



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

# **Ihmistoiminnan ja luonnonolojen kehitys Humppilan Rautajärvellä**

Johannes Hannuniemi

Maaperägeologia

Pro gradu -tutkielma

Laajuus: 30 op

Ohjaajat:

Teija Alenius

Timo Saarinen

9.6.2022

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

**Pääaine:** Maaperägeologia

**Tekijä:** Johannes Hannuniemi

**Otsikko:** Ihmistoiminnan ja luonnonolojen kehitys Humppilan Rautajärvellä

**Ohjaajat:** Teija Alenius, Timo Saarinen

**Sivumäärä:** 39 sivua + liitteet 1 sivu

**Päivämäärä:** 9.6.2022

---

Tutkimuksen kohde on Kanta-Hämeessä sijaitseva Humppilan Rautajärven alue. Umpeenkasvaneen Rautajärven rannoilta on tehty paljon arkeologisia löytöjä. Tutkimuksen aineistona käytettiin Rautajärven keskeltä otettuja sedimenttikairanäytteitä, joita otettiin 280 cm:n syvyyteen asti. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voiko geologisin menetelmin saatuja tuloksia hyödyntää Rautajärven ihmistoiminnan ja luonnonolojen kehityksen ymmärtämisessä. Tutkimuksen tekemiseen on käytetty seuraavia menetelmiä: geokemiallinen analyysi, radiohiiliajoitus, hehkutushäviö, magneettinen susceptibiliteetti ja siitepölyanalyysi. Käsi-XRF:llä tehty geokemiallinen analyysi on tutkimuksen päämenetelmä. Geokemiallisen analyysin tuloksia arvioitiin ja vertailtiin Suomen järvisedimenttien keskimääräisiin alkuainepitoisuuksiin. Geokemiallisen analyysin tulokset eivät juuri antaneet tietoa muinaisesta ihmistoiminnasta Rautajärvellä, mutta kuparin ja sinkin poikkeavat pitoisuudet saattoivat johtua muinaisesta ihmistoiminnasta. Järven luonnonolosuhteiden muutokset näkyivät hyvin magneettisen susceptibiliteetin ja hehkutushäviön tuloksissa. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että maaperänäytteet olisi hyvä ottaa tämänkaltaisissa tutkimuksissa arkeologisten kohteiden läheltä, kun tehdään geokemiallista tutkimusta. Tutkimuksen Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää vuonna 2019 Turun yliopistossa aloitetussa Järvensuon kivikautisen (n. 6000–4000 BP) järviasuinpaikan monitieteisissä tutkimuksissa.

Asiasanat: geologia, geokemia, arkeologia, siitepölyanalyysi, radiohiiliajoitus, sedimentit

## Sisällysluettelo:

1. Johdanto .....	1
1.1 Tutkimuskohde .....	3
1.2 Arkeologinen konteksti .....	5
1.3 Geokemiallisen analyysin käyttö arkeologiassa .....	7
2. Aineisto ja menetelmät .....	9
2.1 Sedimentin kairaus .....	9
2.2 Magneettinen susceptibiliteetti ja osanäytteenotto.....	9
2.3 Geokemiallinen analyysi .....	10
2.4 Radiohiiliajoitus .....	12
2.5 Hehkutushäviö .....	12
3. Tulokset .....	13
3.1 Magneettinen susceptibiliteetti .....	13
3.2 Geokemiallinen analyysi .....	15
3.3 Radiohiiliajoitus .....	18
3.4 Hehkutushäviö .....	19
3.5 Siitepölyanalyysi .....	20
4. Tulosten tulkinta .....	22
4.1 Rautajärven kehitysvaiheet .....	22
4.2 Ihmistoiminnan erottuminen sedimentissä.....	26
4.2.1 Muinainen ihmistoiminta .....	26
4.2.2 Nykyinen ihmistoiminta .....	29
4.3 Geokemiallisten tulosten arviointia .....	30
4.4 Mahdolliset virhetekijät .....	32
5. Johtopäätökset .....	33
6. Kiitokset .....	35
7. Lähdeluettelo .....	35

## 1. Johdanto

Tässä tutkimuksessa tutkitaan umpeenkasvaneen järven, Rautajärven, pohjalle kerrostunutta sedimenttiä. Järvisedimentit tallentavat luonnollisia ja ihmistoiminnasta johtuvia ympäristömuutoksia (Smol 2008). Tieteenalaa, jossa käytetään sedimenttiprofiileihin säilynyttä fysikaalista, biologista ja kemiallista tietoa vesistöjen menneiden ympäristöolojen ymmärtämiseen, kutsutaan paleolimnologiaksi. Paleolimnologiset menetelmät voidaan jakaa fysikaalisiin, biologisiin ja kemiallisiin menetelmiin. Fysikaalisia menetelmiä ovat esimerkiksi hiukkasten koon määrittämien, biologisia esimerkiksi piilevien sekä siitepölyjen tunnistaminen ja kemiallisia esimerkiksi geokemiallinen analyysi.

Tämän tutkimuksen päämenetelmä on käsi-XRF:llä tehtävä geokemiallinen analyysi. Pian sen jälkeen, kun Röntgen löysi röntgensäteet vuonna 1895, ymmärrettiin, että aineet fluoresoivat, kun niihin kohdistetaan röntgensäteitä (Croudace ja Rothwell 2015). Fluoresoituminen tarkoittaa, että atomit säteilevät takaisin järjestysluvun mukaista sekundääristä säteilyä (Croudace ja Rothwell 2015). Fluoresoituneiden fotonien mittaaminen mahdollistaa useimpien alkuaineiden kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen analyysin (Kalnicky ja Singhvi, 2001). Röntgensäteitä hyödynnetään myös sedimenttien geokemiallisessa tutkimuksessa silloin, kun maaperänäytteitä analysoidaan XRF-laitteilla.

Sedimenttien geokemiallista analyysia on käytetty moniin eri tarkoituksiin. Sedimenttien epäorgaaninen geokemiallinen analyysi on ollut tärkeässä roolissa paleolimnologian osa-alueella 1960-luvusta lähtien (Boyle 2001). Järvi- ja merisedimenttien geokemiallinen data, piilevä- ja siitepölydatan lisäksi, antavat kokonaisvaltaisen kuvan pitkäaikaisesta ilmaston muuttumisesta ja viimeaikaisista ihmistoiminnan vaikutuksista (Boyle 2001). Geokemiallista analyysia on hyödynnetty lisääntyvässä määrin ihmistoiminnan aiheuttamien vaikutusten, kuten päästöjen, tutkimiseen (Boyle 2001). Esimerkiksi Lin *et al.* tutkimuksessa (2017) selvitettiin Dongshan Bayssa, Kaakkois-Kiinassa, sijaitsevien sedimenttien geokemiallista koostumusta päästöjen lähteiden ja ihmistoiminnasta aiheuttamien vaikutusten arvioimiseksi viimeisen 100 vuoden aikana.

Geokemiallista analyysia on kuitenkin käytetty suhteellisen vähän arkeologian alalla Suomessa, vaikka monissa muissa maissa sitä on käytetty enemmän. Esimerkiksi

Slovakiassa varhaispronssikautisesta asutuksesta kerättiin sedimenttinäytteitä, joita tutkittiin käsi-XRF:n avulla (Bátora *et al.* 2013). Tässä tutkimuksessa geokemiallista analyysia käytetään juuri arkeologisen tutkimuksen apuna. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voiko geokemiallisen analyysin ja muiden geologisten menetelmien tuloksia hyödyntää Rautajärven arkeologisessa tutkimuksessa.

Tutkimuskysymyksenä on ymmärtää, voivatko geokemiallinen analyysi, radiohiiliajoitus, hehkutushäviö ja magneettinen susceptibiliteetti lisätä tietoa muinaisesta ihmistoiminnasta ja luonnonolosuhteiden kehityksestä Humppilan umpeenkasvaneella Rautajärvellä, jonka rannoilla on runsaasti merkkejä esihistoriallisesta ihmisasutuksesta (Koivisto ja Lahelma 2021). Tutkimuksen hypoteesina on, että ihmistoiminta voi erottua eri alkuainepitoisuuksien vaihteluina geokemiallisen analyysin ja muiden käytettyjen tutkimusmenetelmien avulla saaduissa tuloksissa. Tämän lisäksi työn tulokset antavat tietoa luonnonolosuhteiden kehityksestä alueella. Tutkimuksen pääpainotus on ihmistoiminnan vaikutusten tutkimisessa, mutta myös luonnonolosuhteiden muutoksia, varsinkin Rautajärven geologista kehitystä, käsitellään.

Huisman *et al.* (2009) ovat selvittäneet miten geokemiallista analyysia voidaan hyödyntää arkeologiassa. Tässä työssä viitataan useisiin eri tutkimuksiin ja jaotellaan alkuaineet sen mukaan, minkä tyyppiseen ihmistoimintaan niiden poikkeavat pitoisuudet voivat viitata. Esimerkiksi tulisijat jättävät jälkeensä luonnonolosuhteisiin poikkeavan pitoisuuden fosforia (P), kaliumia (K) ja magnesiumia (Mg).

Tässä työssä käytettiin apuna Huismanin *et al.* (2009) sekä Aleniuksen *et al.* (2017) tutkimuksia valittaessa tutkittavia alkuaineita XRF-mittausten jälkeen. Mitatuista alkuainepitoisuuksista etsittiin anomaliaita ja poikkeavuuksia, jotka voisivat antaa tietoa ihmistoiminnasta tai luonnonolojen kehityksestä. Mäkisen ja Saarelaisen kirjoittamaa KaiHali-hankkeen taustaraporttia (2019) käytettiin Suomen järvien keskimääräisten alkuainepitoisuuksien määrittelyyn. Tässä tutkimuksessa mitattuja alkuainepitoisuuksia verrattiin Suomen järvien keskimääräisiin pitoisuuksiin.

On tärkeää arvioida voivatko tässä tutkimuksessa käytetyt menetelmät olla hyödyllisiä geoarkeologian osa-alueella. Geokemiallista analyysia on käytetty monissa geoarkeologisissa tutkimuksissa ennenkin, mutta maaperän kemian ja arkeologian välisen yhteyden ymmärtäminen on edelleen vähäistä (Huisman *et al.* 2009). Erityisesti Suomessa on tutkittu vähän, kuinka geokemiallisia menetelmiä voidaan hyödyntää

laajasti arkeologisessa tutkimuksessa. Rautajärven alueen luonnonolojen kehityksen ymmärtäminen voi auttaa ymmärtämään ihmisasutuksen ja -toiminnan taustavaikuttimia sekä syy- ja seuraussuhteita, esimerkiksi siitä, miksi ihmiset ovat asettuneet juuri Rautajärven rannoille asumaan ja harjoittamaan elinkeinojaan jo kivikaudella. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää vuonna 2019 Turun yliopistossa aloitetussa Järvensuon kivikautisen (n. 6000–4000 BP) järviasuinpaikan monitieteisissä tutkimuksissa (Koivisto 2021).

Geokemiallista analyysia täydentävinä menetelminä käytetään radiohiiliajoitusta, hehikutushäviötä, siitepölyanalyysiä ja magneettista susceptibiliteettia. Siitepölyanalyysi antaa tietoa tutkimusalueen kasvillisuuden kehityksestä ja ilmastohistoriasta (Alenius *et al.* 2008). Magneettinen susceptibiliteetti antaa tietoa sedimentin ferrimagneettisten ja paramagneettisten mineraalien pitoisuudesta, minkä lisäksi se voi tukea sedimenttiprofiilien yli menevien osuukien tunnistamisessa (Mullens 2006). Hehikutushäviö kertoo, kuinka paljon sedimentissä on mineraalista ja orgaanista ainesta (Veres 2002).

## 1.1 Tutkimuskohde

Tutkimuskohde sijaitsee Rautajärvellä Humppilassa, Lounais-Suomessa. Humppila sijaitsee Turun ja Tampereen puolivälissä Kanta-Hämeen alueella. Tutkimuskohteella sijaitsi järvi, joka tunnetaan nykyisin nimellä Rautajärvi, monen tuhannen vuoden ajan ennen kuin sen kuivatus aloitettiin 1800-luvulla (Anttila 1967). Kuivatus oli pitkälinen prosessi, joka eteni useassa vaiheessa ja viljely oli laajemmin mahdollista vasta 1950-luvulla (Anttila 1967). Nykyään alue on kauttaaltaan peltojen peittämä. *Kuvassa 1* on esitetty tutkimusalueen ilmakehän kuva, Rautajärven suurpiirteiset rajat ennen kuivatusta sekä piste, josta näytteet kairattiin.



Kuva 1. Ilmakuva tutkimusalueesta, johon on merkitty Rautajärven rajat ennen kuivatusta mustalla viivalla ja näytteenottopiste mustalla tähdellä. Rautajärven rajat ovat suurpiirteiset ja ne on tehty Maanmittauslaitoksen LiDAR-aineiston perusteella.

Rautajärvi kuroutui Ancyclusjärvestä noin 9800 BP itsenäiseksi järviaaltaaksi, joka oli transgressiivinen noin 4500 BP asti. (Koivisto 2021). Transgressio tarkoittaa, että suhteellinen merenpinnan kohoaminen ylittää maankohoamisen (Harff 2016). Uusi ulosvirtauskanava laski veden pintaa ja paljasti tasaisen matalikon aikavälillä noin 4800–4090 cal BP, jonka jälkeen järven etelärannan kuivaksi jääneet alueet alkoivat soistua (Aalto *et al.* 1985, Koivisto 2021). Järvensuo 1:n arkeologisella kohteella (kuva 2) otettiin näytteitä maaperän eri kerroksista 1980-luvulla (Koivisto 2021). Silloin otettujen näytteiden perusteella Rautajärven varhaisen kehitysvaiheen ajoitettiin olleen 7573–7167 cal BP (Hel-1944) 95,4 % vaihteluvälillä (Aalto *et al.* 1985). Tämä ajoitus (Hel-1944) ei kuitenkaan kerro laajemmin järven historiasta, sillä ajoitettu näyte otettiin rannasta, jossa liejua ei ollut tarpeeksi (Aalto *et al.* 1985, Koivisto 2021).

GTK:n Maankamara-palvelun tietojen perusteella Rautajärven alueen kallioperä koostuu lähinnä proterotsooisesta pegmatiittigraniitista. Rautajärven luoteiskulman kallioperä koostuu proterotsooisesta sarvivälkegneisistä. Rautajärven lähetyvillä kallioperä

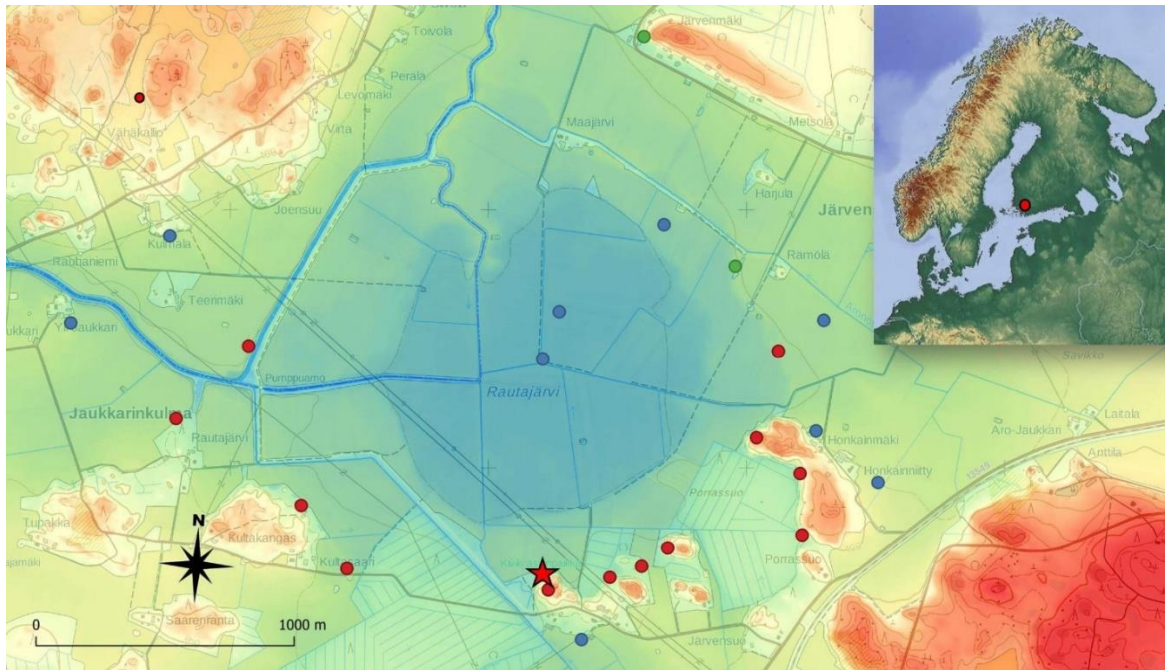
koostuu näiden kahden kivilajin lisäksi granodioriitista ja mafisesta vulkaniitista. Kallioperän koostumuksella on vaikutusta järven ja maaperän geokemialliseen koostumukseen.

Maakamara-palvelun mukaan varsinaisen Rautajärven alueella maaperä koostuu lähinnä liejusta. Osalla Rautajärven alueesta saraturve on kuitenkin pintamaalaji ja lieju pohjamaalaji. Järven eteläpuolella on alue, jolla sekä pinta- että pohjamaalaji on saraturve. Kuivatettua järveä ympäröi laajat savi – ja rahkaturvealueet.

## **1.2 Arkeologinen konteksti**

Järvensuon alueelta on löydetty monia kiinteitä arkeologisia kohteita ja irtolöytöjä (Koivisto 2021). Ensimmäisenä löydetty ja tutkituin kohde on nimeltään Järvensuo 1 (Koivisto 2021, Koivisto ja Lahelma 2021), joka sijaitsee Rautajärven etelärannalla, nykyisen turvepellon reunalla kohoavan moreenikukkulan juurella. Veden pinnan korkeuden vaihtelut ja sedimentaatio ovat saaneet aikaan hapettomat olosuhteet, joissa myös harvinaiset orgaaniset arkeologiset jäänteet säilyvät hyvin (Koivisto ja Lahelma 2021). Järvensuo 1:n kivikautinen ihmistoiminta ajoittuu noin 5950–3950 cal BP (4000–2000 cal BC) (Koivisto ja Lahelma 2021). *Kuvassa 2* on koottuna arkeologisten kohteiden ja esineiden löytöpaikkojen sijainnit ja alueen pinnan muodot.





Kuva 2. Kartta Rautajärven alueesta ja sen arkeologisista kohteista. Punaiset pisteet kuvaavat arkeologisia kohteita ja siniset pisteet hajalöytöjä. Punainen tähti osoittaa Järvensuo 1 -kohteen sijainnin. Tummansininen alue kuvaa aluetta, joka on 92,5 m meren pinnan yläpuolella. Vihertävän sininen alue kuvaa aluetta, joka on 95 metriä merenpinnan yläpuolella. Pohjakartta on Maanmittauslaitoksen aineistoista ja muinaisjäännösrekisterin tiedot ovat Museovirastolta. (Kartta: Satu Koivisto).

Järvensuo 1, joka on merkitty *kuvaan 1* punaisella tähdellä, löydettiin sattumalta, kun Rautajärven eteläisellä rannalla kaivettiin salaojaa 1950-luvulla (Koivisto ja Lahelma 2021). Ensimmäinen arkeologinen löytö oli puinen mela, jonka iäksi saatiin radiohiiliajoituksen avulla 95,4 % vaihteluvälillä 5281–4412 cal BP (Hel-1004) eli se oli neoliittiselta kiviltaudelta (Koivisto ja Lahelma 2021). Samasta ojasta löydettiin 1980-luvulla lisää esihistoriallisia esineitä, kuten puinen kauha, jonka varsi muistutti karhun päätä (Koivisto ja Lahelma 2021). Järvensuolla tehtiin 1980-luvulla arkeologista ja paleobotanista tutkimusta sekä pieniä kaivauksia, mutta suurin osa työstä jäi keskeneräiseksi (Aalto 1985, Siiriäinen 1987)

Uusi tutkimus, johon sisältyi kaivauksia Järvensuo 1:n arkeologisessa kohteessa, aloitettiin 2019 (Koivisto ja Lahelma 2021). Kenttätutkimus paljasti soistuneen asuinpaikan stratigrafiaa yli 5000 vuoden ajalta ja se antoi paljon tietoa sedimentaatiosta, ympäristön tilasta ja muinaisesta ihmistoiminnasta mataloituvan järven rannalla. Kaivauksilla saatiin talteen kymmeniä orgaanisista materiaaleista valmistettuja esineitä, mm. kalaverkon kohoja, puisten kalastusrakenteiden osia sekä taide-esineitä. Kaivausten

yllättävin löytö, puinen käärmeveistos, löydettiin turpeesta horisontaalisessa asennossa noin 0,6 m syvyydestä (Koivisto & Lahelma 2021). Esineen suora radiohiiliajoitus osoitti, että käärmeveistos oli myöhäisneoliittinen. Sen iäksi varmistui 4421–4241 cal BP (Ua-67655) 95,4 % vaihteluvälillä. Löytöpaikan turvekerros koostui osittain maatuneiden sarakasvien (*Carex*) ja kaislojen (*Phragmites*) muodostamista kerroksista. Koiviston ja Lahelman (2021) mukaan turpeen koostumus viittaasi siihen, että alueella oli runsasta vesiniittykasvillisuutta kerrostumisen aikoihin.

Entisen Rautajärven rannalta on löydetty Järvensuo 1 -kohteen lisäksi noin tusina muita arkeologisia kohteita ja hajalöytöjä (Koivisto 2021). Esimerkiksi entisen järven etelärannalta on löydetty piikivestä valmistettu keihäänkärki ja kaksi kivikirvestä. Koiviston (2021) mukaan Järvensuolla tehdyt löydöt viittaavat siihen, että Rautajärveä hyödynnettiin mesoliittisesta kaudesta varhaiseen metallikauteen asti eli aikavälillä 7950–2450 cal BP (6000–500 cal BC). Rautajärven käyttö oli siis hyvin pitkäaikaista ja intensiivistä. Historialliset lähteet 1500-luvulta eteenpäin taas kertovat, että Rautajärvi oli tärkeä resurssialue paikallisille ja se toimi myös rajana kolmen kylän sekä seurakunnan välillä.

### 1.3 Geokemiallisen analyysin käyttö arkeologiassa

Bentleyn ja Degrysen (2018) mukaan arkeologisella geokemialla on kaksi pääsuuntausta: 1) epäorgaanisten aineiden alkuaine- ja isotooppitutkimus ja 2) orgaanisten aineiden biogeokemiallinen tutkimus. Orgaanisten aineiden geokemiallinen analyysi on tehokas keino tutkia muinaisten ihmisten ruokavaliota, muuttoliikkeitä ja olemassaoloa. Tässä tutkimuksessa keskitytään epäorgaanisten aineiden geokemialliseen analyysiin.

Epäorgaanisten aineiden geokemiallista analyysia voidaan käyttää arkeologiassa sekä esineiden että huomaamattomimpien ihmisjälkien, kuten antropogeenisten maannosten, tutkimisessa (Anderson *et al.* 2012). Antropogeeninen maannokset syntyvät, 1) kun maaperä jää ihmisen valmistaman läpäisemättömän aineen alle, 2) kun ihmistoiminta muokkaa maaperää tai 3) kun ihmistoiminnan vaikutuksesta syntyy kokonaan uusi maannosprofiili (Howard 2017). Perinteisesti arkeologit ovat keskittyneet ihmisten jättämiin jälkiin, jotka ovat olleet havainnoitavia ja käsin kosketeltavia, kuten artefakteihin ja ekofakteihin (Anderson *et al.* 2012). Useat tutkimukset osoittavat, että

arkeologisten kohteiden maaperän geokemiallinen analyysi on tehokas keino muinaisen ihmistoiminnan tutkimiseen (Anderson *et al.* 2012). Seuraavaksi on esitelty neljä tutkimusta, joissa geokemiallista analyysia on käytetty menetelmänä.

Garcían ja hänen kollegoidensa (2018) tutkimuksessa, 37 mosaiikinpalasta, jotka olivat roomalaisten jättämiltä arkeologisilta kohteilta Salamancan provinssista Espanjasta, analysoitiin induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrilla (ICP-MS) ja röntgendiffraktiolla (XRD). Tutkimuksen tarkoitus oli tutkia mosaiikinpalasten alkuperää, koostumusta ja valmistustekniikkaa. Tutkimuksen avulla pystyttiin määrittämään tiettyjen mosaiikinpalasten paikallinen valmistus ja kaupallinen verkosto Iberian niemimaalla.

Andersonin *et al.* (2021) artikkelissa geokemiallista maaperäanalyysia hyödynnettiin Mayaintiaanien preklassisen alueellisen keskuksen, nk. Meksikon Xtobon, merkittävien piirteiden tutkimisessa. Xtobossa sijaitti suuri asutuskokonaisuus, johon kuuluu selkeä aukio, useita maanteitä, pelikenttä ja mahdollinen tori. Melich- ja DTPA-uuttomenetelmiä hyödynnettiin paikalta kerättyjen maaperänäytteiden tutkimisessa. Raskasmetallien pitoisuudet määritettiin (termo)induktiivisesti kytketyllä plasma-atomiemissiospektrometrilla (ICP-AES). Geokemiallisen analyysin tulokset paljastivat useita alueita, joissa tuotettiin ja kulutettiin ruokaa, sekä mahdollisia alueita, joilla valmistettiin käsitöitä.

Bátoran *et al.* (2013) varhaispronssikautisen asutuksen luota kerätyille sedimenttinäytteille tehtiin geokemiallinen analyysi käsi-XRF:llä. Fivár-niminen asutus sijaitti lähellä Vráblen kylää läntisessä Slovakiassa. Geokemiallisen analyysin tulokset viittasivat siihen, että varsinkin fosforin (P), kalsiumin (Ca) ja strontiumin (Sr) pitoisuuksilla on positiivinen korrelaatio muinaiseen ihmistoiminnan esiintymiseen. Fosforin pitoisuudet olivat tavallista korkeammat erityisesti muinaisten polkujen sekä linnoitusojien luota kerätyissä näytteissä. Kalsiumin ja strontiumin pitoisuudet olivat tavallista korkeammat erityisesti muinaisten talojen luota kerätyissä näytteissä. Käsi-XRF:llä saatuja tuloksia myös vertailtiin atomiabsorptiospektrometrian (AAS) ja plasmaemissiospektrometrian (ICP-OES) avulla saatuihin geokemiallisiin tuloksiin, jotta pystyttiin ymmärtämään paremmin käsi-XRF:n mahdollisuudet ja ongelmatekijät. Bátoran *et al.* totesivat, että käsi-XRF on luotettava ja mahdollisesti tärkeä osa arkeologista tutkimusta tulevaisuudessa.

Butlerin *et al.* artikkelissa (2018) tutkittiin 2000 vuotta vanhaa Thalthelei metsästäjä-keräilijöiden asutusta Kanadan arktisen alueella geokemiallisen ja biomolekyylisen analyysin avulla. Tutkimukset suoritettiin maaperänäytteille, jotka oli kerätty muinaisen asutuksen ja eläinten nylkemispaikkojen läheisyydestä Ikirahakin saarelta. Näytteet analysoitiin XRF:n, ICP-MS:n ja Fourier-muunnosinfrapunaspektroskopian (FTIR) avulla. Kalsiumoksidia (CaO), mangaanioksidia (MnO), fosfaattioksidia (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ja kuparia (Cu) löydettiin poikkeavia pitoisuuksia asutuksen läheltä ja ne liitettiin tulisijojen puhdistamiseen. Eläinten nylkemispaikkojen läheltä taas löydettiin kohonneita pitoisuuksia seuraavista yhdisteistä ja alkuaineista: kaliumoksidi (K<sub>2</sub>O), magnesiumoksidi (MgO), rautaoksidi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Sr, skandium (Sc), yttrium (Y), kromi (Cr), nikkeli (Ni) ja lyijy (Pb).

## 2. Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Sedimentin kairaus

Tässä tutkimuksessa venäläisellä suokairalla otettiin viisi pystysuoraa sedimentinäytettä entisen Rautajärven keskikohdan läheltä pienestä ja matalasta ojasta (*kuva 1*). Järvisedimentit säilyvät yleensä parhaiten järven keskikohdan lähellä syvänteessä (Smol 2008). Oletettiin myös, että järvisedimenttikerros on paksuimmillaan järven keskikohdan lähellä. Ylimmät kaksi näytettä otettiin 100 cm kannulla varustetulla ja loput 50 cm kannulla varustetulla kairalla. Ojan kohdalta maa-ainesta oli kaivettu ja erodoitunut pois useita senttimetrejä, mutta se oli järven keskikohdan lähellä ainoa alue, josta näyteprofiileja sai kairausteknisistä syistä otettua. Rinnakkaisprofiilit otettiin myös, mutta niitä ei käytetty tässä tutkimuksessa. Profiilit otettiin seuraavilta syvyyksiltä: 0–100 cm, 60–160 cm, 150–200 cm, 190–240 cm ja 230–280 cm. Heti näytteenottamisen jälkeen profiilit käärittiin muovikelmuun, jotta ne säilyivät kosteina. Profiileihin piirrettiin myös nuoli osoittamaan sedimentin pintaan päin. Näytepisteen koordinaatit olivat E00299171 and N06759318. Näytepiste sijaitsi noin 700 m Järvensuo 1:n arkeologisesta kohteesta pohjoiseen.

Tässä tutkimuksessa ainoastaan savilieju on geoarkeologisen tutkimuksen kannalta kiinnostava, sillä se on peräisin Rautajärven ajalta (Koivisto 2021). Sen päällä oleva turvekerros on muodostunut järven umpeenkasvun myötä, kun järveä on kuivatettu

(Anttila 1967, Koivisto 2021). Sinertävä savi on Ancylus-järven ajalta, jolloin alueella ei arkeologisen tiedon perusteella ole ollut vielä ihmistoimintaa (Koivisto 2021). Sedimentissä ei erottunut selkeitä rakenteita.

## 2.2 Magneettinen susceptibiliteetti ja osanäytteenotto

Profiilinäytteet säilytettiin kylmiössä siihen asti, kunnes magneettinen susceptibiliteetti mitattiin. Ennen mittaamista kontaminoitunut sedimenttikerros kuorittiin pois pienten lasilevyjen avulla, ja profiilit käärittiin muovikelmuun. Magneettisen susceptibiliteetin mittaamiseen käytettiin Bartington MS2 susceptibiliteettimittaria.

Kalibrointinäytteen magneettinen susceptibiliteetti mitattiin kolme kertaa korjauskertoimen laskemiseksi ennen varsinaista mittausta. Jokainen magneettisen susceptibiliteetin arvo korjattiin korjauskertoimella.

Ensimmäiset kaksi profiilia, 0–100 cm ja 60–160 cm, asetettiin peräkkäin toisiinsa kiinni liikkuvalla alustalle ja profiilien magneettinen susceptibiliteetti mitattiin MS2E1 sensorilla kahden millimetrin välein automaattisella mittaradalla. Seuraavana päivänä mitattiin kalibrointinäytteen ja kolmen seuraavan peräkkäisen profiilin magneettinen susceptibiliteetti. Kalibrointinäytteen mittaamiseen käytettiin CGS 1,0 -asetusta ja sedimenttiprofiilien mittaamiseen SI 0,1 -asetusta. Mitattu magneettinen susceptibiliteetti oli yksiköltään laaduton ja sen lukuarvo oli  $\times 10^{-6}$ .

Susceptibiliteettimittausten jälkeen sedimentti jaettiin osanäytteisiin muita analyyseja varten. Sedimenttiprofiilit leikattiin 2 cm siivuihin profiilien päitä lukuun ottamatta, joka leikattiin 3 cm siivuihin. Osanäytteet laitettiin minigrip-pusseihin. Pari senttimetriä sedimentin pinnasta puuttui. Ensimmäisen ja toisen profiilin välillä oli 40 cm päällekkäisyys. Kolmannen ja neljännen profiilin sekä neljännen ja viidennen profiilin välillä oli 10 cm päällekkäisyys.

## 2.3 Geokemiallinen analyysi

Geokemiallinen analyysi suoritettiin käsi-XRF -laitteella laboratorio-olosuhteissa. Käsi-XRF -analyysi ei tuhoa näytettä ja se mahdollistaa näytteen koostumuksen

kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen analyysin (Kalnicky ja Singhvi 2001). Ensimmäiset laajasti käytössä olleet käsi-XRF -laitteet kehitettiin 1980-luvun lopussa ja 1990-luvun alussa (Chakraborty ja Weindorf 2020). Ne kehittyivät kevyiksi ja helposti kannettaviksi 2000-luvun alussa (Mass ja Shugar 2012). Kun XRF-laitteiden Si-PIN-diodit korvattiin SD-detektoreilla (silicon drift detector), käsi-XRF:t kehittyivät paljon tarkemmiksi (Chakraborty ja Weindorf 2020). Käsi-XRF -laitteiden kehittyminen on mahdollistanut kenttätutkimusten yhteydessä tehtävän geokemiallisen analyysin, mikä on helpottanut geokemiallisen tutkimuksen tekemistä luonnontieteiden, arkeologian ja taidetutkimuksen aloilla (Kalnicky ja Singhvi 2001, Mass ja Shugar 2012). Käsi-XRF -tekniikan luotettavuudesta on käyty keskustelua ja se on yleisesti todettu luotettavaksi (Kalnicky ja Singhvi 2001).

Ennen kuin varsinainen geokemiallinen analyysi voitiin tehdä käsi-XRF:llä, sedimenttinäyte täytyi käsitellä monella eri tavalla. Ensin sedimenttiprofiili leikattiin 2 cm paksuisiksi siivuisiksi. Sitten osanäytteitä kuivatettiin kuivatusuunissa 105 °C lämpötilassa 24 tunnin ajan. Kuivauksen jälkeen osa näytteistä painoi alle 8 g, mikä olisi vaikeuttanut puristenappien tekoa, joten kolmannen, neljännen ja viidennen sedimenttiprofiilin osanäytteet yhdistettiin niin, että yhdessä osanäytteessä oli profiilia neljän senttimetrin matkalta.

Kuivatettuja osanäytteitä jauhatettiin 1200 RPM:n nopeudella 1 minuutin ajan Pulverisette 9 -laitteella. Jauhatettaviin osanäytteisiin lisättiin propyleeniglykolia noin 1 tippa 6 g kohden. Tungsteenipannua käytettiin jauhatukseen, sillä rautapannu olisi voinut aiheuttaa kontaminaatoriskin.

Puristenappien tekeminen aloitettiin mittaamalla ~ 8 g jauhettua osanäytettä ja ~ 2 g XRF:lle tarkoitettua täyteainetta näytepurkkiin. Sekoitussnappi lisättiin näytepurkkiin ja näytepurkki suljettiin kannella. Näytepurkkia sekoitettiin 3 minuuttia sekoituskoneessa. Osa näytteistä ei painanut 8 g ja niihin lisättiin täyteainetta suhteessa 8/2. Sekoitettu jauhe puristettiin puristenapeiksi puristimen avulla.

Valmiit puristenapit analysoitiin Olympus Vantan käsikäyttöisellä XRF-analysaattorilla. Käsi-XRF kytkettiin määrittämisen ajaksi mittauskammioon, joka estii suurilta osin röntgensäteilyn pääsyn ympäristöön. Ennen jokaista mittausta puristenapit aseteltiin yksitellen kammioon käsi-XRF:n analyysi-ikkunan päälle ja kammion luukku suljettiin. Analysointi tehtiin Soil-asetuksella, joka soveltuu parhaiten maaperänäytteiden analysointiin. Jokaista puristenappia säteilytettiin yhteensä 90 s, joka koostui kolmesta

30 sekunnin säteilytysjaksosta. Ensimmäinen säteilytysjakso tehtiin 50 kV:n tehoisella säteellä, toinen 30 kV:n tehoisella ja kolmas 15 kV:n tehoisella. Rinnakkaisia näytteitä ei mitattu käsi-XRF:llä, vaan jokaiselta sedimenttisyvyydeltä mitattiin vain yksi näyte.

## 2.4 Radiohiiliajoitus

Teija Alenius teki siitepölyanalyysin samasta näytesarjasta ja lähetti osanäytteet radiohiiliajoitettavaksi. Radiohiiliajoitettavaksi lähetetyt näytteet kerättiin siitepölyanalyysia varten otetuista näytteistä. Osanäytteet painoivat suunnilleen yhden gramman. Osanäytteet oli otettu 7 cm, 84 cm, 160 cm ja 240 cm syvyydeltä sedimentin pinnasta. Osanäytteet lähetettiin analysoitavaksi Poznanin radiohiililaboratorioon Puolaan toukokuussa 2021. Kaikki työssä esitetyt radiohiili-iät on kalibroitu kalenterivuosi OxCal-ohjelmistolla (Bronk Ramsey 2009). Kalibroinnissa on käytetty Reimerin *et al.* (2020) tutkimuksessa saatua ilmakehän dataa. Kaikki työssä esitetyt radiohiili-iät on ensisijaisesti esitetty muodossa calibrated Before Present (cal BP).

## 2.5 Hehkutushäviö

Samoja näytteitä, joita oli varattu siitepölyanalyysin tekemiseen, käytettiin myös hehkutushäviön mittaamiseen. Joka viides näyte jätettiin hehkuttamatta, sillä ne varattiin osin siitepölyanalyysia ja osin radiohiiliajoitusta varten. Näytteet vastasivat yhden senttimetrin syvyyttä sedimentissä.

Tyhjät upokkaat numeroitiin ja punnittiin, jotta hehkutushäviö pystyttiin määrittämään jokaiselta syvyydeltä. Näytteet lisättiin niiden numerointia vastaaviin upokkaisiin. Näytteitä kuivatettiin uunissa 105 °C lämpötilassa 21 tunnin ajan, minkä jälkeen ne siirrettiin eksikaattoriin jäähtymään tunniksi. Eksikaattori estää kosteuden imeytymisen näytteisiin. Jäähtyneet näytteet punnittiin ja laitettiin hehkutusuuniin. Näytteitä hehkutettiin kaksi tuntia 550 °C. Hehkutuksen jälkeen odotettiin, kunnes upokkaat olivat tarpeeksi viileitä eksikaattoriin laitettavaksi. Upokkaat olivat eksikaattorissa tunnin ennen kuin ne punnittiin viimeisen kerran.

Hehkutushäviö tarkoittaa näytteen painosta häviävää prosenttiosuutta, kun näytettä hehkutetaan. Hehkutuksessa häviävä aines on orgaanista ja säilyvä aines on

epäorgaanista. Mitä enemmän ainesta katoaa hehkuttaessa, sitä enemmän näytteessä on orgaanista ainesta. Jos näytteen paino ei laske tai laskee vain vähän, näytteessä on paljon mineraaliainesta. Mineraaliaines on siis hehkutushäviöanalyysissä säilyvää ainesta. Mineraaliaineksen määrä saadaan laskettua hehkutushäviön avulla seuraavalla kaavalla: 100 % - (hehkutushäviön prosenttiosuus).

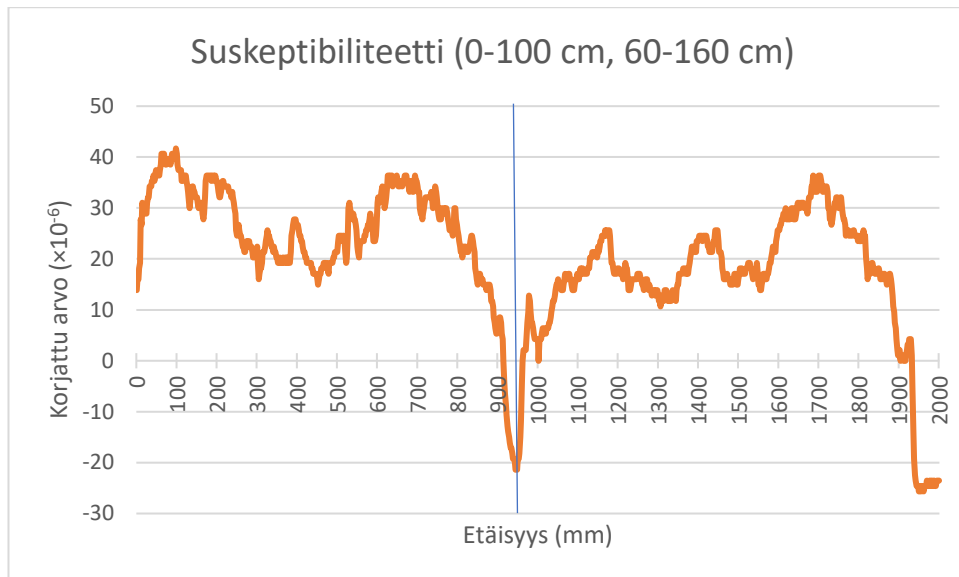
### 3. Tulokset

#### 3.1 Magneettinen susceptibiliteetti

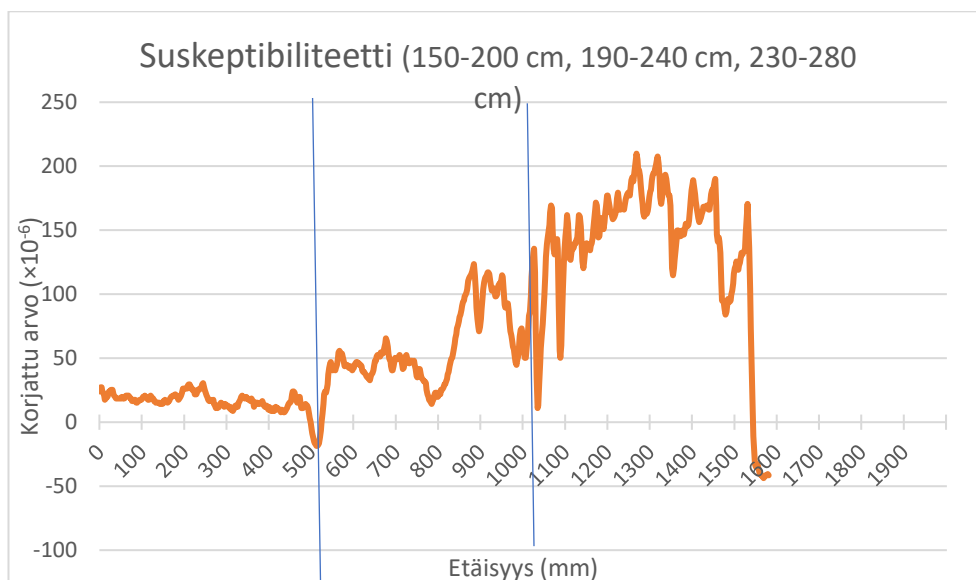
Magneettisen susceptibiliteetin mittaustuloksista luotiin kahdenlaisia kuvaajia (*Kuva 3/Kuva 4 ja Kuva 5*). Magneettisen susceptibiliteetin tulokset korjattiin korjauskertoimella. *Kuvat 3 ja 4* näyttävät mittauksen tulokset päällekkäisten osien kanssa. Näissä kuvissa mittaustulos on negatiivinen tai lähellä nollaa kohdissa, joissa profiili vaihtuu toiseen profiiliin. *Kuva 3* näyttää kahden ensimmäisen profiilin magneettisen susceptibiliteetin (0–100 cm ja 60–160 cm) ja *kuva 4* näyttää kolmannen, neljännen ja viidennen profiilin (150–200 cm, 190–240 cm ja 230–280 cm) magneettisen susceptibiliteetin. *Kuva 5* on summakuva, jossa tulokset on esitetty ilman rinnakkaisia osia. Tässä kuvassa on myös esitetty sedimentin varsinaiset syvyydet.

220–280 cm syvyydessä magneettinen susceptibiliteetti nousee jyrkästi ja se on korkeimmillaan yli  $200 \times 10^{-6}$ . 190–220 cm syvyydessä magneettinen susceptibiliteetti on selvästi pienempi, noin  $50 \times 10^{-6}$ , kuin syvemmillä. Magneettisen susceptibiliteetin arvot ovat suhteellisen tasaisia ja pieniä alle 190 cm syvyydessä; suurimmaksi osaksi ne vaihtelevat  $10\text{--}40 \times 10^{-6}$  välillä.

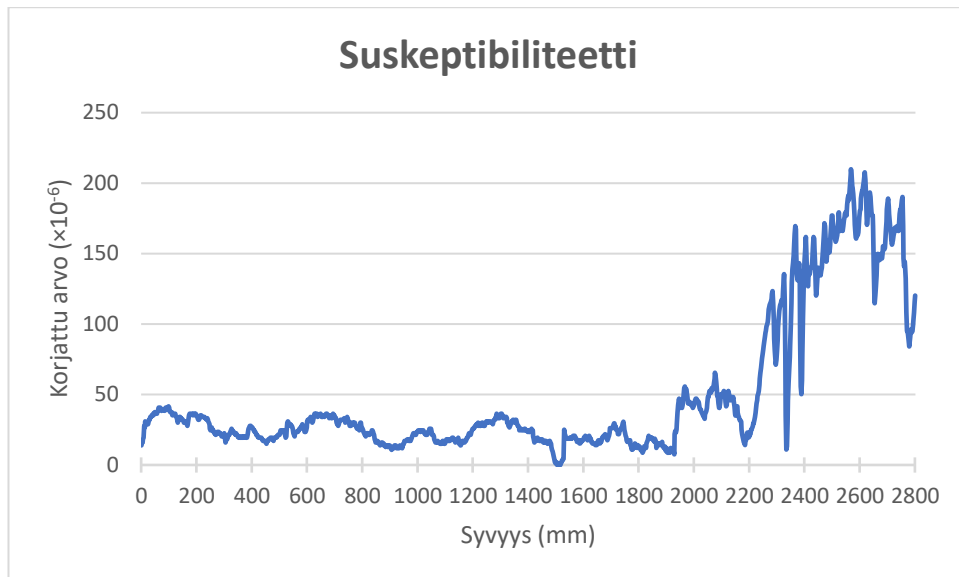




Kuva 3. Kahden ensimmäisen profiilin magneettinen suskeptibiliteetti. Kuvassa on sininen viiva siinä kohdassa, jossa profiili vaihtuu toiseen.



Kuva 4. 3. (0-500 mm), 4. (500-1000 mm) ja 5. (1000-1500 mm) profiilin magneettinen suskeptibiliteetti. Kolmas profiili ylettyy 0 millimetristä 500 millimetriin, neljäs profiili 500 millimetristä 1000 millimetriin ja viides profiili 1000 millimetristä 1500 millimetriin. Kuvassa on siniset viivat niissä kohdissa, joissa profiilit vaihtuvat toisiin.



Kuvaaja 5. Magneettinen suskeptibiliteetti todellisen syvyyden mukaan.

### 3.2 Geokemiallinen analyysi

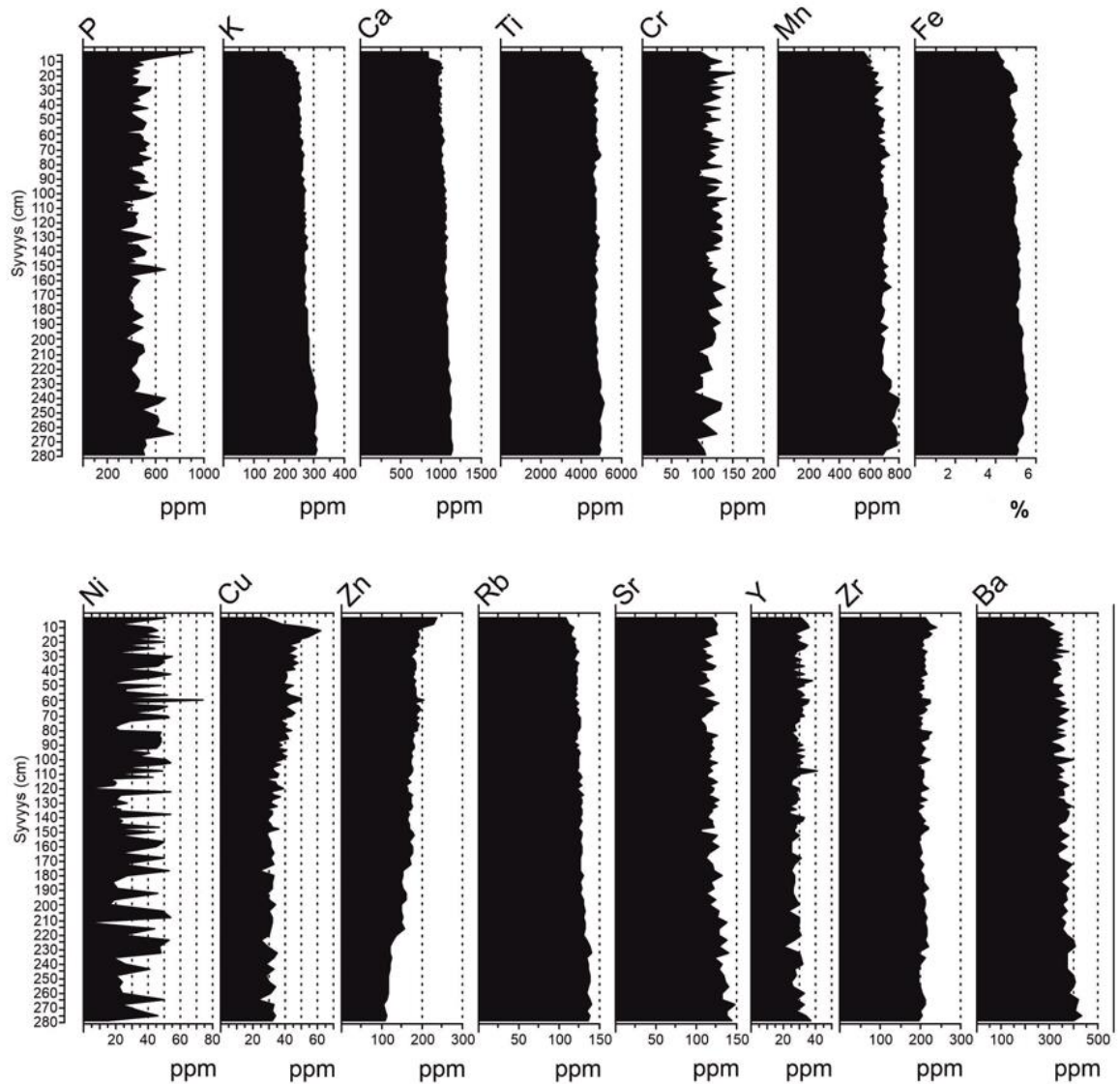
Yksityiskohtaisempaan tarkasteluun valitut alkuaineet määritettiin kahden aikaisemman artikkelin perusteella, joista ensimmäinen on Aleniuksen *et al.* (2017) tutkimus. Kyseisessä tutkimuksessa sedimenttinäytteitä otettiin Kaakkois-Suomessa sijaitsevasta Huhdasjärvestä, jotta saatiin tietoa ihmisasutuksesta neoliittisella kivilaudalla (7150–3750 BP). Artikkelissa valittiin tutkittavaksi seuraavat alkuaineet, joiden pitoisuuksien oletettiin mahdollisesti liittyvän muinaiseen ihmistoimintaan: fosfori (P), rikki (S), kloori (Cl), kalium (K), kalsium (Ca), titaani (Ti), mangaani (Mn), rauta (Fe), sinkki (Zn), rubidium (Rb), strontium (Sr), yttrium (Y) ja zirkonium (Zr).

Toinen artikkeli, jota hyödynnettiin tarkemmin tutkittavien alkuaineiden valinnassa, oli Huismanin *et al.* artikkeli (2009). Kyseinen artikkeli on katsaus, jossa käydään läpi, miten geokemiaa voidaan hyödyntää arkeologisessa tutkimuksessa ja siinä on koottuna yhteen eri artikkelien tietoja alkuaineista, joiden poikkeavien pitoisuuksien on tulkittu viittaavan muinaiseen ihmistoimintaan. Huiman *et al.* (2009) artikkelissa kerrotaan, että muinaisiin hautoihin ja hautakuoppiin liittyy P, Cu, Mn ja Ca rikastumista, tulisijoihin P, K ja Mg rikastumista, jätöksiin P ja K rikastumista, asuinsijoihin P, Ca, Mg, Fe, K, Th (thorium), Rb, Cs (cesium), Pb, Zn, Sr ja Ba (barium) rikastumista, maalattuihin rakennuksiin raskasmetallien rikastumista ja kaivoksiin sekä metallintuotantoon Cu, Pb ja Mn

rikastumista. Yleisesti arkeologisilla kohteilla on useassa tutkimuksessa todettu esiintyvän poikkeavan suuria pitoisuuksia seuraavia alkuaineita: B, Cu, Mg, Mn, Ni, P, Se (seleeni), Zn, K, Ba, Ca ja Na (natrium).

Kaikkia raskasmetalleja ei valittu tutkittavaksi, sillä kivikautisen asutuksen aikana Rautajärvellä ei oleteta olleen maalattuja rakennuksia. Tosin rautaoksidia eli punamultaa on saatettu käyttää väriaineena. Käsi-XRF:n Soil-asetus ei rekisteröinyt lainkaan magnesiumin (Mg), boorin (B) ja cesiumin (Cs) pitoisuuksia, joten näitä alkuaineita ei ollut mahdollista tutkia. Thoriumia (Th) oli joissain näytteissä niin pieniä pitoisuuksia, ettei XRF pystynyt mittaamaan sen pitoisuuksia. Pb pitoisuus oli kaikissa näytteissä hyvin pieni ja tasainen, joten sitäkään ei päädytty valitsemaan tarkemmin tutkittavaksi ja vertailtavaksi. Lyijyn pitoisuus vaihteli 11 ppm ja 19 ppm välillä.

Analyysissä havaittujen vaihteluiden sekä kirjallisuuden perusteella tässä tutkimuksessa päätettiin perehtyä tarkemmin seuraaviin alkuaineisiin: P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, Y, Cu, Ba ja Zr. Näiden alkuaineiden on siis eri tutkimuksissa todettu kertovan mahdollisesti muinaisesta ihmistoiminnasta. Geokemiallisen analyysin tulokset on esitetty *kuvassa 6*.



Kuva 6. Geokemiallisen analyysin tulokset tutkittavaksi valittujen alkuaineiden osalta. Alkuaineiden pitoisuudet on esitetty yksiössä ppm.

Kaliumin, kalsiumin ja rubidiumin pitoisuudet laskevat tasaisesti ja vähittäin syvemältä pintaa kohti. Mangaanin ja raudan pitoisuudet laskevat tasaisesti 240 cm syvyydeltä pintaa kohti ja tätä syvemmissä kerroksissa mangaanin ja raudan pitoisuudet ovat taas pienemmät kuin 240 cm syvyydessä. Titaanin pitoisuus pysyy varsin tasaisena. Pinnan läheisyydessä, 0–20 cm syvyydellä, titaanin pitoisuus on hiukan pienempi kuin syvemmissä kerrostumissa.

Kromin ja yttriumin pitoisuuksissa tapahtuu pientä vaihtelua koko matkalta, mutta kokonaisuudessaan niiden pitoisuudet pysyvät suhteellisen tasaisina. Kromin suurin

pitoisuus, 153 ppm, on 17–19 cm syvyydellä ja yttriumin suurin pitoisuus, 41 ppm, on 107–109 cm syvyydessä.

Fosforin ja sinkin suurimmat pitoisuudet ovat aivan pinnan läheisyydessä. Fosforin pitoisuus vaihtelee paljon ja sillä on monta piikkiä. Sinkin pitoisuus taas kasvaa suhteellisen tasaisesti syvemältä pintaa kohti.

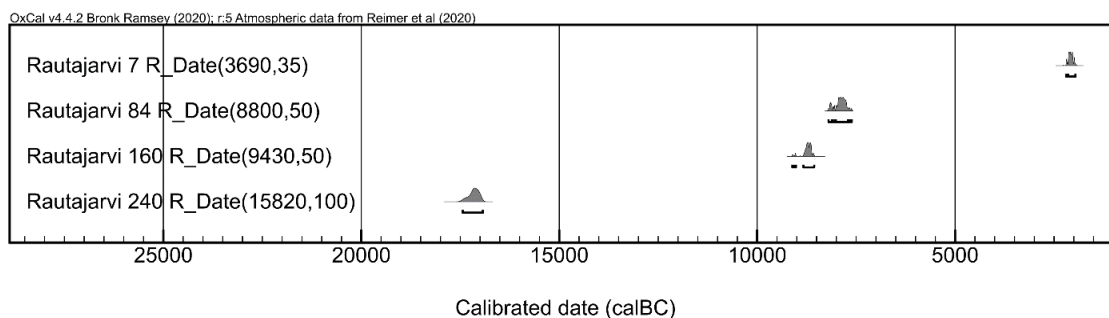
Kuparin pitoisuus on 140–280 cm syvyydellä suhteellisen tasainen ja vaihtelee 30 ppm molemmin puolin. Sen pitoisuus kasvaa syvemältä pintaa kohti suhteellisen tasaisesti 13–140 cm välillä. Kuparin suurin arvo on 11–13 cm kohdalla, 62 ppm. Aivan pinnassa kuparin pitoisuus laskee.

Tutkittavista alkuaineista raudan, kaliumin ja kalsiumin pitoisuudet olivat selvästi suurimmat tutkittavista. Raudan pitoisuus näytteissä vaihteli 4,09 % ja 5,55 % välillä. Kaliumin pitoisuus näytteissä vaihteli 1,92 % ja 3,01 % välillä. Kalsiumin pitoisuus vaihteli 0,83 % ja 1,14 % välillä. Titaanin pitoisuus oli myös suhteellisen suuri. Sen pitoisuus vaihteli näytteissä 3953 ppm ja 5119 ppm eli 0,40 % ja 0,51 % välillä.

### 3.3 Radiohiiliajoitus

Taulukko 1. Radiohiiliajoituksen tulokset (14C-ikä BP) sekä kalibroidut radiohiiliajoitukset 68,2 % ja 95,4 % tarkkuudella.

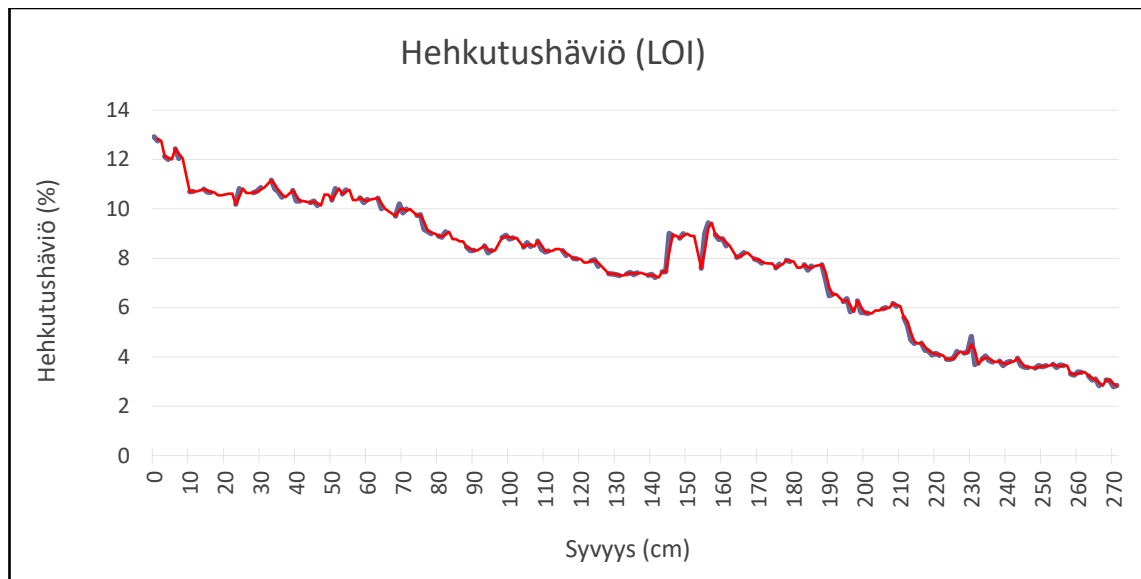
Laboratorion näytetunnus	Syvyys	Ajoitettu aine	14C-ikä BP	Kalibroidut radiohiiliajoitukset (68.2 %)	Kalibroidut radiohiiliajoitukset (95.4 %)
Poz-138105	7	sedimentti	3690 ± 35	4086–3981 calBP (68.3%)	4099–3911 calBP (88.1%)
Poz-138107	84	sedimentti	8800 ± 50	9910–9693 calBP (64.5%)	9966–9658 calBP (75.3%)
Poz-138108	160	sedimentti	9430 ± 50	10715–10581 calBP (68.3%)	10780-10511 calBP (91.9%)
Poz-138109	240	sedimentti	15820 ± 100	19192–18941 calBP (68.3%)	19387-18882 calBP (95.4%)



Kuva 7. Kalibroituja radiohiiliajoitusten ikähaarukat esitettynä vuosina BC (Before Christ). BP ilmoitetaan vuodesta 1950 alkaen.

Syvyyksiltä 7 cm, 84 cm, 160 cm ja 240 cm ajoitettujen osanäytteiden iät on esitetty taulukossa 1 ja kuvassa 7. Osanäytteet määritettiin radiohiiliajoituksen avulla  $3690 \pm 35$  BP (Poz-138105),  $8800 \pm 50$  BP (Poz-138107),  $9430 \pm 50$  BP (Poz-138108) ja  $15820 \pm 100$  BP (Poz-138109) ikäisiksi. Kalibroidut ikähaarukat 68,2 % ja 95,4 % tarkkuudella on esitetty taulukossa 1.

### 3.4 Hehkutushäviö



Kuva 8. Rautajarven sedimentistä mitattu hehkutushäviö.

Hehkutushäviön prosenttiosuus on esitetty syvyyden mukaan kuvassa 8. Hehkutushäviö oli suurempi lähempänä pintaa ja pienempi syvemmillä sedimentissä. Hehkutushäviö kasvoi syvemmältä pintaa kohti suhteellisen tasaisesti.

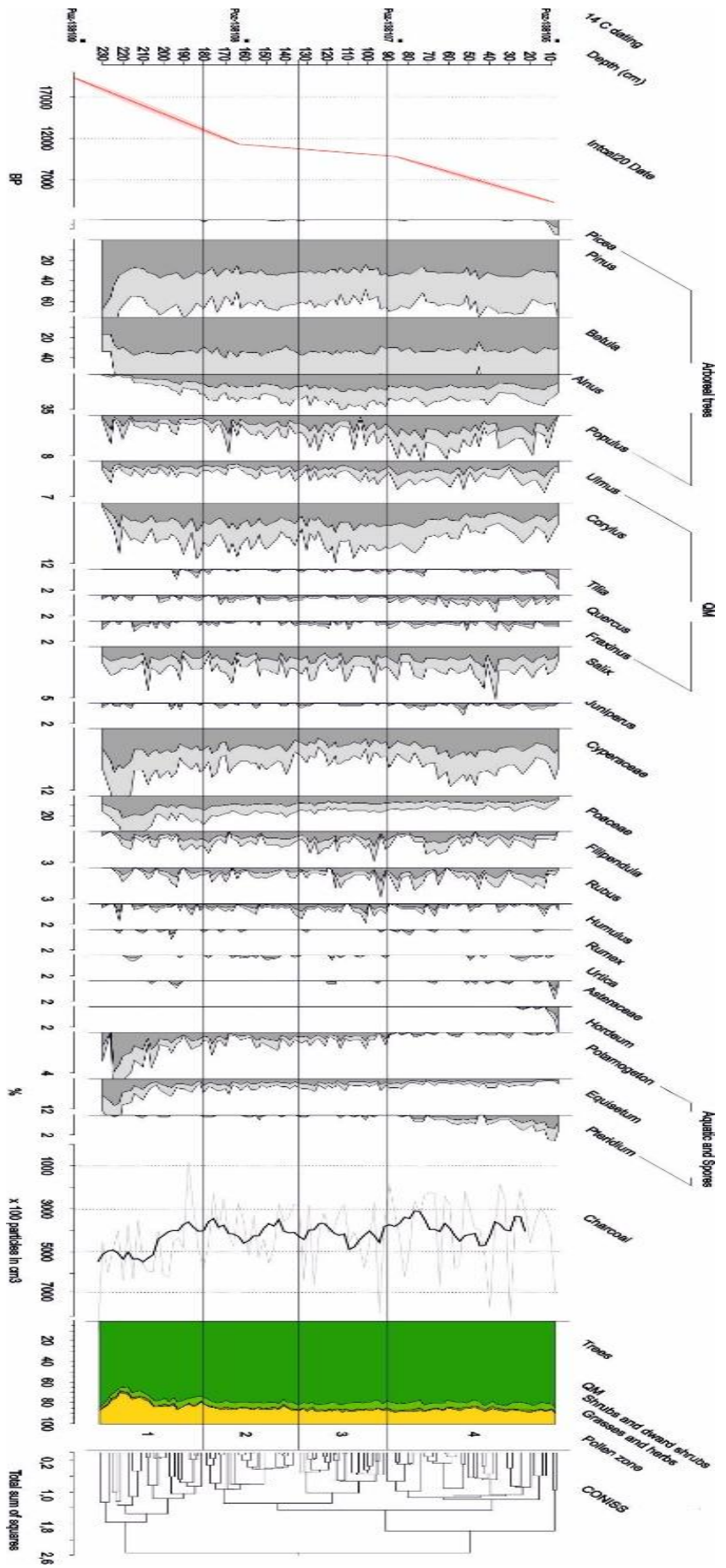
Sedimentin laadun raja-arvot vaihtelevat hiukan eri lähteiden mukaan, mutta eri lähteitä yhdistelemällä voidaan yleistää seuraavat hehkutushäviön raja-arvot. Kun hehkutushäviö eli orgaanisen aineksen määrä on alle 2 %, aines on savea (Soiniemi 1972). Kun orgaanista aineista on 2–6 %, aines on liejusavea (Soiniemi 1972). Kun orgaanista ainesta on 6–20 %, aines on taas saviliejua (Soiniemi 1972, Gardemeister *et al.* 1974). Jos orgaanista ainesta on yli 20 %, kyseessä on lieju (Soiniemi 1972, Gardemeister *et al.* 1974).

Humppilan Rautajärven näytepisteen sedimentin tyyppi on 217–280 cm syvyydellä liejusavi, sillä hehkutushäviö on alle 6 %. Aines vaihtuu pinnalta syvemmälle mentäessä yhä savisemmaksi. 280 cm:n syvyydessä sedimentin tyyppi on todella lähellä savea. Sedimentin tyypillä on vaihettumisvyöhyke 204–217 cm syvyydessä ja tällä välillä arvot vaihtelevat 6 % molemmin puolin. 204 cm syvyydeltä pintaan asti sedimentin tyyppi on savilieju.

### 3.5 Siitepölyanalyysi

Siitepölydiagrammi on piirretty Tilia ohjelmalla (Grimm 1991), ja se on jaettu neljään eri vyöhykkeeseen CONIS-analyysilla (Grimm 1987). CONIS-analyysi ja siitepölyvyöhykkeet ovat esitetty *kuvassa 9* oikealla. Vyöhyke 1 on syvimmällä ja vyöhyke 4 on lähimpänä maan pintaa. Vyöhykkeet 2 ja 3 ovat näiden vyöhykkeiden välissä. Kaikissa vyöhykkeissä esiintyy paljon männyn (*Pinus*) ja koivun (*Betula*) siitepölyjä. Sarakasvien (*Cyperaceae*) ja pähkinäpensaiden (*Corylus*) siitepölyjä esiintyy suhteellisen paljon kaikissa kerroksissa, mutta niiden osuus vaihtelee enemmän kuin männyn ja koivun. Pajun (*Salix*) siitepölyjä esiintyy suhteellisen tasaisesti eri vyöhykkeissä, mutta huomattavasti vähemmän kuin männyn ja koivun siitepölyjä.

Vyöhykkeessä 1 vesi- ja itiökasvien osuudet ovat suuria. Myös sara- ja heinäkasvien (*Poaceae*) osuudet ovat suuria. Vyöhykkeessä 1 lepän (*Alnus*) prosenttisuus on pieni ja sen osuus kasvaa siirryttäessä vyöhykkeeseen 2 ja 3. Vyöhykkeeseen 2 ja 3 siirryttäessä vesikasvien, sarakasvien ja heinäkasvien osuudet vähenevät. Männyn, koivun ja lepän osuuksissa ei tapahdu muutoksia vyöhykkeissä 2 ja 3.



Kuva 9. Sittepölyprosentit (vain runsaimpana esiintyvät kasvit), hiilihukkasten pitoisuudet ja CONIS-analyysin tuottamat sittepölyvyöhykkeet. Neljän radiohiiliajituksen (*taulukossa 1*) perusteella piirretty ikä-syvyyss-kuvaaja on vasemmalla (Kuva: Teija Alenius).



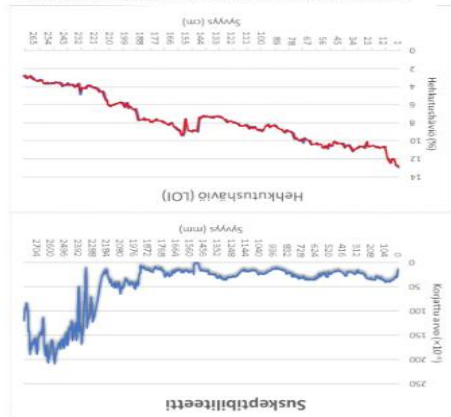
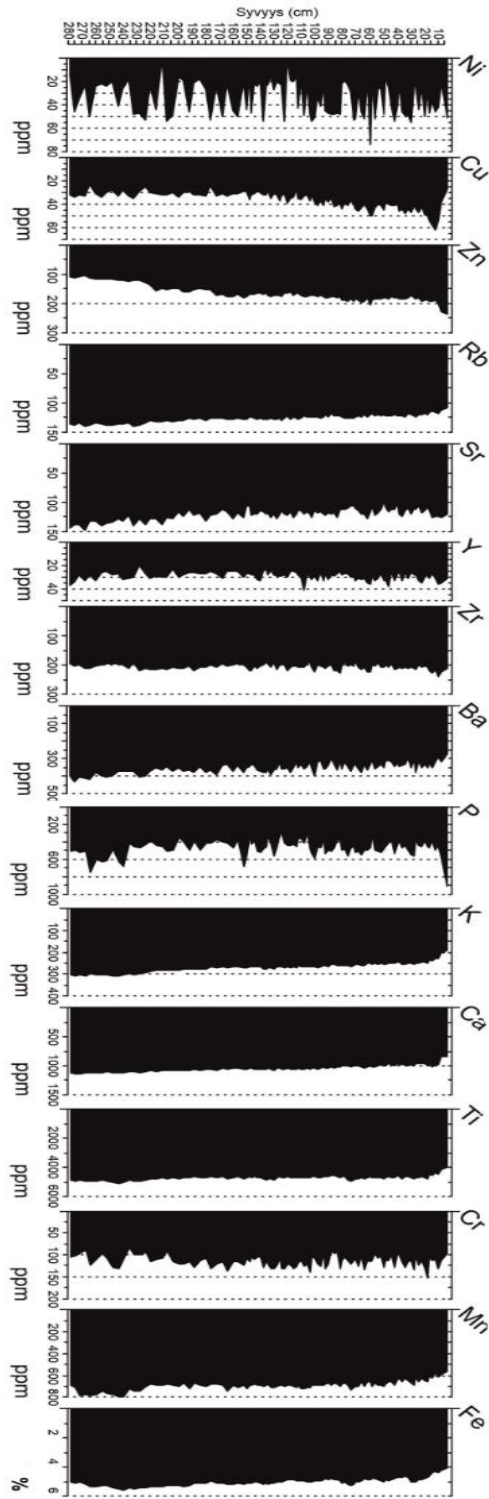
Vyöhykkeessä 4 sarojen osuus on suurempi kuin vyöhykkeissä 2 ja 3. Haapojen (*Populus*) ja jalavien (*Ulmus*) osuus on hiukan suurempi vyöhykkeessä 4 kuin alemmissa vyöhykkeissä. Pähkinäpensaan osuus taas vähenee selvästi. Sedimentin pintaa lähestyttäessä, vyöhykkeessä 4, sananjalat-suvun (*Pteridium*) kasvien määrä kasvaa, vaikka muita vesi- ja itiökasveja on tässä vyöhykkeessä vähän. Asterikasveilla (*Asteraceae*) ja ohralla (*Hordeum*) on pieni esiintymispiikki pinnan läheisyydessä, vaikka niitä ei esiinny juuri lainkaan syvemmissä kerroksissa.

## 4. Tulosten tulkinta

### 4.1 Rautajärven alueen kehitysvaiheet

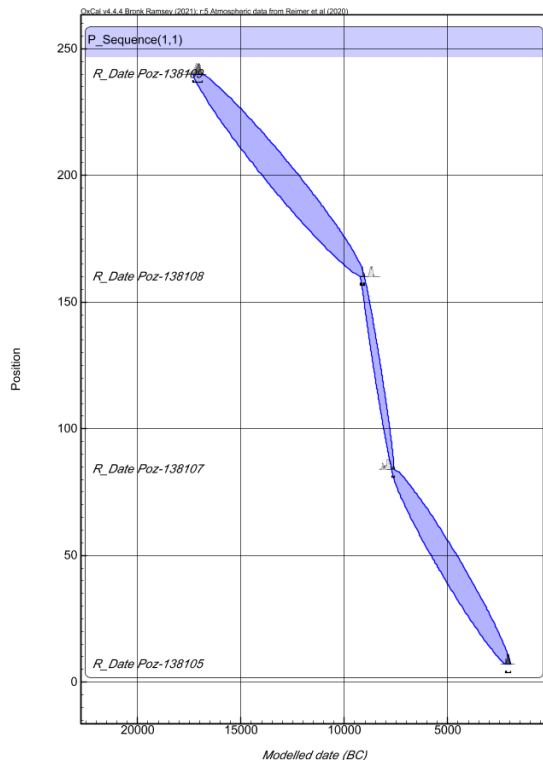
Saarniston (2003) mukaan Itämeren altaalla oli neljä kehitysvaihetta Veiksel-jääkauden päätyttyä. Ensin Baltian jääjärvi patoutui perääntyvän mannerjäätikön reunan eteen ja se ulottui Suomessa Salpausselille. Vaihe päättyi, kun mannerjäätikön reuna perääntyi alaville maille Keski-Ruotsissa Billingenin vuoren pohjoispuolelle ja Baltian jääjärvi purkautui mereen. Suolainen vesi pääsi silloin tunkeutumaan Itämeren altaaseen ja alkoi Yoldiameri-vaihe. Maankohoaminen oli paljon nopeampaa kuin nykyään ja karttakuva muuttui nopeasti. Maankohoamisen seurauksena Keski-Ruotsin salmiyhteys kapeni ja muuttui noin 10500 –10800 vuotta sitten Itämeren lasku-uomaksi. Saarniston (2003) mukaan Itämeren allas patoutui makeavetiseksi sisäjärveksi, jota kutsutaan Ancylysjärveksi. Ancylysjärven pinta nousi Tanskan salmien kynnyksen yli ja sen seurauksena vedenpinta laski Ancylysjärvestä 10 100 vuotta sitten. Ancylysjärvi muuttui Litorinameriksi noin 9500 vuotta sitten, kun mannerjäätiköiden sulamisvedet nostivat meren pintaa ja suolainen vesi tunkeutui Itämeren altaaseen.

Rautajärvi kuroutui Ancylysjärvestä 9800 BP (Hokkanen 2005, Koivisto ja Lahelma 2021). Humppila, niin kuin myös Rautajärven alue, oli Yoldiameren peitossa noin 11 540–10 750 BP ja Ancylysjärven peitossa noin 10 750–9800 BP (Saarnisto 2003, Hokkanen 2005). Ennen Yoldiamerta Humppila oli mannerjäätikön peitossa, vaikka Baltian jääjärven raja kulkikin lähellä Lounais-Hämettä (Hokkanen 2005). 9 750 BP mennessä suurin osa Humppilan alueesta oli kuivaa maata (Hokkanen 2005). Rautajärven eri vaiheet näkyvät sedimentin alkuaineiden pitoisuuksissa sekä hehkutushäviön ja magneettisen susceptibiliteetin tuloksissa, jotka on esitetty *kuvassa 10*.



Kuva 10. Tutkitavien alkuaineiden pitoisuudet, hehkutushäviö ja magneettinen susceptibiliteetti syvyyden mukaan. Kaikkien muiden alkuaineiden paitsi raudan pitoisuudet on esitetty suhderyksikköissä ppm. Raudan pitoisuus on esitetty yksikössä %.

Radiohiiliajoitus antoi sedimentin iäksi 19386–18881 calBP (Poz-138109) 95,4 % vaihteluvälillä 240 cm syvyydellä, mikä oli syvin kohta, joka ajoitettiin. Radiohiiliajoitukset eivät pidä luultavasti paikkansa varsinkaan vanhempien näytteiden osalta: tästä teemasta puhutaan lisää kappaleessa 4.1. Mahdolliset virhetekijät. Joka tapauksessa ajoitustulokset kertovat, että sedimentti on hyvin vanhaa jo varsin pienissä syvyyksissä. *Kuvassa 11* on esitettyä interpoloitu sedimentin ikä.



Kuva 11. Ikä-syvyys -kuvaaja. Sedimentin iän vaihteluväli on saatu interpoloimalla neljä kalibroituja radiohiiliajoitusta. Ikä on ilmoitettu muodossa BC (Before Christ). BP (Before Present) saadaan, kun lisätään interpoloituun ikään 1950 vuotta (Currie 2004)

Noin 220–280 cm syvyydessä magneettinen susceptibiliteetti on hyvin korkea, suurimmaksi osaksi yli  $100 (\times 10^{-6})$ , ja heikutushäviö hyvin pieni, suurimmaksi osaksi alle 4. Tämä merkitsee sitä, että aines on savista. Orgaanisen aineksen pitoisuus ei kuitenkaan alita 2 raja-arvoa, joten sedimenttiä ei kuitenkaan määritellä saveksi vaan saviliejuksi. Sedimentin suuri savipitoisuus viittaa siihen, että sedimentti on muodostunut mereen (Alenius ja Ojala 2005). Tämä merkitsisi sitä, että yli 220 cm syvyydestä otettu sedimentti on peräisin Yoldiameren ajalta. Tämä merkitsisi myös sitä, että kalibroitu

radiohiiliajoitus poikkeaa huomattavasti oikeasta iästä syvempien sedimenttikerrostumien osalta.

Rautajärven kuroutuminen Ancyclus-järvestä näkyy varsinkin hehkutushäviössä. Muuten syvyyden mukaan laskeva hehkutushäviö nousee äkisti 153 cm syvyydessä. Hehkutushäviö on 152 cm syvyydessä 7,4 % ja 153 cm syvyydessä 9,0 %. Radiohiiliajoitustuloksia interpoloimalla selvisi, että noin 153 cm syvyydellä sedimentin ikä on kalibroituna 95 % vaihteluvälillä 11040–10791 BP. Tämä ikähaarukka eroaa jonkin verran Rautajärven kuroutumisen oletetusta iästä, mutta hehkutushäviökäyrän nousu on silti hyvin todennäköisesti merkki kuroutumisesta.

Noin 150 cm syvyydessä sedimentin susceptibiliteetikäyrässä on notkelma, jossa arvo tippuu lähelle nollaa. Sedimentin fosforipitoisuuksissa taas on keskimääräistä suurempi piikki 153 cm syvyydessä. Nämäkin muutokset saattavat johtua järven kuroutumisesta Ancyclusjärvestä.

Rautajärven transgressiovaihe kesti 4800–4090 cal BP (95,4 % vaihteluvälillä) asti, jolloin uuden lasku-uoman synty laski veden pintaa eli aiheutti regression (Aalto *et al.* 1983, Koivisto 2021). Rautajärven eteläranta mataloitui ja alkoi soitua (Koivisto 2021). Tähän aikaan Järvensuo 1:n arkeologisessa kohteessa oli edelleen järvenranta-asutusta. Kalibroituja radiohiiliajoituksia interpoloimalla saatiin selville, että 4500 BP ikäiset sedimentit ovat vain noin 13 cm syvyydessä. Hehkutushäviökäyrässä näkyy pieni pudotus 15 cm jälkeen, mikä saattaa viitata järven nopeaan pinnanlaskuun. Hehkutushäviökäyrän muutokset lähellä maan pintaa voivat kuitenkin myös johtua nykyihmisen toiminnasta, jos nykyaikainen maankäyttö alueella on sekoittanut pintasedimenttejä. Myös susceptibiliteetin arvossa on loiva piikki noin 5–20 cm syvyydessä, mikä saattaa liittyä järven pinnanlaskuun.

Kuusi on suhteellisen uusi tulokas Suomessa (Tolonen 1983). On mahdollista, että yksittäisiä kuusia kasvoi Itä-Suomessa jo 9000 BP (Bennet ja Giesecke 2004). Kuusi kuitenkin yleistyi Suomen Itärajalla vasta 6000 PB ja levisi Humppilan alueelle noin 3500–3000 BP (Tolonen 1983). Sen siitepölyjä löydettiin siitepölyanalyysissä ainoastaan ensimmäisen 15 cm syvyydeltä. Tämä voi olla osoitus, siitä että kuusi levisi Järvensuon alueelle interpoloitujen radiohiiliajoitusten mukaan noin 4500 BP. Se voi myös kertoa siitä, että ensimmäiset 15 cm syvyydeltä maa-aines on hyvin sekoittunutta. Joka tapauksessa kuusen siitepölyjen perusteella voidaan sanoa, että sedimenttikerrostumat

todellakin ovat vanhoja, sillä kuusen siitepölyjä ei löydetty yli 15 cm syvyydestä lukuun ottamatta yksittäisiä siitepölylöytöjä.

Lähinnä maanpintaa ajoitettu näyte (Poz-138105) on 7 cm syvyydeltä. Sen ikä on radiohiiliajoituksen mukaan 4099BP-3911 calBP (Poz-138105) 88,1 % vaihteluvälillä. Tätä tuoreemmista Rautajärven kehitysvaiheista on siis vaikea sanoa geologisten menetelmien perusteella.

## 4.2 Ihmistoiminnan erottuminen sedimentissä

### 4.2.1 Muinainen ihmistoiminta

Muinainen ihmistoiminta Rautajärven rannoilla sijoittui arkeologisen aineiston, esimerkiksi keramiikkatyökalujen, perusteella aikavälille noin 8000–2500 BP (Koivisto 2021). Ikä-syvyys -kuvaajan perusteella (kuvassa 11), muinainen ihmistoiminta sijoittuu silloin ylimmän, 61,5 cm matkalle. Lähimpänä maanpintaa ajoitettu näyte on seitsemän senttimetrin syvyydestä ja sen ikä oli 4099BP-3911 calBP (Poz-138105) 88,1 % vaihteluvälillä. Tätä lähempänä maanpintaa otettujen näytteiden ikää ei voi arvioida ja nykyinen maankäyttö on lähes varmasti sekoittunut näitä sedimenttejä paljon. Tuloksista voi siis tulkita muinaista ihmistoimintaa noin vuosien 8000–4000 BP väliltä.

On vaikea sanoa tarkalleen, kuinka syvälle sedimentissä nykyisen ihmistoiminnan vaikutus ulottuu. Koska tutkimuskohde sijaitsee nykyisellä turvepellolla, viljelytoiminta on sekoittanut sedimenttikerrostumia. 7 cm syvyydeltä otettu näyte ajoitettiin noin 4000 BP ikäiseksi. Fosfori- ja sinkkipitoisuuksissa on piikki ainoastaan 0–9 cm syvyydessä. Tämä liittyy todennäköisesti peltojen lannoitukseen historiallisena aikana. Tämä viittaisi siihen, että maa-aines on sekoittunut kunnolla ainoastaan ensimmäisen 9 cm syvyydeltä.

Toisaalta kuusen ja ohran (*Hordeum*) siitepölyhavainnot 15 cm syvyyteen asti voivat kertoa siitä, että maa-aines on sekoittunut nykyisen ihmistoiminnan vaikutuksesta 15 cm syvyyteen asti. Kuusi yleistyi Humppilan alueella 3000–3500 BP (Tolonen 1983). Kasvimakrofossiilitutkimusten perusteella ohran viljely taas yleistyi Suomen länsirannikolla pronssikauden alkupuolella noin 3500 BP ja Humppilan alueella todennäköisesti hiukan myöhemmin (Vanhanen 2019). Näin ollen kuusen ja ohran siitepölyhavainnot ulottuvat syvempiin kerrostumiin kuin sedimentin radiohiiliajoitukset

antavat ymmärtää. Voidaan sanoa, että nykyisen ihmistoiminnan vaikutus ulottuu sedimentissä vähintään 9 cm syvyyteen. Nykyisen ihmistoiminnan vaikutus hiipuu mitä syvemmälle sedimentissä mennään ja yli 15 cm syvyydessä sen vaikutusta ei enää ole tai se on todella vähäistä.

Pähkinäpensaain (*Corylus*) siitepölyjen määrä vähenee 57 cm ylöspäin sedimenttiprofiilissa. Pähkinäpensaain siitepölyjen väheneminen osuu samaan ajankohtaan kuin muinaisen ihmistoiminnan alkaminen alueella. Sen väheneminen voi liittyä ihmistoimintaan, sillä pähkinäpensaain vesoja on käytetty Pohjois-Euroopassa muun muassa kalanpyydyksien tekoon kivikaudella (Koivisto 2017). Kuitenkaan Suomesta tai Järvensuo 1:n arkeologisilta kaivauksilta ei ole löydetty viitteitä tällaisesta toiminnasta (Koivisto 2017, Koivisto 2021). Järvensuo 1:n arkeologisella kohteella tehtyjen makrofossiilitutkimusten perusteella Rautajärven rannoilla on kerätty runsaasti vesi- ja hasselpähkinöitä ainakin n. 6000–4500 calBP (Koivisto 2021). On myös mahdollista, että pähkinäpensaain siitepölyjen väheneminen johtuu ilmaston viilenemisestä Holoseenin lämpöhuipun (HTM) jälkeen (Alenius *et al.* 2013). Lämpötilarekonstruktiot kuitenkin viittaavat siihen, että ilmasto alkoi vähitellen viiletä vasta noin 4450 BP (2500 BC) (Heikkilä ja Seppä 2003, Alenius *et al.* 2008). Radiohiiliajoitustulosten perusteella tehty ikä-syvyyskuvaaja ei tue sitä, että pähkinäpensaain väheneminen johtuisi ilmaston muuttumisesta. Sarojen (*Cyperaceae*) lisääntyminen noin 65 cm ylöspäin voi liittyä ihmistoiminnan aiheuttamaan avoimuuden lisääntymiseen tai Rautajärven vedenpinnan nousuun transgression aikana (Alenius ja Ojala 2005)

Geokemiallinen analyysi ei anna juurikaan viitteitä muinaisesta ihmistoiminnasta. Kuitenkin kahden alkuaineen pitoisuusvaihtelut voivat liittyä muinaiseen ihmistoimintaan. Nämä alkuaineet ovat kupari ja sinkki. Kuparin pitoisuusvaihtelut heijastelevat näistä kahdesta alkuaineesta selvimmin muinaiseen ihmistoimintaan.

Kuparilla on selvä pitoisuuspiikki 9–21 cm syvyydessä. Kuparin huippuarvo on 11–13 cm syvyydessä 62 ppm. Tämä ei todennäköisesti johdu nykyisestä ihmistoiminnasta, sillä 0–9 cm syvyydessä kuparin arvo on taas pienempi. Kuparin arvo alkaa myös nousta sedimenttiprofiilissa 21 cm ylöspäin ja siinä syvyydessä nykyisen ihmistoiminnan vaikutusta ei pitäisi enää olla. Kuparin on todettu olevan yksi selkeimmistä ihmistoiminnan indikaattoreista, sillä se pysyy maaperässä varsin muuttumattomana (Huisman *et al.* 2009).

Huismanin *et al.* (2009) artikkelissa koostettiin yhteen eri tutkimuksia, joiden perusteella poikkeavat kuparipitoisuudet arkeologisilla kohteilla voivat viitata muinaisiin hautakuoppiin. Butlerin *et al.* (2018) artikkelissa kerrotaan taas, että kuparin korkeat pitoisuudet voivat viitata tulisijoihin. Kuparin korkeita pitoisuuksia on löydetty tulisijoihin liittyen useista eri ajallisista, kulttuurillisista ja maantieteellisistä konteksteista (Butler *et al.* 2018). Butler *et al.* tutkivat, että kuparia oli hiukan tavallista korkeampia pitoisuuksia myös kerrostumissa, jotka liittyivät Kanadan arktisen alueen metsästäjä-keräilijöiden 2000 vuotta vanhoihin asuinsijoihin. Butlerin *et al.* tutkimuksessa (2018) kuitenkin tutkittiin näytteitä, jotka oli otettu suoraan arkeologisten kohteiden maannoksista, kun taas tässä tutkimuksessa tutkittiin näytteitä, jotka oli otettu lähes kilometrin päästä arkeologisista kohteista.

Sinkin pitoisuus nousee suhteellisen tasaisesti sedimenttiprofiilin pohjalta ylöspäin mentäessä. Kuitenkin 59–11 cm syvyyksien välillä sinkin pitoisuus lievästi laskee. Yksi selitys on muinainen ihmistoiminta, jonka esiintyminen profiilissa sijoittuu suunnilleen näille syvyyksille. Huismanin *et al.* (2009) mukaan sinkki on epävakaampi kuin kupari, mutta säilyy suhteellisen hyvin sedimenteissä. Aikaisemmissa arkeologisten kohteiden geokemiallisessa tutkimuksissa ihmistoimintaa ei ole liitetty sinkin alentuneisiin pitoisuuksiin. Muutamissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että sinkki ja kupari toimivat ihmisten ja eläinten elimistössä toisiaan vastaan eli kun toista on elimistössä paljon, toisen imeytyminen estyy (Brzozowska 1989, Duncan *et al.* 2015). Tällä voisi mahdollisesti olla jonkin verran vaikutusta myös maaperän koostumukseen, jos ihmiset ja eläimet ovat saaneet ravinnosta huomattavasti enemmän joko kuparia tai sinkkiä.

Huismanin *et al.* (2009) mukaan sekä kuparia että sinkkiä esiintyy yleisesti arkeologisilla kohteilla, eivätkä ne välttämättä viittaa mihinkään yksittäiseen ihmistoimintaan. Tässä tutkimuksessa näytteet otettiin entisen järven keskeltä, kun taas monissa geoarkeologisissa tutkimuksissa tutkitut näytteet on otettu suoraan arkeologisilta kohteilta. Kohonneita pitoisuuksia ei voi siis suoraan liittää tiettyyn ihmistoimintaan, koska aines on kulkeutunut järven keskelle eri puolilta järveä ja sen rantaa.

Kuparin ja sinkin lisäksi nikkelillä on poikkeava pitoisuus kerrostumassa, joka sijoittuu muinaisen ihmistoiminnan aikaan. Nikkelillä on suurempi pitoisuuspiikki kuitenkin vain yhdessä näytteessä, 59–61 cm syvyydessä. Pitoisuuspiikki siis sijoittuu muinaisen ihmistoiminnan alkamisen ajoille, mutta koska piikki on nähtävissä vain yhdessä näytteessä, on varsin todennäköistä, että se johtuu kontaminaatiosta. Nikkelin pitoisuudet sedimenttinäytteissä ovat muutenkin niin pieniä, että pitoisuudet vaihtelevat suhteessa

enemmän ja kontaminaatio vaikuttaa tuloksiin helpommin. Huomattavaa on kuitenkin, että tämä nikkelin suurin pitoisuuspiikki osuu samaan syvyyteen kuin yksi kuparin pitoisuuspiikki.

Raudalla on myös yksi loiva pitoisuuspiikki, jonka huippu on 27–29 cm syvyydessä. Se osuu muinaisen ihmistoiminnan ajanjaksolle. Raudan pitoisuuskäyrä on kuitenkin muutenkin hiukan aaltoileva ja sillä on korkeampia arvoja syvemmissäkin kerroksissa, jolloin ei ollut muinaista ihmistoimintaa. On siis todennäköistä, että tämä pieni pitoisuushuippu ei johdu muinaisesta ihmistoiminnasta. Rautaoksidia eli punamultaa on kuitenkin käytetty yleisesti jo kivikaudella asuinsijojen ja esineiden värjäämiseen sekä hautausmenoihin (Mönkkönen 2018), joten on mahdollista, että Rautajärvellä on käytetty punamultaa niin, että se on johtanut pitoisuuspiikin muodostumiseen. Onkin mielenkiintoista, että Humppilan seudulla on paljon rautaan viittaavia paikannimiä, esimerkiksi Rautajärvi, Rautaoja ja Rautasuo.

Hehkutushäviön ja magneettisen susceptibiliteetin osalta on vaikea sanoa, johtuvatko muutokset käyrässä ihmistoiminnasta vai luonnonolosuhteiden muutoksista. Hehkutushäviö pysyy varsin tasaisena 18–71 cm välillä, kun taas muuten hehkutushäviö laskee suurimmaksi osaksi syvyyden mukaan. On toki mahdollista, että hehkutushäviön tasainen osuus voi johtua osittain muinaisesta ihmistoiminnasta, mutta todennäköisesti se liittyy vain järven luonnolliseen kehitykseen.

#### **4.2.2 Nykyinen ihmistoiminta**

Geokemian osalta 0–7 cm yhdistettiin yhdeksi näytteeksi. Ainoastaan syvyydeltään ensimmäisestä ja toisesta näytteestä (7–9 cm) voidaan varmuudella päätellä nykyihmisen toimintaa ja sen vaikutuksia, vaikka nykyinen ihmistoiminta saattaa jossain määrin vaikuttaa 15 cm syvyyteen asti, kuten kappaleessa 4.2.1. *Muinainen ihmistoiminta* on selitetty.

Nykyinen ihmistoiminta näkyy selvästi maaperän geokemiassa ylimmän 9 cm syvyydessä. Lähes kaikkien tutkittavien alkuaineiden pitoisuudet poikkesivat niiden luonnollisesta kehityskäyrästä. Fosforin pitoisuus oli kaksinkertainen verrattuna syvempiin kerrostumiin ja sinkin pitoisuus oli myös huomattavasti suurempi. Nikkelin pitoisuudessa oli myös piikki ylimmän seitsemän senttimetrin syvyydessä, mutta tämä



vaihtelu mahtui nikkelin pitoisuuden luonnolliseen vaihteluväliin. Strontiumin, yttriumin ja zirkoniumin pitoisuudet olivat hiukan korkeammat 0–15 cm syvyyksissä verrattuna syvempiin kerrostumiin. Kromin pitoisuus pysyi samansuuruisena lähellä maan pintaa. Kaikkien muiden tutkittujen alkuaineiden eli kaliumin, kalsiumin, titaanin, mangaanin, raudan, kuparin, rubidiumin ja bariumin pitoisuudet laskivat ainakin vähän lähellä maan pintaa.

Fosforin kaksinkertainen pitoisuus johtuu todennäköisesti lannoitteista (Dittmar *et al.* 2009). On myös mahdollista, että tutkimuskohteen läheisiltä karjatiloilta ja nykyasutuksesta on valunut jätevesiä, jotka vaikuttavat fosforin pitoisuuteen. Lannoitteiden pääravinneaineet ovat typpi, fosfori ja kalium (Dittmar *et al.* 2009). Tästä syystä mielenkiintoista, että kaliumin pitoisuus kuitenkin hiukan laskee lähellä maan pintaa. Useiden alkuaineiden pitoisuudet laskevat hiukan maaperässä nykyisen ihmistoiminnan vaikutuksesta todennäköisesti siksi, että fosforia on maaperässä niin paljon, että muiden alkuaineiden osuus jää suhteessa pienemmäksi.

Mäkisen ja Saarelaisen (2019) mukaan myös maanmuokkaus, ojitus ja laskeumat voivat vaikuttaa maaperän alkuainepitoisuuksiin. Maanmuokkauksen ja ojituksen seurauksena alkuaineita on voinut liueta sedimenteistä ympäröiviin vesiin, ja vedet ovat voineet virrata pois alueelta. Tämä johtaa sedimenttien alkuainepitoisuuksien laskuun. Mäkisen ja Saarelaisen (2019) mukaan ilmaperäiset laskeumat näkyvät varsinkin kohonneina lyijy- elohopea- ja rikkipitoisuuksina. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan tutkittu lyijyn, elohopean tai rikin pitoisuuksia.

Hehkutushäviön osalta ensimmäiset 7 cm puuttuvat näytteistä. Hehkutushäviötä voidaan tarkastella 15 cm syvyyteen asti ja arvioida, tapahtuuko siinä merkittäviä muutoksia. Juuri 15 cm syvyyden jälkeen hehkutushäviö käyrä laskee hieman, mutta yhtäkkisesti. Tämä saattaa johtua nykyisen maankäytön vaikutuksen vähentymisestä tässä syvyydessä tai järven luonnollisesta kehityshistoriasta. Suskeptibiliteettiarvoissa on loiva piikki noin 5–20 cm syvyydessä, joka saattaa liittyä myös järven vaiheisiin.

#### **4.3 Geokemiallisen analyysin tulosten arviointia**

Mäkisen ja Saarelaisen kirjoittamassa KaiHali-hankkeen taustaraportissa (2019) vertailtiin Suomen ja Ruotsin pienten, keskikokoisten ja suurten järvien sedimenttien

pitoisuuksia keskiarvon ja mediaanin mukaan. 1800-luvulla kuivatettu Rautajärvi voidaan luokitella pieneksi järveksi, mutta se oli laajuudeltaan kuitenkin huomattavasti suurempi, kuin alkuvaiheessa kuroutuessaan Ancyclusjärvestä. Suomen keskikokoisten järvien alkuainepitoisuuksien keskiarvoja vertailtiin tämän tutkimuksen geokemiallisen analyysin keskiarvoihin. Ylimpiä (0–7 cm) näytteitä ei otettu keskiarvojen laskemiseen mukaan, sillä on oletettavaa, että ne ovat täysin maanmuokkauksen sekoittamat eivätkä ole välttämättä muodostuneet järven kehityshistorian aikana. Myöskään yli 153 cm syvyydeltä otettuja sedimenttinäytteiden pitoisuuksia ei laskettu mukaan, sillä ne olivat sedimentoituneet jo ennen järven kuroutumista. Rautajärven keskiarvopitoisuuksien laskemiseen on siis laskettu mukaan järven transgressiivinen vaihe, sillä muuten arvoja olisi liian vähän järkevän keskiarvon laskemiseen. Vertailun tarkoitus ei ole määrittää tarkkoja eroja Rautajärven ja Suomen keskimääräisten alkuainepitoisuuksien välillä, vaan ymmärtää pitoisuuksien suuria eroja ja yhtäläisyyksiä. Alkuaineiden pitoisuudet on esitetty *taulukossa 2*.

Taulukko 2. Tutkittujen alkuaineiden (poisluettuna Yttrium, Rubidium ja Zirkonium) pitoisuudet Suomen keskikokoisissa järvien sedimenteissä keskimäärin (luonnolliset pitoisuudet) ja Rautajärven. Suluissa on esitetty myös pienen järven keskimääräinen pitoisuus Suomessa.

<b>Alkuaine</b> (yksikkö)	<b>P</b> (ppm)	<b>K</b> (%)	<b>Ca</b> (%)	<b>Ti</b> (ppm)	<b>Cr</b> (ppm)	<b>Mn</b> (%)
<b>Suomi</b> <b>keskimäärin</b>	1656 (1391)	0,26 (0,23)	0,47 (0,45)	913 (818)	46 (35)	0,21 (0,07)
<b>Rautajärvi</b>	456,9	2,58	1,02	4677	117	0,07
<b>Alkuaine</b> (yksikkö)	<b>Fe</b> (%)	<b>Ni</b> (ppm)	<b>Cu</b> (ppm)	<b>Zn</b> (ppm)	<b>Sr</b> (ppm)	<b>Ba</b> (ppm)
<b>Suomi</b> <b>keskimäärin</b>	6,23 (2,79)	20 (15)	25 (20)	115 (83)	31 (30)	215 (133)
<b>Rautajärvi</b>	4,91	35	40	180	117	344

Rautajärven kaikki keskiarvopitoisuudet eroavat jossain määrin Suomen järvien keskimääräisistä pitoisuuksista. Erot ovat huomattavia fosforin, kaliumin, titaanin, mangaanin ja strontiumin osalta. Näiden alkuaineiden pitoisuudet ovat Rautajärven vähintään kolme kertaa suuremmat tai pienemmät verrattuna Suomen keskikokoisten järvien keskimääräisiin pitoisuuksiin. Tosin mangaanin pitoisuus on Rautajärven sama

kuin Suomen pienissä järvissä keskimäärin. Strontiumin pitoisuudet ovat taas niin pieniä, että sen osalta pitoisuuksien vaihtelu näkyy helpommin.

Fosforin pitoisuus Rautajärvässä on huomattavasti pienempi kuin Suomessa keskimäärin, kun taas kaliumin ja titaanin pitoisuudet Rautajärvässä ovat huomattavasti suurempia kuin Suomessa keskimäärin. Fosforin pitoisuuden keskiarvot ovat Suomen keskikokoisissa järvissä keskimäärin 1656 ppm ja Rautajärvässä 456,9 ppm. Kaliumin ja titaanin keskiarvopitoisuudet ovat Suomessa keskimäärin 0,26 % ja 913 ppm ja Rautajärvässä 2,58 % ja 4677 ppm.

Alkuaineiden pitoisuuksien vertailu ei anna tässä tutkimuksessa viitteitä muinaisesta ihmistoiminnasta, sillä alkuaineiden pitoisuuskäyrien muutoksien todettiin liittyvän heikosti ihmistoimintaan. Lisäksi on hyvin vaikea erotella sitä, mitkä pitoisuuden eroavaisuudet johtuvat ihmistoiminnasta ja mitkä järvioltaan luonnollisista muutoksista. Sen sijaan pitoisuuksien vertailu antaa viitteitä kallio- ja maaperän geokemiallisesta koostumuksesta. Rautajärven sedimentin alkuainepitoisuudet saattavat kertoa siitä, että lähistön maaperässä ja kallioperässä on mineraaleja, jotka sisältävät keskimääräistä enemmän kaliumia sekä titaania ja keskimääräistä vähemmän fosforia. Rautajärven kallioperä koostuu enimmäkseen pegmatiittigraniitista, joka sisältää kalium- ja titaanioksidia (Blatt ja Tracy 1996). Vertailua voidaan käyttää myös geokemiallisen analyysin tulosten arvioinnin tukena. Vertailu viittaa siihen, että tutkimuksen tulokset ovat suhteellisen luotettavat, sillä suurimmaksi osaksi alkuaineiden pitoisuudet ovat samansuuntaisia.

#### **4.4. Mahdolliset virhetekijät**

Yleisesti ottaen kontaminaatio oli tässä tutkimuksessa suurin virheitä aiheuttava tekijä. Peltoviljely ja ojitus ovat kontaminoineet ja sekoittaneet Rautajärven sedimenttien pintaosia. Pientä kontaminaatiota on voinut tapahtua näytteenotossa ja kaikissa näytteiden käsittelyvaiheissa. Ilman kautta on voinut lentää hiukkasia ja välillä näytteitä on kosketettu paljain, vaikkakin puhtain, käsin. Syvin näyte jauhatettiin rautapannussa, mutta kyseisen pannun todettiin aiheuttavan liikaa kontaminaatiota, joten loput näytteet jauhatettiin tungsteenipannussa.

Jauhatusvaiheessa osaan näytteistä ei lisätty propyleeniglykolia ja osaan lisättiin, mutta tämä tuskin vaikutti koostumuksen merkittävästi. Myös mittaus- ja punnitustilanteissa on voinut tapahtua satunnaisia virheitä, mutta systemaattiset virheet ovat epätodennäköisiä.

Walkerin (2005) mukaan radiohiiliajoitukseen liittyy monia mahdollisia virhetekijöitä. Ongelmia radiohiiliajoitukseen tuovat muun muassa kontaminaatio, isotooppinen fraktio ja vaihtelut ilmakehän  $^{14}\text{C}$ -pitoisuuksissa. Walkerin (2005) mukaan järvisedimentti on tämän lisäksi vaikea aines ajoittaa radiohiiliajoituksella. Järvisedimentit sisältävät monesti vanhempia hiilijäänteitä ja karbonaatteja, jotka aiheuttavat sedimentin kontaminaation. Tällöin sedimenttinäytteen radiohiiliajoitus antaa sedimentille todellisuutta vanhemman iän. Hidas vaihtuvuus ilmakehän ja järven välillä sekä pohjaveden vuotaminen järveen vaikeuttavat myös ajoitusta (reservoir effect). Walkerin (2005) mukaan osa radiohiiliajoitukseen liittyvistä ongelmista voidaan kiertää kalibroinnin ja korjauskertoimien avulla.

Tässä tutkimuksessa sedimentin kalibroidun radiohiiliajoituksen ikä näyttää poikkeavan todellisesta iästä sitä enemmän, mitä syvemältä näyte on otettu. Orgaanisen aineksen osuus laskee näytteissä syvyyden mukaan, joten 240 cm syvyydeltä otetussa näytteessä ei välttämättä ollut tarpeeksi orgaanista ainesta luotettavan radiohiiliajoitusanalyysin tekemiseksi. Lisäksi radiohiiliajoitus muuttuu sitä epäluotettavammaksi, mitä vanhemmasta näytteestä on kyse (Walker 2005). Lähellä maanpintaa, ei kuitenkaan aivan maanpinnassa, kalibroitujen radiohiiliajoitusten voi kuitenkin olettaa pitävän hyvin paikkansa.

## 5. Johtopäätökset

Tämä tutkimus auttoi ymmärtämään geokemiallisen analyysin käytön mahdollisuuksia arkeologisessa tutkimuksessa Rautajärven kaltaisessa järviympäristössä. Tulosten avulla voitiin osittain vastata asetettuun tutkimuskysymykseen. Voidaan sanoa, että geokemiallinen analyysi, radiohiiliajoitus, hehikutushäviö, magneettinen susceptibiliteetti ja siitepölyanalyysi antoivat suhteellisen hyvin tietoa luonnonolosuhteiden kehittymisestä Humppilan Rautajärvellä, mutta muinaisesta ihmistoiminnasta niukasti. Järven luonnonolosuhteiden muutos näkyy hyvin varsinkin hehikutushäviön ja susceptibiliteetin tuloksissa.

Näin kaukaa arkeologisten kohteiden ulkopuolelta otettujen näytteiden geokemiallinen analyysi ei antanut riittävästi tuloksia kiviakautisen ihmistoiminnan tutkimiseen Rautajärvellä. Poikkeavat alkuainepitoisuudet olisivat voineet olla helpommin havaittavissa, jos näytteet olisi otanut suoraan arkeologisilta kohteilta. Butlerin ja hänen kollegoidensa tutkimuksessa (2018) löydettiin metsästäjä-keräilijöiden jättämiä poikkeavia alkuainepitoisuuksia, mutta näytteet oli otettu suoraan asutuksen ja nylkemispaikkojen kohdalta, kun taas tässä tutkimuksessa näytteet otettiin entisen järven keskeltä. Olisi ollut mielenkiintoista vertailla geokemiallisen analyysin tuloksia Järvensuo 1:n arkeologisen kohteen ja Rautajärven keskustan välillä.

Geokemiallinen analyysi voisi sopia paremmin sellaisten arkeologisten ajanjaksojen tutkimiseen, joiden aikana ihmistoiminta on ollut tiheämpää ja pysyvämpää kuin Suomessa kiviakaudella. Silloin olisi todennäköisempää, että sedimenttikerrostumiin olisi jäänyt merkittäviä jälkiä ihmisasutuksesta. Esimerkiksi Batorán *et al.* tutkimuksessa (2013) löydettiin poikkeavia pitoisuuksia useita alkuaineita ja yhdisteitä, kun tutkittiin varhaisen pronssikauden asutusta. Järvensuo 1:n arkeologisella kohteellakin on merkkejä tiheästä ja pitkäkestoisesta ihmistoiminnasta, mutta se ei kuitenkaan ole ollut yhtä tiheää kuin pronssikauden kaupunkimaisessa asutuksessa (Koivisto 2021). Tässä tutkimuksessa muinaisen ihmistoiminnan tutkimista vaikeuttivat myös järven kehitysvaiheiden mahdolliset vaikutukset geokemian, hehikutushäviön ja magneettisen susceptibiliteetin tuloksiin.

Tämän tutkimuksen osalta lupaavimmilta vaikuttavat alkuaineet geokemiallisen analyysin käyttöön arkeologisessa tutkimuksessa ovat kupari ja sinkki. Niillä oli selvästi nähtävät pitoisuusvaihtelut, jotka sijoittuivat juuri muinaisen ihmisasutuksen ajanjaksolle. Sinkin poikkeavan pienet pitoisuudet ihmistoiminnan aikana ovat kiinnostavia, sillä useissa tutkimuksissa muinainen ihmistoiminta on liitetty sinkin pitoisuuden kasvuun maaperässä (Huisman *et al.* 2009). Vaatisi kuitenkin lisää tutkimusta varmistaa liittyvätkö pitoisuusvaihtelut muinaiseen ihmistoimintaan, vai esimerkiksi järven luonnolliseen kehitykseen. Suoraan muinaisilta asuinpaikoilta (Järvensuo 1) otetut vertailunäytteet auttaisivat huomattavasti muinaisen ihmistoiminnan jättämien alkuaineiden pitoisuuspoikkeamien ymmärtämisessä.

Ojitetut turvepellot soveltuvat huonosti näytteenottoon, sillä on mahdollista, että nykyinen maankäyttö on tuhonnut tai sekoittanut sedimenttikerrostumia monen tuhannen vuoden ajalta. Tästä syystä on myös vaikea päätellä, mihin syvyyteen asti maankäytön vaikutukset ulottuvat. Tässä tutkimuksessa ensimmäinen näyte, joka oli mahdollista

ajoittaa, oli 7 cm syvyydessä ja sen ikä oli 4099-3911 cal BP 88,1 % vaihteluvälillä. Maankäyttö oli siis poistanut ainesta noin 4000 viimeisen vuoden ajalta ja nykyisen ihmistoiminnan vaikutukset ulottuivat todennäköisesti vielä tätä syvemmälle.

## 6. Kiitokset

Kiitän ohjaajaani Timo Saarista, joka auttoi työn alullepanemisessa ja viimeistelyssä. Kiitän toista ohjaajaani Teija Aleniusta, joka auttoi tiiviisti työn etenemisessä ja antoi paljon kommentteja kirjoittamisen edetessä. Kiitän Satu Koivistoa, joka auttoi Rautajärven arkeologian ymmärtämisessä ja antoi kommentteja tutkielman viimeistelyyn. Kiitän myös Eila Hietaharjua, Arto Peltolaa ja Juuso Suomea, jotka auttoivat tutkielmaan liittyvissä eri vaiheissa.

## 7. Lähdeluettelo

Aalto, M., Siiriäinen, A. ja Vuorela, I. 1985. Humppila Järvensuo – A preinvestigation for an archaeological and palaeobotanical project SW Finland. *Iskos* 5. ss. 165-177.

Alenius, T., Lahelma, A. ja Mökkönen, T. 2013. Early Farming in the Northern Boreal Zone: Reassessing the History of Land Use in Southeastern Finland through High-Resolution Pollen Analysis *Geoarchaeology*, 2013-01, Vol.28 (1), ss. 1-24.

Alenius, T., Holmqvist, E., Mökkönen, T. ja Ojala, A. 2017. Neolithic land use in the northern Boreal zone: high-resolution multiproxy analyses from Lake Huhdasjärvi, south-eastern Finland. *Vegetation history and archaeobotany*, 2017-03-14, Vol.26 (5), ss. 469-486.

Alenius, T., Giesecke, T., Ojala, A. ja Seppä, H. 2008. Integrated varve and pollen-based temperature reconstruction from Finland: Evidence for Holocene seasonal temperature patterns at high latitudes. *The Holocene*, 18(4), ss. 529–538.

Alenius, T. ja Ojala, A. 2005. 10 000 years of interannual sedimentation recorded in the Lake Nautajärvi (Finland) clastic-organic varves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2005(219), ss. 285-302.

- Anderson, D.S., Blair, D.A ja Terry, R.E. 2012. Soil geochemical analyses at the preclassic site of Xtobo, Yucatan, Mexico. *Ancient Mesoamerica*, Cambridge. Vol. 23, Iss. 2. ss. 365-377.
- Anttila, V. 1967. Järvenlaskuyhtiöt Suomessa. *Suomen Muinaismuistoyhdistys*. ss. 263–264.
- Bátora, J., Gauss, R.K., Nowaczinski, E., Rassmann, K. ja Schukraft, G. The Early Bronze Age settlement of Fidvár, Vrábľa (Slovakia): reconstructing prehistoric settlement patterns using portable XRF. *Journal of archaeological science*, 2013-07, Vol.40 (7), ss. 2942-2960.
- Bennet K. D. ja Giesecke, T. 2004. The Holocene spread of *Picea abies* (L.) Karst. in Fennoscandia and adjacent areas. *Journal of biogeography*, 2004-09, Vol.31 (9), ss.1523-1548.
- Bentley, R.A. and Degryse, P. 2018. *Encyclopedia of Geochemistry. Archeological Geochemistry*. ss. 42-52.
- Blatt, H. & Tracy, R. J. 1996. *Petrology. Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*. New York, Basingstoke: W. H. Freeman & Co. Toinen painos. s. 529.
- Boyle, J.F. 2001. Tracking environmental change using lake sediments. Volume 2, Physical and geochemical methods. Ensimmäinen painos. Kluwer Academic Publishers. s. 504.
- Brzozowska, A. 1989. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 1989, Vol.40 (4-6), ss. 302-312.
- Butler, D.H., Dawson P.C. ja Lopez-Forment, A. 2018. Multi-element and biomolecular analyses of soils as a means of sustainable site structure research on hunter–gatherer sites: A case study from the Canadian Arctic. *Journal of Archaeological Science: Reports* 17 (2018). ss. 973-991.
- Chakraborty, S. ja Weindorf, D.C. 2020. *Soil Science Society of America journal*, 2020-09, Vol.84 (5), ss. 1384-1392.
- Croudace, I.W. ja Rothwell, R.G. 2015. *Micro-XRF Studies of Sediment Cores. Applications of a non-destructive tool for the environmental sciences. Developments in Palaeoenvironmental Research*. Volume 17. s. 656.

- Currie, A.L. 2004. The remarkable metrological history of radiocarbon dating [II]. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* 109, ss. 185–217.
- Dittmar, H., Drach, M., Gutser, R., Steffens, G., Trenkel, M.E. ja Vosskamp, R. 2009. Fertilizers, 2. Types. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH
- Duncan, A., Yacoubian, C., Watson, N. ja Morrison, I. 2015. The risk of copper deficiency in patients prescribed zinc supplements. *Journal of clinical pathology*, 2015-09, Vol.68 (9), ss.723-725
- García Giménez, Pérez de Dios, V., R., de los Reyes de Soto García, M. ja de Soto García, I. 2018. Archaeometric study of Roman tesserae from Salamanca (Spain). *Archaeology and geochemical analysis. Natural Sciences in archaeology*, volume IX, Is. 1/2018, ss. 31-42.
- Gardemeister, R., Korhonen, K-H. ja Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. *Geotekniikan laboratorio, tiedonanto* 14. 20 s, 2 liitettä.
- Geologian tutkimuskeskus (GTK). Maankamara. <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/#>. Katsottu 25.5.2022 ja 9.6.2022.
- Grimm, E. 1987. "CONISS: A FORTRAN 77 Program for Stratigraphically Constrained Cluster Analysis by the Method of Incremental Sum of Squares." *Computers & Geosciences* 13: ss. 13–35.
- Grimm, E. C. 1991. *TILIA and TILIA-GRAPH*. Springfield: Illinois State Museum. s. 101.
- Harff, J. 2016. *Encyclopedia of Marine Sciences*. Springer, 2016.
- Heikkilä, M. ja Seppä, H. 2003. A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. *Quaternary Science Reviews*, 22, ss. 541–554.
- Hokkanen, K. 2005. Lounais-Hämeen muinaisranta-analyysit ja muinaisrantojen visualisointi. Raportti P.22.4.110. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. s. 10.
- Howard, J. *Anthropogenic Soils*. 2017. Springer International Publishing. s. 231.
- Huisman, J., Oonk S. ja Slomp C.P. 2009. Geochemistry as an Aid in Archaeological Prospection and Site Interpretation: Current Issues and Research Directions. *Archaeol. Prospect.* 16, ss. 35–51.



- Kalnicky, D.J. ja Singhvi, R. 2001. Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials* 83 (2001), ss. 93–122.
- Koivisto, S. 2017. Archaeology of Finnish wetlands: with special reference to studies of Stone Age stationary wooden fishing structures. Doctoral thesis. Helsingin yliopisto. s. 100.
- Koivisto, S. 2021. Järvensuo Revival: Reinvestigation of the Neolithic wetland site of Järvensuo 1, South-West Finland. *Fennoscandia archaeologica* XXXVIII (2021). ss. 1-37.
- Koivisto, S ja Lahelma, A. 2021. Between earth and water: a wooden snake figurine from the Neolithic site of Järvensuo 1. *Antiquity* 2021 Vol. 95 (382): e19, s. 1–7.
- Li, D., Li, Y., Sun, Q., Wang, A., Wang, L., Xu, Y., Ye, X. ja Yin, X. 2017. Geochemical analysis of sediments from a semi-enclosed bay (Dongshan Bay, southeast China) to determine the anthropogenic impact and source. *Chemosphere (Oxford)*, 2017-05. Vol. 174, ss. 764-773.
- Mass, J.L. ja Shugar, A.N. 2012. *Handheld XRF for art and archaeology*. Leuven University Press. ss. 18–20.
- Mullens, C.E. 1977. Magnetic Susceptibility of the Soil and Its Significance in Soil Science—A Review. *European Journal of Soil Science*. June 1977. Volume 28, Issue 2, ss. 223–246.
- Mäkinen, J. ja Saarelainen, J. 2019. KaiHali -hankkeen taustaraaportti. Euroopan aluekehitysrahasto. s. 59.
- Mönkkönen, T. 2013. Stone setting filled with red ochre from the Keelaharju site, northernmost Baltic Sea region: a stone age grave in the context of North European burial traditions. *Fennoscandia archaeologica* XXX (2013). ss. 13–33.
- Saarnisto, M. 2003. *Karjalan synty*. Gummerus kirjapaino, Jyväskylä. s. 560.
- Siiriäinen, A. 1987. Excavations at Järvensuo, Finland. *NewsWarp* 2: ss. 11–12.
- Smol, J.P. 2009. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective. 2. painos. ss. 1-72.

Soiniemi, L. 1972. The classification of lake sediments based on color determinations. Bull. Geol. Soc. Finland 44, ss. 9–11.

Tolonen, K. 1983. Kuusen levinneisyshistoriaa Suomessa. Sorbifolia 14 (2/1983). ss. 53-60.

Vanhanen, S. 2019. Prehistoric cultivation and plant gathering in Finland: an archaeobotanical study. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. s. 105.

Veres, D. 2002. A Comprehensive study between loss on ignition and total carbon analysis on minerogenic sediments. Studia Universitatis Babe-Bolyai, Geologia. XLVII, 1, 2002, ss. 171-182.

Walker, M. 2005. Quaternary Dating Methods. International Library of Archaeology. ss. 17-37.