

TARTU ÜLIKOOL
BIOLOOGIA-GEOGRAAFIATEADUSKOND
GEOLOOGIA INSTITUUT

Leeli Amon

SÖEOSAKESTE LEVIK TURBAKIHTIDES JA NENDE
SÜNDMUSSTRATIGRAAFILINE INTERPRETATSIOON
MELESKI RABA NÄITEL

Magistritöö

Juhendaja: prof. Tõnu Meidla

Tartu 2006

Sisukord	
<i>Annotatsioon</i>	3
<i>Sissejuhatus</i>	4
<i>1. Tulekahjudest ja nende tähtsusest keskkonnas</i>	5
<i>2. Söeosakeste analüüs ja kasutusvõimalused</i>	9
2.1 Söeosakeste analüüsi kui meetodi piirangud	10
2.1.1 Söeosakeste transport, settimine ja settekeskkondade mõju.....	10
2.1.2 Enamkasutatavad meetodid setteproovide ettevalmistamisel.....	15
2.1.3 Söeosakeste analüüsi tulemuste interpreteerimisest	17
<i>3. Uurimisala iseloomustus</i>	19
<i>4. Metoodika</i>	21
<i>5. Tulemused</i>	25
5.1 ¹⁴C dateeringute tulemused	25
5.2 Meleski raba puursüdamike litoloogiline ning botaaniline kirjeldus ja mikroskoopiliste söeosakeste analüüsi tulemused	27
5.3 Meleski 1 puursüdamiku kahe maksimumi 1 cm-intervallilise analüüsi tulemused	37
5.4 Õietolmuanalüüsi tulemused	38
6.1 Turba dateeringud ning rabaturba juurdekasv Meleski rabas	40
6.2 Meleski raba puursüdamike söeosakeste maksimumide korrelatsioon ning sündmuste võimalik rekonstruktsioon	41
6.3 Meleski raba areng ning seotus Võrtsjärve rekonstruktsioonidega	49
6.4 Meleski raba söeosakeste analüüsi tulemuste rakendusvõimalused arheoloogias	51
<i>7. Kokkuvõte ja järeldused</i>	55
<i>Kasutatud kirjandus</i>	58
<i>The spatial distribution of charcoal in peat and its stratigraphic significance – an example of Meleski bog, Central Estonia</i>	64

Annotatsioon

Söeosakeste transpordi ruumilise ühtluse uurimiseks ning söeosakesterikaste kihtide korrelatsioonipotentsiaali hindamiseks raba turbaläbilõikes analüüsiti Meleski väikerabast (Kesk-Eesti) võetud settepuursüdamikke. Läbilõigetes esineb vähemalt kaheksa regionaalse või lokaalse tulekahjusündmuse kohta, millest igaüks on jälgitav ühes kuni neljas läbilõikes. Intensiivsetest lokaalsetest tulekahjudest pärinevad söeosakeste maksimumid väljendavad raba piires selget suunatud gradienti, mis lubab teha järeldusi toimunud põlengu kolde ning levikusuuna kohta ning kinnitab läbilõigete korrelatsiooni usaldusväärsust. Tulemused näitavad suuremamõõtmeliste (üle 170 µm diameetriga) söeosakeste kaugeleulatuvamat levikut võrreldes publitseeritud andmetega.

Märksõnad: söeosakesed, põlengute ajalugu, paleoökoloogia, õietolmuanalüüs, raba, Holotseen, inimõju.

Sissejuhatus

Mikroskoopiliste ja makroskoopiliste söeosakeste analüüsimine on levinuim võimalus uurida põlengute ajalugu. Söeosakesed tekivad sobiva orgaanilise materjali, näiteks taimsete kudede mittetäielikul põlemisel. Peale tekkimist liiguvad nad peamiselt vee- ja tuulekandel settimispaika. Setetes sattunutena kinnistuvad söeosakesed kindlasse settekihti. Tänu keemilisele intertsusele võivad söeosakesed säilida settebasseinis pikka aega muutumatutena. Setete analüüsimisel loetakse arvukalt ning suure pindalaga söeosakesi sisaldav settekiht selle formeerumise ajal toimunud põlengu tõendiks. Söeosakesi, kui tulekahjude tunnustajaid, on leitud juba Devoni aegkonna setetest. Läbi geoloogilise ning inimajaloo on tuli ning paraku ka tulekahjud olnud üheks tähelepanuväärseks keskkonnateguriks.

Sageli tehakse järeldused piirkonna mineviku loodusolude ning põlengute toimumise kohta vaid üht settepuursüdamikku analüüsid, usaldades seda kui täpset ja esinduslikku “kroonikut”. Mikroskoopiliste söeosakeste transpordi ja ruumilise jaotuse keerukuse ning soo settekeskkonna eripärade tõttu ei pruugi esinduslikkuse eeldus aga paika pidada. Selles vallas on seni tehtud vähe uuringuid (nt. Innes *et al.* 2004). Makroskoopiliste söeosakeste eksperimentaalsete levikuandmete põhjal on arvatud, et jättes välja transpordi ning kõik sellega seonduvad mõjud, on ainult ühe settepuursüdamiku analüüsimisel 14 %-line võimalus põlengu jälgede märkamata jätmiseks (Ohlson & Tryterud 2000). Mikroskoopiliste söeosakeste puhul on just transport aga üks määravamaid ning problemaatilisemaid küsimusi. Käesolev töö püüab uurida probleemi Kesk-Eesti väikeraba, Meleski, näitel.

Töö eesmärgiks on soosette läbilõigetes söeosakeste sisalduse ning pindalaväärtuse muutuste selgitamine ning enim söeosakesi produtseerinud põlengute tasemete leidmine. Analüüsi leitud söeosakesterohkete settekihtide korrelatsioonipotentsiaali, et testida hüpoteesi mikroskoopiliste söeosakeste põlengu- ja settimisjärgsest ühtlasest ruumilisest jaotusest ühe raba piires.

1. Tulekahjudest ja nende tähtsusest keskkonnas

Aastas ladestub looduslike ja inimtekkeliste põlengute produktide, söeosakeste näol keskkonda 50–200* 10¹² grammi süsinikku, mis moodustab märgatava osa üleilmsest süsinikuringes ringlevast materjalist. Põlengute suuruse ja/või esinemissageduse kiire muutus võib kaasa tuua ootamatuid tagajärgi üldise süsinikureservuaari toimises (Lynch *et al.* 2004). Kaasaegsed kliimamudelid rõhutavad võimalust põlengute sageduse ning intensiivsuse ettearvamatuks muutumiseks toimuva globaalse kliimamuutuse taustal (Flannigan *et al.* 2000). Tuleviku võimalike muutuste prognoosimiseks on vaja teada, kas ja kuidas on põlengute režiim olnud vastasmõjus geoloogilises minevikus toimunud kliima- ning taimkattemuutustega.

Üks suuremaid põlengute tekkimise ning levimise mõjutajaid on kliima, mis kujundab regionaalset ilmastikku. Sobivaim ilmaolukord tulekahju puhkemiseks on niiskele aastaajale järgnev kuivem periood (Mensing *et al.* 1999). Niiskemal perioodil moodustub rohkelt kütust, samas kui kuivuse saabudes on tuleaktiivsus suurem. Kuid mitte ainult ilmastik ei mõjuta tulekahjusid, vaid suured põlengud võivad mõjutada ka kohalikku mesokliimat. Kiire kõikumine albeedos ning piirkonna järsk aurumismäära langus, mis tekivad põlengu tagajärjel, võivad muuta lokaalset energiabilanssi ja ilmastikku (Flannigan *et al.* 2000). Eriti ohtlik võib selline tagajärg olla igikeltsa aladel, kus albeedo kõikumine soodustab pinnase temperatuuri tõusu ning kuni kümneid aastaid kesvat CO₂ eraldumist (Zhang *et al.* 2003).

Tulekahju süttimiseks on tarvis, et tekiks nn. tulekahju kolmnurk, mille nurgad moodustavad kuumusallikas, sobilik kütus ning sobilikud (ilmastiku)tingimused (sh hapniku pidev juurdepääs, kütuse madal niiskusesisaldus). Kui üks komponentidest puudub või on pärsitud, siis põleng ei sütti või kustub kiiresti. Tulekahju levikul on oluline ka maastiku reljeef ning esinevad looduslikud barjäärid, näiteks veekogud (Flannigan *et al.* 2000). Kõige sagedasemaks loodusliku põlengu kuumustvallandavaks põhjuseks peetakse välgulööki (Patterson *et al.* 1987). Looduslike tulekahjude sütitajateks on ka vulkaaniline tegevus ja kivide põrkumisel tekkivad sädemed. Lisavõimalus on isesüttimine, mis toimub tavaliselt kõdunenud materjali kuhjades mikroobide ja keemilise oksüdatsiooni põhjustatud eksotermiliste

protsesside tagajärjel (Scott 2000). Enamus tänapäevaseid tulekahjusid süttib siiski tahtliku või tahtmatu inimtegevuse tagajärjel. Tulekahjude kirjeldused ja analüüs summeeritakse uuritud ala tulerežiimina, mis koondab andmeid põlengute toimumise sageduse, samuti nende suuruse, intensiivsuse, raskusastme, sempoonsuse ning tüübi kohta. Tulekahju intensiivsust võib iseloomustada kui põlengu ajal vabanevat energiahulka; see sõltub paljudest teguritest, eeskätt kütuse kogusest ja omadustest ning ilmastikust. Põlengute toimumise aastaeg avaldab mõju tulekahjujärgsele taimkatte taastumisele, kuna erinevas vegetatsioonistaadiumis kahjustada saanud taimede regeneratsioonivõime on erinev (Flannigan *et al.* 2000).

Suure tähelepanu all on põlengute režiim ning mõjud põhjapoolkera metsades (MacDonald *et al.* 1991). Põhjapoolkera boreaalsed metsad moodustavad enam kui kolmandiku kogu maakera metsadest ning on ligikaudu 37% maismaasüsiniku reservuaariks (Zhang *et al.* 2003). Ka Eesti metsi võib määratleda kui boreaalseid. Vabariigi pindalast katavad metsad 48,9 % ehk 2285000 ha. Eesti metsade põlengud on aastate lõikes erineva suuruse ning tõsidusega (tabel 1).

Tabel 1. Eesti metsapõlengutes hävitatud ja kahjustatud metsamaade pindala aastate lõikes (Eesti Statistikaameti andmed, 2004).

Põlengu aasta	Hävitatud ja kahjustatud metsa pindala (ha)
1994	584,2
1995	289,1
1996	314
1997	498,3
1998	298,6
1999	318,8
2000	491,1
2001	144,4
2002	856,8
2003	126,9
2004	232,3

Taimkattedpõlenguid liigitatakse sageli tuleroaks langeva materjali ehk kütuse ja levikukeskkonna alusel (Scott *et al.* 2000). Lihtsustatult võib eraldada kolme peamist tüüpi. Esiteks pinna tulekahjud: sel juhul levib tuli peamiselt maapinnal ja/või maapinna lähedal. Põlemise vormiks on peamiselt leegitsemine ning kütuseks on maapinnal kasvavad taimed, kulu ning kõdu. Teiseks tüübiks loetakse võratuld. Seda tüüpi tulekahju on enamasti jätk pinnase põlengule, kui tuli on levinud puude võradesse. Peamiseks põlevaks materjaliks on puulehed ja -oksad, liaanid ning kõrgemate põõsaste ladvad. Kolmas eraldatav tüüp on pinnase tulekahjud. Needki on sageli pinna tulekahjude tagajärg. Iseloomulik on pikk, päevi kuni aastaid kestev madalatemperatuuriline hõõgumine. Esineb eriti sagedasti turba või paksu huumusekihiga pinnases (Scott *et al.* 2000). Loomulikult esinevad reaalsetes situatsioonides enamasti tüüpide üleminekud või segavormid.

Tulekahju on peamine looduslik tegur, mis mõjutab metsa taimkatet, selle struktuuri ning muutusi; lisaks kujundab põleng metsaökosüsteemi mosaiiksust ning sekkub lokaalsesse süsinikuringesse (Zhang *et al.* 2003, Flannigan *et al.* 2000). Teisteks metsakooslust mõjutavateks looduslikeks teguriteks võivad olla tormid, mis tekitavad tuulemurde (Long & Whitlock 2002), ning taimahaigused ja putukate poolt põhjustatud kahjustused (Moore 2000). On leitud, et nimetatud tegurid võivad olla omavahel vastastikmõjus – näiteks tuulemurd, kui suur kütusekogus, võib olla soodne süttimispaik, samuti nagu ka putukakahjustuste tõttu kuivanud metsatukk (Flannigan *et al.* 2000). Kuni järgmise vegetatsiooniperioodini on ka põlengute poolt mõjutatud pinnas taimestikuta, mis suurendab ülemise pinnasekihi erosiooni (Patterson *et al.* 1987). Tulekahjud võivad muuta mulla koostist (Parshall & Foster 2002). Veel mitmed aastad peale põlengut võib olla vähenenud pinnase infiltratsioonivõime ning suurenenud hüdrofoobsus (Whitlock & Larsen 2001).

Tulekahju mõju taimkattele sõltub mingil määral ka tulekahjude regulaarsusest või haruldusest piirkonnas. Põlengute kõrge sagedus avaldab märgatavat ökoloogilist survet, tõstes eelisseisundisse liike, mis suudavad tulekahjudevahelisel perioodil kiiremini taastuda (Flannigan *et al.* 2000). Sagedaste põlengute korral tekib osadel taimedel tulega kohanemise või üleelamisvõime sarnane omadus, näiteks mitmetel puudel võime põlenud tüvest uusi oksid kasvatada (Scott 2000). Mõned liikide puhul soodustab tulekahju seemnete idanemist või leviku laiendamist (harilik mänd)

(Simmons ja Innes 1996, Scott 2000). Samas mõnedele taimeliikidele, näiteks harilikule kuusele, võib saatuslikuks saada ka nõrk tulekahju (Pitkänen 2000). Korduvad tulekahjud koos muude teguritega (näiteks atmosfääri saastatus, kliimamuutus, inimtegur) on võimalikud põhjused koosluste vahetumisel teistega, näiteks okasmetsa asendumise lehtmetsaga (Hellberg *et al.* 2003). Tulekahju raskusastet mõõdetakse kulunud kütuse hulgaga ning põlenud pinnase sügavusega. Mida tõsisem tulekahju, seda sügavamad pinnasekihid saavad häiritud; seda enam hävib pinnasemikroobe ning saab kahjustada taimede risoomi ja juba mahalangenud/idanevaid seemneid (Flannigan *et al.* 2000).

Söeosakesed moodustavad vaid ühe osa põlengute produktidest, mille suurus varieerub suurtest söestunud materjalipaladest mõnemikromeetrise läbimõõduga tahmani (Masiello 2004). Mikroskoopilised ja makroskoopilised söeosakesed asuvad leviku- ning reageerimisvõime skaalal eelmainitud kahe põlenud ainese esinemisviisi vahel. Peale tekkimist kanduvad söeosakesed transpordiagentide, st tuule ja vee abil formeerumispaigast settimispaika ning fikseeruvad moodustuvasse settekihti. Tänu keemilisele inertsusele säilivad söeosakesed settes kaua muutumatutena. Lihtsustatult võib väita, et suure söeosakesesisaldusega settekihid peegeldavad minevikus toimunud tulekahjusid (Patterson *et al.* 1987).

2. Söeosakeste analüüs ja kasutusvõimalused

Mikroskoopiliste/makroskoopiliste söeosakeste analüüs on levinuim ning kindlaim võimalus uurida tule ajalugu. Levinumaks alternatiiviks söeosakeste analüüsile põlengute uurimisel on dendroökoloogia, kuid sellel meetodikal on võrreldes söeosakeste analüüsiga märgatav ajaline piirang. Valdaval osal juhtudest on Kvaternaari ajastul toimunud põlengute uurimiseks kasutatud mikroskoopiliste söeosakeste analüüsi, samas kui makroskoopiliste söeosakeste analüüsi rakendatakse varasemate ajastute tulekahjude iseloomustamiseks (Scott *et al.* 2000).

Eelmise sajandi teisest poolest alates on söeosakeste analüüs, kas õietolmuanalüüsi osana või iseseisva meetodikana, muutunud paleoökoloogiliste uuringute lahutamatuks osaks. Mikroskoopiliste söeosakeste analüüsist saadud informatsiooni on kasutatud paleoklimatoloogia (Umbanhowar 2004), metsaökoloogia (Niklasson *et al.* 2002, Briles *et al.* 2005), inimõju ja arheoloogia (Parshall & Foster 2002) alastes uuringutes. Söestunud osakeste esinemist settes võib lugeda kõige otsesemaks tõendiks toimunud tulekahjudest ning söeosakeste hulk, mõõtmed ja ruumiline jaotus annavad kõige täpsemat informatsiooni põlengu suurusest ning tugevusest (Innes *et al.* 2004). Söeosakesi sisaldavad puursüdamikud pakuvad informatsiooni üle aastatuhandete ning on kindlasti kõige pikema ajalise ulatusega võimalus uurida põlengute ajalugu ümbruskonnas. Pikaajaline tulekahjude režiimi uurimine on aga oluline, kuna põlenguid reguleerivad sageli aastakümnete kuni sajandite pikkused rütmid, mis hõlmavad kütuse moodustumist ja ladestumist ning kohaliku/ regionaalse kliima arengut (Lynch *et al.* 2004).

Väga levinud on mikroskoopiliste söeosakeste analüüs Holotseeni taimkattekoosluste ning nende ajalis-ruumiliste muutuste iseloomustamisel (Patterson *et al.* 1987). Peale söeosakeste suurenenud kontsentratsiooni settes peetakse toimunud tulekahjule viitavaks ka teatud taimeliikide õietolmuterade ilmumist või kadumist. Põlenguga kaasneb lisaks taimkatte osalisele hävingule pioneerliikide pealetung. Iseloomulikuks loetakse puude õietolmu vähenemist ja rohttaimede õietolmu hulga kasvu. Karakterseteks põlengujärgseteks pioneerliikideks loetakse näiteks härghaina,

kanarbikku, ahtalehist põdrakanepit, kilpjalga (Laul ja Kihno 1999, Innes & Simmons 2000, Scott *et al.* 2000). Puudest levib vabanevale pinnasele kiiresti kask (Pitkänen 2000), mänd ja sarapuu (Innes & Simmons 2000).

Söeosakeste analüüs, kombinatsioonis õietolmuanalüüsiga, on heaks abivahendiks esiajaloo uurijatele. Mikroskoopilised söeosakesed on üsna tundlik nii loodusliku kui inimtekkelise keskkonnahäiringu mõõdik (Patterson *et al.* 1987). Inimesed on tuld regulaarselt kasutanud vähemalt viimased 40 000 aastat. Tuld on nimetatud ka kui üht tõukejõudu inimese sotsiaalsuse arengul (McKie 2001). Seda on kasutatud soojendamiseks, toiduvalmistamiseks, majapidamiseks, enesekaitseks, rituaalseteks toiminguteks, põllumajanduslikel ja tööstuslikel eesmärkidel. Seetõttu peegeldabki söeosakeste levik inimtegevuse aktiivsust ja iseloomu. Tulekahjude süütamist kasutasid mesoliitikumi kütid–korilased mitmel eesmärgil, näiteks jahipidamisel abistava võttena - lootuses välja vahetada taimestikku ja meelitada uuetüübilise kooslusega ligi uusi saakloomi (Simmons & Innes 1996, Moore 2000). Neoliitikumi põlluharijad põletasid metsadesse lagendikud, et saada sobilikku põllumaad. Ameerika indiaanlased süütasid väikeseid kontrollitud tulekahjusid, et edendada soovitud rohttaimede kasvu, likvideerida tuulemurde, rajada teid läbi metsade ning puhastada laagripitside ümbrust (Moore 2000). Muinasskandinaavlastel tegid alet ning puhastasid metsast karjamaid (Niklasson *et al.* 2002, Hellberg *et al.* 2003). Söeosakeste analüüsi tulemused kajastavad nii rauasulatamise (Innes & Simmons 2000) kui alepõllunduse (Sarmaja-Korjonen 1992) algust.

2.1 Söeosakeste analüüsi kui meetodi piirangud

2.1.1 Söeosakeste transport, settimine ja settekeskkondade mõju

Iga tulekahju on unikaalne. See on tule, mis seostab omavahel piirkonna tõenäosuslikud süttimisallikad, kõikvõimalikud kütused ning esinevad ilmastikuolud. Lisaks võib iga tulekahju suuremal või vähemal määral sõltuda konkreetsest reljeefist, niiskusest, tuule kiirusest ja suunast. Söeosakeste analüüsi puhul lisanduvad veel osakeste transpordi, settimise ja proovimise, töötlemise ning interpreteerimise aspektid. Nii võib öelda, et söeosakeste analüüsi tulemused peegeldavad minevikus

toimunud erinevate protsesside keerulist põimumist ning hüpoteeside püstitamine ja põhjendatud järelduste tegemine võib osutada keerukaks.

Söeosaksed peavad esmalt taimse materjali põlemisel moodustuma, seejärel kanduma settimispaika ning kinnistuma moodustuvasse settekihti. Söeosakeste settekihti ladestumise tõenäosust suurendavad kolm tegurit. Esiteks, põlengu tõsidus: mida enam ja intensiivsemalt taimkatet põleb, seda rohkem moodustub söeosakesi (Pitkänen *et al.* 1999). Teiseks, põlengu kaugus: mida lähemal on põleng/põlengu piir settebasseinile, seda suurema tõenäosusega söeosakesed settimiskeskonda ka jõuavad (Ohlson & Tryterud 2000, Lynch *et al.* 2004). Kolmandaks, tuulte mõju: sageli kaasnevad suurte põlengutega ka tugevad tõusvad õhuvoolud ning tuuled, mis tõstavad oluliselt õhukande ulatust ning efektiivsust (Mensing *et al.* 1999).

Üheks tähtsamaks, kuid vastuolulisemaks teguriks, mis mõjutab mineviku tulekahjude rekonstrueerimise usaldusväärsust, on söeosakeste transport. Transpordi problemaatika hõlmab söeosakeste kande teoreetilist ja tegelikku pikkust formeerumisaigast settimiskohta, seost söeosakese suuruse ning põlengukolde/settebasseini omavahelise kauguse vahel, välistegurite (näiteks tuule) mõju jms. Transpordiaagentideks on enamasti tuul ja/või vesi. Mikrokoopilised söeosakesed liiguvad õhu ja vee kandel, makroskoopilised peamiselt veetranspordiga (Patterson *et al.* 1987, Clark 1988). Valdav enamik katseid ning ka teoreetilised mudelid puudutavad õhutransporti (Clark 1988, Ohlson & Tryterud 2000), vähem veekannet (Nichols *et al.* 2000).

Vastavalt tunnustatud hüpoteesile sõltub söeosakese kandumine tekkekohast settimispaika tema suurusest (Patterson *et al.* 1987). Väga väikesed söeosakesed võivad tulekahju tõusvate õhuvoolude mõjul liikuda kõrgematesse atmosfääri kihtidesse ning ladestuda kuni tuhandeid kilomeetreid koldest eemal. Söeosakesed läbimõõduga 5–50 µm kanduvad põlengukoldest kuni 100 km kaugusel, 2–5 µm diameetriga osakesed võivad aga settida tuhandete kilomeetrite kaugusel (Clark 1988). Seetõttu on väga väikeste söeosakeste päritolupiirkond ehk baasala määratlematu ning on keeruline väita, kui kaugel settimispaigast tulekahju toimus (Clark 1988, Ohlson & Tryterud 2000).

Eksperimenaalsete metsatulekahjude puhul on näidatud, et üle 0,3 mm suurused söeosakesed õhukandel põlenud alast väljapoole ei levi ehk ladestuvad lokaalselt, keskmiselt kuni 60 m kaugusele tulekahju piirist (Lynch *et al.* 2004, Ohlson ja Tryterud 2000). Üle 100 µm diameetriga söeosakesi peetakse järvesetete uurimisel vesikonna piires toimunud tulekahju näitajaks (Whitlock & Larsen 2001).

Samas on iga tulekahju paraku eriline kombinatsioon nii kütusest, põlemis-, ilmastiku- kui maastikutingimustest. Näiteks on näidatud, et on võimalik identifitseerida suuri, üle 20000 ha suurusi võsapõlenguid üle 3750 µm² (diameetriga ca 85 µm) söeosakestega kuni 30 km kaugusele (Mensing *et al.* 1999). Pitkänen kolleegidega (1999) viib lokaalset põlengut tuvastavate söeosakeste alumise suuruspiiri madala intensiivsusega tulekahju korral 50 µm²-ni. Lynch kaasautoritega (2004) laiendab lokaalset põlengut kinnitavate söeosakeste suurusi 0,2-st kuni 2,5 mm diameetrini. Clark'i (1988) mudel eeldab söeosakestevaba tsooni moodustumist vahetult põlengukolde ümbruses tugevate konvektsioonivoolude tõttu, mis tõstavad söeosakesed kõrgematesse atmosfäärikihtidesse ning soodutavad kaugemale kandumist. Söeosakeste sadestumine näiteks võratulekahju puhul aga mitte ainult ei alga tulekahju vahetu piiri lähistel, vaid 99% neist langeb põlengust kuni 60 m kaugusele (Lynch *et al.* 2004). Samuti ei tohiks üle 0,5 mm söeosakeste puudumist käsitleda otseselt lokaalse põlengu vastuargumendina, seda peamiselt makroskoopiliste söeosakeste transpordi piiratuse tõttu (Ohlson & Tryterud 2000, Hellberg *et al.* 2003). Makroskoopiliste söeosakeste veetransport võib olla piiratud ulatusega, kuna on sõltuv liikuva vee olemasolust. Näiteks ei pruugi järvesettesse jõuda tähelepandavat jälge lokaalsest tulekahjust, kui tuli ei ulatunud veepiirile väga lähedale või põlengule ei järgnenud järvekaldade pinnasekihi uhtumist ning sissekannet (Pitkänen 2000). Sisseuhte toimub aga suhteliselt harva ning väga kompakteerunud pindadelt (Clark 1988, Clark & Royall 1995).

Enamus söeosakeste temaatikat puudutavatest töödest baseeruvad järvesetteist leitud materjalil (nt. Clark & Royall 1995, Laird & Campbell 2000, Asselin & Payette 2005). Paraku esinevad järvedes mitmed protsessid, mis võivad muuta nii settimiseelset kui -järgset olukorda. Esiteks, erinevast materjalist moodustunud söeosakestel on erinev tihedus ja ujuvus. Eriliigilistest taimedest moodustunud söeosakeste vettimise ning settimise aja erinevus võib olla mõõdetav päevadega (Scott

et al. 2000). Kirjeldatud nähtus viib järve sissekandel samast põlengust pärinevate söeosakeste sorteerumisele ning ruumilisele eraldumisele (Nichols *et al.* 2000). Ebaühtlast jaotust võivad süvendada järvesetete segunemine lainete või bioturbatsiooni mõjul (Carcaillet *et al.* 2001). On täheldatud söeosakeste koondumist esmalt settekihi rannalähedasse ossa ning hilisemat sette liikumist järve sügavama keskosa poole, seda eriti suuremate, makroskoopiliste söeosakeste puhul (Lynch *et al.* 2004). Märgatavamad on need protsessid suurema pindalaga järvede puhul (Parshall & Foster 2002). Lisaks võib põlengujärgselt toimuda ka söeosakeste teisene sissekanne vesikonna kaudu, mis võib vältida paarist kuni paarikümne aastani. On ilmunud andmeid, mis viitavad teisesele sissekandele kestusega kuni kolmkümmend aastat (Patterson *et al.* 1987). Nõnda võib väita, et ümbersettmise, söeosakeste liikumise, sette segunemise ning mitmeaastase sekundaarsete söeosakeste juurdevoolu tõttu võib söeosakerikas kiht moodustuda ajalis-ruumilise nihkega (Clark 1988, Mensing *et al.* 1999, Laird & Campbell 2000, Kangur 2004, Higuera *et al.* 2005). Samas pakub aastakihelistest järvesetetest tehtud mikroskoopiliste söeosakeste analüüs kõige täpsemat reaaliajaga seotud tulekahjude kroonikat (Patterson *et al.* 1987, Whitlock & Larsen 2001).

Vähem on uuritud mikroskoopilisi söeosakesi soosetest (nt. Simmons & Innes 1996, Innes & Simmons 2000, Innes *et al.* 2004). Väikeste rabade eeliseks eemal toimunud põlengu puhul on kindlalt piiritletud mikroskoopiliste söeosakeste baasala, enamasti ainult õhustransport ja settimisjärgselt söeosakestele võimalikku mõju avaldavate protsesside vähesus või puudumine. Siiski on mainitud nii sette segunemist kui sekundaarset söeosakeste sissekannet väikestes isoleeritud älvestesse, mis tõenäoliselt siiski ei suuda tekitada olulist ajalis-ruumilist nihet söeosakeste maksimumi moodustumisel (Higuera *et al.* 2005). Soosete uurimise peamiseks puuduseks on vähene põlengu ajaline rekonstruktsioonitäpsus; näiteks ainult väga väikese ladestumiskiirusega turba millimeetrihaaval analüüsimine võib viia aastatäpsuste tulemusteni (Innes *et al.* 2004). Samas võivad väikese ladestumiskiiruse korral erinevate, ajaliselt suhteliselt kaugete põlengute jäljed settekis järgneva kompakteerumise mõjul seguneda (Asselin & Payette 2005, Higuera *et al.* 2005). Lisaks on leitud, et turbast ei pruugi leida väikese ulatuse ning tõsidusega põlengute jälgi (Niklasson *et al.* 2002). Dendroökoloogiliselt kalibreeritud tulemused väikesest älvest tõestavad, et söeosakerikkad kihid peegeldavad enim

tõsiseid ning ulatuslikke tulekahjusid, samas kui väiksema ulatusega ning eemalasetsevad põlengud ei pruugi märgatavaid jälgi jätta (Higuera *et al.* 2005). Üheks seletuseks võib tuua, et väheulatuslikud ning madala intensiivsusega tulekahjud tekitavad proportsionaalselt vähem suuremõtmelisi söeosakesi (Pitkänen *et al.* 1999). Teiste teguritena on nimetatud soosete madalat ajalast resolutsioonivõimet ning põlengu kaugust settimispaigast. Samas nende väiksemate tulekahjude puhul, mis siiski näiteks oma läheduse tõttu analüüsipaigale settekahhis salvestusid ning avastati, ei ole ainult söeosakeste rohkuse põhjal võimalik öelda, kas tegemist oli tõsise või kergema põlenguga. Pigem näitab söeosakeste maksimumi suurus peamiselt põlengu kaugust uuritavast settebasseinist (Higuera *et al.* 2005).

Soosete eripäraks on, et kihid, millesse söeosakesed on peale põlengut ning transporti ladestunud, võivad saada hilisemas *in situ* tulekahjus suuri kahjustusi. Eriti turbaraba kohapealsed põlengud võivad hävitada või maskeerida kaugemal toimunud tulekahjustest saabunud signaalid (Pitkänen *et al.* 2003).

Vähe uuritud teemaks on mikroskoopiliste söeosakeste ruumilise jaotuse ühtlus või ebaühtlus; spetsiifiliselt soo settimiskeskkonna puhul võib nimetada vaid ühe teemat käsitleva artikli (Innes *et al.* 2004). Söeosakeste jaotuse keerukus on tõstatanud ka küsimuse - kui usaldusväärne võib olla ruumiliselt ebaühtlase nähtuse rekonstrueermine ühe proovipunkti abil (Blackford 2000, Ohlson & Tryterud 2000, Parshall & Foster 2002). Käesolev töö püüabki endas ühendada mõlema mainitud küsimuse analüüsi.

Soo kui settimiskeskkond mõjutab märgatavalt põlengute rekonstruktsiooni-potentsiaali. Üks olulisi tegureid, mis mõjutab allohtoonse materjali settimist, on soo pinnale iseloomulik mikrotopograafia. Soo lõpparengujärk, raba, on maastikus nähtav positiivse pinnavormina, mis koosneb jalamist, nõlvast ja lavast. Lava ehk platoo on omakorda mikrotopograafiliselt ning mitmekesiselt liigendatud positiivseteks (mätas, peenar) ja negatiivseteks (älves, laugas) mikrovormideks (Masing 1988). Positiivseid ja negatiivseid mikrovorme võrreldes võib välja tuua olulise erinevusena nende erineva sisemise akrotelmi-katotelmi sügavuse suhte. Selgelt on mättas akrotelmi ehk aeroobse kihi paksus suurem, kuna mäta enese kõrgus kujuneb sõltuvana veerežiimist ning peab olema piisav, et võimaldada maismaataimede/puhmaste kasvu. Seevastu

älves on paigase veetasemega umbes samal kõrgusel ning sageli ka üle ujutatud. Söeosakesed jõuavad õhustranspordiga settimispaika ning langevad soo pinnale. Mikrotopograafia eripära tõttu on nende settesse kinnistumiseks kuluv aeg erinev. Söeosakese tee älve pinnalt katotelmi jõudmiseni ning fikseerumiseni on ajaliselt ja ruumiliselt lühem kui mäta pinnalt. Lisaks võib mätas, kus akrotelmne kiht on tusedam, toimuda söeosakeste vertikaalne liikumine. Botaaniliselt on võimalik taimede ja sammalde makrofossiilide analüüsiga kindlaks teha, kas uuritav paik oli älves või mätas (Laasimer jt. 1954, Katz *et al.* 1977).

Ka ühe soo piires lisab eelnenule veelgi keerukust asjolu, et isegi sama soo eri osades võib turvas ladestuda natuke erineva kiirusega (Innes *et al.* 2004), seetõttu võivad samast tulekahjust pärinevad mikroskoopiliste söeosakeste maksimumid tänapäeval paralleelsetes settepuursüdamikes esineda erinevatel sügavustel. Pitkänen kaasautoritega (Pitkänen *et al.* 2003) on uurinud makroskoopiliste söekihtide levikut ühe soo piires. Ta mainib, et kihid on sageli kaldu või isegi lähedalasetsevates proovipunktides erinevatel sügavustel. Samuti märgati, et üks söeosakesterikas kiht võib visuaalselt moodustada settes mitu tumedat viirgu.

2.1.2 Enamkasutatavad meetodikad setteproovide ettevalmistamisel

Levinuimaks söeosakesi sisaldavate setteproovide laboratoorse ettevalmistamise viisiks on analoogiline meetod õietolmuproovide ettevalmistamise meetodikale (Rhodes 1998, Finsinger & Tinner 2005). Sisuliselt tähendab see mikroskoopiliste söeosakeste lugemist õietolmuproovide slaididelt, seega on meetod aega ja materjale (setet, keemilisi reagente) kokkuhoidev (Blackford 2000). Hoolimata laialdasest kasutusest on selle meetodi rakendamisel täheldatud mitmeid probleeme. Üldtunnustatud õietolmuproovide ettevalmistamise meetodika koosneb erinevatest etappidest, mh töötlemine tugevate keemiliste reagentidega ning korduv tsentrifuugimine ja segamine (Faegri & Iversen 1989), mille eesmärgiks on õietolmuproovide puhastamine liigest orgaanilisest ja anorgaanilisest materjalist. Paraku avaldab aktiivne keemiline ja mehaaniline töötlus söeosakestele nii fragmenteerivat kui osaliselt oksüdeerivat mõju (Clark 1984, Winkler 1985, Rhodes 1998, Blackford 2000). Mikroskoopiliste söeosakeste purunemise tagajärjeks on

valede andmete (mikroskoopiliste söeosakeste arv, kogupindala) saamine proovide lugemisel (Weng 2005). Agressiivsete keemiliste reagentide poolt põhjustatud osaline oksüdeerumine ja lagunemine raskendab ka söeosakeste identifitseerimist. Lisaks võib mainida, et õietolmuproovidest saab enamasti määrata ainult suhteliselt väiksemõõtmelisi söeosakesi (Clark & Royall 1995, Parshall & Foster 2002), sest standardne meetodika sisaldab proovi sõelumist, mis eemaldab 125 µm-st suuremad (söe)osakesed (Blackford 2000).

Õhikumeetodi puhul on peamisteks loetletuteks suuremad, üle 50 µm diameetriga söeosakesed. Optilised erinevused põlenud materjali ja muu orgaanilise aine on vahel õhikutes kergemini nähtavad ja mikroskoopiliste söeosakeste identifitseerimine seega lihtsam. Lisaks on minimeeritud võimalus söeosakeste purunemiseks töötamise käigus (Clark & Royall 1995). Miinuseks on õhikute keeruline valmistamismeetod. (Rhodes 1998). Aastakihilised settepalad veetustatakse ning töödeldaks epoksüvaiguga, kuivanud materjalist lõigatakse õhikud (Whitlock ja Larsen 2001).

Suhteliselt levinud meetod on setteproovide töötlemine tugevate keemiliste reagentidega, eeskätt lämmastikhappega (Winkler 1985, Patterson *et al.* 1987, Rose 1994). Positiivsena võib välja tuua, et sellisel meetodil saadud tulemused peaksid kajastama proovis leidunud kõikide suurusklasside söeosakesi. Meetodi üheks suuremaks nõrkuseks on teiste tumedate ühendite, näiteks kivisöe osakeste hea säilimine setteproovides lisaks söeosakestele, mis raskendab mikroskoopiliste söeosakeste identifitseerimist ja moonutab saadavaid andmeid (Laird & Campbell 2000). Sageli on peale lämmastikhappega töötlemist söeosakeste mõõtmise meetodikaks mikroskoobivaatluste asemel kuumutuskaonalüüs (Winkler 1985, Laird & Campbell 2000), kuid mitmel korral on väidetud, et lämmastikhappe ja kuumutuskaolüüsi kombineeritud meetodika ei anna piisavalt täpseid tulemusi (Rhodes 1998, Laird & Campbell 2000).

Mitmed teadlased on välja pakkunud ka alternatiivseid meetodeid mikroskoopiliste söeosakeste proovide ettevalmistamiseks. Peamiselt on proovitud vältida söeosakeste fragmenteerumist ja tugevate keemiliste reagentide mõju. Pääaegu kemikaalidevaba sõelumismeetodit kasutatakse kõikides suurusklassides söeosakeste eraldamiseks

settest (Simmons & Innes 1996, Innes & Simmons 2000, Laird & Campbell 2000, Umbanhowar 2004). Rhodes (1998) tutvustab võimalust pleegitada söeosakestele sarnane tume orgaaniline ja anorgaaniline materjal vesinikperoksiidi lahusega. Meetodeid ja kombinatsioone on veel mitmeid. Mõnedki neist meetoditest võivad olla teistest mingis aspektis paremad, kuid meetodite varieerumine toob kaasa raskused erinevate uurimuste tulemuste võrdlemisel. Üldiselt on tunnustatud arusaam, et erinevate meetodikate abil saab eraldada signaale erinevate distantsidega tulekahjudest. Sõelumismeetod, sõltuvalt sõelasilma suuruselt, ja õhikute uurimine, kajastavad lokaalset tulekahju. Lämmastikhappetötluse ja kuumutuskaio kombinatsioon saab signaali nii lokaalsetest kui regionaalsetest põlengutest (Laird & Campbell 2000). Õietolmupreparaatidest loetletud söeosakesed peegeldavad aga pigem regionaalset tuleaktiivsust (Patterson *et al.* 1987, Clark & Royall 1995, Carcaillet *et al.* 2001). Uuemad andmed aga viitvad, et statistilise töötuse abil saab ka õietolmupreparaatidelt leida lokaalse põlengu signaali (Asselin & Payette 2005).

2.1.3 Söeosakeste analüüsi tulemuste interpreteerimisest

Viimaseid, kuid olulisemaid etappe söeosakeste analüüsis on analüüsitulemuste interpreteerimine. Tõsiasi, et mikroskoopiliste ja makroskoopiliste söeosakeste rohkus kindlas settekihis viitab selle settekihi formeerumise ajal ümbruskonnas toimunud põlengule, on üldtunnustatud. Esmapilgul võib näida, et keskmisest söeosakeste väärtusest kõrgema väärtusega proovid peaksid kajastama toimunud tulekahju. Paraku näitavad aga ka teiste uurijate tulemused, et isegi muu meetodikaga kalibreeritud tulemuste puhul ei pruugi söeosakeste kõrge väärtus proovis viidata täieliku kindlusega kõrgenenud tuleaktiivsusega perioodile (nt. MacDonald *et al.* 1991). Ümberpöörduvalt, märgatava söeosakeste maksimumi puudumine ei pea tähendama tulekahju puudumist piirkonnas. Söeosakeste maksimumi suurust mõjutavad nii kunagise põlengu kaugus uuritavast settepuursüdamikust, transporditegurid kui raba pinna mikrotopograafia/ järvesette omapärad - seega võib ümbruskonna tulekahju kajastuda ühes settepuursüdamikus märgatava maksimumina, samas, kui teises moodustada vaid nõrga signaalijälje. Analüüsitulemusi tõlgendades peab silmas pidama, et avastatud söeosakeste maksimum võib endas sisaldada lisaks lähikonnas ning kaugemal toimunud põlengute jälgedele ka sekundaarset sissekannet ning

settimisjärgseid muutusi ehk nn. “tausta” (Innes *et al.* 2004, Briles *et al.* 2005, Higuera *et al.* 2005). “Taust” raskendab söeosakeste analüüsi tulemuste põhjal paikkonna põlengute ajaloo kindlakstegemist, kuna võib tekitada isegi nn. võltsmaksimume (Mensing *et al.* 1999). “Tausta” eemaldamiseks on proovitud leida läviväärtusi, millest kõrgem söeosakeste sisaldus kihis peaks kindlalt viitama lähikonnas toimunud tulekahjule (Briles *et al.* 2005, Higuera *et al.* 2005). Läviväärtuse leidmist ja tegelikule tulekahjule viitavat söeosakeste maksimumi leidmist hõlbustab võrdlemine muudest allikatest pärinevate põlengute “kroonikaga” (nn. kalibreerimine). Võrdlemiseks pakuvad informatsiooni dendroökoloogilised andmed (nt. Pitkänen *et al.* 1999, Niklasson *et al.* 2002, Higuera *et al.* 2005), ajalooallikad (nt. Tinner *et al.* 1998, Mensing *et al.* 1999). Kaudsemalt kinnitavad tulekahju olemasolu õietolmu- või diatomeeanalüüs, teatud mineraalide sisalduse ning sette granulomeetria muutus (MacDonald *et al.* 1991, Whitlock & Larsen 2001). Viimatimainitud tunnused eeldavad põlengule järgnevat erosioonimäära suurenemist (Patterson *et al.* 1987), mis võib olla siiski vastuoluline tunnus (Carcaillet *et al.* 2006).

Üks huvitavamaid ülesandeid söeosakeste analüüsi puhul on leitud söeosakeste baasala või veelgi täpsemalt, kungise põlengukolde määratlemine. Üldistatult võib liigitada põlengu toimumiskohta analüüsitava paiga suhtes kui lokaalset (nt. järvesette uurimise puhul järve vesikonna piires), ekstralokaalset või regionaalset (Whitlock & Larsen 2001). Probleemi on püütud lahendada nii teoreetiliselt (Clark 1988) kui eksperimentaalselt (Ohlson & Tryterud 2000).

Kuna söeosakeste analüüsi teooria rõhutab osakeste transpordil just nende suuruse olulisust, on mitmed teadlased proovinud ruumilise analüüsi kergendamiseks eristada leitud söeosakesed suurusklassidesse (nt. Pitkänen *et al.* 1999, Carcaillet *et al.* 2001, Tinner *et al.* 1998). Eksperimendid on näidanud, et makroskoopiliste ja mikroskoopiliste söeosakeste omavaheline suhe on jääv suurus ega olene iseenesest toimunud põlengu kaugusest (Pitkänen *et al.* 1999, Lynch *et al.* 2004). Seega võib teatud tingimustes, näiteks madala intensiivsusega põlengu korral, ka mikroskoopiliste söeosakeste kõrge sisaldus ilma makroskoopiliste söeosakeste esinemiseta viidata lokaalsele põlengule (Pitkänen *et al.* 1999).

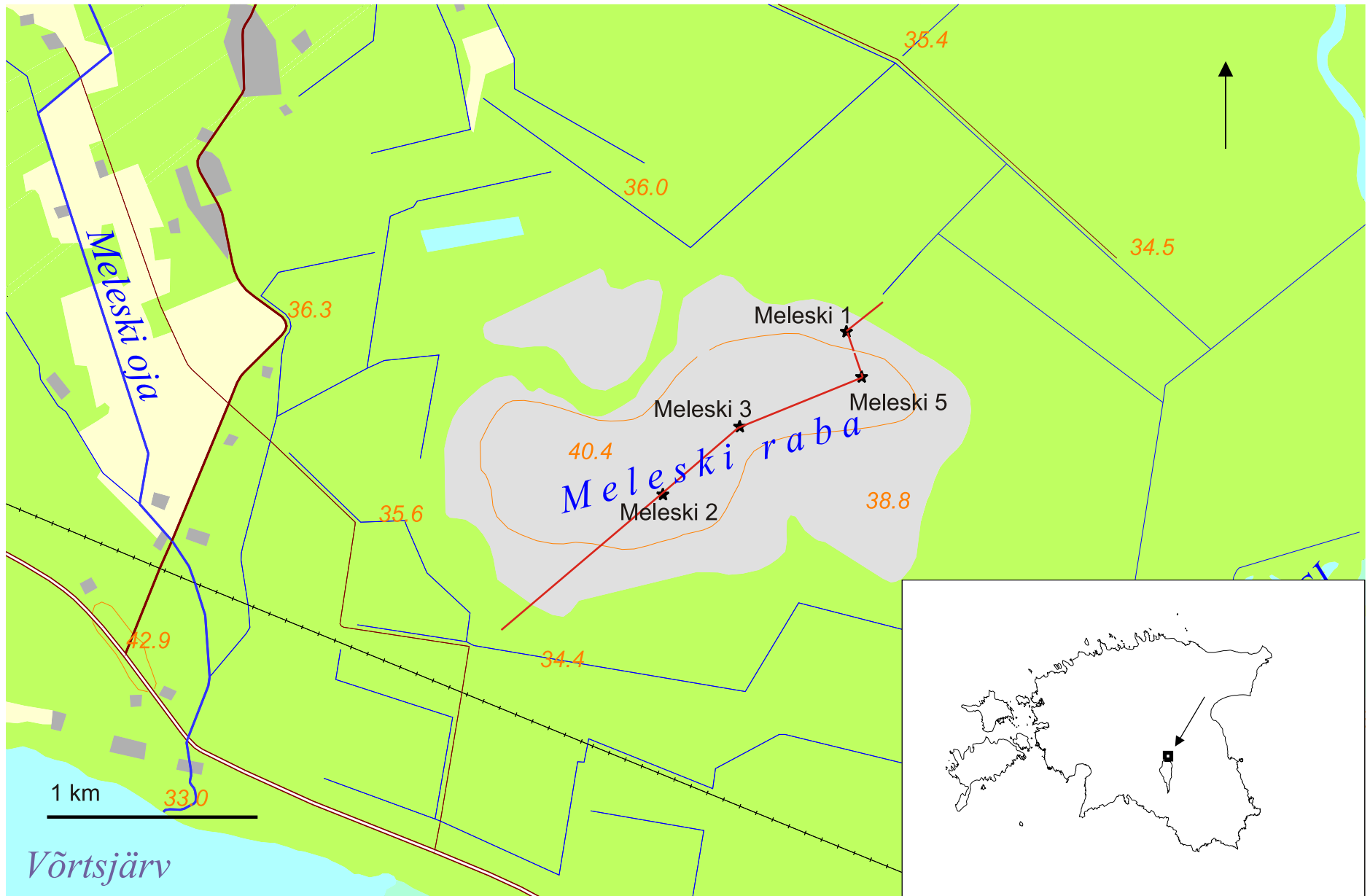
3. Uurimisala iseloomustus

Käesoleva magistritöö uurimisalaks on Meleski raba (58°25'N, 26°7'E, joonis 1). Raba asub Viljandi maakonnas, Kolga-Jaani vallas, samanimelisest külast kagus. Maastikurajooniliselt asub raba Võrtsjärve madalikul, 2 km Võrtsjärvest põhjas. Meleski raba pindala on 2756 ha, sellest turbamaardla moodustab 1046 ha (Orru 1995).

Ala geoloogilist ehitust on käsitlenud mitmed uurimused (Orviku 1958, Moora ja Raukas 2003). Oma asendi tõttu on uurimisala olnud tihedalt seotud Võrtsjärve arengu ning järve veetaseme kõikumistega. Meleski raba tekkis järve soostumisel (Orru 1995).

Raba on ümbritsetud kraavitatud madalsoometsast ning raba jalamit ümbritseb pillirootihnik. Uurimis- ning proovivõtualaks oli hõre puisrabalava. Rabakooslus: mänd (*Pinus sylvestris*) 10%, kanarbik (*Calluna vulgaris*) 60%, villpea (*Eriophorum* sp.) 15%, kukemari (*Empetrum nigrum*) 5%, küüvits (*Andromeda polifolia*) 10%, hajusalt sookail (*Ledum palustre*). Turbasambla (*Sphagnum* spp.) kate mätastel ja älveis. Hajusalt esineb põdrasamblikku (*Cladina* spp.) ning väga vähesel määral teisi levinud Eesti rabataimi.

Ala on olnud ka arheoloogiliselt huvipakkuv. Lähikonnas paikneb mituteist mesoliitilist ning neoliitilist asula- või leiukohta (Kriiska ja Johanson 2003).



Joonis 1. Meleski raba, puuraukude 1, 2, 3 ja 5 asukohad ning profiilijoon (punasega). Põhineb Eesti baaskaardil (1:50000).)

4. Metoodika

Puursüdamikud võeti Meleski rabast oktoobris 2004 ja juulis 2005. Puurimisel kasutati Valgevene tüüpi soopuuri. Puursüdamikud pakiti ning hoiti analüüsimiseni külmikus. Kokku puuriti rabast viis puursüdamikku, millest käesolevas töös kasutati nelja materjali. Puursüdamike esmane kirjeldus tehti laboratooriumis kuni kahe ööpäeva möödumisel puurimisest, hiljem täpsustati turba botaanilist koostist. Puursüdamiku Meleski 1 vahetust lähedusest puuriti ka eraldi materjali ^{14}C meetodil dateerimiseks, kuna ühest puursüdamikust saadav materjali kogus ei olnud analüüsimiseks piisav.

Mikroskoopiliste söeosakeste analüüsi tarvis jaotati puursüdamikud 10 cm pikkusteks lõikudeks ning võeti igast lõigust esinduslik 1 cm^3 suurune vaguproov. Selline proovimismeetod valiti seetõttu, et erinevalt pidevatest protsessidest, nagu õietolmu levimine, on tulekahjud diskreetsed ning lühiajalised nähtused ning proovide võtmine teatud sügavusvahemike tagant võib põlengust pärinevaid söeosakesi sisaldavad kihid uurimata jääda. Esimesena puuriti ning ka analüüsiti puursüdamik Meleski 1, mille tulemuste baasil valiti välja võimalikud huvipakkuvad intervallid korrelatsioonihüpoteesi kontrollimiseks teistes settepuursüdamikes. Sellise lähenemise tulemusena uuriti puursüdamikes erinevaid sügavusvahemikke: Meleski 1 sügavused 30–585 cm, Meleski 2 sügavused 200–680 cm, Meleski 3 sügavused 210–310 cm ning 440–575 cm, Meleski 5 sügavused 210–310 cm ning 440–560 cm. Meleski 2 analüüsiti siiski täielikumalt, kuna puursüdamik paiknes Meleski 1-st kõige kaugemal ning turba paksus oli suurem teiste proovipunktidega võrreldes. Lisaks analüüsiti puursüdamikus Meleski 1 sügavusvahemikke 248–272 cm ja 479–491 cm, võttes 1 cm^3 suurused proovid järjestikest 1 cm paksustest kihtidest, et testida antud sügavusvahemike näitel turba vertikaalset mikroskoopiliste söeosakeste salvestamis- ning resolutsioonivõimet.

Mikroskoopiliste söeosakeste proovide ettevalmistamisel mikroskoobi all uurimiseks järgiti üldjoontes lämmastikhappega töötlemise metoodikat (Rose 1994). Esimeses etapis lisati proovidele 8–10 ml 10% kaaliumhüdrosiidi lahust ning kuumutati 15 minutit. Protseduuri tagajärjeks oli osaliselt orgaanika ning humiinhapete

eemaldamine. Järgnevalt pesti proove destilleeritud veega. Teises etapis lisati proovidele 8–10 ml kontsenreeritud äädikhapet proovide hapestamiseks ning aluse jääkide neutraliseerimiseks. Kolmandas etapis töödeldi proove 24 tunni vältel külma ning seejärel 20–35 minuti jooksul kuuma kontsentreeritud lämmastikhappega ülejäänud orgaanilise aine eemaldamiseks. Peale töötlust pesti proove korduvalt destilleeritud veega. Preparaadi ettevalmistamisel lisati proovi *Lycopodium clavatum* tablett (\hat{a} 18583±3820 spoori) ning mikroskoobi lugemisslaidide valmistamise kergendamiseks glütseriini. Kokku valmistati mikroskoopiliste söeosakeste analüüsiks ette ning uuriti mikroskoobi all 184 setteproovi.

Sama meetodit on käesoleva töö autor kasutanud ka varem bakalureusetöö raames (Amon 2004). Meetodi peamine eelis on see, et ta sisaldab vähem etappe kui klassikaline õietolmuproovide ettevalmistus (Faegri & Iversen 1989) ning seetõttu peaks vähenema võimalus söeosakeste purunemiseks töötamise käigus. Lisaks on lämmastikhappega töötlemise tulemusel proovid läbivas valguses vaatlemist segavast orgaanilisest materjalist suhteliselt puhtad. Kriitikana on aga välja toodud, et lämmastikhape, kui tugevalt oksüdeeriv agent, võib mõjutada setteproovides sisalduvaid taimeosakesi, neid tumedaks materjaliks muutes (Rhodes 1998). Meetodika eelneval rakendamisel bakalaureusetöös käesoleva uurimuse autor erilisi probleeme ei täheldanud.

Mikroskoopilisi söeosakesi uuriti ettevalmistatud proovides valgusmikroskoobiga suurendusel $\times 200$ ning täpseks identifitseerimiseks ja mõõtmisteks $\times 400$. Kuna proovide uurimisel võis silmata tumedaid orgaanilisi jäänuseid, loendati proovides ainult läbipaistmatuid, musti, selgete servadega osakesi (Patterson *et al.* 1987). Söeosakesed identifitseeriti ning üle $100 \mu\text{m}^2$ pindalaga (esmasel mõõtmisel vähemalt ühe telje üle $10 \mu\text{m}$ pikkusega) söeosakesed mõõdeti täpselt mikroskoobi mikromeeterskaalaga. Valitud piir tuleneb pisemate söeosakeste puhul tekkivatest identifitseerimis- ja mõõtmisprobleemidest (Tinner *et al.* 1998, Patterson *et al.* 1987). Lisaks söeosakeste pindalade leidmisele loendati proovides ka eelnevalt lisatud *Lycopodium clavatum* märkspoori. Igast proovist mõõdeti söeosakesi kuni 100. märkspoori silmamiseni, mis antud uurimuse jaoks loeti piisavaks, et tuua välja proovides sisalduvate söeosakeste hulga kihtidevahelisi erinevusi. Kirjanduses võib leida viiteid erinevale märkspooride vajalikule piirarvule loendamisel: näiteks 50 –

100 *Lycopodium* loendamist (Sarmaja-Korjonen 1992), 200 *Lycopodium* loendamist (Pitkänen *et al.* 1999) või 500 maismaataime õietolmutterani loendamist (Carcaillet *et al.* 2001, Kangur 2004). Finsinger ja Tinner (2005) väidavad statistikale toetudes, et slaidide iseloomustamisel võib lugeda piisavaks, kui märkspooride ja söeosakeste summa on 100 või enam, või optimaalseks, kui summa on 200. Kõigis käesoleva töö raames uuritud proovides ületab söeosakeste ja märkspooride summa 100, ulatudes maksimaalselt 156-ni.

Söeosakeste pindala setteühikus (1 cm³) leiti valemiga:

$$S = \frac{N_{\text{süsi}} \times Lyc_{\text{kogu}}}{Lyc_{100}} \times S_{\text{kesk.}}$$

S – söeosakeste pindala 1 cm³ settes

N_{süsi} – loetletud söeosakeste arv proovis

Lyc_{kogu} – proovi lisatud *Lycopodium clavatum* spooride arv

Lyc₁₀₀ – proovist loetud *Lycopodium clavatum* spooride arv

S_{kesk.} – proovist loetletud söeosakeste keskmine pindala

Turba botaanilise koostise määramisel uuriti ligikaudu 5 cm³ suuruseid turbalõike. Täpsemat identifitseerimist vajavatest objektidest valmistati destilleeritud veega lahjendades kiirpreparaadid ning uuriti binokulaari ning valgusmikroskoobiga x 20–200 suurendusega. Taimejäänuste identifitseerimisel kasutati vastavat taimeatlast (Katz *et al.* 1977).

Õietolmuanalüüsi tarvis võeti kaks proovi puursüdamikust Meleski 2: 2 cm³ suurune proov sügavuselt 680–685 cm ja 1 cm³ suurune proov sügavuselt 280–290 cm. Proovide laboratoorsel töötlemisel järgiti standardset metoodikat (Faegri & Iversen 1989), ilma sõelumise ja vesinikfluorhappe menetluseta. Mikroskoobislaididel loeti proove vähemalt 450-nda õietolmutterani. Õietolmutterade identifitseerimisel kasutati Moore *et al.* (1991) koostatud atlast.

Dateerimiseks saadeti Tartu Ülikooli ¹⁴C laborisse puursüdamiku Meleski 1 vahetust lähedusest võetud settepuursüdamikust 500 g turvast sügavustelt 70–90 cm; 250–270 cm; 380–400 cm. Radiosüsiniku aastate kalendriaastatele korrigeerimiseks kasutati programmi CalPal (www.calpal.de).

Tulemuste esitamiseks kasutati tabelarvutusprogrammi MS Excel mooduliga *Analyse-it* 1.73. Kaartide kujundamiseks kasutati GIS programmi MapInfo Professional 6.5 ning jooniste valmistamiseks kujundusprogrammi CorelDraw 9.

Kuna käesolevas töös kasutatakse söeosakeste kirjeldamiseks paralleelselt nii kirjanduses levinud söeosakese diameetrit kui ka käesolevas töös leitud söeosakeste pindala, siis üleminekuvormi lähendiks on võetud ruut. Söeosakesed on reeglina kandilised, ehkki mitte täiuslikult ruudukujulised. Ruudu pindala võrdub poolega tema diagonaali ruudust. Idealiseeritud tingimustel on 100 μm diameetriga osakese pindala lähendus 5000 μm^2 .

5. Tulemused

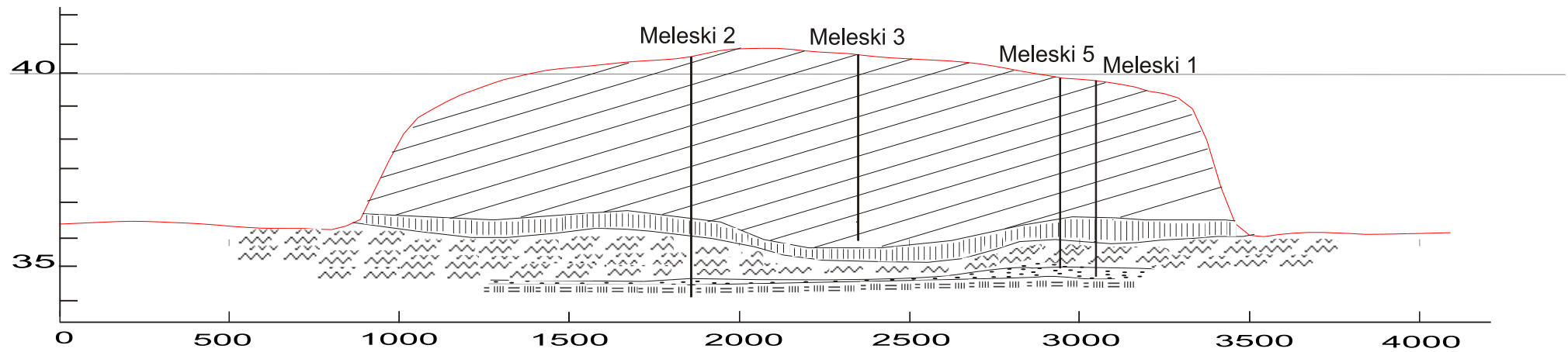
Meleski rabast puuriti viis settepuursüdamikku, millest nelja materjali kasutati järgnevaks analüüsiks. Puursüdamikud koosnesid liival ja savil lasuvast turbast. Soosette paksus ulatus kuni 6,85 meetrini puuraugus Meleski 2. Materjalist tehti ka botaaniline ülevaade tähtsamate turbamoodustajate identifitseerimiseks, turbasambliike ei täpsustatud. Turbaliikide määratlemisel on järgitud Allikvee (1988) klassifikatsiooni, millele on viidanud mitmed Eesti sooteadlased (Orru 1995, Valk 2005). Meleski raba turvast on ka eelnevalt kirjeldatud (Orru 1995). Erinevalt varasematest andmetest ei leitud käesoleva töö raames puuritud kolmest mineraalse setteni jõudnud puursüdamikust üheski basaalset järvemudakihti, mille olemasolule on Orru (1995) viidanud. Puursüdamike andmete alusel koostati käesoleva töö autori poolt raba geoloogiline läbilõige (joonis 2), mis baseerub A. Rosentau koostatud kõrgusmudelil (viga 0,5 m).

5.1 ¹⁴C dateeringute tulemused

Meleski turbaproovid dateeriti Tartu Ülikooli laboratooriumis radiosüsiniku meetodil (A. Liiva poolt).






Tabel 2. Meleski raba turbaproovide radiosüsiniku meetodil dateeritud proovide tulemused

Sügavus cm	materjal	¹⁴ C vanus y BP	Kalibreeritud vanus y BP (<i>CalPal</i>)
70 - 90	turvas	1900±40	1794 - 1888
250 - 270	turvas	2865±40	2933 - 3057
380 - 400	turvas	4020±50	4445 - 4571



Joonis 2 . Meleski raba geoloogiline läbilõige.
 Profiil joonisel 1. Läbilõike aluseks
 on kõrgusmudel veaga 0,5 m.

Leppemärgid

- | | | | |
|---|-----------------|---|------|
|  | raturvas |  | liiv |
|  | siirdesooturvas |  | savi |
|  | madalsooturvas | | |

5.2 Meleski raba puursüdämike litoloogiline ning botaaniline kirjeldus ja mikroskoopiliste söeosakeste analüüsi tulemused

Meleski 1

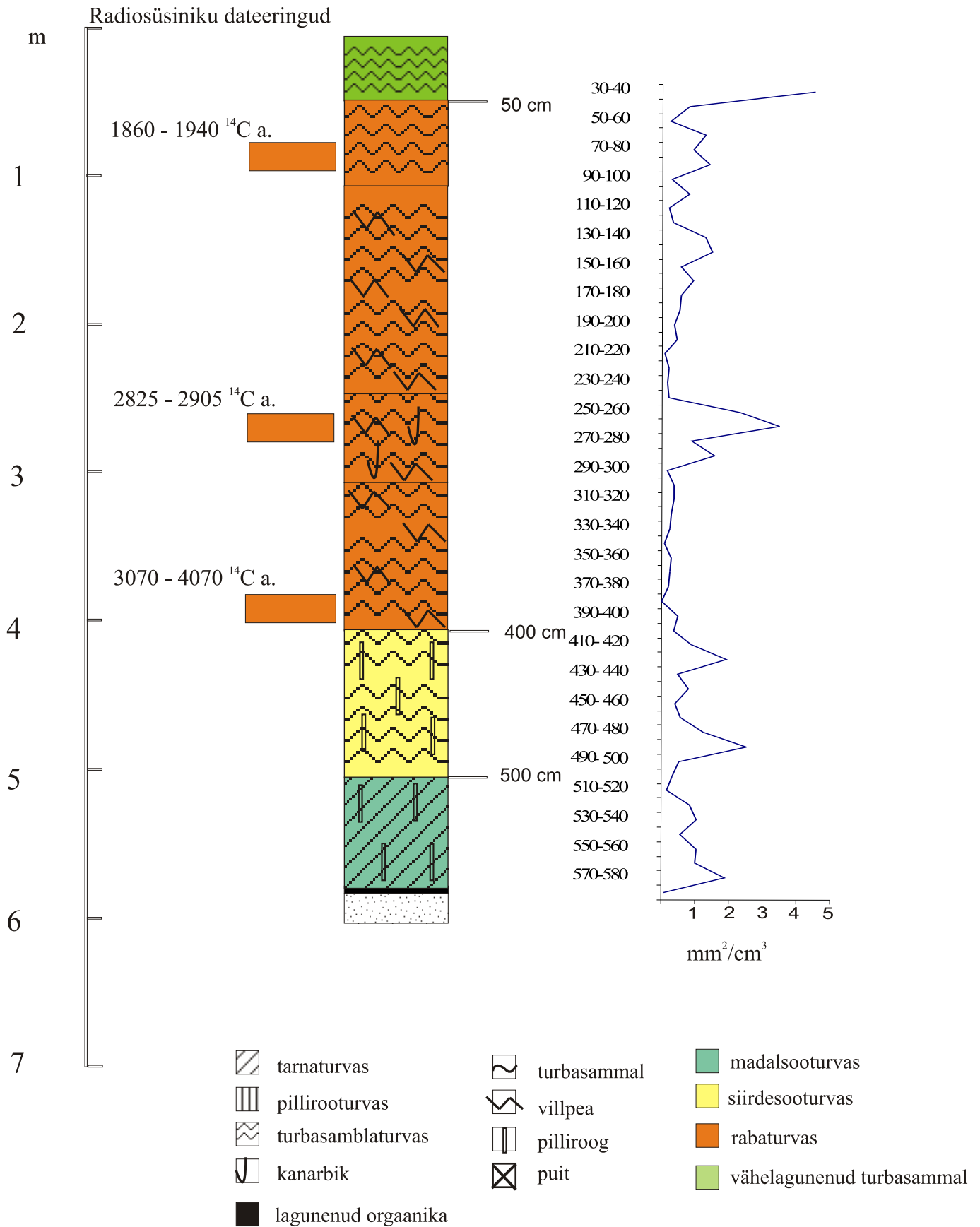
Puursüdämiku Meleski 1 (joonis 3) söeosakeste sisaldus analüüsiti sügavusvahemikes 30–585 cm 10 cm paksuste lõikudena. Liival lasus õhuke, 5 cm paksune liivaga segunenud kiht lagunenud orgaanilist materjali. Madalsoofaasi kajastab 80 cm paksune tarna-pillirooturvas. Ligi meetripaksune on ka siirdesoofaasis tekkinud sambla-pillirooturvas. Valdava enamuse soosetest moodustab rabaturvas - turbasamblaturvas erinevate lisanditega (villpea, kanarbik). Ülemine kiht (ca 50 cm – 1 m) loeti turbasambla kasvukihiks.

Peamine söeosakeste rohkust ja suurust iseloomustav karakteristik oli söeosakeste pindala sette ruumalaühikus (mm^2/cm^3). Maksimalne pindala ulatus $4,5 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ sügavusel 30–40 cm, minimaalne söeosakeste sisaldus oli 0 (1 proov). Leitud väärtuse keskmine oli $0,81 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ settes. Söeosakeste pindala, mis ulatus üle $1 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$, leiti 15-s proovis 56-st. Söeosakeste keskmine kontsentratsioon slaidil oli 10, varieerudes 0-st kuni 56-ni (vastavalt 0 kuni $10400 \text{ osakest}/\text{cm}^3$). Uuritud söeosakeste mõõtmed olid samuti laia varieeruvusega. Keskmine söeosakese pindala oli $431 \mu\text{m}^2$, maksimaalselt $8000 \mu\text{m}^2$. Mood oli $187 \mu\text{m}^2$. Eripindalaliste söeosakeste esinemist illustreerib sagedustabel (tabel 3).

Tabel 3. Meleski 1 puursüdämiku söeosakeste suuruste sagedustabel.

Suurusvahemikud	Number	Suhteline sagedus
≤ 300	317	56.21%
301 - 500	131	23.23%
501 - 700	42	7.45%
701 - 1000	30	5.32%
1001 - 1500	24	4.26%
1501 - 2000	9	1.60%
2001 - 3000	6	1.06%
3001 - 4000	3	0.53%
4001 - 8000	2	0.35%

Meleski 1



Joonis 3. Settepuursüdamiku Meleski 1 botaaniline koostis ning söeosakeste pindalaväärtuste diagramm

Maksimumide ja neid ümbritseva nn. fooni kontrastsuse järgi võib söeosakeste pindaladigrammi jagada tinglikult kolmeks. Alumist sügavusvahemikku, 390–585 cm iseloomustab ühtlaselt kõrge söeosakeste sisaldus, millest tõusevad esile üksikud maksimumid. Järgmises intervallis, 210–390 cm sügavusel, on söeosakeste üldine foon madal. Läbilõike ülemises osas võib näha alates sügavusvahemikust 210 cm söeosakeste kontsentratsiooni varieeruvat, kuid pidevat suurenemist. Söeosakeste pindalamaximumid leiduvad sügavustel 570–580 cm, 470–490 cm, 420–430 cm, 250–290 cm ja 30–40 cm.

Sügavusvahemikus 580–420 cm võib näha seeriaviisiliselt üsna kõrgeid söeosakeste pindalaväärtusi. Kõige alumine taustast esiletõusev maksimum leidub sügavusvahemikus 570–580 cm, madalsooettes. Maksimum on moodustunud paljude keskmisepindalaliste (keskmiselt $780 \mu\text{m}^2$) ning ühe, üle $5000 \mu\text{m}^2$ pindalaga söeosakese summana. Järgmine suurem maksimum asetseb siirdesoosettes sügavusel 470–490 cm. Kahes järjestikus proovis, 470–480 cm ja 480–490 cm leidub mõlemis suhteliselt kõrge summaarse pindalaväärtusega söeosakesi. Sügavusvahemikku iseloomustab söeosakeste väike pindala (vastavalt 477 ja $316 \mu\text{m}^2$), ent keskmisega võrreldes rohke arvukus (eriti proovis sügavuselt 480–490 cm, kontsentratsioon $7990 \text{ osakest/cm}^3$), mis kumuleerudes moodustavadki märgatava maksimumi. Sügavusvahemikus 420–430 cm leidub siirdesoosettes keskmise suurusega (keskmiselt $654 \mu\text{m}^2$, suurim $3200 \mu\text{m}^2$) söeosakestest moodustunud maksimum.

Meleski 1 puursüdamiku markantseim maksimum asub rabaturbas, sügavusvahemikus 250–290 cm ning koosneb kahest maksimumist. Alumine neist, sügavusel 280–290 cm, on madalam ning koosneb vähestest keskmisest suurematest söeosakestest (keskmine $937 \mu\text{m}^2$, suurim $3280 \mu\text{m}^2$). Suurim maksimum leidis aga sügavusvahemikus 250–270 cm, mille moodustavad järjestikused, ent omadustelt erinevad söeosakeste maksimumid. Alumist vahemikku (260–270 cm) iseloomustab madal kontsentratsioon, kuid Meleski 1 puursüdamiku proovidest kõige suurema keskmise pindalaga söeosakeste leidumine (keskmine $1700 \mu\text{m}^2$, maksimaalselt $8000 \mu\text{m}^2$). Ülemine vahemik (250–260 cm) koosneb aga arvukatest madalapindalalistest söeosakestest (kontsentratsioon $5570 \text{ osakest/cm}^3$, keskmine $416 \mu\text{m}^2$, suurim $1480 \mu\text{m}^2$). Meleski 1 söeosakeste pindalaväärtused on sügavusvahemikus 30–250 cm

üsnagi varieeruvad ning ühtlaselt suhteliselt kõrged, seetõttu on märkimisväärseid maksimume keeruline eraldada. Suurima söeosakeste kontsentratsiooniga sügavusvahemik oli 30–40 cm (kontsentratsioon 10400 söeosakest/ cm³, keskmine pindala 435 µm²).

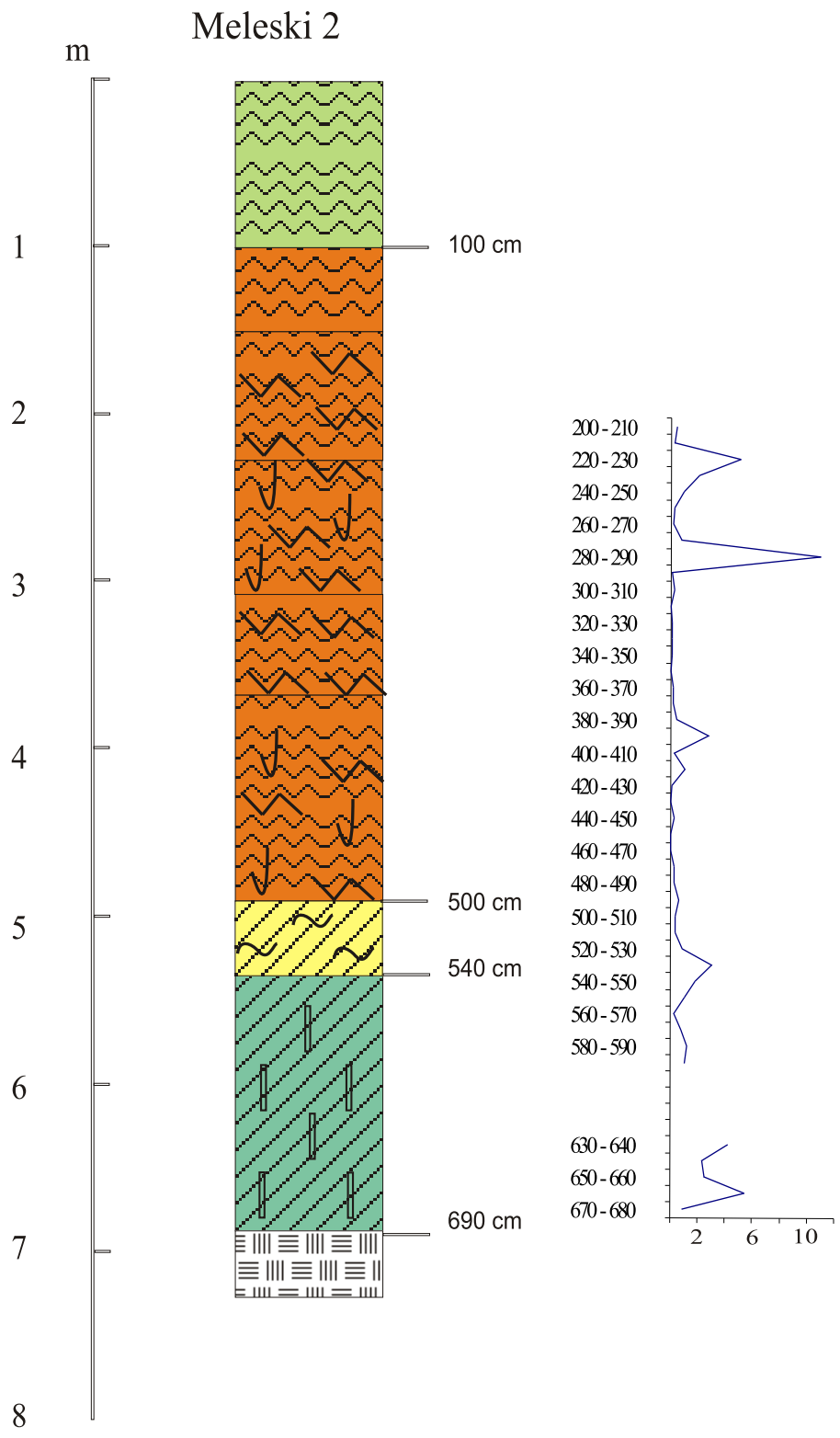
Meleski 2

Meleski 2 puursüdamiku söeosakestesaldust analüüsiti sügavusvahemikes 200–600 cm ja 630–680 cm 10 cm paksuste lõikudena. Puursüdamik koosneb soosetest, mis lasub ülaosas liivasegusel savil. Madalsoosetteks liigitati tarna-pillrooturvas, mille kihi paksus ulatus 160 cm-ni. Siirdesoolasund koosnes tarna-samblaturbast. Puursüdamikust enamuse moodustas rabaturvas, peamiselt turbasamblaturvas kanarbiku ja villpealisandiga (joonis 4).

Söeosakeste sisalduse ja suuruse iseloomustamiseks arvatati ka siin söeosakeste pindala 1 cm³ settes (mm²/cm³). Maksimaalne pindala setteühikus ulatus 11 mm²/cm³ -ni sügavusvahemikus 280–290 cm. Võrreldes Meleski 1 puursüdamikuga, oli üle 1 mm²/cm³ väärtusega proove rohkem, 14 proovi 45-st, neist 9 proovi suurema kui 2 mm²/cm³ sisaldusega. Minimaalne leitud söeosakeste sisaldus oli 0, mida leiti tervelt neljas proovis. Söeosakeste keskmine kontsentratsioon slaidil varieerus 0 kuni 29, keskmiselt 7 osakest (vastavalt 0 kuni 5400 osakest/cm³, keskmiselt 1300 osakest/cm³). Leitud söeosakeste keskmine pindala oli 951 µm², mood 375 µm². Maksimaalne leitud söeosakese pindala oli 17500 µm². Eripindalaliste söeosakeste esinemissagedusi summerib sagedustabel (tabel 4).

Tabel 4. Meleski 2 puursüdamikusöeosakeste suuruste sagedustabel.

Suurusvahemikud	Number	Suhteline sagedus
≤ 300	105	34.43%
301 - 500	92	30.16%
501 - 700	31	10.16%
701 - 1000	26	8.52%
1001 - 2000	26	8.52%
2001 - 3000	7	2.30%
3001 - 4000	4	1.31%
4001 - 8000	9	2.95%
8001 - 12000	2	0.66%
12001 - 18000	3	0.98%



Joonis 4. Settepuursüdamiku Meleski 2 botaaniline koostis ning söeosakeste pindalaväärtuste diagramm

Meleski 2 puurüdamikule on üldiselt iseloomulik madal söeosakeste sisaldus, millest tõusevad esile märkimisväärsemad söeosakeste pindalamaksimumid. Esiletõusvamad söeosakeste pindalamaksimumid esinesid sügavustel 660–670 cm, 630–640 cm, 530–540 cm, 410–420 cm, 390–400 cm, 280–290 cm ning 220–240 cm. Sügavusvahemikke 600–630 cm pole käesoleva töö raames uuritud.

Sügavusvahemik 660–670 cm asetseb madalsooturbas ning sisaldab rohkelt kõrgepindalalisi söeosakesi (kontsentratsioon 4500 osakest/cm³, keskmine pindala 1215 µm², suurim 15000 µm²). Maksimum sügavusel 630–640 cm on tekkinud väheste suurepindalaliste söeosakeste summeerimisel (kontsentratsioon 1480 osakest/cm³, keskmine pindala 2870 µm², maksimaalselt 11000 µm²). Sügavusvahemikus 530–540 cm leidub siirdesooturbas söeosakeste maksimum, mida iseloomustab keskmisest väiksemate pindaladega söeosakeste rohke esinemine (kontsentratsioon 5200 osakest/cm³, keskmine pindala 581 µm²).

Sügavusvahemikus 410–420 cm asub üks madalamaid, kuid ümbritsevast nullilähedasest foonist siiski esiletõusev maksimum. Maksimum koosneb väikesepindalistest söeosakestest (kontsentratsioon 2200 osakest/cm³, keskmine pindala 475 µm², maksimaalselt 1875 µm²). Suhteliselt madal, kuid siiski eristatav maksimum asetseb rabaturbas sügavusel 390–400 cm. Söeosakeste maksimumi moodustavad 1850 keskmisest suurema pindalaga söeosakest (keskmiselt 1488 µm, maksimaalselt 11250 µm).

Sügavusvahemikus 280–290 cm asetseb kõikidest analüüsitud sügavusvahemikest suurima söeosakeste pindalaväärtustega vahemik. Rabaturbaproovi söeosakeste kontsentratsioon on 5400 osakest/cm³, keskmine söeosakeste pindala 2042 µm², summaarselt 11 mm²/cm³, maksimaalne söeosakese leitud söeosakese pindala oli 17500 µm². Meleski 2 settepuursüdamiku kõige ülemine märgatavam söeosakeste maksimum paikneb sügavusvahemikus 220–230 cm, rabaturbas. Maksimumi iseloomustavad keskmisest kõrgemad söeosakeste arvukus ja pindala (kontsentratsioon 2800 osakest/cm³, keskmine pindala 1829 µm², maksimaalne pindala 16875 µm²).

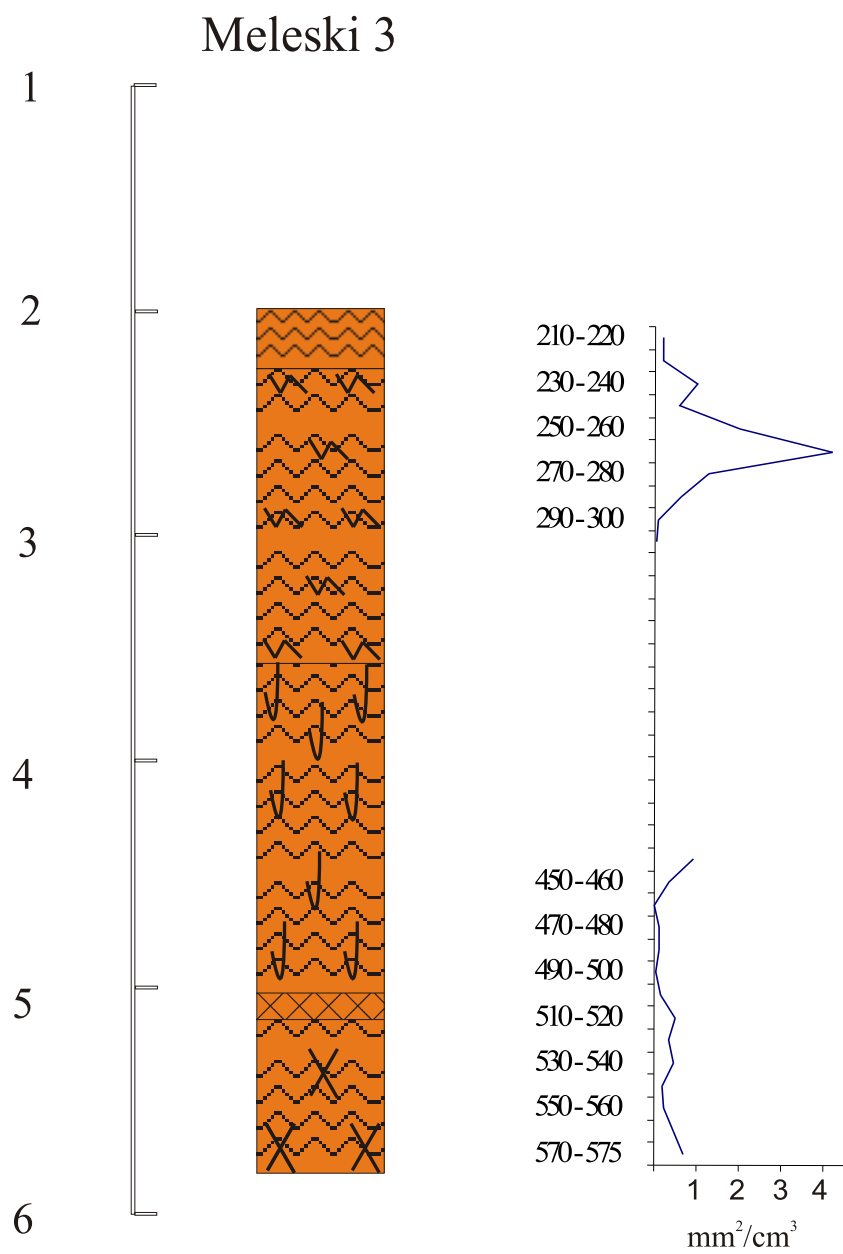
Meleski 3

Meleski 3 puursüdamikü söeosakeste sisaldust analüüsi sügavusvahemikes 210–310 cm ning 440–575 cm, 10 cm paksuste lõikudena. Kogu uuritav vahemik koosnes rabaturbast, peamiselt turbasamblaturvas kanarbiku ja villpealisandiga. Erandlikuna leidis Meleski 3 puursüdamikus ka lagunenu puitu ning puidujäänustega turbasamblaturvast (joonis 5).

Söeosakeste analüüsi tulemusena arvutati söeosakeste pindala 1 cm³ settes (mm²/cm³). Väärtus varieerus 0 kuni 4,18 mm²/cm³ (sügavusel 260–270 cm), keskmine 0,61 mm²/cm³. Söeosakeste kontsentratsioon lugemisslaadil oli üldiselt madal, keskmiselt 6, maksimaalselt 20 osakest (vastavalt keskmiselt 1100 osakest/cm³, maksimaalselt 3700 osakest/cm³).

Alumist analüüsitud sügavusvahemikku, 440–575 cm, iseloomustab ühtlaselt madal söeosakeste kontsentratsioon ning leitud söeosakesed olid enamasti ka väikesepindalalised. Samas võib ülemises proovis, 440–450 cm, näha söeosakeste pindalaväärtuste suurenemist (kontsentratsioon 930 osakest/cm³, keskmine pindala 1010 µm², maksimaalselt 4350 µm²).

Ülemises sügavusvahemikus, 210–310 cm tõuseb esile söeosakeste liitmaksimum sügavusel 250 – 280 cm. Sügavusel 250–260 cm leitud söeosakeste liitmaksimumi osa koosneb üsna paljudest keskmise pindalaga söeosakestest (kontsentratsioon 3700 osakest/cm³, keskmine pindala 541 µm²). Sügavusvahemikku 260–270 cm iseloomustab leitud söeosakeste suur pindala (keskmine pindala 2045 µm², maksimaalselt 17400 µm², kontsentratsioon 2040 osakest/cm³). Sügavusvahemikus 270–280 cm leidub üsna palju väikese pindalaga söeosakesi (kontsentratsioon 2600 osakest/cm³, keskmine pindala 481 µm²). Teine, märgavalt väiksem maksimum, asetseb sügavusvahemikus 230–240 cm. Maksimum koosneb vähestest veidi üle keskmise pindalaga söeosakestest (kontsentratsioon 1300 osakest/cm³, keskmine pindala 762 µm², maksimaalselt 3750 µm²).



Joonis 5. Settepuursüdamikku Meleski 3 botaaniline koostis ning söeosakeste pindalaväärtuste diagramm (puursüdamikku ei puuritud mineraalse setteni).

Meleski 5

Puursüdamiku söeosakeste sisaldust analüüsiti sügavusvahemikes 210–310 cm ning 440–560 cm, 10 cm paksuste lõikudena. Puursüdamik koosneb soosetest, mis lasus liival. Madalsoosetteks liigitati tarnaturvas, siirdesoosetteks tarna-turbasamblaturvas ning pillirooturvas kanarbikujäänustega. Enamuse moodustas rabaturvas, enamasti samblaturvas kanarbiku ning villpeajäänustega (joonis 6).

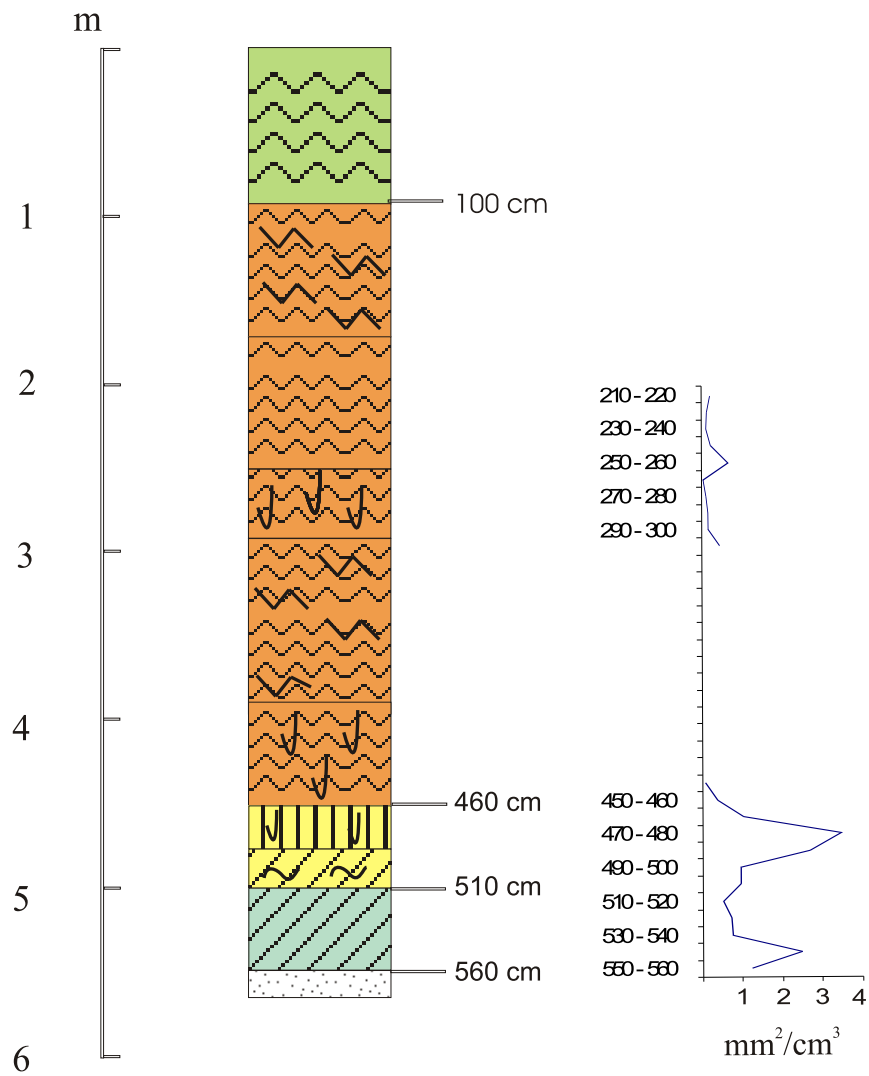
Arvutati söeosakeste pindala 1 cm³ settes (mm²/cm³). Väärtus ulatus 0 kuni 3,45 mm²/cm³. Maksimaalne väärtus leiti sügavuselt 470–480 cm. Keskmine söeosakeste pindala 1 cm³ settes oli 0,82 mm²/cm³. Söeosakeste kontsentratsioon lugemisslaidil varieerus 1 kuni 45, keskmiselt 11 osakest (vastavalt 186 kuni 8400 osakest/cm³, keskmiselt 2040 osakest/cm³).

Puursüdamikus võib eristada mitmeid märgatavaid söeosakeste pindalamaksimume. Alumises analüüsitud sügavusvahemikus 440–560 cm leidub kaks söeosakeste maksimumi sügavustel 540–550 cm ning 470–490 cm. Kõige sügavamal asetsev maksimum koosneb üle keskmise pindalaga söeosakestest (kontsentratsioon 2040 osakest/cm³, keskmine pindala 1200 µm², maksimaalne leitud pindala 7400 µm²).

Sügavusvahemikus 470–490 cm asetseb kahest söeosakesterikkast piirkonnast kokkusulanud maksimum. Söeosakestekõverat sügavusel 480–490 cm iseloomustab väikesepindalaliste söeosakeste suur kontsentratsioon (5600 osakest/cm³, keskmine pindala 482 µm², maksimaalne pindala 3000 µm²). Veelgi suurem kontsentratsioon ning madalam keskmine pindala kirjeldab aga söeosakesi sügavusvahemikus 470–480 cm (8400 osakest/cm³, keskmine pindala 412 µm², suurim pindala 1500 µm²).

Ülemises analüüsitud sügavusvahemikus 210–310 cm on söeosakeste väärtused madalad. Väikese maksimumina tõuseb esile sügavusvahemik 250–260 cm (kontsetratsioon 1300 osakest/cm³, keskmine pindala 520 µm², maksimaalselt 2025 µm²).

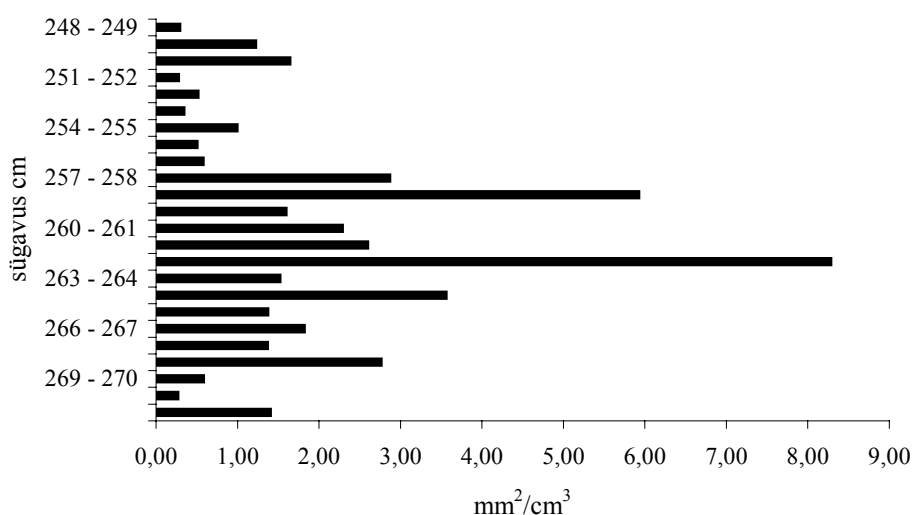
Meleski 5



Joonis 6. Settepuursüdamiku Meleski 5 botaaniline koostis ning söeosakeste pindalaväärtuste diagramm

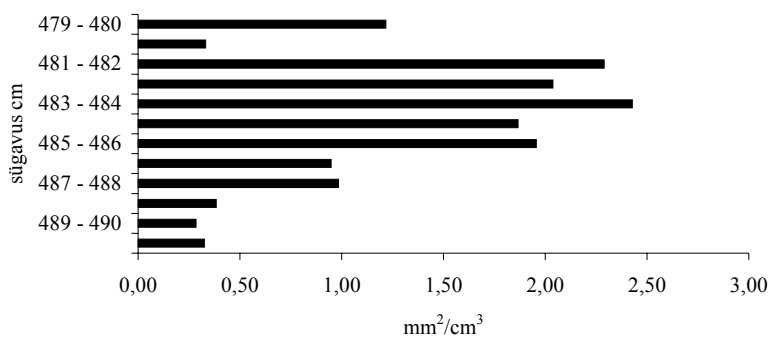
5.3 Meleski 1 puursüdamiku kahe maksimumi 1 cm-intervallilise analüüsi tulemused

Puursüdamikust Meleski 1 valmistati ka sügavusvahemikus 248–272 cm ning 479–491 cm proove 1 cm paksustest kihtidest, et testida antud sügavusvahemiku näitel turba vertikaalset mikroskoopiliste söeosakeste salvestamis- ning resolutsioonivõimet. Uuritud vahemikud moodustasid 10 cm paksuste lõikudena uurituna märgatavaid söeosakeste maksimume. Väikeste sügavusvahemike haaval uurituna peaks selguma, kas 10 cm kaupa analüüsitud leitud söeosakeste maksimum on koondunud näiteks 1 cm paksusesse kihti või koosneb maksimum 10 cm piires ühtlaselt jagunenud kõrgest söeosakeste sisaldusest.



Joonis 7. Meleski 1 sügavusvahemik 248–272 cm analüüsitud 1 cm paksuste intervallidena

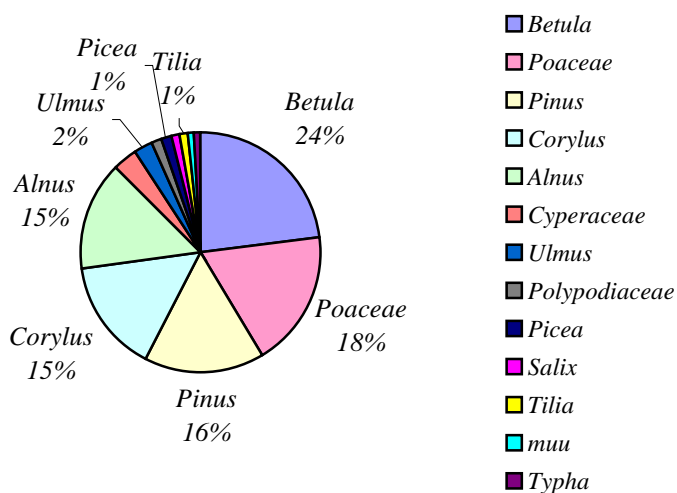
Diagrammilt (joonis 7) võib näha sügavusvahemikus 257–268 cm suhteliselt ühtlaselt kõrget söeosakeste pindala settes. Söeosakesterikkamad sügavusvahemikud asuvad siin sügavusel 262–263 cm ja 258–259 cm, vastavalt 8,28 mm²/cm³ ning 5,62 mm²/cm³. Analüüsitud intervalli proove iseloomustab keskmisest kõrgem söeosakeste keskmine pindala proovis, varieerudes 290 μm²–2100 μm². Maksimaalne kontsentratsioon leidis sügavusel 258–259 cm (29 osakest, 5400 osakest/cm³), maksimaalsete mõõtmetega söeosakesed leiti 262–263 cm sügavuselt (19250 μm²).



Joonis 8. Meleski 1 sügavusvahemik 479 – 491 cm analüüsituna 1 cm paksuste intervallidena

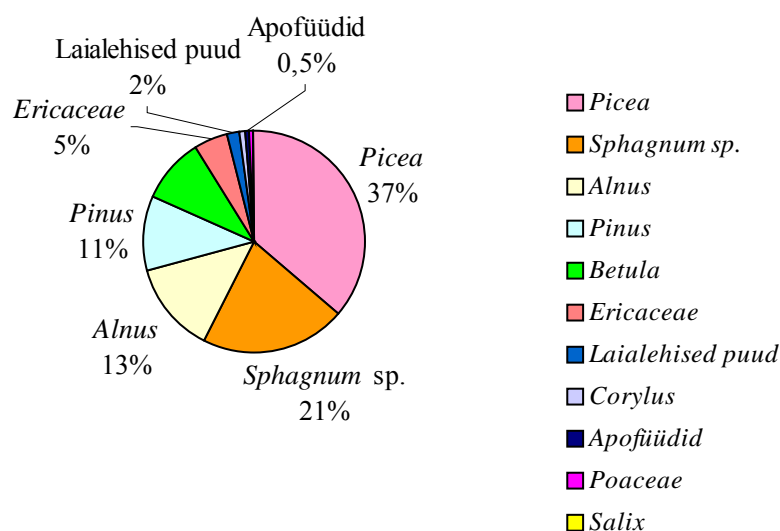
Diagrammilt (joonis 8) võib jälgida, et sügavusvahemikus 479–491 cm ilmneb söeosakeste suhteliselt madal, kuid siiski püsiv sisaldus, mis alaneb alles 489–490 cm sügavusel. Söeosakeste pindala setteühikus ei ületa 2,5 mm²/cm³. Keskmine söeosakste pindala oli madal, 433 µm², varieerudes 255 µm²–554 µm². Leitud söeosakeste maksimaalne pindala oli vaid 2500 µm².

5.4 Õietolmuanalüüsi tulemused



Joonis 9. Puursüdamik Meleski 2 sügavusvahemiku 680–685 cm õietolmuanalüüsi tulemused

Puursüdamikust Meleski 2 tehti sügavusvahemikust 680–685 cm õietolmuanalüüs. Proovis loetleti ca 460 õietolmutera. Tugevalt olid esindatud kase (*Betula*), männi (*Pinus*), sarapuu (*Corylus*), lepa (*Alnus*) ning kõrreliste (*Poaceae*) õietolm (joonis 9). Ülivähe leiti kuuse õietolmu (1/2 õietolmutera). Võrreldes saadud tulemust Niinemetsa ja kaasautorite (2002) poolt analüüsituga, leiti sarnasus kindla õietolmutsooniga ning see lubab turbakihi vanuseks pakkuda ligikaudu 6700–7000 ¹⁴C aastat tagasi.



Joonis 10. Puursüdamikust Meleski 2 sügavuselt 280–290 õietolmu ja söeosakeste analüüsi tulemused

Puursüdamikust Meleski 2 tehti ka sügavuselt 280 – 290 cm õietolmu ja söeosakeste analüüs (joonis 10). Proovis loetleti ca 1200 õietolmutera. Laialehiste gruppi on koondatud saare (*Fraxinus*), tamme (*Quercus*), pärna (*Tilia*), jalaka (*Ulmus*) leitud õietolmuterad. Apofüütide gruppi kuuluvad maltsaliste (*Chenopodiaceae*), angervaksa (*Filipendula sp.*) ning tulikaliste (*Ranunculaceae*) õietolmuterad (Poska *et al.* 2004).

Proovist leiti ka söeosakeste pindala 100. *Lycopodium clavatum* spoori kohta. Kui lämmastikhappega töötlemise meetodil oli tulemuseks 11 mm²/cm³ settes, siis õietolmuslaidilt loetuna saadi tulemuseks 23,84 mm²/cm³ settes. Keskmine söeosakeste pindala oli 8000 µm², mediaan 1265 µm², maksimaalne pindala 65600 µm². Söeosakeste kontsentratsioon oli 16 osakest 1cm³ settes.

6. Arutelu

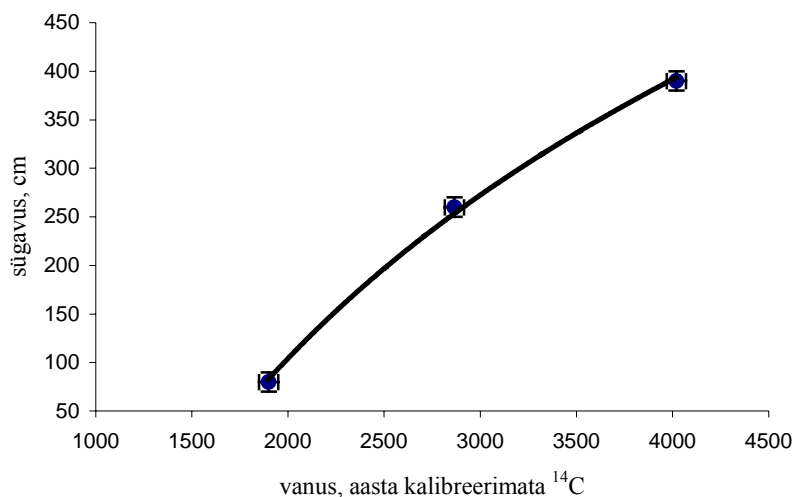
6.1 Turba dateeringud ning rabaturba juurdekasv Meleski rabas

Töö eesmärgiks polnud saavutada võimalikult suurt ajalist täpsust, vaid uurida söeosakeste ruumilist levikut raba piires. Turba puhul saab uuringutele ligikaudse ajalise tausta leida turba juurdekasvu arvutamise abil. Tehti kolm dateeringut (vt. lk 24), mis kõik langesid läbilõigetel põhiliselt levinud rabaturba massiivi piiresse, seetõttu on keeruline teha järeldusi kogu turba kasvukiirusest. Rabaturba arvamuslik kasvukiirus läbilõike ülemises osas oli 0,18 cm/aastas ja alumises osas 0,11 cm/aastas. Üldistades võib seega väita, et 10 cm lõik rabaturvast esindab ca 65 aastat.

Mikroskoopiliste söeosakeste analüüsimise puhul soosetest on mitmed autorid välja toonud väikest ajalist täpsust (Innes *et al.* 2004), samas kui aastakihtidega järvesette analüüs annab ajaliselt väga täpse tulemuse (Patterson *et al.* 1987). Käesolevas töös analüüsiti üsna suuri sügavusvahemikke - 10 cm. Sügavusvahemikke 248–272 cm ja 479–491 cm Meleski 1 puursüdamikus uuriti ka 1 cm haaval. Vastavalt arvutatule, peaks 1 cm esindama ca 6 aastat. Ülemist intervalli (248–272 cm) iseloomustab söeosakeste kõrge kontsentratsiooni ning suurepindalaste osakeste koondumine sügavusvahemikku 257–269 cm. Kuna botaaniliselt on tegemist kanarbikuvillpeaturbaga, võime väita, et antud punkt oli tõenäoliselt kõrgem mätas. Mättasisestes akrotelmitsoonides võis toimuda söeosakeste sorteerumine, segunemine ning vertikaalne liikumine. Käesoleva töö proovimismetoodika analüüsis 10 cm paksusi turbalõike. Selline puursüdamiku tükeldamine võib jaotada ühest põlengust pärinevad söeosakesed kahe järjestikuse proovi vahel.

Alumises analüüsitud sügavusvahemikus, 479–491 cm, on raske eraldiseisvaid maksimume esile tõsta. Söeosakeste pindalade summad on ühtlaselt jaotunud, kuid madalad. Võib mainida, et hoolimata madalast pindalaväärtusest on kontsentratsioon suhteliselt kõrge (keskmiselt 2700 osakest/cm³) ja seega keskmine leitud söeosakeste pindala väike (ca 430 µm²). Ühe sentimeetripaksuste kihtide analüüs näitab, et laiemast sügavusvahemikust leitud söeosakeste maksimumid võivad koosneda nii mitmest söeosakesterikkamast proovist kui ka ühtlasest, ehkki madalast söeosakeste sissekandest. Seetõttu võib täpsema rekonstruktsiooni huvides soovitada õhemate

kihtide analüüsimist. Käesolevate tulemuste põhjal võiks optimaalne olla ca 5–6 cm paksuse kihi analüüsimine, mis soodsatel asjaoludel võiks tagada piiritletud maksimumi kindlakstegemise soosetest.



Joonis 11. Vanuse ja sügavuse sõltuvusgraafik Meleski rabaturba dateeringute põhjal.

6.2 Meleski raba puursüdamike söeosakeste maksimumide korrelatsioon ning sündmuste võimalik rekonstruktsioon

Antud uurimuse materjal pärineb soost. Mõnevõrra vähem kui järvesetete analüüsi korral, peaks soosette puhul tõstatama küsimus söeosakeste maksimume hägustavast nn. taustast, mis tekib peamiselt söeosakeste sekundaarse sissekande ja sette segunemise tulemusena. Meleski rabal puudub otsene sisse- ja väljavool, lisaks on ta ümbruskonna suhtes positiivne pinnavorm. Sekundaarset söeosakeste sissekannet saab olulise probleemina tõstatada peamiselt järvede puhul, mille kallastel põleng toimus või kuhu võib materjali lisanduda vesikonnast veetranspordil veel mõnda aega (Patterson *et al.* 1987, Mensing *et al.* 1999). Võimalus sekundaarseks sissekandeks rabasse võis olla õhustranspordiga lähedalasunud põlendikust, kuid tõenäoliselt oli see võimalus ajaliselt tunduvalt piiratum ning võiks liigituda peamiselt juhuslikuks protsessiks. Ka bioturbatsioon on turbas tõenäoliselt pigem juhusliku iseloomuga.

Söeosakeste analüüsi teooria tõendab, et söeosakeste suurus on üsna oluline tunnus, mille alusel neid saab iseloomustada ning grupeerida. Üks olulisemaid vastuargumente söeosakeste lugemiseks õietolmuslaididelt on õietolmuproovide ettevalmistusmetoodika fragmenteeriv mõju söeosakestele (Carcaillet *et al.* 2001, Whitlock & Larsen 2001). Käesolevas töös loetleti ka õietolmu ning otsustati võrrelda õietolmuproovide ettevalmistamismetoodikaga tehtud ning lämmastikhappega töödeldes valmistatud proovide söeosakeste sisaldust ning pindalaid. Jälgiti metoodikas kirjeldatud protseduure ning loetleti söeosakesi mikroskoobislaididel kuni 100-nda märkspoorini. Vastavalt sügavuselt (Meleski 2, 280–290 cm) võetud ning lämmastikhappega töödeldud proovi slaidil leiti 29 osakest ($5400 \text{ osakest/cm}^3$), keskmine leitud pindala $2042 \mu\text{m}^2$ ning maksimaalselt $17500 \mu\text{m}^2$. Üle $5000 \mu\text{m}^2$ pindalaga (ehk üle 100 μm diameetriga) osakesi oli neli. Õietolmumeetodiga ettevalmistatud proovi slaidilt loendati 16 söeosakest (kontsentratsioon $3000 \text{ osakest/cm}^3$) keskmise pindalaga $8017 \mu\text{m}^2$, maksimaalne leitud söeosakese pindala oli $65625 \mu\text{m}^2$ (ehk 362 μm diameeter). Üle 100 μm diameetriga leiti olevat 5 söeosakest. Tulemused, sarnaselt Pitkänen kaasautoritega (1999) osutavad, et õietolmuproovidest on võimalik leida suure pindalaga söeosakesi, mis vaidlustab söeosakeste väidetava purunemise õietolmuproovide ettevalmistusmetoodika tõttu. Samas leiti õietolmuproovidest tumedaid kerajaid objekte, mis tõenäoliselt olid töötlusel kõrbenud õietolmuterad; samuti suurepindalalisi tumedaid, kuid beezhide servadega nurgelisi osakesi, mida söeosakesteks ei loetud.

Meleski rabas puuduvad visuaalselt eristatavad makroskoopiliste söeosakeste kihid. Ühest küljest see raskendab erinevate puursüdämike korreleerimist. Teisest küljest viitab makroskoopiliste söeosakeste kihtide puudumine ka sellele, et Meleski raba pind ise põlenud ei ole ning mikroskoopiliste söeosakesterohked kihid on moodustunud söeosakeste õhusissekande teel ümbruskonnas toimunud põlengutest. See tähendab, et kõik söeosakesi sisaldavad settekihid peaksid olema alles, kuna põlengute väikese ajalise vahe korral võib järgnev *in situ* tulekahju eelnevast põlengust pärinevad söeosakesed hävitada (Pitkänen *et al.* 2003).

Käesoleva töö tulemused näitavad, et erinevates puursüdämikes esinevad söeosakeste maksimumid võimaldavad püstitada korrelatsioonihüpooteesi. Meleski 1 puursüdämikku käsitleti kui tugiläbilõiget, kuna söeosakeste sisalduse suhtes on seda

kõige täielikumalt analüüsitud. Korrelatsiooniülesande lahendamise hõlbustamiseks tähistati kõikides puursüdamikes leitud söeosakeste maksimumid koodiga (tabel 5).

Tabel 5. Meleski raba settepuursüdamike valitud söeosakeste maksimumide tähistused.

Puursüdamik	sügavusvahemik cm	tähistus
Meleski 1	570–580	M11
Meleski 1	470–490	M12
Meleski 1	420–430	M13
Meleski 1	280–290	M14
Meleski 1	250–270	M15
Meleski 1	30–40	M16
Meleski 2	660–670	M21
Meleski 2	630–640	M22
Meleski 2	530–540	M23
Meleski 2	410–420	M24
Meleski 2	390–400	M25
Meleski 2	280–290	M26
Meleski 2	220–240	M27
Meleski 3	440–450	M31
Meleski 3	260–270	M32
Meleski 3	230–240	M33
Meleski 5	540–550	M51
Meleski 5	470–490	M52
Meleski 5	250–260	M53

Tulemusi vaadates võib näha teatud sügavusvahemikke, kus enam kui kahes settepuursüdamikus on märgatavad söeosakeste väärtuste tõusud. Võttes aluseks söeosakeste analüüsil saadud andmed ning refereeringud on teatud ulatuses võimalik ruumiliselt rekonstueerida uuritud settekihtide moodustumise ajal toimunud ümbruskonna põlenguid. Võimalik korrelatsioon on esitatud joonisel 12.

M11

Settepuursüdamiku Meleski 1 kõige alumises settekihis (sügavusel 570–580 cm) esineb maksimum, mida kokkuleppeliselt tähistame indeksiga M11 (puursüdamik Meleski 1, ajalises järgnevuses 1. maksimum). Üldiselt võib Meleski 1 madalsooturbas näha üsna kõrget söeosakeste fooni, kuid esiletõusvama maksimumina eraldati M11. Samasse intervalli, 10–20 cm turbalasundi põhjast kõrgemal, leidub ka maksimum läbilõikes Meleski 5 (M51). Puursüdamik Meleski 3 ei puuritud läbi kogu turbalasundi, seetõttu pole puursüdamiku madalsoosette intervalli ka analüüsitud. Meleski 2 puursüdamikus on madalsooturbas võimalik täheldada kahe maksimumi olemasolu (M21 ja M22). Eeldades, et punktis Meleski 2 hakkas turvas moodustuma varem, kui Meleski 1-s ja Meleski 5-s, võib eeldada, et vähemalt madalsooturba osas võivad vastavad allohtonset materjali salvestanud kihid asuda kõrgemal, kui Meleski 2-s. Meleski 2-s jäi sügavusvahemik 600–630 cm analüüsimata, kuid sügavusel 630–640 cm ilmneb söeosakeste kõrgendatud sisaldus (M22), mis võiks seostuda Meleski 1-s ja Meleski 5-s registreerunud sündmustega (vastavalt M11 ja M51). Väidet kinnitab ka profiilil Meleski 2 – Meleski 5 – Meleski 1 ilmnev lineaarselt vähenev söeosakeste suurus. Keskmise suurus väheneb M22 ($2870 \mu\text{m}^2$, 75 μm diameeter) → M51 ($1200 \mu\text{m}^2$, 49 μm diameeter) → M11 ($780 \mu\text{m}^2$, 39 μm diameeter). Maksimaalne leitud söeosakeste pindala järgib sama trendi M22 ($11000 \mu\text{m}^2$, 148 μm diameeter) → M51 ($7400 \mu\text{m}^2$, 121 μm diameeter) → M11 ($5000 \mu\text{m}^2$, 100 μm). Selline jaotus lubab eeldada põlengukolde asukohta lõunas või edelas. Võttes arvesse söeosakeste suhteliselt suuri pindalasi (eriti M22-s) ning asjaolu, et märgatav maksimum leiti kõigi puursüdamike madalsoosetteist, võib väita, et tegemist oli suhteliselt intensiivse ning Meleski rabast veidi lõuna/edela pool toimunud märkimisväärse põlenguga.

M12

Söeosakeste maksimum M12 asub settepuursüdamikus Meleski 1 siirdesooturbas, sügavusvahemikus 470–490 cm. M12 koosneb kahest järjestikusest ning seetõttu näiliselt kokkusulanud söeosakeste maksimumist. See võib tuleneda kahest ajaliselt lähestikku toimunud regionaalse tulekahju jälgede segunemisest, aga ka sellest, et proovimismetoodika poolitas toimunud põlengut salvestanud kihi kaheks prooviks

(vt. lk. 39, 1 cm paksuste kihtide analüüs). Maksimum korreleerub taas hästi maksimumiga M52. Märkatav söeosakeste maksimum puursüdamikus Meleski 3 puudub, kuid see puursüdamik ei ulatunud siirdesooturbasse ning seetõttu võib vastav konsentratsioonimuutus olla sügavamal. Meleski 2-s leidub maksimum sügavusel 530–540 cm (M23). Nii M12-st kui M52-te iseloomustab madalapindalaliste söeosakeste kõrge konsentratsioon, mida saab tõlgendada regionaalse põlengu signaalina. Ka M23, mis sisaldab rohkelt väiksemaid söeosakesi, viitab regionaalse tulekahju jäljele. Ühele moodustumisajale viitab ka sette iseloom – nii M12, M23 kui M52 paiknevad suhteliselt õhukeses siirdesooturba kihis. Kuna söeosakeste mõõtmes kindlasuunalist gradienti ei esine, vaid kõigis kolmes puursüdamikus jäävad väärtused ühtlaselt alla keskmise, võib arvata, et tegemist oli suurema, kaugemal aset leidnud regionaalse sündmuse kajastusega.

M13

Maksimum M13, mis asub rabaturbas sügavusel 420–430 cm, summeerib üsna paljude keskmisepindalaliste söeosakeste väärtused (keskmine pindala $643 \mu\text{m}^2$, $36 \mu\text{m}$ diameeter). Teistes puursüdamikes võib vastavatel tasemetel leida suhteliselt madalad maksimumid (M31 ja M24), mis koosnevad peamiselt väikesepindalalistest söeosakestest. Kuna taas selget suunatud söeosakeste mõõtmete muutusi pole, võib oletada nõrka sissekannet põhja pool aset leidnud regionaalsest põlengust.

M23

Puursüdamikus Meleski 2 leidub sügavusvahemikus 390–400 cm söeosakeste maksimum, mis koosneb suurepindalalistest söeosakestest, mille leidmine viitab lokaalsele tulekahjule. Tõenäoliselt on tegemist väikese, lokaalse, Meleski rabast veidi lääne-edelapoolse põlengu jälgedega. Tulekahju väiksusele viitab suurte söeosakeste vähesus ning märgatava signaali puudumine Meleski 1-s.

M14

Maksimum koosneb suhteliselt vähestest keskmisest suuremapindalalistest söeosakestest. Selle maksimumiga korreleerub M31 liitmaksimumi alumine vahemik

(270–280 cm), mida iseloomustab suhteliselt väikesepindalaliste söeosakeste keskmisest arvukam esinemine. Meleski 5-s võib sügavusvahemikus 250–260 cm näha väikest maksimumi, mille moodustavad samuti keskmisest väiksemad söeosakesed (keskmiselt $517 \mu\text{m}^2$). Kuna Meleski 2-s antud sügavusvahemikus regionaalsele põlengule viitav maksimum puudub, võib M14 tõlgendada kui väikese intensiivsusega madalloometsa põlengut, mille signaal raba keskele ega teise otsa ei jõudnud.

M15

Söeosakeste andmeid tõlgendades ning dateeringutele toetudes võib väita, et Meleski raba settesse on oma jälje jätnud lähedalasetssev ning üsna võimas tulekahju umbes 2800–2900 ^{14}C aastat tagasi. Jäljed märgatavast põlengust on olemas kolmes puursüdamikus neljast analüüsitud puursüdamikust. M26 maksimumis leidis üle $17000 \mu\text{m}^2$ pindalaga söeosakesi, mis viitavad kindlasti lokaalsele tulekahjule. Samas ei olnud põleng kohapealne, kuna puuduvad üle 0,5 mm diameetriga ($500 \mu\text{m}$ diameeter, $125000 \mu\text{m}^2$) söeosakesed. Punkti Meleski 3 (500 m punktist Meleski 2) lendus samuti märgatav hulk söeosakesi (maksimum M32 sügavusvahemik 260–270 cm). Taas on jälgitav söeosakeste suuruste suunatud gradient M26 (keskmine pindala $2040 \mu\text{m}^2$, $64 \mu\text{m}$ diameeter) \rightarrow M32 (keskmine pindala $2045 \mu\text{m}^2$, $64 \mu\text{m}$ diameeter) \rightarrow M15 (keskmine pindala $1700 \mu\text{m}^2$, $58 \mu\text{m}$ diameeter). Sama on jälgitav ka maksimaalsete mõõtmete järgi, vastavalt $17500 \mu\text{m}^2$ ($187 \mu\text{m}$ diameeter, M26), $17435 \mu\text{m}^2$ ($187 \mu\text{m}$ diameeter, M32) ja $8000 \mu\text{m}^2$ ($126 \mu\text{m}$ diameeter, M15). Tähelepanuväärne on, et puursüdamikes Meleski 2 ja Meleski 3 vastvatest proovidest leitud maksimaalne söeosakese pindala oli sama, mis näitab, et peamiselt mõjutas söeosakeste maksimumi kogupindala kujunemist mitte üksiku suure söeosakese leid, vaid väiksemate söeosakeste arvukus ning summaarne pindala. Samuti tõestab see, et ka suured söeosakesed levivad kaugemale kui 500 m. Püüdes toimunud põlengut ruumiliselt määratleda, võib oletada märkimisväärse põlengu toimumist Meleski rabast läänes. Tulekahju oli tõenäoliselt üsna intensiivne ning toimus raba servale suhteliselt lähedal - sellele viitab suurepindalaliste söeosakeste laialdane levik. Erandi, Meleski 5 puursüdamiku madalat söeosakeste sisaldust võib seletada erineva turba juurdekasvuga punktis Meleski 5, mille tõttu toimunud sündmust/sündmusi ei

pruugi analüüsitud 210–300 cm vahemik kajastada (tõenäoliselt asetseb vastav kiht kõrgemal).

M27

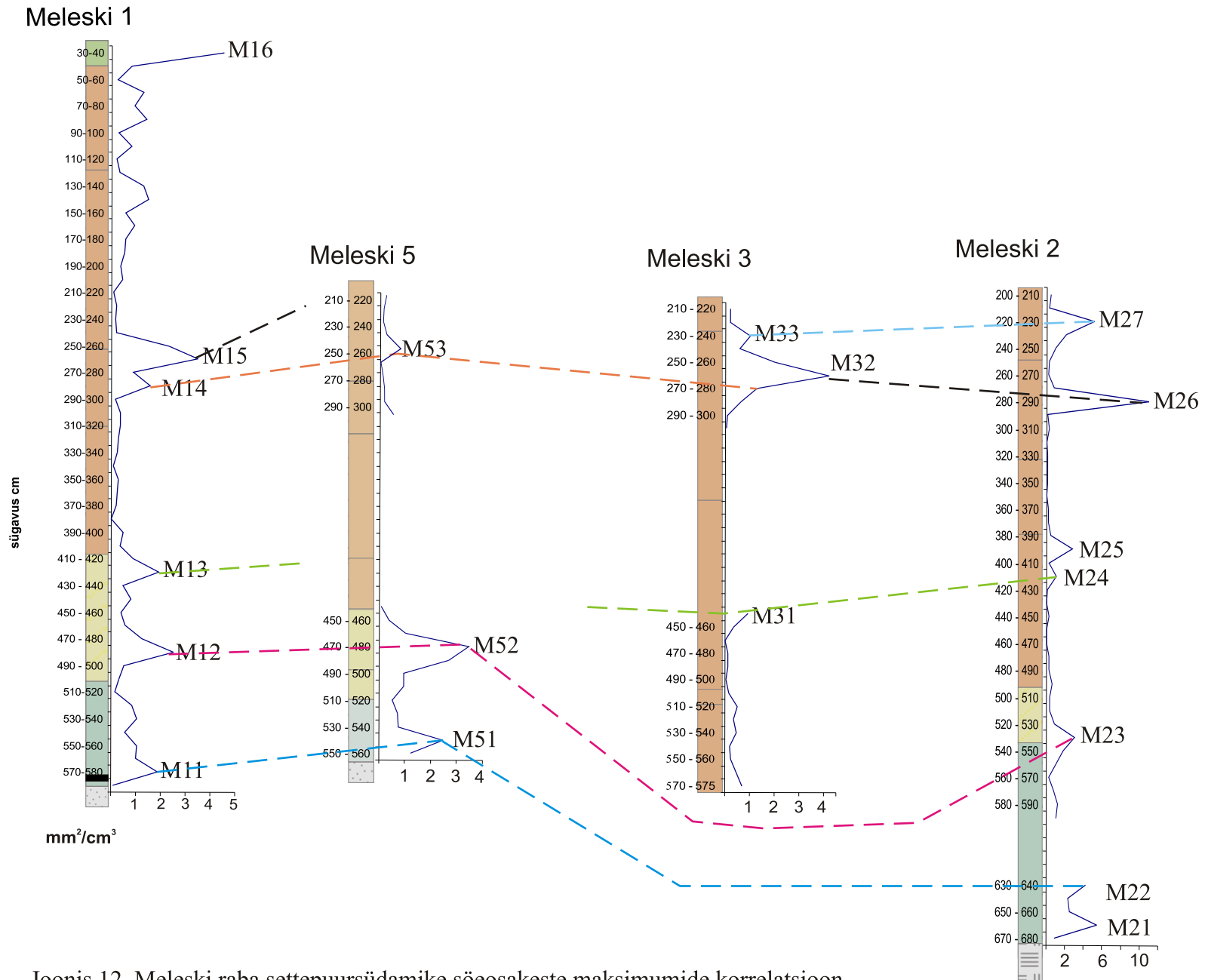
Maksimumi moodustavad rohked, suhteliselt suurepindalised söeosakesed. Graafikute võrdlemisel (joonisel 12) võib oletada, et lokaalne tulekahju toimus rabast lääne/edela pool. Kõige märgatavam signaal on jõudnud Meleski 2 puursüdamikku (maksimaalne leitud söeosakese pindala $16875 \mu\text{m}^2$, $184 \mu\text{m}$ diameeter), jälg nõrgeneb, kuid on märgatav Meleski 3-s (madal maksimum M33). Meleski 1 ega Meleski 5 toimunud ei kajasta.

M16

Meleski 1 puursüdamikust kõige ülemine söeosakeste maksimum, mis paikneb sügavusvahemikus 30–40 cm, mis moodustab antud punktis turbasammalde kasvukihi alumise piiri. Maksimumi iseloomustab väga kõrge söeosakeste kontsentratsioon ning madal pindala. Tõenäoliselt on tegemist regionaalse sissekandega, kuid võrdlusvahemikud teisest Meleski raba puursüdamikest puuduvad.

M21

Meleski 2 puursüdamik on analüüsitutest kõige suurema turbapaksusega ning turvas hakkas moodustuma tõenäoliselt teistest proovipunktidest ka ajaliselt varem. Puursüdamiku basaalsetes kihtides võib leida markantseid söeosakeste pindalaväärtusi (M21 ja M22). Sedimentoloogiliselt on tegemist madalsoofaasiga. Kuna see on tõenäoliselt üks varem soostuma hakanud piirkond tänapäevase Meleski raba alal, siis samast ajaperiодist pärinevad kihid teistes settepuursüdamikes puuduvad.



Joonis 12. Meleski raba settepuursüdamike söeosakeste maksimumide korrelatsioon.

Joonisel on esitatud söeosakeste pindaladiagrammid puursüdamike lihtsustatud andmete taustal (värvilegendi vt. joonis 3). Värvilise punktiiriga on tähistatud söeosakeste maksimumide võimalik korrelatsioon.

6.3 Meleski raba areng ning seotus Võrtsjärve rekonstruktsioonidega

Võrtsjärv on Kesk-Eesti suurim veekogu, mille geoloogiline areng ning vete liikumine on jäädvustunud ümbritsevate alade settesse. Võrtsjärve setteid on uuritud ja nende põhjal rekonstruktsioone tehtud mitmel korral (Orviku 1958, Moora ja Raukas 2003). Pakutud rekonstruktsioonide nõrgaks küljeks on aga väike ajaline piiritletus. Käesoleva töö uurimisala, Meleski raba, paikneb umbes 1,7 km kaugusel Võrtsjärve tänapäevasest põhjakaldast. Seetõttu peaks raba arengulugu peegeldama Suur-Võrtsjärve taandumise lõppu ning Nüüdis-Võrtsjärve teket ja arengut.

Võrtsjärve madalikult hakkas mandrijää lõhenema ning tasapisi taanduma umbes 12500 ¹⁴C aastat tagasi ehk Bøllingi kliimaoptimumi ajal. Algas nn. Väike-Võrtsjärve staadium, mis oli Jää-Võrtsjärve (Orviku 1958) eeletapp. Järvel tekkis ühendus Peipsi nõos olnud jääpaisjärvega, väljavool toimus Pärnu madalikul asunud suurde veekokku ning tema veetase olenes mõlemis suures veekogu toimunud muutustest. Ajapikku ühendus Peipsi veekoguga katkes ja moodustus järgmine arenguetapp – Ürg-Võrtsjärv. Tõenäoliselt langes järve veetase kiiresti, järve pindala kahanes ning Holotseeni alguseks oli mitmel pool endise veekogu servaaladel sobilikud tingimused soode arengu alguseks. Edasist arengut suunas peamiselt neotektooniline maakoore liikumine antud piirkonnas, mille tulemusena hakkas Vara-Holotseeni lõpul kiiremini kerkima ala edelapoolne osa, mis omakorda pärssis vete äravoolu läände. Idapoolne äravool aga ei moodustunud piisavalt kiiresti ning järve veetase ja pindala suurenesid oluliselt – tekkis Suur-Võrtsjärv. Klimatostratigraafiliselt hõlmab Suur-Võrtsjärve staadium preboreaalse ja boreaalse kronotsooni, lisaks atlantilise kronotsooni alguse. Idapoolne äravool moodustus Suure Emajõe näol Holotseeni keskel. Ebaühtlase kiirusega maakerge aga jätkus, mille tagajärjel järve pindala ahenes ning Võrtsjärv taandus oma tänapäevastesse piiridesse (Moora ja Raukas 2003).

Huvitav ning keerukas on Suur-Võrtsjärve taandumise rekonstrueerimine. Nimetatud suure veekogu taandumine tänapäevastesse piiridesse on paigutatud kaudsete tegurite alusel umbes Kesk-Holotseeni, oletuslikult ca 7500 ¹⁴C aastat tagasi (Moora ja Raukas 2003). Praktilise uuringu käigus hakkas huvi pakkuma Meleski raba sügavaima puursüdamik, Meleski 2 alumise turbakihi vanus. Teoreetiliselt peaks nimetatud vanus selgitama, millal oli antud ala järvevetest piisavalt vabanenud, et

saaks hakata moodustuma madal soo. Keskmiselt lagunenu madal sooturbast (täpsemalt tarnaturvas) sügavuselt 680–685 cm analüüsi käesoleva töö autori poolt üks õietolmuproov. Võrdlusmaterjalina saadud tulemuste hindamiseks kasutati 20 km loodes paikneva Parika raba õietolmudiagrammi (Niinemets *et al.* 2002). Analüüsitulemuse sarnansuse alusel võib hinnata tarnaturba alumise kihi vanuseks 6700–7000 ¹⁴C aastat so atlantikumi esimene pool. Selline tulemus nihutaks Nüüdis-Võrtsjärve moodustumise pisut hilisemaks Moora ja Raukase (2003) pakutust, kuid sobib hästi Võrtsjärve arengu üldpildi. Tulemuse kontrollimiseks ning kinnitamiseks on soovitatav edaspidi teha Võrtsjärve-lähedast rabadest rohkem dateeringuid (¹⁴C meetodil või palünoloogiliselt).

Meleski raba puursüdame makroskoopiliste taimejäänuste analüüs andis ülevaatliku pildi turba botaanilisest koostisest. Kuna igale raba arengujärgule on iseloomulikud spetsiifilised taimekooslused, on võimalik turba botaamilise koostise alusel rekonstrueerida soo tekke- ja arengulugu (Valk 2005). Käesoleva uurimuse tulemuste põhjal võib teha üldisi järeldusi Meleski raba arenguloost. Liival lasub madal sooturvas, mis koosneb enamasti tarna- ning pilliroojäänustest. Nimetatud taimeliigid on ka väga iseloomulikud järvelähistel moodustunud soodele. Kinnikasvavate veekogude ümbruses leidub tänapäeval mitmeid erinevaid tarnaliike (Kollist 1988). Pilliroo suhteliselt suur sisaldus turbas viitab, et ala võis olla periooditi üle ujutatud (Allikvee 1988).

Siirdesooturbalasundi paksus Meleski rabas ei ületa poolt meetrit, mis iseloomustab üleminekuvormi lühiajalisust ning on Eesti soodele iseloomulik (Kollist 1988, Masing 1997). Siirdesoo omapäraks on madal sootaimede ning tüüpiliste rabataimede kooseksisteerimine: ühed kasvavad juba moodustunud kõrgematel mätastel, teised mättavahes (Masing 1997). Meleski puhul on huvitavaks näiteks kanarbikuturvas vähese pilliroolisandiga. Tõsi, pilliroog võis järvelähedasemalt märjematelt aladelt tõusuvetega soo maismaapoolsemasse serva sattuda, kuna Võrtsjärv on tänapäevani üsna kõikuva veetaseme (maksimaalselt 3 m) ning tulvavete ulatusega (Moora ja Raukas 2003). Enamuse Meleski turbalasundist moodustab rabaturvas. See on esindatud erinevas lagunemisastmes klassikaliste liikidega: puhmad (eelkõige kanarbik), villpea ning turbasambliigid (Valk 2005).

6.4 Meleski raba söeosakeste analüüsi tulemuste rakendusvõimalused arheoloogias

Loodusteaduslike meetodikate kasutamine algas Eesti arheoloogiateaduses leidude keemiliste analüüside näol juba 19. sajandi keskel. Õietolmuanalüüsi kasutamine, esmalt dateermisvahendina ning hiljem juba inimtegevuse ja keskkonna interaktsiooni kirjeldajana, sai Eestis alguse 1924. aastal. Loodusteaduslike meetodite esimeseks suuremaks õnnestumiseks oli Eesti ühe vanema asulakoha, Kunda kiviaja asulakoha (Kunda Lammasmäe) uurimine 1930ndatel ning arheoloogidele geoloogilise, palünoloogilise, mineraloogilise ja botaanilise informatsiooni pakkumine (Lõugas 1988). Viljakas koostöö jätkub ka tänapäeval (nt. Kihno ja Laul 1999, Niinemets *et al.* 2002).

Käesoleva magistritöö uurimisala, Meleski raba ümbrus on rikas arheoloogiliste muististe poolest (joonis 13). Olgugi et Viljandimaa arheoloogiliste leidude uurimine algas 19. sajandil ning intensiivistus möödunud sajandi 30ndatel aastatel, on paikkonnal veel küllaldaselt huvitavat varuks - alates 1997 aastast on avastatud mitukümmend uut asula- ja leiukohta. Ainuüksi Kolga-Jaani vallas, kus asub ka Meleski küla ja raba, on viimase 9 aastaga avastatud Lalsi, Leie, Oiu ja Meleski mesoliitilised asulakohad (Kriiska jt. 2004).

Valdava osa piirkonda tehtud arheoloogiliste ekspeditsioonide lähtepunktiks on olnud Meleski küla lähedal asuv Kivisaare voo, mille esmauringud algasid juba 20. sajandi algul. See paik on Eesti ala üks haudaderikkamaid metalliajajaeelseid või selle algusest pärinevaid muinaskalmistuid (Kriiska ja Johanson 2003). Kahjuks on multikultuurne ja leiurohke kiht omavahel hilisema maaharimise käigus ümber segatud, mis raskendab leidude dateerimist ning klassifitseerimist. Kokku on leitud vähemalt 27 inimskeletti panustega. Leiud, mis koosnevad peamiselt kohalikku päritolu tulekivikildudest, vähemal määral teistest tööriistadest (kaabitsad) ja nörkeraamika kildudest tõendavad, et Kivisaare ümbruses on paikselt elatud alates juba mesoliitikumist kuni hilisneoliitikumini (Kriiska ja Johanson 2003).



Joonis 13. Meleski raba ümbritsevad arheoloogilised leiukohad (Maa-ameti andmetel)

Söeosakeste analüüsist saadavat informatsiooni pole arheoloogiliste objektide puhul Eestis veel eriti kasutatud. Peamisteks muistse looduse ja inimõju mõõdikuteks on palünoloogiliste andmete põhjal koostatatud nn. inimõju diagrammid. Teadlased on gruppidega välja eraldanud võimalikule inimtegevusele viitavad taimerühmad (Poska *et al.* 2004), mille teatud vahekordades esinemine viitab antropogeensele tegurile õietolmu baasalal. Õietolmuga paralleelselt loetletakse mikroskoobislaididelt enamasti ka mikroskoopilisi söeosakesi, mille olemasolu teatud tasemel nenditakse. Käesoleva uurimus on seega esimene Eestis, mis püüab näidata söeosakeste analüüsi kasutusvõimalusi reaalses arheoloogilises kontekstis.

Õietolmuspekter lubab pakkuda Meleski 2 puursüdamiku alumise turbakihi (680–685 cm) kuulmist atlantilisse kliimaperioodi (ca 6700–7000 ¹⁴C aastat). Tõenäoliselt on mainitud turbakiht vanim käesoleva töö raames analüüsitud Meleski raba sete. Söeosakeste kõrge sisaldus soosettes sügavusvahemikus 630–670 cm võib viidata nii looduslikele kui inimtekkeliste põlengutele. Tegemist oli Eesti ala jääajajärgse kliimaoptimumiga ning see soodustas kütuse kiiret moodustumist. Atlantilise kliimaperioodi lõpust (täpsemalt 4700–6500 yBP) on ka Haanja piirkonnas leitud märke kõrgeenenud tuleaktiivsusest, mida on keeruline interpreteerida (Laul ja Kihno

1999). Looduslike põlengute kasuks räägib see, et tegemist on kliimaatiliselt põlenguteks suhteliselt sobiva perioodiga Holotseenis (Tipping & Milburn 2000). Lõuna-Soomes analüüsitud atlantikumi söeosakestespektrid näitavad vastuolulisi tulemusi (Pitkänen *et al.* 2003).

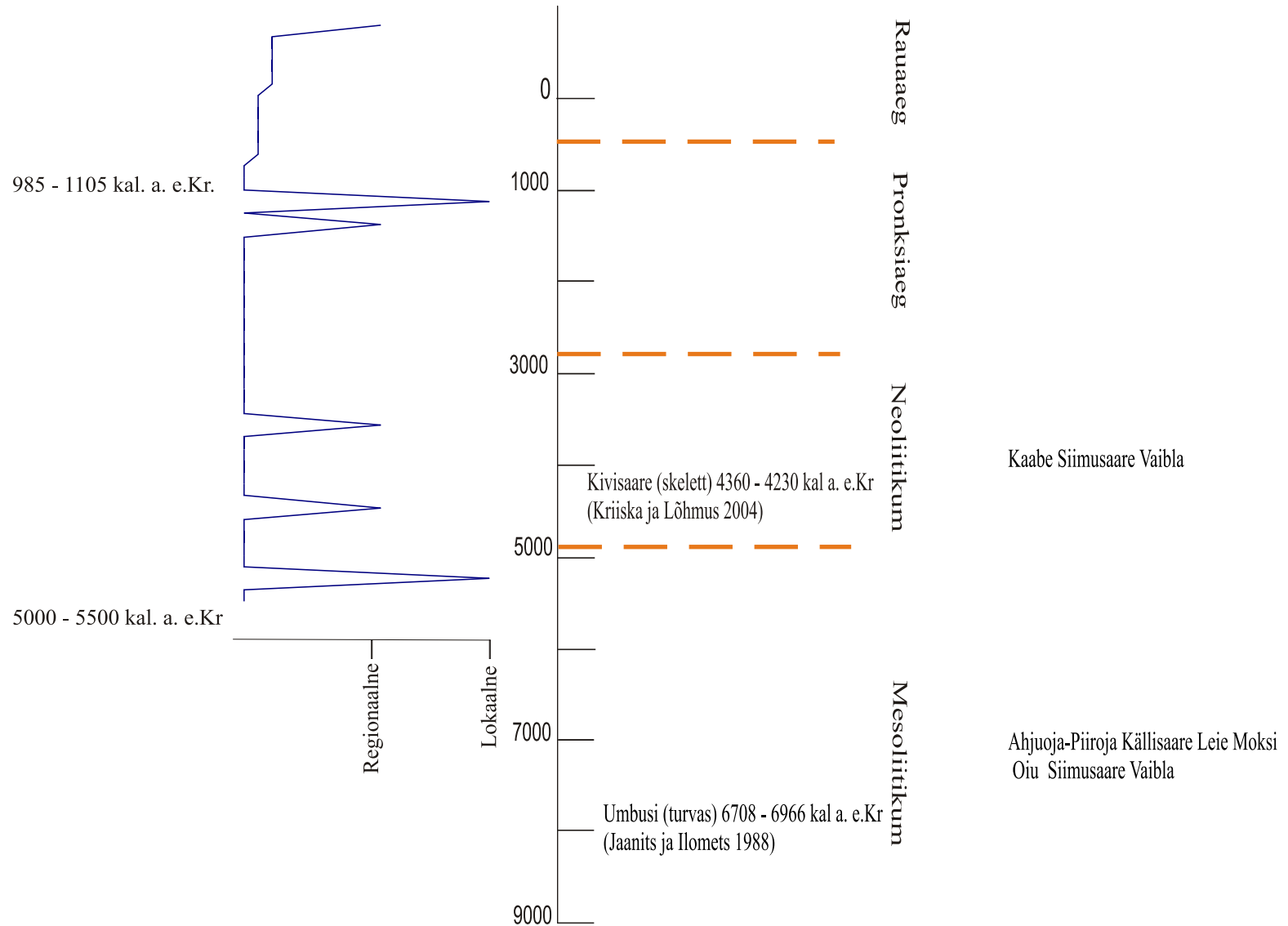
Suure tõenäosusega võib aga väita, et Meleski piirkonna põlengute puhul oli tegemist antropogeense teguriga. Alus selliseks väiteks on ümbruskonna tollal tõenäoliselt suhteliselt tihe inimasustus, millele viitavad mitmete mesoliitiliste asulakohtade leiud. Teiseks võib Meleski 2 (ja ka Meleski 1) madalsooturba basaalsetes kihtides märgata pidevat suurepindalaliste söeosakeste kõrget kontsentratsiooni. See viitab pikemaajalisele tuletegevuse aktiivsuse tõusule lähipiirkonnas, mida on keeruline seletada vaid looduslike protsessidega. Ümbruskonnas asuvad mesoliitilised asulakohad on senini täpsemalt dateerimata (v.a. Umbusi asulakoht ning skeletileid Kivisaarest). Õietolmu abil dateeriti sügavusvahemik 680–685 cm, alumine söeosakeste maksimum asub sügavusel 660–670 cm. Käesoleval puhul puuduvad andmed täpsest tarnaturba juurdekasvumäärast, kuid Valk (1988) pakub 6600–7800 ¹⁴C aastat tagasi tekkinud turba kasvukiiruseks 0,29 ±0,027 mm/aastas. Niivõrd ligikaudsetele andmetele toetudes võib vaid eeldada, et ligikaudu 6000–6500 ¹⁴C aastat tagasi ehk 5500–5000 kalib. a. e.Kr leidis tänapäevase Meleski raba piirkonnas (antropogeenne?) põhjus seeriaviisilisteks põlenguteks. Puursüdamiku Meleski 1 söeosakeste sisaldus on ühtlaselt üsna märgatav kuni languseni sügavusel 390 cm ning muutus kajastub ka Meleski 2 tulemustes. See sügavus on dateeritud vanusega 2495–2621 aastat e. Kr (4508±63 kalib. aastat tagasi) ehk hilisneoliitikumi (joonis 14).

Võrreldes käesoleva uurimuse dateeringuid Umbusi mesoliitilise asulakoha dateeringuga (Jaanits ja Ilomets 1988), võib näha selget seost Suur-Võrtsjärve pisenemisega. Vesi taandus järkjärgult oma tänapäevastesse piiridesse, Umbusist Meleskini ligikaudu 1000 aastaga, ning inimasustus liikus veest vabanenud aladele.

Meleski raba söeosakeste lihtsustatud diagramm. Näidatud on leitud olulisemad lokaalsete ja regionaalsete põlengute söeosakeste maksimumid

Meleski lähiümbruse arheoloogiliste leidude dateeringuid

Arheoloogilised leiukohad Meleski lähiümbruses, alfabeetilis järjekorras



Joonis 14. Meleski raba stiliseeritud söeosakeste diagramm ning lähiümbruses leiduvad arheoloogilised asulakohad ning dateeritud leiud arheoloogilise ajaskaala taustal
 Söeosakeste kõverale on lisatud 14C dateering (ülemine) ning palünoloogiline hinnang (alumine)

7. Kokkuvõte ja järeldused

Käesolevas magistritöös analüüsiti nelja Meleski rabast puuritud turbaläbilõiget, et uurida söeosakeste põlengujärgset ruumilist levikut ühe raba piires ning hinnata söeosakeste analüüsi sobivust turbaläbilõigete korreleerimiseks.

Tulemused võib kokku võtta järgmiselt:

1. Ühes kogu ulatuses ning kolmes intervallidena analüüsitud settepuursüdamikus tehti igaühes kindlaks kuni seitse mineviku põlengutele viitavat söeosakeste pindalamaximumi.
2. Töö tulemused lubavad väita, et settimiskeskkonna eripärasid silmas pidades on võimalik regionaalsest sissekandest tekkinud söeosakesterikkaid kihte ühe raba piires rööbistada. Osakeste mõõtmeid ja kontsentratsiooni võrreldes võib järeldada, et üksiklääbilõigetes esinevad maksimumid on seostatavad vähemalt kaheksa lokaalse või regionaalse tulekahjuga, millest kuus kajastuvad kahes või enam puursüdamikus.
3. Söeosakesed võivad sorteeruda ning peale settimispaika jõudmist vertikaalselt akrotelmi piires liikuda. Sellest tulenevalt on soosetest söeosakeste analüüsimisel keeruline saavutada suurt ajalist lahutusvõimet ning 5–10 cm paksune settelõik on sobiv proovimisintervall, iseloomustamaks üldist põlengute intensiivsust ja sagedust piirkonnas.
4. Jälgides söeosakeste suurusi erinevates puursüdamikes, on lokaalsema iseloomuga ning intensiivsemat tulekahju peegeldavate söeosakeste maksimumide iseloomus võimalik näha suhteliselt gradienti. Vastavalt söeosakeste analüüsi teooriale, mis postuleerib söeosakese suuruse ja kande kauguse seost, näib see olevat võimalus toimunud põlengu esmase allika ning levikusuuna rekonstruktsiooniks. Eelnev ei kehti või on ebaselgem regionaalse söeosakeste sisskande puhul.
5. Söeosakeste õhutranspordi mudeli ning eksperimentide järgi peaksid osakesed diameetriga 300 µm kanduma keskmiselt kuni 60 m kaugusele põlengukoldest ning osakesed diameetriga 100 µm lenduma üle 100 m. Kaugemale transporditakse peamiselt väiksemaid söeosakesi. Proovide analüüsimisel ning

toimunud tulekahjude korreleerimisel selgus, et ka ühest põlengust pärinevad üle 170 µm diameetriga söeosakesed levivad rohkem kui 500 m kaugusele.

Lisaks saab teha ka kaks üldisemalt huvipakkuvat geoloogilis-arheoloogilist tähelepanekut:

6. Õietolmuproovi analüüs puursüdamiku Meleski 2 basaalistest kihtidest (680 – 685 cm) lubab oletada, et turvas hakkas uurimisalal moodustuma varasel atlantikumis (ca 6700–7000 ¹⁴C a.t.). Hiljemalt selleks ajaks pidi Võrtsjärv olema Meleski raba alalt taandunud ning piirkond olema piisavalt maismaaline, et võiks alata soostumisprotsess. Leitud vanus sobib üsna hästi olemasolevate Võrtsjärve arengu rekonstruktsioonidega (Moora ja Raukas 2003).
7. Meleski raba asetseb arheoloogiliste leidude poolt rikkas piirkonnas. Käesolevate andmete põhjal on küll keeruline üks-üheselt leida seost põlengurežiimi muutuste ning varajase inimasustuse vahel, kuid inimtegevuse kõrgenenud aktiivsusega on tõenäoliselt seostatavad hilis-mesoliitikumis, ligikaudu 5500–5000 kal. a. e.Kr (6500–6000 ¹⁴C a.t.) Meleski raba ümbruses ilmnenud märgatavalt kõrgenenud ning lokaalsete kolletega tuletegevuse aktiivsus. Järgmine tähelepanuväärsem põlengute sageduse tõus toimub pronksiajal, 2820–2900 ¹⁴C a. (2933–3057 kal. a.e.Kr.) ning pronksiaja lõpust alates toimub söeosakeste pidev järkjärgult suurenev sissekanne.

Tänuavaldused

Töö valmis paljude inimeste kaasabil. Töö autor tänab juhendajat, professor Tõnu Meidlat. Välitöödel abistasid TÜ geoloogia instituudi vanemteadur Tiit Hang, vanemteadur Oive Tinn ja doktorant Kadri Sohar - aitäh neile. Turba botaanilise koostise määramisel andis väärt nõuandeid TLÜ Ökoloogia Instituudi teadur Ülle Sillasoo. Palünoloogia tõdesid tutvustas TÜ geoloogia instituudi vanemteadur Anneli Poska. Arheoloogilistes küsimustes nõustas TÜ arheoloogiadotsent Aivar Kriiska. Autori tänab geoloogia doktoranti Alar Rosentaud entusiastlike nõuannete eest. Käsikirja aitas keeleliselt toimetada geoloogia doktorant Evelin Verš. Tänatud saagu ka geoloogia instituudi direktor professor Kalle Kirsimäe.

Kasutatud kirjandus

- Allikvee, H., 1988. Sapropel ja turvas. Rmt: Valk, U. (koost.) Eesti sood. Tallinn "Valgus", 48 – 68.
- Amon, L. 2004. Mikroskoopiliste söeosakeste analüüsi kasutamine paleoökoloogilistes uuringutes Viitna Linajärve näitel. Bakalaureusetöö. Tallinn, 1 – 39. Käsikiri Tallinna Ülikooli geökoloogia õppetoolis.
- Asselin, H., Payette, S., 2005. Detecting local-scale fire episodes on pollen slides. *Review of Palaeobotany and Palynology* 137, 1-2, 31 – 40.
- Blackford, J.J., 2000. Charcoal fragments in surface samples following a fire and the implications for interpretation of subfossil charcoal data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 33 – 42.
- Blackford, J.J., 2000. Charcoal fragments in surface samples following a fire and the implications for interpretation of subfossil charcoal data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 1-4, 33 – 42.
- Briles, C.E., Whitlock, C., Bartlein, P.J., 2005. Postglacial vegetation, fire and climate history of the Siskiyou Mountains, Oregon, USA. *Quaternary Research* 64, 44 – 56.
- Carcaillet, C., Bouvier, M., Frechette, B., Larouche, A.C., Richard, P.J.H., 2001. Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history. *The Holocene* 11, 4, 467 – 476.
- Carcaillet, C., Richard, P.H.J., Asnong, H., Capece L., Bergeron Y., 2006. Fire and soil erosion history in East Canadian boreal and temperate forests. *Quaternary Science Reviews*, *in press*.
- Clark, J.S., 1988. Particle motion and the theory of charcoal analysis: Source area, transport, deposition, and sampling. *Quaternary Research* 30, 1, 67 – 80.
- Clark, J.S., Royall, P.D., 1995. Particle-Size Evidence for Source Areas of Charcoal Accumulation in Late Holocene Sediments of Eastern North American Lakes. *Quaternary Research* 43, 1, 80 – 89.
- Clark, R. L., 1984. Effects on charcoal of pollen preparation procedures. *Pollen et Spores* 26, 3-4, 559 – 576.
- Fægri, K., Iversen, J., 1989. Textbook of pollen analysis. 4th edition. J.Wiley and Sons.

- Finsinger, W., Tinner, W., 2005. Minimum count sums for charcoal-concentration estimates in pollen slides: accuracy and potential errors. *The Holocene* 15, 293 – 297.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Wotton, B.M., 2000. Climate change and forest fires. *The Science of the total environment* 262, 3, 221 – 229.
- Hellberg, E., Hörnberg, G., Östlund, L., Zackrisson, O. 2003. Vegetation dynamics and disturbance history in three deciduous forests in boreal Sweden. *Journal of Vegetation Science* 14, 2, 267 – 277.
- Higuera, P.E., Sprugel, D.G., Brubaker, L.B., 2005. Reconstructing fire regimes with charcoal from small-hollow sediments: a calibration with tree-ring records of fire. *The Holocene* 15, 238 – 251.
- Innes, J.B., Blackford, J.J., Simmons, I.G., 2004. Testing the integrity of fine spatial resolution palaeoecological records: microcharcoal data from near-duplicate peat profiles from the North York Moors, UK. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 214, 295-307.
- Innes, J.B., Simmons, I.G., 2000. Mid-Holocene charcoal stratigraphy, fire history and palaeoecology at North Gill, North York Moors, UK. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 151 – 165.
- Jaanits, K., Ilomets, M., 1988. Umbusi mesoliitilise asula vanusest ja kohast Eesti keskmise kiviaja kronoloogias. Rmt: Rõuk, A.-M., Selirand, J. (toim.) *Loodusteaduslikke meetodeid Eesti arheoloogias*. Tallinn, 54 – 65.
- Kangur, M., 2004. Söeosakeste analüüsi rakendamine paleoökoloogilistes rekonstruktsioonides. Rmt: Kadastik, E., Punning, J.-M. (toim.) *Geoökoloogilisi uurimusi*. TPÜ Ökoloogia Instituudi publikatsioonid 8/2004. Ökoloogia Instituut, Tallinna Pedagoogikaülikool, Tallinn, 20 – 36.
- Katz, N. J., Katz, S.V., Skobeyeva, E.I. 1977. *Atlas rastitel'nyh ostatkov v torfah*. Moskva “Nedra” (vene keeles).
- Kollist, P., 1988. Madal- ja siirdesoode üldine iseloomustus, levik ja liigitus. Rmt: Valk, U. (koost.) *Eesti sood*. Tallinn “Valgus”, 84 – 94.
- Kriiska, A., Haak, A., Johanson, K., Lõhmus, M., Vindi, A., 2004. Uued asulakohad ajaloolisel Viljandimaal. Rmt: Vislapuu, A. (koost.) *Viljandi Muuseumi aastaraamat 2003*. Viljandi, 35 – 51.
- Kriiska, A., Johanson, K., 2003. Kivisaare kiviaja asulakoht ja matmispaik. Rmt: Vislapuu, A. (koost.) *Viljandi Muuseumi aastaraamat 2002*. Viljandi, 39 – 55.

- Laasimer, L., Talts, S., Varep, E., 1954. Eesti NSV turbasamblad. Eesti riiklik kirjastus, Tallinn.
- Laird, L.D., Campbell, I.D., 2000. High resolution palaeofire signals from Chistina Lake, Alberta: a comparison of the charcoal signals extracted by two different methods. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 111 – 123.
- Laul, S., Kihno, K., 1999. Viljelusmajandusliku asustusekujunemisjoooni Haanja korgustiku kaguveerul. *Eesti Arheoloogia Ajakiri* 3, 1, 3-18.
- Long, C.J., Whitlock, C., 2002. Fire and vegetation history from the coastal rain forest of the western Oregon coast range. *Quaternary Research* 58, 215 – 225.
- Lõugas, V. 1988. Loodusteaduslike meetodite kasutamisest Eesti arheoloogias. Rmt: Rõuk, A.-M., Selirand, J. (toim.) Loodusteaduslikke meetodeid Eesti arheoloogias. Tallinn, 13 – 26.
- Lynch, J.A., Clark, J.S., Stocks, B.J., 2004. Charcoal production, dispersal, and deposition from the Fort Providence experimental fire: interpreting fire regimes from charcoal records in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 34, 1642 – 1656.
- MacDonald, G. M., Larsen, C. P. S., Szeicz, J. M., Moser, K. A., 1991. The reconstruction of boreal forest fire history from lake sediments: A comparison of charcoal, pollen, sedimentological, and geochemical indices. *Quaternary Science Reviews* 10, 1, 53 – 71.
- Masiello, C.A., 2004. New directions in black carbon organic geochemistry. *Marine Chemistry* 92, 201 – 213.
- Masing, V., 1988. Sood maastiku osana. Rmt: Valk, U. (koost.) Eesti sood. Tallinn “Valgus”, 13 – 20.
- Masing, V., 1997. Ürgsed sood kui loodusmälestised. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn.
- McKie, R. 2001. Ahvina sündinud. Inimese põlvnemise lugu. Varrak.
- Mensing, S.A., Michaelsen, J., Byrne, R., 1999. A 560-year record of Santa Ana fires reconstructed from charcoal deposited in the Santa Barbara Basin, California. *Quaternary Research* 51, 295 – 305.
- Moora, T., Raukas, A., 2003. Järve kujunemine ja areng. Rmt: Haberman, J., Pihu, E., Raukas, A. (toim.). Võrtsjärv: loodus, aeg, inimene. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 83 – 97.

- Moore, J., 2000. Forest fire and human interaction in the early Holocene woodlands of Britain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 125 – 137.
- Moore, J.A., Webb, M.E., Collinson, M.E. 1991. *Pollen analysis*. Oxford Press
- Nichols, G.J., Cripps, J.A., Collinson, M.E., Scott, A.C., 2000. Experiments in waterlogging and sedimentology of charcoal: results and implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 43 – 56.
- Nichols, G.J., Cripps, J.A., Collinson, M.E., Scott, A.C., 2000. Experiments in waterlogging and sedimentology of charcoal: results and implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 43 – 56.
- Niinemets, E., Saarse, L., Poska, A., 2002. Vegetation history and human impact in the Parika area, Central Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology* 51, 4, 241 – 258.
- Niklasson, M., Lindblad, M., Björkman, L., 2002. A long-term record of *Quercus* decline, logging and fires in a southern Swedish *Fagus-Picea* forest. *Journal of Vegetation Science* 13, 765 – 774.
- Ohlson, M., Tryterud, E., 2000. Interpretation of the charcoal record in forest soils: forest fires and their production and deposition of macroscopic charcoal. *The Holocene* 10, 519 – 525.
- Orru, M., 1995. *Eesti turbasood*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Orviku, L., 1958. Uusi andmeid Võrtsjärve geoloogias. *ENSV Teaduste Akadeemia geoloogia instituudi uurimused* 3, 269 – 292 (vene keeles).
- Parshall, T., Foster, D.R., 2002. Fire on the New England landscape: regional and temporal variation, cultural and environmental controls. *Journal of Biogeography* 29, 1305 – 1317.
- Patterson, W.A., Edwards, K.J., Maguire, D.J., 1987. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews* 6, 3 – 23.
- Pitkänen, A. 2000. Fire frequency and forest structure at a dry site between AD 440 and 1110 based on charcoal and pollen records from a laminated lake sediment in eastern Finland. *The Holocene*, 10, 221 – 228.
- Pitkänen, A., Huttunen, P., Jungner, H., Meriläinen, J., Tolonen, K., 2003. Holocene fire history of middle boreal pine forest sites in eastern Finland. *Annales Botanici Fennici* 40, 15 - 33.
- Pitkänen, A., Lehtonen, H., Huttunen, P., 1999. Comparison of sedimentary microscopic charcoal particle records in a small lake with dendrochronological

- data: evidence for the local origin of microscopic charcoal produced by forest fires of low intensity in eastern Finland. *The Holocene* 9, 5, 559 – 567.
- Poska, A., Saarse, L., Veski, S., 2004. Reflections of pre- and early-agrarian human impact in the pollen diagrams of Estonia. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 209, 37-50.
- Rhodes, A.N., 1998. A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terrestrial and lacustrine sediment cores. *The Holocene* 8, 113 – 117.
- Rose, N.L., 1994. A note on further refinements to a procedure for the extraction of carbonaceous particles from sediments. *Journal of Palaeolimnology* 11, 201 – 204.
- Sarmaja-Korjonen, K., 1992. Fine-interval pollen and charcoal analyses as tracers of early clearance periods in S Finland. *Acta Botanica Fennica* 146, 1 – 75.
- Scott, A.C., 2000. The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 281 – 329.
- Scott, A.C., Cripps, J.A., Collinson, M.E., Nichols, G.J., 2000. The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implications for the interpretation of fossil charcoal deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 1 – 31.
- Simmons, I.G., Innes, J.B. 1996. Prehistoric charcoal in peat profiles at North Gill, North Yorkshire Moors, England. *Journal of Archaeological Science*, 23, 193 – 197.
- Tinner, W., Conedera, M., Ammann, B., Gäggeler, H.W., Gedye, S., Jones, R., Säggesser, B., 1998. Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since AD 1920. *The Holocene* 8, 1, 31 – 42.
- Tipping, R., Milburn, P., 2000. Mid-Holocene charcoal fall in southern Scotland - temporal and spatial variability. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 177 – 193.
- Umbanhowar, C.E., 2004. Interactions of climate and fire at two sites in the northern Great Plains, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 208, 141 – 152.
- Valk, U. 1988. Soode teke ja areng. Rmt: Valk, U. (koost.) Eesti sood. Tallinn “Valgus”, 22 – 42.

- Valk, U., 2005. Eesti rabad. Ökoloogilis-metsanduslik uurimus. Halo kirjastus, Tartu.
- Weng, C., 2005. An improved method for quantifying sedimentary charcoal via a volume proxy. *The Holocene* 15, 298 – 301.
- Whitlock, C., Larsen, C., 2001. Charcoal as a fire proxy. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (eds.). *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: terrestrial, algal, and siliceous indicators*, pp. 75 – 95. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Winkler, M.G., 1985. Charcoal analysis for palaeoenvironmental interpretation: a chemical assay. *Quaternary Research* 23, 313 – 326.
- Zhang, Y. -H., Wooster, M. J., Tutubalina, O., Perry, G. L. W., 2003. Monthly burned area and forest fire carbon emission estimates for the Russian Federation from SPOT VGT. *Remote Sensing of Environment* 87, 1 – 15.

Radiosüsiniku dateeringute kalibreerimisprogramm CalPal 2005_SFPC
[www.calpal.de] 15.05.2006

Summary

The spatial distribution of charcoal in peat and its stratigraphic significance – an example of Meleski bog, Central Estonia

Microscopic charcoal is a key indicator of past fires. The microscopic charcoal analysis is an important component of palaeoecological research. Despite its wide use, there are several uncertainties in theory and methodology of charcoal analysis. Transportation and taphonomy are of crucial significance for interpretation of the charcoal data and reconstruction the actual location and extent of palaeofire. The thesis is aimed to analysing distribution pattern of charcoal in the peat succession of a limited area, for estimating the possibility to use charcoal record in bog sediments as a stratigraphic marker.

Four peat cores were taken from Meleski peat bog. The samples for microscopic charcoal analysis were prepared using the modified nitric acid treatment method. Microscopic charcoal particles were counted and measured on the slides using 200 and 400 x magnification. Two pollen samples were also prepared and analysed and three ¹⁴C analyses performed.

Not less than eight palaeofire events were recorded in the four investigated sediments cores. Charcoal concentration maxima derived from high-intensity local fire events express a distinct areal gradient within the investigated peat bog area. This feature allows to draw the conclusion on the position of the source area of charcoal and serves for approval of the correlation of charcoal maxima in different sections. The results show that the distribution of larger (>170 µm in diameter) charcoal particles derived from local sources may be wider than previously noticed.

One pollen analysis were used to date the basal layer of Meleski peat. The compared results suggest the beginning of fen phase between 6700 – 7000 ¹⁴C y.BP. Some specific features of the charcoal distribution can be interpreted in the context of human influence.