

Tartu ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geoloogia osakond

Art Kristjan Olesk

Jägala Jõesuu mattunud paleomuldade geoarheoloogia

Bakalaureusetöö geoloogias (12 EAP)

Juhendaja: Alar Rosentau

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

Allkiri, kuupäev

TARTU 2022

Jägala Jõesuu mattunud paleomuldade geoarheoloogia

Käesolev geoarheoloogiline töö kirjeldab Jägala jõe paremkaldal suudmest ca 1,6 km ülesvoolu asuva uuringuala paleomuldi ja nendega seotud pronksi ja rauaaegseid muinaspõlde, muldade lamavaid ja lasuvaid kihte eesmärgiga uurida, millistele setetele Jägala Jõesuu mattunud muinaspõllud algselt rajati ja kuidas need mattusid. Selleks kirjeldati setteid, tehti neile lõimise, kuumutuskao ja geokeemiline analüüs ning kasutati GIS meetodeid setete kihipindade analüüsil. Samuti sondeeriti uuringuala puuraukudega. Töö käigus selgus, et mattunud paleomullad on kujunenud luigestunud Litoriinamere rannamoodustistele ja neil on hästi välja kujunenud leetunud mullaprofiil. Paleomuld mattus suurel alal ühe luigestumisperioodi vältel luiteliivade pealetungiga lõuna ja kagu suunalt. Paleomuldade mattumine võis olla seotud varasemalt kuhjunud luiteliivade reaktiveerumisega näiteks metsaraie tagajärjel.

Märksõnad: Jägala Jõesuu, paleomuld, paleopõld, Litoriinameri, eoolsed liivad.

Geoarchaeology of buried paleosoils in Jägala Jõesuu

Given geoarchaeological study describes the paleosoil, their recumbent and overlay layers at a site on the right side of Jagala river ~1.6 km upstream from the estuary. The goal is to determine to which sediments the buried ancient fields were established and how they were buried. In the scope of this work, I have described the sediments, done integration, heat loss and geochemical analyses, used GIS methods for layer surface analysis and probed boreholes at the study site. The results show that the paleosoil has developed on dune sands overlaying the coastal formations of the Littorina Sea and paleosoil has established a fairly well-developed podzolization soil profile. Paleosoil was gradually buried with dune sands from south and south-east during one burial event on a large area. Burial of the paleosoil could be associated with the reactivation of previously accumulated dune sands resulting from eg deforestation.

Keywords: Jägala Jõesuu, paleosoil, paleofield, Littorina Sea, dune sands

Sisukord

1. Sissejuhatus.....	4
2. Uuringuala geoloogia ja inimasustus	5
2.1. Uuringuala pinnamood ja setted	5
2.2. Jägala linnus ja muinaspõllud	7
3. Materjal ja meetodika	8
3.1. Välitööd.....	8
3.2. Kuumutuskaod analüüs	8
3.3. Lõimiseanalüüs	8
3.4. Setete geokeemiline analüüs käsi-XRF-ga.....	9
3.5. GIS-i kasutamine geoloogiliste tulpade, läbilõigete ja settepindade koostamisel.....	9
4. Tulemused.....	12
4.1. Kaevandi K-1 geoarheoloogiline kirjeldus	12
4.1.1. Setete levik ja stratigraafia.....	12
4.1.2. Mattunud paleomuldade koostis	13
4.1.3. Mattunud paleomuldade ja katteliivade lõimis.	15
4.2. Kaevandi K-2 geoarheoloogiline kirjeldus	16
4.2.1. Setete levik ja stratigraafia.....	16
4.2.2. Mattunud paleomuldade koostis	17
4.2.3. Mattunud paleomulla ja katteliivade lõimis.....	19
4.2.4. Katteliivade kihipinnad	19
4.3. Kaevandi K-3 geoarheoloogiline kirjeldus	21
4.3.1. Setete levik ja stratigraafia.....	21
4.3.2. Mattunud paleomulla koostis.....	21
4.3.3. Mattunud paleomulla ja katteliivade lõimis.....	23
4.4. Kaevandi K-4 geoarheoloogiline kirjeldus	24
4.4.1. Setete levik ja stratigraafia.....	24
4.4.2. Mattunud paleomulla koostis.....	25
4.4.3. Mattunud paleomulla ja katteliivade lõimis.....	26
5. Arutelu ja järeldused	28
Kokkuvõte.....	32
Summary	33
Tänuavaldused	34
Kasutatud kirjandus	35
Interneti allikad	36

1. Sissejuhatus

Inimasustus on läbi ajaloo olnud tihedalt seotud veekogude lähedusega ja nii on ka Eestis märgid varajasest asustusest tihti seotud Läänemerre suubuvate jõgede (Sikk *et al.*, 2020), nagu Jägala jõe alamjooksu piirkondadega (Kriiska *et al.*, 2009). Jägala jõe alamjooksul on inimasustus eksisteerinud juba kiviajast saati, seni vanim on Jägala-Joa IV asulakoht vanusega 7076 – 6780 eKr (Kriiska & Sikk, 2014). Jägala Jõesuu linnamäe vanimad kultuurkihid on dateeritud pronksiaega ning rauaajal paiknes seal üks suurimaid Põhja-Euroopa linnuseid (Lõhmus & Oras, 2008; Kriiska *et al.*, 2009).

Luited on kaitsnud mereäärseid asustusi rannikuvete eest, kuid need on ka suhteliselt ebastabiilsed ning haavatavad inimtegevuse suhtes. Luited on matnud Põhja-Eesti rannikualal vanu kultuurkihte (Kriiska *et al.*, 2009). Jägala Jõesuu linnamäest ca 400 m kaugusel ida suunas paiknevalt vanalt liivikult on arheoloogid avastanud mitmeid kuni 2 m paksuse liivakihi alla mattunud paleomuldade kihte, mis kujutavad endast muinaspõlde (Khrustaleva *et al.*, 2020) ja mille kujunemise ning mattumislugu on jäänud senini paljuski selgusetuks. Käesolevas bakalaureusetöös püütakse setete kirjeldamise ja erinevate geoloogiliste analüüsimeetodite abil täpsustada muinaspõldude kujunemise ja mattumise lugu. Bakalaureusetöö on osa suuremast prof. Aivar Kriiska juhitud National Geographic Society finantseeritud projektist, mille käigus uuritakse luidete ja inimasustuse vastasmõju. Projekti eesmärk on saada teada luidete tekke aeg ja põhjused, seosed inimasustusega ning kuidas muistsed kogukonnad vähendasid luidetest põhjustatud riske ja otsida sellistesse tingimustesse sobivaid jätkusuutlikke tegutsemisviise. Projekti käigus üritatakse välja selgitada peamised tegurid, mis mõjutavad sarnaste rannikupiirkondade keskkonna ja inimeste vastupanuvõimet ning haavatavust.

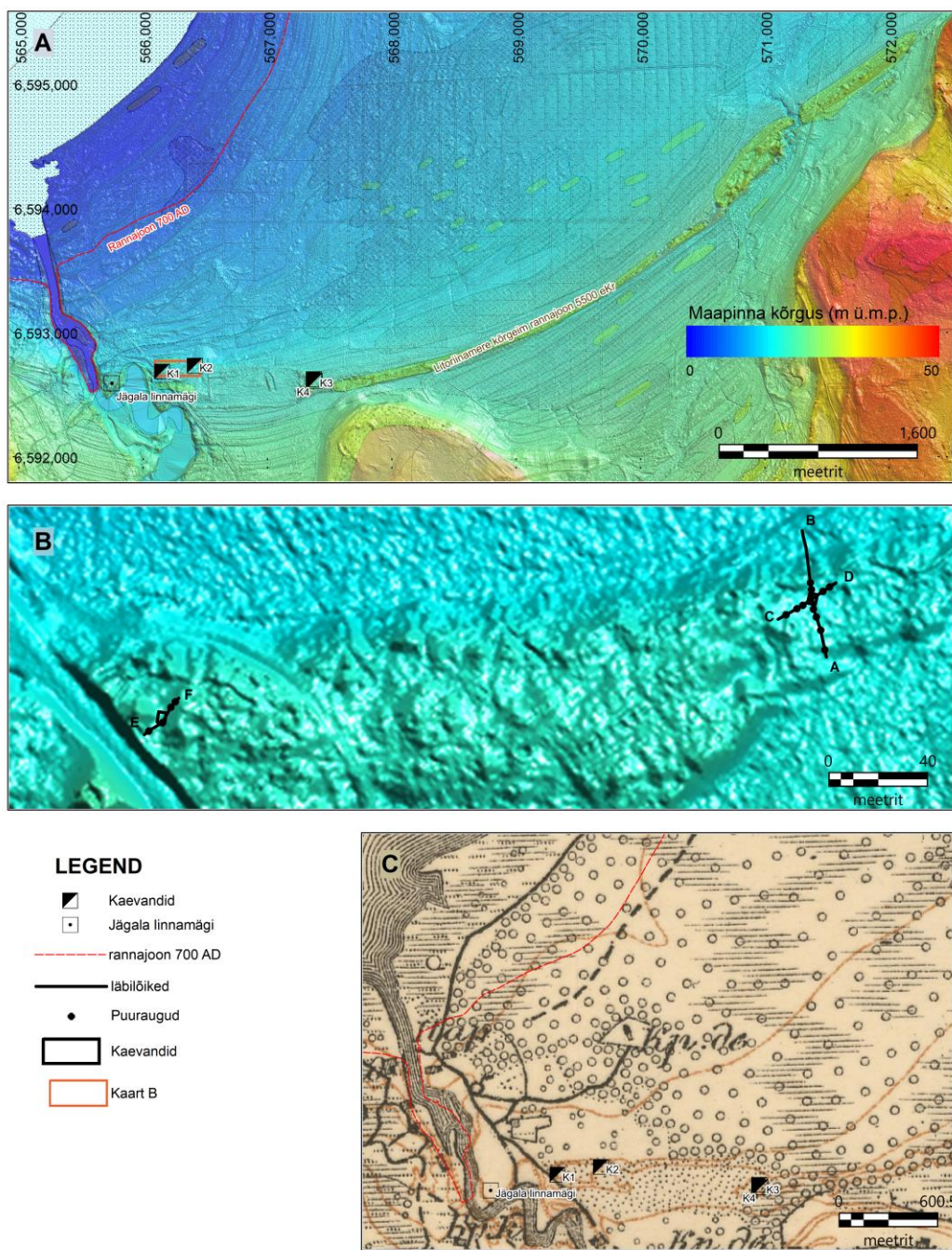
Bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida, millistele setetele Jägala Jõesuu mattunud muinaspõllud algselt rajati, milline on muldade koostis ja kuidas need mattusid. Samuti arutleda, millised on võimalikud mattumise mehhanismid. Selleks analüüsiti arheoloogilistest kaevanditest kogutud setteproovide lõimist ja koostist ning sondeeriti käsipuurimisega kaevandite lähiümbrust.

2. Uuringuala geoloogia ja inimasustus

2.1. Uuringuala pinnamood ja setted

Uuringuala asub Harju maakonnas Jõelähtme vallas Jõesuu külas Jägala jõe paremkaldal suudmest ca 1,6 km ülesvoolu ja koosneb neljast (kaevandid tähistusega K-1, K-2, K-3 ja K-4 ja nende lähiümbrus) eraldi paiknevast väiksemast uuringualast (Joonis 1). Eesti 1:50 000 geoloogilise baaskaardi järgi paiknevad selles piirkonnas Litoriinamere peenliivad (Strat-gen indeks Q2Lt), mis on paiguti kaetud Holotseeni tuulesetetega (Strat-gen indeks Q2_v). Uuringualast ca 200 m põhja suunas, madalamatel absoluutkõrgustel, on Limneamere peenliivad (Strat-gen indeks Q2Lm) ja ca 250 m lõuna suunas aga Antsülusjärve peenliivad (Strat-gen indeks Q2An). Kaevanditest K-3 ja K-4 ca 600 m ida poole esineb paiguti ka madalsooturba lasundeid (Strat-gen indeks Q2_b) ning Jägala jõe lammil Holotseeni jõesed.

Litoriinamere transgressiooni käigus tõusis ligi 5500 aastat eKr veetase siinkandis kõrgusele ligi 19-20 m ü.m.p., taandudes seejärel enam-vähem ühtlase kiirusega ligi 2,5 mm/a (Muru *et al.*, 2017). Taanduv meri on isostaatiliselt kerkivale rannikule maha jätnud ridamisi vanu rannavalle, mis on hästi jälgitavad tänapäevases reljeefis. Uuringuala pinnamoes tuleb selgelt esile Litoriinamere kõrgemate rannamoodustiste vöönd (Saarse *et al.*, 2009), mille Jägala jõe poolses, ligi 1200 pikkuses ja 300 m lauses vööndis, on näha rannamoodustiste ümberpuhumise jälgi ning inimtegevuse mõjutusi (Joonis 1A-B). 19 sajandi lõpu kaheverstalisel kaardil on seda ala kujutatud ulatusliku liivikuna (Joonis 1C) ning 20.sajandi algupoolel rajati alale väliõppekeskus/lasketiir (Kultuurimälestiste register. 2022), mille käigus on liiviku pinnamoodi muudetud. Kirjeldatud liiviku ida- ja läänepoolsetes otstes paiknevad ka käesoleva töö uuringualad (Joonis 1C). Suurem osa liivikust jääb kaevanditest lõuna poole.



Joonis 1. A-C) .) Uuringupiirkonna LiDAR kõrgusmudel (resolutsioon 1x1 m; Maa-amet 2022) ja setted (Eesti geoloogiline baaskaart (M 1:50 000)) koos uuringualade K-1 – K-4 paiknemisega. Joonis koosneb kolmest kaardist. Kaardil A on näidatud piirkonna setted ja kõrgusandmed. Kaardil on välja toodud Muru *et al.* (2017) Tallinna veekõvera andmete leitud rannajoon aastal 700 pKr ja näidatud Litoriaamere maksimaalse veetaseme ajal kujunenud rannavall. Kaardil B näidatud kaevandid K-1 ja K-2 koos läbilõigetega. Kaart C aluseks on 1895-1918 kaheverstane kaart (Maa-ameti geoportaal), millel on näha pealt lameda morfoloogiaga liivik.

2.2. Jägala linnus ja muinaspõllud

Jägala linnamäe (Joonis 1A) esimesed jäljed kindlustamisest on radiosüsiniku meetodil dateeritud aega 285 ± 115 eKr kuni 180 ± 180 eKr (Lõhmus & Oras, 2008). Eelrooma rauaajal oli Jägala Jõesuu linnamägi Põhja-Euroopa suurim, pindalaga 2,8 ha (Johanson & Veldi, 2006; Lõhmus & Oras, 2008).

Jägala Jõesuu linnamäe platool on eristatavad pronksiaja lõpu, rauaaja alguse, neoliitilise, eelrooma- ja roomarauaaegse ning keskmise rauaaja asustusetapp. Vanima asustuse vanuseks hinnatakse kiviaegse kammkeraamika kultuuri leidude järgi Neoliitikumi u 3900 – 1750 eKr. Linnusehoovist avastatud ülemise kultuurikihi radiosüsiniku dateeringud andsid vanuseks 280 ± 100 eKr ja 160 ± 60 pKr, mis korreleerub linnuse vanima dateeringuga. Alumise kultuurikihi vanus on 550 ± 250 eKr. (Kriiska *et al.*, 2009)

Linnamäe ümbruskonnast on avastatud kiviajast kuus, pronksiajast üks ja rauaajast seitse asulakohta (Vedru, 2006; Kriiska *et al.*, 2009; Kriiska, 2011; 2012). Vanimaks inimasustuseks on Jägala-Joa IV asulakoht, mille vanus on dateeritud radiosüsiniku meetodil vahemikku 7076 – 6780 eKr (Kriiska & Sikk, 2014). Piirkonnast on ka leitud mitmeid liivakihi alla mattunud fossiilseid põlde (Kriiska *et al.*, 2009; Kriiska, 2012; Khrustaleva *et al.*, 2020).

3. Materjal ja metoodika

3.1. Välitööd

Arheoloogiliste kaevandite K-1, K-2, K-3 ja K-4 seintest võeti kokku 132 proovi setete kuumutuskao, lõimise ja geokeemilise analüüsi jaoks (26 proovi kaevandist K-1, 32 proovi kaevandist K-2, 36 proovi kaevandist K-3 ja 40 proovi kaevandist K-4). Proovid võeti kogu läbilõike ulatuses iga 2 – 4 cm kaupa (Joonis 2).

Geoarheoloogiliste välitööde käigus sondeeriti arheoloogiliste kaevandite K-1 ja K-2 ümbrust käsitsi opereeritava elektrilise vibraatorpuuriga, kasutades 1 m pikkusi ja 7 cm diameetriga nii aknaga kui aknata prooveleid (Joonis 3). Töö tulemusena rajati kaevandi K-1 ümbrusesse kolm puurauku ning kaevandi K-2 ümbrusesse 11 puurauku. Läbilõikes mõõdeti erinevate kihtide paksused ja määrati terasuurus, värvus ning settimistingimused. Samuti määrati igas puuraugus põhjavee ilmnemisel ka selle tase.

3.2. Kuumutuskao analüüs

Kuumutuskao analüüsi kasutatakse proovis orgaanilise ja karbonaatse materjali sisalduse leidmiseks. Välitöödel kogutud 132 proovi käisid ahjus kolm korda. Kõigepealt tuli proovid täpsema tulemuse saavutamiseks kuivatada 24 tunni vältel 105 °C juures. Edasi läksid proovid neljaks tunniks 550 °C juurde, mille käigus leiti orgaanilise aine sisaldus. Karbonaatse materjali sisalduse leidmiseks kuumutati proove kahe tunni jooksul 950 °C juures. Karbonaatide sisalduse leidmiseks korrutati kadu pärast 950° kuumutamist läbi 1,36 (Heiri *et al.*, 2001). Ahjus tõsteti temperatuur 550 °C ja 950 °C juurde järk-järgult, et vältida leegiga põlemist. Enne ahju panemist kaaluti nii proovikausid kui ka proovid ise, samuti kaaluti proovid pärast ahju käimist ja proovide jahtumist.

3.3. Lõimiseanalüüs

Lõimise määramiseks kasutati laserdifraktomeetrit Mastersizer 3000 HydroEV. Lõimise määrati 132 proovil. 72 proovi sai panna otse laserdifraktomeetrisse, aga kuna laserdifraktomeeter ei erista orgaanikajäänuseid setteosakekestest, oli vaja proovidest enne mõõtmist eemaldada orgaaniline materjal. Selleks kasutati 50% vesiniperoksiidi lahust. Keeduklaasi lisati ca 2 tl proovi ja ca 50 ml vesinikperoksiidi. Proove kuumutati 140 °C ja reaktsioon loeti lõppenuks, kui proov oli heleda värvusega ja vaht puudus. Edasi pesti proov ja pandi 24 tunniks 105 °C juurde kuivama. Seejärel sai jätkata lõimiseanalüüsiga.

Lõimiseanalüüsil saadud tulemuste analüüsimiseks ja statistikute leidmiseks kasutati programmi Gradistat, mis töötab Microsoft Exceli baasil (Blott et al., 2001). Antud programmiga leiti setete terasuurse jaotus, keskmine terasuurus, sorteeritus ja asümmeetria.

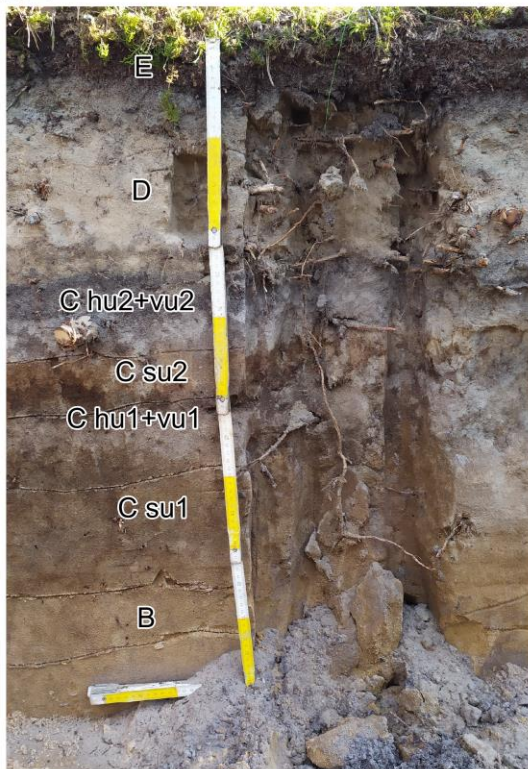
3.4. Setete geokeemiline analüüs käsi-XRF-ga

XRF-analüüsi jaoks kasutati käsi-XRF-i ja kokku analüüsiti 132 proovi. Alusele valati *ca* 1 cm paksune kiht proovi. Käsi XRF pandi aknaga ettevaatlikult proovi vastu ja tulistati seda röntgenkiirtega. Saadud tulemustest otsiti välja need, mis võisid olla seotud mullatekkeprotsessidega.

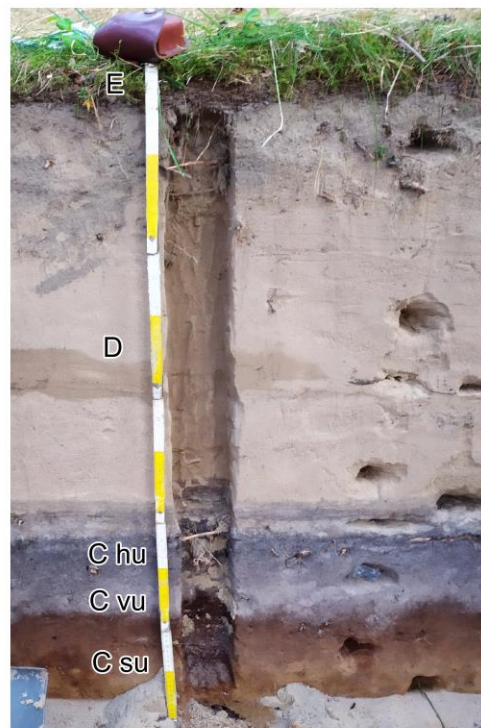
3.5. GIS-i kasutamine geoloogiliste tulpade, läbilõigete ja settepindade koostamisel

Tulemuste graafiliseks analüüsimiseks ja jooniste tegemiseks kasutati programmi MapInfo DataMine Discover 2021. Programmis tehti uuringuala ülevaatejoonis, settetulbad lõimiseanalüüsi, kuumutuskao ja keemilise analüüsi tulemuste esitamiseks ning kolm läbilõiget. Samuti tehti kaeve K-2 katteliivades oleva kolme kamardunud kihi kohta pinnamudelid, mille alusel hinnati kihtide kallakusnurka ja kalde asimuuti. Pinnamudelite koostamisel kasutati „vähima pinna” (*Minimum Curvature*) interpoleerimismeetodit piksli suurusega 0,025 x 0,025 meetrit. Pindade rasteranalüüsi töövahenditega *Slope* ja *Aspect* arvutati pindade keskmised kalded ja kalde asimuut.

K-1



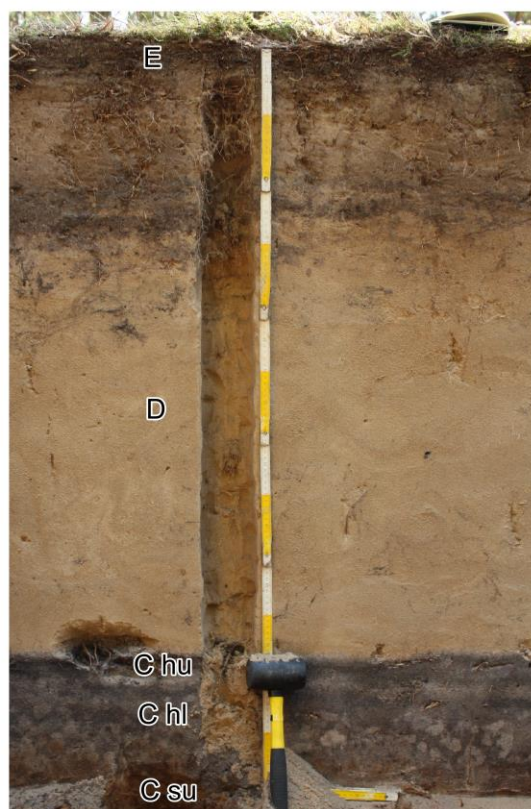
K-2



K-3



K-4



Joonis 2. Fotod kaevanditest pärast setteproovide võtmist. Kaevandis K-1 on näha kihid B kuni E. Kaevandites K-2, K-3 ja K-4 on näha kihid C kuni E.

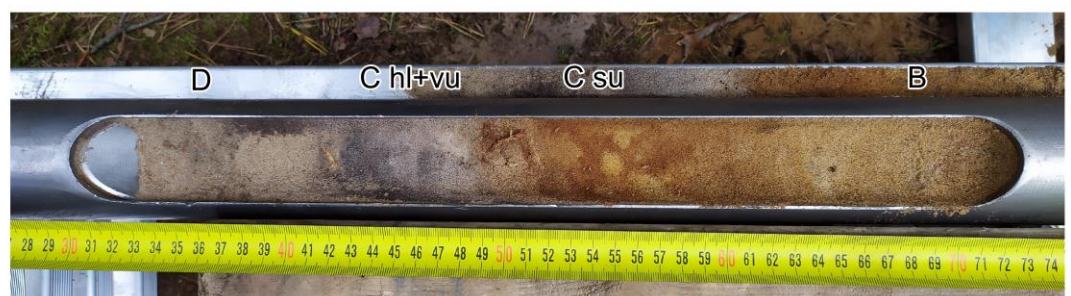
PA-2-1



PA-2-5



PA-2-11



Joonis 3. Näited setete sondeerimise käigus uuritud puursüdamikest arheoloogilise kaevandi K-2 ümbruses. Aknaga sondiga uuritud setteid kirjeldati välitöödel kohapeal (PA-2-5 ja PA-2-6). Aknata sond võimaldas setteproove koguda ka PVC torudesse (PA-2-1). Fotodelt on näha erinevad väljaeraldatud settekihid: kihiline (A) ja kihitamata liiv (B) ning katteliivade (D) alla mattunud paleomulla kiht (C) põlluharimisest mõjutatud (P-2-1) ja mõjutamata alal (PA-2-11).

4. Tulemused

4.1. Kaevandi K-1 geoarheoloogiline kirjeldus

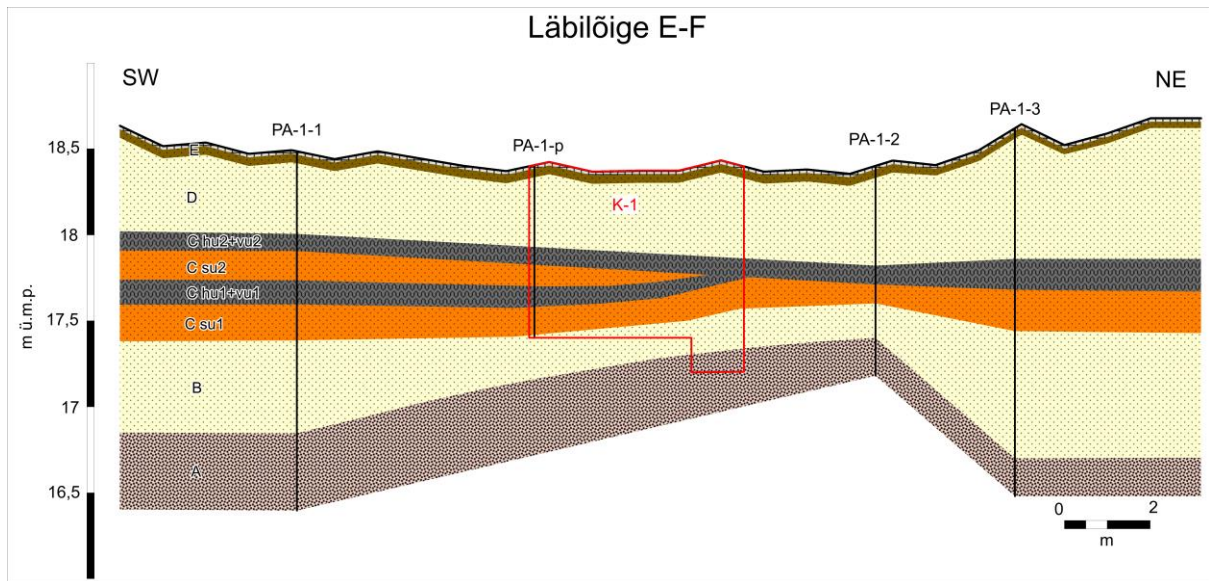
4.1.1. Setete levik ja stratigraafia

Edela-kirde suunaline geoloogiline läbilõige, mille keskosas paikneb arheoloogiline kaevand K-1, on esitatud joonisel 4. Settetulp kaevandi K-1 lõunaosast (Joonis 1B) koos kuumutuskaod, lõimise ja setete gokeemia analüüsitulemustega on esitatud joonistel 5-7.

Uuritud setteläbilõike kõige alumise osa, mis avaneb puuraukudes PA-1-1 – PA-1-3, moodustab beež kihitatud keskmise- kuni jämedateraline liiv (kiht A), mille ülemine pind paikneb absoluutkõrgusel 16,5 – 17,4 m ü.m.p.

Kihitatud liiva peal lasuvad beežid massiivsed peene- kuni keskmiseteralised liivad, kihi paksusega 0,2 – 0,7 m (kiht B). Sellele järgneb mullatekkeprotsessidest mõjutatud punakaspruunide peene- kuni keskmiseteraliste liivade settekompleks (kiht C), mille alumises osas (sügavusel 0,7 – 0,5 m) esineb kaeve K-1 piires neoliitilist leiumaterjali (Aivar Kriiska suuline teadaanne 26.05.2022) ning selle ülemises osas on kaks mattunud paleomulla (fossiilne põllujäänus) kihti (Joonis 2).

Alumise paleomulla kihi (kiht C hu1+vu1) näol on tegemist pruunikashalli peenliivaga huumuse ja söetükkidega. Ülemine mattunud paleomulla kiht (kiht C hu2+vu2) koosneb hallist peenliivast, milles on huumuse ja söetükke. Uuritud läbilõike edelaosas eraldab paleomulla kihte 0,17 – 0,06 m paksune roostekarva peenliiva vahekiht (kiht C su2). Läbilõike kirdeosas (Pa-1-2 ja Pa-1-3) kiildub aga nimetatud vahekiht välja (Joonis 4). Mõlema paleomulla kihi all on liiv ca 20 cm ulatuses roostekarva punane, sisaldades nii Pa-1 kui ka kaevandi K-1 lõunaosast söetükke. Mattunud paleomuldadel lasub 0,35 – 0,70 m paksune helebeež peenliiva (nn katteliiva) kiht (kiht D), mille peal on õhuke kaasaegne liivane huumusekiht (kiht E).



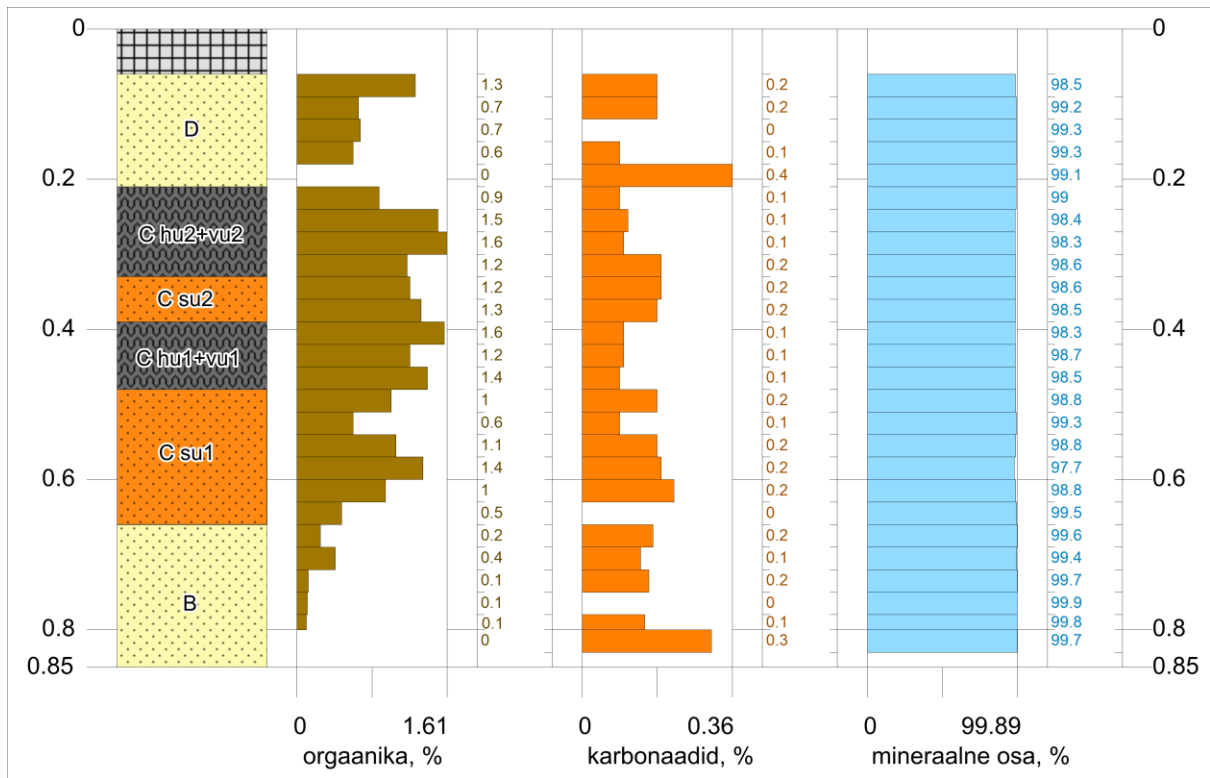
Joonis 4. Kaevandi K-1 edela-loode suunaline läbilõige

4.1.2. Mattunud paleomuldade koostis

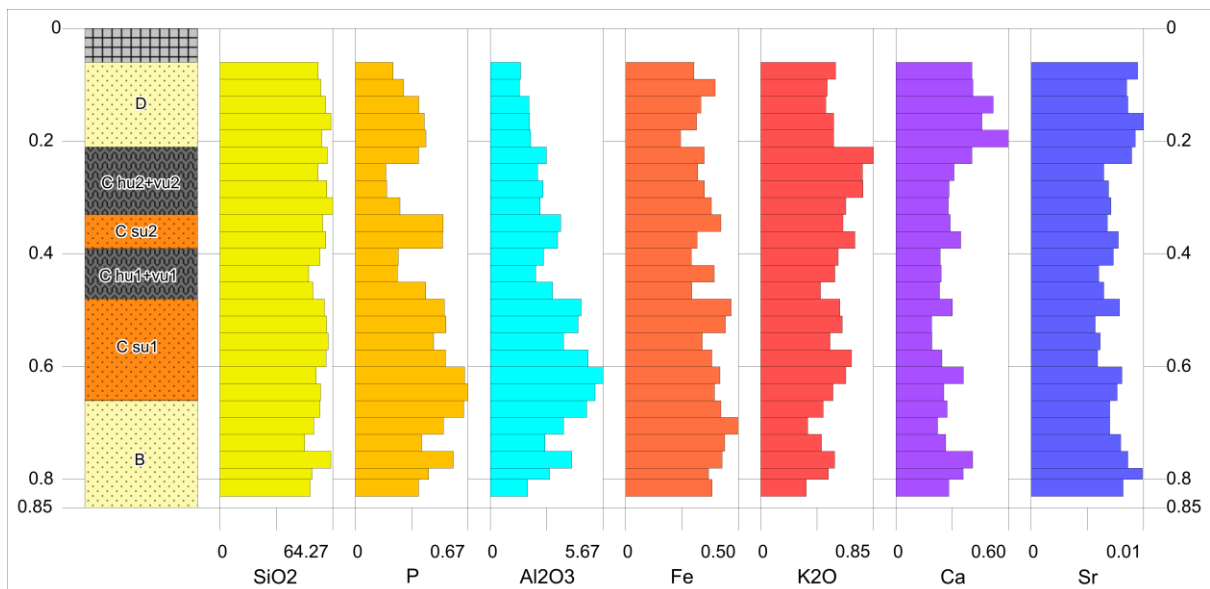
Mõlemas paleomulla kihis on eristatav huumushorisont (C hu), paiguti nende alune väljauhtehorisont (C vu) ja hästi eristatav sisseuhtehorisont (C su). Paleomuldade orgaanilise aine (OA) sisaldused on madalad, jäädes ülemises mattunud mullakihis (kiht C hu2) vahemikku 0,88 – 1,61% ja alumises mattunud mullakihis (kiht C hu1) vahemikku 1,21 – 1,58% (Joonis 5). Kahe põllukihi vahel olevas roosteses liivas (kiht C su2) jäävad OA sisaldused vahemikku 1,21 – 1,31%. Paleomuldade alustes kiviaegseid leide sisaldavas liivases asulakoha kultuurkihis (kiht C su1) on OA sisaldused võrreldavad paleomuldade OA sisaldusega.

Karbonaadisisalduselt on mõlemad mattunud mullakihid sarnased ja üldisest trendist natuke väiksemad, jäädes vahemikku 0,09 – 0,11%. Erandina tuleb välja ülemise mattunud mullakihi alumised 3 cm, milles on karbonaatide sisaldus 0,19%.

Kaevandi K-1 mõlemad mattunud mullakihid on vaesustunud fosfori (P) osas, mille sisaldused jäävad vahemikku 0,18 – 0,41% (Joonis 6). P sisaldused suurenevad mõlema paleomulla lamavates kihtides (kihid C su1-2), jäädes vahemikku 0,46 – 0,67%. Al₂O₃ ja Fe sisaldused suurenevad sarnaselt fosforiga mattunude mullakihtide lamamis. Ülemise mattunud mullakihi (kiht C hu2) ülemises osas tuleb võrreldes lasuva liivakihi selgelt esile suurem ja sügavuse suunas vähenev K₂O sisaldus. Ca ja Sr sisaldus on põllukihtides väiksem kui ümbritsetes setetes.



Joonis 5. Kaevandi K-1 kuumutuskaao analüüsi tulemused



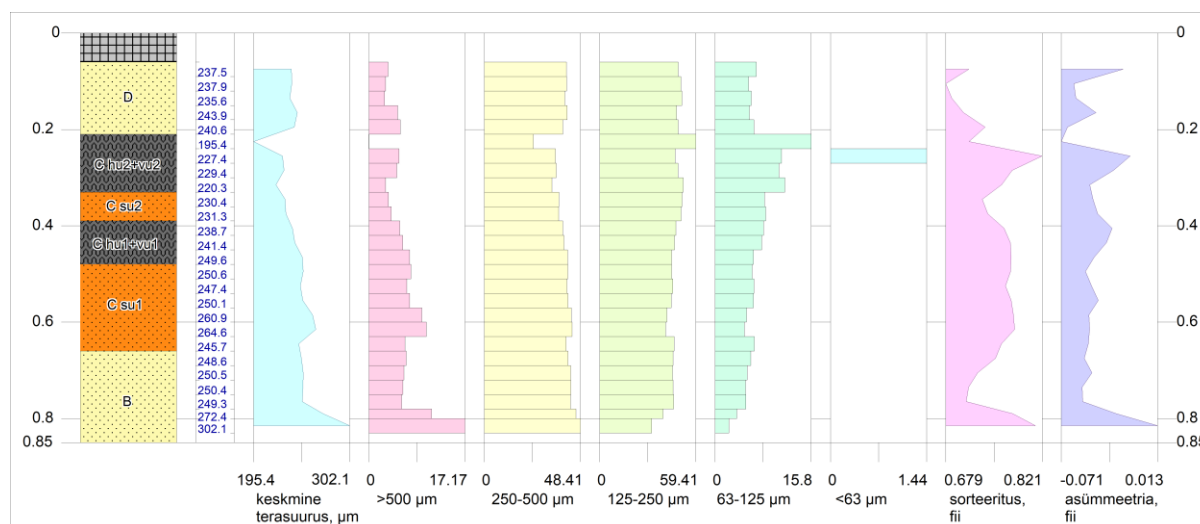
Joonis 6. Kaevandi K-1 geokeemilise analüüsi tulemused

4.1.3. Mattunud paleomuldade ja katteliivade lõimis.

Üldiselt on katteliivade (kiht D) ja mattunud põllukihtide (kihid Cm1-2) lõimis üsna sarnane, domineerib peene- kuni keskmiseteraline liiva fraktsioon (125 – 500 µm) ja keskmine terasuurus kasvab mõnevõrra sügavuse suunas (joonis 7). Sette sorteeritus läbilõikes on suhteliselt ühtlane, jäädes 24 proovis vahemikku 0,705 – 0.820 φ ehk keskmise sorteerituse klassi. Kaks proovi katteliivadest on vahemikus 0,679 – 0,687 φ, jäädes keskmiselt hästi sorteeritud klassi.

Ülemine mattunud paleomuld (kiht C hu2) erineb ülejäänud läbilõikest suurema ülipeenliiva fraktsiooni (63 – 125 µm) sisalduse poolest, milleks on 10,47 – 15,80%, ja see kiht sisaldab kaevandi K1 läbilõikest ainsana <63 µm suurusega osakesi kuni 1,44%. Ülemise põllu ülemised 3 cm ei sisalda peaaegu üldse >500 µm suurusega osakesi ehk jämeliiva (0,03%). Ülejäänud kiht sisaldab jämeliiva 2,98 – 5,37%. Roostesest kihist (kiht C su2) sügavuse suunas kuni arheoloogiliste leidudega liivakihi lõpuni kasvab jämeliiva osakaal ja proportsionaalselt väheneb ülipeenliiva osakaal.

Katteliivade (Kiht D) ülemise 9 cm keskmine terasuurus on natuke väiksem (235,6 – 237,9 µm) kui alumise 6 cm terasuurus (240,6 – 243,9 µm). Sorteeritus katteliivades on vahemikus 0,679 – 0,737 φ. Alumiste liivade (kiht B) keskmine terasuurus kihi ülemises osas on 248,6 – 250,5 µm ja sorteeritus 0,709 – 0,752 φ. Kihi alumises osas on keskmises terasuures järsk tõus, jäädes vahemikku 272,4 – 302,1 µm. Sorteeritus on 0,777 – 0,811 φ.



Joonis 7. Kaevandi K-1 lõimiseanalüüsi tulemused

4.2. Kaevandi K-2 geoarheoloogiline kirjeldus

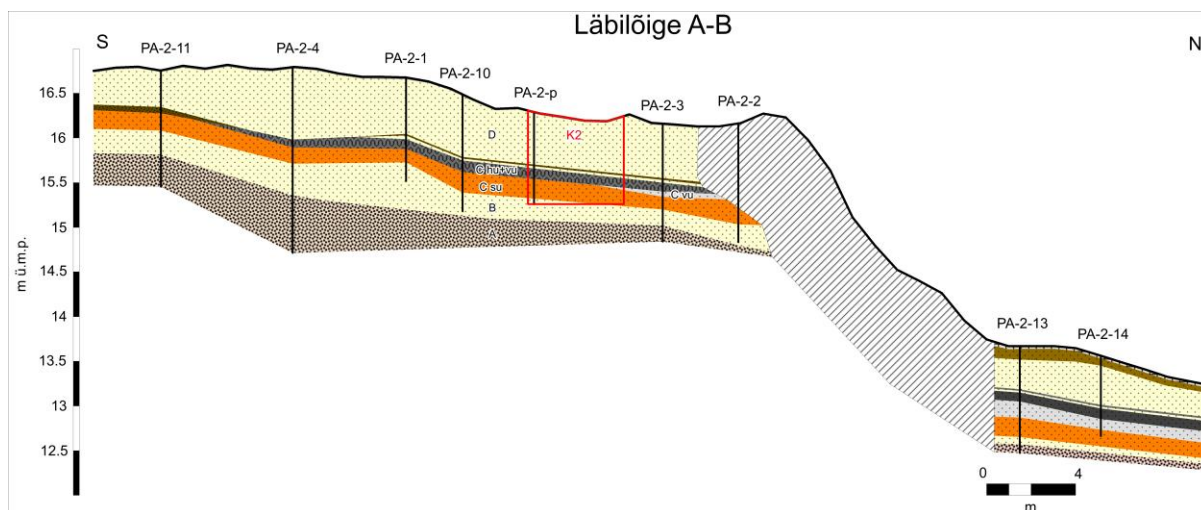
4.2.1. Setete levik ja stratigraafia

Lõuna-põhja ja lääne-ida suunalised geoloogilised läbilõiked, mille keskel paikneb arheoloogiline kaevand K-2, on esitatud joonistel 8-9. Setteläbilõige kaevandi K-2 lõunaosast (joonis 1B) koos kuumutuskao, lõimise ja setete geokeemia analüüsitulemustega on esitatud joonistel 10-12.

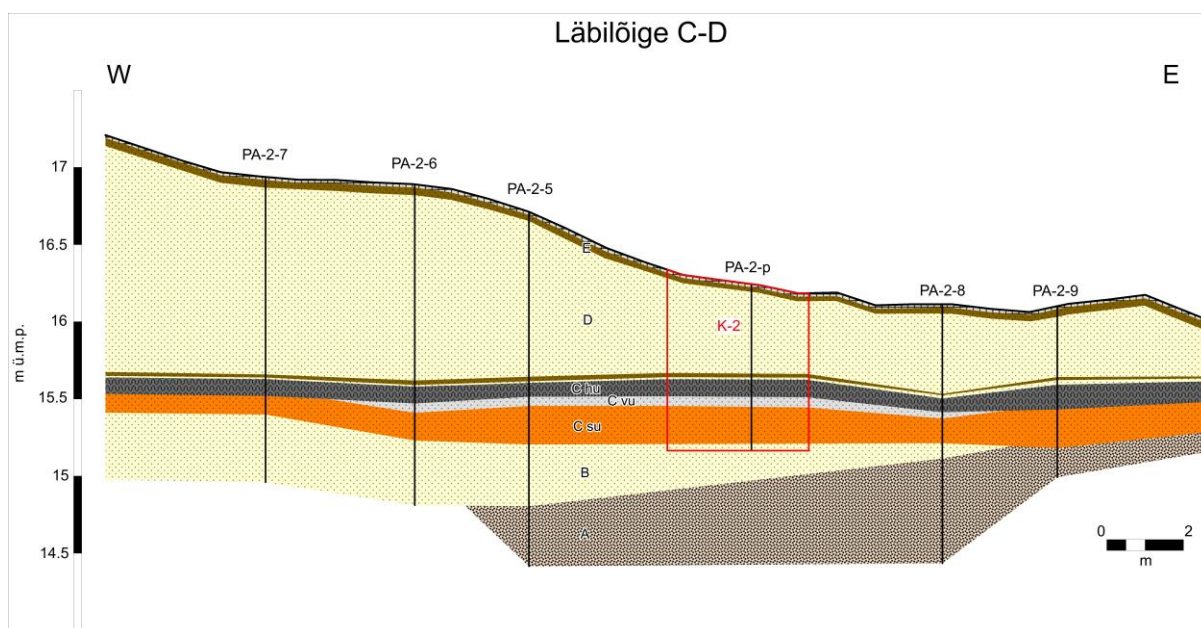
Uuritud läbilõike kõige alumise osa moodustab kihitatud sõmer valkjashall kuni beež peene- kuni keskmiseteraline liiv (kiht A). Kiht avati puuraukudes 3, 4, 5, 8, 9 ja 11 ning selle ülemine pind paikneb absoluutkõrgusel 14,6 – 15,2 m ü.m.p. Liiv sisaldab paiguti karbidetriiti ja hajusalt ka õhukesi (1 – 2 mm) orgaanika vahekihte.

Kihitatud liival lasuvad massiivsed beežid peene- kuni keskmiseteralised liivad kihi paksusega 0,1 – 0,4 m (kiht B). Sellele järgneb mullatekkeprotsessidest mõjutatud punakaspruunide kuni valkjashallide peene- kuni keskmiseteraliste liivade settekompleks (kiht C), mille ülemise osa moodustab 0,09 – 0,16 cm paksune huumuserikka paleomulla kiht (kiht C hu). Huumuskihi all on mullaprotsesside käigus paiguti välja kujunenud nii valkjashalli liiva sisseuhte (kiht C su) kui ka punakaspruuni rauarikka liiva väljauhte (kiht C su) horisondid.

Huumusega peenliival lasuvad helebeežid põimjaskihilised orgaanikarikkamate vahekihtide ja lamellidega peen- kuni keskliivad paksusega 0,4 – 1,3 m (kiht D), mille peal on kaasaegne liivane huumuskiht (kiht E). Kõige paksem (kuni 3 cm) orgaanika vahekiht, mis on jälgitav enamikes puuraukudes (joonis 10), asub settekompleksi alumises osas ning seda eraldab huumuskihist kuni 4 cm paksune peenliiva vahekiht (Joonis 10).



Joonis 8. Kaevandi K-2 lõuna-põhja suunaline läbilõige. Põllukiht kiidub välja PA-2-4 ja PA-2-11 vahel.



Joonis 9. Kaevandi K-2 lääne-ida suunaline läbilõige

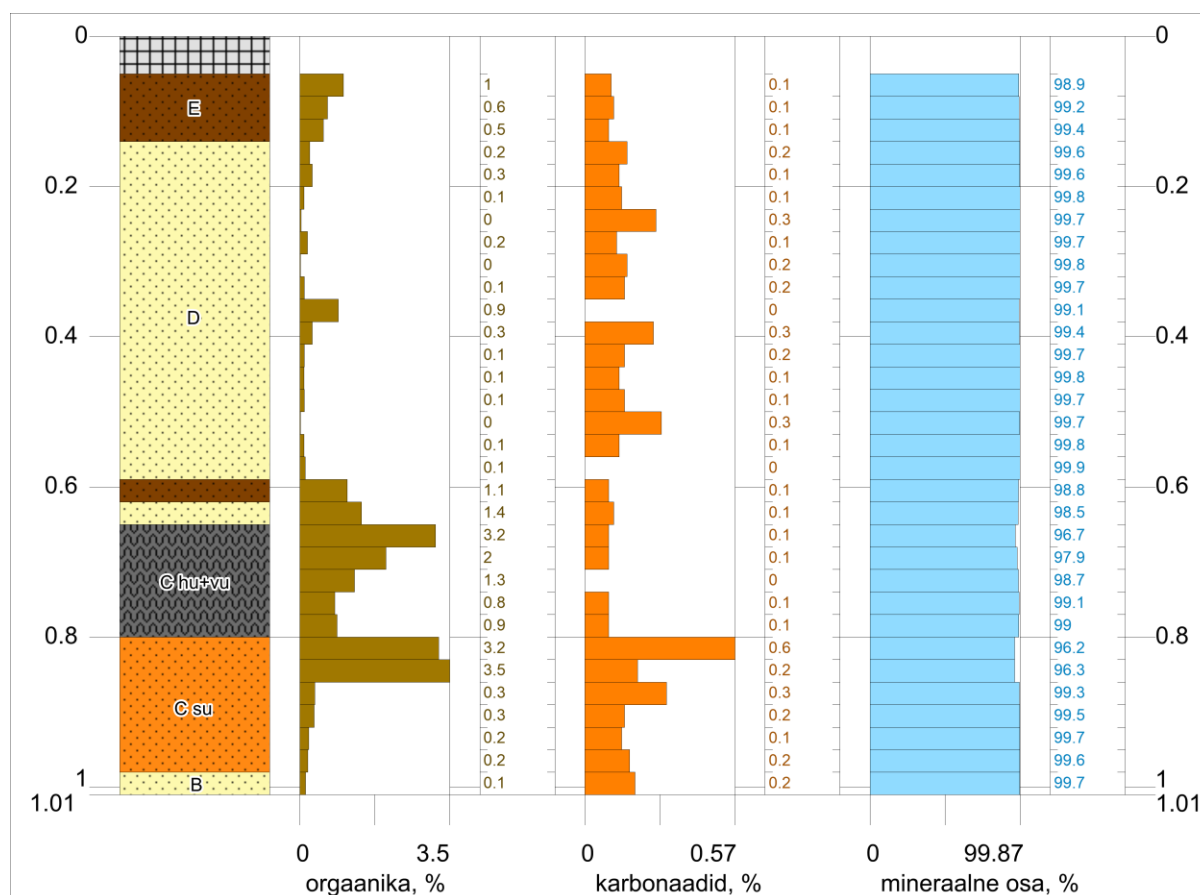
4.2.2. Mattunud paleomuldade koostis

Mattunud paleomulla kihis on eristatav huumushorizont (C hu), paiguti selle alune väljauhtehorizont (C vu) ja hästi eristatav punakaspruuni värvi sisseuhtehorizont (C su). Mattunud paleomulla (kiht C hu+su) OA sisaldused on madalad, vähenedes sügavuse suunas ja jäädes vahemikku 0,82 – 3,17% (Joonis 10). Põllukihi all olevas punakaspruunis liivas

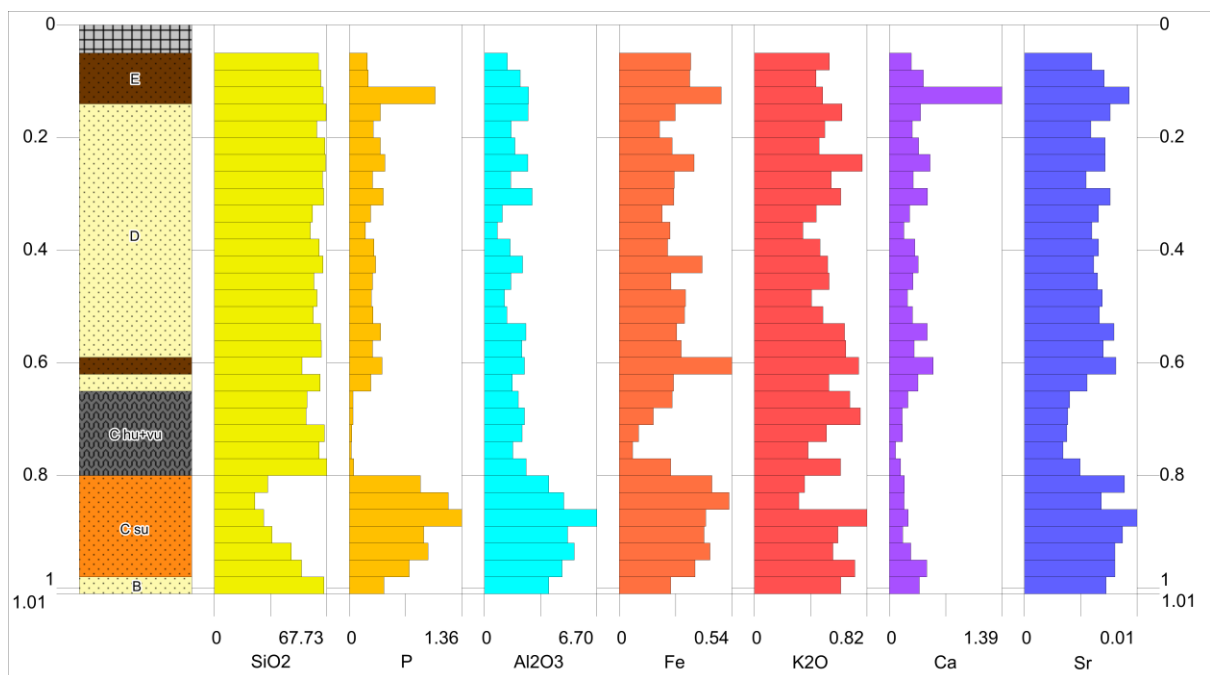
(kiht C su) on ülemise 6 cm OA 3,24 – 3,50%, aga sügavuse suunas on OA madal, jäädes vahemikku 0,19 – 0,35%.

Karbonaadisisalduse koha pealt paistab silma roostevärvi liivade (kiht C su) ülemine kiht (kontaktpind põllukihiga) 0,57%. Põllukihi (kiht C hu) karbonaadisisaldus on teistest kihtidest natuke väiksem, jäädes vahemikku 0 – 0,9%.

Paleomulla (kiht C hu) ja sellel lasuvate kihtide (kiht D) SiO₂ sisaldus on ühtlane (Joonis 11), kuid mullakihi all olevas roosteses kihis (kiht C su) väheneb SiO₂ sisaldus märgatavalt ja suureneb sügavuse suunas. Paleomuld on P osas vaesustunud, kuid roostevärvi liivas P ja Al₂O₃ sisaldus suureneb. Nii Fe kui ka Sr sisaldustes on näha vaesustumist huumusekihis (kiht C hu) ja kõrgemad sisaldused jäävad roostevärvi liivakihti. K₂O ja Ca sisalduses tuleb samuti välja vaesustumine paleomullas (kiht C hu).



Joonis 10. Kaevandi K-2 kuumutuskaotuse analüüsi tulemused



Joonis 11. Kaevandi K-2 geokeemilise analüüsi tulemused

4.2.3. Mattunud paleomulla ja katteliivade lõimis.

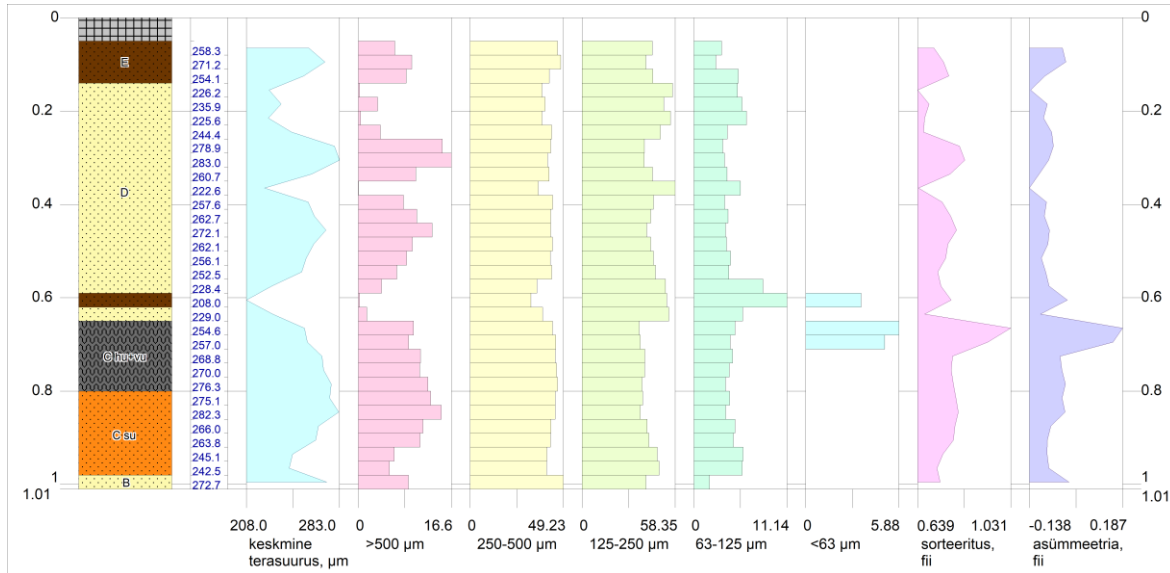
Katteliivade ja mattunud paleomulla (kiht C hu) lõimis on sarnane, domineerib peene- kuni keskmiseteraline liiv (Joonis 12). Paleomulla keskmine terasuurus suureneb sügavuse suunas, jäädes vahemikku 254,6 – 276,3 μm . Kihi ülemises 6 cm on $<63 \mu\text{m}$ suurusega osakesi 4,98 – 5,88%. Põllukihi lamavas roostevärvi kihis keskmine terasuurus väheneb sügavuse suunas ja on vahemikus 242,5 – 282,3 μm . Roostevärvi liivade lamavas liivas on keskmine terasuurus 272,7 μm . Põllukihil lasuvates liivades kõiguvad keskmised terasuused 222,6 – 283,0 μm . Suurem keskmine terasuurus esineb kahe intervallina 0,23 – 0,32 m ja 0,29 – 0,47 m sügavusel.

Kaevand K-2 setted on peaaegu kogu ulatuses keskmiselt hästi kuni keskmiselt sorteeritud, jäädes vahemikku 0,639 – 0,934 ϕ . Erandina tuleb välja põllukihi ülemised 3 cm, kus sorteeritus on 1,031 ϕ ja seega halvasti sorteeritud.

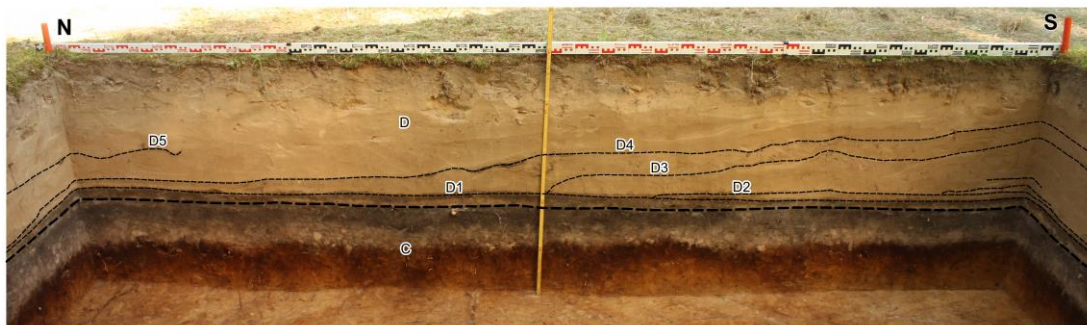
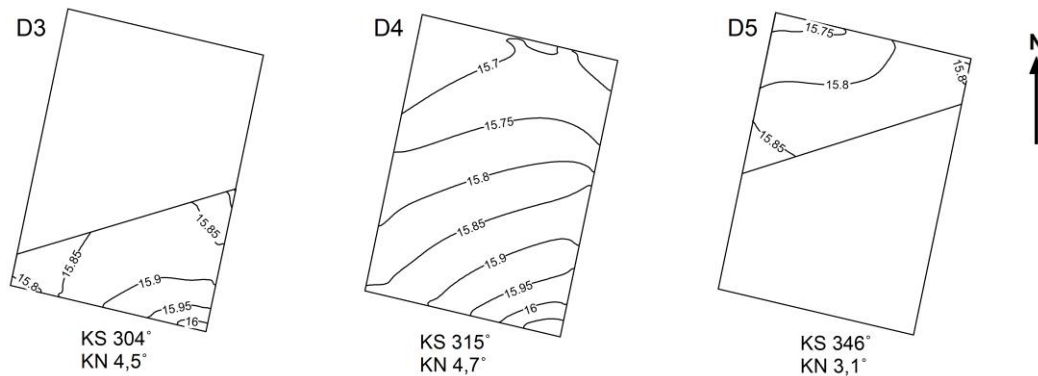
4.2.4. Katteliivade kihipinnad

Kaevandi K-2 seintes tulevad paleomulla lasuvates katteliivades hästi esile õhukesed kaldus kamardunud orgaanikarikkad kihid, mille vahelised liivad kiilduvad välja põhjaseina suunas (joonis 13). Kolme paremini väljapeetud kihi (D3, D4 ja D5) kohta interpoleeriti kihipinnad, mille alusel hinnati kihtide kallakusnurka ja rõhtsihti. Kolmest kihist on kaeve seintes läbiv kiht D4. D5 on kõige ülemine kiht ja on nähtav kaeve põhjapoolses osas. D3 on alumine kiht

ja nähtav kaeve lõunapoolses osas. Kihi D3 kallakusuund on 304° ja kallakusnurk on 4,5°, kihi D4 kallakusuund on 315° ja kallakusnurk on 4,7° ning kihi D5 kallakusuund on 346° ja kallakusnurk 3,1°.



Joonis 12. Kaevandi K-2 lõimiseanüüsi tulemused



Joonis 13. Arheoloogilise kaevandi K-2 idasein koos mattunud paleomulla kihi (C) peal lasuvate katteliivade kamardunud vahekihtidega (kihid D1-5) ning kihipindade D3-D5 samakõrgusjooned (m ü.m.p.). Kiht D3 esineb kaevandi lõunaosas ja kiildub välja kihi D1 külge. Kiht D4 läbib tervet kaevandit. Kiht D5 esineb ainult kaevandi põhjaosas.

4.3. Kaevandi K-3 geoarheoloogiline kirjeldus

4.3.1. Setete levik ja stratigraafia

Arheoloogilise kaevandi K-3 (joonis 1A) kuumutuskao, lõimise ja setete geokeemia analüüsitulemused on esitatud joonistel 14-16.

Kihilised liivad (kiht A) algasid absoluutsel kõrgusel 19,5 m ü.m.p. Kihiliste liivade peal lasuva kihi moodustab massiivne beež peenliiv (kiht B) paksusega 0,3 m. Sellele järgneb mullatekkeprotsessidest mõjutatud punakaspruunide kuni valkjashallide peene- kuni keskmiseteraliste liivade settekompleks (kiht C), mille ülemise osa moodustab 3 cm paksune söetükkidega huumuserikka paleomulla kiht (kiht C hu).

Paleomullal lasuvad massiivsed beežid peenliivad (kiht D), mille sees on 77 cm sügavusel 1 cm paksune pruun orgaanikarikka peenliiva vahekiht. Peenliivade peal on kaasaegne liivane huumuskiht (kiht E).

4.3.2. Mattunud paleomulla koostis

Mattunud paleomulla kihis on eristatav huumushorisont (C hu), paiguti selle alune väljauhtehorisont (C su) ja hästi eristatav punakaspruuni värvi sisseuhtehorisont (C vu). Paleomulla huumuskihi OA sisaldused on madalad ja vähenevad sügavuse suunas, jäädes vahemikku 0,72 – 6,44% (joonis 14). Paleomulla huumuskihi aluses roostevärvi liivas on orgaanikasisaldus mõnevõrra väiksem, jäädes vahemikku 1,26 – 1,55%.

Karbonaadisisaldus põllukihis on väiksem kui ülejäänud läbilõike raames, jäädes vahemikku 0 – 0,15%.

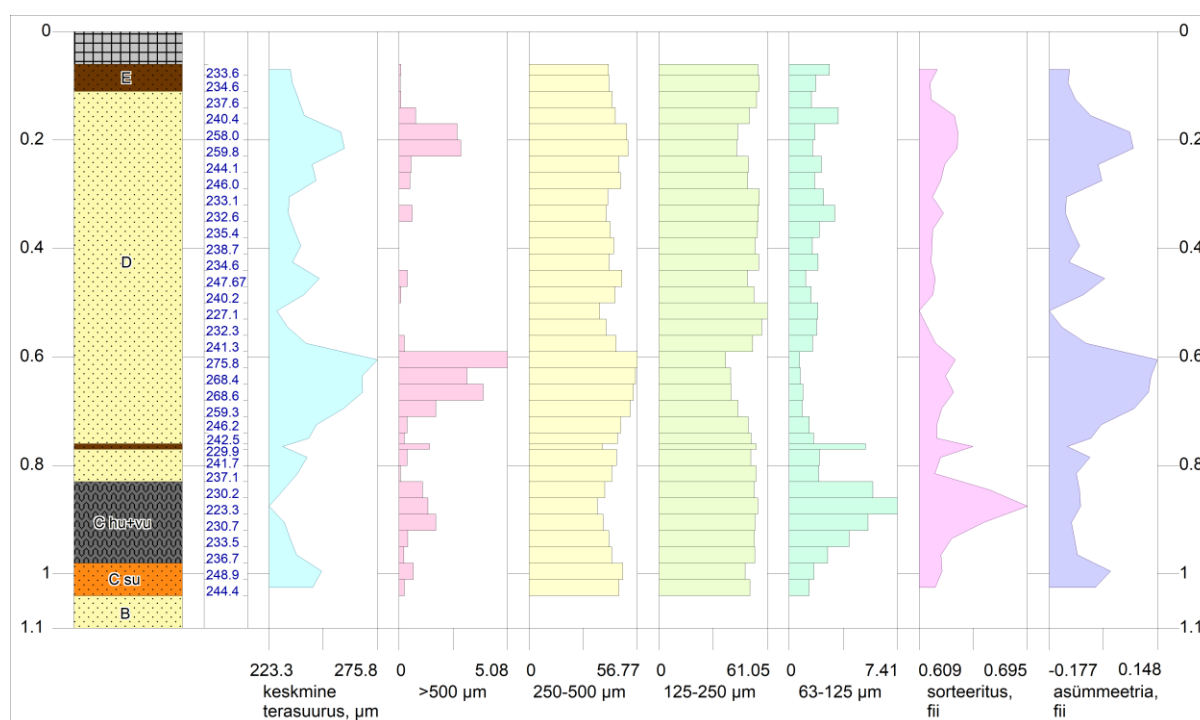
Kaevandis K-3 tuleb esile P vaesustumine paleomullas ja sisalduse suurenemine lamavas roostevärvi liivakihis. Al_2O_3 sisaldus suureneb paleomulla all olevas roostevärvi kihis (Joonis 15). K_2O ja Ca sisaldus suureneb paleomulla ülemises osas ja väheneb sügavuse suunas. Sr sisaldused vähenevad paleomullas sügavuse suunas.

4.3.3. Mattunud paleomulla ja katteliivade lõimis.

Kaev K-3 läbilõikes domineerivad peenliivad. Valdav osa katteliivadest (kiht D) on peenliivad keskmise terasuurusega 233,6 – 247,7 µm, jämeliiva osakaal nendes on 0 – 0,77% ja ülipeenliiva osakaal on 0,73 – 3,36% (Joonis 16). Kahes intervallis tuleb esile järsk keskmise terasuuruse suurenemine. 0,17 – 0,23 m sügavusel on keskmine terasuurus vahemikus 258,0 – 259,8 µm ja jämeliiva osakaal 2,72 – 2,89% ning 0,59 – 0,71 m sügavusel on keskmine terasuurus 259,3 – 275,8 µm ja jämeliiva on 1,72 – 5,08%. Mattunud paleomullakihi (kiht C hu) tuleb esile suurem ülipeenliiva sisaldus, mis väheneb sügavuse suunas ning jääb vahemikku 2,64 – 7,41%.

Läbilõige on keskmiselt hästi sorteeritud, jäädes enamjaolt vahemikku 1,541 – 1,558 φ. Kehvemini on sorteeritud orgaanikarikas vahekiht katteliivade (kiht D) alumises osas (1,571 φ) ning paleomulla (kiht C hu) ülemised 9 cm (1,580 – 1,619 φ).

Kaevandi K-3 katteliivade alumises osas tuleb välja kaldus orgaanikarikkam vahekiht, mis kiildub kinni põhja suunas (Joonis 17).



Joonis 16. Kaevandi K-3 lõimiseanalüüsi tulemused



Joonis 17. Kaevandi K-3 kaldus orgaanikarikas vahekiht katteliivades. Kiht D1 kiildub välja põhjasuunas.

4.4. Kaevandi K-4 geoarheoloogiline kirjeldus

4.4.1. Setete levik ja stratigraafia

Arheoloogilise kaevandi K-4 (joonis 1A) kuumutuskao, lõimise ja setete geokeemia analüüsitulemused on esitatud joonistel 18-20.

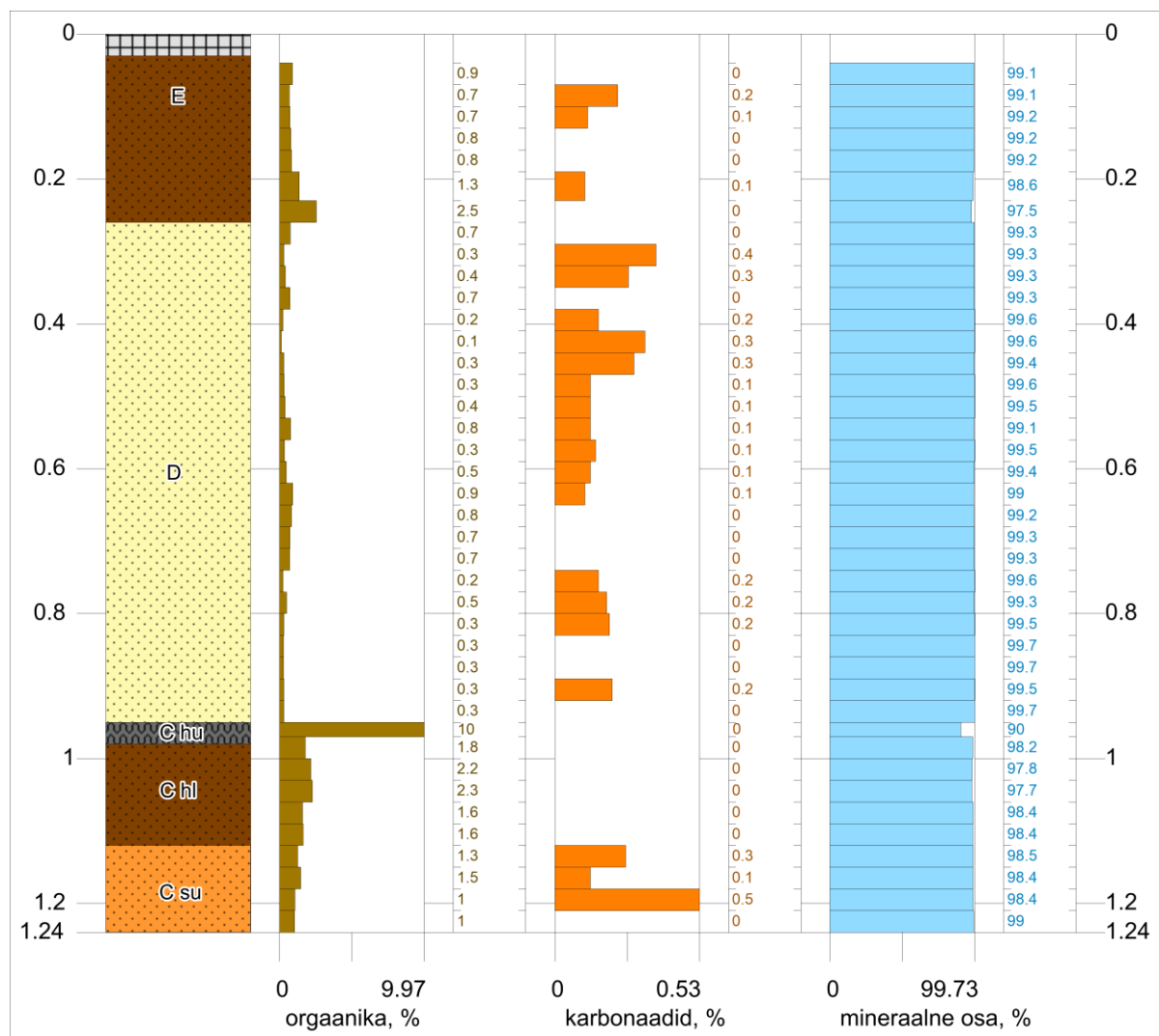
Kihiliste liivadeni (kiht A) selles kaevandis ei jõutud ning läbilõike alumise osa moodustab massiivne beež peenliiv (kiht B). Sellele järgneb mullatekkeprotsessidest mõjutatud punakaspruunide kuni hallide peene- kuni keskmiseteraliste liivade settekompleks (kiht C), mille ülemises osas on 3 cm paksune tumehall huumuserikas söetükkidega peenliivast koosnev paleomulla kiht (kiht C hu). Selle all on 14 cm paksune hall vähese huumusega massiivne peenliiv (kiht C hl), mille all omakorda roostevärvi peenliiv (C su).

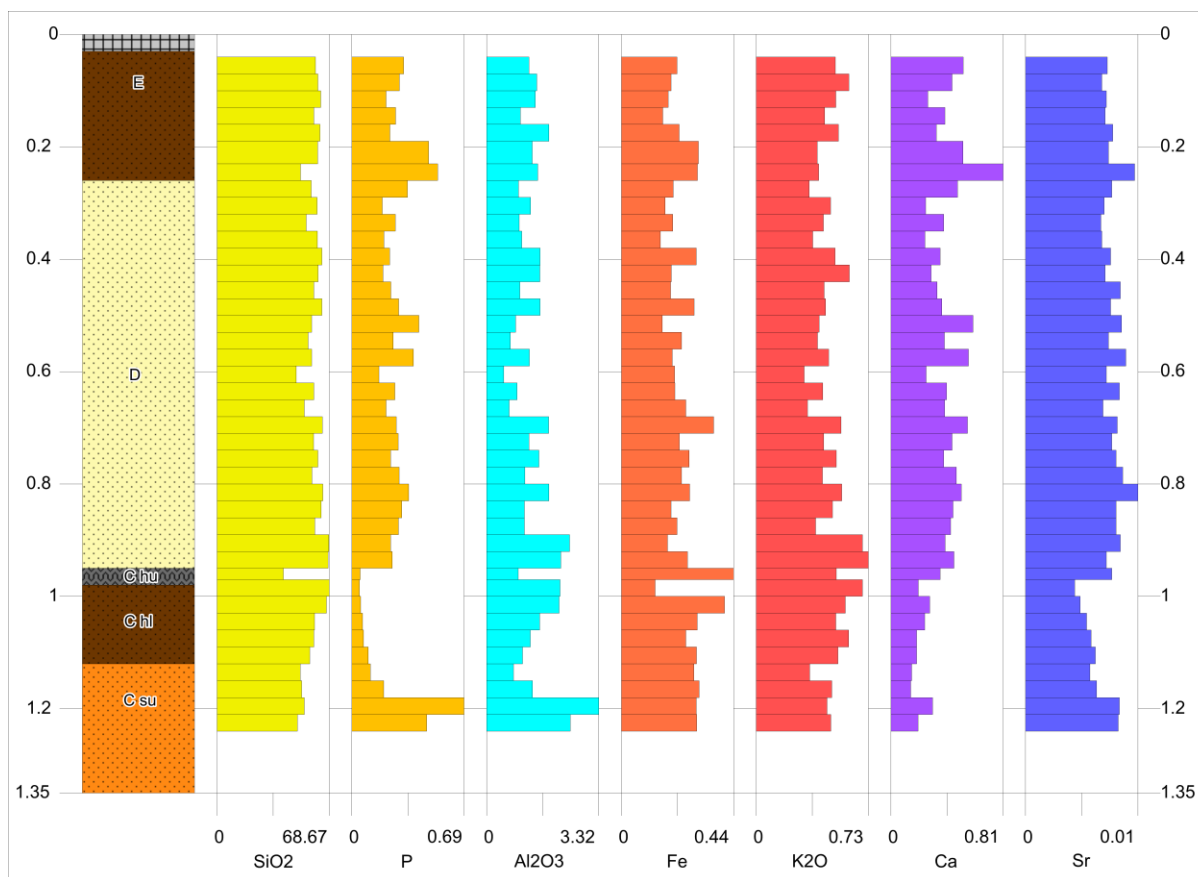
Paleomullal lasuvad massiivsed beežid peenliivad (kiht D), mille ülemises osas on 7 cm paksune pruun söetükkidega huumuserikas peenliivakiht (kiht D hl). Peenliivade kompleksi peal on kaasaegne liivane huumuskiht (kiht E).

4.4.2. Mattunud paleomulla koostis

Mattunud paleomulla kihis on eristatav huumushorizont (C hu), paiguti selle alune väljauhtehorizont (C su) ja hästi eristatav punakaspruuni värvi sisseuhtehorizont (C vu). Kaevandis K-4 (Joonis 1A) on mattunud paleomulla huumuskihi (kiht C hu) OA sisaldus 9,97% ja selle all olevas orgaanikarikkas liivakihis (kiht C hl) on OA sisaldus 1,59 – 2,26% (Joonis 18).

Kaevandi K-4 mattunud paleomuld (kiht C hu) paistab silma väiksema SiO₂ sisaldusega (Joonis 19). Samuti on kiht vaesustunud P osas, mille sisaldus suureneb sügavuse suunas kuni järsu tõusuni roostese kihi (kiht C su) ülemises osas. Al₂O₃ sisaldus paleomullas (kiht C hu) on ümbritsevast väiksem, Fe sisaldus suurem. Ca sisaldus väheneb huumusega peenliivas (kiht C hl) sügavuse suunas. Sr sisaldus on väikseim huumusega liivakihi ülemises osas ja suureneb sügavuse suunas.



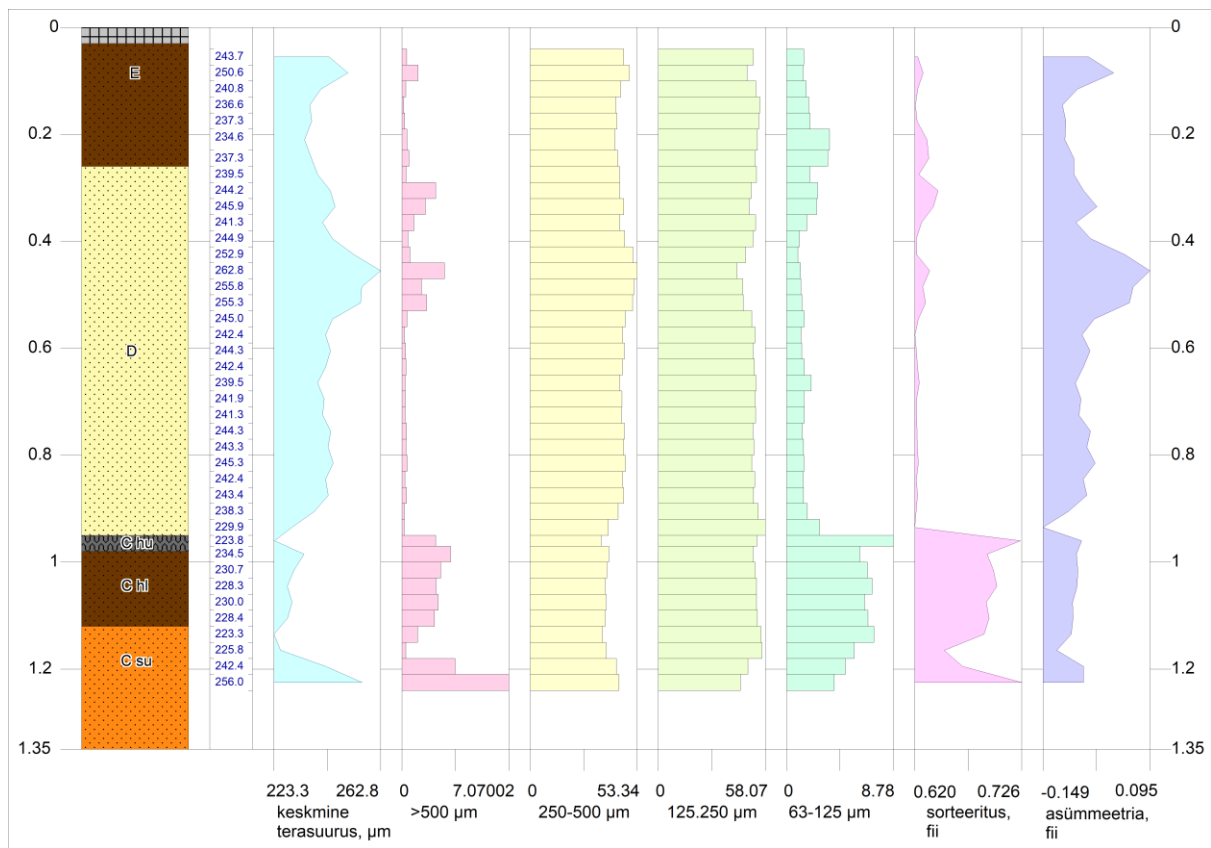


Joonis 19. Kaevandi K-4 geokeemilise analüüsi tulemused

4.4.3. Mattunud paleomulla ja katteliivade lõimis

Nii katteliivade (kiht D) kui ka paleomulla (kiht C hu) lõimises domineerivad peenliivad (joonis 20). Katteliivade keskmine terasuurus kihis on 229,9 – 262,8 μm ja suuremad väärtused jäävad 0,41 – 0,53 m sügavusele (Joonis 20). Kihi ülemises osas on jämeliiva sisaldus suurem (0,26 – 2,81%) kui alumises osas (0,15 – 0,34%). Paleomullas (kiht C hu) tõusevad lasuva liivakihi (kiht D) võrreldes järsult jämeliiva sisaldus, jäädes vahemikku 2,22 – 3,21%, ja ülipeenliiva sisaldus, jäädes vahemikku 6,01 – 8,78%.

Sorteeritus on läbilõikes sügavuse suunas kuni paleomulla kihini (kiht C hu) ühtlane, jäädes vahemikku 0,620 – 0,643 ϕ . Paleomuld ja sellest allapoole jäävad orgaanikarikas liiv (kiht C hl) ja roostevärvi liiv (kiht C su) on halvemini sorteeritud, jäädes vahemikku 0,649 – 0,726 ϕ .



Joonis 20. Kaevandi K-4 lõimiseanalüüsi tulemused

5. Arutelu ja järeldused

Uuritud setteläbilõigete kõige alumise osa moodustasid kihilised paiguti karbidetriiti sisaldavad liivad (kiht A), mille ülemine pind paiknes K-1 alal absoluutkõrgusel kuni 17,4 m ü.m.p. ja K-2 alal kõrgusel 15,2 m ü.m.p. Setete näol on tegemist rannavööndis kuhjunud materjaliga, mis jääb varasemalt hinnatud Litoriinamere maksimaalsest veetasemest (ligi 5500 eKr) 19 m ü.m.p. (Muru *et al.*, 2017) 2 – 4 m madalamale kõrgusele. Kuna kihiliste liivade näol on tegemist rannasetetega, siis kujunesid kihi A liivad arvatavasti ca 5500 – 5000 eKr Litoriinamere kõrges faasis rannalähedases meres.

Kihiliste rannaliivade peal lasuvad kihitamata peene- kuni keskmiseteralised liivad (kiht B) on keskmiselt kuni keskmiselt hästi sorteeritud ning settes puuduvad vilgud. Kõige tõenäolisemalt on kihi liivad seega tuuletekkelised (eoolsed) ja võisid kujuneda Litoriinamere taandudes, tollase rannajoone lähistel, rannaliiva ümbersettimise käigus. LiDAR reljeefimudelilt on näha, et Litoriinamere kõrgeima rannajoone vööndis on algseid sirgeid ja rannaga paralleelseid rannamoodustisi mitmel pool tuule poolt ümber kujundatud (Joonis 1A). Arvatavasti kujunes ka käesoleva töö uuringualal Litoriinamere taandumise käigus rannamoodustiste peale eoolne kate (kiht B), mis erineb lamavatest rannaliivadest eelkõige setete kihilisuse puudumise osas (Joonised 8 – 9).

Kaevandis K-1 on nende eoolsete liivade seest leitud nii neoliitikumi vanusega leide kui ka kaks mattunud paleomulla (põllu) kihti (kihid C hu1 – 2). Setete sondeerimine näitas, et need kihid jätkuvad ka kaevandist edela suunas ja et neid võiks rööbistada 10 m edelas esinevate Ruu-Ihaste maantee alal kirjeldatud analoogsete põllukihtidega, mis avastati 2011 aastal seal teostatud päästekaevamistel. Nendest põllukihtidest kogutud söetükkidest radiosüsiniku dateeringud osutavad seal maaharimisele vahemikus u 1300 eKr kuni 50 eKr (keskmistatud vanused; Kriiska *et al.*, *in press*). Võimalik, et sellise vanusega on samuti kaevand K-1 alalt 2021. aastal välja kaevatud põllujäänused, kuid ülemise paleomulla puhul ei välistu ka noorem vanus (Aivar Kriiska suuline teadaanne 26.05.2022). Kaevandis K-1 jääb paleomulla kihtide vahele ka lokaalne, kuni 17 cm paksune mullaprotsessidest mõjutatud peenliiva kiht, mis kiildub välja kaevandi põhjaosas (Joonis 4), ja mis on tõenäoliselt seotud alumise mullakihi luigestumisega.

Töös uuritud paleomullad on kujunenud SiO₂-rikastele liivadele, mis annab eelduse leetumiseks (Mander & Liiber, 2014). Setete geokeemilistest analüüsides (Joonised 6, 11, 15, 19) ja settekihtide kirjeldusest on näha väljakujunenud mullaprofiile nii alumise (kiht C hu1) kui ka ülemise paleomulla (kiht C hu2) puhul. Mullaprofiilist on välja kantud leelis- ja leelismuldmetallid (Mander & Liiber, 2014), mis seletab ülejäänud settekihtidest väiksema Sr sisalduse paleomullas ja suurema sisalduse selle all olevates kihtides (Joonis 11). Leetumisprotsessides ei püsi savimineraalid stabiilsena ja porsuvad edasi, mistõttu <63 µm terasuurusega osakeste sisaldus paleomuldades on väike või puudub (Joonised 7, 12, 16, 20). Leetumise tulemusena kujuneb välja hele väljauhte- ehk leethorisont, mis on nähtav kaevand K-2 lääne-ida suunalises läbilõikes (Joonis 8). Leethorisondi alla kujunevasse sisseuhtehorisonti (kiht C su) viiakse vee liikumise toimele raud ja alumiinium (Mander & Liiber, 2014), mis tuleb välja ka antud töös tehtud geokeemilise analüüsi tulemustes (Joonised 6, 11, 15, 19). Sisseuhtehorisonti (kiht C su) kuhjuvad ka toitained, mistõttu on seal P ja Ca sisaldused kõrged ning paleomuldade huumushorisont (C hu) fosforist ja kaltsiumist vaesustunud. Sisseuhtehorisont (kiht C su) on jälgitav kaevandi K-1 alumise (C hu1) ja ülemise paleomulla (C hu2) all, kaevandis K-2 ja selle ümbrusesse rajatud puuraukudes ning kaevandites K-3 ja K-4.

Huvitavaks uurimisküsimuseks oli antud töös põllukihtide mattumine. Olemasoleva uurimismaterjali põhjal on teada kaks mattumissündmust, millest esimene on lokaalne ja seotud vaid kaeve K-1 ümbrusega (kiht C su2) ning teine, mis on jälgitav kõigis uuritud läbilõigetes (kiht D; Joonised 4, 8, 9). Viimase mattumise käigus muutus oluliselt ka uuringuala pinnamood (Joonis 8) ning varasem maapind mattus ulatuslikul alal 0,4 – 1,3 m paksuste liivade alla (Joonis 1B; läbilõiked).

Mattumise käigus kuhjusid peene- kuni keskmiseteralised keskmiselt kuni keskmiselt hästi sorteeritud ja paiguti õhukesi kamardunud vahekihte sisaldavad luiteliivad ning kujunes luitemaastikule tüüpiline künklik reljeef (Joonis 1B). Katteliivade sees ei esine suuremaid ja erinevate kaevandite vahel rööbistatavaid mullakihte ning nende lõimis on erinevates kaevandites sarnane. Seetõttu võib arvata, et mattumine võis toimuda ühe suurema luidestumisperioodi vältel. Seda seisukohta toetavad ka kaevandite K-1 kuni K-4 katteliivadest analüüsitud liivaproovide luminessentsanalüüsi dateeringute esialgsed tulemused, mis näitavad nende liivade ligikaudu samaaegset kujunemist, kuid täpsema vanuse hindamine on hetkel veel pooleli (Aivar Kriiska suuline teadaanne 26.05.2022). Seega saab praegust uurimisseisu

arvesse võttes hinnata, et muinaspõldude ja paleomuldade mattumine leidis aset peale viimast maaharimise perioodi 50 eKr, kuid mattumise täpsem vanus vajab veel selgitamist.

Kaevandi K-2 katteliivades esile tulevad õhukesed kaldus kamardunud orgaanikarikkad kihid, mille vahelised liivad kiilduvad välja põhja ja loode suunas (kihtide kallakussuuna asimuut 304-346°) (Joonis 13), näitavad põllukihi järk-järgulist mattumist lõuna ja kagu suunalt. Sarnast liivade väljakiildumist põhja suunas on näha ka kaevandi K-3 alumises osas (Joonis 17). Rannikualadel on luidete reaktiveerumise põhjusteks sageli tormide poolt põhjustatud (metsa) kahjustused, kuid sellistel juhtudel toimub liivade liikumine rannast maismaa suunas, mis on vastupidine kaevand K-2 katteliivades täheldatule. Samuti paiknes 700 pKr aegne rannajoon juba ca 1 km kaugusel (Joonis 1A). Üheks võimalikuks luidete reaktiveerumise põhjuseks on inimtegevus. Paleomuldade mattumist lõuna poolt liikuvate liivade poolt võis eelkõige põhjustada ulatuslik metsade raie piirkonnas, mida on näidanud analoogsed uuringud Taanis (Clemmensen *et al.*, 2007).

Järeldused:

- Jägala Jõesuu mattunud paleomullad, millega paiguti seonduvad fossiilsed muinaspõllud, on kujunenud luigestunud Litoriinamere rannamoodustistele ja levivad piirkonnas ulatuslikumal alal. Kihitatud rannaliivadel lasuvate luiteliivade näol on tegemist peene- kuni keskmiseteraliste keskmiselt kuni keskmiselt hästi sorteeritud liivadega, mis on mõjutatud hilisematest mullaprotsessidest.
- Uuritud paleomuldadel on suhteliselt hästi välja kujunenud leetunud mullaprofiil huumushorisoni, leet- ehk väljauhtehorisoni ja sisseuhtehorisoniga. Leetumisega kaasnes huumushorisoni vaesustumine toitainetest (P, Ca) ning strontsiumi väljakanne. Leethorisoni alla kujunevasse sisseuhtehorisoni kanti aga vee liikumise toimele raud ja alumiinium ning toitained (P, Ca).
- Mattunud põldude K-2 ja K-3 katteliivades nähtavad kamardunud orgaanikarikkad kihid, mille vahelised liivad kiilduvad välja põhja ja loode suunas, näitavad põllukihi järk-järgulist mattumist lõuna ja kagu suunalt liikuvate liivade alla. Luiteliivad mattunud paleomullakihi all ja peal on sarnase lõimisega, mis viitab, et mattumine võib olla seotud varasemalt kuhjunud (Litoriinamere) luiteliivade reaktiveerumisega näiteks ulatuslikuma metsaraie tagajärjel.

- Paleomuldade mattumine toimus suurel alal ühe suurema luideustumisperioodi vältel, kuna katteliivade lõimis on sarnane. Samaaegset kujunemist näitavad ka liivaproovide luminessentsanalüüsi dateeringute esialgsed tulemused. Katteliivad on arvatavasti settinud peale viimast maaharimise perioodi 50 eKr .
- Kaevandis K-1 välja tulnud kahe paleomulla (põllu) kihi (C hu1 ja C hu2) vahel olevad liivad näitavad, et alal on ka varem esinenud luideustumist, kuigi väiksemas mahus.

Kokkuvõte

Jägala Jõesuu linnamäe lähistel paiknevalt vanalt liivikult on arheoloogid avastanud mitmeid liivakihi alla mattunud paleomuldade kihte, mis kujutavad endast pronksi ja rauaaegseid muinaspõlde (Khrustaleva *et al.*, 2020) ja mille kujunemise ning mattumislugu on jäänud senini paljuski selgusetuks. Käesolevas geoarheoloogilises uurimuses püüti setete kirjeldamise ja erinevate geoloogiliste analüüsimeetodite abil täpsustada muinaspõldude kujunemise ja mattumise lugu. Samuti arutati võimalike mattumise mehhanismide üle. Selleks analüüsiti arheoloogilistest kaevanditest kogutud setteproovide lõimist ja koostist ning sondeeriti käsipuurimisega kaevandite lähiümbrust.

Paleomuldade ning sellel lasuvate ja lamavate kihtide uurimiseks tehti setetele kuumutuskaos, lõimise ja geokeemia analüüs. Analüüsitulemuste graafiliseks esitamiseks, setteläbilõigete ja ülevaatejoonise tegemiseks kasutati GIS meetodeid. Samuti kasutati GIS võimalusi katteliivades olevate kamardunud vahekihtide pinnamudelite tegemisel ja selle kaudu kihtide kalde ja kalde asimuudi määramiseks.

Tööst tuli välja, et mattunud paleomullad ja nendega seonduvad fossiilsed muinaspõllud levivad piirkonnas ulatuslikul alal ning on kujunenud luigestunud Litoriinamere rannamoodustistele. Uuritud paleomuldadel on küllaltki hästi välja kujunenud leetunud mullaprofiil huumushorisoni, leethorisoni ja sisseuhtehorisoniga. Paleomuld mattus suurel alal ühe luigestumisperioodi vältel luiteliivadega järk-järgult lõuna ja kagu suunalt. Lõimiseanalüüsist tuli välja, et luiteliivad mattunud paleomulla kihi all ja peal on sarnase lõimisega, mis viitab, et mattumine võis olla seotud varasemalt kuhjunud luiteliivade reaktiveerumisega. Reaktiveerumine võis toimuda näiteks metsaraie tagajärjel. Alal on väiksemas mahus toimunud luigestumine ka ülemise ja alumise paleomulla vahelisel ajajärgul.

Summary

Archaeologists have discovered several layers of paleosoil buried under the sand layer in near Jägala Jõesuu hillfort, which are bronze and Iron Age ancient fields (Khrustaleva et al., 2020). Formation and burial history of these paleosoils have remained largely unclear. The present geoarchaeological study sought to clarify the history of the formation and burial of ancient fields through the description of sediments and various geological analysis methods. Possible burial mechanisms were also discussed. To this end, the integration and composition of sediment samples collected from archeological mines were analyzed and the immediate vicinity of the mines was probed by hand drilling.

The heat loss, integration and geochemical analysis of the sediments were performed to study the paleosoils and the layers on and under it. GIS methods were used to graphically represent the results of the analysis, to make sediment sections and to provide an overview drawing. The possibilities of GIS were also used to make surface models of the organic rich interlayers in the cover sands and thereby to determine the inclination and azimuth of the layers.

The study revealed that buried paleosoils and associated fossil fields are spread over a large area and have developed on dune sands overlaying the coastal formations of the Littorina Sea. The studied soils have a fairly well-developed podzolization soil profile with upper humus layer, eluvial horizon and illuviated horizon. Paleosoils were buried in a large area gradually during one burial period with dune sands from the south and southeast. The integration analysis revealed that the recumbent and overlaying dune sands of buried paleosoil have a similar integration which suggests that the burial may have been related to the reactivation of previously accumulated dune sands. Reactivation could occur, for example, as a result of deforestation. A smaller burial of paleosoil occurred in the era between the lower and upper paleosoil.

Tänuavaldused

Töö autor tänab väga oma juhendajat Alar Rosentaud. Samuti Aivar Kriiskat abi eest töö kokku kirjutamisel, Päärn Paistet abi eest liivaproovidest orgaanika välja lahustamisel, Peeter Somelari geokeemia tulemuste osas nõu andmisel, Riho Mõtlepi käsi-XRF-iga analüüsimise juhendamisel. Samuti tänab autor kõiki, kes käisid välitöödel.

Kasutatud kirjandus

Blott, S.J., Pye, K. (2001). Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237–1248.

Clemmensen, L. B., Bjørnsen, M., Murray, A., & Pedersen, K. (2007). Formation of aeolian dunes on Anholt, Denmark since AD 1560: A record of deforestation and increased storminess. *Sedimentary Geology*, 199(3-4), 171-187.

Heiri, O., Lotter, A. F., & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25(1), 101-110.

Johanson, K., & Veldi, M. (2005). Archaeological excavations at Jägala hillfort. *Archaeological fieldwork in Estonia*, 29-40.

Khrustaleva, I. & Kriiska, A. (2022). Jägala Jõesuu V Stone Age settlement site (northern Estonia): Spatial and contextual analysis of finds. *Estonian Journal of Archaeology* 26 (2), *in press*.

Khrustaleva, I., Roog, R., Kholkina, M., & Kriiska, A. (2020). Hunter-gatherer pit-houses in Stone Age Estonia. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(2), 1-17.

Kriiska, A. (2011). Aruanne arheoloogilisest inspektsioonist ja järelvalvest Jägalas 18., 21. ja 25. aprill 2011. (*Manuscript in MA.*)

Kriiska, A. (2012). Ettepanekud Ruu – Ihasalu maantee äärde planeeritud kergliiklustee trassi rajamiseks Jõesuu ja JägalaJoa külade maal paiknevate arheoloogiliste muististe piirkonnas. (*Manuscript in MA.*)

Kriiska, A., & Sikk, K. (2014). Archaeological test excavations at the Mesolithic and Iron Age settlement site Jägala-Joa IV. *Archaeological field works in Estonia*, (2013), 45-54.

Kanal, A. (2014). Pedosfäär. In Ü. Mander & Ü. Liiber (Eds.), *Üldmaateadus: õpik kõrgkoolidele*. (486. 381-430). Eesti Loodusfoto.

Muru, M., Rosentau, A., Kriiska, A., Lõugas, L., Kadakas, U., Vassiljev, J., ... & Kihno, K. (2017). Sea level changes and Neolithic hunter-fisher-gatherers in the centre of Tallinn, southern coast of the Gulf of Finland, Baltic Sea. *The Holocene*, 27(7), 917-928.

Smil, V. (2000). Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), 53-88.

Vedru, G. (2006). Prehistoric Human Settlement in the Lower Reaches of the River Jägala. *Archaeologia Baltica*, 6, 104-111.

Interneti allikad

Muinsuskaitseamet (2022). Kultuurimälestiste register.

<https://register.muinas.ee/public.php?menuID=militaryheritage&action=view&id=20>

(22.05.2022)

Maa-amet (2022). Kaardirakendused. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Kaardirakendused-p2.html>. (20.05.2022)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Art Kristjan Olesk,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Jägala Jõesuu mattunud paleomuldade geoarheoloogia,

mille juhendaja on Alar Rosentau,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, alates **02.06.2024** kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Art Kristjan Olesk

27.05.2022