

TALLINNA ÜLIKOOL  
*Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut*  
*Loodusteaduste osakond*

**Regina Raidma**

PORKUNI JÄRVE SEISUND PÄRAST 2006.  
AASTA KUIVAMIST

Bakalaureusetöö

Juhendaja: MSc Annika Mikomägi

Tallinn 2015

## Autorideklaratsioon

Mina, \_\_\_\_\_, kinnitan, et olen käesoleva lõputöö

*Autori nimi*

teinud iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmiseks esitatud. Kõigi teiste autorite uurimistöode ja mujalt pärinevate andmete kasutamisel on allikale viidatud.

Annan Tallinna Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) oma lõputöö säilitamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Ülikooli Akadeemilise Raamatukogu repositooriumis. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Töö autor: \_\_\_\_\_

*Kuupäev, allkiri*

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja: \_\_\_\_\_

*Kuupäev*

*nimi*

*allkiri*

Õppekava juht: \_\_\_\_\_

*Kuupäev*

*nimi*

*allkiri*

Käesolev bakalaureusetöö/magistritöö on koostatud osana TLÜ MLI õppetööst. Selle hindamine positiivse hindega ei tähenda, et MLI vastutab töös kasutatud meetodite, saadud tulemuste ja tehtud järelduste eest.

# PORKUNI JÄRVE SEISUND PÄRAST 2006. AASTA KUIVAMIST

## Regina Raidma

Pandivere kõrgustikul asuv Porkuni järv on allikatoiteline ning seetõttu sõltub järv sademeveest ja põhjaveest. Karstunud aluspõhjast tingitud veekogu korduvate kuivaksjäämistest tõttu on järve elustik osaliselt mitmeid kordi hävinud ja hiljem uuesti taastunud. Vesi on järvest teadaolevalt pikemaks või lühemaks perioodiks kadunud ka varem, kuid 2006. aastal sai järve põhjas kuiva jalaga kõndida.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on hinnata Porkuni järve seisundit pärast 2006. aasta kuivamist. Töö teoreetilises osas antakse ülevaade Pandivere kõrgustikust, veekaitsealast, karstijärvedest ning järvede keskkonnaseisundit näitavatest teguritest: klorofüll *a* ja selle laguproduktid, pH, hapniku sisaldus, elektrijuhtivus, soolsus, vee läbipaistvus, taimestiku ja loomastiku rohkus ning taksonoomiline eripära.

Töö teine osa käsitleb bakalaureusetöö autori poolt Porkuni järves tehtud uuringuid ning nende tulemusi. Välitööde käigus määrati veekogu taimestik ja loomastik, kasutati YSI multimeetrit vee kvaliteedi analüüsimiseks, Secchi ketast vee läbipaistvuse hindamiseks ning koguti veeproove klorofüll *a* ja selle laguproduktide mõõtmiseks. Klorofüll *a* ja laguproduktide sisalduse mõõtmiseks kasutati spektrofotomeetrilist meetodit. Kogutud andmete põhjal määrati järve tüüp ja hinnang Porkuni järve ökoloogilisele seisundile.

Märksõnad: Porkuni järv, karstijärv, allikatoiteline, suurtaimestik, klorofüll *a*

# SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. TEOREETILINE TAUST.....	7
1.1. Pandivere kõrgustik.....	7
1.2. Ajutised järved ja karstiallikad .....	8
1.3. Pandivere veekaitseala .....	9
1.4. Uurimisala looduslik ülevaade.....	10
1.4.1. Üldinfo.....	10
1.4.2. Järve kuivaksjäämised.....	12
1.5. Järve keskkonnaseisundit näitavad tegurid.....	13
1.5.1. Klorofüll <i>a</i> ja selle laguproduktid .....	13
1.5.2. Lahustunud hapnik .....	15
1.5.3. pH, elektrijuhtivus ja soolsus.....	15
1.5.4. Temperatuur.....	16
1.5.5. Vee läbipaistvus .....	16
1.5.6. Taimestik ja loomastik .....	17
1.5.7. Järvede tüpoloogia ja klassifikatsioon.....	19
2. MATERJAL JA METOODIKA .....	21
2.1. Proovivõtukohtade kirjeldus .....	21
2.1.1. Karujärv ehk Alumine järv .....	21
2.1.2. Suurjärv .....	22
2.1.3. Aiajärv .....	24
2.1.4. Iiri järv .....	25
2.2. Välitöö .....	26
2.2.1. Veeproovide kogumine .....	26
2.2.2. Järvevee üldised parameetrid.....	27
2.2.3. Taimestiku ja loomastiku kirjeldamine .....	27

2.3. Klorofüll <i>a</i> ja selle laguproduktide sisalduse määramine.....	28
3. TULEMUSED.....	29
3.1. Välitööde käigus mõõdetud järvevee füüsikaliste-keemiliste parameetrite tulemused .....	29
3.1.1. Karujärv (KJ) .....	29
3.1.2. Suurjärve mõõtmiskoht 1 (SJ) .....	29
3.1.3. Suurjärve mõõtmiskoht 2 (SJ2) .....	30
3.1.4. Aiajärv (AJ) .....	30
3.1.5. Iiri järv (IJ).....	31
3.2. Taimestik ja loomastik .....	31
3.3. Klorofüll <i>a</i> ja laguproduktide analüüsi tulemused .....	33
3.3.1. Karujärve (KJ) proov .....	33
3.3.2. Suurjärve (SJ) proov .....	33
3.3.3. Suurjärve (SJ2) proov.....	33
3.3.4. Aiajärve (AJ) proov.....	34
3.3.5. Iiri järve (IJ) proov .....	34
4. ARUTELU .....	35
KOKKUVÕTE.....	40
THE STATE OF LAKE PORKUNI AFTER ITS DRY PERIOD IN 2006.....	42
KASUTATUD KIRJANDUS .....	44
LISAD .....	48
Lisa 1 .....	49

# SISSEJUHATUS

Pandivere kõrgustikul asuv Porkuni järv on karstijärv, mis algselt oli allikatest toituv Valgejõe lähe. Paisutamise ja veetammidega eraldatud neljaks veesilmaks: Suurjärv, Alumine ehk Karujärv, Aiajärv ja Iiri järv. Veekogu korduvate kuivaksjäämistest on järve elustik osaliselt mitmeid kordi hävinud ja hiljem uuesti taastunud. Siiski Porkuni järve veenappus ei ole seotud kohaliku inimtegevusega, vaid Pandivere karstunud aluspõhja ning väga kuivade suvede ja sügistega.

Karstipiirkonna tõttu on põhjavesi eriti tundlik reostuse suhtes. Põhjavesi sattunud reostus levib kiiresti piki karstikanaleid ning jõuab allikateni, saastades nii allika- kui ka jõevett (Estonica 2009). Praegu on järve reostuskoormus vähenenud, sest järve kaldal asetseva kooli-kompleksi reoveepuhasti rekonstrueeriti 2003. aastal ning 1980ndatel suleti järve kaldal asetsev konservitehas. Tegutsemise on lõpetanud ka ümberkaudsed laudad ning põllumajandustegevus on vähenenud.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on teha kindlaks, milline on Porkuni järve seisund pärast 2006. aastal toimunud järve kuivaksjäämist. Selleks mõõdeti erinevaid vee füüsikalisi ja keemilisi parameetreid. Uurimistöö käigus kontrolliti, kas 2007. aastal AS Maves'i poolt läbiviidud välitöö ajal registreeritud suurtaimed on endiselt leitavad, ning määrati veekogu loomastik. Klorofüll *a* sisalduse mõõtmise abil saab määrata järvede produktiivset seisundit ning sellest lähtuvalt oli üheks töö eesmärgiks omandada klorofüll *a* ja selle laguproduktide määramise meetodika. Mõõtmisteks kasutati spektrofotomeetrit ning mõõtmiste tulemustele tuginedes antakse hinnang Porkuni järvede produktsioonile.

Antud töö käigus pööratakse tähelepanu järgmistele küsimustele:

- Kas Porkuni järves leidub keskkonnamuutustele tundlikke põhjaloomastiku taksonid;
- Kui suur on klorofüll *a* ja selle laguproduktide sisaldus järves;
- Kas Porkuni järv kuulub vähe- kuni kesctoitelised kalgiveeliste või karstijärvede hulka?

Töö autor tänab bakalaureusetöö valmimisele kaasa aidanud isikuid: juhendaja Annika Mikomägi, Ants Mägi, Mari-Ann Mägi, Arvet Raidma, Elvi Raidma.

# 1. TEOREETILINE TAUST

## 1.1. Pandivere kõrgustik

Põhja-Eestis asuv reljeefi suurvorm ja veelahkmeline maastikurajoon piirneb kirdes Virulavamaa, idas ja kagus Alutaguse madaliku, edelas Kesk-Eesti lavamaa ning läänes Kõrvemaaga. Pandivere kõrgustiku pindala on 2425 km<sup>2</sup>, mis moodustab 5,3% Eestist. (Arold 2005).

Kõrgustik on lauge ja ümarja konfiguratsiooniga ümbrusest kõrgem ala, mille aluspõhja moodustab kesk- ja ülem-ordoviitsiumi ning alam-siluri lubjakivi. Ühtlasi on tegemist kõrgeima aluspõhjakõrgendikuga Põhja-Eestis. Pandivere kõrgustiku võlv ja selle lõunanõlv on säilinud ligilähedaselt ürgvanale eellasele, siis põhjanõlv on noor ning kujunenud alles kainosoikumis seoses Soome lahe nõo tekkimisega. Pleistotseeni mandriliustikud on kõrgustiku põhjanõlva tugevasti kulutanud ning muutnud selle üsna laugeks. (Estonica 2009)

Pinnamoe iseärasused määravad valdavad moreenitasandikud, mis on suures osas põllustatud. Nende taustal ulatuvad esile 10 – 15 (kohati 35) meetri kõrgused ja kilomeetritepikkused oosistikud. Kohati esineb voorest ja oosist koosnevaid liitvorme, nagu seda on Pandivere kõrgustiku suurim kõrgendik Emumägi (Arold 2005), mille kõrgus on 166 meetrit, ja Ebavere mägi kõrgusega 146 meetrit (Estonica 2009). Ehkki oosistikud hõlmavad vaid 2% kõrgustiku pindalast, on need sellele väga iseloomulikud metsaste vallidega maastikud. Pikim on kahest lülist (Porkuni-Aruküla ja Neeruti) koosnev Porkuni-Neeruti oosistik, kus põhjaosa, nn Neeruti mägesid moodustavad paralleelsed kuni 35 meetri kõrgused kumeralaelised ja järsunõlvalised paeveeriselisest kruusast seljakud vahelduvad kuni 10 meetri sügavuste glatsiokarstiliste nõgudega, kus on järvi. Porkunis asuvad 18 – 25 meetri kõrgused tasasaelised oosid ürgorus. Paekividesse lõikunud Porkuni ehk Valgejõe ürgorg on üle 30 kilomeetri pikk ja kuni 0,5 kilomeetrit lai ning osaliselt setetega täitunud. Orus leidub järvekriiti. Kõrgustiku madalam osa kujutab endast Porkuni ürgorgu lõunapoolset jätku. See on lõuna suunas madalduv Vao nõgu Põltsamaa jõe ülemjooksuga. (Arold 2005)

Mullad on Pandivere kõrgustikul Eesti kõige viljakamad. Kõrgustikul asub kaks kolmandikku Eesti parimatest leostunud ja leetjatest liivsavimuldadest, mis on kujunenud

kollakashallil karbonaatsel moreenil. Need soodsa vee-, õhu- ja toiterežiimiga mullad hõlmavad kõrgustikust 51%. Muldades säilib taimedele kättesaadavast kevadisest veevarust keskmiselt 160 millimeetrit (kuni 200 millimeetrit), mis tagab taimede pikemaegse veega varustatuse ja koos sellega suure produktioonivõime. Õhukese pinnakattega aladel, peamiselt kõrgustiku põhjaosas, paiknevad rohket aluspõhja ainest sisaldavad rähkmullad (23%). Pandivere on ainuke maastikurajoon Eestis, kus soostuvate (gleimuldade) ja soomuldade osatähtsus on alla 10%. Tänu muldade kõrgele viljakusväärtustele ja taimekasvuks sobivale veerežiimile on kõrgustikul palju põllumaid, mis ka ekstreemse ilmastikuga aastatel on andnud kõrgeid saake. (Arold 2005)

## **1.2. Ajutised järved ja karstiallikad**

Karstivete süsteem Pandivere võlvil ja nõlvade ülaosas on moodustunud juba enne jääaegu, ent on elav ja aktiivselt arenev tänapäevalgi. Pinnavete neeldumist ja kivimite karstumist põhjustavad lubjakivide maapinnalähedane asend ja ümbrusest suurem kõrgus. (Estonica 2009) Kõrgustiku võlvil, umbkaudu 1375 km<sup>2</sup> suurusel alal pole peaaegu ühtki jõge ega järve (Arold 2005). Seevastu kõrgustiku jalamit (80 – 90 meetri kõrgusel) tähistab tiheda sõõrina allikatevöönd, millest lähtuvad paljud jõed ja ojad. (Estonica 2009)

Taoline omapärane vetevõrk teeb Pandivere kõrgustiku Eesti tähtsaimaks veelahkmealaks. Sellest tulenevalt nimetatakse seda koos naabruses paiknevate moreentasandike ja voorestikega sageli Lahkme-Eestiks. Kevadise lumesulamise ja suurte vihmasadude perioodil täituvad suuremad maapinnanõod ja väiksemad lohud ajutiselt veega. Kujunevad lühiajalised järved, millest tuntumad on Võhmetu-Lemküla järved Porkuni-Neeruti oosiaheliku naabruses, nn. Assamalla luht Tartu-Rakvere maantee ääres, Heinjärv Savalduma karstialal ja teised. Pärast vee aeglast maapõue imbumist jäävad need nõod taas kuivaks. Sellest tulenevalt nimetatakse Pandivere kõrgustikku ajutiste järvede maaks. (Estonica 2009)

Pandivere kõrgustikul asuvad mitmed väga suure deebitiga (100 – 1000 l/s) allikad. Põhjaveevarud täienevad maksimaalse intensiivsusega, umbes 9 l/s/km<sup>2</sup>. Seda soodustab suhteliselt sademeterohke (kohati üle 700 mm/a) kohakliima. Õhukese pinnakatte tõttu on põhjavesi väga nõrgalt kaitstud. Pandiverest algavate jõgede äravool on seitsmendik kõigi Eesti jõgede äravoolust. Kõrgustikul asub 72 järve, millest ligi pooled on unikaalse

ökosüsteemiga ajutised karstijärved, n.ö. kevadjärved, mis moodustuvad pärast lume sulamist. Suuremad püsijärved on 41,5 hektarilise veepinnaga Väinjärv ja sama suur järvelubjase põhjaga Porkuni järv samanimelises ürgorus, mis on tekkinud tektoonilise riketevööndi kohale. Porkuni järvest saab alguse infiltratsiooniala ainuke alaline veevool – Valgejõgi (85 kilomeetrit). (Arold 2005)

### **1.3. Pandivere veekaitseala**

Kirjeldatud tingimustes on põhjavesi eriti tundlik reostuse suhtes. Põhjavette sattunud reostus levib kiiresti piki karstikanaleid ning jõuab allikateni, saastades nii allika- kui ka jõevett. Põhjavee isepuhastusvõime sellises ringlussüsteemis on minimaalne. Põhjaveekanaleid on avanud ka ettevaatamatu maaparandus või ehitustegevus, mis on toonud kaasa veetaseme alanemise ulatuslikel aladel. Selle tulemusena on toimunud märgatavad muutused niiskustingimustes, muuhulgas on ära kuivanud paljud madalad talukaevud. Samas on siinse piirkonna puhtad veerikkad allikad etendanud varasematel aegadel tähtsat osa piiritusevabrikute asupaikade valikul ning allikalise toitumisega jõed on eriti sobivad forellikasvatuseks. (Estonica 2009)

Nõukogude okupatsiooni lõpukümnendel kannatas Pandivere kõrgustik erakordselt tugeva põllumajandusliku, militaarse ning linnade tööstusliku ja olmereostuse all. Toonaste tendentside jätkumisel oleks näiteks põhja- ja allikavee nitraatide sisaldus peagi ületanud lubatud sanitaarnormi. (Estonica 2009) Pandivere unikaalse, enam kui poole Eesti territooriumi vetevõrku mõjutava põhjaveesüsteemi kaitseks (Estonica 2009) ja taastamiseks loodi 1988. aastal Pandivere Veekaitseala pindalaga 350 875 ha, kaitsmaks Põhja ja Kesk-Eestivee varude moodustumisala majandustegevuse pöördumatute kahjulike tagajärgede eest. Veekaitseala piiritlemisel võetu aluseks looduslikud tingimused, haldamise huvides arvestati majandite (valdade) piire. Kaitseala tsoneeriti veesäilitusaladeks, rangete piirangutega aladeks, piirangu- ja üldrežiimiga aladeks. 1995. aastal reorganiseeriti veekaitseala nitraaditundlikuks programmalaks ja tema piire muudeti. (Kink 2005) Nitraaditundlik ala kehtestati Vabariigi Valitsuse 21. jaanuari 2003. a määrusega nr 17. (AS Maves 2006) Nitraaditundlikuks loetakse ala, kus põllumajanduslik tegevus on põhjustanud või võib põhjustada nitraatioonisisalduse põhjavees üle 50 mg/l või mille pinnaveekogud on põllumajanduslikust tegevusest tingituna eutrofeerinud või

eutrofeerumisohus. Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundlik ala, mille kogupindala on 3250 km<sup>2</sup>, jaguneb Pandivere (2382 km<sup>2</sup>) ja Adavere-Põltsamaa (667 km<sup>2</sup>) nitraaditundlikuks piirkonnaks. Nende vahele jääb Endla soostiku ala (201 km<sup>2</sup>). (AS Maves 2006)

Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundliku ala puhul on tegemist kahe looduslike tingimuste ja maastiku poolest erineva piirkonnaga – Pandivere kõrgustik ja Kesk-Eesti tasandik. Pinnakatte, mullastiku ja maakasutuse järgi on mõlemad alad sarnased. Suuremad erinevused ilmnevad ala veevarude kujunemises. Pandivere on kogu Eesti jaoks oluline põhjavee toiteala, Kesk-Eesti tasandik on aga põhjavee kohalik toiteala ja transiit- ning väljumisala. Pandivere nitraaditundlik piirkond asub Pandivere kõrgustikul hõlmates Põhja-Eesti lavamaa kõige kõrgema osa. Nitraaditundlikku piirkonda jääb osa Lääne-Virumaast ja Järvamaast, kokku 21 omavalitsuse territooriumid (linnadest Rakvere, Tapa ja Tamsalu, suurematest asulatest Koeru, Järva-Jaani, Kadrina, Vinni, Sõmeru, Aravete ja Väike-Maarja). (AS Maves 2006)

Järjepidev kaitsemeetmete rakendamine kõrvuti inimtegevuse kahjuliku mõju vähendamisega nimetatud kaitsealal on andnud positiivseid tulemusi. See on üks paremaid näiteid tugevasti kahjustatud loodusressursi seisundi järk-järgulisest paranemisest. (Estonica 2009)

## **1.4. Uurimisala looduslik ülevaade**

### **1.4.1. Üldinfo**

Porkuni karstijärv (Joonis 1) asub Lääne-Virumaal Tamsalu valla idapiiril, Järva-Jaani-Tamsalu–Kullenga maantee ääres, Tamsalust 5,5 km kirde pool (AS Maves 2007). 41,5 hektari suurune järv on kagu-loodesuunalise orientatsiooniga, 2 km pikkune ning 0,4 km laiune. (Mäemets 1977) Peamiselt allikatest toituv Porkuni järv on Valgejõe lähe. Algselt oli Porkuni järv Valgejõe süng, mis algas järve lõunapoolseimas otsas pulbitsevatest allikatest. Järve vesi on selge, lubjarikas ja liigivaese elustikuga (Vikk 2007), mille suurim sügavus on 2,8 m (Mäemets 1977). Järve kaldad on kohati kuivad ja kõrged, kohati aga soostuvad (Vikk 2007). Järve keskel on kõrge kungassaarehk Lossisaar (Joonis 1), mis on 7,5 hektari suurune (AS Maves 2007). Saarele viivad sillad ehk teetammid on muutnud

veetaseme järve eri osades erinevaks. Paisutamisega on järv veetammidega eraldatud neljaks veesilmaks (Joonis 1). Suurim ja veetasemelt kõrgem on Suurjärv, millest voolab vesi Alumisse järve ja Aiajärve. Alumisest ehk Karujärvest eraldunud osa sai 1957.a nimeks Iiri järv. Porkuni järvest välja voolav Valgejõgi on oma nimetuse saanud veekogu põhja settinud nõrglubja järgi. Järvevesi on seisev ja põhi kattunud muda- ning lubiainest läbiimbunud taimedega. (Vikk 2007) Suurjärve kaguosas on mitmeid metsaga kaetud turbapinnasest saari, saarekesi ja poolsaari, mis kõrgveetaseme korral muutuvad ujuvateks ja võivad tuule kaasabil asukohta vahetada. Veetaseme langedes jäävad need põhja kinni ja võivad ühes kohas seista aastaid. (AS Maves 2007) Mida rohkem veetase kõigub, seda tõenäolisem on maatükkide irdumine kaldast. Sellistes veekogudes on enamasti suur orgaanilise aine sisaldus ja samas suhteliselt kare vesi. Porkuni järv on siiski lubjatoitelist tüüpi: väga kare vesi on orgaanilisest ainest vaene. Siin on aga oluline mõjur veetaseme suur kõikumine. (Ott et al. 2010)

Allikarohke on Suurjärve kaguosa, suurimad allikad – Külmaallikas ja Kaieallikas – jäävad kirdekalda keskossa. Vesi on heleroheline, põhjani läbipaistev ning hästi segunev. Ainult Alumises järves muutub vesi suvel väga rohelisteksja vähe läbipaistvaks. (Mäemets 1977) 2007. aastal oli Suurjärve veesügavus 1,5 meetrit. Kõrgseisude aegu on veetase eelpool mainitust paari meetri võrra kõrgemal, pikematel põuaperioodidel järves vett ei ole. Kaguosas on järve kaldad madalamad ja soostunud. Loodeservas jätkub oru põhi, mida läbivad teede tammid ja kus maapind tõuseb napilt paar meetrit veepinnast kõrgemale. (AS Maves 2007)

Tihedamalt on asustatud järve põhjakallas ja Lossisaar, hõredam on asustus lääne pool ning veekogu kagukallastel leidub vaid üksikuid majapidamisi. Veekogu loodeosas on parkmets, kirderannikul puhkeala supelranna, vabaõhulava ja telkimisplatsiga. Kagu- ja edela pool ümbritsevad järveheinamaad, orunõlvadel kasvab mets. Praegu on järve reostuskoormus suhteliselt väike, siia lastakse läbi mittetöötava puhasti elamute heitvesi. Kooli-kompleksi puhasti rekonstrueeriti 2003. aastal, võitööstus ja sellele järgnenud konservitehas suleti 1980ndate keskel. Tegutsemise on lõpetanud ka ümberkaudsed laudad: eriinternaatkooli abi-majand, sovhoosi lüpsilaut ning noorloomalaut. Kahanenud on ka põllumajandustegevuse vähenemise tõttu põldudelt järve kanduv haja-reostus. (AS Maves 2007)



**Joonis 1.** Suurjärv, Alumine järv, Iiri järv ja Aiajärv on Porkuni järve järveosad, mis on eraldatud teetammidega. (Google Earth 2015)

#### 1.4.2. Järve kuivaksjäämised

Tammidega paisutatud Porkuni tehisjärve vee-elustikku on uuritud mitmel korral: 1967.a, 1972.a, 1974.a ja 1987-88.a. Veekogu korduvate kuivaksjäämistest tõttu on järve elustik vähemalt osaliselt mitmeid kordi hävinud ja hiljem uuesti taastunud. Vesi on järvest teadaolevalt pikemaks või lühemaks perioodiks kadunud 1940.a, 1965.a, 1976.a, 2002/03.a ja 2006.a. Kuna järve elukeskkonnas praegu muutusi ette näha ei ole, taastub vee-elustik suure tõenäosusega kuivaksjäämise eelsega sarnaseks. (AS Maves 2007)

2003. aasta kevadel sai nelja järveosa põhjas kuiva jalaga kõndida, sest järves vett ei olnud. Seoses karstinähtustega on Porkuni järv varemgi kuivaks jäänud. Järve kuivades on tulnud kogu kalavaru uuendada. Ka 2006.aasta suvi ja sügis olid vihmavaesed ning järv jäi taas tilgatumaks (Joonis 2.), mistõttu hukkusid alles kolm aastat tagasi järve toodud kalad. (Vikk 2007) Vesi hakkas järvest kiiresti kaduma augustis, kui veekogu toitvad allikad veetuks jäid ning järvepõhi oli koguni niivõrd kuivanud, et sellesse olid praod tekkinud. Varakevadel, kui Porkuni järve olukord oli kriitiline, viisid kohalikud kuivamise ja külma

käest päästetud kalad Äntu kalakasvandusse, kuni nad seal aprilli lõpus Porkuni järve tagasi toodi. (Käärt 2006)

Porkuni järve täielik kuivamine ei ole seotud kohaliku inimtegevusega. Pandivere veenappuse põhjustajad on karstunud aluspõhi, väga kuivad suved ja sügised, ka kiirelt saabuv talv. Sellest tuleb põhjavee taseme kõikumine äärmusest äärmusesse. (Vikk 2007)



**Joonis 2.** 2006. aastal oli Porkuni järv peaaegu täielikult kuivanud. Joonisel on näha, et algselt oli Porkuni järv jõesäng. Pilt on tehtud vaatega Suurjärvele ning autoriks on Ants Mägi.

## **1.5. Järve keskkonnaseisundit näitavad tegurid**

### **1.5.1. Klorofüll *a* ja selle laguproduktid**

Klorofüll on pigment, mis võimaldab taimedel (sh vetikatel) kasutada päikesevalgust, et muundada valguseenergia keemiliseks energiaks. Klorofüllit kasutatakse nii aktiivsete kui ka passiivsete roheliste pigmentide mõõtmiseks. (Washington State Department of Ecology 2015) Peale selle kasutatakse klorofüllit ka järvede ja ojade seisundi hindamiseks. Selle abil

saab mõõta vetikate biomassi ning toimib seosena toitainete kontsentratsiooni ja mitmete olulise bioloogiliste nähtuste vahel järvedes. (Carlson & Simpson 1996)

Kõige rohkem leidub rohelistes taimedes klorofüll *a*'d. (Michigan Clean Water Corps 2015) Seda kasutatakse aktiivsete pigmentide mõõtmiseks. Aktiivsed pigmendid on nendes taimedes, mis endiselt fotosünteesivad proovi võtmise ajal. (Washington State Department of Ecology 2015) Klorofüll *a* abil saab määrata järves olevate toitainete hulka. Vähene klorofüll *a* sisaldus näitab, et järves ei ole piisavalt toitaineid, et toetada elustikku. Samas kõrge klorofüll *a* sisaldus näitab, et toitainete rohkus võib olla kunstlikult kõrge. Inimtegevuse tagajärjel võivad järve kanduda toitaineid väetistest ja asulate reoveest. (Michigan Clean Water Corps 2015)

Päikesevalgus, temperatuur, toitaineid ja tuul mõjutavad vetikate elutegevust ning seetõttu ka klorofüll *a* sisaldust. Kevadel vee soojenemine ja toitainete rohkus põhjustavad vetikate õitsengu. Tuul mõjutab vetikate populatsiooni. Tugev tuul segab veekihte, mis põhjustab vetikate vajumist veekogu põhja, kus nad surevad. Samas võib tuul põhjustada toitainete vabanemist järvepõhjust. Tuule vaibumisel vetikate hulk ja klorofüll *a* kontsentratsioon võivad suurened. Vetikate populatsioon ja klorofüll *a* kontsentratsioon sõltuvalt ka järve sügavusest. Populatsioon peab jääma veesamba ülemisse osasse, kus on päikesevalgus, et saaks toimuda fotosüntees. Klorofüll *a* sisaldust kirjeldatakse mg/L. (Washington State Department of Ecology 2015) Tüüpilised klorofüll *a* väärtused looduslikes vetes jäävad vahemikku 1 – 300 mg/L. (UCL Department of Geography 2015)

Kõikides taimerakkudes leiduva klorofüll *a* molekulaarstruktuur koosneb rõngataolisest struktuurist, mida nimetatakse porfüriiniks (*porphyrin*), ja pikast orgaanilisest fütooli „sabast“ (*phytol „tail“*). Porfüriinitsükli keskel on magneesiumi molekul. (Carlson & Simpson 1996)

Filtreeritud veeproov järvest sisaldab ka värvilisi lagunprodukte. Kui klorofüll laguneb, siis moodustuvad lagunemisproduktid, mille olemus sõltub sellest, milline osa molekulist on mõjutatud. Klorofüllil lagunedes kaotatakse magneesiumimolekul, mille tulemusena moodustub feofütiin (*phaeophytin*), või fütooli ahel, mille tulemusena saadakse klorofüllüidi (*chlorophyllide*) molekul. Feofütiini analüüsimiseks lisatakse klorofüllil proovi hapet ning selle tulemusena eraldub klorofüllil küljest magneesiumimolekul. (Carlson & Simpson 1996) Klorofüllil ja feofütiini vaheline suhe annab teavet vetikate populatsiooni olukorra kohta. Kiirel kasvuperioodil on feofütiini sisaldus madal, kuid languse ajal

suureneb feofütiini kontsentratsioon. (Florida Department of Environmental Protection 2012)

### **1.5.2. Lahustunud hapnik**

Lahustunud hapnik (DO) on üks tähtsamaid veekvaliteedi näitajaid. See on oluline kõikidele taimedele ja loomadele. Hapniku kättesaadavus aasta vältel on mõjutatud erinevate bioloogiliste protsesside ja temperatuuri poolt. (Alliance for the Chesapeake Bay 2010) Selle sisaldus sõltub eelkõige veetemperatuurist, veetaimede elutegevusest, orgaaniliste ainete lagunemisest ja vee segunemise intensiivsusest. (Tammeorg 2012) Kui järvevees on piisavalt toitu ja hapnikku, on selle elustik rikkalik. Kõik organismid, ka taimed, kasutavad hapnikku hingamiseks. (Keskkonnainfo 2015) Veetaimestiku õitsedes tõuseb vees lahustunud hapniku tase, kuid taimede hukkumisel ja lagunemisel kahaneb hapnikusisaldus. (Alliance for the Chesapeake Bay 2010)

Külmemas vees on hapnikku rohkem lahustunud kui soojemas vees. Hapnikuga küllastatud vesi sisaldab 100% hapnikku, ehk vees on lahustunud maksimaalne hulk hapnikku, mis võis lahustuda antud tingimustel. Päeval ajal on veepinnal hapniku küllastus, kuid sügavuse suurenedes hapniku küllastustase väheneb. (Alliance for the Chesapeake Bay 2010) Hapniku kontsentratsioon kõigub järvedes enamasti vahemikus 0 – 14 mg/l (Kõiv 2012a).

### **1.5.3. pH, elektrijuhtivus ja soolsus**

pH näitab kui happeline või aluseline vesi on. (Alliance for the Chesapeake Bay 2010) Vee pH tase mõjutab suuremat osa temas toimuvatest keemilistest protsessidest. Veekogude pH sõltub peamiselt süsinikdioksiidi, vesinikkarbonaatiooni ja humiinhapete sisaldusest vees. (Tammeorg 2012) Enamuse järvede ja vooluveekogude pH ulatub 6,5-st 8,5-ni. (GLOBE Eesti 1996) Looduslikult aluseline on nende piirkondade vesi, kus muld sisaldab selliseid mineraale nagu kaltsiit või lubjakivi. Veekogu pH-l on suur mõju sellele, millised organismid seal elada saavad. (GLOBE Eesti 1996) Veeorganismid suudavad elada 5 – 9 pH vahemikus. (Alliance for the Chesapeake Bay 2010) Konnad ja teised kahepaiksed on eriti tundlikud madala pH-taseme suhtes (GLOBE Eesti 1996). Vee pH väärtus on kõige madalam talvel, mil orgaaniliste ainete oksüdeerumisel vabanenud süsinikdioksiid on kõige rohkem, fotosüntees on minimaalne ning jääkate takistab süsinikdioksiidi eraldumist veest atmosfääri. Jäävabal ajal oleneb vee pH vetikate arengust. (Tammeorg 2012)

Veetaimede fotosünteesil kasutatakse veest süsinikdioksiidi, mis suurendab vee pH taset. (Alliance for the Chesapeake Bay 2010)

Magevesi on vesi, mille elektrijuhtivus on väiksem kui 850 mS/cm ja soolsus 0,5‰ ehk 500 mg/l või väiksem (Kõiv 2012b). Puhas vesi on halb elektrijuht. Veel võimaldavad elektrit juhtida seal esinevad lisandid, näiteks lahustunud soolad. Heaks vee lisandite koguhulga iseloomustajaks on vee elektrijuhtivus, mis näitab, kui hästi elektrivool vees liigub. Mida rohkem on vees lisandeid, seda suurem on tema elektrijuhtivus. (GLOBE Eesti 1996)

Soolsuseks nimetatakse vees lahustunud mineraalainete hulka ehk ionide summat. Madala soolsuse juures (mageveejärved) kasutatakse ka mõistet mineraalsus. (Kõiv 2012b) Kõige tavalisemad järvedes ja jõgedes leiduvad ionid on: kaltsium (Ca), magneesium (Mg), naatrium (Na), kaalium (K), vesinikkarbonaat ( $\text{HCO}_3$ ), sulfaat ( $\text{SO}_4$ ) ja kloor (Cl). Soolsus järvedes on väga erinev. Pehme veega järvedes on madal soolsus, mis näitab, et on väike kaltsiumi ja magneesiumi sisaldus. Kareda veega järvedes on rohkem kaltsiumi ja magneesiumi ning seetõttu on vesi kare. (Jones 2015)

#### **1.5.4. Temperatuur**

Vee temperatuuri määrab vees ning ümbritsevas mullas ja õhus neelduva päikeseenergia hulk. Mida suurem on päikekiirguse intensiivsus, seda kõrgem on vee temperatuur. Veekogu temperatuur mõjutab oluliselt veeloomade ja -taimede hulka ning mitmekesisust selles veekogus. Jões ja järved, mis on suhteliselt külmad ning kus on talvel vähe taimestikku, puhkevad õitsele kevadel ja suvel, kui toitaineterikkad põhjaveekihiid segunevad pindmiste kihtidega. Samuti esineb segunemisperioode sügisel. Segunemise ning soojema vee temperatuuri tõttu järgneb kevade saabumisele periood, mil mikroskoopilised veetaimed ja -loomad kiiresti kasvavad. Samuti koevad paljud kalad ning teised veeloomad kevadisel ajal, mil temperatuur tõuseb ja toitu on rohkelt. Madalad järved on selle tsükli puhul erandiks, sest seal toimub segunemine aastaringselt. (GLOBE Eesti 1996)

#### **1.5.5. Vee läbipaistvus**

Päikesevalgus annab vajalikku energiat fotosünteesiks, mille käigus toimub taimede kasv, seotakse süsinikku, lämmastikku, fosforit ja teisi toitaineid ning eraldub hapnik. See, kui

palju päikesevalgust vette jõuab ja kui sügavale ta jõuab, määrab kindlaks sügavuse, milleni vetikad ja muud taimed saavad kasvada ja mil määral nad kasvavad. Vee läbipaistvus väheneb siis, kui kasvab hõljuvaine hulk, muutub vee värvus või vetikate hulk. (GLOBE Eesti 1996) Suures koguses hõljuvaintet võivad ummistada kalade lõpused, mistõttu nad hukuvad. Samuti ei näe kalad häduses vees hästi ning seetõttu on neil raske toitu leida. (Alliance for the Chesapeake Bay 2010) Vesi võib värvuda mõne bakteri, fütoplanktoni ja teiste organismide, pinnasest leostunud materjali ja lagunevate taimede mõjul. Seetõttu mõjutavad vee läbipaistvust vee ja tuule poolt kantud orgaanilised jääkained ning taimede toitained, mis satuvad vette näiteks kanalisatsioonivee, puhastusseadmetest või pinnase ülearusest väetamisest. Hägusust põhjustavad ained võivad pärineda põllumajandusest, ehitusest, tormijärgselt vette sattunud porist ja põhjasetete üleskerkimisest. (GLOBE Eesti 1996)

Secchi ketas on laialt levinud vahend vee läbipaistvuse mõõtmiseks. Secchi ketta nähtavus sõltub vees hõljuvate ja vees lahustunud ainete hulgast. Need satuvad veekogusse setetest, jõgedega sisse kantud materjalist ja veekogus toimuvast bioloogilisest tegevusest. (GLOBE Eesti 2015)

### **1.5.6. Taimestik ja loomastik**

Veetaimed on sageli alahinnatud järvedes ja jõgedes. Kuigi paljud inimesed ei soovi veetaimi oma lemmik ujumis- ja kalapüügikohtadesse, pakuvad taimed mitmekülgset kasu keskkonnale. Veetaimed on toiduallikaks paljudele loomadele. Pardid ja haned söövad taimede seemneid, lehti ja mugulaid. Laululinnud kasutavad hundinuia (*Typha spp.*) pesa materjalina ning söövad veetaimede seemneid. Samuti on veetaimed oluliseks elupaigaks väikestele loomadele nagu kalamaimudele, veeputukatele ja tigudele, mis omakorda pakuvad toitu kaladele ja veelindudele. Noored kalad ja kahepaiksed kasutavad vees olevad taimi varjumiseks röövkalade ja lindude eest. Lisaks eelnimetatule kaitsevad veetaimed kaldajoont erodeerivate lainete eest, mis samuti aitab hoida setet järve põhjas, mis omakorda suurendab vee läbipaistvust. (Washington State Lake Protection Association 2012) Massilise arengu korral aga võib veesisene taimestik mõjuda ka kahjulikult, varjutades vett, raskendades kaladel toidu leidmist, tõstes hapniku sisaldust ülemäära kõrgele ning talvel lagunemisel tekitades hapniku defitsiiti ning mürgiseid gaase. Veesisese taimestiku vööndisse kuuluvad taimed kasvavad üleni või peaaegu üleni vee sees. Selle vööndi esindajad jagunevad kahte rühma (Mäemets 2015):

- taimed, kes sirutava õied või õisikud veest välja või pindmisse veekihti – elodeiidid (vesikatk, penikeeled, vesikuused, vesiherned, jne);
- taimed, kes puhmakeste või muruna kasvavad veekogu põhjal ning kelle normaalne elutsükkel (ka sigimine) toimub vee all – isoetiidid. Enamik selle rühma esindajaid on mitte-õistaimed (lahnarohi *Isoetes*, samblad, määndvetikad).

Elodeiidide leviku sügavuspiir on liigiti erinev – madalakasvulistel mõnikümmend sentimeetrit, suuremakasvulistel kuni 3 – 4 meetrit. Osa elodeiide kinnitub tugevasti põhja, osa aga väga nõrgalt või peaaegu ei kinnitugi (kardhein, harilik vesihernes). Esimesed võtavad põhiosa vajalikest toitesooladest juurte kaudu veekogu põhjast, teised aga on ilmselt võimelised toituma vees lahustunud ainetest. Isoetiidide sügavuspiiri määrab põhiliselt vee läbipaistvus ehk sügavus, milleni jõuab veel taimede kasvuks vajalik hulk valgust. Heleda ja selge veega järvedes või mägijärvedes, kus taimplanktonit on vähe, ulatub isoetiidide sügavuspiir 20 meetrini või enamgi, meie eutroofsetes järvedes, kus vetikaid on vees palju, aga vaid 3 – 4 meetrini. (Mäemets 2015)

Ujulehtedega taimede võõndi esindajad moodustavad veepinnal ujuvate labadega lehti või ujub kogu taim veepinna lähedal. Ujulehtedega taimed ehk nümfeiidid on juurtega veekogu põhja kinnituvad taimed. Nümfeiidideks on näiteks vesiroos ja vesikupp. Kuna ujulehtedega ja ujutaimed varjutavad tugevasti vett ning vee soojenemine ja õhustamine on raskendatud või võimatu (näiteks lemlekattega tiikides), on nad kalamajanduslikult ebasoovitavad sest raskendavad kalapüüki. (Mäemets 2015)

Selgrootuid kasutatakse sageli veeökosüsteemi näitajana, sest paljud liigid on tundlikud reostuse ja äkilise muutuste suhtes keskkonnas. Ehmostiivalised (*Trichoptera*), kevikulised (*Plecoptera*) ja ühepäevikulised (*Ephemeroptera*) on tundlikud reostuse suhtes, kuid surusäased (*Chironomus*) tolereerivad selliseid muutusi. Seega põhjaloomastiku mitmekesisus on seotud elutingimuste omadustest. Jõed ja ojad on sageli rikkalikuma elukooslusega kui järved. Jõgedes ja ojades leiab põhjaloomastikku 5 – 20 sentimeetri sügavuselt, kus on toidurikas poorne sete. Järvedes esinevad põhjaselgrootud madalas vees, sest seal on suuremas koguses hapnikku ning toiduresse. (Regional Aquatics Monitoring Program 2015b)

Kalad võivad olla kas taimetoidulised, röövtoidulised või kõigesööjad. Esimesed toituvad põhiliselt veetaimedest, kuid võivad isegi veest filtreerida fütoplanktoni. Röövkalad toituvad limustest, putukatest ja teistest kaladest ning kõigesööjad toituvad teatud liiki

saakloomadest või sellest, mille nad antud hetkel kätte saavad. Tänu mitmekesisele toitumisele suudavad kalad hõivata erinevaid elupaikasid. Elupaiga valikut mõjutavad ka temperatuur, veetaimede esinemine, hapniku kontsentratsioon ja sobivate kudemispaikade olemasolu. Kahepaiksed on kõigusoojased selgroogsed, kes elavad täiskasvanuks saamiseni veekeskonnas. Kõige tuttavamad kahepaiksed on konnad ja kärnkonnad. Täiskasvanuks arenemise käigus muutub olulised kahepaiksete dieet. Kulleled on tavaliselt taimetoidulised ning toituvad enamasti veetaimedest, kuid täiskasvanud konnad on lihasööjad, kes söövad putukaid ja tiguseid. Konnakulleled on oluliseks toiduallikaks ka mõnede kaladele ning täiskasvanud konnad veelindudele. (Regional Aquatics Monitoring Program 2015a)

### **1.5.7. Järvede tüpoloogia ja klassifikatsioon**

Tüpoloogia on veekogu ökoloogiliste iseärasuste alusel nende rühmadesse (tüüpidesse) jaotamine. Selleks kasutatakse peamiselt algseid, looduslikke, keskkonnanäitajate väärtusi, nagu näiteks, morfomeetria, kõrgus merepinnast, vee karedus, hüdroloogiline režiim jmt. (Ott & Maileht 2012)

Aare Mäemetsa (1977) järgi on Eesti järved jaotatud 8 põhitüübiks. Tüpoloogia rajanes järvede toitumistüübi, suuruse ja sügavuse, vee kihistuse, mineraal- ja orgaaniliste ainete hulga, hapnikurežiimi ja elustiku alusel. 8 põhitüüpi on järgmised (Mäemets 1977):

1. Oligotroofsed ehk vähetoitelised järved;
2. Semidüstroofsed ehk poolhuumustoitelised;
3. Düstroofsed ehk huumustoitelised;
4. Eutroofsed ehk rohketoitelised;
5. Düseutroofsed ehk segatoitelised;
6. Alkalitroofsed ehk lubjatoitelised;
7. Siderotroofsed ehk rauatoitelised;
8. Halotroofsed ehk soolatoitelised.

Tuleb rõhutada, et osad parameetrid iseloomustavad nii veekogu tüüpi kui ka ökoloogilist seisundit. Näiteks võiks sellisteks olla vee pH, toitesoolade kogused. Vee pH on madalam tumedaveelistes pehmeveelistes järvedes olles neis veekogu tüübi esindajaks. Samas võib pH kõikuda tänu fotosünteesi intensiivsusele ja sel puhul on see veekogu seisundi näitaja. (Ott & Maileht 2012)

Klassifikatsioon on aga veekogude ökoloogiliste tüüpide kvaliteedi klasside näitajad ja nende kriteeriumid. Siia kuuluvad näiteks elustikurühmade liigiline koosseis ja arvukus, biomass, indikaatorliikide esinemine, taimede levikusügavus, vee omadustest toitesoolade kogused, gaasirežiim, läbipaistvus jmt.(Ott & Maileht 2012)

Loodusdirektiivi elupaikade käsiraamatu järgi käsitletakse mageveekogusid järgmiselt (Paal 2004):

1. Liiva-alade vähetoitelised järved;
2. Vähe- kuni kesktoitelised mõõdukalt kareda veega järved;
3. Vähe- kuni kesktoitelised kalgiveelised järved;
4. Looduslikult rohketoitelised järved;
5. Huumustoitelised järved ja järvikud;
6. Karstijärved ja -järvikud;
7. Jõed ja ojad.

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1. Proovivõtukohtade kirjeldus

#### 2.1.1. Karujärv ehk Alumine järv

Karu- ehk Alumine järv (edaspidi Karujärv) (Joonis 3) on Porkuni järve kõige põhjapoolsem järveosa, mille kõrval asub endine võitööstus ja sellele järgnenud konservitehas. Karujärv on 4 hektari suurune, mille suurim sügavus on 1,5 meetrit (Mäemets 1977). Järveosa Lossisaarepoolne kallas (Joonis 1) on võrreldes teiste kallastega väga järsk ning tihedalt kaetud taimestikuga. Päevasel ajal jääb järveosa varju, mis põhjustab veekogu madalamat temperatuuri. 2007. aastal välitöödel registreeriti AS Maves'i poolt Karujärves ja selle kallastel 48 liiki soontaimi (Lisa 1). Nendest 35 olid kaldataimed, 7 veetaimed ja madalas vees kasvavad taimed ning 6 nii kaldal kui ka madalas vees leiduvad taimed.



**Joonis 3.** Karujärv

Järveosa keskel asub harilikust pilliroost (*Phragmites australis*) koosnev ujuvsaar, millel kasvavad ka sookased (*Betula pubescens*) ja nende all punased leedrid (*Sambucus*

*racemosa*). Karujärve põhi on kaetud mudakihiga, mis on omakorda kaetud 90% ulatuses mändvetikatega (*Charophyta*) ja kanada vesikatkuga (*Elodea canadensis*), mis põhjustab järve kinni kasvamist. 70% veepinnast katab ujuv penikeel (*Potamogeton natans*) ning tüüpiliseks ujulehtedega taimeks on ka kollane vesikupp (*Nuphar lutea*). Järve ääres kasvavad pikalehine paju (*Salix dasyclados*), vitspaju (*Salix viminalis*) ja vesipaju (*Salix triandra*) ja hõberemmelgad (*Salix alba*), mis on tõenäoliselt istutatud.

### 2.1.2. Suurjärv

Suurjärv (Joonis 4 ja Joonis 5) on kõige suurem järveosa, mille pindalaks 36 hektarit ning suurimaks sügavuseks 2,8 meetrit, kuid valdavalt on 2 meetrit (Mäemets 1977). Järveosa põhjapoolne kallas on üldiselt lauge, kuid Lossisaarepoolne järsk (Joonis 1). Suurjärve loodekaldal Lossisaarel asub nüüdseks endine Porkuni Kooli koolikompleks. Järve kirdekaldal paikneb supluskoht (Joonis 1), kuid üldiselt on kallas järsk ning on tihedalt kaetud pillirooribaga. Kagupoolne kallas on turbane ja soine. Lõuna- ja edelapoolne kallas on võrreldes kirdepoolsega laugem ning inimõju on suurem, sest kalda läheduses asuvad mitmed eramajad ja aiamaad, mistõttu niidetakse kaldaäärset ala. Suurjärves on mitmeid inimeste enda poolt rajatud supluskohti, kus puhastatakse pidevalt järvepõhja, ning seetõttu on nendest kohtades liivasem põhi. Üldiselt katab järvepõhja mudakiht ning mändvetikad (*Charophyta*).

Järvel on mitmeid suuri ujuvsaari, mis peamiselt koosnevad pilliroogudest, kuid mõnel saarel esinevad ka väiksemad sookased (*Betula pubescens*) ning siirdesootaimedest esineb soopihl (*Potentilla palustris*). Veepinda katavad mitmes kohas tihedalt penikeeled, mis raskendavad paadiga edasi liikumist, sest aerud takerduvad veetaimede taha kinni. Kõige rohkem penikeeli esineb Suurjärve edelapoolse kalda lähistel ning kõige vähem esineb neid järveosa kirdepoolses osas. Esimese proovi võtmise koha (Joonis 4 ja Joonis 8) lähedal on Külma- ja Kaikeallikas ning kiigeplats, kus korraldatakse mitmeid avalikke üritusi, ning teise proovivõtukoha (Joonis 5 ja Joonis 8) lähedal on mitmeid eramaju ja aiamaid.

AS Maves'i poolt teostatud välitöö ajal registreeriti Suurjärves ja selle kallastel 68 soontaimeliiki, millest 50 kaldataimed, 10 veetaimed ja madalas vees kasvavad ning 8 nii madalas vees kui kaldal leiduvad taimed (Lisa 1).



**Joonis 4.** Suurjärve esimene proovi võtmise koht. Kaugemal paistab supluskoht ning lagedamal platsil toimuvad avalikud üritused.



**Joonis 5.** Suurjärve teine proovi võtmise koht, kus on inimeste enda loodud supluskoht paadisillaga. Kaugemal on näha ujuvaid saari, mis koosnevad pilliroogudest.

### 2.1.3. Aiajärv

Aiajärve (Joonis 6) kaldad on võrreldes teiste järveosadega laugemad, kuid siiski läheb kiiresti sügavaks. Järveosa on umbes 1 hektari suurune (Mäemets 1977) ning suurimaks sügavuseks on ligikaudu 1,7 meetrit. Põhja- ja kirdepoolne kallas on tihedalt piiritletud hariliku pillirooga. Järve loodepoolse kalda lähedal asub õunapuudega aiand. Samuti paiknevad järve ääres elumajad ning paadisild. Aiajärve põhi on mudane ning kaetud määndvetikaga. Teetammi juures on järvepõhi liiva- ja kruusasegune ning taimkate on hõredam. Veepinnal on palju penikeeli ja kollast vesikuppu. Erinevalt teistest järvedest esineb Aiajärves valget vesiroosi (*Nymphaea alba*) ja harilikku kalmust (*Acorus calamus*). Järve ääres leidub samuti tara-seatapp (*Calystegia sepium*) ning võõrliikidest on kaldaservas üsna suured kogumikud harilikku katkujuurt (*Petasites hybridus*).

2007. aastal (AS Maves) registreeriti välitöödel 44 soontaimeliiki, millest 30 olid kaldataimed ja 7 vee- ja madalas vees olevad taimed. Registreeritud soontaimedest 7 liiki kasvasid nii madalas vees kui ka kaldal.



**Joonis 6.** Aiajärv

#### 2.1.4. Iiri järv

Iiri järv (Joonis 7) on kõikidest Porkuni järve järveosadest kõige väiksem – 0,3 hektari suurune (Mäemets 1977) ning ümbritsetud kõrgete, järskude, kiviste kallaste poolt. Järve madala veetaseme tõttu polnud paadiga võimalik järvele minna. Iiri järv on ühenduses Karujärvega. Järv on 90% ulatuses kaetud vetikatega, pillirooga, osjadega ja penikeeltega. Järve põhi on mudane ning vee läbipaistvus halb. Ainult truubi juures on võimalik näha järvepõhja. Iiri järves võib kõrvuti näha kahte kujult sarnaste ujulehtedega taime: ujuvat penikeelt (*Potamogeton natans*) ja vesikirburohtu (*Polygonum amphibium*). Samuti leidis järveosa ümbruses konnaosja (*Equisetum fluviatile*).

AS Maves'i (2007) poolt läbiviidud välitöödel registreeriti 28 erinevat liiki kaldataimi, 6 liiki veetaimi ja madalas vees kasvavaid taimi ning 6 nii madalas vees kui ka kaldal leiduvaid taimi.



**Joonis 7.** Iiri järv, mis on ühenduses Karujärvega. Pildil on näha ka Armuvalusilda, mis läheb üle Iiri ja Karujärve ühenduskoha.

## 2.2. Välitöö

### 2.2.1. Veeproovide kogumine

Käesoleva bakalaureusetöö jaoks koguti veeproovid Porkuni järvest 21. juulil 2014. Uuritavate alade valik toimus selle järgi, kus oli juurdepääs järvele kõige parem, sest järve kaldad on üsna järsud ja kitsad. Seirataval alal sõideti paadiga ringi, kuni leiti sobiv ala, kus oli kõige vähem penikeeli, mis oleksid takistanud Secchi kettaga läbipaistvuse mõõtmist ning proovi kogumist. Kõikidest järveosadest (Karujärv, Iiri järv, Aiajärv ja Suurjärv) võeti 1 veeproov (0,9 – 1 liiter), mis hoiustati klaaspurkides külmas ja pimedas. Proovid toimetati Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituudi laborisse, kus neid hoiustati külmkapis kuni analüüsimiseni. Suurjärvest, mis on teistest järvedest kõige suurem, võeti 2 proovi erinevatest kohtadest, et saaks järvest parema ülevaate (Joonis 8).



**Joonis 8.** Proovivõtu alad. Karujärvest, Iiri ja Aiajärvest võeti 1 proov ning Suurjärvest 2 proovi (Suurjärv 1 ja Suurjärv 2). Samuti on joonisel välja toodud Lossisaar ja supluskoht. (Google Earth 2015)

Samades proovipunktides, kust võeti veeproovid, määrati lahustunud hapniku sisaldus, elektrijuhtivus, soolsus, temperatuur ja pH, milleks kasutati YSI multimeetrit. Lisaks

hinnati enne kindlate alade väljavalikut, et sealses koosluses oleks võimalikult palju erinevaid liike, mis aitaksid järve seisundit paremini hinnata.

### **2.2.2. Järvevee üldised parameetrid**

Järvede vee analüüside teostamiseks kasutati YSI multimeetrit ning veeproovide kogumiseks kasutati paati. Mõõtmiskohad valiti igas järveosas (Joonis 8). YSI multimeetri otsik asetati vette ning oodati 20 – 30 minutit, et näidud stabiliseeruksid täpsete tulemuste saamiseks. Kõigepealt mõõdeti veepinnalt ehk 0 m sügavuselt ning seejärel liiguti 1 meetri võrra sügavamale. Tegevust korrati kuni jõuti valitud analüüsikoha maksimaalse sügavuseni.

Vee läbipaistvuse mõõtmiseks asetati Secchi ketas vette ning lasti aeglaselt sügavamale, kuni hetkeni, kus see vaateväljalt kadus. Seejärel ettevaatlikult kergitati ning hetkel mil Secchi ketas ilmus jälle vaatevälja märgiti nööri punkt. Mõõtmist teostati nii, et päike jäi selja taha.

### **2.2.3. Taimestiku ja loomastiku kirjeldamine**

Taimestikku ja loomastikku määramine teostati 2014. aasta suvel. 21. juulil kirjeldati taimkatet järve kallastel (1 – 2 meetrit veepiirist) ning veetaimestikku. Taimede määramiseks kasutati Eesti taimede määrajat (Krall et al. 1999) ja Eesti taimede kukeaabitsat (Kukk 2013). Porkuni järve taimestiku kirjeldamise aluseks võeti AS Mavesi poolt 2007. aastal koostatud välitöö protokoll ning kontrolliti, kas selles esitatud taimi leidub endiselt järve ümbruses. Porkuni järve taimekoosluste liigilise koosseisu ja paiknemise selgitamiseks käidi järveosade kallastel ning korjati taimi hilisemaks määramiseks. Veetaimede kirjeldamiseks kasutati paati ja järvepõhjas kasvavate veetaimede kättesaamiseks kasutati pikemat reha.

Porkuni järve vee-elustikku uuriti 17. augustil. Kahva abil püüti vees elavaid selgrootuid. Püütud putukad pandi plastiktopsi, millesse lisati 40%-line etanooli lahust. Selgrootud määrati järgmisel päeval ning selleks kasutati käsiraamatut Euroopa putukad (Chinery 2005). Järves elavatest kaladest andsid ülevaate kolm kohalikku kalameest.

### 2.3. Klorofüll *a* ja selle laguproduktide sisalduse määramine

Klorofüll *a* ning selle laguproduktide analüüs viidi läbi Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituudi laboris ning määramiseks kasutati spektrofotomeetrilist meetodit.

Klaaskiudfilter (Sartorius MGF 47 mm) asetati vaakumfiltratsiooni filtri hoidikule ja seade pandi valmis filtratsiooniks. Filtreeriti 1000 ml uuritava veekogu vett läbi filtri. Filtreerimine lõpetati kui filtri pealt oli ära kadunud viimane veepiisk. Võeti filter ning lõigati kääre kasutades väikesteks tükkideks ning asetati tükid ekstraheerimiseks korgiga ja märgistatud tuubi. Lisati 10 ml 96% etanooli ning kasutades Vortexit segati proovi 1 min. Proov asetati külmikusse (4° C) kaheks tunniks. (Environmental Sciences Section 1991) Peale 2 h segati proovi Vortexiga 1 min ning tsentrifuugiti proovi 4600 rpm 10 min (4° C). (UCL Department of Geography 2015) Spektrofotomeetriliseks analüüsimiseks täideti mõõteküvett ekstraktiga ning mõõdeti spektrofotomeetril neelduvus lainepikkusel 665 nm. Masina kalibreerimiseks kasutati taustaproovina (*blank*) 96% etanooli. (Environmental Sciences Section 1991)

Arvutati klorofüll *a* kontsentratsioon (mg/L) (UCL Department of Geography 2015):

$$\frac{11.0 * A_{665} * v}{V * d}$$

Kus: A<sub>665</sub> - neeldumine 665 nm

v - etanooli kogus (ml) mis kasutatid ekstraheerimiseks (10 ml siin)

V - filtreeritud vee kogus (liitrites)

d - küvetti läbimõõt (cm) (1 cm)

Laguproduktide määramiseks lisati proovile (~10 ml) tuubis 0.1 ml (100 µl) 0.3 M HCl lahust, segati Vortexiga ja tsentrifuugiti. HCl lisamisel eraldus klorofüllil küljest magneesiumimolekul, mille tulemusel moodustus feofütiin. Korrati mõõtmist sarnaselt eelmisega. Mõõteküvett täideti ekstraktiga ning mõõdeti spektrofotomeetril neelduvus lainepikkusel 665 nm. Masina kalibreerimiseks kasutati taustaproovina (*blank*) 96% etanooli. (Environmental Sciences Section 1991) Kasutati sama arvutuskäiku ning lõpuks lahutati sellest tulemusest esimesena mõõdetud klorofüll *a* tulemus. Saadud tulemus näitab proovis olnud lagunenu klorofüllil hulka. (UCL Department of Geography 2015)

### 3. TULEMUSED

#### 3.1. Välitööde käigus mõõdetud järvevee füüsikaliste-keemiliste parameetrite tulemused

##### 3.1.1. Karujärv (KJ)

Secchi ketas oli analüüsikoha maksimaalse sügavuseni (1 meeter) nähtav ning seega oli vee läbipaistvus väga hea. Secchi ketta abil määrati vee värvuseks heleroheline.

**Tabel 1.** Karujärve YSI multimeetriga tehtud mõõtmiste tulemused.  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tähistab elektrijuhtivust, DO % lahustunud hapniku protsenti ja DO mg/l lahustunud hapniku sisaldust ühikus mg/l.

Sügavus	Temperatuur	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Soolsus	DO %	DO mg/l	pH
0 m	23,2 °C	273	0,13	165	14,2	8,2
1 m	22 °C	320	0,15	176	15,6	8,0

##### 3.1.2. Suurjärve mõõtmiskoht 1 (SJ)

Mõõtmiskoha maksimaalne sügavus oli 2,3 meetrit, kuid Secchi ketas oli nähtav kuni 2,1 meetri sügavuseni ning vesi oli heleroheline.

**Tabel 2.** Suurjärve esimese proovikoha YSI multimeetriga tehtud mõõtmiste tulemused.  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tähistab elektrijuhtivust, DO % lahustunud hapniku protsenti ja DO mg/l lahustunud hapniku sisaldust ühikus mg/l.

Sügavus	Temperatuur	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Soolus	DO %	DO mg/l	pH
0 m	23,3 °C	312	0,15	175	14,8	8,0
1 m	22,6 °C	310	0,15	169	14,6	8,0
2 m	21,1 °C	356	0,17	189	16,9	7,7

### 3.1.3. Suurjärve mõõtmiskoht 2 (SJ2)

Mõõtmiskoha maksimaalne sügavus oli 2,5 meetrit. Secchi ketas oli nähtav 2 meetri sügavuseni ning vesi oli heleroheline.

**Tabel 3.** Suurjärve teise proovikoha YSI multimeetriga tehtud mõõtmiste tulemused.  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tähistab elektrijuhtivust, DO % lahustunud hapniku protsenti ja DO mg/l lahustunud hapnikku sisaldust ühikus mg/l.

Sügavus	Temperatuur	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Soolsus	DO %	DO mg/l	pH
0 m	23,5 °C	308	0,15	155	13,2	8,0
1 m	23,1 °C	304	0,14	160	13,7	8,0
2 m	22,8 °C	303	0,14	170	14,8	8,0
2,5 m	19,7 °C	578	0,29	173	15,7	7,0

### 3.1.4. Aiajärv (AJ)

Secchi ketas oli mõõtmiskoha maksimaalse sügavuseni ehk 1,7 meetrini nähtav ning vee värvuseks oli heleroheline.

**Tabel 4.** Aiajärve YSI multimeetriga tehtud mõõtmiste tulemused.  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tähistab elektrijuhtivust, DO % lahustunud hapniku protsenti ja DO mg/l lahustunud hapnikku sisaldust ühikus mg/l.

Sügavu	Temperatuur	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Soolsus	DO %	DO mg/l	pH
0 m	24,3 °C	262	0,12	172	14,3	8,3
1 m	23,2 °C	273	0,13	179	15,3	8,3
1,7 m	22,4 °C	280	0,13	189	16,5	8,1

### 3.1.5. Iiri järv (IJ)

Iiri järvel ei mõõdetud Secchi kettaga vee läbipaistvust, sest järveosa veetaseme oli selleks liiga madal ning ligipääs oli raskendatud.

**Tabel 5.** Iiri järve YSI multimeetriga tehtud mõõtmiste tulemused. Mõõtmine tehti vaid vee pindmises kihis madala veetaseme tõttu.  $\mu\text{S/cm}$  tähistab elektrijuhtivust, DO % lahustunud hapniku protsenti ja DO mg/l lahustunud hapnikku sisaldust ühikus mg/l.

Sügavus	Temperatuur	$\mu\text{S/cm}$	Soolsus	DO %	DO mg/l	pH
0 m	22,8°C	274	0,13	124	10,6	7,9

## 3.2. Taimestik ja loomastik

2014. aasta suvel registreeriti kõigilt neljalt järveosalt kokku erinevaid liike 71, mis jagati kolme eri rühma: kaldataimed, veetaimed ja madalas vees kasvavad taimed ning taimed, mida leidis nii madalas vees kui kaldal (Tabel 6). Kogu nimekiri leitud taimedest on toodud lisas (Lisa 1).

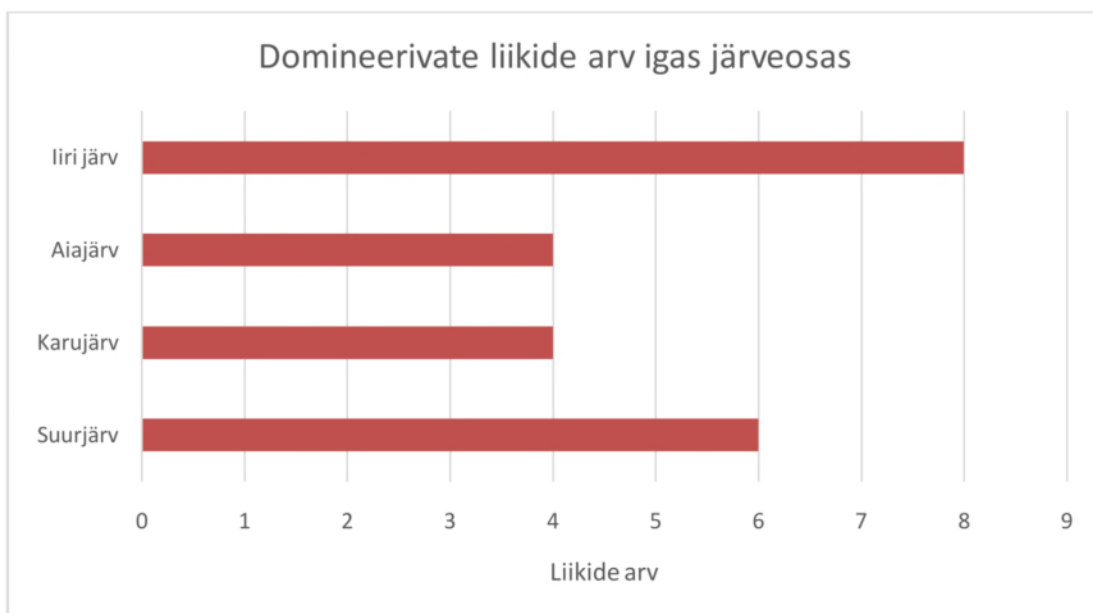
**Tabel 6.** Registreeritud liikide arv uurimisaladel. Nii vees kui ka kaldal leiduvate taimede hulka kuuluvad need taimed, kes suudavad kasvada nii maismaal kui ka madalas vees.

	Kaldataimed	Veetaimed ja madalas vees kasvavad taimed	Nii madalas vees kui ka kaldal leiduvad taimed	Kokku
Suurjärv	45	9	8	62
Karujärv	34	7	6	47
Aiajärv	30	7	7	44
Iiri järv	28	6	6	40

Kõige liigirikkaim oli Suurjärve uurimisala, kus oli kokku 62 liiki. Alumises järves ja järve ümbrusest registreeriti kokku 47 liiki ja Aiajärve proovialal 44 liiki. Võrreldes teiste

järveosadega oli liigirohkus kõige väiksem Iiri järve proovialal, kus registreeriti kokku 40 liiki. Nii Suur-, Karu- kui ka Aiajärve põhja kattis tihedalt määndvetikas (*Charophyta*). Lisaks määndvetikale domineeris Karujärves ka kanada vesikatk. Suurjärvel asuvad ujuvad saared koosnesid peamiselt harilikust pilliroost ja sookaskedest (*Betula pubescens*).

Kõikidest järveosadest kokku tuvastati 16 erinevat liiki selgrootuid (Joonis 9), sh ühepäevikuliste (*Ephemeroptera*) takson, mille isendeid ei suudetud liigini määrata. Registreeritud 16 liiki tähistavad kõige enam esinevaid selgrootuid, keda õnnestus kätte saada ning määrata erialateadlase abita. Põhjaloomastikust leiti Karujärves kõige enam harilikku selgsõudurit (*Notonecta glauca*), harilikku hiilgekiili (*Cordulia aenea*), harilikku põistigu (*Physa fontinalis*) ja harilikku liuskurit (*Gerris lacustris*). Suurjärves leiduvatest põhjaselgrootutest domineerisid mudatigu (*Lymnaea stagnalis*), saleujur (*Colymbetes fuscus*), hiidämblik (*Dolomedes fimbriatus*), sile sootigu (*Stagnicola glaber*), harilik liuskur (*Gerris lacustris*) ja vööt-vesineitsik (*Calopteryx splendens*). Aiajärves domineerivateks liikideks oli tumekõrsik (*Lestidae dryas*), harilik lametigu (*Gyraulus albus*), harilik liuskur (*Gerris lacustris*) ja kukrik (*Gyrinus natator*). Kõige liigirikkamaks osutus Iiri järv, kus leidis saleujurit (*Colymbetes fuscus*), harilikku liuskurit (*Gerris lacustris*), loigutigu (*Aplexa hypnorum*), harilikku labatigu (*Planorbis planorbis*), hiidämblikku (*Dolomedes fimbriatus*), mudatigu (*Lymnaea stagnalis*) ja harilikku keeristigu (*Bithynia tentaculata*). Ainukesena Iiri järves leidis ühepäevikulisi (*Ephemeroptera*).



**Joonis 9.** Registreeritud põhjaloomastiku liikide arv igas järveosas.

Kaladest leidub Porkuni järves haugi (*Esox lucius*), ahvenat (*Perca fluviatilis*), linaskit (*Tinca tinca*), kokre (*Carassius carassius*), lepamaimu (*Phoxinus phoxinus*) ja särge (*Rutilus rutilus*). Kahepaiksetest elab Porkuni järves mudakonn (*Pelobates fuscus*) Porkuni järve ujuvad saared ja ümbruse on asustanud hallpõsk pütt (*Podiceps cristatus*), lauk ehk vesikana (*Fulica atra*), rootsiitsitaja (*Emberiza schoeniculus*), punapea vart (*Aythya ferina*), väikeluik (*Cygnus columbianus*), tuttvart (*Aythya fuligula*), rästas-roolind (*Acrocephalus arundinaceus*), tait ehk tiigikana (*Gallinula chloropus*) ning võib märgata ka hallhaigrut (*Ardea cinerea*).

### 3.3. Klorofüll *a* ja laguproduktide analüüsi tulemused

#### 3.3.1. Karujärve (KJ) proov

Filtreeriti 1000 ml veeproovi läbi filtri.

$$\text{Klorofüll } a = \frac{11,0 * 0,042 * 10}{1 * 1} = 4,62 \text{ mg/L}$$

$$\text{Lagunenud klorofüll } a = \left( \frac{11,0 * 0,036 * 10}{1 * 1} \right) - 4,62 = 3,96 - 4,62 = -0,66 \text{ mg/L}$$

Klorofüllil laguprodukti ehk feofütiini tulemus peaks olema suurem kui klorofüll *a*. Ilmselt hakkas HCl lagundama klorofüllil laguprodukte.

#### 3.3.2. Suurjärve (SJ) proov

Filtreeriti 950 ml veeproovi läbi filtri.

$$\text{Klorofüll } a = \frac{11,0 * 0,049 * 10}{0,95 * 1} = 5,67 \text{ mg/L}$$

$$\text{Lagunenud klorofüll } a = \left( \frac{11,0 * 0,049 * 10}{0,95 * 1} \right) - 5,67 = 5,09 - 5,67 = -0,58 \text{ mg/L}$$

#### 3.3.3. Suurjärve (SJ2) proov

Filtreeriti 950 ml veeproovi läbi filtri.

$$\text{Klorofüll } a = \frac{11,0 * 0,043 * 10}{0,95 * 1} = 4,978 \approx 4,98 \text{ mg/L}$$

$$\text{Lagunenud klorfüll } a = \left( \frac{11,0 * 0,047 * 10}{0,95 * 1} \right) - 4,98 = 5,44 - 4,98 = 0,46 \text{ mg/L}$$

### 3.3.4. Aiajärve (AJ) proov

Filtreeriti 1000 ml veeproovi läbi filtri.

$$\text{Klorofüll } a = \frac{11,0 * 0,040 * 10}{1 * 1} = 4,4 \text{ mg/L}$$

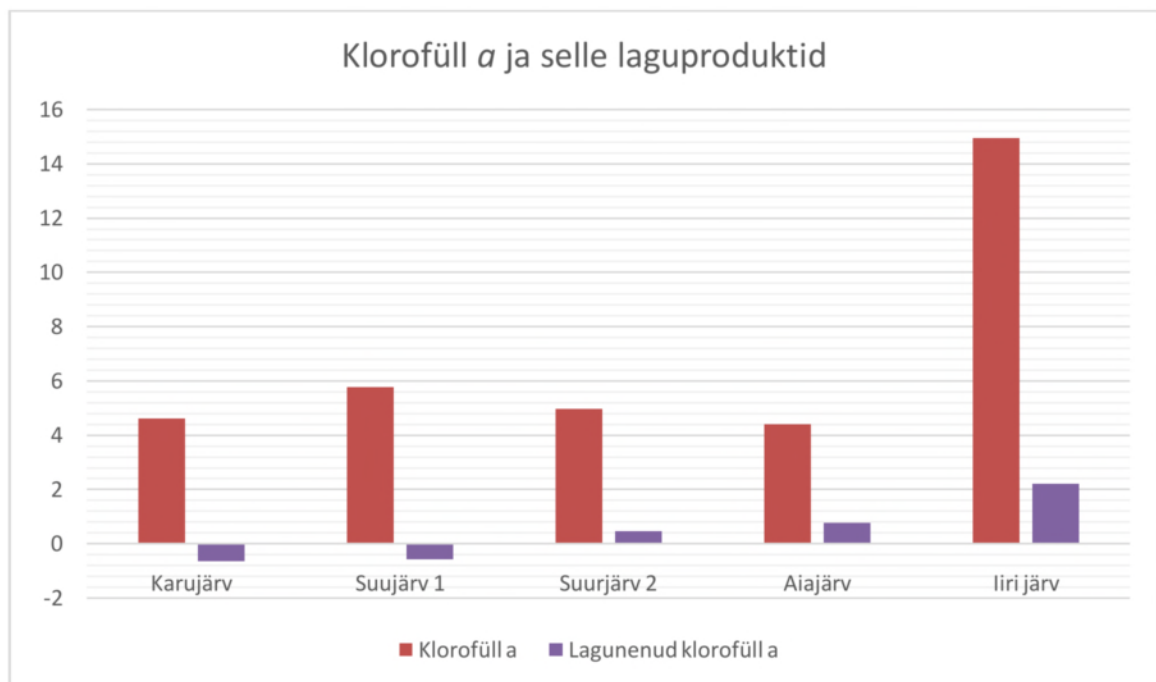
$$\text{Lagunenud klorofüll } a = \left( \frac{11,0 * 0,047 * 10}{1 * 1} \right) - 4,4 = 5,17 - 4,4 = 0,77 \text{ mg/L}$$

### 3.3.5. Iiri järve (IJ) proov

Filtreeriti 500 ml veeproovi läbi filtri.

$$\text{Klorofüll } a = \frac{11,0 * 0,068 * 10}{0,5 * 1} = 14,96 \text{ mg/L}$$

$$\text{Lagunenud klorofüll } a = \left( \frac{11,0 * 0,078 * 10}{0,5 * 1} \right) - 14,96 = 17,16 - 14,96 = 2,2 \text{ mg/L}$$



**Joonis 10.** Klorofüll *a* ja selle laguprodukti ehk feofütiini mõõtmiste tulemused. Tulemused on esitatud ühikus mg/L.

## 4. ARUTELU

Klorofüll *a* abil saab mõõta vetikate biomassi ning sellest tulenevalt ka toitainete sisaldust järvedes. Vetikad, nagu ka suurtaimed, vajavad elutegevuseks toitaineid ja valgust. Kõikide järveosade klorofüll *a* sisaldused jäid vahemikku 4,4 – 14,96 mg/L. Selliseid väärtusi võib lugeda madalateks ning madal klorofüll *a* sisaldus viitab sellele, et järveosades on vähe toitained elustiku toetamiseks. Kõige suurem klorofüll *a* sisaldus oli Iiri järves, mis tuleneb vetikate rohkusest. Samuti on Iiri järv kõige väiksema läbivooluga järveosa ning madala veetaseme korral puudub läbivool täielikult, mis muudab Iiri järve seisuveekoguks. Vetikapopulatsioonile on kasulik Iiri järve madal veetase, sest toitained ei liigu järvest välja. Vetikate populatsioon on veesamba ülemises osas, kus on päikesevalgus, ning tugeva tuule tõttu veekihiid segunevad. Segunemise tulemusel vetikate hulk ja klorofüll *a* sisaldus langeb, kuid tuule vaibudes vetikate populatsioon ja klorofüll *a* kontsentratsioon suurenevad. Kõrgete kallaste tõttu jääb Iiri järv varju, mistõttu tuul ei sega veekihte, mis põhjustaks vetikapopulatsiooni kontsentratsiooni langust. Teistel järveosadel ei ole nii kõrgeid kaldaid, mistõttu segab tuul pidevalt veekihte ning vetikate kontsentratsioon langeb. Klorofüll *a* sisalduse mõõtmise tulemustest ilmneb, et Suurjärve esimeses proovikohas on suurem vetikate ja suurtaimede populatsioon ning rohkem toitaineid kui Suurjärve teises proovikohas. Erinevus tuleneb sellest, et Suurjärve teises proovikohas puhastavad inimesed enda loodud supluskohta veetaimedest ning seetõttu on klorofüll *a* sisaldus madalam.

Klorofüll *a* laguproduktide analüüsimiseks lisati klorofüll *a* proovi hapet ning selle tulemusena määrati feofütiini ehk lagunenu klorofüll *a* sisaldus vees, mis annab teavet vetikate populatsiooni kohta. Kiirel kasvuperioodil on feofütiini sisaldus madal, kuid populatsiooni languse ajal suureneb feofütiini kontsentratsioon (Florida Department of Environmental Protection 2012). Tulemused näitavad, et aeglane kasvuperiood oli Iiri järves, mis võib tähendada, et toitaineid on ära tarbitud. Kõige kiirem Suurjärve teises proovikohas, mis viitab sellele, et järves on piisavas koguses toitaineid ja valgust. Analüüsil saadi Karujärve lagunenu klorofüll *a* sisalduseks -0,66 mg/L ja Suurjärve esimeses proovikohas -0,58 mg/L. Negatiivseid tulemusi võis põhjustada tugev hape, mis hakkas omakorda lagundama klorofüll *a* laguprodukte, või analüütiline viga madala klorofüll *a* kontsentratsiooni tõttu (Carlson & Simpson 1996).

Lahustunud hapnik on üks tähtsamaid veekvaliteedi näitajaid. Kõikides järveosades oli lahustunud hapniku protsent üle 100% ehk üle 14 mg/L. See näitab, et kõikides järveosades oli hapniku üleküllastus. Reeglina on kõige rohkem hapnikku veekogu pindmises kihis, sest veekihi ülemises osas olevad vetika populatsioonid toodavad hapnikku, kuid Porkuni järve puhul oli see vastupidine – vee pindmises kihis oli väiksem hapniku sisaldus kui veekogu alumises kihis. Kõrgemat lahustunud hapnikku sisaldust veekogu alumistes kihtides võib põhjendada veetaimestiku õitsemisega, mille tõttu tõuseb vees lahustunud hapniku tase. Samuti oli veekogu pinnal kõrgem temperatuur, mistõttu oli veekogu põhjas, kus temperatuur oli madalam, rohkem lahustunud hapnikku. Päikeselt tulev UV-kiirgus pidurdab veekogu pindmises kihis olevate vetikapopulatsioonide kasvu, mistõttu on fotosüntees madalam. UV-kiirgust ei saa fotosünteesivad organismid kasutada, sest sellel on liiga palju energiat ning see hävitab organismide DNA'd ja teisi olulisi struktuure (Kemker et al. 2014). Kõige madalam hapniku sisaldus oli Iiri järves. Kuna orgaanilise aine lagunemisel tarbitakse hapnikku, viitab Iiri järve madal hapnikusisaldus orgaanilise aine lagunemisele. Sellest saab järeldada, et Iiri järves on lagunemisprotsess domineerivam kui veetaimede produktsioon, mis toodab hapnikku. Iiri järv on kõrgete kallaste poolt kaitstud ning seetõttu järveosa ei rikastu ka tuule mõjul hapnikuga.

Porkuni järve pH jääb vahemikku 7 – 8,3. Järve vesi on looduslikult aluseline, sest paikneb karbonaatsel aluspõhjal. Samuti veetaimede fotosüntees suurendab vee pH taset, sest taimed kasutavad vees olevat süsinikdioksiidi. Porkuni järve aluseline vesi on ilmselt seotud suurtaimede fotosünteesi aktiivsusega. Suurjärve teises proovikohas oli vee pH neutraalne 2,5 meetri sügavusel, mis viitab allikale, sest allikatest tulev põhjavesi on neutraalne ehk pH on 7 (Martin 1997). Allikale viitab ka elektrijuhtivus mis oli Suurjärve teises proovi kohas 2,5 meetri sügavusel 578 mS/cm ja soolsus 290 mg/l. Allikast tulevas vees esinevad lahustunud soolad, mistõttu on vees rohkem lisandeid ning seega on suurem tema elektrijuhtivus. Vett loetakse karedaks, kui selle soolsus on suurem kui 240 mg/l ja keskmiseks kareduseks 80 – 240 mg/l (Maileht 2011). Väga kare vesi võib viidata allika olemasolule, sest allikast tulev vesi on kaltsiumi- ja magneesiumirikas. Kaltsiumi – ja magneesiumisoolad tõstavad samuti vee pH taset, mis omakorda mõjutab vee-elustikku ja klorofüll *a* sisaldust, sest veeorganismid suudavad elada teatud pH vahemikus. Porkuni järve teistes järveosades jäi elektrijuhtivus vahemikku 262 – 356 mS/cm ja soolsus 120 – 170 mg/l, mis tähendab, et vesi on pigem keskmise karedusega.

Taimede kasvuks on oluline vee läbipaistvus, sest sellest oleneb, kui sügavale valgus tungida suudab. Vähesese vee läbipaistvuse puhul suurtaimed hukuvad ning vetikate populatsioon hakkab kasvama. Kõikides järveosades, kus mõõtmised läbi viidi, oli vee läbipaistvus väga hea. Secchi ketas oli nähtav järvepõhjani (Karujärves 1 m, Suurjärves 2 m, Aiajärves 1,7 m), mis näitab, et järves on väike hõljuvaine hulk, mis ummistaks kalade lõpuseid ja raskendaks valguse tungimist sügavamatesse veekihtidesse. Samuti näitab hea vee läbipaistvus, et järvevette pole kandunud orgaanilisi jääkaineid ega taimede väetisaineid ümberkaudsetest elamutest ja aiamaadest, mis suurendaksid hõljuvaine hulka ning vähendaks vee läbipaistvust. Läbipaistvuse vähenemise peamine põhjus on toitainete sissekanne, mille tõttu suureneb fütoplanktoni produktsioon.

Taimestiku kirjeldamise aluseks võeti Jaanus Paali „Loodusdirektiivi“ elupaikade käsiraamat (2004) ning 2007. aastal koostatud välitöö protokoll (AS Maves), kus registreeriti kokku 78 erinevat liiki. 2014. aasta suvel leiti 78-st liigist 71 (Lisa 1). Välitöö ajal ei leitud 2007. aastal kirja pandud järgmisi taimi:

1. Soo-kuuskjalg (*Pedicularis palustris*);
2. Voldiline parthein (*Glyceria plicata*);
3. Roomav maavits (*Lysimachia nummularia*);
4. Soome oblikas (*Rumex pseudonatronatus*);
5. Karvane tarn (*Carex hirta*);
6. Põlvjas rebasesaba (*Alopecurus geniculatus*);
7. Soo-tähthein (*Stellaria palustris*).

Nimetatud taimede puudumine ei viita keskkonnaseisundi muutusele, sest loetletud taimede järgi ei hinnata keskkonnaseisundi muutust ega reostatuse astet. Uurimistööl ajal leiti Karujärves kanada vesikatki (*Elodea canadensis*), mida 2007. aastal ei olnud registreeritud. Veekogude kinnikasvamise protsessis mängivad olulist rolli harilik pilliroog (*Phragmites australis*), järvkaisel (*Scoenoplectus lacustris*), laialehine hundinui (*Typha latifolia*) ja kanada vesikatki. Porkuni järves ja selle ümbrusest registreeriti veekogude kinnikasvamist soodustavad taimed. Järvkaisel eelistab mudastunud järvepõhjasid ning selle olemasolu näitab, et Porkuni järve põhi on mudane. Karujärves järvepõhja kattev kanada vesikatki on aga kalamajanduslikult üsna vajalik taim, sest tema tihnikud on heaks varjepaigaks veeloomadele ning on üks paremaid hapniku tootjaid veetaimede hulgas (Mäemets 2015). Uurimistööl kogutud andmed näitasid Karujärves kõrget lahustunud

hapniku taset. Kaldaveest leitud kalmus näitab, et Aiajärv on inimtegevusest mõjutatud veekogu, sest kalmust asustab suuremate veekogude külastatavamaid kaldalõike (elamute läheduses, paatide seisukohtadel) ning näitab toitainete sissetuleku kohti (Mäemets 2015). Uurimisaladel domineeris ka ujuv penikeel (*Potamogeton natans*), mis Suurjärve loodepoolses osas takistas paadiga sõitmist. Vesi-kirburohu (*Polygonum amphibium*) üksikuid isendeid leidis vaid Suurjärvest. Kõikide järveosade põhjasid kattis tihedalt mändvetikas (*Chara*), mille tüüpilisteks kasvupaikadeks on kalgiveelised allikajärved ja keskmiselt kareda veega järved. Mändvetikate olemasolu kinnitab, et Porkuni järv on karedaveeline ja allikatoiteline. Vaatamata sellele, et 2006. aastal kuivas Porkuni järv põhjani ära, leidis juba 2007. aastal 78 erinevat liiki, mis näitab, et järvel on küllaltki kiire taastumisvõime ning taimekooslused on kohastunud üleujutuste ning põuaperioodidega.

Erinevalt taimedest, puudub selgrootute kohta võrdlusmaterjal. Kõikidest järveosadest kokku registreeriti 16 kõige enam esinevat liiki. Kõige enam leidis järveosades harilikku liuskurit, mudatigu, saleujurit ja hiidämblikku. Samuti oli ohtralt selgsõudureid, kukrikke ning hiilgekiilide ja vööt-vesineitsiku vastseid. Aiajärves leidis mitmeid kõrsiklasi, kes eelistavad taimestikurikkaid väikeveekogusid (Keskkonnainfo 2015). Ainukesena Iiri järvest suudeti kätte saada ühepäevikulised, mis on keskkonnamuutustele tundlik takson. Tundliku taksoni leidmine näitab, et Iiri järve seisund on ühepäevikulistele eluks sobilik ja olulisi keskkonnamuutusi ei ole viimasel ajal olnud.

Porkuni järve põhi on tihedalt kaetud taimestikuga, mistõttu on järv sobilikuks elupaigaks haugile, linaskile, kogrele ja särjele. Samuti leidub järves ka ahvenat, kes on toiduks haugile, ning lepamaimu, keda leidub suurte parvedena Iiri ja Aiajärves. Võrreldes Mäemetsa (1977) andmetega, ei ole kalastikus muutusi toimunud. Porkuni järv on linnujärvena huvitav, sest järve ümbruses ja ujuvatel saartel pesitsevad hallpõsk-pütt, laukehk vesikana, punapea-vart, väikeluik, tuttvart, rästas-roolind ja rootsiitsitaja. Nende seas ka haruldane tait (Mäemets 1977), keda välitööde ajal ei kohanud, kuid märgati hallhaigrut, keda Eestis kohtab harva. Kuna Suurjärvel on mitmeid suuri ujuvaid saari, mis on kiskjatele takistuseks, ning ka järvekallastel on pillirookogumikke, siis on Porkuni järv ohutuks elupaigaks lindudele.

Saadud tulemuste põhjal saab väita, et Porkuni järv on alkalitroofne ehk allikatoiteline järv, sest on kujunenud allikavee väga tugeva juurdevoolu korral, mis akumulierib vette rohkesti kaltsiumiühendeid, muutes vee ka karedaks. Vee värvuse ja mändvetikate rohkuse

järgi saab liigitada Porkuni järve vähe- kuni kesktoiteliste järvede hulka (Paal 2004). Selle kategooria järvede tunnustaimedest leiti Porkuni järves vaid ujuvat penikeelt. Tüüpilisteks vähe- kuni kesktoiteliste järve selgrootutest leidis ainult keeristigu, kuid esinesid kõik selle järvetüübi tunnuskalad: ahven, särg ja haug.

Kui vaadelda Porkuni järve aga tunnustaimede järgi, siis klassifitseerub järve karstijärvede alla, mille tunnustaimedest (harilik päideroog, tarnad, varsakabi, vesikerss, harilik konnarohi, vesi-kirburohi, hein-penikeel) ainukesena ei leidunud järves hein-penikeelt (*Potamogeton gramineus*). Karstijärvede põhjaloomastik ei erine oluliselt teiste ajutiste veekogude omast (Paal 2004). Kahepaiksetest asustavad karstijärve mudakonn (*Pelobates fuscus*) ja lindudest hallpõsk-pütt (*Podiceps grisegena*) (Paal 2004), keda ka Porkuni järves leidub.

Antud uuring andis vastuse põhjaloomastiku taksonite ja klorofüll *a* sisalduse kohta püstitatud küsimustele, kuid järve ei liigitunud selgelt ei vähe- kuni kesktoiteliste kalgiveeliste ega ka karstijärvede hulka, sest omas mõlemale järvetüübile omaseid tunnuseid. Läbiviidud uuring annab ülevaate vaid järve hetkelisest seisundist ning bakalaureusetöö on baasiks tulevateks Porkuni järve keskkonnaseisundi uuringuteks.

# KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli uurida Porkuni järve seisundit pärast 2006. aasta kuivamist. Selleks mõõdeti Secchi kettaga vee läbipaistvus ning vee füüsikalisi ja keemilisi parameetreid. Uurimistöö käigus kontrolliti, kas 2007. aastal AS Maves'i poolt läbiviidud välitöö ajal registreeritud suurtaimed on endiselt leitavad, ning määrati veekogu loomastik. Järve produktiivsuse määramiseks mõõdeti spektrofotomeetrilist meetodit kasutades klorofüll *a* ja selle laguproduktid.

Töö teoreetilises osas anti ülevaade Pandivere kõrgustikust ning järve seisundit mõjutavatest teguritest. Samuti on eraldi peatükis iseloomustatud uurimisalasid ning kasutatud metoodikat.

Porkuni järves oli lahustunud hapniku protsent üle 100% ehk üle 14 mg/L, mis viitab veetaimestiku õitsemisele, mille tõttu tõuseb vees lahustunud hapniku tase. Järve pH jääb vahemikku 6,96 – 8,31, mis näitab, et vesi on looduslikult aluseline ning samuti veetaimede fotosüntees suurendab vee pH taset. Porkuni järve kõikides järveosades oli elektrijuhtivus alla 850 mS/cm, jäädes vahemikku 262 – 578 mS/cm, millest saab järeldada, et järves on võrdlemisi vähe lahustunud soolasid. Järve soolsus jääb vahemikku 120 – 290 mg/l, mis tähendab, et Porkuni järv on pigem keskmise karedusega. Kõikides järveosades, kus mõõtmised läbi viidi, oli vee läbipaistvus väga hea. Secchi ketas oli nähtav järvepõhjani, mis näitab, et järves on väike hõljuvaine hulk, mis ummistaks kalade lõpuseid ja raskendaks nähtavust.

Uuritud aladelt registreeriti kokku 71 soontaimeliiki. Kõige liigirikkaim oli Suurjärv, kus registreeriti kokku 62 erinevat taimeliiki, ning kõige liigivaesem oli Iiri järv 40 erineva taimeliigiga. Porkuni järves registreeriti 16 kõige enam esinevat selgrootute liiki. Kõige enam leidis järveosades harilikku liuskurit, mudatigu, saleujurit ja hiidämblikku. Ainult Iiri järve alal registreeriti keskkonnamuutustele tundlik takson – ühepäevikuline. Tundliku taksoni leidmine näitab, et järves ei ole toimunud reostust. Porkuni järve põhi on tihedalt kaetud taimestikuga, mistõttu on järv sobilikuks elupaigaks haugile, linaskile, kogrele ja särjele. Järve ümbruses ja ujumatel saartel pesitsevad hallpõsk-pütt, lauk ehk vesikana, punapea-vart, väikeluik, tuttvart, rästas-roolind ja rootsiitsitaja. Nende seas ka haruldane tait ning välitööde ajal märgati samuti hallhaigrut. Kuna Suurjärvel on mitmeid suuri

ujuvaid saari, mis on kiskjatele takistuseks, ning ka järvekallastel on pillirookogumikke, siis on Porkuni järv ohutuks elupaigaks lindudele.

Kõikide järveosade klorofüll *a* sisaldused jäid 1-300 mg/L piiridesse – Karujärves 4,62 mg/L, Iiri järves 14,96 mg/L, Aiajärves 4,4 mg/L, Suurjärve esimeses proovikohas 5,67 mg/L ja teises proovikohas 4,98 mg/L. Madal klorofüll *a* sisaldus viitab sellele, et järveosades on vähe toitained elustiku toetamiseks. Klorofüll *a* laguproduktide analüüsimiseks lisati klorofülliproovi hapet ning selle tulemusena saadi feofütiin, mis annab teavet vetikate populatsiooni kohta. Lagunenud klorofüll *a* sisaldus Iiri järves on 2,2 mg/L, Aiajärves 0,77 mg/L ja Suurjärve teises proovikohas 0,46 mg/L. Saadud tulemused näitavad, et aeglane kasvuperiood oli Iiri järves ning kõige kiirem Suurjärve teises proovikohas. Kiire kasvuperiood viidab sellele, et järves on siiski piisavas koguses toitained ja valgust.

Saadud tulemuste põhjal saab väita, et Porkuni järv on alkalitroofne ehk lubjatoimeline järv, sest on kujunenud allikavee väga tugeva juurdevoolu korral, mis akumuleerib vette rohkesti kaltsiumiühendeid, muutes vee ka karedaks. Vee värvuse ja määndvetikate rohkuse järgi saab liigitada Porkuni järve vähe- kuni kesktoiteliste järvede (3140) hulka. Vaadeldes Porkuni järve aga tunnustaimede järgi, siis klassifitseerub järv karstijärvede (3180) alla, mille tunnustaimedest ainukesena ei leidunud järves hein-penikeelt (*Potamogeton gramineus*).

# THE STATE OF LAKE PORKUNI AFTER ITS DRY PERIOD IN 2006

**Regina Raidma**

Lake Porkuni is a turlough lake, which is located in Pandivere upland and is fed by springs. The lake has been separated by water dams into four waterholes: Lake Suurjärv, Lake Karujärv, which is also known as 'lower lake', Lake Aiajärv and Lake Iiri. Due to this body of water drying out multiple times, the Lake's biota has perished and recovered many times. Nonetheless, Lake Porkuni's lack of water cannot be connected to human activity, but rather to Pandivere's karst base and very dry climate during spring and summer.

The groundwater of the karst area is especially sensitive to pollution. The pollution in the groundwater spreads rapidly through the karst canals and makes its way to the springs, contaminating the water in the spring and lake. Currently, the contamination rate in the lake has decreased mainly due to the closing down of a neighbouring cannery in the 1980s. Nearby barns have also stopped operating and agriculture has lessened significantly.

The aim of this thesis is to identify the state of Lake Porkuni after its dry period in 2006. For this to be determined, the lake's transparency was measured with a Secchi disk. The pH, dissolved oxygen content, electro conductivity, salinity and temperature was measured with a YSI meter. The additional aim of this thesis is to attain the method of determining chlorophyll *a* and its degradation using a spectrophotometer.

This research cross-referenced a 2007 study conducted by AS Maves, which registered 78 different species of vascular plants. During a 21<sup>st</sup> July research of the lake's flora, 71 vascular plants were registered. *Elodea canadensis* was the only species identified in this research, to not have been registered in the 2007 study. Lake Porkuni's freshwater biota was researched on the 17<sup>th</sup> of August. A scoop-net was used to catch invertebrates living in the water. From the waters of Lake Porkuni, 16 different species of invertebrates were registered. The only environmentally sensitive order found is *Ephemeroptera*.

The content of dissolved oxygen in Lake Porkuni was over 100%, which means supersaturation has occurred. This is caused by the thriving water biota. For this not to

endanger living organisms, the amount of dissolved oxygen would have to be at most 14 mg/L. Lake Suurjärv, Lake Karujärv and Aiajärv all reached 14 mg/L of dissolved oxygen within the first meter, beyond which supersaturation had already occurred. Only in Lake Iiri did the dissolved oxygen content remain at 10,64 mg/L. Lake Porkuni's pH is between 7-8,3. The lake's water is naturally alkaline, which is affected by the photosynthesis of aquatic plants. Its salinity remains between 120-290 mg/L, which is an indication of rather hard water. The electro conductivity in all parts of the Lake was below 850, at 262-578 mS/cm, which may be an indication of dissolved salts of calcium or magnesium.

The transparency and colour of the lake was measured with a Secchi disk. The lake's colour was light green with a very good transparency, which indicated that there is a minimal amount of suspended solids. Whilst measuring the transparency, water samples were also collected. The water samples were taken to Tallinn University's Institute of Ecology's laboratory, where a spectrophotometer was used to measure chlorophyll a and its degradation. Typically the levels of chlorophyll a in nature remain between 1-300 mg/L. Lake Porkuni's chlorophyll a level remained in that bracket, ranging from 4,4-14,96 mg/L.

Lake Porkuni, as defined by the water chemistry can be considered a hard oligo-mesotrophic lake. However, observing the lake's vascular plants, Lake Porkuni is a turlough lake.

## KASUTATUD KIRJANDUS

Alliance for the Chesapeake Bay. 2010. River Trends Manual [WWW] [http://www.longwood.edu/cleanva/world\\_water\\_monitoring\\_va/resized%20images/water\\_quality\\_parameter\\_info\\_acb.pdf](http://www.longwood.edu/cleanva/world_water_monitoring_va/resized%20images/water_quality_parameter_info_acb.pdf) (23.04.2015)

Arold, I. 2005. *Eesti maastikud*. Tartu Ülikooli kirjastus.

AS Maves. 2006. Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundlik ala. [WWW] <http://www.maves.ee/Projektid/2006/Pandivere-Adavere%20NTA.pdf> (23.04.2015)

Carlson, R. E., Simpson, J. 1996. Chlorophyll Analysis. [WWW] <http://www.secchidipin.org/chlorophyll.htm> (23.04.2015)

Chinery, M. 2005. *Euroopa putukad*. Eesti Entsüklopeedia kirjastus

Environmental Sciences Section. 1991. ESS Method 150.1: Chlorophyll – Spectrophotometric. [WWW] <http://www.epa.gov/glnpo/lmmb/methods/methd150.pdf> (11.05.2015)

Estonica. 2009. Pandivere kõrgustik. [WWW] [http://stage.estonica.ee/et/Loodus/Põhja-Eesti\\_paelavad/Pandivere\\_kõrgustik/](http://stage.estonica.ee/et/Loodus/Põhja-Eesti_paelavad/Pandivere_kõrgustik/) (23.04.2015)

Florida Department of Environmental Protection. 2012. Microbiological Analyses and Bench Biology. [WWW] <http://www.dep.state.fl.us/labs/biology/microbio.htm> (23.04.2015)

GLOBE Eesti. 1996. Hüdroloogiauuritud. [WWW] [http://www.globe.ee/doc/GLOBE\\_hydroloogia\\_1.pdf](http://www.globe.ee/doc/GLOBE_hydroloogia_1.pdf) (23.04.2015)

GLOBE Eesti. 2015. Vee läbipaistvuse mõõtmine. [WWW] <http://www.globe.ee/globe/juhendid/mootmine/?details=1&id=1316> (23.04.2015)

Google Earth. 2015. Google Earth kaardirakendus. [WWW] <https://www.google.com/earth/> (23.04.2015)

Jones, W. W. 2015. Lakes: Chemical Processes.[WWW] <http://www.waterencyclopedia.com/Hy-La/Lakes-Chemical-Processes.html> (23.04.2015)

- Kemker, F., Kemker, K., Kemker, C. 2014. Solar Radiation and Photosynthetically Active Radiation. [WWW] <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/> (18.05.2015)
- Keskkonnainfo. 2015. Eesti elustik ja elukooslused. [WWW] [http://loodus.keskkonnainfo.ee:88/ecological/inland\\_waters/F1172578477/lakes](http://loodus.keskkonnainfo.ee:88/ecological/inland_waters/F1172578477/lakes) (23.02.2015)
- Kink, H. 2005. *Loodusmälestised. Natural heritage of Estonia. Lääne-Virumaa. Laekvere, Avanduse, Rakke, Väike-Maarja, Tamsalu*. Teaduste Akadeemia Kirjastus
- Krall, H., Kukk, T., Kull, T., Kuusk, V., Leht, M., Oja, T., Reier, Ü., Sepp, S., Zingel, H., Tuulik, T. 1999. *Eesti taimede määraja*. Eesti Loodusfoto, Tartu
- Kukk, T. 2013. *Eesti taimede kukeaabits*. Varrak
- Kõiv, T. 2012. Hapniku lahustumine ja hulk vees. [WWW] <http://hapnikjarvedes.weebly.com/hapniku-lahustumine-vees.html> (25.04.2015)
- Kõiv, T. 2012. Soolsus ja vee ioonkoostis. [WWW] <http://soolajarved.weebly.com/soolsus-ja-vee-ioonkoostis.html> (23.04.2015)
- Käärt, U. 2006. Porkuni järve põhi on kuivanud praguliseks. [WWW] <http://epl.delfi.ee/news/eesti/porkuni-jarve-pohi-on-kuivanud-praguliseks?id=51068324> (22.04.2015)
- Maileht, K. 2011. Eesti ja Balti/Keskõkoregiooni tööühma järvetüübid. [WWW] <http://indikaatorlus.weebly.com/jaumlrvetuumluumlbid.html> (25.04.2015)
- Martin, H. 1997. Interpretation of Water Chemistry Data from a Florida Underwater Cave for Determination of Possible Groundwater Pollution. [WWW] <https://www.globalunderwaterexplorers.org/interpretation-water-chemistry-data-florida-underwater-cave-determination-possible-groundwater> (18.05.2015)
- Michigan CleanWater Corps. 2015. What do chlorophyll measurements tell us about our lakes? [WWW] <http://www.micorps.net/documents/ChloroFactsheet.pdf> (23.04.2015)

- Mäemets, A. 2015. Veekogude suurtaimestikust. [WWW] [http://www.keskkonnaamet.ee/public/Keskkonnaharidus/veeprojekt/Veekogude\\_suurtaimestikust\\_Aime\\_Maemets.pdf](http://www.keskkonnaamet.ee/public/Keskkonnaharidus/veeprojekt/Veekogude_suurtaimestikust_Aime_Maemets.pdf) (23.04.2015)
- Mäemets, A. 1977. *Eesti NSV järved ja nende kaitse*. Valgus
- Ott, I., Maileht, K. 2012. Seisuveekogude ökoloogilise seisundi hindamine EL Veepoliitika Raamdirektiivi (VRD) alusel. [WWW] <http://jarvedeseisund.weebly.com/veepoliitika-raamdirektiiv.html> (23.04.2015)
- Ott, I., Mäemets, H., Laugaste, R. 2010. Mida arvata ujuvsaarte mõjust loodusele ja ühiskonnale? [WWW] [http://www.eestiloodus.ee/artikkel3507\\_3487.html](http://www.eestiloodus.ee/artikkel3507_3487.html) (22.04.2015)
- Paal, J. 2004. „Loodusdirektiivi“ elupaigatüüpide käsiraamat. Digimap, Tallinn.
- Regional Aquatics Monitoring Program. 2015. Aquatic Organisms: Vertebrates. [WWW] <http://www.ramp-alberta.org/river/ecology/life/vertebrates.aspx> (23.04.2015)
- Regional Aquatics Monitoring Program. 2015. Using Benthic Invertebrates as Bioindicators. [WWW] <http://www.ramp-alberta.org/river/ecology/life/invertebrates/using+benthic+invertebrates+as+bioindicators.aspx> (23.04.2015)
- Tammeorg, O. 2012. Vee läbipaistvus, pH. [WWW] <http://peipsiseire.weebly.com/veelaumlbipaistvus-ph.html> (23.04.2015)
- UCL Department of Geography. 2015. Chlorophyll a Concentration. [WWW] <http://www.geog.ucl.ac.uk/about-the-department/support-services/laboratory/laboratory-methods/water-analysis/chlorophyll-a-concentration> (11.05.2015)
- Vikk, E. 2007. Isepäine Porkuni järv. [WWW] <http://www.porkuni.ee/?op=body&id=84&art=28> (23.02.2015)
- Washington State Department of Ecology. 2015. Chlorophyll a in Lakes. [WWW] <http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/management/joysmanual/chlorophyll.html> (23.04.2015)

Washington State Lake Protection Association. 2012. Freshwater aquatic plants – what are they good for? [WWW] <http://www.walpa.org/waterline/sept-2012/freshwater-aquatic-plants-what-are-they-good-for/> (23.04.2015)

**Käsitirjalised materjalid:**

AS Maves. 2007. *Porkuni järve keskkonnaseisundi uuring*. Keskkonnauuring, Tamsalu Vallavalitsus.

**LISAD**

## Lisa 1

Välitööl tuvastatud taimed. Rohelise kastiga on märgitud veetaimed ja madalas vees kasvavad taimed ja oranžiga kaldataimed. Rohelise ja oranžiga märgitud kastid tähistavad nii madalas vees kui ka kaldal kasvavaid taimi. Tulbas „Tuvastatud“ tähistab sinine leitud taimi ning punasega 2007. aastal registreeritud, kuid 2014. aastal leidmata taimi. Kollasega on tähistatud kanada vesikatk, mis registreeriti esmakordselt 2014. aastal. SJ – Suurjärv, KJ – Karu- ehk Alumine järv, IJ – Iiri järv ja AJ – Aiajärv.

	Liik	Järveosa	Veetaim	Kaldataim	Tuvastatud
1	Harilik pilliroog ( <i>Phragmites australis</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
2	Järvkaisel ( <i>Schoenoplectus lacustris</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
3	Konnaosi ( <i>Equisetum fluviatile</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
4	Harilik konnaroohi ( <i>Alisma plantago-aquatica</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
5	Laialehine hundinui ( <i>Typha latifolia</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
6	Angervaks ( <i>Filipendula ulmaria</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
7	Päideroog ( <i>Phalaris arundinacea</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
8	Sookastik ( <i>Calamagrostis canescens</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
9	Põldohakas ( <i>Cirsium arvense</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
10	Paiseleht ( <i>Tussilago farfara</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
11	Kõrvenõges ( <i>Urtica dioica</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
12	Soomadar ( <i>Galium palustre</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
13	Roomav madar ( <i>Galium aparine</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
14	Harilik palderjan ( <i>Valeriana officinalis</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
15	Harilik tihashain ( <i>Scutellaria galericulata</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
16	Käokann ( <i>Lychnis flos-cuculi</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
17	Põld-piimohakas ( <i>Sonchus arvensis</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
18	Hanijalg ( <i>Potentilla anserina</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
19	Harilik metsvits ( <i>Lysimachia vulgaris</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
20	Ussilill ( <i>Lysimachia thyrsoflora</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
21	Harilik kukesaba ( <i>Lythrum salicaria</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
22	Harilik orashein ( <i>Elymus repens</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
23	Karvane pajulill ( <i>Epilobium hirsutum</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
24	Jõgioblikas ( <i>Rumex hydrolapathum</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
25	Sale tarn ( <i>Carex acuta</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
26	Luhttarn ( <i>Carex elata</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
27	Hirss-tarn ( <i>Carex panicea</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			

28	Harilik tarn ( <i>Carex nigra</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
29	Ääristarn ( <i>Carex hostiana</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
30	Läikviljane luga ( <i>Juncus articulatus</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
31	Kahar kirburohi ( <i>Polygonum lapathifolium</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
32	Harilik kirburohi ( <i>Polygonum persicaria</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
33	Aas-jürilill ( <i>Cardamine pratensis</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
34	Harilik parkhein ( <i>Lycopus europaeus</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
35	Harilik varsakabi ( <i>Caltha palustris</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
36	Soo-lõosilm ( <i>Myosotis scorpioides</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
37	Soo-piimputk ( <i>Peucedanum palustre</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
38	Tumepruun luga ( <i>Juncus alpinus</i> )	SJ, KJ, IJ, AJ			
39	Kanada vesikatk ( <i>Elodea canadensis</i> )	KJ			
40	Ujuv penikeel ( <i>Potamogeton natans</i> )	KJ, SJ, IJ, AJ			
41	Kollane vesikupp ( <i>Nuphar lutea</i> )	KJ, SJ			
42	Pikalehine paju ( <i>Salix dasyclados</i> )	KJ			
43	Vitspaju ( <i>Salix viminalis</i> )	KJ			
44	Vesipaju ( <i>Salix triandra</i> )	KJ			
45	Höberemmelgas ( <i>Salix alba</i> )	KJ			
46	Sookask ( <i>Betula pubescens</i> )	KJ, SJ			
47	Punane leeder ( <i>Sambucus racemosa</i> )	KJ			
48	Soopihl ( <i>Potentilla palustris</i> )	SJ			
49	Jõgi-särjesilm ( <i>Ranunculus trichophyllus</i> )	SJ, AJ			
50	Tara-seatapp ( <i>Calystegia sepium</i> )	SJ, AJ			
51	Harilik sinihelmikas ( <i>Molinia caerulea</i> )	SJ			
52	Seaohakas ( <i>Cirsium oleraceum</i> )	SJ			
53	Männasmünt ( <i>Mentha × verticillata</i> )	SJ			
54	Mustjas paju ( <i>Salix myrsinifolia</i> )	SJ			
55	Kahevärviline paju ( <i>Salix phylicifolia</i> )	SJ			
56	Tuhkur paju ( <i>Salix cinerea</i> )	SJ			
57	Kõrvpaju ( <i>Salix aurita</i> )	SJ			
58	Vesikerss ( <i>Rorippa amphibia</i> )	SJ			
59	Roomav tulikas ( <i>Ranunculus repens</i> )	SJ			
60	Soo-tähthein ( <i>Stellaria palustris</i> )	SJ			
61	Soo-kastehein ( <i>Agrostis canina</i> )	SJ			
62	Põlvjas rebasesaba ( <i>Alopecurus geniculatus</i> )	SJ			
63	Karvane tarn ( <i>Carex hirta</i> )	SJ			
64	Pudeltarn ( <i>Carex rostrata</i> )	SJ			
65	Kraavtarn ( <i>Carex pseudocyperus</i> )	SJ			
66	Ümartarn ( <i>Carex diandra</i> )	SJ			

67	Aas-rebasesaba ( <i>Phleum pratensis</i> )	SJ			
68	Vesikirburohi ( <i>Polygonum amphibium</i> )	SJ, IJ			
69	Soo-ohakas ( <i>Cirsium palustre</i> )	SJ			
70	Soome oblikas ( <i>Rumex pseudonatronatus</i> )	SJ			
71	Harilik soosõnajalg ( <i>Thelypteris palustris</i> )	SJ			
72	Roomav maavits ( <i>Lysimachia nummularia</i> )	SJ			
73	Voldiline parthein ( <i>Glyceria plicata</i> )	SJ			
74	Allik-mailane ( <i>Veronica anagallis-aquatica</i> )	SJ			
75	Valge vesiroos ( <i>Nymphaea alba</i> )	AJ			
76	Harilik kalmus ( <i>Acorus calamus</i> )	AJ			
77	Harilik katkujuur ( <i>Petasites hybridus</i> )	AJ			
78	Soo-kuuskjalg ( <i>Pedicularis palustris</i> )	KJ			