



# **Maardu järve setete orgaanilise aine põhine paleokeskkonna rekonstruktsioon**

Magistritöö

Üliõpilane: Anu Sihv (191943LARM)  
Juhendaja: Atko Heinsalu, vanemteadur, PhD  
Kaasjuhendaja: Merlin Liiv, juhtivinsener, PhD  
Õppekava: Maapõueressursid (LARM18/18)

Tallinn 2021

## Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Anu Sihv

[digiallkiri ja kuupäev]

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Juhendajad: Vanemteadur Atko Heinsalu

Juhtivinsener Merlin Liiv

[digiallkiri ja kuupäev]

[digiallkiri ja kuupäev]

Töö on lubatud kaitsmisele.

Kaitsmiskomisjoni esimees: [nimi]

[digiallkiri ja kuupäev]

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Anu Sihv

1. 1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Maardu järve setete orgaanilise aine põhine paleokeskkonna rekonstruktsioon“, mille juhendaja on Atko Heinsalu ja kaasjuhendaja Merlin Liiv,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

03.06.2021

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

## Sisukord

Annotatsioon	6
Abstract	7
Jooniste loetelu	8
Tabelite loetelu	10
Kasutatud lühendite ja mõistete loetelu	11
1. Sissejuhatus	12
2. Uurimisala tutvustus	14
2.1. Maardu järv	14
2.2. Maardu järve valgala	15
2.3. Arheoloogia	15
2.4. Maardu järve setted	16
3. Järvesette orgaaniline aine	17
4. Metoodika	19
4.1. Välitöö	19
4.2. Kronostratigraafia	20
4.3. Orgaanilise aine koostis	20
4.3.1. Kuumutuskadu (LOI)	20
4.3.2. C <sub>org</sub> ja N <sub>üld</sub> massiprotsent	23
4.4. Täiendavad meetodid	26
4.5. Numbriline analüüs	27
5. Tulemused	28
5.1. Settekirjeldus	28
5.2. Setete koostis	30
5.3. Kronostratigraafia	31
5.4. Täiendavad andmerealad	31
5.5. Numbriline analüüs	35
6. Arutelu	39
6.1. Osake Läänemerest (11700-10700 a tagasi)	39
6.2. Maardu järve teke ja esimene aastatuhat (10600-9300 a tagasi)	40
6.3. Maardu järve looduslik arenguetapp (9300-3700 a tagasi)	41

6.4. Inimtegevus mõjutab Maardu järve (3700-0 a tagasi)	42
6.5. Järve taassünd (alates 1950. a)	43
6.6. Maardu järve setete orgaaniline aine kui paleoindikaator	44
Kokkuvõte	47
Tänuavaldused	49
Kasutatud kirjandus	50
Lisa 1. Maardu järve setteläbilõike LOI analüüsi algandmed	56
Lisa 2. Maardu järve setteläbilõike proovide vanused ning OA, CaCO <sub>3</sub> , ja MA tulemused	59
Lisa 3. Maardu järve setteläbilõike proovide vanused, C <sub>org</sub> , N <sub>üld</sub> ja C/N suhte tulemused	62

## Annotatsioon

Järvesetete koostise põhjal saab uurida järve ja selle valgala ajalugu ning leida muutuste põhjuseid. Järvesetted koosnevad peamiselt orgaanilisest ainest, mineraalainest ja biokeemiliselt sadestunud karbonaatsest koostisosast, mis kõik aitavad mõista sette päritolu ning tekke keskkonda. Järvesetete orgaanilise aine koostise põhjal on edukalt rekonstrueeritud nii Eesti kui ka teiste riikide järvede arengulugusid. Antud töö uurimisobjektiks valiti Maardu järv, mille pärastjäaaegsed setted kajastavad varasemate uuringute põhjal nii kliima-, keskkonnamuutustest kui ka inimtegevusest põhjustatud muutusi. Magistritööl oli kolm põhieesmärki: (1) Maardu järves Holotseenis aset leidnud järvesetete orgaanilise aine muutlikkuse kindlakstegemine; (2) järvesetete orgaanilise aine tulemuste võrdlus teiste bio-, klimato- ja magnetostratigraafia andmeridadega ning (3) Maardu järve 10700 aastase arenguloo rekonstrueerimine.

Maardu järve setteid analüüsiti kõigepealt kuumutuskaotusmeetodil, mille abil sai teada sette orgaanilise aine, mineraalaine ja kaltsiumkarbonaadi sisaldused. Teiseks määrati sette orgaanilise süsiniku ja üldlämmastiku sisaldus ning neid kasutades arvutati C/N suhe. Magistritöös analüüsitud näitajate tõlgendamiseks kasutati interdistsiplinaarset lähenemist ning varasematest uuringutest saadud setete vanuse, õietolmu, magnetiliste parameetrite, räni- ja rohevetikate andmeid ning statistika abil hinnati, kas orgaanilise aine koostise tulemused ühtivad eelnevate andmeridadega.

Klasteranalüüsi põhjal saab Maardu järve arenguloo jagada viide etappi. 10700-10600 a tagasi Joldiamere regressiooni tagajärjel Maardu järve nõgu maismaastus. 10600 a tagasi Antsülusjärve transgressiooni tõttu sündis Maardu järv. Järve valgala taimestik ja pinnas stabiliseerus 9300 a-ni ning seetõttu oli järvevesi mineraalainete rikkam. 9300-3700 a tagasi kestis veekogu looduslik arenguetapp, valgala oli kaetud metsaga, pinnase erosioon puudus ning järv oli vähetoiteline. Alates 3700 a tagasi hakkas maaharimine halvendama järvevee kvaliteeti. 19. sajandi lõpul jooksis järv järve veetaseme reguleerimiseks kaevatud Kroodi kraavi kaudu tühjaks ja maismaastus. 20. sajandi keskpaigas taastati Maardu järv ja veekokku juhiti fosforiidikarjäärade veed, mis tõi kaasa veekvaliteedi languse.

Tööst selgus, et Maardu järvesetete orgaanilise aine, orgaanilise süsiniku ja üldlämmastiku sisaldused on perspektiivsed paleouuringute indikaatorid. Kõik kolm eelmainitud näitajat olid tugevas statistilises seoses õietolmust tuletatud aasta keskmise temperatuuriga, laialehiste puude, rohttaimede ja teravilja õietolmuga, söeosakestega kui ka magnetiliste parameetritega. Samas Maardu järvesetete orgaanilise aine C/N suhe näitas vaid erakordseid loodussündmuseid nagu järve tekkimise eelne maismaastumine ja järve tühjaksjooksmine 19. sajandi lõpul. Pikaajalisemad loodusprotsessid, kliimamuutused ja aastatuhandete pikkune maaharimine valgalaal aga setteläbilõike C/N suhtes ei kajastunud. Kuna Maardu on küllaltki suur järv, siis eelnevast tulenevalt on autori soovitus sette C/N suhet kasutada pindalalt väiksemate järvede arenguloo uurimiseks, kuna seal on suurem tõenäosus tuvastada ka pisemaid muutusi järve valgalaal.

# **Sediment organic matter based paleoenvironmental reconstruction of Lake Maardu over the last 10,700 years**

## **Abstract**

Based on the composition of lake sediments, it is possible to study the history of the lake and its catchment area and find the reasons for the changes. The lake sediment organic matter is a mixture of formerly living limnic organisms from the lake itself and terrestrial biotic remains from its catchment. The research is based on post-glacial lake sediment sequence from Lake Maardu. It was chosen as the object of this work, because earlier research had recorded distinct changes in the history of the lake. The master's thesis had three main objectives: (1) to determine the variability of organic matter in Lake Maardu during the Holocene; (2) comparison of the results of organic matter in lake sediments with other bio-, climate- and magnetostratigraphy proxies and (3) reconstruction of the development of Lake Maardu over the last 10,700 years.

Maardu lake sedimentary record was first analysed by the loss-on-ignition method to determine the sediment organic matter, mineral matter and calcium carbonate content. Secondly, the sediment organic carbon and total nitrogen content were determined and used to calculate the C/N ratio. The multi-proxy approach was applied to reconstruct the evolution of the lake and its catchment area including also the stratigraphic evidence from previous studies such as chronology, pollen, magnetic parameters, diatoms and green algae. In addition, statistical analyses were implemented in the paleoreconstruction.

Based on the cluster analysis, the development of Lake Maardu can be divided into five different stages. As a result of the regression of the Yoldia Sea, the basin of Lake Maardu became terrestrial at 10,700-10,600 years before present (BP). The Ancylus Lake transgression at 10,600 years BP caused the formation of the lake. The establishment of vegetation and soil stabilisation in the lake catchment area occurred until 9,300 years BP and the lake water had relatively high mineral content. In between 9,300-3,700 years BP, the lake was in its natural status, climate was warmer than at present, the catchment area was covered with broad-leaved forest, no soil erosion occurred and the lake water had low nutrient concentrations. Since 3700 years BP early farming activities in the vicinity of the lake are recorded as increased catchment topsoil erosion and higher nutrient content in the lake. At the end of the 19th century, the lake was drained and the bottom of the lake became dry. In the 20th century Lake Maardu was restored and the water from phosphorite quarries was discharged into the lake, which led to a deterioration of the water quality.

Current study indicated that the sedimentary variables of Lake Maardu record such as organic matter, organic carbon and total nitrogen content integrate the signals of lake evolution, climatic and hydrological changes throughout the Holocene as well as long-term rural land use practices in the surrounding of the lake. However, sediment organic matter C/N ratio captured only extraordinary events, such as regression of the Yoldia Sea and terrestrialisation of the lake depression as well as the man-made drainage of the lake. Long-term natural processes and also millennia-long agricultural land use in the catchment area were not reflected in the sediment C/N ratio, possibly due to large lake surface area.

## Jooniste loetelu

**Joonis 1.** Maardu järve ja puuritud setteläbilõike asukoht. Aluskaart: Maa-amet, 2021.

**Joonis 2.** Järve orgaaniliste setete allikad: maismaataimed, õietolm, söeosakesed, järve siseproduksioon, põllumajandus-karjakasvatus, punktreostus. Originaaljoonis pärineb Mills jt. (2016).

**Joonis 3.** Maardu järve setete ülemine osa Willneri setteproovivõtjas.

**Joonis 4.** Laboris proovide võtmine sette puursüdamikust.

**Joonis 5.** Maardu järve setete litoloogia ja sette läbilõikest võetud LOI ning  $C_{org}$  ja  $N_{üid}$  analüüside proovide tasemed.

**Joonis 6.** Tiiglitesse asetatud setteläbilõike proovid.

**Joonis 7.** Kuivatatud proovide ja teraskuulide lisamine mikrokatsutitesse.

**Joonis 8.** Hõbetopside asetamine koos proovidega kuumutusosalusele.

**Joonis 9.** Maardu järve setteläbilõike ülemine osa plastrennis, nähtav on lendmuda ja kamarakihi piir.

**Joonis 10.** Maardu järve setteläbilõike alumine osa puurkannus, nähtav on järvemuda, turba(mulla)kiht ning liiv.

**Joonis 11.** Maardu järve sette OA,  $CaCO_3$ , MA sisaldus ning OA elementkoostis.

**Joonis 12.** Maardu järve õietolmuandmestik ja Raigastvere järve õietolmust tuletatud aasta keskmine temperatuur koos Maardu järve setteläbilõike OA ja C/N suhte graafikutega.

**Joonis 13.** Maardu järve setteläbilõike magnetiliste parameetrite graafikud (Sandgren, 1993) koos OA ja C/N suhtega.

**Joonis 14.** Maardu järve setteläbilõike algohevetikate graafikud koos OA ja C/N suhtega.

**Joonis 15.** Maardu järvesetete ränivetikadiagramm (%) koos OA ja C/N suhtega.

**Joonis 16.** Maardu järve setteläbilõike OA korrelatsioon teiste setteparameetritega.

**Joonis 17.** Maardu järve arengus eristub klasteranalüüsi abil viis erinevat arenguetappi.

**Joonis 18.** Maardu järve setteläbilõike tulemuste peakomponendi analüüs. Eri värviga on tähistatud klasteranalüüsi põhjal välja eristunud järve arenguetapid. Numbrid näitavad proovide vanust (a tagasi 0=1950). Musta värviga on kirjutatud analüüsitud setteparameetrid.



**Joonis 19.** Joldiamere paleogeograafiline rekonstruktsioon 10700 a tagasi. Halli tooniga on märgitud vesi ja roheline tooniga maismaa. Pruunid isobaasid näitavad modelleeritud veetaseme kõrgust meetrites üle tänapäevase merepinna (J. Vassiljevi koostatud joonis).

**Joonis 20.** Antsülusjärve paleogeograafiline rekonstruktsioon 10200 a tagasi. Halli tooniga on märgitud vesi ja roheline tooniga maismaa. Pruunid isobaasid näitavad modelleeritud veetaseme kõrgust meetrites üle tänapäevase merepinna kõige madalam veetase (J. Vassiljevi koostatud joonis).

**Joonis 21.** Maardu järvesetete OA ja C/N suhte omavaheline korrelatsioon looduslikus (10700 - 3700 a tagasi) ja inimõju (3700 a tagasi - tänapäev) staadiumis.

## Tabelite loetelu

**Tabel 1.** Maardu järve detailne setteläbilõike kirjeldus.

**Tabel 2.** Maardu järve  $^{14}\text{C}$  dateering.

**Tabel 3.** Lineaarsed korrelatsioonikordajad magistritöös kasutatud andmete vahel. Rasvases kirjas on välja toodud kordajad, mille  $p < 0,05$ .

## Kasutatud lühendite ja mõistete loetelu

$^{14}\text{C}$  – radiosüsinik

AMS – massispektromeetriline meetod, *Accelerator Mass Spectrometry*

$\text{CaCO}_3$  – kaltsiumkarbonaat

C/N – orgaanilise süsiniku ja üldlämmastiku suhe

$\text{C}_{\text{org}}$  – orgaaniline süsinik

eKr – enne Kristust

HIRM – setete magnetiline parameeter, *High Induced Remanent Magnetisation*

LOI – kuumutuskadu, *loss-on-ignition*

MA – mineraalne aine

$\text{N}_{\text{üld}}$  – üldlämmastik

OA – orgaaniline aine

PCA – peakomponentanalüüs, *Principal Component Analysis*

pKr – pärast Kristust

SIRM – setete magnetiline parameeter, *Saturation Isothermal Remanent Magnetisation*

## 1. Sissejuhatus

Siseveekogud, sealhulgas järved on olulised elupaigad ja veereservuaarid, vajalikud kalanduse ja transpordi jaoks, ujumiseks ja sportimiseks. Järved arenevad nii sisemiste kui ka väliste tegurite mõjul – seetõttu toimub ka vee kvaliteedi muutus ajas. Paleolimnoloogia uurib järvede ajalugu ja arengut, mida on mõjutanud lisaks kliima- ja keskkonnamuutustele ka inimtegevus ning mis kajastub järvesetetes ja nende keemilises koostises (Meyers ja Ishiwatari, 1993). Järvesetted koosnevad peamiselt orgaanilisest ainest (OA), mineraalsest purdmaterjalist ja biokeemilisest koostisosast.

Järves settinud OA pärineb järves ja selle valgalal elanud organismidest (Meyers ja Teranes, 2001), suurema osa OA-st moodustavad vaskulaarsete ja mittevaskulaarsete taimede jäänused (Meyers ja Ishiwatari, 1993). Järvesetetes OA hulga määramiseks kasutatakse kuumutuskaotuse meetodit (*loss-on-ignition*, LOI), mis on tehniliselt lihtsasti läbiviidav (Meyers ja Teranes, 2001). LOI sobib hästi OA rikka sette koostise määramiseks (Heiri jt., 2001).

OA elementkoostise orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) ja üldlämmastiku ( $N_{üld}$ ) (C/N) suhe on paleolimnoloogilistes uuringutes leidnud edukat kasutust OA päritolu määramisel (Kaushal ja Binford, 1999; Meyers ja Teranes, 2001; Liiv jt., 2019; Pędziszewska jt., 2015; Wohlfarth jt., 2006). C/N suhte väärtus võimaldab kindlaks teha, kas OA pärineb veekogu enda produktsioonist või on see sisse kantud maismaalt. Järvesisene produktsioon on tänu tselluloosi puudumisele lämmastikurikas, maismaataimede puitjad koed on aga süsinikurikkad.

Paleolimnoloogias on tavapärane interdistsiplinaarne lähenemine ja teatakse selle olulisust järvede ja neid ümbritsevate alade keskkonna- ja kliimamuutuste rekonstrueerimisel (Liiv, 2018). Minu kaasjuhendaja Merlin Liivi üks varasem uurimus käsitles Läti hilisjäaegsetesse järvesetetesesse mattunud OA koostist ja päritolu. See uurimus näitas, et OA parameetrid korreleeruvad tugevalt kliimamuutuste, taimestiku arengu kui ka veekogu hüdroloogiliste muutustega (Liiv jt., 2019).

Maardu järve on mõjutanud kliimamuutused (Veski, 1998), inimasustuse areng ja maaharimise algus (Veski ja Lang, 1996) ning fosforiidi kaevandamine (Salu jt., 2019; Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, 2017), mistõttu on Maardu järve vee kvaliteet praegusel hetkel kesine (Salu jt., 2019). Iga järv reageerib välistele teguritele erinevalt – mõni järv võib negatiivse mõju tagajärjedest taastuda, mõni mitte. Kasutades aga järvesetetesesse salvestunud informatsiooni ja seeläbi vaadata mineviku sündmusi, on võimalik osaliselt ennustada tänapäeva ja tuleviku muutusi ning suundi.

Minu magistritöö sihiks on vaadelda OA muutusi Maardu järve setetes pärastjäaegsete kliima ja inimtegevuse sündmuste tähenduses. Maardu järv on uurimisobjektiks, kuna seda on varasemalt uuritud öietolmuanalüüsi (Veski, 1996, 1998), radiosüsiniku dateeringute (Veski, 1998), ränivetikate (Sakson, 1996), algrohevetikate (Veski, 1994), magnetiliste omaduste (Sandgren, 1996) ja LOI (Heinsalu, 1996) abil, kuid ei olnud veel põhjalikult analüüsitud järvesetete OA elementaarkoostist. Eelnevast tulenevalt on tööl kolm põhieesmärki:

- (1) Maardu järves 10700 aasta jooksul aset leidnud OA muutlikkuse kindlakstegemine;
- (2) OA tulemuste võrdlus teiste bio-, klimato- ja magnetostratigraafia andmeridadelega;

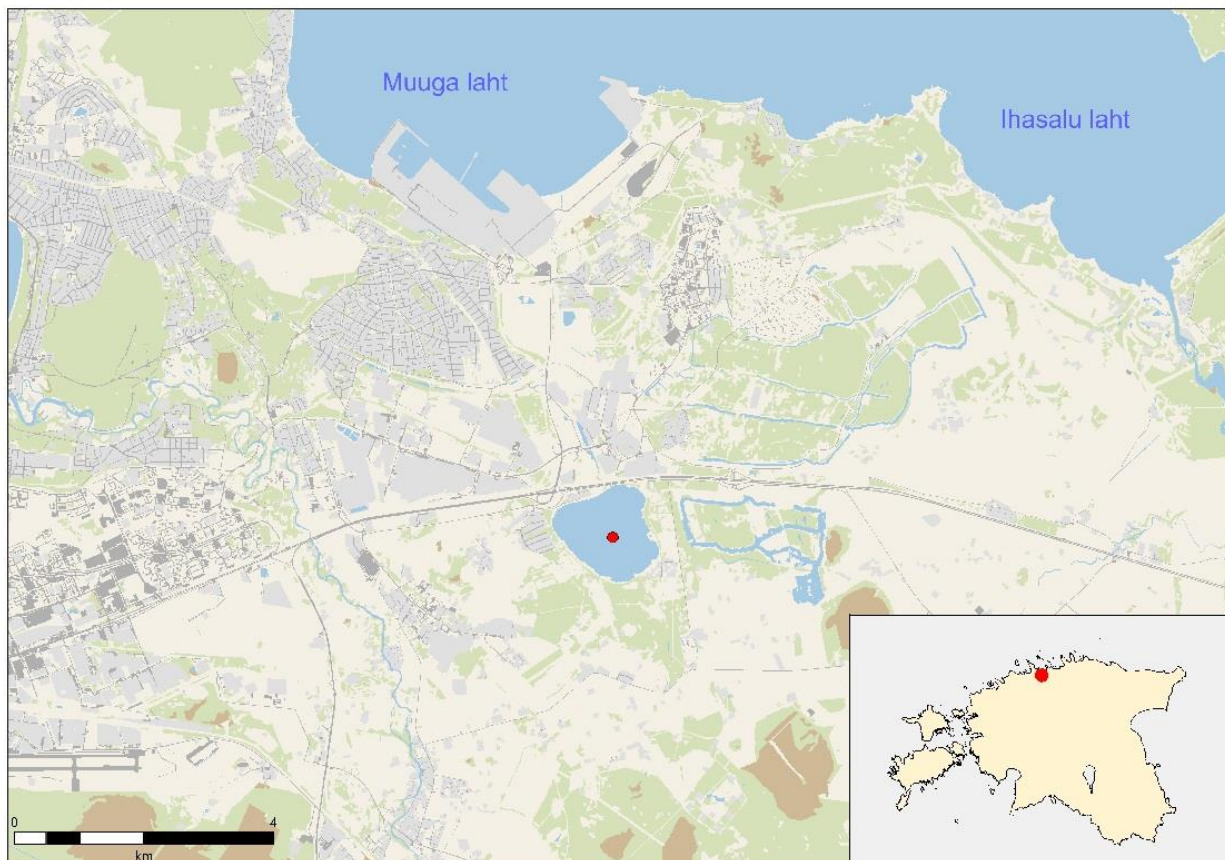
(3) Maardu järve arenguloo rekonstrueerimine.

Magistritöö tegemise jaoks võtsin Maardu järvest ühe 5,5 m pikkuse setteläbilõike. Selle analüüsimiseks kasutasin LOI meetodit sette OA, kaltsiumkarbonaadi ( $\text{CaCO}_3$ ) ja mineraalaine (MA) koguse teada saamiseks. Seejärel leidsin  $C_{\text{org}}$  ja  $N_{\text{üld}}$  massiprotsendid, millest arvutasin C/N suhte. Magistritöö arutelus olen oma tulemuste interpreteerimisel kasutanud võrdluseks Per Sandgreni magnetostratigraafilisi, Atko Heinsalu ränivetikate ning Siim Veski rohevetikate ja õietolmuanalüüsi tulemusi.

## 2. Uurimisala tutvustus

### 2.1. Maardu järv

Maardu järv asub umbes 3,5 km Tallinna piirist idas Tallinn-Narva maantee ääres (joonis 1). Järve pindala on 161,8 ha, pikkus 1,4 km, laius 920 m, suurim sügavus 3,7 m ja keskmine sügavus 1,5 m (Veekogu..., i.a). Järvenõo profiil on ühtlane ja lame (Salu jt., 2019). Järvel on viis inimese poolt rajatud sissevoolu – peamine sissevoolu koht on lõunapoolne kraav, looduslikud sissevoolud puuduvad (Laarmaa jt., 2019; Salu jt., 2019). Väljavool toimub järve põhjaosas Kroodi oja kaudu, mis suubub Muuga lahte (Laarmaa jt., 2019; Salu jt., 2019). Järv toitub sademetest ning vesi vahetub järves kord aastas (Laarmaa jt., 2019). 2020. a seisuga on Maardu järve ümbruse aasta keskmine temperatuur 8,2 °C, juuli keskmine temperatuur 16,1 °C, veebruari keskmine temperatuur 1,5 °C, aasta keskmine sademete hulk 857 mm (Riigi Ilmateenistuse..., i.a(a,b)). Järve veetase on keskmiselt 33 m üle merepinna (Laarmaa jt., 2019), kuid see sõltub suuresti sademete hulgast – 2017. a uuringu käigus varieerus järv veetase u 0,5 m (Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, 2017).



**Joonis 1.** Maardu järve ja puuritud setteläbilõike asukoht. Aluskaart: Maa-amet, 2021.

Järvevesi on sulfaatide- ja hapnikurikas, aluseline ning keskmise toitainete sisaldusega. Maardu järves on umbes 31 suurtaime liiki – suurem osa järvepõhjast on kaetud määndvetikaga (*Chara* spp.), kalda läheduses

levib ka pilliroogu (Laarmaa jt., 2019). Järve seisund oli 2019. a seisuga kesine, mida põhjustab veetaseme suur kõikumine, sellega seoses väike veemaht ning suur fosfori sisekoormus (Salu jt., 2019).

Järve ümbrus, sh taimestik on tugevalt inimtegevuse poolt mõjutatud (Veski, 1998). Maardu järvest põhja suunas asub endine fosforiidikaevandus ning kirde ja ida suunda jäävad kunagised fosforiidi karjäärid (Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, 2017). Fosforiidi kaevandamise mõjud jäävad Maardu järve, Saha, Rebala küla ja Balti klindi vahelisele alale, mis avaldab mõju piirkonna pinnaveekogude vee kvaliteedile (Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, 2013). Fosforiidi kaevandamise tõttu on Maardu järves suur sisereostus, st, et järvesetetest eraldub suurel hulgal fosforit tagasi veesambasse. Lisaks kandub ka valgalalt järve lämmastikku – seetõttu on järvevee kvaliteedi paranemine takistatud (Salu jt., 2019).

## 2.2. Maardu järve valgala

Maardu järv asub kunagises Kroodi klindilahe orus (Tammekann, 1940), praegusel Põhja-Eesti lavamaal (Salu jt., 2019). Vagumus tekkis kvaternaari jääaegade eelses jõeorus, mida mandriliustikud kulutasid veelgi sügavamaks (Tavast ja Raukas, 1982; Veski, 1998). Kuigi vagumuses on lubjakivi mandrijää poolt ära kulutatud ning aluspõhjaks on peamiselt Alam-Ordoviitsiumi liivakivi ja argilliid, paljandub lubjakivi paiguti ka Maardu järve valgalal (Saarse jt., 1996). Viimase jääaja lõpus täitus klindilaht liustikujõe setetega (Veski, 1998). Järvest lääne pool ja klindi neemedel asuvad loopealsed, kus kvaternaarisetete paksus on vaid 10-30 cm. Mattunud vagumuses on pinnakatte paksus aga kuni 24 m (Saarse jt., 1996). Valgalast idaosas on aluspõhi kaetud nii lubjarikka kui ka kristalsete kivimite rikka moreeniga (Raukas, 1963). Järvest põhjapool leidub merelisi setteid ning lõuna pool turvast (Saarse jt., 1996). Maardu järve ümbritsevatel aladel on mullad tüüpiliselt lubjarikkad ja turbased gleistunud mullad, lisaks esineb järvest põhjapool kiviseid leedemuldasiid (Lillema, 1958). Vähesel määral esineb läheduses looduslikku metsa (Veski, 1998).

## 2.3. Arheoloogia

Kõige varasemad arheoloogilised leiud (kivikirved, potikillud, küttekolded) Maardu järve lähistelt, mis viitavad asustusele, pärinevad neoliitikumist (4500-3000 a eKr) (Jaaniits, 1959; Lang, 1996). 3200 a eKr oli Maardu järvele lähim kiviaegne asula Jägala kandis u 9 km kaugusel. Nii Maardu järve setted kui ka arheoloogilised leiud Pirita jõe alamjooksul Iru asulakohast kinnitavad, et u 2500 a eKr oli inimene hakanud maad harima – kasvatati otra, kasutati kõblast. 2000 a eKr teravilja õietolm väheneb märgatavalt mõneks sajandiks ning on eeldatud, et inimesed rändasid Maardu järve lähistelt mujale elama ning seal enam maaharimise ja karjakasvatusega ei tegelenud (Lang ja Veski, 1993).

Umbes 800 a eKr hakkas asustus järve lähistel tihenema, millele viitab Maardus, Väos, Iru, Sahal, Lagedil ja Proosal avastatud kivikirstkalmed (Lang ja Veski, 1993). Pirita jõe alamjooksule rajati Iru linnus. Lisaks viitab järvesetetes leiduv söetolm alepõllunduse ja rohumaade laiemale levikule, seda teadmist toetavad ka Proosal ja Saha-Lool leitud fossiilsed põllulapid. Peamiselt kasvatati tol aja otra, vähesel määral ka nisu ja kaera. Tekivad ka esimesed märgid rukkist, kuid tõenäoliselt kasvas see tol ajal veel umbrohuna. Paarsada aastat eKr väheneb aga põlluharimine ning suurenes karjakasvatus (Lang ja Veski, 1993).

3.-4. saj pKr toimus suurem ümberasustus – inimesed asusid hajataludest elama küladessesse kui ka mindi elama uutesse kohtadesse. Maardu järve ümber tekkis rohkelt tarandkalmeid, millest on leitud hulga arheoloogilisi esemeid. Ülekaalukalt oli hakatud kasvatama rukkist. 5. sajandi teisel poolel hakkas asustamine vähenema ning sellega seoses ka maaharimine – kultuurkõrrelised asendused karjamaadega (Lang ja Veski, 1993).

11. sajandil põllumaade hulk kahekordistus, kuid karjamaade hulks jäi umbes samaks. Ka arheoloogilisi esemeid leidub alates sellest ajast palju rohkem. 13. sajandil oli Maardu järve ümbruses 15 küla ja ligi 160 adramaad, mis viitab intensiivsele inimõjule (Lang ja Veski, 1993).

## 2.4. Maardu järve setted

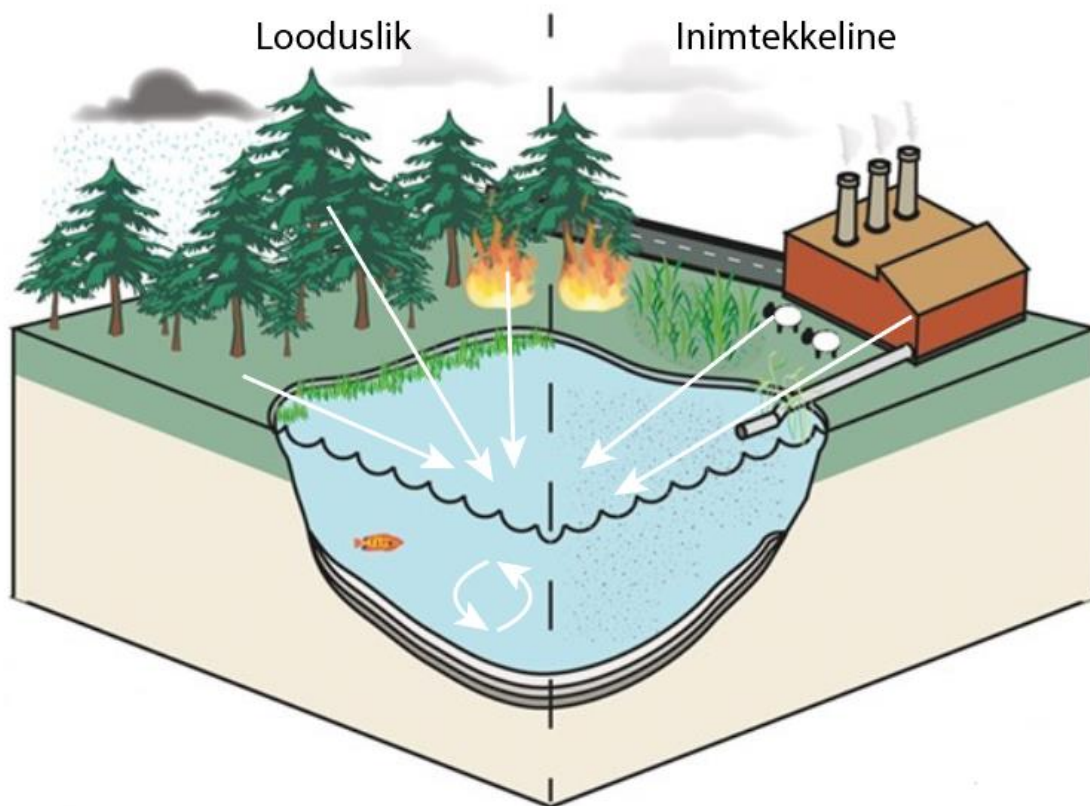
Maardu järvemuda kogumaht on 4 062 990 m<sup>3</sup> ning järvemuda katab 134 ha järvest. Kõige enam leidub setet Maardu järve keskosas (Salu jt., 2019). Kuigi Maardu järv asub Viru-Harju lubjakiviplatool, pole selle setted lubjarikkad (Saarse jt., 1996). Maardu järve ei ole palju anorgaaniliste osakeste sissekannet toimunud, mistõttu on setted valdavalt kõrge OA sisaldusega. Järvemuda MA sisaldus on väike, purdosakesed pärinevad kalda- ja valgala pinnase erosioonist (Heinsalu, 1996).

Holotseeni setete maksimaalne paksus Maardu järves on 6,9 m. Järve põhja moodustavad peamiselt orgaanilised järvesetted, millele lisaks esineb järve põhja-, ida- ja lõunaosas liiva ja kruusa. Järve kirdeosas leidub liiva ja kruusa sees graptoliitargilliidi veeriseid (Heinsalu, 1996). Järvesetete läbilõike mineraalsel põhjal lasub kohati 1-5 cm turbakiht viidates järvenõo kuivale perioodile (Heinsalu, 2001). Setteläbilõike peamine osa on rohekaspruuni või pruuni värvusega järvemuda. Järvemudal lasub kuni 0,5 m paksune kamarakiht. Kamarakiht tekkis 1894.-1939. a., kui järvenõgu oli kuiv, sinna tekkis maismaaline taimestik ning taimejuured kasvasid järvemuda kihist läbi. Setete kõige ülemise osa moodustab kuni 0,5 m paksune lendmuda kiht, see on tumeda värvusega ja väävelvesiniku lõhnaga püdel järvemuda, mille on põhjustanud fosforiidi kaevandamine ning järve juhitud karjäärivetest tulenenud reostumine (Heinsalu, 1996). Lendmuda on suure fosforisisaldusega (Laarmaa jt., 2019) ning rikastunud karbonaatide ja raskemetallidega (Heinsalu, 1996).



### 3. Järvesette orgaaniline aine

Järve orgaanilised setted sisaldavad mitmesuguseid andmeid järve ja selle valgala paleokeskkonna kohta (Meyers ja Ishiwatari, 1993; Meyers ja Teranes, 2001). Kuigi OA kogus on järvesetetes varieeruv, on selles säilinud informatsioon väga oluline järve paleolimnoloogilise aegrea rekonstrueerimisel (Meyers ja Teranes, 2001). Järve orgaanilised setted tekivad, kui järves ja selle ümbruses elavad organismid surevad, need sissevoolude või tuulega järve kantakse ning seejärel nende rakkudes leiduvad süsivesikud, valgud, lipiidid ja muud biokemikaalid järve põhja settivad (Meyers ja Ishiwatari, 1993; Meyers ja Teranes, 2001). Järves elavad liigid moodustavad orgaanilist materjali, mis on iga järve puhul küllaltki ainulaadse biokeemilise koostisega. Kui järve keskkond ja elustik muutub, vaheldub ka settiv orgaaniline materjal (Meyers ja Ishiwatari, 1993). Järve ja selle setetesse jõuab lisaks kohalikele taimedele ka tuulega kohale kantud väikseid osakesi, näiteks õietolmu ning söeosakesi (Meyers, 1997) (joonis 2). Settemuutuste põhjal saab aimu järve ja seda ümbritseva keskkonna looduslikust arenguloost, kliimamuutustest, aga ka võimalikust inimõjust (Meyers ja Ishiwatari, 1993; Meyers ja Teranes, 2001).



**Joonis 2.** Järve orgaaniliste setete allikad: maismaataimed, õietolm, söeosakesed, järve siseproduksioon, põllumajandus-karjakasvatus, punktreostus. Originaaljoonis pärineb Mills jt. (2016).

Järvesetete OA tekib peamiselt nii järve kui ka maismaa taimedest, mis jagatakse geokeemia põhjal kahte gruppi – vaskulaarsed ja mittevaskulaarsed taimed. Vaskulaarsed taimed on näiteks puud ja põõsad, mis elutsevad maismaal või madalas vees ning sisaldavad suurel hulgal süsinikurikast kiulist kudet. Mittevaskulaarsed taimed on näiteks vetikad ja fütoplankton, millel on lämmastikurikkad tselluloosivaesed rakud (Meyers ja Ishiwatari, 1993; Meyers ja Teranes, 2001). Järves leiduvatest orgaanilistest osakestest jõuab järve põhja vaid väga väike osa, ülejäänud orgaaniline materjal kas tarbitakse veeorganismide poolt uuesti või see mineraliseerub. Lisaks on ka sette keemiline koostis küllaltki erinev võrreldes sellega, mis see oli OA tekkimise ajal (Meyers ja Ishiwatari, 1993).

Esimesed analüüsid OA määrati üldsisaldusena, kuna orgaanilisi komponente on keeruline järvesetetest eraldada. OA üldsisalduse määramise eelis on selle lihtsus, aja kokkuvõid ja kuluefektiivsus. Kalda- ja deltalähedaste setete puhul, kus maismaaline ja veeline materjal seguneb, pole OA üldsisaldus piisavalt täpne analüüsimeetod, et välja selgitada, mis allikast OA pärineb. Täpsemate andmete jaoks uuritakse OA siseseid keemilisi ühendeid (Cohen, 2003). Järvesetete teket ja lagunemist ning selle keemilist koostist mõjutavad protsessid järve vees, järve põhjas ja valgalal. Kuna iga näitaja puhul võivad selle põhjuseks olla mitmed tegurid, on mõistlik kasutada järvesetete ja järve ajaloo uurimiseks mitut omavahel kombineeritavat uurimismeetodit (Kaushal ja Binford, 1999).

Järvesette OA C/N suhte abil saab määrata, millised taimed on järves ja selle ümbruses kasvanud (Meyers ja Ishiwatari, 1993) ning milline on nende osakaal olnud (Kaushal ja Binford, 1999). C/N suhe võimaldab identifitseerida, kas OA pärineb veekogu vetikatest või maismaalise materjali sissekandest. Maismaataimede puitjad koed on süsinikurikkad, taimhõljum on aga tänu tselluloosi puudumisele lämmastikurikas (Cohen, 2003; Meyers ja Ishiwatari, 1993).

Kui järvesetete OA C/N suhe on 4-10, viitab see suuremale järvesisesele produktiivsusele (fütoplankton, mittevaskulaarsed taimed). Kui C/N suhe on üle 20, on tõenäoliselt tegemist olnud maismaaliste setete (vaskulaarsete taimede) sissekandega (Meyers, 1994; Meyers ja Ishiwatari, 1993; Meyers ja Lallier-Vergès, 1999). Kui vaskulaarsete ja mittevaskulaarsete taimede osakaal on enam-vähem võrdne, jääb sette C/N suhe 10 ja 20 vahele (Meyers ja Ishiwatari, 1993; Meyers ja Lallier-Vergès, 1999). Mõningates uurimustes on seda vahemikku tõlgendatud ka kui veesiseste suurtaimede signaali (Panizzo jt., 2008; Pu jt., 2013). Eelnevast tulenevalt on C/N suhe hea näitaja, mille järgi määrata maismaalise ja järves produseeritud vetikalise materjali osakaalu pikaajalist muutust järve setete orgaanilises materjalis (Meyers ja Ishiwatari, 1995).

C/N suhte abil on alates 2000-ndatest aastatest (Punning ja Tõugu, 2000) uuritud nii Põhja-Eesti kui ka Lõuna-Eesti järvi, mille arengulugu on antud meetodi abil saadud edukalt rekonstrueerida. Koos C/N suhte analüüsimisega on Eesti järvede setete uurimisel alati kasutatud ka LOI meetodit. Uuritud on inimõju Viitna, Matsimäe, Ümarjärve, Ödrejärve ja Ruusmäe järve arengule ning järvede veetaseme muutust (Punning ja Tõugu, 2000). Ruusmäe järve (Kruusement ja Punning, 2000), Viitna Linajärve ja Viitna Pikkjärve on uuritud kliimamuutuste ja inimõju tuvastamiseks (Punning jt., 2003). C/N suhte abil on rekonstrueeritud ka Verevi järve arengulugu (Vandel ja Koff, 2011) ning Kooraste Linajärve reaktsiooni intensiivsele inimõjule (Liiv jt., 2018).

## 4. Metoodika

### 4.1. Välitöö

Maardu järve välitööd toimusid 23. septembril 2020 ning lisaks minule võtsid sellest osa Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituudi professor Siim Veski, vanemteadur Atko Heinsalu ja juhtivinsener Merlin Liiv. Proovivõtt toimus motoriseeritud puurimisplatvormilt. Proovivõtu asukohta valikul toetuti eelnevate uuringute setteläbilõike nr 3 asukohale (Veski, 1998). Täpne asukoht määrati GPS seadmega – võetud setteläbilõike asukohta koordinaadid on 59°26'39.5"N ja 24°59'50.5"E.

Proovivõtukohas oli veesügavus 150 cm. Willneri setteproovivõtjat kasutasin pinnaproovide (150-175 cm) võtmisel, kuna tegu oli vedela settega (joonis 3). Ülejäänud setteläbilõike (175-700 cm) võtsin turbapuuriga. Sette puursüdamikud tõstsin turbapuurist 1 m pikkustesse plastrennidesse. Setete iseloomustuse kirjutasin välipäevikusse, seejärel kiletasin proovid koos plastrennidega ja viisin need geoloogia instituudi külmkambrisse.



**Joonis 3.** Maardu järve setete ülemine osa Willneri setteproovivõtjas.

## 4.2. Kronostratigraafia

Radiosüsinik ( $^{14}\text{C}$ ) on ebastabiilne radioaktiivne C isotoop, mis tekib atmosfääris (Bowman, 1990).  $^{14}\text{C}$  poolestusaeg on  $5730 \pm 40$  aastat ning materjali vanust saab määrata vahemikus u 100-50000 a (Godwin, 1962; Meschel, 1978). Meetod sobib orgaanilist süsinikku sisaldava materjali vanuse määramiseks.  $^{14}\text{C}$  aastad ei lange kokku kalendriaastatega, sest  $^{14}\text{C}$  teke ja selle hulk on atmosfääris olnud ajas muutuv (Korff ja Mendell, 1980). Mida kaugemale minevikus minna, seda suurem vahe tekib  $^{14}\text{C}$  ja kalendriaastate vahel, seetõttu on vajalik  $^{14}\text{C}$  ja kalendriaastad kalibreerida. Nii  $^{14}\text{C}$  kui ka kalendriaastaid hakatakse lugema tagasi aastast 1950, kuna hiljem on tööstuse poolt emiteeritud  $\text{CO}_2$  ja tuumakatsetustega  $^{14}\text{C}$  tasakaal atmosfääris rikunud ning seetõttu  $^{14}\text{C}$  meetod ei tööta (Bowman, 1990).

Konventsionaalse meetodi puhul mõõdetakse vedelikstsintillatsiooni loenduriga aatomite poolt tekitatud radiatsiooni, selleks tuleb kasutada suurt kogust proovi. Massispektromeetrilise meetodiga (*Accelerator Mass Spectrometry*, AMS) mõõdetakse laserkiirendiga otse  $^{14}\text{C}$  osakeste arv ning selle jaoks piisab väikesest proovikogusest (0,5-2 mg) (Bowman, 1990).

Olen oma magistritöös kasutanud setete kirjeldamisel ning tulemuste tõlgendamisel kalibreeritud kalendriaastaid ("aastat tagasi 0=1950 a" ja "eKr/pKr"). Varasemates teadusartiklites on Maardu järve setete vanused esitatud peamiselt radiosüsiniku aastates. Radiosüsinikuaastad konverteeriti kalendriaastateks  $2\sigma$  täpsusega (95,4% tõenäosus), kasutades selleks veebipõhist kalibreerimistarkvara OxCal.

Maardu järve geoloogiliseks kaardistamiseks puuriti 1990-ndatel aastatel üle 50 puuraugu ning uuriti põhjalikult järvesetete koostist ja biostratigraafiat (Heinsalu, 1996; Hiie, 1996; Kihno, 1996; Saarse jt., 1990; Saarse jt., 1996; Sandgren, 1996; Veski, 1996, 1998; Veski ja Lang, 1996). Maardu järve vanuse väljaselgitamiseks määrati 12  $^{14}\text{C}$  dateeringut (Veski, 1998). 2020. a puuritud puuraugu vanus saadi 1990ndate a dateeritud geoloogilise läbilõike LOI analüüside tulemuste korrelatsioonil. Lisaks dateeriti Poznani Ülikooli radiosüsiniku määrangute laboratooriumis 2020. a puursüdamikust alumise turbakihi vanus.

## 4.3. Orgaanilise aine koostis

### 4.3.1. Kuumutuskadu (LOI)

Järvesetete OA,  $\text{CaCO}_3$  ja MA hulga määramiseks on üks levinumaid ja lihtsamaid töötlemisviise kuumutuskadu meetod (LOI), mis sobib kõige paremini orgaanikarikka sette analüüsimiseks (Bengtsson ja Enell, 1986; Cohen, 2003; Dean, 1974). LOI analüüs koosneb kahest kuumutamisetapist muhvelahjus. Iga kuumutamise eel ja pärast kuumutamist kaalutakse proovid, et määrata põletatud sette kogus. Esimese protseduurina kuivatatakse setet kuivatuskapis 24 h temperatuuril  $105\text{ }^\circ\text{C}$ , et eemaldada proovist niiskus. Teiseks kuumutatakse setet temperatuuril  $550\text{ }^\circ\text{C}$ , mille käigus sete oksüdeerub  $\text{CO}_2$ -ks ja tuhaks – massikadu on võrdne setteproovi OA kogusega (Heiri jt., 2001). Viimane kuumutamine toimub temperatuuril  $950\text{ }^\circ\text{C}$ , mille käigus karbonaadist eraldub  $\text{CO}_2$  ning tekib oksiid (Bengtsson ja Enell, 1986;

Heiri jt., 2001). Selleks, et teada saada  $\text{CaCO}_3$  sisaldus, korrutatakse eraldunud  $\text{CO}_2$  mass läbi koefitsentiga 2,27 (Dean, 1974; Heinsalu, 1996). MA sisaldus arvutatakse:  $100 - \text{OA} - \text{CaCO}_3$ .

Heiri jt (2001) on välja toonud, et LOI meetodi tulemusi mõjutavad kuumutamise kestus, proovi suurus, laboratoorne tehnika ja tiiglite paigutus muhvelahjus.  $550\text{ }^\circ\text{C}$  juures kuumutamisel tuleb arvestada, et kõrge OA sisaldusega proovi puhul ei ole kahe tunni põletusaeg piisav ning mõistlik oleks setet kuumutada vähemalt 4 h. Lisaks on oluline, et temperatuuril  $550\text{ }^\circ\text{C}$  oleksid proovide suurused enam-vähem võrdsed. Kuigi LOI meetodiga saab hästi määrata OA üldsisaldust setetes, ei ole see sobiv meetod madala OA kontsentratsiooni määramiseks (Heiri jt., 2001).

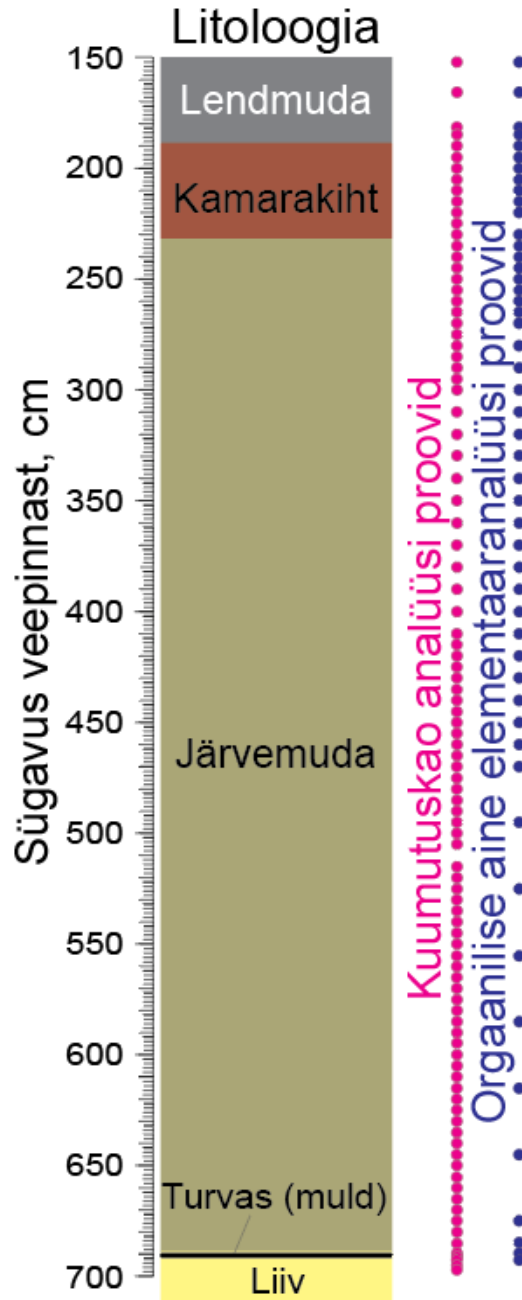
Sageli kasutatakse LOI meetodit esialgse analüüsimeetodina, et aimu saada järvesetete üldistest omadustest. LOI meetodi tulemustest (OA sisaldus) on abi ka  $C_{\text{org}}$  ja  $N_{\text{üld}}$  elementanalüüsil, kus see on orientiiriks vajalike standardite ja referentsaine kaalutiste määramisel.

Setteproovidest OA,  $\text{CaCO}_3$  ja MA sisalduse määramiseks kasutasin LOI meetodit. Esmalt kaalusin tühjad portselanist tiiglid, seejärel võtsin sette läbilõikest proovid sügavuselt 151, 166 ja 181 cm, mis olid pärit Willneri setteproovivõtjast. Järgmise proovi võtsin puurkannust 185 cm sügavuselt (joonis 4). Edasi võtsin proove 5 cm vahega kuni 300 cm sügavuseni. Seejärel 10 cm vahega kuni 410 cm sügavuseni. Sealt edasi võtsin 5 cm vahega kuni 690 cm sügavuseni. Viimased neli proovi võtsin sügavuselt 691,5, 692,5, 695 ja 697 cm, sest selles vahemikus läks mineraalne sete üle järvemudaks.



**Joonis 4.** Laboris proovide võtmine sette puursüdamikust.

Setteproovid võtsin puurkannu keskelt, et vältida puurkannu äärega kokkupuutuvat setet, mis võib olla segunenud ja mõjutatud puurimisest, puurkannust ja läbilõike pakkimisest. Setteproovide kogused võtsin silma järgi samas mahus (umbes 1 cm<sup>3</sup>), et andmed oleksid võimalikult samadel alustel analüüsitavad. Setteproovide võtmiseks läbilõikest kasutasin spaatlit ning proovid tõstsingi eelnevalt kaalutud portselantiiglitesse. Tiigid olid põhjast nummerdatud, et eristada proovide võtmise sügavust. Kokku võtsin 96 proovi (joonis 5).



**Joonis 5.** Maardu järve setete litoloogia ja sette läbilõikest võetud LOI ning C<sub>org</sub> ja N<sub>üid</sub> analüüside proovide tasemed.

Kui kõik proovid olid võetud, kaalusin tiigid koos proovidega ära ning sisestasin kaalumistulemused andmetöötlusprogrammi Excel. Seejärel asetasin kaalutud tiigid koos proovidega kuivatuskappi 24 tunniks 105 °C juurde kuivama. Pärast proovide kuivamist asetasin tiigid eksikaatorisse, kus need jahtusid toatemperatuurini ning seejärel kaalusin proovid koos tiigiteliga. Seejärel asetasin proovid muhvelahju neljaks tunniks temperatuuril 550 °C. Kordasin proovide kaalumist tiigiteliga, asetasin proovid uuesti muhvelahju kaheks tunniks temperatuuril 950 °C. Seejärel asetasin tiigid eksikaatorisse, kus need jahtusid toatemperatuurini ning kaalusin proovid koos tiigiteliga viimast korda.

LOI tulemuste saamiseks lahutasin pärast ahjust võtmist tiigliga kaalutud proovi massist tühja tiigli massi saades tulemuseks ainult proovi massi. Seda tegevust tegin 105 °C, 550 °C ja 950 °C kaalutud proovide tulemustega. Pärast proovide massi teada saamist arvasin OA, CaCO<sub>3</sub> ja MA protsentuaalse koguse proovides.

#### 4.3.2. C<sub>org</sub> ja N<sub>üld</sub> massiprotsent

Järvesetted koosnevad nii orgaanilisest kui anorgaanilisest süsinikust (karbonaadid) ja lämmastikust. C/N suhte leidmiseks kasutatakse C<sub>org</sub> ja N<sub>üld</sub> massiprotsentide suhet. Anorgaanilisest süsinikust vabanetakse setteproovide happetötlusel. Seevastu settes olev anorgaaniline lämmastik üldjuhul tulemusi ei mõjuta, kuna selle kogused on settes väikesed. Erand on vaid siis, kui C<sub>org</sub> kogus on alla 0,3% ning sel juhul võib proportsionaalselt suurem anorgaanilise lämmastiku kogus C/N suhet mõjutada ja selle kunstlikult madalaks viia (Meyers, 1997). See on aga pigem harv nähtus, kuna enamikel järvedel on C<sub>org</sub> kogused kõrged. Magistritöös on edaspidi lühendi "C/N suhe" puhul mõeldud C<sub>org</sub> ja N<sub>üld</sub> suhet ning seda ka läbiviidud uurimuses kasutatud.

C<sub>org</sub> ja N<sub>üld</sub> elementanalüüsi tarbeks võtsin proovid sette läbilõikest samadelt sügavustel nagu LOI meetodi puhul, kuid osaliselt hõredamalt (kokku analüüsisin 51 proovi). Proovid asetasin taaskord nummerdatud tiigitesse (joonis 6). Esimeste proovide sügavused kattusid LOI jaoks võetud proovide sügavustega – 151, 166, 81 ja 185 cm. Kuni sügavuseni 470 cm võtsin proovid 5-10 cm sammuga. Järgmise proovi võtsin 495 cm sügavuselt ning jätkasin 30 cm proovivõtusammuga kuni 675 cm sügavuseni. Viimased kolm proovi võtsin sügavuselt 685, 690 ja 692,5 cm. Lisaks määrasin Maardu järve settepinnalt võetud mändvetika (*Chara spp.*) OA elementkoostise.

Proovid asetasin 24 tunniks sügavkülma, mille järel olid need veel 48 tundi külmkuivatis, et vabaneda proovides sisalduvast veest. Pärast külmkuivatamist tõstsin proovid Eppendorfi mikrokatsutitesse, kuhu lisasin kolm teraskuuli proovide efektiivsemaks jahvatamiseks (joonis 7). Seejärel asetasin katsutid mikserverkisse, kus toimus proovide jahvatus.



**Joonis 6.** Tiiglitesse asetatud setteläbilõike proovid.



**Joonis 7.** Külmuivatatud proovide ja teraskuulide lisamine mikrokatsutitesse.



Pärast setteproovide peenestamist kaalusin 8-15 mg setet happesindlatesse hõbetopsidesse. Iga proovile lisasin paar tilka 10% HCl hapet, et eemaldada proovidest karbonaatne aine (anorgaaniline süsinik) (Meyers ja Teranes, 2001). Seejärel asetasin proovid kuumutusosalusele 80 °C juurde 4 tunniks kuivama (joonis 8). Pärast proovide kuivamist pakkisin hõbetopsid kokku kuulikesteks, mis omakorda pakkisin tinatopsidesse. See samm on oluline, kuna tinatopsid tõstavad elementanalüsaatori reaktoris temperatuuri ja seeläbi kindlustavad proovi efektiivse põlemise.



**Joonis 8.** Hõbetopside asetamine koos proovidega kuumutusosalusele.

OA elementkoostise määramisel kasutasin standardina BBOTi ( $C_{26}H_{26}N_2O_2S$ , ThermoFisher Scientific) ja tsüstiini (L-Cystine, IVA Analysentechnik e. K) ning referentsainena vetikat Spirulina (IVA Analysentechnik e. K). Standardite, referentsaine ning järvesette  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  massiprotsendid mõõtsin FLASH 2000 CHNS-O elementanalüsaatoriga 900 °C juures. Kõigepealt asetasin elementanalüsaatorisse nn bypassi (standardaine), et masinas asuv kromatograaf registreeriks elementide tippude asukohad kromatogrammil. Seejärel mõõtsin standardite massiprotsendid, et tekitada kalibratsioonikõver. Viimasena mõõtsin referentsaine massiprotsendid, mille elementkoostis oli teada, et kontrollida kalibratsioonikõvera täpsust. Järgnes järvesette proovide analüüs, mida tegin kolmes korduses. Tulemustest valisin välja kaks sarnasemat ning programm arvutas neist keskmise.  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$

massiprotsentide jagatise korrutasin elementide aatommasside suhtega (1,167), kuna siis on arvestatud ka nende biokeemilise tasakaaluga (Meyers ja Teranes, 2001). Tulemused on esitatud protsentides sette kuivaine kaalu kohta.

#### 4.4. Täiendavad meetodid

Õietolmuanalüüs ehk palünoloogia on geoloogias laialt kasutatav uurimismeetod, kus järve-, soo- või meresetetest eraldatakse keemilise töötlemise ja rikastamise abil taimede fossiilsed õietolmuterad, eosed ja ka teised setetes säilinud organismid (näiteks rohevetikad) ning taimejäänused (põlenud söeosakesed), seejärel uuritakse ja määratakse neid mikroskoobis. Meetod võimaldab tuletada mineviku taimkatte arengulugu, aga ka määrata setete suhtelist vanust. Maardu järve setete õietolmu analüüsid tegi 1990-ndatel aastatel Siim Veski (Veski, 1998). Õietolmu andmed grupeeriti järgnevalt: (1) boreaalsed puud: lepp (*Alnus*), kask (*Betula*), kadakas (*Juniperus*), kuusk (*Picea*), mänd (*Pinus*), paju (*Salix*); (2) laialehised puud: valgepöök (*Carpinus*), sarapuu (*Corylus*), pöök (*Fagus*), saar (*Fraxinus*), tamm (*Quercus*), pärn (*Tilia*), jalakas (*Ulmus*); (3) rohttaimed: puju (*Artemisia*), kanarbik (*Calluna*), lõikheinad (*Cyperaceae*), angervaks (*Filipendula*), teeleht (*Plantago*), kõrrelised (*Poaceae*), oblikas (*Rumex*); (4) teraviljad: teraviljad eristamata (*Cerealia*), rukis (*Secale*); (5) söeosakesed.

Pärastjääaja kliimamuutuste võrdlevaks näitajaks kasutati õietolmu andmetest modelleeritud aasta keskmise temperatuuri väärtusi. Selleks, et tagada statistilise analüüsi sõltumatus, kasutati Raigastvere järve õietolmu parameetritest tuletatud väärtusi (Seppä ja Poska, 2004).

Algrohevetikate perekonna *Pediastrum* liikide rakud sisaldavad sporopolleniini ja seetõttu säilivad setetes. Rohevetika *Pediastrum* koosluste muutused on tingitud Maardu järve veekeskonna pärastjääaegsest varieeruvusest (Veski, 1994).

Ränivetikate analüüs ehk diatomeeanalüüs on paleolimnoloogiline meetod, mis võimaldab teha järeldusi järvevee muutuste kohta mineviku veekogudes. Maardu järve setete ränivetikaproovid analüüsis 2020. a Atko Heinsalu. Setete ränivetikakooslused grupeeriti järgnevalt: (1) rohketoitelised avavee hõljumi ränivetikaliigid (eutroofne plankton); (2) veetaimedele kinnituvad ränivetikaliigid (epifüüton); (3) järvemudal elutsevad ränivetikaliigid (bentos); (4) väikesekasvulised fragilarioidsed ränivetikaliigid (*Fragilaria* spp.).

Maardu järvesetete magnetilisi omadusi analüüsis ja interpreteeris 1990-ndatel aastatel Lundi Ülikooli teadlane Per Sandgren (Sandgren, 1993, 1996). Setete ja settekivimite magnetilisi omadusi kasutatakse geoloogias settekihtide omavahelisel korreleerimisel, aga need omadused peegeldavad ka järve valgala muldade stabiilsust või põlluharimisega kaasnevat pinnase erosiooni, seega on magnetilised parameetrid erosiooni indikaatorid (Sandgren, 1996). Setete magnetiliste analüüside põhjal eraldatai välja neli erinevat parameetrit: magnetiline vastuvõtlikkus, *Saturation Isothermal Remanent Magnetisation* (SIRM), *High Induced Remanent Magnetisation* (HIRM) ning S-suhe. Magnetiline vastuvõtlikkus iseloomustab setete magnetilisi omadusi ja on võrdeline magnetiliste mineraalide kontsentratsiooniga setteproovis. SIRM on magnetiline parameeter, mille väärtus sõltub oluliselt magnetiidi ja hematidi sisaldusest setetes, selle parameetri suurus ei ole sõltuvuses diamagnetiliste ja paramagnetiliste mineraalidest. HIRM on

magnetiline parameeter, mis näitab antiferromagnetiliste mineraalide kogust setteproovis. S-suhe aitab eristada hematiidi ja magnetiidi erinevaid proportsioone setetes (Sandgren, 1993).

#### 4.5. Numbriline analüüs

Korrelatsioon kahe suuruse vahel näitab, kas nende tunnuste vahel on seos või mitte. Seoseid iseloomustatakse tugevuse ja suunaga. Positiivse korrelatsiooni puhul kui üks suurus kasvab, siis ka teine kasvab ning negatiivse korrelatsiooni puhul ühe suuruse kasvades teine suurus väheneb. Seose tugevust saab arvutada lineaarse ehk Pearsoni korrelatsioonikordaja  $r$  abil, mille väärtus jääb vahemikku -1 kuni 1. Kui  $r$  on suurem kui 0, siis on korrelatsioon positiivne. Kui  $r$  on väiksem kui 0, on negatiivne korrelatsioon. Kui  $r$  on 0, siis korrelatsioon puudub (Sauga, 2020). Seose tugevuse piirid on kokkuleppelised, kuid oma magistritöös olen lähtunud järgmistest piiridest: kui  $r$  absoluutväärtus on  $<0,3$  siis on seos nõrk; kui  $r$  absoluutväärtus on  $>0,7$ , on seos tugev; nende väärtuste vahele jääb keskmise tugevusega seos. Korrelatsiooni kujutamiseks joonisel kasutatakse peamiselt hajuvusdiagrammi.

Korrelatsiooni statistiline olulisus  $p$  näitab, kas leitud korrelatsioonikordajad on olulised või mitte.  $p$  väärtus jääb 0 ja 1 vahele. Kui  $p$  on  $<0,05$ , on tegemist statistiliselt olulise seosega. Kui  $p$  on  $>0,05$ , siis on seos ilmselt juhuslik (Sauga, 2020). Oma magistritöös olen statistilist olulisust kasutanud korrelatsiooni kohta, et saada teada, kas korrelatsioon suuruste vahel on oluline või mitte.

Klasteranalüüsi abil saab sarnaseid tunnuseid rühmitada – see on sobilik meetod mitme erineva andmerea võrdlemiseks ning grupeerimiseks. Klasteranalüüs võimaldab tuvastada seosed, mis ei eristu andmehulgast korrelatsiooni ega muude sarnaste analüüsimeetodite puhul. Klasteranalüüsi jaoks võrreldakse algul kõrvuti asetsevaid väärtusi – ühesugused või sarnased väärtused jagatakse samasse klastrisse – ning seejärel võrreldakse tekkinud klastreid juba omavahel, misjärel tekivad kõrgema tasandi klastrid (Grunsky, 2010).

Peakomponentanalüüsi (*Principal Component Analysis, PCA*) eesmärgiks on leida esialgsete tunnuste lineaarkombinatsioonid (peakomponendid), mis kirjeldaks tunnustes olevat infot ning nende varieeruvust. Sarnaselt klasteranalüüsile toimub ka siin objektide klasterdamine, tulemused kuvatakse teljestikus. Mida kaugemal on klastrid keskpunktist ja lähemal üksteisele, seda tugevad on omavahelised seosed (Remm jt., 2012).

Numbrilist analüüsi aitas magistritöö jaoks läbi viia TalTechi Geoloogia Instituudi teadlane PhD Ansis Blaus. Korrelatsioon, klasteranalüüs ja peakomponentanalüüs viidi läbi kõigi eelnevalt kirjeldatud andmete vahel – kasutati nii minu analüüsitud LOI,  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  elementanalüüsi ning C/N suhte tulemusi kui ka varasemaid teadaolevaid andmestikke (õietolm, õietolmust tuletatud aasta keskmine temperatuur, räni- ja rohevetikad, magnetilised parameetrid).

## 5. Tulemused

### 5.1. Settekirjeldus

Proovivõtukoahas oli veesügavus 1,5 m ning puurisin 5,5 m setteid. Järvepõhi oli kaetud põhjataimestikuga, valdavalt esines mändvetikas (*Chara spp.*). Sette kirjeldus on esitatud tabelis 1 ja joonisel 5.

**Tabel 1.** Maardu järve detailne setteläbilõike kirjeldus.

Sügavus (cm)	Sette kirjeldus
150-189	Lendmuda, rohke MA ja CaCO <sub>3</sub> lisandiga, mustjashall, vedel, tugev väävelvesiniku lõhn, ohtralt taimejäänuste lagunemisel väljasadenenud valgeid CaCO <sub>3</sub> suletisi. 1990ndate a uuringute ajal nimetati seda järvemuda kihti „nõukogude kihiks“ (joonis 9).
189-232	Järvemuda, tihedasti läbi kasvanud taimede juurtest ja kus rohkesti leidub lagunenuid taimejäänuseid, tumepruun. See kiht moodustus varem settinud järvemudast sekundaarselt mullatekke protsessina alates 1894. a., kui järv jooksis tühjaks ja oli kuiv, kuni 20. sajandi keskpaigani, millal veekogu taastati. Seda kihti nimetan eelnevate uuringute järgi kamarakihi. Kihi alumine piir on üleminekuline.
232-280	Järvemuda, jämedetritne, sisaldab taimejuurte jäänuseid, pruun.
280-689	Järvemuda; rohekaspruun.
689-690	Liiv, keskmise teraline, hall.
690-692	Turvas (muld), must (joonis 10).
692-700	Liiv, keskmise teraline, hall.



**Joonis 9.** Maardu järve setteläbilõike ülemine osa plastrennis, nähtav on lendmuda ja kamarakihi piir.

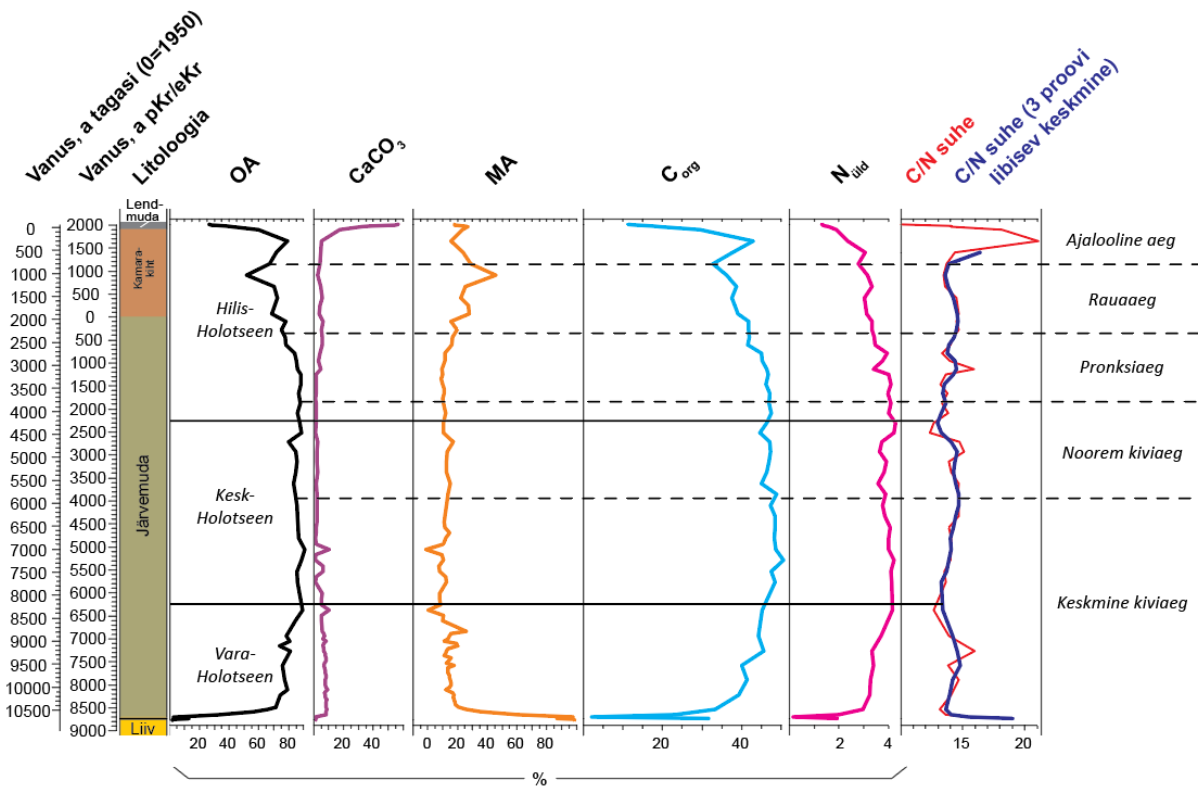


**Joonis 10.** Maardu järve setteläbilõike alumine osa puurkannus, nähtav on järvemuda, turba(mulla)kiht ning liiv.

## 5.2. Setete koostis

Lisades 1, 2 ja 3 on esitatud nii LOI,  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  ning C/N suhte analüüsitulemused tabelitena. LOI meetodit kasutades andsid sügavuselt 475 ja 510 cm võetud proovide MA negatiivse väärtuse. Selle põhjuseks võis olla viga proovi kaalumisel või portselantiigli osaline purunemine muhvelahjus, mis proovi kaalumisel märkamatuks jäi. Seetõttu eemaldasid need proovid tulemustest ning töös ei kasutanud. Lisas 1 on see rida märgitud tärniga ning lisast 2 ja 3 on see eemaldatud.

Joonisel 11 on esitatud OA,  $CaCO_3$  ja MA sisaldused (%). Vara-Holotseeni alguses (10700 a tagasi) settinud liivas on OA sisaldus alla 1%, MA sisaldus ligi 99% ning  $CaCO_3$  sisaldus umbes 0,5%. 10650 a tagasi settinud turba(mulla)kihis on OA, MA ja  $CaCO_3$  sisaldused vastavalt 11,7%, 87,6% ja 0,7%. 10600 a tagasi hakkas settima järvemuda ning sette koostises toimub järsk muutus ning domineerima hakkab OA sisaldus. Vara-Holotseeni lõpuni (10500-8450 a tagasi) jääb OA sisaldus 65% ja 84% vahele. Vara-Holotseeni lõpust kuni Hillis-Holotseeni esimese pooleni (8450-2750 a tagasi) on nii OA, MA kui ka  $CaCO_3$  sisaldus settes väga püsiv – OA sisaldus jääb vahemikku 83-95%,  $CaCO_3$  1-10% ja MA 7-17%. Pronksiaja lõpust kuni rauaaja lõpuni (2700-1050 a tagasi) toimub OA koguse ühtlane vähenemine ja MA üldjoones suureneb, kuid  $CaCO_3$  on sellel ajaperioodil suhteliselt stabiilne. OA sisaldus hakkab suurenema ning MA vähenema kuni 300 a tagasi. Pärast seda toimub OA sisalduse vähenemine ning  $CaCO_3$  sisalduse suurenemine kuni tänapäevani. MA samuti suureneb, kuid läbilõike kõige ülemises osas langeb taas.



Joonis 11. Maardu järve sette OA,  $CaCO_3$ , MA sisaldus ning OA elementkoostis.

Joonisel 11 on esitatud C/N suhe. C/N suhe on 10650 a tagasi moodustunud turba/mulla kihis 19, kuid järsult väheneb paarisaja aastaga väärtuseni 13. Järgmise 1100 aasta jooksul (10600-9500 a tagasi) C/N väärtus suureneb ühtlaselt väärtuseni 15. 9500-9200 a tagasi suureneb C/N suhe 16ni, kuid väheneb 12,5ni järgneva 900 a jooksul (Vara-Holotseeni lõpus). Järgmised 2700 aastat (8300-5600 a tagasi) C/N suhe stabiilselt suureneb kuni noorema kiviaja keskpaigani (4900 a tagasi) jõudes väärtuseni 15. Järgmise 400 a jooksul väheneb C/N suhe peaaegu 12ni (Kesk-Holotseeni lõpp), kust alates hakkab C/N suhe taas pisut suurenema, kuid jääb ruttu stabiilseks väärtuse 14 juures. Pronksiaja keskpaigas (3100 a tagasi) muutub C/N suhe hüppeliselt suuremaks (C/N suhe on 16) 150 aastaga, kuid langeb taas 14ni 2700 a tagasi pronksiaja lõpus. Rauaaja esimeses pooles (2400-1500 a tagasi) on C/N suhe praktiliselt muutumatu püsides 14 ja 15 vahel. Järgmised 1000 aastat (1500-550 a tagasi) jääb C/N suhe 12,5-13,5 vahemikku. 1350. aastal saavutab C/N suhe uuritud sette läbilõikes oma maksimumi (21), pärast mida see taaskord drastiliselt väheneb saavutades tänapäeval oma miinimumi (10).

### 5.3. Kronostratigraafia

Maardu järve setete läbilõike kronoloogia põhineb 1990ndatel a <sup>14</sup>C abil analüüsitud 12 dateeringu tulemustel (Veski, 1998). Lisaks dateeriti Poznani Ülikooli radiosüsiniku määrangute laboratooriumis AMS <sup>14</sup>C meetodil 2020 a puursüdamikust (692 cm) alumise turbakihi vanus. Dateeringu andmed on välja toodud tabelis nr 2.

**Tabel 2.** Maardu järve <sup>14</sup>C dateering.

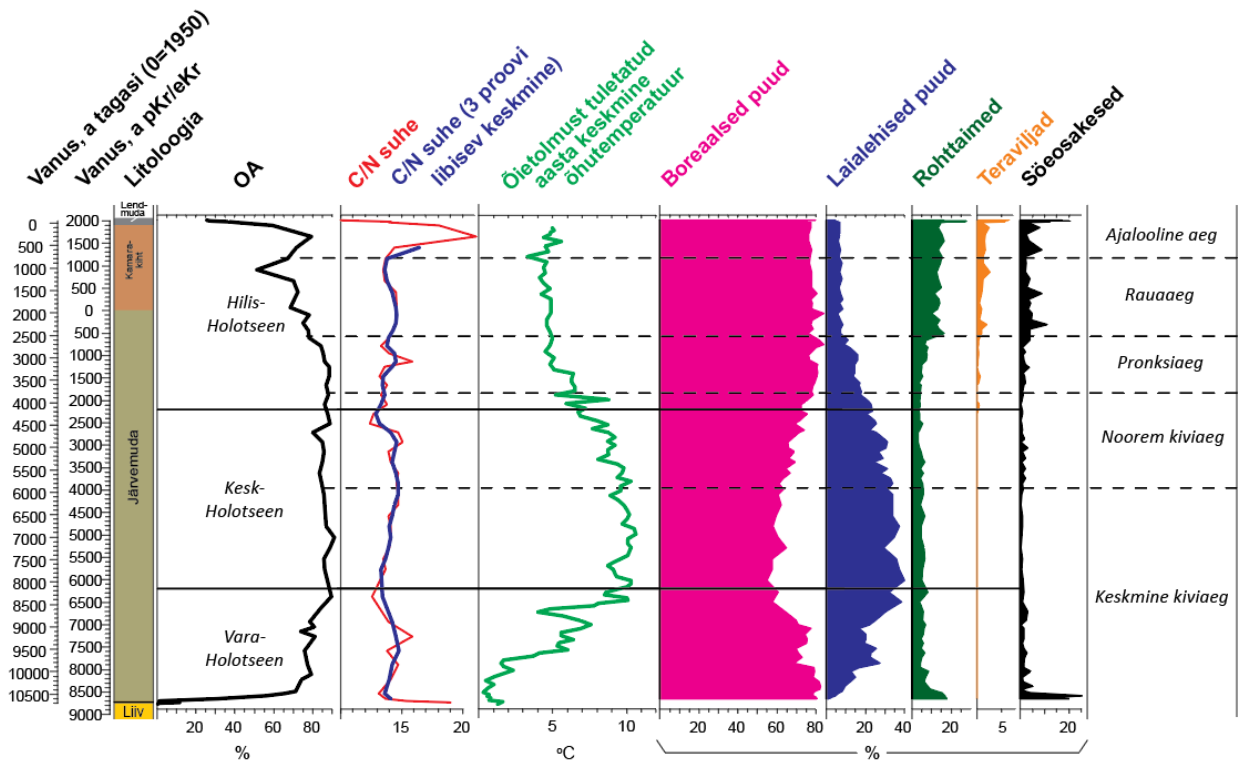
Sügavus, cm	Labori kood	<sup>14</sup> C vanus, a tagasi (0= 1950 a)	Kalibreeritud vanus, a tagasi (0= 1950 a), tõenäosus 95,4%	Kaalutud keskmine vanus, a tagasi (0= 1950 a)	Dateeritud materjal	Sündmus
692	Poz-131975	9430±50	11060–10510	10670	Turvas/muld	Joldiamere regressioon ja Maardu nõo kuivaksjäämine

Radiosüsiniku dateerimise tulemus turba/mulla kihist 692 cm sügavusel on 9430±50 <sup>14</sup>C a tagasi ehk kalibreeritud vanusena 11060–10510 a tagasi (kaalutud keskmine vanus on 10670 a tagasi).

### 5.4. Täiendavad andmerekad

Pärastjääaja kliimamuutuste parameetriks kasutati Raigastvere järve õietolmu andmetest modelleeritud aasta keskmise temperatuuri väärtusi. Joonisel 12 on näha, et Vara-Holotseenis 10700 a tagasi oli aasta keskmine õhutemperatuur u 500 a vältel kuni 1-2 °C. Peale seda toimus kiire kliima soojenemine, mis

saavutas oma maksimumi Kesk-Holotseenis (10-11 °C). Noorema kiviaja alguses hakkas kliima järk-järgult jahenema ning muutus stabiilseks Hilis-Holotseeni alguses. Viimased 3500 aastat on aasta keskmine õhutemperatuur püsinud 5 ja 6 °C vahemikus.

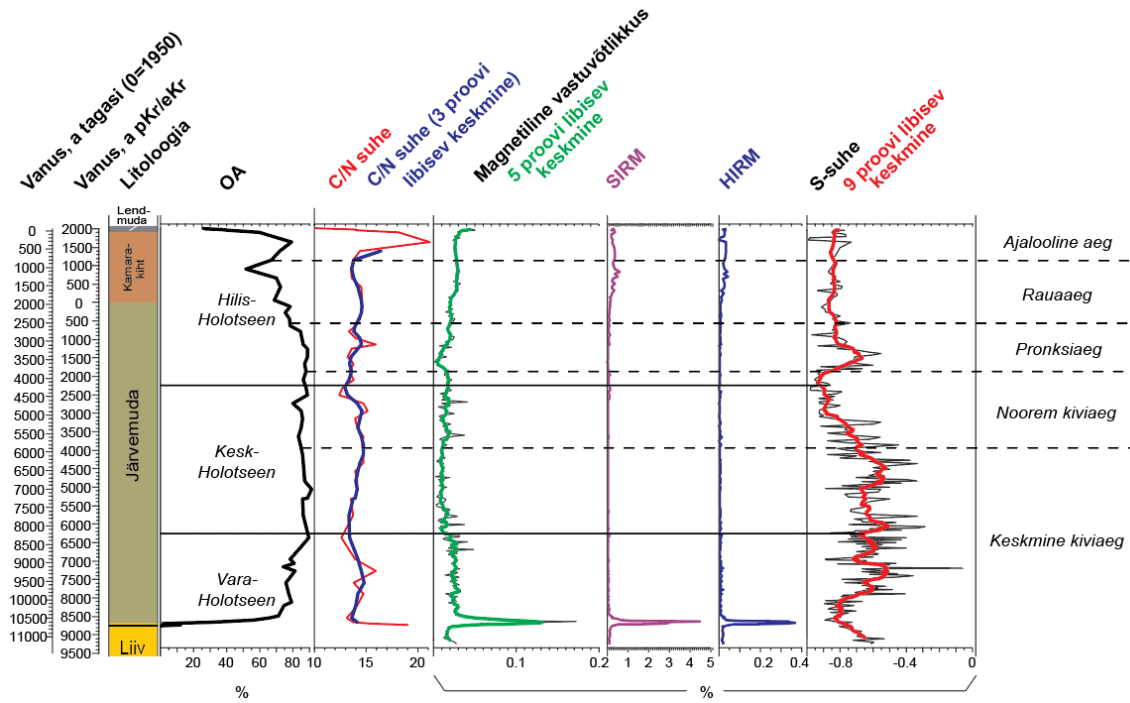


**Joonis 12.** Maardu järve õietolmuandmestik ja Raigastvere järve õietolmust tuletatud aasta keskmine temperatuur koos Maardu järve setteläbilõike OA ja C/N suhte graafikutega.

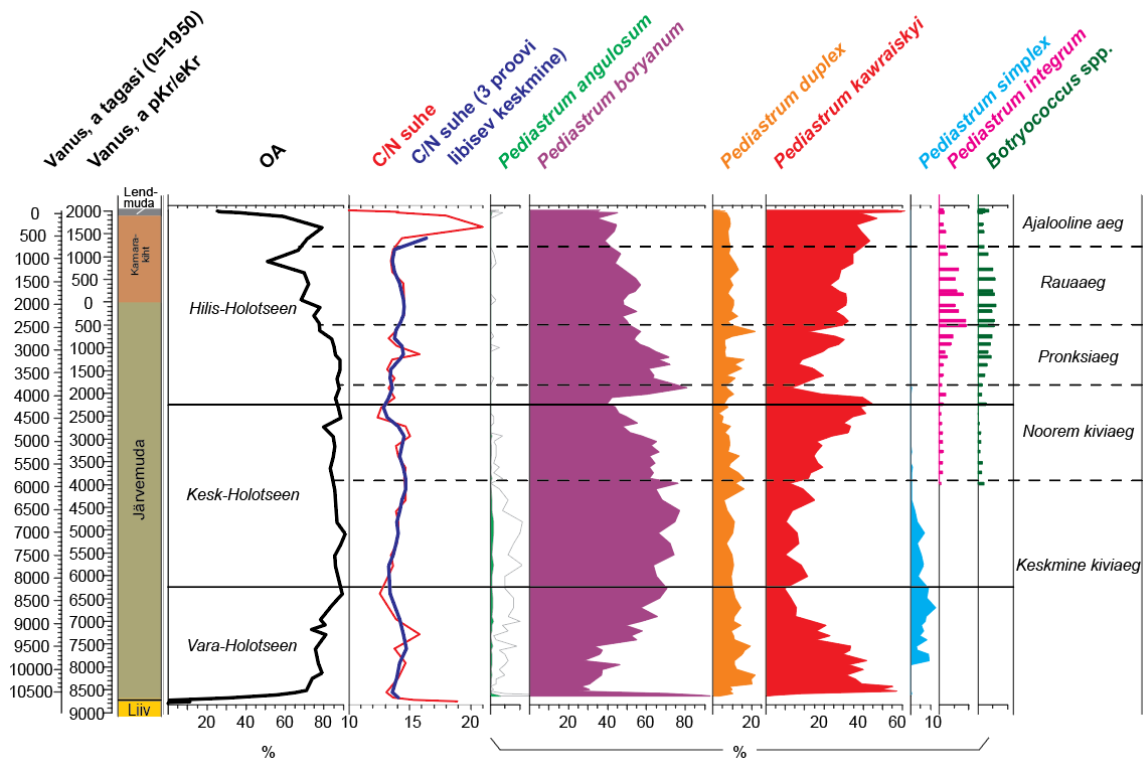
Järvesetete magnetilised omadused on erosiooni indikaatorid. Joonisel 13 on näha, et magnetiline vastuvõtlikkus ning magnetilised parameetrid SIRM ja HIRM liiguvad enamasti samas suunas. Suurim muutus kõigil kolmel toimub u 10600 a tagasi, kui nende väärtused hüppeliselt suurenevad. Magnetiline parameeter (S-suhe) on seevastu olnud läbi aja palju muutlikum. Keskmisel kiviajal on selle väärtused olnud üldiselt stabiilsed, nooremal kiviajal on toimunud langus. Pronksiajal on S-suhte magnetiline parameeter ajutiselt suurenenud, kuid alates rauaaajast on see püsinud üsna stabiilsena.

Rohevetika *Pediastrum* koosluste muutused on tingitud Maardu järve veekeskonna pärastjääaegsest varieeruvusest (Veski, 1994). Joonisel 14 on ära näidatud algohevetikate liigiline koosseis ajaline muutlikus. *Pediastrum boryanum* ja *P. kawraiksyi* on omavahel negatiivses korrelatsioonis – kui ühe hulk suureneb, siis teise hulk väheneb. Üldiselt on mõlemat olnud järves üle 10%. *P. simplex*’t on järves leidunud vaid ajavahemikus 9900-5600 a tagasi.





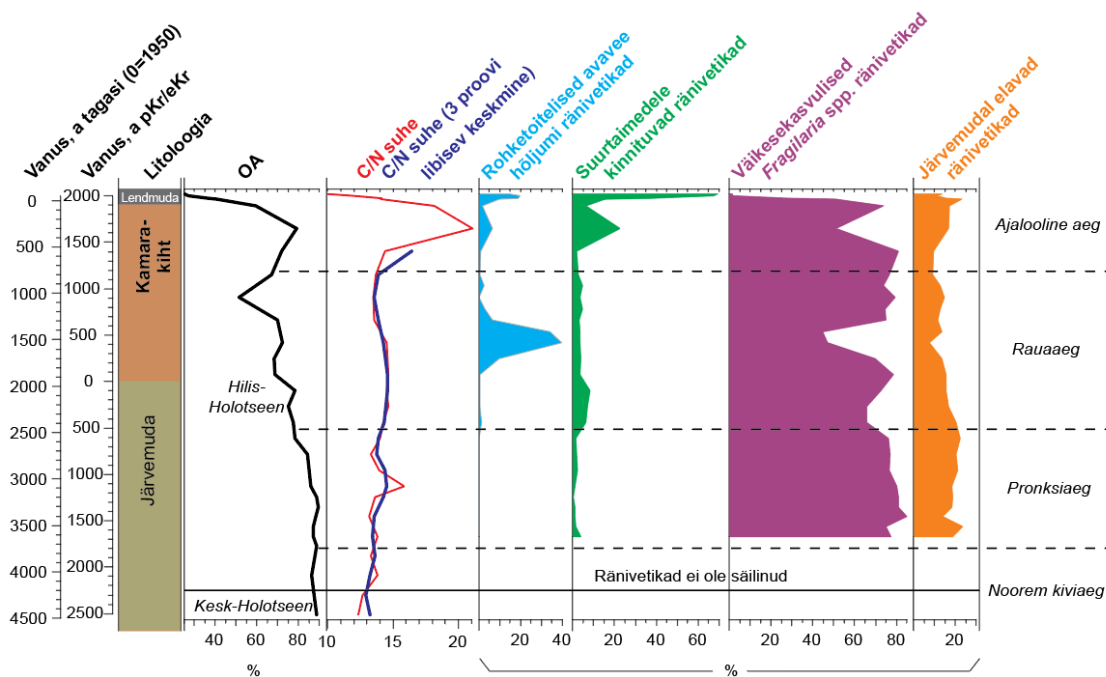
Joonis 13. Maardu järve setteläbilõike magnetiliste parameetrite graafikud (Sandgren, 1993) koos OA ja C/N suhtega.



Joonis 14. Maardu järve setteläbilõike algohevetikate graafikud koos OA ja C/N suhtega.

Joonisel 12 on välja toodud boreaalsete ja laialehiste puude, rohttaimede ja teraviljade õietolmu ning sõeosakeste sisaldused järvesetetes. Boreaalsed ja laialehised puud levivad üksteisele vastupidiselt – kui boreaalsete puude osakaal on Vara-Holotseenis olnud langustrendis, siis laialehiste puude osakaal on tõusnud. Kesk-Holotseenis ja Hilis-Holotseeni alguses on toimunud vastupidine muutus. Boreaalsete puude suur osakaal on püsinud stabiilsena tänaseni. Rohttaimede rohkus on esinenud nii Vara-Holotseeni alguses kui ka Hilis-Holotseeni keskpaigast. Teravilja õietolm esineb setetes esmakordselt Hilis-Holotseeni alguses. Püsivalt leidub seda alates rauaaja algusest. Sõeosakeste rohkus on märgatav Vara-Holotseeni alguses ning taas rauaaja algusest. Oma tipu saavutanud viimased kolm mainitud parameetrit tänapäeval.

Ränivetikate analüüs võimaldab teha järeltõlge Maardu järve veekeskonna muutuste kohta minevikus. Joonisel 15 on kujutatud ränivetikate gruppe ja gruppide protsentuaalse sisalduse muutusi ajas. Setete ränivetikakooslused on jagatud nelja suurde rühma. Rohketoitelised avavee hõljumi ränivetikaliigid näitavad eutroofset keskkonda. Veetaimedele kinnituvad ränivetikaliigid e epifüüton on liigid, kes elavad veesisestel suurtaimedel. Bentilised ränivetikad elavad madalas vees järvemuda pinnal. Väikesekasvulised fragilarioidsed ränivetikaliigid (*Fragilaria* spp.) on kosmopoliitsed madalas veekogus liiva- ja aleuriidiosakestele kinnituvad liigid. Maardu järve setteläbilõikes pole ränivetikad hästi säilinud ja ränist poolmed puudusid hoopis setetes, mille vanus on suurem kui 3700 a. Kõige vanemad säilinud ränivetikad pärinevad pronksiaja algusest, kui domineerisid väikesekasvulised *Fragilaria* spp. liigid ja järvemudal elavad ränivetikad. Mõlema arvukus vähenes drastiliselt rauaaja keskel ning suure osakaalu saavutas hoopis rohketoiteliste avavee hõljumi ränivetikad. Sarnane muutus toimus taas 500-100 a tagasi. Viimased 100 aastat on aga protsentuaalselt kõige enam suurtaimedele kinnituvaid ränivetikaid ning samuti on suurenenud rohketoiteliste avavee hõljumi ränivetikate osakaal.

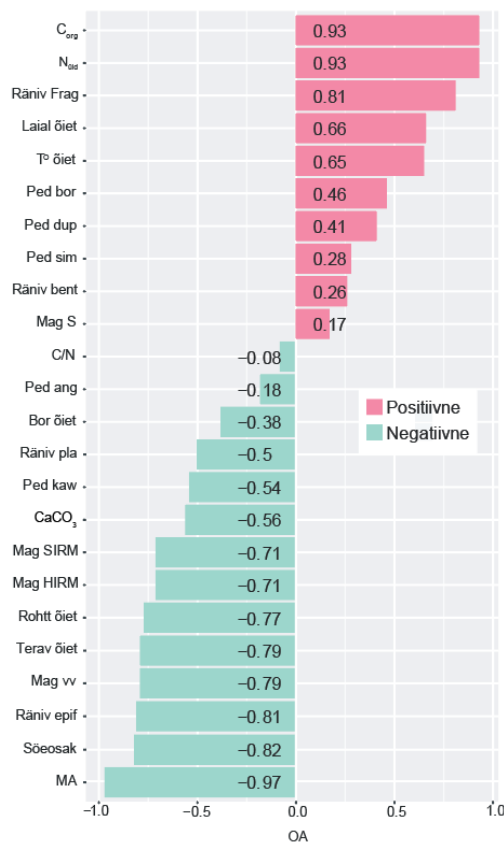


**Joonis 15.** Maardu järvesetete ränivetikadiagramm (%) koos OA ja C/N suhtega.

## 5.5. Numbriline analüüs

Tabelis 3 on välja toodud töös kasutatud kõigi andmete omavahelised lineaarsed korrelatsioonikordajad, lisaks on ära näidatud need kordajad, mis on statistiliselt olulised. C/N suhe ei ole ühegi teise näitajaga statistiliselt olulises seoses. Sama kehtib rohevetika *Pediastrum duplex*, rohketoiteliste avavee hõljumi ränivetikate ja järvemudal elavate ränivetikate osas. OA on olulised seosed sette elementkoostise, CaCO<sub>3</sub>, MA, õietolmuandmete, magnetiliste parameetrite ning mõne räni- ja rohevetika vahel. CaCO<sub>3</sub> on oluliselt seotud C<sub>org</sub>, N<sub>üld</sub>, OA, teravilja õietolmu, söeosakeste, rohevetika *P. kawraiskyi* ja kahe ränivetikaga. MA on tugevas seoses OA, C<sub>org</sub>, N<sub>üld</sub>, temperatuuriga, laialehiste puude, teraviljade ja rohttaimede õietolmuga, söeosakestega ning magnetiliste parameetritega. Nii C<sub>org</sub> kui ka N<sub>üld</sub> on olulises korrelatsioonis OA, CaCO<sub>3</sub>, MA, õietolmuandmetest tuletatud aasta keskmise temperatuuri, laialehiste puude, teraviljade ja rohttaimede õietolmuga, söeosakestega, mõne räni- ja rohevetikaga ning magnetiliste parameetritega.

Joonisel 16 on välja toodud OA korrelatsioon teiste parameetritega. OA ning C<sub>org</sub>, N<sub>üld</sub> massiprotsendi ja väikesekasvuliste *Fragilaria spp.* ränivetikate vahel on tugev positiivne korrelatsioon ehk kui OA väärtus suureneb, siis ka teiste näitajate väärtus suureneb. Tugev negatiivne korrelatsioon esineb OA ning MA, söeosakeste, suurtaimedele kinnituvate ränivetikate, magnetilise vastuvõtlikkuse, teravilja õietolmu, magneetiliste parameetrite (SIRM ja HIRM) vahel.

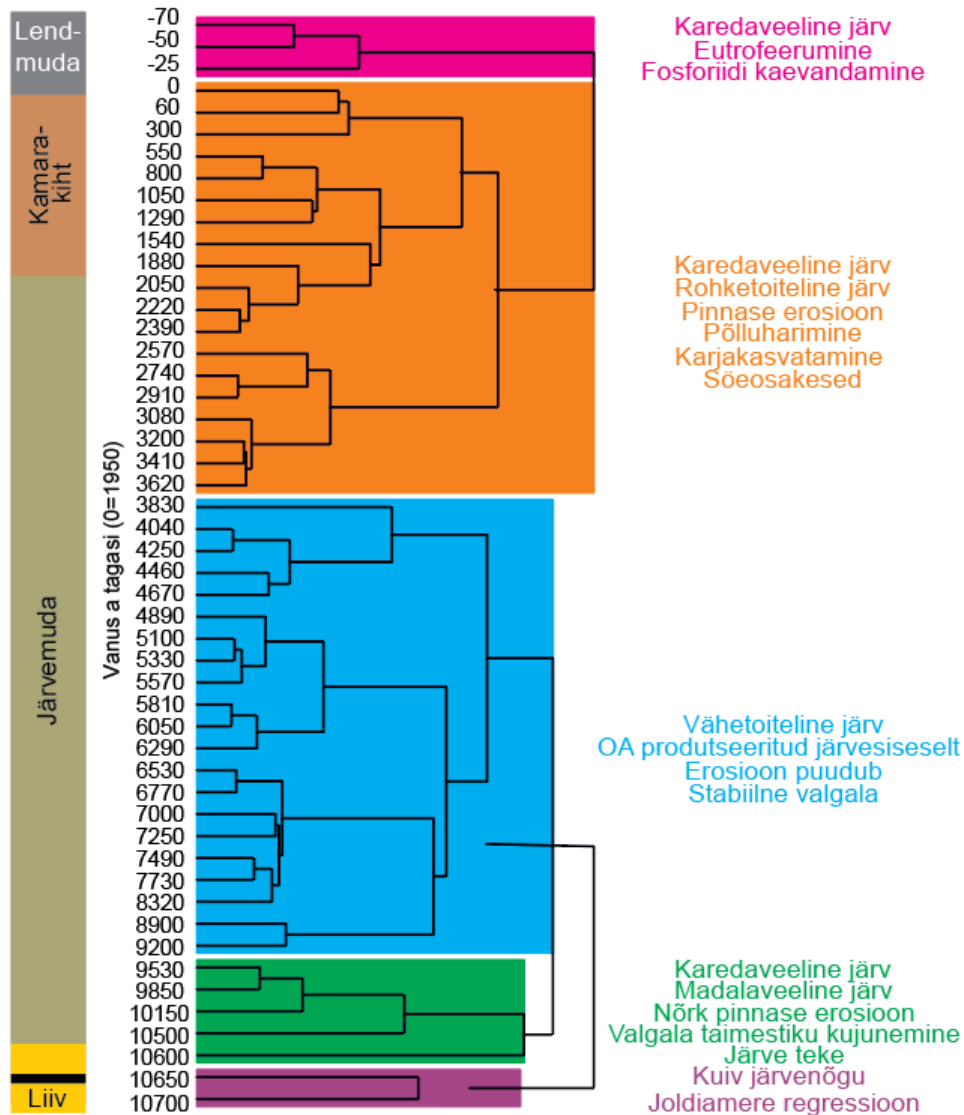


Joonis 16. Maardu järve setteläbilõike OA korrelatsioon teiste setteparameetritega.

**Tabel 3.** Lineaarsed korrelatsioonikordajad magistritöös kasutatud andmete vahel. Rasvases kirjas on välja toodud kordajad, mille  $p < 0,05$ . Lühendite seletused: C/N – C/N suhe; OA – orgaaniline aine; CaCO<sub>3</sub> – karbonaatne aine; MA – mineraalne (100-LOI 550-LOI 950); C<sub>org</sub> – orgaaniline süsinik; N<sub>üld</sub> – üldlämmastik; T° õiet – õietolmust tuletatud aasta keskmine temperatuur (Raigastvere järv); Bor õiet – boreaalsete puude õietolm; Laial õiet – laialehiste puude õietolm; Rohtt õiet – rohttaimede õietolm; Terav õiet – teraviljade õietolm; Söeosak – söeosakesed; Ped ang – *Pediastrum angulosum*; Ped bor – *Pediastrum boyanum*; Ped dup – *Pediastrum duplex*; Ped kaw – *Pediastrum kawraiskyi*; Ped sim – *Pediastrum simplex*; Räniv pla – rohketoitelised avavee hõljumi ränivetikad; Räniv epif – suurtaimedele kinnituvad ränivetikad; Räniv Frag – väikesekasvulised *Fragilaria* spp. ränivetikad; Räniv bent – järvemudal elavad ränivetikad; Mag vv – magnetiline vastuvõtlikkus; Mag SIRM – magneetiline parameeter; Mag HIRM – magneetiline parameeter; Mag S – magnetiline parameeter.

	C/N	OA	CaCO <sub>3</sub>	MA	C <sub>org</sub>	N <sub>üld</sub>	T° õiet	Bor õiet	Laial õiet	Rohtt õiet	Terav õiet	Söeosak	Ped ang	Ped bor	Ped dup	Ped kaw	Ped sim	Räniv pla	Räniv epif	Räniv Fra	Räniv ben	Mag vv	Mag SIRM	Mag HIRM
OA	-0,08																							
CaCO <sub>3</sub>	-0,31	<b>-0,56</b>																						
MA	0,17	<b>-0,97</b>	0,36																					
C <sub>org</sub>	0,08	<b>0,93</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,86</b>																				
N <sub>üld</sub>	-0,21	<b>0,93</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,87</b>	<b>0,95</b>																			
T° õiet	-0,22	<b>0,65</b>	-0,33	<b>-0,63</b>	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>																		
Bor õiet	0,02	-0,38	0,17	0,43	-0,41	-0,42	<b>-0,83</b>																	
Laial õiet	-0,04	<b>0,66</b>	-0,41	<b>-0,69</b>	<b>0,68</b>	<b>0,70</b>	<b>0,85</b>	<b>-0,90</b>																
Rohtt õiet	0,11	<b>-0,77</b>	0,50	<b>0,80</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,81</b>	<b>-0,61</b>	0,47	<b>-0,80</b>															
Terav õiet	-0,13	<b>-0,79</b>	<b>0,83</b>	<b>0,69</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,80</b>	-0,38	0,31	<b>-0,59</b>	<b>0,66</b>														
Söeosak	-0,19	<b>-0,82</b>	<b>0,61</b>	<b>0,81</b>	<b>-0,80</b>	<b>-0,76</b>	<b>-0,57</b>	0,44	<b>-0,66</b>	<b>0,71</b>	<b>0,64</b>													
Ped ang	-0,04	-0,18	-0,07	0,27	-0,07	-0,05	0,01	-0,29	0,20	0,05	-0,25	0,33												
Ped bor	0,00	0,46	-0,49	-0,40	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>	0,48	-0,40	<b>0,51</b>	-0,42	<b>-0,57</b>	-0,19	<b>0,52</b>											
Ped dup	0,10	0,41	-0,42	-0,36	0,41	0,38	-0,05	-0,04	0,20	-0,34	-0,39	-0,39	-0,12	0,01										
Ped kaw	-0,01	<b>-0,54</b>	<b>0,56</b>	0,48	<b>-0,62</b>	<b>-0,62</b>	-0,50	0,46	<b>-0,59</b>	<b>0,51</b>	<b>0,66</b>	0,29	<b>-0,52</b>	<b>-0,96</b>	-0,26									
Ped sim	-0,06	0,28	-0,07	-0,33	0,28	0,30	0,33	<b>-0,57</b>	<b>0,56</b>	-0,35	-0,29	-0,27	0,36	0,27	0,12	-0,43								
Räniv pla	-0,14	-0,50	0,51	0,45	-0,53	-0,52	-0,25	-0,24	-0,44	0,39	0,49	0,55	-0,03	-0,35	-0,37	0,39	0,13							
Räniv epif	-0,33	<b>-0,81</b>	<b>0,94</b>	0,67	<b>-0,83</b>	<b>-0,79</b>	-0,19	-0,39	-0,53	0,43	<b>0,83</b>	<b>0,74</b>	-0,06	-0,69	-0,64	<b>0,74</b>	-0,01	0,49						
Räniv Frag	0,29	<b>0,81</b>	<b>-0,92</b>	-0,68	<b>0,84</b>	<b>0,81</b>	0,36	0,41	0,59	-0,50	<b>-0,82</b>	<b>-0,78</b>	0,02	0,68	0,64	<b>-0,73</b>	-0,01	-0,70	<b>-0,95</b>					
Räniv bent	0,16	0,26	-0,12	-0,31	0,25	0,22	0,36	0,10	0,42	-0,35	-0,31	-0,33	0,35	0,34	0,16	-0,33	-0,30	-0,47	-0,21	0,24				
Mag vv	0,11	<b>-0,79</b>	0,22	<b>0,80</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,73</b>	<b>-0,59</b>	0,32	-0,48	<b>0,59</b>	0,20	<b>0,83</b>	<b>0,70</b>	0,06	-0,30	0,02	-0,13	0,49	0,66	-0,71	-0,17			
Mag SIRM	0,09	<b>-0,71</b>	0,05	<b>0,74</b>	<b>-0,68</b>	<b>-0,63</b>	-0,48	0,25	-0,38	0,49	0,08	<b>0,79</b>	<b>0,77</b>	0,27	-0,30	-0,18	-0,16	0,29	0,19	-0,22	-0,56	<b>0,96</b>		
Mag HIRM	0,09	<b>-0,71</b>	0,03	<b>0,74</b>	<b>-0,68</b>	<b>-0,63</b>	-0,46	0,21	-0,33	0,45	0,04	<b>0,77</b>	<b>0,81</b>	0,31	-0,29	-0,22	-0,12	0,31	0,17	-0,22	-0,58	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>	
Mag S	-0,07	0,17	-0,09	-0,16	0,22	0,22	0,40	<b>-0,62</b>	<b>0,59</b>	-0,33	-0,29	-0,22	0,39	0,40	0,19	<b>-0,52</b>	<b>0,56</b>	-0,08	-0,22	0,25	0,06	-0,15	-0,10	-0,04

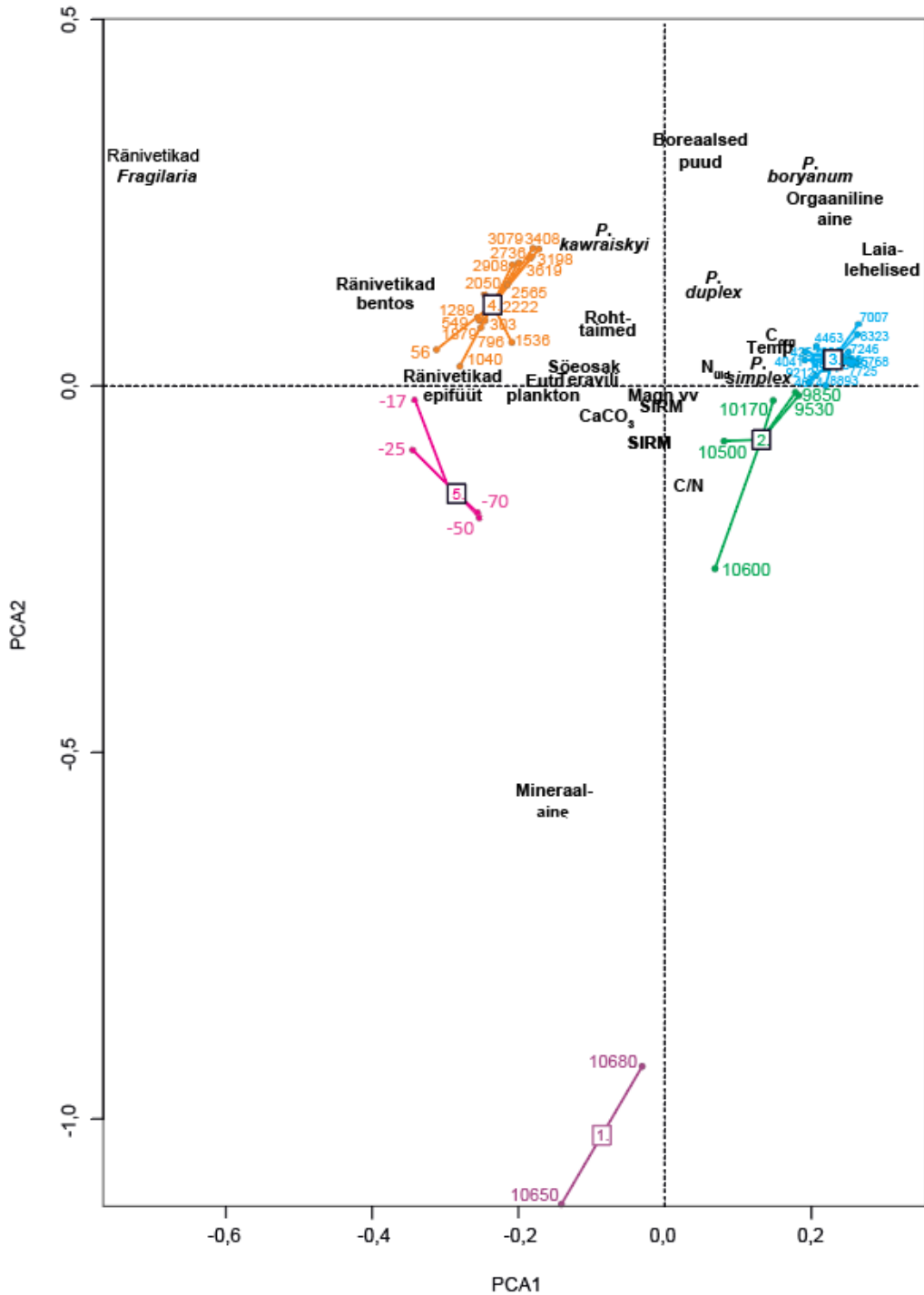
Klasteranalüüsi tulemused põhinevad kõigi töös esitatud andmetel (joonis 17). Klasteranalüüsi põhjal saab järve arengu jagada viide etappi, millel põhineb minu magistritöö arutelu (joonis 17): (1) 10700-10600 a tagasi; (2) 10600-9300 a tagasi; (3) 9300-3700 a tagasi; (4) 3700-0 a tagasi; (5) 1950-ndad a kuni tänapäev.



**Joonis 17.** Maardu järve arengus eristub klasteranalüüsi abil viis erinevat arenguetappi.

Joonisel 18 on esitatud peakomponentanalüüs. Siin eristuvad samuti kõik viis rühma, mis avaldusid klasteranalüüsil (joonis 17) ja seega on nad esitatud samade värvidega. Joonisel kuvatud numbrid märgivad proovide vanust “aastat tagasi”. Kõige enam eristub andmetest esimene klaster, mis on ka kõige enam seotud MA-ga. Teine ja kolmas klaster asuvad üksteisele lähedal ning on järelikult omavahel sarnasemad, neid iseloomustavad seosed orgaanilise aine,  $C_{org}$ ,  $N_{üld}$ , öietolmust tuletatud aasta keskmise temperatuuri, *P. duplex*, *N. simplex*, *P. boryanum* ja boreaalsete ning laialehiste puudega. Neljas klaster omab seoseid väikesekasvuliste ränivetikatega (*Fragilaria* spp.), söeosakeste, teravilja ja rohttaimede

õietolmuga ning järvemudal elavate ränivetikatega. Viies rühm on samuti teistest rühmadest eristuv ja on seotud nii MA kui ka suurtaimedele kinnituvate kui ka rohketoiteliste avavee hõljumi ränivetikatega.

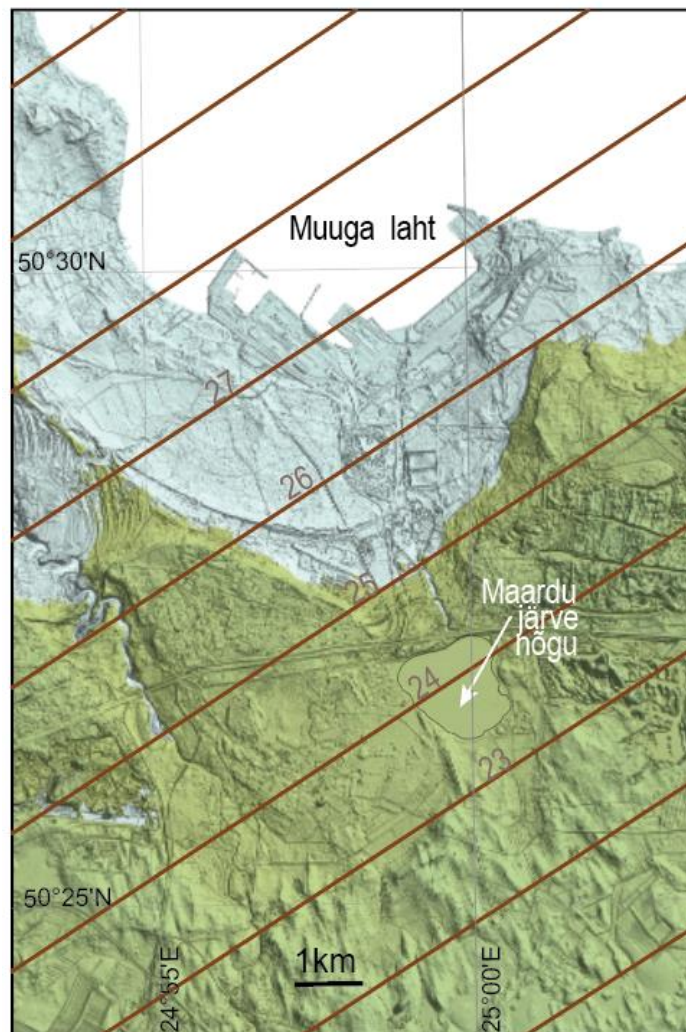


**Joonis 18.** Maardu järve setteläbilõike tulemuste peakomponendi analüüs. Eri värviga on tähistatud klasteranalüüsi põhjal välja eristunud järve arenguetapid. Numbrid näitavad proovide vanust (a tagasi 0=1950). Musta värviga on kirjutatud analüüsitud setteparameetrid.

## 6. Arutelu

### 6.1. Osake Läänemerest (11700-10700 a tagasi)

Eesti põhjarannik, sealhulgas Maardu ümbrus, oli vabanenud mandrijääst ligikaudu 13200 a tagasi (Saarse jt., 2012). Seejärel ujutasid Maardu nõo üle Balti jääpaisjärve arktilised veed. 11700 a tagasi Kesk-Rootsis Billingeni lähedal toimunud jääpaisjärve mahajooks langetas Läänemere taset 25 m ja algas Joldiamere staadiumina tuntud arenguetapp (Heinsalu ja Veski, 2007). Jääkilbi survest vabanenud maakoor kerkis kiiremini kui Läänemere veetase. Seetõttu Maardu ümbruses Joldiamere veetase langes ja meri taandus (Saarse ja Vassiljev, 2010; Veski, 1996).



**Joonis 19.** Joldiamere paleogeograafiline rekonstruktsioon 10700 a tagasi. Halli tooniga on märgitud vesi ja rohelse tooniga maismaa. Pruunid isobaasid näitavad modelleeritud veetaseme kõrgust meetrites üle tänapäevase merepinna (J. Vassiljevi koostatud joonis).

Joldiamere lõpuks, Antsülusjärve alguseks umbes 10700-10600 a tagasi (Hang jt., 2020) jäi Maardu nõgu sootuks kuivaks. Maardu järve setete alumises osas (absoluutkõrgusel 24 m üle merepinna) leidub mõne sentimeetri paksune orgaanikarikas turba/mulla kiht ( $C_{org}$  sisaldus 31,6%), mis on teadaolevalt lähipiirkonna kõige madalam mattunud OA kiht (Heinsalu ja Veski, 2007). Turba või mulla C/N suhte kõrge väärtus (19) viitab selgelt OA maismaalisele päritolule. Turba/mulla kihi vanuseks dateeriti 10650 a tagasi. Joldiamere lõpu paleogeograafiline rekonstruktsioon (10700 a tagasi) näitab, et tolleaegne rannajoon oli Põhja-Eesti paekalda ees, klindipealne Maardu järve nõgu oli aga kuiv (joonis 19). Tolleaegne kliima oli jahe, õietolmust tuletatud aasta keskmine temperatuur oli 1-2 kraadi (joonis 12). Maardu ümbruses kasvasid kase- ja männimetsad, rohttaimede õietolmu suur hulk viitab, et ümbruskonna maismaa polnud täielikult metsastunud (joonis 12).

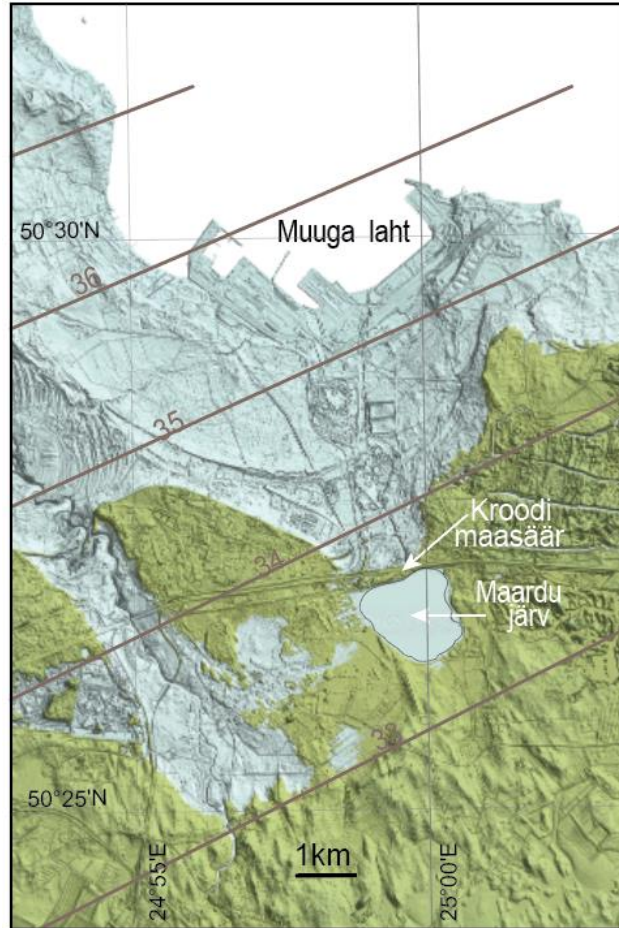
## 6.2. Maardu järve teke ja esimene aastatuhat (10600-9300 a tagasi)

Maakerge sulges Läänemere ühenduse maailmamerega, 10700 a tagasi sai alguse mageveeline Antsülusjärve staadium (Hang jt., 2020). Mandriliustiku sulaveed tõstsid Antsülusjärve veetaset märgatavalt ja Maardu ümbruses tungis Läänemeri kõrgemale sisemaa poole (Veski, 1998). Pealetungiv Antsülusjärv moodustas Maardu nõo ette Kroodi maasääre. Olemasoleva geoloogilise andmestiku põhjal Antsülusjärve veed otse Maardu nõkku ei tunginud (Saarse ja Vassiljev, 2010). Kuna aga Antsülusjärve veetase tõusis kõrgemale kui Maardu järvenõo põhi, hakkas see põhjaveetaseme tõusu tõttu veega täituma ning seetõttu tekkis u 10600 a tagasi esimest korda Maardu järv. Maardu järv oli oma tekkel enam-vähem sama suur kui tänapäeva veekogu (joonis 20).

$C_{org}$  ja  $N_{üld}$  sisaldused suurenesid setetes perioodi alguses kiiresti, C/N suhe jäi aga vahemikku 13-15, mis tavaliselt näitab, et OA produtseeriti järvesiseselt ning valgalalt pärineva OA sissekanne ei saanud olla suur. Kui 10650 a tagasi oli MA sisaldus veel üle 90%, siis u 10600 a tagasi oli MA sisaldus langenud 65%-le ning vähenes ka järgmistel sajanditel. Kõrgem MA sisaldus viitab valgala ebastabiilsusele ehk valgalalt toimus pinnase erosioon järve. Seda kinnitab ka P. Sandgreni uuritud magnetilised parameetrid. Setete magnetilised omadused on kui erosiooni indikaatorid ja need näitavad, et Holotseeni alguses polnud valgala taimestik veel väljakujunenud, pinnased alles stabiliseerusid ning valgalalt toimus nõrk sissekanne järve (joonis 13). Suurem MA sissekanne põhjustas omakorda karedaveelisema veekeskonna. MA rikkamale karedaveelisele keskkonnale viitavad ka rohevetikate kooslus, täpsemalt *Pediastrum kawraiskyi* rohkus (joonis 14), kes eelistab karedaveelisemat vett (Veski, 1994). Õietolmu andmestiku põhjal oli Maardu Vara-Holotseenis järve algusfaasis valgalal kasvavate rohttaimede osakaal suur (joonis 12). 10500 a tagasi hakkas rohttaimede osakaal märgatavalt vähenema ning boreaalsete puude osakaal tõusma, mis samuti kinnitab, et valgala taimestik alles kujunes välja ning seetõttu ei olnud veel täielikult stabiliseerunud.

Järve valgala stabiliseerus u 10000 a tagasi, millele viitab peamiselt MA madal sisaldus ning magnetilised parameetrid. Lisaks olid OA,  $CaCO_3$  ja MA sisaldused saavutanud püsivuse ning järske muutusi enam ei toimunud. Kliima hakkas u 10500 a tagasi soojenema – kui 10600 a tagasi oli aasta keskmine temperatuur veel alla 1 °C, siis 9300 a tagasi oli juba u 6 °C. Sellest tulenevalt võib taimestiku muutus ja järve valgala stabiliseerumine olla põhjustatud kliima soojenemisest.





**Joonis 20.** Antsülsjärve paleogeograafiline rekonstruktsioon 10200 a tagasi. Halli tooniga on märgitud vesi ja rohelise tooniga maismaa. Pruunid isobaasid näitavad modelleeritud veetaseme kõrgust meetrites üle tänapäevase merepinna kõige madalam veetase (J. Vassiljevi koostatud joonis).

### 6.3. Maardu järve looduslik arenguetapp (9300-3700 a tagasi)

Maardu järvemuda kõrge OA ja madal MA sisaldus viitavad asjaolule et järvel ilmselt puudus sissevool ehk tegemist oli umbjärvega. Stabiilne C/N suhe (13-14) osundab OA järvesisesele päritolule, pärinedes nii fütoplanktonist kui ka suurtaimedest. Rohevetika kooslused *Pediastrum boryanum*, *P. simplex* ja *P. angulosum* viitavad, et järv ise oli tol ajal vähetoimeline. Magnetiliste parameetrite põhjal võib väita, et ka valgala oli stabiilne ning olulist erosiooni ei toimunud.

Kesk-Holotseenis toimunud kliima soojenemine jõudis oma optimumi perioodil u 5000-8000 a tagasi (joonis 12). Valdava osa Kesk-Holotseenist oli aasta keskmine temperatuur kuni üle 10 °C, mis on tänapäeva aasta keskmisest temperatuuris u 2,5 °C kõrgem. Soojema kliima tõttu hakkas Eesti aladel, sh Maardu järve ümbruses levima laialehised puud, nt pärn, saar, tamm, jalakas ja sarapuu. Soojema kliima tõttu moodustus ka rohkem OA (sh  $C_{org}$ ), saavutades oma maksimumi samal ajal koos temperatuuriga, u

7000 a tagasi (joonis 11). Ka statistika kinnitab temperatuuri, OA,  $C_{org}$ , laialehiste puude õietolmu tugevat seost antud perioodiga (joonised 16 ja 18, tabel 3).

Nooremal kiviajal 6000 a tagasi asus Maardule lähim neoliitiline Narva kultuuri asulakoht Kroodi Tuulseljal (Veski, 1998). Tolle aja inimesed tegelesid küttimise ja korilusega. Õietolmuproovides vanusega 6300-5000 a tagasi suurenes pisut söeosakeste hulk, mida võis põhjustada sagedasem metsade põletamine küttide ja korilaste poolt (Veski ja Poska, 2004). Samas on Kriiska (1997) välja toonud, et maaviljelusega sel ajal veel ei tegeletud ning metsade põletamine oli tõenäoliselt vajalik paremaks jahipidamiseks. Metsa väikesemahuline raadamine sette OA sisalduses ei kajastu, kuna antud ajavahemikul on C/N suhe vaid u 1,5 ühiku võrra tõusnud ning OA sisaldus on pigem stabiilne.

Alates 5000 a tagasi hakkas kliima jahenema, mis kajastub laialehiste puude õietolmu vähenemises. Laialehiste metsade kadumist põhjustas ka varajane vähene inimõju – selleks ajaks oli hakatud maad harima, mis kajastub esimestes teraviljade õietolmu, nimelt nisu ja kaera õietolmutterade leidudes Maardu järve 4200 a vanustes setetes. Pisut märgatavam inimõju tekkis u 500 a hiljem, kui Pirita alamjooksule rajati nöörikeramika asulakoht, mille asunikud tegelesid algelise maaharimisega ja karjakasvatusega (Veski ja Poska, 2004) – tehti esimesed põlluharimiskatsed, aga see ei saanud veel valdavaks tegevuseks. Varajased algelised maaviljeluskatsed ei kajastu Maardu järve setete OA koostises, küll aga registreerisid sette magnetilised omadused muldade erosiooni nõrka signaali (joonis 13).

#### **6.4. Inimtegevus mõjutab Maardu järve (3700-0 a tagasi)**

Alates pronksiaja algusest hakkab OA,  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  sisaldused setetes vähenema ning MA kogus tõusma, mis viitavad erosiooni tekkele valgalal. Seda kinnitavad ka magnetilised parameetrid. Samal ajal tõuseb teravilja ja rohttaimede õietolmu ja söeosakeste kogus näidates, et põllumajandus järve lähistel intensiivistub. Maaharimisega muutus maastik avatuks (Veski ja Poska, 2004). Pronksiaja lõpul ja rauaaja alguses umbes 2800-2400 a tagasi hakkas inimene aktiivsemalt põldu harima kui kunagi varem, järvest läänes rajatakse ulatuslikul alal põllulapid, nn Maardu “fossiilsed põllud” – see kajastub ka järvesetetes, õietolmu, söeosakeste ning teravilja kontsentratsioon suureneb märgatavalt (Veski, 1998), samas kui OA sisaldus väheneb ja MA hulk tõuseb (joonised 11). Inimtegevuse mõju loodusele toetab ka laialehiste puude õietolmu koguse vähenemine ja rohttaimede õietolmu osakaalu suurenemine (joonis 12). Kui OA sisaldus oli rauaaja alguses 78%, siis rauaaja lõpuks (1050 a tagasi) oli OA sisaldus langenud 51%-ni. Rooma rauaaja (2000 a tagasi) alguseks kasvavad ka magnetilise vastuvõtlikkuse, SIRM ja HIRM väärtused (joonis 13), mille põhjal saab kinnitada, et toimus intensiivsem mulla erosioon järve.

Valgalal toimunud metsade raadamine, põldude rajamine ja alepõllundus avaldasid mõju ka järve vee kvaliteedile. Karedaveelise ja järvevee kõrgema mineraalne sisaldusi tolereeriva *Pediastrum kawraiskyi* arvukus tõuseb ja vähetoitelisema rohevetika *P. boryanum* arvukus väheneb. Ränivetikate kooslus viitab sellele, et tegemist oli madalaveelise ja keskmisetoitelise järvega. Tuginedes ränivetikate kooslusele oli ajavahemikus 1700-1300 a tagasi Maardu järve puhul tegemist juba tugevalt rohketoitelise järveveega. Seega suutsid inimesed lühikese ajaga järve sellisel määral mõjutada, et see muutus eutroofseks ning polnud enam oma looduslikus olekus.

Kuni 1893. aastani suuri muutusi enam ei toimunud. Maardu järv oli tol ajal tänapäevast veidi suurema pindalaga ja veekogu kutsuti Liivakandi järveks (Laarmaa jt., 2019), millel puudus looduslik sisse- ja väljavool (Saarse jt., 1996). 1893. aastal rajati Kroodi kraav mere suunas, et reguleerida järve veetaset, kuid 1894. aastal murdis järvevesi läbi rajatud paisu ning järv jooksis tühjaks (Veski, 1998; Saarse jt., 1996). Järve tühjenemine kajastub ka OA sisalduse muutuses – kui 1600. aastatel oli OA sisaldus veel ligi 80%, siis 1894. aastal langes OA sisaldus 60%-ni. Järve mahavoolu tagajärjel tekkis 10-15 m sügavune ja 100 m laiune Kroodi org pehmetesse Kvaternaari setetesse.

Kuigi tühjaks jooksnud järvenõos hakkasid kasvama maismaataimed, oli osa alast jätkuvalt niiske (Saarse jt., 1996; Veski, 1998). Maismaataimede juured hakkasid kasvama läbi varasemalt settinud järvemuda ulatudes u 1 m sügavusele. See aga põhjustas järvemudas (järvenõo põhjas) mullatekkeprotsessi, mille tagajärjel moodustus kuni 0,5 m paksune kamarakiht, mis on nähtav ka sette läbilõikes (joonis 9). C/N suhe oli pärast inimõju tekkimist stabiilne kuni 300 a tagasi, kõikides 14 ümber, kuid kamarakihi ülemises osas läheb C/N suhe väga kõrgeks, tipnedes väärtusega 21, mis näitab, et maismaaline komponent tuli setetesse sekundaarselt. Algselt oli sel sügavusel tegemist järvemudaga, aga kuna järvenõo kuival perioodil kasvasid maismaataimed sealt läbi, siis maismaataimede süsinikurikkad koed tõstis C/N suhte kõrgeks (joonis 11).

## 6.5. Järve taassünd (alates 1950. a)

1921.-1939. a tegutses esimene fosforiidikaevandus Ülgase külas (Reinsalu, 2011). Pärast Maardu fosforiiditehase rajamist taastati Maardu järv 1939. a, kuna tehases võeti kasutusele maagi rikastamine flotatsiooni meetodil (Saarse jt., 1996). 1940.-1965. a kaevandati maa all Maardu kaevanduse alal, mis hiljem täitis veega ning kust veel praegugi voolavad välja tehislikud allikad (Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, 2017). 1964.-1991. a kaevandati Maardu põhjakarjäär ja 1975.-1991. a Maardu lõunakarjäär (Reinsalu jt., 2015) peale mida hakkas vesi karjäärides tõusma (Puura, 1998).

1950ndatel a algul oli järv umbes poole võrra väiksem kui praegu ning seal kasvasid valdavalt veesisesed ja kaldaveetaimed (Salu jt., 2019). 1953.-1954. a tõsteti Maardu järve veetaset keemiakombinaadi laienemise tõttu veelgi (Laarmaa jt., 2019), tänu mille muutus ka veetaimestik (Salu jt., 2019). 1964. a alustati Jõelähtme jõe vee pumpamist Maardu järve, mis kestis kuni 1991. a (Laarmaa jt., 2019).

1972. a hakati fosforiidikaevanduse vett järve juhtima (Saarse jt., 1996). Vee kõrge mineraalne kontsentratsiooni tõttu (Johannes ja Karise, 1979) settis järvepõhja palju karbonaate (joonis 11). Juurdevool mõjutas järve pindala ja veetaset – kaevandusest suubuva vee osakaal oli 31% järvest läbivoolavast veest (Metsur ja Tamm, 2009) ning järve veevahetus toimus umbes 24 korda aastas (Laarmaa jt., 2019). Lisaks suurenes järve liigirikkus ning 1980. aastaks levis suurtaimestik terves järves (Ott, 2012). Taimestiku muutuse järgi on hinnatud ka vee kvaliteeti – eurtroofsest järvest oli saanud hüpertroofne (Ott, 2012). Seda kinnitab ka setete ränivetikate kooslus, mis viitab sellele, et järves oli palju sissekantud toitained, mille tõttu järv muutus rohketoiteliseks (joonis 15). 1990. a alguses toimus liigiline vaesumine ning taimestiku sügavuspiir vähenes vee kvaliteedi halvenemise tõttu (Ott, 2012). Fosforiidi kaevandamine lõpetati Maardus ümbruses 1991. a (Saarse jt., 1996).

Kuigi 1939. a järv taastati, on sette OA sisaldus jätkuvalt langustrendis. Järvesetete OA C/N suhe on pärast järve taastamist olnud madalam, kui võiks eeldada – järve põhjas leviva mändvetika C/N suhe on tüüpiliselt 21 (Dorenbosch ja Bakker, 2011), Maardu järve mändvetikast tehtud proovi C/N suhe oli 17 ning läbilõike ülemiste proovide C/N suhe, mis sisaldas visuaalsel vaatlusel ka palju mändvetika lagunenuid ja poollagunenud osasid, oli 10-12. Madalaid väärtusi võib põhjustada niitrohevetikate rohke levimine järves (Salu jt., 2019). Niitrohevetikate C/N suhe jääb vahemikku 8-10 (Brenner jt., 2006). Kuna on teada, et Maardu järves kinnituvad niitrohevetikad järve põhjas laiaulatuslikult levinud mändvetikale, siis võis niitrohevetika madal C/N signaal varjutada mändvetika signaali ja seetõttu oli sette läbilõike C/N suhe oodatust palju madalam. Väga madal C/N suhe Maardu järvesette ülemistes kihtides kinnitab, et vaatamata ümbritsevate alade inimõju vähenemisele ei ole järv veel minevikusündmustest taastunud.

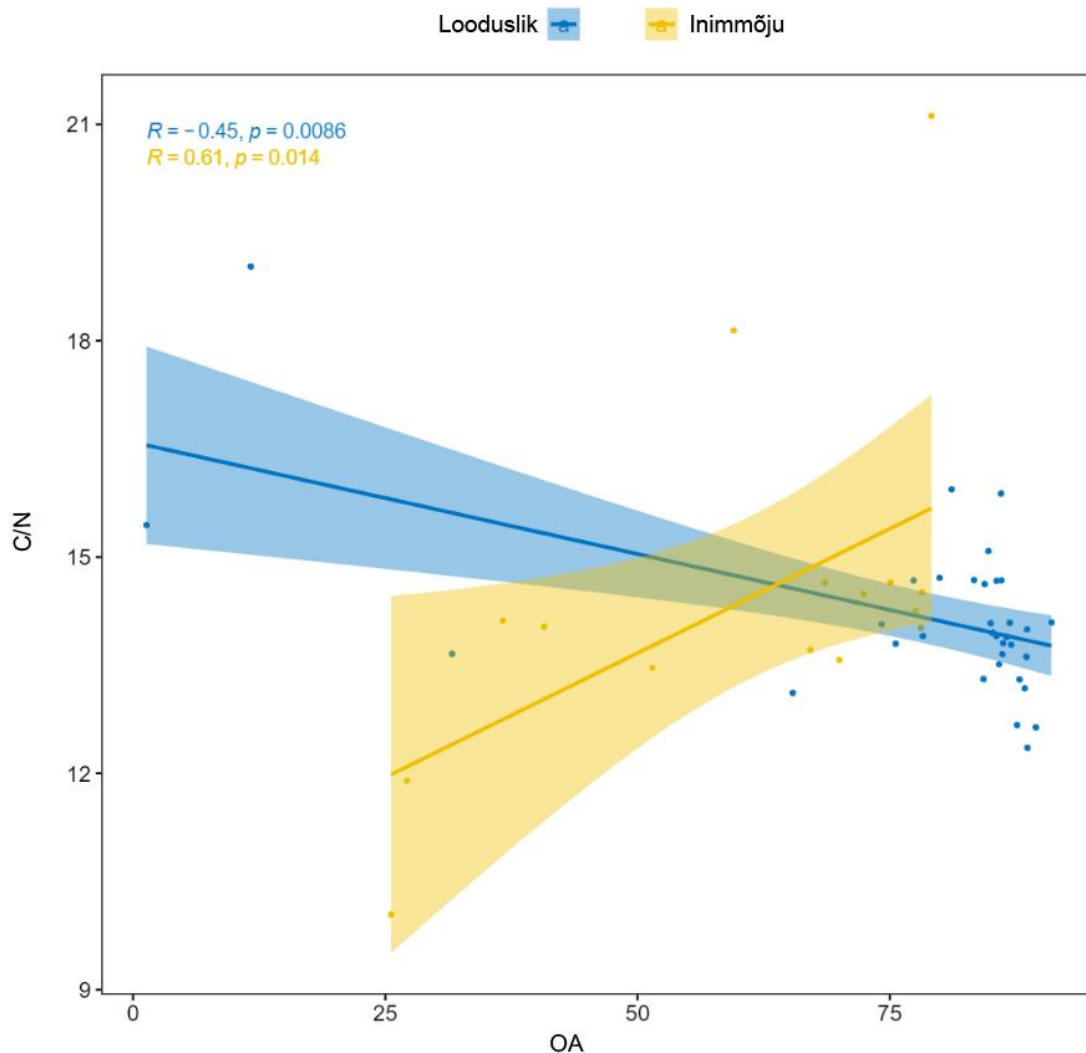
## 6.6. Maardu järve setete orgaaniline aine kui paleoindikaator

Minu magistritöö idee sai alguse kaasjuhendaja M. Liivi doktoritööst, kes kasutas järvesetete OA C/N suhet pärastjääagsete keskkonnamuutuste rekonstrueerimisel. Märkimist väärivad Ida-Lätis asuva Lielais Svetinu hilisjääagsetest järvesetetest analüüsitud OA C/N suhte tulemused, mille põhjal sai rekonstrueerida OA tekke ja päritolu ning selle abil selgelt eristada kliimamuutused ja kirjeldada üldist järve arengut. Seetõttu võis eeldada, et sama analüüsimeetod toimib ka Maardu järve pärastjääagsete setete puhul. Varasemad uuringud olid tõestanud, et järves ja selle valgala oli Holotseeni vältel aset leidnud mitmed looduslikud kui ka inimtekkelised sündmused ja arengutendentsid, mis võisid settesse tugeva OA põhise paleosignaali salvestada.

Maardu järve setetes OA C/N suhe järve keskkonnamuutuste paleosignaalina toimis paraku ainult erakordsete loodussündmuste puhul, nagu Joldiamere regressiooni tõttu järvenõo maismaastumine ja järve tühjaksjooksmine 19. sajandi lõpul (kamarakihi teke). Ülejäänud pärastjääagseid keskkonna- ja kliima ning inimtegevusest põhjustatud muutusi nii järves kui selle valgala OA C/N suhe ei registreerinud ja selle parameetri väärtused püsisid peaaegu muutumatuna. OA C/N suhte tulemused viitavad, et Varaja Kesk-Holotseeni vältel oli järv looduslikus seisundis ning OA pärines järvesisestest allikatest (fütoplankton, veesisesed suurtaimed). OA C/N suhtes ei kajastunud nii eelajaloolise algelise põlluharimise kui ka hilisema ekstensiivse maaviljeluse ja valgala ümberkujundamise mõju järvevee seisundile – selle põhjuseks on tõenäoliselt see, et Maardu järv on liiga suure pindalaga, et ka vähene maismaaline komponent, mis settesse salvestub, hiljem loetavat signaali annaks. Kuna teame, et OA on erinevate ainete segu, siis järelikult ei olnud sissekantud maismaalse OA signaal piisavalt tugev ning seda varjutas järvesisene OA produktsioon. Sellest lähtuvalt olekski soovituslik C/N suhte kasutamist proovida pärastjääaja sündmuste puhul väiksema pindalaga järvede näitel, kuna seal on suurem tõenäosus tuvastada ka pisemaid muutusi järve valgala.

Maardu järvesetete OA C/N suhe pole statistiliselt tugevalt seotud ühegi uurimistöös kasutatud settenäitajaga (joonis 16 ja tabel 3). Klasteranalüüs eristas Maardu setteläbilõike andmetest viis aegrühma (joonis 17). Tähelepanuväärne on aga see, et kui vaadata Maardu järve setete C/N suhte seost OA-ga vaid kahe arenguetapi, loodusliku (10700 - 3700 a tagasi) ja inimõju (3700 a tagasi - tänapäev) klastrina, siis omavad need parameetrid statistiliselt tugevat seost (joonis 21). Maardu järve loodusliku arenguetappi

vältel on OA ja C/N suhte vahel negatiivne seos ( $R=-0,45$ ) ja statistiline olulisus ( $p=0,0086$ ). Kui OA suureneb, siis C/N suhe väheneb. Viidates seeläbi, et kui OA on settes rohkem, pärineb see pigem veekogust endast (siseproduksioon). Samas kui OA väheneb, siis C/N suhe suureneb, viidates, et järve on jõudnud rohkem maismaalist materjali. Maardu järve inimõju perioodil on aga OA ja C/N vahel positiivne seos ( $R=0,61$ ) ja statistiline olulisus ( $p=0,014$ ), mis näitab seda, et viimase 3700 a jooksul OA suurenedes suurenes ka OA C/N suhe. Seega kui OA akumulatsioon enam järvepõhja, siis on see valdavalt seotud kas järvesiseste suurtaimede ulatuslikuma produktsiooniga või OA-ga, mis on maismaalist päritolu (inimõju valgatal). Kui aga OA väheneb, siis on ka C/N suhe madalam, viidates järvesisese produktsiooni domineerimisele. Eelmainitud arvestades tasukski C/N suhet statistiliselt testida ka eraldiseisva näitajana, mitte ühtse pakatina, kus kõiki näitajaid käsitletakse koos, sest vaid nii saab tabada tegeliku C/N informatiivsuse paleolimnoloogilistes uuringutes.



**Joonis 21.** Maardu järvesetete OA ja C/N suhte omavaheline korrelatsioon looduslikus (10700 - 3700 a tagasi) ja inimõju (3700 a tagasi - tänapäev) staadiumis.

Kuigi Maardu järvesette OA C/N suhte paleolimnoloogiline informatiivsus oli antud magistritöös küllaltki madal, tõestasid setete OA ning  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  ennast väga heade indikaatoritena (tabel 3). Kõik kolm eelmainitud näitajat olid tugevas statistilises seoses õietolmust tuletatud aasta keskmise temperatuuriga, laialehiste puude, rohttaimede ja teravilja õietolmuga, söeosakestega kui ka magnetiliste parameetritega (tabel 3). Kliima soojenedes arenes järve ümbruses taimestik ning levima hakkasid laialehised puud, seetõttu mattus üha rohkem orgaanilist materjali järvesettesse. Seda kinnitab OA ning  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  positiivne korrelatsioon rohttaimede ja laialehiste puude õietolmuga (tabel 3). OA ning  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  on registreerinud ka inimtegevuse mõju – maaharimise ja karjakasvatusega suurenes teravilja õietolmu ja söeosakeste hulk, millega samal ajal vähenesid OA,  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  sisaldused. Samasugune trend esines magnetilise vastuvõtlikkuse, SIRM ja HIRM muutustes ehk kui maastik muutus avatumaks ja suurenes erosioon, vähenesid ka järvesette OA,  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  sisaldused.

## Kokkuvõte

Magistritöös uurisin Maardu järvesette OA pärastjääaegseid muutusi ning toetudes minu enda ja varasemate teadusuuringute tulemustele rekonstrueerisin Maardu järve ja selle valgala viimase 10700 a arenguloo. Sette analüüside jaoks puurisin 2020. aastal koos juhendajatega Maardu järvest ühe 5,5 m pikkuse setteläbilõike ning analüüsid (LOI,  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  sisaldus) viisin läbi TalTechi geoloogia instituudi laboris ajavahemikus 2020-2021. a. Töös kirjeldasin, kuidas kliima- ja keskkonnamuutused ning inimtegevus avaldasid mõju Maardu järve setete tekkele ja koostisele ning hindasin, kas OA,  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  ning C/N suhe on sobilikud Maardu järve minevikusündmuste taastuletamiseks.

Viimase mandrijää taandumise järgselt, kui maakerge oli intensiivne ning Joldiameri taandus, jäi Balti klindi pealne maa kuivaks – Maardu järve nõo puhul kinnitab seda setetes leiduv mulla või turba kiht, mille vanuseks on dateeritud 10650 a tagasi. Mullakihi maismaalist päritolu kinnitas ka C/N suhe. Holotseeni alguses oli kliima sel ajal veel küllaltki jahe (1-2 °C). Antsülusjärve transgressiooni tõttu täitus 10600 a tagasi järvenõgu veega ning tekkis Maardu järv. Setete koostis ja õietolmu andmed näitavad, et järve valgala oli sel ajal veel ebastabiilne – taimestik polnud välja kujunenud ning esines pinnase erosioon, mis kandis ohtralt MA järve. OA moodustus aga valdavalt järvesisese produktsiooni toimele ning järvevesi oli karedaveeline.

Järgneva 600 a jooksul kliima soojenes ning püsivad OA,  $CaCO_3$  ja MA väärtused viitavad sellele, et taimestik muutus ning järve valgala stabiliseerus ning pinnase erosioon puudus. Kuna tegemist oli umbjärvega, produtseeriti OA järvesiseselt, veekogu ise oli aga vähetoiteline. 5000-8000 a tagasi oli kliimaatiline optimum, kui hakkasid levima laialehised puud ning tekkis enam OA. 5000 a tagasi hakkas kliima jahenema ning tekkisid esimesed maaharimise ilmingud, kuigi setete OA sisalduses ja koostises maaviljeluse algus ei kajastu. 3700 a tagasi inimtegevus intensiivistus – põldude rajamise tõttu vähenes OA ja suurenes MA sisaldus viidates valgala erosioonile. Kui inimtegevuse alguses oli järv keskmistoiteline, siis 1700 a tagasi oli inimtegevus Maardu järve niivõrd mõjutanud, et järv muutus eutroofseks. Selline olukord püsis kuni 1894. aastani, kui järv tühjaks jooksis, mis kajastub ka C/N suhte suures tõusus. Kuivas järvenõos hakkasid kasvama maismaataimed ning moodustus kamarakiht.

1939. a hakati Maardul asuvate fosforiidikaevanduste vett juhtima järve nõkku ja Maardu järv taastus. Kuna sissejuhitavad veed oli mineraalne rikkad, siis settis järve põhja palju karbonaate. Järve tugeva eutrofeerumise tõttu suurenes ka järvetaimestiku hulk. Fosforiidi kaevandamine lõpetati 1991. a. C/N suhe on olnud langustrendis alates järve tühjaks jäämisest, viidates seeläbi, et järve OA üheks allikaks on nüüdsest tõusnud ka madalama C/N signaaliga niitrohevetikate mass.

Maardu järve sette OA ning OA  $C_{org}$  ja  $N_{üld}$  sisaldused tõestasid oma paleolimnoloogilist tähtsust järve arenguloo kirjeldamisel, olles tugevas statistilises seoses õietolmust tuletatud aasta keskmise temperatuuriga, laialehiste puude, rohttaimede ja teravilja õietolmuga, söeosakestega ning sette magnetiliste parameetritega. Samas OA C/N suhe reageeris vaid erakordsetele sündmustele järve arengus, nagu järve tekke eelne maismaastumine ja järve tühjaksjooksmine 19. sajandi lõpul. Pikaajalisemad loodusprotsessid, kliimamuutused ja inimõju valgala aga C/N suhtes ei kajastunud. Ka

polnud C/N suhe ühegi teise näitajaga statistiliselt seotud. Küll aga esines tugev korrelatsioon C/N suhte ja OA vahel, kui kasutasin teistsugust "statistilist strateegiat", ehk vaatlesin nende parameetrite seost vaid kahe perioodi lõikes, loodusliku ja inimõju klastrina.

Käesolev magistritöö täitis püstitatud eesmärgid, rekonstrueerides Maardu järves 10700 aasta jooksul aset leidnud OA muutlikkuse ning jutustades järve arenguloo kaasates ka varasemate teadusuuringute andmeridasid. Saadud järelduste põhjal soovitan edaspidi paleouuringuteks võtta uurimisobjektiks pindalalt väiksem järv. Lisaks saab magistritöö tulemustel põhinedes soovitada, et järvesetete OA C/N suhet testitaks statistiliselt ka alati eraldiseisva näitajana, mitte ühtse paketina koos kõigi teiste parameetritega.



## Tänuavaldused

Sooviksin südamest tänada oma juhendajaid Atko Heinsalu ja Merlin Liivi, kes aitasid mind väli- ja laboritöödega, jooniste tegemisega, küsimustele vastamisega, nõuannetega, kirjutamisprotsessiga ja töö toimetamisega. Teie osalus ja abi on hindamatu ning olen teie panuse ja toetuse eest äärmiselt tänulik!

Lisaks soovin tänada Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituudi professor Siim Veskit, kes aitas Maardu järvel parve pealt puurimisega, geoloogia instituudi vanemteadur Jüri Vassiljevit, kes aitas settevanuse korreleerimise ja Maardu ümbruse paleogeograafia jooniste tegemisega, ning geoloogia instituudi teadlast PhD Ansis Blausi, kes aitas andmeanalüüsi läbiviimisel.

Suured tänusõnad lähevad ka mu perele ja lähedastele, kes mind kogu selle protsessi käigus toetasid, innustasid ning kaasa elasid.

Magistritöö on valminud Eesti Teadusagentuuri uurimisgrandi PRG-323 toel.

## Kasutatud kirjandus

- Bengtsson, L. ja Enell, M. (1986). Chemical analysis. B. E. Berglund (toim), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* (lk 423–451). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Bowman, S. (1990). *Radiocarbon Dating* (Vol. 1). Univ of California Press.
- Brenner, M., Hodell, D. A., Leyden, B. W., Curtis, J. H., Kenney, W. F., Gu, B. ja Newman, J. M. (2006). Mechanisms for organic matter and phosphorus burial in sediments of a shallow, subtropical, macrophyte-dominated lake. *Journal of Paleolimnology*, 35(1), 129–148.
- Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: the History and Evolution of Lake Systems* (lk 252–254). Oxford University Press.
- Dean, W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1), 242–248. <https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Dorenbosch, M. ja Bakker, E. S. (2011). Herbivory in omnivorous fishes: effect of plant secondary metabolites and prey stoichiometry. *Freshwater Biology*, 56(9), 1783–1797. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2011.02618.x>
- Godwin, H. (1962). Half-life of radiocarbon. *Nature*, 195(4845), 984–984.
- Grunsky, E. C. (2010). The interpretation of geochemical survey data. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 10(1), 27–74. <https://doi.org/10.1144/1467-7873/09-210>
- Hang, T., Veski, S., Vassiljev, J., Poska, A., Kriiska, A. ja Heinsalu, A. (2020). A new formal subdivision of the Holocene Series/Epoch in Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 69(4), 269–280.
- Heinsalu, A. (1996). Sediment stratigraphy and chemistry of Lake Maardu, northern Estonia. *PACT (Rixensart)*, (51), 163–173.
- Heinsalu, A. (2001). *Diatom Stratigraphy and the Palaeoenvironment of the Yoldia Sea in the Gulf of Finland, Baltic Sea* (Vol. 144). Turun yliopisto.
- Heinsalu, A. ja Veski, S. (2007). The history of the Yoldia Sea in Northern Estonia: palaeoenvironmental conditions and climatic oscillations. *Geological Quarterly*, 51(3), 295–306.
- Heiri, O., Lotter, A. F. ja Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25(1), 101–110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>

- Jaanits, L. (1959). *Poselenya epokhi neolita i rannego metalla v priustje r. Emajõgi (Estonskaya SSR)* [Поселения эпохи неолита и раннего металла в приустье р. Эмайыги (Эстонская ССР)] (lk 382). Tallinn.
- Johannes, E. ja Karise., V. (1979). Formirobanje kachestva bod pri otkrytom sposobe dobychi fosforitov b Maardu (ESSR) [Формирование качества вод при открытом способе добычи фосфоритов в Маарду (ЭССР)] (lk 66–67). *Материалы VI Всесоюзного симпозиума по современным проблемам самоочищения водоемов и регулирования качества воды*. Tallinn, 16-18 aprill 1979.
- Kaushal, S. ja Binford, M. W. (1999). Relationship between C: N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA. *Journal of Paleolimnology*, 22(4), 439–442. <https://doi.org/10.1023/A:1008027028029>
- Korff, S. A. ja Mendell, R. B. (1980). Variations in radiocarbon production in the Earth's atmosphere. *Radiocarbon*, 22(2), 159-165. <https://doi.org/10.1017/S0033822200009425>
- Kriiska, A. (1997). Kroodi ja Vihasoo III asula Eesti varaneoliitiliste kultuurirühmade kontekstis. *EJA*, 1, 7–25.
- Kruusement, K. ja Punning, J. M. (2000). Distribution of phosphorus in the sediment core of hypertrophic Lake Ruusmäe and some palaeoecological conclusions. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Biology Ecology* 49(2), 163–176.
- Laarmaa, R., Ott, I., Timm, H., Maileht, K., Sepp, M., Mäemets, H., Palm, A., Krause, T. ja Saar, K. (2019). *Eesti järved* (lk 172–173). Varrak.
- Lang, V. (1996). The Stone Age to Late Iron Age in the Maardu area, northern Estonia, as revealed by archaeological excavations. The fossil fields at Saha-Loo. *PACT (Rixensart)*, (51), 123–139.
- Lang, V. ja Veski, S. (1993). Õietolmuga minevikku seletamas. *Horisont*, 3, 39–42.
- Liiv, M. (2018). *Application of Lake Sediment Carbon/Nitrogen Ratio in Post-Glacial Paleoenvironmental Reconstruction*. TTÜ Press. Kasutatud: 07.05.2021, <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/3eedf6fc-41f6-422d-bd6b-3a79c0f4b133>
- Liiv, M., Alliksaar, T., Freiberg, R., Heinsalu, A., Ott, I., Reitalu, T., Tõnno, I., Vassiljev, J. ja Veski, S. (2018). Drastic changes in lake ecosystem development as a consequence of flax retting: a multiproxy palaeolimnological study of Lake Kooraste Linajärv, Estonia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 27(3), 437–451. <https://doi.org/10.1007/s00334-017-0650-y>
- Liiv, M., Alliksaar, T., Amon, L., Freiberg, R., Heinsalu, A., Reitalu, T., Saarse, L., Seppä, H., Stivrins, N., Tõnno, I., Vassiljev, J. ja Veski, S. (2019). Late glacial and early Holocene climate and environmental

- changes in the eastern Baltic area inferred from sediment C/N ratio. *Journal of Paleolimnology*, 61, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10933-018-0041-0>
- Lillema, A. (1958). *Eesti NSV mullastik*. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus.
- Meschel, S. V. (1978). Chemistry and archaeology: a creative bond (lk 3-24). *Archaeological Chemistry, II*. Washington, DC.
- Metsur, M. ja Tamm, I. (2009). *Maardu II graniidikaevanduse kaevandamise loa taotlus. Keskkonnamõju hindamise aruanne*.
- Meyers, P. A. (1994). Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 114(3-4), 289–302. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0)
- Meyers, P. A. (1997). Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry*, 27(5-6), 213–250. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00049-1](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00049-1)
- Meyers, P. A. ja Benson, L. V. (1988). Sedimentary biomarker and isotopic indicators of the paleoclimatic history of the Walker Lake basin, western Nevada. *Organic Geochemistry*, 13(4-6), 807–813. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(88\)90104-0](https://doi.org/10.1016/0146-6380(88)90104-0)
- Meyers, P. A. ja Ishiwatari, R. (1993). Lacustrine organic geochemistry—an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*, 20(7), 867–900. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(93\)90100-P](https://doi.org/10.1016/0146-6380(93)90100-P)
- Meyers, P. A. ja Ishiwatari, R. (1995). Organic matter accumulation records in lake sediments. *Physics and Chemistry of Lakes* (lk 279–328). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-85132-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-85132-2_10)
- Meyers, P. A. ja Lallier-Vergès, E. (1999). Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21(3), 345–372. <https://doi.org/10.1023/A:1008073732192>
- Meyers, P. A. ja Terranes, J. L. (2001). Sediment organic matter. Last WM, Smol JP (toim), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 2: Physical and Geochemical Methods* (lk 239-269).
- Mills, K., Schillereff, D., Saulnier-Talbot, É., Gell, P., Anderson, N. J., Arnaud, F., Dong, X., Jones, M., McGowan, S., Massafiero, J., Moorhouse, H., Perez, L. ja Ryves, D. B. (2016). Deciphering long-term records of natural variability and human impact as recorded in lake sediments: a palaeolimnological puzzle. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Water*, 4(2), 1–29. <https://doi.org/10.1002/wat2.1195>

- Ott, I. (2012). *Eesti väikejärvede seire 2012*. Eesti Maaülikooli põllumajandus-ja keskkonnainstituut. Tartu.
- Panizzo, V. N., Mackay, A. W., Ssemmanda, I., Taylor, R., Rose, N. ja Leng, M. J. (2008). A 140-year record of recent changes in aquatic productivity in a remote, tropical alpine lake in the Rwenzori Mountain National Park, Uganda. *Journal of Paleolimnology*, 40(1), 325–338. <https://doi.org/10.1007/s10933-007-9163-5>
- Pędziszewska, A., Tylmann, W., Witak, M., Piotrowska, N., Maciejewska, E. ja Latałowa, M. (2015). Holocene environmental changes reflected by pollen, diatoms, and geochemistry of annually laminated sediments of Lake Suminko in the Kashubian Lake District (N Poland). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 216, 55–75. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.01.008>
- Pu, Y., Nace, T., Meyers, P. A., Zhang, H., Wang, Y., Zhang, C. L. ja Shao, X. (2013). Paleoclimate changes of the last 1000 yr on the eastern Qinghai–Tibetan Plateau recorded by elemental, isotopic, and molecular organic matter proxies in sediment from glacial Lake Ximencuo. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 379, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.03.023>
- Punning, J. M. ja Tõugu, K. (2000). C/N ratio and fossil pigments in sediments of some Estonian lakes: an evidence of human impact and Holocene environmental change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 64(3), 549–567. <https://doi.org/10.1023/A:1006325606289>
- Punning, J. M., Kangur, M., Koff, T. ja Possnert, G. (2003). Holocene lake-level changes and their reflection in the paleolimnological records of two lakes in northern Estonia. *Journal of Paleolimnology*, 29(2), 167–178. <https://doi.org/10.1023/A:1023291217456>
- Puura, E. (1998). *Weathering of mining waste rock containing alum shale and limestone: A case-study of the Maardu dumps, Estonia*. Doktoritöö. Stockholmi Kuninglik Tehnikaülikool.
- Raukas, A. (1963). Eri ajastute moreeni litoloogia Eesti NSV-s (vene k). *Transactions of the Institute of Geology*, XII, 3-21.
- Reinsalu, E. (2011). *Eesti mäendus. Õpik kõrgkoolidele*. Tallinn: TTÜ Kirjastus.
- Reinsalu, E., Toomik, A. ja Valgma, I. (2015). *Kaevandatud maa : digiteavik*. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn. Kasutatud: 15.05.2021, <https://digi.lib.ttu.ee/i/?2215>
- Remm, K., Remm, J. ja Kaasik, A. (2012). Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. *Õpikkäsiraamat. Tartu*, 442.
- Riigi Ilmateenistuse kodulehekülg (i.a(a)). *Sademed*. Kasutatud: 03.05.2021, <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimakaardid/sademed/>
- Riigi Ilmateenistuse kodulehekülg. (i.a(b)). *Õhutemperatuur*. Kasutatud: 03.05.2021, <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimakaardid/ohutemperatuur/>

- Saarse, L., Veski, S., Rajamäe, R., Sarv, A. ja Heinsalu, A. (1990). Geology of Lake Maardu (vene k). *Estonian Academy of Science*. Tallinn: Preprint.
- Saarse, L., Heinsalu, A. ja Lang, V. (1996). The Maardu area, northern Estonia: Geological and environmental setting. *PACT (Rixensart)*, (51), 115–122.
- Saarse, L. ja Vassiljev, J. (2010). Holocene shore displacement in the surroundings of Tallinn, North Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 59(3), 207.
- Saarse, L., Heinsalu, A., Veski, S., Amon, L. ja Gaidamavicius, A. (2012). On the deglaciation chronology of the Palivere ice-marginal zone, northern Estonia. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 84, 21–31.
- Sakson, M. (1996). Diatom studies of the Lake Maardu sediments, northern Estonia. *PACT (Rixensart)*, (51), 151–155.
- Salu, M., Grigorjeva, I., Pello, A., Normak, K., Timm, H., Tammert, H., Sepp, M., Kõiv, T., Maileht, K., Laarmaa, R., Saar, K., Ott, K. ja Tamre, R. (2019). Maardu järve koormuse uuring ja meetmed seisundi parandamiseks. (2019). Kasutatud 20.05.2021, <https://maardu.kovtp.ee/maardu-jarve-uuring>
- Sandgren, P. (1993). Preliminary results and interpretation of mineral magnetic analyses of a Holocene Sediment Succession from lake Maardu near Tallinn, Estonia. *Proceedings of Estonia Academy of Science and Geology*, 42(2), 70–81.
- Sandgren, P. (1996). Mineral magnetic analyses of Lake Maardu sediments, northern Estonia. *PACT (Rixensart)*, (51), 175–180.
- Sauga, A. (2020). Korrelatsioonanalüüs. *Statistika õpik majanduseriala üliõpilastele* (lk 389–390). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus. Kasutatud: 12.05.2021, <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/76e80221-4d41-40e6-b395-a6ef16609482>
- Seppä, H. ja Poska, A. (2004). Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. *Quaternary Research*, 61(1), 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2003.08.005>
- Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut (2017). *Maardu fosforiidilevila tehnogeense põhjavee kvaliteedi uuring. Lõpparuanne*. Kasutatud: 25.04.2021, <https://www.kik.ee/et/projekt/maardu-fosforiidilevila-tehnogeense-pohjavee-kvaliteedi-uuring>
- Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut (2013). *Maardu fosforiidilevila tehnogeense põhjavee uuring: lõpparuanne*. Kasutatud: 21.05.2021, <https://www.kik.ee/et/projekt/maardu-fosforiidilevila-tehnogeense-pohjavee-kvaliteedi-uuring>

- Tammekann, A. (1940). The Baltic Glint. A Geomorphical Study. Part 1: Morphology of the Glint. *Publications Instituti Universitatis Tartuensis. Geographica*, 24, 103.
- Tavast, E. ja Raukas, A. (1982). *Eesti aluspõhja reljeef* (vene k) (lk 193). Tallinn: Valgus.
- Vandel, E. ja Koff, T. (2011). Anthropogenically induced changes in the sedimentation processes in the littoral zone of Lake Verevi, South Estonia. *Estonian Journal of Ecology*, 60(3), 167–182.
- Veekogu andmete kuvamine (i.a). Kasutatud: 21.05.2021, [https://www.eelis.ee/default.aspx?state=2;572247461;est;eelisand;;&comp=objresult=veekogu&obj\\_id=1836465480](https://www.eelis.ee/default.aspx?state=2;572247461;est;eelisand;;&comp=objresult=veekogu&obj_id=1836465480)
- Veski, S. (1994). Stratigraphy of Holocene Pediastrum taxa from the sediments of Lake Maardu, North Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology*, 43, 46–54.
- Veski, S. (1996). Vegetational history of Lake Maardu sediments based on the pollen stratigraphy. *PACT (Rixensart)*, (51), 141–150.
- Veski, S. (1998). *Vegetation history, human impact and palaeogeography of West Estonia: Pollen analytical studies of lake and bog sediments*. Doktoritöö. Uppsala Ülikool. Kasutatud, 18.05.2021, <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A169158&dswid=3017>
- Veski, S. ja Lang, V. (1996). Prehistoric human impact in the vicinity of Lake Maardu, Northern Estonia. A synthesis of pollen analytical and archaeological results. *PACT (Rixensart)*, (51), 189–204.
- Veski, S. ja Poska, A. (2004). Eelajalooline inimene ja pool-looduslikud taimekooslused Eestis–pilk minevikku õietolmu meetodil (lk 24-49). *Eesti Looduseuurijate Seltsi aastaraamat*, 82.
- Wohlfarth, B., Tarasov, P., Bennike, O., Lacourse, T., Subetto, D., Torssander, P. ja Romanenko, F. (2006). Late glacial and Holocene palaeoenvironmental changes in the Rostov-Yaroslavl'area, West Central Russia. *Journal of Paleolimnology*, 35(3), 543–569. <https://doi.org/10.1007/s10933-005-3240-4>

## Lisa 1. Maardu järve setteläbilõike LOI analüüsi algandmed

Tiigli nr.	Proovi sügavus (cm)	Tühja tiigli kaal (g)	Kaal prooviga (g)	Kaal pärast 105°C 24h (g)	Kaal pärast 550°C 4h (g)	Kaal pärast 950°C 2h (g)	Kaal pärast 105 °C (g)	Kaal pärast 550 °C (g)	Kaal pärast 950 °C (g)	LOI 550 °C %	LOI 950 °C %	Põletusjääk %
1	151	33,4710	39,2045	33,9281	33,8112	33,6974	0,4571	0,3402	0,2264	25,57	24,90	49,53
2	166	28,6931	34,5123	29,3571	29,1767	29,0174	0,6640	0,4836	0,3243	27,17	23,99	48,84
4	181	30,5818	36,7519	31,2994	31,0363	30,9114	0,7176	0,4545	0,3296	36,66	17,41	45,93
7	185	24,0131	26,0156	24,269	24,1647	24,1284	0,2559	0,1516	0,1153	40,76	14,19	45,06
8	190	24,7584	27,1346	24,9933	24,8535	24,8354	0,2349	0,0951	0,0770	59,51	7,71	32,78
10	195	30,4846	32,3874	30,6591	30,521	30,5169	0,1745	0,0364	0,0323	79,14	2,35	18,51
11	200	30,3456	32,3462	30,5806	30,412	30,4074	0,2350	0,0664	0,0618	71,74	1,96	26,30
13	205	23,2009	24,8292	23,4104	23,2698	23,2659	0,2095	0,0689	0,0650	67,11	1,86	31,03
14	210	29,6955	31,9173	30,038	29,8617	29,8574	0,3425	0,1662	0,1619	51,47	1,26	47,27
15	215	21,7584	24,0057	22,0069	21,8329	21,8279	0,2485	0,0745	0,0695	70,02	2,01	27,97
16	220	28,4051	30,4775	28,6197	28,4643	28,459	0,2146	0,0592	0,0539	72,41	2,47	25,12
18	225	25,0665	27,2620	25,3199	25,1466	25,1417	0,2534	0,0801	0,0752	68,39	1,93	29,68
20	230	23,8262	25,5979	24,0192	23,8869	23,8837	0,1930	0,0607	0,0575	68,55	1,66	29,79
21	235	24,5444	26,5610	24,6976	24,5778	24,5737	0,1532	0,0334	0,0293	78,20	2,68	19,13
22	240	20,3029	22,4410	20,4858	20,3485	20,3444	0,1829	0,0456	0,0415	75,07	2,24	22,69
23	245	25,6373	27,4575	25,7808	25,6695	25,6659	0,1435	0,0322	0,0286	77,56	2,51	19,93
24	250	23,1227	24,1992	23,2007	23,1398	23,1378	0,0780	0,0171	0,0151	78,08	2,56	19,36
25	255	31,1252	32,8023	31,2225	31,1405	31,1387	0,0973	0,0153	0,0135	84,28	1,85	13,87
27	260	31,2464	33,0565	31,3537	31,2623	31,2608	0,1073	0,0159	0,0144	85,18	1,40	13,42
28	265	30,9102	33,1622	31,0454	30,9291	30,9263	0,1352	0,0189	0,0161	86,02	2,07	11,91
29	270	33,4515	35,6178	33,5763	33,4658	33,465	0,1248	0,0143	0,0135	88,54	0,64	10,82
30	275	23,2634	25,7385	23,3893	23,2765	23,2756	0,1259	0,0131	0,0122	89,59	0,71	9,69
31	280	30,3190	32,4138	30,4299	30,3319	30,331	0,1109	0,0129	0,0120	88,37	0,81	10,82
33	285	23,5672	25,9456	23,6875	23,5828	23,5819	0,1203	0,0156	0,0147	87,03	0,75	12,22
34	290	24,6201	27,4207	24,7572	24,6379	24,6368	0,1371	0,0178	0,0167	87,02	0,80	12,18
35	295	33,6497	36,0859	33,7703	33,6635	33,6628	0,1206	0,0138	0,0131	88,56	0,58	10,86
36	300	23,2570	25,5714	23,3691	23,2706	23,2697	0,1121	0,0136	0,0127	87,87	0,80	11,33
37	310	31,5690	34,1259	31,6995	31,587	31,5861	0,1305	0,0180	0,0171	86,21	0,69	13,10
39	320	32,1981	34,2970	32,3086	32,2118	32,2109	0,1105	0,0137	0,0128	87,60	0,81	11,58
40	330	23,7942	25,9157	23,9139	23,8078	23,8073	0,1197	0,0136	0,0131	88,64	0,42	10,94
41	340	25,0460	27,7329	25,2141	25,0797	25,0777	0,1681	0,0337	0,0317	79,95	1,19	18,86
42	350	32,3259	34,6158	32,4421	32,3436	32,3424	0,1162	0,0177	0,0165	84,77	1,03	14,20
43	360	24,3820	26,9554	24,5241	24,4025	24,4012	0,1421	0,0205	0,0192	85,57	0,91	13,51
45	370	27,8728	30,3866	28,006	27,8928	27,8914	0,1332	0,0200	0,0186	84,98	1,05	13,96
46	380	30,9897	34,2671	31,1728	31,0202	31,0189	0,1831	0,0305	0,0292	83,34	0,71	15,95
47	390	25,8372	28,8987	26,0078	25,8638	25,8622	0,1706	0,0266	0,0250	84,41	0,94	14,65
48	400	32,9975	36,0926	33,1606	33,0210	33,0196	0,1631	0,0235	0,0221	85,59	0,86	13,55
49	410	28,5717	31,4004	28,7259	28,5932	28,5917	0,1542	0,0215	0,0200	86,06	0,97	12,97
52	415	29,9330	31,8905	30,0417	29,9469	29,946	0,1087	0,0139	0,0130	87,21	0,83	11,96
53	420	29,3984	31,7859	29,5305	29,4161	29,4151	0,1321	0,0177	0,0167	86,60	0,76	12,64
54	425	34,8315	37,2273	34,9593	34,8522	34,8514	0,1278	0,0207	0,0199	83,80	0,63	15,57



Tiigli nr.	Proovi sügavus (cm)	Tühja tiigli kaal (g)	Kaal prooviga (g)	Kaal pärast 105°C 24h (g)	Kaal pärast 550°C 4h (g)	Kaal pärast 950°C 2h (g)	Kaal pärast 105 °C (g)	Kaal pärast 550 °C (g)	Kaal pärast 950 °C (g)	LOI 550 °C %	LOI 950 °C %	Põletusjääk %
55	430	32,1488	34,6482	32,2807	32,1661	32,1655	0,1319	0,0173	0,0167	86,88	0,45	12,66
56	435	31,7416	33,8088	31,8478	31,7541	31,7534	0,1062	0,0125	0,0118	88,23	0,66	11,11
57	440	28,8561	31,1370	28,9742	28,8667	28,8614	0,1181	0,0106	0,0053	91,02	4,49	4,49
58	445	35,9125	38,4932	36,0441	35,9269	35,9262	0,1316	0,0144	0,0137	89,06	0,53	10,41
59	450	32,1757	34,2283	32,2767	32,1872	32,1868	0,1010	0,0115	0,0111	88,61	0,40	10,99
60	455	30,4417	32,2258	30,5345	30,4544	30,4519	0,0928	0,0127	0,0102	86,31	2,69	10,99
61	460	28,4345	30,4010	28,539	28,4493	28,4465	0,1045	0,0148	0,0120	85,84	2,68	11,48
62	465	38,2436	40,4512	38,3565	38,2590	38,2582	0,1129	0,0154	0,0146	86,36	0,71	12,93
64	470	32,4887	34,4029	32,5884	32,5025	32,502	0,0997	0,0138	0,0133	86,16	0,50	13,34
65*	475	30,6120	33,2530	30,7422	30,6180	30,6074	0,1302	0,0060	-0,0046	95,39	8,14	-3,53
66	480	28,3373	30,5273	28,4493	28,3521	28,3494	0,1120	0,0148	0,0121	86,79	2,41	10,80
68	485	24,9720	27,2629	25,0883	24,9874	24,9847	0,1163	0,0154	0,0127	86,76	2,32	10,92
69	490	32,0665	34,6392	32,2019	32,0852	32,082	0,1354	0,0187	0,0155	86,19	2,36	11,45
71	495	26,9032	30,1474	27,0761	26,9214	26,9137	0,1729	0,0182	0,0105	89,47	4,45	6,07
72	500	27,2396	30,0668	27,3946	27,2638	27,2604	0,1550	0,0242	0,0208	84,39	2,19	13,42
73	505	26,5141	29,1955	26,6624	26,5369	26,5334	0,1483	0,0228	0,0193	84,63	2,36	13,01
74*	510	31,6442	34,2430	31,7839	31,6465	31,6388	0,1397	0,0023	-0,0054	98,35	5,51	-3,87
75	515	28,3371	31,6027	28,5501	28,4037	28,3984	0,2130	0,0666	0,0613	68,73	2,49	28,78
76	520	32,5997	35,7579	32,7829	32,6404	32,6351	0,1832	0,0407	0,0354	77,78	2,89	19,32
77	525	32,3402	35,4148	32,5156	32,3783	32,3728	0,1754	0,0381	0,0326	78,28	3,14	18,59
79	530	28,8716	31,9246	29,0439	28,9061	28,9013	0,1723	0,0345	0,0297	79,98	2,79	17,24
80	535	27,7178	30,7881	27,9072	27,7543	27,7476	0,1894	0,0365	0,0298	80,73	3,54	15,73
81	540	33,8411	37,0137	34,0333	33,8912	33,8855	0,1922	0,0501	0,0444	73,93	2,97	23,10
83	545	31,7289	35,3693	31,9525	31,7875	31,7815	0,2236	0,0586	0,0526	73,79	2,68	23,52
85	550	29,4376	32,2294	29,5951	29,4698	29,4652	0,1575	0,0322	0,0276	79,56	2,92	17,52
86	555	29,0706	31,3055	29,2025	29,0955	29,0917	0,1319	0,0249	0,0211	81,12	2,88	16,00
87	560	34,6410	36,9498	34,7798	34,6683	34,6637	0,1388	0,0273	0,0227	80,33	3,31	16,35
88	565	34,3022	36,9761	34,4588	34,3321	34,3267	0,1566	0,0299	0,0245	80,91	3,45	15,64
89	570	24,7658	28,5187	24,9943	24,8195	24,8113	0,2285	0,0537	0,0455	76,50	3,59	19,91
90	575	28,7169	31,5729	28,9003	28,7579	28,7513	0,1834	0,0410	0,0344	77,64	3,60	18,76
91	580	34,4245	37,2647	34,601	34,4593	34,4537	0,1765	0,0348	0,0292	80,28	3,17	16,54
92	585	33,5570	36,2168	33,7356	33,6006	33,5954	0,1786	0,0436	0,0384	75,59	2,91	21,50
93	590	29,0918	31,7201	29,271	29,1287	29,1232	0,1792	0,0369	0,0314	79,41	3,07	17,52
94	595	30,8727	33,4380	31,0596	30,9127	30,9062	0,1869	0,0400	0,0335	78,60	3,48	17,92
95	600	34,9388	38,0297	35,1717	34,9882	34,9805	0,2329	0,0494	0,0417	78,79	3,31	17,90
96	605	27,8563	30,0203	28,0309	27,8963	27,8898	0,1746	0,0400	0,0335	77,09	3,72	19,19
97	610	29,0871	31,6916	29,2837	29,1312	29,1242	0,1966	0,0441	0,0371	77,57	3,56	18,87
98	615	33,5644	36,2404	33,7698	33,6109	33,6041	0,2054	0,0465	0,0397	77,36	3,31	19,33
100	620	30,4607	32,9564	30,6638	30,5087	30,5017	0,2031	0,0480	0,0410	76,37	3,45	20,19
101	625	29,9603	32,9341	30,2072	30,0181	30,0098	0,2469	0,0578	0,0495	76,59	3,36	20,05
102	630	33,0346	35,4763	33,2379	33,0808	33,0733	0,2033	0,0462	0,0387	77,27	3,69	19,04
105	635	30,9420	32,9747	31,1046	30,9760	30,9695	0,1626	0,0340	0,0275	79,09	4,00	16,91
106	640	30,8208	33,1558	31,0155	30,8671	30,861	0,1947	0,0463	0,0402	76,22	3,13	20,65

Tiigli nr.	Proovi sügavus (cm)	Tühja tiigli kaal (g)	Kaal prooviga (g)	Kaal pärast 105°C 24h (g)	Kaal pärast 550°C 4h (g)	Kaal pärast 950°C 2h (g)	Kaal pärast 105 °C (g)	Kaal pärast 550 °C (g)	Kaal pärast 950 °C (g)	LOI 550 °C %	LOI 950 °C %	Põletusjääk %
107	645	36,7035	39,2675	36,9213	36,7597	36,7521	0,2178	0,0562	0,0486	74,20	3,49	22,31
109	650	25,7044	28,8497	25,9888	25,7750	25,7655	0,2844	0,0706	0,0611	75,18	3,34	21,48
110	655	33,9120	36,7367	34,1782	33,9820	33,9719	0,2662	0,0700	0,0599	73,70	3,79	22,50
141	660	33,6807	36,4206	33,949	33,7514	33,7418	0,2683	0,0707	0,0611	73,65	3,58	22,77
145	665	34,3302	37,0332	34,619	34,4087	34,398	0,2888	0,0785	0,0678	72,82	3,70	23,48
147	670	31,9581	34,7569	32,2786	32,0504	32,0389	0,3205	0,0923	0,0808	71,20	3,59	25,21
148	675	31,7980	34,5224	32,1681	31,9261	31,9121	0,3701	0,1281	0,1141	65,39	3,78	30,83
149	680	30,8277	33,0235	31,184	30,9842	30,9711	0,3563	0,1565	0,1434	56,08	3,68	40,25
153	685	33,5423	34,9559	33,9001	33,7870	33,7743	0,3578	0,2447	0,2320	31,61	3,55	64,84
156	690	33,9053	35,5227	35,1705	35,1537	35,1464	1,2652	1,2484	1,2411	1,33	0,58	98,10
157	691,5	28,5341	29,3018	29,1308	29,1206	29,118	0,5967	0,5865	0,5839	1,71	0,44	97,85
158	692,5	30,5202	30,8680	30,7796	30,7707	30,7688	0,2594	0,2505	0,2486	11,65	0,73	87,62
159	695	27,1951	28,5564	28,3019	28,2928	28,2886	1,1068	1,0977	1,0935	0,82	0,38	98,80
160	670	27,9465	29,1714	28,9424	28,9354	28,9313	0,9959	0,9889	0,9848	0,70	0,41	98,89

## Lisa 2. Maardu järve setteläbilõike proovide vanused ning OA, CaCO<sub>3</sub>, ja MA tulemused

Proovi sügavus cm	Vanus, a pKr/eKr	Vanus aastat tagasi (0=1950)	Orgaaniline aine %	Karbonaat % (CaCO <sub>3</sub> )	Mineraalne aine %
151	2019	-69	25,57	56,51	49,53
166	2001	-51	27,17	54,46	48,84
181	1976	-26	36,66	39,51	45,93
185	1967	-17	40,76	32,20	45,06
190	1894	56	59,51	17,49	32,78
195	1648	303	79,14	5,33	18,51
200	1401	549	71,74	4,44	26,30
205	1155	796	67,11	4,23	31,03
210	908	1043	51,47	2,85	47,27
215	661	1289	70,02	4,57	27,97
220	415	1536	72,41	5,61	25,12
225	243	1707	68,39	4,39	29,68
230	72	1879	68,55	3,76	29,79
235	-100	2050	78,20	6,08	19,13
240	-271	2222	75,07	5,09	22,69
245	-443	2393	77,56	5,69	19,93
250	-614	2565	78,08	5,82	19,36
255	-786	2736	84,28	4,20	13,87
260	-957	2908	85,18	3,17	13,42
265	-1129	3079	86,02	4,70	11,91
270	-1247	3198	88,54	1,46	10,82
275	-1352	3303	89,59	1,62	9,69
280	-1458	3408	88,37	1,84	10,82
285	-1563	3514	87,03	1,70	12,22
290	-1669	3619	87,02	1,82	12,18
295	-1774	3725	88,56	1,32	10,86
300	-1880	3830	87,87	1,82	11,33
310	-2091	4041	86,21	1,57	13,10
320	-2301	4252	87,60	1,85	11,58
330	-2512	4463	88,64	0,95	10,94
340	-2723	4674	79,95	2,70	18,86
350	-2934	4885	84,77	2,34	14,20
360	-3145	5095	85,57	2,08	13,51
370	-3381	5332	84,98	2,39	13,96
380	-3621	5571	83,34	1,61	15,95
390	-3860	5810	84,41	2,13	14,65
400	-4099	6050	85,59	1,95	13,55
410	-4338	6289	86,06	2,21	12,97
415	-4458	6409	87,21	1,88	11,96

Proovi sügavus cm	Vanus, a pKr/eKr	Vanus aastat tagasi (0=1950)	Orgaaniline aine %	Karbonaat % (CaCO <sub>3</sub> )	Mineraalne aine %
420	-4578	6528	86,60	1,72	12,64
425	-4697	6648	83,80	1,42	15,57
430	-4817	6768	86,88	1,03	12,66
435	-4937	6887	88,23	1,50	11,11
440	-5056	7007	91,02	10,19	4,49
445	-5176	7126	89,06	1,21	10,41
450	-5296	7246	88,61	0,90	10,99
455	-5415	7366	86,31	6,12	10,99
460	-5535	7485	85,84	6,08	11,48
465	-5655	7605	86,36	1,61	12,93
470	-5774	7725	86,16	1,14	13,34
480	-6013	7964	86,79	5,47	10,80
485	-6133	8084	86,76	5,27	10,92
490	-6253	8203	86,19	5,36	11,45
495	-6372	8323	89,47	10,11	6,07
500	-6492	8442	84,39	4,98	13,42
505	-6607	8557	84,63	5,36	13,01
515	-6837	8787	68,73	5,65	28,78
520	-6890	8840	77,78	6,57	19,32
525	-6943	8893	78,28	7,12	18,59
530	-6996	8947	79,98	6,32	17,24
535	-7049	9000	80,73	8,03	15,73
540	-7102	9053	73,93	6,73	23,10
545	-7155	9106	73,79	6,09	23,52
550	-7209	9159	79,56	6,63	17,52
555	-7262	9212	81,12	6,54	16,00
560	-7315	9265	80,33	7,52	16,35
565	-7368	9318	80,91	7,83	15,64
570	-7421	9372	76,50	8,15	19,91
575	-7474	9425	77,64	8,17	18,76
580	-7527	9478	80,28	7,20	16,54
585	-7581	9531	75,59	6,61	21,50
590	-7634	9584	79,41	6,97	17,52
595	-7687	9637	78,60	7,89	17,92
600	-7740	9690	78,79	7,50	17,90
605	-7793	9744	77,09	8,45	19,19
610	-7846	9797	77,57	8,08	18,87
615	-7899	9850	77,36	7,52	19,33
620	-7952	9903	76,37	7,82	20,19
625	-8006	9956	76,59	7,63	20,05
630	-8059	10009	77,27	8,37	19,04
635	-8112	10062	79,09	9,07	16,91
640	-8165	10116	76,22	7,11	20,65

Proovi sügavus cm	Vanus, a pKr/eKr	Vanus aastat tagasi (0=1950)	Orgaaniline aine %	Karbonaat % (CaCO <sub>3</sub> )	Mineraalne aine %
645	-8218	10169	74,20	7,92	22,31
650	-8271	10222	75,18	7,58	21,48
655	-8324	10275	73,70	8,61	22,50
660	-8378	10328	73,65	8,12	22,77
665	-8431	10381	72,82	8,41	23,48
670	-8484	10434	71,20	8,15	25,21
675	-8537	10488	65,39	8,59	30,83
680	-8590	10541	56,08	8,35	40,25
685	-8643	10594	31,61	8,06	64,84
690	-8696	10647	1,33	1,31	98,10
691,5	-8718	10668	1,71	0,99	97,85
692,5	-8728	10679	11,65	1,66	87,62
695	-8750	10700	0,82	0,86	98,80
697	-8771	10722	0,70	0,93	98,89

### Lisa 3. Maardu järve setteläbilõike proovide vanused, C<sub>org</sub>, N<sub>üld</sub> ja C/N suhte tulemused

Proovi sügavus cm	Vanus, a pKr/eKr	Vanus aastat tagasi (0=1950)	Orgaaniline aine %	Litoloogia	C <sub>org</sub> %	N <sub>üld</sub> %	C/N (massisuhe)	C/N (aatomsuhe)
151	2019	-69	25,6	Lendmuda	11,36	1,32	8,6	10,0
166	2001	-51	27,2	Lendmuda	13,66	1,34	10,2	11,9
181	1976	-26	36,7	Lendmuda	17,3	1,43	12,1	14,1
185	1967	-17	40,8	Lendmuda	19,24	1,6	12,0	14,0
190	1894	56	59,5	Kamar	29,54	1,9	15,5	18,1
195	1648	303	79,1	Kamar	42,89	2,37	18,1	21,1
200	1401	549	71,7	Kamar	37,81	3,07	12,3	14,4
205	1155	796	67,1	Kamar	32,78	2,79	11,7	13,7
210	908	1043	51,5	Kamar	36,22	3,14	11,5	13,5
215	661	1289	70,0	Kamar	38,73	3,33	11,6	13,6
220	415	1536	72,4	Järvemuda	37,49	3,02	12,4	14,5
230	72	1879	68,5	Järvemuda	39,03	3,11	12,5	14,6
235	-100	2050	78,2	Järvemuda	41,66	3,35	12,4	14,5
240	-271	2222	75,1	Järvemuda	41,8	3,33	12,6	14,6
245	-443	2393	77,6	Järvemuda	41,88	3,43	12,2	14,2
250	-614	2565	78,1	Järvemuda	41,44	3,45	12,0	14,0
255	-786	2736	84,3	Järvemuda	44,93	3,94	11,4	13,3
260	-957	2908	85,2	Järvemuda	45,19	3,78	12,0	14,0
265	-1129	3079	86,0	Järvemuda	46,27	3,4	13,6	15,9
270	-1247	3198	88,5	Järvemuda	46,67	4	11,7	13,6
280	-1458	3408	88,4	Järvemuda	46,19	4,09	11,3	13,2
290	-1669	3619	87,0	Järvemuda	47,13	3,99	11,8	13,8
300	-1880	3830	87,9	Järvemuda	46,85	4,11	11,4	13,3
310	-2091	4041	86,2	Järvemuda	47,44	4,01	11,8	13,8
320	-2301	4252	87,6	Järvemuda	46,36	4,27	10,9	12,7
330	-2512	4463	88,6	Järvemuda	44,67	4,22	10,6	12,4
340	-2723	4674	80,0	Järvemuda	47,15	3,74	12,6	14,7
350	-2934	4885	84,8	Järvemuda	47,18	3,65	12,9	15,1
360	-3145	5095	85,6	Järvemuda	46,83	3,93	11,9	13,9
370	-3381	5332	85,0	Järvemuda	46,34	3,84	12,1	14,1
380	-3621	5571	83,3	Järvemuda	45,04	3,58	12,6	14,7
390	-3860	5810	84,4	Järvemuda	48,75	3,89	12,5	14,6
400	-4099	6050	85,6	Järvemuda	47,27	3,76	12,6	14,7
410	-4338	6289	86,1	Järvemuda	48,42	3,85	12,6	14,7
420	-4578	6528	86,6	Järvemuda	48,33	4,06	11,9	13,9
430	-4817	6768	86,9	Järvemuda	48,29	4	12,1	14,1
440	-5056	7007	91,0	Järvemuda	48,55	4,02	12,1	14,1
450	-5296	7246	88,6	Järvemuda	50,5	4,21	12,0	14,0

Proovi sügavus cm	Vanus, a pKr/eKr	Vanus aastat tagasi (0=1950)	Orgaaniline aine %	Litoloogia	C <sub>org</sub> %	N <sub>üld</sub> %	C/N (massisuhe)	C/N (aatomsuhe)
460	-5535	7485	85,8	Järvemuda	47,36	4,09	11,6	13,5
470	-5774	7725	86,2	Järvemuda	48,44	4,14	11,7	13,7
495	-6372	8323	89,5	Järvemuda	45,15	4,17	10,8	12,6
525	-6943	8893	78,3	Järvemuda	44,2	3,71	11,9	13,9
555	-7262	9212	81,1	Järvemuda	45,62	3,34	13,7	15,9
585	-7581	9531	75,6	Järvemuda	40,08	3,39	11,8	13,8
615	-7899	9850	77,4	Järvemuda	41,25	3,28	12,6	14,7
645	-8218	10169	74,2	Järvemuda	39,3	3,26	12,1	14,1
675	-8537	10488	65,4	Järvemuda	33,38	2,97	11,2	13,1
685	-8643	10594	31,6	Järvemuda	23,29	1,99	11,7	13,7
690	-8696	10647	1,3	Liiv	2,25	0,17	13,2	15,4
692,5	-8728	10679	11,7	Turvas	31,63	1,94	16,3	19,0
Mändvetikas					41,48	2,88	14,4	16,8