

Tallinna Ülikool
Ökoloogia Keskus

Metoodika ülevaade

Eesti väikejärvede ajalooliste batümeetriliste kaartide digitaliseerimine

Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekt nr 17511

Töö teostajad:
Tiit Vaasma, *PhD*
Egert Vandel, *PhD*

Tallinn 2021

Sisukord

Sissejuhatuseks	3
Kasutatud materjalid	4
Morfomeetrilised parameetrid	6
Digitaliseerimine	9
Kokkuvõtteks	12
Kasutatud kirjandus	13

Sissejuhatuseks

Projekti laiemaks eesmärgiks oli parandada Eesti väikejärvede seisundit ja majandamist (seda mõiste laiemas tähenduses). Selle üheks oluliseks eelduseks on kvaliteetne lähteandmestik ning võimalus võrrelda kaasaegset seisundit varasema situatsiooniga. Sellele aitab kaasa ajalooliste paberkandjal leiduvate Eesti väikejärvede batümeetriliste ehk sügavuskaartide digitaliseerimine, mille kaudu saab omakorda teha arvutusi järvede kunagiste morfomeetriliste näitajate kohta. Järvenõu morfoloogia omab tugevat mõju peaaegu kõigile järve füüsikalistele, keemilistele ja bioloogilistele parameetritele.

Suur hulk olemasolevaid batümeetrilisi kaarte on siiani arhiivides paberkandjail. Digiteerituna muutuvad need laiemale ringkonnale kättesaadavateks. Kuni ei ole teostatud uusi sügavusmõõdistusi tuleb aluseks võtta ajaloolised andmed.

Batümeetiline kaart on veekogu samasügavusjooni kujutav kaart, millel on isojoontega (isobaadid) kirjeldatud järve sügavuse muutumist. Isojoonte vahelisi alasid võib joonise parema hoomamise nimel kujutada värvilistena, traditsiooniliselt sinise tooniga, kus sügavuse suurenemine on tähistatud heledast tumedamaks muutuva sinisega (mida tumedam seda sügavam).

Kasutatud materjalid

Vanimad kaardid, mida kasutati olid Max von zur Mühleni tööd Rõuge ürgoru järvedest (Mühlen 1908), kus käsitletud ka Tilsa Kõrb- ja Pikkjärve, Väimela Mäe- ja Alajärve ning Korneti järvi nüüdse Läti aladel. M von zur Mühleni poolt on veel kasutatud Keeri järve (Mühlen 1911) ja Saadjärve (Mühlen 1911) sügavuskaarti. Tema Pangodi järve batümeetiline kaart (Mühlen 1906) jäid seekord digitaliseerimata. Hendrik Bekker ja Aleksander Audova tegid põhjalikke mõõdistusi 1918. aastal Pühajärvel (Bekker & Audowa 1923). Suure hulga järvi (63) on Vabariigi esimese iseseisvusperioodi ajal kaardistanud Eesti üks hüdrobioloogia rajajaid bioloogiadoktor Heinrich Riikoja, mis avaldatud kahe osalises uurimuses “Mõnede Eesti järvede morfomeetria” (Riikoja 1930, 1936). Tartu Ülikooli geograafia kateedri üliõpilased Olli Kaljo, Ruut Liiv, Asta Uljas ja Rita Valmet võtsid osa 1951-1957. aastatel toimunud kompleksist Eesti järvede uurimise ekspeditsioonist (Kask 1966, Mäemets 1968). Tartu Riikliku Ülikooli diplomitöö raames uuris O. Kaljo Tartu oblasti põhjaosa järvi (Kaljo 1953) ning A. Uljas uuris oma diplomitöös sama oblasti lõunaosa järvi (Uljas 1953). R. Liiv uuris oma diplomitöö raames Võru piirkonna järvede morfomeetria (Liiv 1959) ning R. Valmeti töö (Valmet 1954) kajastas Eesti erinevate piirkondade järvede sügavusmõõdistusi. Mitmed kaardid, mis leidsime Limnoloogia Keskuse arhiivist olid autori nimeta. Sellisel juhul on ekspertidega arutledes leitud, et parim viide on Võrtsjärve Limnoloogiajaam (1950-1960ndad) kuna suure tõenäosusega oli nende puhul tegemist kaartidega, mida kasutasid Ilmar Kask (Kask 1964) ja Aare Mäemets (Mäemets 1968) Eesti järvede ülevaadete teostes. Pärast komplekssete uurimistööde lõppu 1950-1960ndatel jätkas 1970ndatel batümeetiliste kaartide koostamist geograaf-hüdroloog Tõnis Kallejärv (Kallejärv 1971-1975). Kaasaegsematest andmetest saime kasutada Tallinna Ülikoolis erinevate uurijate poolt (Taavi Taavita (Taavita 2015), Jaanus Terasmaa, Marko Vainu (Vainu 2019)) tehtud varasemaid töid, mis olid siiani kas avalikustamata, käsikirjadena või kitsamale ringkonnale kättesaadavad.

Ajalooliste kaartide puhul ei ole tihti teada mõõdistuse kuupäeva ning tihti puuduvad andmed veepinna kõrgustest või on need võetud uurija käsutuses olnud kaardilt, mis aga ei pruugi kajastada mõõtmishetke veetaset. Enne 1970ndaid on kasutatud näiteks 2,5 kg raskuse ja 7 cm läbimõõduga püstsilindrilist käsiloodi. Sellise seadmega mõõtes, ei ole teada kui sügavale

hõljuvasse settesse see vajub ning seetõttu peegeldab tulemus pigem järve limnoloogilist sügavust kui hüdroloogilist. Kallejärv (1971-1975) on osadel järvedel kasutanud sügavuste registreerimiseks juba kajaloodi.

Morfomeetrilised parameetrid

Järve morfomeetriliste parameetrite teadmine on oluline järves toimuvate protsesside mõistmiseks, kuna neist sõltuvad peaaegu kõik järve füüsikalised, keemilised ja bioloogilised protsessid. Järgnevalt on nimetatud ja kirjeldatud projekti käigus leitud järvede morfomeetrilisi parameetreid.

Järve maht (m^3) ehk järvenõos olev veemassi hulka. Järve maht on seotud järve soojusmahtuvusega, kus suurema mahuga (ja sügavamad) järved soojenevad kevadel ja jahtuvad sügisel aeglasemalt kui väiksema mahuga (või madalad) järved. Järved võivad omakorda mõjutab ilmaolusid järve lähiümbruses. Järve maht on oluline järve veevahetusaja leidmiseks ja annab võimalikku informatsiooni järve puhverdusvõime, kihistumisrežiimi ja hapnikutingimuste kohta.

Veekihtide mahtude järgi saab koostada ruumala kõvera, mis iseloomustab kui suur osa järve vee mahust jääb teatud sügavusvahemikku. Ruumala kõvera järgi saab omakorda hinnata veetasemete muutuste mõju järve mahule ja elupaikadele. Samuti saab hinnata näiteks järve fütoplanktoni, zooplanktoni jne biomassi kogu järves, teades nende rohkust erinevates veekihtides.

Kogupindala (ha) hulka kuuluvad nii veepeegli pindala kui ka saarte pindala. Kogupindalast sõltub järve avatus tuultele. Suuremad järved on rohkem avatud tuultele, mis omakorda mõjutab kallaste erosiooni, litoraali taimestikku, kihistumisrežiimi, setete resuspensiooni, vee läbipaistvust ja toitainete kättesaadavust. Atmosfääri reostuskoormusele on suure pindalaga järved avatavamad (Ott & Timm 2020).

Saarte pindala (ha) näitab järves paiknevate saarte pindala. Saarte rohkus põhjustab ka elupaikade rohkust ja mõjutab nt tuulte liikumist veekogul.

Veepeegli pindala (ha) on veeala pindala ehk kogupindala ja saarte pindala vahe. Suure veepeegli pindalaga järvedel toimub intensiivsem aurumine kui väikese pindalaga. Vt ka kogupindala kirjeldust.

Kaldajoone pikkus (m) on järve ümbermõõd teatud veetasemel. Iseloomustab litoraalse ala rohkust - mida pikem kaldajoon, seda rohkem litoraali ala.

Saarte kaldajoone pikkus (m) näitab saarte ümbermõõdu teatud veetasemel. Iseloomustab litoraalse ala rohkust - mida pikem saarte kaldajoon, seda rohkem litoraali ala.

Kaldajoone liigestatus on järve kaldajoone pikkuse ja järvega sama pindala omava ringi ümbermõõdu suhe.
$$D_l = \frac{L}{2 \times \sqrt{\pi \times A_0}}$$

D_l - kaldajoone liigestatus; L - kaldajoone pikkus; A_0 - järve pindala (Wetzel 1983).

Iseloomustab litoraalse ala rohkust, mida liigestatum on kaldajoon, seda rohkem on litoraali ala.

Suurim sügavus (m). Sügavamad järved soojenevad kevadel ja jahtuvad sügisel aeglasemalt kui kui madalad järved. Sügavus mõjutab veesamba kihistumist, kus madalad ja suured järved ei kihistu stabiilselt kunagi, kuid sügavates järvedes võib tekkida püsiv soojuskihistumine.

Keskmine sügavus (m) näitab järve mahu ja veepeegli pindala suhet. See näitaja iseloomustab primaarproduktiooni, litoraali ala ulatust ja suurtaimestiku võimalikku osakaalu (keskmiselt madalates järvedes võib kogu järve põhi olla kaetud taimestikuga, nn makrofüüdijärved) ning lainetuse võimalikku mõju setete resuspensioonile (mida madalam ja suurem järv, seda suurem mõju), mis toob toitaineid veesambasse. Sügavus mõjutab veesamba kihistumist, kus madalad ja suured järved ei kihistu stabiilselt kunagi, kuid sügavates järvedes võib tekkida püsiv soojuskihistumine.

Suhteline sügavus (%) on morfomeetiline parameeter, mis näitab mitu protsenti moodustab järve suurim sügavus järve keskmisest läbimõõdust.

$Zr = \frac{50 \cdot Z_{max} \cdot \sqrt{\pi}}{\sqrt{A}}$; kus Z_{max} - suurim sügavus, A - veepeegli pindala, Zr - suhteline sügavus.

Annab informatsiooni järve võimaliku kihistumisrežiimi kohta. Madalatel ja suurtel järvedel kihistumist ei teki (suhtelise sügavuse % on madal). Väiksematel ja sügavamatel järvedel tekib kergemini stratifikatsioon.

Keskmine nõlvakalle (%), orgudel õigem veerukalle, näitab järvenõo keskmist kalde nurka. Veerukalle mõjutab kalda- ja veesisese taimestiku levikut. Laugeveerulisel järvel ulatub taimestik kaldajoonest kaugemale kui järsuveerulisel. Samuti mõjutab veerukalle erosiooni-, transpordi- ja akumulatsioonialal setete paiknemist (Taavita 2015).

Veepinna kõrgus (m ü.m.p) näitab järve veepinna kõrgust merepinnast ehk järve veetaset. Veepinna kõrguse suhtes teostatakse järve mitmete morfomeetriliste parameetrite arvutusi. Saab registreerida veetaseme muutusi.

Suurim pikkus (m) on järves kahe teineteisest kõige kaugema kaldajoone punkti vaheline kaugus sirgjooneliselt, seejuures võib punktide vahelisele joonele võib jääda nii saari kui ka maismaad.

Laine ajutee (m) on järves kahe teineteisest kõige kaugema kaldajoone punkti vaheline kaugus sirgjooneliselt mööda vaba veeala.

Suurim laius (m) on järve suurima pikkusega risti asetsev maksimaalne kahe kaldajoone punkti vaheline vahemaa.

Suurim pikkus, laius ja ajutee väärtus iseloomustavad järve suurust ja kuju. Suuremad järved on rohkem avatud tuulele, mis omakorda mõjutab kallaste erosiooni, litoraali taimestikku, kihistumisrežiimi, setete resuspensiooni jne.

Digitaliseerimine

Üles pildistatud või skaneeritud vanade batümeetriliste kaartide digitaliseerimiseks kasutati programmi *ArcMap* 10.8. Kaartide XY koordinaatsüsteemiks valiti *Estonia 1997 Estonia National Grid* ning aluskaardiks Maa-ameti kaasegset ortofotot ja põhikaarti, mõnikord ka erinevaid ajaloolisi kaarte.

ArcMapi ettevalmistamine kaartide digitaliseerimiseks

- 1) *ArcMap*'i toodud järve ajalooline sügavuskaart asetati aluskaardil oleva järve kohale.
- 2) Kaardi suurus pandi paika joonmõõtkava abil kasutades *Measure* ja *Scale* tööriistu.
- 3) Kui suurus paigas, anti viimane lihv järve paigutusele aluskaardil (tihti oli kaardile märgitud põhjasuund mitme kraadi võrra nihkes, siis tuli kaarti keerata (*Rotate*); esines ka olukordi, kus põhjasuund näitas hoopis lõunasse).

Kaartide digiteerimine - isojooned

- 1) Isojooned, kas a) digitaliseeriti viisil, kus jooned klikiti piisava tihedusega üle ja moodustati uus vektorkiht (*Polyline*) või b) kasutati võimalusel poolautomaatset joone tuvastuse viisi *Vectorization Trace Between Points*. Selleks tuli algne kaart muuta *.img* formaati ja muuta kahevärviliseks. Digiteeritud joontele omistati vastav sügavusväärtus.
- 2) Digitud isojoonte nurgelisuse vähendamiseks kasutati *Smooth* tööriistaga.
- 3) Kaldajoonest moodustati järve pinda kattev polügoon, mille kaudu lasti *Calculate Geometry* tööriistaga arvutada järve pindala ja ümbermõõt.

Kaartide digiteerimine - sügavuspunktid

- 1) Kaartidel olnud sügavuspunktide digitaliseerimiseks klikiti need üle ja loodi vektorkiht. Digiteeritud punktidele omistati vastav sügavusväärtus.
- 2) Järve sügavaima punkt märgiti eraldi vektorkihile. Juhul kui järves oli mitu sama maksimaalse sügavusega punkti ja need asusid teineteisest suhteliselt kaugel, jäeti suurima sügavuse väärtus digitaliseeritud kaardil märkimata.

Sisse-ja väljavoolud

- 1) Kui kaardil oli märgitud vooluvete lähe või suue, siis digitaliseeriti ka need koos kaldajoonega. Kui oli näidatud sisse- või väljavoolu suunad, siis joonistati ka need uuele kaardile.

Saared

- 1) Saarte olemasolul digitaliseeriti nende kaldajoon ja moodustati saare polügoon, mille kaudu lasti *Calculate Geometry* tööriistaga arvutada saare pindala ja ümbermõõt.

Digiteeritud andmetest info leidmine

- 1) Digitud isojoonte ja punktide negatiivsete väärtustega interpoleeriti *Topo to Raster* tööriista kasutades sügavusväärtusi omav rasterkiht.
- 2) Seejärel kasutati *Slope* tööriista ja loodi nimetatud rastrist veerukalde kaart, kust saadi ka veerukalde keskmine väärtus.
- 3) Järve mahu arvutamiseks kasutati *Surface Volume* tööriista, mis arvutas veekihtide veemahud ja nende pindalad. Kihid paiknesid alates pinnalt kuni sügavaima punktini üldjuhul ühe meetrise sammuga ning madalate järvede korral (<2 m) ka 0,5 meetrise sammuga.
- 4) Kaldajoone liigestatuse, keskmise sügavuse ning suhtelise sügavuse väärtused on arvutatud vastavalt ülaltoodud valemitele.
- 5) Järve suurim pikkus, laine ajutee ning suurim laius mõõdeti käsiti kasutades *Measure* tööriista.

Batümeetrilise kaardi koostamine

- 1) Samasügavusjoontest moodustati polügonid. Selleks kasutati *Feature to Polygon* tööriista, mis tekitas iga kahe isojoone vahele ala.
- 2) Loodud polügonidele omistati sinise tooni erivarjundite sümboloogia, kus sügavuse suurenemine on tähistatud heledast tumedamaks muutuva sinisega (mida tumedam seda sügavam ala).

- 3) *ArcMap*'is jäeti nähtavaks järve isojoonte polügonide, sügavaima punkti, sisse- ja väljavoolu ning saarte kihid.
- 4) Kaarti viimistledes kanti isojoontele peale positiivne väärtus. Lisati nii ajaloolisel kaardil märgitud järvenimi kui ka Keskkonnaregistris (KKR) olev nimi, kaardistamise aeg, legend (sügavusvahemikud, sügavaim punkt, saar, juhul kui oli, siis ka muud objektid), joonmõõtkava ja põhjasuund.
- 5) Korrektne kaart eksporditi *PNG* formaadis.

Kokkuvõtteks

Töö raames leiti kokku 530 Eesti väikejärvede sügavuskaarti alates 20. sajandi algusest. Nende seas oli ka kordusi ja paljud ostusid kasutuskõlbmatuks, kuna olid kas halvasti loetavad, puudusid järvede nimed, kaartidel olid valed järvede nimed, kaardi mõõtkava oli vale või järve kontuuris oli suuri ebakõlasid. Projekti raames jõuti kokku digitaliseerida 250 sügavuskaarti, millest 215 on erinevad järved. Mõne järve kohta digitaliseeriti ajalooliste muutuste tuvastamise eesmärgil kaks või rohkem kaarti. Projekti käigus digitaliseeritud ajaloolised originaalkaardid ja nende kaasajastatud versioonid koos morfomeetriliste parameetritega on leitavad siit: https://drive.google.com/drive/folders/1ihKS1IDeNzn0IzSHLsQ_0g3Zt__iIu7-?usp=sharing

Kasutatud kirjandus

Bekker, A. & Audowa, H. (1923). *Andmed Pühajärve uurimisest: IV 1918 - III 1919*. Tartu: Odamees.

Kaljo, O. (1953). *Andmeid Tartu oblasti põhjaosa järvedest*. (Diplomitöö, Tartu Riikliku Ülikooli Matemaatika-loodusteaduskonna geograafia osakond; juhendaja: E. Varep).

Kallejärv, T. (1971-1975). *Eesti väikejärvede batümeetrilised skeemid. I-III osa*. Eesti Maaülikool, käsikiri.

Kask, I. (1966). Kagu-Eesti järvedest. Rmt: K. Kildema & M. Vabar (Eds.), *Eesti Geograafia seltsi aastaraamat* (pp. 106- 112). Tallinn: Valgus.

Kask, I. (1964). *Eesti NSV järvede nimestik*. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus.

Liiv, R. (1959). *Võru rajooni järvede morfomeetriast*. (Diplomitöö, Tartu Riikliku Ülikooli Matemaatika-loodusteaduskonna geograafia osakond; juhendaja: E. Varep).

Mäemets, A. (1968). *Eesti järved*. Tallinn: Ilo.

Mühlen, M. von zur. (1906). Zur Entwicklungsgeschichte des Spankauschen Sees, wie auch einiger anderen Seen in der Umgebung Dorpats. *Andmed Eesti ala järvede uurimiseks nr 3*. Tartu.

Mühlen, M. von zur. (1908). Symbolae ad Estoniae lacus explorandos. Mitteilungen über die Seen von Tilsit, Alt-Waimel und Schreibershof; Die Raugeschen Seen. Sitzungsberichte der Naturforscher-Gesellschaft bei der Universität Jurjew. *Andmed Eesti ala järvede uurimiseks* (pp. 96-145). Tartu.

Mühlen, M. von zur. (1911). *Садьервское озеро (с приложением карты); Керимойс-Ульфельдское озеро (с приложением карты)*. Tartu: Mattiesen.

Ott, I. & Timm, H. (2020). *Siseveekogud: õpik kõrgkoolidele*. Tartu: Eesti Loodusfoto.

Riikoja, H. (1930). Zur Morphometrie einiger Seen Eestis. Rmt: M. Buchdruckerei (Ed.), *Tartu Ülikooli Eesti veekogude uurimise komisjoni väljaanne nr 13*. Tartu: Tartu Ülikooli juures asuv Loodusuurijate Selts..

Riikoja, H. (1936). Zur Morphometrie einiger Seen Eestis II. Rmt: M. Buchdruckerei (Ed.), *Tartu Ülikooli Eesti veekogude uurimise komisjoni väljaanne nr 28*. Tartu: Tartu Ülikooli juures asuv Loodusuurijate Selts.

Taavita, T. (2015). *Kurtna järvestiku järvede morfomeetriliste näitajate muutused perioodi 1946-2014* (Magistritöö, Tallinna Ülikooli Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut). <https://www.etera.ee/s/TwUi67MD76>

TLÜ Ökoloogia keskus. (2010). Publitseerimata andmed.

Uljas, A. (1953). *Andmeid Tartu oblasti lõunaosa järvedest*. (Diplomitöö, Tartu Riikliku Ülikooli Matemaatika-loodusteaduskonna geograafia osakond; juhendaja: E. Varep).

Vainu, M. (2019). Kurtna järvestiku keskosa järvede veetaseme kõikumised ja nende põhjused. Rmt: A. Järvet (Ed.), *Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat kd. 44* (pp. 47–71). Tallinn: Eesti Geograafia Selts.

Valmet, R. (1954). *Andmeid mõningate Eesti NSV järvede, eriti nende morfomeetria kohta*. (Diplomitöö, Tartu Riikliku Ülikooli Matemaatika-loodusteaduskonna geograafia osakond; juhendaja: E. Varep)

Wetzel, R.G. (1983). *Limnology*. 2nd Edition. Philadelphia: Saunders College Publishing.