

TALLINNA ÜLIKOOL

Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut

Loodusteaduste osakond

Taavi Taavita

**KURTNA JÄRVESTIKU JÄRVEDE
MORFOMEETRILISTE NÄITAJATE
MUUTUSED PERIOODIL 1946–2014**

Magistritöö

Juhendajad: PhD Jaanus Terasmaa

Tallinn 2015

Autorideklaratsioon

Mina, _____, kinnitan, et olen käesoleva lõputöö

Autori nimi

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

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

Töö autor: _____

Kuupäev, allkiri

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja: _____

Kuupäev nimi allkiri

Õppekava juht: _____

Kuupäev nimi allkiri

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

LÜHIKOKKUVÕTE

Kurtna järvestiku järvede morfomeetriliste näitajate muutused perioodil 1946–2014

Taavi Taavita

Töö eesmärgiks on uurida Kurtna järvestiku järvede morfomeetriliste parameetrite muutust viimase 70-ne aasta jooksul. Järvestik on tugevalt mõjutatud inimtegevusest – piirkonnas on mitmed põlevkivikaevandused ja turbaväli. Kurtna mõhnastiku keskosas asub toimiv liivakarjäär ja Vasavere veehaare. Järvede looduslikku veerežiimi on mõjutanud järvede omavaheline ühendamine kraavidega ja Konsu veehaare.

Järvede sügavuse mõõdistamised teostati Ahvenjärvel, Aknajärvel, Haugjärvel, Jaala järvel, Liivjärvel, Mustjärvel, Niinsaare järvel, Nõmmejärvel, Peen-Kirjakjärvel, Rääkjärvel, Räätsma järvel, Saarejärvel, Suur-Kirjakjärvel, Suur Linajärvel, Suurjärvel, Särgjärvel ja Valgejärvel. Järvede sügavuse mõõdistamiseks kasutati kajaloodi. Saadud sügavusandmete töötlemiseks kasutati GIS-põhist lähenemist, mille tulemusena valmisid järvede batümeetrilised kaardid ja leiti järvede tänapäevased morfomeetrilised andmed. Saadud andmeid võrreldi varasemate morfomeetriliste andmetega. Mitme käesoleva töö raames mõõdistatud järve kohta puudusid sügavusandmed ja sügavuskaardid. Varasemalt uuritud järvede kohta oli andmestik väga katkendlik ja aegunud ning kohati väär.

Tulemused näitavad, et järvestiku looduslikku tasakaalu on antropogeensed tegevused järvestiku ümbruses oluliselt mõjutanud. Intensiivne inimtegevus alates 1960. aastatest alandas mitmete järvede veetaset märkimisväärselt. Konsu veehaare ja Raudi kanali kaevamine avaldas mõju Suurjärve, Niinsaare ja Mustjärve veetasemele. Lisaks mõjutas mõhnastiku lõunaosa järvesid ka Estonia kaevandus. Tänu Sirgala karjääri ja Oru turbaväljade tegevusele vähenes veetase mõhnastiku põhja-, kirde- ja idaossa jäävates järvedes. Kõige enam on veetase alanenud mõhnastiku keskosa umbjärvedes eeskätt Vasavere veehaarde negatiivse mõju pärast.

Märksõnad: batümeetria, inim mõju, järved, järvenõgu, kaardistamine, Kurtna järvestik, morfomeetria, veetase.

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	2
SISUKORD	3
SISSEJUHATUS	5
KASUTATUD MÕISTETE SELETUSED.....	7
1. JÄRVED.....	8
1.1 Järve areng	9
1.2 Järvede morfomeetriselised näitajad	10
1.3 Järvenõo kirjeldamine.....	13
1.4 Hüdrograafilised tööd	14
1.4.1 Planeerimine	14
1.4.2 Mõõtmine ja profiilid.....	15
1.4.3 Mõõtevahendid	17
1.4.4 Kajaloodi tööpõhimõte	18
1.4.5 Mõõtmise vead.....	19
1.5 Sügavuskaart.....	21
1.6. Eesti järvede sügavuse mõõtmine.....	22
2. UURIMISALA KIRJELDUS	23
2.1 Kurtna mõhnastik.....	23
2.2 Kurtna järvestik.....	26
2.3 Inimmõju Kurtna järvedele.....	28
2.4 Järvede iseloomustus	30
2.4.1 Ahnejärv.....	30
2.4.2 Ahvenjärv.....	31
2.4.3 Aknajärv.....	31
2.4.4 Haugjärv.....	32
2.4.5 Jaala järv	32
2.4.6 Kuradijärv	33
2.4.7 Liivjärv.....	34
2.4.8 Martiska järv	34
2.4.9 Mustjärv	35

2.4.10 Niinsaare järv	35
2.4.11 Nõmme järv	36
2.4.12 Peen-Kirjakjärv	37
2.4.13 Rääkjärv	37
2.4.14 Räätsma järv	38
2.4.15 Saarejärv	38
2.4.16 Suur-Kirjakjärv	39
2.4.17 Suur Linajärv	39
2.4.18 Suurjärv	40
2.4.19 Särgjärv	41
2.4.20 Valgejärv	41
3. METOODIKA	42
3.1 Välitööd	42
3.2 GIS-põhine andmetöötlus	43
3.3 Varasemad andmed	46
4. TULEMUSED	47
4.1 Järvenõgude morfomeetriselised andmed	47
4.2 Uued andmed Ahne-, Kuradi- ja Martiska järve morfomeetriast	66
5. ARUTELU	69
5.1 Järvede veetasemete ja sügavuste muutused	69
5.2 Järvede veetasemete muutuste peamised mõjurid	72
5.2.1 Konsu veehaarde ja Raudi kanali järved	72
5.2.2 Sirgala karjääri ja Oru turbaväljade mõjupiirkonna järved	75
5.2.3 Estonia kaevanduse mõjupiirkonna järved	78
5.2.4 Vasavere veehaarde mõjupiirkonnas olevates järvedes toimunud muutused perioodil 2010–2014	79
5.3 Tulemuste võimalikud ebakõlad	80
KOKKUVÕTE	81
SUMMARY	83
KASUTATUD KIRJANDUS	85

SISSEJUHATUS

Kirde-Eestis, Ida-Virumaal asub omanäoline Kurtna mõhnastik, mis on laialdasemalt tuntud tänu mõhnastikus paiknevate eri suuruse ja ilmega järvede poolest. Kurtna mõhnastiku ja järvede kaitse ning säilimise eesmärgil loodud 1987. aastal Kurtna maastikukaitseala. Piirkond on suvitusperioodil atraktiivne peatuspaik looduse nautimiseks ja vaba aja veetmiseks. Lisaks puhkajatele ohustab Kurtna järvi ja mõhnastiku hulk teisi antropogeenseid tegureid.

Kurtna mõhnastiku ümber paiknevad mitmed põlevkivikarjäärid ja kaevandused. Piirkonna soid on kuivendatud turba kaevandamise eesmärgil. Mõhnastiku keskosas paikneb Pannjärve liivakarjäär ja Vasavere veehaare. Lisaks juhitakse läbi mõhnastiku lõunaosa järvede Estonia ja varasemalt Viru kaevandusest pärinevat kaevandusvett. Konsu veehaarde rajamisega ühendati mitmed looduslikud umbjärved omavahel kraavidega, mõjutades seeläbi oluliselt järvede veetaset.

Intensiivse inimtegevuse tulemusena on muutunud järvede looduslik veerežiim ja füüsikalised-keemilised ning bioloogilised näitajad. Järvede seisundi hindamiseks vajalik andmestik on vananenud ja kompleksuuringute andmed pärinevad enam kui kahekümne aasta tagusest ajast, kui järvede olukord oli halb. Järve morfomeetrilised andmed annavad ülevaate järve olulisematest näitajatest, mis mõjutavad otseselt järve tervislikku seisundit ja järve eluiga. Koos elustiku ja ökoloogilise seisundi uuringutega saab järvede morfomeetrilised andmeid kasutades planeerida veekogu majandamise ja kaitsega seotud toiminguid, analüüsida veevahetus ning koostada veebilansse.

Käesolevas magistritöös uuritakse Kurtna järvestiku järvedes toimunud veetaseme muutusi perioodil 1946–2014. Töö eesmärkideks on:

- mõõdistada Kurtna järvestikus asuva 17-ne järve sügavused;
- koostada kogutud andmete põhjal järvede batümeetrilised kaardid ja leida järvenõgude morfomeetrilised näitajad;
- koguda kokku ja võrrelda järvede sügavuse ja veetaseme muutusi 70-ne aastasel perioodil;
- anda hinnang toimunud muutuste suuruste ja põhjuse osas.

Autor tänab oma juhendajat Jaanus Terasmaad, kelle suunavad märkused aitasid igakülselt kaasa töö edukale valmimisele. Samuti tänab autor Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituudi töötajaid ja Siim Paasi kes aitasid kaasa välitööde õnnestumisse.

Töö on valminud KESTA programmi projekti „Elussüsteemide dünaamika loodushoiu kontekstis“ (EDULOOD) ja TLÜ Uuringufondi projekti „Keskkonnakommunikatsiooni praktikate väljatöötamine Kurtna MKA näitel“ (KUKKEKOMM) toel.

KASUTATUD MÕISTETE SELETUSED

Halss (tack) – teekonnalõik, mille laev läbib ühe kursiga liikudes

Kajalood e sonar – mõõteseade, mis mõõdab aega, mis kulub ultrahelikiirgurist pärineva helisignaali jõudmiseks veekogu põhja ja sealt tagasi.

TIN – kõrgusmudeli esitluskuju. XY ja Z väärtust omavad punktid ühendatakse omavahel joonega nii, et tekivad ebakorrapärased kolmnurgad. TIN kõrgusmudel peegeldab üldjuhul reaalsust või mõõtetulemusi täpsemalt kui DEM mudel.

DEM – (digital elevation model) rasterkujul kõrguskaart või kõrgusmudel

Tareerimine – parandite määramise viis. Kajaloodiga mõõdetud sügavusi võrreldakse sügavustega, mis on saadud mõnel teisel, täpsemal meetodil.

Loodimine – mõõdistamine etteantud vahekaugustega halssidel, mille puhul kasutatakse sügavuse mõõtmiseks kajaloodi või muud sügavuse määramise vahendit.

VRD –Veepoliitika raamdirektiiv.

1. JÄRVED

Järveks nimetatakse looduslikke veekogusid, millel puudub vahetu side merega. Järve kirjeldamiseks kasutatakse erinevaid füüsikalisi-keemilisi ja bioloogilisi näitajaid.

Eestis on enamus järvi tekkinud peale viimase jääaja lõppu, umbes 10 000–12 000 aastat tagasi. Valdavalt on järved mandijäätekkelised – moreeni sisse kinni jäänud jääpankade sulamislohkudesse tekkisid termokarstijärved. Eestis rannikualadel leidub rohkelt maakerke tulemusena moodustunud laguunijärvi ja soodes raba- ja laugasjärvi. Meteoriitse tekkega järvi on Kaali järvi Saaremaal. Lisaks leidub Eestis mitmeid tehisjärvi ning väikseid karsti ja lammijärvi. (Mäemets, 1977) Kokku on Eestis 2804 veekogu, millest 1559 on looduslikku päritolu (Tamre, 2006).

Järvede jaotus Eesti territooriumil on ebahütlane. Suurim järvede tihedus on Kirde-Eestis Kurtna järvestikus, millele järgnevad Kagu- ja Lõuna-Eesti künklikul maastiku asuvad järved. Suured alad Lääne- ja Kesk-Eesti on ilma ühegi järvetä. Eesti järved on väikese pindalaga (Tabel 1) ja madalad. Teadaolevalt on Eestis 46 järve, mis on sügavamad kui 15 meetrit, neist sügavaim on Rõuge Suurjärvi. (Ott & Kõiv, 1999)

Tabel 1. Eesti järvede jaotus pindala järgi (v.a Peipsi, Võrtsjärvi ja Narva veehoidla). (Tamre, 2006)

Liigitus suuruse järgi (ha)	Järvede arv ja pindala (summaarselt) (ha)
väga väikesed < 3	1720 / 2333,4
väikesed \geq 3–10	684 / 3618,3
keskmised \geq 10–100	346 / 9118,7
> 100	51 / 13035
Kokku	2801 / 28105,4

Järved koosnevad järvenõost ja järvenõos paiknevast veemassist. Järvenõgu jagatakse veepealseks nõlvaks, vee kõrg- ja madalseisu vahele jäävast kaldaks, veealuseks nõlvaks ning järve põhjaks. (Laigna & Kala, 2001)

Järved veebilansi moodustab järve lisanduv ja järvest väljuv vesi. Järved saavad oma vee peamiselt sademetest, valgalalt ja põhjaveest. Järvest väljuva vee moodustab auramine ja äravool kraavide ja põhjavee kaudu. (Winter, 2004) Sisse ja äravoolu alusel liigitatakse järved umb-, lähte-, läbimis- ja suubumisjärvedeks.

1.1 Järve areng

Järvede tekkeks ja nende säilimiseks on olulisimad tegurid kliima, geoloogia ja inimtegevus. Järves toimuvate muutuste peamised mõjutajad on järve morfomeetrilised parameetrid, valitsev kliima, järve sisse- ja väljavool, valgala suurus, järveelustik ja nende omavahelised seosed. (Terasmaa, 2004) Järv on ajas pidevalt muutuv keskkond, mis looduslike protsesside tulemusena ja sette akumulatsiooniga muutub järvest madalamaks.

Järve areng on pikk protsess, mille tulemusena järv täitub täielikult settega ja kasvab kinni. Kinnikasvamine on kiirenev protsess, mis on järve algstaadiumis aeglane ja lõpus kiire. (Löffler, 2004) Järvenõgu täitvad setted on pärit järve valgalalt, mis satuvad järve sissevoolu kaudu või tuule erosiooni tulemusena. Lisaks tekib järves endas suur hulk orgaanilist materjali, mis lõpuks settib järve põhja. (Bloesch, 2004) Tugeva läbivooluga järvedel kandub osa mineraalsest ja orgaanilisest ainest väljavoolu kaudu järvest minema. (Imboden, 2004)

Järvenõo topograafias toimuvad muutused kohe peale nõo täitumist veega. Tuulte, lainetuse ja hoovuste põhjustatud vee liikumine tekitab kaldalähedastel aladel erosiooni, mille tulemusena liigub mineraalne osa gravitatsioonile alludes järvenõo põhja, täites nõo sügavamad alad settega. (Bloesch, 2004)

Järve setted sisaldavad olulist informatsiooni järves ja selle ümber toimunud keskkonnaparameetrite muutustest. Valgalalt järve jõudvad reostusained ja toitained settivad järvesetesse. Mineraalse osa settimise reeglipärasid arvestades on võimalik kirjeldada järves toimunud veetaseme muutusi. (Hakanson & Jansson, 1983; O'Sullivan, 2004; Terasmaa, 2004)

Tänapäeval on järvede kinnikasvamise peamiseks põhjuseks järve toitelisuse tõus ehk eutrofeerumine. Peamiselt fosfori- ja lämmastikuühendid põhjustavad taimestiku kiiret kasvu ja vetikate vohamist. Suurenenud bioproduktioon toob kaasa settiva orgaanilise aine koguse suurenemise. Teiseks järvi ohustavaks teguriks on alates 19. sajandist

toimunud märgalade kuivendamine, mis on järvede veetasel alanud vähemalt poole meetri võrra, kiirendades veelgi järve kinnikasvamist ehk soostumist. (Ott & Kõiv, 1999)

1.2 Järvede morfomeetriselised näitajad

Järvede kirjeldamisel kasutatakse erinevaid morfomeetriselised näitajad, mis kirjeldavad järve hetkeseisu. Järve morfomeetriselised näitajad mõjutavad otseselt nii järve füüsikalise keemilisi, kui ka bioloogilisi näitajaid. Järve morfoloogilisi näitajaid peetakse parimaks viisiks eristada ühte järve teisest. (Johansson *et al.*, 2007)

Olulised morfomeetriselised näitajad on:

- Pindala A
- Pikkus L
- Laius l
- Kaldajoone pikkus P
- Ruumala V
- Nõo suurim sügavus Z_{\max}
- Keskmine sügavus Z_m
- Suhteline sügavus Z_r
- Kaldajoone liigendatus D_1
- Batümeetriline kõver
- Keskmine veerukalle

Järve pindala (A) on oluline morfomeetriselise parameeter, kirjeldades järve veepeegli pindala. Lisaks iseloomustab mitmeid järves toimuvaid protsesse, mis mõjutavad ja kujundavad järve.

Suure pindalaga järved on avatud tuultele, põhjustades tugevat lainetust ja kallaste erosiooni. Lainetus segab veemasse omavahel, mille tulemusena toimub põhjasette resuspensiooni. (Winter, 2004; Imboden, 2004) Üleskeerutatud põhjasete halvendab vee läbipaistvust ja toob ringlusesse juba settinud toitained. Suure pindalaga järved on tundlikumad atmosfäärist pärineva reostuse suhtes. (Ott & Kõiv, 1999) Suure pindalaga järvedel toimub aktiivsem auramine, mille tulemusena on järvede kohal vähem sademeid. (Löffler, 2004)

Järve pikkus (L) on vahemaa järve kahe üksteisest maksimaalsel kaugusel asetseva punkti vahel. Seejuures ei tohi joon läbida ühtegi saart ega poolsaart. Järve pikkus kirjeldab järve avatust tuulele ja lainetusele. Järve laius (l) on maksimaalne vahekaugus kahe punkti vahel, mis on risti järve pikkusega. (Welch, 1948; Wetzel, 1995)

Järve kaldajoone pikkus (P) annab ülevaate järve kaldavööndi ehk ökotoni ulatusest. Ökotone iseloomustab suur liigirikkus, kuna koos eksisteerivad nii järve kui maismaa taimekooslused. (Risser, 1995)

Järve ruumalal (V) kirjeldab järvenõgu täitva veemassi hulka kuupmeetrites. Suure veemahuga järv jahtub ja soojeneb aeglaselt. Tänu vee soojusmahtuvusele on sel otsene mõju järve ümbritsevale kliimale. (Löffler, 2004) Veemaht on otseselt seotud järve puhverduisvõimega valgalalt pärit toite- ja saasteainetega suhtes. (Ott & Kõiv, 1999) Järve veemaht koos sisse ja väljavooluga iseloomustab järve veevahetuse kiirust, mis reeglina on suurematel järvedel aeglasem, kui väikestel (Winter, 2004).

Järve sügavus on periooditi muutuv, sõltudes järve veebilansist (Winter, 2004). Järvenõo maksimaalne sügavus on vahemaa järve pinnalt veekogu põhja. Sügavuse määramise peamiseks takistuseks on veekogu põhja ebamäärasus. Järve põhja kattev settekiht on pehme, andes erinevate mõõtmisviisidega erinevaid tulemusi. (Kallejärvi, 1974)

Järve keskmine sügavus on järve mahu ja pindala jagatis. (Welch, 1948) Iseloomustab lainetuse ja segunemise mõju põhjasettele. Järve keskmine sügavus on domineeriv tegur mis kontrollib järve produktiivsust (Fee, 1979). Väikese keskmise sügavusega järvedes sõltuvalt järve toitelisusest võivad domineerida suurtaimestik, mille lagunemisel tekib suur hulk orgaanilist ainet.

Suurim sügavus moodustab järve pindalast ja veemahust väikese osa. Limnoloogias kasutatakse sügavuse iseloomustamiseks suhteline sügavuse (Z_r) näitajat (Hutchinson, 1957). Suhteline sügavus näitab mitu % moodustab järve suurim sügavus järve keskmisest läbimõõdust (ringi läbimõõdust, mille pindala on võrdne järve pindalaga):

$$Z_r = \frac{50 * Z_{\max} * \sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}} \quad (1.1)$$

Kus Z_r on suhteline sügavus (%), Z_{\max} on järve maksimaalne sügavus (m), A_0 on järve pindala (m²).

Tavaliselt on suhtelise sügavuse näitaja väiksem kui 2%. Sügavatel järvedel, mille pindala on väike, on suhtelise sügavuse näitaja suurem kui 4%. Suure suhtelise sügavuse korral on takistatud suvine järve täielik segunemine ja järves tekib stratifikatsioon. Järve ülemine veekiht soojeneb ja seguneb tänu päikesele ja lainetusel. Järve põhja veetemperatuur ei tõuse ja külm raske vesi ei kerki ülemistesse kihtidesse. Tekivad epilimnioni, hüpolimnioni ja metalimnioni kihid. (Löffler, 2004)

Järve kuju iseloomustav näitaja on kaldajoone keerukuse ehk liigendatuse koefitsient (Valem 1.2). Liigendatust leitakse järve kaldajoone pikkuse ja järvega sama pindala omava ringi ümbermõõdu suhtena. Ringikujulise järve D_l väärtus on 1, mida liigendatum on järv, seda suurem on D_l väärtus (Wetzel, 1995; Löffler, 2004):

$$D_l = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1.2)$$

Kus D_l on kaldajoone liigendatuse näitaja, P on kaldajoone pikkus (m), ja A on järve pindala (m^2).

Batümeetriline kõver on graafik, mis iseloomustab järve erineva sügavusega kihtide jagunemist järve pindala suhtes. Järve pindala ühikud on m^2 , km^2 või ha, lisaks võib sügavuse levimise ulatust iseloomustada protsendina. (Wetzel, 1995) Batümeetrilise kõvera abil on võimalik kirjeldada järve mitmeid olulisi omadusi. Näiteks biotoopide ehk erinevate keskkonnatingimuste levikut järves ja järvenõo kuju üldistust. Batümeetrilise kõvera abil on võimalik kindlaks teha settimisalade ja lainetuse ulatus (Wetzel, 1995). Kumer batümeetriline kõver iseloomustab järve, mille madal kaldaäärne ala domineerib järve ulatuses. Järvedes, kus toimub kiire kaldalähedane sügavnemine ja ülekaalus on akumulatsiooniala on tegemist nõgusa batümeetrilise kõveraga. Lineaarse batümeetrilise kõvera korral on veerukalle ja sügavus järves jaotunud ühtlaselt. (Hakanson & Jansson, 1983; Terasmaa, 2012)

Sarnaselt batümeetrilisele kõverale on graafikuna võimalik iseloomustada sügavuse ja veemahu seost. Veemahu ja sügavuse suhet võib väljendada protsendina või pindala ühikutega. (Wetzel, 1995) Graafik kujutab võimaliku veetaseme alanemise mõju järve kaldavööndile ja veemahule.

Järve keskmine veerukalle iseloomustab järvenõo kalde keskmist väärtust. Tavaliselt väljendatakse keskmist veerukallet protsendina, kuid võib väljendada ka kraadina. (Welch, 1948) Järvenõo veerukalle avaldab mõju kalda- ja veesisese taimestiku leviku ulatusele. Järsuveerulise järve kaldavööndi taimede leviku kaugus on oluliselt väiksem, kui laugete kallastega järve puhul. Samuti mõjutab järvenõo veerukalle settimistingimusi, eelkõige erosiooni-, transpordi- ja akumulatsioonialal paiknemist. (Hakanson & Jansson, 1983)

1.3 Järvenõo kirjeldamine

Kaasaegse limnoloogilise uuringu läbiviimine eeldab täpseid andmeid veekogu morfomeetriast. Vanemad andmeid veekogu ruumalast, suurimast sügavusest või pindalast loovad ettekujutuse varasemast olukorrast, kuid ei iseloomusta veekogu hetkeseisu ja nendesse tuleb suhtuda skeptiliselt (Wetzel, 1995).

Hüdrograafilisi uuringuid viiakse läbi ookeanites, järvedes, jõgedes ja teistes veega täidetud maapinna nõgudes. Veekogu pinnamoodi iseloomustavate andmete esitamiseks kasutatakse kaarti, millele on kantud samasügavusjooned ehk isobaadid. Ajalooliselt alustati veekogu sügavuse mõõtmist koos laevatamisega, tagades seeläbi ohutu meresõit. Varasem säilinud kaart, mis oli mõeldud laevadele navigeerimiseks, pärineb 13. sajandist. (IHO, 2005)

Tänapäeval liigub enam kui 80% maailma kaubandusest mööda veekogusid, mis eeldavad häid põhjatopograafilisi teadmisi. Lisaks hinnatakse hüdrograafiliste tööde olulisust keskkonnakaitse ja keskkonnauuringute valdkondades, mis uurivad merede tõuse ja mõõnu, hoovusi, põhjaseteid, vee elustikku ning vee füüsikalisi ja keemilisi omadusi. (IHO, 2005) Väikejärvede uuringutel keskendutakse veekogu omadustele (järvetüüp, hüdrokeemia) ja elustiku koosseisule (kaldavee- ja põhjavee taimestik, fütoplankton, suurselgrootud, kalastik). Hinnatakse veekogu ökoloogilist seisundit, välis- ja sisekoormuse hulka, koormustaluvust ja võimalike reostusallikate mõju järvele. Järvede seire on oluline veekogude edaspidise majandamise ja kaitse reguleerimiseks. Seire andmetel koostatud tegevuskavade eesmärgiks on saavutada kõigis veekogused hea ökoloogiline seisund. (Ott, 2014)

Kaasaegsete hüdrooloogiliste uuringutega alustati 1840. aastal. Tolleaegne nööri-raskus meetodil sügavuse mõõtmine asendus 20. sajandi keskpaigas primitiivsete akustiliste mõõtevahenditega. Enne GPS tehnoloogia kasutusele võtmist 1990. aastate algusel kasutati asukoha määramiseks sekstante ja maamärke. (Dierssen & Theberge, 2012; USACE, 2013)

Hüdrograafilised uuringud keskenduvad veekogu topograafia ja erinevatele morfomeetriliste suuruste uurimisele. Veekogude ja maismaa reljeefi erinevused tulenevad erinevatest tekkingimustest ja arengu etappidest. Maismaa reljeefi puhul on ülekaalus kulumisprotsessid ja veekogudes kuhjumisprotsessid. (Laigna & Kala, 2001) Veekogu põhjareljeefi uurimise, erinevalt maismaareljeefist, teeb keeruliseks visuaalse jälgitavuse puudumine. Veekogu põhjareljeefi ülevaatliku andmestiku kogumiseks teostatakse erinevaid süstemaatilisi mõõtmisi. (Umbach, 1976; Wetzel, 1995; IHO, 2005)

Tulenevalt erinevatest mõõtmismetoodikatest, teostatakse järvesügavuse mõõtmisi jäävabal perioodil või talvel jää pealt. (Levec & Skinner, 2004) Hüdrograafilised sügavuse mõõtmised on olemuselt sarnased geodeetiliste mõõtmistega maismaal. Erinev keskkond seab piirangud kasutatavate mõõteseadmete osas. Vee füüsiliste ja keemiliste omaduste tõttu levivad valgus- ja elektromagnetlained vees halvasti. Maismaa reljeefi mõõtmisel kasutatavad raadiolained ei suuda vees levida. Veekogudes kasutatakse peamiselt akustilist signaali edastavaid mõõteseadmeid. Levinumad on kajalood, hüdrolokaator ja hüdrograafilised traalid. (Laigna & Kala, 2001; USACE, 2013)

1.4 Hüdrograafilised tööd

1.4.1 Planeerimine

Veekogude kaardistamisele ja andmete kogumisel eelneb planeerimine, mille eesmärgiks on saavutada kaardistamise täpsus, mis täidaks püstitatud eesmäärke. Ookeanite ja sadamaalade hüdrograafiliste tööde puhul lähtutakse *International Hydrographic Organization* (IHO) hüdrograafiliste tööde standardist, mis ilmus 1998 aastal. Standardis on määratud tööde hulk ja täpsus, mis on vajalik usaldusväärsete tulemuste saamiseks. Sõltuvalt veekogu suurusest, kujust ning eripärast valitakse sobiv mõõtmistihedus, mõõtmisseadmed, asukoha määramise meetodika, mõõtmistäpsus ning parandid. (IHO, 2005)

1.4.2 Mõõtmise ja profiilid

Veekogu kaardistamise esimene etapp on teostada planeeritud mõõdistamised veekogul. Peamiseks parameetriks mida mõõdetakse on veekogu sügavus. Varasemad loodimised viidi läbi nõöri ja selle otsa kinnitatud raskusega. Lihtne ülesehitus ja kasutamine soodustas antud meetodi laialdast levikut. Tehnoloogia arenedes võeti 20. sajandi keskelt kasutusele ühe kiirega kajaloodid ning alates sellest on hüdrograafiliste töödel kasutatav tehnoloogilised lahendused kiirelt arenenud. Arengutele vaatamata on nõormõõtmised ja ühe kiirega kajalood rohkesti kasutatud mõõtevahendid ka tänapäevastel hüdrograafilistel töödel. (Laigna & Kala, 2001)

Veekogu põhjareljeef kujutab endast erinevate kontuuride ja mõõtmetega pinnavormide kogumit. Looduses esineb reljeefi pinnavormide suur mitmekesisus, kus eristatakse lihtsamaid ja keerulisemaid vorme.

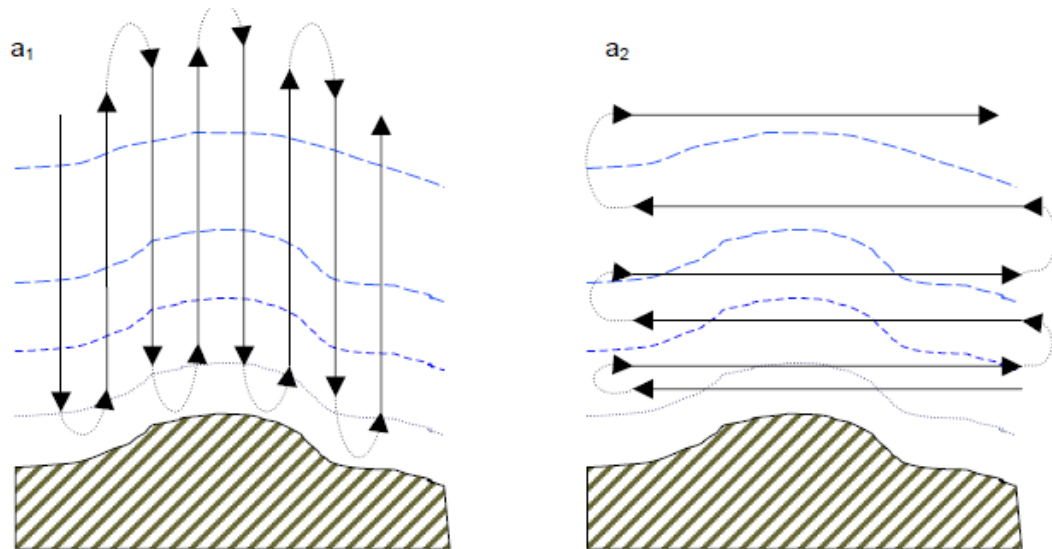
Põhjareljeefi mõõdistamiseks kaetakse uuritav ala mõõtmishalsside ehk profiilidega. Profiilide vahekaugused peavad olema piisava tihedusega, et kirjeldada reljeefi üldpilti ning sellele iseloomulikke vorme. Mida väiksemad on profiilide vahekaugused, seda detailsem tulemus saadakse. (Laigna & Kala, 2001)

Halsside planeerimisel on oluline tähelepanu pöörata (Laigna & Kala, 2001):

1. halssidevahelisele kaugusele ja naaberprofiilide kattumisele,
2. Halsside kohamäärangu täpsusele.
3. Sügavusmõõtmise tihedusele ja täpsusele.

Levinumad profiilide meetodid on ruudustikmeetod ja lausmeetod (Full cover). Ruudustikmeetodi puhul kasutatakse sügavuse mõõtmiseks kajaloodi või nõör-raskust. Meetodi puuduseks on põhjareljeefi osaline katvus. Tänu mõõtmiste kiirus ja seadmete lihtsale käsitlemisele kasutatakse kajaloodi paljude uuringute puhul (Ward, 2007; 2009; DeWitt *et al.*, 2007; Dierssen & Theberge, 2012) Lausmeetodil kasutatakse sügavusandmete saamiseks keerulisemaid mitme sonariga seadmeid, mis katavad uuritava ala 100%-lt. Mõõteseadmete keerukuse ja andmete suure mahu pärast kasutatakse lausmeetodit eelkõige sadamaaladel, mis nõuavad suurt täpsust. (USACE, 2013)

Veekogu sügavusandmete kogumisel jälgitakse geomorfoloogilist printsiipi, mis arvestab reljeefi kujundavaid tegureid ja põhjareljeefi põhijooni. Piki samasügavusjoont on sügavuse muut võrdne nulliga. Piirkonna ühesuguse üksikasjalikkusega uurimiseks rajatakse loodimisprofiilid reeglina risti ranna- või kaldajoonega (Joonis 1) ning paralleelselt üksteisega



Joonis 1. Isobaadid ja sügavuse mõõtmise profiilid. Vasakul risti rannajoonega, paremal paralleelsed. (IHO, 2005)

Levinud on veel siksak- ja vastastikku ristuvad halsid. Siksakhalsse kasutatakse väljavenitatud alal, kus on vaja täpsustada reljeefi põhivormide kuju. Ristuvad halsid rajatakse kohtadesse, kus on tähendatud samasügavusjoonte suuna järsk muutumine, ebaharilike sügavusi ja veeluseid mäestike. (Laigna & Kala, 2001)

Kirjanduse põhjal on optimaalne halsside katvus uuritava alal 5% kogu pindalast. Väikeste veekogude puhul (pindala alla 100 ha) on optimaalne profiilide kaugus üksteisest 30 meetrit (100 ft). (USACE, 2013) Suuremate veekogude puhul paigutatakse profiilid üksteisest näiteks 50 meetri, 75 meetri või isegi 100 meetri kaugusele (Levec & Skinner, 2004). Kirjanduses leiduvate profiilide kauguste erinevused on kohati tingitud ka erinevatest mõõtühikutest.

Mõõdistamise kvaliteedi kontrollimiseks rajatakse kontrollhalsid, mis läbivad põhihalsse 90 või 45 kraadise nurga all. (NOAA, 2014) Kontrollhalside vahekaugus on kuni 15 kordne põhihalside vahekaugus (Laigna & Kala, 2001).

Mõõtmiste tulemusena saadakse vajalikud andmed veekogu topograafiast ja selle pinnamoest. Mõõdistamise teostamisel uuritaval alal tulev jälgida (Laigna & Kala, 2001):

- Piirkonna plaanipärane uurimine eelnevalt paika pandud mõõdistushalsside süsteemi järgi
- Mõõdistamisaparaatide koordinaatide määramine mõõdistamise eesmärkidele vastava täpsusega.
- Kogu mõõteaparatuuri etteantud töörežiimi säilitamine ja kontrolli
- Info kogumine vigade allikate kohta ja selle töötlemine mõõdetavate parandite määramiseks.
- Mõõtmistulemuste dokumenteerimine kõigi süsteemide ja aparaatide jaoks samas ajas.
- Täiendavate uuringute tegemine piirkonnades kus on ilmsiks tulnud keerulisi pinnavorme

Mõõdistamisviis ja vajalikud vahendid valitakse ettevalmistaval etapil sõltuvalt uuritava piirkonna paiknemisest ja tähtsusest, oodatavast reljeefi keerukusest ning vajalikust mõõdistamistäpsusest ja üksikasjalikkusest.

1.4.3 Mõõtevahendid

Veekogu põhjareljeefi mõõdistamise seadmed liigitatakse füüsikalistele põhialustele vastavalt kolme rühma: mehaanilised, hüdroakustilised ja optilised. Mehaaniliste seadmetega mõõtes toimub kontaktne mõõtmine veekogu põhjaga. Mõõtmised ei ole mõjutatud veekeskonna füüsikalise-keemilistest omadustest võimaldades seeläbi parandada kajaloodiga saadud väärtusi. Võimalikust nõõri kaardumisest veesambas ja raskuse põhjasettesse vajumisest tuleneva vea võimalikult väiksena hoidmisest, teostatakse mehaanilisi sügavuse mõõtmisi kuni 50 meetrit sügavuseni. Mehaanilised seadmed on käsiloodid ja sügavuse mõõtelatid, mis tänu lihtsusele ja kasutusmugavusele on kasutuses ka tänapäeval. (IHO, 2005)

Veekogu põhjareljeefi uurimiseks kasutatavad optikaseadmed on fotograafia ja valguslokatsioon. Seadmete efektiivsuse ja ulatuse määravad veekogu optilised omadused ja veekogu pinnamoe vormide mõõtmised ning peegeldusomadused. Vee optilised omadused sõltuvad peamiselt vee puhtusest, vees lahustunud tahketest ainetest ja vees leiduvast

hõljumist. Vett läbiv valgusvool osaliselt neeldub ja hajub ning sügavuse suurenedes põhjustab valguse nõrgenemist. Peamiselt mereranniku veeluse reljeefi mõõtmiseks kasutatakse aerofotograafiat. Merepõhja reljeefi uurimiseks kasutatakse veel allvee-roboteid, millele kinnitatakse kaamera ja impulss-seadmed, mis võimaldavad anda edasi veekogu ruumilist kujutist. Lisaks on kasutusele võetud ultrahelilokatsioon, akustilised holograafiad ja laserseadmed. Laserseadmete eeliseks hüdrograafias on võimalus mõõta sügavusi läbi õhu ja sügavuseni kuni 3 korda Secchi ketta sügavus (Laigna & Kala, 2001; IHO, 2005; USACE, 2013)

Hüdroakustiliste seadmete töö aluseks on ultraheli vees levimise seaduspärasused. Omadus peegelduda tihedama keskkonna piirilt on peamine põhjus, miks ultraheli kasutatakse veekogude põhjareljeefi mõõdistamiseks. Hüdroakustilisi seadmeid on kolme eri tüüpi. Lihtsam ja laialdaselt kasutatav on kajalood (Single-beam). Keerulisemad ja suuremate alade kaardistamiseks kasutatakse mitme kiirega kajaloode (Multibeam echo sounder) ja külguaatesonareid (Side-scan sonar). (Laigna & Kala, 2001; USACE, 2013)

1.4.4 Kajaloodi tööpõhimõte

Kajaloodiga mõõdetakse ujuva aluse külge paigaldatud ultrahelikiirgurist lähtuva helisignaali veekogu põhja jõudmise ja sealt peegeldunud signaali tagasisaabumiseks kuluvat aega. (USACE, 2013):

$$Z = C_0 * \frac{t}{2} \quad (1.3)$$

Kus Z on veesamba paksus (m), C_0 on heli kiirus (m/s), t on aeg (s) mis kulub helisignaali veekogupõhja ja sealt tagasi jõudmiseks.

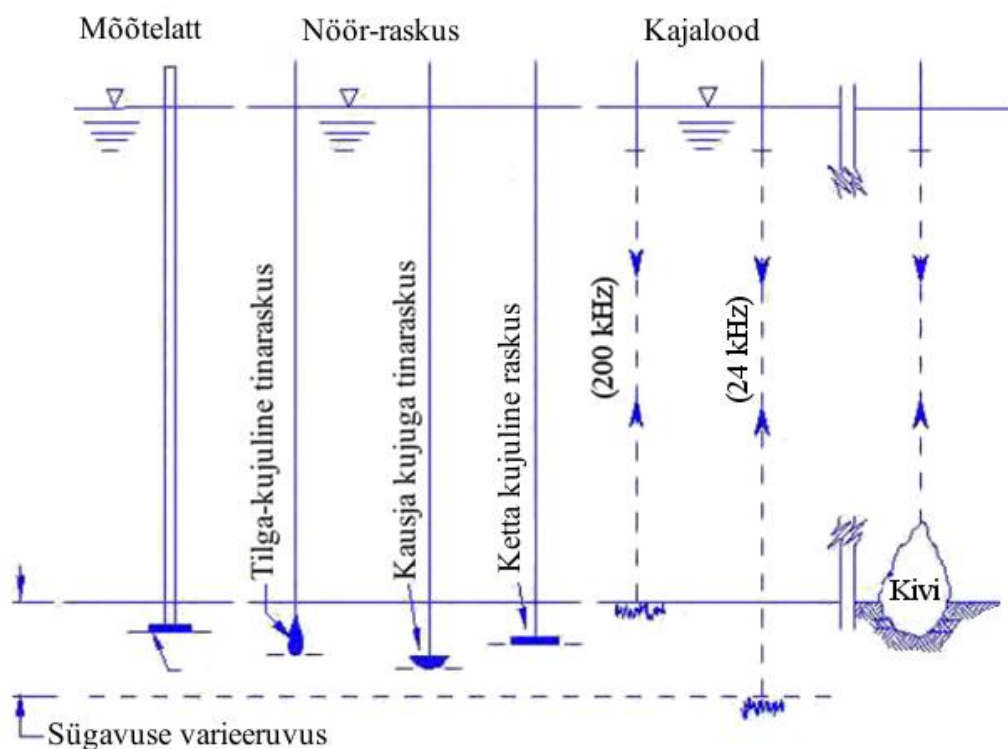
Kajaloodi tulemuste võrdlemise eelduseks on heliimpulssi peegeldava pinna (veekogu põhja) akustiliste omaduste poolest homogeenne tasand ning asukoht ultrahelikiirgusest piisavalt kaugel. Kajaloodiga mõõtmisel on minimaalne veesamba paksus 0,3 meetrit. (Laigna & Kala, 2001; USACE, 2013)

Kajaloodi mõõtmisageduse valik sõltub ala põhjareljeefi katva sette koostisest ja veeluse taimestiku hulgast. Sagedusevahemik 100–1 000 kHz annab täpseima tulemuse tulenevalt helisageduse levimisomadustest. Madalamad sagedused annavad ebatäpsemaid tulemusi, levides sügavale põhjasettesse. Üldlevinud meetodika järgi kasutatakse kuni 100 meetri

sügavuses 200 kHz sagedust, mis annab põhjareljeefist piisavalt detailse ja täpse ülevaate. Piirkondades, kus veesamba paksus on kuni 1500 meetrit, kasutatakse 50 kuni 200 kHz sagedust ning üle 1500 m sügavusel 12 kuni 50 kHz sagedusi. (Lowrance, 2004; IHO, 2005; USACE, 2013)

1.4.5 Mõõtmise vead

Veekogu reljeefi kaardistamise vahenditest ja meetoditest sõltub tulemuste täpsus ja vigade suurus. Mõõtmisvahendid, tulenevalt mõõtmise meetodikast, annavad erinevaid tulemusi samas keskkonnas mõõtes (Joonis 2).



Joonis 2. Sügavusnäitajate erinevus kasutades erinevaid mõõtetehnikaid. (USACE, 2013)

Mõõtmistel tekkivad vead jagatakse kolme kategooriasse:

- suured vead,
- süstemaatilised vead
- juhuslikud vead.

Suurteks vigadeks nimetatakse vigaseid mõõtmisandmeid, mis tulenevad mõõteaparatuuri tehnilistest vigastustest, kulumisest või puudulikust kalibreerimisest. Süstemaatilised vead on põhjustatud mõõtmiste hetkel valitsenud keskkonnatingimust. Mõõtetulemusi võib mõjutavad näiteks temperatuuri erinevused veesambas, muutuvad valgustingimused ning tuule poolt tekitatud lainetus. Süstemaatiliste vigade parandamine toimub süsteemi kalibreerimise või parandite sisseviimisel. Mõõteseadmete ebaprofessionaalse käsitlemise teel tekkinud vigu nimetatakse juhuslikeks vigadeks. Juhuslikult tekkinud vigu ei ole võimalik vältida. Tekkinud vigadele antakse teoreetilise hinnangu ja neid analüüsitakse statistiliste meetoditega. (Welch, 1948; Laigna & Kala, 2001; IHO, 2005)

Süstemaatilised vead tekivad eelkõige soolases vees helikiiruse C_0 ebaõigest määramisest ja aja t ebatäpsest mõõtmisest. Heli kiirus soolases vees sõltub temperatuurist, soolsusest, rõhust ja teistest teguritest. Kajaloodi impulsid levivad läbi erinevate füüsikaliste ja keemiliste omadustega veekihtide, muutes igas kihis kiirust vastavalt vee tihedusele. Magedas vees ja madala veesamba paksuse puhul eelnimetatud tegurid mõõtmistulemusele märkimisväärset mõju ei avalda. (Laigna & Kala, 2001; USACE, 2013)

Kajaloodi tööpõhimõttelt tulenevalt eeldatakse mõõtmisi teostades, et väljasaadetud heliimpulsi tagasipeegeldus võetakse vastu samas punktis. Tegurid mis mõjutavad seda on laeva liikumine ja lainetus. Tulemuste tareerimiseks ehk kalibreerimiseks nimetatakse parandite määramise viisi, mille puhul kajaloodiga mõõdetud sügavusi võrreldakse vahetult sügavustega, mis on saadud mõnel teisel, täpsemal meetodil. (USACE, 2013):

$$\Delta Z_T = Z_0 - Z_{KL} \quad (1.4)$$

Kus ΔZ_T on summaarne sügavuse parand (m), Z_0 on mõnel muul viisil mõõdetus sügavus (m), Z_{KL} on kajaloodi sügavus (m).

Lainetusest, kiiruse ja aja parandeid kaustatakse juhul, kui on vaja sügavusi mõõta suurema täpsusega kui 0,1 m. (Laigna & Kala, 2001)

Põhilised vigade allikad:

- Veekogu põhja pinnase ebaühtlus
- Veetaimestik
- Reljeefi liigestatus
- Merevee hüdrootiliste omaduste ebaühtlus
- Mere lainetus
- Aerofotode töötamise ebaühtlus
- Tõusud ja mõõnad
- Põhjasette suur veesisaldus (Fluffy sediments)
- Ligikaudsete sõltuvuste kasutamine parandite ja arvutusvalemite tuletamisel

1.5 Sügavuskaart

Mõõdistatud punktide andmeid kasutades koostatakse kaart. Kaardipildi selgemaks ja arusaadavaks esitamiseks ühendatakse sama sügavusega punktid sujuva kõvera joonega, mida nimetatakse samasügavusjooneks. Geomeetriselt kujutavad samasügavusjooned pinnamoe (reljeefi) ja üksteisest etteantud kaugusel asetsevate horisontaaltasandite lõikejooni.

Samasügavusjooned on sügavusarvude matemaatiline üldistus, mis võimaldab edasi anda rohkem informatsiooni kui lihtsalt sügavusarvud. Reeglina kirjutatakse samasügavusjoontele ka sügavust tähistav suurus. Samasügavusjoonte kogum annab üldise ettekujutuse kogu põhja pinnamoest. Ülevaatlikkuse suurendamiseks ja veekogu madalate sügavuste esiletoomiseks varjutatakse samasügavusjoonte vahelised alad eri värvitoonidega. Üleminekul suurematele sügavustele muutub värvitooni intensiivsus helesinisest tumesiniseks. Tekkiv pilt soodustab pinnamoe ruumilist tajumist. (Laigna & Kala, 2001)

Veekogude veepiiri joonistamiseks kasutatakse tihti aerofotosid. Väliseid kaldapiiri vaatlusi teostatakse talvisel perioodil, kui veekogu katab jää. Eriti kasutatakse seda veekogudel, mille kaldavöönd on soine või madalas vees on palju kände. (Wetzel, 1995)

1.6. Eesti järvede sügavuse mõõtmine

Eelmise sajandil toimunud välitöödel kasutati Eesti järvede sügavuse mõõtmiseks 2,5 kg (harva 0,25 kg) raskust ja 7 cm põhjaristlõikega püstsilindrikujulist käsiloodi. (Riikoja, 1930; Mäemets, 1974) Peipsi järve sügavuse mõõtmiseks kasutati 1969. aastal 4,85 kg raskust ja 6 cm diameetriga loodi (Kullus, 1969). Eesti järvede sügavuse mõõtmiseks kasutatud peamisi loodimisviise on kaks. Enamikel juhtudel visati lood vette ja oodati kuni loodi vajumine peatus. Antud meetod ei anna täpseid tulemusi ja raskus võib vajuda 1,5–4,5 meetri sügavusele settesse (Kallejärv, 1974). Saadud tulemus ei kirjelda veekihi paksust ega algset järvenõo sügavust. Loodi kontrollitud ja aeglase vajumise teel on võimalik mõõta järve veesügavust märksa täpsemini, kuigi sealgi tekivad mõõtmise erinevused, mis on tingitud järve põhja katvast kohevast mudakihist. Kuna erinevaid mõõtmise viise kasutati erinevatel aegadel, ei ole saadud sügavuse näitajad omavahel võrreldavad ja tekitavad segadust. (Mäemets, 1974)

2. UURIMISALA KIRJELDUS

2.1 Kurtna mõhnastik

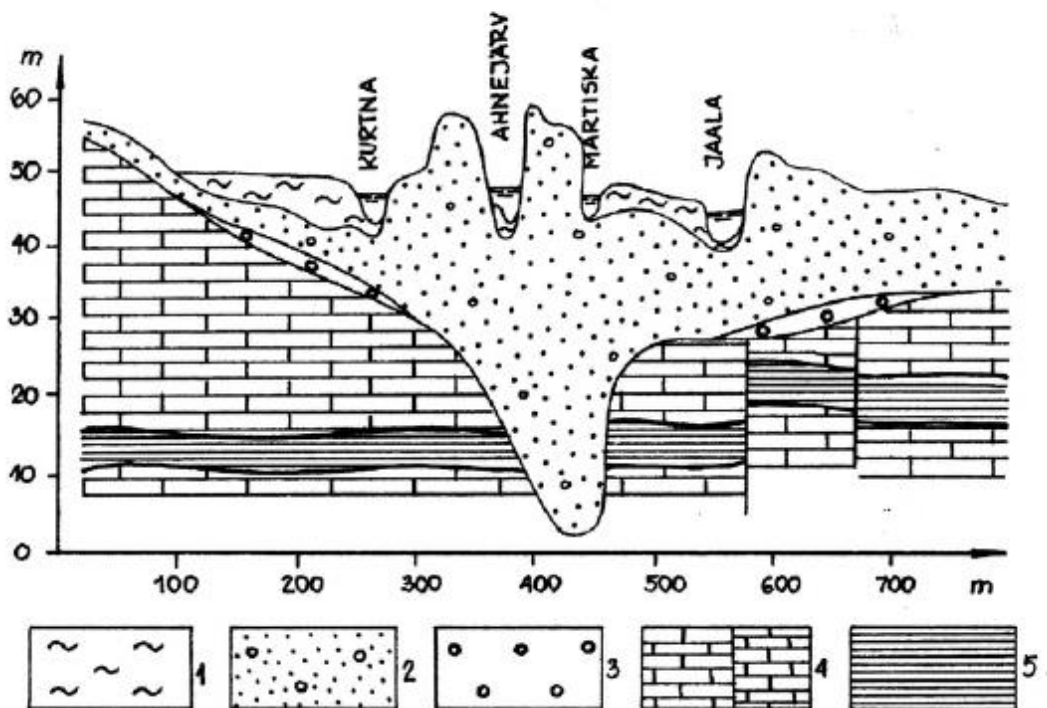
Kurtna mõhnastik asub Alutaguse madalikul (Joonis 3) Ida-Virumaal, mattunud Vasavere ürgoru kohal. Tegemist on viimase mandrijäätumise lõpul pandivere staadiumis tekkinud servamoodustiste kompleksi ühe osana. Oru sügavus on Kurtna mõhnastiku alal kuni 80 meetrit ja Põhja-Eesti klindi juures kuni 150 meetrit. (Puura, 1987) Mõhnastiku kujunemine algas umbes 12000 aastat tagasi mandrijää taandumisega. Liustikusulamisveed kuhjasid alale setteid, mis matsid nii vanu pinnavorme, kui ka liustiku küljest lahti murdunud jääpanku. Mattunud jääpankade sulamisel tekkisid ümarate põhijoontega sulglohud ja nõod. (Karukäpp, 1987)



Joonis 3. Kurtna mõhnastik ja järvede asukoht. (Maa-ameti kaardiserver, 2015)

Piirkonna aluskord koosneb Alam-Proterosoikumisse kuuluvate Alutaguse kompleksi moondekivimitest, mis asuvad 220–240 meetrit allpool merepinda. Pealiskord koosneb Vendi kompleksi ja Kambriumi ladestu (nüüd vastavalt Ediacara ajastu ja Terra-Neuve ajastik) kivimitest ja Ordoviitsiumi ladestu karbonaatsetest kivimitest. Piirkonna pealiskorda on põhjalikult uuritud seoses Kukuruse lademe põlevkivi varudega. Kurtna järvestiku ümbruse aluspõhja reljeef on mitmekesine ning lisaks looduslikele vormidele leidub ka tehnogeenseid aluspõhja reljeefivorme nagu Viivikonna ja Sirgala karjäärid. (Puura *et al.*, 1987)

Mõhnastik koosneb peamiselt fluvio- ja limnoglatsiaalsetest päritoluga hästisorteeritud keskmise- ja peeneteralistest liivadest, mille paksus mõhnastiku keskosas on kuni 50 meetrit. Hilis- ja pärast jääaegsel perioodil toimunud ümbersettimise tulemusena moodustusid rannavallid ja luited (Joonis 4). Kõrge kvartsisisalduse tõttu peetakse Kurtna mõhnastikus asuvat Pannjärve liivakarjääri Eesti kõige kvaliteetsemaks liivamaardlaks. Liiva kaevandamist alustati 1964. aastal mõhnastiku põhjaosast, kus nüüdseks asub tehiskjrv. (Kink, 2004; Arold, 2005)



Joonis 4. Kvaternaarisetete läbilõige Kurtna mõhnastiku kohal. 1 – turvas, 2 – liiv, 3 – moreen, 4 – lubjakivi, 5 – põlevkivi. (Tseban, 1975)

Kurtna mõhnastikust lääne poole asub Jõhvi kõrgendik, mille pindala on 260 km², pikkus põhjast lõunasse 24 km ja laius läänest itta 16 km. Kõrgendiku aluspinna kõrgus on 79 meetrit ja suhteline kõrgus umbes 30 meetrit. Kurtna mõhnastikust ida poole jääb tasandik, mille aluspõhja absoluutne kõrgus on 20–30m. (Puura *et al.*,1987)

Mõhnastiku pindala on 15 km² kuuludes kümne Eesti suurema mõhnastiku hulka. Mõhnastik on põhja lõuna suunaline, 7 km pikkune ja 0,5–3,5 km laiune kuhjeküngastik. Absoluutkõrgused jäävad vahemikku 42 meetri ja 68 meetrit ning suhteline kõrgus on ala lääneosas kuni 20 meetrit. Madalamateks osadeks on ala mõhnastikusised glatsiokarstilised järvenõod ja ida pool paiknevad sood. (Karukäpp, 1987; Kont & Arold, 1987; Arold, 2005)

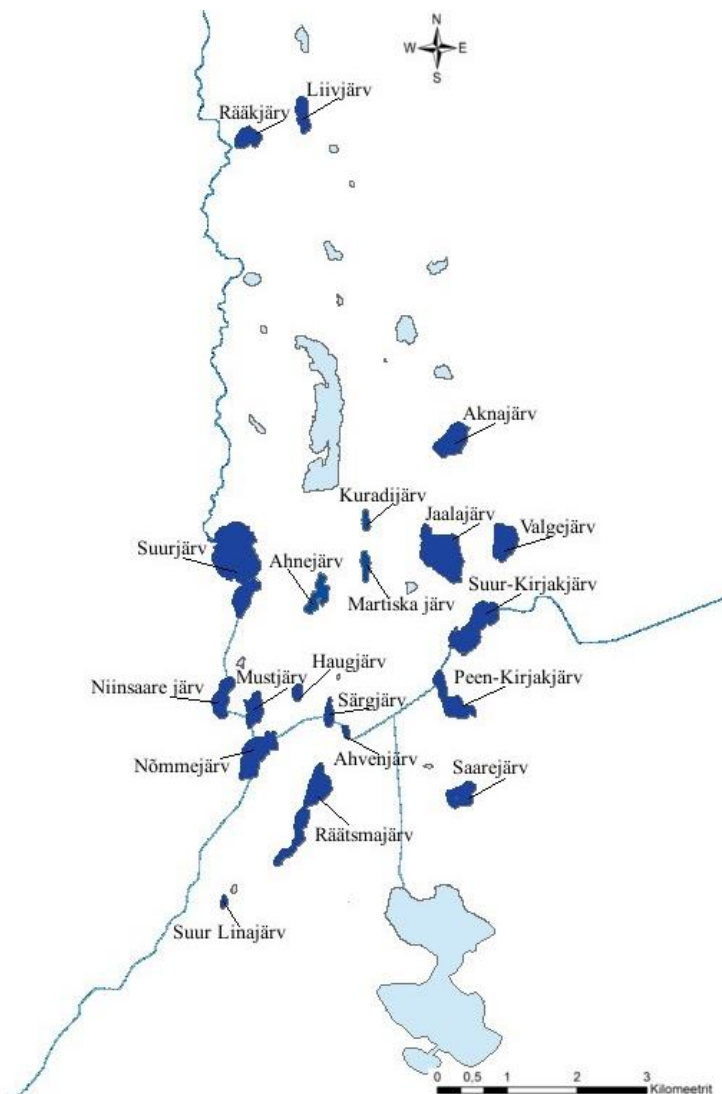
Mõhnastiku läänenõlv on looduses hästi jälgitav järsk ja sirgjooneline pinnamoodustis. Idanõlv on väga sopiline ning kohati tinglik, ulatudes kuni Puhatu soostiku keskosani. Domineerivad põhja- lõunasuunalised pinnavormid – künnised, seljakud ja lavad. (Kont & Arold, 1987; Kink, 2004)

Kurtna mõhnastiku pinnavormide vaheldumine positiivsete reljeefivormide ning madalamate tasaste aladega põhjustab põhjavee taseme suurt varieeruvust. Kurtna järvede piirkonnas on ülekaalus sootasandike hüdmorfseid soomullad ja automorfseid leedemullad, mis toituvad vaid sademete veest. Mõhnastiku muldade lähtekivimiks on limno- ja fluvioglatsiaalsed liivad ja kruusad. Liivadel moodustunud mullad on väga hea veeläbilaske võimega ja väikese veemahutavusega, samuti väikese toitainetevaruga ja ülemistes kihtides puuduvad karbonaadid. Domineerivaks mullatekkeprotsessiks automorfsetel muldadel on leetumine. Kujunenud muldadel on huumushorisont alles hakanud kujunema või puudub täielikult. (Rooma, 1987)

Muldade mõju järvedele on küllaltki väike. Valgalalt jõudvad sademeveed, mis valguvad läbi mulla ja liivade on orgaanika ja mineraalainete vaesed. Seepärast olid järved enne inimõju valdavalt oligotroofsed. Veetaseme muutused on põhjustanud järvede ja soode äärealade hüdmorfsete muldade piiri nihkumise ning soomuldade degradatsiooni. Lisaks põhjustas ümberkaudsete tööstuste tuhk mullahorisondi ülemise kihi leelistumise. (Rooma, 1987) Levinud metsatüüpidest on hõredad palu- ja nõmmemännikud, mis on kasvanud peale 1941. aasta suurt metsapõlengut. Mõhnastiku äärealadel leidub ka soostunud kaasikuid ja segametsa. (Saarse, 1987; Arold, 2005)

2.2 Kurtna järvestik

Kurtna mõhnastiku muudab omanäoliseks Kurtna järvestik. Eesti kõige järverikkam piirkond, mille 30 km² asub ligi 40 järve (Joonis 5), paikneb Kirde-Eestis Ida-Virumaal Illuka, Jõhvi ja Toila vallas. Järved on valdavalt alla 10 ha suurused, suurim on sopiline Konsu järv (136 ha) mõhnastiku lõunaosas. Mõhnastiku piires on suurema pindalaga järved koondunud kahte põhja-lõuna suunalisse vööndisse, millest läänepoolne piirkond asub Kurtna orundis (Pannjärv, Suurjärv, Niinsaare järv, Must- ja Nõmmejärv) ja idapoolne piirkond, kuhu kuuluvad Aknajärv, Jaala järv, Valgejärv, Suur-Kirjakjärv. Mõhnastiku keskosas paiknevad väikesed umbjärved Martiska, Kuradi-, Haug- ja Ahnejärv. (Kont & Arold, 1987)



Joonis 5. Kurtna järvede paiknemine. Uuritud järved on tähistatud järve nimega. (Maaameti kaardiserver, 2015)

Kurtna mõhnastiku maastikuilme kaitseks moodustati 1987. aastal Kurtna maastikukaitseala, mille pindala on 2820 ha. Kaitseala eesmärkideks on kaitsta ja säilitada Kurtna järvederikka mõhnastiku maastikuilmet, unikaalseid järveökosüsteeme ja kooslusi. Mõhnastiku 39-st looduslikust järvest jääb kaitsealale 33 järve. (Kurtna maastikukaitseala..., 2015) Lisaks kuulub Kurtna maastikukaitseala Natura 200 võrgustikku alates 2008. aastast.

Kurtna maastikukaitsealal kõige väärtuslikumad elupaigatüübid looduskaikaitse seisukohalt on liiva-alade vähetoitelise järvede (3110) nendele järgnevad vähe- kuni kesktoiteliste mõõdukalt kareda veega järvede (3130) ning vähe- kuni kesktoiteliste kalgiveeliste järvede (3140) kaitse (RT I 2005, 30, 220).

Liiva-ala vähetoitelised järved on vähelevinud järvetüüp. Pehmeveelisuus ja madal toitainete sisaldus muudavad järved reostusele tundlikuks, lisaks veetaseme pidev kõikumine põhjustab järvede ökosüsteemis muutusi. Võrreldes teiste järveelupaikadega leidub Liiva-alade vähetoitelistes järvedes enim looduskaitsealuseid soontaimi, näiteks vesilobeelia (*Lobelia dortmanna*). Kurtnas asub üheksa Liiva-ala vähetoitelist järve- Ahnejärv, Aknajärv, Kuradijärv, Liivjärv, Kurtna Linajärv, Martiska järv, Saarejärv, Valgejärv ja Kurtna Väike Linajärv.

Lisaks on Kurtna järvestikul suur tüpoloogiline mitmekesisus. Mäemetsa (1977) poolt välja töötatud Eesti järvede omapära arvestava järvede klassifikatsiooni alusel on Kurtna järvestikus kaheksast põhitüübist esindatud kuus eritüüpi järve. Haruldased on kogu Eestis oligotroofsed järved, millest Kurtnas paikneb Martiska, Ahnejärv, Liivjärv, Kuradijärv ja Aknajärv. Lisaks paikneb Kurtnal veel semidüstroossed järved (Valgejärv, Saarejärv ja Linajärv), siderotroofsed (Räätsma järv, Jaala järv, Suur- ja Peen-Kirjakjärv ning Suurjärv) ja umbes pooled järved on miksotroofsed. (Kink, 2004)

Kurtna järvestiku järved asuvad veelahkmel. Mõhnastiku läänepoolse osa äravool toimub Vasavere jõkke ja sealt Pühajõkke, suubudes Soome lahte. Ida suunas toimub äravool Sirgala karjääri kraavisüsteemi ja selle kaudu Narva jõkke. (Pöder, 1995)

2.3 Inimmõju Kurtna järvedele

Kurtna järvestiku on viimase sajandi jooksul mõjutanud inimtegevus kaitsealal ja selle ümbruses. Aktiivne loodusvarade ammutamine on oluliselt mõjutanud piirkonna põhja- ja pinnavee taset ning järvedes kaasa toonud veetaseme alanemise ja troofsuse tõusu ning muutused ökosüsteemides. Kurtna järvestiku ümbruses puudub peaaegu täielikult põllumajanduslik tegevus ja sellega kaasnev kõige sagedasem antropogeense eutrofeerumise põhjus. (Pöder, 1996) Kurtna järvede eutrofeerumise põhjuseks peetakse veetaseme alanemist. Aastani 1946. oli Kurtna järvede veerežiim looduslikus olekus, varasemalt oli rajatud kraave mis kuivendasid Mustjõe valgla soid. (Ilomets *et al.*, 1987; Vallner, 1987)

Kurtna järvestiku umbjärvede veetaseme muutusi seostatakse peamiselt mõhnastiku keskossa rajatud Vasavere veehaarde ja Pannjärve liivakarjääriga. (Vallner, 1987; Ilomets *et al.*, 1987; Pöder, 1995; Vainu, 2011) Pannjärve liivakarjäär rajati 1964. aastal ning alates 1987. aastast alustati liiva kaevandamist allpool põhjavee taset. Karjääri on tekkinud 45 ha suurune tehisjärv. 1972. aastal rajatud Vasavere veehaare koosneb 14 puukaevust mis moodustavad 1100 meetri pikkuse ridaveehaarde. Vett ammutatakse toimub Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumist. Joogiveega varustatakse Jõhvi ja Kohtla- Järve elanike. Veehaare renoveeriti 2012. aastal. Suurim lubatud ööpäevane veevõtt on 8000m³, reaalselt on mahud veidi väiksemad. (Terasmaa *et al.*, 2013)

Kurtna mõhnastiku läheduses paiknev mitu allmaakaevandust ja karjääri. Mõhnastikust loodes asuv Ahtme kaevandus rajati 1964. aastal. Kaevandamisega kaasneva kuivendamise mõju ei levinud Vasavere jõest ida poole ja Kurtna järvede veetaseme ei kannatanud. Vasavere jõgi toimis infiltratsioonivarjena (Vallner, 1987). Kaevandamine lõpetati Ahtme kaevanduses 2002. aastaks ning kaevandus täitus veega 2004. aasta lõpuks. Suletud Ahtme kaevanduse veetaseme hoitakse absoluutkõrgusel 42–43,5 meetrit. Veetaseme reguleerimine on oluline, kuna kaevanduse sulfaadirikkad veed võivad ohustada Vasavere veehaarde vee kvaliteeti ja liigne veetaseme alanemine võib vähendada tarbevaru hulka. (Perens, *et al.*, 2010)

Viivikonna karjäär avati juba 1936. aastal, kuid siis toimusid kaevandamine järvedest 7 km kaugusel ja väikses mahus. Kaevandusmahtude suurenemine toimus 1960-ndatel aastatel ning kuivendamise tulemusena langes põhjavee tase. (Sepp & Pensa, 2009) Veetaseme

alanemise mõju ulatus mõhnastiku põhjaosast kuni Vasavere jõeni. Veetaseme alanemine 1–2 meetri võrra toimus Rääk-, Liiv-, Kast-, Must- ja Konnajärves. Estonia põlevkivikaevanduse (avati 1972. aastal) ja Sirgala põlevkivikarjääri (1962. aastal) kuivendamise mõju ei ole otseselt mõhnastikuni jõudnud. Sirgala karjääri lääneserva on rajatud filtratsioonitõke, mis vähendab põhjavee sissevoolu mõhnastiku poolt. (Vallner, 1987)

1964. aastal avati Oru turbaväli, eesmärgiga enne põlevkivi kaevandamise algust eemaldada ala kattev 4–5 meetri paksune turbakiht. (Ilomets *et al.*, 1987) Turba kaevandamine toimus Liivjärvest 400 meetri kaugusel, mille tulemusena langes järve veetase üle 2 meetri. (Erg & Ilomets, 1989)

Järvestiku lõunaossa rajati 1953. aastal Konsu veehaare, mille eesmärkideks oli varustada Kohtla-Järve Põlevkivikeemiakombinaati veega. Konsu järve veetaseme hoidmiseks rajati 1970. aastal Raudi kanal. Kraavidega ühendati Suurjärv, Niinsaare-, Must-, Nõmme-, Särg-, Ahvenjärv ja Konsu järv, muutes mitmed umbjärved läbi- või väljavoolujärvedeks. Kurtna Suurjärve väljavool Vasavere jõkke suleti tammiga. Lisaks looduslikule veele juhitakse Raudi kanalisse Estonia kaevanduse sulfaatiderikas kaevandusvesi, mis voolab kõigepealt Nõmmejärve ja sealt edasi Särg-, Ahven- ja Kirjakjärvedesse. (Ilomets *et al.*, 1987; Vallner, 1987) Kuni 2013. aasta keskpaigani juhiti Raudi kanalisse lisaks Estonia kaevanduse vetele ka Viru kaevanduse veed. (Kurtna maastikukaitseala..., 2015) Raudi kanalit mööda sisse voolav veehulk kiirendab järvede veevahetust ja rikastab vett hapnikuga. Raudi kanali sissevool moodustab kogu Nõmmejärve veebilansist 86%. (Terasmaa *et al.*, 2013) Veevahetuskiruse vähenemisega võib tekkida järvedes hapnikupuudus, mille tagajärjel moodustub kogunenud sulfaatidest vee-elustikule mürgine väävelvesinik. Seejärel satub põhjasettesse kogunenud fosfor uuesti vette põhjustades veekogu eutrofeerumise. (Pöder, 1995; Kurtna maastikukaitseala..., 2015)

Intensiivse inimõju tulemusena oli 1980-daks aastaks langenud pea kõigi järvede veetase. Tänu kaevanduste sulgemisele ja kaevandusmahtude vähenemisele on Kurtna järvede veetase taastumas, kuid ei ole saavutanud 1946. aasta seis. Eriti kriitiline oli seis Martiska, Kuradi- ja Ahnejärves, kus veetaseme langus võis olla 3–4 meetrit. Peamiseks põhjuseks peetakse Vasavere veehaaret. (Erg & Ilomets, 1989, Vainu, 2011) Alates 2012

aastast on tähendatud Kuradi-, Ahnejärve ja Martiska veetaseme uut langust. (Terasmaa *et al.*, 2013)

2.4 Järvede iseloomustus

Järve veetase on esitatud 1990. aasta seisuga (v.a Haugjärv mille veetaseme mõõtmise toimus 1982 või 1988 aastal) (Pöder, 1996) Järvede keskpunkti koordinaadid pärinevad EELISE andmebaasist.

2.4.1 Ahnejärv

Ahnejärv (59°15'35" pl ja 27°33'38" ip) paikneb merepinnast 44,1 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Martiska järv (400 m kirde pool), Kuradijärv (700 m kirde pool), Kurtna Suurjärv (700 m lääne pool) ja Pannjärve liivakarjäär (900 m põhja pool). Vasavere veehaarde puurkaev asub järvest 400 m kaugusel kirdes.

Järve kaldad on järsud ja kõrged, madalamat ja soostunud ala leidub järve lõunaosas. Järve ümbruses on levinud männimets, järve kallastel kasvab männi-kase segamets. (Mäemets, 1977; Vainu, 2011)

Ahnejärv on sarnaselt Kuradijärvele ja Martiska järvele umbjärv, mille veetaseme peamiseks mõjutajaks on 1973. aastal avatud Vasavere veehaare. (Vallner, 1987; Ilomets *et al.*, 1987; Vainu, 2011) Järve veetase on aja jooksul tugevalt muutunud olles praegu looduslikust tasemest oluliselt madalam. 1971. aasta andmetel oli järve sügavus 10,7 meetrit ja 1975. aasta andmetel 7,7 meetrit, olles langenud 3 meetri võrra. (Mäemets, 1977)

Järve vee läbipaistvus oli 1968. aasta andmetel Kurtna järvestiku suurim – 6,0–6,1 meetrit (Mäemets, 1977). Vee läbipaistvus vähenes 4,8 meetrini 1987. aasta uuringute ajaks. 1987. aastal läbi viidud uuringu andmetel oli veetaimestiku hulk keskmine – leidus kaitsealust vesilobeeliat, järve-lahnarohtu ja jõgitakjat. Lisaks levis järves pilliroog, valge vesiroos ja kollane vesikupp. Veesisesest taimestikust esines mändvetikat ja penikeelt. (Mäemets & Teder, 1987) Veetaseme alanemise tagajärjel on vesilobeelia, järve-lahnarohu ja jõgikatku järvest kadunud. (Kurtna maastikukaitseala..., 2015)

Ahnejärv kuulub vähetoiteliste järvede hulka. VRD järgi kuulub järv pehme- ja heledaveeliste järvede klassi. (Tamre, 2006)

2.4.2 Ahvenjärv

Ahvenjärv ($59^{\circ}14'48''$ pl ja $27^{\circ}33'54''$ ip) paikneb merepinnast 43,6 m kõrgusel Kirde-Eestis, Kurtna maastikukaitsealal. Lähimateks järvedeks on Särgjärv (100 m loode pool) ja Räätsma järv (500 m edela poole). Järve pindala on erinevate allikate andmetel 0,7 ha (Tamre, 2006) või 2 ha. (Mäemets, 1977; EELIS, 2015). Ilmselt on erinevuste põhjuseks järve kaldataimestiku rohkus, mis katab tihedalt kogu järve põhjaosa. Kaldajoone on vähe liigendatud ning pikkus sõltuvalt pindalast on 738 meetrit (EELIS, 2015) või 362 meetrit (Tamre, 2006).

Järvest voolab läbi Raudi kanal, mille sissevool asub järve läänekaldal ja väljavool kagust. Enne Räätsma järve veetaseme alanemist toimus sissevool järve ka edelasse jääva kraavi kaudu (Mäemets, 1968), kuid tänapäeval sissevoolu sealt ei esine (Kurtna maastikukaitseala..., 2015).

Ahvenjärv kuulub kihistumata kalgiveeliste segatoiteliste järvede hulka. (Mäemets, 1977; Tamre, 2006) Järve kuuluvust VRD järgi ei ole hinnatud.

Taimestikust esines 1968. aastal kaldavees konnaosi, laialehine hundinui ja vähesel määral pilliroogu. Järves leidis ujulehtedega taimestikust ujuvat penikeelt, valget ja väikest vesiroosi, kollast vesikuppu ja rusket penikeelt. Veepõhjas leidis veel männas-vesikuuske, vesikatku, harilikku vesihernest ja muda-penikeelt. (Mäemets, 1977)

2.4.3 Aknajärv

Aknajärv ($59^{\circ}16'27''$ pl ja $27^{\circ}35'16''$ ip) paikneb merepinnast 42,25 m kõrgusel. Lähimateks järv on Virtsikujärv (600 m põhja pool) ja Jaala järv (1 km lõunas).

Aknajärv on ovaalse kujuga ja kaldajoon on vähe liigestatud. Järve pindala on 8,6 ha (EELIS, 2015) Varasematel andmetel oli pindala 8,3 ha (Mäemets, 1977) ja 8,8 ha (Tamre, 2006). Suurimaks sügavuseks oli 1968. aasta andmetel ligi 5 meetrit ja keskmiseks sügavuseks 2,8 meetrit (Mäemets, 1977). Järve sügavus EELISE süsteemist on 4,2 meetrit, kaldajoone pikkus 1148 m. Järve pikiprofiili pikkus on 430 m ja järve laiuks 260 m. (EELIS, 2015) Väljavool järvest toimub järve kirdenurgast läbi inimtekkelise kraavi, mis varasemalt oli varustatud tammiga, suubub Riiasoo kraavi. (Pallo, 1977) Vee läbipaistvus 1968. aastal oli 2,15 meetrit. (Mäemets, 1977).

Aknajärv kuulub pehmeveeliste eutroofsete järvede hulka. VRD järgi kuulub järv pehme- ja heledaveeliste järvede klassi. (Tamre, 2006)

Järve ümbritseb männimetsaga kaetud liivased künkad, põhja ja kirde pool on mets soostunud. Kaldavööde on enamasti mudane ja turbane, kohati liivane. Taimestik oli 1968. aasta seisuga suhteliselt hõre, leidus pilliroogu, tarna ja konnaosja, lisaks veel kollast vesikuppu, vesiroosi ja vesikatku. (Mäemets, 1977)

2.4.4 Haugjärv

Haugjärv ($59^{\circ}15'1''$ pl ja $27^{\circ}33'22''$ ip) paikneb merest 45,05 meetri kõrgusel. Lähimateks järveks on Mustjärv ja Nõmmejärv (500 m edela pool) ja Särgjärv (320 m kagu pool). Järve pindala oli 1968. aasta andmetel 2,2 ha (Mäemets, 1977), tänapäevastel andmetel on järve pindala vähenenud 1,7 ha (Tamre, 2006). Tegemist on umbjärvega, mille sügavus on 4,5 meetrit (Mäemets, 1977; EELIS, 2015) Järve pikkus on 240 m ja järve laius 120 m, kaldajoone on vähe liigestatud ja selle pikkus on 490 m (EELIS, 2015). Vee läbipaistvus oli 1968. aastal 4,5 meetrit ja põhjas leidub mitme meetri paksune lendmudakiht (Mäemets, 1977)

Haugjärv kuulub kalgiveeliste eutroofsete järvede hulka. VRD järgi kuulub järv keskmiselt kareda kihistumata veega järvede hulka. (Tamre, 2006)

Järve ümbritsevad järsud nõlvad, mis on metsaga kaetud. Järve kinnikasvanud soiselt lõunaosast on leitud turba ja järvesette kihtide üksteise peal paiknemist, mis iseloomustab järve veetaseme suuri muutusi minevikus. (Saarse, 1987) Järv on taimestikuga, domineerib ujuv penikeel, järve põhjaosas on valge vesiroos, lisaks veel leidub tarnu ja ubalehte. (Mäemets, 1977)

2.4.5 Jaala järv

Jaala järv ($59^{\circ}15'47''$ pl ja $27^{\circ}35'6''$ ip) asub merepinnast 42,7 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Valgejärv (400 m ida pool) ja Suur-Kirjakjärv (400 m kagu pool). Järve pindala oli 1954. aastal 19,6 ha (Mäemets, 1968), olles nüüdseks 19,3 ha suurune (EELIS, 2015). Järve suurim sügavus oli 1954. aastal 6,4 meetrit ja keskmine 4,8 meetrit. (Mäemets, 1968) Järve pikkus on 750 m ja laius 460 m, kaldajoone pikkus on 1913 m. Järve kaldajoon on vähe liigestatud. (Mäemets, 1977. EELIS, 2015) Vee keskmine

läbipaistvus oli Mäemetsa (1977) andmetel 2,2 meetrit. Järve lõunasopist toimub suurvee ajal väljavoolu Suur-Kirjakjärve (Mäemets, 1977).

Jaala järv kuulub pehmeveeliste eutroofsete järvede hulka. VRD järgi kuulub järv pehme- ja heledaveeliste järvede klassi (Tamre, 2006)

Järve ümbritsevad nõmmemetsaga kaetud mõhnad. Kaldad on madalad, mudased ja turbased. Järve põhi on valdavalt mudaga kaetud, kuid esineb ka liivast põhja. Taimestik kattis 1968. aastal järvest umbes 15%, mille hulgast leiti 13 erinevat liiki taimi. (Mäemets, 1977)

2.4.6 Kuradijärv

Kuradijärv (59°16'0" pl ja 27°34'15" ip) asub merepinnast 42,35 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Martiska järv (300 meetrit lõunas), Ahnejärv (700 meetrit edela pool) ja Pannjärv (500 meetrit loode pool). Vasavere veehaarde puurkaevud jäävad 130 meetri kaugusele läände.

Tegemist on mõhnastiku keskossa kuuluva umbjärvega. Järve veetase on viimase 70-ne aasta jooksul oluliselt muutunud ja kaasa toonud järve toitelisuse muutuse. Varasemalt oligotroofne järv on muutunud eutroofsemaks (Ott, 2006).

Järve pindala oli 1968. aastal 1,9 ha (Mäemets, 1977). EELISE (2015) andmebaasis on järve pindala 1,5 ha ja Vainu (2011) andmetel 1,7 ha. Järve pikkus on varasematel andmetel 240 meetrit, laius 100 meetrit ja übermõõt 541 meetrit. (EELIS, 2015)

Järve kaldad on järsud ja kõrged. Madalam soostunud tasandik asub järve põhjaosas. Järve kallastel kasvab suur hulk kaski. Enne 1941. aasta suurt metsatulekahju kasvas järve ümbruses männimets. (Mäemets, 1977) Valgalal on levinud palumets (Vainu, 2011). Järve kaldalähedases vees hulgaliselt puutüvesid ja oksid, mis jäid veetaseme tõustes vee alla ja nüüd rikastab lagunev orgaaniline aine järve toitainetega. (Mäemets, 1977; Kurtna maastikukaitseala..., 2015)

Kuradijärv kuulub oligotroofsete järvede hulka. VRD järgi kuulub järv pehme- ja heledaveeliste järvede klassi (Tamre, 2006)

2.4.7 Liivjärv

Liivjärv ($59^{\circ}18'23''$ pl ja $27^{\circ}33'47''$ ip) asub merepinnast 43,4 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Kastjärv (600 m põhja pool), Kulpjärv (300 m kagu pool) ja Rääkjärv (500 m lääne pool).

Järv veetaset on mitmel korral alandatud. Järve pindala oli 1958. aastal 6 ha ja suurim sügavus 10,7 m. Veetase langes 1971. aastal 1 meetri võrra ja 1973. aastal veel 2 meetri võrra. (Mäemets, 1977) Nüüdseks on järve pindala 4,5 ha. (Tamre, 2006) Liivjärve pikkus on 450 m ja laius 160 m, kaldajoone pikkus on 963 m. (EELIS, 2015) Väljavool toimub järve idakaldalt algava kraavi kaudu, mis voolab freesturbaväljade kraavidesse ja sealt Mustjõe kaudu Narva veehoidlasse. Vee läbipaistvus oli 1958. aastal kuni 6,6 meetrit. (Mäemets, 1968; 1977)

Liivjärv kuulub oligotroofsete järvede hulka ja VDR järgi kuulub Liivjärv pehme- ja heledaveeliste järvede klassi. (Tamre, 2006)

Järvest edelas ja lõunas paiknevad männimetsaga kaetud künkad, looda ja ida pool laiub laugasraba. Järve kaldad on liivased edela ja lõunaküljel ja turbased ülejäänud järve osas. (Mäemets, 1977)

2.4.8 Martiska järv

Martiska järv ($59^{\circ}15'44''$ pl ja $27^{\circ}34'13''$ ip) asub merepinnast 42,5 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Kuradijärv (300 meetrit põhjas), Ahnejärv (500 meetri edela pool) ja Pannjärve liivakarjäär (750 meetrit kagus). Vasavere kõige lähem puurkaev asub järvest 250 meetri kaugusel loodes.

Tegemist on sademeveest toituva umbjärvega, mille veetase on sarnaselt Ahne- ja Kuradijärvega alanenud tänu Vasavere veehaarde mõjule. (Mäemets, 1977; Vallner, 1987) Järve pindala oli 1968. aastal 4,4 ha ja 2010. aastal 3,1 ha (Mäemets, 1977; Vainu, 2011) Järve veetase alanes perioodil 1946–1987 umbes 3,4 meetri võrra. (Erg & Ilomets, 1989). Järve suurim sügavus oli 1957. aasta välitööde ajal 9,5 meetrit ja 1975. aastaks oli maksimaalne sügavus alanenud 7,3 meetrini (Mäemets, 1977). Järve veetasemele mõjus laastavalt 1973. aastal avatud Vasavere veehaare, mille mõju kestab tänaseni. (Vainu, 2011, Terasmaa *et al.* 2013)

Järve ümbritseb suhteliselt tasane ala koos mõhnastikule iseloomulike väikeste küngastega. Järve läänekaldal asub veidi kõrgem liivaseljak, mis on kaetud nõmmemetsaga. Idas on kaldad turbased ja kaetud rabastuva männikuga. (Mäemets, 1977)

Martiska järv kuulub oligotroofsete järvede hulka ja VDR järgi kuulub Martiska pehme- ja heledaveeliste järvede klassi. (Tamre, 2006)

Sarnaselt Kuradijärvele leidub Martiska järve madalamas vees surnud puutüvesid, mis järve toitainetega rikastavad. (Kurtna maastikukaitseala..., 2015)

2.4.9 Mustjärv

Mustjärv ($59^{\circ}14'55''$ pl ja $27^{\circ}32'51''$ ip) asub merepinnast 45,9 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Nõmmejärv (150 m lõuna pool), Niinsaare järv (250 m ida poole) ja Haugjärv (350 m kirde poole).

Järve veetasel on alandatud 1963. aastal, kui kaevati kraavid millega ühendatid Mustjärv Niinsaare ja Nõmme järvega. Järve pindala oli 1968. aastal umbes 5 ha. (Mäemets 1977). Hilisematel andmetel on järve pindala 5,5ha, järve pikkus 420m, laius 240m ja kaldajoone pikkus 1027m. Kaldajoon on vähe liigestatud. (EELIS, 2015) Tegemist on läbivoolu järvega, sissevool toimub Niinsaare järvest läänekaldal asuva kraavi kaudu ja väljavool Nõmmejärve toimub läbi lõunakaldal asuva kraavi mööda.

Järv kuulub pehmeveeliste miksotroofsete järvede hulka. VDR järgi ei ole järve kuuluvust hinnatud (Tamre, 2006)

Mustjärv on soojärv, mille kallastel kasvas kuni 1997. aasta suure metsapõlenguni rabamännik. Tulekahjus hävis üle poole järve ümbruses kasvanud metsast. (Kink, 2004) Kallas on järvel turbane ja sageli laskuvad turbakaldad otse vette. (Mäemets, 1977)

2.4.10 Niinsaare järv

Niinsaare järv ($59^{\circ}15'0''$ pl ja $27^{\circ}32'31''$ ip) asub merepinnast 45,65 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Mustjärv (250 m lääne pool), Nõmme järv (400 m kagu poole) ja Kurtna Suurjärv (700 m põhja poole).

Järve veetase sai tugevalt mõjutatud 1963. aastal, kui umbjärvest sai läbivoolu järv. Järve põhjaosas on sissevool, mis tuleb Kurtna Suurjärvest ja järve kagunurgas on väljavool, mis

viib vee Mustjärve. Enne kraavitamist oli järve pindala 7,7 ha, kuid juba 1968. aasta suveks oli vähemalt 50% järvest kuivale jäänud. (Mäemets, 1977). Tänapäeval on järve pindala erinevatel andmetel 6,2 ha (EELIS, 2015) või 6,5 ha (Tamre, 2006). Järve pikkus on 550 m, laius 200 m ja kaldajoone pikkus 1182 m. (EELIS, 2015) Veekihi maksimaalne sügavus oli 1987. aasta andmetel 2,1 meetrit. (Erg & Ilomets, 1989)

Järve limnoloogiline tüüp on makrofüüdi järv. VRD järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistumata järvede klassi.

Tegemist on soojärvega, järve ümbritseb peamiselt siirdesoo, ainult järvest idas on raba. Järve ümbritseb turbamudane ala, mis varasemalt oli järvepõhi. Liivast kallast leidub järve edelakaldal. (Mäemets, 1977)

2.4.11 Nõmme järv

Nõmmejärv ($59^{\circ}14'39''$ pl ja $27^{\circ}32'53''$ ip) asub merepinnast 46 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Mustjärv (150 m põhja poole) Niinsaare järv (400 m loode poole), Haugjärv (450 m kirde poole) Räätsma järv (470 m kagu poole) ja Särgjärv (670 m kirde poole).

Järve pindala oli 1954. aasta andmetel 15,6 ha ja sügavus 7,5 m. Mäemetsa (1968) Nüüdseks on järve pindala 12,6 ha (Tamre, 2006) Järve veetaset alanes 1963. aastal kaevatud kraavide mõjul 0,8 meetri võrra. (Mäemets, 1968) Järve maksimaalne sügavus oli 1987. aasta andmete järgi 5,6 meetrit (Erg & Ilomets, 1989) Järve pikkus on 700m, laius 340m ja kaldajoone pikkus 1662m. (EELIS, 2015) Tegemist on läbivoolujärvega, kus kõige intensiivsem sissevool toimub järve lõunaosast läbi Raudi kanali, mis toob järve kaevandusvee. Teine sissevool on Mustjärvest, mis asub järve põhjaosast. Väljavool toimub järve kirdekaldalt, kust vesi voolab mööda Raudi kanalit edasi Särg- ja Ahvenjärve ja sealt edasi Konsu järve.

Järve limnoloogiline tüüp on kalgiveeline eutroofne järv. VRD järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistumata järvede hulka. (Tamre, 2006)

Nõmmejärvest idas, lõunas ja edelas kasvavad okasmetsad, mis asuvad liivase koostisega küngastel, edelas leidub ka põllu ja karjamaid. Mujalt ümbritseb järve raba, mis läheb üle rabamännikuks. Järve idakallas on valdavalt liivane, mujal järsud turbakaldad (Mäemets, 1977).

2.4.12 Peen-Kirjakjärv

Peen-Kirjakjärv ($59^{\circ}14'57''$ pl ja $27^{\circ}35'10''$ ip) asub merepinnast 41,5 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Kirjakjärv (300 m põhja poole) ja Saarejärv (750 m lõuna poole). Järve pindala oli 1954 aasta välitööde andmetel 9,8 ha ja suurim sügavus 3,3 m (Mäemetsa (1968). Uuematel andmetel on järve pindala 8,2 ha (Tamre, 2006). Järve pikkus on 650 m, laius 250 m ja kaldajoone pikkus 1780 m. Tegemist on läbivoolu järvega – järve voolab sisse loodest Raudi kanal ning välja vool on kirde osast läbi Mustajõe, mis suubub Suur-Kirjakjärve.

Järve limnoloogiline tüüp on makrofüüdi järv. VRD järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistumata järvede hulka (Tamre, 2006).

Järve ümbrus on tasane, domineerivad saviliivad ja soine ala. Loode pool on järve ääres soine heinamaa riba, mujal segamets. Järve kaldad on madalad ja mudased, üksikutes kohtades liivased. (Mäemets, 1977)

2.4.13 Rääkjärv

Rääkjärv ($59^{\circ}18'17''$ pl ja $27^{\circ}33'8''$ ip) asub merepinnast 44,45 meetri kõrgusel. Lähimaks järveks on Liivjärv (500 m ida poole). Järve pindala on 4,9 ha (Tamre, 2006) varasemalt oli järve pindala 5,4 ha ja suurim sügavus 4,4 m (Mäemets, 1977). Järve pikkus on 320 m, laius 240 m ja kaldajoone pikkus 902 m. (EELIS, 2015) Järvest toimus varasemalt väljavool kraavi kaudu järve edelakaldalt Vasavere jõkke. (Pallo, 1977) Ajaperioodil 1946–1987 langes veetase 1,3 meetri võrra (Ilomets, 1989) Järvemuda paksus järves on kuni 4,9 meetri (Saarse, 1987)

Järve limnoloogiline tüüp on makrofüüdi järv. VRD järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistumata hulka. (Tamre, 2006)

Järve ümbritsevad kaldad on enamasti järsud, kaetud männi- ja kasemetsaga. Läänekallas on soine, ülejäänud kaldad liivased. (Mäemets, 1977)

2.4.14 Räätsma järv

Räätsma järv ($59^{\circ}14'18''$ pl ja $27^{\circ}33'21''$ ip) asub merepinnast 45,25 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Haugjärv (400 m kirde poole), Särgjärv (415 m põhja poole) ja Nõmme järv (470 m loode poole). Järve pindala on 16,4 ha (Tamre, 2006) Mäemetsa 1954. aasta andmetel oli järve pindala 17,5 ha ja suurim sügavus 10,8 meetri (Mäemets, 1977). Järve veetase langes ajaperioodil 1946–1987 poole meetri võrra (Ilomets, 1989). Järve pikkus on 1230 m, laius 260 m ja kaldajoone pikkus 2840 m. (EELIS, 2015) Tegemist on umbjärvega, varasemalt oli väljavool järve põhjaosast Ahvenjärve, kuid praeguseks hetkeks sealt väljavoolu ei toimu.

Järv on tekkinud sügavasse oosilohku ning veelune mõhn jagab järve sügavamaks põhjaosaks ja madalamaks lõunaosaks. (Saarse, 1987) Järve länekallas on kõrge ja järsk ja mille lähedal süveneb järsult, mujal on kaldad madalad. Kagus on järve kaldad liivased või rohtunud, kirdes ja edelas turbased. Kogu järve ümbruses kasvab mets, kaldavöönd on liivane, järve põhja katab muda. (Mäemets, 1977)

Järve limnoloogiline tüüp on kalgiveeline eutroofne. VRD tüübi järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistunud veega järvede hulka. (Tamre, 2006)

2.4.15 Saarejärv

Saarejärv ($59^{\circ}14'22''$ pl ja $27^{\circ}35'10''$ ip) asub merepinnast 44,6 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Sisalikujärv (360 m loode poole) ja Peen-Kirjakjärv (770 m põhja poole). Järve pindala on 6,3 ha (Tamre, 2006), sama oli ka järve pindala 1986. aastal (Mäemets, 1977). Järv on säilitanud oma veetaseme, ajavahemikus 1946–1987 tõusis veetase 0,2 meetrit. Järve suurim sügavus oli 7 meetrit. (Ilomets, 1989) Tänapäeval on tegemist umbjärvega, varasemalt toimub väljavool järvest loodenurgast Sisalikujärve ja sealt edasi Peen-Kirjakjärve voolavasse kraavi. (Mäemets, 1977) Järve pikkus on 350 m, laius 250 m ja kaldajoone pikkus 1069 m. (EELIS, 2015)

Järve limnoloogiline tüüp on semidüstroofne. VRD järgi kuulub järv pehme ja heledaveeliste järvede hulka (Tamre, 2006).

Järve keskel asub väike saar, millel kasvavad männid. Järve piirab rabamännik, kaldad on turbased ja järsult vette laskuvad. (Mäemets, 1977)

2.4.16 Suur-Kirjakjärv

Suur-Kirjakjärv ($59^{\circ}15'20''$ pl ja $27^{\circ}35'25''$ ip) asub merepinnast 41,3 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks Peen-Kirjakjärv (200 m edela poole), Jaalajärv (350 m loode poole) ja Valgejärv (540 m põhja poole).

Järve pindala oli 1954. aasta andmetel 17,8 ha. Järve suurimaks sügavuseks mõõdeti 1954. aastal 3,7 meetrit ja keskmiseks 2,4 meetrit. (Mäemets, 1968) Järve pindala EELISE andmebaasis on 13,8 ha (EELIS, 2015) Suur-Kirjakjärve puhul on tegemist läbivoolujärvega. Sissevool on järve edelast Peen-Kirjakjärve ja Suur-Kirjakjärve ühendava kraavi kaudu, lisaks toimub sissevool ka loodest, Jaalajärvest tuleva oja kaudu. Väljavool toimub järve kirdeosast Mustajõe kaudu. Järve pikkus on 720 m, laius 320 m ja kaldajoone pikkus 1815 m. (EELIS, 2015)

Järve limnoloogiline tüüp on makrofüüdi järv. VRD järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistumata veega järvede hulka (Tamre, 2006).

Järve põhja- ja lõunakaldal kerkivad nõmmemetsad, ida pool on turbapinnasel kasvav kasemets ja läänes lodumets. Järve kaldad on madalad ja enamasti mudased või turbased. (Mäemets, 1977)

2.4.17 Suur Linajärv

Suur Linajärv ($59^{\circ}13'49''$ pl ja $27^{\circ}32'24''$ ip) asub merepinnast 49,35 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Väike Linajärv (80 m kirde poole) ja Räätsma järv (630 m kirde pool). Järve pindala on 0,9 ha (Tamre, 2006). Järve pindala ei ole oluliselt muutunud, Mäemetsa (1977) andmetel oli järve pindala 1968. aastal 1,0 ha ja sügavus 7,2 meetrit. Tegemist on umbjärvega, mis toitub sademetest ja allikatest. Järve pikkus on 150 m, laius 90 m ja kaldajoone pikkus 352 m. (EELIS, 2015)

Järve limnoloogiline tüüp on semidüstroofne järv. VRD järgi kuulub järv pehme ja heledaveeliste järvede hulka (Tamre, 2006).

Järve ida ja lõunakaldal asub järsk nõlv, järve lääne ja põhjakallas on lauge. Järve ümbruses kasvab okas- ja kasemets. Järve kaldad on soised ja turbased, põhi mudane. 1968. aastal puudus järves nii kaldaveetaimestik kui ka veesisene taimestik, mille põhjuseks arvati olevat kunagine linalootamine järves. (Mäemets, 1977)

2.4.18 Suurjärv

Suurjärv ($59^{\circ}15'45''$ pl ja $27^{\circ}32'43''$ ip) asub merepinnast 46,4 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Niinsaare järv (700 m lõuna poole), Ahnejärv (700 m ida poole) ja lisaks jääb Pannjärve liivakarjäär 780 m kirde poole.

Järve pindala ei ole aastatega palju muutunud, olles Mäemetsa (1968) andmetel 1954. aastal 34,3 ha ja tänapäeval Tamre andmetel (2006) 33,9 ha. Järve sügavus oli 1954. aastal 6,9 meetrit ja 1987. aastal 4,9 m (Erg & Ilomets, 1989). Järvemuda paksus on kuni 4,5 m (Saarse, 1987).

Järv koosneb suuremast põhjapoolsest osast, mida kutsutakse Suurjärveks ja väiksemast lõunapoolsest osas, mida kutsutakse Peenjärveks. Põhja ja lõunaosa on omavahel ühendatud avara järvekaela kaudu (Mäemets, 1968). Järve pikkus on 1070 m, laius 510 m ja kaldajoone pikkus 3360 m (EELIS, 2015). Kurtna Suurjärv on läbivoolu järv. Varasemalt toimus väljavool järve loode osast läbi Vasavere jõe Soome lahte ja sissevool edelas asuva oja kaudu. Peale kraavide rajamist, mille eesmärgiks oli Konsu järve veehoidlaks muutmine, alanes Suurjärve veetase vähemalt 0,5 meetri võtta. Tänapäeval toimub väljavool järvest lõunaosas asuva kraavi kaudu, mis viib vee Niinsaare järve ja sealt edasi Mustjärve ja Nõmmejärve. (Mäemets, 1977) Järve veetase oli 1946. aastal 47,4 meetrit üle merepinna ja 1987. aastal 46,4 meetrit üle merepinna, ehk sel ajaperioodil langes veetase 1m võrra. (Erg & Ilomets, 1989)

Järve limnoloogiline tüüp on kalgiveeline miksotroofne järv. VRD järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistunud järvede hulka.

Järve kagukaldal kasvab liivapaljandil kõrge mets, mujalt ümbritseb järve soine metsane ala. Järve kaldad on madalad ja mudased, kirde pool järsult vette langev. Liivast kaldariba leidub kagukaldal. (Mäemets, 1977) Järvepõhi on kaetud turbamudaga, mille all asub liiv. Järve kõrge mineraalainete sisaldus on põhjustatud põhjaallikatest. (Pallo, 1977)

2.4.19 Särgjärv

Särgjärv ($59^{\circ}14'53''$ pl ja $27^{\circ}33'43''$ ip) asub merepinnast 43,64 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Punane järv (210 põhja poole), Ahvenjärv (100 m kagu poole) ja Haugjärv (320 m loode poole). Järve pindala on püsinud muutumatuna, nii Mäemetsa (1977), kui ka Tamre (2006) andmetel on järve pindala 2,4 ha. Särgjärve sissevool toimub läänest läbi Raudi kanali ja põhjast Punasest järvest suubuva kraavi kaudu. Vee väljavool järvest toimub kagust läbi kraavi Ahvenjärve. Järve pikkus on 340 m, laius 110 m ja kaldajoone pikkus 745 m (EELIS, 2015).

Järve limnoloogiline tüüp on kalgiveeline miksotroofne järv. VRD järgi kuulub järv keskmise karedusega kihistunud järvede hulka.

Järve ümbruses kasvab soostunud leht- ja segamets ning kaldad on madalad ja turbased. (Mäemets (1977))

2.4.20 Valgejärv

Valgejärv ($59^{\circ}15'50''$ pl ja $27^{\circ}35'50''$ ip) asub merepinnast 44,2 meetri kõrgusel. Lähimateks järvedeks on Jaala järv (400 m lääne poole) ja Suur Kirjakjärv (540 m lõuna poole). Järve pindala oli 1954. aastal 8,6 ha ja sügavus 10,5 m (Mäemets, 1968). Tänapäeval on järve pindala 8,3 ha (Tamre, 2006). Veetaseme kõrgus oli 1946. aastal 44,4 meetrit üle mere pinna ja 1987. aastaks oli veetaseme langenu 0,4 meetri võrra. (Erg & Ilomets, 1989) Järvesette paksus on umbes 1 meeter, mis asub liivadega segatud turbakihi peal. Järve arengu käigus esmalt soostus jääpanga kohale kujunenud lohk, mis jääpanga täielikult sulamisel täitus veega. (Saarse, 1987) Enne veetaseme langemist oli Valgejärv lähtejärveks, väljavool toimus järve põhjakaldalt inimtekkelise kraavi kaudu Oru freesturbaväljade kuivenduskraavi ja sealt edasi Mustajökke. Praeguseks enam väljavoolu järvest ei toimu. (Mäemets, 1977). Järve pikkus on 410 m, laius 280m ja kaldajoone pikkus 1154 m. (EELIS, 2015)

Järve kaldad on enamasti liivased, vaid läänekaldas ulatub järveni raba. Järve ümbruses kasvab enamasti männimets (Mäemets, 1977).

Järve limnoloogiline tüüp on semidüstroofne järv. VRD järgi kuulub järv pehme- ja heledaveeliste järvede hulka (Tamre, 2006).

3. METOODIKA

3.1 Välitööd

Välitööd toimusid Ida-Virumaal Kurtna maastikukaitsealal 2014. aasta kevadel ja sügisel (Tabel 2). Välitööde käigus mõõdistati 17-ne järve sügavused. Järvede sügavuse mõõdistamine teostati veekogude põhjareljeefi kirjeldamise meetodika järgi, mida kohandati väikejärvedele sobivaks.

Tabel 2. Välitöö perioodidel mõõdistatud järved.

Periood	Järved
10.04.2014	Ahvenjärv, Särgjärv
17–18.05.2014	Liivjärv, Peen-Kirjakjärv, Rääkjärv, Suur-Kirjakjärv
10–12.06.2014	Aknajärv, Mustjärv, Niinsaare järv, Räätsma järv, Suur Linajärv, Valgejärv
13–14.09.2014	Haugjärv, Jaala järv, Nõmmejärv, Saarejärv, Suurjärv

Järvede sügavuspunktide mõõtmised toimusid paadist. Peamised mõõtevahendid olid kajalood (*Lowrance LMS337*), kalibreeritud nõör koos ketta kujulise raskusega ja käsi GPS (*GPS Garmin 12*). Kajaloodi helisignaali edastaja ja vastuvõtja oli paigaldatud paadi tagaosasse, veepinna suhtes paralleelselt. Kajalood kasutab sügavusandmete kogumiseks 200 kHz sagedust. Sõltumata sette omadustest on kajaloodi täpsus 15 meetri sügavuses vees 5 kuni 11 cm. GPS absoluutne täpsus on 10 meetrit ja suhteline täpsus 3–5 meetrit. Jaala, Nõmme-, Saare- ja Suurjärvel kasutati paadi edasi liikumiseks elektrimootorit, ülejäänud järvedel aerutati. Välitööde ajal ei täheldatud lainetust, mis oleks seganud kajaloodi normaalset toimimist.

Välitöödel jälgiti varasemalt paika pandud profiilide tihedust ja katvust. Nii põhi kui kontrollhalsside vahekaugused olid alla 10 ha järvede puhul maksimaalselt 30 meetrit ja suuremate järvede puhul mitte rohkem kui 60 meetrit. Kajaloodi mõõtehalssidega kaeti järve pind ühtlase ruudustikuga, kus kontrollhalsid asusid mõõtehalssidega 90 kraadise nurga all.

Kajaloodi sügavusandmete kontrollimiseks ja hilisemaks parandi sisseviimiseks mõõdeti nõõri otsas oleva kettaga järve sügavust. Nõõr koos kettaga lasti sujuvalt langeda veekogu põhja. Ketta jõudmisel järve põhja, märgiti üles pinges nõõri sügavuse näit. Mõõtmised teostati järve risti ja pikiprofiilil, sügavuspunkti asukoht määrati käsi GPSiga ning saadud sügavusenäit märgiti välitööpäevikusse.

Järvede puhul, kus toimub Tallinna Ülikooli Ökoloogia instituudi poolt veetaseme seire (Ahne-, Akna-, Haug-, Jaala, Liiv-, Martiska, Niinsaare, Nõmme-, Suur-Kirjak-, Kuradi-, Suur-, Särg- ja Valgejärv) märgiti üles välitööde perioodil esinenud veetase. Ahne-, Must-, Peen-Kirjak-, Rääk-, Räätsma järve, Saare- ja Suure Linajärve veetasemed arvutati kaudse meetodi järvi Kurtna 2009. aasta maikuu LiDARi andmete põhjal. ArcMap 10.2.2 keskkonnas joonistati järvede veepinna polügoonid. Järve veetase leiti polügooni alla jääva LiDARi kõrgusandmete keskmise väärtuse kaudu. Järve kõrgusandmete leidmiseks kasutatud tegelikust järvepolügoonist väiksemat polügooni, mis kattis ainult järve vaba vee osa.

Kogutud andmestiku põhjal koostati järvede põhjareljeefi mudelid ning arvutati järvede morfomeetrilised andmed. Järve põhjaks on käesolevas töös sonari mõõdetud sügavus, millele on lisatud nõõrmõõtmiste ja sonari andmete võrdluses saadud parand. Parandi suurus oli Liiv-, Must-, Peen-Kirjak-, Räätsma, Saare-, Suur-Kirjak-, Suur Lina-, ja Särgjärves +0,3 meetrit. Akna-, Haug-, Jaala, Niinsaare, Nõmme, Rääk-, Suur- ja Valgejärves +0,2 meetrit. Ahvenjärve puhul sügavuse parandit sisse ei viidud.

3.2 GIS-põhine andmetöötlus

3.2.1 Sügavuskaartide koostamine

Järvede sügavuskaartide koostati välitöödel kogutud andmete põhjal, kasutades *ArcMap* 10.2.2 tarkvara.

Kajaloodi ja käsi GPS andmete ettevalmistamine sügavuskaardi koostamiseks:

- 1) Käsi GPSi andmed salvestati MS Exceli formaati .xlsx. Punkti asukohtadele lisati välitööde käigus mõõdetud ja kirja pandud kontrollmõõtmiste sügavusandmed.

- 2) Kajalood salvestab mõõdetud sügavused .slg failiformaadis, mis avaneb *Sonarviewer 1.2.2* tarkvaraga. Edasiseks andmete töötluks salvestati kajaloodi andmed .csv formaati. Salvestatud fail avaneb *MS Exceli* tabelina.
- 3) Andmete puhastamiseks jagati mõõdetud andmed tulpadesse. Kajalood salvestab lisaks sügavuse andmetele veel punkti koordinaadid, vee temperatuuri, liikumise kiiruse, suuna ja kõrguse merepinnast. Sügavuskaardi koostamiseks on olulised punkti mõõdetud sügavus ja selle koordinaadid. Ebavajalikud tulbad kustutati.
- 4) Lisaks puhastati koordinaatide ja sügavusandmete tulbad 0 väärtustest. Koordinaatide 0 väärtused tekivad, kuna kajalood salvestab sügavuse näite rohkem, kui on võimalik anda sellele punktile asukohapõhist väärtust. Lisaks võib GPS signaali segada järve ümbruses kasvav kõrge mets ja järve asukoht sügaval mõhnastike vahel.
- 5) Kajalood mõõdetud sügavused on esitatud jalgades, seega peab tulemused teisendada SI-süsteemi.
- 6) Puhastatud kajaloodi andmed salvestati MS Exceli tabelformaati .xlsx. Salvestatud fail on viidud kujule, mis võimaldab andmete importimist Arcmapi keskkonda.

GIS andmetöötlus

- 1) Eelnevalt puhastatud andmed imporditi ArcMap keskkonda, määrates MS Exceli andmetulpade X ja Y koordinaadi asukohad ning sügavuse andmetulbale määrati Z väärtus. Kajalood *Lowrance LMS337* salvestab koordinaadid UTM (Mercatori universaalne põikprojektsioon) projektsioonis. Edasise andmetöötluse läbiviimiseks ja lihtsustamiseks teisendati kajaloodi koordinaatsüsteem WGS-84 süsteemi.
- 2) Hilisema sügavus parandi arvutamiseks imporditi Arcmapi keskkonda käsi GPSiga määratud punktide koordinaadid, millele oli eelnevalt lisatud sügavusandmed. Sarnaselt sonari andmetele määrati sügavusandmed Z'na ja koordinaadid X ja Y'na.
- 3) Kajaloodi andmed puhastati vastavalt meetodikale. Profiilide ristumiskoha sügavusandmete mõõtmisvea suurus ei tohi olla suurem kui 5% ehk usaldusväärsus peab olema 95%. Lisaks eemaldati sügavuspunktid, mille väärtus oli järjestikku sama 4 ja rohkema punkti korral. Selline kajaloodi mõõtmisviga tekkis madala vee või tiheda veeluse taimkatte korral. Kajaloodiga on võimalik mõõta sügavusi mis on suuremad kui 0,3 meetrit.

- 4) Puhastatud kajaloodi sügavuspunktiddele lisati parand, mis arvutati kajaloodi andmete ja välitöödel mõõdetud kontrollsügavuste andmete järgi. Lisaks ümardati sügavusanded 0,1 meetri täpsuseni.
- 5) Uute sügavusandmetele tuginedes koostati iga järve TIN-mudel. Selleks kasutati Arcmapi tööriista *Creat TIN* (3D Analyst Tools -> Data Management-> TIN-> Create TIN). TIN mudel kasutab ebakorrapärane kolmnurkade süsteemi, mis on tuntud kui Delaunay triangulatsioon. Järvenõo pind kujutatakse erineva suurusega ja üksteisega kattumatute kolmnurksete tahkudena, mille iga tahul on pindala ja kõigil servadel pikkused.
- 6) TIN mudeli koostamiseks on vajalik lisaks sügavusandmetele ka järve veetaseme 0 väärtust. Järve kontuuri ehk nulltaseme lisamiseks võeti aluseks Eesti Põhikaarti andmeid (Mida kontrolliti ja vajadusel muudeti 2103. aasta aerofotode alusel).

Tin mudeli kirjeldus

- 7) TIN mudelist leiti järve veemaht. Selleks kasutati Arcmapi tööriistu *Surface Volume*. (3D Analyst Tools-> Triangulate Surface). TIN mudelilt leiti ka järve suurim ja keskmine sügavus.
- 8) Parema visuaalse kujutamise eesmärgil kasutati tööriista *TIN to Raster*, mille piksli ruumilise lahutuse suuruseks määrati 0,5x0,5 m. Rasterpind võimaldab ala paremini interpoleerida. Rasterpinnalt leiti järve keskmine veerukalle (3D Analyst Tools-> Raster Surface-> Slope.)
- 9) Arcmapi tööriista *Contour* (Spatial Analyst Tools-> Surface) kasutades kujutati Rasterpinna andmeid kasutades järve isobaadid ühe meetrise intervalliga.
- 10) Paremaks visuaalseks esitluseks kasutati samasügavusjoonte sujuvamaks esitluseks tööriista *Smooth*, mis silub TIN mudelist pärit teravad üleminekud. Silumine ei avalda mõju järve ruumala ega veerukalde suurusele, kuna need andmed arvutati varasemal etapil.
- 11) Järve pindala leiti Eesti Põhikaardi alusel joonistatud kontuurist teisendatud polügoonilt.

3.3 Varasemad andmed

Kurtna järvestiku hüdrobioloogilist uurimustööd alustati 1937. aastal H. Riikoja eestvedamisel. 1950. aastail läbi viidud välitööde andmed on kajastatud Mäemetsa 1968. raamatus „Eesti järved“ ja 1977. aastal ilmunud raamatus „Eesti NSV järved ja nende kaitse“. Kurtna järvestiku looduslikku seisundit kirjeldavad 1946. aastat järvede veetasemed pärinevad kogumikust „Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng“ (Erg & Ilomets, 1987). 1960. aastast pärinevad andmed osaliselt kattuvad 1946. aasta andmetega, kuid mitte täielikult. (Pöder, 1996) Vene 1973. aasta topograafilise kaardi andmete täpne mõõtmise aastaarv jääb küll ebaselgeks, kuid ilmselt on andmed uuemad, kui 1960. aasta omad ning vanemad, kui 1987. aasta veetaseme andmed. Eelmise sajandi lõpu veetaset kirjeldavad 1990. aastast pärit andmed. (Pöder, 1996).

Järvede sügavusnäitajate andmete allikatena kasutati Kallejärvi (1974), Pallo (1977), Mäemetsa (1977), Ergi & Ilometsa (1989) ning Pöder (1996) andmekogusid.

Viimane ala kompleksuuring teostati 1980-ndate esimeses pooles M. Ilometsa ja J.-M. Punningu eestvedamisel. Uuringutulemused on ilmunud kahe kogumikuna. (Ilomets *et al.*, 1987; 1989) Uuemaid uuringuid on teostatud üksikute maastiku komponentide kohta. Näiteks pärinevad sooala uuringud 2007. aastast. (Karofeld *et al.*, 2007) Seda küll mitte terve Kurtna mõhnastiku, vaid Niinsaare ja Liivjärve raba kohta. Seoses Natura2000 võrgu loomisega viidi läbi loodusdirektiivi elupaikade inventuurid metsa-, soo- ja järvekooslustes. Inventuuri andmestikus esineb erinevusi tegelikkusega kuna inventuurid tuginesid osaliselt olemasolevatele andmete ja kaardimaterjalidele ning hindamise aluseks oli ekspertarvamus. (Kurtna maastikukaitseala..., 2015) Piirkonnas toimub lisaks veel erinevaid riiklike seireid. Kokku on kaitsealal üle 40 seirejaama või –ala (Keskkonnaregister, 2015).

Piirkonna järvi on uuritud väikeses mahus ja erinevatel aastatel. Väikejärvede seiret on 2001. aastal teostatud Martiska ja Valgejärves, 2006. aastal Kuradi-, Martiska-, Nõmme- ja Valgejärves ja 2010. aastal uuesti Valgejärves. (Tartes, 2001; Ott, 2006; 2010) Vastu võetud Kurtna maastikukaitseala kaitsekorralduskava 2015–2024 juhib tähelepanu vananenud andmestikule ning uute inventuuride, uuringute ja seirete suurele vajadusele.

4. TULEMUSED

4.1 Järvenõgude morfomeetriselised andmed

Kurtna järvestiku järvede 21. sajandist pärinevate andmete hulk on väga väike. Olemas on Ahne-, Kuradi- ja Martiska järve morfomeetriselised andmed, mis pärinevad 2010. aastast (Vainu, 2011).

Käesoleva töö raames mõõdistati kajaloodiga seitsmeteistkümne Kurtna järvestikus asuva järve nõod. Kogutud andmetega viidi läbi GIS-põhine analüüs, mille tulemusena leiti kõigi uuritud järvede kaasaegsed morfomeetriselised näitajad 2014. aasta seisuga (Tabel 3). Lisaks uuendati Ahne-, Kuradi- ja Martiska järve veetaseme, pindala, veemahu, maksimaalse ja keskmise sügavuse ning ümbermõõdu andmed.

Mõõdistatud järvedest kõige sügavamad on Valgejärv (10,6 m), Räätsma järv (10,5 m) ja Sörgjärv (9,9 m). Tegemist on Kurtna mõhnastiku kõige sügavamate järvedega. Kõige väiksema maksimaalse sügavusega on Ahvenjärv (1,4 m), Suur Kirjakjärv (2,3 m) ja Niinsaare järv (2,6 m).

Mõõdistatud järvedest kõige suurima pindalaga on Suurjärv (33,3 ha), Jaala järv (19,5 ha) ja Räätsma järv (15,7 ha). Kõige väiksema pindalaga on Suur Linajärv (0,86 ha), Ahvenjärv (0,9 ha) ja Haugjärv (1,7 ha).

Kõige suurema veemahuga on Suurjärv (937,7 tuh. m³), Jaala järv (886,7 tuh. m³) ja Räätsma järv (725,5 tuh. m³). Väikseima veemahuga on Ahvenjärv (6,5 tuh. m³), Suur Linajärv (28,7 tuh. m³) ja Haugjärv (41,7 tuh. m³).

Kõige järsuveerulisema nõoga on Suur Linajärve (21,1%), Sörgjärve (17,6%) ja Saarejärve (12,1%). Kõige laugema järvenõoga on Niinsaare järv (3%), Suur-Kirjakjärv (3%) ja Suurjärv (3,3%).

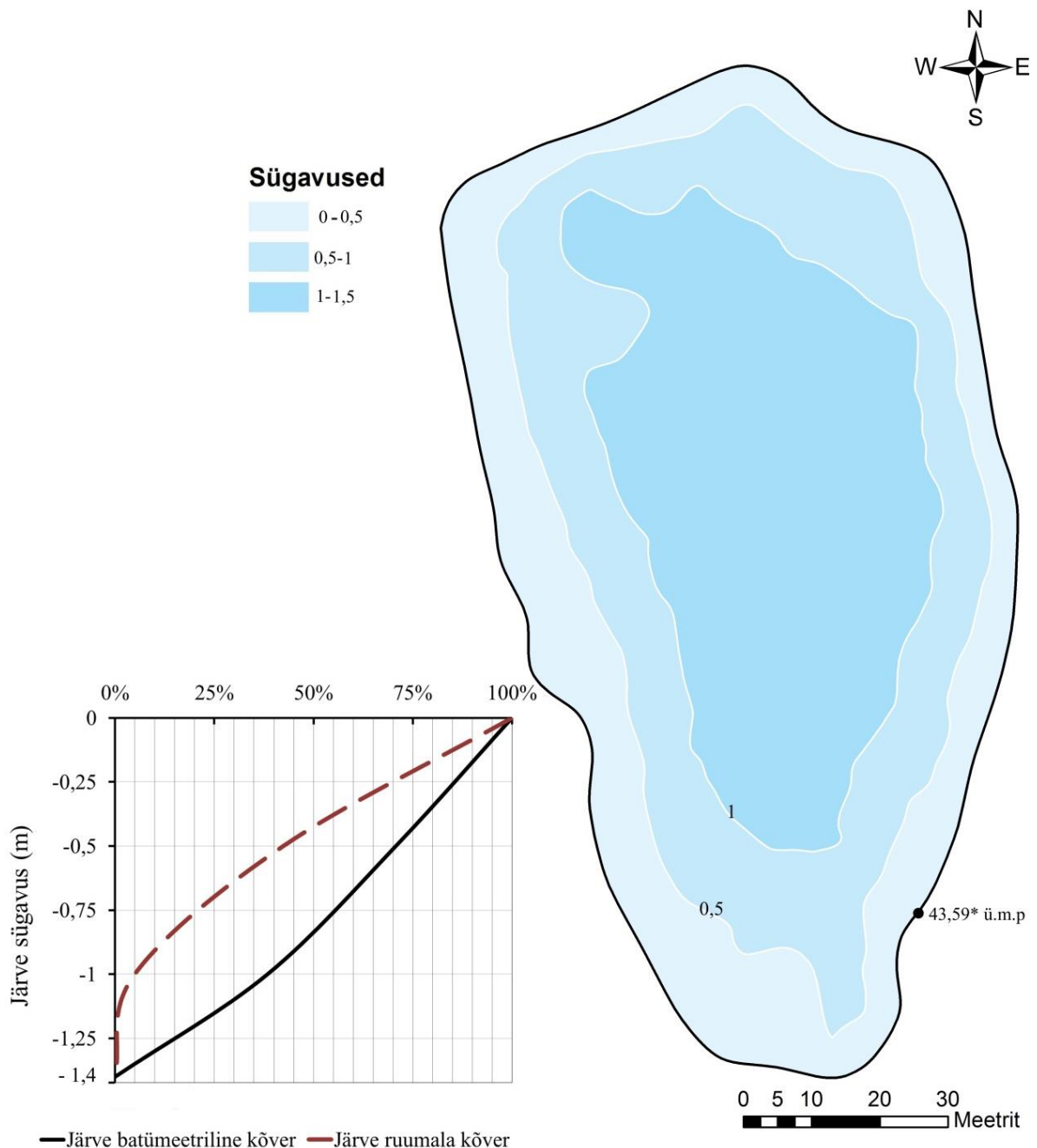
Kõige enam sarnaneb järve kuju ringile kujule Haugjärv (1,06), Suur Linajärv (1,10) ja Aknajärv (1,12). Enim on kaldajoon liigendatud Räätsma järvel (2,03), Suurjärvel (1,66) ja Peen-Kirjakjärvel (1,62). Kolme viimast järve iseloomustab piklik või küllaltki ebamäärane kuju.

Tabel 3. Kurtna 17-ne järve morfomeetrilised andmed 2014. aasta seisuga.

	Veepeegli kõrgus (m. ü.m.p.)	Veepeegli pindala (ha)	Maksimaalne pikiprofiili pikkus (m)	Maksimaalne ristiprofiili pikkus (m)	Übermõõt (m)	Veemaht (tuh. m ³)	Maksimaalne sügavus (m)	Keskmine sügavus (m)	Suhteline sügavus (%)	Kaldajoone liigendatus	Keskmine veerukalle (%)
Ahvenjärv	43,59 *	0,9	150	77	386	6,5	1,4	0,7	1,3	1,15	4,7
Aknajärv	42,21	8,6	425	276	1159	258,6	4,8	3,0	1,5	1,12	5,4
Haugjärv	45,12	1,7	185	114	490	41,7	4,8	2,5	3,3	1,06	10,0
Jaala järv	42,73	19,5	745	459	1940	886,7	6,3	4,5	1,3	1,24	4,8
Liivjärv	42,86	4,6	400	139	954	162,3	8,1	3,5	3,3	1,26	11,0
Mustjärv	46,50 *	5,5	410	203	1019	198,8	6,3	3,6	2,4	1,23	8,5
Niinsaare järv	45,65	6,1	463	178	1147	60,9	2,6	1,0	0,9	1,31	3,0
Nõmme järv	45,79	11,9	638	261	1644	252,3	5,7	2,1	1,5	1,34	4,7
Peen-Kirjakjärv	41,79 *	9,3	557	227	1756	175,5	3,2	1,9	0,9	1,62	4,3
Rääkjärv	44,50 *	4,9	310	230	906	115,0	4,8	2,3	1,9	1,15	5,8
Räätsma järv	45,31 *	15,7	1063	253	2853	725,5	10,5	4,6	2,3	2,03	9,8
Saarejärv	44,26 *	6,3	351	246	1075	296,5	8,2	4,7	2,9	1,24	12,1
Suur Kirjakjärv	41,41	14,2	685	278	1811	178,8	2,3	1,3	0,5	1,36	3,0
Suur Linajärv	50,07 *	0,86	145	73	362	28,7	7,4	3,3	7,2	1,10	21,1
Suurjärv	46,3	33,3	966	528	3405	937,7	5,3	2,8	0,8	1,66	3,3
Särgjärv	43,7	2,4	335	103	750	99,7	9,9	4,2	5,7	1,37	17,6
Valgejärv	44,07	8,5	415	269	1154	391,0	10,5	4,6	3,2	1,12	9,3

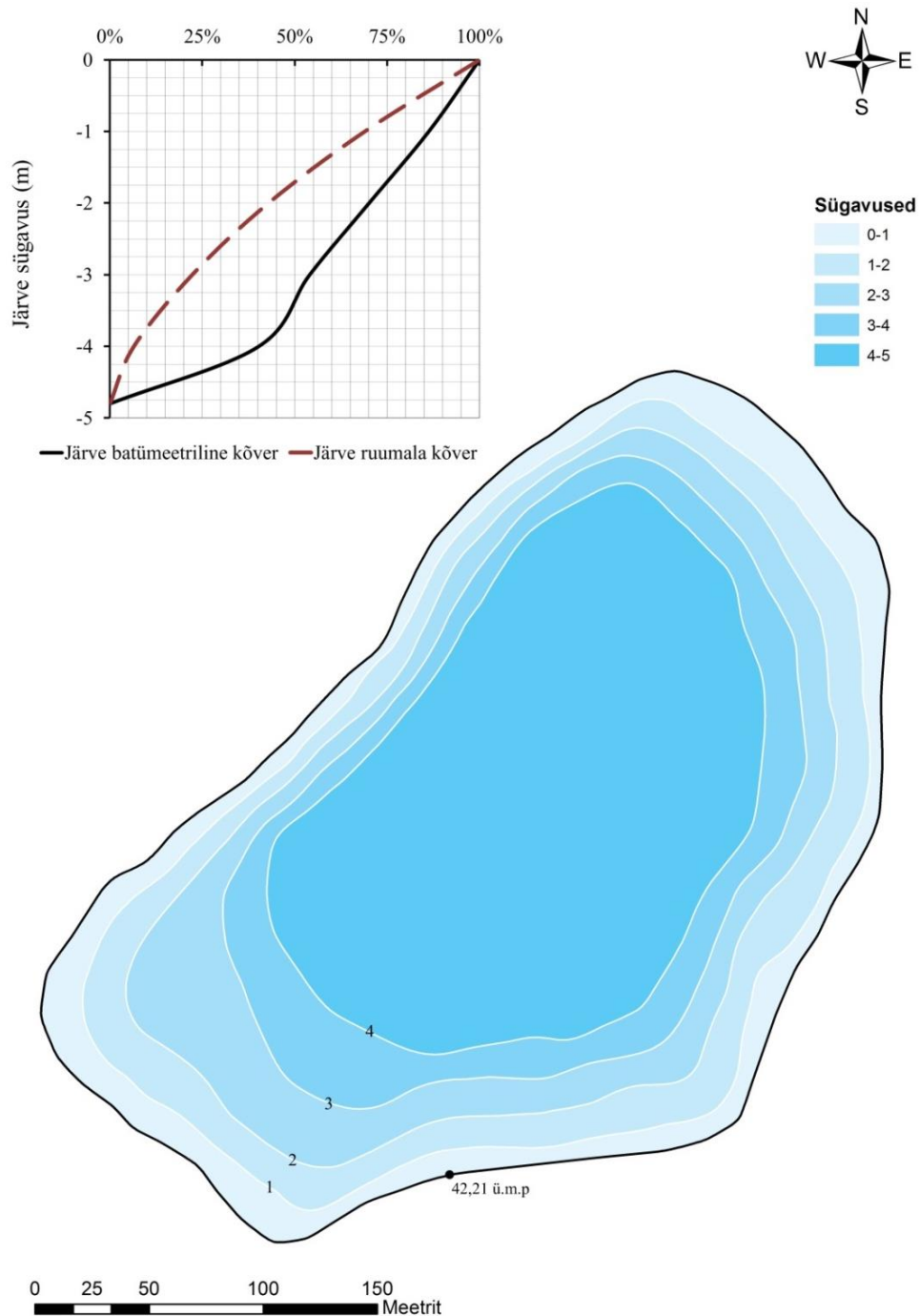
„*„ Veetase 2009. mai kuu seisuga.

Ahvenjärv asub merepinnast 43,59 meetri kõrgusel (2009. aasta andmed). Järve pindala on 0,9 ha. Kaldajoone pikkus 386 meetrit ja liigendatus 1,15. Järve ruumala on 6,5 tuh. m³. Tegemist on väikese ja madala järvega (Joonis 6). Järve maksimaalne sügavus on 1,4 meetrit, keskmine sügavus 0,7 meetrit ja suhteline sügavus 1,3% Järve keskmine veerukalle on 4,7%.



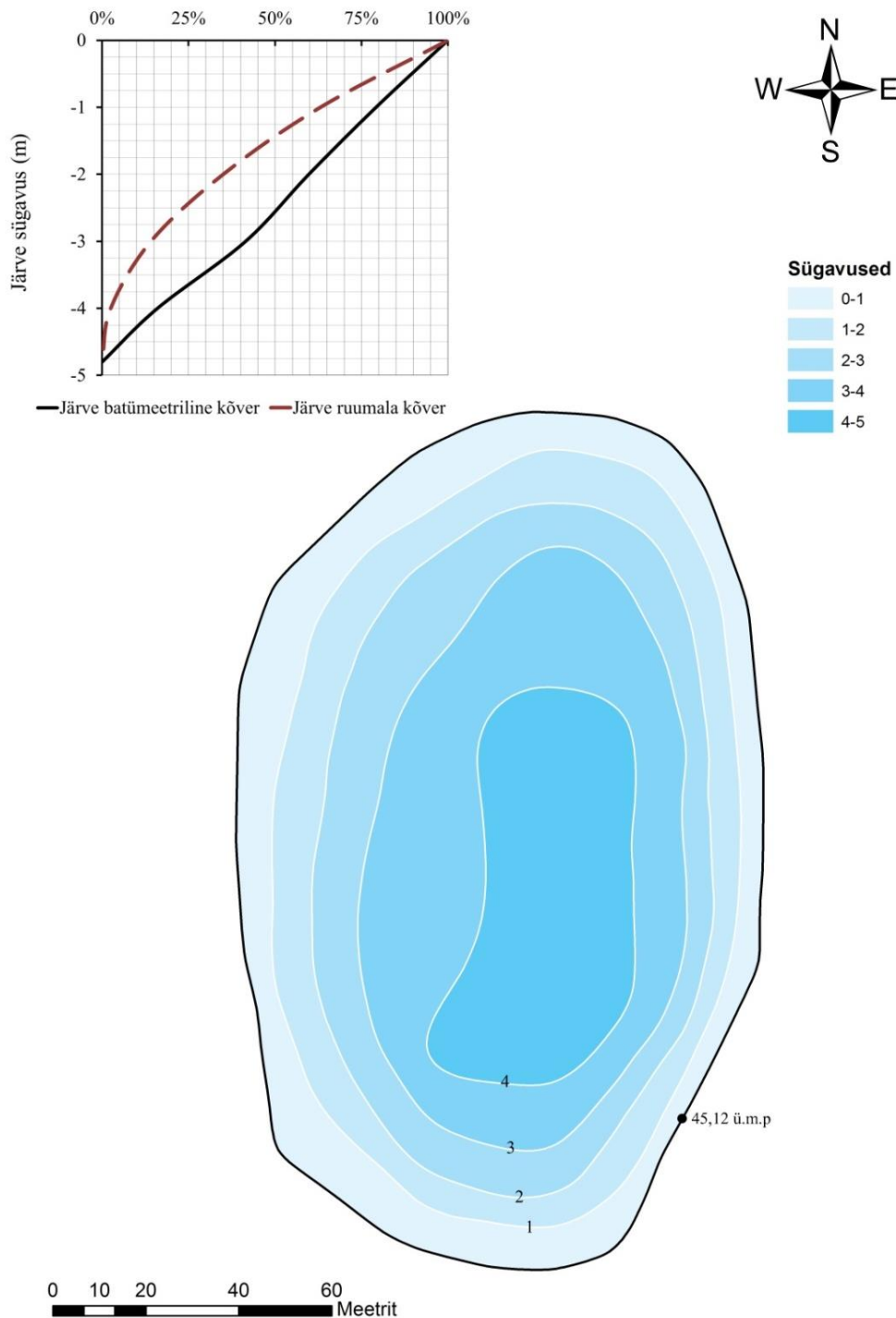
Joonis 6. Ahvenjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Aknajärve veepeegli pindala on 8,6 ha ja kõrgus merepinnast 42,21 meetrit. Kaldajoone pikkus on 1159 meetrit ja kaldajoone liigendatus 1,12. Järve ruumala on 258,6 tuh. m³. Järvenõgu on rahuliku (Joonis 7) ja tasase põhjareljeefiga ning laugete kallastega, järsem on järvenõo loodeosa. Järve suurim sügavus asub järve keskel ja on 4,8 meetrit. Järve keskmine sügavus on 3 meetrit ja suhteline sügavus 1,5%. Järve keskmine veerukalle on 5,4%. Järve batümeetriline kõver on nõgus.



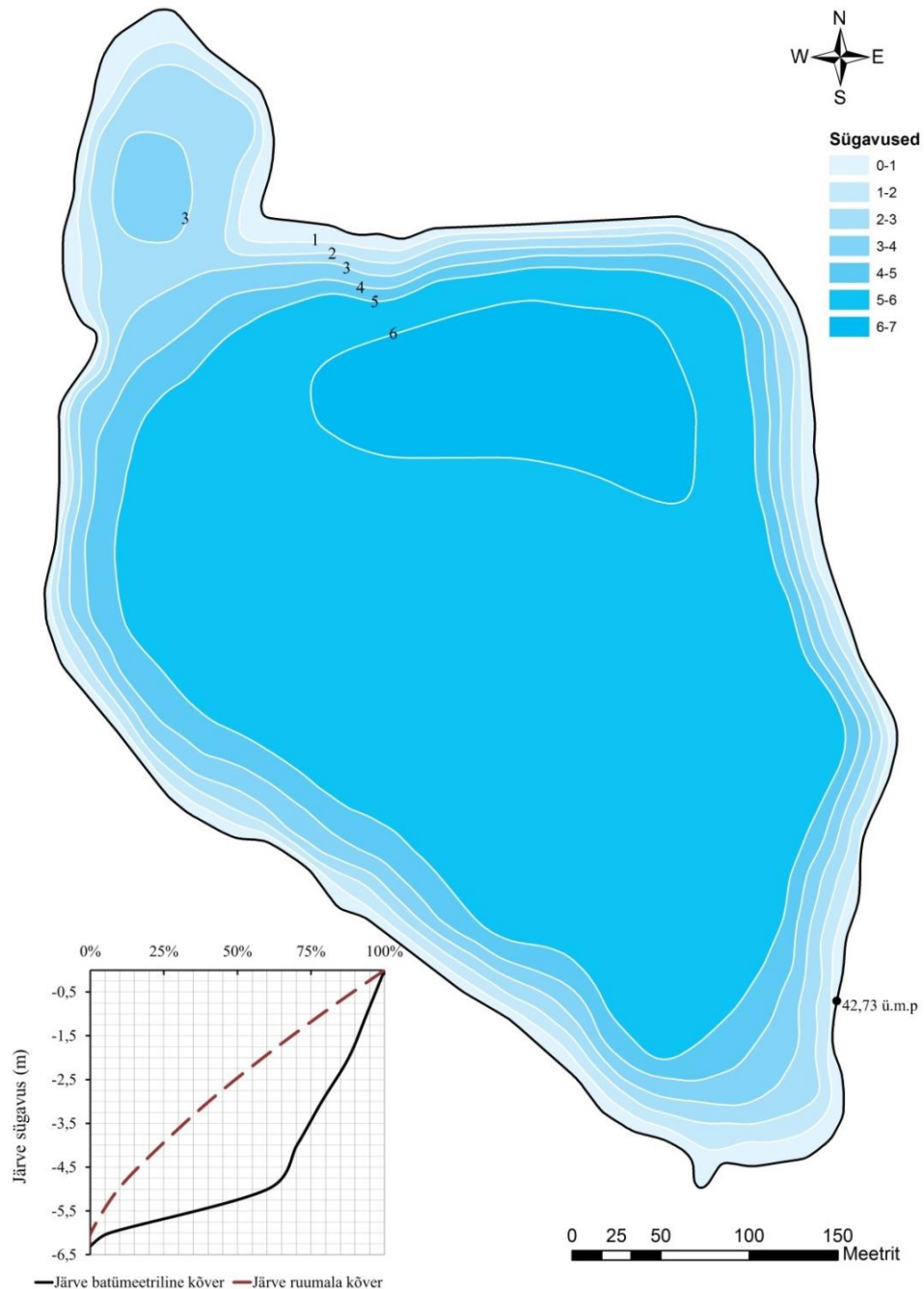
Joonis 7. Aknajärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Haugjärve pindala on 1,7 ha ja järv asub 45,12 meetri kõrgusel ü.m.p. Kaldajoone pikkus on 490 meetrit ja kaldajoone liigendatud on 1,06. Järve ruumala on 41,7 tuh. m³. Tegemist on lihtsa põhjareljeefiga järvega (Joonis 8). Nõlvad on kiirelt süvenevad ja järve sügavaim koht (4,8 meetrit) asub järvenõo keskel. Järve keskmine sügavus on 2,5 meetrit ja suhteline sügavus 3,3%. Järve veerukalle on 10,0%.



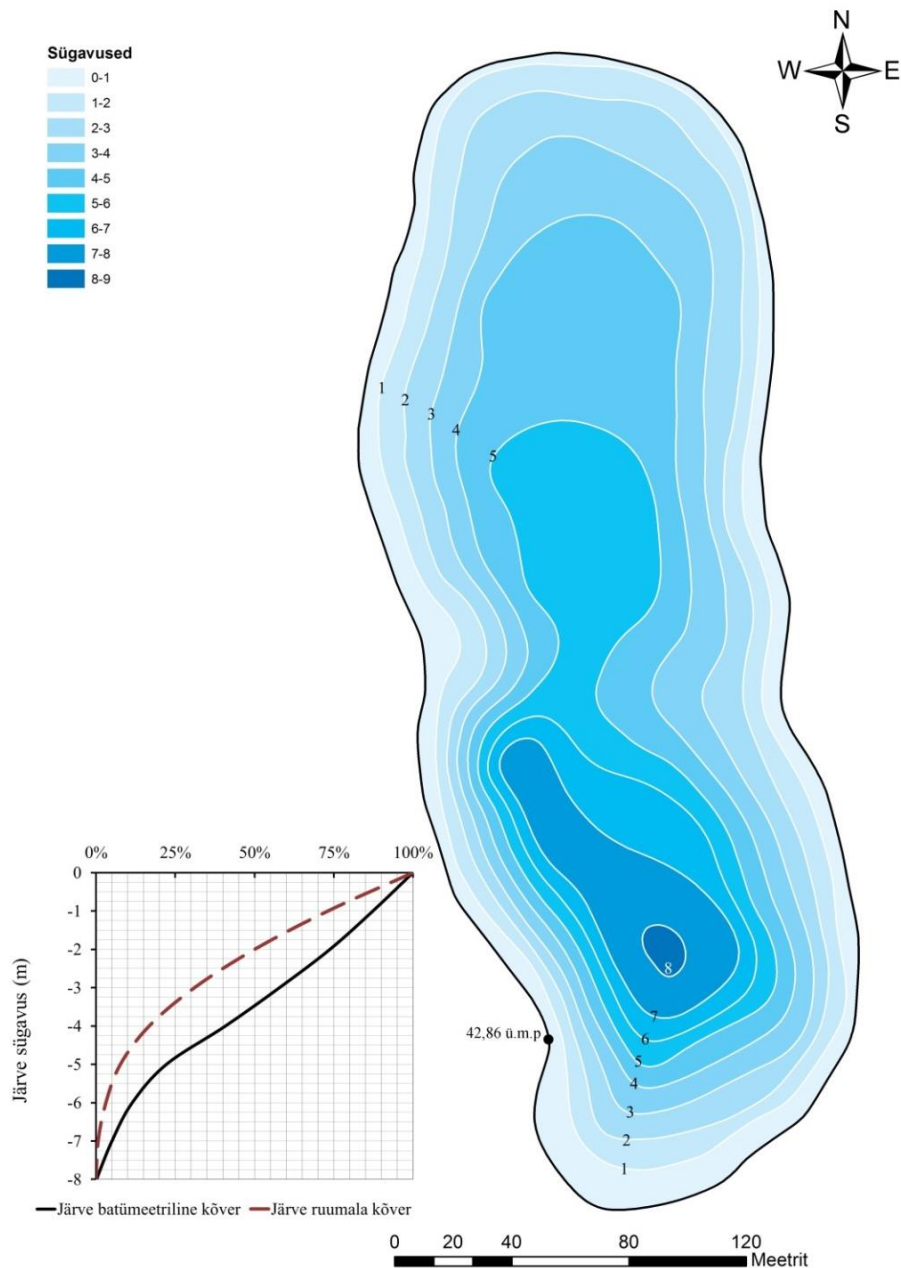
Joonis 8. Haugjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Jaala järve pindala on 19,5 ha ja järv asub merepinnast 42,73 meetri kõrgusel. Kaldajoone pikkus on 1940 m kaldajoone liigendatus 1,24. Järve ruumala on 886,7 tuh. m³. Järvenõgu on tasase reljeefiga (Joonis 9). Järve loodeosas asub väike künnis, mis tekitab järve loodeossa ümbritsevast järvepõhjast sügavama lohu, mille sügavus on üle 3 meetri. Järve sügavaim koht asub järve põhjaosas ning on 6,3 meetrit sügav. Järve keskmine sügavus on 4,5 meetrit ja suhteline sügavus 1,3%. Järve kaldad on järsud, keskmine veerukalle on 4,8% . Järve batümeetriline kõver on nõgus.



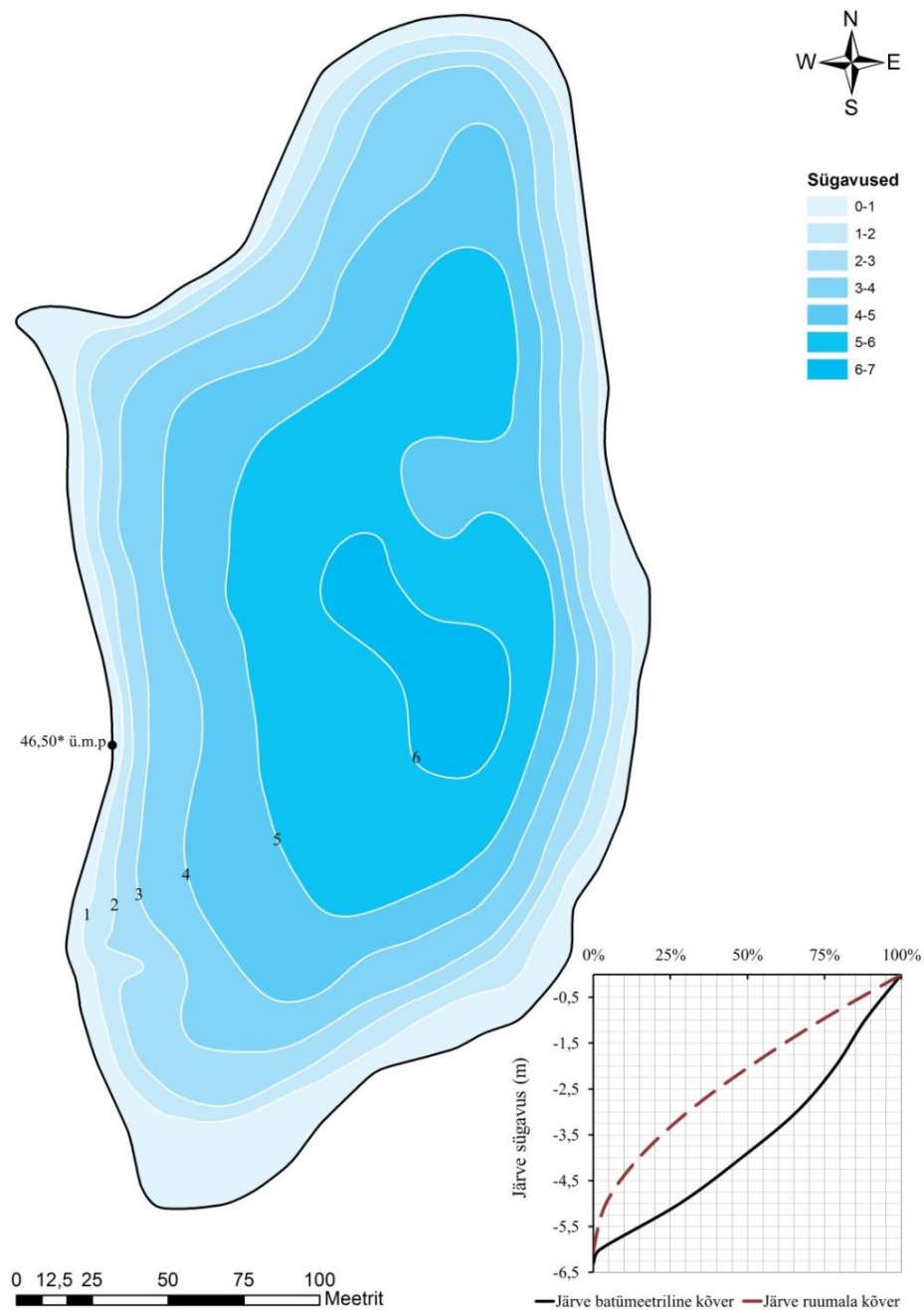
Joonis 9. Jaala järve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Liivjärve veetase oli 2014. aasta välitööde ajal 42,86 meetrit ü.m.p. Järve pindala on 4,6 ha. Kaldajoone pikkus 954 meetrit ja kaldajoone liigendatus 1,26. Järve ruumala on 162,3 tuh. m³. Järve põhjareljeefi sügavaim piirkond asub järve lõunaosas (Joonis 10) ning on 8,1 meetri sügavune. Järve põhjaosa reljeef on lauge ning suurim sügavus on üle 6 meetri. Järve keskosas on kitsam ala, tekitades põhja ja lõunaosa vahele väikese künnise ja eraldades kaks sügavamat nõgu. Järvenõo idakallas on järsult süvenev, ülejäänud kaldad on lauged. Järve keskmine sügavus on 3,5 meetrit ja suhteline sügavus 3,3%. Keskmine veerukalle on 11,0%.



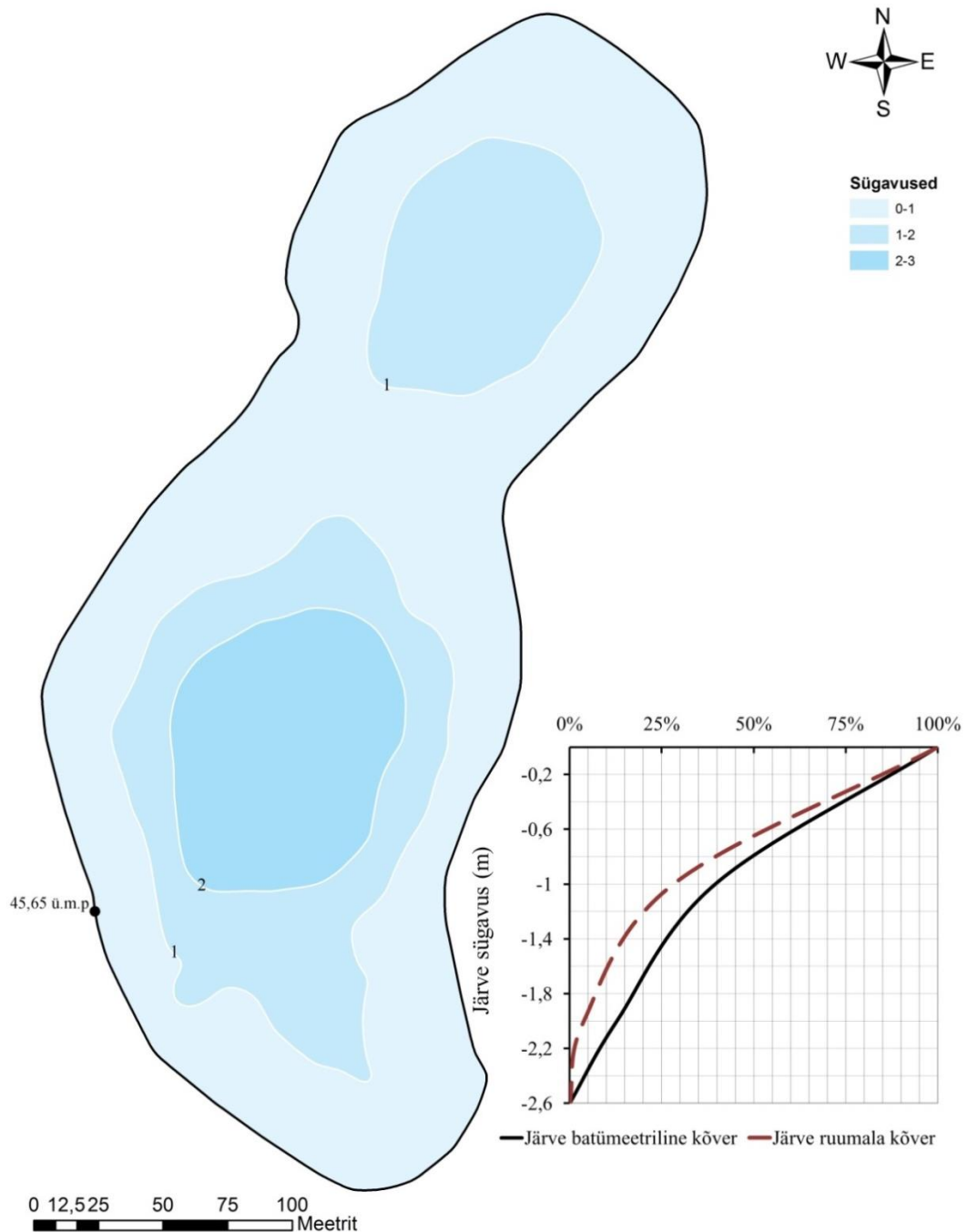
Joonis 10. Liivjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Mustjärve veetase 2009. aasta andmetel on 46,50 meetrit ü.m.p. Järve veepeegli pindala on 5,5 ha. Järve ümbermõõt on 1019 m ja kaldajoone liigendatus 1,23. Järve ruumala on 198,8 tuh. m³. Järve põhjareljeef on rahulik, järve sügavaim piirkond asub järve idanõlva lähedal ja on 6,3 meetrit. Järvenõo idaosa on järsuveeruline (Joonis 11), laugem on järve lõuna-, lääne- ja põhjaosa. Järvenõo idaosas asub 4 meetri sügavusel poolsaare moodi moodustus, mis ulatub peaaegu järve keskosani. Järve keskmine sügavus on 3,6 meetrit ja suhteline sügavus 2,4%. Järvenõo keskmine veerukalle on 8,5%.



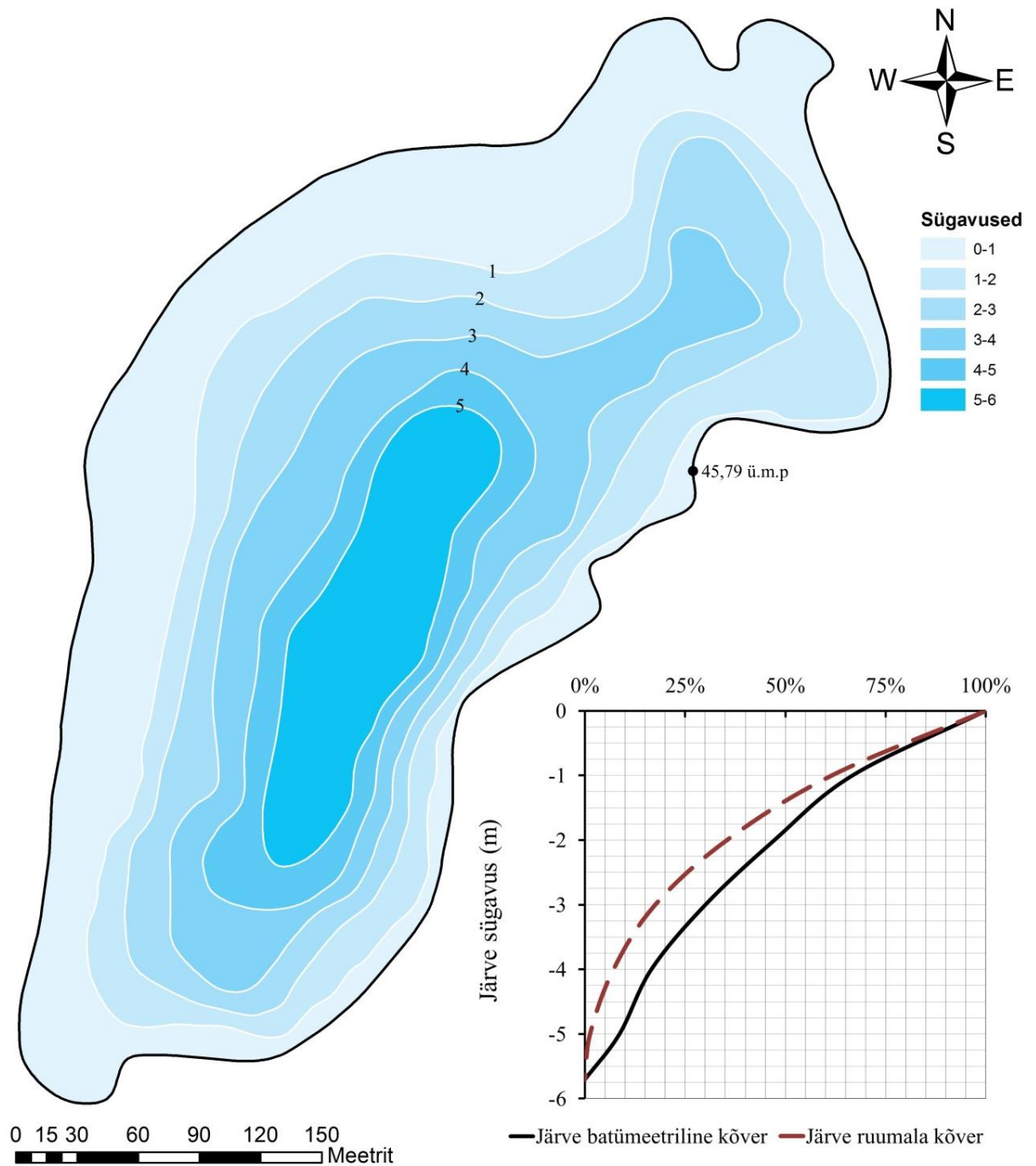
Joonis 11. Mustjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Niinsaare järve pindala on 6,1 ha ja kõrgus merepinnast 45,65 meetrit. Järve ümbermõõt on 1147 m ja kaldajoone liigendatuse näitaja 1,31. Järve ruumala on 60,9 tuh. m³. Järve põhjareljeef on rahulik ja tasane (Joonis 12). Järv on suhteliselt madal, keskmine sügavus on 1 meeter ja maksimaalne sügavus 2,6 meetrit. Järve sügavam piirkond jääb järve lõunaossa, järve põhjaosas on teine veidi sügavam piirkond, kuid seal jäävad sügavused alla 2 meetri. Järve suhteline sügavus on 0,9% ja keskmine veerukalle 3,0%.



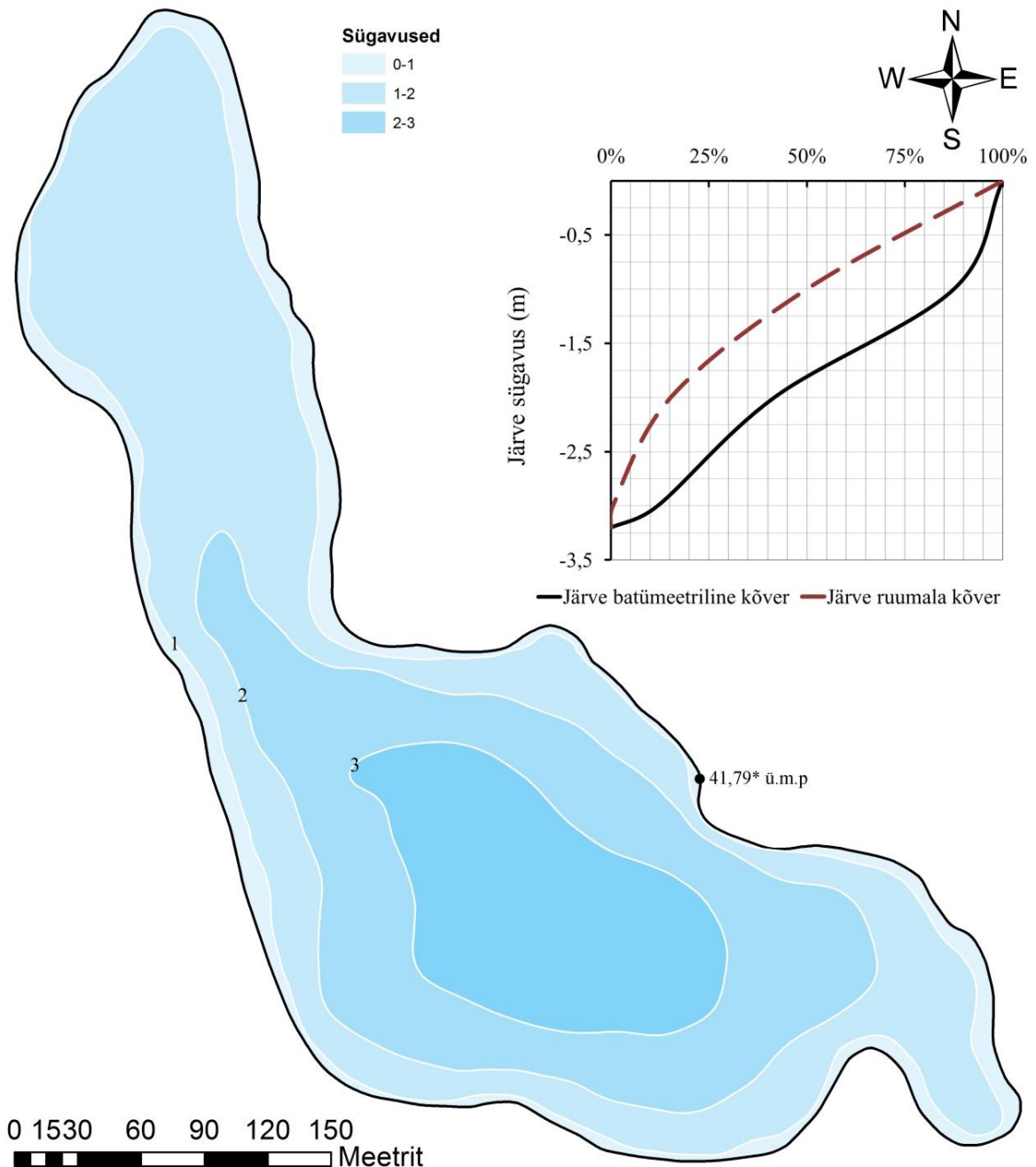
Joonis 12. Niinsaare järve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Nõmmejärve veetase oli 2014. aastal 45,79 meetrit ü.m.p. Järve pindala on 11,9. Kaldajoone pikkus 1644 meetrit ja liigendatuse näitaja 1,34. Järve veemaht on 252,3 tuh. m³. Nõmmejärv on lihtsa põhjareljeefiga (Joonis 13). Järvenõo kaldad on üldiselt lauged, ainult idaosas toimub süvenemine kiiremini. Järve maksimaalne sügavus (5,7m) asub järve keskel. Järve keskmine sügavus on 2,1 meetrit ja suhteline sügavus 1,5%. Keskmine veerukalle on 4,7%.



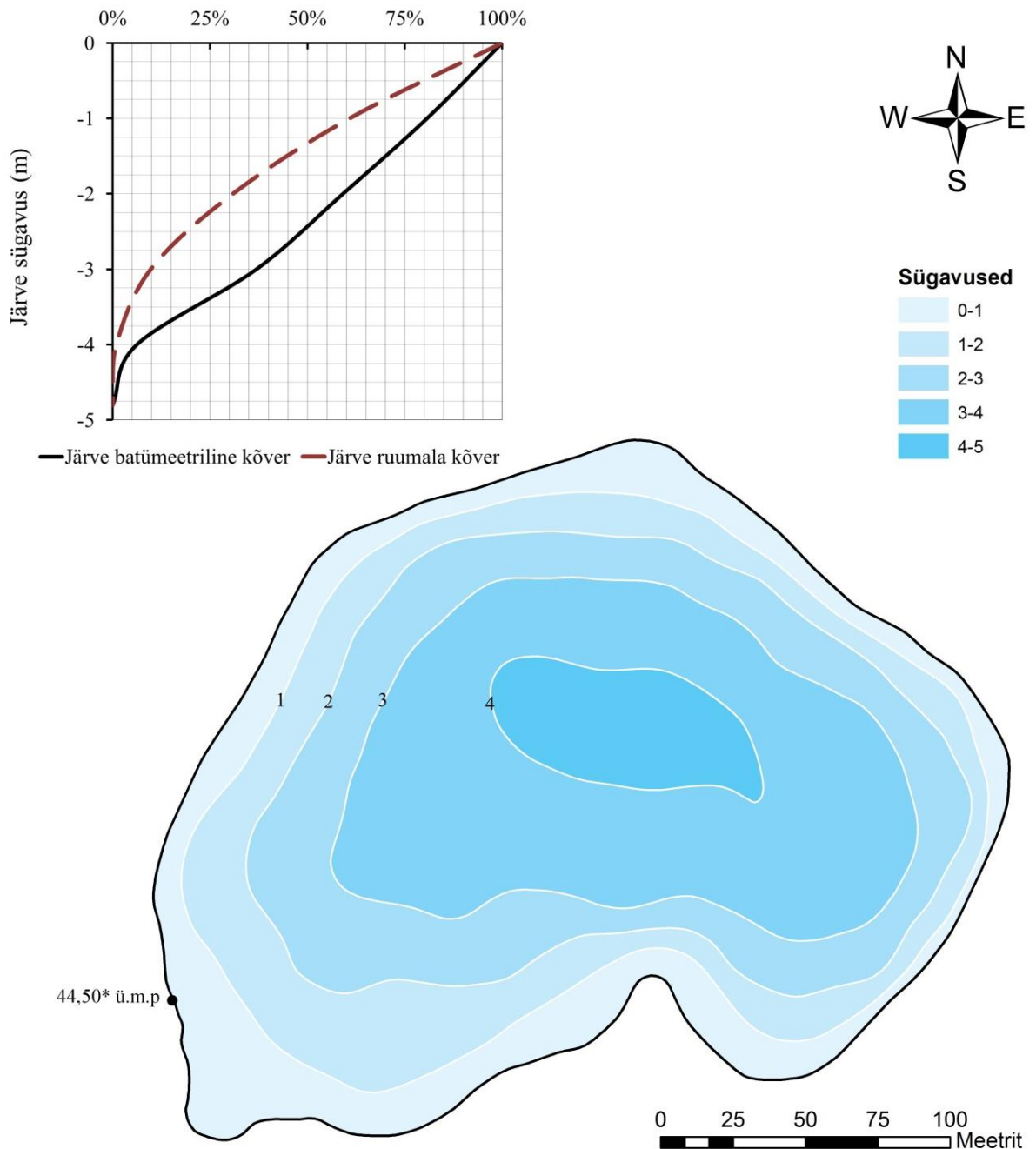
Joonis 13. Nõmmejärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Peen-Kirjakjärve pindala on 9,3 ha ja järv asub merepinnast 41,79 meetri kõrgusel (2009. aasta andmed). Järve ümbermõõt on 1756 m ja kaldajoone liigendatuse näitaja 1,62. Järve ruumala on 175,5 tuh. m³. Järv on rahuliku ja tasase reljeefiga (Joonis 14). Järvenõo põhjaosa on lauge ja madal. Järve sügavam ala jääb järve lõunaossa, kus maksimaalne sügavus on 3,2 meetrit. Järve keskmine sügavus on 1,9 meetrit ja suhteline 0,9%. Järve keskmine veerukalle on 4,3%.



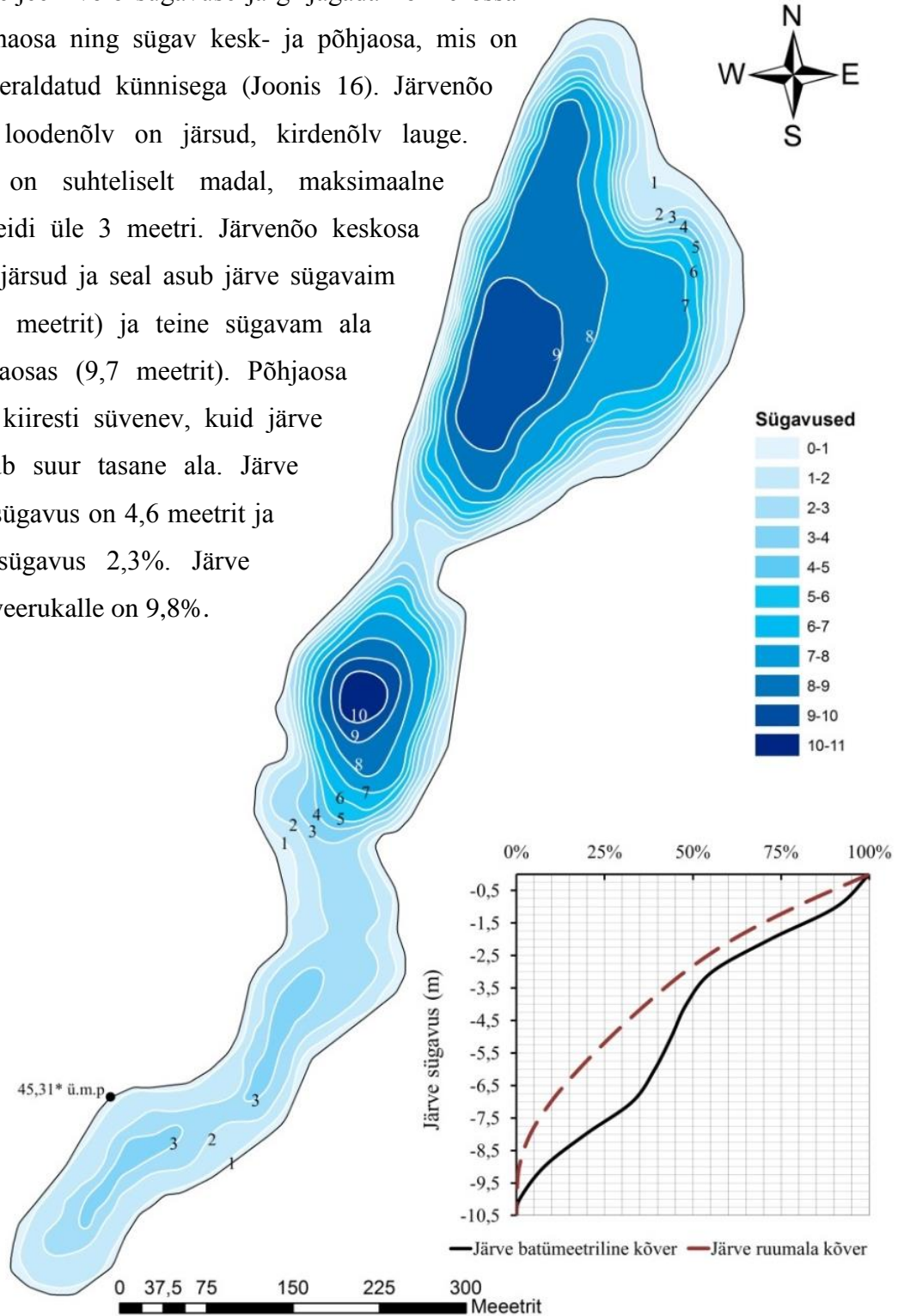
Joonis 14. Peen-Kirjakjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Rääkjärve pindala on 4,9 ha ja järve kõrgus ü.m.p on 44,50 meetrit (2009. aasta andmed). Kaldajoone pikkus on 906 meetrit ja kaldajoone liigendatus on 1,15. Järve ruumala on 115,0 tuh. m³. Järvenõgu on tasase reljeefiga ning aeglaselt süvenev (Joonis 15). Järvenõu maksimaalne sügavus on 4,8 meetrit ja see asub järvenõu keskel. Järve keskmine sügavus on 2,3 meetrit ja suhteline sügavus 1,9%. Järve keskmine veerukalle on 5,8%.



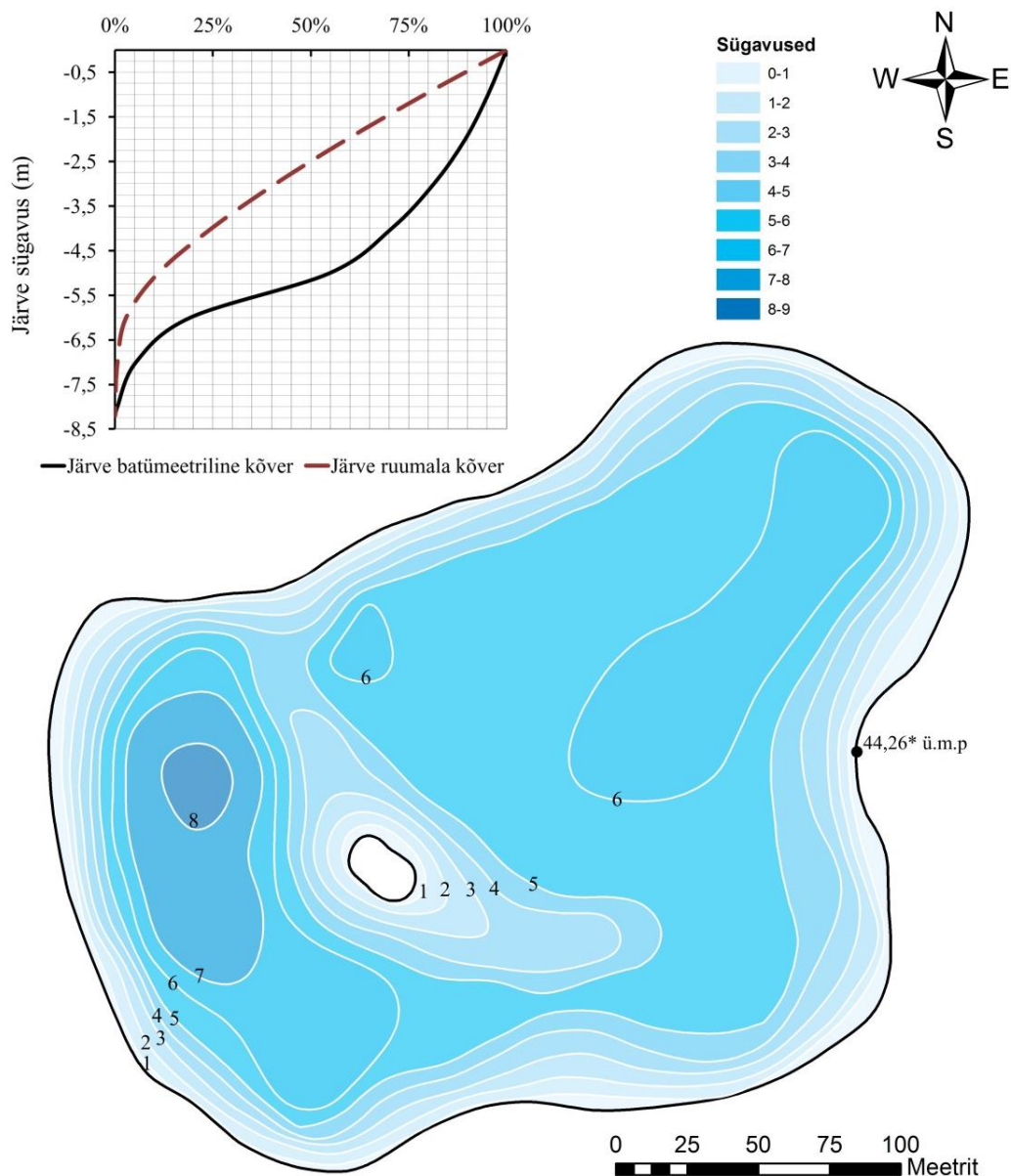
Joonis 15. Rääkjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Räätsma järve pindala on 15,7 ha ja järve veetaseme kõrgus 2009. aastal oli 45,31 meetrit ü.m.p. Järv on pikliku väljavenitatud kuju (kaldajoonepikkus 2853 m ja liigendatuse näitaja 2,03) ja keeruka põhjareljeefiga. Järve veemaht 2014. aasta välitööde andmetel 725,5 tuh. m³. Põhjareljeefi võib sügavuse järgi jagada kolme ossa – madal lõunaosa ning sügav kesk- ja põhjaosa, mis on üksteisest eraldatud künnisega (Joonis 16). Järvenõo lääne- ja loodenõlv on järsud, kirdenõlv lauge. Lõunaosa on suhteliselt madal, maksimaalne sügavus veidi üle 3 meetri. Järvenõo keskosa kaldad on järsud ja seal asub järve sügavaim koht (10,5 meetrit) ja teine sügavam ala järve põhjaosas (9,7 meetrit). Põhjaosa reljeef on kiiresti süvenev, kuid järve keskel asub suur tasane ala. Järve keskmine sügavus on 4,6 meetrit ja suhteline sügavus 2,3%. Järve keskmine veerukalle on 9,8%.



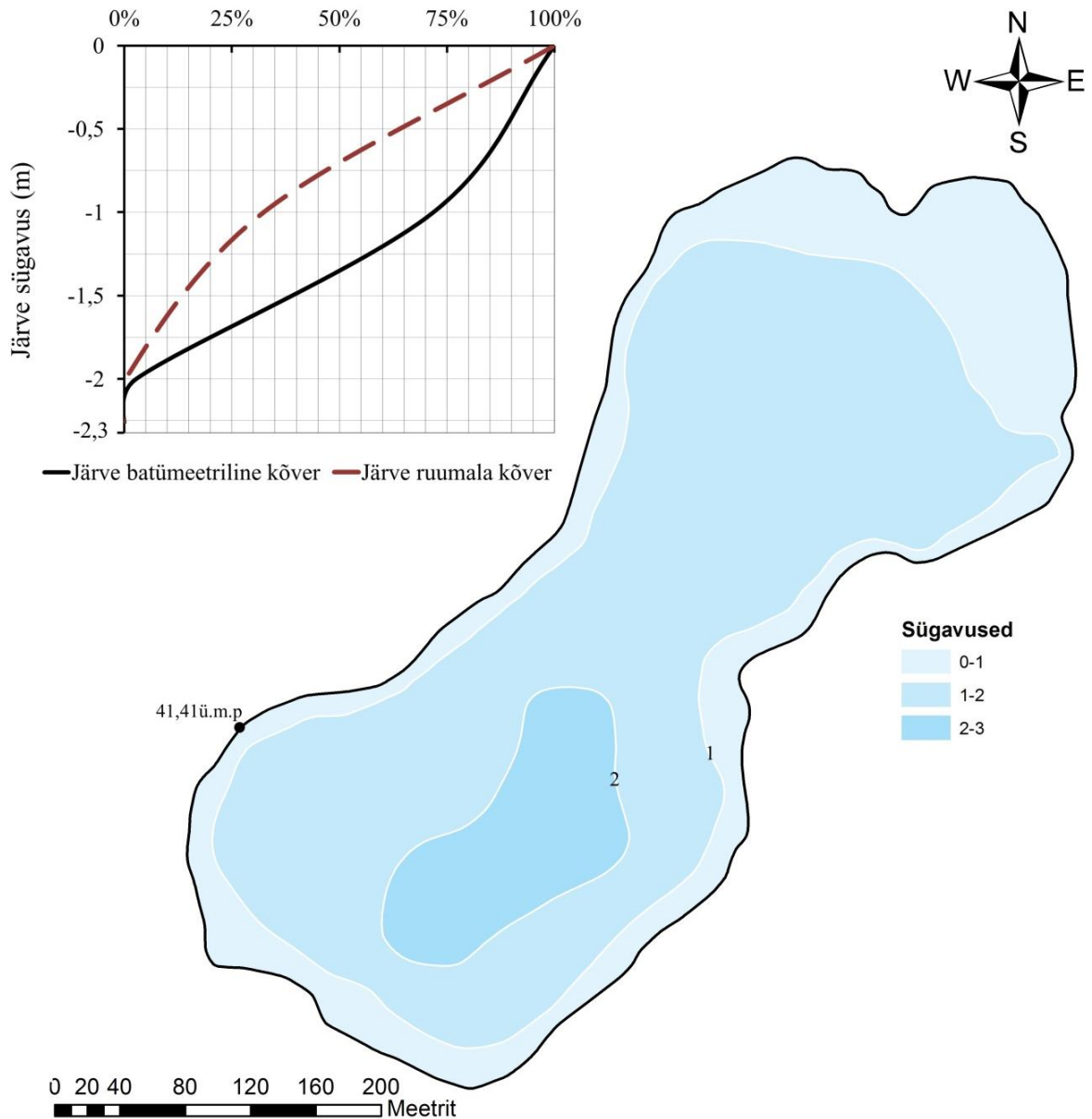
Joonis 16. Räätsma järve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Saarejärve pindala on 6,3 ha ja veetaseme kõrgus 2009. aastal oli 44,26 meetrit ü.m.p. Järve kaldajoone pikkus koos saarega on 1075 meetrit, kaldajoone liigendatus on 1,24. Järve ruumala on 296,5 tuh. m³. Järv on keerulise põhjareljeefiga ja ühe saarega (Joonis 17). Järve kaldad on järsud, kuid järvepõhi on suhteliselt tasane. Järve keskel asuva saare veelune loode- kagusuunaline künnis jagab järvenõo kaheks. Järve maksimaalne sügavus 8,2 meetrit paikneb saarest lääne pool. Saarest kirde poole jääv järvenõgu on tasane, sügavamad piirkonnad asuvad saarest põhjas ja kirdes ning on veidi sügavamad kui 6 meetrit. Järve keskmine sügavus on 4,7 meetrit ja suhteline sügavus 2,9%. Järve keskmine veerukalle on 12,1%. Järve batümeetriline kõver on nõgus.



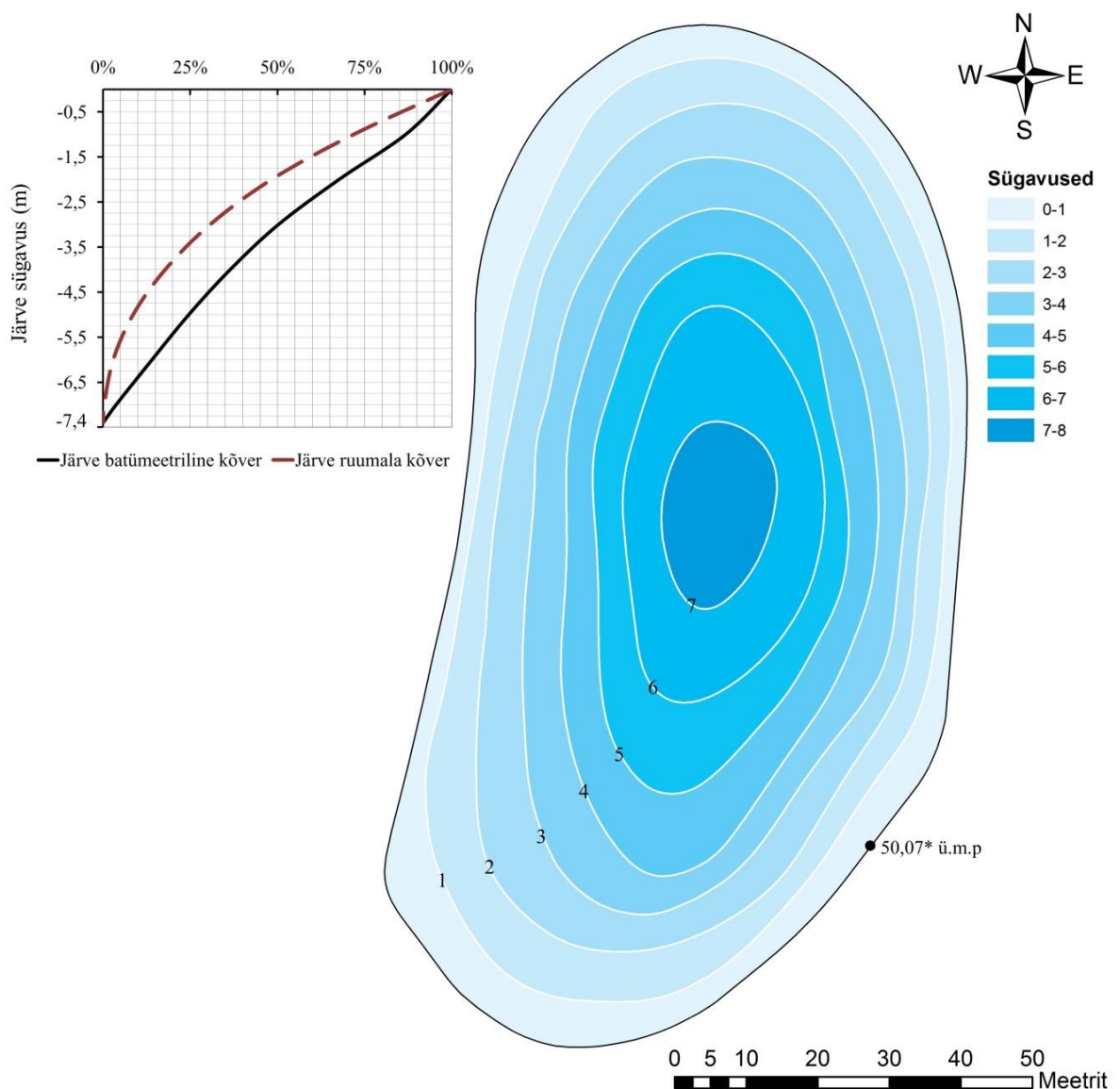
Joonis 17. Saarejärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Suur-Kirjakjärve pindala on 14,2 ha ja kõrgus merepinnast 41,41 meetrit. Järve kaldajoone pikkus on 1811 meetrit ja kaldajoone liigendatus 1,36. Järve ruumala on 178,8 tuh. m³. Tegemist on madala järvenõoga (Joonis 18). Järve põhjareljeef on lauge, sügavam ala asub järve lõunaosas. Maksimaalne sügavus on järves 2,3 meetrit ja keskmine sügavus on 1,3 meetrit. Suhteline sügavus on kõigest 0,5% ja keskmine veerukalle 3%.



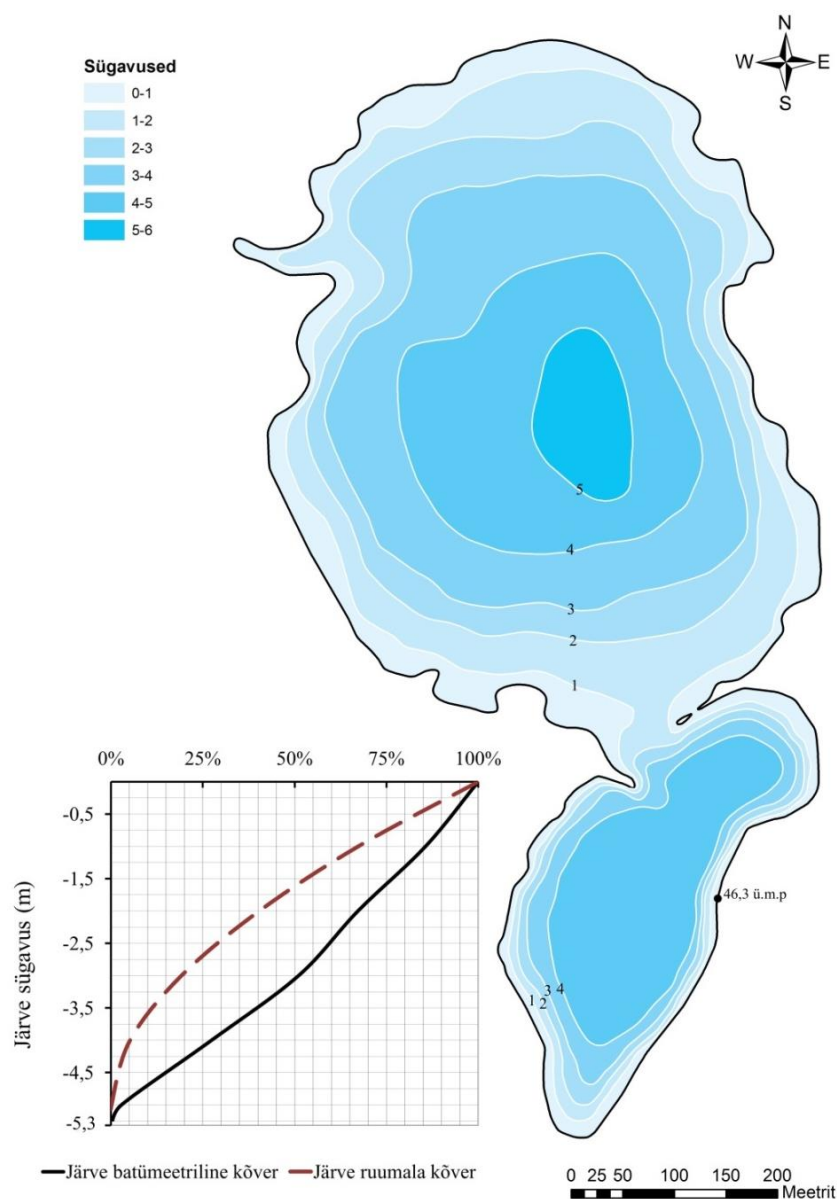
Joonis 18. Suur-Kirjakjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Suur Linajärve pindala on 0,86 ha, mis on uuritud järvedest kõige väiksem. Järv asub merepinnast 50,07 meetri kõrgusel (2009. aasta andmed). Järve ümbermõõt on 362 meetrit ja kaldajoone liigendatuse näitaja on 1,10. Järve ruumala on 28,7 tuh. m³. Järv on lihtsa põhjareljeefiga – järsult süvenev järvenõgu, mille suurim sügavus asub nõo keskel ja on 7,4 meetrit (Joonis 19). Järve keskmine sügavus on 3,3 meetrit ja suhteline sügavus 7,2%. Keskmise veerukalle on 21,1 %.



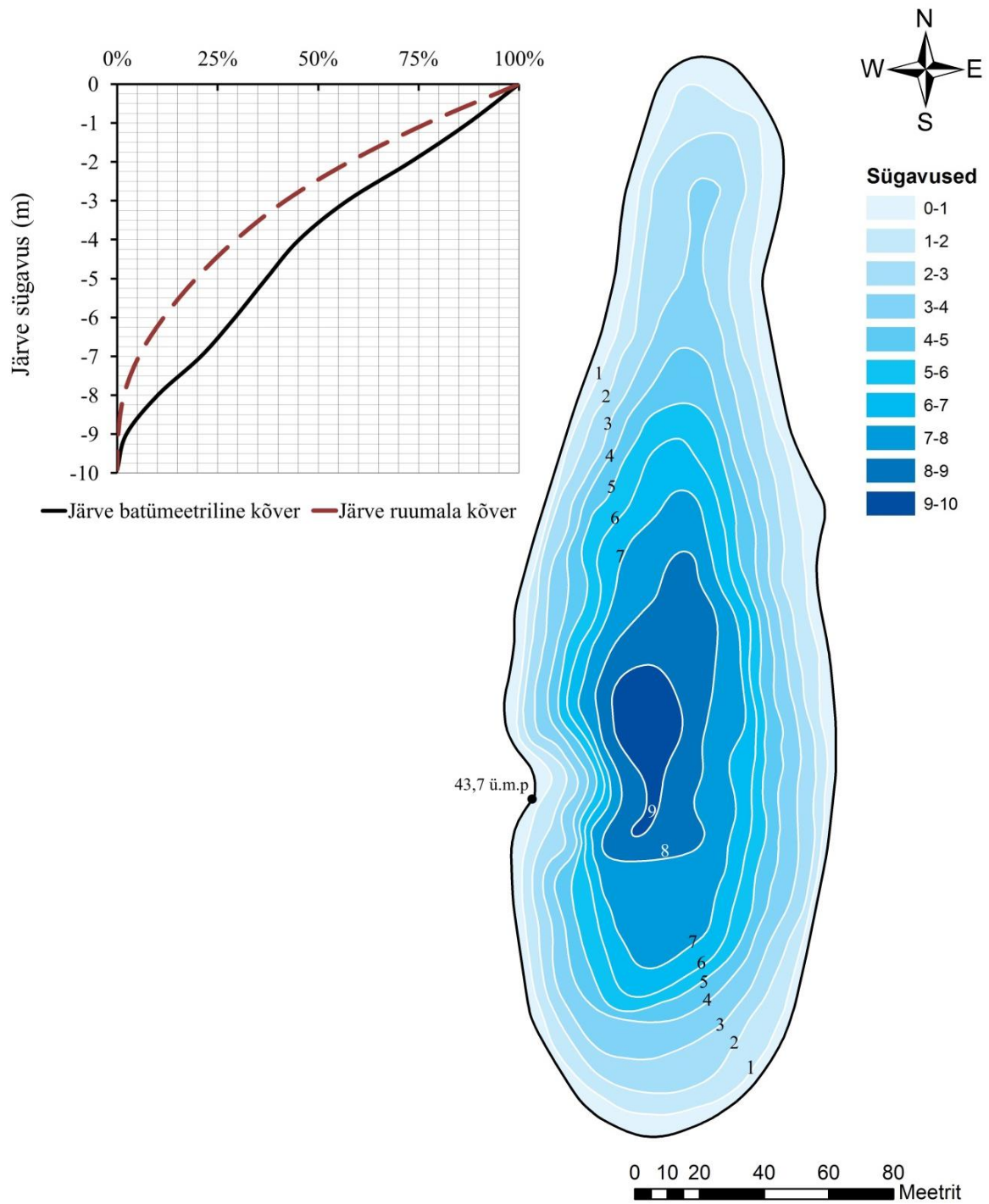
Joonis 19. Suur Linajärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Suurjärve pindala on 33,3 ha, mis on ühtlasi ka kõige suurema pindalaga järv, mis käesoleva töö raames uuriti. Järv asub merepinnast 46,3 meetri kõrgusel. Järve ümbermõõt on 3405 meetrit ja kaldajoone liigendatus 1,66. Järve veemaht on 937,7 tuh. m³. Järv jaguneb kaheks – põhjas asuvaks Suurjärveks ja lõunas asuvaks Peenjärveks. Järve põhjaosa järvenõgu on laugete kallastega ja rahuliku põhjareljeefiga (Joonis 20). Järve suurim sügavus on 5,3 meetrit ja see asub nõo keskel. Järvenõo lõunaosa kaldad on järsuveerulised, eriti järve kaguosas. Põhja- ja lõunaosa eraldab madal künnis, mille kohal on veesamba paksus umbes 1 meeter. Järve keskmine sügavus on 2,8 meetrit ja suhteline sügavus 0,8%. Järve keskmine veerukalle on 3,3%.



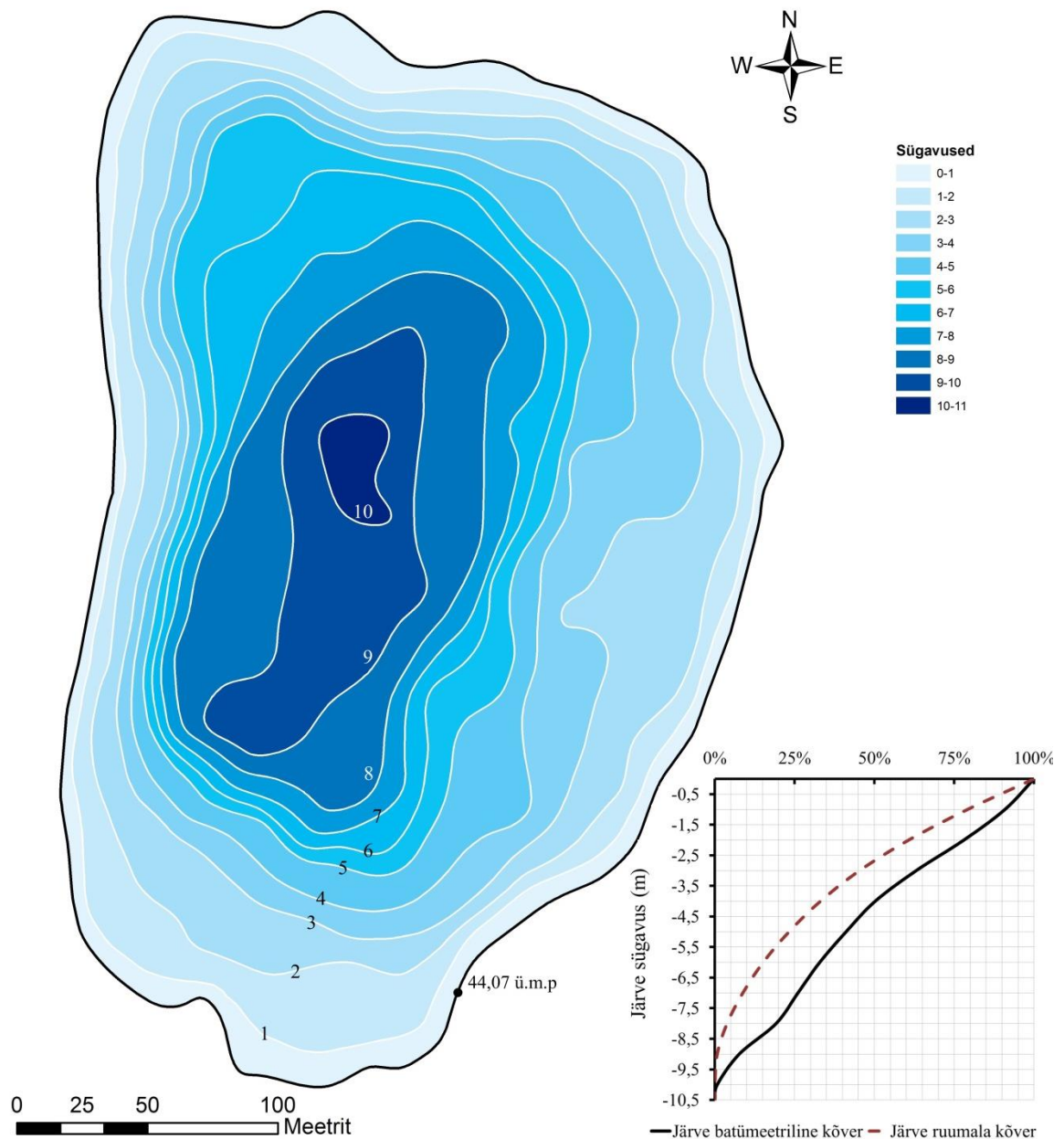
Joonis 20. Suurjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Särgjärve veetase on 43,7 meetrit ü.m.p ja järve pindala 2,4 ha. Kaldajoone pikkus on 750 meetrit ja kaldajoone liigendatuse näitaja 1,37. Järvenõo ruumala on 99,7 tuh. m³. Järve maksimaalne sügavus 9,9 meetrit asub järvenõo keskel (Joonis 21). Põhjareljeef on rahulik, järvenõo ida-, lõuna- ja läänenõlv on järsud, põhjaosa lauge. Järve keskmine sügavus on 4,2 meetrit ja suhteline sügavus on 5,7%. Järve keskmine veerukalle on 17,6%.



Joonis 21. Särgjärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Valgejärve veetase 2014. aastal oli 44,07 meetri ü.m.p. Järve pindala on 8,5 ha. Järv on ümara kujuga – kaldajoone pikkus on 1154 m ja kaldajoone liigestus on 1,12. Järve ruumala on 391,0 tuh. m³. Järve põhjareljeef on rahulik ning järve sügavaim koht (10,5 meetrit) asub järvenõo keskkohast lääne pool (Joonis 22). Järvenõgu on läänekaldal suure veerukaldega ning kiiresti süvenev, jõudes kiiresti 8 meetri sügavuseni. Järve lõuna ja idakallas on lauged ja madalamad. Järve keskmine sügavus on 4,6 m ja suhteline sügavus 3,2%. Järve keskmine veerukalle on 9,3%.

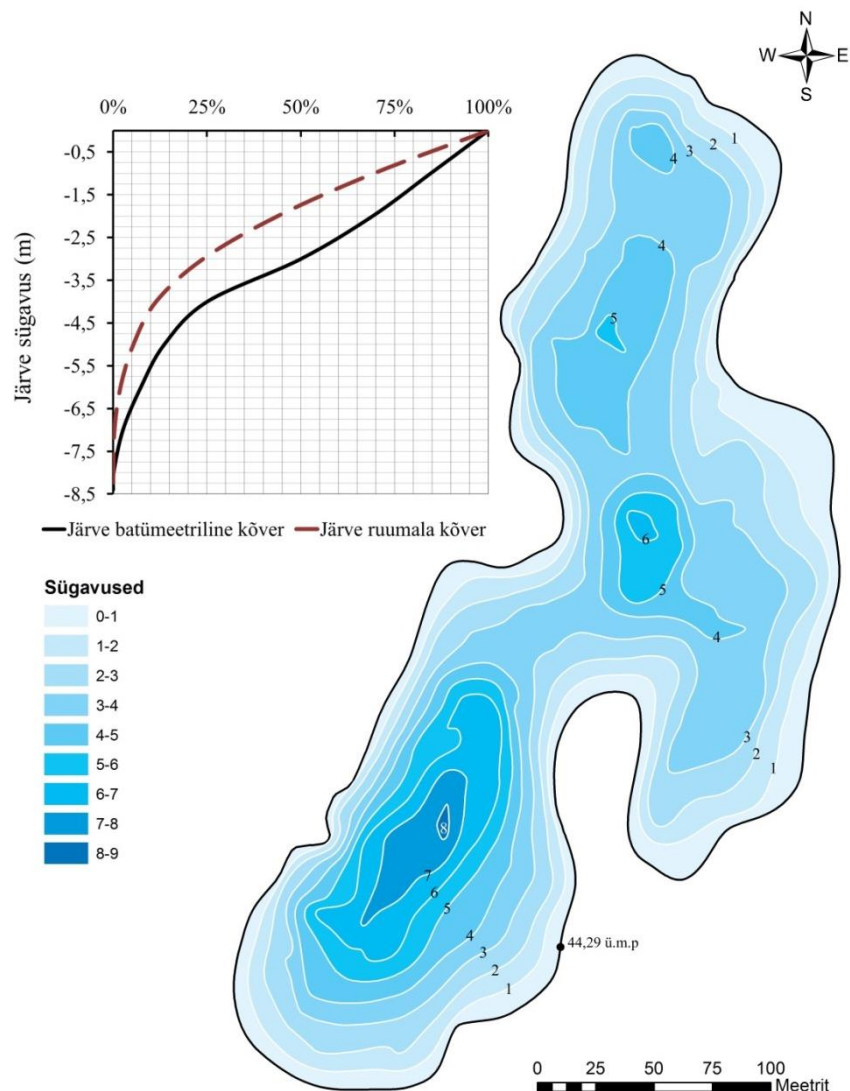


Joonis 22. Valgejärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

4.2 Uued andmed Ahne-, Kuradi- ja Martiska järve morfomeetriast

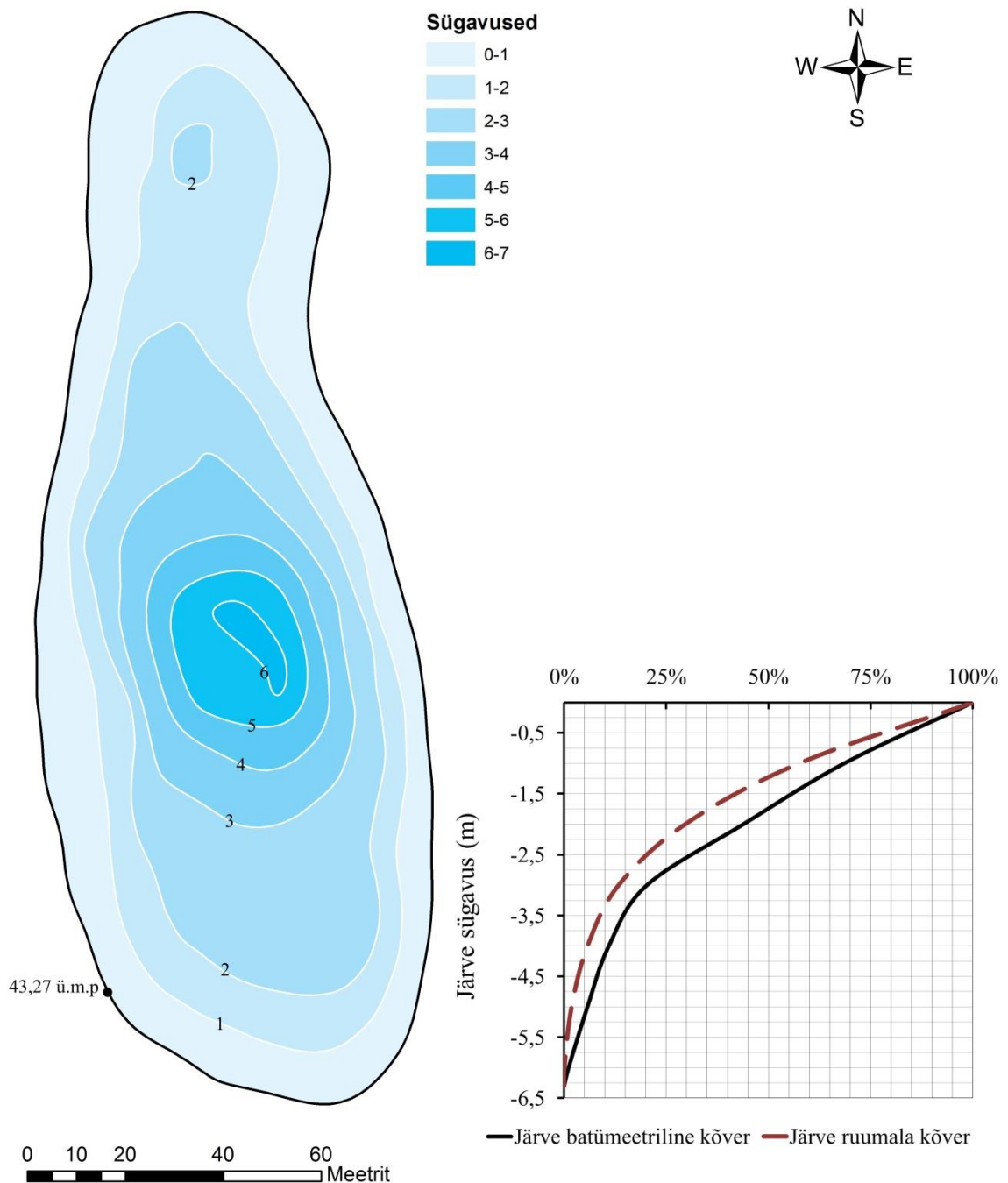
Kolme umbjärve veetase on viimaste aastate jooksul olnud pidevas languses. Käesoleva töö välitööde ajal valitsenud veeseisu andmetel, kasutades varasemaid järve sügavuskaarte, arvutati järvede uued näitajad seisuga 11.06.2014.

Ahnejärve veetase oli välitööde perioodil 44,29 meetri ü.m.p ja järve pindala 5,3 ha. Järve ruumala on 159,0 tuh. m³. Järve maksimaalne sügavus on 8,4 meetri ja keskmine sügavus 3 meetrit. Järve kaldajoone pikkus on 1376 meetrit. Järve põhjareljeef on tänu mitmele künnisele, mis eraldavad sügavamaid alasid üksteised, keeruline (Joonis 23). Järve sügavam ala paikneb järve lõunasopis ja on 8,4 meetrit sügav.



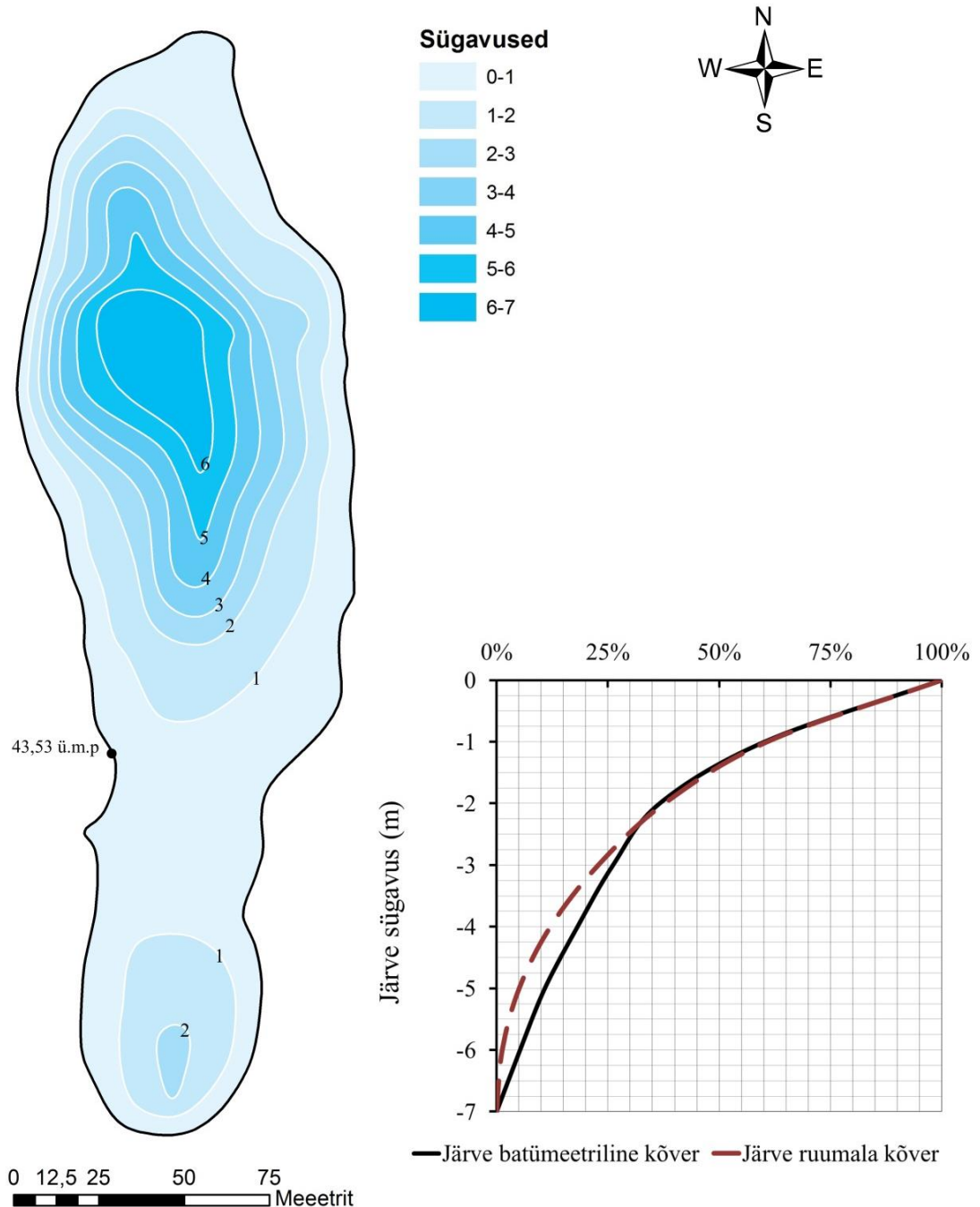
Joonis 23. Ahnejärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Kuradijärve veetase oli 43,27 meetrit ü.m.p ja järve pindala 1,3 ha. Järve ruumala on 26,5 tuh. m³. Järve maksimaalne sügavus 6,3 meetri ja keskmine sügavus 2 meetrit. Järve kaldajoone pikkus 518 meetrit. Järv on rahuliku põhjareljeefiga (Joonis 24). Järve sügavaim ala paikneb järvenõo keskel ja on 6,3 meetrit sügav.



Joonis 24. Kuradijärve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

Martiska järve veetase oli 43,53 meetrit ü.m.p ja järve pindala 2,1 ha. Järve ruumala on 43,5 tuh. m³. Järve maksimaalne sügavus 7 meetri ja keskmine sügavus 2,1 meetrit. Järve kaldajoone pikkus 735 meetrit. Järve põhjareljeef on rahulik (Joonis 25). Järve sügavaim ala paiknev järve põhjaosas ja on 7 meetrit sügav. Järve lõunasopis asub teine, ümbritsevast veidi sügavam ala, kuid selle sügavus on veidi üle 2 meetri.



Joonis 25. Martiska järve sügavuskaart ja järve batümeetriline ning ruumala kõver.

5. ARUTELU

5.1 Järvede veetasemete ja sügavuste muutused

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli mõõdistada Kurtna järvestiku järvede sügavused. Kogutud andmete põhjal koostati järvede batümeetrilised kaardid ja leiti järvenõgude morfomeetrilised näitajad. Andmete kogumiseks kasutati sonar-mõõdistamist ja GIS põhist andmetööstlust. Lisaks koguda kokku 70-ne aastase perioodi andmed järvede sügavuse ja veetaseme kohta. Töö tulemusena koostati 17-ne järve tänapäevast põhjareljeefi kujutavad kaardid ja arvutati morfomeetrilised näitajad. Saadud tulemusi võrreldi varasemate andmete ning analüüsiti toimunud muutusi. Lisaks uuendati kolme umbjärve morfomeetrilised andmed.

Varasemad andmed järvede suurimatest sügavustest ja veepinna kõrguste kohta on välja toodud Tabelis 4 ja Tabelis 5.

Tabel 4. Järvede maksimaalse sügavuse andmed erinevatel perioodidel. (Mõõtühik meeter)

	1954 (Mäemets, 1968, 1977)	1974 Kallejärv, 1974.	1977 (Pallo, 1977)	1987 (Erg & Ilomets, 1989)	1990 Pöder, 1996)	2014 (Käesolev töö)
Ahvenjärv	-	-	-	-	-	1,4
Aknajärv	5	-	-	4,5	4,2	4,8
Haugjärv	7 (vett 4,5)	-	-	-	4,25	4,8
Jaala järv	6,4	-	6,3	6	6,4	6,3
Liivjärv	10,7 *	9,8	9,9	7,2	-	8,1
Mustjärv	-	-	-	-	-	6,3
Niinsaare järv	-	-	-	2,1	-	2,6
Nõmme järv	7,5	-	7,5	5,6	7,5	5,7
Peen-Kirjakjärv	3,3	-	3,3	-	3,3	3,2
Rääkjärv	4,4	4,1	4,1	4,4	-	4,8
Räätsma järv	10,8	-	-	10,8	10,8	10,5
Saarejärv	6	-	-	7	>5	8,2
Suur-Kirjakjärv	3,7	-	3,8	2,3	3,7	2,3
Suur Linajärv	7,2	-	-	-	7,2	7,4
Suurjärv	6,9	-	-	4,9	6,9	5,3
Särgjärv	-	-	-	-	-	9,9
Valgejärv	10,5	-	10,5	9,2	10,2	10,5

* 1958. aasta andmed; „-“, andmed puuduvad.

Tabel 5. Ajaloolised andmed järvede veetaseme kohta. (Mõõtühik meetrit ü.m.p)

	1946 (Erg & Ilomets, 1989)	1960 (Pöder, 1996)	Vene topograafiline kaart 1:10000 1973	1987 (Erg & Ilomets, 1989)	1988 Vassiljev, 1988	1990 (Pöder, 1996)	2014 (Käesolev töö)
Ahvenjärv	44,2	44,2 **	43,4	-	-	43,6	43,59*
Aknajärv	42,2	42,2	42,7	42,3	-	42,25	42,21
Haugjärv	45,2	45,2 **	45,3	-	-	45,05***	45,12
Jaala järv	43,1	42,95	42,2	42,6	42,57	42,7	42,73
Liivjärv	45,7	45,75	44,5	43,4	-	43,4	42,86
Mustjärv	47	47	45,9	-	-	45,9	46,50 *
Niinsaare järv	47,2	47,2	45,9	46,1	-	46	45,65
Nõmme järv	46,5	46,15	45,9	45,7	45,9	46	45,79
Peen-Kirjakjärv	41,7	41,7 **	41,7	-	-	41,5	41,79 *
Rääkjärv	45,8	45,1	43,4	44,5	-	44,45	44,50 *
Räätsma järv	45,8	45,8	45,1	45,3	-	45,25	45,31 *
Saarejärv	44,3	44,3	44,1	44,5	-	44,6	44,26 *
Suur-Kirjakjärv	43	41,65	41,2	41,6	-	41,3	41,41
Suur Linajärv	-	49,45	49,1	-	-	49,35	50,07 *
Suurjärv	47,4	47	46,4	46,4	46,4	46,4	46,3
Särgjärv	-	44,6	43,5	-	-	43,64	43,7
Valgejärv	44,4	43,95	44,7	44	43,57	44,2	44,07

* Veetaseme andmed aastal 2009.

** Samad andmed mis 1946. aastal.

*** andmed 1982 või 1988

„-„ andmed puuduvad.

Kurtna järvede veetaseme muutused on tingitud mitmete tegurite koosmõju tulemusena. Järgneva arutelu lihtsustamiseks jagati uuritud järved gruppidesse neid enim mõjutanud teguri alusel. Mitme järve puhul on veetaseme alanemise põhjuseks mitme teguri koosmõju. Konsu veehaarde ja Raudi kanali mõjupiirkonda jäävad – Ahvenjärv, Mustjärv, Niinsaare, Nõmmejärv, Peen-Kirjakjärv, Saarejärv, Suurjärv ja Särgjärv. Sirgala karjääri ja Oru turbaväljade piirkonda jäävad Aknajärv, Jaala järv, Liivjärv, Rääkjärv, Suur-Kirjakjärv, Valgejärv. Estonia kaevanduse mõjupiirkonda jäävad Haugjärv, Räätsma järv ja Suur Linajärv.

Arvestades, et Kurtna järvede veetasemete ja veerežiim olid teadaoleval looduslikus seisundis vähemalt 1946. aastani, võeti veetaseme muutuste kirjeldamise aluseks eelkõige just selle aasta veetasemed. Paljudes hilisemates järvede morfomeetrisi näitajaid kirjeldavad andmestikud (Kask, 1964; Mäemets, 1968; 1977) kasutavad H. Riikoja 1934. aastal ilmunud raamatus esitatud andmeid järve veetaseme kohta. Mäemetsa 1968. aastal ilmunud raamatus esitatakse järvede morfomeetriselised andmeid, mis koguti perioodil 1951–1957 Zooloogia ja Botaanika Instituudi üliõpilaste välipraktikate raames. (Mäemets, 1968; Timm, 2014) Kurtna järvestikus toimusid välitööd peamiselt 1954. aastal, Liivjärve andmed pärinevad 1957 ja 1958. aastast. (Mäemets, 1968)

Töö tulemused olid üldjuhul kooskõlas varasemate kirjanduses leidunud andmete ja piirkonnas toimunud veetaseme muutustega. Peamised suured erinevused olid tingitud vanade ja uute andmete koos kasutamisest. Näiteks kasutati Kurtna keskkonnaekspertiisi kogumikus (Pöder *et al.*, 1996) 1990. aasta kirjeldamiseks uusi veetaseme kõrguse andeid, kuid jäeti uuendamata ja kasutati Mäemetsa 1954. aasta välitöödel saadud sügavuse andmeid. Varasemad Pallo (1977) sügavuskaartide sügavaimad kohad kattusid töö tulemusena koostatud sügavuse kaartidega. Tänapäevased sügavuse kaardid täpsustasid oluliselt järve põhjareljeefi ja tõid esile mitmeid erinevusi võrreldes vanemate andmetega.

Pallo (1977) koostatud 10 järve sügavuskaardist mõõdeti käesoleva tööga üle 7 järve sügavused. Varasemalt oli tänapäevased sügavuse kaardid olemas Ahne-, Martiska ja Kuradijärve kohta (Vainu, 2011). Lisaks koostati sügavuskaardid 10-st järvest, mille kohta puudusid andmed täielikult või olid vananenud.

Tänapäevaste sügavusandmete ja kirjanduses leiduvate andmete erinevuse üheks põhjuseks on erinev mõõtmise meetoodika. Varasemad järvede loodimised teostati nõõri otsa kinnitatud raskusega (vt ptk 1.6), mis võis vajuda sügavale settesse. Käesoleva töö ja Ahne-, Martiska ja Kuradijärve sügavuse mõõtmiseks kasutati kajaloodi. Antud töös kasutati meetoodikat, kus sonari andmetele lisaks mõõdeti järve piki ja ristiprofiilil sügavust ka nõõri otsa kinnitatud kettaga. Kajaloodi ja nõõrmõõtmiste tulemuste erinevuse keskmise väärtus ehk parand, lisati kajaloodi andmetele, võimaldades seeläbi paremat võrdlust varasemate andmetega.

5.2 Järvede veetasemete muutuste peamised mõjurid

5.2.1 Konsu veehaarde ja Raudi kanali järved

Uuritud järvedest suurima grupi moodustavad Konsu veehaardesse kuuluvad järved. Konsu veehaare rajati 1952. aastal ja Konsu järve veetaseme hoidmiseks süvendati perioodil 1967–1969 Raudi kanalit (Vallner, 1987; Vesiloo, 1987). Kanalite ja kraavidega ühendati mitmed järved omavahel, muutes oluliselt järvede looduslikku veerežiimi ja vee keemilist koostist. Konsu veehaardest mõjutatud järved on Ahvenjärv, Mustjärv, Niinsaare, Nõmmejärv, Peen-Kirjakjärv, Saarejärv, Suurjärv ja Särgjärv. Konsu järve veetaset reguleeriti sissevoolu ja veekasutuse kaudu, põhjustades veehaardes olevate järvede veetaseme suurt kõikumist. (Pöder, 1996) Kaevandusvete suunamine mõõda Raudi kanalit Nõmmejärve algas 1970-ndatel, tänu millele on tähendatud veetaseme stabiliseerivat mõju järvede veebilansile. (Erg & Ilomets, 1989)

Konsu veehaardesse kuuluvates järvedes langes veetase esimesena Nõmmejärves. Lugeses looduslikuks veetasemeks 1946. aasta andmeid, langes veetase 1960. aastaks 0,35 meetrit. Veetaseme alanemise põhjuseks on 1953. aastal alustanud Konsu veehaare. Raudi kanali laiendamine 1969. aastaks langetas Nõmmejärve veetaset veel 0,25 meetri võrra. Nõmmejärve veetaseme alanemist on tähendanud ka Mäemets (1977). Peale Raudi kanali laiendamist ei ole veetase enam oluliselt langenud. Järve veetaseme aastasisene kõikumine jääb poole meetri piiresse. (Terasmaa *et al.*, 2013) Käesoleva töö välitööde ajal oli Nõmmejärve veetaseme kõrgus 45,79 meetrit ü.m.p, olles 1946. aasta seisust 0,71 meetrit madalam.

Nõmmejärve sügavusnäitajate osas ei saa nõustuda Pallo (1977) aasta sügavuskaardil esitatuga ja ekslikud on ka Põdra (1996) esitatud andmed 1990. aasta sügavuse kohta. Järve sügavus oli 1954. aasta välitööde ajal 7,5 meetrit ning kindlasti ei saanud see olla sama Pallo välitööde ajal, kui veetase oli selleks ajaks langenud 0,6 meetri võrra. Pöder (1996) kasutab ilmselt Mäemetsa (1968) andmeid.

Käesoleva töö tulemusena mõõdeti Nõmmejärve suurimaks sügavuseks 5,7 meetrit veetasemel 45,79 meetrit ü.m.p. Peaaegu sama suurim sügavus on mõõdetud 1987. aastal, kui veetase oli 10 cm madalam ja tulemuseks saadi 5,6 meetrit. Veetase on 70-ne aastaga alanenud 0,71 meetri võrra ja suurim sügavus 1,8 meetrit. Drastiline sügavuse vähenemine

on osaliselt tingitud asjaolust, et Nõmmejärve toimub suur hõljumi sissekanne ning aastakümneid täitis Nõmmejärv Estonia kaevanduse settebasseini rolli. (Sagris, 1989) Perioodil 1950–1985 suurenes settekiht järves 23 cm võrra (Kõiv & Ott, 2011) Lisaks toimusid muutused järves endas, suurendades bioproduksiooni ja settekihi moodustumist. Kiire ja intensiivne läbivool järvest parandab järve veevahetust ja vee segunemist, kuid põhjustab mineraalse aine kandumist valgalalt järve sügavamasse ossa, vähendades järve sügavust. Sette resuspensiooni tagajärjel satuvad settinud toitained ringlusesse, kiirendades veekogu eutrofeerumist. Suur maksimaalse sügavuse erinevus võib põhjustatud olla erinevast mõõtmismetoodikast ja võimalusest, et varasemad andmed on tegelikkusest sügavamad.

Konsu veehaardesse kuuluva Särg- ja Ahvenjärve veetaseme andmed perioodil 1946–1960 on puudulikud. Särgjärvel on olemas 1960. aasta veetaseme andmed, kuid puudu on 1946. aasta andmed. Ahvenjärve puhul on olemas 1946. aasta andmed, kuid puudu on 1960. aasta andmed. Võib arvata, et järvede veetase alanes sarnaselt Nõmmejärvega aastatel 1946–1960 umbes 0,35 meetri võrra. Raudi kanali süvendamine langetas Särgjärve veetaset 1,1 meetri võrra ja Ahvenjärve veetase võrreldes 1946. aasta veeseisuga alanes 0,8 meetri võrra.

Särg- ja Ahvenjärve varasemad sügavusandmed puuduvad. Käesoleva töö andmetel on Särgjärve sügavus 9,9 meetrit. Järve veetase on alanenud üle 1 meetri, kuid tänu läbivoolule on võimalik, et järve sügavus on seeläbi suurenenud. Saab püstitada hüpoteesi, et Nõmmejärvest Särgjärve suubuv kiirevooluline kraav on endaga kaasa viinud varasemalt põhja settinud setteid. Sete puudumist voolukanali kohas kinnitavad ka Ökoloogia Instituudi poolt läbi viidud setete sondeerimise tulemused (Jaanus Terasmaa suulised andmed). Ahvenjärve maksimaalseks sügavuseks on käesoleva töö andmetel 1,4 meetrit.

Konsu veehaardega ühendatud Suurjärv, Niinsaare järv ja Mustjärv püsisid looduslikus seisundis kuni 1960. aastani. Umbes 0,4 meetrine veetaseme alanemine toimus Suurjärves perioodil 1946–1960. Veetaseme alanemise põhjuseks võib olla Ahtme kaevanduse avamine ja sellest tingitud põhjavee loodusliku režiimi muutus. Varasem väljavool toimus Suurjärve põhjaosa kaudu Vasavere jõkke, mis oli otseselt mõjutatud Ahtme kaevanduse tööst. Järve veetaseme hoidmiseks suleti väljavool tammiga (Vallner, 1987) Peale 1963. aasta kraavitamist, mil järved ühendati omavahel kraavidega ja vesi juhiti Nõmmejärve, vähenesid kõigi kolme järve veetasemed. Niinsaare ja Mustjärves vastavalt 1,3 meetri ja

1,1 meetri võrra. Suurjärve veetaseme alanemine perioodil 1960–1973 on 0,6 meetrit. Kaudse meetodi kaudu saadud Mustjärve 2009. aasta veetase näitaks küll 0,6 meetri suurust veetaseme tõusu, kuid realselt ei ole järve veetase tõusnud. Mustjärve veetase on seotud Niinsaare ja Nõmmejärve veetasemetega ja järgib neis toimuvaid muutusi.

Varasemad Mustjärve sügavused puuduvad. Niinsaart uuriti põhjalikumalt 1987. aastal, siis saadi järve maksimaalseks sügavuseks 2,1 meetrit ja vee läbipaistvuseks 2,5 meetrit. Käesoleva töö andmetel on Niinsaare suurimaks sügavuseks 2,6 meetrit. Võrreldes 1987. aasta veetaset ja 2014. aasta veetaset on veetase alanenud 0,45 meetri võrra aga sügavus justkui suurenenud 0,5 meetri võrra. Erinevuse põhjuseks võib olla tõsiasi, et 1987. aasta sügavuse mõõtmisel ei leitud järve suurimat sügavust üles. Veetaseme alanemise tulemusena on järv suurtaimi täis kasvanud. (Mäemets & Teder, 1987)

Suurjärve veesügavus oli 1954. aastal, enne veetaseme alanemist, 6,9 meetrit ja 2014. aasta andmetel 5,3 meetrit. Kokku on toimunud sügavuse muut -1,6 meetrit, millest 1,1 on veetaseme alanemise tulemus. Sügavuse erinevuse põhjusteks võib olla järve loodeosas oleva endise väljavoolu muutumine sissevooluks. Seda kinnitab ka tänapäevane sügavuse kaart, mis näitab sissevoolu piirkonnas suudmealale iseloomulikku madalamat ala. Järve veerežiimi muutus põhjustas setete ümberjaotust ja settimist järve sügavasse piirkonda. 1987. aasta andmetel oli järve suurimaks sügavuseks 4,9 meetrit. Sarnaselt Niinsaare sügavusele, ei pruugitud Suurjärve sügavamal kohta üles leida või mõõdeti järve suurim sügavus lõunaosas asuvast Peenjärvest ja esitati seda kui Suurjärve suurimat sügavust. Põdra (1996) andmed on eksitavad andes 1990. aasta suurimaks sügavuseks 6,9 meetrit, mis on sama 1954. aasta andmetega, kuigi vahepeal on toimunud veetaseme märgatav alanemine.

Raudi kanal suubub Peen-Kirjakjärve, millest omakorda algab Mustajõgi, mis voolab läbi Suur-Kirjakjärve Narva jõkke. Peenjärve veetase ja suurim sügavus on püsinud viimase 70-ne aasta jooksul muutumatuna. Vaevalt 0,1 meetrine veetaseme muutumine ei oma järve veerežiimis olulisust rolli. Järve suurim sügavus oli 1954. aastal 3,3 meetrit ja 2014. aasta mõõtmistulemustel on see 3,2 meetrit. Oluliselt on muutunud järve põhjaosa reljeef ja veemaht. Võrreldes Pallo (1977) aasta sügavuskaarti ja antud töö andmetega on järve põhjaosa sügavus vähenenud 1 meetri võrra. Põhjuseks võib olla Raudi kanalist sisse voolanud orgaaniline ja mineraalne aine, mis settisid osalt järve põhja. Osa Peen-Kirjakjärve settinud materjalist võib pärit olla Särgjärvest.

Saarejärve veetase pole perioodil 1946–2009 oluliselt muutunud, veetaseme muutused on piisavalt väikesed, et lugeda neid järve loodusliku veerežiimi muutuste hulka. Veetase oli 1946. ja 1960. aastal 44,3 meetrit ü.m.p. Järve veetaseme miinimum jõuab kätte 1973. aastal, kui see on 1960. aastaga võrreldes alanenud 0,2 meetri võrra. Võimalik veetaseme alanemise põhjus võib olla seotud veevõtiga Konsu veehaardest. Tänu väljavoolu puudumisele on järve vähem mõjutatud pinnasevee taseme muutustest. Järve veetase tõuseb 1987. aastaks 44,5 meetrini ü.m.p ja 1990. aastaks veel 0,1 meetri võrra. Kaudse meetodiga saadud 2009. aasta veetaseme kõrgus viitab veetaseme alanemisele 0,3 meetri võrra. Järve sügavus oli Mäemetsa (1977) andmetel 6 meetrit ja 1987. aasta andmetel 7 meetrit. 2014. aastal toimunud mõõtmiste käigus saadi järve suurimaks sügavuseks 8,2 meetrit. Varasemate sügavuskaartide puudumine raskendab järeltule tegemist, kuid võib arvata, et 2014. aastal leiti järve uus suurim sügavus, mida varasemalt ei tuntud.

5.2.2 Sirgala karjääri ja Oru turbaväljade mõjupiirkonna järved

Veetaseme väga suur alanemine on toimunud järvestiku kirdenurgas asuvas Liivjärves. Järve veetase püsis muutumatuna kuni 1960. aastani. Perioodil 1960–1987 alanes järve veetase 2,35 meetri võrra. Veetaseme alanemise põhjusteks peetakse Oru turbaväljade kuivendamiskraavide rajamist ja Sirgala karjääri mõju (Erg & Ilomets, 1989; Pöder, 1996). Teine suurem veetaseme alanemine jääb perioodi 1990–2014, kui veetase alanes poole meetri võrra. Veetaseme alanemise üheks põhjuseks on järvevee kasutamine kustutustöödeks 2006. aasta suvel, kui põles suur osa Liivjärve ääres kasvanud rabamännikust. (Kurtna maastikukaitseala..., 2015) Järve veetasemele on mõjunud negatiivselt ka planeeritud infiltratsioonibassein, mille ehitamine jäi pooleli ja mis toimib drenina. (Pöder, 1996)

Liivjärve veesamba paksus oli 1958. aasta andmetel 10,7 meetrit, Kallejärve (1974) andmetel 9,8 meetrit ja 1987. aasta andmetel 7,2 meetrit. 2014. aasta mõõtmistulemuste järgi on järve suurim sügavus 8,1 meetrit. Ekslikuks võib pidada 1987. aasta sügavusandmeid, kuna antud hetkeks oli järve veetase alanenud 2,35 meetri võrra aga sügavus 3,5 meetri võrra.

Rääkjärve veetase alanes 0,7 meetri võrra perioodil 1946–1960. Väidetavalt ei avaldanud 1946. aastal avatud Ahtme kaevandus mõju Vasavere jõest ida poole jäävatele aladele (Vallner, 1987). Veetaseme alanes perioodil 1960–1973 1,7 meetri ulatuses. Veetaseme

alanemise põhjuseks peetakse hilisemas allikas (Erg & Ilomets, 1989) siiski Ahtme kaevanduse põhjustatud põhjaveetaseme alanemist. Lisaks mõjutab Rääkjärve sarnaselt Liivjärvega Sirgala karjääri laienemine. Järve veetase taastus 1,1 meetri võrra 1987. aastaks. Veetaseme tõusule aitas kaasa järve ühendamine kraavi kaudu Vasavere jõega, muutes järve sissevoolujärveks ja kompenseerides põhjavee taseme langusest tulenevat vee kadu. (Pöder, 1996) Järve suurimaks sügavuseks saadi antud töös 4,8 meetrit, mis on kõigist varasematest tulemustest sügavaim. Pallo (1977) aasta andmetel oli järve suurimaks sügavuseks 4,1 meetrit, mis on tänapäevasest sügavusest 0,7 meetri võrra madala. Erinevuse põhjuseks võib pidada eriti madalat veeseisust, mida kinnitab ka 1973. aasta topograafiline kaart, olles tänapäeva veeseisust 1,1 meetrit madalam. Järvenõgu on kaetud paksu koheva järvemuda kihiga (Saarse, 1987), mis võib oluliselt raskendada täpse sügavuse mõõtmist loodimise teel. Rääkjärve puhul on tegemist makrofüüdi järvega ja põhjas kasvav taimestik võib veelgi raskendada mõõtmisi.

Oru turbaväljade ja Sirgala karjääri mõjupiirkonda jääval Aknajärvel, pole aastate jooksul veetaseme muutusi toimunud. Veetaseme vähest muutumist kinnitavad ka sügavuseandmed. Mäemetsa 1977. aasta allika põhjal oli järve suurim sügavus 5 meetrit ning käesoleva töö tulemusena leiti järve suurimaks sügavuseks 4,8 meetrit. Maksimaalne sügavus on erinevatel andmetel kõikunud 0,8 meetri ulatuses. Erinevus võib tingitud olla erinevatest mõõtmismetoodikatest, veetaseme perioodilisest muutusest ja sette kogunemisest järvenõo põhja. Põdra (1996) 1990. aasta andmetel oli järve sügavus suurim 4,2 meetri ja Erg ja Ilometsa 1987. aasta andmetel 4,5 meetrit. Kuna veetase ei ole ajas muutunud, on erinevate sügavusnäitajate põhjus ilmselt meetoodikas ja asjaolus, et suurimat sügavust ei leitud üles.

Valgejärve veetase alanes perioodil 1946–1960 peaaegu pool meetrit. 1973. aasta topograafilise kaardi andmetel on järve veetase võrreldes 1960. aastaga tõusnud 0,75 meetri jagu, kuid arvestades, et veetase on 1987. aastal sama mis 1960. aastal, pole 0,7 meetrine lühiajaline veetaseme tõus põhjendatud. Järve veetaseme madalaim periood esineb 1988 aasta suvel, kui see on 43,57 meetrit ü.m.p, kuid taastub juba 1990. aastaks jõudes 44,2 meetrini ü.m.p. Järve veetaseme peamiseks mõjutajaks võib pidada Oru turbaväljade kuivendamist. Sarnaselt Liivjärvele, kasutati 2006. aasta metsapõlengus ka Valgejärve vett. Veetase on perioodil 1990–2014 alanenud 0,13 meetri võrra, mis ei ole märkimisväärne ja kustutusvee võtt võis järve veetaset mõjutada vaid väga lühiajaliselt.

Järve veetaseme vähest muutumist toetavad ka sügavuse vähenemine. Lisaks on järvenõgu vähe mudastunud (Saarse, 1987), mis lihtsustab sügavuse mõõtmist. Järve sügavus oli 1954. aastal 10,5 meetrit, 1986. aastal 10,2 meetrit ja 2014 mõõdeti järve sügavuseks 10,5 meetrit. Maksimaalne sügavus 9,2 meetrit, mis pärineb 1987. aastast ei ole kooskõlas veetaseme muutusega ja ilmselt ei leitud järve sügavamalt koht mõõtmiste hetkel üles.

Suur-Kirjakjärve veetase ja sügavus on oluliselt alanenud perioodil 1946–1960. Veetase alanes 1,35 meetri võrra ja tänapäevaks on järve veetase võrreldes 1946. aasta seisuga alanenud 1,6 meetri võrra. Järve suurim sügavus on alates 1954. aastast, kui see oli 3,7 meetrit, alanenud 1,4 meetrit. Järve asub Sirgala kaeväljade ja Oru turbaala mõjutuspiirkonnas, mis on veetaseme peamiseks alanemise põhjuseks. Lisaks on järv ühendatud Peen-Kirjakjärvega, mis on omakorda osa Vasavere veehaardest. Veetaseme alanemise tagajärjel on järv tugevalt suurtaimestikku täis (Mäemets ja Teder, 1987). Ilmselt on osa Särgjärvest settest, mis kanti läbi Raudi kanali Peen-Kirjakjärve jõudnud ka Suur-Kirjakjärve, muutes järve veelgi madalamaks.

Jaala järve veetase püsis peaaegu muutumatuna kuni 1960. aastani. Perioodil 1960–1973 alanes järve veetase 0,75 meetri jagu, mis viitab Oru turbavälja mõjule. Peale 1973. aastat on veetase tõusnud poole meetri võrra ja tänapäeval on veetase 42,73 meetrit ü.m.p. Järve veetaseme kõikumine on sarnane Suur-Kirjakjärves toimunud veetaseme muutustega. Mõlemat järve on lisaks Oru turbaväljale mõjutanud ka põhjaveevoolu muutus seoses Vasavere veehaardega (Vallner, 1987) Järve sügavusandmete muutused on kooskõlas veetaseme muutustega. Järve sügavus 1954. aastal oli 6,4 meetrit ja 2014. aastal 6,3 meetrit. Võrreldes Pallo (1977) aasta sügavuskaarti on käesoleva töö andmetel järve suurima sügavusega piirkond järve põhjaosas, mitte järve keskel, nagu seda väidab Pallo sügavuskaart. Seega võis järv olla 1977. aastal veelgi sügavam. Veetaseme muutustega sobib ka 1987. aasta sügavuse andmed, kui järve maksimaalne sügavus oli 6 meetri ja järve veetase mõnikümmend sentimeetrit madalam kui tänapäevane veetase.

5.2.3 Estonia kaevanduse mõjupiirkonna järved

Haugjärve veetase on 2014. aasta andmetel 45,12 meetrit ü.m.p, mida on 8 cm vähem 1946. aasta seisust. Kõige madalam veeseis pärinev 1980ndatest aastast, kui see oli 45,05 meetrit ü.m.p. ja kõrgeim veeseis 1973. aasta topograafilise kaardi andmetel 45,3 meetrit ü.m.p. Seega pole järve veetase viimase 70-ne aasta jooksul oluliselt muutunud. Suurele veetaseme muutusele viitab Kullus (1987) perioodil 1964–1986. Ekslikult kasutatakse veetaseme võrdluseks Kask 1964. aasta andmeid, mis pärinevad hoopis Riikoja 1934. aastal välja antud kogumikust.

Haugjärve sügavusandmed on erinevate allikate põhjal erinevad. Käesoleva töö andmetel on järve sügavus 4,8 meetrit, varasemalt on mõõdetud järve sügavuseks 4,25 meetrit (Pöder, 1990) ja 4,5 meetrit (Mäemets, 1977). Erinevuse põhjuseks on ilmselt erinev mõõtmise tehnika ja järve põhja katted kohev mudakiht (Saarse, 1987). Mudakihi viitab Mäemets (1977), kui kirjeldab järve sügavuseks 7 meetrit, millest vett 4,5 meetrit.

Räätsma järve veetase alanes 0,7 meetrit perioodil 1960–1973. Järve veetaseme alanemist võib seostada Raudi kanali kaevamise ja Estonia kaevanduse mõjupiirkonda jäämisega. Peale 1973. aastat on järve veetase veidi taastunud ja rohkem pole järve veetase alanenud. Järve suurimaks sügavuseks mõõdeti 1954. aastal 10,8 meetrit ja 2014. aastal 10,5 meetrit, mis samuti kinnitavad veetaseme vähest muutust.

Suur Linajärve veetase ei ole oluliselt muutunud. Järve veetase alanes perioodil 1960–1973 0,35 meetri võrra. Võimalik veetaseme alanemise põhjus võib olla seotud Raudi kanali süvendamise ja pinnavee taseme muutusega. Aastaks 1990. oli veetase tõusnud 0,25 meetri jagu. Kaudsel meetodil saadud 2009. aasta kõrgusandmed viitavad järve veetaseme 0,7 meetrisele tõusule perioodil 1990–2009. Arvestades järve nõgu, ei tundu tõene nii suur veetaseme tõus. Järve sügavuseks oli Mäemetsa (1977) andmetel 7,2 meetrit ja käesoleva töö käigus mõõdeti järve suurimaks sügavuseks 7,4 meetrit. Koos veetaseme tõusuga on sügavamaks muutunud ka järv.

5.2.4 Vasavere veehaarde mõjupiirkonnas olevates järvedes toimunud muutused perioodil 2010–2014

Kõige suurem veetasema alanemine Ahne-, Kuradi- ja Martiska järves perioodil 2010–2014 on toimunud Kuradijärves (Tabel 6). Veetase on alanenud võrreldes 2010. aastaga 1,43 meetri võrra. Järve pindala on vähenenud 0,4 ha ulatuses, kuid järv on kaotanud 2010. aasta veemahust peaaegu poole ehk 45%.

Tabel 6. Ahne-, Kuradi ja Martiska järve morfomeetriselised andmed 2010 ja 2014 aastast.

	Ahnejärv		Kuradijärv		Martiska	
	2010. a	2014. a	2010. a	2014. a	2010. a	2014. a
Veetaseme kõrgus (m ü.m.p)	44,9	44,29	44,7	43,27	44,7	43,53
Veepeegli pindala	5,7	5,3	1,7	1,3	3,1	2,1
Veemaht (m ³)	191 000	159 000	48 000	26 500	73 000	43 500
Maksimaalne sügavus	9	8,4	7,7	6,3	8,2	7,0
Keskmine sügavus	3,3	3	2,8	2	2,3	2,1
Übermõõt (m)	1570	1376	580	518	880	735

Martiska veetase on alanenud 4 aasta jooksu 1,17 meetri võrra. Järve pindala on vähenenud 1 ha võrra ja järve ruumala on vähenenud 40% järve 2010. aasta veemahust.

Ahnejärve veetase on kolme järve võrdluses vähenenud kõige vähem – 0,61 meetri võrra. Järve pindala on vähenenud 0,4 ha võrra. Järv on 2010. aasta veemahust kaotanud 16%.

Järvede pindala vähest, kuid suurt veemahu muutust on põhjustanud järvede kausjas kuju ja järsud nõlvad. Sama järelduse teeb ka Vainu (2011) oma magistritöös. Kolme järve veemahu muutused on perioodil 2010–2014 küllaltki sarnased. Kuradijärvel 21 500 m³, Martiska järvel 29 500 m³ ja Ahnejärvel 32 000 m³. Kolme umbjärve veebilansis on oluline osa valgalalt pärineval sissevoolul ja põhjasette kaudu toimival väljavoolul. Vainu (2011) jõuab magistritöös järeldusele, et perioodil 1987–2010 toimunud Kuradi- ja Martiska järve veetaseme taastumine 2,5 meetri ulatuses on põhjustatud põhjavee taseme tõusust (1,5 meetrit) ja niiskemast ilmastikust (ca. 1 meeter). Ahnejärve veetaseme tõus on tingitud peamiselt niiskemast ilmastikust.

Oluliseks kolme järve veetaseme alanemise põhjuseks peetakse Vasavere veehaaret ja Pannjärve liivakarjääri (Vallner, 1987; Erg, 1987; Punning 1994; Vainu, 2011). Vasavere veehaare renoveeriti ja avati juulis 2012. Peale renoveerimist ammutati puurkaevudest paaril kuul maksimaalne lubatud päevane kogus (8000m^3), kuid keskmine veevõtt on jäänud $6000\text{--}70000\text{m}^3$ piiresse. Enne renoveerimist jäi veevõtt 5000m^3 piiresse ööpäevas. (Karise *et al.*, 2008) Järvede veetase oli 2010. aastaks tõusnud 1973. aasta veetasemest kõrgemaks. Peamiselt tänu amortiseerunud veehaarde tootlikkuse vähenemisele ja valgalalt pärit sissevoolule. Peale veehaarde renoveerimist tähendati kohest mõju ka Ahne-, Kuradi- ja Martiska järve veetasemele. (Terasmaa *et al.*, 2013) Järvede veemahu sarnase vähenemise võimalik põhjustaja on Vasavere veehaarde suurenenud veevõtt. Järvede erineva suurusega valgalad kompenseerivad osaliselt põhjaveetaseme alanemise tulemusena toimunud veetaseme alanemist.

5.3 Tulemuste võimalikud ebakõlad

Kurtna järvestiku järvede veetase on viimase 70-ne aasta jooksul muutunud küllaltki erinevalt. Veetaseme muutuste erinevus on tingitud eelkõige mõjuteguri kaugusest ja intensiivsusest, järve ruumalast, pindalast, valgala suurusest ja valitsenud ilmastiku tingimustest. Puuduliku ja aegunud andmestiku tõttu ei ole võimalik arvestada kliimaatiliste tegurite mõju järvede veetaseme muutustele.

Järelduste ja arutelu aluseks võeti kirjanduses leiduvad andmed järvestikus toimunud muutuste kohta. Lisaks mõõdistati käesoleva töö raames 17-ne järve sügavused ja arvutati morfomeetrilised andmed mis vastavad 2014. aasta välitöödel olukorrale. Mõõdistamise meetodika vastas üldlevinud järvede sügavuse mõõdistamise meetodikale. Kasutatud kajaloodi mõõtmise tulemused erinesid osalt nõör-raskuse meetodil saadud tulemustest. Erinevaid mõõtmistulemusi võrreldi ja kajaloodi andmetele lisati parand, mis täpsustab mõõtmistulemusi ja võimaldab paremini kõrvutada varasemaid maksimaalse sügavuse andmeid. Järvede veetaseme näidud pärinevad osaliselt 2014. aastast ja vastavad mõõdistamise hetkel valitsenud veeseisule. Teine osa veetaseme andmeid pärineb LiDAR andmestikust, mis pärineb 2009. aasta kevadest. LiDAR andmestiku suhtuti pigem skeptiliselt, kuna veetaseme määramisel ei ole tegemist absoluutse täpsusega andmestikuga ja esines ebakõlasid.

KOKKUVÕTE

Kurtna järvestik on viimase poole sajandi vältel talunud tugevat inimõju ning sellest tingitud muutuseid. Veetaseme alanemine on muutnud järvede toitelisust, kiirendades järvede eutrofeerumist ja järvede täielikku kinni kasvamist.

Töös uuriti Kurtna mõhnastikus asuva 20-ne järve sügavusi ja nende veetaseme ja sügavuse muutumist viimase 70-ne aasta jooksul. Töö käigus kaardistati 17 järve sügavused, lisaks uuendati Ahne-, Kuradi- ja Martiska järve veetaseme andmeid ja morfomeetrilisi näitajaid lähtuvalt varasemalt läbi viidud mõõdistamistest. Varasemad sügavusandmed puudusid täielikult või oli tegemist juhuslike mõõtmistega – Ahven-, Must-, Niinsaare, Suure Lina- ja Särgjärve puhul. Järvede sügavusandmete kogumiseks mõõdistati järvede sügavused kajaloodiga. Kogutud andmete põhjal koostati järvede batümeetrilised kaardid ja arvutati morfomeetrilised parameetrid.

Töös anti ülevaade järvede sügavuse mõõdistamise meetodikast ja erinevatest mõõtevahenditest. Eraldi peatükina kirjeldati uurimisala ja peamisi Kurtna järvi mõjutavaid tegureid.

Antud töös uuritud järvede sügavuse ja veetaseme muutusi oli võimalik siduda järvede valgatal toimunud muutustega. Olenevalt järve paiknemisest mõhnastiku ja survetegurite suhtes, olid järvede veetaseme muutused küllaltki erinevad.

Töö käigus mõõdistatud järvedest kõige rohkem on langenud veetase viimase 70-ne aasta jooksul Liivjärves. Peamiseks veetaseme alanemise põhjustajaks peetakse Sirgala karjääri ja Oru turbaväljasid. Liivjärvest 500 meetrit lääne pool asuva Rääkjärve veetase on lisaks Sirgala ja Oru turbaväljade mõjule langenud Ahtme kaevanduse mõjul. Suurima omavahel ühenduses oleva järvede rühma moodustavad Konsu veehaardesse jäävad järved. Veehaarde rajamisega 1952. aastal alandas veetaseme peamiselt Nõmmejärves, Särgjärves ja Ahvenjärves. Peale 1970. aastaks valminud Raudi kanalit ja kraave langes veetase kõigis praeguse Konsu veehaarde järvedes. Järvede veetase on alanenud 0,5–1,6 meetri võrra. Suurim veetaseme alanemine toimus Niinsaare-, Must- ja Suurjärves. Veetaseme alanemine on põhjustanud järvesisese suurtaimestiku vohamise, mis omakorda kiirendab järvede kinnikasvamist.

Mitme järve veetase on püsinud viimase 70-ne aasta jooksul stabiilne. Mõnel juhul on veetase taastunud 1946. aasta tasemele, mida peetakse Kurtna järvede puhul loodusliku veeseisu perioodiks. Näiteks on oma loodusliku veetasemele üsna lähedal Saarejärv, osalt ka Aknajärv, Valgejärv, Peen-Kirjakjärv ja Haugjärv. Kuigi aja jooksul on kõigi nende järvede veetase suuremal või vähemal määral ajutiselt alanenud on 2014. aasta seisuga veetase nendes järvedes stabiilne. Väikesed veetaseme muutused on reeglina toimunud järvedes millel puudub väljavool või varasem looduslik väljavool on kinni kasvanud ning väljavoolu enam ei toimu. Erandiks on Ahne-, Kuradi- ja Martiska järved mõhnastiku keskosas – umbjärved mille veetase on aja jooksul olnud isegi ligi 4 meetrit madalam looduslikust veeseisust. Nende järvede veetaseme alanemise põhjustajaks on Vasavere veehaarde mõju.

Arutelu käigus seostati järvede veetaseme muutused piirkonnas aset leidnud sündmustega. Samuti püstitati hüpotees Peen-Kirjakjärve ja Suur-Kirjakjärve järvenõo muutust ja sügavuse vähenemist põhjustanud sette päritolu osas. Järvede veetasemete muutuste võimalike põhjuste kirjeldamine on raskendatud seoses andmestiku vähesuse ja suure lünklikkuse tõttu. Kõiki mõhnastiku järvi hõlmavaid uuringuid on tehtud suure intervalliga ja viimane pärineb enam kui kahekümne aasta tagusest ajast.

SUMMARY

Lakes morphometry changes during 1946–2014 in The Kurtna Lake District

Taavi Taavita

The Kurtna Lake District is located in northeast Estonia. This area consists about 40 lakes in various shapes and sizes. Lakes are very different – six main types of lakes common in Estonia are represented in Kurtna. Kurtna landscape is influenced by human activity in many ways. The Kurtna Lake District is an important recreation area. Not far from the lakes are located several oil shale quarries and mining sites, peat fields, groundwater extraction for drinking water is located in the middle of the Kurtna Lake District. The Kurtna Landscape Protection Area was founded in 1987 in order to protect landscape, lakes, natural habitats, and rare species.

The objectives of present work were:

- to measure lake depths in the 17 lakes located in Kurtna Lake District;
- to make bathymetrical maps from the studied lakes and calculate morphometric measurements;
- to collect and analyze lake depth and water-level changes over the past 70 year
- to provide the elements that caused water level changes.

Water-level has dropped in many The Kurtna Lake District lakes. In current thesis sonar-based bathymetric maps of the lakes were made by using GIS-software (ArcMap). From bathymetric maps were calculated several measurements that are important to understand lake system functioning. For example lake surface area, maximum length, maximum and mean width, maximum and mean depth, shoreline length and development, volume and relative depth. Collected data was compared with previous information and conclusions were made.

Results show that water-level changes are strongly affected by human activity near and at The Kurtna Lake District. Some factors have bigger and long lasting influence to water-level. Konsu and Raudi channel system changed L. Suurjärv, L. Niinsaare, L. Mustjärv, L. Nõmmejärv, L. Särgjärv, L. Ahvenjärv and L. Peen-Kirjakjärv natural water-level balance. Many channels were dug between closed-basin lakes, dropping water-level at least 1 meter.

Lake Liivjärv water-level dropped 2,85 m during 1960–2014. Mainly due to Sirgala quarry and Oru peat field. Lake water was also used in 2006 to put out forest fire next to the lake. Lake Rääkjärv, not far from L. Liivjärv, water-level dropped about 0,7 meters due to the Ahme oil shale mining site in the northwest. Quite big water-level change is also occurred in L. Suur-Kirjakjärv and L. Jaala järv.

Small closed-basin lakes (L. Ahenjärv, L. Kuradijärv and L. Martiska) main reason for water-level drop is the groundwater abstraction from the Vasavere wells. Water-level raised until 2012. After renovations in Vasavere wells the water-level started to drop again.

The study showed that the biggest human impact started from the 1960s. Some small changes caused by different factors took place even earlier, but lakes natural water-level remained unchanged at least till 1946.

KASUTATUD KIRJANDUS

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

Bloesch, J. 2004. Sedimentation and Lake Sediment Formation. In *The Lakes Handbook. Volume 1. Limnology and Limnetic Ecology* (O`Sullivan, P. E & Reynolds, C. S., eds). pp. 197–229. Blackwell Science Ltd, Australia.

DeWitt, N.T. Flocks, J.G. Hansen, M. Kulp, M. Reynolds, B.J. 2007. *Bathymetric Survey of the Nearshore from Belle Pass to Caminada Pass, Louisiana: Methods and Data Report*. U.S. Geological Survey, Virginia.

Dierssen, H. M. & Theberge, A. E. 2012. *Bathymetry: History of Seafloor Mapping*. Encyclopedia of Natural Resources. Taylor and Francis Group, New York.

Erg, K., & Ilomets, M. 1989. Mäetööde mõju Kurtna järvede veetasemele – seisund ja prognoos. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng II* (Ilomets, M., ed). pp. 47–54. Valgus, Tallinn.

Fee, E. J. 1979. A relation between lake morphometry and primary productivity and its use in interpreting whole-lake eutrophication experiments. In *Limnology and Oceanography*, **24**, 3, 401–416.

Hakanson, L. & Jansson, M. 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin.

Hutchinson, G. H. 1957. *A Treatise on Limnology. Volume I. Geography, Physics, and Chemistry*. Wiley, New York.

IHO, 2005. *Manual on hydrography*. 1. Edition. Publication M-13. International Hydrographic Bureau, Monaco.

Ilomets, M., Paalme, G., Punning, J.-M. 1987. Kurtna järvestiku seisund – uurimise eesmärk, strateegia ja võimalused. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 8–15. Valgus, Tallinn.

- Imboden, D. M. 2004. The Motion of Lake Waters. In *The Lakes Handbook. Volume 1. Limnology and Limnetic Ecology* (O'Sullivan, P. E & Reynolds, C. S., eds). pp. 115–152. Blackwell Science Ltd, Australia.
- Johansson, H. Brolin, A. A Hakanson, L. 2007. New Approaches to the Modelling of Lake Basin Morphometry. *Environmental Modeling & Assessment*, **12**, 3, 213-228.
- Kallejärvi, T. 1974. Uut Eesti järvede sügavuses. *Eesti Loodus*, **4**, 241–244.
- Karise, V. Metsur, M. Perens, R. Savitskaja, L. Tamm, I. 2004. *Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse*. Maves AS, Tallinn.
- Karofeld, E. Vellak, K. Marmot, L. Paal, J. 2007. Aluselise õhusaaste mõjust Kirde-Eesti rabadele. *Metsanduslikud Uurimused*, **47**, 47–70.
- Karukäpp, R. 1987. Mandrijää Kurtna maastike kujundajana. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 21–24. Valgus, Tallinn.
- Kask, I. 1964. *Eesti NSV järvede nimestik*. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn.
- Kink, H. 2004. *Loodusmälestised. Ida-Virumaa*. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn
- Kink, H. 2006. *Veeobjektid „Eesti ürglooduse raamatus“*. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
- Kont, A., & Arold, I. 1987. Kurtna mõhnastiku reljeefi põhijooni. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 25–31. Valgus, Tallinn.
- Kullus, L-P. 1969. Milline on Peipsi järve suurim sügavus? *Eesti Loodus*, **9**, 560-561.
- Kullus, L-P. 1987. Kurtna järvestiku nelja järve morfomeetrilised karakteristikud kordusloodimise andmetel. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 140–143. Valgus, Tallinn.
- Kurtna maastikukaitseala kaitsekorralduskava 2015–2024. 2015. Keskkonnaamet.

- Kõiv, T. & Ott, I. 2011. Sissejuhatus järveteaduse alustesse ja järvede tervendamisse. In *Järvede tervendamine*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus, Tartu.
- Laigna, K. & Kala, V. 2001. *Hüdrograafia*. Eesti Mereakadeemia, Tallinn.
- Levec, F. & Skinner, A. 2004. *Manual of Instructions Bathymetric Surveys*. Ministry of Natural Resources.
- Lowrance. 2004. *LMS-332C & LMS-337C DF Fish-finding Sonar & Mapping GPS Installation and Operation Instructions*. Lowrance Electronics Inc, USA.
- Löffler, H. 2004. The Origin of Lake Basins. In *The Lakes Handbook. Volume 1. Limnology and Limnetic Ecology* (O'Sullivan, P. E & Reynolds, C. S., eds). pp. 8–60. Blackwell Science Ltd, Australia.
- Mäemets, A. 1968. *Eesti järved*. Valgus, Tallinn.
- Mäemets, A. 1974. Mis on järve sügavus. *Eesti loodus*, **4**, 245–247.
- Mäemets, A. 1977. *Eesti NSV järved ja nende kaitse*. Valgus, Tallinn.
- Mäemets, A. & Teder, A. 1987. Kurtna vähetoiteliste järvede suurtaimestiku (makrofloora) muutustest viimastel aastakümnetel ja selle nüüdiseisund. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 127–132. Valgus, Tallinn.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2014. *NOS hydrographic surveys specifications and deliverables*. U.S. Department of Commerce.
- O'Sullivan, P. 2004. Palaeolimnology. In *The Lakes Handbook. Volume 1. Limnology and Limnetic Ecology* (O'Sullivan, P. E & Reynolds, C. S., eds). pp. 609–666. Blackwell Science Ltd, Australia.
- Ott, I. & Kõiv, T. 1999. *Eesti väikejärvede eripära ja muutused*. Tallinna Raamatutrükikoda, Tallinn.
- Ott, I. 2006. *Eesti väikejärvede seire 2006. a*. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu.

- Ott, I. 2010. *Eesti väikejärvede seire 2010. a.* Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu
- Ott, I. 2014. *Eesti väikejärvede seire 2014. a.* Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu
- Perens, R. Savitski, L. Savva, V. Truu, M. Häelm, M. Jastsuk, S. 2010. *Eesti põlevkivimaardla põhjaveevarule hinnangu andmine.* Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Puura, V., Tavast, E., Vaher, R. 1987. Kurtna ümbruse aluspõhja struktuur ja reljeef. In *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 15–21. Valgus, Tallinn.
- Riikoja, H. 1930. *Zur Morphometrie einiger Seen Eestis.* Tartu.
- Riikoja, H. 1934. *Eesti järvede nimestik.* Loodusuurijate Seltsi kirjastus, Tartu.
- Risser, P. G. 1995. The Status of the Science Examining Ecotones. *BioScience*, **45**, 5, 318–325.
- Rooma, I. 1987. Kurtna mõhnastiku mullastikust. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 37–40. Valgus, Tallinn.
- Saarse, L. 1987. Kurtna järvestiku geoloogiline areng ja järvesetete koostis. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 55–61. Valgus, Tallinn.
- Sagris, A. 1989. Kaevandusvete mõjust Kurtna järvestikule. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 122–133. Valgus, Tallinn.
- Sepp, M. & Pensa, M. 2009. Põlevkivisaaga Narva karjääri maadel. *Eesti Loodus*, **6**, 14–19.
- Tamre, R. 2006. *Eesti järvede nimestik. Looduslikud ja tehisjärved.* Keskkonnaministeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tallinn.
- Tartes, U. 2001. *Eesti väikejärvede monitoring 2001. a.* EPMÜ Zooloogia ja Botaanika Instituut, Tartu.

- Terasmaa, J. 2004. Settimisrežiimi määravad tegurid ja nende analüüs kahes Eesti väikejärves. In *Geoökoloogilisi uurimusi. TPÜ Ökoloogia Instituudi publikatsioonid 8* (Kadastik, E., Punning, J.-M., eds). pp. 36–60. Tallinna Pedagoogikaülikooli Kirjastus, Tallinn.
- Terasmaa, J. 2012. Aeg, Ruum ja Paleolimnoloogia. In *Jaan-Mati Punning ja Tema Aeg* (Kangur, M. & Raukas, A., eds). pp. 57–87. Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut, Tallinn.
- Terasmaa, J., Vaasma, T., Vandell, E., Puusepp, L., Vainu, M., Mikomägi, A. 2013. Kurtma MKA järvedes toimuvad muutused seoses intensiivsete veebilansi ja hüdrokeemia muutustega. In *Eesti XII ökoloogiakonverents "Eesti teadus- ja arendustegevuse konkurentsivõime"*. Tartu.
- Timm, T. 2014. *Eesti sisevete hüdrobioloogia ajaloost*. Eesti Loodusuurijate Selts, Tartu.
- Tseban, E. 1975. *Eesti NSV põhjavesi ja selle kasutamine*. Valgus, Tallinn.
- Umbach, M. J. 1976. *Hydrographic Manual. Fourth Edition*. U.S. department of commerce.
- US Army Corps of Engineers. 2013. *Hydrographic Surveying*. Department of the army. Washington, DC.
- Vallner, L. 1987. Põhjavee bilanss ja selle tehismõjurid Kurtna mõhnastikus. In: *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 72–78. Valgus, Tallinn.
- Vesiloo, P. 1987. Põlevkivikaevandamise edasisest mõjust Kurtna järvestiku veerežiimile. In *Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng* (Ilomets, M., ed). pp. 85–90. Valgus, Tallinn.
- Ward, J.K. 2007. *Volumetric Survey of lake Jacksonville*. Texas Water Development Board, Austin.
- Ward, J.K. 2009. *Volumetric and Sedimentation Survey of Navarro Mills lake*. Texas Water Development Board, Austin.
- Welch, P. S. 1948. *Limnological Methods*. Blakston, Toronto.

Wetzel, R. G. & Likens, G. E. 1995. *Limnological Analyses*. Springer-Verlag, New York.

Winter, T. C. 2004. The Hydrology of Lakes. In *The Lakes Handbook*. (O'Sullivan, P. E & Reynolds, C. S., eds). pp. 61–78. Blackwell Science Ltd, Carlton.

Käsikirjalised materjalid

Pallo, S. 1977. *Kurtna järvestik*. Diplomitöö, Tartu Ülikool. Asukoht TLÜ Ökoloogia Instituut.

Pöder, T., Riet, K., Savitski, L., Domanova, N., Metsur, M., Ideon, T., Krapiva, A., Ott, I., Laugaste, R., Mäemets, A., Mäemets, A., Toom, A., Lokk, S., Heinsalu, A., Kaup, E., Künnis, K., Jagomägi, J. 1996. *Keskkonnaekspertiis. Kurtna piirkonna tootmisalade mõju järvestiku seisundile*. AS Ideon & Ko, Tallinn. Asukoht TLÜ Ökoloogia Instituut

Vainu, M. 2011. *Häiringute peegeldused järvede veebilansis Kurtna järvestu kolme umbjärve näitel*. Magistritöö, Tallinna Ülikool. Asukoht TLÜ Loodusteaduste Osakond.

Vassiljev, 1988. *Kurtna topograafilised kaardid*. Asukoht TLÜ Ökoloogia Instituut.

Interneti allikas:

EELIS (Eesti Looduse Infosüsteem - Keskkonnaregister): Keskkonnaagentuur. [WWW] <http://loodus.keskkonnainfo.ee/WebEelis/infoleht.aspx>. (20.05.2015)

Maa-ameti kaardiserver. 2015. *Maa-ameti geoportaal*. [WWW]

<http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis> (20.05.2015)

Juriidiline akt:

Kurtna maastikukaitseala kaitse-eeskiri. 2005. Riigi Teataja I, 30, 220. <https://www.riigiteataja.ee/akt/13291255> (20.05.2015)