

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Füüsika instituut

LOODUSLIKE JA TEHISLIKE MARKERITE KASUTAMINE TURBA  
DATEERIMISEKS INIMTEGEVUSEST MÕJUTATUD RABAS

Magistritöö

Materjaliteadus

30 EAP

Üliõpilane: Helena Nulk

Juhendajad: Alan Henry Tkaczyk, PhD

Taavi Vaasma, MSc

Helen Karu, PhD

Kaitsmisele lubatud:.....

Juhendaja:.....

Tartu, 2016

Looduslike ja tehislake markerite kasutamine turba dateerimiseks inimtegevusest mõjutatud rabas

### Lühikokkuvõte

Antud magistritöö raames antakse ülevaade erinevatest turba dateerimiseks kasutatavatest meetoditest. Dateeritakse turbaproove kasutades CRS (ingl *constant rate of supply*) meetodit mis on ühtlast plii pealevoolu eeldav dateerimismeetod. Dateerimine viidi läbi kahel Selisoost võetud turbaproovil ning tulemusi võrreldi  $^{137}\text{Cs}$  ja  $^{241}\text{Am}$  markerite ning kerajate lendtuhaosakeste markeritega. Kahe paralleelproovi dateerimistulemused ei langenud omavahel kokku, küll aga langesid ühe proovi tulemused kokku  $^{137}\text{Cs}$  ja tuhaosakeste tulemustega. Saadud tulemustest järeldub, et üks proov dateeriti edukalt, teise proovi puhul paistsid välja kasutatud meetodi kitsaskohad. Tulemuste analüüsi põhjal esitakse soovitusi edasiseks meetodika edukamaks rakendamiseks.

Märksõnad: dateerimine, CRS, Pb-210, Cs-137, kerajad lendtuhaosakesed, raba,

Using natural and artificial markers for dating studies of peat bogs influenced by human activity

### Summary

This master's thesis provides an overview of the most widely used methods for dating studies of recent peat deposits. The work applies a combination of the aforementioned methods to peat samples gathered at Selisoo peat bog. For constant dating results, the CRS (constant rate of supply) method based on  $^{210}\text{Pb}$  was employed. The results from CRS were compared with results from  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , and spheroidal fly ash markers. The CRS results for the two Selisoo peat cores did not match, but the results from one core match dates derived from  $^{137}\text{Cs}$  and spheroidal fly ash data. From the information obtained, it can be concluded that one of the peat cores was successfully dated, while the other core served as an indication of the shortcomings of the methods used. Based on the analysis of the results, suggestions to enhance the validity of the chosen methods are provided.

Key words: age dating, CRS, Pb-210, Cs-137, spherical fly ash particles, bogs

CERCS kood : P220, P500, P510, T270, T510,

## Sisukord

Lühikokkuvõte .....	2
Summary .....	2
Sisukord .....	3
Sissejuhatus.....	5
Radioökoloogia.....	6
Soo .....	7
Turba dateerimine .....	8
<sup>14</sup> C dateerimine .....	8
<sup>210</sup> Pb dateerimine .....	9
<sup>137</sup> Cs ja <sup>241</sup> Am rakendamine dateerimisel .....	11
Kerajate lendtuhaosakeste järgi dateerimine .....	11
Õietolmu järgi dateerimine .....	12
Valituks osutunud meetodid ning markerid.....	12
Proovide ettevalmistus ja mõõtmine .....	13
Proovide võtmine .....	13
Proovide viilutamine.....	14
Lasuvustiheduse määramine .....	15
Proovide pakendamine.....	16
Proovide mõõtmine ning andmete analüüs .....	17
Kerajate lendtuhaosakeste kontsentratsiooni määramine .....	18
Tulemused ja diskussioon .....	19
<sup>210</sup> Pb .....	19
<sup>137</sup> Cs .....	23
Kerajad lendtuhaosakesed.....	24
<sup>241</sup> Am.....	25
Üldised järeldused ja soovitused edasiseks.....	26

Kokkuvõte.....	28
Viited kirjandusele .....	29
Viited veebilehtedele .....	31
Lisad.....	32
Lisa 1 – Tooriumi ( $^{232}\text{Th}$ ) , Uraani ( $^{238}\text{U}$ ) ja Aktiiniumi ( $^{235}\text{U}$ ) lagunemisahelad .....	32
Lisa 2 – Turbaproovi S2.1 arvutustulemused .....	33
Lisa 3 – Turbaproovi S2.2 arvutustulemused .....	34
Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	35

## Sissejuhatus

Lähtudes Euroopa Liidu viimase aja plaanidest vähendada CO<sub>2</sub> tootmist ning liikuda vähese CO<sub>2</sub> heitega (*ingl Low carbon*) majanduse suunas (Euroopa Komisjon, 2011), on oluline mõista süsiniku ringlust keskkonnas. Üheks suureks süsiniku reservuaariks on maailmas sood. Sood katavad umbes 3% Maa pinnast ehk umbes 400 miljonit hektarit. (Strack, 2008) Koos turba kasvuga salvestub soodesse atmosfäärist lisaks CO<sub>2</sub>-le ka teisi kasvuhoonegaase, mis turba lagunemise korral atmosfääri pääsevad, näiteks N<sub>2</sub>O. Selleks, et uurida süsinikuringet soodes, on vaja teada turba kasvukiirust. Piirkondades, mis on tööstuse ja kuivendamise poolt mõjutatud, on muudetud ka turba kasv. Näiteks leeliselise saaste sattumisel sohu on võimalik soo neutraliseerumine ning turba mineraliseerumine. (Kaasik et al., 2003)

Lisaks süsinikuringe uurimisele, annab turvas infot ka taimestiku ja kliima muutuste kohta, võimaldab uurida atmosfäärist pärinevaid saasteühendeid (nt raskmetalle, radionukliide ja lendtuhka) ning uurida ka soo enda kasvumist ja arenemist.

2013. aastal kinnitatud Euroopa Liidu nõukogu direktiiviga 2013/59/EURATOM on määratud muuhulgas nõue kontrollida tööstuseid, mis on seotud looduslike radionukliide sisaldava materjali (NORM – *naturally occurring radioactive materials*) tekkimisega, et kindlaks teha kiiritusolukorrad ning määratleda kiirguskaitse jaoks olulised aspektid. Kuna turbasse koguneb looduses levivaid saasteühendeid, kaasa arvatud radionukliide, võib turba uurimine olla üks võimalikest meetoditest NORM-i tekitava tööstuse mõjuala ulatuse uurimiseks. (Euroopa Liidu Nõukogu, 2013)

Mainitud rakendused vajavad turba täpset ja korratavat dateerimist. Praegu kasutusel olevad radioökoloogilised dateerimismeetodid on rakendatavad suuresti puutumata rabade korral (Bao et al, 2010). Antud töö raames on proovid võetud Selisoost, mis on aga inimtegevusest mõjutatud raba. Sellistes olukordades pole dateerimismeetodite usaldusväärsus teada. Antud töö eesmärgiks on anda ülevaade kasutatavatest dateerimismeetoditest, valida uuritava materjali jaoks sobivaimad lähenemised ning dateerida proovid kasutades valitud meetodeid, lõpuks analüüsida tulemusi ning teha soovitusi edasiste uuringute parendamiseks.

## Radioökoloogia

Radioökoloogia on teadusharu, mis uurib interaktsioone looduse ja selles olevate radioaktiivsete ainete vahel. Radioaktiivsus on ebastabiilsete aatomituumade ja elementaarosakeste iseeneslik lagunemine. Selle tulemusel tekkib ioniseeriv kiirgus. Eristatakse alfakiirgust, ehk positiivse laenguga heeliumi tuuma, beetakiirgust, ehk ebastabiilsest tuumast kiiratud elektroni või positroni, ja gammakiirgust, ehk ebastabiilsest tuumast eraldunud kõrge energiaga footonit.

Ioniseeriva kiirguse allikaid saab jagada loodusliku päritolu ja tehisliseks. Looduslikest allikatest pärit kiirgusdoos on suhteliselt konstantse suurusega ning on mõjutatud kõige rohkem geograafilisest asukohast. Looduslikud radioaktiivsed nukliidid pärinevad kahest allikast – kosmilise kiirguse toimetel atmosfääris tekkivad, näiteks  $^{14}\text{C}$ , ning Maa tekkimise ajast pärit nukliidide, näiteks  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  ja  $^{238}\text{U}$  lagunemisahelatest. Lagunemisahelad on toodud lisas 1. Sõltuvalt pinnase geoloogilistest oludest ning elementide füüsikaliskeemilistest omadustest on mõned elemendid lagunemisahelatest pinnases mobiilsed, mislubi toimub radioaktiivsete isotoopide difusioon. (Galán, 2006)

Lisaks looduslikule kiirgusele satub radioaktiivseid isotoope keskkonda ka inimtegevuse tagajärjel. Igapäevaselt satub atmosfääri kiirgust tööstusest, meditsiinist ja teadusuuringutest. Ühekordsete väga suurte saastekoguste allikateks on olnud tuumarelvade testimised ning õnnetused energiajaamades. (Galán, 2006)

Inimtegevuse läbi on tõstetud ka looduslikult esinevate isotoopide väljakanne pinnasest ja maavaradest. Üheks selliseks näiteks saab tuua põlevkivitööstust. Põlevkivi kaevandamisel tuuakse pinnale põlevkivi, mis sisaldab looduslikult mitmeid radioaktiivseid isotoope, näiteks  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ , jne, mis põletamisel osaliselt atmosfääri emiteeritakse. (Vaasma et. al. 2014)

## Soo

Soode puhul on tegemist märgaladega, kus turbakiht on vähemalt 30 sentimeetri paksune ning selle akumulatsioon ei ole peatunud. Lähtuvalt oma arengust, saab soid jagada madal-, siirde- ja kõrgsooks ehk rabaks, kus madalsoos on turbakihi paksus kõige väiksem ning rabas kõige suurem. (Paal, Leibak, 2013)

Kui madalsoos on turba kiht piisavalt õhuke ning taimede juured ulatuvad läbi turbakihi veeni, siis kõrgsoos on taimede ainuke vee ja mineraalide allikas turvas, milles olev vesi ja toitained on pärit sademeveest ja õhus levivatest osakestest. Selliste karmide tingimuste tõttu on kõrgsoo küllaltki liigivaene. (Gorham, 1991)

CO<sub>2</sub> sidumine toimub soodes fotosünteesil, lisaks ladestub orgaaniline aine turbana. (Gorham, 1991). Turba ladestumine on väga aeglane, hinnanguliselt ligi 1 mm aastas (Durno, 1961), ning sõltub tugevalt keskkonnatingimustest. Veerohkemal ajal võib intensiivistuda turbasambla kasv, mis läbi suureneb ka turba akumulatsioon. Kuivemal ajal turbasambla kasv aeglustub ning ebasoodsate tingimuste korral võib turba mass vähenema hakata. Veetaseme alanemisel, näiteks kuivendamise tõttu, hakkab toimuma turba mineraliseerumine, mille läbi võib soo muutuda CO<sub>2</sub> siduja asemel selle allikaks. Näiteks Eesti rabade ja siirdesoode kuivendamise tagajärjel on nendelt lähtuv kasvuhoonegaaside CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O summaarne emissioon CO<sub>2</sub> ekvivalentidesse ümberarvutatuna 2.3 kuni 2.7 korda suurem võrreldes kuivendamata soodega, mistõttu võib kuivendatud Eesti soid nimetada juba CO<sub>2</sub> allikateks. (Kimmel et al., 2009).

Aegamisi kasvav turbakiht talletab endasse infot ümbritseva keskkonna kohta, näiteks tuulega kohale kantud õietolmu või radioaktiivse sademe näol, ning on seetõttu kasulik „loodusarhiiv“. (Eesti märgalade Ühing) Selliselt salvestatud info on kombineeritult kasutatav ka turba dateerimiseks.

## Turba dateerimine

Turba dateerimiseks on kasutusel mitmeid meetodeid. Kuna meetodite usaldusväärsus sõltub paljudest parameetritest, näiteks proovide võtmine ja dateerimiseks kasutatav mõõtmismetoodika, kasutatakse tihti mitmete üksteisest sõltumatute meetodite kombinatsioone, et suurendada tulemuste usaldusväärsust. (Van Der Plicht et al., 2013) (Rose, Appleby, 2005) Põhiliseks probleemiks dateerimise juures on see, et turba sügavus ei ole vanusega lineaarselt seotud, kuna turbas toimub massi akumulatsioon ning vähesel määral orgaanilise massi lagunemist. (Turetsky, Manning, Wieder, 2004)

Dateerimise meetodid saab jagada pidevateks ja diskreetseteks. Pideva meetodi korral määratakse dateerimisel vanus igale turbakihi sügavusprofiilis. Diskreetse meetodi korral on turba sügavusprofiilis võimalik kindlaks määrata kindlad ajahetked ning seeläbi määrata vastava kihi vanus. Diskreetse meetodi korral ei ole võimalik saada infot kogu sügavusprofiili kohta, küll aga üksikute sündmuste kohta. (Turetsky, Manning, Wieder, 2004)

Peamised meetodid turba dateerimiseks on (Turetsky, Manning, Wieder, 2004):

- $^{14}\text{C}$  või  $^{210}\text{Pb}$  järgi dateerimine,
- atmosfäärist sadenenud tehnogeensete isotoopide järgi dateerimine (näiteks  $^{241}\text{Am}$  ja  $^{137}\text{Cs}$ ),
- kerajate lenduhaosakeste järgi dateerimine,
- sambla juurdekasvu järgi dateerimine,
- õietolmu järgi dateerimine jt.

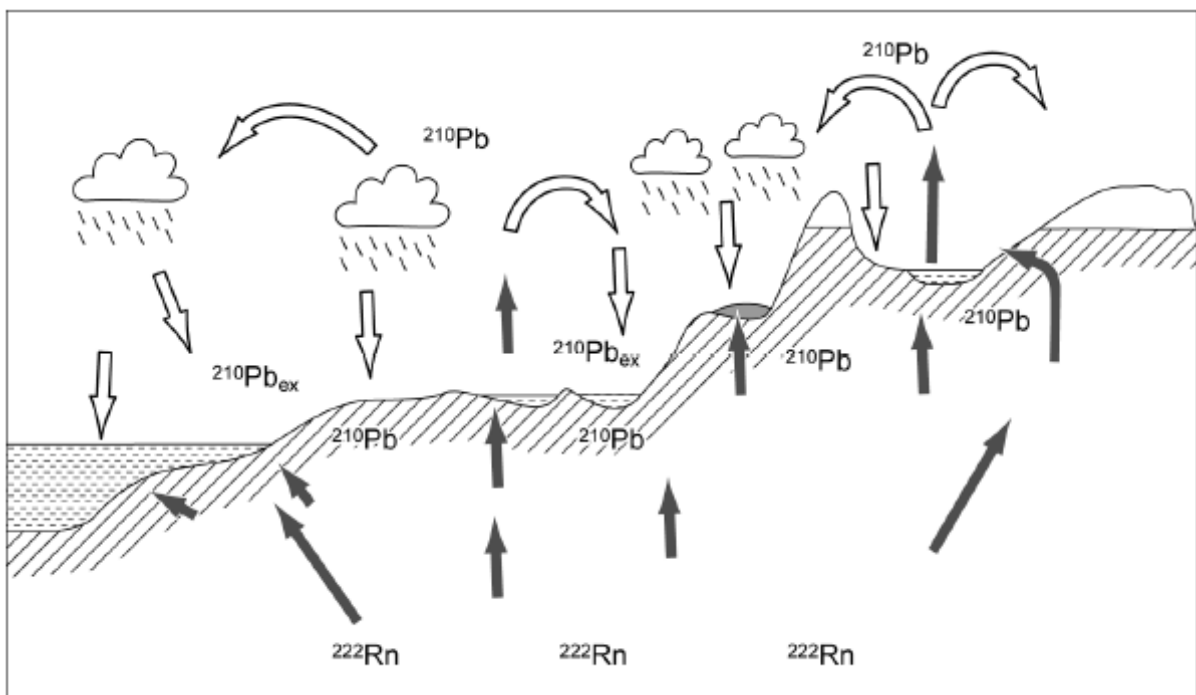
## $^{14}\text{C}$ dateerimine

Radioaktiivse süsiniku järgi dateerimine on üks tuntumaid pidevaid dateerimise meetodeid, millega on võimalik määrata vanust väga suures ajavahemikus, kuni ligi 50 000 aastat.  $^{14}\text{C}$  toodetakse kosmilise kiirguse toimel atmosfääri ülemistes kihtides  $^{14}\text{N}$  lagunemisel, kust see  $\text{CO}_2$ -na madalamatesse kihtidesse jõuab.  $\text{CO}_2$ -na sattub radioaktiivne süsinik orgaanilisse massi ning iga 83 aastaga väheneb tema kontsentratsioon 1% võrra. Tänu põhjalikele  $^{14}\text{C}$  sadenemise andmetele on võimalik tema kontsentratsiooni läbi määrata proovi vanust. Elavas massis on  $\text{CO}_2$  aga mobiilne ning muudab seeläbi proovide mõõtmise keerulisemaks. Samuti on vajalik kas väga pikk mõõteaeg, ligi nädal ühe proovi jaoks, või kallid mõõteseadmed, näiteks kasutatakse AMS (ingl *Accelerator mass spectrometry*) ehk kiirendiga mass-spektromeetrit. (Turetsky, Manning, Wieder, 2004) (Vandergoes, Prior, 2003) (Blaauw, 2004)



## $^{210}\text{Pb}$ dateerimine

Plii on keemiline element järjekorranumbriga 82 ning kuulub raskemetallide hulka. Pliil on 4 stabiilset isotoopi, millest 3 on  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ja  $^{232}\text{Th}$  lagunemisahelate (lisas 1) lõpust ning üks on pärit Maa tekkimise ajast.  $^{210}\text{Pb}$ , üks mitmetest radioaktiivsetest plii isotoopidest, on poolestusajaga 22.23 aastat ning pärineb  $^{238}\text{U}$  lagunemisahelast. Atmosfääri jõuab  $^{210}\text{Pb}$   $^{238}\text{U}$  liikuvate tütarisotoopide (radooni) difusiooniga. Radoon ( $^{222}\text{Rn}$ ) on gaasiline element, mis  $^{210}\text{Pb}$ -ks laguneb ning seeläbi jõuab  $^{210}\text{Pb}$  nii pinnase ülemistesse kihtidesse kui ka atmosfääri. Seejärel sadeneb  $^{210}\text{Pb}$  kuiv- ja märgsadenedamisega pinnale. Seda protsessi on kujutatud ka joonisel 1. Sellisel kujul jõuab igal aastal keskmiselt sama kogus  $^{210}\text{Pb}$  atmosfääri. (Le Roux, Marshall, 2010) Selleks, et eristada pinnasest ja atmosfäärist pärit  $^{210}\text{Pb}$ -d, määratakse proovis oleva  $^{226}\text{Ra}$  aktiivsuskontsentratsioon kaudselt  $^{214}\text{Pb}$  järgi, sest  $^{226}\text{Ra}$  on pinnases  $^{210}\text{Pb}$  allikaks.  $^{210}\text{Pb}$  on proovist mõõdetav kas otse gamma kiirguse läbi, energiaga 46.5 keV või beetakiirguse läbi, alfakiirgava tütre  $^{210}\text{Po}$  järgi või beetakiirgava  $^{210}\text{Bi}$  järgi. (Appleby, Oldfield, 1978) (Laraweb)



Joonis 1-  $^{210}\text{Pb}$  ringlus keskkonnas (Le Roux, Marshall, 2010)

$^{210}\text{Pb}$  dateerimise puhul on tegemist pideva dateerimismeetodiga.  $^{210}\text{Pb}$  poolestusajast (22.23 aastat) tingituna, on võimalik mõõta kuni 150 aasta vanuseid proove. Ajaline piirang tuleb sellest, et 7 poolestusaja möödudes on algsest kontsentratsioonist alles alla 1%.  $^{210}\text{Pb}$  abil turba

dateerimiseks on põhiliselt kasutusel praegu kolm meetodit – CIC, CRS ja CF:CS. (Turetsky, Manning, Wieder, 2004)

CIC – esialgsel konstantsel kontsentratsioonil (ingl *constant initial concentration*) põhinev mudel eeldab, et  $^{210}\text{Pb}$  kogus pinnases on proportsionaalselt seotud kogu kuivmassi kasvamisega, ehk mida rohkem on kasvanud kuivmass, seda rohkem on pinnases ka  $^{210}\text{Pb}$ . See meetod on küll turba dateerimiseks kohati kasutusel, kuid põhiliselt on see sobivam siiski setete dateerimiseks, kuna ei arvesta turbas toimuva orgaanilise lagunemisega. Proovides, kus turba kasvukiirus pole arengu jooksul tugevalt kõikunud, on tegemist sobiva meetodiga. (Shukla, Joshi, 1989)(Turetsky, Manning, Wieder, 2004) (Lubis, 2006) (Appleby, Oldfield, 1978)

CRS – on meetod, mis põhineb eeldusel, et pinnale sadenev  $^{210}\text{Pb}$  kontsentratsioon on pidev (ingl *constant rate of supply*). Sellest eeldusest lähtudes arvestatakse kogu atmosfääri kaudu saadud  $^{210}\text{Pb}$  kontsentratsiooni pinnases ning lähtudes ühe kihi kontsentratsioonist kogu kontsentratsiooni suhtes on võimalik leida selle kihi vanus. Meetodi juures on aga oluline piisavalt sügav proov võtta, kuna kogu atmosfääri kaudu saadud  $^{210}\text{Pb}$  kontsentratsioon arvutatakse, summeerides kõigi kihtide kontsentratsioonid. Kui proovi sügavamates kihtides ei ole  $^{210}\text{Pb}$  aktiivsuskontsentratsioon võrdsustunud  $^{226}\text{Ra}$  aktiivsuskontsentratsiooniga, on arvutatav kogu atmosfääri kaudu saadava  $^{210}\text{Pb}$  kontsentratsioon väiksem tegelikust ning tulemused ei ole korrektsed. Varasemates uuringutes on saavutatud tasakaal  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{226}\text{Ra}$  vahel sügavustel, kus turba kumulatiivne mass on 2.9-3.3 g/cm<sup>2</sup>, mis vastab sügavustele 30-60 cm. (Appleby, Shotyk, Fankhauser, 1997) Erinevalt CIC meetodist, arvestab CRS ka orgaanilise massi lagunemise ja turba tihenemisega, mis läbi annab vastav mudel täpsemaid tulemusi ka soodes, kus turba kasvukiirus ei ole arengu jooksul ühtlane olnud. CRS mudeli loomisest alates on tegeletud ka selle arendamisega ning praeguseks on välja töötatud mitmed CRS-il põhinevat dateerimismeetodi, näiteks CRS-MV (ingl – *constant rate of supply - minimum variances*) ja IP-CRS (Olid et al, 2016) (ingl *initial penetration - constant rate of supply*). (Turetsky, Manning, Wieder, 2004) (Appleby, Oldfield, 1978)

CF:CS – konstantsel pealevoolul ja konstantsel akumulatsioonikiirusel (ingl *constant flux, constant sedimentation rate*) põhinev mudel. Konstantset pealevoolu ning akumulatsioonikiirust eeldades on  $^{210}\text{Pb}$  seos sügavusega eksponentsiaalne. Meetod on põhiliselt kasutusel setete dateerimiseks, kuid üksikutel juhtudel sobib ka turbale. (Lubis, 2006)

## $^{137}\text{Cs}$ ja $^{241}\text{Am}$ rakendamine dateerimisel

Nii  $^{137}\text{Cs}$  kui  $^{241}\text{Am}$  järgi turba vanuse määramine on diskreetne dateerimismeetod, mille läbi on võimalik kindlaks määrata spetsiifilisi aastaid dateerimise ajaskaalal.  $^{137}\text{Cs}$  on inimtekkeline radionukliid, mis pärineb tuumakatsetustest ja tuumaõnnetustest. Tseesiumi kasutamine dateerimiseks põhineb teadaolevatel kontsentratsioonipiikidel, Eesti põhjaosas on näha näiteks Tšernobõli katastroofist pärit saaste piik 1986. aastast. (Lust, Realo, 2012) (Galán, 2006) (Turetsky, Manning, Wieder, 2004)

Sõltuvalt pinnase tingimustest võib tseesium pinnases migreeruda ja hajuda. Kuna tseesium sarnaneb oma omadustelt kaaliumiga, mida taimed toitaineina kasutavad, seondub ka tseesium bioloogilistes süsteemides. Selle tõttu transporditakse tseesiumit korduvalt läbi taime juurte maapealsetesse osadesse ning hiljem ladestub see uuesti surnud taimedega pinnases. Sellest tingituna on näha suurenenud  $^{137}\text{Cs}$  kontsentratsiooni pinnase ülemistes kihtides. Kõrgema mineraalisisaldusega turbas on nähtud  $^{137}\text{Cs}$  mobiilsuse vähenemist, luues seeläbi tingimused  $^{137}\text{Cs}$  kasutamiseks dateerimisel. (Appleby, Oldfield, 1978) (Turetsky, Manning, Wieder, 2004) (Galán, 2006) (Van Der Plicht et al., 2013)

$^{241}\text{Am}$  jõuab keskkonda läbi  $^{241}\text{Pu}$  lagunemise. Viimane on kasutuseks tuumapommide valmistamisel ning satub keskkonda tuumakatsetuste kaudu. Eesti aladel on  $^{241}\text{Am}$  leitav Novaja Zemlja tuumakatsetuste tõttu.  $^{241}\text{Am}$  on pinnas vähem liikuv kui  $^{137}\text{Cs}$ , mis läbi on tema kasutamine dateerimiseks kindlam.  $^{241}\text{Am}$  madalamate sadenemishulkade tõttu on tema tuvastamine proovides aga keerukam ning vajab tundlikumaid mõõtmismetoodikaid võrreldes  $^{137}\text{Cs}$ -ga (Turetsky, Manning, Wieder, 2004) (Appleby, Shotyk, Fankhauser, 1997)

## Kerajate lendtuhaosakeste järgi dateerimine

Kerjad lendtuhaosakesed (SFAP – ingl *spherical fly ash particles*), mis jagunevad sfäärilisteks süsinikosakesteks (SCP – ingl *spheroidal carbonaceous particles*) ning anorgaanilisteks tuhakeradeks (IAS – ingl *inorganic ash spheres*), on kõrgel temperatuuril fossiilsete kütuste mittetäielikul põlemisel tekkiv lendtuha komponent. Põlevkivi tuhas on põhiliselt leida anorgaanilisi kerajaid tuhaosakesi. Kuna tegemist on vaid fossiilsete kütuse põlemisel tekkiva osakesega, on SFAP puhul tegemist sobiva markeriga fossiilsete kütuste kasutamise mõjualas. SFAP säilivad setetes ja turbas. Tegemist on diskreetse meetodiga, millega on võimalik määrata ajalisi muutusi lendtuha atmosfäärsete emissioonide osas. Osakeste lugemiseks on võimalik kasutada nii kalibratsiooniosakesi, mille koguse järgi loetavas osas saab leida tuhaosakeste kontsentratsiooni, kui ka identselt ettevalmistatud proove, milles saab

lahjendamisparameetrite järgi leida kogu proovi tuhaosakeste kontsentratsiooni. (Rose, Appleby, 2005) (Swindles, 2010) (Turetsky, Manning, Wieder, 2004)

### Õietolmu järgi dateerimine

Õietolmu järgi on võimalik turbaproove dateerida kahte moodi. Pidev meetod on turbaproovides mõõta fossiilse õietolmu kogust. Tegemist on levinud dateerimismeetodiga paleoökoloogias, paleoklimatoloogias ja arheoloogias. Eeldatakse, et õietolmu tootmine varasematel liikidel toimus sarnaselt praeguste taimedega ning ürgsete taimede genotüüp oli sarnane praeguste taimede omale. (Turetsky, Manning, Wieder, 2004)

Diskreetne meetod õietolmu järgi dateerimises on seotud kasvatatavate taimedega proovi võtmise piirkonnas. Proovides uuritakse kindlate taimede õietolmu kontsentratsiooni muutuseid nende leviku ja kasutamise suhtes. Kui on teada mingil kindlal ajal toimunud muutus kasutamises, näiteks kasvatamise lõpetamine, on võimalik selle järgi määrata selle proovikihi vanus, kus antud taimeliigi õietolmu enam ei olnud. (Appleby, Shotyk, Fankhauser, 1997)

### Valituks osutunud meetodid ning markerid

Eelkirjeldatud meetoditest valisime turba dateerimiseks  $^{210}\text{Pb}$  põhineva CRS meetodi, kuna selle eeldused sobivad antud rakenduse jaoks kõige paremini ning meetod annab pideva dateerimistulemuse. Lisaks CRS meetodile kasutame diskreetsete punktide määramiseks  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  ja kerajate tuhaosakeste järgi dateerimist.  $^{137}\text{Cs}$  on Eesti aladele sattunud Tšernobõli katastroofist,  $^{241}\text{Am}$  tuumakatsetustes Novaja Zemljas ning kerajad tuhaosakesed pärinevad põlevkivitööstusest.

Tulenevalt turba kui uuritava materjali iseärasustest (selge tiheduse muutus sügavuse suurenedes; orgaanika kadu aja jooksul) on edukaks dateerimiseks vaja rakendada erinevaid üksteisest sõltumatuid markerühendeid. Antud töös on uuritavaks objektiks valitud inimtegevusest mõjutatud turbaala, mis muudab dateerimise veelgi väljakutsuvamaks. Kaasates kerajad tuhaosakesed antud hinnangutesse, püütakse leida parim kombinatsioon valitud markerite ning dateerimismeetodite vahel, tagamaks võimalikult täpsed tulemused.

## Proovide ettevalmistus ja mõõtmine

### Proovide võtmine

Anud töö käigus uuritud proovid on pärit Selisoost. Selisoo valiti uurimiseks, kuna seal on nii inimtegevusest mõjutatud kui ka mõjutamata piirkondi. Lisaks on varasemalt seda piirkonda põhjalikult uuritud põlevkivitööstuse läheduse tõttu, kuid turba juurdekasvu ning dateerimise andmed on puudu. Nagu on kirjeldatud Hangi jt. (2009) aruandes Selisoo kohta, asub Selisoo Ida-Virumaal, põhjast ( $59^{\circ}12'44''$ ) lõunasse ( $59^{\circ}08'50''$ ) ja läänest ( $27^{\circ}14'33''$ ) itta ( $27^{\circ}18'37''$ ), paiknemist on näha joonisel 2. Selisoo on Muraka soostiku idapoolne lahustükk pindalaga 2051 ha. Lähimad asulad on Mäetaguse alevik ning Metsküla. Tegemist on Natura 2000 alaga. Soo piirid on selgelt defineeritud läänest ja kagust, vastavalt Mäetaguse oosi ja madala liivaseljäandikuga, põhja-, ida- ja lõunapiir on kuivenduste tõttu ebamääraseid. Reljeefi üldise lõuna suunalise kalde tõttu dreeneeritakse Selisood lõuna suunas kuivenduskraavide kaudu Milloja jõkke lähedal asuvate tööstuste huvides. Suurimat mõju on avaldanud rabale kuivendamine 1950ndatel-1970ndatel loodud kuivendussüsteemide tõttu, eriti idaosas, kus lisaks kuivendamisele on läheduses ka turba- ning põlevkivi kaevandused. Raba pealispind on suuresti lauge ning ulatub kuni 3 m ümbritsevast tasandikust kõrgemale. (Hang et al., 2009)



Joonis 2 - Selisoo paiknemine (Hang et al., 2009)

Selisoost võeti kaks risttahuka kujulist turbasüdamikku, esimene tähisega S2.1 ning mõõtmetega 26 cm x 28 cm x 43 cm, teine tähisega S2.2 ning mõõtmetega 25 cm x 24 cm x

48 cm. Paralleelproovid nimetustega S2.1 ja S2.2 on võetud asukohast 59°10'29.27"N ja 27°15'5.49"E, mis jääb soo läänepoolsesse serva, 2014. aasta 19. augustil. Joonisel 3 on näha proovide võtmispaikade ümbrust. Valitud on lagedam ala, kus puurinne on hõredam. Lähimad kuivenduskraavid jäävad vähemalt 400 m kaugusele nende mõju vähendamiseks. Välditud on laukaalasid ning ebatasasusi pinnal.



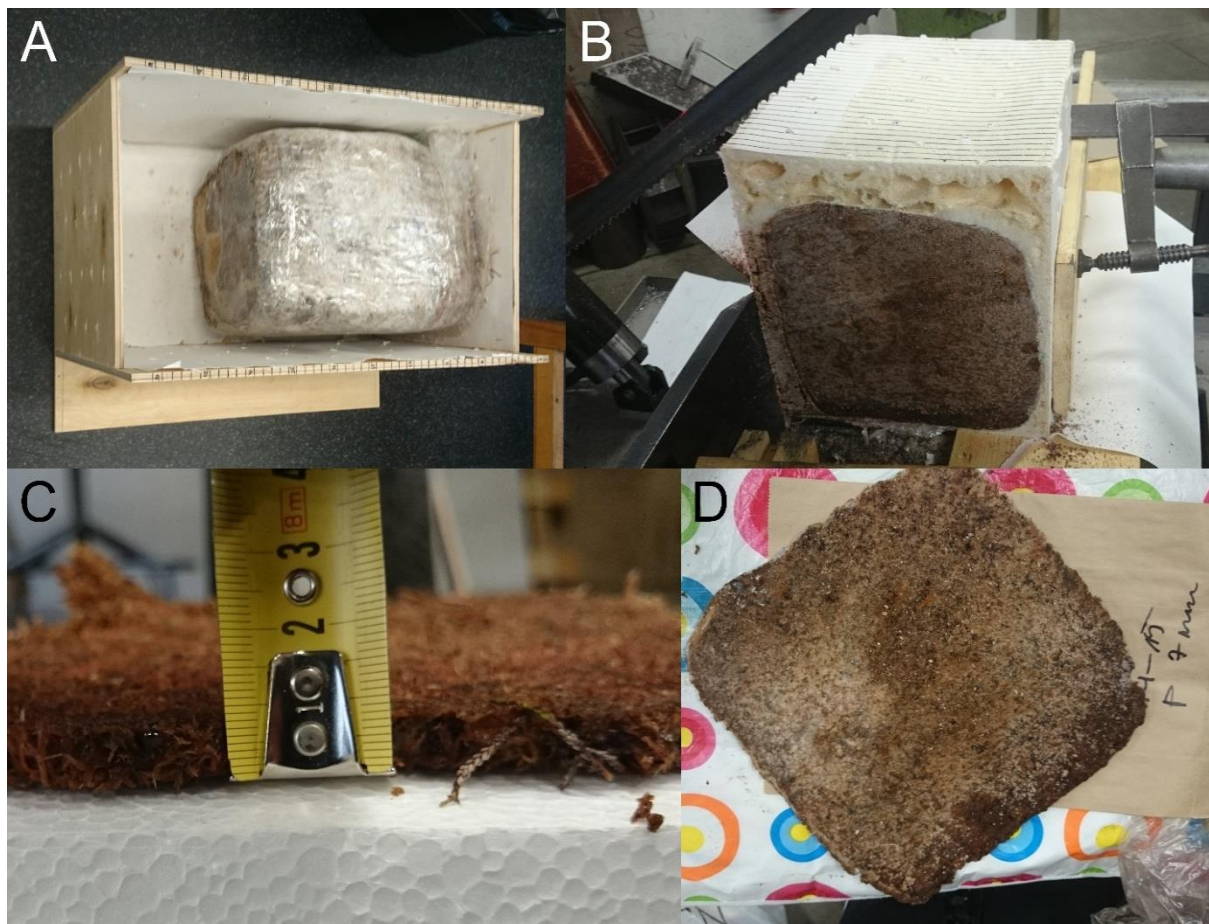
Joonis 3 - Proovivõtukoha ümbruskond. Pildil A ja B on näha proovi S2.1 ja S2.2 ümbrust.

Proovide võtmiseks kaevati proovi ümbrus lahti ning seejärel lõigati pikateralise noaga soovitud mõõtmete saavutamiseni. Seejärel toetati südamik plaadile ning tõsteti august välja. Pärast proovi kätte saamist mõõdeti see üle ning pakendati kilesse. Kirjeldatud meetod valiti, lähtudes vajadusest võtta suurema massiga proov  $^{241}\text{Am}$  ja  $^{137}\text{Cs}$  määramiseks.

### Proovide viilutamine

Saadud proovid külmutati ja viilutati 1 cm paksusteks ristkülikuteks, ülemised kihid, mis sisaldasid ka elusat turvast, lõigati paksemad. Viilutamise jaoks ehitati kast, milles külmutatud proovid fikseeriti ehitusvahuga, et saavutada ühtlaste mõõtmetega risttahukas lõikamise lihtsustamiseks. Ehitusvahu peale märgiti ära sentimeetrine samm, mille tagant lõigata. Proovide lõikamine toimus Tartu Teaduspargi Protolab'is, kus need viilutati tööstusliku

lintsaega Bomar Transvers 510.330 DGH (BOMAR). Peale lõikamist mõõdeti üle saadud kihtide paksus ning kõik kihid pakendati ükshaaval kottidesse. Joonisel 4 on näha pildil A turbasüdamikku valmisatud kastis, pildil B vahuga fikseeritud turbasüdamikku saagimise ajal kinnitatuna sae raamile ning pildidel C ja D näeb saadud viile. Pildil C on näha, et kihid on lõikamise tõttu õhemad kui 1 cm, mistõttu tuli kihtide paksus üle mõõta enne edasisi toiminguid. Kihtide sügavusvahemik ning paksus märgiti kottidele, mida on näha pildil D.



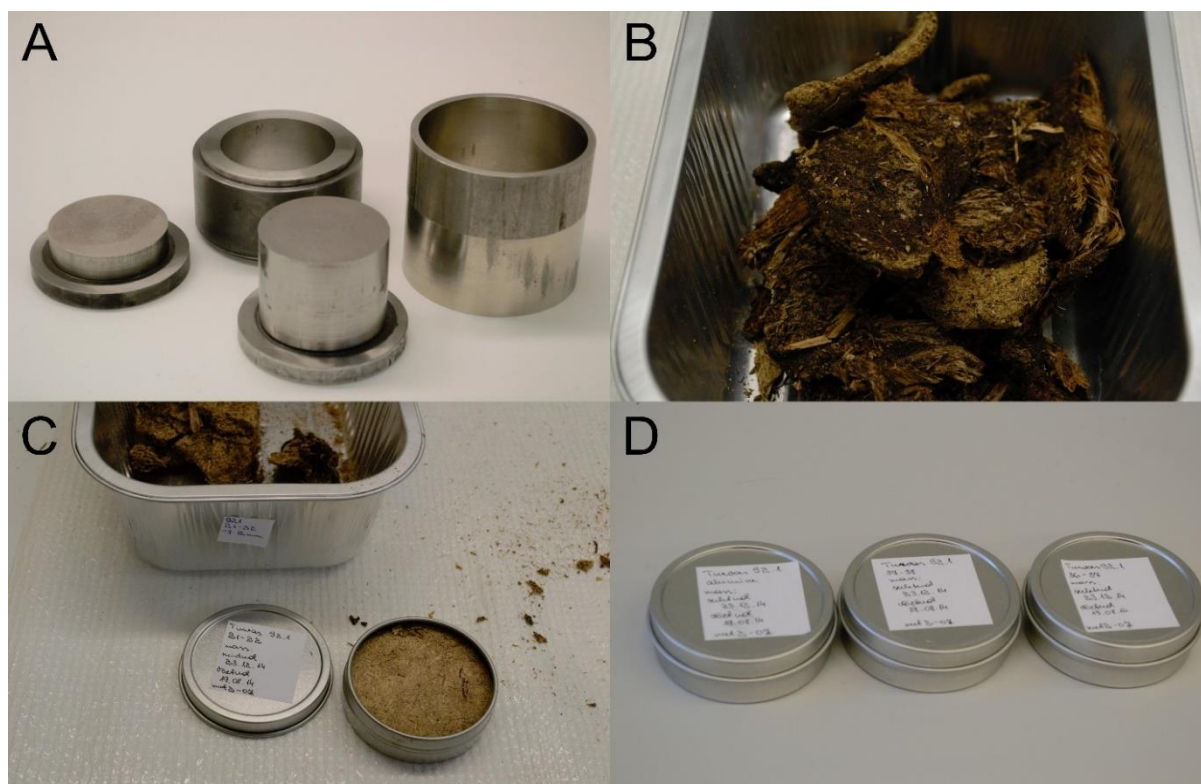
Joonis 4 - Turbasüdamike viilutamine. A - viilutamiseks valmistatud kast, milles on näha kilesse pakitud turbasüdamikku, B - vahuga fikseeritud turbasüdamik kinnitatud sae raamile, C ja D - lõigatud viilud peale ehitusvahust ja kilest puhastamist.

### Lasuvustiheduse määramine

Lasuvustihedus on pinna tiheduse kirjeldamiseks kasutatav suurus, mis näitab ühe  $\text{cm}^3$  märgruumala kohta pinnase kuivmassi. Lasuvustiheduse määramiseks võeti saadud viiludest alamproovid. Igast kihist lõigati 93 millimeetrise läbimõõduga kettad, kasutades selle jaoks metallist terava äärega silindrit. Esmalt määrati ketaste märgruumala, seejärel kettad kuivatati  $60^\circ\text{C}$  juures konstantse massini ning määrati nende kuivmass. Sarnaselt kuivatati ka ülejäänud osa proovidest. Saadud andmetest leiti lasuvustihedused, mis on toodud lisades 2 ja 3.

## Proovide pakendamine

Proovide pakendamiseks kuivatati proove veel 24 h kuivatuskapis 105° C juures. Peale kuivatuskapist välja võtmist pandi proovid jahtuma eksikaatorisse, et vältida jahtumisel veeauru kondenseerumist proovile. Seejärel pressiti proovid mehaanilise õlipressiga tablettideks ning pakendati 57 cm<sup>3</sup> mahuga metallist topsidesse. Proovi massi määramiseks kaaluti tühja ja täis topsi ning leiti vahe. Aktiivsuskontsentratsioonide leidmiseks kasutatava gammaspetsimeetria kalibreerimiseks kasutatakse sama geomeetriaga kalibratsiooniproove. Kõrguste erinevusest tulenevate ebatäpsuste vältimiseks mõõdetakse proovi kõrgus topsis. Proovi kõrguse määramiseks mõõdeti enne topsi sulgemist üle topsi ülemise servani jäänud tühi ruumala. Kuna kasutame <sup>226</sup>Ra mõõtmiseks radooni tütar nukliide, on oluline proovide õhukindel pakendus <sup>222</sup>Rn emanatsiooni vältimiseks topsist. Proovide õhukindluse tagamiseks täideti topsi ja kaane vaheline pilu plastiliiniga ning kaeti isoleerteibiga. Enne mõõtmist seisid proovid vähemalt 30 päeva suletuna mõõdetavate nukliidide vahelise tasakaalu tekkimiseks. Joonisel 5 on näha proovide pakendamisega seotud pilte. Pildil A on näha turbaproovide pakendamiseks kasutatud tabletipressi vormi, pildil B on kuivatatud proovi kiht vahetult enne pakendamist, pildil C on näha pressitud tabletti topsis ja pildil D on näide suletud proovitopsidest enne isoleerimist.



Joonis 5 - Turbaproovide pakendamine. A - kasutatud tabletipressi vorm, B - kuivatatud turbaroov enne pressimist, C - osaliselt topsi pakitud turbaroov, D - pakendatud proovid enne plastiliini ja isoleerteibiga katmist.



## Proovide mõõtmine ning andmete analüüs

Proovide mõõtmiseks kasutati süsinik epoksiid aknaga, laia energiavahemikuga ning puhta germaaniumkristalliga detektoriga (ingl *The Broad Energy Germanium detector*, BEGe) Canberra gammaspetsimeetrit mudel BE3830-P. (CANBERRA) Valitud meetod on mittedestruktiivne ning proovide ettevalmistamine ja töötlemine on lihtsam võrreldes mitmete teiste radioanalüütiliste meetoditega (alfaspetsimeetria, vedelikstsintillatsioon). Proove mõõdeti keskmiselt 24 h lugemisajaga, lisaks sooritati igale proovile ka  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{241}\text{Am}$  punktallikaga 900 sek lisamõõtmise omaneeldumisparandite leidmiseks, et hinnata kiirguse hajumist proovimaatriksis. Ameriitsiumi aktiivsuse määramiseks mõõdeti 48 h lugemisajaga üle proovid, milles paistis ameriitsiumi olema. Saadud spektrite analüüsiks kasutati GammaVision tarkvara mudel A66-B32 Windows operatsioonisüsteemidele (ORTEC), mille abil määrati aktiivsuskontsentratsioonid huvi pakkuvatele isotoopidele -  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{241}\text{Am}$  ja  $^{137}\text{Cs}$ , samuti ka  $^{214}\text{Bi}$  ja  $^{214}\text{Pb}$   $^{226}\text{Ra}$  ning sellega koos pinnasest pärineva plii hindamiseks.

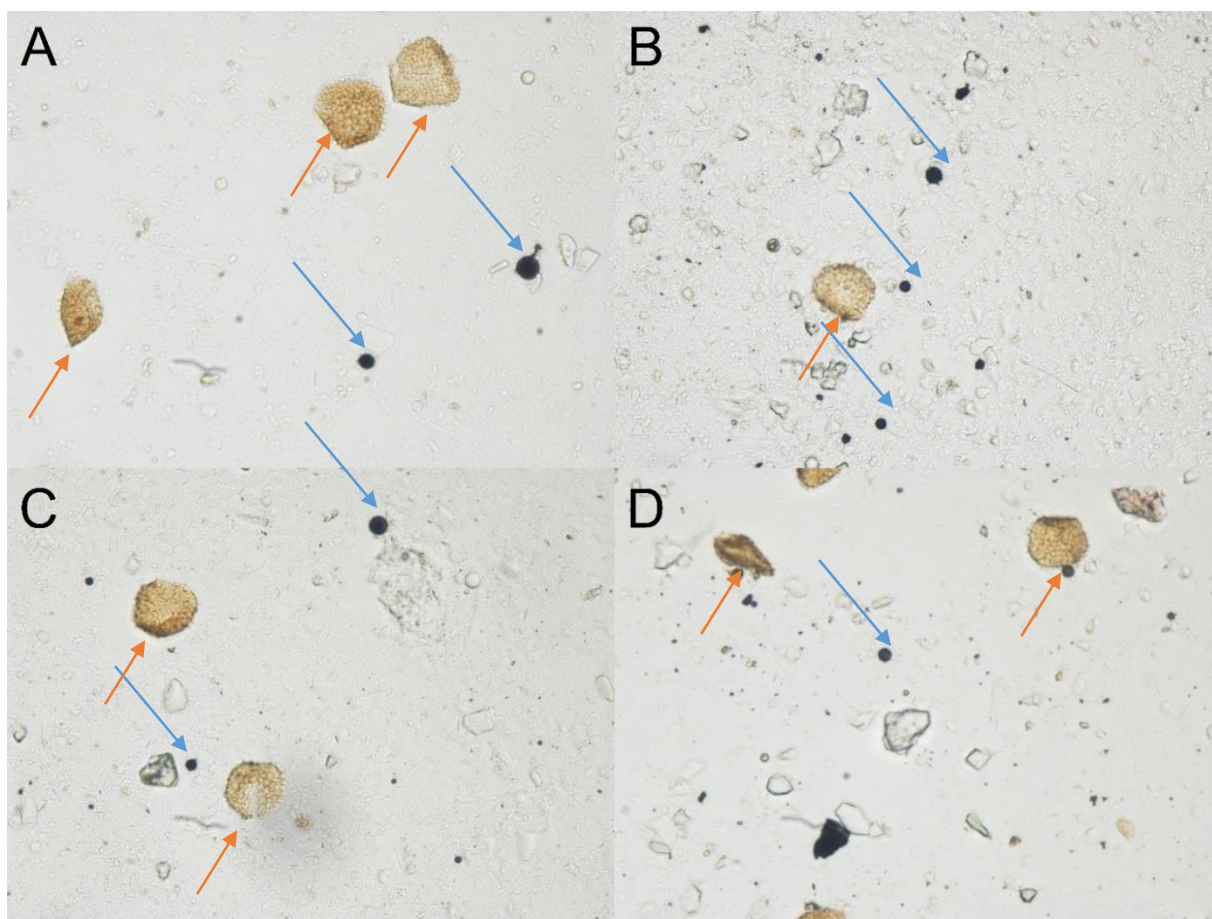
Aktiivsuskontsentratsioonide leidmiseks kasutati isotoopidele vastavaid energiapiike:

- $^{210}\text{Pb}$ - 46.54keV piigi järgi,
- $^{137}\text{Cs}$  661.66 keV piigi järgi,
- $^{241}\text{Am}$  59.54 piigi järgi,
- $^{214}\text{Bi}$  1764.94 keV piigi järgi ning
- $^{214}\text{Pb}$  295.22 keV, 242.00 keV ning 351.93 keV piikide järgi.

Omaneeldumisparandid on proovimaatriksit kirjeldavad suurused, mis näitavad kui suur osa kiirgusest neeldub konkreetses proovis. Kuna omaneeldumine proovis on seotud proovi tihedusega ja isotoobi lagunemisel vabaneva footoni energiaga, on vaja tulemuste ühtlustamiseks leida kõigi isotoopide jaoks neeldumine proovides. Omaneeldumisparandite arvutamiseks vastavale proovile, arvestatakse kiirguse intensiivsuse vähenemist proovi läbimisel võrreldes kalibratsiooniprooviga. Omaneeldumisparandite arvutamiseks  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{241}\text{Am}$ -le kasutati tabelarvutus-programmi Excel, kus võrreldi mõõdetud aktiivsuskontsentratsioone punktallikaga sooritatud mõõtmistega.  $^{137}\text{Cs}$  omaneeldumisparandid arvutati kasutades EFFTRAN rakendust. EFTRAN on pool-empiiriline Windows platvormil läbi Exceli kasutatav rakendus silindriliste detektorite ja proovide jaoks.

## Kerajate lendtuhaosakeste kontsentratsiooni määramine

Kerajate lendtuhaosakeste lugemiseks avati proovitopsid ning nendest võeti ligikaudu 0,2 grammi proovi. Proovide lahustamiseks kuumutati neid 90°C juures 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> lahuses turba lagunemiseni. Järelejäänud osakesed tsentrifugeeriti peroksiidist ning segati destilleeritud veega. Segusse lisati ka koldade (*Lycopodium*) perekonda kuuluva taime eostega tablett, milles on tableti kohta keskmiselt  $12\,542 \pm 3.3\%$  eost. Tableti lahustamiseks lisati 2.7M HCl lahust, mis segust destilleeritud veega välja pesti. Segust valmistati preparaat, mida seejärel valgusmikroskoobi Nikon Eclipse 50i (Nikon) abil vaadati. Enamik proovi pindalast vaadati skaneerivalt üle, lugedes kokku kõik kerajad osakesed ning eosed. Sõltuvalt eoste arvust ja kasutatud proovi massist leiti tuhaosakeste kontsentratsioon proovis. Joonisel 6 on kujutatud loetud eosed, kollased osakesed punaste nooltega, ning kerajad lendtuhaosakesed, mustad ringid siniste nooltega. Pildidel näha olevad läbipaistvad ebaregulaarse äärega osakesed on need, mis proovi lahustamisest lisaks tuhaosakestele alles jäid.

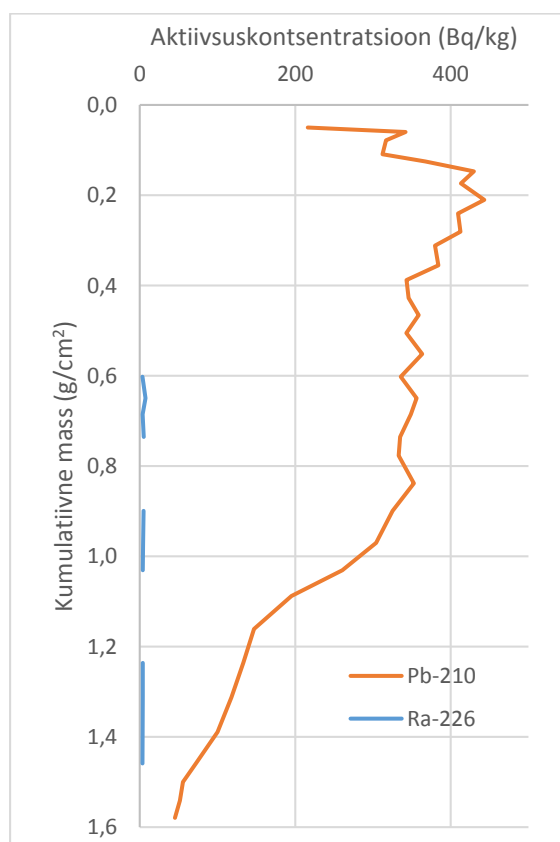


Joonis 6- kerajad lendtuhaosakesed, mis on viidatud siniste nooltega, ja eosed, mis on viidatud punaste nooltega.

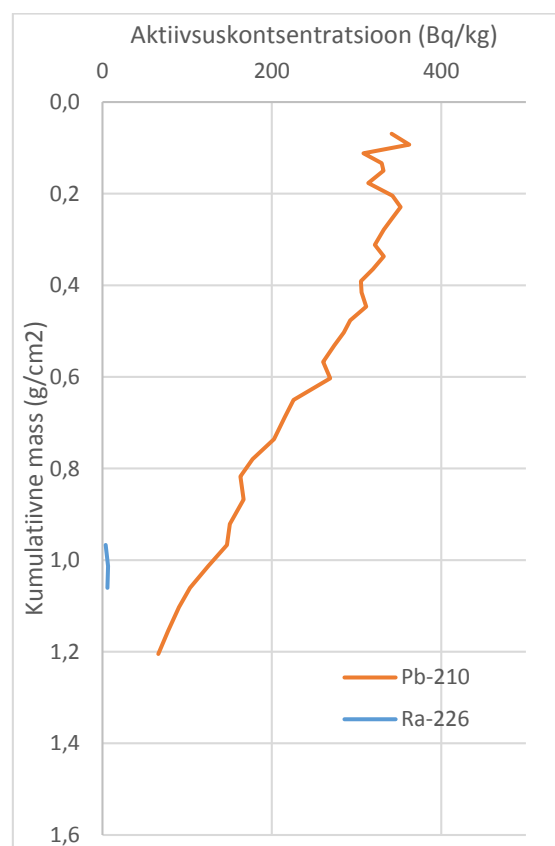
## Tulemused ja diskussioon

### $^{210}\text{Pb}$

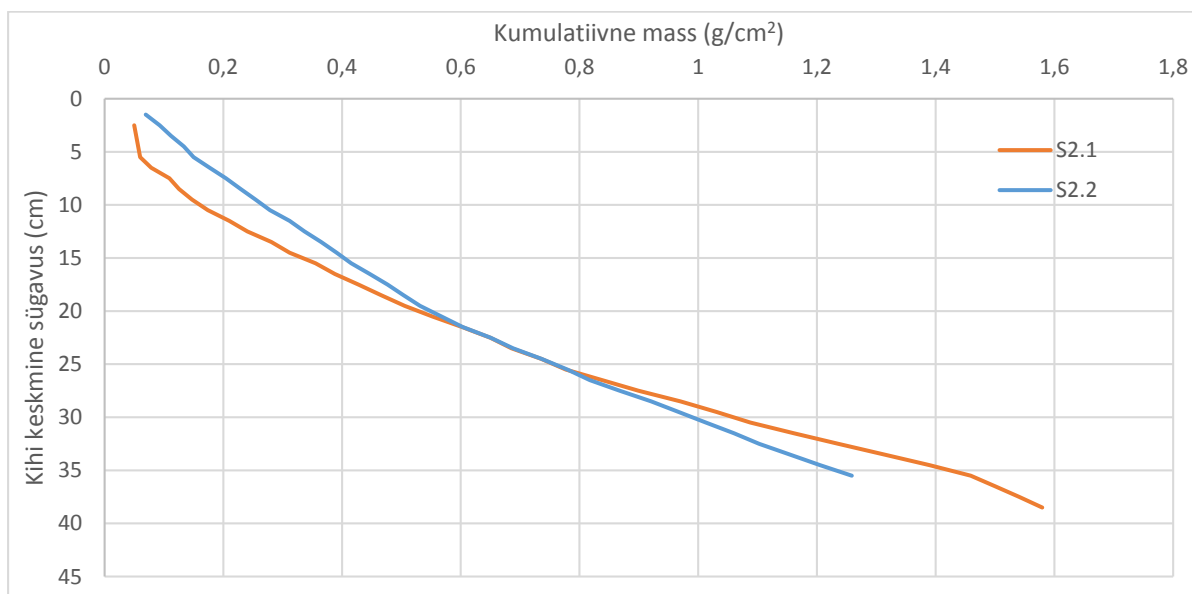
Nii S2.1 kui S2.2 südamiku  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{226}\text{Ra}$  kontsentratsiooni võrreldes oli näha, et raadiumi lagunemisest tulenev  $^{210}\text{Pb}$  kontsentratsioon proovides on praktiliselt olematu, kuna  $^{226}\text{Ra}$  kontsentratsioon jäi minimaalseks. Vaid üksikutes kihtides oli  $^{226}\text{Ra}$  kontsentratsioon suurem määramispiirist, kusjuures siiski pea 50% määramatusega. Määramatused on näha lisade 2 ja 3 vastavates tulpades. Osakaalust lähtuvalt võib järeldada, et proovide võtmisel ei saavutatud sügavust, kus atmosfäärist sadenenud plii jaoks oleks viimastes kihtides läbi 7 poolestusaega, ehk selle plii kontsentratsioon oleks nullilähedane. Joonistel 7 ja 8 on näha  $^{226}\text{Ra}$  osakaal võrreldes  $^{210}\text{Pb}$ ga lähtuvalt kumulatiivsest massist. Kumulatiivne mass on turbasüdamiku kogumass pinnatühiku kohta vastava kihi kindla sügavuseni, arvestades turba tihenemist sügavamates kihtides. Seos kumulatiivse massi ja sügavuse vahel on kujutatud joonisel 9. On näha, et tegemist ei ole lineaarse seosega. Joonistel 7 ja 8 on näha, et proovis S2.1 jõuti  $^{210}\text{Pb}$  kontsentratsiooniga  $^{226}\text{Ra}$  kontsentratsioonile lähemale kui proovis S2.2, mis läbi võib eeldada, et proovi S2.1 dateerimistulemus on täpsem proovi S2.2 tulemusest



Joonis 7 - Proovi S2.1  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{226}\text{Ra}$  kontsentratsioonide võrdlus.



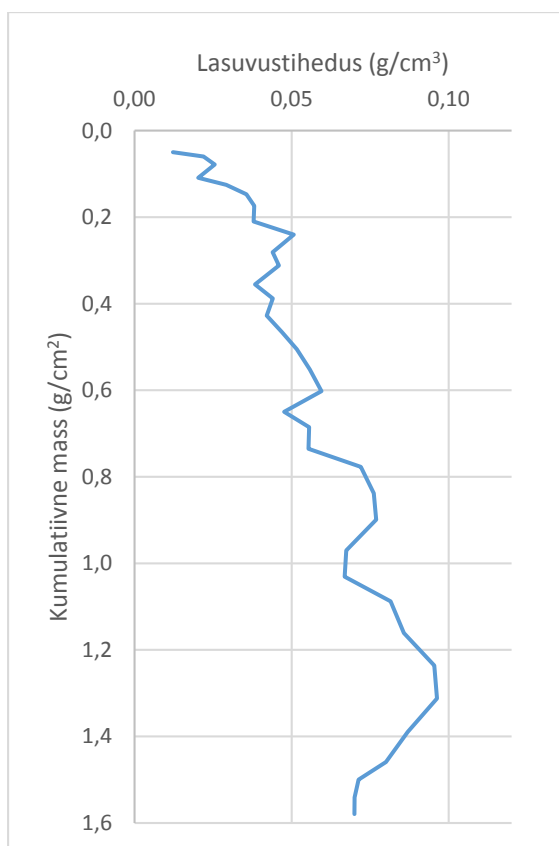
Joonis 8 - Proovi S2.2  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{226}\text{Ra}$  kontsentratsioonide võrdlus.



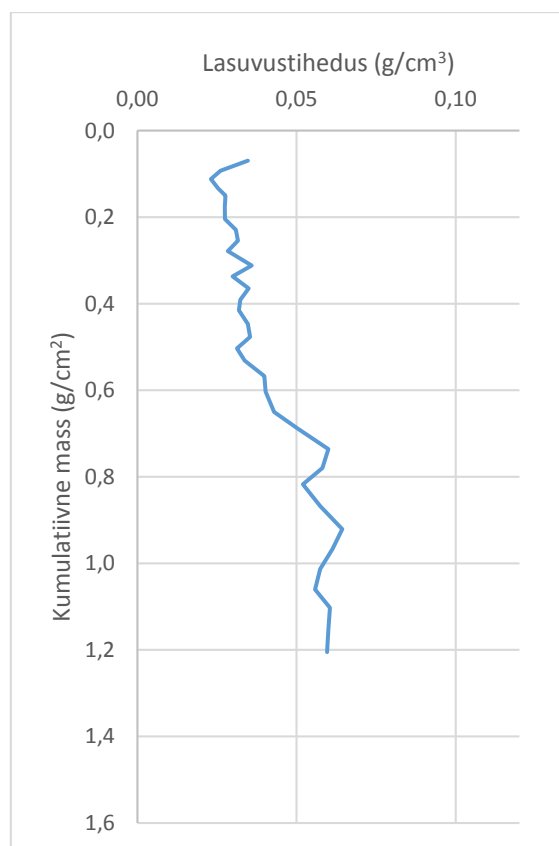
Joonis 9 - Seos kumulatiivse massi ja sügavuse vahel.

Proovi S2.1  $^{210}\text{Pb}$  aktiivsuskontsentratsiooni maksimum jääb sügavusele 11-12 cm, kumulatiivse massi  $0.2\text{g/cm}^2$  juurde. Maksimumile järgneb ühtlase aktiivsuskontsentratsiooniga piirkond, mille järel kontsentratsioon jälle väheneb. Pindmiste, elusosa kihtide juures on näha aktiivsuskontsentratsiooni vähenemist pinna suunas. Südamiku S2.2 maksimum asub sügavusele 8-9 cm, kumulatiivse massi  $0.22\text{ g/cm}^2$  juures, millele järgneb kohe ühtlane langus. Samuti pole selles proovisüdamikus aktiivsuskontsentratsiooni suurt langust pinna suunas. Erinevused kahe proovi  $^{210}\text{Pb}$  aktiivsuste vahel võivad olla tingitud erinevustest proovide elusosas või lasuvustiheduse muutusest. Joonistel 10 ja 11 on kujutatud lasuvustiheduse muutus kumulatiivse massi kasvades proovides vastavalt S2.1 ja S2.2. On näha, et proovi S2.2 pealmised kihid on olnud tihedamad S2.1 pealmistest kihtidest, kuid tiheduse kasvamine on S2.1 korral intensiivsem.

Joonisel 9 on näha, et proovide S2.1 ja S2.2 kumulatiivse massi trendi osas suurt erinevust ei ole. Proovi S2.2 kumulatiivse massi kasv on ühtlasem võrreldes proovi S2.1 kumulatiivse massi kasvuga. Erinevused paistavad välja pindmistes ja sügavamates kihtides, kus S2.1 kumulatiivne mass on S2.2ga võrreldes pinnale lähemal väiksem ning sügavamates kihtides suurem. Kuna juba paralleelproovide puhul on näha tiheduse muutumise erinevusi, on nende dateerimisel vaja samuti pöörata tähelepanu igale proovile omaette ning leida sobivad markerid vastavalt südamikule.

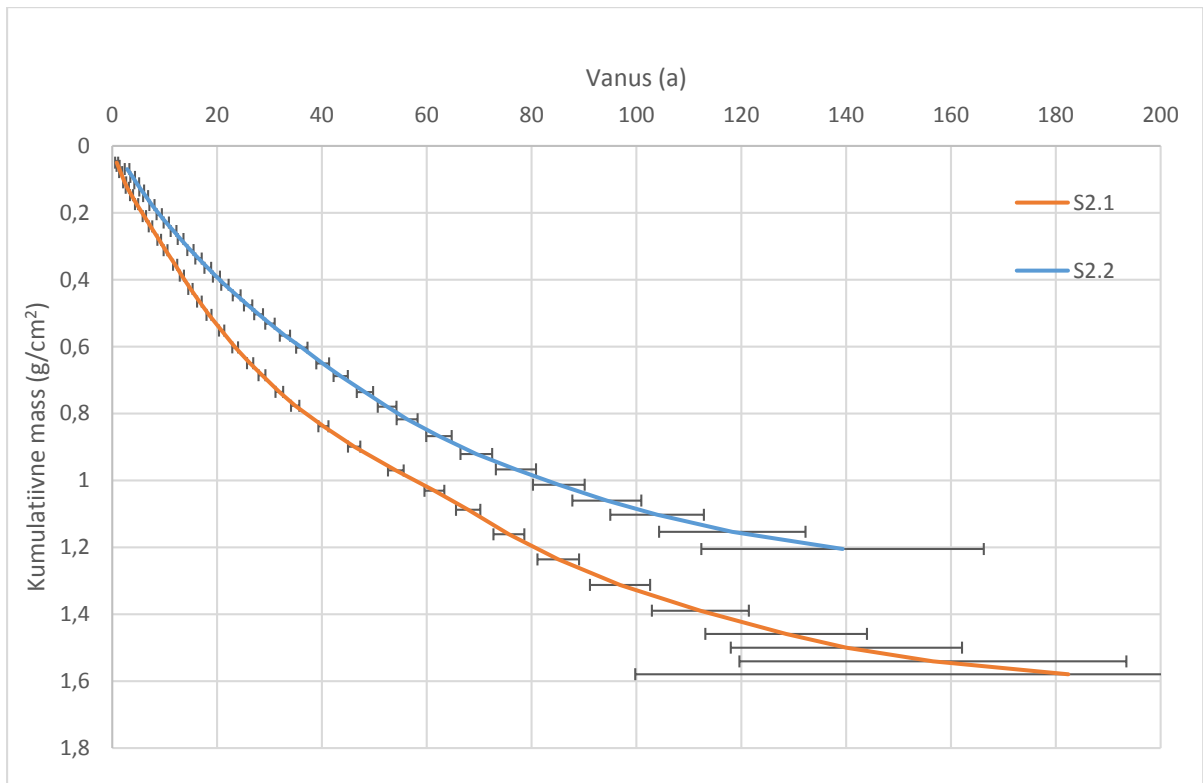


Joonis 10 - Proovi S2.1 lasuvustiheduse muutus kumulatiivse massi kasvades

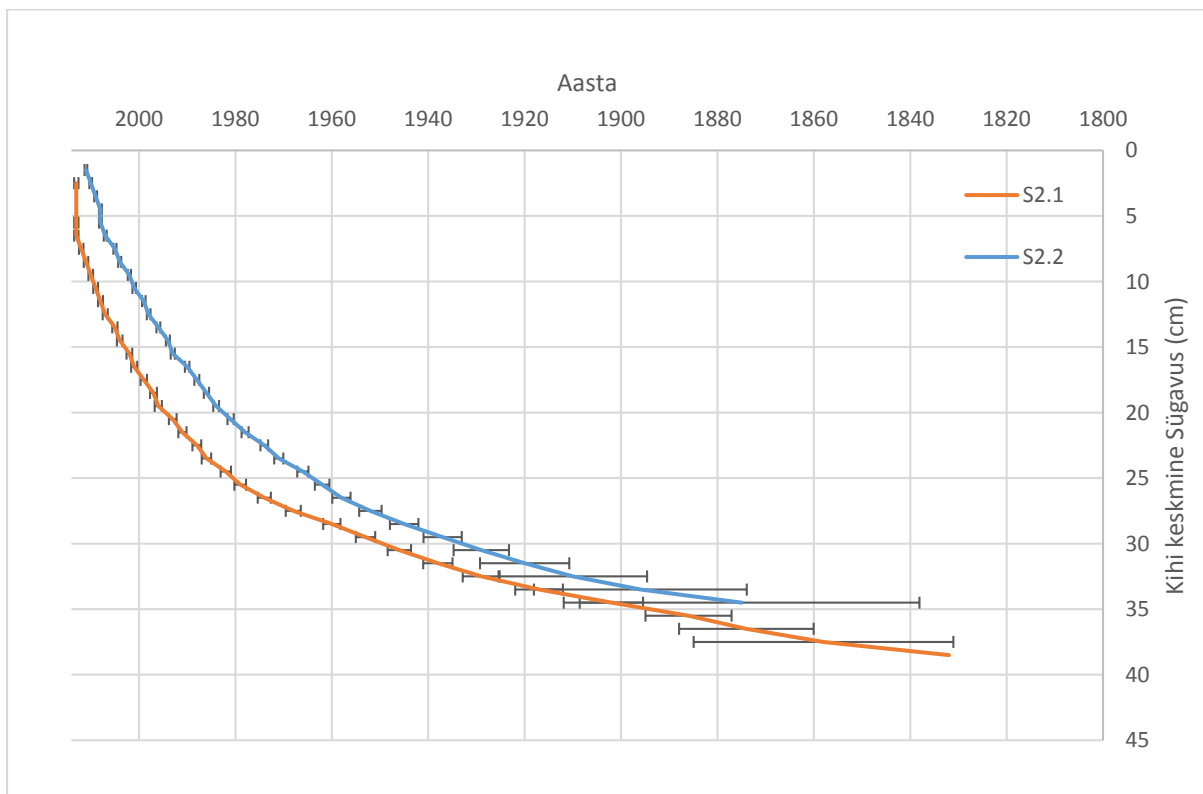


Joonis 11 - Proovi S2.2 lasuvustiheduse muutus kumulatiivse massi kasvades

Kuna  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{226}\text{Ra}$  vaheliseks tasakaaluks vajalik sügavus jäi saavutamata, on puudulik ka atmosfäärist pärineva  $^{210}\text{Pb}$  summaarne aktiivsuskontsentratsioon proovis. Joonistel 12 ja 13 on näha S2.1 ja S2.2 dateerimise tulemused kasutades CRS meetodi. Joonisel 12 y-teljel olev kumulatiivne mass iseloomustab kihtide tihedust ja sügavust, mis on seotud x-teljel toodud vanusega  $^{210}\text{Pb}$  dateerimise järgi. On näha, et proovide S2.1 ja S2.2 tulemused erinevad üksteisest sügavuse kasvades järjest enam. Joonisel 13 on x-teljel märgitud aastad ning y-teljel vastava kihi sügavus. Tulemustest on näha nihe kahe südamiku vanuste vahel, graafiku trend on mõlemal aga sarnane. Mõlemal joonisel suuruste kasvamisel suurenev määramatus tuleneb kasutatud parameetrite kumulatiivsest iseloomust. On näha, et S2.2 tulemus, mille kumulatiivne mass jäi alumistes kihtides väikemaks ning vahe  $^{226}\text{Ra}$  ja  $^{210}\text{Pb}$  vahel oli suurem, ei ühti S2.1 tulemusega, kuigi proovid on võetud soo samast piirkonnast. Erinevused jooniste 12 ja 13 vahel tulenevad kumulatiivse massi erinevustest kahel proovisüdamikul. Kuna sama kumulatiivne mass saavutatakse erinevatel sügavustel on ka dateerimise tulemused samal kumulatiivsel massil erinevad.



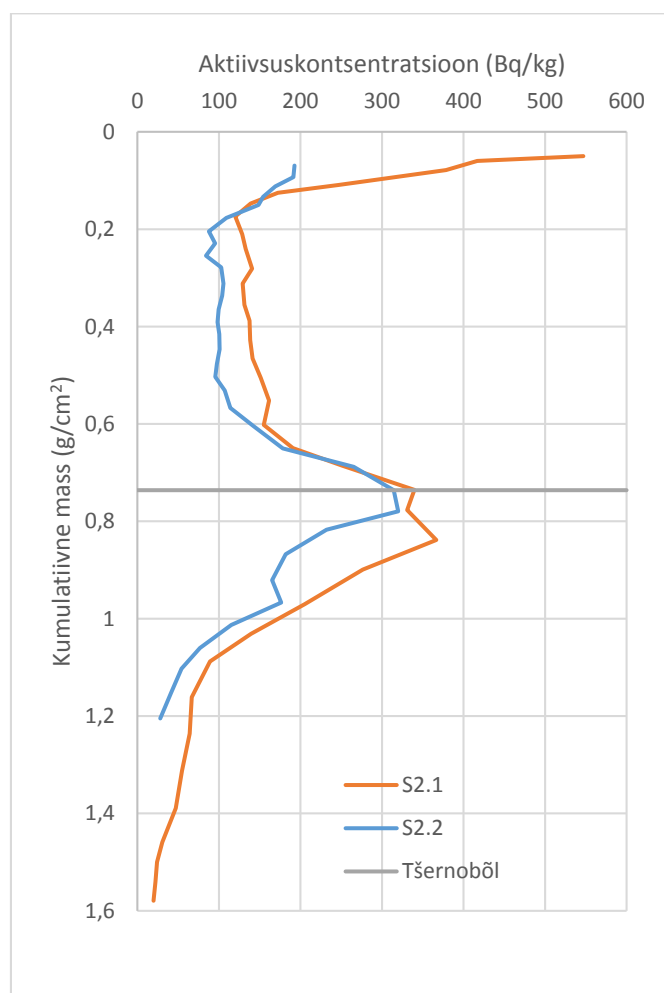
Joonis 12 - Proovide S2.1 ja S2.2 dateerimistulemused  $^{210}\text{Pb}$  alusel. Kujutatud on vanuse seos kumulatiivse massiga.



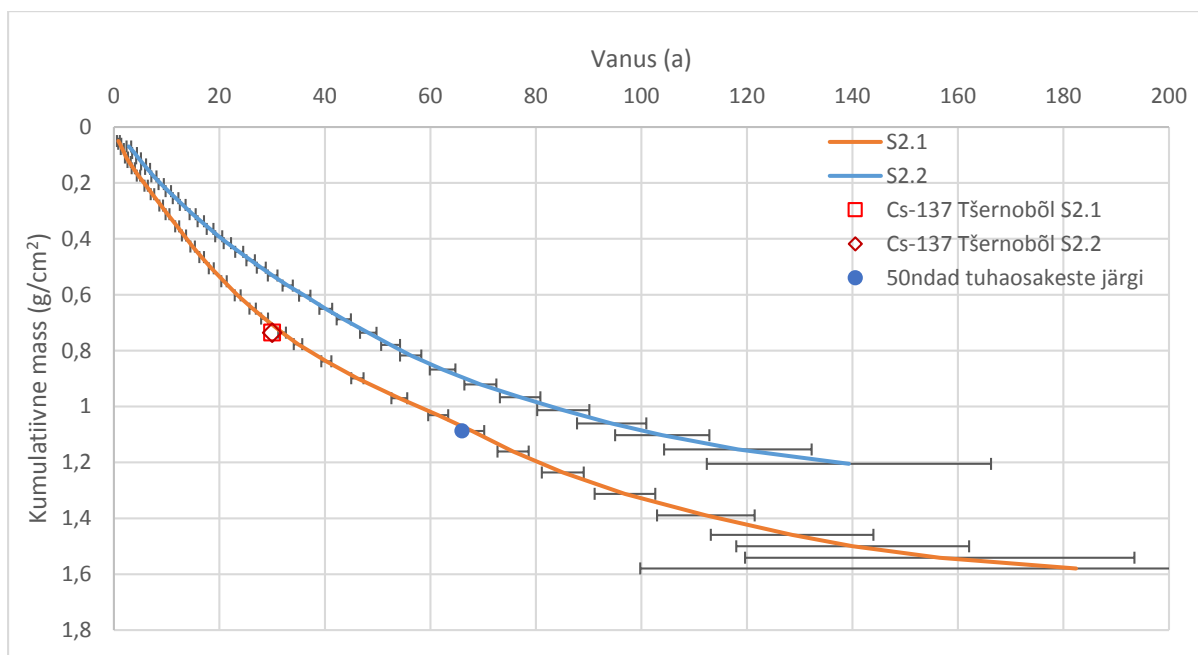
Joonis 13 - Proovide S2.1 ja S2.2 dateerimise tulemused, kus on aasta ja kihi keskmise sügavuse omavaheline seos

## $^{137}\text{Cs}$

Joonis 14 kujutab  $^{137}\text{Cs}$  kontsentratsioone proovides S2.1 ja S2.2. On näha sarnasusi piikide asukohas kahel proovil. Turbasüdamiku ülemiste kihtide  $^{137}\text{Cs}$  aktiivsuskontsentratsioon on nähtavalt suurenenud, viidates tseesiumi üleskandumisele taimestikuga. Kuna Tšernobõlist pärit  $^{137}\text{Cs}$  piik peaks olema teoreetiliselt ühe kihi paksune, paistab ka tseesiumi piigi hajumist, mida oli oodata. Sarnast käitumist on täheldatud ka varasemates uuringutes. (Appleby, Oldfield, 1978) Piigi hajumiste erinevused kahe proovi vahel võivad olla tingitud taimestiku ja elusosa erinevustest pinnal, lisaks mängib rolli ka tiheduste erinevus. Mõlemal proovil võib piigi maksimumi lugeda keskmiselt samasse kumulatiivse massi vahemikku, mis on märgitud graafikul joonega. Kuna proovide lasuvustihedus ning kumulatiivse massi kas sügavuses on proovidel erinev, on Tšernobõli piigi kokkulangemine kahe proovi puhul pigem juhus.



Joonis 14 -  $^{137}\text{Cs}$  aktiivsuskontsentratsioon kumulatiivse massi kasvades proovidele S2.1 ja S2.2. Märgitud on Tšernobõli katastroofist pärit piik.



Joonis 15 -  $^{210}\text{Pb}$  dateerimise tulemused proovidele S2.1 ja S2.2, millele on juurde toodud ka  $^{137}\text{Cs}$  ning tuhaosakeste markerid. Proovide S2.1 ja S2.2  $^{137}\text{Cs}$  markerid kattuvad täielikult.

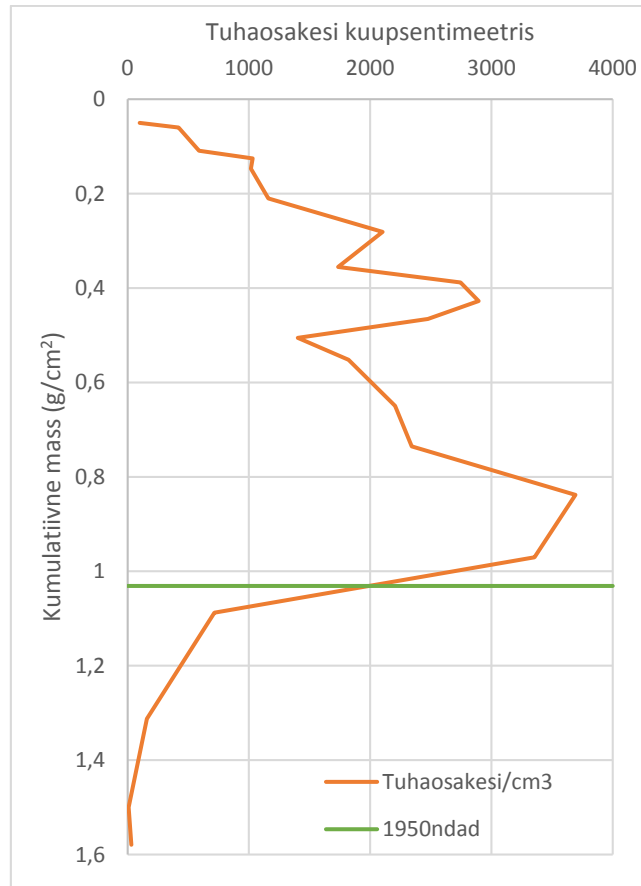
Joonisel 15 on kujutatud  $^{210}\text{Pb}$  dateerimistulemused võrreldes  $^{137}\text{Cs}$  ning tuhaosakeste markeritega. On näha, et proovi S2.1 korral lähevad  $^{210}\text{Pb}$  dateerimistulemused kokku  $^{137}\text{Cs}$  markeriga, kuid proovi S2.2 korral on tulemused lahus. Proovis S2.1 loetud tuhaosakeste järgi hinnatavad 1950ndad langevad S2.1  $^{210}\text{Pb}$  dateerimistulemustega samuti kokku, suurendades S2.1 dateerimistulemuste usaldusväärust.

### Kerajad lendtuhaosakesed

Joonisel 16 on kajastatud tuhaosakeste kontsentratsiooni muutust. On näha järsku kukkumist sügavusel, kus kumulatiivne mass on  $1 \text{ g/cm}^2$  lähedal. Kuna kerajad lendtuhaosakesed on seotud fossiilsete kütustega (eelkõige põlevkivi põletamisega), mida Eestis hakati laialdasemalt kasutama alates ~ 1950ndatest, võib eeldada, et tuhaosakeste järsk vähenemine peaks jääma vastavasse kümnendisse. (Punning, Liblik, Alliksaar, 1997). Joonisel 16 on märgitud 1950ndad rohelise joonega. Tuhaosakeste kontsentratsioonigraafiku vahepealsed piigid võivad olla muutustest põlevkivijaamade heidetes või tuhaosakeste osalisest migratsioonist turbas. Kuna aga proovide võtmiskaugus jaamadest on küllaltki suur ning jaamadest pärineva lendtuha mõjuraadius väheneb pea eksponentsiaalselt allikast kaugenedes (Alliksaar, 2000), on seoseid kindlate aastatega keeruline välja tuua. S2.1 proovide korral jäi peale lahustamist alles tundmatud läbipaistvad osakesed, mis muutsid tuhaosakeste lugemist keerulisemaks. Punning, Liblik ja Alliksaare (1997) artikli järgi võiks oodata tugevat langust ka 1980-1990 aastate juurde, mida meie andmetest ei paista. Sellest lähtuvalt võib oletada, et proovid on võetud



jaamadest sedavõrd kaugelt, et tuhaosakeste hajuvus atmosfääris on olnud tugev ning sadenenud kontsentratsioonid on liiga madalad, et võimaldada täpsete hinnangute andmist.



Joonis 16 - Tuhaosakeste kontsentratsiooni muutus kumulatiivse massi kohta, märgitud on ka kontsentratsiooni vähenemise tõttu eeldatavad 1950ndad

### <sup>241</sup>Am

<sup>241</sup>Am kontsentratsioonid turbas osutusid meie mõõtmismeetodite jaoks liiga madalateks. Vaid mõned kihid ületasid määramispiiri ning nendegi korral on määramatus suur. Seetõttu jätsime dateerimisest need andmed selle töö raames välja.

## Üldised järeldused ja soovitused edasiseks

Antud töö käigus leitud andmetest võib järeldada, et turbasüdamiku S2.1 dateerimisel CRS meetodiga saime me usutava tulemuse tänu tuhaosakeste ning  $^{137}\text{Cs}$  andmetele, kuigi proovide võtmisel ei olnud saavutatud piisavat sügavust tasakaaluks  $^{210}\text{Pb}$  ja  $^{226}\text{Ra}$  vahel. Kuna aga S2.2 dateerimine ei läinud kokku S2.1 dateerimisega, on edasised katsetused täiendavate proovidega vajalikud. Kuna  $^{241}\text{Am}$  markerite kasutamine jäi antud töö juures ära, tasuks edasiste proovide analüüsil kaaluda täiendavate markerite kasutamist, kuna suurem arv markereid annab täpsema ja usaldusväärsema tulemuse.

Proovi S2.2 dateerimistulemustest on näha põhilised probleemid CRS meetodiga. Proovide ettevalmistamine võtab põhilise osa ajast ning probleemid prooviga paistavad välja alles dateerimise viimastes staadiumites, mistõttu tuleb proovide võtmisele täiendavat tähelepanu pöörata.

Järgnevateks mõõtmisteks võetavad proovid peaksid olema sügavamad, kuid seekordselt kasutatud meetod muudab sügavamate proovide võtmise keerukaks, kuna proovid on suure massiga. Vaadates  $^{210}\text{Pb}$  aktiivsuskontsentratsiooni vähenemist ning kumulatiivse massi muutumist sügavuse kasvades, võiks proovid olla sügavamad kui 50 cm. See sügavus on lähedane ka varasemate turbaproovide mõõtmisel tasakaalu saavutamise sügavusele, millest oli juttu ka ülevalpool. (Appleby, Shotyk, Fankhauser, 1997). Proovide võtmise meetod, mis kasutatud proovide jaoks rakendatud oli, võimaldas mõõta proovidest  $^{137}\text{Cs}$  kontsentratsiooni,  $^{241}\text{Am}$  kontsentratsiooni mõõtmiseks proovide kogusest ei piisanud ning  $^{210}\text{Pb}$  mõõtmiseks ei ole nii suur proovide kogus oluline. Kasutades sama meetodit edaspidi sügavamate proovide võtmiseks, tuleb kaaluda proovide viilutamist kohapeal. Võimalik on aga ka väiksemate proovide võtmine näiteks südamikpuuridega, mille puhul oleks saadav proovi pindala väiksem ning sellega väiksem ka kihtide mass. Erinevatest meetoditest turbaproovide võtmisel on juttu Vleeschouwer, Chambers ja Swindles (2010) artiklis.

Puursüdamike kasutamise korral tuleks proovide väiksema massi tõttu kaaluda ka teiste meetodite kasutamist proovide mõõtmisel.  $^{210}\text{Pb}$  on tuvastatav oma tütar nukliidid  $^{210}\text{Po}$  alusel, mille mõõtetulemused on üldjuhul väiksema määramatusega Teistsugused mõõtmismeetodid tuleks väiksema massiga proovide korral kasutusele võtta ka teiste nukliidide määramisel, näiteks alfaspektromeetrilised meetodid  $^{241}\text{Am}$  määramiseks.

Üheks ebatäpsuse allikaks dateerimisel võib olla keskkonnatingimustest tulenev plii väljapese mine ülemistest kihtidest. Pindmiste kihtide tulemuste kontrollimiseks tuleks katsetada uute proovidega ka IP-CRS meetodit (Olid et al, 2016), mis võtab ülemistest kihtidest plii väljauhtumist arvesse.

Selleks, et täpsemalt hinnata radioaktiivse plii juurde kannet tööstuse tõttu, tuleks sooritada ka proovide isotoopanalüüs, mis võimaldaks võrrelda  $^{210}\text{Pb}$  suhet plii teiste isotoopidega. Kuna plii kandub põlevkivijaamadest aga tuhaosakestega ning antud töö raames mõõdetud proovis ei paista olema väljapaistvalt kõrgeid tuhaosakeste kontsentratsioone, võib täiendava plii osakaalu pidada väikeseks. Isotoopanalüüsi tulemustest saaks hinnata plii päritolu täpsemalt, kontrollida eeldust ning näha antropogeense plii täiendava seissekande hulga mõju dateerimisele. Tööstuspiirkondades tuleb suurt tähelepanu pöörata ka proovide võtmise kohale, jälgida tuleb kaugust kuivenduskraavidest, inimtekkelistest pinna ebatasasustest ja muudest mõju avaldavatest paikadest. Paralleelproove tuleb võtta mitu, kuna proovi esinduslikkus avaldub alles hilistes analüüsi etappides ning on kergesti mõjutatav tööstuse ja inimtegevuse poolt.

$^{137}\text{Cs}$  tulemuste kontrollimiseks peaks analüüsima ka raba mineraliseerumist, kuna see mõjutab tseesiumi migreerumist pinnases.  $^{241}\text{Am}$  mõõtmiseks tuleks kaaluda teiste meetodite rakendamist, näiteks alfaspektromeetriselt või arvestada ka Compton hajumisega. Kuna antud töös oli ka näha, et kõik markerid ei pruugi lõpuks tulemusi anda, tuleks mõõtmise planeerimisel välja vaadata mitmeid kasutatavaid markereid, lähtudes proovi võtmise kohast, ning nendega proovide võtmisel arvestada. Lisaks varasemalt kirjeldatud meetoditele annavad Turetsky, Manning ja Wieder (2004) oma artiklis ülevaate mitmetest diskreetsetest markeritest.

Tuhaosakeste kasutamisel markerina tuleks uurida nende kontsentratsiooni muutusi sõltuvalt kaugusest põlevkivijaamadest. Tuhaosakeste kontsentratsiooni hindamisel on keeruline määrata määramatuseid, kuna tegemist on subjektiivse meetodiga ning tulemused võivad tulla erinevad juba ainult erinevate lugejate tõttu. Antud töö raames on kõik proovid loetud ühe inimese poolt erinevuste vähendamiseks, kuid edasisi uuringuid oleks vaja kindlasti ka määramatuse vähendamiseks. Üheks ajamahukaks variandiks määramatuse vähendamiseks ja määramiseks oleks korduslugemised.

Valitud metoodikaga tuleks kindlasti tööd jätkata nii süsinikringe kui NORM-i tekitava tööstuse mõjuala uurimiseks. Metoodika arendamisel oleks Eestis palju rakendusi, kuna turbaalade osakaal on suur ning vajadus sellelaadsete meetodite osas olemas.

## Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö raames anti ülevaade praegu kasutatavatest dateerimismeetoditest turbale. Kirjeldati erinevaid radioökoloogilisi meetodeid ning nende hulgast valiti välja antud olukorras rakendatavad meetodid. Pidevaks dateerimismeetodiks valiti CRS meetod, mis eeldab pidevat konstantset  $^{210}\text{Pb}$  pealevoolu ning arvestab dateerimisel ka turba tihenemisega alumistes kihtides. Diskreetsete meetoditena võeti kasutusele  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  ning kerajate tuhaosakeste järgi dateerimine, kuna nende kontsentratsioonide muutuste kohta on valitud raba piirkonnas infot.  $^{137}\text{Cs}$  dateerimisel oli võimalik kasutada Tšernobõli katastroofi tõttu tekkinud saastepiiki, kerajate tuhaosakeste järgi dateerimisel oli võimalik arvesse võtta põlevkivijaamade tööstuse tekke aega ning heidete maksimumi aega.  $^{241}\text{Am}$  osutus antud töö raames kasutamatuks, kuna aktiivsuskontsentratsioon oli mõõtmismeetodite jaoks liiga madal.

Kuna  $^{137}\text{Cs}$  ning kerajate tuhaosakeste määratud punktid langevad praktiliselt kokku proovi S2.1 CRS meetodil saadud dateerimistulemusega, võib lugeda seda tulemust tõseks. Proovi S2.2 tulemused erinesid aga nii S2.1 tulemustest kui ka  $^{137}\text{Cs}$  ning tuhaosakeste tulemustest, mistõttu tuleks sooritada kordusmõõtmisi samast piirkonnast, et suurendada saadud tulemuste usaldusväarsust.

Edasiste mõõtmiste parendamiseks, anti käesoleva magistritöö lõpus mõned soovituselid nii proovide võtmise kui kasutatavate mõõtmismeetodite osas. Toodi alternatiive proovide võtmise ja mõõtmise metoodikate osas ning pakuti välja täiendavaid meetodeid edasisteks uuringuteks.

Antud töö põhjal võib järeldada, et CRS mudeli rakendamine inimtegevusest mõjutatud rabades on paljulubav, kuid vajab edasist tööd.

## Viited kirjandusele

- Alliksaar, T., 2000, Application Of Spherical Fly-Ash Particles To Study Spatial Deposition Of Atmospheric Pollutants In North-Eastern Estonia
- Appleby, P. G., Oldfield, F., 1978, The Calculation Of  $^{210}\text{Pb}$  Lead Dates Assuming A Constant Rate Of Supply Of Unsupported  $^{210}\text{Pb}$  To The Sediment, CATENA, Vol 5, 1-8
- Appleby, P. G., Shotyck, W., Fankhauser, A., 1997, Lead-210 Age Dating Of Three Peat Cores In The Jura Mountains, Switzerland, Water, Air, and Soil Pollution 100, 223-231
- Bao, K., Xia, W., Lu, X., Wang, G., 2010, Recent Atmospheric Lead Deposition Recorded In An Ombrotrophic Peat Bog Of Great Hinggan Mountains, Northeast China, From  $^{210}\text{Pb}$  And  $^{137}\text{Cs}$  Dating, Journal of Environmental Radioactivity 101, 773-779
- Blaauw, M., Van Geel, B., Mauquoy, D., Van Der Plicht, J., 2004, Carbon-14 Wiggle-Match Dating Of Peat Deposits: Advantages And Limitations, Journal of Quaternary Science 19(2), 177-181
- Durno, S. E., 1961, Evidence Regarding The Rate Of Peat Growth, Journal of Ecology Vol 49, No 2, 347-351
- Euroopa Komisjon, 2011, A Roadmap For Moving To A Competitive Low Carbon Economy In 2050, Brüssel
- Euroopa Liidu Nõukogu, 2013, Council Directive 2013/59/EURATOM, Official Journal of the European Union
- Galán, P. R., 2006, Behaviour Of  $^{137}\text{Cs}$  In A Raised Bog In Central Sweden. Magistritöö, Rootsi Põllumajandusteaduste Ülikool
- Gorham, E., 1991. Northern Peatlands: Role In The Carbon Cycle And Probable Responses To Climatic Warming, Ecological Applications, 1(2)
- Hang, T., Hiimaa, H., Jõelet, A., Kalm, V., Karro, E., Kirt, M., Kohv, M., Marandi, A. 2009. Selisoo Hüdrogeoloogilised Uuringud Kaevandamise Mõju Selgitamiseks. Uuringu Aruanne, Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Tartu, 60 lk.
- Kaasik, M., Ploomipuu, T., Alliksaar, T., Ivask, J., 2003, Alkalisisation And Nutrient Influx From The Air As Damaging Factors For Sub-Boreal Ecosystem, 8s rahvusvaheline konverents keskkonna teadustest ja tehnikast, Kreeka

- Kimmel, K., Kull, A., Salm, J. O., Mander, Ü., 2009, The Status, Conservation And Sustainable Use Of Estonian Wetlands, *Wetlands Ecol Manage*, 18:375-395
- Le Roux, G., Marshall, W. A., 2010 Constructing Recent Peat Accumulation Chronologies Using Atmospheric Fall-Out Radionuclides, *Mires and Peat*, Vol 7, 1-14
- Lubis, A. A., 2006. Constant Rate Of Supply (CRS) Model For Determining The Sediment Accumulation Rates In The Coastal Area Using  $^{210}\text{Pb}$
- Lust, M., Realo, E., 2012, Determination Of Dose Rate From Chernobyl-Derived Radiocaesium In Estonian Soil, *Journal Of Environmental Radioactivity* 112, 118-124
- Olid, C., Diego, D., Garcia-Orellana, J., Cortizas, A. M., Klaminder, J., 2016, Modeling The Downward Transport Of  $^{210}\text{Pb}$  In Peatlands: Initial-Penetration-Constant-Rate Of Supply (IP-CRS) Model, *Science Of The Total Environment*, 541, 1222-1231
- Paal, J., Leibak, E., 2013. Eesti Soode Seisund Ja Kaitstus. Eestimaa Looduse Fond
- Punning, J. M., Liblik, V., Alliksaar, T., 1997, History Of Flyash Emission And Paleorecords Of Atmospheric Deposition In The Oil Shale Combustion Area, *Oil shale*, Vol 14, No 3, 347-382
- Rose, N. L., Appleby, P. G., 2005, Regional Applications Of Lake Sediment Dating By Spheroidal Carbonaceous Particle Analysis I: United Kingdom, *Journal Of Paleolimnology*, 34: 349-361
- Shukla, B. S., Joshi, S. R., 1989, An Evaluation Of The CIC Model Of  $^{210}\text{Pb}$  Dating Of Sediments, *Environ Geol Water Sci*, Vol 14, No 1, 73-76
- Strack, M., 2008, Peatlands And Climate Change, *Rahvusvaheline Turba assotsiatsioon*
- Swindles, G. T., 2010, Dating Recent Peat Profiles Using Spheroidal Carbonaceous Particles (SCPs), *Mires and Peat*, Vol 7, 1-5
- Turetsky, M. R., Manning, S. W., Wieder, R. K., 2004, Dating Recent Peat Deposits, *WETLANDS*, Vol. 24, No. 2
- Vaasma, T., Kiisk, M., Meriste, T., Tkaczyk, A. H., 2014, The Enrichment Behaviour Of Natural Radionuclides In Pulverized Oil Shale-Fired Power Plants, *Journal Of Environmental Radioactivity*
- Van Der Plicht, J., Yeloff, D., Van Der Linden, M., Van Geel, B., Brain, S., Chambers, F. M., Webb, J., Toms, P., 2013, Dating Recent Peat Accumulation In European Ombrotrophic Bogs, *Radiocarbon*, Vol 55, 1763-1778

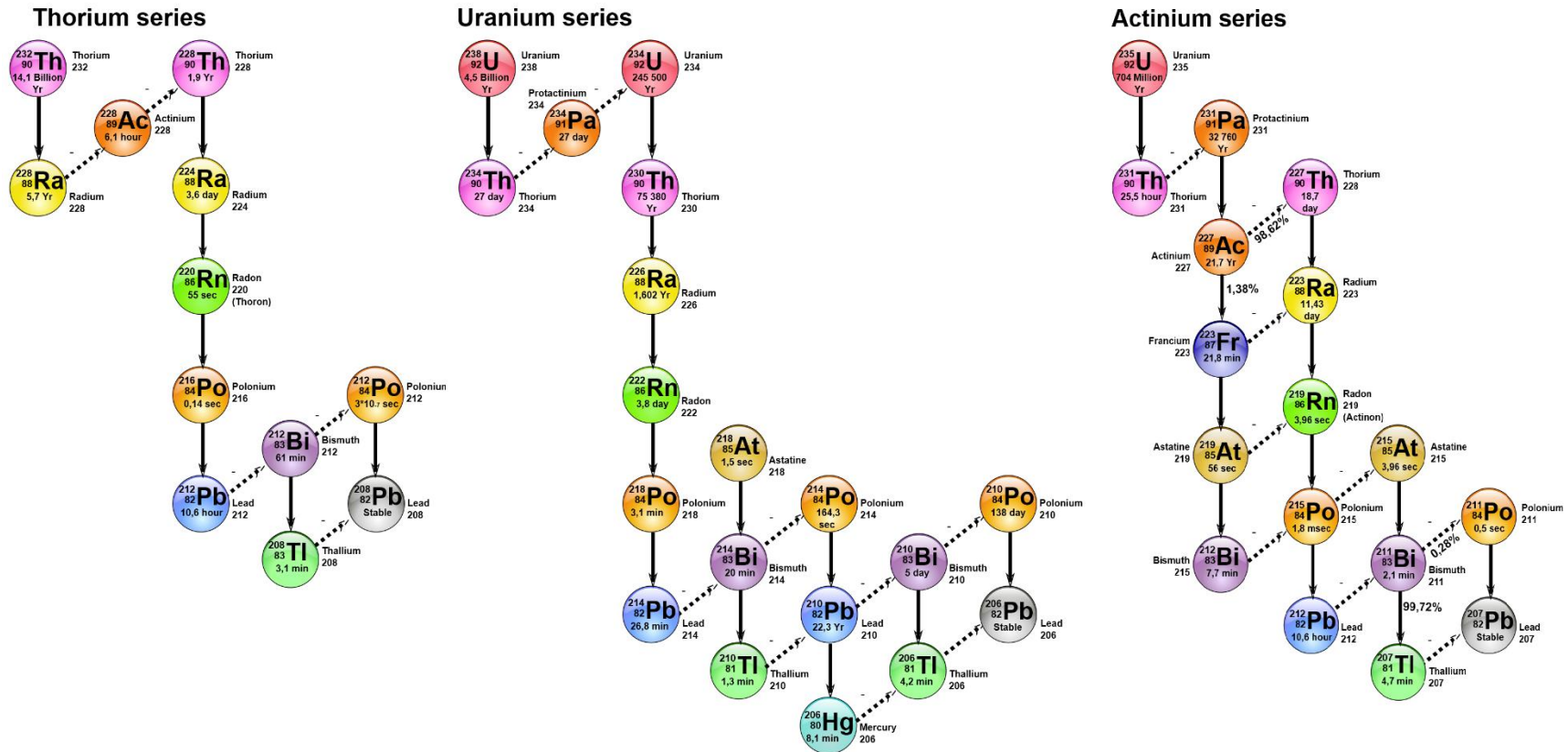
- Vandergoes, M. J., Prior, C. A., 2003, AMS Dating Of Pollen Concentrates – A Methodological Study Of Late Quaternary Sediments From South Westland, New Zealand, Radiocarbon, Vol 45, no 3, 479–491
- De Vleeschouwer, F., Chambers, F. M., Swindles, G. T., 2010, Coring And Sub-Sampling Of Peatlands For Palaeoenvironmental Research, Mires And Peat, Vol 7, 1-10

## Viited veebilehtedele

- BOMAR, Transverse 510.330 DGH, <http://www.bomar-germany.de/en/>, külastatud 19. mai, 2016
- CANBERRA, BEGe BE3830-P, <http://www.canberra.com/>, külastatud 22. mai, 2016
- Eesti Märgalade ühing, Eesti Sood, <http://www.soo.ee/>, külastatud 28. aprill, 2016
- Laraweb, Library for gamma and alpha emissions, <http://www.nucleide.org/Laraweb/>, külastatud 20. mai, 2016
- ORTEC, GammaVision, <http://www.ortec-online.com/index.aspx>, külastatud 19. mai, 2016
- Nikon, Eclipse 50i, [https://www.nikoninstruments.com/en\\_EU/](https://www.nikoninstruments.com/en_EU/), külastatud 24. mai, 2016
- Juhele, 2011, Radioactive series, clip art, <http://www.clker.com/clipart-90240.html>, külastatud 30. mai, 2016

# Lisad

Lisa 1 – Tooriumi ( $^{232}\text{Th}$ ), Uraani ( $^{238}\text{U}$ ) ja Aktiinumi ( $^{235}\text{U}$ ) lagunemisahelad



(Juhele, 2011)



Lisa 2 – Turbaproovi S2.1 arvutustulemused

Kirjeldus	Mass (g)	Lasuvustihedus (g/cm <sup>3</sup> )	Lasuvustiheduse Määramatus	Kumulatiivne mass (g/cm <sup>3</sup> )	Kumulatiivse Massi määramatus	Vanus	Vanuse määramatus	Aasta	Pb-210		Cs-137		Am-241		Pb-214		Tuhaosakeste kontsentratsioon osakest/g	
									Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus	Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus	Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus	Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus		
				0														
0-5	30.526	0.0123	0.0000	0.0500	0.0002	0.7	0.3	2013	216.22	16.12	547.01	15.62						8161.02
5-6	7.091	0.0220	0.0008	0.0598	0.0007	1.0	0.3	2013	341.92	39.73	416.83	14.36						19160.93
6-7	9.136	0.0255	0.0009	0.0785	0.0012	1.5	0.3	2013	316.71	47.70	378.59	14.92						
7-8	14.550	0.0203	0.0005	0.1091	0.0015	2.0	0.3	2012	312.32	28.12	246.78	8.65						29050.42
8-9	11.527	0.0292	0.0010	0.1253	0.0018	2.5	0.3	2012	367.32	32.30	172.37	7.42						35329.58
9-10	12.082	0.0356	0.0013	0.1472	0.0022	3.4	0.3	2011	429.74	31.02	138.89	5.64			4.88	2.78		28552.66
10-11	13.977	0.0381	0.0014	0.1739	0.0027	4.5	0.3	2010	413.21	32.34	120.10	5.67						
11-12	20.152	0.0379	0.0011	0.2101	0.0031	5.8	0.3	2008	443.19	28.21	128.56	5.23						
12-13	17.540	0.0507	0.0018	0.2404	0.0036	7.0	0.3	2007	409.43	35.51	132.90	6.89			3.57	2.10		30640.71
13-14	20.756	0.0440	0.0016	0.2809	0.0040	8.8	0.4	2005	412.50	25.25	140.67	5.30			4.87	1.96		47822.77
14-15	17.813	0.0459	0.0019	0.3117	0.0044	10.2	0.4	2004	379.76	17.62	129.15	4.81						
15-16	24.769	0.0384	0.0012	0.3554	0.0047	11.9	0.4	2002	384.03	22.35	131.37	4.88						45233.30
16-17	24.121	0.0440	0.0015	0.3880	0.0050	13.1	0.4	2001	343.17	21.24	137.47	5.15	1.82	1.01				62341.27
17-18	24.481	0.0421	0.0013	0.4276	0.0053	14.7	0.4	1999	345.77	21.23	138.33	5.13	1.48	0.62	5.03	2.13		68746.26
18-19	26.370	0.0469	0.0015	0.4655	0.0056	16.2	0.4	1998	358.74	14.93	141.23	4.78	1.77	0.82				52760.41
19-20	28.029	0.0517	0.0017	0.5054	0.0059	18.0	0.5	1996	342.97	15.53	151.34	5.08	1.57	0.62	4.71	1.84		27150.01
20-21	26.503	0.0558	0.0018	0.5519	0.0063	20.2	0.5	1994	363.36	16.04	161.57	6.25	2.26	0.84				32661.46
21-22	35.465	0.0595	0.0019	0.6021	0.0067	22.6	0.6	1991	335.72	17.21	154.99	4.91	1.64	0.77	3.45	1.15		
22-23	26.355	0.0476	0.0017	0.6497	0.0070	25.5	0.6	1989	356.10	12.37	190.71	6.51	1.38	0.36	7.34	3.36		46292.54
23-24	28.238	0.0556	0.0021	0.6854	0.0073	28.0	0.7	1986	348.65	13.39	250.74	7.05	1.48	0.81	3.76	0.84		
24-25	33.494	0.0554	0.0018	0.7354	0.0077	31.1	0.7	1983	335.00	19.21	339.64	10.06	1.88	0.89	5.09	2.09		42325.53
25-26	35.527	0.0720	0.0027	0.7770	0.0081	34.4	0.8	1980	333.04	29.63	330.89	11.25	1.62	0.81				
26-27	28.766	0.0762	0.0025	0.8382	0.0086	39.7	1.0	1974	352.62	23.51	366.60	11.37	2.42	0.89				48484.94
27-28	37.106	0.0769	0.0027	0.8991	0.0091	45.8	1.2	1968	325.25	17.07	276.48	8.09	1.51	0.67	4.91	1.58		
28-29	34.829	0.0674	0.0021	0.9703	0.0096	52.8	1.5	1961	303.93	17.24	205.26	6.33	2.10	0.79	4.32	1.30		49791.53
29-30	34.504	0.0669	0.0021	1.0309	0.0099	59.4	1.9	1955	260.55	16.69	139.58	4.77	2.00	1.01	3.81	1.26		
30-31	36.377	0.0815	0.0027	1.0878	0.0104	65.3	2.3	1949	195.11	17.70	89.01	3.83	1.34	0.44				8787.55
31-32	30.713	0.0857	0.0027	1.1611	0.0109	71.9	3.0	1942	146.94	13.01	66.66	2.81	1.26	0.74				
32-33	34.211	0.0954	0.0031	1.2361	0.0115	79.8	4.0	1934	133.27	12.35	64.11	2.46	1.58	0.67	3.96	1.16		
33-34	36.720	0.0963	0.0034	1.3124	0.0121	90.1	5.7	1924	117.96	11.53	54.78	2.34	1.72	0.58	3.97	1.23		1642.37
34-35	34.166	0.0870	0.0031	1.3894	0.0127	102.7	9.3	1911	99.99	10.61	47.11	2.13	1.26	0.55	3.78	1.09		
35-36	39.275	0.0800	0.0000	1.4590	0.0129	114.8	15.4	1899	72.15	7.34	30.54	1.33			3.59	0.87		
36-37	30.979	0.0713	0.0038	1.5000	0.0132	126.9	22.1	1887	55.51	11.56	24.18	1.61						117.06
37-38	28.715	0.0700	0.0034	1.5409	0.0135	142.8	36.9	1871	51.70	9.68	22.24	1.47						
38-40	35.222	0.0700	0.0000	1.5795	0.0137	168.7	82.6	1845	45.27	10.82	19.71	1.42			2.57	1.43		441.04

Lisa 3 – Turbaproovi S2.2 arvutustulemused

Kirjeldus	Mass (g)	Lasuvus- tihedus (g/cm3)	Lasuvus- tiheduse Määramatus	Kumulatiivne mass (g/cm2)	Kumulatiivse Massi määramatus	Vanus	Vanuse määra- matus	Aasta	Pb-210		Cs - 137		Am		Pb214	
									Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus	Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus	Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus	Aktiivsus (Bq/kg)	Määramatus
0-2	12.615	0.0347	0.0005	0.06936	0.00126	2.8	0.4	2011	341.53	33.52	192.75	7.89				
2-3	7.439	0.0261	0.0008	0.09284	0.00164	3.9	0.4	2010	362.28	39.93	191.25	8.49				
3-4	7.757	0.0231	0.0008	0.11189	0.00188	4.7	0.5	2009	308.25	39.59	169.21	8.20				
4-5	9.376	0.0254	0.0008	0.13345	0.00213	5.6	0.5	2008	329.77	21.18	154.17	5.29				
5-6	7.084	0.0277	0.0013	0.15004	0.00240	6.4	0.5	2008	331.94	43.74	148.58	7.91				
6-7	12.512	0.0275	0.0008	0.17684	0.00264	7.6	0.5	2007	313.98	28.79	109.07	5.14				
7-8	13.841	0.0275	0.0008	0.20436	0.00286	9.0	0.5	2005	342.36	26.07	87.80	4.51			4.52	2.74
8-9	12.916	0.0309	0.0011	0.22911	0.00311	10.3	0.5	2004	352.10	30.88	95.29	5.29				
9-10	12.757	0.0316	0.0011	0.25439	0.00336	11.7	0.5	2002	341.93	28.28	84.20	4.18			6.45	5.39
10-11	13.663	0.0284	0.0010	0.27855	0.00355	13.0	0.6	2001	332.28	27.02	102.83	4.63				
11-12	15.465	0.0359	0.0011	0.31161	0.00383	14.9	0.6	1999	321.68	24.75	105.57	4.53				
12-13	14.267	0.0299	0.0010	0.33675	0.00401	16.5	0.6	1998	332.25	27.80	104.00	5.09				
13-14	13.687	0.0349	0.0012	0.36470	0.00424	18.2	0.6	1996	319.42	27.72	99.76	4.73				
14-15	14.622	0.0323	0.0011	0.39089	0.00444	19.9	0.7	1994	305.12	23.22	98.29	4.43				
15-16	14.143	0.0319	0.0012	0.41544	0.00461	21.5	0.7	1993	305.93	25.27	100.51	4.91				
16-17	16.352	0.0347	0.0011	0.44668	0.00482	23.7	0.7	1990	311.41	23.69	100.93	4.52				
17-18	15.780	0.0354	0.0012	0.47676	0.00502	25.9	0.8	1988	292.57	22.00	97.43	4.44				
18-19	16.315	0.0313	0.0010	0.50336	0.00517	27.9	0.8	1986	285.06	29.00	95.51	5.02				
19-20	17.306	0.0337	0.0012	0.53134	0.00535	30.1	0.9	1984	273.80	32.56	107.18	6.06	1.80	1.80		
20-21	19.068	0.0399	0.0013	0.56723	0.00558	32.9	1.0	1981	260.67	18.08	113.95	4.30			3.85	1.75
21-22	19.256	0.0403	0.0013	0.60309	0.00581	36.2	1.1	1978	268.91	30.23	141.42	6.94	1.05	1.33		
22-23	24.659	0.0430	0.0011	0.65034	0.00606	40.2	1.2	1974	225.59	19.30	178.39	6.30	1.26	0.94		
23-24	21.930	0.0503	0.0019	0.68803	0.00638	43.6	1.4	1971	215.29	16.46	265.36	8.31			2.49	1.79
24-25	23.246	0.0600	0.0021	0.73604	0.00681	48.2	1.6	1966	202.65	23.33	314.42	10.31	1.13	1.31		
25-26	23.157	0.0581	0.0022	0.77962	0.00720	52.4	1.8	1962	177.36	22.48	319.86	10.53	1.55	1.32		
26-27	22.311	0.0520	0.0020	0.81733	0.00749	56.3	2.0	1958	162.86	18.66	231.95	8.07	1.48	1.24		
27-28	24.242	0.0574	0.0019	0.86759	0.00783	62.3	2.4	1952	166.77	18.38	181.83	6.37	2.02	1.12	4.45	2.34
28-29	24.327	0.0644	0.0022	0.92103	0.00824	69.5	3.0	1945	150.50	14.36	165.31	5.60				
29-30	26.083	0.0613	0.0023	0.96699	0.00860	77.0	3.8	1937	147.05	13.39	176.38	5.67	1.11	0.76	3.86	1.41
30-31	26.215	0.0574	0.0020	1.01291	0.00890	85.2	4.9	1929	124.94	13.85	115.19	4.19	1.73	0.83	6.75	3.42
31-32	25.061	0.0558	0.0019	1.06037	0.00917	94.4	6.6	1920	103.36	12.88	76.74	3.14			5.95	3.42
32-33	26.702	0.0605	0.0024	1.10272	0.00948	103.9	8.9	1910	90.45	90.45	54.21	2.46	1.07	0.77		
33-34	25.335	0.0600	0.0020	1.15371	0.00978	118.3	14.0	1896	77.77	13.94	41.05	2.08	1.17	0.77		
34-35	22.337	0.0596	0.0020	1.20497	0.01006	139.3	26.9	1875	66.02	11.90	28.08	1.88				

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks  
tegemiseks

Mina \_\_\_\_\_ Helena Nulk \_\_\_\_\_

(*autori nimi*)

(sünnikuupäev: \_\_\_\_\_ 27.02.1991 \_\_\_\_\_)

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Looduslike ja tehislake markerite kasutamine turba dateerimiseks inimtegevusest  
mõjutatud rabas,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendajad on \_\_\_\_\_ Alar Henry Tkaczyk, Taavi Vaasma ja Helen Karu \_\_\_\_\_,

(*juhendaja nimi*)

reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni; üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace´i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, \_\_\_\_ 1.06.2016 \_\_\_\_ (*kuupäev*)