *Holopedium* liike kunagi, sest tugev fütoplanktoni produktsioon ja kõrge mineraalainete hulk hoiavad seal pH suvel üle liigile talutava piiri (Mäemets, 1961).

Liiga madal pH mõjutab zooplanktoni koosluste omadusi nagu liigirikkus, esinemissageduse ja arvukus (Havens & Hanazato, 1993).

Veetemperatuurist oleneb zooplanktoni ilmumine veesambasse kevadel ning kadumine sügisel, samuti kogu areng vahepealsel ajal. Erinev temperatuurirežiim eri aastatel põhjustab erinevust ka zooplanktoni koosluse arengus. Üldtuntud on varase ja hilise kevade ning sügise, samuti sooja ja külma suve mõju zooplanktonile. Viimasel ajal mõjub kliima soojenemisest tingitud jäävaba aja pikenemine termofobsele talveplanktonile. Lisaks sõltub veel veetemperatuurist zooplankterite sigimise edukus, arengukiirus ja toitumisaktiivsus, loote moodustumise ja kestumise kiirus (Mäemets, 1961).

Talvel külmas vees on zooplanktonit vähe, suvel soojas vees võib arvukus olla väga kõrge. Zooplankton hakkab arenema kevadel, kui vesi soojeneb, saavutab suurima arvukuse suvel ning hakkab siis koos vee jahenemisega vähenema kuni südaltalvise miinimumini (Haberman et al., 2008).

Troofsusest sõltub suuresti veekogu gaasirežiim. See on toitaineterikastes vetes reeglina halvem kui toit- ja huumusainete vaestes järvedes. Oligotroofsete järvede vormide puudumine eutroofsetes veekogudes sõltubki sageli peamiselt gaasirežiimist. Võib oletada, et mõningate gaaside, näiteks H_2S esinemine on üheks vesikirbuliste esinemist piiravaks teguriks, sest see on väga mürgine selgrootutele (Mäemets, 1961).

Vee temperatuuri tõus ja keemiline koostis paneb olulisi piiranguid zooplanktoni liikide levitamisele ja levimisele, kuna erinevate liikide nõuded elukeskkonnale varieeruvad suures ulatuses (Gökce & Özhan Turhan, 2014).

1.3. Zooplankton vee toiduahelas

Järve avavees võime eristada kolme tähtsamat toiduahelatüüpi:

- 1) **vetikad** → **kalad** – efektiivseim toiduahel, esineb harva;
- 2) **vetikad** → **zooplankton** → **kalad** - esineb veekogudes, kus zooplankterid on piisavalt suured ning vetikad küllalt väikesed, et loomad saaksid neid süüa;
- 3) **vetikad** → **detriit** + **bakterid** → **zooplankton** → **kalad**- väheefektiivne, ülekaalus tugevalt eutroofsetes veekogudes, kus zooplankterid on väikesed ja vetikad zooplanktoni toiduks liiga suured, zooplankterid toituvad bakteritest ja detriidist (Haberman et al., 2003, 2008)

Zooplanktonil on toiduahelas tähtis lüli, temast oleneb suurel määral selle efektiivsus, s.t kui palju vetikate poolt toodetud energiast jõuab kaladeni (Lens, 2000).

Zooplanktoni võimekus energia ülekandmisel sõltub otseselt nii zooplankterite kui ka vetikate suurusest. Oligotroofsetes vetes mõjutab vetikaid eelkõige toitained (lämmastik ja fosfor), eutroofsetes vetes zooplankton (Spencer & Ellis, 1998).

Zooplanktoni toidu hulk on otseses seoses zooplankteri kehakaaluga (Lynch & Shapiro 1981). Mida suurem on zooplankter, seda rohkem sööb ta vetikaid (Meijer et al., 1999).

Veekogu eutrofeerudes muutuvad zooplankterid väiksemaks ja vetikad suuremaks. Fütoplanktonis hakkavad domineerima suured niitjad sinivetikad ning zooplanktonis keriloomad ja väikesed vesikirbulised kes neid süüa ei suuda (Jeppesen et al., 2000; Haberman, 2007).

Kui zooplankton toitub täielikult vetikatest, võin ta tarbida madala troofsusega (<0,05 mg P/L) järvedes nende päevasest biomassist kuni 59%, ning kõrge troofsuse korral (0,2–0,4 mg P/L) ainult 16–19% (Jeppesen et al., 2000).

Avavee toiduahela tõhusa toimimise esimene tingimus on, et zooplankterid oleksid võimelised sööma vetikaid (sünteesitud orgaaniline aine pääseks toiduahela esimesest lülist teise). Võtmeküsimuseks on ühelt poolt zooplankterite ning teiselt poolt vetikate suurus. Mida suurem on vesikirbuline, seda suurem saab olla ka tema toiduobjekt (Meijer et al., 1999). Vesikirbuline pikkusega 0,5 mm saab tarbida vetikaid läbimõõduga kuni 10 µm, 3,5 mm pikkune aga tunduvalt suuremaid – kuni 80 µm (Wetzel, 1983).

Sobivaks toiduks zooplankteritele peetakse rohevetikaid, koldvetikaid, neelvetikaid ja ka ränivetikaid (Nauwerck, 1963; Stutzman, 1995).

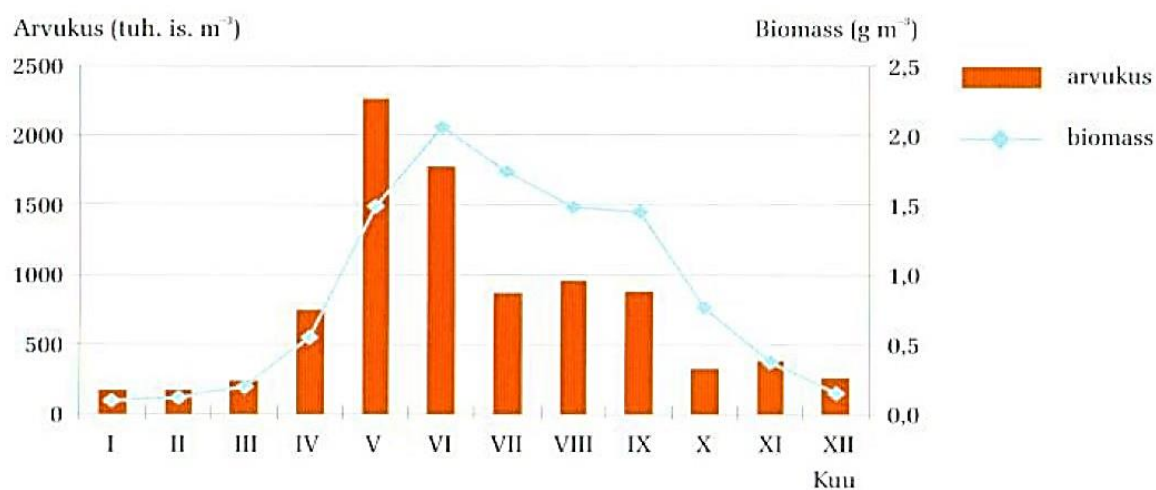
1.4. Zooplanktoni näitajad

1.4.1. Arvukus ja biomass

Troofsuse tõustes hakkab alates oligotroofsest staadiumist zooplanktoni biomass suurenema ja saavutab maksimumi mõõdukalt eutroofsetes järvedes, kus elutsevaad kõrvuti oligo-mesotroofsetele ja eutroofsetele veekogudele iseloomulikud liigid. Troofsuse edasisel tõusul hakkab zooplanktoni biomass vähenema, sest sobimatute toitumistingimuste tõttu kaovad suuremad zooplankterid kooslusest ning domineerima pääsevad väikesed kõrgele troofsusele iseloomulikud zooplankterid (üldiselt keriloomad).

Zooplanktoni biomass on väiksem hüpertroofsetes veekogudes, kus saavad elada ainult mõned zooplanktoni liigid, enamasti väikesemõõtmelised keriloomad (Jeppesen et al., 2000).

Zooplanktoni arvukus ja biomass muutub aasta jooksul märkimisväärselt (Joonis 1). Zooplanktoni sesoonset dünaamikat mõjutavad mitmesuguseid tegureid. Tähtsaimad neist on: veetemperatuur (Vandekerkhove et al., 2005), toidu hulk ja kvaliteet (Alekseev & Lampert, 2004) ning kalade sööm (Matthes, 2004).



Joonis 1. Zooplanktoni arvukuse ja biomassi aastane dünaamika Võrtsjärves (Haberman et al., 2003).

Arvatakse, et planktonitoidulised kalad määravad zooplanktoni hulga veekogus, kuna kalad ei raiska energiat väikestele toiduobjektidele, vaid valivad suuremaid toiduobjekte. Eelistades suuremaid toiduobjekte, söövad kalad eelkõige vesikirbulisi ja aerjalgseid, väikesed keriloomad sobivad toiduks äsja koorunud kalavastsetele, kelle suu mõõtmed ei lase haarata suuremat saaki. Kalade tugeva surve puhul süüakse suured zooplankterid ära ja domineerima hakkavad väiksemad vormid (Perez-Fuentetaja et al., 1996).

Peale kalade võivad zooplanktoni arvukust veekogus kontrollida selgrootud röövlloomad. Tähtsamad neist on röövzooplankterid, kes söövad endast väiksemaid. Toitudes ise zooplanktereist, on röövzooplankter kaladele nii konkurendiks kui ka toiduobjektiks (Haberman et al., 2003, 2008).

1.4.2. Zooplanktoni kooslus

Veekogus saavad domineerida ainult need liigid, kelle elutingimused on kõige sobivamad. Domineerivad zooplankterid iseloomustavad üsna hästi zooplanktoni kooslust. Nad peegeldavad veekogu troofsustaset, füto- ja bakterplanktoni (zooplanktoni toidu) kooslust, kalatoidu kvaliteeti ning kalade survet zooplanktonile. Domineerivaks loetakse liike või vorme, mis moodustavad kogu zooplanktoni arvukusest ja biomassist 20% või enam (Haberman, 2007).

Madala troofsusega veekogus domineerivad zooplanktoni koosluses aerjalgsed, troofsuse tõustes hakkavad domineerima keriloomad ja vesikirbulised. Keriloomade ja vesikirbuliste domineerimine eutrofeerunud veekogudes arvatakse olevat otseselt seotud nende võimet vältida sinivetikaid (Gökce & Özhan Turhan, 2014).

1.4.3. Zooplanktoni ja fütoplanktoni suhe

Zooplanktoni biomassi ja fütoplanktoni biomassi (ZBM / FBM) väärtuste suhe on kasvuperioodil üsna usaldusväärne näitaja vee kvaliteedi ja troofsuse hindamiseks ning ökoloogilise seisundi jälgimiseks. Zooplanktoni ja fütoplanktoni biomassi suhe kajastab suuresti veekogu toiduvõrgustiku tüüpi ja seega, milline on ökosüsteem. Kaudselt iseloomustab see füto- ja zooplanktoni domineerivaid rühmi, kalade ja planktoni vahelisi suhteid ja kalade survet zooplanktonile (Blank et al., 2010).

On üldteada, et fütoplanktonit mõjutavad toitained fosfor ja lämmastik (alt üles), samas zooplanktonit mõjutavad nii tarbijad (ülalt alla) kui ka vetikad (alt üles). See põhjustab nende erinevat hooajalist dünaamikat ja seetõttu zooplanktoni ja fütoplanktoni biomassi suhte väärtused aastate lõikes kõiguvad. Kuigi mõlemad, nii zooplankton kui ka fütoplankton on temperatuurist sõltuvad, on kogu grupi biomass sempoonselt erinev (Blank et al., 2010). Lisaks mõjutavad kalad märkimisväärselt zooplanktoni ja fütoplanktoni suhet (Jeppesen et al., 2002, 2005).

Vähenenud ZBM / FBM suhe peegeldab selgelt troofsuse kasvu ja vee kvaliteedi halvenemist. Madal suhe näitab, et herbivooride mõju on tähtsusetu ning suurem osa primaarproduksioonist jääb söömata (Jeppesen et al., 1999, 2000, 2011).

Fütoplanktoni tarbimise tase (zooplanktoni poolt) on tugev mesotroofsetes järvedes ja nõrk eutroofsetes vetes. Taimtoiduline zooplankton võib tarbida 50% vetikaid päevas madala troofsusega (<0,05 mg P/L) järvedes, kuid ainult 16,19% kõrgema troofsuse (0.2 - 0.4 mg P/L) juures (Jeppesen, 1999, 2000).

1.4.4. Zooplankteri keskmine kaal

Zooplankteri keskmine kaal on üks paremaid zooplanktoni koosluse ja kogu veeökosüsteemi iseloomustajaid, iseloomustades zooplankterite kui vetikasööjate võimsust ning seega ka veekogu toiduahela iseloomu (Stemberger & Miller, 2003).

Zooplankteri keskmine kaal sõltub sobivast toidust, kalade poolt ära söödud suuremate isendite ning veekogu troofsusest. Näiteks väheneb troofsuse tõustes zooplanktoni kaal (Jeppesen et al., 2000).

Kaalu langus saab alguse vetikatest ehk zooplanktoni toidust. Veekogu troofsuse suurenedes hakkavad domineerima zooplankteritele toiduks sobimatud sinivetikad (tsüanobakterid). Suuremad, vetikaist toituvad zooplankterid kaovad kesise toidu tõttu planktonist ning nende asemele ilmuvad väikesed bakttereist ja detriidist toituvad zooplankterid (Jeppesen et al., 2000) muutes toiduahela ebaefektiivseks.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Materjal

Käesoleva töö materjal on kogutud 2015. aastal väikejärvede seire käigus 25 järvest, kokku 39 proovi. Püsiseire järvedest (11: Nohipalo Mustjärv, Nohipalo Valgõjärv, Pühajärv, Rõuge Suurjärv, Viitna Pikkjärv, Uljaste, Ähijärv, Suurlaht, Endla, Kooru ja Tänavjärv) võeti proove juulis ning ülevaateseire järvedest (14: Rummu Läänekarjäär, Paunküla veehoidla, Maardu, Saare, Raku, Ohepalu Suurjärv, Männiku, Lohja, Käsmu, Klooga, Keeri, Karijärv, Kaiu ja Jõemõisa) juulis ja septembris (Lisa 1).

Metazooplanktoni proovidest analüüsiti järgmised näitajad: zooplanktoni liikide arv ja liigiline koosseis; zooplanktoni arvukus; zooplanktoni biomass; zooplanktoni rühmade (aerjalalised, vesikirbulised ja keriloomad) biomass ja arvukus ning protsentuaalne osa kogubiomassist ja –arvukusest; eutroofsuse ja oligotroofsuse indeksid.

Töös kasutatakse näitajatest zooplanktoni arvukust, biomassi ja troofsuse indekseid.

2.2. Metoodika

Zooplanktoni seisundi hindamiseks kogutakse proovid batomeetriga, integraalselt erinevatelt sügavustelt järve sügavaimast kohast. Vajaliku proovi saamiseks kurnatakse vähemalt 20 liitrit vett läbi 48 µm silmaläbimõõduga planktonvõrgu. Proov fikseeritakse Lugoli lahusega ning loendatakse mikroskoobi all Bogorovi kambris (Eesti väikejärvede..., 2015).

Keskkonnauuringute laboris määratakse üldfosfori (Tot-P), üldlämmastiku (Tot-N) sisaldus. Töös kasutatud troofsusklasside piirid üldfosfori ja –lämmastiku järgi on toodud tabelis 1 (Ott & Kõiv, 1999).

Tabel 1. Troofsusklassid üldfosfori ja –lämmastiku järgi (Ott & Kõiv, 1999)

	Tot-P (mg/L)	Tot-N (mg/L)
Oligotroofne	<0,03	<0,45
Mesotroofne	0,03-0,05	0,45-0,73
Eutroofne	0,05-0,10	0,73-1,2
Hüpertroofne	>0,10	>1,2

Zooplanktoni arvukus (is/m³) saadi zooplankterite loendamise teel kindlas veehulgas. Biomass on zooplanktonite kogumass vastavas veehulgas (g/m³). Biomassi määramisel mõõdeti proovist võimaluse korral 30 isendit igast liigist või vormist ning leitud pikkuste alusel määrati vastavate valemite alusel (Dumont et al., 1975; Ruttner-Kolisko, 1977) zooplankterite individuaalsed kaalud. Korrutades kaalu arvukusega, saadakse proovis loendatud zooplanktonite biomass (Haberman et al., 2008; Eesti väikejärvede..., 2015). Zooplanktoni arvukuse ja biomassi hindamise skaala on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Zooplanktoni biomassi ja arvukuse hindamise skaala (Eesti väikejärvede..., 2015)

	Biomass (g/m ³)	Arvukus (tuh. is/m ³)
Madal	< 1	< 50
Keskmine	1-3	50-100
Kõrge	> 3	> 100

Troofsuse ja zooplanktoni koosluse ökoloogilist seisundit on võimalik hinnata ka Aare Mäemetsa poolt loodud oligotroofsuse (ZO) ja eutroofsuse (ZE) indeksite abil (Mäemets, 1980). Indeksid baseeruvad 1980. aastal loodud indikaatorliikide nimistul, kus kindlatel liikidel on oligo-mesotroofne või meso-eutroofne indikaatorväärtus. Liikide esinemise alusel arvutatakse vastavad indeksid. Tabelis 3 ja 4 on toodud indeksite arvutamisel kasutatavad indikaatortaksonite nimekirjad. Indeksite seisundiklasside piirid on toodud tabelis 5.

ZO-indeks

$$ZO = (O + 0.1) / (E + 0.1)$$

O- oligo-mesotroofsete indikaatorliikide arv;

E- eutroofsete ja mesotroofsete indikaatorliikide arv.

ZE-indeks (Mäemets, 1980)

$$ZE = \frac{K(x+1)}{(A+V)(y+1)}$$

- K- keriloomade (*Rotifera*) liikide arv;
 A- aerjalaliste (*Copepoda*) liikide arv;
 V- vesikirbuliste (*Cladocera*) liikide arv;
 x- oligo-mesotroofsete indikaatorliikide arv;
 y- meso-eutroofsete indikaatorliikide arv.

Tabel 3. Oligo- ja mesotroofsete vete indikaatorliikide nimekiri (Mäemets, 1980)

Cladocera	Copepoda	Rotifera
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach, 1855	<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars, 1863	<i>Bipalpus hudsoni</i> Imhof, 1891
<i>Limnosida frontosa</i> Sars, 1862	<i>Eurytemora lacustris</i> Poppe, 1887	<i>Conochilus hippocrepis</i> Schrank, 1803
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> Liévin, 1848	<i>Heterocope saliens</i> Lilljeborg, 1863	<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1891
<i>Daphnia longispina</i> Müller, 1776	<i>Heterocope appendiculata</i> Sars, 1863	<i>Gastropus stylifer</i> Imhof, 1891
<i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862	<i>Acanthodiantomus denticornis</i> Wierzejski, 1887	<i>Asplanchna herricki</i> Guerne, 1888
<i>Bosmina longispina</i> Leydig, 1860	<i>Cyclops abyssorum</i> Sars, 1863	
<i>Bosmina obtusirostris</i> Sars, 1861	<i>Cyclops lacustris</i> Sars, 1863	
<i>Bosmina lilljeborgi</i> Sars, 1887	<i>Cyclops scutifer</i> Sars, 1863	
<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig, 1869		

Tabel 4. Meso- ja eutroofsete vete indikaatorid

<i>Cladocera</i>	<i>Copepoda</i>	<i>Rotifera</i>
<i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862	<i>Cyclops kolensis</i> Lilljeborg, 1901	Kõik liigid perekonnast <i>Brachionus</i>
<i>Bosmina Oregoni</i> Baird, 1857	<i>Mesocyclops crassus</i> Fischer, 1853	<i>Pompholyx sulata</i> Hudson, 1885
<i>Bosmina kessleri</i> Uljanin, 1874		<i>Pompholyx complanata</i> Gosse, 1957
<i>Bosmina crassicornis</i> Lilljeborg, 1887		<i>Trichocerca cylindrica</i> Imhof, 1891
<i>Bosmina gibbera</i> Schödler, 1863		<i>Trichocerca capucina</i> Wierzejsk & Zacharias, 1892
<i>Bosmina thersites</i> Poppe 1887		<i>Trichocerca pusilla</i> Jennings, 1903
<i>Bosmina berolinensis</i> Imhof, 1888		<i>Trichocerca stylata</i> Gosse, 1851
<i>Bosmina longirostris</i> Müller, 1776		<i>Trichocerca porcellus</i> Gosse, 1886
<i>Chydorus sphaericus</i> Müller, 1785		<i>Trichocerca similis</i> Wierzejski, 1893
		<i>Filinia logiseta</i> Ehrenberg, 1834
		<i>Filinia limnetica</i> Zacharias, 1893
		<i>Filinia Terminalis</i> Plate, 1886
		<i>Keratella quadrata</i> Müller, 1786
		<i>Hexarthra mira</i> Hudson, 1871
		<i>Anuraeopsis fissa</i> Gosse, 1851

Tabel 5. Indeksite klassipiirid (Mäemets, 1980; Eesti väikejärvede..., 2015)

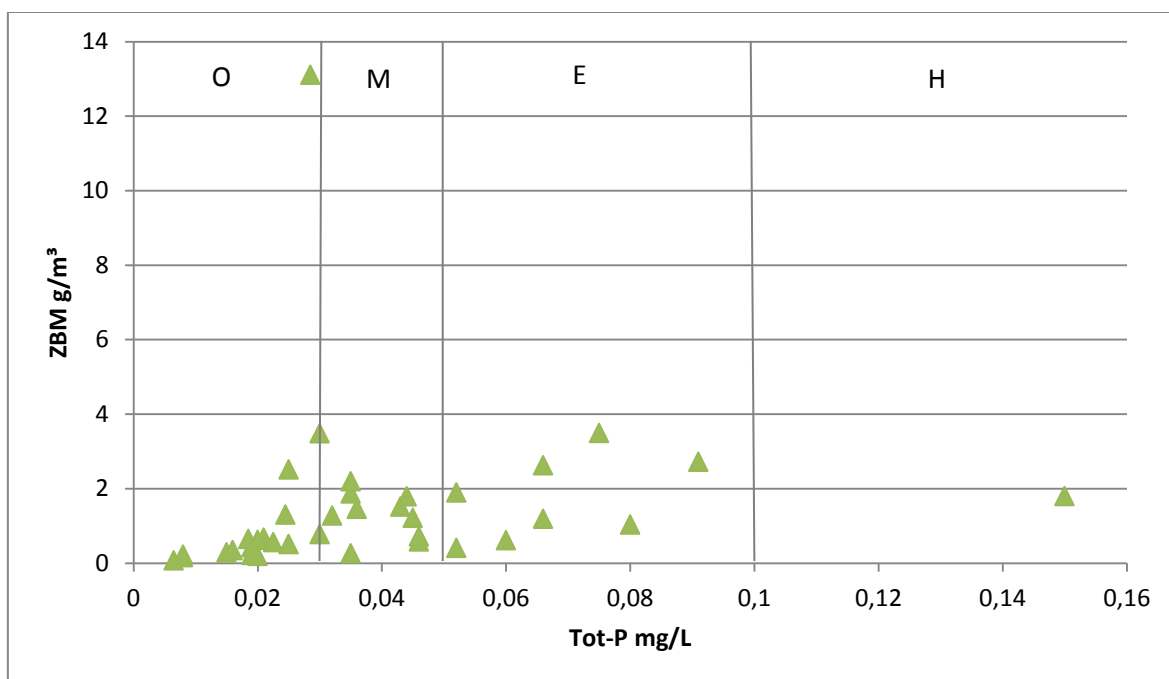
	ZO-indeks	ZE-indeks
Oligotroofne	> 4	> 0,2
Mesotroofne	1,5 – 4	0,2 – 1
Eutroofne	0,5 – 1,5	1 – 4
Hüpertroofne	< 0,5	< 4

Jooniste tegemiseks kasutati Microsoft Office Excel 2007. Joonistel on kasutatud üldfosfori- ja lämmastiku väärtuste vegetatsiooniperioodi (mai, juuli, august, september) ja veekihtide (pind, hüppekiht, põhi) keskmistatud väärtuseid.

3. TULEMUSED

3.1. Zooplanktoni biomass

Zooplanktoni biomass on kõrgem oligotroofsetes järvedes ja väheneb troofsuse suurenedes. Oligotroofsetes veekogudes jääb zooplanktoni biomass vahemikku 0,1-3,5 g/m³ (max Viitna Pikkjärv 13,1 g/m³), mesotroofsetes 0,2-3,5 g/m³, eutroofsetes 0,4-3,5 g/m³ ja hüpertroofses 1,8 g/m³ (Joonis 2).



Joonis 2. Zooplanktoni biomassi ja fosfori suhe Eesti väikejärvedes 2015. a. seireandmete põhjal. Troofsusklassid üldfosfori kontsentratsiooni järgi: O-oligotroofne; M-mesotroofne; E-eutroofne ja H-hüpertroofne.

Zooplanktoni biomassi hindamise skaala järgi (Tabel 2) olid 2015. aastal kogutud 39-st proovist 4 kõrge arvukusega, 16 kesmise arvukusega ja 19 madala arvukusega.

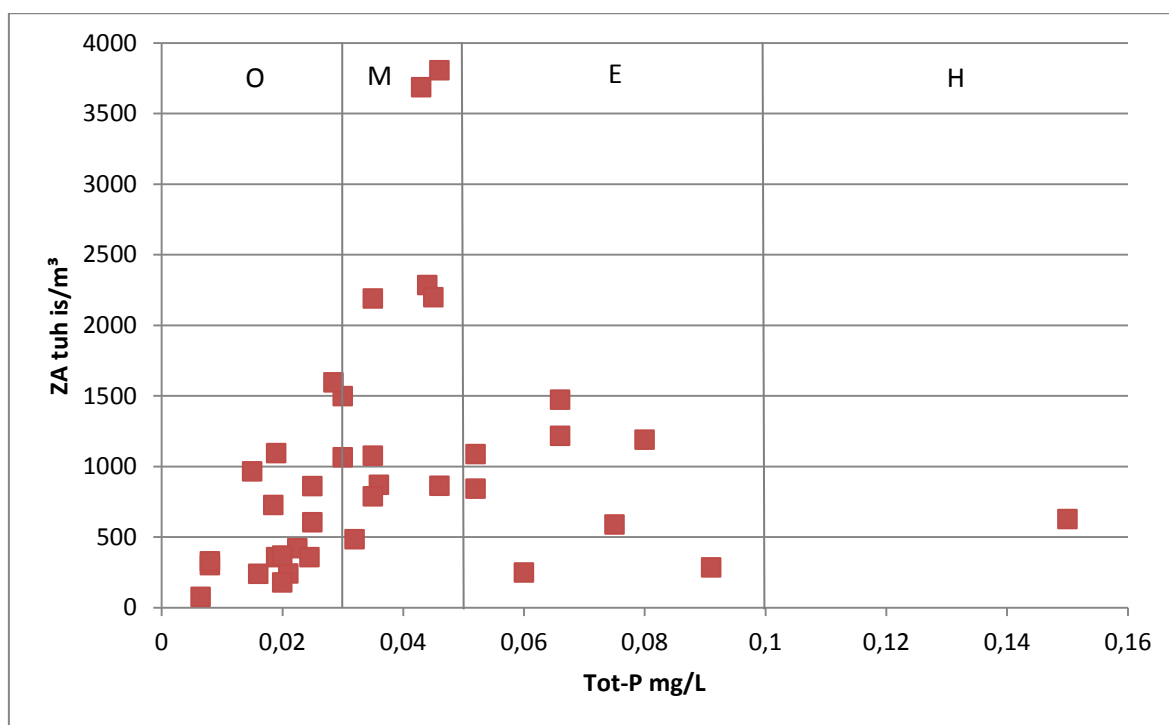
Arvestades seire tulemusi, zooplanktoni koosluseid ning järvede troofsusklasside pakkuksin välja uued klassipiirid, mis annaks rohkem informatsiooni järve seisundi kohta. Uued biomassi klassipiirid ja uus klassifikatsioon on tootud tabelis 6.

Tabel 6. Uued biomassi klassifikatsioon

	Biomass g/m ³
Väga hea	>5
Hea	5-2
Kesine	2-1
Halb	<1

3.2 Zooplanktoni arvukus

Zooplanktoni arvukus tõuseb troofsuse kasvuga, saavutab maksimumi mesotroofsetes veekogudes (Tot-P 0,3-0,5 mg/L) ja hakkab uuesti vähenema eutroofsetes järvedes (Joonis 3). 2015. aasta seireandmete põhjal jäi zooplanktoni arvukus oligotroofsetes veekogudes vahemikku 77-1496 tuh is/m³, mesotroofsetes 250-3856 tuh is/m³, eutroofsetes 248-1741 tuh is/m³ ja hüpertroofses 628 tuh is/m³



Joonis 3. Zooplanktoni arvukuse ja fosfori suhe Eesti väikejärvedes 2015. a. seireandmete põhjal. Troofsusklassid üldfosfori kontsentratsiooni järgi: O-oligotroofne; M-mesotroofne; E-eutroofne ja H-hüpertroofne.

Zooplanktoni arvukuse hindamise skaala järgi (Tabel 2) olid 2015. aastal kogutud 39 proovist 38 kõrge ja 1 proov keskmise arvukusega.

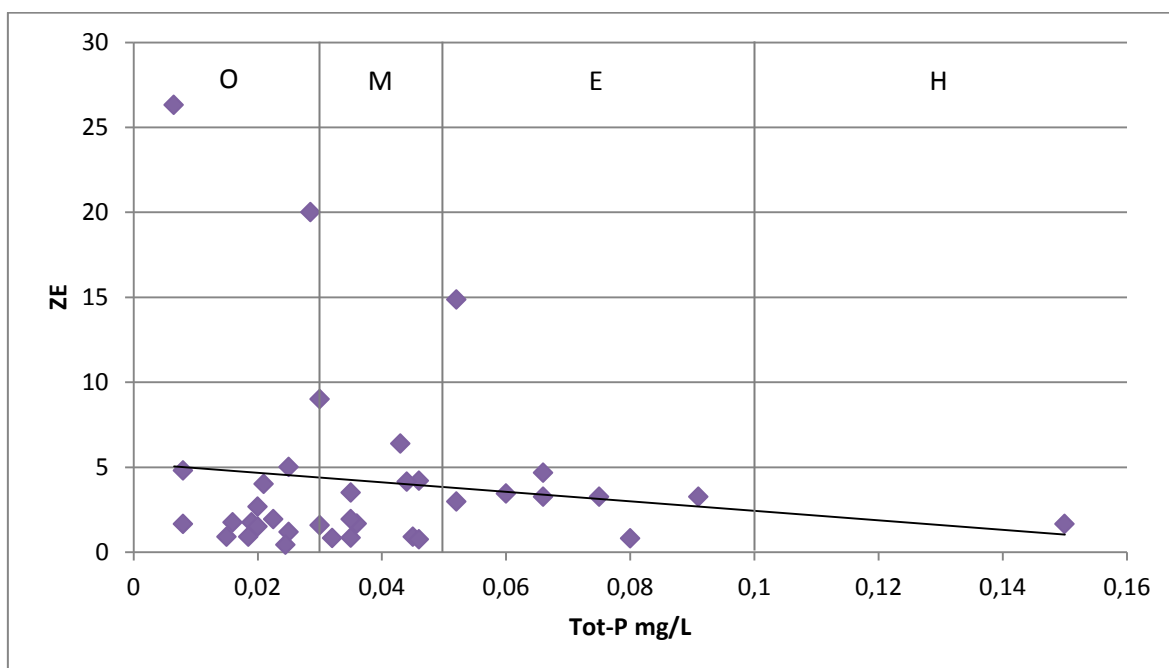
Praegune hindamise skaala ei peegelda veekogu seisundit piisavalt hästi. Võttes arvesse 2015. aasta zooplanktoni proovide arvukuse näitajad, pakuksin välja uue klassifikatsiooni. Uus klassifikatsioon on toodud tabelis 7.

Tabel 7. Uued arvukuse klassipiirid

	Arvukus tuh is/m ³
Väga hea	<500
Hea	500-1000
Kesine	1000-2000
Halb	>2000

3.3. Troofsusindeksid

Eutroofsuse indeks (ZE) langeb troofsuse tõustes 2015. aasta seireandmete alusel ning indeksi väärtused kõiguvad väga suurtes vahemikes (Joonis 4).



Joonis 4. Eutroofsuse indeksi ja fosfori suhe Eesti väikejärvedes 2015. a. seireandmete põhjal. Troofsusklassid üldfosfori kontsentratsiooni järgi: O-oligotroofne; M-mesotroofne; E-eutroofne ja H-hüpertroofne.

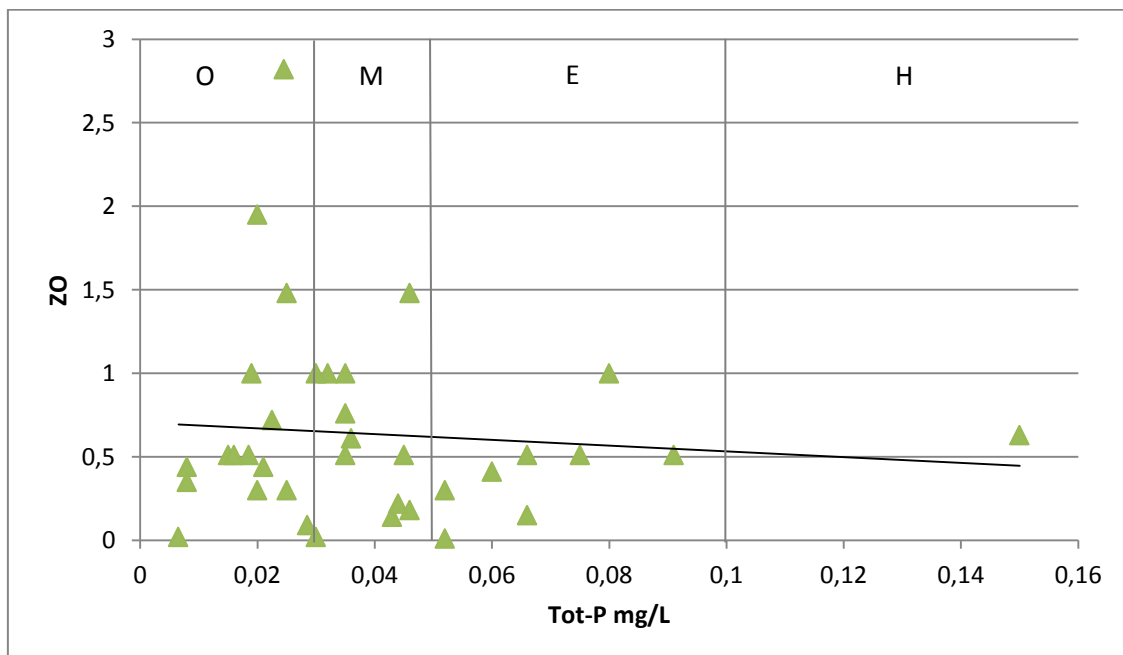
Oligotroofsetes veekogudes jäävad eutroofsuse indeksi väärtused vahemikku 0,43-26; mesotroofsetes 1,6-9, eutroofsetes 0,8-14,9 ja hüpertroofses 1,7 (Joonised 3,5)

ZE-indeksite väärtused on viidud ühtsele hindamisskaalale tabelis 8.

Tabel 8. ZE-indeksi uued klassipiirid

	ZE-indeks
Väga hea	<0,2
Hea	0,2-1
Kesine	1-4
Halb	>4

Oligotroofsuse indeks (ZO) langeb troofsuse tõustes 2015. aasta seireandmete alusel (joonis 4).



Joonis 5. Oligotroofsuse indeksi ja fosfori suhe Eesti väikejärvedes 2015. a. seiretulemuste põhjal. Troofsusklassid üldfosfori kontsentratsiooni järgi: O-oligotroofne; M-mesotroofne; E-eutroofne ja H-hüpertroofne

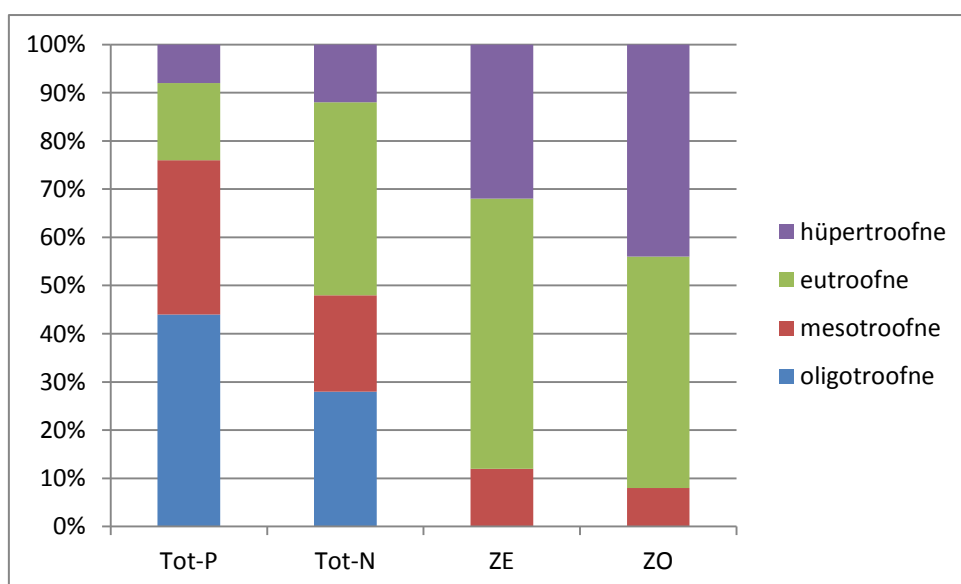
Oligotroofsetes järvedes jääb indeksi väärtus vahemikku 0,02-2,8; mesotroofsetes 0,02-1,4; eutroofsetes 0,2-1. ZO-indeksi klassipiirid, mis on viidud ühtsele võrdlusklaalale, on välja toodud tabelis 9.

Tabel 9. ZO-indeksi uued klassipiirid.

	ZO – indeks
Väga hea	>4
Hea	1,4-4
Kesine	0,5-1,5
Halb	<0,5

3.4. Troofsusklassid erinevate näitajate järgi

2015. aastal uuritud väikejärvede troofsusklassid erinevate parameetrite (Tot-P, Tot-N, ZE ja ZO) järgi on toodud joonisel 6.

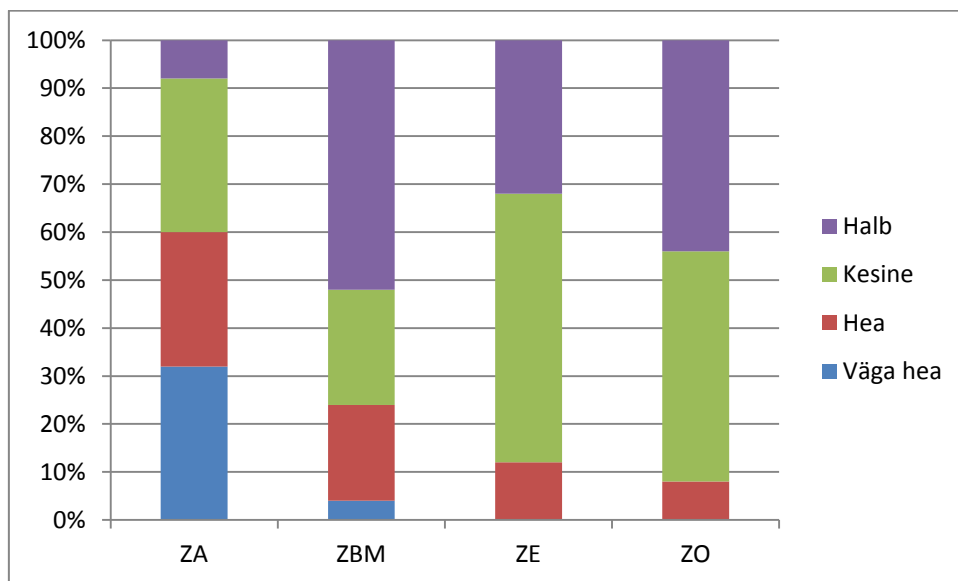


Joonis 6. 2015.a seirejärvede (25) näitajate troofsusklasside jaotus

Üldfosfori (Tabel 1) kontsentratsiooni (vegetatsiooniperioodi ja veekihtide keskmistatud väärtuste) järgi olid 25-st uuritud väikejärvest 44% (11) oligotroofsed, 32% (8) mesotroofsed, 16% (4) eutroofsed ja 8% (2) hüpertroofsed. Üldlämmastiku (Tabel 1) kontsentratsiooni järgi oli 28% (7) oligotroofsed, 20% (5) mesotroofsed, 40% (10) eutroofsed ja 12% (3) hüpertroofsed.

Eutroofsuse (ZE) ja oligotroofsuse (ZO) indeksite (Tabel 5) alusel puudusid 2015. aastal oligotroofsed järved, mesotroofseid oli vastavalt 12% (3) ja 8% (2), eutroofseid 56% (14) ja 48% (12) ning hüpertroofseid 32% (8) ja 44% (11).

Võrdluseks on välja toodud osaliselt korrigeeritud seisundiklasside ja ühtsele hindamisskaalale viidud zooplanktonite parameetrite jaotus (Joonis 7).



Joonis 7. Ühtsele kujule viidud ja osaliselt uuendatud klassipiiridega järvede jaotus 2015. aasta seireandmete põhjal

Zooplanktoni arvukuse järgi on väga heas seisus 32% (8), heas 28% (7), kesises 32% (8) ja halvas 8% (2) järvedest. Zooplanktoni biomassi järgi aga väga heas seisus 4% (1), heas 20% (5), kesises 24% (6) ja halvas 52% (13) järvedest (Joonis 7.).

Eutroofsuse (ZE) ja oligotroofsuse (ZO) indeksite ühtsele kujule viidud klassipiiride järgi (Joonis 7) puudusid 2015. aasta seireandmete järgi väga heas seisundis järved. ZE- indeksi järgi oli heas seisundis 12% (3), kesises 56% (14) ja ning halvas 32% (8) järvesid. ZO-indeksi alusel on 8% (2) heas, 48% (12) kesises ja 44% (11) seisundis.

3.5. Parameetrite hindamisskaalde ühtlustamine

Käesoleva töö üheks eesmärgiks oli zooplanktonit iseloomustavate parameetrite ja näitajate sarnasele kujule viimine ning võimaluse korral ka klassipiiride parandamine ja korrigeerimine (Tabel 11).

Tabel 11. Korrigeeritud ja sarnasele skaalale viidud zooplanktoni seisundit iseloomustavad parameetrid

	Biomass (g/m ³)	Arvukus (*10 ³ is/m ³)	ZO	ZE
Väga hea	> 5	< 500	> 4	< 0,2
Hea	5 – 2	500-1000	1,5 – 4	0,2 -1
Kesine	2 – 1	1000-2000	0,5 - 1,5	1 -4
Halb	< 1	> 2000	< 0,5	> 4

2015. aasta andmete põhjal oli võimalik korrigeerida arvukuse ja biomassi klassipiire. Oligotroofsuse ja eutroofsuse indeksi klassipiirid jäid muutmata nende suure hajuvuse tõttu ning neid peaks eraldi uurima rohkemate andmete kogunemisel.

4. ARUTELU

4.1. Zooplanktoni biomass

2015. aastat iseloomustab üpris madal zooplanktoni biomass. Madalaim biomass esines Rummu Läänekarjääris ($0,07 \text{ g/m}^3$) ning maksimaalne biomass Viitna Pikkjärves ($13,1 \text{ g/m}^3$). Keskmine zooplanktoni biomass oli 2015. aasta andmete põhjal aga ainult $1,62 \text{ g/m}^3$, ning kui eemaldada valimist Viitna Pikkjärv, langeb keskmine biomass $1,3 \text{ g/m}^3$. Aare Mäemetsa (1980) järgi loetakse zooplanktoni biomassi $1 - 3 \text{ g/m}^3$ kohta keskmiseks. Võrdluseks Peipsi järve erinevate osade andmed 2015 aastast (Tabel 11., Peipsi järve..., 2015)

Tabel 11. Peipsi järve metazooplanktoni biomass ja arvukus 2015. aastal

		Juuli	August	September
Peipsi s.s.	ZBM	0,77	0,71	1,7
	ZA	309	584,5	344
Lämmijärv	ZBM	1,08	2,1	0,97
	ZA	1081	1085	592
Pihkva järv	ZBM	<i>n.d.</i>	1,07	<i>n.d.</i>
	ZA	<i>n.d.</i>	1254	<i>n.d.</i>

Tuleb tõdeda, et Aare Mäemetsa koostatud klassifikatsioon biomassile on tänapäevaste andmetega kooskõlas ning peegeldab zooplanktoni kooslust adekvaatselt.

Tulemuste peatükis välja pakutud ökoloogilist seisundit peegeldav uuendatud biomassi skaala peegeldab zooplanktoni kooslust paremini, kui A. Mäemetsa loodud klassifikatsioon (madal, keskmine, kõrge). See on üheks etapiks viia zooplanktoni ökoloogilise seisundi hindamisel kasutatavad näitajad võrreldavale kujule. Kui zooplanktoni biomass on väga kõrge, viitab see koosluses ohtrasti esinevatele suuremõõtmeliste vesikirbulistele ja aerjalalistele.

Erandiks on *Asplanchna* perekonna liigid, kelle rohke esinemine võib biomassi väärtused kõrgeks tõsta. Erinevus seisneb selles, et vesikirbulised ja aerjalgsed on kvaliteetne noorkalade toidubaas ning viitab üldjuhul paremale ökoloogilisele seisundile kui perekond

Asplanchna liigid, kes on küll suured, kuid jäävad oma suure läbipaistvuse tõttu noorkaladele märkamatuks.

4.2. Zooplanktoni arvukus

Zooplanktoni keskmine arvukus 2015. a. andmete põhjal oli 995 tuh. is/m³. Kõrgeim arvukus esines Kaiu järves 3805 tuh. is/m³ ja kõige madalam Rummu läänekarjääris 77 tuh. is/m³. A. Mäemetsa klassifikatsiooni järgi esines kõikides järvedes kõrge arvukus (> 100 tuh. is/m³), vaid Rummu läänekarjääris jäi arvukus keskmiseks.

Aare Mäemetsa poolt koostatud zooplanktoni arvukuse klassifikatsioon aga ei anna tänapäeval enam piisavalt informatsiooni järve ökoloogilisest seisundist, kuna zooplanktonite arvukus kasvab troofsuse tõustes ning klassipiirid on liiga kitsa vahemikuga. Tihti jäävad tulemused kõrgesse klassi ja arvukuse muutus ei iseloomusta järve seisundit.

Zooplanktoni arvukuse klassifikatsioon tuleks kriitiliselt üle vaadata uute andmete lisandumisel, sest 2015. aasta järvede valim erines tunduvalt eelmistest aastatest-monitoringusse oli kaasatud mitu karjäärijärve, mille planktonkooslused erinevad tavalistest „klassikalistest“ järvedest. Vaadates 2015. aasta andmeid, siis üldiselt koosluste arvukuses domineerivad väikesemõõtmelised keriloomad, mis kuidagi ei viita heale zooplanktoni ökoloogilisele seisundile. Seetõttu sai klassifikatsiooni uuendatud ja piire muudetud.

4.3. Eutroofsuse ja oligotroofsuse indeks

Aare Mäemetsa 1880. aastal loodud eutroofsuse indeks (ZE) peaks peegeldama indikaatorliikide alusel veekogude troofsus seisundit. Mida eutroofsem on veekogu, seda suurem peaks olema eutroofsuse indeks, kuid 2015. aasta andmed seda paraku ei kinnitanud.

Siin võib olla mitmeid põhjuseid. Indeksi arvutamisel kasutatakse 1980. aastal loodud indikaatorliikide nimekirja (Tabelid 3 ja 4). Näiteks juhul kui proovist ei tabata ühtegi oligo-mesotroofsete vete indikaator-vesikirbulist, on indeksi väärtus oluliselt suurem ehk indeksi väärtus on kehvem.

Kummaline on leida näiteks jooniselt 4 oligotroofsetest vetest väga kõrgeid eutroofsuse indeksi tulemusi (Rummu Läänekarjäär 26,3 ja Nohipalu Mustjärv 20) ning hüpertroofsest Karijärve, mille ZE-indeksi väärtus on 1,93. Liikide niivõrd tugev osakaal ja indikaatorväärtustega vesikirbuliste mittetabamine/-esinemine on mõjutanud indeksi trendi vastupidises suunas ning seab kahtluse alla indeksi kasutamise senisel kujul.

Vastupidiselt eutroofsuse indeksile, veekogu troofsuse tõustes langeb oligotroofsuse indeksi (ZO) väärtus. 2015 a. seireandmete põhjal on märgata väikest languse trendi. Trendi väikest langust põhjustab oligotroofsuses (Rummu Läänekarjäär 0,02), mesotroofsuses (Nohipalu Mustjärv 0,09) ja eutroofsuses (Keeri järv 0,02) veest leitavad väga madalaid ZO-indeksi väärtuseid, kuigi sarnaselt ZE-indeksile on indeksi väärtuste hajuvus väga suur.

Võib kahelda ka selles, kas 35 aastat tagasi loodud indikaatorliikide nimistu ennast tänapäeval, muutunud keskkonnatingimustes ka õigustab, sest selle kohta uuringud ja analüüsid paraku hetkel puuduvad. Mitmed liigid on ilmselt kohastunud ning muutunud keskkonnatingimuste suhtes tolerantsemateks. Üheks selliseks liigiks tundub olevat oligo-mesotroofsete vete indikaatortakson *Diaphanosoma brachyurum*, kes esines ka mitmetes eutroofsuses järvedes.

Indeksite väärtused ja tulemused, mis baseeruvad liikide tundmisel ja täpsel määramisel sõltuvad ka planktoloogi enda kogemustest ja täpsusest, hea mikroskoobi olemasolust, proovi esinduslikkusest, proovi kogumise kohast ja ajast jne. Seetõttu tuleks sellistesse indeksitesse suhtuda mõningase kriitikaga.

Tasuks mõelda ja võimaluse korral analüüsida muid indekseid ja rühmade suhteid ning kasutada järvede ökoloogilise seisundi hinnangu andmisel selliseid indekseid, mis otseselt indikaatorliikidel ei baseeru. Indikaatorliikidel baseeruvad indeksid võiksid olla taustinformatsiooniks või kui peetakse oluliseks nende indeksite edaspidist kasutamist, siis

tuleks kriitiliselt analüüsida 35 aastat tagasi loodud indikaatorliikide nimekirja. See aga eeldab korralikku andmebaasi, mida hetkel paraku ei ole.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaurusetöö eesmärgiks on uurida zooplanktoni koosluseid iseloomustavaid näitajaid (arvukus, biomass, ZE ja ZO-indeks) 2015. aasta seireandmete alusel ning lisaks viia zooplanktoni hindamisel kasutatavad näitajad ühtsele võrdluskaalale.

Tulemustest selgus, et 2015. aastat iseloomustab madal zooplanktoni biomass, (keskmine $1,62 \text{ g/m}^3$), ning tuleb tõdeda, et Aare Mäemetsa koostatud klassifikatsioon zooplanktoni biomassi hindamiseks on üldjoontes sobilik ka tänapäeval. Siiski uuendati biomassi hindamise skaalat ning see sai viidud tänapäevasele ökoloogilise seisundi hindamise skaalale: väga hea $>5 \text{ g/m}^3$; hea $5-2 \text{ g/m}^3$; keskmine $2-1 \text{ g/m}^3$; halb $<1 \text{ g/m}^3$.

Praegu kasutusel oleva hindamise skaala järgi, olid peaaegu kõikides järvedes zooplanktoni arvukus kõrge. Kuna praegu kasutusel olev klassifikatsioon ei ole informatiivne oma ulatuse ja kitsaste vahemike pärast, pakkusime välja uued klassipiirid: väga hea $< 500 \text{ tuh. is/m}^3$; hea $500-1000 \text{ tuh.is/m}^3$; keskine $1000-2000 \text{ tuh.is/m}^3$; halb $>2000 \text{ tuh.is/m}^3$.

Eutrofeerumise indeks peaks veekogu troofsuse suurenedes tõusma, kuid 2015. aasta andmed seda ei kinnitanud. Oligotroofsetes veekogudes leidis väga kõrgeid ZE-indeksi väärtuseid. Veekogus troofsuse tõustes peaks oligotroofsuse indeksi väärtused langema, mida näitasid ka tulemused, kuigi madala troofsusega vetest võis leida ka madalaid ZO-indekseid.

Samuti jõuti järelduseni, et ZE ja ZO-indeksit ja indikaatorliikide nimekirja tuleks veel analüüsida ja uurida, kuna indeksi arvutamisel lähtutakse indikaatorliikide nimekirjast, mille põhiohk on vesikirbulistele ja keriloomadele indikaatorväärtuste omastamisel. Liikide niivõrd tugev osakaal ja indikaatorväärtustega liikide mittetabamine/-esinemine võib mõjutada indeksi trendi vastupidises suunas ning see seab kahtluse alla indeksi kasutamise senisel kujul.

SUMMARY

„ZOOPLANKTON AS THE INDICATOR OF TROPHIC STATUS IN ESTONIAN SMALL LAKE“

Zooplankton is a very diverse group, which communities and various indicators are related to biotic and abiotic factors. As it reacts to different environment changes fast, zooplankton is considered a good indicator in lakes monitoring, which characterizes the ecological state and trophic levels of the lakes.

The objective of this thesis is to explore the indicators of zooplankton communities (abundance, biomass and trophic indices) and to bring the indicators used in zooplankton assessment on a common comparison scale. The material for this thesis was collected in 2015 from 25 lakes during monitoring of Estonian small lakes, there are 39 samples in total.

The results showed that 2015 was characterized by a low zooplankton biomass. It should be noted that the classification for assessing the biomass of zooplankton by A. Mäemets applies also today, however, the assessment scale of biomass was updated and transferred to the modern ecological status assessment scale. According to the currently used zooplankton abundance assessment scale, the abundance of zooplankton was in 2015 (very) high. As the currently used scale is not informative due to its scale and small intervals, we proposed new class boundaries.

The ZE-index should increase with the increase of trophic levels, but the data collected in 2015 does not confirm this. There were very high ZE-index values in oligotrophic waters. As the trophic levels in the water increase, the values of the ZO-index should decrease, which is also what the results showed; however, low ZO-index values (which refer to eutrophic water) could be found in water with low trophic levels.

That is why ZE- and ZO-index and the list of indicator species should be analyzed and explored more in the future, since the calculation of the index is based on a list of indicator species which was created in 1980. Changed indicator values of the species and non-capturing/non-occurrence of indicator species may affect the trend of the index in the opposite direction, and it casts doubt on using the index in its present form.

KASUTATUD KIRJANDUS

Blank, K., Laugaste, R., Haberman, J., 2010. Temporal and spatial variation in the zooplankton : phytoplankton biomass ratio in a large shallow lake. *Estonian Journal of Ecology*, 59: 99-115.

Dembowska, E., Napiórkowski, P., Mieszczankin, T., Józefowicz, S. 2015. Planktonic indices in the evaluation of the ecological status and the trophic state of the longest lake in Poland. *Ecological Indicators* 56 : 15–22

Dumont, H. J., Van de Velde, I., Dumont, S. 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of cladocera, copepoda and rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia*, 19, 75-97.

Gökce, D., Öchan Turhan, G., 2014. Evaluation of vertical and horizontal changes in community structure of zooplankton in a deep dam lake. *Turk J Zool* 38: 11-22

Gyllstrom, M., Hansson, L.-a., Jeppesen, E., Garcia-Criado, F., Gross, E., Irvine, K., Kairesalo, T., Kornijow, R., Miracle, M.R., Nykanen, M., Noges, T., 2005. The role of climate in shaping zooplankton communities of shallow lakes. *Limnol. Oceanogr.* 50:2008–2021.

Haberman, J., Virro, T., 2003. Zooplankton. *Võrtsjärv.Loodus. Aeg. Inimene. Eesti Entsüklopeediakirjastus* lk 279-299.

Haberman, J., Laugaste, R., Tiina Nõges, T., 2007. The role of cladocerans reflecting the trophic status of two large and shallow Estonian lakes. *Hydrobiologia* 584:157–166.

Haberman, J., Virro, T., Krikmann, K., 2008. Zooplankton. *Peipsi. Eesti Loodusfoto. Tartu.* lk 271-290.

Havens, K.E., Hanazato, T., 1993. Zooplankton community responses to chemical stressors: a comparison of results from acidification and pesticide contamination research. *Environ. Pollut.* 82, 277–288. Herzig, A., 1994. Predator-prey relationships within the pelagic community of Neusiedler See. *Hydrobiologia* 275(276): 81–96.

Herzig, A., 1994. Predator-prey relationships within the pelagic community of Neusiedler See. *Hydrobiologia* 275(276): 81–96

Ibneeva N.I. 1983 – Ispol'zovanie kormovoj bazy rybami-planktofagami Psovsko-Čudskogo ozera [Exploitation of food resources by planktophagous fishes in Lake Peipsi-Pihkva] – Sbornik nauchnykh trudov Gosniorkh, 209: 44–50 (in Russian).

Jeppesen, E., Jensen, J. P., Søndergaard, M. & Lauridsen, W. T. 1999. Trophic dynamics in turbid and clear water lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia*, 408/409: 217-231.

Jeppesen, E., Jensen, J. P., Søndergaard, M., Lauridsen, T. & Landkildehus, F. 2000. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along phosphorus gradient. *Freshwater Biol.*, 45: 201-218.

Jeppesen, E., Jensen, J. P., Amsinck, S., Landkildehus, F., Lauridsen, T. & Mitchell, S. F. 2002. Reconstructing the historical changes in *Daphnia* mean size and planktivorous fish abundance in lakes from the size of *Daphnia ephippia* in the sediment. *J. Paleolimnol.*, 27: 133-143.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J. P. et al. 2005. Lake responses to reduced nutrient loading- an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biol.*, 50: 1747-1771.

Jeppesen E, Noges P, Davidson TA, Haberman J, Noges T, Blank K, Lauridsen T, Søndergaard M, Sayer C, Laugaste R, Johansson LS, Bjerring R, Amsinck SL, 2011. Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 676:279-297

- Lens, J., 2000. ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press 24-53
- Matthes M., 2004. Low genotypic diversity in a *Daphnia pulex* population in a biomanipulated lake: the lack of vertical and seasonal variability. *Hydrobiologia* 526: 33–42.
- Meijer, M.-L., I. DeBoois, M. Scheffer, R. Portielje & H. Hosper, 1999. Biomanipulation in shallow lakes in the Netherlands: an evaluation of 18 case studies. *Hydrobiologia* 408(409): 13–30.
- Mäemets, A., 1961. Eesti vesikirbuliste (Cladocera) ökoloogiast ja fenoloogiast. Hüdrobioloogilised uurimused II. Eesti NSV Teaduste Akadeemia. Zooloogia ja botaanika instituut. Tartu. 108-148.
- Mäemets, 1968. Eesti järved. Eesti NSV Teaduste Akadeemia zooloogia ja botaanika instituut. Kirjastus Valgus. Tallinn.
- (Mäemets) Мяеметс, А., 1980. Изменение зоопланктона. В кн. Антропогенное воздействие на малые озера. с. 54-64.
- Nauwerck, A., 1963. Die Beziehungen zwishhen Zooplankton und Phytoplankton in See Erken. *Symb. Bot . Ups.* 17: 1-163.
- Ott, I. ja T. Kõiv, 1999. Eesti väikejärvede eripära ja muutused. Estonian small lakes: special features and changes. Tallinn.
- Pérez-Fuentetaja, A., D.J. McQueen & E. Demers, 1996. Stability of oligotrophic and eutrophic planktonic communities after disturbance by fish. *Oikos* 75:89-110.
- Spencer, C.N & Ellis, B.K, 1998. Role of nutrient and zooplankton in regulation of phytoplankton in Flathad Lake (Montana, U.S.A.), a large oligotrophic lake. *Freshwater Biology* 39: 755-763.

Stemberger, R., and Miller, E. 2003. Cladoceran body length and Secchi disk transparency in northeastern U.S. lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60: 1477–1486.

Stutzman, P., 1995. Food quality of gelatinous colonial chlorophytes to the freshwater zooplankton *Daphnia pulicaria* and *Diaptomus oregonensis*. *Freshwater Biology* 34:149-153.

Vandekerckhove, J., S. Declerck, L. Brendonck, J. H. Conde-Porcuna, E. Jeppesen & L. De Meester, 2005. Dormant propagule banks integrate spatio-temporal heterogeneity in cladoceran communities. *Oecologia* 142: 109–116.

Wetzel, R.G.1983. *Limnology*. Academic Press, Forf Worth, Philadelphia, San Diego, New York, Orlando, Austin, San Antonio, Toronto, Montreal, London, Sydney, Tokyo, 767 pp.

Käsikirjad

Eesti väikejärvede seire, 2015. EV Keskkonnaministeeriumi tellitud lepingulised uurimised. Vastutav täitja I. Ott. Käsikiri EMÜ PKI Limnoloogiakeskuses.

Peipsi järve hüdrokeemiline ja hüdrobioloogiline seire, 2015. EV Keskkonnaministeeriumi tellitud lepingulised uurimised. Vastutav täitja M. Haldna. Käsikiri EMÜ PKI Limnoloogiakeskuses.

LISAD

Lisa 1. Töös kasutatud algandmed

Järv	Kuupäev	Tot-P	Tot-N	ZA	ZBM	ZO	ZE
		mg/L	mg/L	tuh is/m ³	g/m ³		
Maardu	16.07.2015	0,019	0,85	1093,05	0,22	0,51	0,90
Maardu	9.09.2015	0,015	0,76	964,25	0,29	0,51	3,25
Jõemõisa	8.07.2015	0,066	1,00	1471,40	2,62	0,14	6,38
Jõemõisa	3.09.2015	0,043	0,92	3685,68	1,52	0,15	4,67
Kaiu	8.07.2015	0,066	1,30	1215,74	1,19	0,18	4,20
Kaiu	3.09.2015	0,046	0,94	3805,28	0,57	0,01	14,86
Keeri	9.07.2015	0,052	0,52	1087,27	0,41	0,22	4,13
Keeri	14.09.2015	0,044	0,30	2283,14	1,79	0,30	5,00
Klooga	16.07.2015	0,025	0,96	860,63	0,51	1,00	1,75
Klooga	9.09.2015	0,019	1,10	356,93	0,43	1,48	1,18
Raku	20.07.2015	0,025	0,49	603,94	2,51	1,00	0,82
Raku	21.09.2015	0,032	0,70	484,03	1,27	0,61	1,67
Endla	13.07.2015	0,036	1,30	869,40	1,45	1,00	1,57
Ähijärv	2.07.2015	0,030	0,50	1496,88	3,48	0,44	1,64
Rummu läänekarjäär	20.07.2015	0,008	0,21	300,75	0,15	0,02	26,3
Rummu läänekarjäär	21.09.2015	0,007	0,16	77,00	0,07	0,44	4,00
Paunküla veehoidla	16.07.2015	0,021	0,56	240,59	0,68	0,51	0,9
Paunküla veehoidla	9.09.2015	0,019	0,58	726,05	0,64	0,51	3,25
Saare	8.07.2015	0,075	0,84	588,43	3,49	0,51	0,90
Saare	3.09.2015	0,045	0,70	2196,90	1,21	0,51	3,25
Karijärv	9.07.2015	0,091	1,01	284,61	2,72	0,63	1,64
Karijärv	14.09.2015	0,150	1,29	628,00	1,80	0,72	1,93
Männiku	20.07.2015	0,023	0,31	420,61	0,56	0,51	1,75
Männiku	21.09.2015	0,016	0,25	240,15	0,35	0,76	0,83
Pühajärv	6.07.2015	0,035	0,39	787,25	1,86	0,30	2,67
Rõuge Suurjärv	2.07.2015	0,020	0,52	179,00	0,62	1,00	0,80
Lohja	23.07.2015	0,080	0,90	1189,80	1,03	0,41	3,43
Lohja	23.09.2015	0,060	1,10	248,00	0,61	0,30	2,96
Käsmu	23.07.2015	0,052	0,60	841,60	1,89	0,51	1,93
Käsmu	23.09.2015	0,035	0,77	2188,75	2,19	0,30	3,47
Ohepalu Suurjärv	23.07.2015	1,600	4,00	1053,68	5,61	1,91	0,00
Ohepalu Suurjärv	23.09.2015	1,500	3,70	692,28	2,76	1,00	3,50
Nohipalo Mustjärv	6.07.2015	0,035	0,84	1074,96	0,26	0,09	20,00
Viitna Pikkjärv	15.07.2015	0,0285	0,42	1595,33	13,10	2,82	0,43
Uljaste	15.07.2015	0,0245	0,32	356,25	1,30	1,48	0,75
Tänavjärv	27.07.2015	0,046	1,50	863,10	0,71	0,02	9,00
Nohipalo Valgõjärv	6.07.2015	0,03	0,35	1065,09	0,77	0,35	4,80
Kooru	27.07.2015	0,008	0,84	327,12	0,22	1,95	1,50
Suurlaht	27.07.2015	0,02	1,00	369,33	0,19	0,68	4,33

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kadri Juhanson,
sünniaeg 08.05.1990,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
„ZOOPLANKTON KUI EESTI VÄIKEJÄRVEDE TROOFSUSE INDIKAATOR“,
mille juhendaja on M.Sc. Ronald Laarmaa,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 20.05.2016

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Ronald Laarmaa _____

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)