

Lõpparuanne
Eesti väikejärvede batümeetriline seire 2019
Märts 2020



Seiret läbiviiv organisatsioon: Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus

Töö läbiviijad: Egert Vandel, Tiit Vaasma, Marko Vainu, Jaanus Terasmaa

E-mail: egert.vandel@tlu.ee

Tel.: 6199828

1. Eesmärk	2
2. Mõõdistatud järved ja metoodika	5
2.1. Mõõdistatud järved	5
2.2. Välitööd	7
2.3. Andmete töötlus	8
2.4. Morfomeetrilised parameetrid	10
2.5. Varasemad sügavusmõõdistamise meetodid ja võimalikud kaasnevad vead	11
3. Tulemused	13
3.1. Äntu Sinijärv	13
3.2. Uljaste järv	18
3.3. Viitna Pikkjärv	23
3.4. Ähijärv	29
3.5. Rõuge Suurjärv	35
3.6. Pühajärv	43
3.7. Tõhela järv	49
3.8. Endla järv	60
3.9. Suurlaht	71
3.10. Kooru järv	76
4. Arutelu ja kokkuvõte	81
Kasutatud kirjandus	83

1. Eesmärk

Käesoleva batümeetrilise seiretöö eesmärgiks oli iga-aastases seires oleva (nn pidevseire järvede) kümne Eesti väikejärve - Endla järve, Pühajärve, Rõuge Suurjärve, Suurlahe, Uljaste järve, Viitna Pikkjärve, Ähijärve, Kooru järve, Äntu Sinijärve ja Tõhela järve sügavuskaardistamine koos tulemuste tõlgendamisega ning kus võimalik, seal tulemuste mõningane võrdlemine varasemate mõõdistuste tulemustega. Batümeetrilise seire osadeks olid antud töös sügavuse mõõdistamine kaasaegsete vahenditega, sügavuskaartide loomine ja morfomeetriliste näitajate arvutamine.

Järvenõo morfoloogia omab tugevat mõju peaaegu kõigile järve füüsikalistele, keemilistele ja bioloogilistele parameetritele. Järvenõo kuju võib tugevalt varieeruda, mis omakorda mõjutab järve siseseid ja valglal toimuvaid järve mõjutavaid protsesse. Järve morfoloogia kirjeldamiseks on parim vahend järve batümeetriline kaart, mille kaudu on omakorda võimalik arvutada erinevaid järve kirjeldavaid parameetreid (Wetzel, 1983). Kaasaegsed tehnoloogiad ja meetodid võimaldavad järvede ja nende nõo täppiskaardistamisi, mis annavad oluliselt kvaliteetsemaid ja detailsemaid tulemusi, võrreldes sadakond aastat ja isegi aastakümneid tagasi tehtud batümeetriliste mõõdistustega. Korduvmõõdistamised ehk seire võimaldab omakorda võrrelda järve arengut läbi aja, kuigi kohati võib olla see raskendatud just tulenevalt erinevatel perioodidel kasutatud mõõdistusmeetodikate erinevustest. Seega annavad kaasagsete vahenditega loodud batümeetrilised kaardid uue oluliselt kvaliteetsema ja täpsema aluse tulevaste seirete jaoks. Samuti võimaldavad tänapäevane detailne batümeetriline kaardistus ja GIS tehnoloogia kiirelt ja võrdlemisi lihtsalt rekonstrueerida järvede kunagisi ligikaudseid batümeetrilisi kaarte ja morfomeetrilisi parameetreid, kui on teada täpsed muutused veetasemetes tänapäeva veetasemete suhtes. Kaasaegsete ja ajalooliste andmete kõrvutamine võimaldab võrrelda (küll mõningaste määrdustega) järve morfomeetriliste näitajate muutustest tulenevat mõju ka järvede ökosüsteemile ja selle toimimisele erinevatel ajaetappidel. Lisaks saame neid samu vahendeid kasutades mängida läbi erinevaid tulevikustsenaariume, mis järvedega võib juhtuda, kas siis otsesest inimtegevusest tulenevalt või läbi kliimatiliste tingimuste muutuste. Kõik see omakorda võimaldab prognoosida järve kui ökosüsteemi muutusi ja kohanemist nende tingimustega.

Antud töö üheks eesmärgiks on leida järvedele järgmised morfomeetrilised parameetrid:

Veepinna kõrgus (m)

Suurim pikkus (m)

Laine ajutee (m)

Suurim laius (m)

Veepeegli pindala (ha/km^2)

Saarte pindala (ha/km^2)

Kogupindala (ha/km^2)

Veekihi pindala (ha/km^2)

Suurim sügavus (m)

Keskmine sügavus (m)

Suhteline sügavus (%)

Maht (m^3)

Veekihi maht (m^3)

Kaldajoone pikkus (km)

Kaldajoone liigestatus

Keskmine nõlvakalle (kraadi) Batümeetiline kõver

Järve veepinna kõrguse täpne fikseerimine annab võrdluspunkti tulevaste batümeetriliste seirekordade jaoks.

Mitmed eeltoodud parameetritest iseloomustavad järve suurust (pikkus, laius, pindala). Suuremad järved on rohkem avatud tuultele, mis omakorda mõjutab kallaste erosiooni, litoraali taimestikku, kihistumisrežiimi, setete resuspensiooni jne. Laine ajutene näitab pikimat vahemaad järve veepeegli, kus lainetus saab tuule jõul energiat koguda, enne kui jõuab kaldale. Samas paljud eelnimetatud protsessidest ei sõltu vaid pelgalt järve suuruselt, vaid tähtis on ka järve sügavus.

Kuigi järve maksimaalset vee sügavust on oluline teada, ei anna see adekvaatset infot kogu järve kohta. Et paremini iseloomustada tingimusi järves on oluline teada keskmist ja suhtelist sügavust. Järve keskmine sügavus 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 järve, seda suurem mõju).

Järve suhteline sügavus (järve suurima sügavuse ja järve keskmise läbimõõdu suhe protsentides) annab eelinfot järve võimaliku kihistumisrežiimi kohta. Madalatel ja suurtel järvedel kihistumist ei teki (suhteline sügavus % on madal). Väiksematel ja sügavamatel järvedel tekib kergemini stratifikatsioon ja teatud juhtudel võib tekkida ka pidev stratifikatsioon, ehk järves ei toimu kevadine ja sügisene segunemine kogu veesamba ulatuses ning järve põhjas võib tekkida püsiv anoksia.

Järve kaldajoone pikkus ja selle liigestatus iseloomustavad litoraalse ala rohkust ja levikut järves, mida liigestatum ja pikem kaldajoon, seda rohkem litoraali ala. Võimaliku litoraali ala ulatuse iseloomustamiseks on hea parameeter ka batümeetiline kõver. Batümeetrilisel kõveral näeme mitu protsenti moodustab teatud sügavuskihi pindala kogu järve pindalast. Järved, kus suurem protsent kogupindalast jääb fotosünteesi esinemise sügavusvahemikku, on primaarproduktioon kõrgem ning litoraali ala, veesisene taimestik ja sealsed kooslused on rohkem levinud. Veesisese taimestiku levikut mõjutab ka järve nõo nõlvakalle. Järsematel nõlvadel veesisene taimestik kas ei kinnistu või on selle biomass väiksem. Samuti iseloomustab nõlvakalle järve settimistingimusi, kus asuvad erosiooni-, transpordi- ja akumulatsioonialad.

Järve maht on oluline esmane informatsioon järve veevahetusaja leidmiseks, mis omakorda annab võimalikku informatsiooni järve puhverdusvõime, kihistumisrežiimi ja hapnikutingimuste kohta. Järve maht mõjutab otseselt tema puhverdusvõimet võimalike saasteallikate suhtes ja omab mõju järve aastaajalisele temperatuurirežiimile: suurema mahuga (ja sügavamad) järved soojenevad kevadel ja jahtuvad sügisel aeglasemalt kui väiksema mahuga (või madalad) järved. 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.

Kuigi järvede morfomeetrilised näitajad annavad väga olulist informatsiooni järve kui ökosüsteemi ja selle toimimise kohta, ei ole nendega siiski võimalik järve tervikuna iseloomustada, kuna enamus eespool kirjeldatud protsesse on tugevalt lihtsustatud ning erinevad tegurid omavad omavahelisi keerukaid seoseid. Küll aga annavad järvede morfomeetrilised näitajad olulist toetavat ja lisainformatsiooni järvede hüdrokeemilisele ja hüdrobioloogilisele seirele. Detailne batümeetiline kaart koos eelmainitud seirega annab tugeva aluse hindamiseks järve seisundit ning prognoosimaks selle muutusi erinevate keskkonnatingimuste muutumisel.

2. Mõõdistatud järved ja metoodika

2.1. Mõõdistatud järved

Käesolevas töös olid vaatluse all 10 veekogumit: Viitna Pikkjärv, Uljaste järv, Äntu Sinijärv, Endla järv, Pühajärv, Ähijärv, Rõuge Suurjärv, Tõhela järv, Suurlaht ja Kooru järv (Joonis 2.1.1.). Järvede valik hõlmas endas Eesti erinevates piirkondades paiknevaid erilmelisi järvi - mudaste ja kiviste põhjadega, järskude ja laugete kallastega, soiste aladega ja mineraalmaaga ümbritsetud, saarteta ja saartega, suuri ja väikeseid, madalaid ja sügavaid, erineva toitelisuse ning elupaigatüübiga järvi.



Joonis 2.1.1. "Eesti väikejärvede batümeetiline seire 2019" raames mõõdistatud järved ja nende asukohad.

Äntu Sinijärv

Äntu Sinijärv asub Väike-Maarja vallas Lääne-Viru maakonnas ja on üks seitsmest Äntu järvestiku järvest. Järv paikneb oosistikus, mis on järve ümbruses kaetud peamiselt okasmetsaga. Kaldad on õõtsikulised. Äntu Sinijärv on peamiselt allikatoiteline (limnoloogiline tüüp alkalitroofne) ja tuntud kui Eesti kõige selgema veeline järv. Elupaigatüübilt kuulub vähe- kuni kesктоiteliste kalgiveeliste järvede (3140) hulka.

Uljaste järv

Uljaste järv asub Vinni vallas Lääne-Viru maakonnas. Järve ümbritseb põhjast, kagust, idast ja kirdest Uljaste kruusane vallseljak (oos), mille suhteline kõrgus on üle 18,5 m. Edelast, läänest ja loodest külgneb järv Uljaste rabaga. Vallseljak on kaetud valdavalt okasmetsaga. Limnoloogiline tüüp on Uljaste järvel semidüstroofne e. poolhuumustoiteline ja elupaigatüübilt kuulub liiva-alade vähetoiteliste järvede (3110) hulka. Järves on leidnud sobiva elupaiga endale

kaitsealused taimeliigid nagu järv-lahnarohi (*Isoetes lacustris* L.) ja vesilobeelia (*Lobelia dortmanna* L.).

Viitna Pikkjärv

Viitna Pikkjärve asub Kadrina vallas Lääne-Viru maakonnas. Järv paikneb Põhja-Eesti platoo ja Kõrvemaa piirialal, mandrijää servakuhjatiste piirkonnas. Läänekaldal esineb põhja-lõunasuunaline mõhnastik, idas on kruusane vallseljak. Põhjaotsa ilmestab liivane supelrand. Järve ümbrus on liivase ja kruusase pinnakattega ning seal kasvab okasmets. Limnoloogiline tüüp on Viitna Pikkjärvel oligotroofne ehk vähetoiteline ja elupaigatüübilt kuulub liiva-alade vähetoiteliste järvede (3110) hulka. Järv on range kaitse all. Seal kasvavad mitmed haruldased ja kaitsealused taimeliigid: järv-lahnarohi, vesilobeelia, lamedalehine (*Sparganium angustifolium*) ja ujuv jõgitakjas (*Sparganium gramineum*).

Ähijärv

Ähijärv asub Antsla vallas Võru maakonnas. Järv paikneb künkliku reljeefiga Karula kõrgustiku metsarikkas sandurimaastikus. Pinnakattes esineb nii savikat moreeni kui ka liiva. Valdavalt ümbritseb järve okasmets kuid kohati ulatuvad järveni põllu- ja heinamaad. Limnoloogiline tüüp on Ähijärvel kalgiveeline eutroofne e. kalgiveeline rohketoiteline ja elupaigatüübilt kuulub looduslikult rohketoiteliste järvede (3150) hulka.

Rõuge Suurjärv

Rõuge Suurjärv asub Rõuge alevikus Rõuge vallas Võru maakonnas ja on üks Rõuge järvestiku seitsmest Rõuge ürgorus ahelana paiknevast järvest. Kirdes ümbritseb järve ürgoru lammil olev vallseljak, edelas on kõrge ja järsk ürgoruveer, mis kaetud lehtmetsaga. Loode ja kaguosa on madalam, kus on ka ühendused järgnevate järvedega. Pinnakattena esineb valdavalt savikat moreeni aga ka glatsiofluviaalset liiva ja kruusa. Järve kaldal on rohkelt niite ja majapidamisi. Limnoloogiline tüüp on Rõuge Suurjärvel kalgiveeline eutroofne e. kalgiveeline rohketoiteline ja elupaigatüübilt kuulub vähe- kuni kesktoiteliste mõõdukalt kareda veega järvede (3130) hulka.

Pühajärv

Pühajärv asub Otepää vallas Valga maakonnas. Järv paikneb Otepää kõrgustikul künklikus moreenimaastikus. Järve ümbruse kõrgendikud vahelduvad soostunud lohkudega, mis ulatuvad kohati järveni. Vahelduv pinnakate koosneb peamiselt moreenidest ning glatsiofluviaalsetest liivadest ja kruusadest, madalates lohkudes ja nõgudes leidub ka turvast. Järv on valdavalt ümbritsetud metsaga või kitsama puude ribaga. Limnoloogiline tüüp on Pühajärvel kalgiveeline eutroofne e. kalgiveeline rohketoiteline ja elupaigatüübilt kuulub looduslikult rohketoiteliste järvede (3150) hulka.

Tõhela järv

Tõhela järv asub Männikuste külas Pärnu maakonnas. Järv paikneb Tõstmaa kõrgustiku ja Tammiku-Koeri suurvoore vahelises vagumuses. Tõstamaa kõrgustikust lame nõlv ulatub järve idakaldani. Pinnakatteks on peamiselt savikas moreen, mis on kohati ka kivine. Kaldad on lauged ja põhjas ning lõunas soostunud. Läänes ja edelas asub Tõhela ja Ermistu järve vaheline raba. Loode ja idakaldal ulatub segamets järveni. Kalda-ala on kaetud ulatusliku pilliroo, hundinuia, tarna ja kaisla vööndiga. Esineb rohkelt ujuvaid taimesaari. Limnoloogiline tüüp on Tõhela järvel makrofüüdijärv e. suurtaimerikas järv ja elupaigatüübilt kuulub vähe- kuni kesktoiteliste kalgiveeliste järvede (3140) hulka.

Endla järv

Endla järv asub Jõgeva vallas Jõgeva maakonnas. Järv paikneb Endla soostikus Pandivere kõrgustiku, Kesk-Eesti tasandiku ja Vooremaa vahelises nõos. Järvest põhja poole jääb Linnusaare raba, läände Endla raba ning itta Kaasikualune raba. Männimets ulatub järveni ida ja lõunakaldal. Domineerivad lauged kaldad ning need on mudased ja turbased. Kaldaalad on kaetud ulatusliku pilliroo, hundinuia, tarna ja kaisla vööndiga. Järv on saarterikas ning esineb ka rohkelt ujuvsaari. Limnoloogiline tüüp on Endla järvel makrofüüdijärv e. suurtaimerikas järv ja elupaigatüübilt kuulub vähe- kuni kesktoiteliste kalgiveeliste järvede (3140) hulka.

Suurlaht

Suurlaht asub Saaremaa vallas Saare maakonnas. Järv paikneb umbes 1,7 km merest ning on sellest eraldunud alles vast tuhatkond aastat tagasi. Järv on ühenduses u 300 m läänes asuva Mullutu lahega. Suhteliselt lauged liivast põhja mitmekesisistavad rohked rahnud, mis on koondunud peamiselt järve põhjapoolsemasse ossa kus ka paene aluspõhi lähedal. Pinnakattes domineerib lubjarikas rähkne moreen, mere poole mereliiv ning kohati levib viirsavi. Järve ümbritseb mets. Kaldaalad on kaetud ulatusliku pilliroo vööndiga. Limnoloogiline tüüp on Suurlahel halotroofne e. soolatoiteline järv ja elupaigatüübilt kuulub rannikulõugaste (1150) hulka. Suurlaht omab kõrget väärtust kalatoiduliste lindude (sh kaitstavate liikide) arvukuse suhtes.

Kooru järv

Kooru järv asub Saaremaa vallas Saare maakonnas. Järv paikneb umbes 500 m merest. Järv omab paepõhja, mis on savine ja kivine. Kaldad on kivised, paekruusased, madalad ja osalt ka soostunud ning ulatusliku pilliroo vööndiga. Limnoloogiliseks tüübiks on Kooru järvel Keskkonnaregistri järgi määratud halotroofne e. soolatoiteline järv. Samas on KESE andmebaasi andmetel Kooru järve keskmine kloriidide sisaldus aastatel 2012-2019 olnud kõigest 6,1 mg/l, näiteks Äntu Sinijärvel on see samal perioodil olnud 11,3 mg/l. Seega pole põhjust pidada Kooru järve halotroofseks järveks. Üldaluselisuse (>80 mg/l) põhjal on tegemist kalgiveelise järvega ning vastavalt Ott & Kõiv (1999) tüpoloogiale pigem kalgiveelise eutroofse järvega, kuna humiainete sisaldus on KESE andmebaasi andmetel väike. Elupaigatüübilt on järv liigitatud vähe- kuni kesktoiteliste kalgiveeliste järvede (3140) hulka.

2.2. Välitööd

Välitööd viidi läbi 2019 aasta septembris, oktoobris ja novembris. Tööd jäeti hilissügiseks eesmärgiga vähendada suurtaimestikust tulenevaid võimalikke häiringuid ja anomaaliaid mõõtmiste läbiviimisel. Mõõdistusi ja vaatlusi teostati kummipaadist, mis oli varustatud lisaks aerudele ka, olenevalt järve kaitse-eeskirjas lubatule, kas elektri- või sisepõlemismootoriga. Sügavusmõõdistused teostati paadi külge haagitud *Hydrosurveyor M9* mitmekiirelise (*multi-beam*) sonariga, mis igal mõõtmishetkel mõõdab sügavust viie kiirega erinevatest pinnapunktidest. Aparaat on varustatud sisseehitatud GPS seadmega, mis fikseerib automaatselt mõõdistuspunktide asukohad. Mõõdistused sooritati järvedel risti-ja pikiprofiilidena, mille vahedeks kujunes olenevalt järve suurusest ja keerukusest 30-120 meetrit, lisaks mõõdistati ka järve kaldaäärsed alad. Keerukamates kohtades, näiteks sügavikel ja madalikel, sooritati lisamõõdistusi. Järvede veesamba füüsikalisi parameetreid (temperatuur, elektrijuhtivus, heli levimiskiirus) mõõdeti seadmega *CastAway CTD*, mis võimaldab

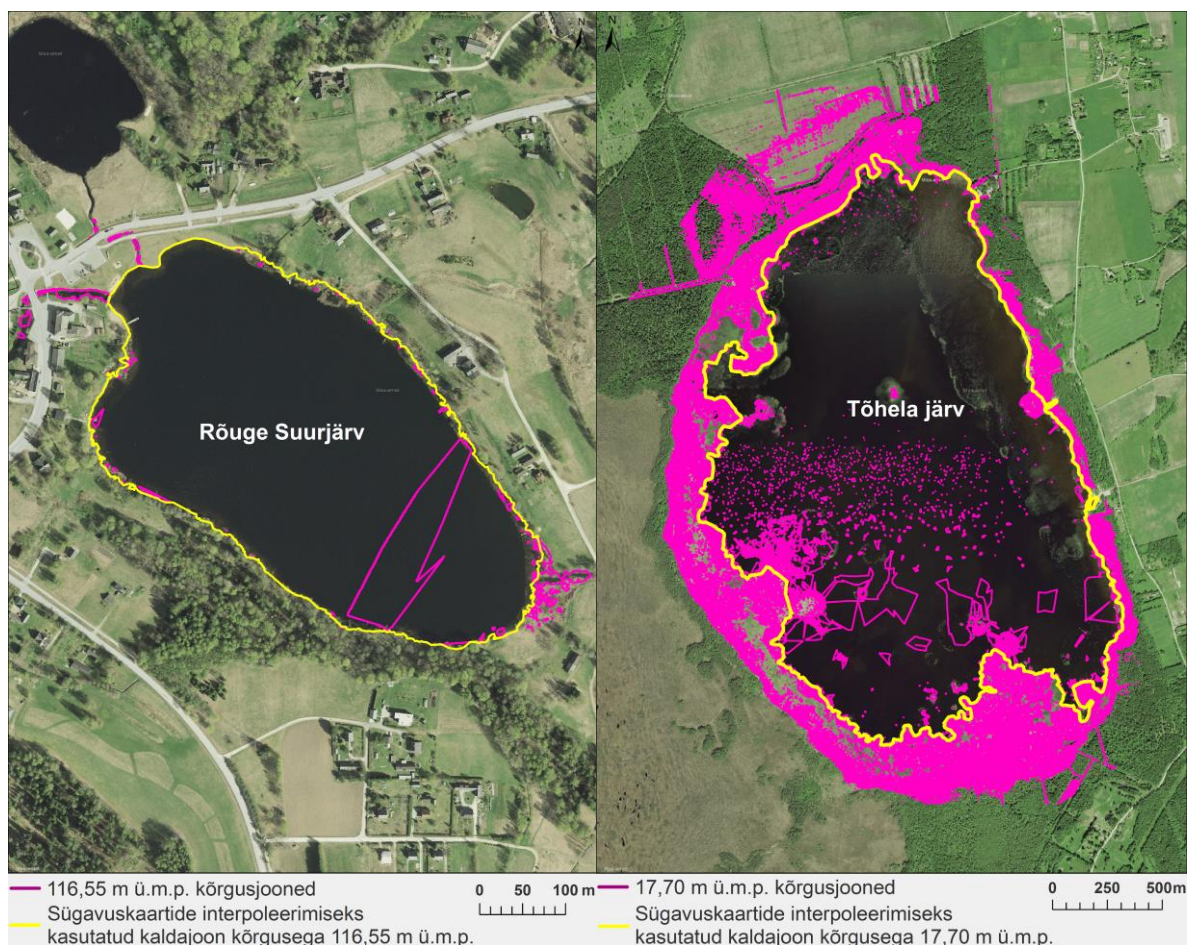
automaatselt viia sonari andmetesse heli levimiskiiruse parandi. Mõõdistuste ajal määrati järvede veetasemete absoluutkõrgus diferentsiaal GPS-iga *Leica CS09*.

2.3. Andmete tötlus

Välitöödel *CastAway*-ga mõõdetud veesamba parameetrite andmed sisestati programmi *HydroSurveyor*, kus automaatselt viidi mõõdetud sügavusandmetele sisse helikiiruse parand. Parandiga alandmed sisestati programmi *ArcMap* 10.5.1. ja andmetest eemaldati mõõtmisvead ning anomaaliad. Puhastatud andmed olid sisendiks hilisemaks sügavuskaartide interpoleerimiseks.

Sügavuskaartide interpoleerimiseks oli vaja ka järvede kaldajoonte kontuure ehk samakõrgusjooni, kus vee sügavus on täpselt null. Kuna sügavusandmete interpoleerimiseks peab järve kaldajoon vastama konkreetsele absoluutkõrgusele, ei oleks olnud korrektne kasutada põhikaardil (Eesti Topograafilises Andmekogus) olevaid järvede kontuure. Seetõttu kasutati kaldajoonte kontuuride leidmiseks Maa-ameti geoportaalist allalaetud 1x1 m resolutsiooniga geotiff-formaadis kõrgusmodelit. Kõrgusmodelile modelleeriti *ArcMap*-is 1 cm vahega samakõrgusjooned ning valiti välja madalaim kõrgusjoon, mis moodustas ümber järve tervikliku isojoone (Joonis 2.3.1.). Eeldatavalt kajastab leitud isojoon järve kaldajoont ja veetaset LiDAR mõõtmiste hetkel. Juhul, kui ühte terviklikku kõrgusjoont järve ümber ei leitud (või jäi esimene terviklik joon liiga kõrgele), võeti abiks ka põhikaart ning ortofotod, et joonistada välja järve kalda kontuurjoon. Antud lähenemist tuli peamiselt kasutada suurtel, madalatel, laugete kallastega järvedel, kus järve kaldajoonest moodustasid suure osa tihedad pilliroolad ja soovikud (Endla, Tõhela, Kooru, Suurjärv). Sellistel juhtudel joonistusid samad kõrguse isojooned nii eelnimetatud märgalade veepoolsesse kui ka maismaa poolsesse külge ning järve kaldajoone kontuuri joonistamisel otsustati parema lahenduse puudumisel lähtuda põhikaardil olevast vaba vee piirist (Joonis 2.3.1.). Mõningatel juhtudel (nt Endla järv) erines värskeimal ortofotol eristuv veepiir põhikaardist ning kaldajoone kontuur mugandati vastavalt ortofotole ja välitöödel täheldatud olukorrale. Kaldajoonte kontuuridele, mille piiritlemisel ei lähtunud ainult modelleeritud isojoontest, anti kõrgusväärtus samuti kõrgusmodeli järgi, kasutades selleks madalaimat kõrgusmodelile modelleeritud isojoont, mis vähemalt osaliselt järve kallast piiritles. Tuleb rõhutada, et neil juhtudel on saadud järve kaldajoon ja selle abil modelleeritud kaldalähedased sügavusandmed väiksema usaldusväärsusega, kui ainult kõrgusmodeli põhjal leitud kaldajoon ja selle abil modelleeritud kaldalähedased sügavusandmed. Ulatuslike maastuvate kallastega järvede tegelikkusele ehk konkreetsetele veetasemetele vastava kaldajoone leidmiseks kaugseire andmete põhjal oleks vaja välja töötada spetsiifiline meetodika, mis väljub aga käesoleva töö eesmärkidest ja mahust. Kõrgusmodelilt tuletatud järve kaldajoone kõrgused on ka nende järvede veepinna kõrguseks (m ü.m.p.) sügavuskaartidel, samuti arvutati nende põhjal välja järvede morfomeetrilised parameetrid. Järvedes, kus leidis saari, leiti ka saartele kaldajooned sarnasel meetodil ja neile anti sama kõrgusväärtus kui kaldajoonele. Üheksal järvel kümnest oli välitöödel mõõdetud järve veetase madalam kui järvele tekitatud kaldajoone kõrgus. Kõrguste vahe liideti välitöödel mõõdetud sügavusandmetele juurde, et sügavusandmed lähtuks järve kaldajoone veetaseme kõrgusest (veepinna kõrgusest). Erandiks oli Suurlaht, kus välitöödel mõõdetud veetase oli kõrgem kui Maa-ameti kõrgusmodelil. Selleks, et järvede kaldajoone valikul oleks lähtunud ühtsest meetodikast, võeti Suurlahe kaldajoon ja veepinna kõrguse väärtus Maa-ameti kõrgusmodelilt ning erinevus välitöödel mõõdetud veetasemega lahutati välitöödel mõõdetud

sügavusandmetest. Kõik absoluutsed kõrgused (m ü.m.p.) on töös esitatud kõrgussüsteemis EH2000, kui ei ole märgitud teisiti.



Joonis 2.3.1. Rõuge Suurjärve ja Tõhela järve sügavuskaartide interpoleerimiseks kasutatud kaldajoonte kontuurid (kollane joon) ja vastava kaldajoone kõrguse kõik kõrgusjooned (lillad jooned).

Sügavusandmete interpoleerimine sügavuskaardiks viidi läbi programmiga *ArcMap* 10.5.1. kasutades tööriista “Topo to Raster”. Lähteandmetena kasutati välitöödelt kogutud absoluutkõrgusele teisendatud sügavusandmeid ja kaldajoonele ning saarte kaldajoontele 0,5 meetri tihedusega tekitatud absoluutkõrgusandmetega punkte. Tihedast alusandmestikust tuleneva juhusliku müra silumiseks oli interpoleerimise esimeseks väljundiks 3x3 meetrise resolutsiooniga raster, mis seejärel konverteeriti 1x1 meetrise resolutsiooniga rastriks. Selle rastri iga piksli kohale tekitati punkt ning saadud 1 m tihedusega kõrguspunktide kiht eksporditi tekstifailiks. Väljastatud punktandmed omasid kolm ruumilist väärtust: asukoha koordinaadid X ja Y (*Estonia 1997 Lambert Conformal Conic* koordinaatsüsteemis) ning Z (kõrgus merepinnast, m). Samuti loodi 1x1 meetrisele rasterkihile samasügavusjooned iga meetri tagant, alustades järve veepinna kõrgusest. Igast meetrisest sügavusvahemikust moodustati omakorda polügoon.

Sügavuskaartide visualiseerimiseks loodi interpoleeritud 1x1 meetrisest rasterkihist kolmedimensiooniline mudel (3D-mudel) programmis *ArcScene* 10.5.1., kus olenevalt järve suurusest ja sügavusest võimendati vertikaalset mõõdet 2–20 korda. Samuti loodi järvedele samakõrgusjoontega sügavuskaardid, mida viimistleti kasutades programmi *CorelDRAW X5*.

2.4. Morfomeetrilised parameetrid

Järvede morfomeetrilised parameetrid saadi kas otseste mõõtmiste kaudu või läbi andmete töötamise ja arvutuste programmis *ArcMap* 10.5.1.

Veepinna kõrgus (m ü.m.p. kõrgussüsteemis EH2000) - veepinna kõrgus, ehk järvede veetaseme tuletati Maa-ameti geoportaalil oleva 1x1 m resolutsiooniga maapinna kõrgusmudeli andmetest. Veepinna kõrguseks valiti kõige madalaim samakõrgusjoon, mis joonistus ümber järvenõo. Vaata täpsemalt peatükk 2.3.

Suurim pikkus (m) - kahe teineteisest kõige kaugema kaldajoone punkti vaheline kaugus linnulennult (punktide vahelisele joonele võib jääda nii saari kui ka maismaad). Maksimaalne punktide vaheline kaugus leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt tuletatud järve polügoonilt, kasutades tööriistu "Minimum bounding geometry" (Convex hull) ja "Generate near table".

Laine ajutee (m) - suurim sirgjooneline distant järve veepeegli, mille teele ei jää saari ega maismaad. Mõõtmised tehti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt tuletatud järve polügoonilt käsitsi.

Suurim laius (m) - kahe teineteisest kõige kaugema kaldajoone punkti vaheline kaugus linnulennult (punktide vahelisele joonele võib jääda nii saari kui ka maismaad), mis on ristiteljel järve suurima pikkuse joonega. Mõõtmised tehti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt tuletatud polügoonilt käsitsi.

Veepeegli pindala (ha/km²) - järve kogupindala ja saarte pindala vahe.

Saarte pindala (ha/km²) - järves asuvate saarte pindala. Pindalad leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt tuletatud saarte polügoonide põhjal.

Kogupindala (ha/km²) - järve ümbritseva kaldajoonega piiratud ala pindala. Pindala leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt tuletatud järve polügooni põhjal.

Veekihi pindala (ha/km²) - järve veekihtide pindala ühe meetrise sammuga alustades järve veetasemest (veepinna kõrgus). Pindalad leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt, kasutades tööriista "Surface Volume".

Suurim sügavus (m) - suurim kajaloodiga mõõdetud sügavus veepinna kõrguse suhtes. Välitöödel mõõdetud väärtusele viidi sisse helikiiruse parand.

Keskmine sügavus (m) - järve mahu ja veepeegli pindala jagatis.

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

$$Z_r = \frac{50 \times Z_m \times \sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}}$$

Z_r on suhteline sügavus, Z_m on suurim sügavus ja A_0 on järve pindala. (Wetzel, 1983)

Maht (m³) - järvenõogu täitva veemassi kogus. Maht leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt kasutades tööriista "Surface Volume".

Veekihi maht (m³) - järve veekihtide mahud ühe meetriste vahemikena alustades järve veetasemest (veepinna kõrgus). Mahud leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt kasutades tööriista "Surface Volume".

Kaldajoone pikkus (km) - järve ümbritseva kaldajoone pikkus veepinna kõrguse juures, mis on tuletatud Maa-ameti geoportaalil oleva 1x1 m resolutsiooniga maapinna kõrgusmudeli andmetest (vt ptk 2.3.). Kaldajoone pikkus leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt tuletatud kaldajoone põhjal.

Saarte kaldajoone pikkus (m) - saari ümbritseva kaldajoone pikkus veepinna kõrguse juures, mis on tuletatud Maa-ameti geoportaalil oleva 1x1 m resolutsiooniga maapinna kõrgusmudeli

andmetest (vt ptk 2.3.). Saarte kaldajoone pikkus leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt tuletatud saarte kaldajoonte põhjal.

Kaldajoone liigestatus - järve kaldajoone pikkuse ja järvega sama pindala omava ringi ümbermõõdu suhe.

$$D_l = \frac{L}{2 \times \sqrt{\pi \times A_0}}$$

D_l on kaldajoone liigestatus, L on kaldajoone pikkus ja A_0 on järve pindala. (Wetzel, 1983)

Keskmine nõlvakalle (kraadi) - leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt, kasutades tööriista "Slope".

Batümeetriline kõver - veekogu erineva sügavusega osade jagunemine pindala suhtes. Arvutatakse veekihtide pindalade ja kogu järve veepeegli pindala suhete kaudu. Veekihtide pindalad leiti *ArcMap*-is interpoleerimise tulemusena saadud rasterkihilt kasutades tööriista "Surface Volume".

Oluline on juhtida tähelepanu, et kõik need parameetrid sõltuvad olulisel määral järve veetasemest konkreetsel hetkel. Järvede veetasemed võivad looduslikest tingimustest tulenevalt kõikuda Eestis üldjuhul kuni pool meetrit, mõningatel juhtudel rohkemgi. Veelgi enam võivad veetasemed muutuda inimtegevuse tulemusena. Sõltuvalt järvenõo morfoloogiast võivad ka mõnekümnesentimeetrised veetaseme muutused tuua kaasa olulisi muutusi morfomeetrilistest näitajates. Seetõttu oleks järvede iseloomustamiseks kõige korrektsem kasutada morfomeetrilisi näitajaid, mis vastavad järvede pikaajalisele keskmisele veetasemele. Kuna Eestis on väga vähe järvi, mille kohta selline andmestik olemas on ning käesolevas töös kajastatud järved nende hulka ei kuulu, tuli ka siin morfomeetrilised näitajate arvutamise aluseks võtta üks juhuslik veetase. Valik langes järvede sügavuskaartide interpoleerimisel järve kaldajoonena kasutatud isojoone kõrguste, mitte näiteks sügavusmõõdistamiste ajal olnud veetaseme, kasuks. Põhjuseks asjaolu, et kuna eeldatavalt on tegemist järvede veetasemetega LiDAR-mõõdistamise ajal ja mõõdistamised toimuvad kevadeti, siis kajastavad need üldjuhul järvede veetasemete kõrgseisu. Üheksal juhul kümnest (v.a. Suurlaht) kinnitasid seda sügavusmõõdistamiste ajal tehtud veetaseme mõõtmised, olles madalamad kui kõrgusmudelilt leitud veetasemed. Seega võib üsna suure kindlusega väita, et käesolevas töös leitud morfomeetrilised näitajad vastavad järvede suurima (või sellele lähedase) ulatuse tingimustele ning keskmise veetaseme juures oleksid sõltuvalt parameetrist kas väiksemad (üldjuhul) või suuremad. Kuna sügavusmõõdistamised toimusid aga kogu sügise jooksul, mil järvede veetasemed taastusid suvisest madalseisust, siis ei oleks nende põhjal välja arvutatud morfomeetriliste näitajate puhul võimalik üldistada, kas need vastavad miinimum, keskmisele või maksimumveetasemetele, vaid oleksid veel juhuslikumad hetkejäädvustused. Metoodilise ühtluse nimel leiti ka Suurlahe morfomeetrilised parameetrid LiDAR-mõõdistamiste veetaseme juures, kuigi sügavusmõõdistamisel valitsenud veetase oli sellest kõrgem.

2.5. Varasemad sügavusmõõdistamise meetodid ja võimalikud kaasnevad vead

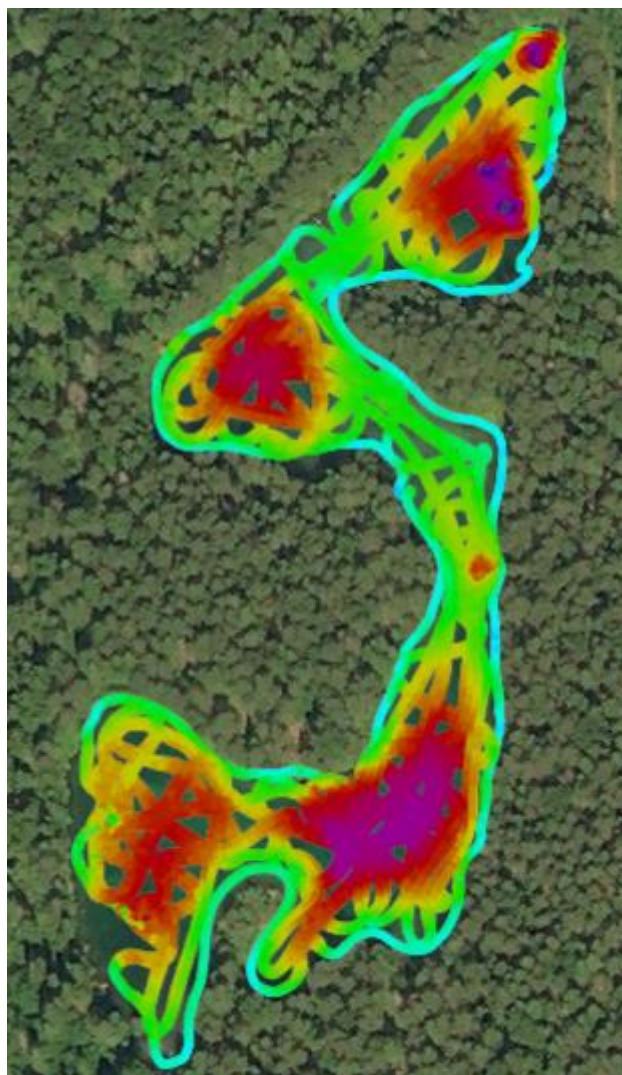
Veel eelmise sajandi teisel poolel toimus sügavuse mõõtmine 2,5 kg raskuse ja 7 cm läbimõõduga püstsilindrilise "pommiga". Nimetatud mõõteraskus lasti kas vabalt põhja langeda või määrati põhja sügavus kompamisega (Kallejärv, 1974). Madalamates järvedes (kuni 3 m) kasutati sügavuse registreerimiseks mõõtevaia. Imselgelt võib sellistel viisidel saadud tulemustes olla suur viga. Vabalt langemise korral vajus "pomm" pehmetes setetes

umbmäärasesse sügavusse 1,5 - 4,5 m (Kallejärv, 1974). Kompamise ja vaiaga kompamise korral on suur roll mõõdistaja tunnetusel ning ka siis sai sügavuse fikseerida, teadmata kui sügaval settes vai juba oli. Mõnevõrra täpsem mõõteseade on Secchi ketas või selle analoog, mille suurem pind ja väiksem kaal lubab kettal püsima jääda kohevamal settekihil.

3. Tulemused

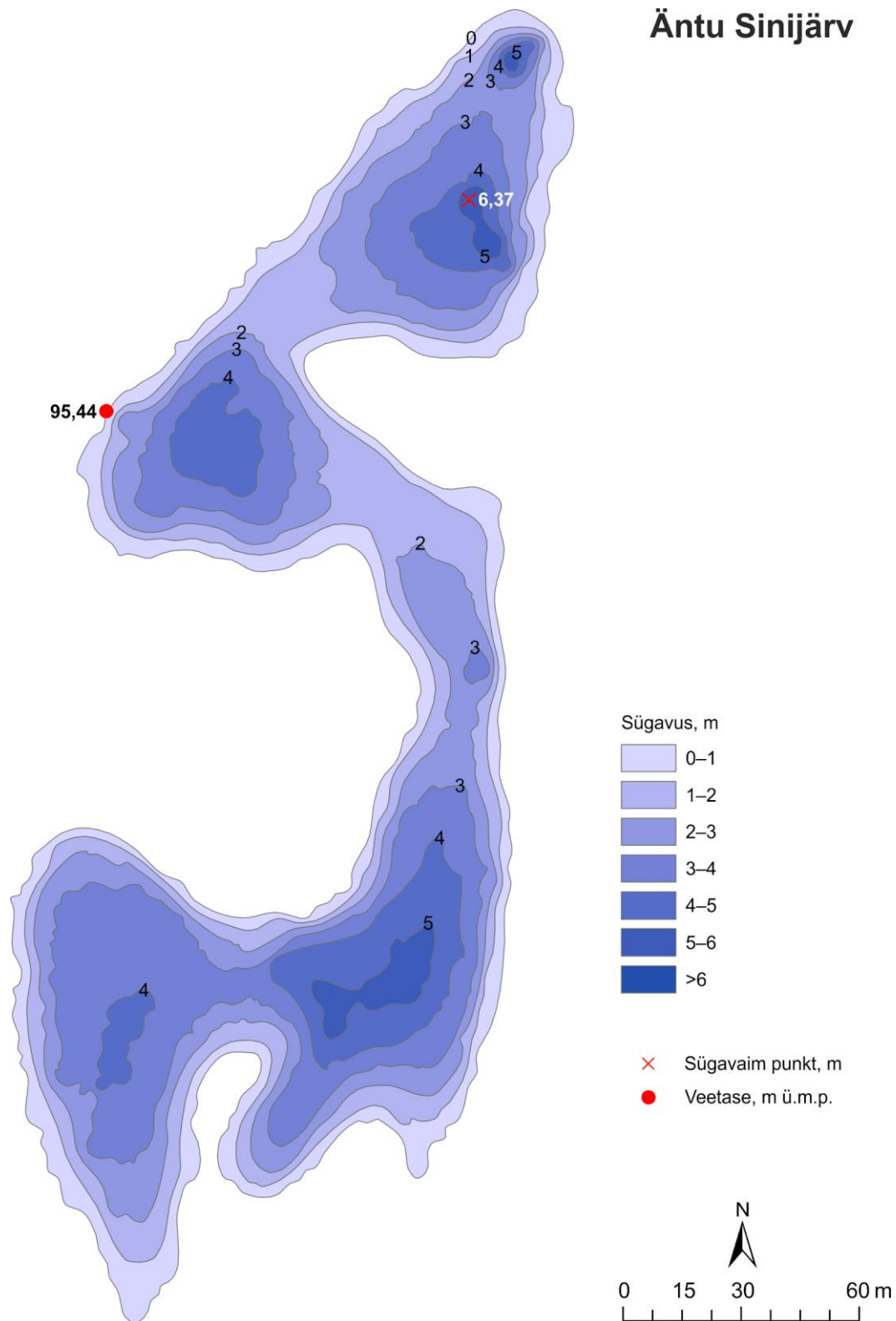
3.1. Äntu Sinijärv

Välitööd viidi läbi 27.09.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 5,5 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 31 460 sügavuspunkti (Joonis 3.1.1.). Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 95,28 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 9,0 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmudelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.1.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.1.3.). Maa-ameti kõrgusmudeli aluseks olnud LiDAR-andmed koguti 14.04.2018.

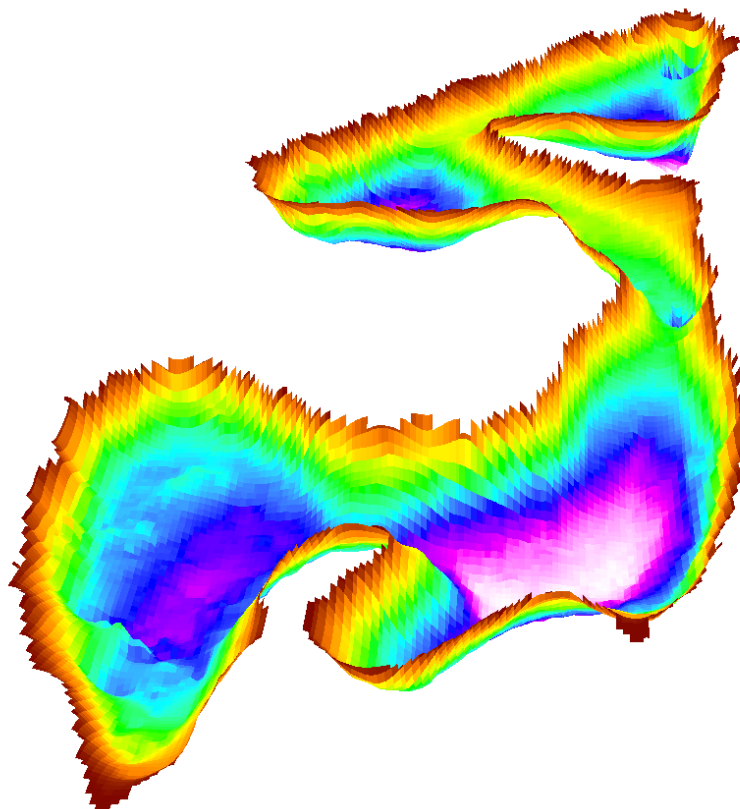


Joonis 3.1.1. Äntu Sinijärve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).

Äntu Sinijärv



Joonis 3.1.2. Äntu Sinijärve sügavuskaart veetaseme 95,44 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.1.3. Äntu Sinijärve 3D-mudel 5x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

Äntu Sinijärv on väike järv (2 ha), mida iseloomustab keerukas ja kitsas kuju, mis väljendub ka järve kaldajoone liigestatuse suures väärtuses (Joonis 3.1.2.; Tabel 3.1.1.). Oma suuruse kohta on järv kohati üsna sügav, kokku leidub kolm ala, kus sügavus ulatub üle viie meetri. Seetõttu on ka järve keskmine nõlvakalle suur, ulatudes üle 10 kraadi. Sügavamad kohad jäävad järve põhjaossa ning on moodustunud allikate aukudesse. Äntu Sinijärve batümeetriline kõver on üsna lineaarne ja valdav osa järve pindalast ning mahust jääb ülemise kahe meetri sisse (Tabelid 3.1.2.; Joonis 3.1.4.).

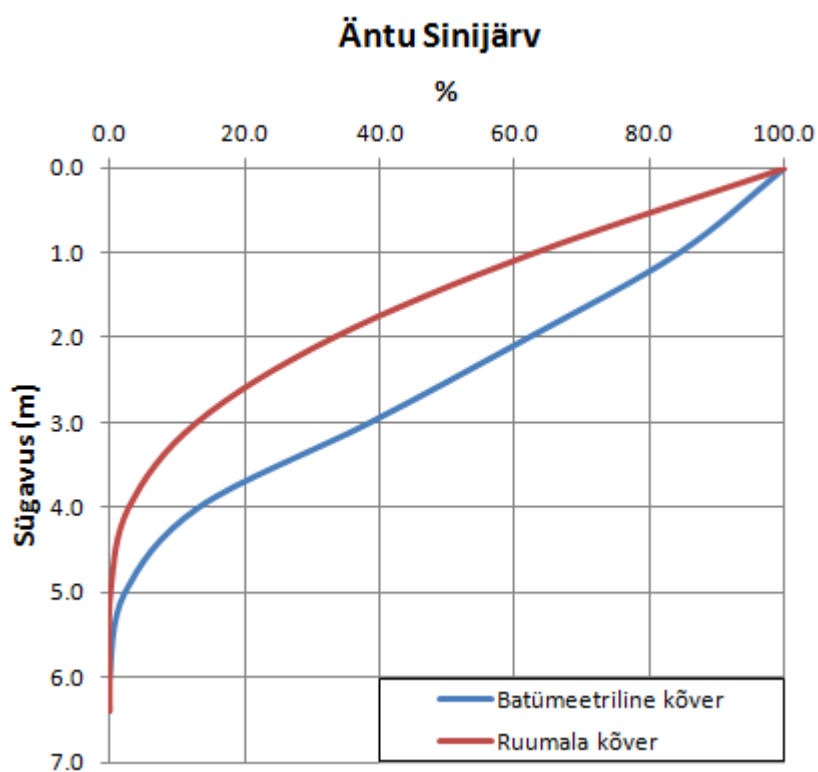
Tabel 3.1.1. Äntu Sinijärve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	95,44
Suurim pikkus (m)	345
Laine ajutee (m)	185
Suurim laius (m)	120
Veepeegli pindala (ha/km ²)	2,0/0,02
Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	2,0/0,02
Suurim sügavus (m)	6,37
Keskmine sügavus (m)	2,4
Suhteline sügavus (%)	4,0
Maht (m ³)	48 000

Kaldajoone pikkus (km)	1,20
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	2,40
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	11,0

Tabel 3.1.2. Äntu Sinijärve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	2,0	0,020	0–1	178 200
1	1,6	0,016	1–2	14 300
2	1,2	0,012	2–3	9700
3	0,7	0,007	3–4	4800
4	0,3	0,003	4–5	1300
5	<0,1	0,000	5–6	70
6	<0,1	0,000	>6	<1



Joonis 3.1.4. Äntu Sinijärve batümeetriline ja ruumala kõver.

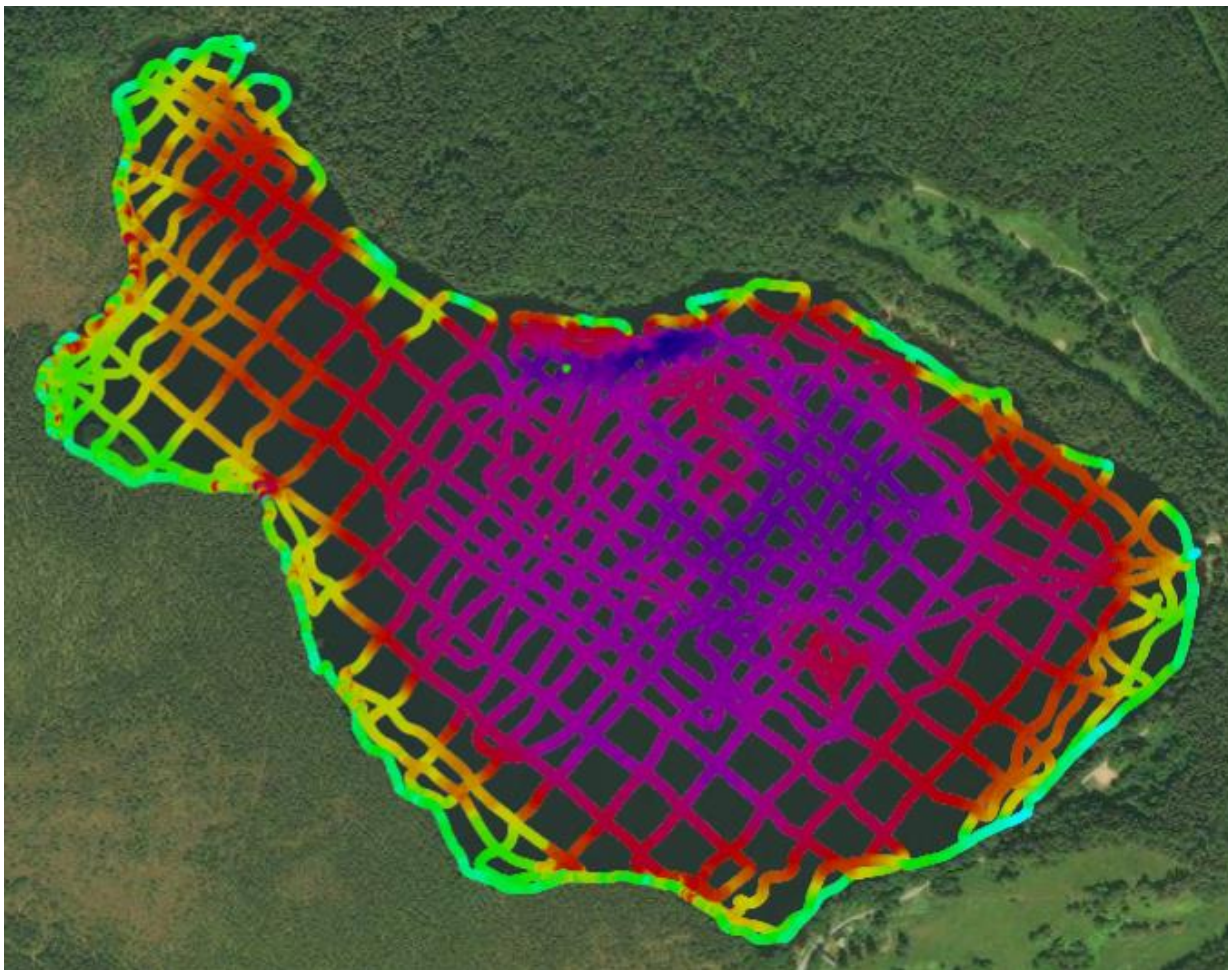
Kõige põhjalikumad varasemad andmed Äntu Sinijärve kohta on avaldanud Kask (1964) (Tabel 3.1.3.). Tänapäeva ja 1964. aasta andmete vahel esineb mõningaid erinevusi: veetase oli toona ca 60 cm madalam, järve maksimaalne pikkus ja pindala olid see-eest suuremad. Kask (1964) andmetes aga puudub maksimaalse sügavuse väärtus. Äntu Sinijärve kohta on varasemast (Mäemets, 1977) teada, et suurim sügavus, mis asus järve põhjaosa allikaaugu kohal on 8 m (kahjuks puudub teave mõõtmisaja ja mõõtja kohta, seetõttu ei ole seda väärtust lisatud tabelisse 3.1.3.), sealjuures sügavas piirkonnas oli valdavaks väärtuseks 6 m. Käesoleva töö raames saime maksimaalseks sügavuseks 6,37 m. Mäemets (1977) andmetest ei tule aga välja, millal, kelle poolt ja mis meetodikaga on antud suurim sügavus saadud. Välitöödel oli Äntu järvele iseloomulikus selges vees hästi näha allikaaukudesse kukkunud rohkeid puunotte/tüvesid, kuid 2 meetrist sügavuse erinevust see ei seleta. Kuna Mäemets (1977) andmetest veepinna kõrgust ei ole antud, saaks teoretiseerida, et veetase oli 2 meetrit kõrgem, kuid sellisel juhul oleks pidanud olema järve ümbritsev valgla laialdaselt üleujutatud, mis ei ole realistlik. Pigem on siiski tegu mõõtmismetoodikate erinevusest tuleneva veaga (kuigi üllatavalt suure veaga) või mõõtmisseadme sisenemisega settesse/allikaaukku, mida sonari andmed ei kajastanud. Erinevused väärtustes on mõningal määral vastuolulised ka Kask (1964) andmetega. Kuigi Kask (1964) mõõtmiste aegne veetase oli ca 60 cm madalam, on järve maksimaalne pikkus ja pindala saadud suuremad kui 2019. aasta mõõdistamistel. Järve pikkuse erinevus võib osaliselt tuleneda järve konfiguratsiooni keerukusest. Kuna Äntu Sinijärv on S tähe kujuline, siis tõenäoliselt mõõdeti järve pikkus mööda veepeeglit ja saadi suurem maksimaalne pikkus kui käesoleva töö meetodikat kasutades (vt peatükk 2.4.). Mõningane pindalaline erinevus võib osaliselt tuleneda järve maastumise protsessidega, kuid välistada ei saa ka mõõtmise ja arvutuste vigu ja täpsust. Kuna vanad andmed on üsna lünklikud ja kohati vastuolulised, siis ei saa teha kindlaid järeldusi järve ajalooliste muutuste kohta ega nende mõjust järve ökosüsteemile.

Tabel 3.1.3. Äntu Sinijärve morfoomeetrilised parameetrid Kask (1964) järgi. Veepinna kõrgus kõrgussüsteemis EH2000 on lisatud sulgudes

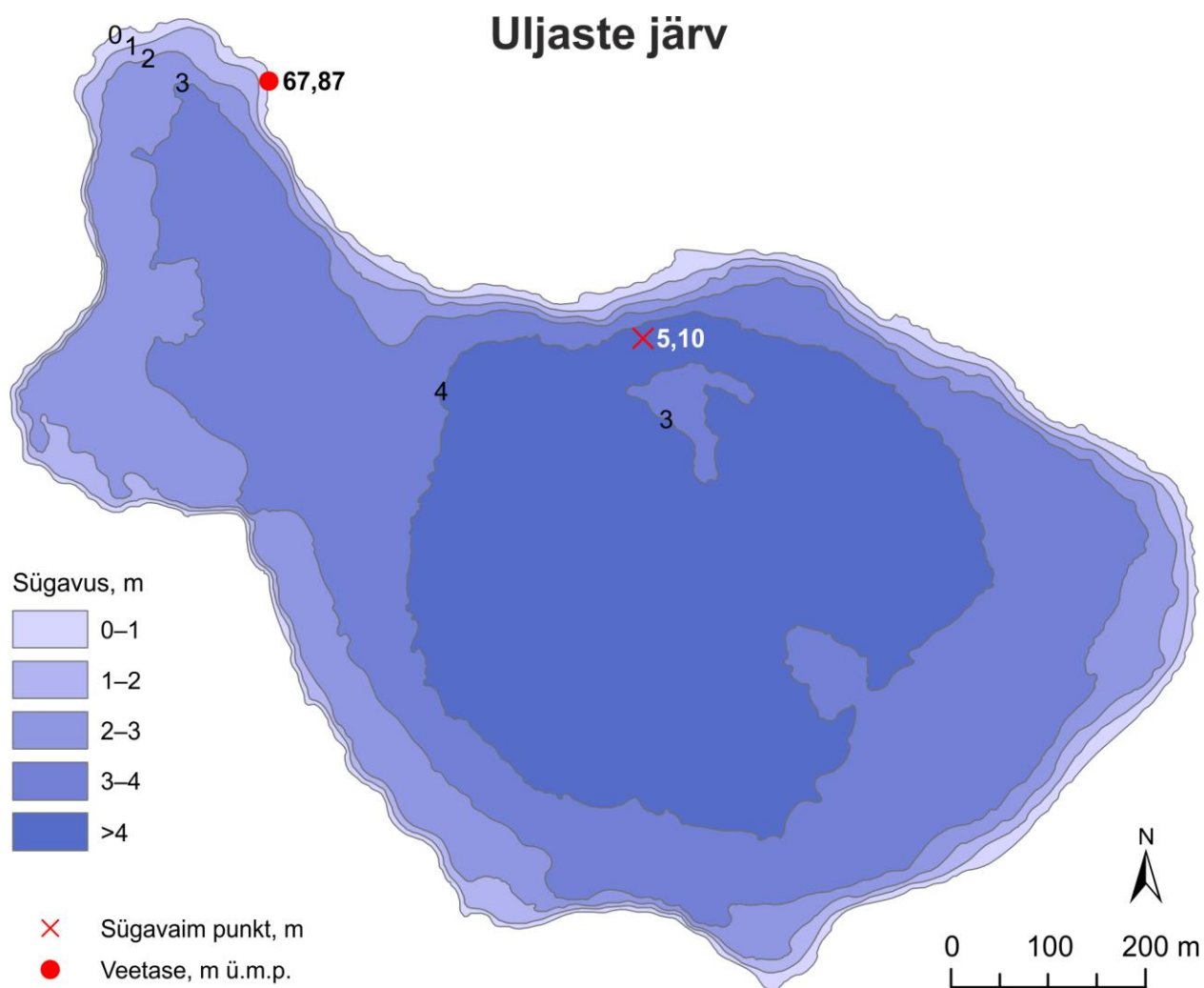
Aeg/Viide	Kask (1964)
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	94,6 (94,8)
Suurim pikkus (m)	430
Laine ajutee (m)	-
Suurim laius (m)	120
Veepeegli pindala (ha/km ²)	2,4/0,02
Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	2,4/0,02
Suurim sügavus (m)	-
Keskmine sügavus (m)	-
Suhteline sügavus (%)	-
Maht (m ³)	-
Kaldajoone pikkus (km)	1,23
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	2,23
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	-

3.2. Uljaste järv

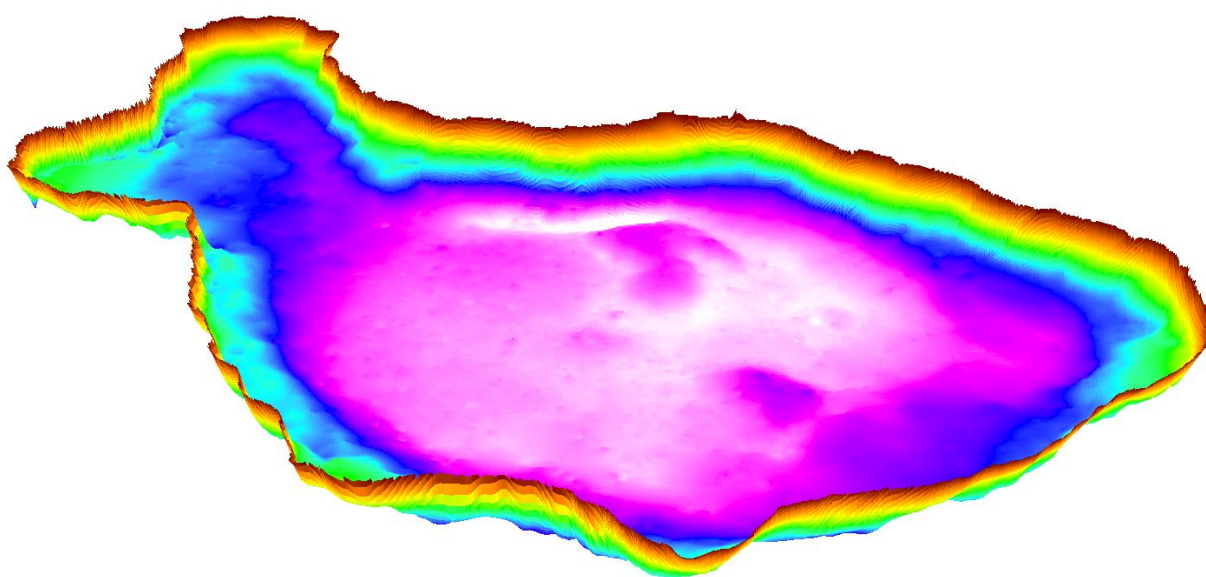
Välitööd viidi läbi 03.10.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 35,7 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 119 630 sügavuspunkti (Joonis 3.2.1.). Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 67,22 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 10,1 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmudelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.2.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.2.3.). Maa-ameti kõrgusmudeli aluseks olnud Lidar-andmed koguti 07.05-08.05.2018.



Joonis 3.2.1. Uljaste järve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).



Joonis 3.2.2. Uljaste järve sügavuskaart veetaseme 67,87 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.2.3. Uljaste järve 3D-mudel 20x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

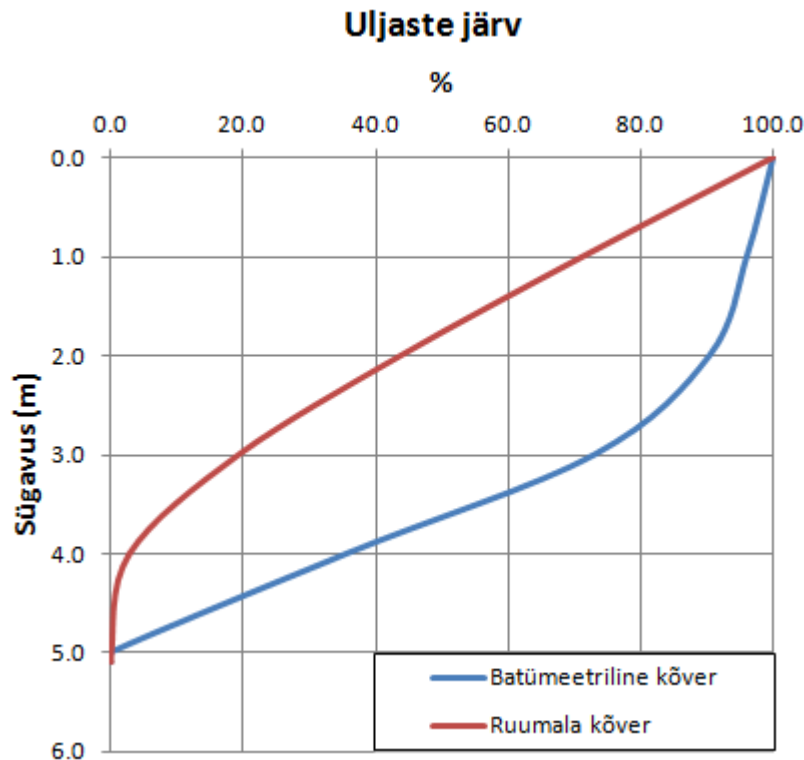
Uljaste järv on keskmise suurusega (63,7 ha) kagu-loode suunas kergelt pikliku kujuga kausjas järv, mida iseloomustab kaldajoone väike liigestatus (Joonis 3.2.2.; Tabel 3.2.1.). Järve sügavam ala on suur ja ühtlane, mille tõttu on ka keskmine sügavus võrreldes maksimaalse sügavusega suhteliselt suur. Järve loode ja läänekalda moodustab valdavalt õõtsik, mille tõttu on kohe kaldajoonel suured nõlvakalded. Järsud nõlvad ja suur keskmine sügavus väljendub ka batümeetrilisel kõveral (Tabel 3.2.2.; Joonis 3.2.4.), kus on näha, et ca 90% järve pindalast on sügavamal kui 2 meetrit ja batümeetiline kõver muutub laugemaks alates 3 meetri sügavuselt, iseloomustades järve suurt ja sügavat ala.

Tabel 3.2.1. Uljaste järve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	67,87
Suurim pikkus (m)	1295
Laine ajutee (m)	1275
Suurim laius (m)	750
Veepeegli pindala (ha/km ²)	63,7/0,64
Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	63,7/0,64
Suurim sügavus (m)	5,10
Keskmine sügavus (m)	3,4
Suhteline sügavus (%)	0,6
Maht (m ³)	2 162 200
Kaldajoone pikkus (km)	3,85
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	1,36
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	1,4

Tabel 3.2.2. Uljaste järve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	63,7	0,637	0–1	621 800
1	61,0	0,610	1–2	594 600
2	57,4	0,574	2–3	528 400
3	46,4	0,464	3–4	357 900
4	22,6	0,226	4–5	59 500
5	<0,1	0,000	>5	<1



Joonis 3.2.4. Uljaste järve batümeetriline ja ruumala kõver.

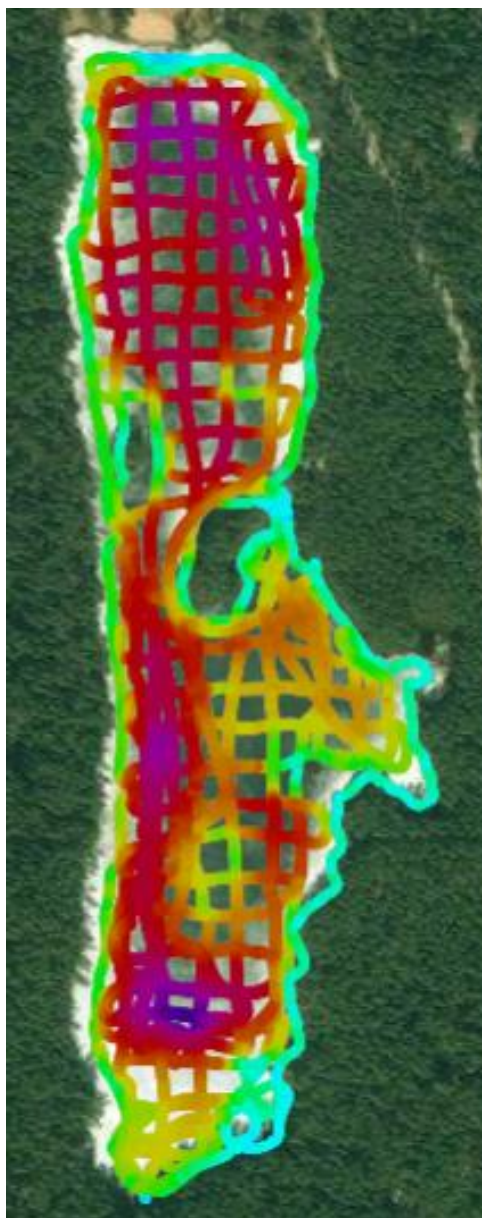
Põhjalikud andmed Uljaste järve kohta on avaldanud Kask (1964). Suurelt jaolt kattuvad morfomeetrilised andmed 2019. aastal tehtud mõõtmistega, nagu näiteks suurim pikkus, laius, pindala, kaldajoone pikkus ja kaldajoone liigestatus. Erinevused esinevad aga veepinna kõrguses, keskmises ja maksimaalses sügavuses ning mahus. Kui võrrelda veepinna kõrgusi, siis esmapilgul on erinevus suur, samas tuleb meele pidada, et antud töö raames saadud veepinna kõrgus on võetud LiDAR-i andmetest, mis on kogutud kevadel kõrgvee perioodil. Kui vaadata 2019. aasta sügisel välitöödel saadud veepinna kõrgust (67,22 m ü.m.p.), siis on erinevus Kask (1964) andmetega kõigest 22 cm. Ka erinevus mahus tuleneb erinevusest LiDAR-veepinna kõrgusest. Kui arvestada, et ülemise 1 meetrise veekihi maht on 621 800 m³, klapiks järve ruumala võrdsetel veepinna kõrgustel üsna hästi. Ehk, et antud töö raames saadud morfomeetrilised näitajad on saadud järve maksimaalse veepinna kõrguse juures. Keerulisem on seletada erinevust maksimaalses veesügavuses. Kuigi antud töö raames on veepinna kõrgus Kask (1964) andmetega võrreldes 87 cm kõrgem, on tolleaegne maksimaalne veesügavus 1,3 meetrit suurem. Koos veepinna kõrguse erinevusega, teeb see sügavuse erinevuseks kogunisti ca 2,2 meetrit. Ei ole mõeldav, et erinevus tuleneks intensiivsest sette akumulatsioonist, pigem on tegu mõõtmismetoodikate erinevusest tuleneva mõõtmisveaga. Ennist mõõdeti sügavusi tihti kas pika latiga või nõöri otsa kinnitatud rakusega - mõlemal juhul võib mõõteseadet vajuda mõnevõrra settesse, kuigi tuleb märkida, et erinevus on ebareaalselt suur. Olemasolevate andmete võrdluse puhul tuleb tõdeda, et järve batümeetria ei ole lähiajaloo jooksul muutunud ja järve veetasemetest ja morfomeetriast tulenevat mõju ökosüsteemile ei saa tuvastada.

Tabel 3.2.3. Uljaste järve morfomeetrilised parameetrid Kask (1964) järgi. Veepinna kõrgus kõrgussüsteemis EH2000 on lisatud sulgudes

Aeg/Viide	Kask (1964)
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	66,8 (67,0)
Suurim pikkus (m)	1270
Laine ajutee (m)	-
Suurim laius (m)	750
Veepeegli pindala (ha/km ²)	62,9/0,63
Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	62,9/0,63
Suurim sügavus (m)	6,4
Keskmine sügavus (m)	2,2
Suhteline sügavus (%)	-
Maht (m ³)	1 383 800
Kaldajoone pikkus (km)	3,70
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	1,37
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	-

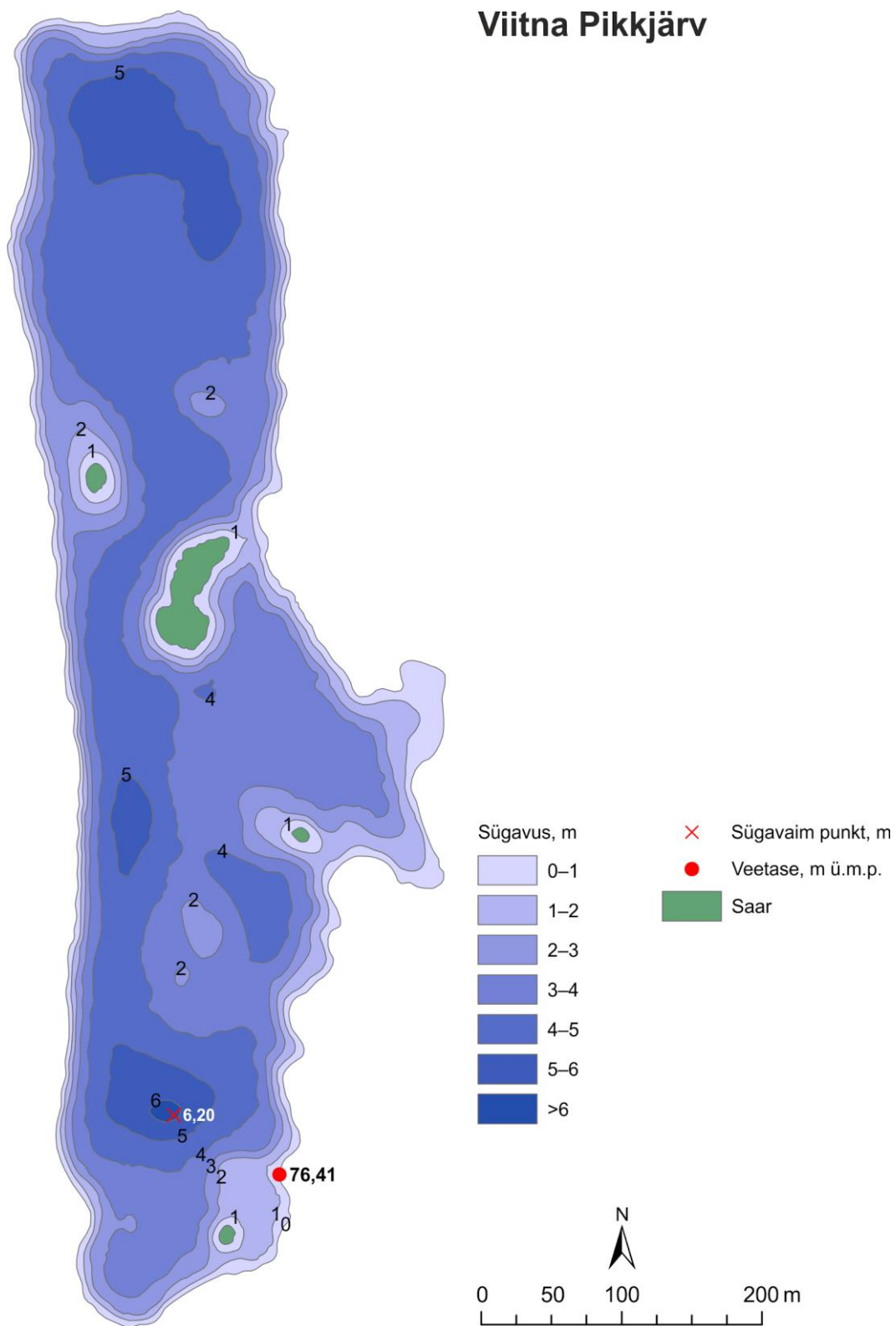
3.3. Viitna Pikkjärv

Välitööd viidi läbi 04.10.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 15,7 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 92 785 sügavuspunkti (Joonis 3.3.1.). Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 75,76 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 10,3 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmudelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.3.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.3.3.). Maa-ameti kõrgusmudeli aluseks olnud LiDAR-andmed koguti 06.05.2018.

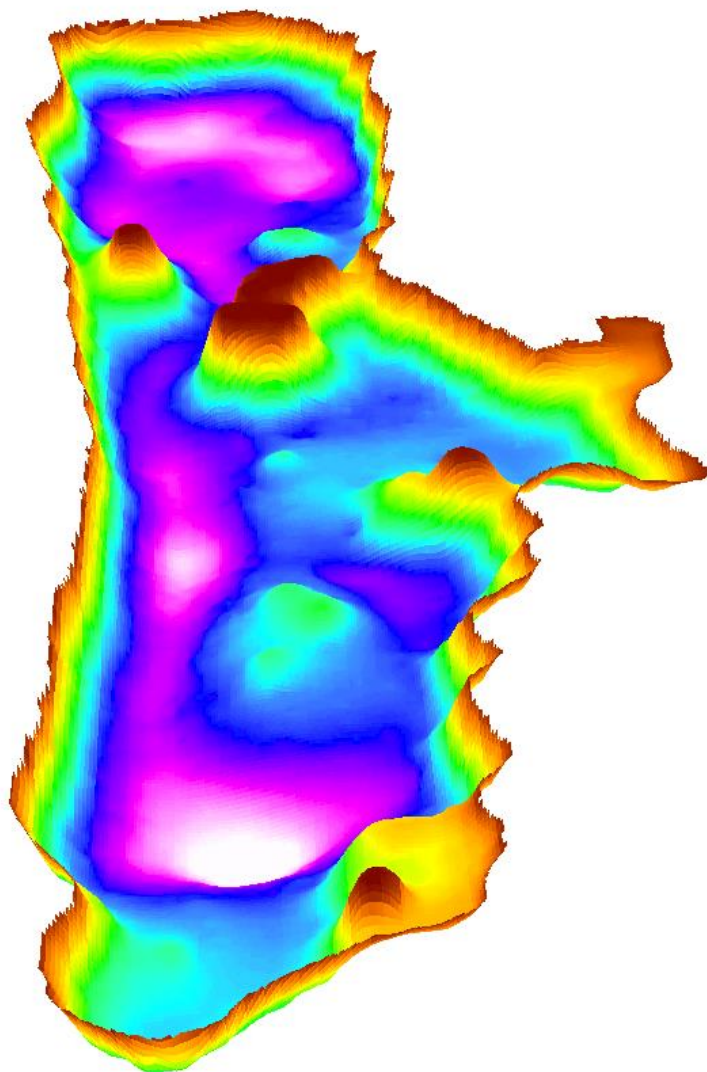


Joonis 3.3.1. Viitna Pikkjärve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).

Viitna Pikkjärv



Joonis 3.3.2. Viitna Pikkjärve sügavuskaart veetaseme 76,41 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.3.3. Viitna Pikkjärve 3D-mudel 10x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

Viitna Pikkjärv on väike (16,6 ha) põhja-lõuna suunaline piklik järv (Joonis 3.3.2.; Tabel 3.3.1.). Järves asub neli väikest saart (kogupindala 0,3 ha) ning kolm sügavamat ala, mis kulgevad piki põhja-lõuna suunda. Sügavaim ala asub järve lõunaosas, kus sügavuseks on maksimaalselt 6,2 meetrit. Järve batümeetrilist kõverat iseloomustab kaks osa: kuni 3 meetri sügavuseni on kukkumine järsk ning sinna vahemikku jääb vaid ca 30% järve pindalast ja järgneva 3 sügavusmeetri sisse jääb 70% järve pindalast (Tabel 3.3.2.; Joonis 3.3.4.).

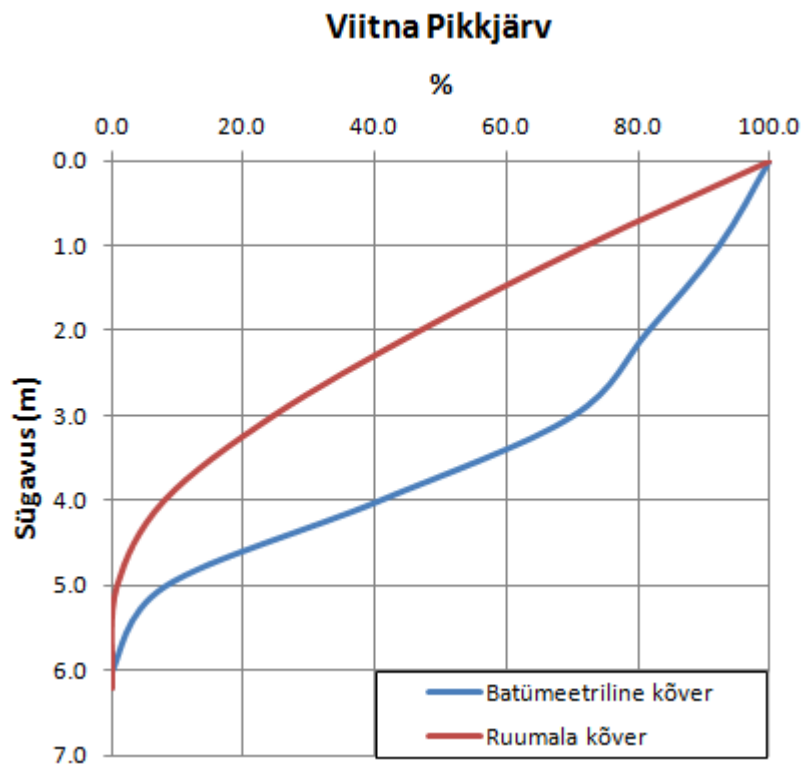
Tabel 3.3.1. Viitna Pikkjärve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	76,41
Suurim pikkus (m)	940
Laine ajutee (m)	935
Suurim laius (m)	260
Veepeegli pindala (ha/km ²)	16,3/0,16
Saarte pindala (ha/km ²)	0,3/0,003

Kogupindala (ha/km ²)	16,6/0,17
Suurim sügavus (m)	6,20
Keskmine sügavus (m)	3,4
Suhteline sügavus (%)	1,4
Maht (m ³)	555 400
Kaldajoone pikkus (km)	2,41
Saarte kaldajoone pikkus (m)	360
Kaldajoone liigestatus	1,69
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	4,4

Tabel 3.3.2. Viitna Pikkjärve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	16,3	0,163	0–1	156 100
1	14,9	0,149	1–2	140 300
2	13,2	0,132	2–3	123 600
3	11,3	0,113	3–4	92 000
4	6,6	0,066	4–5	39 500
5	1,3	0,013	5–6	3900
6	<0,1	0,000	>6	20



Joonis 3.3.4. Viitna Pikkjärve batümeetiline ja ruumala kõver.

Varasemalt on Viitna Pikkjärve kohta avaldatud morfomeetrilisi andmeid kahes allikas: Kask (1964) ja Mäemets (1968) (Tabel 3.3.3.). Kuna neis allikates kõik väärtused peale maksimaalse sügavuse kattuvad, on nad esitatud ühtsete andmetena tabelis 3.3.3. Võrreldes vanu andmeid käesoleva töö raames saadud andmetega, selgub et peaaegu kõik järve morfomeetrilised parameetrid on praktiliselt võrdselt väärtustega. Üllatavalt on aga erinevus veepinna kõrguses, mis vanade andmete järgi oli 1,8 meetrit madalam. Kuna ei ole võimalik, et peaaegu kaks meetrit madalama veetasemega oleksid muud järve parameetrid samad, mis tänapäeval, siis tuleb järeldada, et varasemad veepinna kõrguse andmed on lihtsalt valed, kas siis mõõtmisvea või inimliku eksituse tõttu. Segadust lisab veel Mäemets (1968) maksimaalse sügavuse väärtus, mis on 1,25 meetrit rohkem kui Kask (1964) ja käesoleva töö andmetes. Taaskord tuleb rõhuda võimalikule erinevusele, mis tuleneb mõõtmismetoodikate erinevusest. Olemasolevate andmete võrdluse põhjal ei ole Viitna Pikkjärves toimunud olulisi muutusi morfomeetrilistes parameetrites.

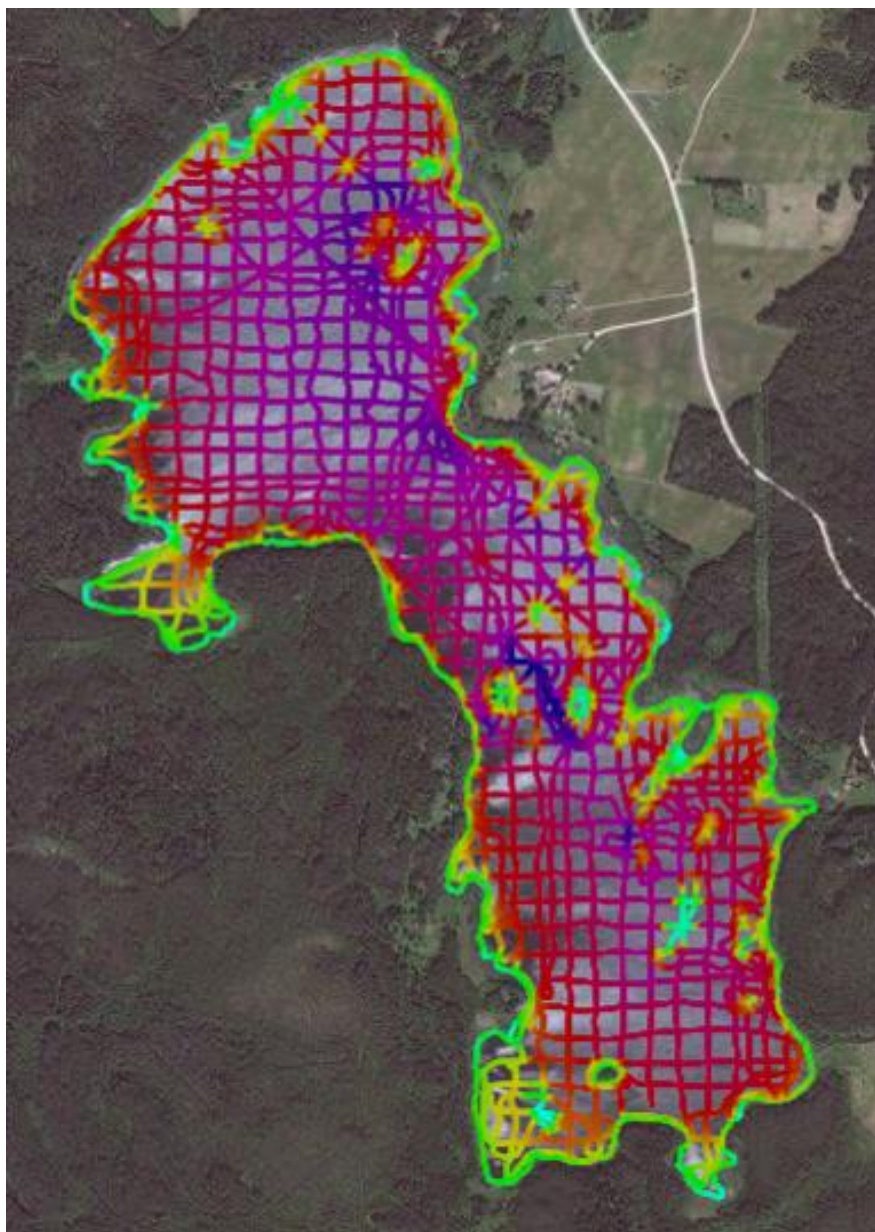
Tabel 3.3.3. Viitna Pikkjärve morfomeetrilised parameetrid Kask (1964) järgi. Mäemets (1968) maksimaalse sügavuse väärtus ja veepinna kõrgus kõrgussüsteemis EH2000 on antud sulgudes

Aeg/Viide	Kask (1964)
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	74,4 (74,62)
Suurim pikkus (m)	940
Laine ajutee (m)	-
Suurim laius (m)	250
Veepeegli pindala (ha/km ²)	16,3/0,16

Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	-
Suurim sügavus (m)	6,2 (7,45)
Keskmine sügavus (m)	-
Suhteline sügavus (%)	-
Maht (m ³)	-
Kaldajoone pikkus (km)	2,30
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	1,67
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	-

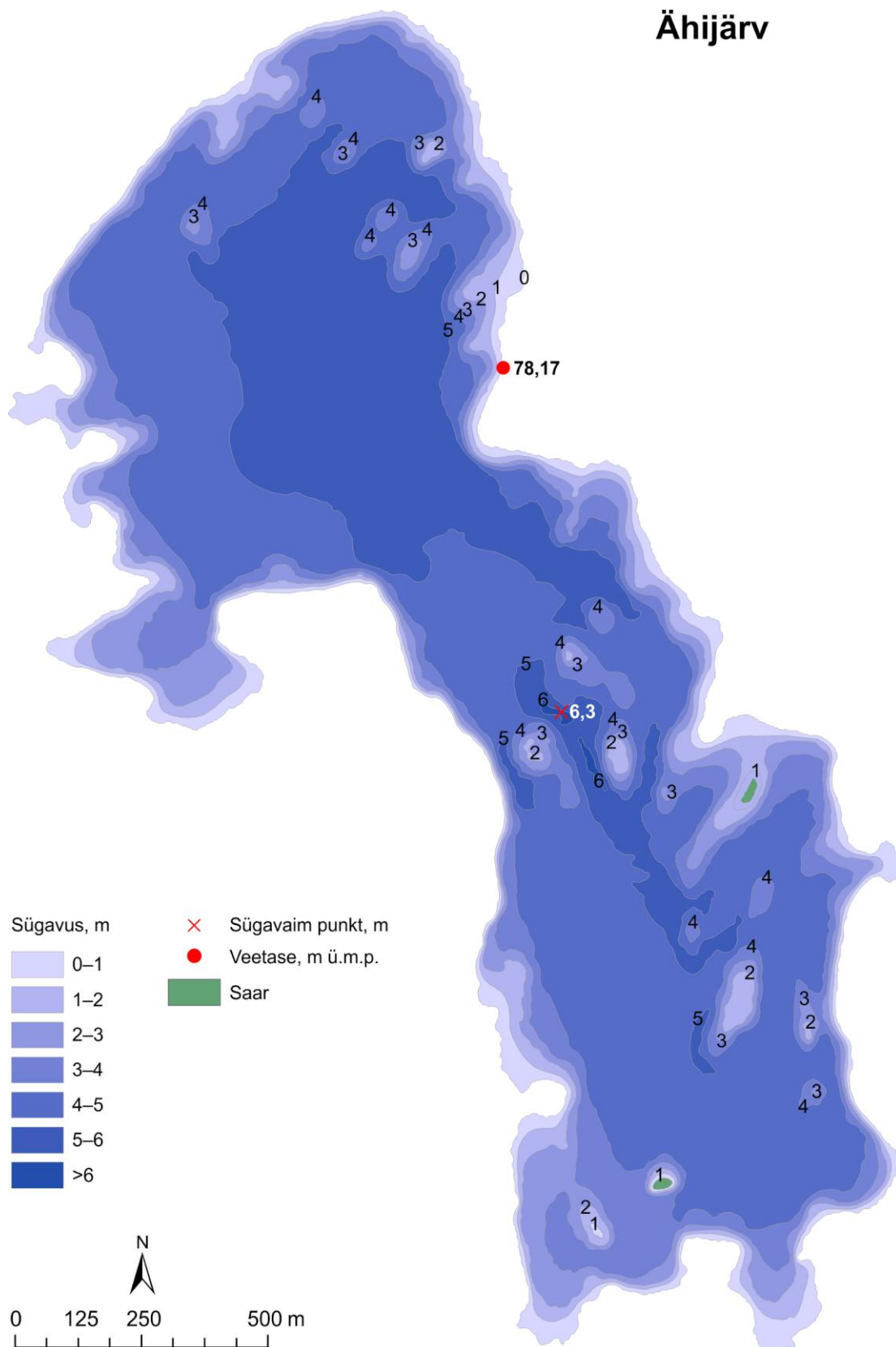
3.4. Ähijärv

Välitööd viidi läbi 09.-12.10.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 95,5 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 293 247 sügavuspunkti (Joonis 3.4.1.). Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 77,73 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 8,9 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmudelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.4.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.4.3.). Maa-ameti kõrgusmudeli aluseks olnud LiDAR-andmed koguti 05.06-09.06.2015.

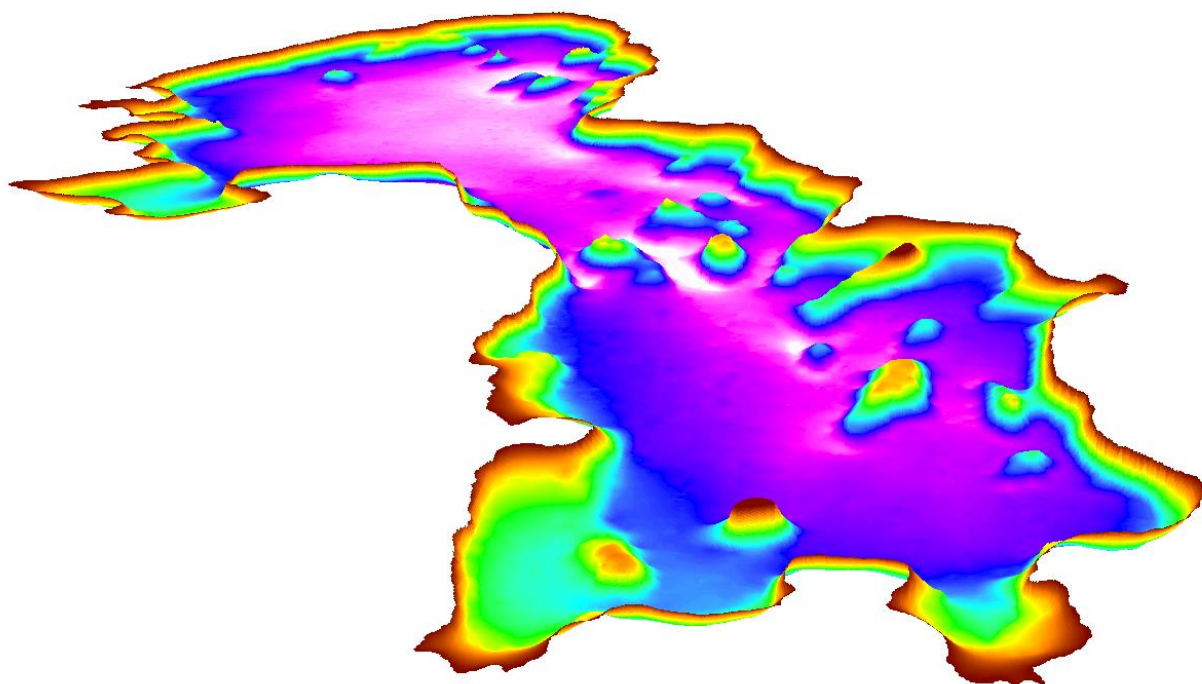


Joonis 3.4.1. Ähijärve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).

Ähijärv



Joonis 3.4.2. Ähijärve sügavuskaart veetaseme 78,17 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.4.3. Ähijärve 3D-mudel 10x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

Ähijärv on suhteliselt suur (191 ha) kagu-loode suunaline keerulise konfiguratsiooniga järv. Järves on kaks väikest saart (kogupindala 0,1 ha) ja ohtralt madalikke (ca 20) (Joonis 3.4.2.). Järve kaldajoon on tüslik, mis väljendub ka kaldajoone liigestatuse suures väärtuses (Tabel 3.4.1.). Ähijärve võib tinglikult jaotada kahte eriilmelisse ossa: keskmiselt madal ja keerukam lõunaosa ning mõnevõrra sügavam ja kausjam põhjaosa. Sügavaim punkt jääb nende kahe järveosa ülemineku ossa ohtrate madalike vahele, ulatudes maksimaalselt 6,3 meetrini. Järves kukub sügavus järsult: 40% järve pindalast on kuni 4 meetri sügavusel ja 60% pindalast järgneva 2 meetri sees (Tabel 3.4.2.; Joonis 3.4.4.) ning keskmine sügavus on 3,9 meetrit (Tabel 3.4.1.).

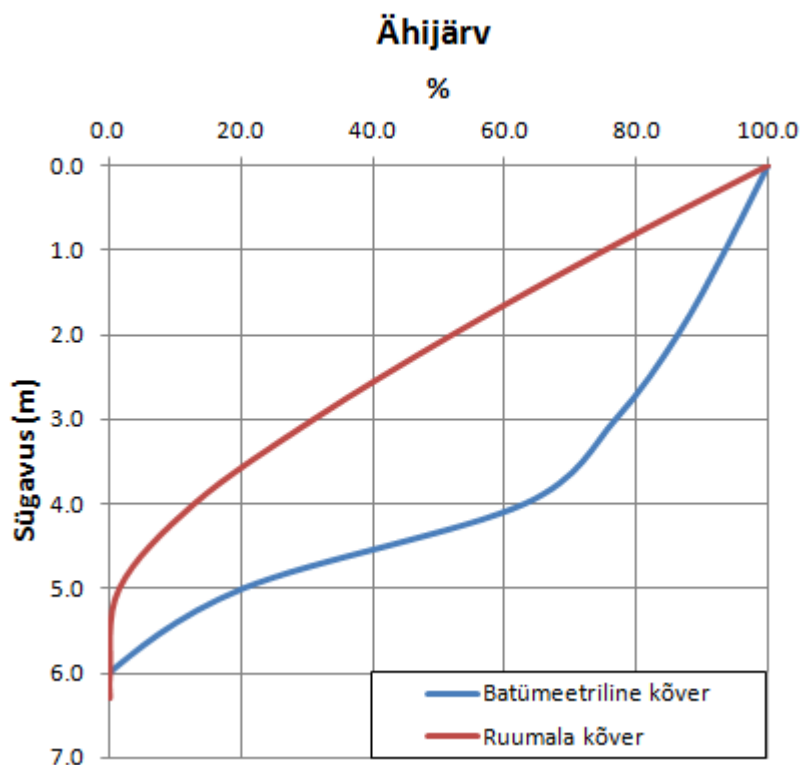
Tabel 3.4.1. Ähijärve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	78,17
Suurim pikkus (m)	2790
Laine ajutee (m)	2790
Suurim laius (m)	1110
Veepeegli pindala (ha/km ²)	191,0/1,91
Saarte pindala (ha/km ²)	0,1/0,001
Kogupindala (ha/km ²)	191,1/1,91
Suurim sügavus (m)	6,30
Keskmine sügavus (m)	3,9
Suhteline sügavus (%)	0,4
Maht (m ³)	7 401 900
Kaldajoone pikkus (km)	10,45

Saarte kaldajoone pikkus (m)	220
Kaldajoone liigestatus	2,13
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	1,7

Tabel 3.4.2. Ähijärve veekihtide pindalad ja mahud

veekiht (m)	veekihi pindala		sügavuse vahemik (m)	vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	191,0	1,910	0–1	1 834 800
1	177,9	1,779	1–2	1 715 400
2	164,2	1,642	2–3	1 557 300
3	146,3	1,463	3–4	1 346 200
4	120,1	1,201	4–5	842 200
5	39,0	0,390	5–6	105 800
6	0,2	0,002	>6	200



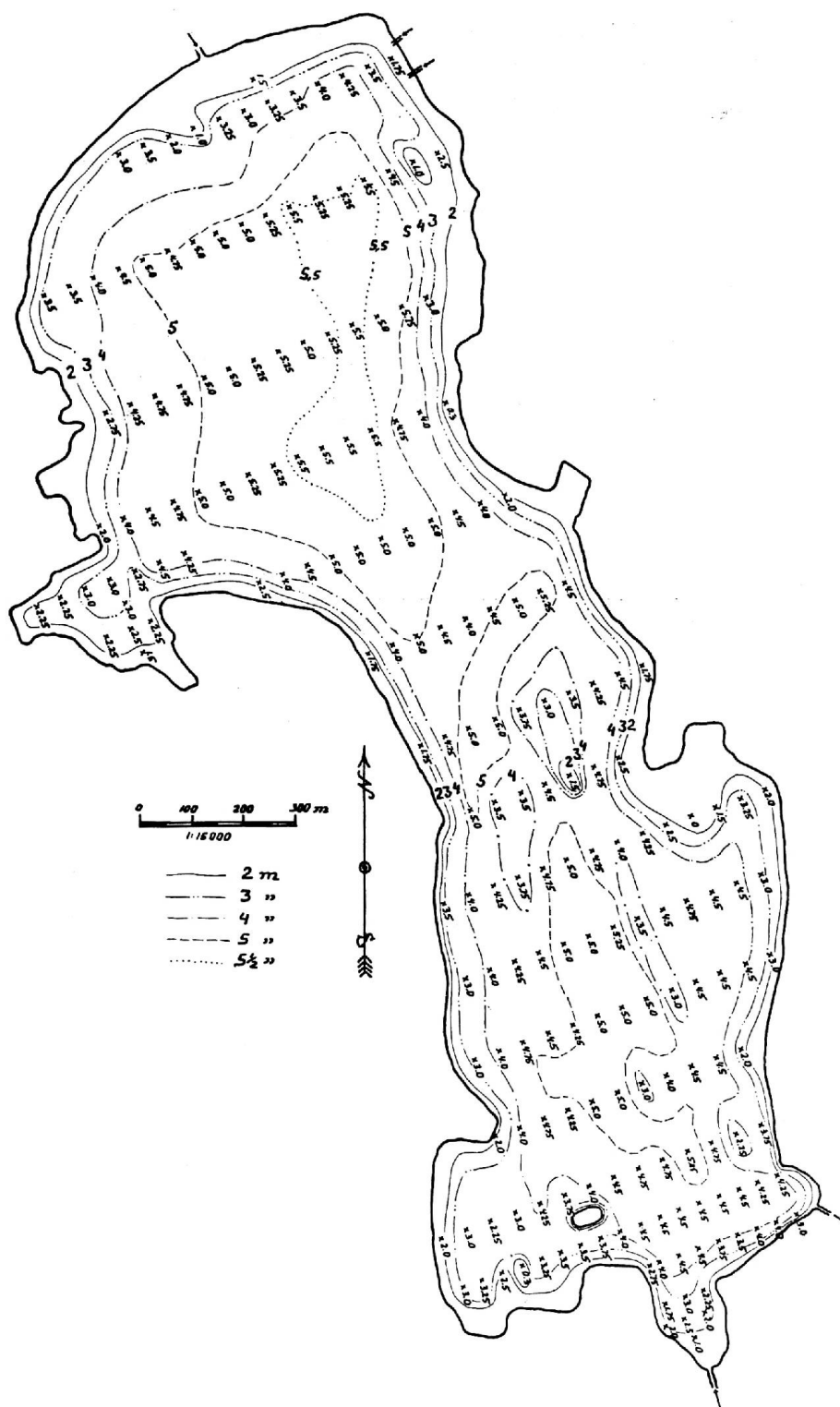
Joonis 3.4.4. Ähijärve batümeetriline ja ruumala kõver.

Varasemad batümeetrilised mõõdistused ja morfomeetriliste parameetrite andmed Ähijärve kohta on avaldatud Riikoja (1930) ja Kask (1964) poolt (Tabel 3.4.3.). Lisaks on 1929. aastast olemas ka sügavuskaart (Joonis 3.4.5.) (Riikoja, 1930). Kuigi H. Riikoja poolt 1929. aastal mõõdetud andmetes pole antud veetaseme kõrgust (Riikoja, 1930), on morfomeetriliste

parameetrite väärtuseid vaadates näha, et järve veepinna kõrgus on olnud mõningal määral madalam: järve pikkus, laius, suurim sügavus ja maht on väiksemad. Kask (1964) andmetes on veepinna kõrguse väärtus olemas, mis jääb 72 sentimeetrit alla käesoleva töö LiDAR andmete põhjal määratud veetasemest (samal kõrguse vahe 2019 aasta sügisel välitööde käigus mõõdetud veetasemega on väiksem, vaid 28 sentimeetrit). Seega drastilisi muutusi järve veetasemetes ja morfomeetrilistes parameetrites pole aset leidnud. Nii Riikoja (1930) kui ka Kask (1964) andmetes on järve maksimaalne sügavus väiksem kui antud töö raames mõõdetud. Riikoja (1930) aasta kaarti vaadates on näha, et sügava ala lähedalt on jooksnud kaks mõõtmistransketi, kuid on võimalik, et kõige sügavamale alale ei saadud pihta (Joonis 3.4.5.). Samuti on tänapäevase kaardiga võrdluses näha, et peamine erinevus esineb veel madalike arvus ja kõrgusjoonte kujus, mis on ilmselt tingitud mõõtmisvõrgu tihedusest ja erinevatest mõõtmismetoodikatest. Kui isegi võtta arvesse 2019. aasta välitöödel fikseeritud veepinna kõrgusel saadud sügavust, siis on tänapäeva veesügavus ikkagi 36 sentimeetrit sügavam kui eelnevates uuringutes märgitud (Tabel 3.4.3.). Kas keskmine veepinna kõrgus on aja jooksul langenud, või on tegu üksikute juhuslikul hetkel tehtud mõõtmiste erinevusega, on raske öelda. Kindel on aga see, et nii väikeste muutuste puhul ei saa teha järeldusi võimalike mõjude kohta antud järve ökosüsteemile.

Tabel 3.4.3. Ähijärve morfomeetrilised parameetrid Riikoja (1930)* ja Kask (1964)** järgi. Veepinna kõrgus kõrgussüsteemis EH2000 on lisatud sulgudes

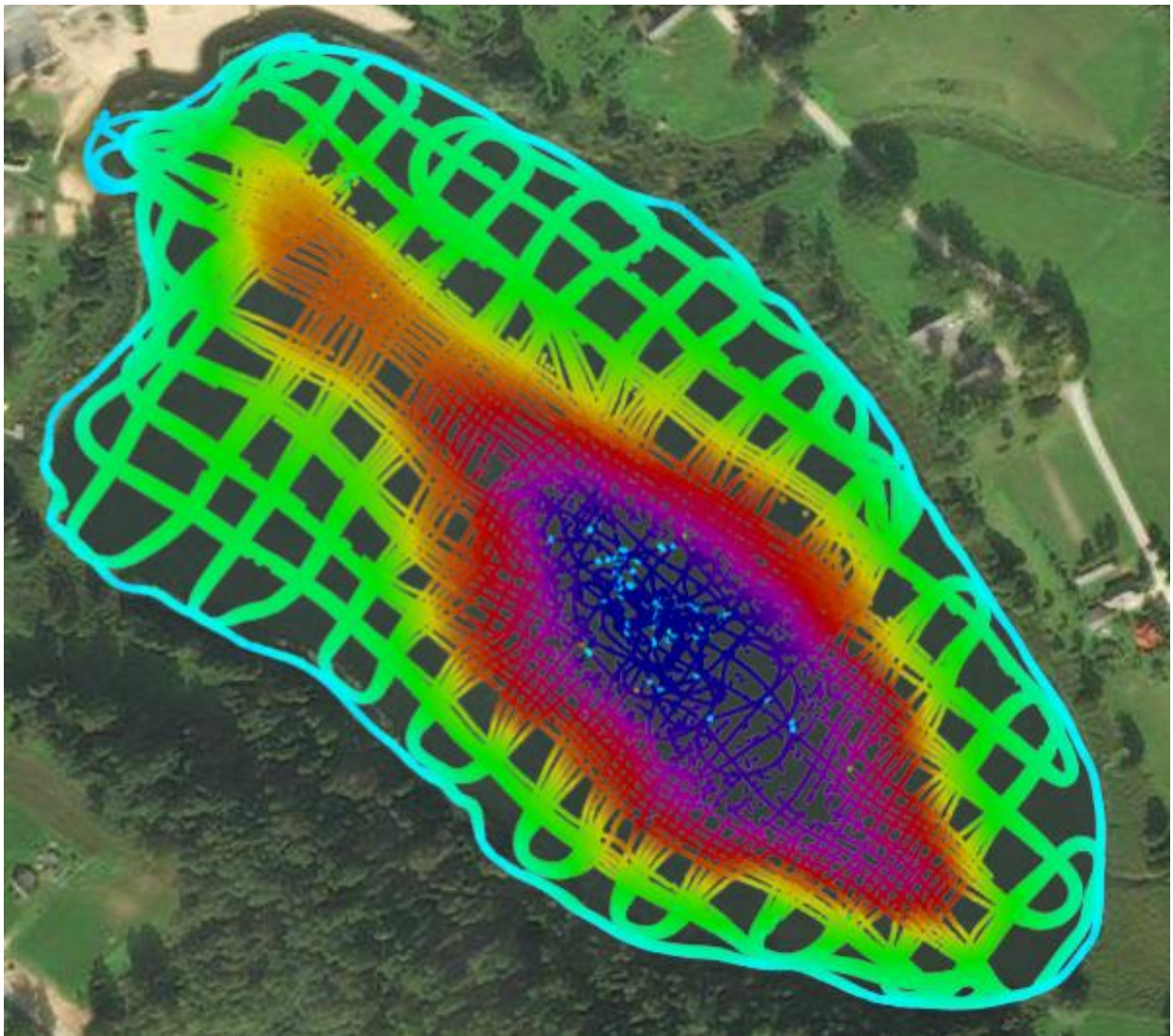
Aeg/Viide	Märts 1929*	Kask (1964)**
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	-	77,3 (77,45)
Suurim pikkus (m)	2700	2550
Laine ajutee (m)	-	-
Suurim laius (m)	950	1000
Veepeegli pindala (ha/km ²)	174,5/1,75	176,2
Saarte pindala (ha/km ²)	-	-
Kogupindala (ha/km ²)	-	-
Suurim sügavus (m)	5,5	5,5
Keskmine sügavus (m)	3,79	3,8
Suhteline sügavus (%)	-	-
Maht (m ³)	6 617 000	6 695 600
Kaldajoone pikkus (km)	8,7	10,24
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-	-
Kaldajoone liigestatus	1,85	2,16
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	1,5	-



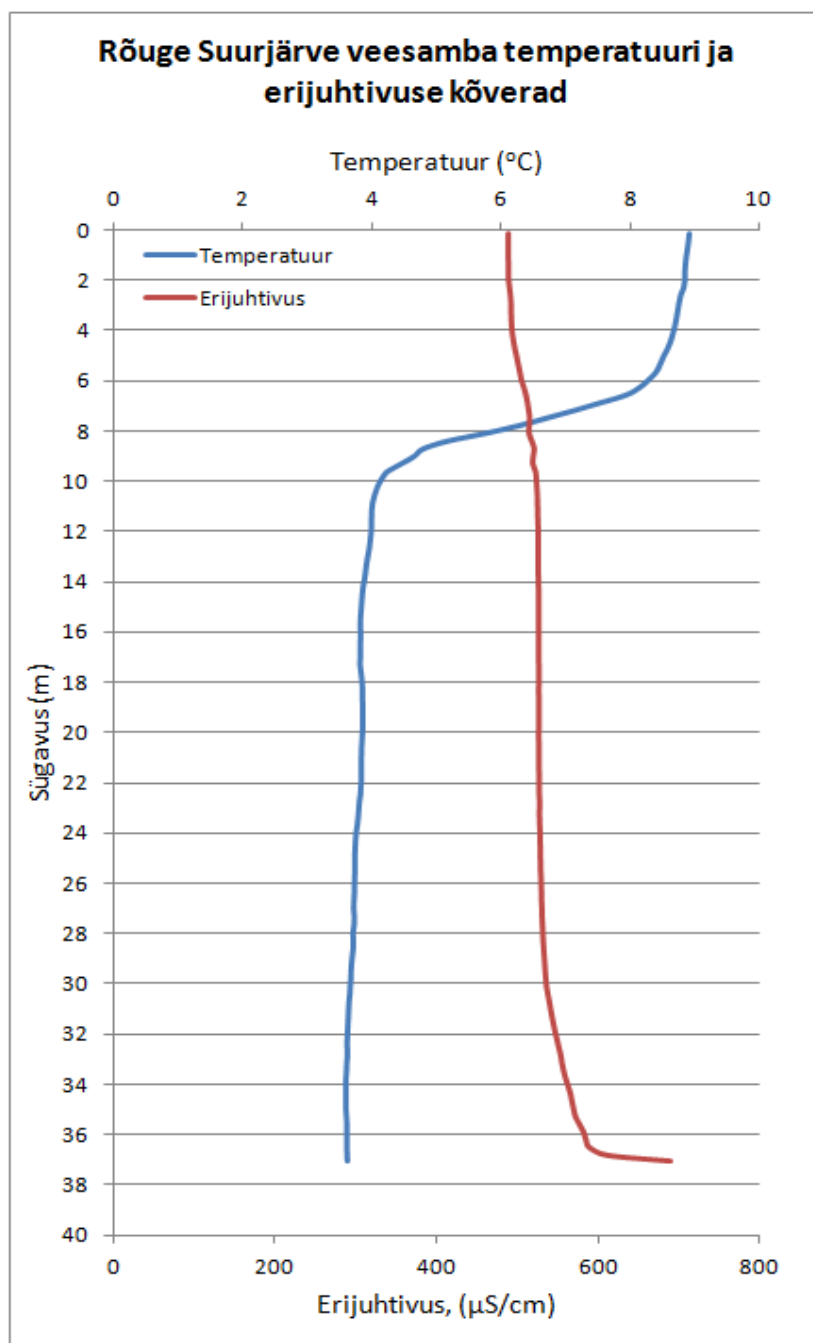
Joonis 3.4.5. Riikoja (1930) koostatud Ähijärve sügavuskaart.

3.5. Rõuge Suurjärv

Välitööd viidi läbi 11.10.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 14,5 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 38 099 sügavuspunkti (Joonis 3.5.1.). Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 116,27 m ü.m.p. Tegemist on ainsa mõõdistatud järvega, kus veesammas ei olnud läbi segunenud ning esines selge hüppekiht (joonis 3.5.2.). Pinnakihi veetemperatuur oli 8,9°C, hüppekiht asus sügavusvahemikus 6–10 m, misjärel veetemperatuur jäi ühtlaselt 4°C juurde. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmodelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.5.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.5.3.). Maa-ameti kõrgusmodeli aluseks olnud LiDAR-andmed koguti 30.05-09.06.2015.

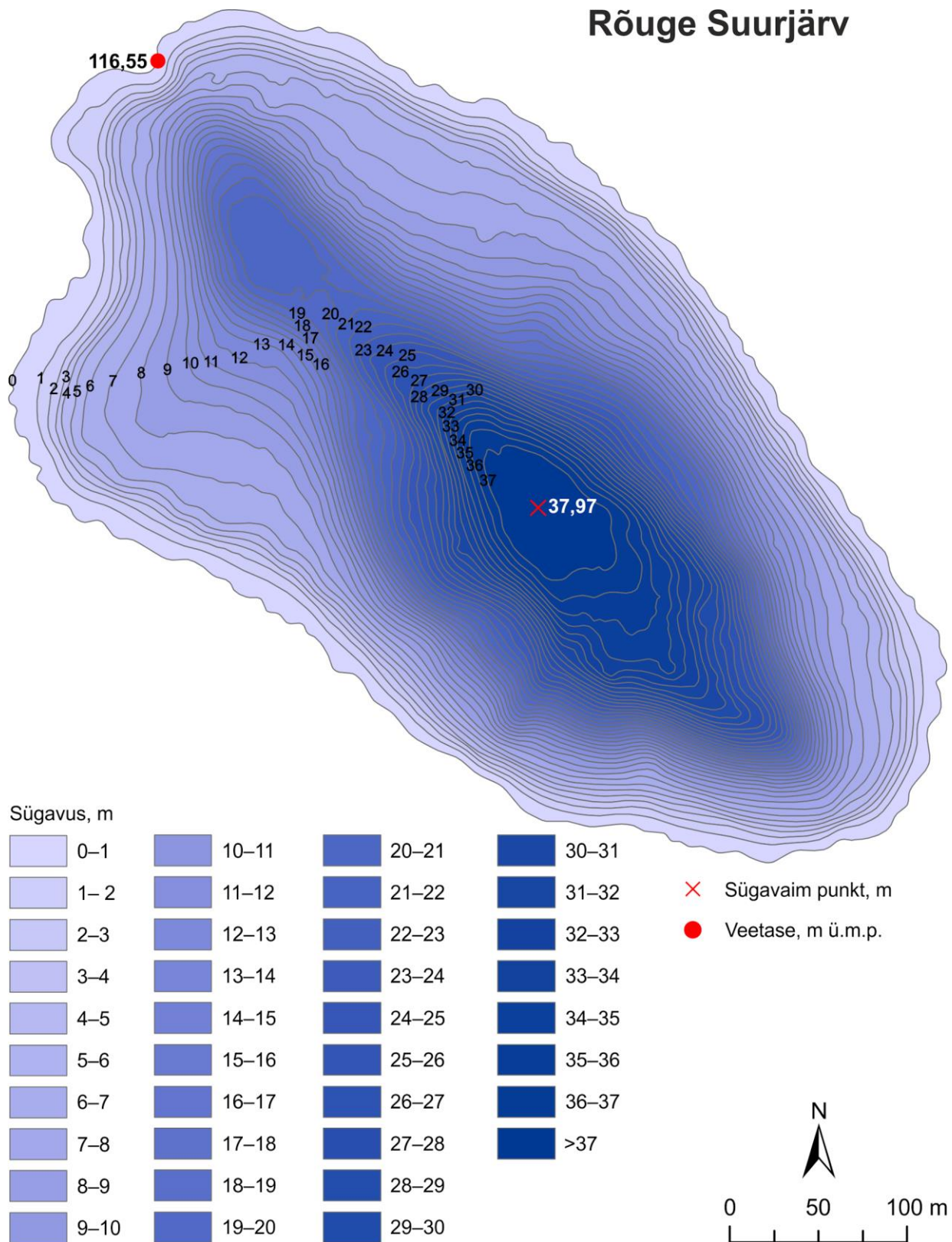


Joonis 3.5.1. sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).

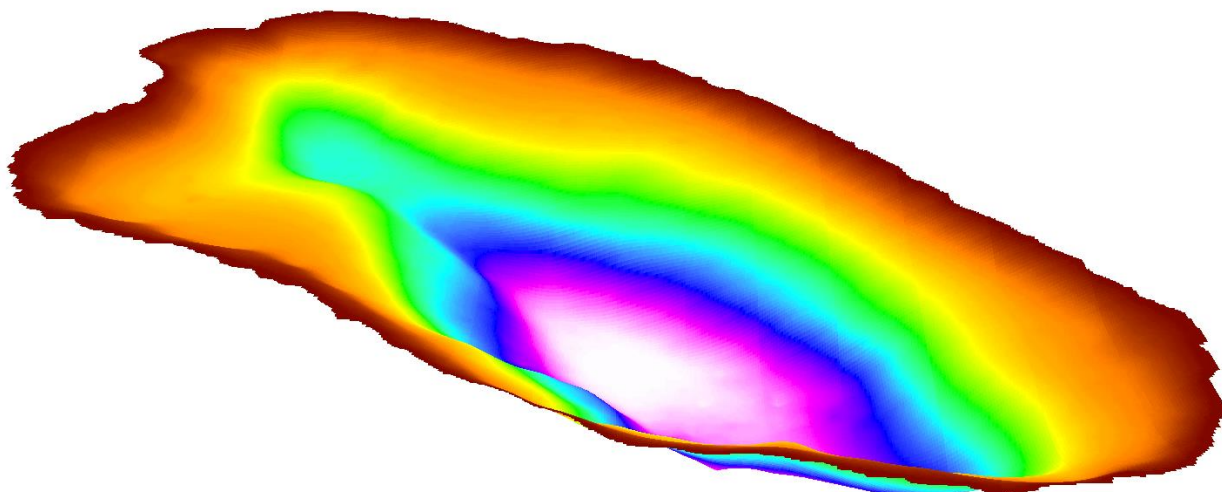


Joonis 3.5.2. Rõuge Suurjärve veesamba temperatuuri ja erijuhtivuse kõverad.

Rõuge Suurjärv



Joonis 3.5.3. Rõuge Suurjärve sügavuskaart veetaseme 116,55 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.5.4. Rõuge Suurjärve 3D-mudel 2x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

Rõuge Suurjärv on väike (15,1 ha), kausjas, kagu-loode suunaline järv (Joonis 3.5.3.; Tabel 3.5.1.). Tegu on Eesti sügavaima järvega (maksimaalne sügavus 38,0 meetrit). Järve iseloomustavad järsud nõlvad (keskmise nõlvakalle 12,9 kraadi) ja suur keskmine (13,2 meetrit) ja suhteline sügavus (8,7%). Järve sügav ala on siiski suhteliselt väike: ca 50% pindalast ja mahust on sügavusel kuni 10 meetrit ja vaid ca 10% pindalast ja 5% mahust on sügavamal kui 30 meetrit (Tabel 3.5.2.; Joonis 3.5.5.).

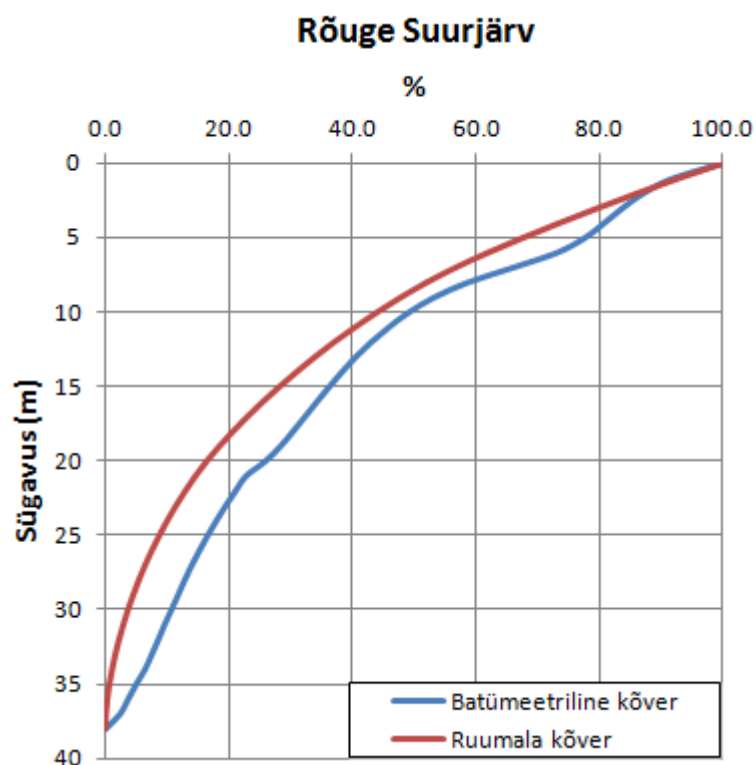
Tabel 3.5.1. Rõuge Suurjärve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	116,55
Suurim pikkus (m)	615
Laine ajutee (m)	615
Suurim laius (m)	310
Veepeegli pindala (ha/km ²)	15,1/0,15
Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	15,1/0,15
Suurim sügavus (m)	37,97
Keskmine sügavus (m)	13,2
Suhteline sügavus (%)	8,7
Maht (m ³)	1 993 800
Kaldajoone pikkus (km)	1,68
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	1,22
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	12,9

Tabel 3.5.2. Rõuge Suurjärve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	15,1	0,151	0–1	142 600
1	13,8	0,138	1–2	133 900
2	13,1	0,131	2–3	127 900
3	12,5	0,125	3–4	123 200
4	12,1	0,121	4–5	118 700
5	11,6	0,116	5–6	113 200
6	10,9	0,109	6–7	104 400
7	9,9	0,099	7–8	93 200
8	8,8	0,088	8–9	83 500
9	8,0	0,080	9–10	76 500
10	7,4	0,074	10–11	71 100
11	6,9	0,069	11–12	66 600
12	6,5	0,065	12–13	62 600
13	6,1	0,061	13–14	59 000
14	5,7	0,057	14–15	55 800
15	5,4	0,054	15–16	52 800
16	5,1	0,051	16–17	49 900
17	4,8	0,048	17–18	47 000
18	4,6	0,046	18–19	44 000
19	4,2	0,042	19–20	40 800
20	3,9	0,039	20–21	36 300
21	3,4	0,034	21–22	32 800
22	3,2	0,032	22–23	30 400
23	2,9	0,029	23–24	28 000
24	2,7	0,027	24–25	25 800
25	2,5	0,025	25–26	23 800
26	2,3	0,023	26–27	21 900
27	2,1	0,021	27–28	20 100
28	1,9	0,019	28–29	18 400
29	1,8	0,018	29–30	16 800
30	1,6	0,016	30–31	15 200
31	1,4	0,014	31–32	13 600
32	1,3	0,013	32–33	12 000
33	1,1	0,011	33–34	10 400
34	1,0	0,010	34–35	8600

35	0,7	0,007	35–36	6400
36	0,6	0,006	36–37	4500
37	0,4	0,004	>37	1900



Joonis 3.5.5. Rõuge Suurjärve batümeetriline ja ruumala kõver.

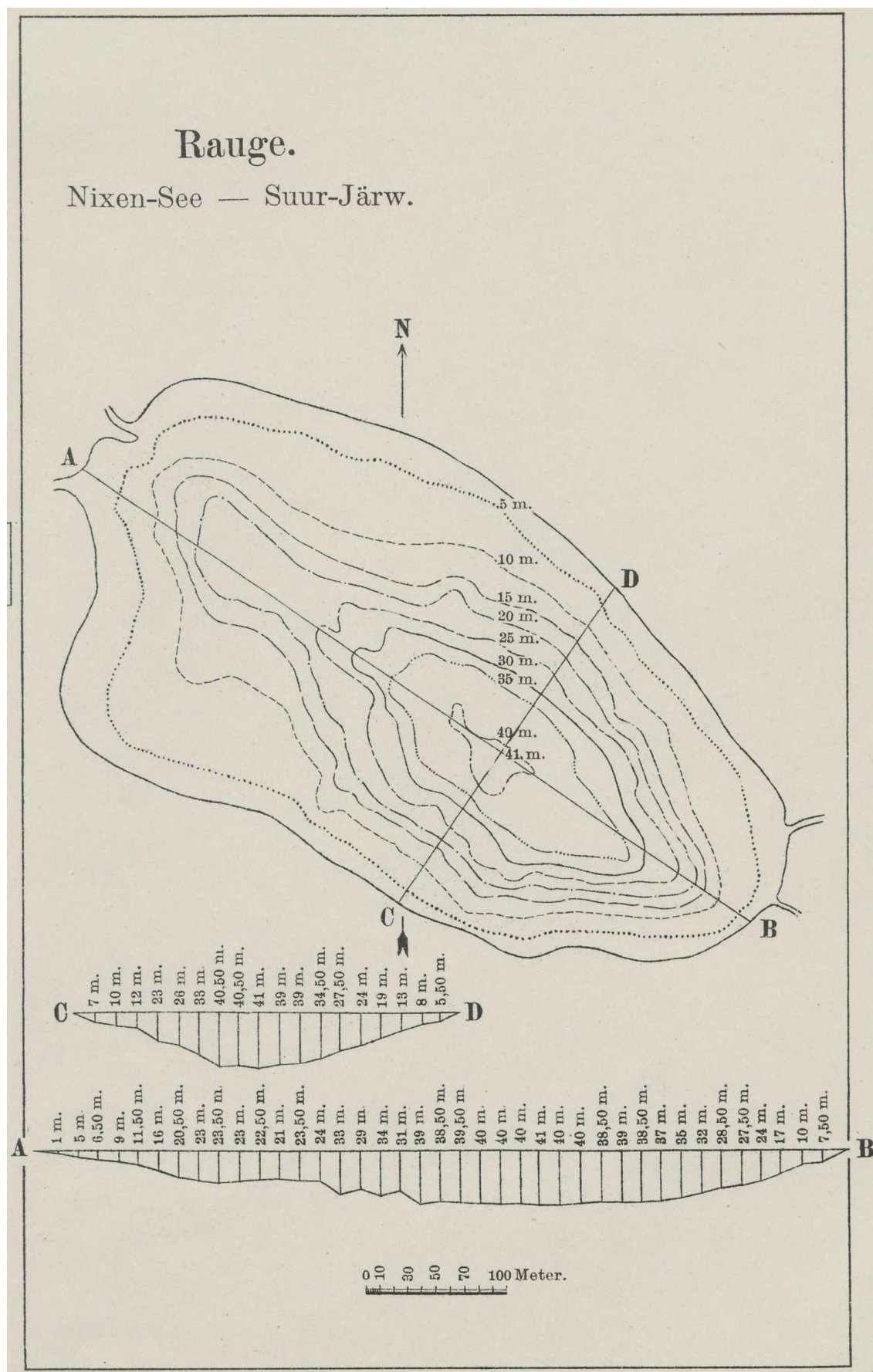
Varasemalt on Rõuge Suurjärve kohta publitseerinud morfomeetriliste parameetrite andmeid Kask (1964) (Tabel 3.5.3.). Tänapäevaste andmetega esineb mõningaid erinevusi: suurim pikkus ja laius, pindala ja maht on varasemalt olnud vähesel määral väiksemad. Erinevus võib peamiselt tuleneda veepinna kõrgusest, mis antud töö arvutuste jaoks on võetud LiDAR-andmetest (erinevus varasemaga 40 cm). Samas 2019 aasta sügise välitöödel oli veetase vaid 8 sentimeetrit kõrgem kui Kask (1964) andmete järgi. Seega saab öelda, et mingeid olulisi muutusi morfomeetrilistes parameetrites ei esine ja sellest tulenevalt on järv stabiilses seisus.

Küll on aga huvitavam küsimus, et kas Rõuge Suurjärve sügavus on ajas muutunud. Võrreldes Kask (1964) andmetega, on sügavus täpselt sama: ümardatult 38 meetrit (erinevus vaid 3 cm). Võttes aga arvesse tollaseid ja tänapäevaseid veepinna kõrgusi, siis oleks 1955. aastal sügavus olnud antud töö raames määratud veepinna kõrguse juures 40 sentimeetrit suurem. Heinrich Riikoja sai 1933. aastal järve sügavuseks 37,5 meetrit (Pae, 2019). See-eest on aga zur Mühleni (1908) andmete põhjal olnud järve sügavus kogunisti 41 meetrit (Pae, 2019). Millest on antud erinevus tingitud, on raske oletada. On vähetõenäoline, et nii sügav ala ja punkt käesoleva töö mõõdistuste käigus tabamata jäi. Ka settekihi paksuse suurenemist sellisel määral süüdistada ei sõandaks. Kuna zur Mühleni (1908) mõõtmistel me ei tea veepinna kõrgust, siis mõningane erinevus võib olla tingitud võimalikust kõrgemast veetasemest. Kõige suurem tegur on tõenäoliselt siiski erinevus mõõtmise meetodikates ja nende täpsustes. Ilmselt mõõdeti antud järve nõori otsas oleva raskusega. Kas mõõtmised toimusid suvel või talvel ei ole teada, kuid eeldades, et veetase oli kõrge, siis pigem kevadisel suurvee ajal. Samas, nii sügavas järves on ennast raske ankurdada ning ka siis võib alus paigalt triivida, ehk

et mõõtmise momendil võis allalastud sügavuse mõõtmise raskus olla nurga all, millest tulenes ka kõrgem sügavusväärtus. Et saada 38 meetri sügavusel 41 meetrine tulemus, oleks arvutuslikult pidanud see nurk olema 22 kraadi. Selline nurk oleks mõõdistajale kindlasti silma jäänud. Seega võiks järeldada, et erinevus maksimaalses sügavuses võrreldes tänapäevaste tulemustega on tingitud nii võimalikust tollasest kõrgemast veetasemest, mõningasest settekihi akumulatsioonist, kui ka tõenäolikest mõõtmisveast. Küll saab aga kindlalt öelda, et Rõuge Suurjärv on tänaseni vähemalt 38 meetrit sügav.

Tabel 3.5.3. Rõuge Suurjärve morfomeetrilised parameetrid Kask (1964) järgi. Veepinna kõrgusandmed kõrgussüsteemi EH2000 järgi on lisatud sulgudes

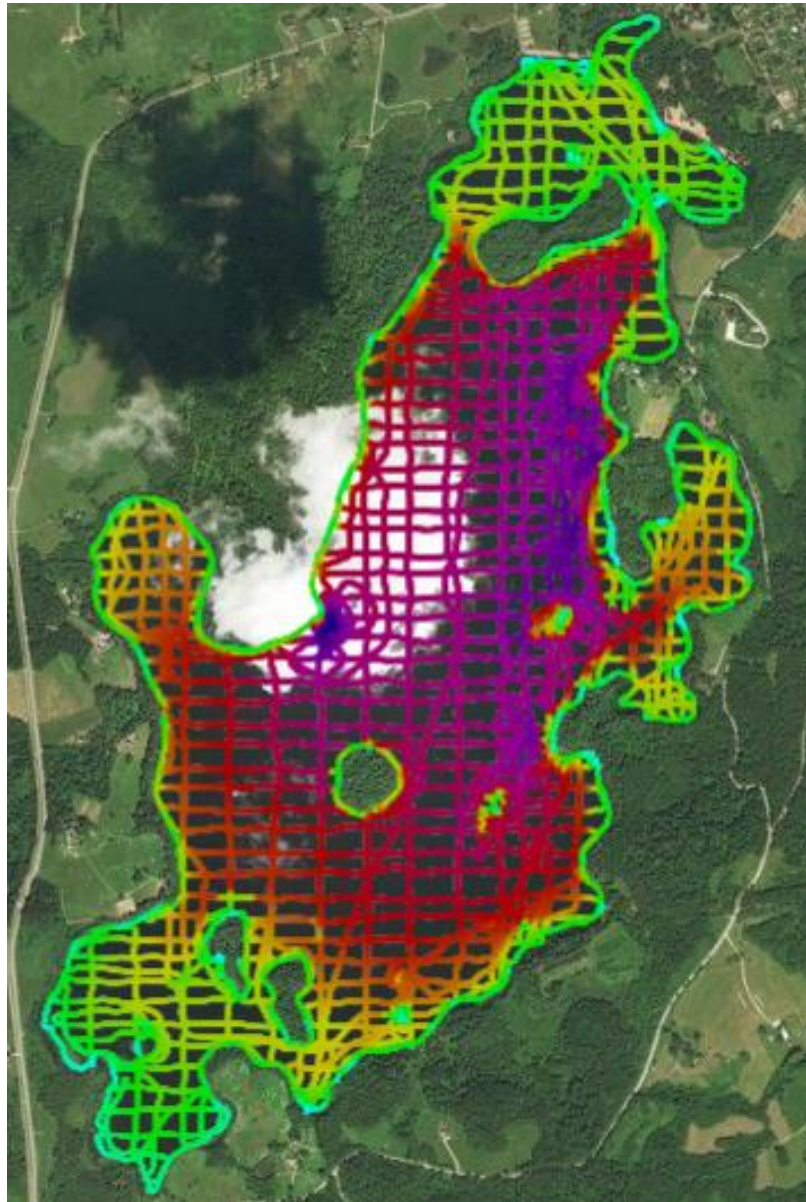
Aeg/Viide	Kask (1964)
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	116 (116,15)
Suurim pikkus (m)	585
Laine ajutee (m)	-
Suurim laius (m)	300
Veepeegli pindala (ha/km ²)	13,5/0,14
Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	13,5/0,14
Suurim sügavus (m)	38,0
Keskmine sügavus (m)	11,9
Suhteline sügavus (%)	-
Maht (m ³)	1 606 500
Kaldajoone pikkus (km)	1,5
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	1,15
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	-



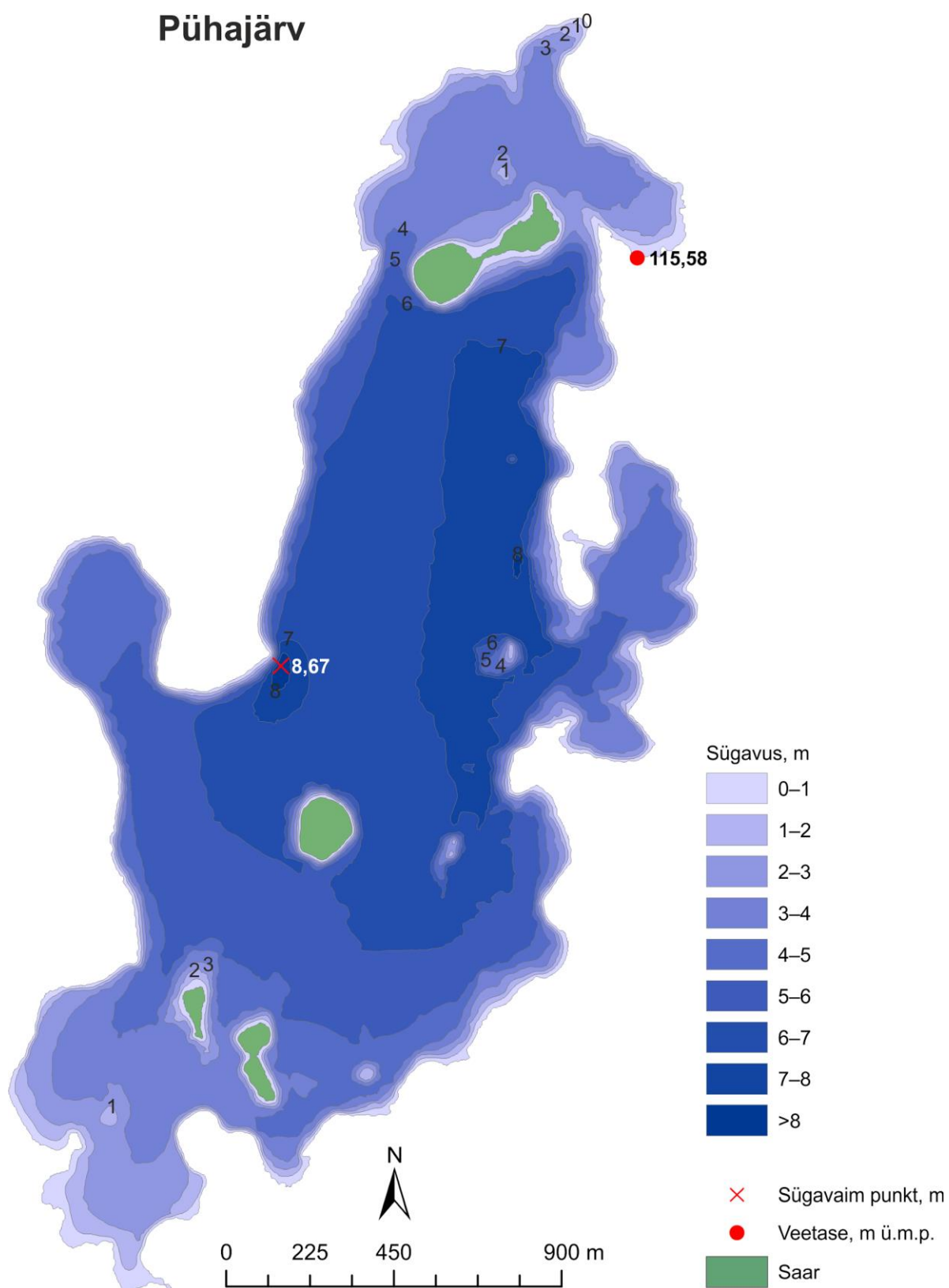
Joonis 3.5.5. zur Mühlendi (1908) koostatud Rõuge Suurjärve sügavuskaart.

3.6. Pühajärv

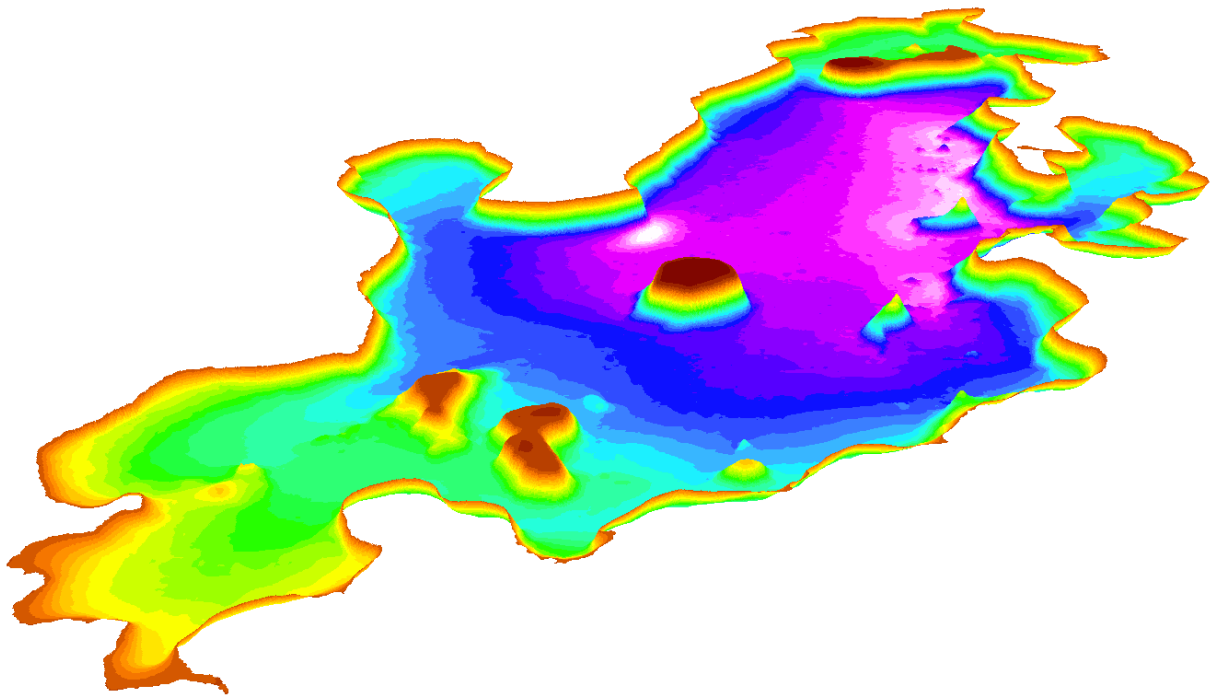
Välitööd viidi läbi 17.-21.10.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 128 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 369 442 sügavuspunkti (Joonis 3.6.1.). Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 115,26 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 9,4 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmudelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.6.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.6.3.). Maa-ameti kõrgusmudeli aluseks olnud LiDAR-andmed koguti 10.05.-25.05.2015.



Joonis 3.6.1. Pühajärve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).



Joonis 3.6.2. Pühajärve sügavuskaart veetaseme 115,58 m ü.m.p. juures..



Joonis 3.6.3. Pühajärve 3D-mudel 10x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

Pühajärv on suhteliselt suur (300,5 ha) põhja-lõuna suunaline liigestatud kaldajoonega järv (Joonis 3.6.2.; Tabel 3.6.1.). Järves on neli saart kogupindalaga 6,7 hektarit. Järve sügavam ala on järve keskosas ning põhja- ning lõunapoolne osa on madalamad. Järves leidub ka mitmeid madalikke. Sügavam ala on suhteliselt lauge ning sügavaim punkt jääb läänekalda äärde, kus sügavus ulatub kuni 8,7 meetrini. Ka idakalda ääres ulatub sügavus üle 8 meetri ja lisaks esineb väikeseid madalikke/kõrgendikke. Järve keskmine sügavus on 4,8 meetrit ja kuigi batümeetiline kõver on suhteliselt lineaarne, siis vaid 10% järve pindalast ja 40% mahust on madalamal kui 2 meetrit (Tabel 3.6.2.; Joonis 3.6.4.).

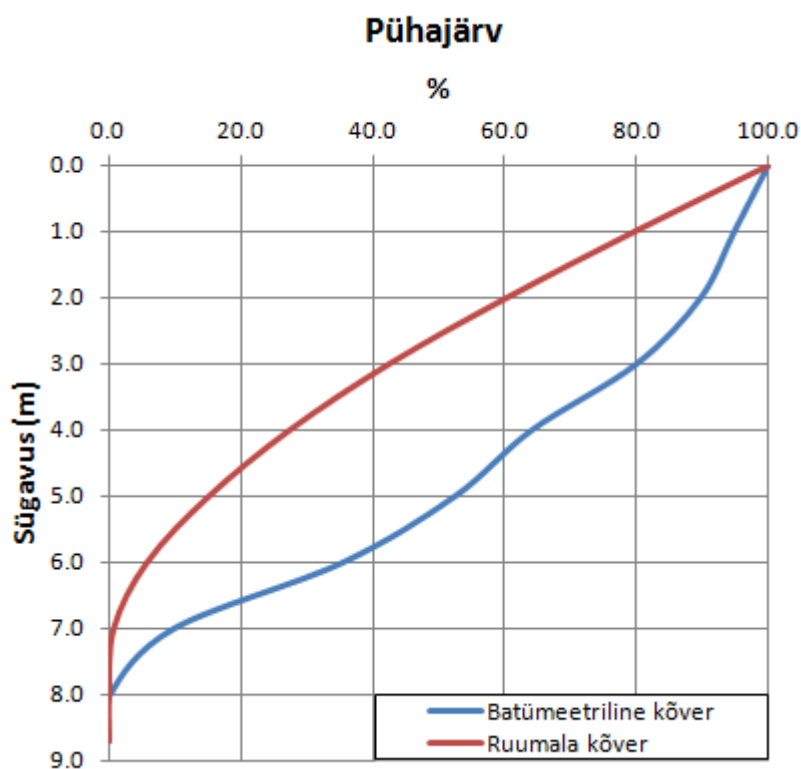
Tabel 3.6.1. Pühajärve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	115,58
Suurim pikkus (m)	3635
Laine ajutee (m)	3350
Suurim laius (m)	1440
Veepeegli pindala (ha/km ²)	293,8/2,94
Saarte pindala (ha/km ²)	6,7/0,07
Kogupindala (ha/km ²)	300,5/3,01
Suurim sügavus (m)	8,67
Keskmine sügavus (m)	4,8
Suhteline sügavus (%)	0,5
Maht (m ³)	13 982 300
Kaldajoone pikkus (km)	14,40

Saarte kaldajoone pikkus (m)	2570
Kaldajoone liigestatus	2,34
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	1,8

Tabel 3.6.2. Pühajärve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	293,8	2,938	0–1	2 844 400
1	277,7	2,777	1–2	2 708 800
2	262,8	2,628	2–3	2 491 900
3	234,2	2,342	3–4	2 110 700
4	187,7	1,877	4–5	1 711 800
5	153,6	1,536	5–6	1 310 300
6	103,9	1,039	6–7	705 800
7	28,7	0,287	6–8	97 600
8	0,5	0,005	>8	1000



Joonis 3.6.4. Pühajärve batümeetriline ja ruumala kõver.

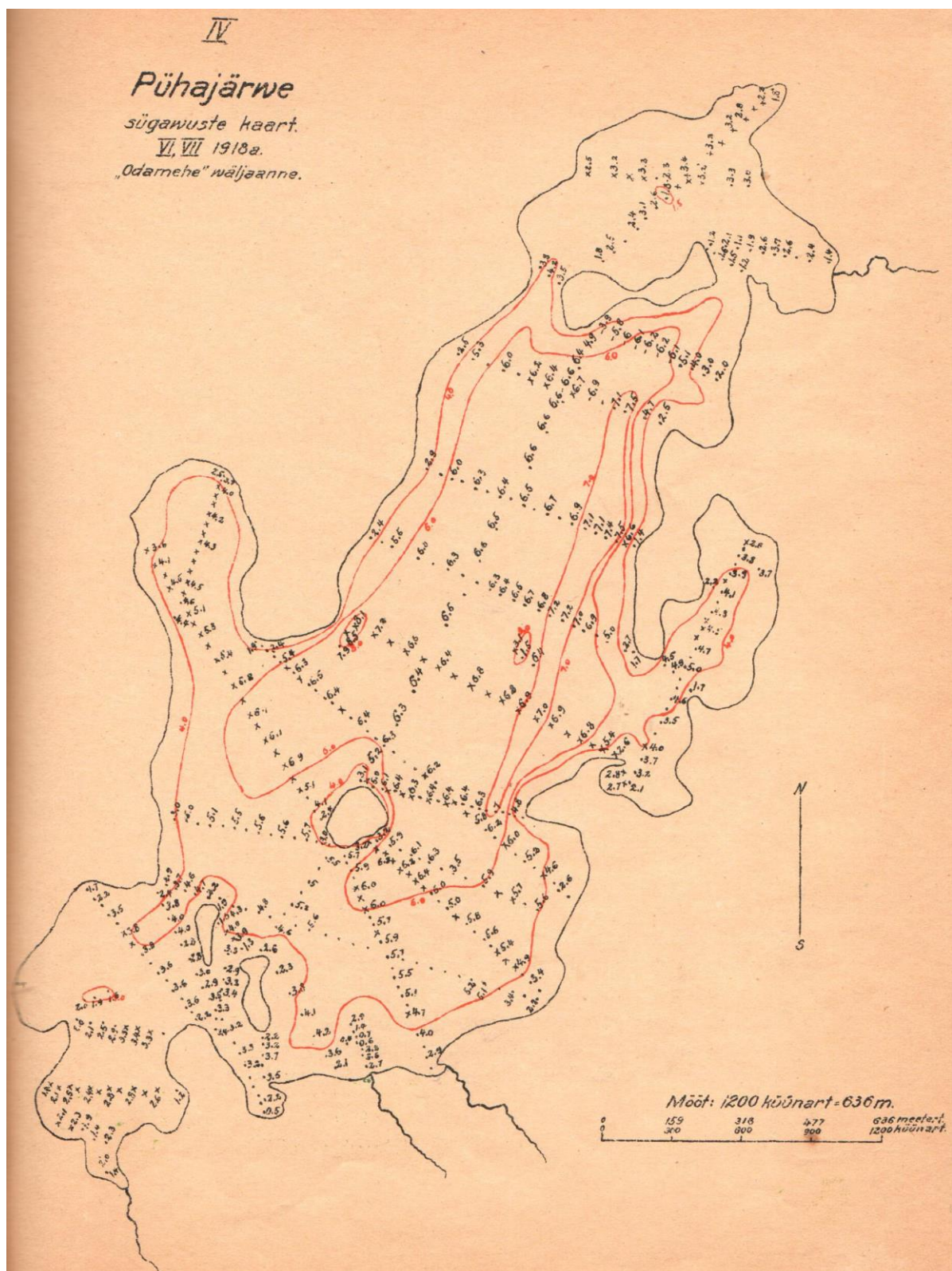
Varasemalt on Pühajärve kohta publitseerinud morfomeetriliste parameetrite andmeid Bekker ja Audowa (1923) ja Kask (1964) (Tabel 3.6.3.). Bekker ja Audowa (1923) poolt on koostatud ka päris detailne sügavuskaart, mis peegeldab 1918. aasta seis (Joonis 3.6.4.). Tuleb tõdeda, et

tegemist on väga hästi tehtud kaardiga. Vaid mõnede madalike asetus on ebatäpne, mis on mõistetav, arvestades tolleaegseid asukoha positsioneerimise meetodeid. Küll aga põhjustab küsimusi veepinna kõrgus, milleks on antud 118,9 m. Ilmselgelt on selle puhul tegemist veaga. Aastal 1911 koostatud üheverstalisel kaardil on antud Pühajärve veepinna kõrguseks 53,7 sülga ehk 114,6 m ü.m.p (Kroonlinna nulli järgi). Aastal 1936 koostatud Eesti topokaardil on antud järve veetasemeks 114 m ü.m.p. (Kroonlinna nulli järgi). Võttes arvesse, et Bekkeri ja Audowa (1923) mõõtmiste eelsel ja järgsel ajal on Pühajärve veetase olnud sarnane ja pigem madalam kui tänapäeval, siis võib kindlalt seada kahtluse alla nende Pühajärve veepinna kõrguse andmed. Sellise veetaseme juures omaks Pühajärv hoopis teist ulatust ja kuju kui neil antud. Bekkeri ja Audowa (1923) andmete kohaselt on järve maksimaalne pikkus, mis kirjelduste järgi vastab vastastikku kaugeimatele punktidele, väiksem kui tänapäeval. Ka pindala on märkimisväärselt väiksem kui tänapäeval. Kuna sügavuskaardil oleva järve kuju on sarnane tänapäevase järve kujuga, siis ei saa olla võimalik, et järve pindala oli toona kolmandiku võrra väiksem, pigem on tegu arvutusliku veaga. Seega, kuna meil puudub kindlus tollaste morfomeetriliste parameetrite väärtuste suhtes, siis ei saa teha põhjapanevaid järeldusi Pühajärve morfomeetriliste muutuste kohta.

Pühajärve tänapäevaste morfomeetriliste parameetrite võrdluses Kask (1964) andmetega mingeid olulisi erinevusi välja tuua ei saa. Esineb mõningane erinevus veepinna kõrguses ja seetõttu ka järve mahus. Samas tuleb arvesse võtta, et käesoleva töö veetase on tuletatud LiDAR-andmetest ja pigem kirjeldab järve parameetreid kõrge veetaseme juures. Reaalselt 2019. aasta välitöödel mõõdetud veepinna kõrgus on kõigest 10 cm kõrgem kui Kask(1964) andmetes. Kokkuvõtvalt saab seega öelda, et viimase saja aasta jooksul ei ole Pühajärve morfomeetrilistes parameetrites esinenud mingeid olulisi muutusi ja järv on stabiilses seisus.

Tabel 3.6.3. Pühajärve morfomeetrilised parameetrid Bekker ja Audowa (1923)* ning Kask (1964)** järgi. Veepinna kõrgused kõrgussüsteemis EH2000 on lisatud sulgudes

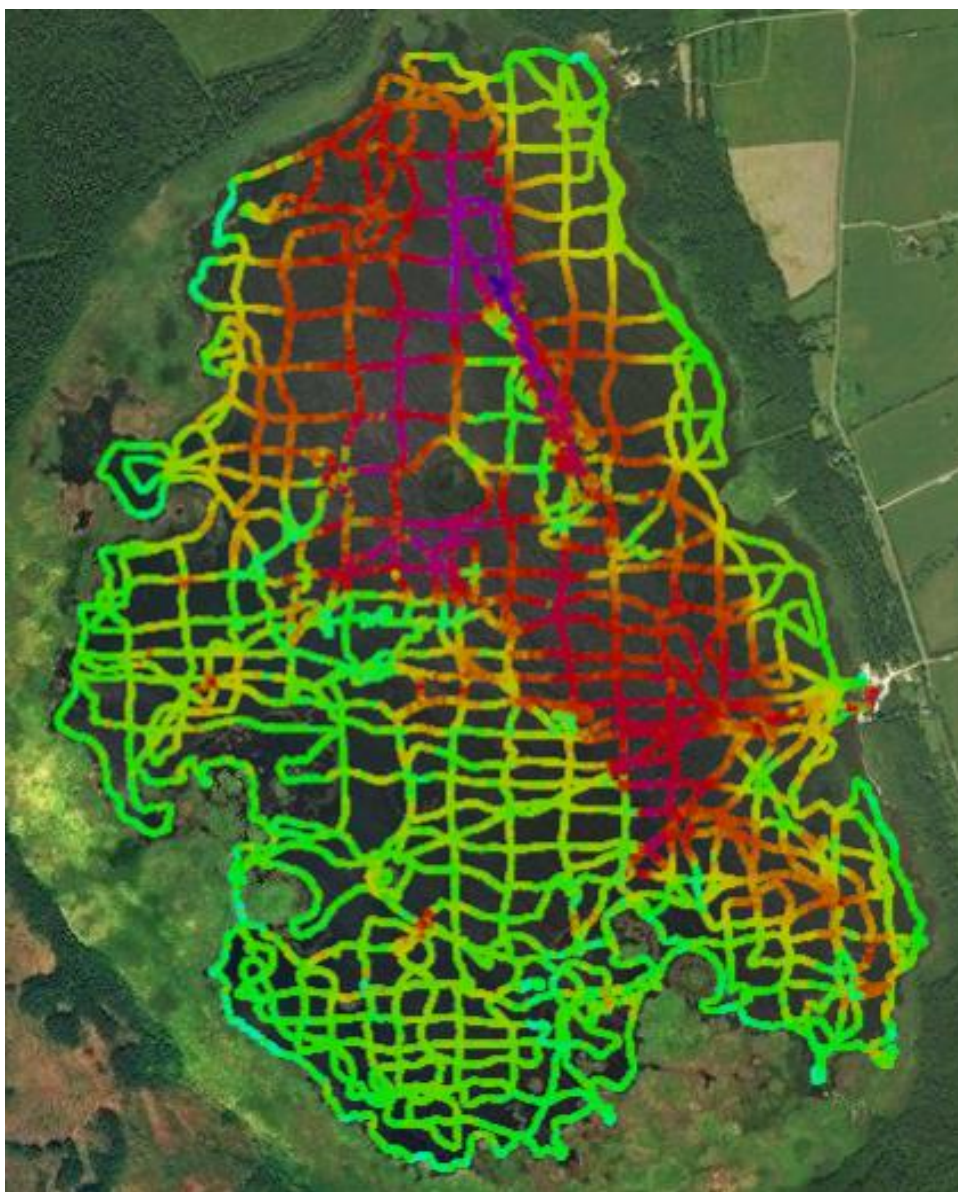
Aeg/Viide	1918*	Kask (1964)**
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	118,9 (119,06)	115,0 (115,16)
Suurim pikkus (m)	2890	3540
Laine ajutee (m)	-	-
Suurim laius (m)	1440	1650
Veepeegli pindala (ha/km ²)	194,6/1,95	285,9/2,86
Saarte pindala (ha/km ²)	4,74/0,47	-
Kogupindala (ha/km ²)	199,3/1,99	-
Suurim sügavus (m)	8,5	8,5
Keskmine sügavus (m)	4,5	4,3
Suhteline sügavus (%)	-	-
Maht (m ³)	-	12 293 700
Kaldajoone pikkus (km)	-	16,4
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-	-
Kaldajoone liigestatus	-	2,74
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	-	-



Joonis 3.6.4. Pühajärve sügavuskaart aastast 1918 (Bekker ja Audowa, 1923).

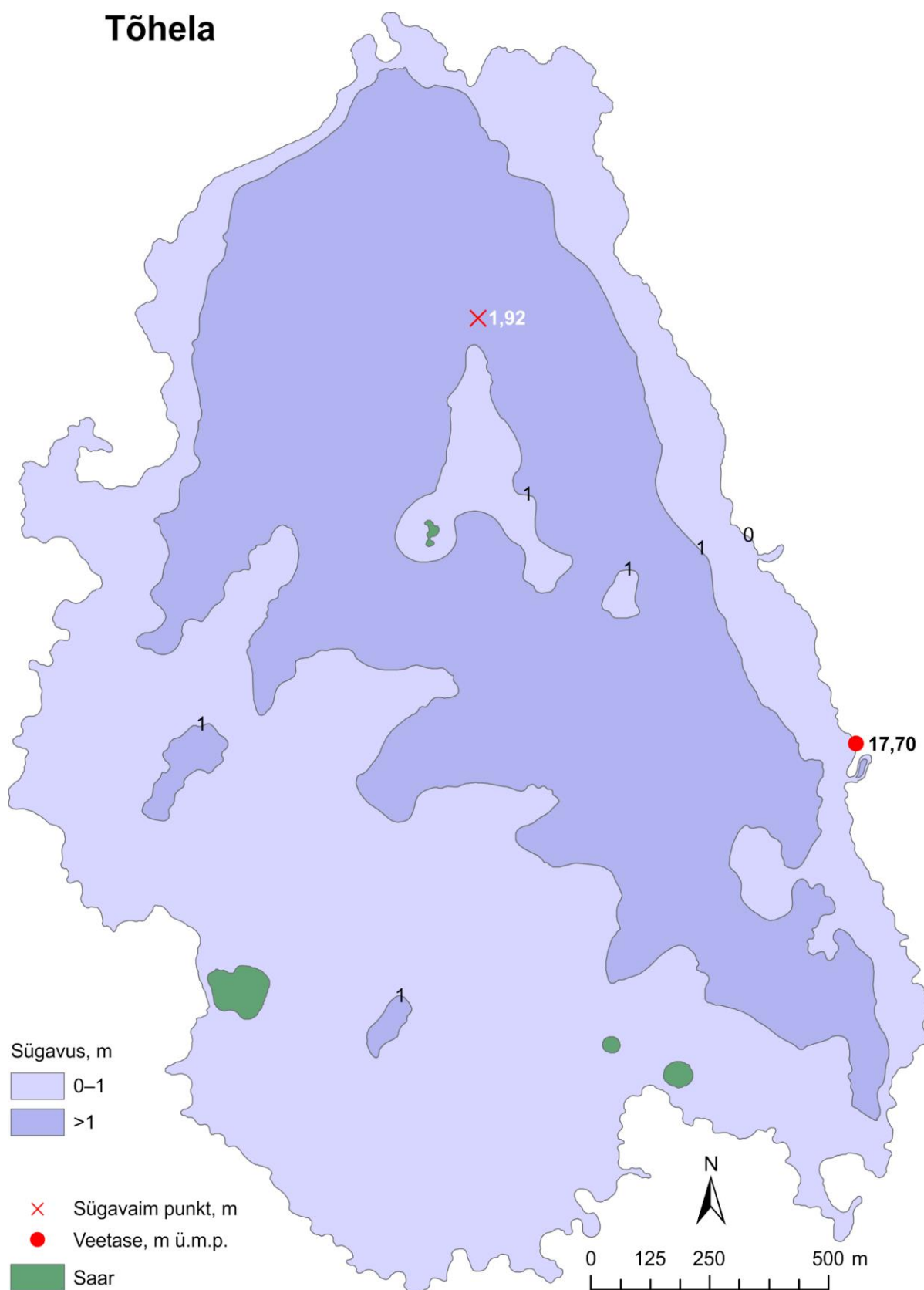
3.7. Tõhela järv

Välitööd viidi läbi 23.-26.10.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 93,6 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 387 342 sügavuspunkti (Joonis 3.7.1.). Järve madalama osa põhi oli kaetud tiheda põhjataimestikuga, mille tõttu on kohati ka sügavusmõõdistuste tulemused antud aladel hüplikud. Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 17,52 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 9,8 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmodelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetriline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetriline kaart (Joonis 3.7.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.7.3.). Maa-ameti kõrgusmodeli aluseks olnud LiDAR-andmed koguti 03.05.2017.

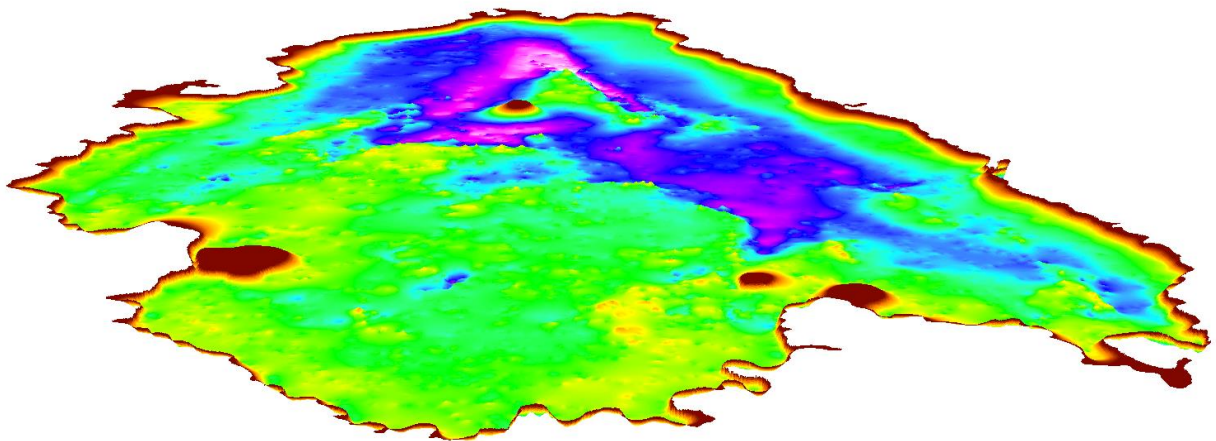


Joonis 3.7.1. Tõhela järve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).

Tõhela



Joonis 3.7.2. Tõhela järve sügavuskaart veetaseme 17,70 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.7.3. Tõhela järve 3D-mudel 20x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

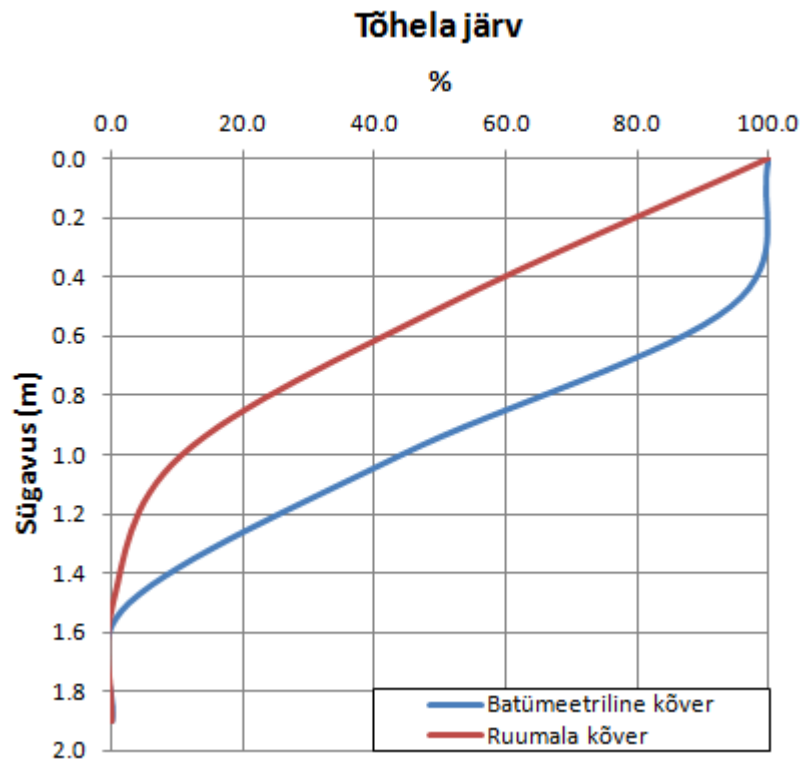
Tõhela järv on suhteliselt suur (319,2 ha) ja madal (keskmise sügavus 1,0 m) järv (Joonis 3.7.2.; Tabel 3.7.1.). Järves on neli väikest saart kogupindalaga 1,5 hektarit. Järve võib tinglikult jagada kahte ossa: madalam lõuna-kagu osa ja sügavam põhja-ida osa, kus on madaliku ümber moodustunud tagurpidi V tähe kujuline kuni 1,92 m sügavune ala. Järve iseloomustab avatus tuultele (suhteline sügavus 0,1%) ja lauge reljeef (keskmise nõlvakalle 0,4 kraadi). Järve batümeetiline kõver on lineaarne va kuni 0,4 meetri sügavused alad, mis moodustavad vaid mõned protsendid kogu järve pindalast (Tabel 3.7.2.; Joonis 3.7.4.).

Tabel 3.7.1. Tõhela järve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	17,70
Suurim pikkus (m)	2750
Laine ajutee (m)	2700
Suurim laius (m)	1650
Veepeegli pindala (ha/km ²)	319,2/3,19
Saarte pindala (ha/km ²)	1,5/0,02
Kogupindala (ha/km ²)	320,7/3,21
Suurim sügavus (m)	1,92
Keskmine sügavus (m)	1,0
Suhteline sügavus (%)	0,1
Maht (m ³)	3 114 000
Kaldajoone pikkus (km)	11,79
Saarte kaldajoone pikkus (m)	865
Kaldajoone liigestatus	1,86
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	0,4

Tabel 3.7.2. Tõhela järve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	319,2	3,192	0–1	2 780 000
1	140,4	1,404	>1	333 900



Joonis 3.7.4. Tõhela järve batümeetriline ja ruumala kõver.

Kirjandusandmete järgi on Tõhela järve veetaset korduvalt muudetud. Teada on, et järve veetaset langetati 1953. ja 1973. aastal kokku üle 1 m (Mäemets 1968; 1977). Kahjuks pole teada nimetatud veetaseme languse täpne ulatus. Samas on Mäemets (1968) kirjutanud, et: “järve veepinda on mitmel korral alandatud, viimati 1953. aastal.” See viitab, et 1953. aastal toimunud alandamine ei olnud esimene. Ajavahemikus 1973-77 järve veetaset omakorda tõsteti 1 m võrra (Mäemets, 1977). Kirjeldatud andmete põhjal võib järeldada, et järve veetase jäi ka pärast tõstmist varasemast madalamaks. Samas puudub piisaval määral ajaloolisi absoluutkõrgustes esitatud veetaseme andmeid, mille abil oleks võimalik tõsikindlalt öelda, kui palju (kui üldse) oli Tõhela järve käesoleva uuringu välitööaegne ja LiDAR-mõõdistuste põhjal tuletatud veetase madalam kunagistest veetasemetest. Selge on aga, et toimunud ulatuslike veetaseme muutuste tõttu on muutunud ka järve morfomeetrilised parameetrid.

Aastal 1904 koostatud verstasel kaardil on järve veepinna kõrguseks märgitud 8,6 sülda, mis vastab 18,54 m ü.m.p. (EH2000 järgi) (Joonis 3.7.5.). Tollase järve kuju järgib tänapäeva järve ümbritseva metsa piiri. Seega võiks eeldada, et veepiir ulatus metsani ja veepinna maksimaalne kõrgus võrdus ligikaudu metsapiirile vastava maapinna kõrgusega. Aastatel 1938 ja 1947 koostatud topokaartidel on järve veepinna kõrguseks märgitud 18 meetrit, ehk 18,19 m

ü.m.p. EH2000 järgi (Maa-ameti ajalooliste kaartide rakendus). Sama veetaseme on Tõhela järvele märkinud ka Kask (1964). Seega võiksime järeldada, et Tõhela järves leidis mõningane veetaseme langus aset juba sellel perioodil, nii nagu viitab ka Mäemets (1968).



Joonis 3.7.5. Tõhela järv 1904. aasta üheverstalisel kaardil (Maa-ameti ajalooliste kaartide rakendus).

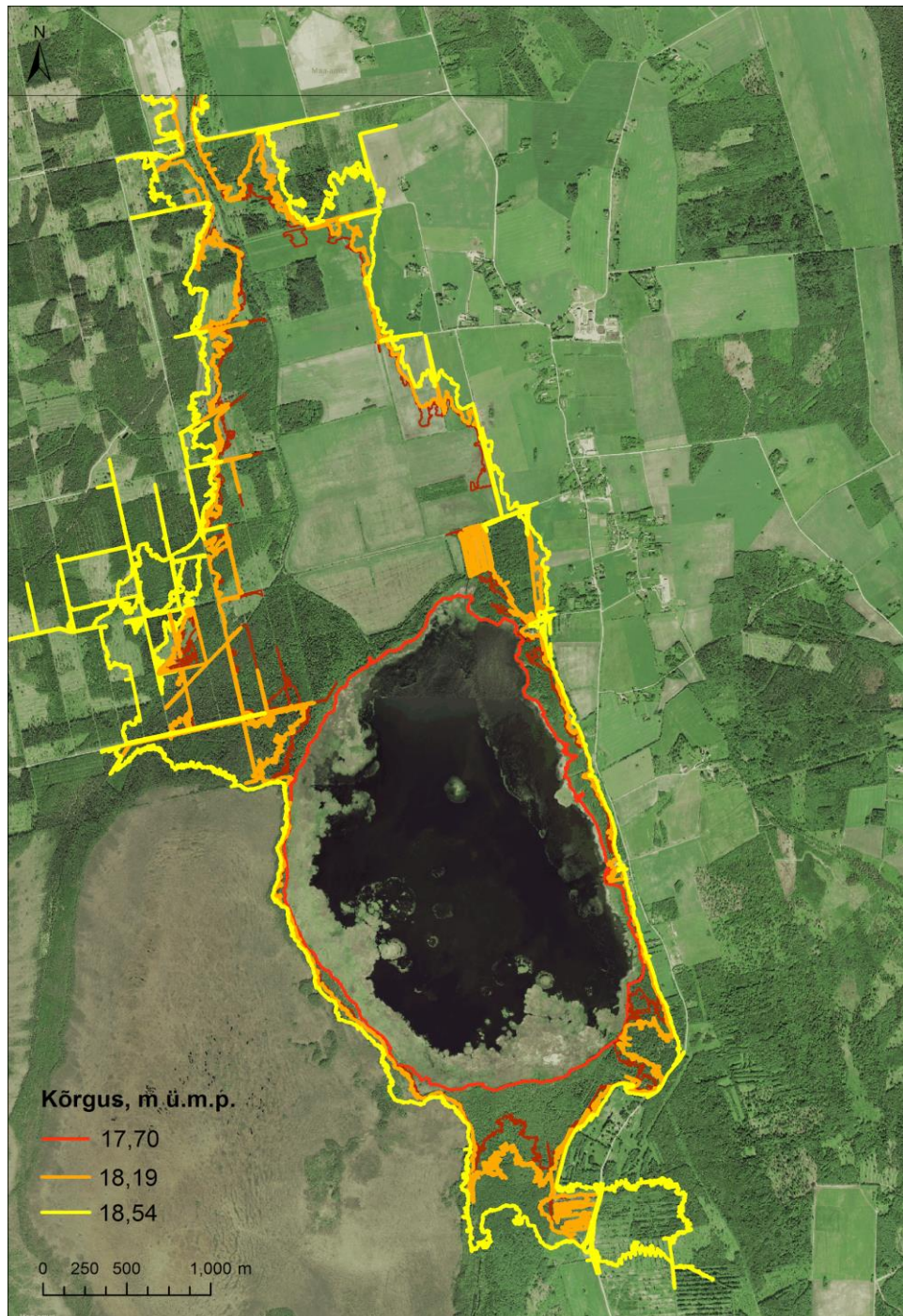
Huvitav on, et 1959. aastast pärineval ortofotol (Joonis 3.7.6.), kui Mäemets (1968) järgi peaks olema suurem veetaseme alandamine toimunud, ei tundu järve veetase ja kaldajoone piir oluliselt erinevat 1904. aasta üheverstalisest kaardist (Joonis 3.7.5.), kuigi arvestades järve madalust ja kaldavööndi laugust, peaks meetrine veetaseme langus järve väliskujus selgelt kajastuma. Selle alusel võib olla võimalik, et 1953. ja 1973. aasta vahepeal ikkagi veetase taastus/taastati, kuid meil puuduvad selle kohta andmed.



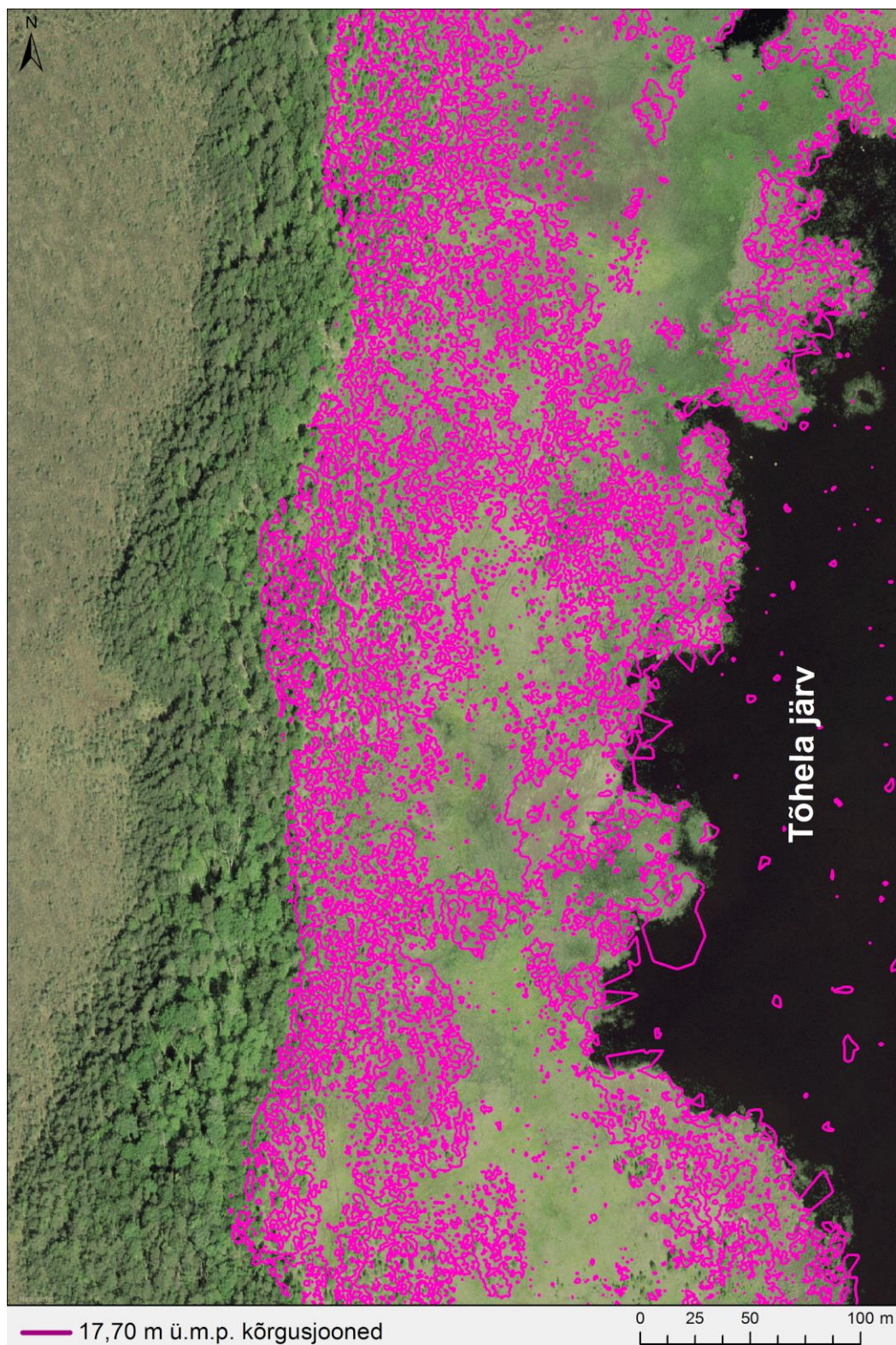
Joonis 3.7.6. Tõhela järve ortofoto aastast 1959 (Maa-ameti fotoladu).

Kui varem avaldatud töödes/kaartidel märgitud veepinna kõrgused kanda tänapäevasele ortofotole (vastavalt LiDAR-andmetest tuletatud kõrgusmudelile), on näha, et nende veepinna kõrguste juures ulatusid järve piirid oluliselt suurematele aladele kui tollastel kaartidel (Joonis 3.7.7.). Ainus reaalne järve veepinna kõrguse tase, mille puhul vastaksid järve mõõtmed ajaloolise kaardi mõõtmetele, on ca 17,70 m ü.m.p. (mis on ka käesolevas töös määratud veepinna kõrgus). Johtuvalt maastuvast kaldajoonest ja sealsest vägagi ühtlasest pinnakõrgusest, hõlmab 17,70 m ü.m.p. kõrgusjoon alasid veepiirist kuni metsani (Joonis 3.7.8.). Tulenevalt käesolevas töös rakendatud metoodikast, määrati järve piiriks vaba vee ala piir (vt peatükk 2.4.). Eelpool mainitu ja joonistelt 3.7.7. ning 3.7.8. nähtavast teabest võib järeldada, et kuigi ajalooliselt võis Tõhela järve veetase olla kuni mõnikümmend sentimeetrit kõrgem kui käesolevas töös aluseks võetud veetase, ei saanud see siiski vastata 1904. aasta verstasel kaardil ja Kask (1964) töös välja toodud kõrgustele. Seega saab järeldada, et järve suhteline veepinna kõrgus on ajas ulatuslikult kõikunud, kuid on tänapäeval peaaegu samal

tasemel, mis oli eelmise sajandi alguses. Erinevused järve veepeegli kujus on pigem tingitud intensiivistunud maastumisprotsessidest, mille käivitasid aastakümnete tagused veetasemete langetamised. See tähendab, et madala veetaseme tingimustes kasvasid paljandunud kaldaaladele pilliroo- ja tarnakogumikud ning orgaanilise aine kuhjumise tõttu tõusis endise järve põhja absoluutkõrgus ning veetaseme taastumise järel ei saanud vesi enam kogu kunagist järve põhja üle ujutada.



Joonis 3.7.7. Tänapäevane (17,70 m ü.m.p.) ja varasemalt avaldatud järve veepinna kõrgusjooned (Kask (1964) - 18,19 m ü.m.p.; 1904 aasta verstane kaart - 18,54 m ü.m.p.). Kõrgusjooned on saadud Maa-ameti geoportaali 1x1 m resolutsiooniga kõrgusmudeli baasil.

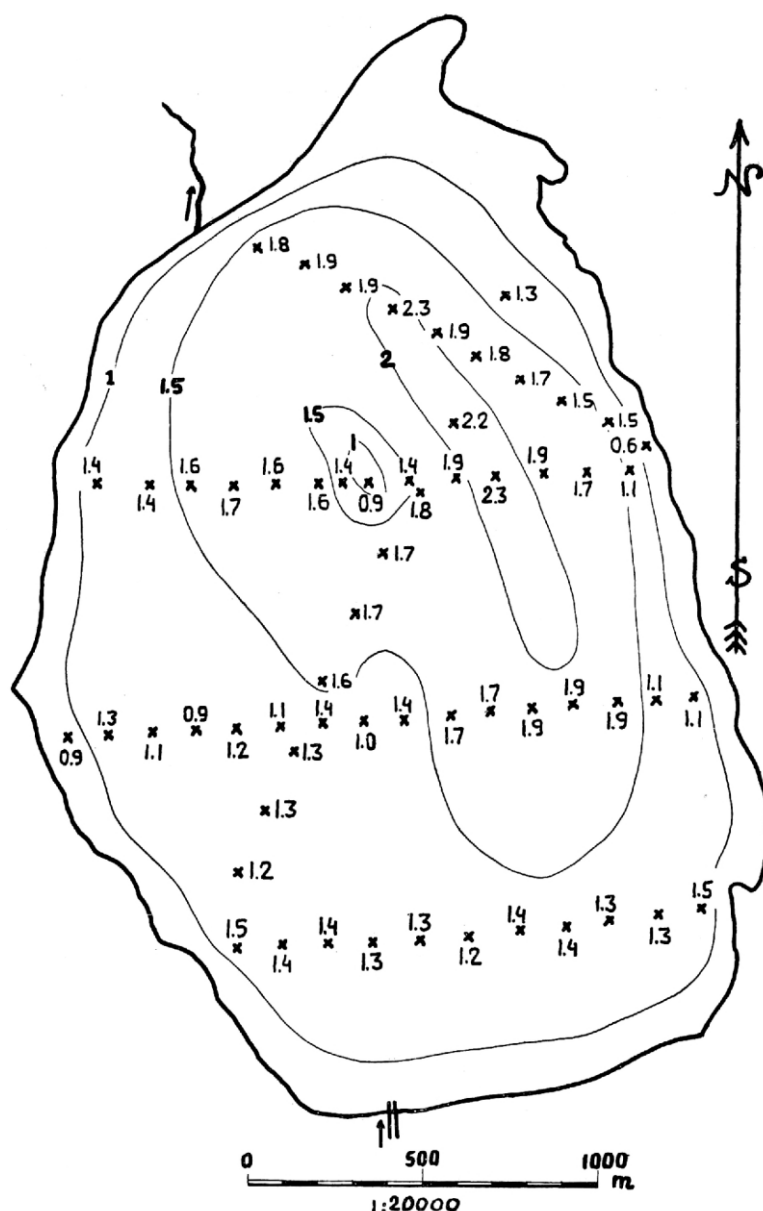


Joonis 3.7.8. Antud töös kasutatud Tõhela järve veepinna kõrguse isojooned (17,70 m ü.m.p.) järve läänepoolsel kaldaalal (17,70 m ü.m.p.). Kõrgusjooned on saadud Maa-ameti geoportaali 1x1 m resolutsiooniga kõrgusmudeli baasil.

Tõhela järve kohta on morfomeetrilisi andmeid publitseerinud Riikoja (1930) ja Kask (1964) (Tabel 3.7.3.). Lisaks on 1929. aastast olemas ka sügavuskaart (Joonis 3.7.9.) (Riikoja, 1930). Tõhela järve morfomeetriliste parameetrite võrdluses Riikoja (1930) andmetega näeme, et ajaloolised järve mõõtmised on olnud kõik suuremad. Erinevused võivad ühest küljest olla tingitud mõõtmiste hetkel olnud erinevatest veetasemetest, kuid kahjuks puudub Riikoja (1930) andmetes veepinna kõrguse väärtus ning nagu eelnevalt näidatud, ei saanud järve veetase olla käesolevas töös aluseks võetud veetasemest oluliselt kõrgemal. 1929. aasta sügavuskaardilt on näha, et Tõhela järve kuju sarnaneb verstase kaardi kujuga (Joonis 3.7.5.) ning kuna kaardistustööd tehti enne dokumenteeritud veetaseme alandamist, siis oli järves maastuvaid alasid eeldatavalt oluliselt vähem kui tänapäeval. Seda, et intensiivsed maastumisprotsessid on järves toimunud eelkõige viimasel poolsajandil, kinnitab ka 1959. aasta ortofoto (Joonis 3.7.6.), kus maastunud alade ulatus on tänapäevast oluliselt väiksem. Tõenäoliselt oli see 1929. aastal veelgi väiksem, kuigi ka verstasel kaardil (Joonis 3.7.6.) on Tõhela järve läänepoolses osas märgitud rohkelt taimestikku. Nii ehk naa kinnitab 1929. aasta sügavuskaardi järve kontuur, et kui järves maastuvaid alasid ka oli, siis arvestati need Riikoja (1930) töös järve pindala sisse. Käesoleva töö raames aga selliseid maastuvaid alasid järve pindala sisse ei arvestatud ja seega on peamised erinevused kahe uurimistöo vahel tõenäoliselt tulenenud just neist aspektidest.

Tabel 3.7.3. Tõhela järve morfomeetrilised parameetrid Riikoja (1930)*, Kask (1964)** järgi.
Veepinna kõrgus kõrgussüsteemis EH2000 on lisatud sulgudes

Aeg/Viide	Juuli 1929*	Kask (1964)**
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	-	18,0 (18,19)
Suurim pikkus (m)	3150	2840
Laine ajutee (m)	-	-
Suurim laius (m)	2000	1850
Veepeegli pindala (ha/km ²)	448/4,48	407,3/4,07
Saarte pindala (ha/km ²)	-	-
Kogupindala (ha/km ²)	-	-
Suurim sügavus (m)	2,3	1,5
Keskmine sügavus (m)	1,3	1,3
Suhteline sügavus (%)	-	-
Maht (m ³)	5 780 000	5 294 900
Kaldajoone pikkus (km)	8,3	8,16
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-	-
Kaldajoone liigestatus	1,11	1,15
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	0,2	-



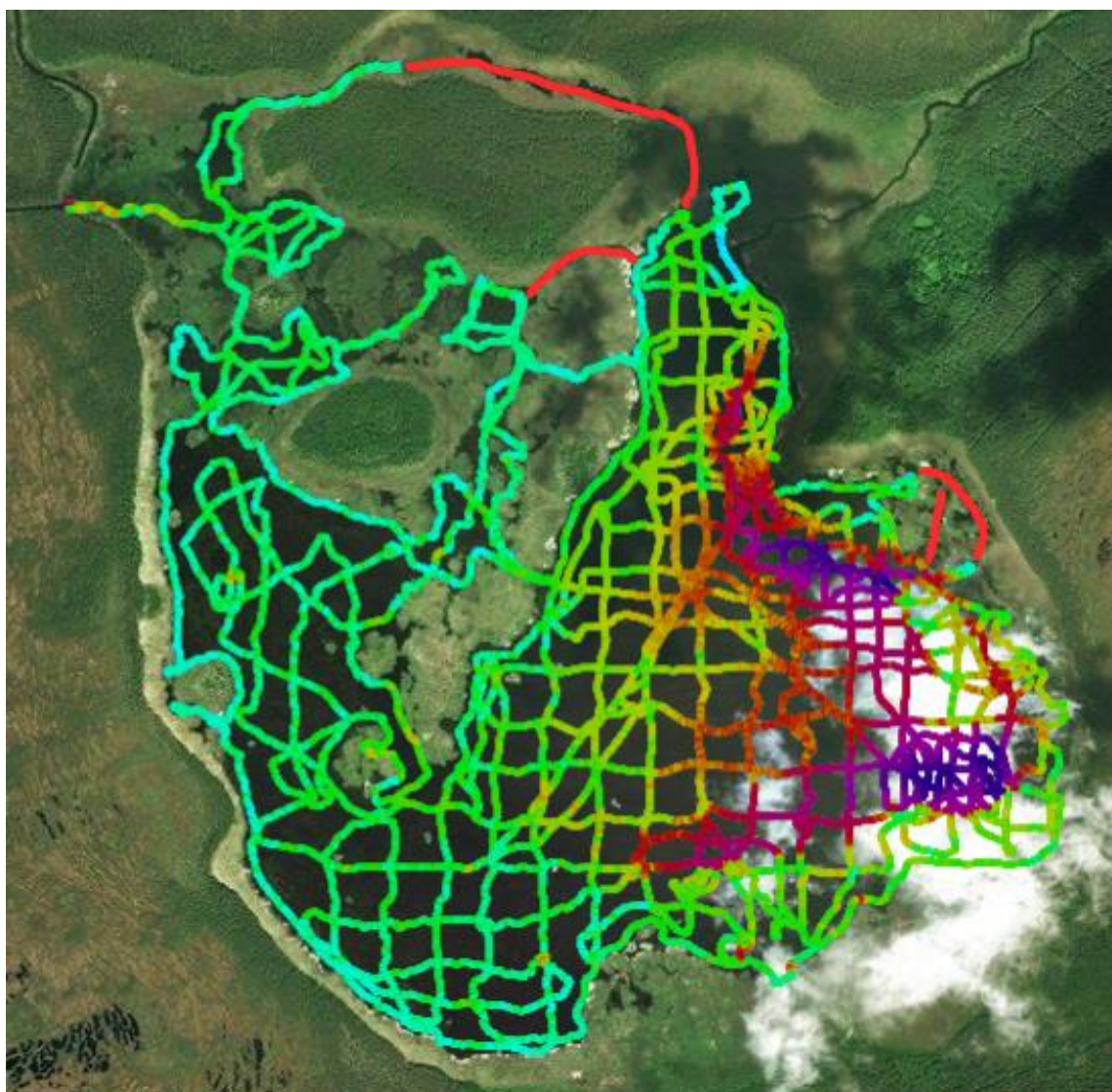
Joonis 3.7.9. Riikoja (1930) koostatud Tõhela järve sügavuskaart.

Võrreldes käesolevas töös leitud morfomeetriliste andmetega viitavad Kask (1964) andmed samuti, et need pärinevad ajast enne 1953. aasta ühe meetrist veetaseme alandamist, kuigi kirjeldavad järve mõnevõrra väiksemana kui Riikoja (1930) (Tabel 3.7.3.). Arvestades, et järve veetase ei saanud olla Riikoja sügavuskaardi mõõdistamise ajal oluliselt kõrgem kui käesolevas töös parameetrite arvutamiseks aluseks võetud veetaseme kõrgus, oleks meetrise veetaseme languse korral järve morfomeetrilised näitajate väärtused pidanud olema ka tänapäevastest väärtustest oluliselt väiksemad. Vastuoluline on Kask (1964) andmete puhul aga maksimaalse sügavuse väärtus, mis on kõigest 1,5 m ehk väiksem kui tänapäeval. Sellest võib esmalt järeldada, et Kask (1964) andmete aluseks olnud uuringu käigus ei tuvastatud järve kõige sügavat ala. Teisalt on keskmine sügavus märkimisväärselt suurem, kui käesolevas töös saadud. Samu andmeid kasutab ka Mäemets (1968; 1977). Kui järve maksimaalseks sügavuseks oleks enne alandamist olnud 1,5 meetrit ja pärast seda langetati veetaset üle 1 meetri, oleks järv pidanud praktiliselt kaduma. Pigem on antud väärtuse puhul tegemist trükiveaga ja maksimaalne sügavus enne 1953. aasta alandamist oleks pidanud olema 2,5 meetrit, mis on ka sarnane Riikoja (1930) saadud maksimaalsele sügavusele.

Vaatamata nendele mõningatele vastuoludele ajaloolistes andmetes, on selge, et 20. sajandil toimunud veetaseme muutustest tulenevalt algas järve intensiivne maastumine. Selle tõttu on olulisel määral vähenenud nii järve pindala kui ruumala ning kõik muud neist sõltuvad morfomeetrilised parameetrid.

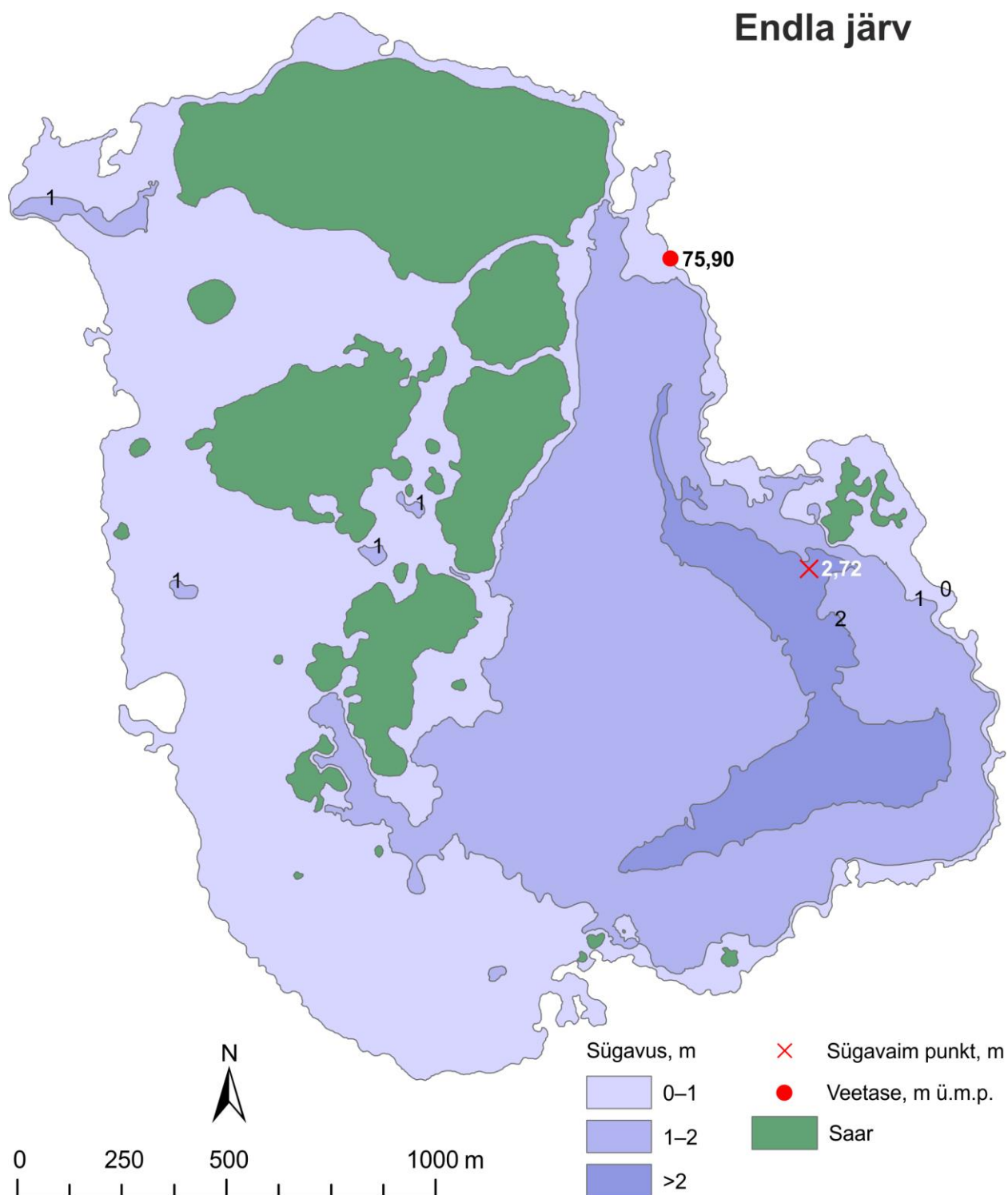
3.8. Endla järv

Välitööd viidi läbi 04.-07.11.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 78,2 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 350 682 sügavuspunkti (Joonis 3.8.1.). Järve põhjaosas oleva saare ja idaosas olevate saarte ümber, kuhu välitöödel paadiga ligi ei pääsenud, tekitati interpoleerimise jaoks kunstlikud sügavusandmed, kuna välitöödel oli näha, et tiheda roostiku sees on vesi ja tegu on järvega. Endla järve keskosa sügavusandmed on kohati hüplikud, mis on tõenäoliselt tingitud järve veesisest taimestikust. Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 75,58 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 2,1 °C. Kogutud sügavusandmete, kunstlikult tekitatud andmete ja Maa-ameti kõrgusmudelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetriline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetriline kaart (Joonis 3.8.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.8.3.). Maa-ameti kõrgusmudeli aluseks olnud Lidar-andmed koguti 13.04.2018.

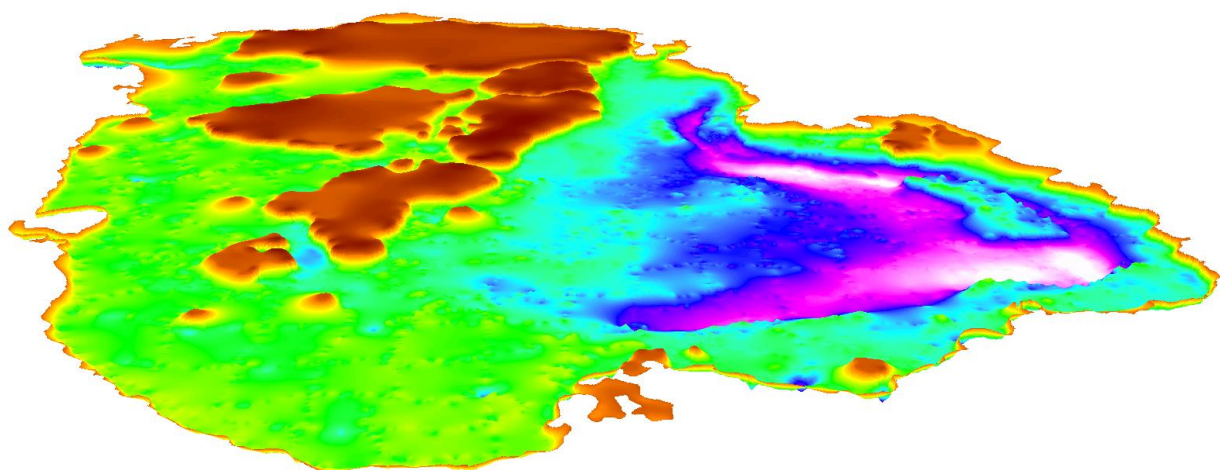


Joonis 3.8.1. Endla järve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine). Punased jooned tähistavad interpoleerimise jaoks fabritseeritud sügavusandmeid.

Endla järv



Joonis 3.8.2. Endla järve sügavuskaart veetaseme 75,90 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.8.3. Endla järve 3D-mudel 20x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

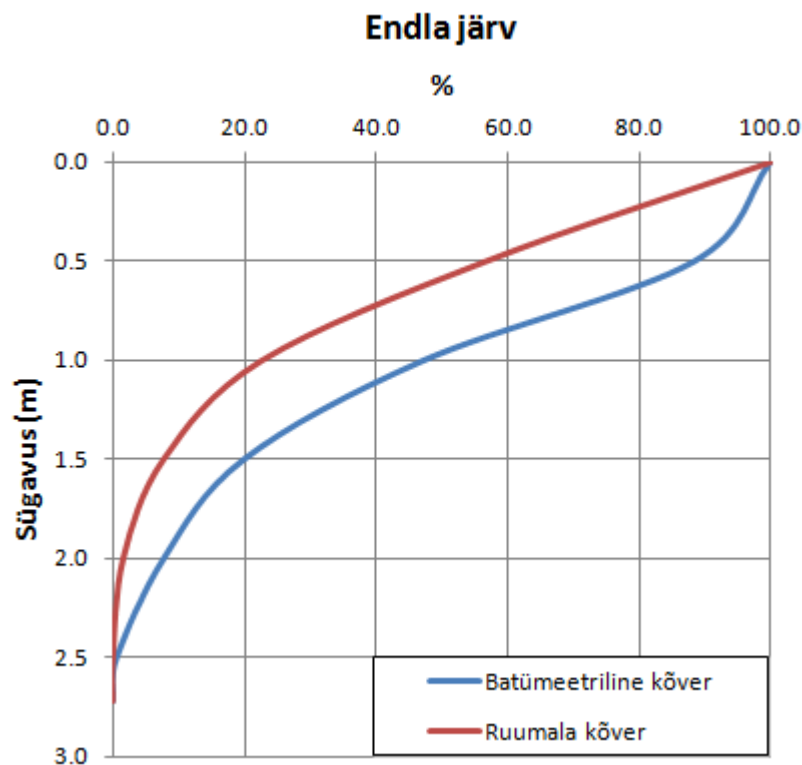
Endla järv on suhteliselt suur (368,4 ha) ja madal (keskmise sügavus 1,1 meetrit) järv (Joonis 3.8.2.; Tabel 3.8.1.). Järves on 23 saart kogupindalaga 80,1 ha, kuid saarte arv on suhteline, kuna järves leidub rohkelt väikeseid tihedaid rooalasid ja ujuvaid õõtsiku tükke. Endla järve saab batümeetria alusel jagada kahte ossa: madalam ja saarterohke läänepoolne osa ja sügavam idapoolne osa. Järve läänepoolses osas on kaks sügavamat ala, millest põhjapoolses ulatub sügavus maksimaalselt 2,7 meetrini. Järve iseloomustab avatus tuultele (suhteline sügavus 0,1%) ja lauge reljeef (keskmise nõlvakalle 0,8 kraadi). Järve batümeetiline kõver on võrdlemisi lineaarne ja kuni 1 meetri sügavused alad moodustavad järve pindalast ca 50% kuid ca 80% mahust (Tabel 3.8.2.; Joonis 3.8.4.).

Tabel 3.8.1. Endla järve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	75,90
Suurim pikkus (m)	2850
Laine ajutee (m)	2290
Suurim laius (m)	1880
Veepeegli pindala (ha/km ²)	288,3/2,88
Saarte pindala (ha/km ²)	80,1/0,8
Kogupindala (ha/km ²)	368,4/3,68
Suurim sügavus (m)	2,72
Keskmine sügavus (m)	1,1
Suhteline sügavus (%)	0,1
Maht (m ³)	3 097 000
Kaldajoone pikkus (km)	12,30
Saarte kaldajoone pikkus (m)	14 265
Kaldajoone liigestatus	1,81
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	0,8

Tabel 3.8.2. Endla järve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	286,4	2,864	0–1	2 394 600
1	135,2	1,352	1–2	653 200
2	22,1	0,221	>2	49 200



Joonis 3.8.4. Endla järve batümeetriline ja ruumala kõver.

Endla järv on kindlasti siinses töös käsitletutest kõige rohkem muutunud järv. Varasemalt on Endla järve kohta publitseeritud morfomeetriliste parameetrite andmeid Kask (1964) ja Mäemets (1968) poolt (Tabel 3.8.3.). Mäemets (1968) andmeil alandati Endla järve veetaset esmakordselt inimese poolt 1872. aastal mõnikümmend sentimeetrit ümbruskonna heinamaade kuivendamiseks Räägu kanali (ehk Uusjõgi) kaudu läbi Sinijärve Põltsamaa jõkke. Aastatel 1949 ja 1950 läbi viidud kanali süvendamise tagajärjel alanes Endla järve veetase 0,7 m võrra.

Varasemast (Möllits, 1997) on veel teada, et 1920. aastate algul paistis Endla järv Kärde mäelt (so järvest kagus) valge lagendikuna madalate metsade keskel ehk et maastik oli siis märksa avatum, mis viitab omakorda ka rabamaastikule, kus leiduvad kidurad männid ja kased. Nüüd sellist vaadet Kärde mäelt enam ei avane, on näha vaid kõrgete puudega metsane maastik. Metsastumise üheks põhjuseks saab tuua Endla soostiku kuivendamise.

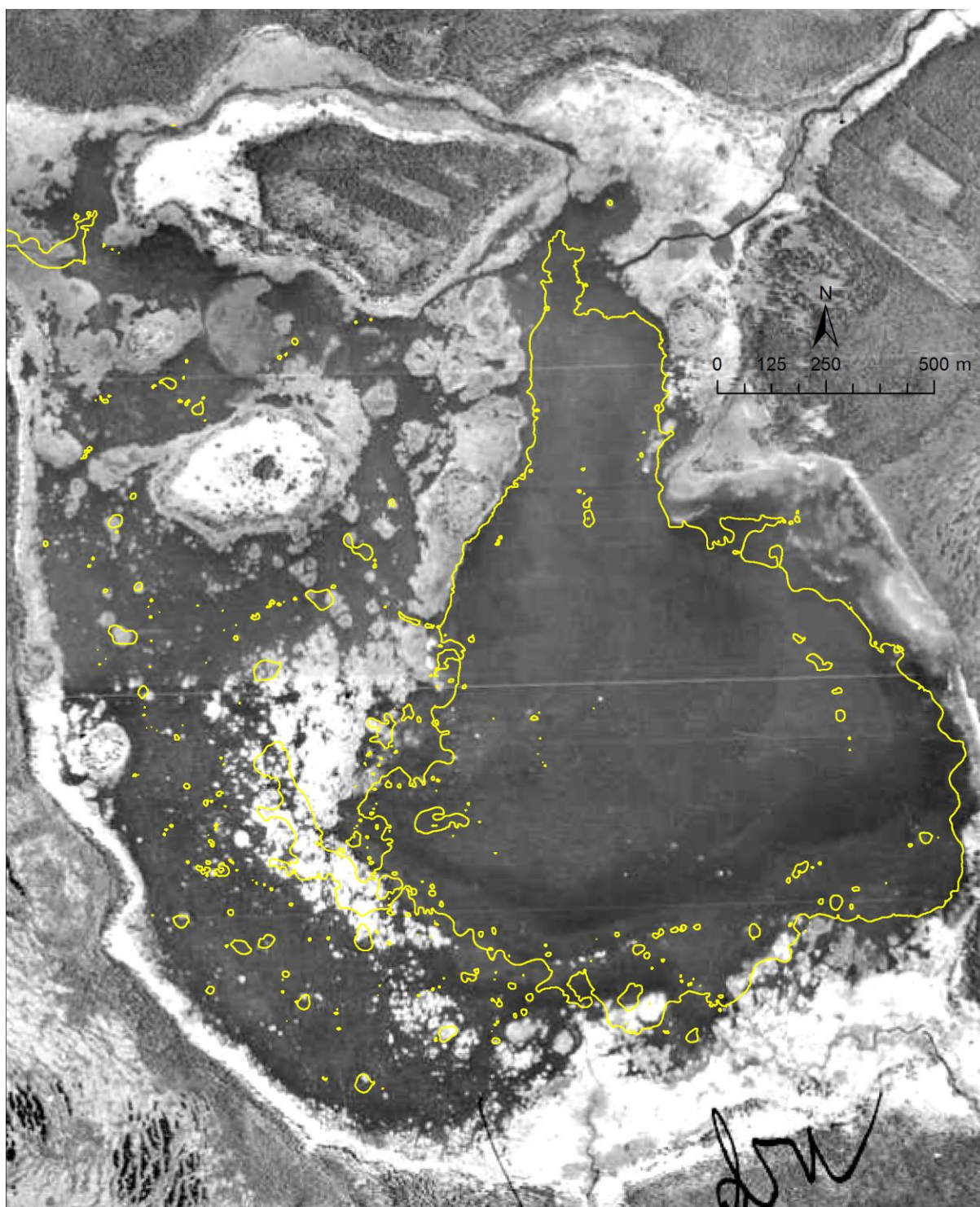
1968. aastal alustati aga veetaseme tõstmisega. Tammi remonditi ja täiustati 1993. ja 1996. aastal (Möllits, 1997). Seejärel on hoitud veetaset sellisel kõrgusel, mis lubab säilitada Sinijärve ja pidurdada Endla järve kinnikasvamist.

Tabel 3.8.3. Endla järve morfomeetrilised parameetrid Mäemets (1968 ja 1977) ja Kask (1964) järgi. Veepinna kõrgus kõrgussüsteemis EH2000 on lisatud sulgudes

Aeg/Viide	Enne 1950. a veepinna alandamist *Mäemets (1968); **Mäemets (1977)	Kask (1964)
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	-	74,7 (74,89)
Suurim pikkus (m)	3000*	ca 2000
Laine ajutee (m)	-	-
Suurim laius (m)	2000*	ca 1600
Veepeegli pindala (ha/km ²)	415/4,15*	ca 180/1,8
Saarte pindala (ha/km ²)	-	-
Kogupindala (ha/km ²)	-	-
Suurim sügavus (m)	3,1**	2,4
Keskmine sügavus (m)	-	1,6
Suhteline sügavus (%)	-	-
Maht (m ³)	-	-
Kaldajoone pikkus (km)	-	-
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-	-
Kaldajoone liigestatus	-	-
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	-	-

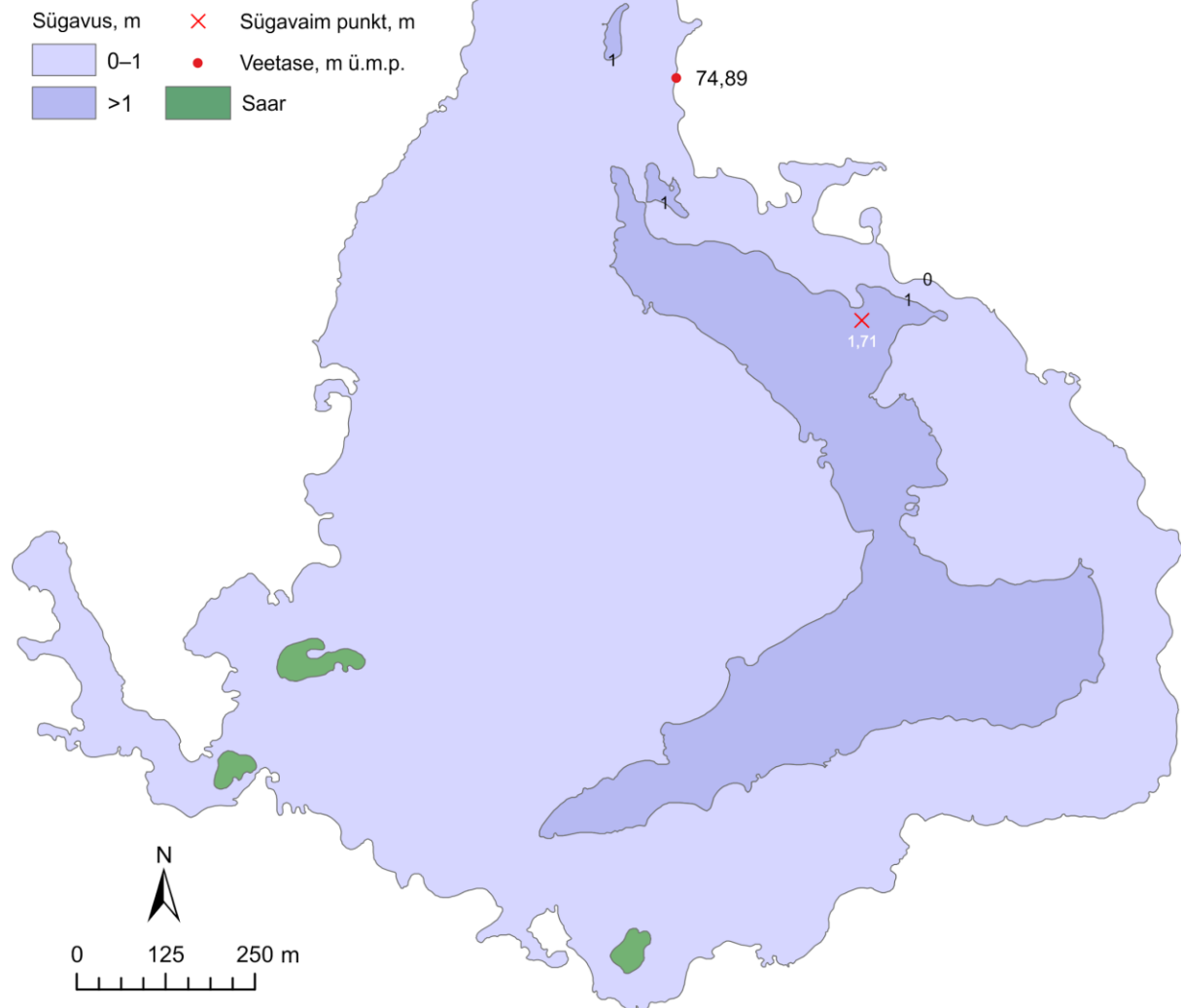
Selliste teadmiste valguses on mõistetavad ka Kask (1964) poolt esitatud morfomeetriliste parameetrite väärtused, mis on märkimisväärselt väiksemad kui praeguse kõrgema veetaseme juures olevad (Tabel 3.8.3.). Kui kanda Kask (1964) nimestikus antud veepinna kõrgus (74,89 m ü.m.p.) antud töö käigus interpoleeritud sügavuskaardi rastrile, saame me järve kontuuri, mis erineb oluliselt tänapäevasest olukorrast. Võrreldes seda kõrgusjoont 1960. aasta ortofotoga, joonistub üsna hästi välja Endla järve kunagine madal veeseis (Joonis 3.8.5.). Tänapäevane madala veega järve läänepoolne osa on suuremalt jaolt kuivale jäänud ning järve ala koondub tänapäevase järve sügavamasse idaossa (Joonised 3.8.6. ja 3.8.7.). Arvutades antud veepinna kõrguse juures ja käesolevas töös interpoleeritud sügavuskaardi rastri põhjal tolleaegsed järve morfomeetrilised parameetrid, saame me mõningal määral madalamad väärtused kui Kask (1964) antud andmetes (Tabelid 3.8.4. ja 3.8.3.). Erinevused on tingitud tõenäoliselt pärast veetaseme alandamist alanud madalate ja kuivale jäänud järve läänepoolsete alade maastumisest. 1960. aasta ortofotolt on näha, et kuigi läänepoolne järveosa on osaliselt kuival, siis võib leida seal veel ka vaba veega alasid, samas kui meie poolt interpoleeritud sügavuskaardi põhjal järve enam sinna ei ulatuks (Joonis 3.8.5.). Arvestades, et Kask (1964) andmete aluseks olevate mõõtmiste ajaks ei olnud maastumisprotsessid jõudnud väga kaua kesta, võime eeldada, et tol momendil oli vaba vett rohkem ning järve ulatus rohkem läänepoolsele.

Seda seisukohta toetab ka H. Tuvikese poolt 1951. aastal koostatud järve taimeestiku kaart (Mäemets, 1968) (Joonis 3.8.8.).

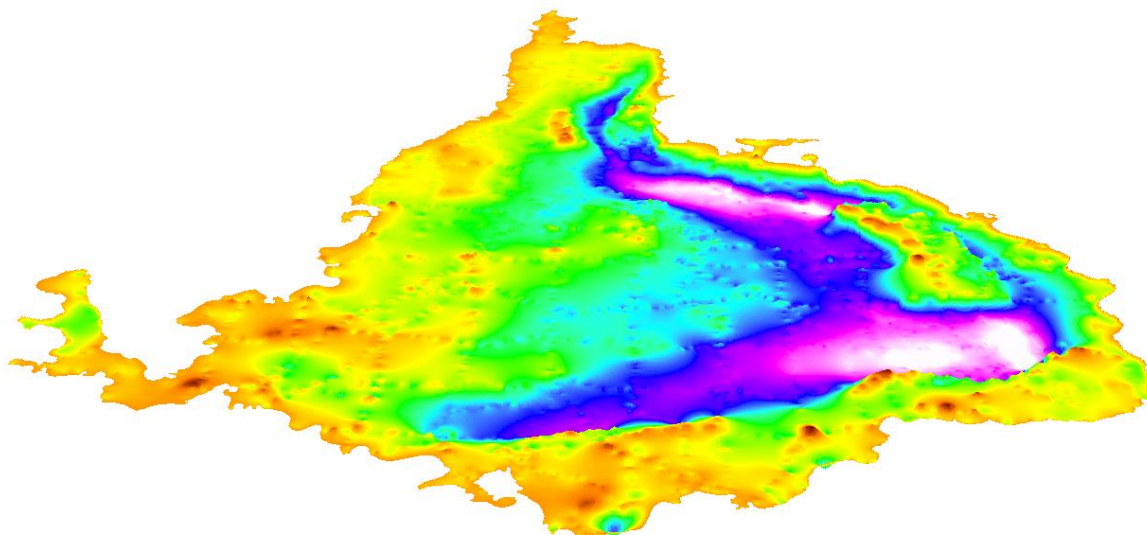


Joonis 3.8.5. 1960. a ortofoto (Maaameti fotoladu), millele on kantud peale 1951. a veepinna kõrguse kõrgusjooned (74,89 m ü.m.p.).

Endla järv veepinna kõrgusel 74,89 m ü.m.p.



Joonis 3.8.6. Endla järve sügavuskaart veetaseme 74,89 m ü.m.p. juures. Kaardile on kuvatud vaid saared, mis on suuremad kui 2000 m².



Joonis 3.8.7. Endla järve 3D-mudel 20x vertikaalse suurendusega Kask (1964) järgi pärast veetaseme alandamist olnud veetaseme juures (74,89 m ü.m.p.) (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neonsinine-sinine-lilla-valge).

Tabel 3.8.4. Endla järve morfomeetrilised parameetrid veepinna kõrgusel 74,89 m ü.m.p.

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	74,89
Suurim pikkus (m)	1859
Laine ajutee (m)	1849
Suurim laius (m)	1620
Veepeegli pindala (ha/km ²)	130,0/1,30
Saarte pindala (ha/km ²)	0,9/0,009
Kogupindala (ha/km ²)	130,9/1,31
Suurim sügavus (m)	1,71
Keskmine sügavus (m)	0,5
Suhteline sügavus (%)	0,1
Maht (m ³)	689 000
Kaldajoone pikkus (km)	9,64
Saarte kaldajoone pikkus (m)	770
Kaldajoone liigestatus	2,38
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	0,5



Joonis 3.8.8. Endla järve taimestiku kaart aastast 1951 (Mäemets, 1968).

Mäemets (1968) andmetest (Tabel 3.8.3.) ja käesoleva töö käigus rekonstrueeritud madala veetasemega Endla järve morfomeetristest parameetritest (Tabel 3.8.4.) saab järeldada, et järve veepeegli pindala vähenes 1950. aasta veetaseme alanemise tagajärjel ca 3 korda ja maht üle 4,5 korra (mahu muutuse arvutus on tehtud järve tänapäeva mahu põhjal (Tabel 3.8.1.), kuna varasemast andmed puuduvad). Järve maksimaalseks sügavuseks jäi ca 1,7 m (Kask (1964) poolt antud 2,4 m on tõenäoliselt metoodilisest erinevusest tingitult ülehinnatud) ja keskmiseks sügavuseks pelgalt 0,5 meetrit (Tabel 3.8.4.). Järve kihistumisrežiimi veetaseme alanemine ei mõjutanud, kuna ka kõrgema veetaseme juures Endla järves kihistumist ei esinenud (Mäemets, 1968) ega saanud esineda tulenevalt järve suurest pindalast, avatusest tuultele ja väikesest sügavusest. Tulenevalt järve pindala drastilisest vähenemisest, vähenes ka järve litoraali ala. Kuna enne 1950. aasta veetaseme alanemist puuduvad seire andmed, võime spekuloida, et ka siis moodustas järve läänepoolne madalam osa suurema osa järve litoraali alast. Vahetult pärast veetaseme alanemist (1951. aasta) on teada, et veetaimestiku maksimaalne leviku sügavus oli 1,8 meetrit ja keskmine leviku sügavuspiir 1 meetrit (Mäemets, 1968). Madalama veetaseme juures saab seega praktiliselt kogu Endla järve lugeda litoraali vööndiks. Kuna andmed tollastest sisseõuetest veetaseme kõikumistest puuduvad, ei saa teha järeldusi eulitoraali ja sublitoraali vööndite ulatuste kohta. Kaldataimestikus domineerisid toona pilliroog ja kaisel, mida leidis rohkem järve idakaldal. Ujulehtedega taimestikust leidis vaid vähesel määral väikest vesikuppu ja veesisises taimestikust domineerisid mändvetikad, mis asusid peamiselt järve põhja- ja lääneosas (Mäemets, 1968). Fütoplanktoni hulk oli toona keskmine ja leiti 35 liiki, zooplanktoni hulk oli madal ja liikide arv 38 (Mäemets, 1968, Ott, 2006). Kuna antud kompleksuuring viidi läbi vahetult pärast veetaseme alanemist, siis tulemused ei pruugi täielikult peegeldada Endla järve ökosüsteemi muutusi veetaseme langusele. Kuna järgnevad põhjalikumad uuringud Endla järve kohta pärinevad alles pärast veetaseme tõstmise alustamist 1968. aastal, siis saame vaid hilisematest andmetest teha järeldusi langenud veetaseme võimalikust mõjust järve ökosüsteemile. Enim ilmestab muutusi järves veetaimestiku liikide ja rohkuse tõus: 1982. aastal esineb ujulehtedega taimestik lisaks

väikesele vesikupule ohtralt kollast vesikuppu ja vesiroose, ujuvat penikeelt ja liht-jõgitakjat; tõusnud on nii pilliroo kui ka järvkaisla ohtrus ja leidub ohtralt tarna kui ka laialehist hundinuia; veesiseses taimestikis domineerivad mändvetikad, kuid leidub ka ohtralt kanada vesikatku (Ott, 2006). Peale lõplikku järve veetaseme taastamist 1990. aastatel on Endla järve taimestiku liikide arv ja ohtrus veelgi suurenenud (nt 2015. aastal 56 liiki): pilliroog on muutunud kaldataimesikus dominandiks (ohtrus 5); leidub rohkelt ujulehtedega- ja ujutaimi, millede hulgas on enim levinud kollane vesikupp; veesisestest taimedest leidub kõige rohkem mändvetikaid (ohtrus 4), kuid rohkelt leidub ka männas-vesikuuske, kaelus-penikeelt ja vesikarikat (Ott, 2015). Võrreldes 1951. aasta uuringuga (Mäemets, 1968) on langenud ka fütoplanktoni ja zooplanktoni taksonite arv (vastavalt 30 ja 18 taksonit) (Ott, 2015). Kalastikust on teada, et peale veetaseme alanemist kadus järvest latikas (Mäemets, 1977), kelle populatsioon ei ole siiani taastunud (Ott, 2015). Kõige eelneva põhjal saab järeldada, et kuigi järve veetase on taastunud, siis veetaseme alandamine käivitas või pigem kiirendas järve maastumisprotsesse, mis on omakorda mõjutanud ka järve elustikku. Endla looduskaitseala kaitsekorralduskavas aastateks 2015-2024 (Endla looduskaitseala kaitsekorralduskava 2015-2024) on toodud välja peamise järvele negatiivse mõjutegurina lämmastiku koormus valglalt, kuid samuti on märgitud, et Endla järve veetaseme kunagise alandamisega on paigast nihutatud tasakaal taimestikus ning setete ja toiteainete akumulatsioonis.

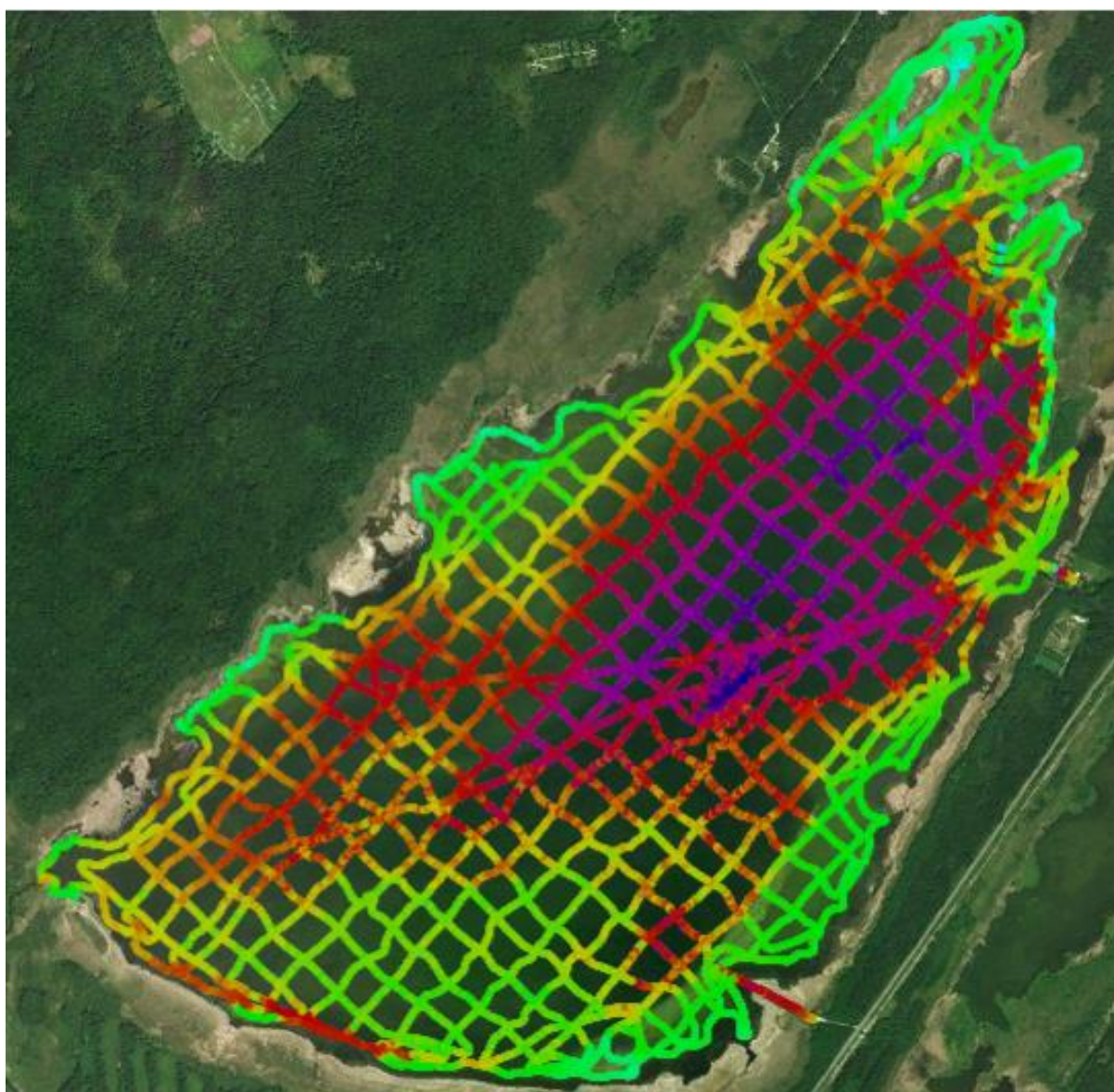
Teiseks küsimuseks on, et kas Endla järve veetase on taastunud oma endise taseme juurde? 1901. aasta üheverstalisel kaardil on näha, et järves on saarte pindala oluliselt väiksem (Joonis 3.8.9.). Järve põhjaosas asuv Männiksaar on selgelt maismaast eraldunud ning on ümbritsetud lahtise veega. Samuti järve kirdeosas asuv Margussaar, mis tänapäeval on osa kaldaäärsest sooviku alast, on ümbritsetud vaba veega. Visuaali põhjal võiks eeldada, et järve veetase oli toona kõrgem. Samas on toodud kaardil veepinna kõrguseks 34 sülga, mis teeb 75,73 m ü.m.p. EH2000 järgi. Kontrollimaks, et tegu ei ole juhusliku valesti märgitud kõrgusega, saab võrrelda andmeid 1947. aasta topokaardiga (kaks aastat enne suuremat veetaseme langetamist), kus on veepinna kõrguseks märgitud 75,49 m ü.m.p. EH2000 järgi (Maa-ameti ajalooliste kaartide rakendus). Maa-ameti kõrgusmudelilt on näha, et veetase saaks olla Endla järves maksimaalselt paarkümmend sentimeetrit kõrgem, vastasel juhul jääksid väiksemad saared (näiteks Margussaar) vee alla. Kuna ajalooliselt on need saared alati kaartidel figureerinud, saame järeldada, et Endla järve veetase on tänapäevase seisuga taastunud oma kunagisele tasemele (välitöödel mõõdetud veepinna kõrgus oli 75,58 m ü.m.p.). Erinevused Endla järve tänapäevastes ja kunagistes (Mäemets, 1968) morfomeetrilistes parameetrites on tingitud peamiselt intensiivistunud maastumisprotsessidest, mille põhjustasid aastakümnete tagused veetasemete langetamised.



Joonis 3.8.9. Endla järv 1901. aasta üheverstalisel kaardil (Maa-ameti ajalooliste kaartide rakendus).

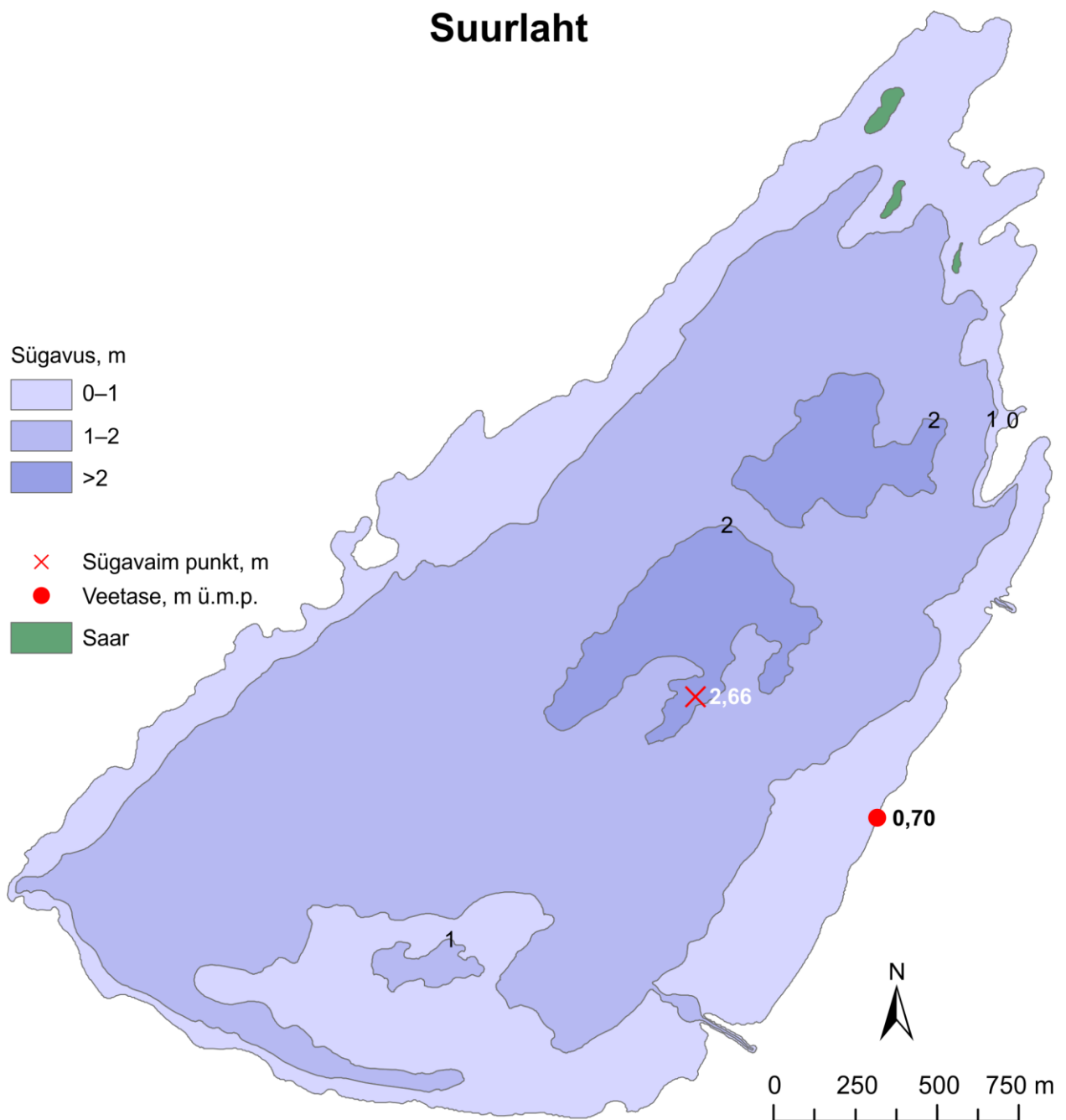
3.9. Suurlaht

Välitööd viidi läbi 25.-27.11.2019. Mõõdistamise käigus läbiti 109,2 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 321 796 sügavuspunkti (Joonis 3.9.1.). Järve põhja iseloomustas kivide esinemine. Järve keskosa keskmise sügavusega aladel esines kohati järske sügavuse muutusi, mis on tõenäoliselt tingitud kas järve põhjataimestikust või eelpool mainitud kividest. Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 0,88 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 2,2 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmodelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.9.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.9.3.). Maa-ameti kõrgusmodeli aluseks olnud LiDAR-andmed koguti 04.05.2017.

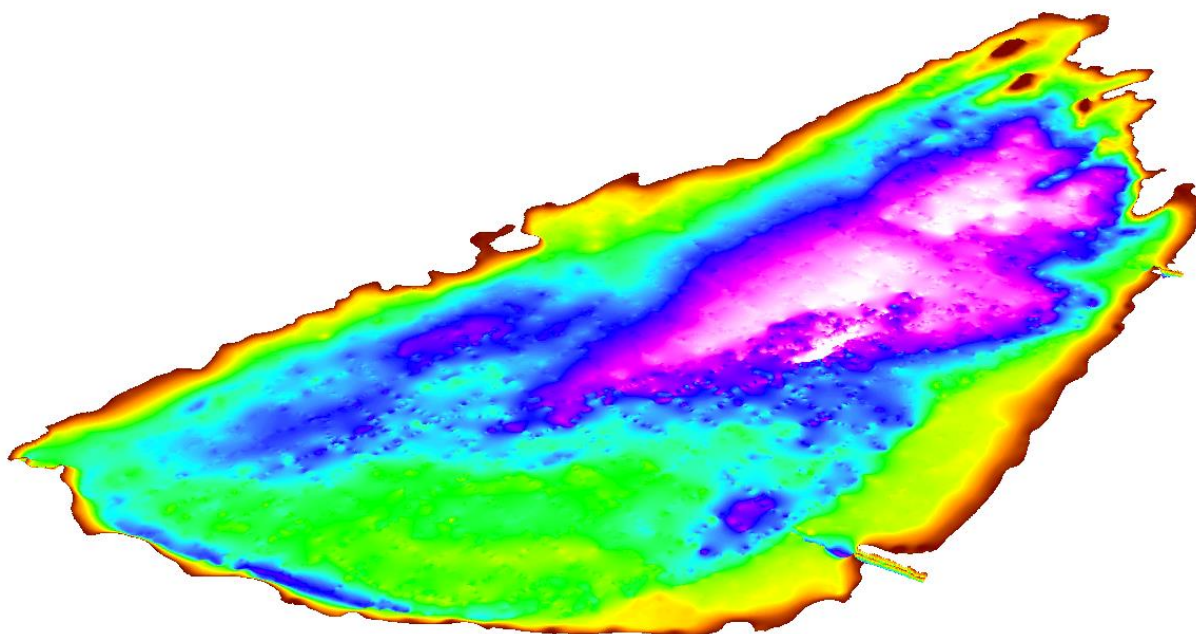


Joonis 3.9.1. Suurlahe sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).

Suurlaht



Joonis 3.9.2. Suurlahe sügavuskaart veetaseme 0,70 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.9.3. Suurlahe 3D-mudel 20x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

Suurlaht on suhteliselt suur (541 ha) ja madal (keskmine sügavus 1,2 meetrit) kirde-edela suunaline järv (Joonis 3.9.2.; Tabel 3.9.1.). Järves on 3 saart kogupindalaga 1,2 hektarit. Järve nõgu on võrdlemisi kausjas ja sügavam ala jääb järve kirde- ja keskossa, ulatudes maksimaalselt 2,7 meetrini. Järve iseloomustab avatus tuultele (suhteline sügavus 0,1%) ja lauge reljeef (keskmine nõlvakalle 0,4 kraadi). Järve batümeetiline kõver on võrdlemisi lineaarne ja kuni 1 meetri sügavused alad moodustavad järve pindalast ca 35% kuid ca 70% mahust (Tabel 3.9.2.; Joonis 3.9.4.).

Suurlaht oli ainuke järv, mille veepinna kõrgus oli 2019. aasta välitöödel kõrgem kui Maa-ameti kõrgusmodelilt tuletatud veepinna kõrgus. Selleks, et järvede kaldajoone valikul oleks lähtutud ühtsest metoodikast, võeti Suurlahe kaldajoon ja veepinna kõrguse väärtus Maa-ameti kõrgusmodelilt ning erinevus välitöödel mõõdetud veetasemega lahutati välitöödel mõõdetud sügavusandmetest. Sellest tulenevalt on ka tabelis 3.9.1. märgitud maksimaalne sügavus väiksem kui välitöödel mõõdetud 2,84 meetrit, millest tõstatub küsimus, et mis on ikkagi järve maksimaalne sügavus ja mille alusel seda defineerida?

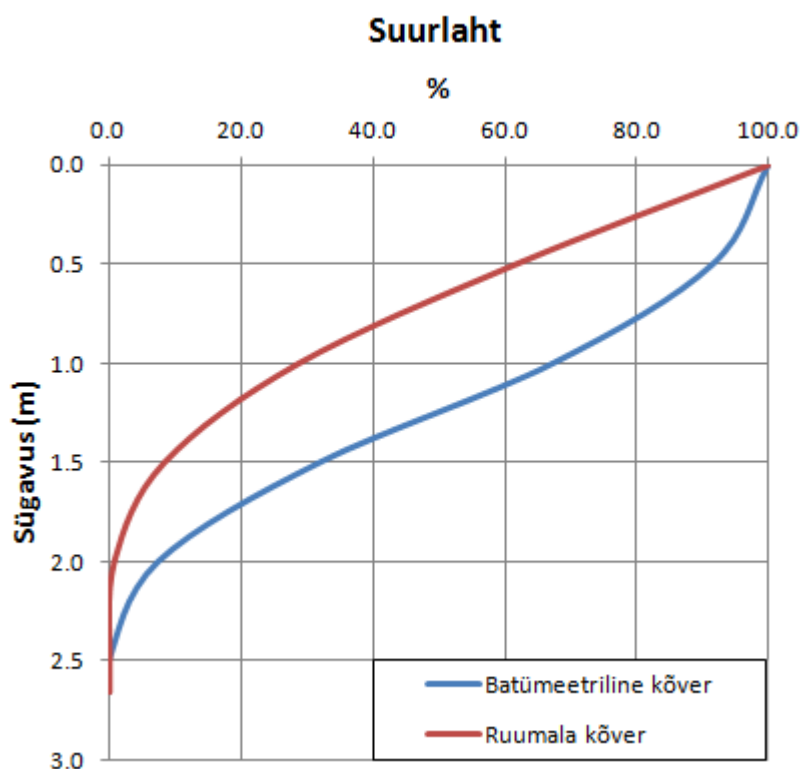
Tabel 3.9.1. Suurlahe morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	0,70
Suurim pikkus (m)	4065
Laine ajutee (m)	4065
Suurim laius (m)	1930
Veepeegli pindala (ha/km ²)	539,8/5,40
Saarte pindala (ha/km ²)	1,2/0,01
Kogupindala (ha/km ²)	541,0/5,41
Suurim sügavus (m)	2,66

Keskmine sügavus (m)	1,2
Suhteline sügavus (%)	0,1
Maht (m ³)	6 713 800
Kaldajoone pikkus (km)	14,04
Saarte kaldajoone pikkus (m)	925
Kaldajoone liigestatus	1,70
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	0,4

Tabel 3.9.2. Suurlahe veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	539,8	5,398	0–1	4 786 900
1	362,70	3,630	1–2	1 880 000
2	40,3	0,403	>2	47 000



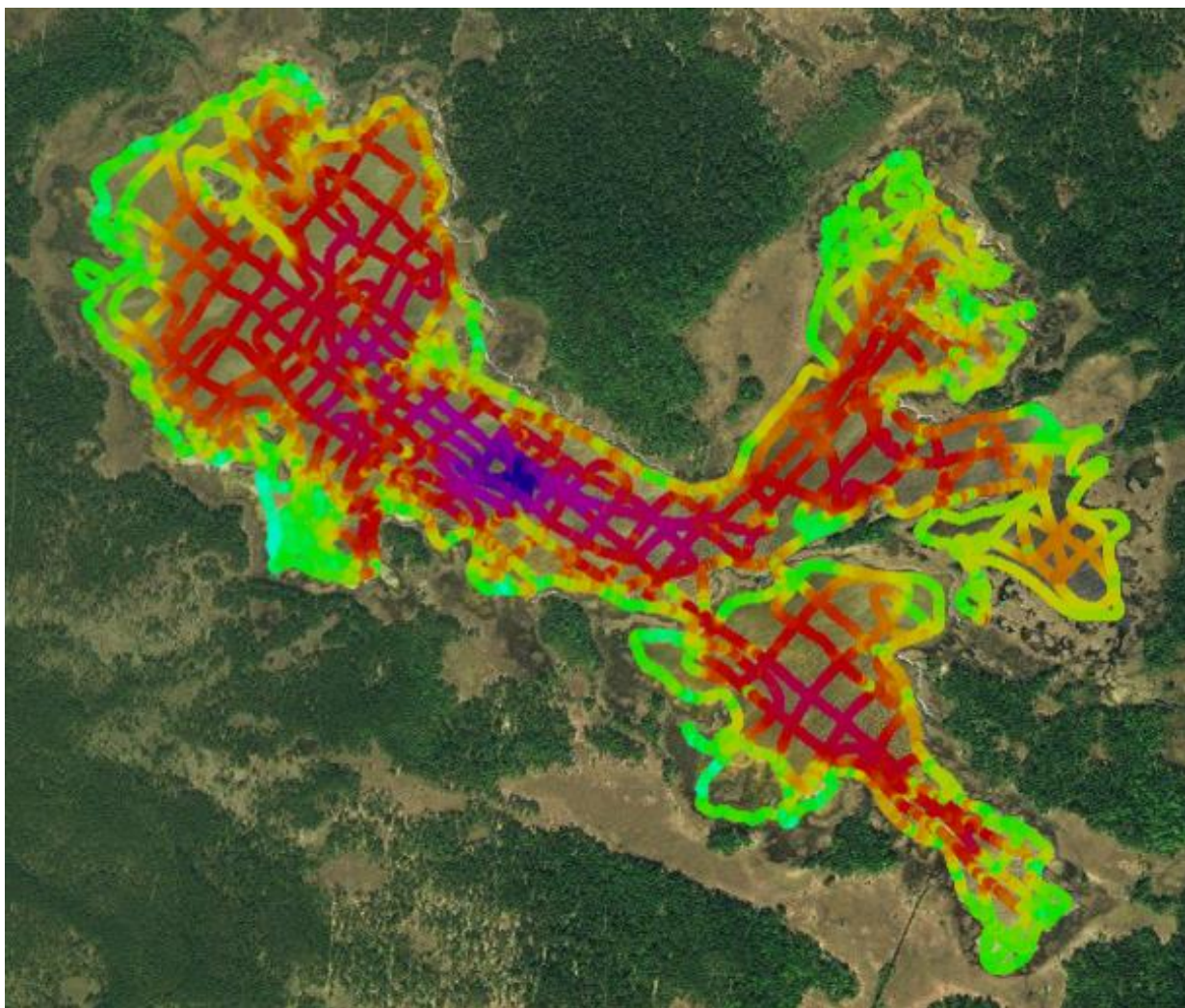
Joonis. 3.9.4. Suurlahe batümeetriline ja ruumala kõver.

Paraku on varasemaid andmeid Suurlahe morfomeetriliste parameetrite kohta vähe ja alati on seda käsitletud koos naaberjärve Mullutu lahega. Vaid Kask (1964) on muude ühiste väärtuste seas märkinud eraldi ära Suurlahe maksimaalse sügavuse 2,1 m ja keskmise sügavuse 1,2 m. Järvede ühiseks veepinna kõrguseks on märgitud 0,6 m ü.m.p. (so 0,8 m ü.m.p. EH2000 järgi). Neid väärtusi kõrvutades praeguse töö raames saadud tulemustega on näha, et nii veepinna

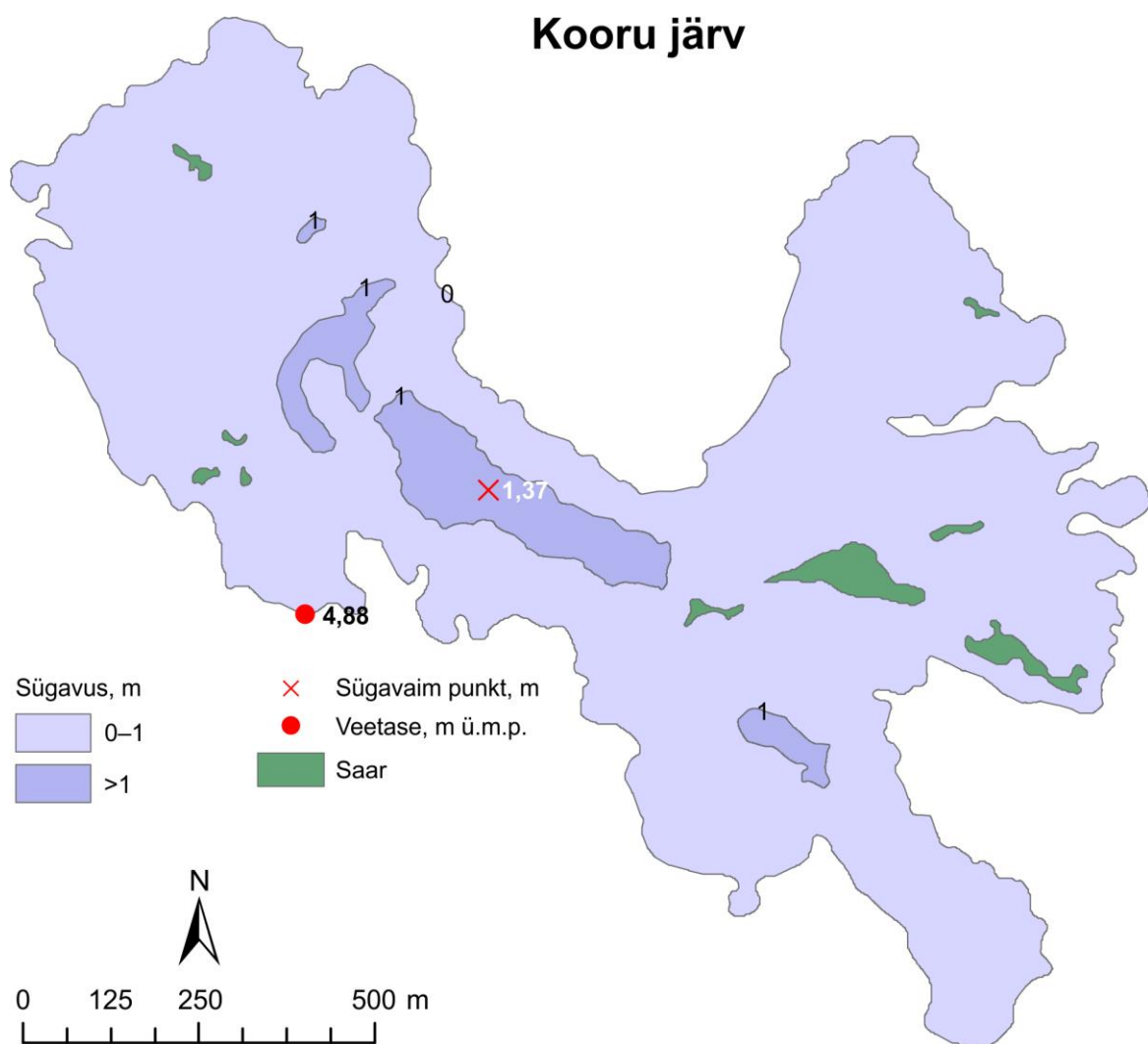
kõrgus kui ka keskmine sügavus vastavad tänapäevasele olukorrale. Märkimisväärne on erinevus maksimaalses sügavuses: Kask (1964) andmete järgi oli järv 67 cm madalam (võttes arvesse ka erinevust veepinna kõrgustes). See on protsentuaalselt üsna suur erinevus, arvestades et tegu on madala järvega. Ainsaks seletuseks võib pidada, et kunagises uuringus ei leitud järve sügavaimat ala ülesse. Olemasolevate väheste andmete põhjal saab öelda, et Suurlaht on olnud lähiajaloo vältel stabiilne.

3.10. Kooru järv

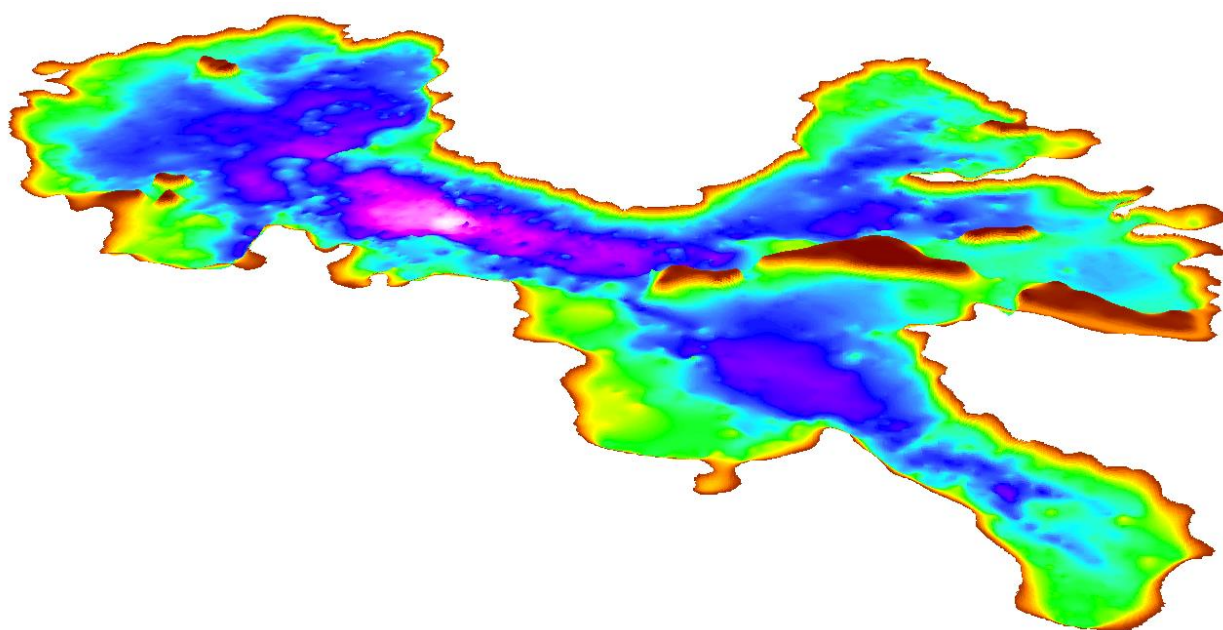
Välitööd viidi läbi 28.-29.11.2019. Mõõdistamiste käigus läbiti 41,7 kilomeetrit ja mõõdistati kokku 176 944 sügavuspunkti (Joonis 3.10.1.). Järve põhja iseloomustab rohke veealuste kivi ka pinnale ulatuvate kivide arv. Järve veepinna kõrgus oli mõõdistuste ajal 4,85 m ü.m.p. Järve veesammas oli segunenud ja vee temperatuur oli 3,7 °C. Kogutud sügavusandmete ja Maa-ameti kõrgusmudelilt tuletatud järve kaldajoone põhjal interpoleeriti järve nõo batümeetiline kaardikiht, mille põhjal koostati batümeetiline kaart (Joonis 3.10.2.) ja järve nõo 3D-mudel (Joonis 3.10.3.). Maa-ameti kõrgusmudeli aluseks olnud Lidar-andmed koguti 04.05.2017.



Joonis 3.10.1. Kooru järve sügavusmõõdistuste esialgsed töötlemata tulemused (värvi gradient madalast-sügavasse: neoonsinine-roheline-kollane-oranž-punane-lilla-sinine).



Joonis 3.10.2. Kooru järve sügavuskaart veetaseme 4,88 m ü.m.p. juures.



Joonis 3.10.3. Kooru järve 3D-mudel 20x vertikaalse suurendusega (värvi gradient madalast-sügavasse: pruun-oranž-kollane-roheline-neoonsinine-sinine-lilla-valge).

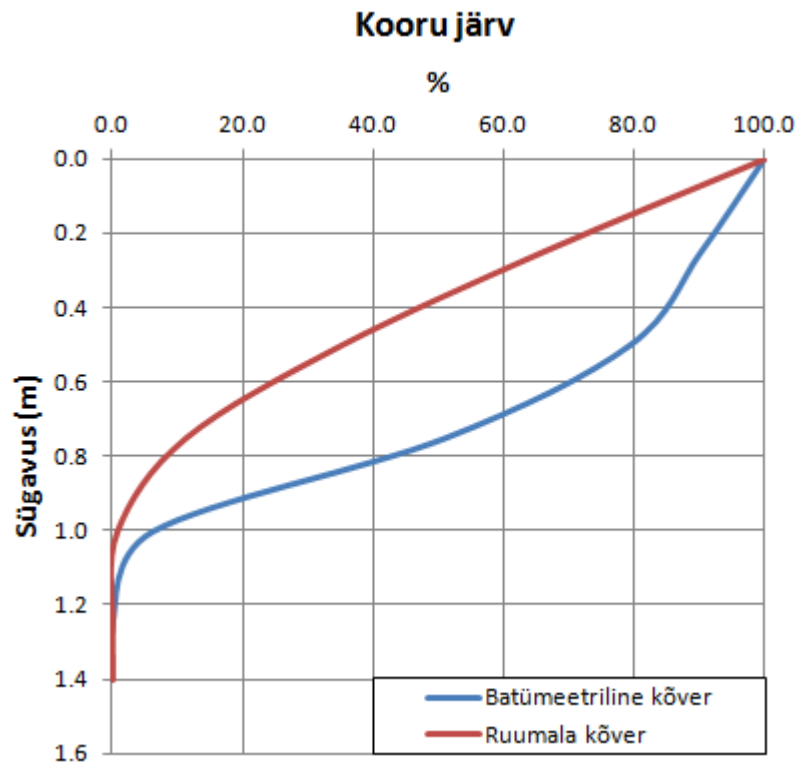
Kooru järv on keskmise suurusega (91,7 ha) ja liigestatud kaldajoonega madal järv (keskmine sügavus 0,7 meetrit) (Joonis 3.10.2.; Tabel 3.10.1.). Järves on 9 saart kogupindalaga 1,8 hektarit. Järv on kagu-loode suunaline, kuid koosneb kolmest kuni neljast suuremast osast/sopist. Sügavaim ala jääb järve keskossa, kus suurim sügavus ulatub vaid 1,4 meetrini. Järve iseloomustab avatus tuultele (suhteline sügavus 0,1%) ja lauge reljeef (keskmine nõlvakalle 0,6 kraadi). Järve batümeetrilise kõvera põhjal saab öelda, et järve kaldaäärse alad on suhteliselt järsu nõlvaga ja valdav osa järve pindalast (ca 80%) jääb sügavamale kui 0,5 meetrit (Tabel 3.10.2.; Joonis 3.10.4.).

Tabel 3.10.1. Kooru järve morfomeetrilised parameetrid

Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	4,88
Suurim pikkus (m)	1870
Laine ajutee (m)	1830
Suurim laius (m)	940
Veepcegli pindala (ha/km ²)	89,9/0,9
Saarte pindala (ha/km ²)	1,8/0,02
Kogupindala (ha/km ²)	91,7/0,92
Suurim sügavus (m)	1,37
Keskmine sügavus (m)	0,7
Suhteline sügavus (%)	0,1
Maht (m ³)	638 100
Kaldajoone pikkus (km)	8,87
Saarte kaldajoone pikkus (m)	2115
Kaldajoone liigestatus	2,61
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	0,6

Tabel 3.10.2. Kooru järve veekihtide pindalad ja mahud

Veekiht (m)	Veekihi pindala		Sügavuse vahemik (m)	Vahemiku ruumala (m ³)
	(ha)	(km ²)		
0	89,9	0,899	0–1	633 700
1	5,9	0,059	>1	4430



Joonis 3.10.4. Kooru järve batümeetiline ja ruumala kõver.

Varasemalt on Kooru järve kohta publitseeritud morfomeetriliste parameetrite andmeid Kask (1964) (Tabel 3.10.3.). Kooru järve morfomeetriliste parameetrite võrdluses Kask (1964) andmetega näeme, et toona olid kõik morfomeetriliste parameetrite näitajad mõnevõrra madalamate väärtustega. Märkimisväärne on, et veepinna kõrgus oli tollasel mõõtmiskorral oluliselt madalam kui käesoleva töö raames tehtud uuringus. Ilmselt on Kask (1964) veepinna kõrguse andmed valed. Võttes arvesse, et kõrguse erinevus tänapäevase veetasemega on 1,25 meetrit ning et tänapäeval on järve sügavus maksimaalselt 1,37 meetrit, siis toonase taseme juures jääks “järve” sügavuseks pelgalt 12 sentimeetrit. Käesoleva töö raames on veepinna kõrguse väärtused võetud LiDAR-andmetest ja peegeldavad pigem järve kõrget veetaset. Ka 2019. aasta sügise välitööde ajal oli Kooru järve veetase väga kõrge, vaid 3 cm madalam kui LiDAR andmetest saadud veepinna kõrgus. Seega võib mõningane erinevus järve morfomeetrilistes parameetrites võrreldes Kask (1964) andmetega olla tingitud juhuslikkusest, et millisel perioodil järve kaardistamas käidi. Arvestades, et Kooru järve pikkuse, laiuse, pindala ja sügavuse mõõtmised on tänapäeval üsna sarnased Kask (1964) omadele, võime järeldada, et järve ilme ei ole viimastel aastakümnetel suuremalt jaolt muutunud.

Tabel 3.10.3. Kooru järve morfomeetrilised parameetrid Kask (1964) järgi. Veepinna kõrgus kõrgussüsteemis EH2000 on lisatud sulgudes

Aeg	Kask (1964)
Veepinna kõrgus (m ü.m.p.)	3,4 (3,63)
Suurim pikkus (m)	ca 1800
Laine ajutee (m)	-
Suurim laius (m)	ca 800
Veepeegli pindala (ha/km ²)	kuni 75/0,7

Saarte pindala (ha/km ²)	-
Kogupindala (ha/km ²)	-
Suurim sügavus (m)	-
Keskmine sügavus (m)	0,3
Suhteline sügavus (%)	-
Maht (m ³)	-
Kaldajoone pikkus (km)	-
Saarte kaldajoone pikkus (m)	-
Kaldajoone liigestatus	-
Keskmine nõlvakalle (kraadi)	-

4. Arutelu ja kokkuvõte

Käesoleva töö raames viidi läbi kümne Eesti eriilmelise järve (Endla järve, Pühajärve, Rõuge Suurjärve, Suurlahe, Uljaste järve, Viitna Pikkjärve, Ähijärve, Kooru järve, Äntu Sinijärve ja Tõhela järve) batümeetrilised mõõdistused, mille alusel esitati tellijale 1x1 m resolutsiooniga sügavuspunktide andmestik, arvutati järvedele erinevate morfomeetriliste parameetrite näitajad ja koostati järvede sügavuskaardid ning rasterkihid. Tellijale edastati ka kõik asjakohased anomaaliatest/vigadest puhastatud algandmed.

Saadud andmed annavad detailse informatsiooni järvede morfomeetriast ja loovad hea aluse andmete võrdluseks nii tulevaste batümeetriliste seiretega kui ka juba varem tehtud järvede kaardistamisega. Antud töö käigus loodud järvede rasterkihid võimaldavad rekonstrueerida järvede kunagisi sügavuskaarte ja morfomeetrilisi parameetreid, kasutades modelleerimisel veetaseme sisendina tollaseid veepinna kõrgusväärtusi. Samas lubavad need ka mängida läbi erinevaid tuleviku veetasemete stsenaariume, mis võivad tulenevalt kas inim mõjust või kliimaatilistest tingimustest tingituna aset leida. Saadud tulemused võimaldavad prognoosida järve kui ökosüsteemi muutusi ja kohanemist nende tingimustega.

Detailsed sügavuskaardid ja rasterkihid annavad ka olulist lisainformatsiooni järvede hüdrokeemilise ja hüdrobioloogilise seire andmetele, näiteks võimaldades järve täpseid parameetreid teades, arvutada detaileid primaarproduksiooni ja biomassi väärtusi. Samuti saab nende alusel koos vajaliku lisainformatsiooniga hinnata potentsiaalset elupaikkade jaotust järves ja nende muutusi veetasemete kõikumiste juures. Olulist informatsiooni järvede, nende seisundi ja mineviku muutuste kohta annaks omakorda veel setete ja nende paksuse kaardistamine, mis oleks loogiline jätk käesolevale tööle ja peaks olema ka tulevaste võimalike batümeetriliste seirete juures juba kui üks töö osa. Järve sete, selle koostis, kihi paksus jne on oluline teave nii järve elustiku ja selle jaotuse seisukohast kui ka tulevikku vaadates, potentsiaalselt oluline baasinfo järvede süsiniku sidumisvõime ja toitainete sisalduse hindamiseks. See on oluline kuna veetaseme drastilise alanemise käigus võib läbi erinevate mehhanismide setteist vabaneda veekeskkonda liigselt suurel määral toitaineid ja paljandunud setted võivad muutuda potentsiaalseteks süsiniku emiteerijateks.

Kuigi käesolev töö kulges edukalt ja ületamatuid takistusi ei esinenud, tekkis siiski jooksvalt mõtteid puudujääkide ja ettepanekute osas tulevaste sarnaste tööde läbiviimisel:

Ulatuslike maastuvate kallastega järvede tegelikkusele ehk konkreetsetele veetasemetele vastava kaldajoone leidmiseks kaugseire andmete põhjal oleks vaja välja töötada spetsiifiline meetoodika. Antud töö käigus kasutati kaldajoonte kontuuride leidmiseks Maa-ameti geoportaalist allalaetud 1x1 m resolutsiooniga geotiff-formaadis kõrgusmudelit, millele modelleeriti madalaim kõrgusjoon, mis moodustas ümber järve tervikliku isojoone ja eeldatavalt kajastas järve kaldajoont ja veetaset LiDAR-mõõtmiste hetkel (vt peatükk 2.3.). Samas laugete ja maastuvate kallastega järvede kaldajoone leidmisel (kus ei joonistunud välja ühtset kõrgusjoont) tuli lähtuda ka muudest võimalikest allikatest (põhikaart, ortofotod, välivaatlused jne.), mis omakorda jätsid palju tõlgendamise ruumi ning tulemus oli oluliselt sõltuv tööd läbiviivast inimesest. Selliste subjektiivsete erinevuste välistamiseks oleks vajalik ühtne kaugseire andmetel põhinev meetoodika järve kaldajoone määramiseks.

Antud teemast tuleneb omakorda küsimus järvede maksimaalse sügavuse osas: millise veetaseme suhtes seda arvutatakse/mõõdetakse (kehtib ka teiste morfomeetriliste parameetrite kohta)? Kuigi antud töös kasutatud järve kaldajoone leidmise metoodikat kasutades saime üheksal juhul kümnest kõrgema kaldajoone kõrguse kui välitöödel, siis Suurlahe puhul oli reaalne veepinna kõrgus välitöödel kõrgem kui hiljem andmete analüüsis kasutatu. Sellest tulenevalt on ka töös antud maksimaalne järve sügavus väiksem, kui reaalselt kohapeal mõõdetud sügavus. Vajalik oleks jõuda selgusele, kas maksimaalne sügavus tuleks arvestada sessorse maksimaalse veetaseme juures ja kui nii, siis kas suurvee ajal järvede madalad mättased üleujutatud alad tuleks samuti arvestada järve pindala sisse ning võtta neid arvesse ka teiste morfomeetriliste parameetrite arvutamisel (kaasa arvatud järve maht)?

Oluline oleks koondada ja digitaliseerida kõik võimalikud ajaloolised järvede sügavuskaardid. Käesoleva töö käigus kasutati järvede ajalooliste võimalike muutuste analüüsimiseks peamiselt varasemalt publitseeritud morfomeetriliste parameetrite näitajaid (vanad publitseeritud sügavuskaardid leidsid nelja järve kohta). Kuid kohati on need üsna vastuolulised ja võivad potentsiaalselt sisaldada inimlikest vigadest tulenevaid vääraid andmeid. Algsete sügavuskaartide ja materjalide koondamine ja digitaliseerimine võimaldaks nende andmete põhjal luua kaardikihid ja usaldusväärsema alusandmestiku tulevastele järvede ajalooliste muutuste analüüsidele.

Kasutatud kirjandus

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

Endla looduskaitseala kaitsekorralduskava 2015 - 2024. Keskkonnaamet:
https://www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/endlalka_kkk_2015_2024_avalik.pdf

Kallejärv, T. 1977. Uut Eesti järvede sügavusest. *Eesti Loodus*, 4/1977, lk: 241 - 244.

Kask, I., 1964. Eesti NSV järvede nimestik. Tallinn.

Maa-ameti ajalooliste kaartide rakendus: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Kaardirakendused-p2.html>

Maa-ameti fotoladu. <http://fotoladu.maaamet.ee/>

Mäemets, A. 1968. *Eesti järved*. Kirjastus Valgus, Tallinn.

Mäemets, A. 1977. *Eesti NSV järved ja nende kaitse*. Kirjastus Valgus, Tallinn.

Möllits, K. 1997. Endla ja ta sõsarjärved. *Eesti Loodus*, 10/1997:
http://vana.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/EL/vanaweb/9710/jarved.html

Mühlen, M. von zur. 1908. *Die Raugeschen Seen. Sitzungsberichte der Naturforscher-Gesellschaft bei der Universität Jurjew (Dorpat), Bd. XVII, ¾*.

Ott, I. 2006. *Eesti väikejärvede seire 2005*. a. Tartu.

Ott, I. 2015. *Eesti väikejärvede seire 2015*. a. Tartu.

Ott, I. ja Kõiv, T. 1999. *Eesti väikejärvede eripära ja muutused*. EV Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tallinn.

Pae, T. 2019. *Eesti rahvusatlas*. Tartu Ülikool, Tartu.

Riikoja, H. 1930. *Zur Morphometrie einiger Seen Eestis*. Tartu Ülikooli Eesti veekogude uurimise komisjoni väljaanne nr 13. Mattiesens Buchdruckerei, Tartu.

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