

Tartu Ülikool
Humanitaarteaduste ja kunstide valdkond
Ajaloo ja arheoloogia instituut
Arheoloogia osakond

Kristo Oks
TARVASTU ORDULINNUSE SEPIKODA
Bakalaureusetöö

Juhendaja: PhD Ragnar Saage

Tartu 2022

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Sepikoja uurimise meetod	9
1.1. Välitööde metoodika	9
1.2. Sisetööde metoodika.....	10
2. Sepikoja kaevandi leiuaines	14
2.1. Sepatööga seotud leiud	14
2.2. Olmeleiud	15
2.3. Detektorileiud	16
3. Laboratoorsed analüüsid	18
3.1. Metallograafiline analüüs	18
3.1.1. Metoodika	18
3.1.2. Tooraine	19
3.2. XRF analüüsid	24
4. Arutelu	26
Kokkuvõte	30
Kasutatud allikad ja kirjandus	32
Summary	35
LISAD	
Lisad: Plaanid	
Lisad: Fotod.....	

Sissejuhatus

Käesolev bakalaureusetöö käsitleb Tarvastu ordulinnuse eeslinnuses asunud sepatööpaiga arheoloogiliste välitööde tulemusi ja sealset leiuainest. Ehkki töö pealkirjas on mainitud sepikoda, siis sepikoja kui hoone konstruktsioone füüsilisel kujul ei leitud. Küll aga viitavad leiuainese ja mullas sisaldunud tagiliblede¹ ruumiline paiknemine kultuurkihis, et osaliselt saadi kaevandiga siiski sepikojale pihta. Sellest tulenevalt kasutatakse sepikoja terminit läbivalt kogu töö raames. Tarvastu ordulinnuse sepikoja uurimine allakirjutanu poolt algas arheoloogilistel välitöödel 2021. aasta suvel, millele järgnes leiuainese analüüs Tartu Ülikooli arheoloogia laboris. Tarvastu ordulinnus asub Viljandimaal Tarvastu vallas Sooviku külas. Varasema arvamuse kohaselt on Tarvastu ordulinnus rajatud kõrgele, veest ümbritsetud eestlaste muinaslinnusele (Aluve 1993, 37), kuid kaevamistulemused seda arvamust ei kinnita. Kivist linnuse rajamise aeg pole täpselt teada, kuid oletatakse 14. sajandit (*ibid.*). Linnus sai Liivi sõjas kannatada ja muutus väidetavalt varemeiks 16. sajandi lõpul püssirohuplahvatuse tagajärjel (*ibid.*).

Töö eesmärgiks on anda ülevaade Tarvastu ordulinnuse sepikoja kaevandi leiuainesest, keskendudes suurel määral raudleidude metallograafilisele analüüsile. Töö käigus püütakse vastata järgmistele küsimustele:

- Kuidas paikneb sepikoda kaevandi suhtes?
- Missuguseid töid on sepikojas teostatud?
- Milliseid metalle on kasutatud? Kust raud pärit on?
- Mida on sepikojas toodetud? Kellele toodang on suunatud?
- Missuguseid töövõtteid on kasutatud?

Ragnar Saage on oma magistritöös (2013, 4) jaganud Eesti sepikojad linna- ja maasepikodadeks, kuid käesoleva töö kontekstis võiks sellele lisada kolmanda kategooriana linnusesepikojad. Siin all tuleb silmas pidada ordu- või piiskopilinnuste

¹ Tagilible (ingl k *hammerscale*) on raua sepistamisel tekkiv jääkprodukt, mis koosneb peamiselt raudoksiidist (FeO) ja on magneetiline. Tagilibled tekivad rauasisesest šlakist, mis sepistamisel sädemetena maha kukuvad, ja raua pinnale moodustuvast oksiidikihist, mis sepistamisel laastudena maha koorub. Tagilibled säilivad pinnases hästi ning on ainsaks indikaatoriks, mis tõendavad, et paigas on tegeletud sepatööga. (Starley 1995)

juures paiknenud sepikodasid – maalinnade sepikojad liigituvad praeguse jaotuse järgi maasepikodade alla. Jüri Peetsi (2003, 179) kohaselt pärinevad enamik arheoloogiliselt uuritud Eesti sepikodasid keskajast või veelgi hilisemast ajast. Ragnar Saage (2018, 13) jagas Eesti sepikojad ajaliselt kolme faasi: ristsõja-eelne hilisrauaaeg (11.–12. saj.); üleminekuaeg (13. ja 14. saj.), kui välismaised käsitöölised asusid elama siinsetesse linnadesse, tuues kaasa uued tavad; 15.–17. sajand, kui tekkis konkurents maa- ja linnaseppade vahel.

Kuressaare piiskopilinnuse sisehoovist on leitud kaks sepikoda. Vanem, 15. sajandist pärinev hoone, on olnud kas väga kerge konstruktsiooniga või hoopis välisepikoda, mis ehitati vastu linnusemüüri seina. Sepikoja põrandal olnud kiviringi järgi pandi paika oletatav alasi asukoht, ja kolme postiaugu järgi oletatav ääsi asukoht. Ääs on ilmselt olnud pinnasega täidetud palkraketis. Hüpoteesi, et tegu on ääsiga, aitab tugevdada selle soodus paiknemine alasi suhtes, teisalt vähendas ääsi ehitamine vastu kiviseina sepikoja tuleohtlikkust. Teine sepikoda on dateeritud 16.–17. sajandisse ja see on ehitatud vastu esimese välimise kindlusemüüri seina. Paraku oli säilinud vaid sepikoja seinte vundament mõõtmetega 3,3 × 3 m. (Saage 2018, 17–18) Lisaks šlakile ja vanarauale leiti sepikojast üks ankur, neli putkkirvest, neli künakirvest, ning labidas (Peets 2003, 179). Rakvere linnuse lõunapoolsest eelhoovist leiti kahest kõrvuti asetsevast ruumist rohkelt šlakki. Sealne sepikoda tegutses 16. sajandi II poolest kuni 17. sajandi I veerandini (Aus 1984, 64). Kuivõrd tegu on ordulinnuses paiknenud sepikojaga, tuleb ordu sepatööd uurides silmas pidada, et dateeringu järgi tegutseti seal peale Saksa ordu Liivimaa haru kokkukukkumist ja Saksa ordu võimu lõppu Eesti- ja Liivimaal.

Tartu muinaslinnuse põhjaservas asuva Lossi tänava päästekaevamistel leiti sepatöö keskus, mis dateerub 13.–15. sajandisse. Varaseimad sepatööga seonduvad leiud pärinevad I aastatuhande lõpust pKr. Leiti ühe varasema sepikoja jäänused, mille leiumaterjali hulgas olid kaks Skandinaavia-tüüpi pronksripatsit, mis dateeruvad 10. sajandi II poolde. Lisaks leiti kaks rauast hoburaudsõlge ja ümmarguse põhiplaaniga rauasulatusahju alumine osa. Kaevamiste käigus avastati vähemalt kolme palkidest ehitatud sepikoja savist põhjad. Kultuurkiht sisaldas rohkelt sepašlakki, tagiliblesid,

vanarauda ja põlenud, klaasistunud pinnaga lõõriku- või ääsideinakatkeid². Tuvastada suudeti ka alaskivid. Töökodadest ja nende lähedusest leiti mitu erineva suuruse ja konstruktsiooniga metallitöötlemisahju. Kaevandi lääneosast leiti täielikult säilinud kividest ja tellistest ehitatud nelinurkne pealt avatud ääs või sulatusahi. Lisaks rauatööle on Lossi tänaval tegeletud ka värviliste metallide, peamiselt vasesulamite valuga, millele viitab pinnase suur vasesisaldus ning suurte valuvormide ja nende katkete leidmine pinnasest. (Peets 2003, 180)

Haapsalu vana turu lähedalt on leitud kaks sepikoda, mis olid ehitatud kokku kahe suurema hoonega, tõenäoliselt sepa ja tema pere eluruumidega. Varasem sepikoda on dateeritud 14. sajandi I poolde ja seal oli nelinurkne 1,9 × 1,8 m suurne ääs T-kujulise tulekoldega. Teine sepikoda on dateeritud 14. sajandi II poolde. Sepikoja üldplaan oli sarnane varasemale sepikojale, kuid selle ääs on mõnevõrra väiksem (1,7 × 1,6 m) ja L-kujulise tulekoldega. Need ääsid on parimad säilinud keskaegsed näited, kuna annavad teavet lõõtsade paiknemise kohta sepikojas. Mõlemal juhul on lõõts asunud ääsi vasakul küljel. (Saage 2018, 15–16) Viljandis leiti Riia värava eest hulgaliselt šlakki ning raua- ja luutöötlemisjääke, mis dateeriti koos ülejäänud leiuainesega 14.–16. sajandisse (Tvauri 2000, 56). Tartu värava ees paiknenud eeslinnast leiti šlakki ja tiiglikatkeid, mis dateeriti ülejäänud leidudega 14. sajandi II poolde ja 15. sajandisse (Haak 2006, 71–72).

Varbola linnuse läänevalli jalamilt leiti 28 kg sepašlakki ja põlenud savist lõõriku- või ääsideinakatkeid. Lisaks leiti 20–30 cm sügavune süvendatud hoonepõhi, mis on tõenäoliselt kuulunud sepikojale. Hoone oli korduvalt maha põlenud ja uuesti samale kohale ehitatud. Sellest andis tunnistust väga tume ja paks söerikas kultuurkiht. (Peets 2003, 179) Varbola linnusest on leitud ka sepatööga seonduv traaditõmbamise või naelategemise tööriist. See on 108 mm pikk kahest otsast murdunud nelinurkse ristlõikega raudkang, mida läbivad kümme järjestikust erineva läbimõõduga auku. (*ibid.*, 168)

Ida-Virumaal uuriti 2001. aastal Päite külast lõuna pool soise ala servas asuvat sepikojaaset. Sepikojal oli paekivist vundament ja see oli korduvalt maha põlenud. Sepikoja varasem faas on dateeritud 16.–17. sajandisse, hilisem faas 19. sajandi II poolde.

² Lõõrik ehk (õhutus)düüs on savist õhukanaliga vahelüli ääsi ja sepalõõtsa vahel, mis kaitseb lõõtsatoru otsese kuumuse eest.

Sepikojast leiti ligikaudu 150 kg šlakki, ääsikatkeid ja sepajätteid³, sealhulgas mitmeid nelinurkse ristlõikega ja erineva suurusega raudkange. Sepikojaasemest põhja pool asuvalt kõrgemalt põllumaalt leiti rohkelt rauasulatusšlakki, savist lõõrikufragmente ja hilisrauaaegsete savinõude kilde. (Peets 2003, 179) Kaali meteoriidikraatri põhjapoolselt nõlvalt on leitud kaks sepikoda. Mõlemal juhul on tegu paekivist 3 × 4 m suuruse maasse süvendatud hoonega. Nende kultuurkiht sisaldas sepašlakki, sepajätteid ning savist katusekivide tükke. Sepikodasid on seostatud Kaali mõisakompleksiga 18.–19. sajandist. (*ibid.*)

Saaremaal asuva Paatsa linnuse lähistelt liivaselt künkalt leiti sepikojaase, mida arheoloogiliselt uuriti. Ühtekokku oli ühe koha peale aja jooksul ehitatud vähemalt neli sepikoda, mis tegi uurimise raskeks – sepikodade jäänused asetsesid üksteise otsas. Pealmised sepikojad – VI (?), V, IV ja III – olid praktiliselt samal tasandil. Kultuurkiht oli tume, kohati 60–80 cm paksune ja sisaldas väikseid kive, sepašlakki ja põlenud savi. Lisaks keraamikale leiti rohkelt ka raud- ja pronksesemeid, nende hulgas nii nuge, naaskleid, naelu, neete, sõlekatkeid, ketilülisid, ehtekatkeid, pronksist ja tinast iluneete jms. Mainida tuleb ka graniidist värtnakedra toorikut, luust helmest, hülgehambast ripatsit, tulekivikilde, liivakivikettaid, rauatükke ja sepajätteid. (Peets 2003, 188) Sepikodade dateerimisel kasutati radiosüsiniku meetodit, V sepikoja aitas dateerida sepikoja kirdenurga alt leitud mündiaare 13.–14. sajandist. Järgnevad radiosüsiniku dateeringud on toodud sajandi täpsusega: VI (?) sepikoda 16.–17. sajandist; IV sepikoda 13.–14. sajandist; III sepikoda 13. sajandist; II sepikoda 11.–12. sajandist; I (?) sepikoda 11.–12. sajandist. (*ibid.*, 188–190) Paralleelselt sepikojaaseme kaevamisega toimusid arheoloogilised uuringud ka Paatsa linnamäel. Leiuaines on sarnane eelkirjeldatuga. Pealmised korrised sisaldasid rohkelt sepašlakki, klaasistunud pinnaga ääsikatkeid ja sepistusjääge (*ibid.*, 191–193). 1989. aastal kaevati linnuse lõunaosas 120 m² suurust ala, mille käigus leiti rohkelt sepašlakki ja toorrauda. Lisaks leiti ohtralt käsitsikeraamika- ja üksikuid kedrakeraamikakilde, pronksnaaste, tulusrauakatkeid, paar nuga ja võimalik sepatangide käepidemekatke. (*ibid.*, 194–195) Rauatööga seonduv leiuaines, eriti aga tagiliblede esinemine pinnases, viitavad sepikoja olemasolule linnuses. Teooria kohaselt on Paatsa linnust asustanud Tuiu Rauasaatmemägedes tegutsenud rauatootjad. (*ibid.*, 193)

³ Sepajätted ehk sepistusjägid või vanaraud.

Saaremaal asuva Käku sepikojaaseme kaevamistel leiti nelja järjestikuse sepikoja vundamendi ja ääsi jäänused, mis dateeruvad 14. – 17. sajandisse (Saage 2018, 16). Uuringute käigus leiti pronksist esemeid ja tootmisjääke (Saage 2013, 26–30), toorrauda, sepistatud kange ja muid raudesemeid (*ibid.*, 31–33), tööriistu (*ibid.*, 33–34), taba- ja püstolilukke (*ibid.*, 36–37) ning luu- ja sarvesemete jääke (*ibid.*, 38–39). Sepikoda on korduvalt maha põlenud ja ehitatud uuesti üles samale kohale (Saage 2018, 16–17).

Tarvastu ordulinnusest on andnud lühiülevaate Kalvi Aluve (1993). Eesti rauasulatuskohtadest ja sepikodadest, mis olid teada 2003. aastaks, on koostanud mahuka ülevaate Jüri Peets (2003). Uuemaid käsitlusi on kirjutanud Ragnar Saage, näiteks magistritöö Käku sepikojust Saaremaal (2013), ülevaate sepikodadest Läänemere kirdeosa ümbruses 11.–17. sajandil (2018), ja doktoritöö metallitööpaikadest Eestis 7.–17. sajandil. Tagiliblesid on põhjalikumalt uurinud Arne Jouttijärvi (2009), osmundit⁴ on käsitlenud Vagn Fabricius Buchwald (2008) ja Anders Wallander (2015).

Töö allikate enamuse moodustab sepikoja arheoloogiline leiuaines, vähemal määral ka detektorileiud linnuse ja eeslinnuse alalt. Keskaegse sepatöö tutvustamiseks kasutatakse keskaegse autori Vannoccio Biringuccio teost metallurgiast (Smith & Gnudi 1990).

Käesolev bakalaureusetöö on osalt panus Tarvastu ordulinnuse ajaloo konstrueerimisele, kuna sellekohased varasemad teadmised põhinevad ainult kirjalikel allikatel. Teisalt on see esimene põhjalik uurimus Saksa orduga seotud sepikojust Eestis. Arheoloogiliste leidude näol on autoril kasutada täiesti uued andmed. Uue meetodina kaardistatakse töös süstemaatiliselt proovistatud pinnases leiduvaid tagiliblesid, mida varem Eestis nii põhjalikult tehtud ei ole. Töö võiks tulevikus olla eeskujuks, kuidas uurida sepikodasid kui tootmispaiku, ühendades omavahel tahhümeetriga mõõdetud andmestiku, fotogramm-meetrilised plaanid, süstemaatilise pinnase proovistamise ja metallograafilise analüüsi.

Töö on jagatud neljaks peatükiks, mis jagunevad omakorda alapeatükkideks. Esimeses peatükis antakse ülevaate sepikoja uurimise meetoditest välitöödel ja nende järel laboris ning arutletakse leidude levikuplaanide põhjal sepikoja paiknemise üle kaevandis. Teises peatükis tutvustatakse sepikoja leiuainest leiuliikide kaupa. Kolmas peatükk keskendub

⁴ Osmund on Rootsisis keskajal kõrgahjus toodetud raud (Buchwald 2008, 228), millest tuleb käesolevas töös pikemalt juttu.

töös tehtud metallograafilisele analüüsile ja XRF uuringutele. Neljandas arutlevas peatükis otsitakse vastuseid töö uurimisküsimustele ja tuuakse välja autori-poolsed tähelepanekud. Joonised, tabelid ja graafikud on teksti sees, plaanid ja fotod on paigutatud lisadesse. Illustratsioonide autoriks on allakirjutanu, kui pole märgitud teisiti.

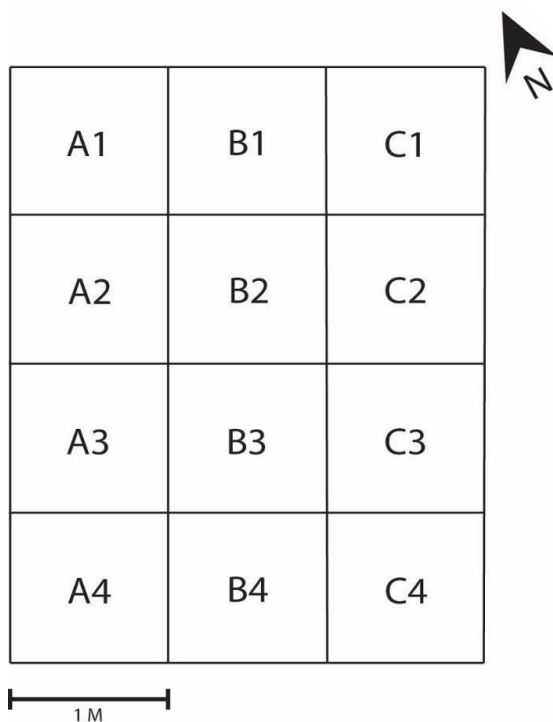
Töös kasutatakse nii teoreetilisi kui praktilisi meetodeid. Teoreetiliseks meetodiks on klassikaline allikakriitika, kuna mõningad kirjanduses levinud arusaamad on ajapikku muutunud. Praktikas kaardistatakse pinnaseproovide põhjal tagiliblede levikut kaevandis, koostatakse leidude levikuplaanid, valmistatakse ette arv metalliproove, millest tehakse metallograafiline analüüs, ja uuritakse vaskeemete sulami koostist portatiivse röntgenfluorestsents-spektromeetriga (pXRF). Kitsaskohana võib välja tuua selle, et metallograafiline analüüs on destrukttiivne – proovi võtmiseks tuleb metallese katki saagida, kuid paraku teisi võimalusi nende selliseks uurimiseks pole.

Tarvastu ordulinnuse arheoloogilisi väljakaevamisi rahastas Viljandi vald. Sepikojaaseme uurimist ning uurimistulemuste publitseerimist rahastab Postimehe Fondi Noor-Eesti teadusgrant läbi projekti „Eesti rauametallurgia kõrgaeg ja hääbumine 12.–14. sajandil“. Allakirjutanu soovib tänada oma juhendajat Ragnar Saaget, et jagas oma teadmisi arheometallurgia alal ja levikukaartide koostamisel, samuti asjakohase kirjanduse leidmisel ning uurimistulemuste mõtestamisel. Tänu väärivad ka TÜ arheoloogia instituudi loomaluude spetsialistid Eve Rannamäe ja Freydis Ehrlich ning kaevamistel juhatamist praktiseerinud Sandra Sammler.

1. Sepikoja uurimise meetod

1.1. Välitööde metoodika

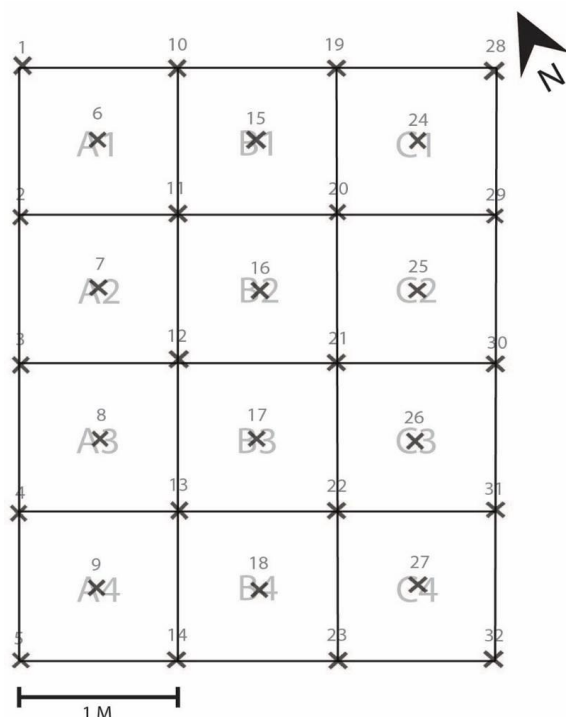
Arheoloogilised välitööd Tarvastu ordulinnuses toimusid 2021. aasta 28. juunist 11. juulini. Enne väljakaevamisi teostati pea- ja eeslinnuses detektoriuuringud, mille käigus leiti eeslinnuse lääneserval (Lisad: plaan 1) vallikraavi vahetus läheduses kaevatud prooviaugust üks suur šlakikook ja rauda, mis andsid alust arvata, et tegu võiks olla metallitööpaigaga. Kohapeal toimunud sepatööle viitas eelkõige tagiliblede esinemine prooviaugust võetud mullas. Edasine kaevandi asukoha valimine toimus mullapuuriga pinnase proovistamise ja proovistatud mullast magnetiga tagiliblede otsimise abil. Vastavalt tagiliblede kontsentratsioonile pandi paika kaevandi lõplik asukoht ja selle suuruseks sai 3×4 m (joonis 1).



Joonis 1. Sepikoja kaevandi ruudusüsteem. Autor: Sandra Sammler

Korriseid I–III ja V–VI kaevati 10 cm paksuste kihtidena. IV korrise puhul eemaldati 10 cm pinnast kahes jaos 5 cm haaval, mistõttu jaotati korrise kaheks – korrised IVa ja IVb. Selline korrise jaotamine aitab hõlpsamini dokumenteerida ja sisse mõõta suuremaid šlakitükke, mida leiti juba III korrisesest. Tahhümeetriga mõõdeti sisse kõik äratuntavad

raudesemed, vasesulamist leiud, tulekivitükid, võimalikud ääsi- ja lõõrikukatked, sötukid, kedra- ja kivikeraamikakillud, loomaluud ning alates III korriseast ka kõik üle 200g kaalunud šlakitükid. Kohapeal suuruse järgi hinnates moodustasid sellise kaaluga šlakitükid omal ajal üle poole kunagistest poolsfäärilistest šlakipätsidest, mis ääsi- ja lõõrikukatkedest hangusid. Korrimest III ja IV said süstemaatiliselt võetud pinnaseproovid (joonis 2). Igast punktist võeti kolm kühvlitäit pinnast ja pandi grip-kottidesse. Kummastki korriseast võeti 32 proovi, seega kokku 64 proovi. Proovistamise eesmärgiks oli välja selgitada tagiliblede levik kaevandis.



Joonis 2. Pinnaseproovide võtukohad (märgitud ristidega). Autor: Sandra Sammler

Iga korrise lõpus puhastati korrisepõhi lahtisest pinnasest ja taimejuurtest, niisutati vajadusel veepritsiga ning pildistati üles. Alates IVa korriseast hakati kaevandit iga korrise lõpul ka fotogramm-meetriliselt dokumenteerima. See võimaldas hiljem luua igast korriseast ortofoto, mida sai kasutada leidude levikuplaanide koostamisel ning kaevandi mõtestamisel.

1.2. Sisetööde meetoodika

Sepikoja kaevandi leiuainese uurimine ja töötlemine sai allakirjutanu poolt alguse 2021. aasta sügisel. Esmalt tuli sissemöödetud leiud – eelkõige raudleiud – puhtaks pesta ja seejärel pildistada. Peale dokumenteerimist hakati raudsesemeid konserveerima. Sepikoja

toodangu iseloomustamiseks valiti juba konserveeritud raudleidude hulgast välja 8 eset, mida põhjalikumalt analüüsiti (peatükk 3.1.). Kõigi vasesulamist leidude ja ühe tiiglikatke puhul teostati analüüsid ka portatiivse röntgenfluorestsents-spektromeetriga (peatükk 3.2.). Analüüside metoodikaid kirjeldatakse pikemalt iga vastava peatüki alguses.

Sisetöödest ühe ajakulukaima osa moodustas pinnaseproovidest magnetiga tagiliblede eraldamine. Esmalt kaaluti proovikott ära ja valati seejärel alusele. Pinnasest korjati välja kivid, šlakk ja taimejuured, mis oleksid tagiliblede otsimist takistanud. Seejärel eraldati magnetiga pinnasest tagiliblesid, mis pandi teisele alusele. Magnetit hoiti grip-kotis, kuna vastasel juhul oluks tagiliblesid magnetilt ebamugav ja ajakulukas eemaldada. Kui magneti külge enam tagiliblesid ei jäänud või leidis neid vaid üksikuid, valati pinnas plastkarpi ja kaaluti ära. Tagiliblesid valati Petri tassile ja kaaluti samuti. Sama protsessi korrati kõigi 64 prooviga ning selleks kulus kokku ca 57,5 tundi. Kõikide kaalumiste puhul oli arvestatavaks mõõtühikuks gramm (g).

Seejärel arvutati välja tagiliblede osakaal proovistatud pinnases, mida tehti iga pinnaseproovi puhul eraldi. Selleks kasutati võrdkujulist võrrandit (vt valem), milles väärtus x on tagiliblede protsent proovistatud pinnases, T on tagiliblede mass ning P on proovi kaal, millesse on arvestatud nii puhta pinnase kui ka tagiliblede massid.

$$x = \frac{T \cdot 100\%}{P}$$

Tulemuseks saadi ühe- kuni kahekohalised protsentväärtused koos maksimaalselt kolme komakohaga. Nende alusel oli võimalik arvuliselt eristada, kui palju ühes või teises kaevandi osas tagiliblesid oli.

Tagiliblede leviku visualiseerimiseks kasutati programmi *Quantum GIS*⁵ (edaspidi QGIS). QGIS on vabavaraline geoinfosüsteem, mis võimaldab töödelda tahhümeetriga mõõdetud ruumiandmeid ning kuvada neid kaardile. Komakohtadest vabanemiseks korrutati tagiliblede protsendid sajaga ja viimased komakohad ümardati täisarvudeni. See lihtsustas edasist tööd QGIS'is. Järgnevalt lisati QGIS'i töölauale IVa korrise ortofoto (*Add Raster Layer*), millele kuvati prooviaukude koordinaadid (*Add Delimited Text*

⁵ Version: QGIS 3.16.6 with GRASS 7.8.5

Layer). Z-koordinaadi arvväärtuseks määrati tagiliblede protsent. Interpoleerimiseks kasutati QGIS'i tööriista *TIN interpolation*, mis võimaldas proovipunktile sõltuvalt nende Z-koordinaadi väärtusest anda vastava värvi. Seadetest valiti värvispektri liigenduseks kümme klassi, ehk programm jagas proovipunktide kõrgeima ja madalaima Z-koordinaadi väärtuste vahe kümneks klassiks, millest iga klass sai vastava värvi. Madalamad väärtused kuvati jahedates toonides, arvväärtuse suurenedes läksid värvid soojemaks. Interpoleerimine võimaldas tekitada kaardil proovipunktide vahelistel aladel sujuvad üleminekud ühelt toonilt teisele. Sel moel loodi tagiliblede levikuplaanid nii III kui ka IV korrise puhul (Lisad: plaanid 16–18), samuti raudnaelte levikuplaan (Lisad: plaan 15). Raudnaelte puhul valiti punktidenä välja iga ruudu keskoht, kus interpoleeritava Z-koordinaadi väärtus vastas naelte arvule vastavas ruudus. Tagiliblede leviku kaardistamine on vajalik sepa tööpaiga lokaliseerimisel ja võib anda üllatavaid tulemusi. Sel viisil õnnestus Taanis Viborgi sepikojas tuvastada koht, kus sepp on tööd tehes seisnud (Jouttijärvi 2009).

Kaevandi ortofotod (Lisad: plaanid 2–6) tegid Ragnar Saage ja Sandra Sammler. Selleks kasutati programmi *Agisoft MetaShape*⁶, mis lõi fotogramm-meetrilise dokumentatsiooni ehk piltide ja ruumiandmete põhjal korrimest IV–VII 3D mudelid. Kaevandipõhja ortofotosid sai edaspidi kasutada leidude levikukaartide koostamisel QGIS'is. Kaevandiplaanide põhjana kasutati IVa korrise ortofotot, kui pole märgitud teisiti, kuna sellel joonistuvad selgelt välja iseloomulikud tsoonid kaevandis.

Leidude levikukaartide loomiseks lisati QGIS'i töölauale rasterfailina IVa korrise ortofoto ning sellele kuvati tahhümeetriga mõõdetud punktid. Punktide andmed koosnesid viiest väärtusest: punkti nimi, X-, Y- ja Z-koordinaadid ning leiuliigi täpsustus. Väärtused olid Exceli tabelis ühes tulbas ning eraldatud üksteisest komadega. Selleks, et QGIS suudaks tuvastada, milliste väärtustega on tegu, tuli tabel salvestada CSV (*Comma Separated Values*) failina. Erinevad leiuliigid lisati QGIS'i projekti eraldi CSV failidena. Kõik lisatud kihid olid loetletud töölaual kihtide (*Layers*) paneelis, kus sai erinevaid kihte vastavalt vajadusele sisse ja välja lülitada. Levikuplaanide koostamiseks lisati kaevandi ortofotole ja sellel kuvatud leiupunktile eraldi aknas (*Print Layout*) põhjanool, pikkuste skaala ja legend.

⁶ Versioon: Agisoft Metashape Professional 1.7.2.

Leidude levikukaardid on oluliseks abivahendiks kaevandi mõtestamisel. Nii tagiliblede kui ka teiste leidude levikukaartide puhul joonistuvad välja iseloomulikud tsoonid kaevandis. Kaevandi võib mõtteliselt jagada kaheks: põhjapoolne ala, mis hõlmab ruute A1, A2, B1, B2, C1 ja C2, ning lõunapoolne ala. Viimane eristub põhjapoolsest alast pinnase heledama värvuse ja leiutiheduse poolest. Kaevandi põhjapoolne osa jaguneb kaheks: jäätmehunnikuks kaevandi loodesektoris ja sepikojaks kaevandi kirdenurgas, mida eraldab sirge leiuvaba tsoon (Lisad: plaan 19).

Sepikoja kultuurkihi tekke lahtimõtestamiseks tuleb levikukaarte vaadata teises järjestuses, alustades VII korrise ja lõpetades I korrisega. VII korrise puhul ei saa leidude vähesuse tõttu midagi konkreetset järeldada (Lisad: plaan 6), kuid VI korrise leiud hakkavad koonduma juba kaevandi kirdenurka ehk sepikotta ja lõunapoolsele alale (Lisad: plaan 5). Seda võib pidada sepikoja asutamise kihiks. V korrises on leide märksa rohkem ja valdav enamus neist koondub kaevandi kirdenurka – töö sepikojas on juba alanud (Lisad: plaan 4). IV korrises paljastub sepikoja tegevuse intensiivseim periood, kuna siis hakkab hoone kõrvale ladestuma rohkelt jäätmeid: šlakki, vanarauda, loomaluid jm (Lisad: plaan 3). Selles korrises joonistub selgelt välja ka leiuvaene vöönd sepikoja ja jäätmehunniku vahel, mis viitab füüsilise tõkke, näiteks sepikoja seinaga kunagisele olemasolule. Seda kinnitavad ka tagiliblede levikuplaanid (Lisad: plaanid 16–18).

Usutavasti on õnnestunud tuvastada ka sepikoja ukse asukoht (Lisad: plaan 19): seinaga ääres on kõrgem kivihunnik, mida võib tinglikult pidada ukseesiseks lävepakuks. Kivihunniku peale ja selle ümbrusesse on IV korrises ladestunud hulgaliselt tagiliblesid (Lisad: plaan 18), teine ladestu paikneb sepikojas kaevandi kirdenurgas, mis oli ainsaks tagiliblede kontsentratsioonialaks III korrises (Lisad: plaan 17). Tagiliblesid võisid ukse ette sattuda mitmel moel, näiteks kui sepp tööruume koristas, põlle kloppis või liblesid hulganisti jalgadega välja kandis. III korrises hakkavad leiud koonduma juba kaevandi lõunapoolsesse ossa, ehkki neid vähemal määral ka sepikoja ja jäätmehunniku alal leidub (Lisad: plaan 2). II ja I korrise leiud leiti pea eranditult lõunapoolselt alalt. See võib viidata, et III korrise kihis on sepikoja kõrvale hakatud ehitama uut hoonet (Lisad: plaan 19). Uus hoone võib olla sepikojaga samaaegne, ent on ka võimalus, et vana sepikoda oli uue hoone rajamise ajaks kas hävinud või koost võetud. Kaevandi lõunapoolse osa pinnase värv ja suhteline leiuvaesus sügavamates korrises võib olla seotud uue hoone põhja ettevalmistamisega, kus hoonepõhi on ära koristatud ja täidetud liivaga.

2. Sepikoja kaevandi leiuaines

Käesoleva peatüki eesmärgiks on tutvustada sepikoja kaevandi leiuainest, mille hulgas on nii sepatööga seotud kui ka olmelist laadi leide. Sepatööga seotud leidude hulka kuuluvaks loetakse kõik raud- ja vaskleidud, šlakk ja võimalikud ääsi- ning lõõrikukatked. Olmeleidude hulka kuuluvad nii loomaluud, keraamikakillud kui ka looduslik tulekivi. Vähemal määral käsitletakse ka sepatööga seotud detektorileide pea- ja eeslinnuse alalt. Kõik sepikoja kaevandi sissemõõdetud leiud koonduvad peanumbri TÕ 2960 alla ja leidude nummerdus põhineb nende tahhümeetriga sissemõõtmise järjekorral. Detektorileidude peanumber on TÕ 2950.

2.1. Sepatööga seotud leiud

Raud

Sepikodadele omaselt leiti kaevandist hulgaliselt raudleide. Arvukaimaks esemetüübiks olid raudnaelad, sealhulgas rohkelt hobuse kabja- ja pikemaid ehitusnaelu (Lisad: foto 2). Naeltest mõõdeti tahhümeetriga sisse vaid mõned üksikud, ülejäänute asukoht on dokumenteeritud korrise ja ruudu täpsusega (Lisad: plaan 15). Selliseid naelu on kõigi korrise peale kokku vähemalt 589, kuid arvestada tuleb ka asjaolu, et tugeva korrosiooni tõttu ei olnud võimalik kõiki taolisi leide naelena interpreteerida. Väärrib märkimist, et naelad on aja jooksul korrise vahel liikunud, seda mullamuttide kaevetöö tulemusel, mille käigus kandub naelu ja muid väiksemaid esemeid alumistest korrimest üles ja vastupidi. Seetõttu on naelte paiknemise mõtestamine suhteline.

Sissemõõdetud 85 raudleiu hulgas on nii toorauakange (Lisad: foto 1), sepistatud kange, väiksemaid rauatükke, esemetoorikuid ja valmis esemeid. Muuhulgas leiti ka üks needitud plekitükk, mis võib olla turviseplaat (Lisad: foto 3). Paljude raudesemete välisilme viitab, et tegu on vanarauaga, samuti nende paiknemine kaevandis, kuna tihti leiti neid üheskoos šlakiga, mis sepikojast jäätmena välja heideti. Kõikidest raudesemetest hetkel fotot pole, kuna paralleelselt käesoleva töö valmimisega toimub ka esemete konserveerimine. Raudleide leiti kõikidest korrimest, valdavalt IV ja III korrimest, ja peamiselt kaevandi põhjapoolsest osast, nii jäätmehunniku kui ka sepikoja alalt (Lisad: plaan 7). Tasub märkida, et sepistatud kangid leiti eranditult sepikoja arvatava ukse esiselt alalt, toorauakangid aga sepikoja seest.

Vask

Vasesulamist leiud mõõdeti eranditult sisse tahhümeetriga (Lisad: plaan 8) ning nende koguarv on 13 (Lisad: foto 4). Valdavalt on tegu plekiga, kuid leidub ka neete (nr 4 ja 119) ja üks tilk (nr 123). Leiu nr 15 puhul on tegu putkega, mille sees on säilinud puitu. Nr 46 on servadest sakiline kaardus plekitükk, mis meenutab ehtekatket. Eelmainitud tilk on tõendiks, et sepikojas on lisaks rauatööle tegeletud ka vasevaluga. Valutöö kindlamaks tõendiks on aga tiiglikatke nr 85 (Lisad: foto 8, h). Vaskleidudest ja tiiglikatkest tehtud XRF analüüsides loe peatükist 3.2.

Šlakk

Sepikoja kaevandi arvukaimaks leiumaterjaliks oli šlakk, mida leiti juba I korrise. Kui I ja II korrise puhul olid šlakitükid ja nende kogused väikesed, siis alates III korrise šlaki hulk ja mõõtmed kasvasid. Suuri, üle 200 g kaaluvaid šlakitükke hakati vähemal määral leidma juba II korrise ning need mõõdeti sisse tahhümeetriga. Ülejäänud alla 200 g kaalunud šlakitükkide kogused kaaluti ära ruudu kaupa. III korrises paljandusid suured šlakikoogid ning joonistusid välja šlaki kontsentratsioonialad (Lisad: plaan 9). Alates V korrise hakkas šlakikogus vähenema ning VI–VII korrises üle 200 g kaaluvad šlakitükid puudusid. (Valk *et al* 2022)

Põlenud ja sulanud savi

Kaevandi põhjapoolsest osast leiti 7 põlenud ja/või sulanud savitükki (Lisad: plaan 10, foto 8) ning üks tiiglikatke. Kõige enam tuli neid välja IV korrise (6), III ja V korrise tuli kummastki üks leid. Kolme savitüki (A–C) pealispind on tugeva kuumuse mõjul sulanud ja osaliselt klaasistunud, mistõttu võib neid pidada ääsikatketeks. Leiud D ja E on tõenäoliselt õhutusdüüside katked, kuna sellele viitab nende kumerus. Kummagi leiu puhul on märgata ka õhukanaleid. Leid F on põlenud poorne savi, millesse on hangunud rauast roots. Leid G on kumera jäljendiga põlenud savitükk, mille olemus ja funktsioon pole hetkel kindlad.

2.2. Olmeleiud

Keraamika

Üks arvukamaid olmeleide olid keraamika, mida leiti kõige enam III korrise kaevandi lõunapoolsest osast, mõnevõrra vähem IV korrise jäätmevõlgu ja sepikoja alal. Tegu

on eranditult kedrakeraamikaga, mis on keskajale ka omane. Lisaks nendele leiti ka kolm kildu kivikeraamikat, kaks II ja üks III korrise, kõik kaevandi lõunapoolsest osast (Lisad: plaan 11, foto 5). Tegu on Siegburgi kivikeraamikaga (tüüp Sieg3b), mis dateerub 15. sajandisse ja 16. sajandi I poolde (Russow 2006, 49; Valk *et al* 2022).

Linnu- ja loomaluud

Loomaluud leiti valdavalt IV korrise (10 leidu), järgnevates korrises vähenes nende arvukus oluliselt. Peamiselt leidus neid jäätmeühikus, vähem sepikojas (Lisad: plaan 12, foto 6). Luude hulgas oli nii veise roideid (nr 93, 104, 132), lamba või kitse sääre- ja kontsluu (vastavalt nr 49, 121), kana reieluu (nr 68), sõralise reieluu ja roie (nr 79, 105) ning tuvastamata imetaja rinnalülid (nr 69, 99), selgoolüli (nr 71), roie (nr 131) ja määramatud luud (nr 111, 144, 152). Leidudel nr 49, 68 ja 93 on vaadeldavad löikejäljed, nr 121 aga närimisjäljed. Luu nr 152 on põlenud valgeks.⁷

Tulekivi

V, VI ja VII korrise leiti kokku neli tulekivikildu (Lisad: plaan 13, foto 7). Aivar Kriiska määrangu järgi on tegu loodusliku tulekiviga (Valk *et al* 2022). Kuna tulekivi leiti sedavõrd vähe ja vaid kõige alumistest korrimest, ei tarvitse need sepikojaga seotud olla.

Söetukid

IV ja V korrise leiti kokku 12 söestunud tukki, mis kogumitena sisse mõõdeti. Enamik tukke leiti IV korrise ning need paiknesid kaevandi põhjapoolses osas jäätmeühiku alal (Lisad: plaan 14). Sütt läks sepikojas vaja ääsi tööshoidmiseks, ent tõenäolisemalt on need tukid pärit mõne põlenud hoone küljest. Väiksemaid söetukke leiti palju ka mujalt kaevandi alalt.

2.3. Detektorileiud

Linnuse ja eeslinnuse territooriumil teostatud detektoriuuringute käigus leiti mitmeid metallesemeid, millest osa seostub otseselt sepikojaga. Leid nr 44 (Lisad: foto 9) on väike alasi, mis leiti pealinnuse ja eeslinnuse vahelt vallikraavist, sepikoja kaevandist ligi 30 m

⁷ Kõik loomaluud on määranud Eve Rannamäe, linnuluu määras Freydis Ehrlich. Loomaluude määranguandmed on kättesaadavad ARHEST andmebaasis [URL=<https://andmekogud.arheoloogia.ee/#/leiud/arheozoologia>]. Luuleide hoiustatakse TÜ zooarheoloogiakogus (TÜ 2960).

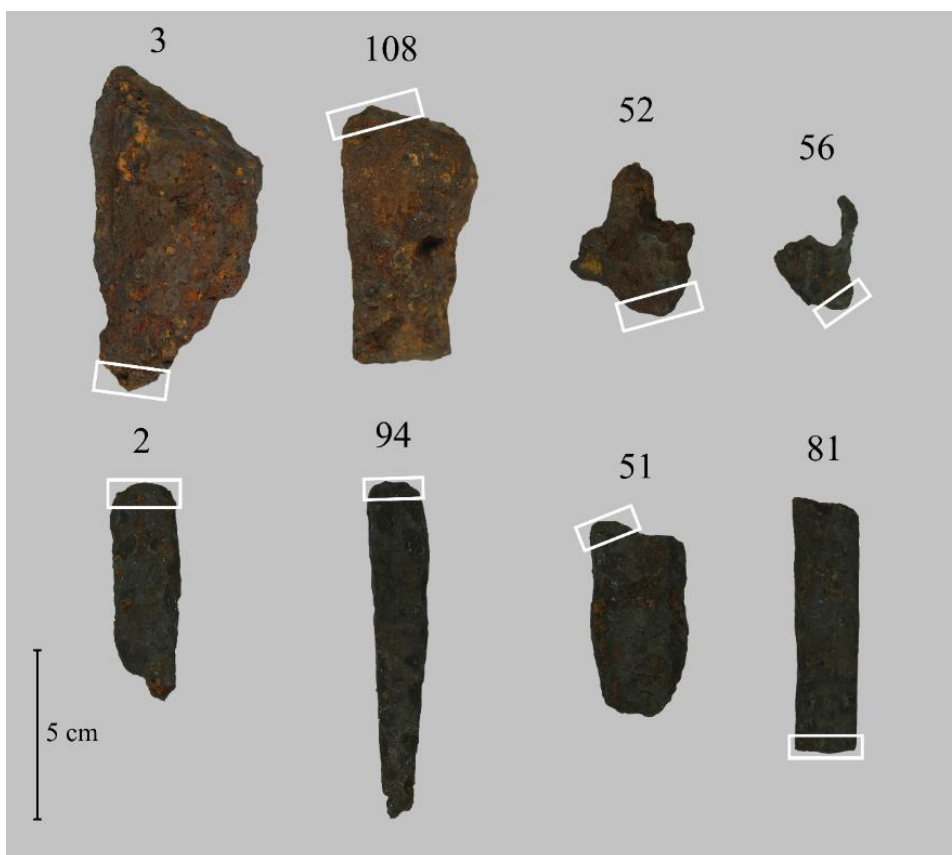
lääne pool (Lisad: plaan 1). Alasi väikeste mõõtmete tõttu on ootuspärane, et sellel sepi stati vaid väikeseid asju, näiteks ülalmainitud vaskplekist esemeid ja naelu. Linnuse lähistelt leiti kaks tükki toorrauda (nr 193, 161), mis oma parameetrite ja raiejälgede tõttu meenutavad osmundeid. Paraku pole neid rauatükke kontekstipuudusel võimalik lokaliseerida. Linnusest ja selle nõlvadelt leiti rohkelt pliikuule (Lisad: foto 9), millest osadel on endiselt küljes valukanal (nr 132, 145). Pliikuulide mõõtmed on erinevad, osa neist on trajektoiril tabanud mõnda kõva objekti ning seeläbi lapikuks muutunud (nr 128, 112). Pliikuulide võimalikku seost sepikojaga võimaldab näha tiiglikatke nr 85.

3. Laboratoorsed analüüsid

3.1. Metallograafiline analüüs

3.1.1. Metoodika

Tarvastu ordulinnuse sepikoja tooraine iseloomustamiseks valiti metallograafiliseks analüüsiks 8 objekti (joonis 3), mis jagunesid välise vaatluse põhjal nelja kategooriasse. Valimisse kuulusid kaks toorrauakangi (nr 3, 108), mida on alust pidada osmunditeks, kaks sepistatud rauakangi (nr 51, 81), kaks arvatavat esemetoorikut (nr 2, 94) ja kaks ebamäärase kujuga rautükki (nr 52, 56). Analüüsideks vajaliku väljaõppe sai allakirjutanu oma juhendaja Ragnar Saage käest.



Joonis 3. Analüüsitud raudleiud. Valgega on märgitud esemest lõigatud proovitüki suurus.

Kõikide analüüsitavate proovide ettevalmistamiseks ja analüüsimiseks kasutati Tartu Ülikooli arheoloogia labori metallograafia-aparatuuri. Rauaproovide ristlõigete

saagimiseks kasutati täppissaagi Buehler IsoMet 4000, kasutades proovide kinnitamiseks kruustange ja saagimiseks abrasiivketast.

Proovid pressiti PhenoCure termoplastist proovihoidjatesse termopressi Buehler SimpliMet XPS1 abil. Proovide lihvimine teostati lihvpingil Buehler AutoMet 250, kasutades selleks teemantsuspensioone (45, 9, 3 ja 1 µm suuruse teraga), ning poleeriti alumiinium- ja ränioksiidi seguga (0.05 µm suuruse teraga). Seejärel söövitati proovide pind nitaalis ehk lämmastikhappe lahuses (3% HNO₃ lahus piirituses) 6 sekundi jooksul ja neutraliseeriti pesusoodaga (5% Na₂CO₃ lahus vees). Proove nr 81 ja 94 söövitati lisaks nitaalile ka Klemmi II reagentiga [25 ml lahust (vesi + Na₂S₂O₃) + 2,5 g K₂S₂O₅] 50 sekundi jooksul, et iseloomustada nende kangide fosforisisaldust (edaspidi P-sisaldus). Tegu oli TÜ arheoloogia laboris esmakordse katsega söövitada proove nii nitaali kui ka Klemmi II reagentiga. Proovide makrostruktuuri pildistati fotoaparaadiga Canon EOS 760D. Proovide mikrostruktuuri vaadeldi ja pildistati metallograafilise mikroskoobiga Buehler ViewMet.

Ristlõigete makrostruktuur annab teavet esemete valmistamistehnoloogiate kohta, oluline on seejuures tuvastada, kas ese koosneb ühest tükist või on see kokku keevitatud mitmest osast. Sepakeevise indikaatoriteks raua mikrostruktuuris on kas valge keevitusjoon, järsk muutus raua süsinikusisalduses (edaspidi C-sisaldus), pidev piklike šlakipesade kett või muutus nende orientatsioonis (Saage 2013, 40).

Mikrostruktuur annab teavet eseme materjali ja termotöötamise kohta. Proovide mikrokõvaduse mõõtmiseks kasutati Wilson Tukon 1102 mikrokõvaduse mõõtjat. Igast proovist valiti kolm ala, igast alast mõõdeti viis kõvadust. Erandiks oli kang nr 81, mille puhul uuriti ka Klemmi II reagenti kasutamisel ristlõike pinnale moodustunud värvide kõvaduste erinevusi: selleks valiti proovi pinnalt 10 ala ja igast alast mõõdeti kolm kõvadust (Lisad: foto 15). Kõik kõvadused on antud Vickersi skaalal ja mõõtmised tehti 0,5 kg raskusega 10 sekundi jooksul (edaspidi HV0.5).

3.1.2. Tooraine

Raud nr 3 on trapetsja kujuga tükk toorrauda, mida on mitmest küljest raiutud (joonis 3). Kangi pikemas servas on ühel küljel kirvejalg. Enne saagimist olid kangi mõõtmed 9,6 × 5,3 cm ja kaal 256,5 g. Raud on väga poorne ja selle servaalad on tugevalt korrodeerunud

(Lisad: foto 11). Poorid viitavad sellele, et rauda pole oluliselt survetöödeldud (Wallander 2015, 130). Üldiselt oli kang suhteliselt madala süsinikusisaldusega (edaspidi C-sisaldusega) ja seega pehme (HV0.5: 71-107). Ristlõike vasakus servas esines vähem kui 0,3% C-sisaldusega terast (HV0.5: 126-208), mida nimetatakse iseloomuliku välimuse tõttu Widmanstätteni struktuuriks (Peets 2003, 140). Mikrostruktuuris oli märgata paiguti väikseid rauataskuid (Lisad: foto 20, a), mida peetakse üheks osmundi eriomaduseks.⁸ Selliseid rauataskuid esineb ka Rootsi Lapphyttani rauasulatuskohast leitud osmundite mikrostruktuurides (Modin *et al.* 1985, 124, fig. 12.12). Selline nähtus tekib tõenäoliselt malmist raua sulatamisel, mille käigus jäävad mõned rauaosakesed tervikuga ühte sulandumata. Kang nr 3 kujutab endast seega tõenäoliselt Rootsist imporditud osmundit (osmundist pikemalt peatükis 4), mida pole veel Tarvastu sepikojas töödeldud.

Raud nr 108 on sarnaselt eelmisele mitmest küljest raiutud toorraudakang (joonis 3). Enne saagimist olid kangi mõõtmed $7,7 \times 4$ cm ja kaal 221,46 g. Seegi kang on väga poorne (Lisad: foto 12), servadest korrodeerunud ja sisaldab vähesel määral šlakki. Ristlõike ülemises ja parempoolses servas on märgata terast (HV0.5: 155-267), taaskord Widmanstätteni struktuuri näol. Väiksema C-sisaldusega alad on märgatavalt pehmemad (HV0.5: 48-85). Kang nr 108 on samuti tõenäoliselt osmund, kuna selle mikrostruktuuris on rauataskud (Lisad: foto 20, e).

Kang nr 51 on risttahuka-kujulise läbilõikega ja pisut rohmakas sepistatud raudkang (joonis 3). Enne saagimist olid kangi mõõtmed $5,9 \times 3$ cm ja kaal 96 g. Tervest kangist ristlõiget pole, kuna proov sai saetud kangi laiema otsa ühest nurgast. Sellise valiku tingis vajadus mahutada kõik proovid ühesuguse suurusega termoplastist proovihoidjatesse. Peale nitaaliga söövitamist võis näha ristlõike alumisest vasakust nurgast proovi keskele suunduvat laia, ülejäänud alast selgelt eristuvat struktuuri (Lisad: foto 13). Sellel alal on ferriiditerad märksa väiksemad kui ülejäänud ristlõike osas. See piirkond oli märksa poorem kui ülejäänud alad. Kõvaduse poolest polnud suuri erinevusi suure- ja väikeseteralise ferriidi vahel, ehkki peeneteralise ferriidi kõvaduste vahemik oli märksa väiksem kui suureteralise ferriidi oma (vastavalt HV0.5: 103-119; 87-122). Tundub, nagu oleks kang sepistatud kokku mitmest erineva mikrostruktuuriga metallikihist, kuid nii see

⁸ Ragnar Saage suuline teade (märts 2022). Käimas on artikli koostamine Rootsi osmunditest Eestis, kus käsitletakse ka hiljuti avastatud rauataskuid. Artikli avaldamise aeg pole teada.

siiski ei ole, sest sepakeevise tuvastamiseks vajalikud indikaatorid puuduvad. Teisalt esineb peeneteralist ferriiti kohati ka ristlõike servades ümbritsetuna suureteralisest ferriidist ja vastupidi. Jüri Peets (2003, 141) seostab ferriidi terasuurst raua töötlemisega järgnevalt: suureteraline struktuur tekib raua kuumutamisel ilma seda sepistamata, peeneteraline aga kauakestva sepistamise tulemusena. Asjaolu, et peeneteraline ferriit esineb ristlõike siseosas, võib tuleneda vasardamise järgsest kangi kuumutamisest, mille käigus ferriiditerad kangi servaaladel taas suurenevad. Sarnaselt kangidele nr 3 ja 108 on kõnealuse kangi mikrostruktuuris märgata rauataskuid (Lisad: foto 20, b). Seda arvesse võttes võiks kangi nr 51 näol tegemist olla osmundist sepistatud rauakangiga.

Raud nr 81 on eelmainitud palju korrapärasema kujuga, kitsam ja piklikum sepistatud raudkang (joonis 3). Enne saagimist olid kangi mõõtmed $7,7 \times 2 \times 1$ cm ja kaal 92,6 g. Ristlõike keskosast kulgeb mõlema otsa suunas pikk sepakeevise (Lisad: foto 14, b). Šlakipesade ja sepakeevise suuna järgi otsustades on kang kokku sepistatud mitmest erineva suurusega metallikihist: alumine kiht on olnud jämedam ja laiem, pealmine kiht aga kitsam ja õhem. Kangi on külgedelt taotud tasasemaks, nii et alumise metallikihi servad on kaardunud üles, fikseerides liidetud metallikihi nende servade vahele. Kangi põhiosas on ferriiditerad nii suured, et nende vahel on perliiti märgata vaid paiguti ja hajusalt. Söövitus tõi kangi kummaski otsas ja alaservas nähtavale omapärase välimusega kummitusstruktuurid (ingl. k. *ghost structures*) (Lisad: foto 14, a ja c; foto 21, a). Kaks eelmainitud asjaolu viitavad raua suurele P-sisaldusele (Thiele & Hošek 2015, 116). Kummitusstruktuuri teke on seotud fosfori madalama lahustuvusega austeniidis, mis moodustub ferriiditerade vahele, kui ferriidis. Kuumutades rauda $911-1392^{\circ}\text{C}$ sulandub austeniit ferriidiga ühte, ent nende P-sisaldus on erinev - ferriidil suurem kui endisel austeniidil. Kui raud kiirelt maha jahtub, näiteks õhu käes, püsib fosfori ebahühtlane sisaldus muutumatuna ja nii tekivad kummitusstruktuurid. Nendel aladel võib raua P-sisaldus olla 0,1–0,7 wt%, kusjuures raua P-sisaldus on märkimist väärt juba alates 0,1 wt% (*ibid.*, 114). Fosfor suurendab raua kõvadust, kuid vähendab selle sitkust ja elastsust, muutes raua rabedaks (*ibid.* 114–115). Suure P-sisaldusega raud on raskesti sepistatav ja võib külmsepistamisel oma rabeduse tõttu murduda (*ibid.*, 114). Thiele ja Hošek töötasid välja valemi, mille alusel saab hinnata raua P-sisaldust, kasutades selleks Vickersi kõvadust (*HV*) (*ibid.*, 122):

$$P = (-0.919 + (0.0083 \cdot HV)) \pm 0.13$$

Seda valemite ei saa kasutada kummitusstruktuuride puhul või kui raud sisaldab lisaks fosforile ka arseeni või süsinikku (*ibid.*, 124). Kangi P-sisalduse põhjalikumaks uurimiseks söövitati seda Klemmi II reagentiga, mis muutis ristlõike pinna värviliseks (Lisad: foto 15). Kummitusstruktuurid värvusid pruuniks, üldiselt oli ristlõige kollakates toonides, paiguti oli märgata ka sinist. Ehkki värvierisuste tekkepõhjused pole päris selged, siis näib, et neil on otsene seos raua kõvadusega, mis on omakorda seotud raua P-sisaldusega. Kõige pehmemad olid pruuniks värvunud kummitusstruktuurid (HV0.5: 136-194) (Lisad: foto 15, a, a2, d, d2, e, e2), kusjuures tumepruun oli pehmem kui helepruun. Kõvaduselt järgmised olid sinised toonid (HV0.5: 190-221) (Lisad: foto 15, b2), mille puhul oli tumesinine pehmem kui helesinine. Kõige kõvemad olid kollased alad (HV0.5: 213-302) (Lisad: foto 15, b, c, c2), mille puhul oli samuti tumekollane pehmem kui helekollane. Kasutades ülaltoodud valemite raua P-sisalduse arvutamiseks ristlõike siniste ja kollaste toonide puhul selgub, et tegu on väga suure P-sisaldusega rauaga ($0,66 \pm 0,13 \text{ wt\%} - 1,58 \pm 0,13 \text{ wt\%}$), kuigi võib eeldada, et kummitusstruktuuride osas on P-sisaldus väiksem ($0,1-0,7 \text{ wt\%}$). Mikrostruktuuris on märgata ka mõningaid rauataskuid (Lisad: foto 20, f). Võttes arvesse kõike eelmainitud, on kangi nr 81 näol tegemist mitmest metallikihist kokkukeevitatud ja ühtlaseks sepistatud kangiga, mille toorainena on kasutatud osmundit.

Raud nr 2 on suuremas osas sepistatud u 5 mm paksuseks, mis lubas arvata, et tegu võiks olla esemetoorikuga (joonis 3). Enne saagimist olid kangi mõõtmed $6,5 \times 2,1 \text{ cm}$ ja kaal 39 g. Kang on servadest suuremal või vähemal määral korrodeerunud (Lisad: foto 16) ning sisaldab šlakipesi ja poore, mis on survetöötlemisel pikaks veninud. Struktuur on küllaltki ühtlane ja pehme ferriit (HV0.5: 74-113), kuid ristlõike vasakus otsas esines vähesel määral Widmanstätteni ferriiti (HV0.5: 116-141), mida oli näha ka ristlõike parempoolses alaservas. Märgatavad olid ka üksikuid rauataskuid (Lisad: foto 20, g). Kangi nr 2 puhul võiks tegemist olla esemetoorikuga, mille sepistamisel on toorainena kasutatud osmundit.

Raud nr 94 on korrapärase kujuga sepistatud terariista toorik (joonis 3), millele on hakatud kuju andma rootsu väljavenitamisega. Enne saagimist olid kangi mõõtmed $10 \times 1,7 \times 1,2 \text{ cm}$ ja kaal 83 g. Söövitus tõi ristlõike paremas küljes esile kõrge C-sisaldusega terasevööndi (HV0.5: 251-285) (Lisad: foto 17). Ristlõike keskosas oli jälgitav horisontaalne ja kumer sepakeervis, mis laseb aimata, et teras on kokku keevitatud kahe

pehmema metallilehega. Ilmselt on sepal kasutada olnud taas P-rikast rauda, kuna need metallikihid, mis polnud teras, sisaldasid kummitusstruktuure ja olid üsna kõvad (HV0.5: 158-215) (Lisad: foto 21, b). Kangi alaservas on ka suureteralise ferriidiga alapid, kus pole näha teradevahelisi piirjooni. Mikrostruktuuris olid märgatavad ka ferriiditerades moodustunud paralleelsed „kaksikjooned“, mis tekivad raua lõõmutamisel⁹ (Scott 1991, 7) (Lisad: foto 17, c). Kaksikjooni leidis nii sepakeevise ümbruses kui ka kummitusstruktuuride sees, esinedes viimase puhul siiski enam ferriiditeradel, kus oli kummitusstruktuure minimaalselt või üldse mitte. Jooned olid küllaltki sirged, mis viitab, et peale lõõmutamist pole toorikut rohkem survetöödeldud (*ibid.*, 8). Kang on üldiselt poorne ja sisaldab suuremaid šlakipesi, mida survetöötlus pole oluliselt mõjutanud. Ka ristlõike ülalervas asuv suur auk on tegelikult poor, kuna on näha, et kangi väliskülje moodustanud ferriit on poori kohalt korrodeerunud. Mikrostruktuuris oli märgata ka rauataskuid (Lisad: foto 20, h). Kangi nr 94 näol on tegu terariista toorikuga, mille töötlemine on mingil põhjusel pooleli jäänud. Toorainena on kasutatud taaskord osmundit.

Raud nr 52 on ebamäärase kujuga rauatükk (joonis 3), mis meenutab sulanud metalli. Rauatüki mõõtmed enne saagimist olid 4,5 × 3,8 cm ja kaal 35 g. Rauatükk on servadest tugevalt korrodeerunud ja poorne (Lisad: foto 18), mis viitab, et seda pole oluliselt või üldse survetöödeldud. Üldiselt on see rauatükk toorraua ilmega ning sarnaneb mikrostruktuuri poolest osmunditega, kuna sisaldab rauataskuid (Lisad: foto 20, c). Ristlõike keskosas ning paremas otsas esineb terast (HV0.5: 146-202), kuid üldiselt on raud suhteliselt pehme (HV0.5: 70-84). Rauatüki nr 52 näol võiks tegemist olla osmundiga, mis on kangi põhiosast eraldatud.

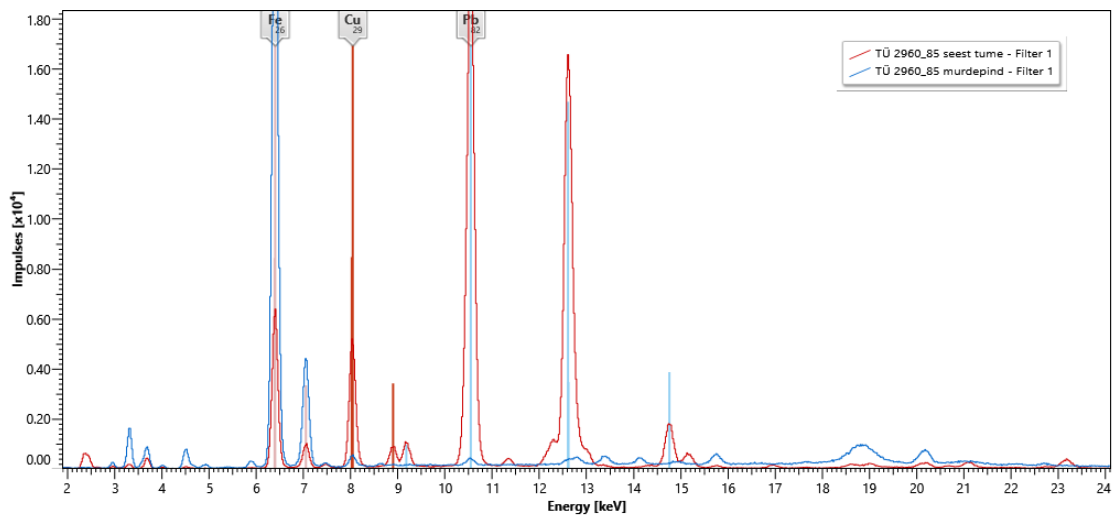
Raud nr 56 koosneb leiuna mitmest rauatükist, kuid proovistati vaid suurema rauatüki küljest konserveerimisel murdunud väiksemat tükki (joonis 3). Proovistatud tüki mõõtmed enne saagimist olid 3,4 × 2,5 cm ja kaal 11,7 g. Rauatükk on servadest tugevalt korrodeerunud ning siseosas väga poorne (Lisad: foto 19), esineb ka šlakki. Mitmes kohas oli märgata Widmanstätteni ferriiti (HV0.5: 106-127), kuid tavaline ferriit oli sellest kõvem (HV0.5: 121-151). See võib taas viidata raua keskmisest suuremale P-sisaldusele

⁹ Lõõmutamine (ingl. k. *annealing*) – Raua kuumutamine ning selle aeglane jahtumine koos ahjuga/ääsiga. (Peets 2003, 141)

Mikrostruktuurs oli näha ka rauataskuid (Lisad: foto 20, d), mida arvestades võiks raua nr 56 puhul samuti olla tegemist osmundiga.

3.2. XRF analüüsid

Iseloomustamaks sepikojas teostatud töid ja kasutatud toorainet, analüüsiti kõiki vaskleide (Lisad: foto 3) ja tiiglikatket (Lisad: foto 8, h) portatiivse röntgenfluorestsents-spektromeetriga SPECTRO xSORT. Vaskleidude puhul oli eesmärgiks selgitada välja, kas tegu on puhta vase või mõne vasesulamiga, milles on vasele (Cu) lisatud näiteks tsinki (Zn), pliid (Pb) või tina (Sn). Tiiglikatke puhul uuriti, milliseid metalle selles tiiglis sulatatud on. XRF uurib objekti pealispinda ja seega mõjutavad tulemust nii mustus kui ka korrosioon. Töös analüüsitud vaskesemed on kõik konserveerimata ja nende pinnal leidub lisaks korrosioonile ka pinnasetolmu. Sulamite koostise täpsemaks määramiseks jäeti tähelepanu alt välja elemendid, mis on sattunud eseme pinnale mullas roostetamisel, näiteks räni (Si), raud (Fe) ja fosfor (P). Sulami koostisesse määrati vaid need elemendid, mida vasele tahtlikult lisatakse (Zn, Pb, Sn) ja mida sisaldab vasemaak – arseen (As), antimon (Sb) ja nikkel (Ni).



Graafik 1. Leid nr 85, tiiglikatke. Pildil on kõrvuti tiigli murdekohast ja sisepinnast tehtud analüüside spektrid.

Tiiglikatke (Lisad: foto 8, h) puhul analüüsiti nii tiigli sise- kui murdepinda (graafik 1). Sisepind andis nõrga vase ja tugeva plii signaali. See võib viidata, et sepikojas valati kas pliid või suure Pb-sisaldusega vaske, kuna Pb-sisaldus võib roostetamise käigus

tiigliseinaga reageerides suurenda.¹⁰ Murdepind andis aga tugeva rauasignaali, mis viitab pinnasest omandatud ebapuhtusele.

Analüüsitulemused näitasid, et sepikojas on kasutatud võrdlemisi puhast vaske (tabel 1). Leiu nr 4 puhul analüüsiti eraldi selle plekiosa ja neeti (Lisad: foto 4). Pleki puhul oli vasele lisatud tina ja tsinki, seega on tegu punapronksiga. Needi osa oli aga puhas vask. Ka leid nr 46 oli punapronks, sisaldades isegi rohkem tina kui leid nr 4. Mõlemat punapronksist eset võib pidada ehisepesteks. Leid nr 123 sisaldab lisaks vasele mõnel määral ka pliid, mis parandab voolavust ning alandab sulamistemperatuuri.

Leiu nr	Cu	Zn	Pb	Sn	As	Sb	Ni	Sulam
4 (plekk)	79,53%	8,07%	1,5%	10,55%	0,35%	-	-	punapronks
4_2 (neet)	99,61%	0,39%	-	-	-	-	-	puhas vask
15_putk	99,22%	-	0,43%	-	0,13%	0,17%	0,05%	puhas vask
31_plekk	99,14%	-	0,21%	0,18%	0,22%	0,16%	0,1%	puhas vask
43_plekk	97,68%	-	1,44%	0,08%	0,51%	0,21%	0,08%	puhas vask
45_plekk	96,06%	-	3,81%	-	-	0,13%	-	puhas vask
46_plekk	69,74%	4,99%	3,39%	21,59%	0,28%	-	-	punapronks
85_tiiigel	10,84%	-	86,22%	-	2,94%	-	-	plii/vask
95_plekk	98,28%	-	0,9%	-	0,32%	0,43%	0,07%	puhas vask
97_plekk	98,52%	-	1,1%	0,04%	0,19%	0,11%	0,03%	puhas vask
115_plekk	98,28%	-	1,42%	-	0,2%	0,11%	-	puhas vask
119_plekk	98,01%	-	1,69%	-	0,18%	0,11%	-	puhas vask
123_tilk	94,31%	-	4,61%	0,48%	-	0,61%	-	plii/vask
127_plekk	96,88%	-	1,97%	0,11%	0,51%	0,44%	0,09%	puhas vask
138_plekk	99,03%	-	0,89%	0,08%	-	-	-	puhas vask

Tabel 1. XRF analüüside tulemused. Kollasega märgitud tahtlikult sulami koostisesse lisatud elemendid.

¹⁰ Ragnar Saage suuline teade (mai 2022).

4. Arutelu

13.–14 sajandil jätkus Eestis raua sulatamine otsetaandamise teel, kuid hiljemalt 14. sajandi teisel poolel hakkas see traditsioon hääbuma (Peets 2003, 136). Selle põhjusteks on peetud 1343.–1345. aastal toimunud Jüriöö ülestõusu mahasurumist, 14. sajandi keskpaiga katkuepidemiat ja osmundiraua pealetulekut (Saage 2020, 44). 12. sajandi II poolel ja 13. sajandil toimus Euroopa ja Skandinaavia rauatootmises mitu olulist muudatust (Buchwald 2008, 228):

- 1) mitmed rauasulatustöökojad kolisid voolava vee äärde, mis võimaldas kasutada veejõul töötavaid suuri lõõtsi
- 2) ehitati püsivad kivist rauasulatusahjud ehk kõrgahjud
- 3) võeti kasutusele fosforivaesed ja mangaanirikkad mäemaagid
- 4) kõrgahju kütteks kasutati vaid puusütt

Tegu oli kaudse taandamisega, kus peale maagiröstimist ja esimest rauasulatust saadi tulemuseks vedelat toormalmi ja madala rauasisaldusega šlakki (*ibid.*). Järgnevalt vähendati koldes oksüdeerimise teel malmi C-sisaldust, kuni jäi järele madala C-sisaldusega raud (*ibid.*). Rauapäts võeti tangidega ahjust välja, taoti vasaraga lapikuks ning tükeldati koheselt kirve või meisliga võrdse suuruse ja kaaluga tükkideks (*ibid.*, 230). Rootsisis kutsuti neid rautükke osmunditeks (*ibid.*) Kaudsel meetodil raua tootmine oli odavam ja saadus oli puhtama ning ühtlasema koostisega, kui otsetaandamisel toodetud raud, mistõttu pakkus see turul konkurentsi teistele kohalikele rauatootjatele (Saage 2020, 43).

Osmundi tootmine oli Rootsis range riikliku kontrolli all ja rauatootjad pidid kinni pidama kindlatest reeglitest, mille täitmatajätmise korral sai sepp karistada (Buchwald 2008, 233). Osmundile seati kindlad parameetrid: üks kang kaalus keskmiselt 283 g (*ibid.*) ja oli keskmiselt 7–11 cm pikk ning 3–5 cm lai (Wallander 2015, 129). Kui 24 osmundit kaalusid lubatust rohkem või vähem, trahviti seppa 40 margaga, kusjuures ühe osmunditünni (480 osmundit ehk ca 136 kg rauda) hinnaks oli vaid 2,5 marka (Buchwald 2008, 233) – see oli sepale ränk karistus. Lisaks standardsetele parameetritele iseloomustavad osmundit ka tükeldamisel tekkinud meisli või kirve lõikejäljed ning poorne ja šlakirohke struktuur, kus C-vaesed tsoonid vahelduvad C-rikastega (Wallander

2015, 129–130). Neile tingimustele vastavad ka Tarvastust leitud raudkangid nr 3 ja 108, mis kaalusid vastavalt 256 ja 221 g, ja mille mikrostruktuurid vastavad äsjasele kirjeldusele. Seniseid teadmisi osmundi mikrostruktuurist täiendavad nii käesolevas töös kui ka Kagu-Viljandimaalt Põrga külast leitud osmundite metallograafilised analüüsid, mille käigus avastati juba mainitud rauataskud. Mõõtmete poolest on sobivad ka detektoriga leitud rauakangid nr 193 ja 161. Ehkki osmundit peetakse küllaltki fosforivaeseks rauaks, mis tuleneb mägimaagi omadustest, esines Tarvastu analüüsitud leidudes siiski kummitusstruktuure, mis viitavad raua suurele P-sisaldusele. Neid esines ka vähemalt ühes Põrga küla osmundis.¹¹ Siiski pole P-rikast rauda alati põlatud. Tänu oma mehaanilistele omadustele kasutati P-rikast rauda keskajal damaskuse terase tootmisel, millest valmistati erinevaid terariistu (Thiele & Hošek 2015, 115).

Osmund ilmub Eesti kirjalikesse allikatesse 14. sajandil. 1336. aastasse dateeritud dokument räägib Narva kodanikust, kes vahetas Stockholmis rukki lisaks muule kaubale raua ja vase vastu, esimene kindlam teade osmundi importimisest Tallinna pärineb aga aastast 1364 (Sepp 1987, 31; Konsap 1971, 36) ja hiljemalt 16. sajandiks oli osmund muutunud Tallinnas enimkasutatud raualiigiks (Sepp 1991, 5). Osmundite transportimisega tegeles ka Hansa Liit, kes 80–120 tonnise kandevõimega kogedega kaupa Rootsist üle Läänemere teistesse sadamatesse kandis (Buchwald 2008, 236–237). Osmundi prestiižsusele võis kaasa aidata tsunftide võimu suurenemine linnades 14. sajandil (Saage 2020, 44–45). Tsunftid võisid olla enam huvitatud kvaliteetsemast ja odavamast rauast, mille sarnast kohalikud rauatootjad pakkuda ei suutnud (*ibid.*). Kui talurahvas sai osmundit osta vahendajate, peamiselt mõisate ja linnade kaudu (Sepp 1987, 41–42), tundub tõenäoline, et Tarvastu ordulinnuse sepikoda sai oma tooraine Saksa ordu vahendusel.

Tarvastu sepikoja kaevandi raudleidude enamus viitab selgelt, et tegu on vanarauaga: rootsuta noaterad, väikesed plekitükid, raudvardad, ebamäärased rauatükid ja muud deformeerunud esemed. Sellele viitab ka asjaolu, et suur osa rauast leiti sepikoja kõrvalt jäätmehunnikust. Samas leidub nende hulgas ka ilusaid sepistatud kange. See pole siiski päris tavatu, et vanaraua hulgas ka kasutuskõlblikke esemeid leida võib. Manchingis asuvast keldi oppidumist leitud rauatööpaigast leiti hulgaliselt raudesemeid, sealhulgas

¹¹ Ragnar Saage suuline teade (märts 2022).

kahjustatud tööriistu, tükke rauakangidest ja volditud plekki (Pleiner 2006, 122). Pleineri sõnul olid need algselt mõeldud taaskasutuseks, kuid muutusid vanarauaks (*ibid.*). On üsna tõenäoline, et ka Tarvastu leiud võisid olla mõeldud taaskasutamiseks, kuid sepikoja hävides või mahajätmisel sai neist miski, mida täna tõlgendame vanarauana.

On ilmne, et sepikoda on teenindanud ordulinnust. Kuna ordurüütlid liikusid pidevalt ratsa, oli tarvis hobuste kapju rautada. Raudnaelte levikukaardi (Lisad: plaan 15) põhjal tegeleti sellega peamiselt kaevandi lõunaosas, kus sepp vanad rauad ja naelad uute vastu välja vahetas. Sellele viitab ka naelte välisilme: osa naelu on sirged, teised aga kasutatud ja paindunud. Hobuseid võidi rautada kas selleks ettenähtud raketises või ilma selleta (Saage 2013, 35). Terariistu võisid mõistagi kasutada kõik inimesed, kuid needitud plekitükk (Lisad: foto 3), mis on suure tõenäosusega turviseplaat, viitab taaskord sepa seotusele orduga. 16. sajandi alguseks oli plaastrudrüü minetanud oma tõhususe, kuna see ei pakkunud enam kaitset tulirelvade eest (Kasekamp 1990). Kasutama hakati vaid teatud osi varasematest turvistest, mugavust ja mobiilsust silmas pidades kanti ka nahast või riidest tueviseid, millele oli kinnitatud sadu väikeseid terasplaate (*ibid.*). Selline terasplaat võiks olla ka leid nr 17. Tiiglikatkest tehtud analüüs näitas, et sepikojas võib olla tegeletud ka pliivaluga. Ehkki sepikojast ühtegi pliist eset ei leitud, leiti detektoriuuringute käigus linnusenõlvadelt ja pealinnusest rohkelt pliikuule, millest osadel oli küljes ka valukanal, mis üldjuhul kuuli küljest ära lõigati. Mõistagi sattus omajagu kuule pinnasesse ka linnuse piiramise käigus ning hetkel jääb sepikoja seos pliikuulide valamisega vaid hüpoteesiks. Teisalt on pliikuule nende madala sulamistemperatuuri tõttu võimalik vormi ja tangide olemasolul valada ka mujal linnuses, kasutades tiigli asemel näiteks rauast kulpi või lusikat.

Küsimusele, kas rauatöö ning pli- ja vasevaluga on tegelenud üks sepp või on sepikojas tegutsenud mitu oma ala meistrit, pole võimalik vastata. Vannoccio Biringuccio (Smith & Gnudi 1990, 370) on eristanud seppasid professionipõhiselt: üks sepp oskab valmistada ainult suuri metallist asju (alasad, ankrud, ketid, tulirelvad jm), teine põllutööriistu, kolmas terariistu, sealhulgas relvi, neljas sepa- ja puutööriistu, viies turviseid jne. Tarvastu sepikojas pidanuks selle kirjelduse kohaselt töötama vähemalt kolm erinevat seppa, kellest igaüks valmistanuks kas terariistu, naelu või turviseid, ja vähemalt üks valutööga tegelev meister. Biringuccio on seppade liigitamisel range, kuna

tema sõnul on rauasepad enamasti „toores maarahvas“, kes ei planeerinud oma tegevusi ette – kui nad oskasid ühte asja hästi, puudus neil igasugune kompetents teistel erialadel (*ibid.*). Sellele väitele võib siiski vastu vaielda, kuna sepp, kes on omandanud rauatöötlemise põhiteadmised, peaks olema suuteline neid rakendada eri liiki esemete valmistamisel – kõik sõltub tellijast, tema soovidest ja mõistagi ka töö eest pakutavast rahast. Võimalik, et Biringuccio on oma arvamuse kujundanud linnas töötavate seppade põhjal, kelle tegevus ja oli tsunftide kontrolli all.

Raua sepistamisel on kasutatud erinevaid töövõtteid. Nagu nähtub leidude nr 94 ja 81 puhul (Lisad: foto 17, 14) on sepp osanud keevitada kokku mitu metallilehte, nr 94 puhul lausa kolm metallikihti, et valmistada terariista. Sama leiu puhul avastatud kaksikjooned ferriiditerades viitavad, et eset on lõõmutatud. Lõõmutamine on termotöötlemise viis, kus raua kuumutatakse üle tema kriitilise temperatuuri ehk faasipiiri, ja jahutatakse seejärel aeglaselt, tavaliselt koos ääsiga (Muiste 2022). Lõõmutamise eesmärgiks on kas varasemate operatsioonide (sepistamise, valamise jne) defektide kõrvaldamine või raua ettevalmistamine järgnevateks operatsioonideks, näiteks lõiketöötlemiseks või karastamiseks (*ibid.*). Lõõmutamisel ühtlustub ja peeneneb raua struktuur, vähenevad sisepinged ning paranevad surve- ja lõiketöödeldavus (*ibid.*). Leidude nr 2, 3, 56 ja 108 ristlõigetes nähtud Widmanstätteni struktuur koosneb perliidist ja ferriidist ning see tekib terase ülekuumutamisel ja järsul jahutamisel (Peets 2003, 140).

Kokkuvõte

Käesolevas bakalaureusetöös püüti Tarvastu ordulinnuse sepikoja uurimisel vastata küsimustele kuidas paikneb sepikoda kaevandi suhtes, mis töid on sepikojas tehtud, milliseid metalle on seal kasutatud ja kust pärineb sealne raud, mida on sepikojas toodetud ja kellele on toodang olnud suunatud, ning milliseid töövõtteid on sepistamisel kasutatud.

Sepikoja asendi mõtestamiseks kaardistati välitöödel süstemaatiliselt proovistatud pinnasest kogutud tagiliblesid ja loodi QGIS'is nende levikuplaanid. See on Eestis esimene kord, kui tagiliblesid nii põhjalikult kaardistatakse. Levikuplaanid koostati ka kõigist teistest leidudest – raudesemed, vaskesemed, šlakk, põlenud ja sulanud savi, keraamika, tulekivi ning linnu- ja loomaluud – mille põhjal jagunes kaevand kolmeks erinevaks tsooniks: jäätmehunnikuks kaevandi loodeosas; sepikojaks kaevandi kirdenurgas; ja hoonepõhjaks kaevandi lõunaosas. Usutavasti on õnnestunud lokaliseerida ka sepikoja ukse asukoht, millele näib viitavat kivihunnik sepikoja seina ääres ja tagiliblede kontsentratsioon selle ümbruses IV korrises. Leiuandmete põhjal on sepatöö olnud intensiivsem III ja IV korrises. Kaevandi lõunaosas paiknev hoonepõhi võib olla sepikojaga samaaegne või hilisem. Sealne leiuvaesus sügavamates korrises võib tuleneda hoonepõhja ettevalmistamisest maapinna süvendamise ja uues täiteliiva toomise teel.

Kuna raudleidude üldilme meenutab vanarauda, sisaldades rohkelt poolfabrikaate, on raske anda ammendavat ülevaadet sepikoja toodangu kohta. Seal on toodetud nii terariistu, tarbeesemeid, ehitus- ja hobuse kabjanaelu ning tõenäoliselt ka turviseid. Sepikoda on olnud seotud kõrvalasuva ordulinnusega, kust on tulnud osa tellimusi – ordurüütlite hobuste kabjad vajasid rautamist ning orduvennad kaitserõivastust. Lisaks raua sepistamisele on sepikojas tegeletud ka vasesepistamise ning plii- ja vasevaluga. XRF'i uuringute tulemusel selgus, et sepikojas on kasutatud võrdlemisi puhast vaske. Vaid kahel juhul oli tegu punapronksiga, milles on vasele lisatud tina ja tsinki. Valutööst annavad tunnistust üks pliisisaldusega vasetilk ja tiiglikatke, millega on valatud kas pliidi või kõrge pliisisaldusega vaske. On võimalik, et sepikojas valati tulirelvade tarbeks pliikuule, kuid tõendite puudusel jääb see mõte hüpoteesiks.

Raua päritolu uurimiseks tehti 8 väljavalitud raudleiust metallograafiline analüüs, mille käigus uuriti põhjalikumalt raua mikrostruktuuri. Kaks toorrauakangi (nr 3 ja 108) meenutavad nii oma välisilmelt kui ka mikrostruktuurilt Rootsis toodetud osmundeid, mida 14. sajandil ka Eesti- ja Liivimaale importima hakati. Osmundil on standardne kaal ja mõõtmed, samuti iseloomulik poorne ja räburikas mikrostruktuur. Uue avastusena leiti nii toorraua kui ka teiste analüüsitud esemete mikrostruktuuridest rauataskuid, mida Ragnar Saage peab üheks osmundi eriomaseks tunnuseks. Kahe leiu puhul (nr 81 ja 94) oli mikrostruktuuris märgata kummitusstruktuure, mis viitavad raua keskmisest kõrgemale fosforisisaldusele. Osmundit peetakse üldiselt fosforivaeseks rauaks, kuid kummitusstruktuure on leitud ka Põrga külast leitud osmundi mikrostruktuuris. Fosforirikast rauda söövitati lisaks nitaalile ka Klemmi II reagentiga. Uuringu käigus avastati seos proovi pinnale moodustunud värvide ja raua kõvaduse vahel.

Raua mikrostruktuur andis teavet ka sepa töövõtete kohta. Kasutatud on lõõmutamist, mis ühtlustab raua struktuuri ja vähendab sisepingeid, parandades selle surve- ja löiketöödeldavust. Leiu nr 94 puhul olid lõõmutamise indikaatoriks ferriiditerades moodustunud kaksikjooned. Mitmel puhul kohatud Widmanstätteni struktuur viitab, et rauda on ülekuumutatud ja seejärel järsult jahutatud.

Kuna käesolev bakalaureusetöö on meetodite osas mitmes mõttes uuenduslik, pidades silmas pinnase süstemaatilist proovistamist ja tagiliblede kaardistamist ning fotogrammeetriliste plaanide ja leidude levikuandmete kooskasutust, võiks see olla eeskujuks teistele tulevastele uurimistöodele Eesti sepikodadest või nende toodangutest või mõnda muud tüüpi muististest.

Kasutatud allikad ja kirjandus

Käsikirjad

Aus, T. 1984. Rakvere linnus. Ehitusarheoloogilistel kaevamistel 1983.a. saadud leiuainese analüüs. Köide X. Tallinn. Käsikiri SA Virumaa Muuseumid arhiivis.

Saage, R. 2013. Käku sepikoda: Arheoloogia väljas ja sees. Magistritöö. Juhendajad: Ain Mäesalu ja Jüri Peets. Tartu Ülikool. Käsikiri Tartu Ülikooli Arheoloogia Arhiivis.

Sepp, T. 1987. Raud ja sepatöö Eestis (II at. algusest kuni keskpaigani). Diplomitöö. Juhendaja: Vilma Trummal. Tartu Ülikool. Käsikiri Tartu Ülikooli Arheoloogia Arhiivis

Valk, H., Saage, R., Ilves, K., Sammler, S. 2022. Kaevamisaruanne. Tarvastu ordulinnuse arheoloogiline uuring 2021. aastal. Käsikiri valmimisel.

Publikatsioonid

Aluve, K. 1993. Eesti keskaegsed linnused. Tallinn, Valgus.

Buchwald, V. F. 2008. Iron, Steel and Cast iron before Bessemer. *Historisk-filosofiske Skrifter 32*, The Royal Danish Academy of Science and Letters.

Haak, A. 2006. Tartu värava eeslinna tekkest, hävingust ning taaskujunemisest. Uusi andmeid arheoloogilistelt kaevamistelt 1996–2005. – Viljandi Muuseumi aastaraamat 2005. Viljandi, 68–87.

Jouttijätvi, A. 2009. The Shadow in the Smithy. – *Materials and Manufacturing Processes*, 24:9, 975–980.

Kasekamp, A. 1990. Characteristics of Warfare in times of Henry of Livonia and Balthasar Russow. – *Lituanus*, 36 (1).
[URL=https://www.lituanus.org/1990_1/90_1_02.htm] (03.05.2022)

Konsap, V. 1971. Dekoratiivne sepis Tallinna arhitektuuris XVI–XVIII sajandil. Tallinn, Kunst.

- Modin, H., Modin, S., Serning, I., & Hyenstrand, Å. 1985.** Lapphyttejärn: en metallografisk Undersökning och Guide: Iron from Lapphyttan: a metallographic investigation and guide with archaeological comments. Riksantikvarieämbetet och Jernkontoret.
- Peets, J. 2003.** The Power of Iron. Iron production and blacksmithy in Estonia and neighbouring areas in prehistoric period and the Middle Ages. MT 12. Tallinn.
- Pleiner, R. 2006.** Iron in archaeology: early European blacksmiths. Prague: Archeologický ústav AV ČR.
- Russow, E. 2006.** Importkeraamika Lääne-Eesti linnades 13.-17. sajandil. Tallinna Ülikooli Ajaloo Instituut.
- Saage, R. 2018.** Smithies and forges around the north-eastern Baltic Sea from the 11th to the 17th century AD. – *The Journal of the Historical Metallurgy Society*, Vol. 51 No. 1 (2017)
- Saage, R. 2020.** Metallitööpaigad Eestis 7.–17. sajandil. Doktoritöö. Juhendajad: Andres Tvauri, Jüri Peets ja Sebastian K. T. S. Warmländer. Tartu Ülikool. Käsikiri Tartu Ülikooli Arheoloogia Arhiivis.
- Scott, D. A. 1991.** Metallography and microstructure of ancient and historic metals.
- Sepp, T. 1991.** Rauda impordist keskaegses Eestis. – *Kleio* 4, 6–10.
- Smith, C. S., Gnudi, M. T. 1990.** The Pirotechnia of Vannoccio Biringuccio: The Classic Sixteenth Century: Treatise on Metals and Metallurgy. New York: Dover.
- Starley, D. 1995.** Hammerscale. The Historical Metallurgy Society: Archaeology Datasheet No. 10. [URL=<https://historicalmetallurgy.org/wp-content/uploads/2020/02/hmsdatasheet10.pdf>] (23.01.2022)
- Thiele, Á., Hošek, J. 2015.** Estimation of phosphorus content in archaeological iron objects by means of optical metallography and hardness measurements. *Acta Polytechnica Hungarica*, 12(4), 113–126.

Tvauri, A. 2000. The archaeological investigations in Viljandi, Tartu and Kärkna. – Arheoloogilised välitööd Eestis 1999. Muinsuskaitseamet. Tallinn, 54–62.

Wallander, A. 2015. Osmundar i svenskt arkeologiskt material. – Järnet och Sveriges medeltida modernisering, *Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie*, 48, 115–149.

Veebiviited

Juhend XRF'i kasutamise ja tööpõhimõtte kohta

<https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/elemental-analyzers/handheld-xrf-spectrometers/how-xrf-works.html> (09.05.2022)

Muiste, U. Materjaliõpetus elektrikele. Termotöötlemine

<http://opiobjektid.tptlive.ee/Materjaliopetus/termottlemine.html> (11.05.2022)

Summary

The Smithy site of Tarvastu Order castle

Survey with a metal detector at the Tarvastu Order castle and its outer bailey revealed a medieval smithy site at the latter area (Lisad: plaan 1)¹², that was archaeologically excavated in the summer of 2021. The purpose of this thesis is to provide an overview of the archaeological finds from the site. It will be achieved by answering these questions:

- How is the smithy located in the trench?
- What kind of work has been done in the smithy?
- Which metals were used? Where did the iron come from?
- What was produced in the smithy? To whom the production is directed?
- What techniques the blacksmiths used?

To answer the first question the distribution of the hammerscale found in systematically sampled soil from the layers III and IV, and other finds were mapped in QGIS. Firstly, hammerscale was extracted from the soil samples with a magnet. Then the hammerscale and pure soil could be weighed separately and the percentage of hammerscale in the sampled soil was calculated. With the use of *TIN interpolation* tool in QGIS the distribution of the hammerscale in the trench could be visualized (Lisad: plaan 16–18). Distribution of the finds (Lisad: plaanid 2–14) was visualized by adding the point coordinates of each find that was measured during the excavations to the ortophoto of the trench. The trench had three distinct areas: a pile of waste in the northwestern part where lots of slag and iron scrap was found, a smithy in the northeastern part, where the concentration of hammerscale stood constant in both III and IV layers, and a base of another building in the southern part (Lisad: plaan 19). A possible doorway of the smithy was also located.

From the site many iron objects were found (Lisad: foto 1), among them iron lumps, wrought iron bars, finished and semi-finished products, knife blades, iron scrap and at least 589 iron nails mostly from horseshoes (Lisad: foto 2; plaan 15). This indicates that

¹² Translations from Estonian: Lisad = appendixes; Plaan(id) = map(s); Foto(d) = photo(s); Joonis = figure; Tabel = table;

shoeing of horses took place near the smithy. It is likely that the horses being shod belonged to the knights of the Teutonic Order or the personnel of the castle. The blacksmith's connection to the Order is also supported by a riveted piece of iron sheet, that could be a piece of mail (Lisad: foto 3). In addition to the iron finds there was a lot of slag, animal and bird bones (Lisad: foto 6), ceramics (Lisad: foto 5), flint (Lisad: foto 7), forge and tuyere fragments of burnt and fused clay (Lisad: foto 8), one fragment of a crucible, few pieces of copper sheet and one droplet of copper (Lisad: foto 4). XRF analysis showed that the copper alloy used in the smithy was mostly pure copper (tabel 1), with only two pieces of gunmetal. The copper droplet also contained lead and the crucible was used to melt and cast either lead-rich copper or lead and copper separately.

To answer the questions related to activities in the smithy and to metals, a metallographic analysis was performed. From the iron finds 8 objects were chosen for investigation (joonis 3). Among them were two iron bars (no. 3 and 108) which turned out to be osmunds produced in Sweden, which was indicated by their porous and slag-rich microstructures (Lisad: fotod 11–12) and external parameters. There were also two wrought iron bars (no. 51 and 81) (Lisad: fotod 13–14), two semi-finished products (no. 2 and 94) (Lisad: fotod 16–17) of which no. 94 was meant to be wrought into an edged tool. Two of the iron pieces were of irregular shape (no. 52 and 56) (Lisad: fotod 18–19). Finds no. 81 and 94 were rich in phosphorus indicated by ghost structures (Lisad: foto 21). Both finds were etched with Klemm's II reagent which made the surfaces of the samples colored (Lisad: foto 15). A connection between the colors and the microhardness of iron was discovered.

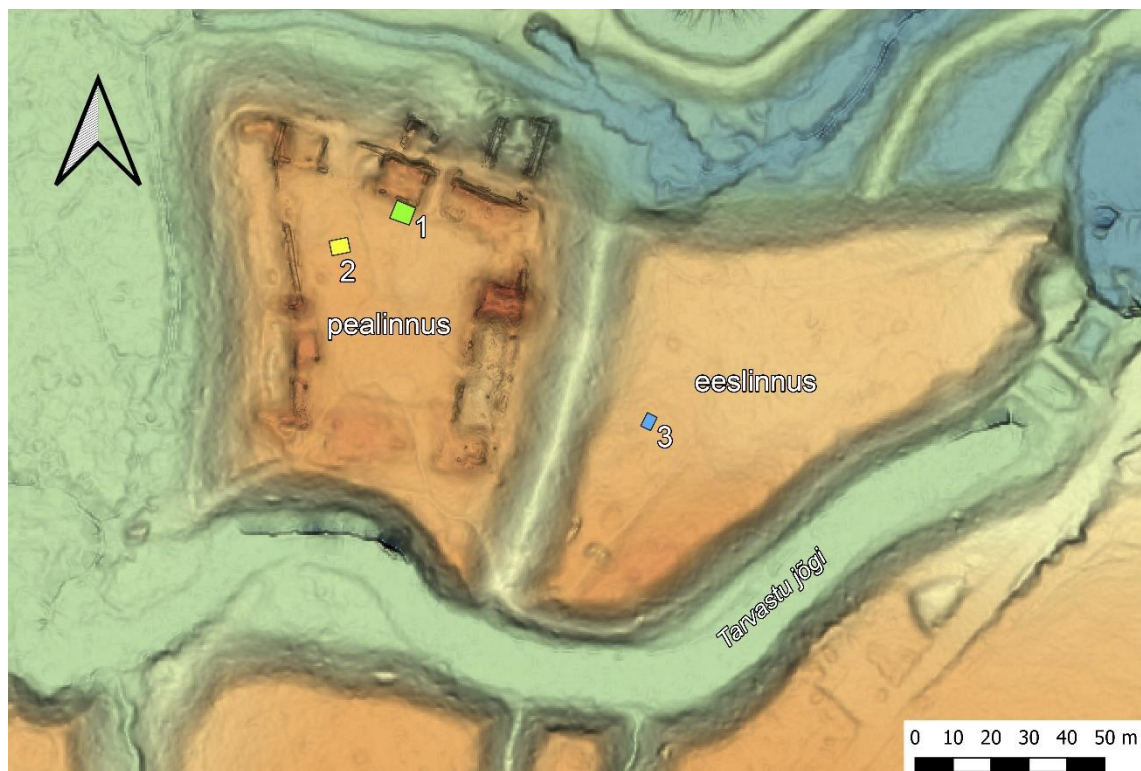
Twin lines that occur during annealing the iron were found in the ferrite grains of sample no. 94. Another technique-related microstructure was Widmanstätten ferrite found in the structures of samples no. 2, 3, 56 and 108. Widmanstätten structure occurs after the overheating and rapid cooling of iron. From the microstructures of all samples small iron pockets were found (Lisad: foto 20). These pockets are one of the recently discovered characteristics of osmund iron.¹³ This proves that the smithy at Tarvastu used imported osmunds as the main raw material for smithing. Osmunds could have been imported and given or sold to the blacksmiths by Teutonic Order.

¹³ Personal communication with Ragnar Saage (March 2022).

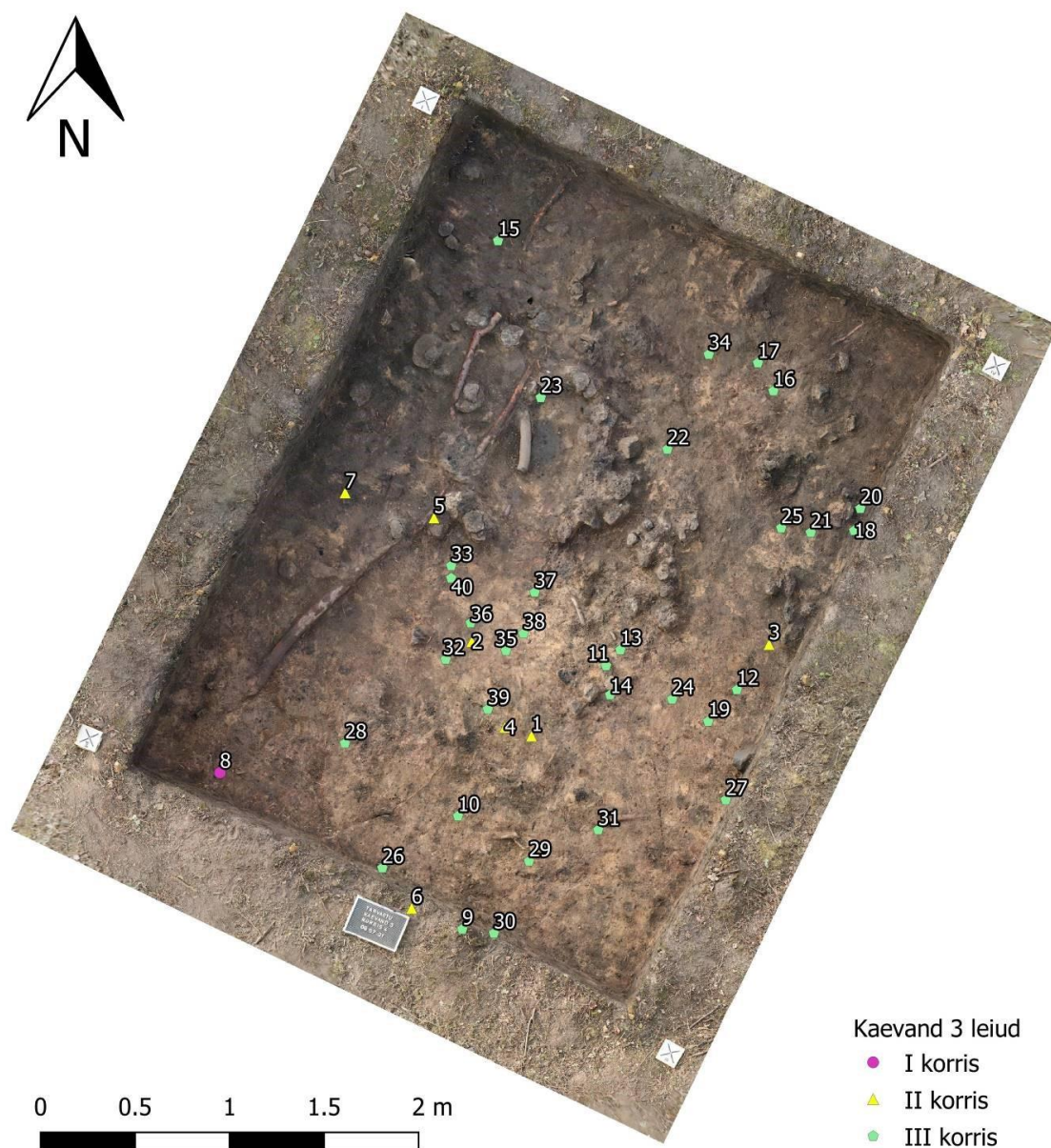
As this bachelor's thesis is innovative in many respects in terms of systematic soil sampling and mapping of the hammerscale and the combined use of photogrammetric plans and distribution data, it could serve as a model for future research on metalworking sites of a similar nature.

LISAD

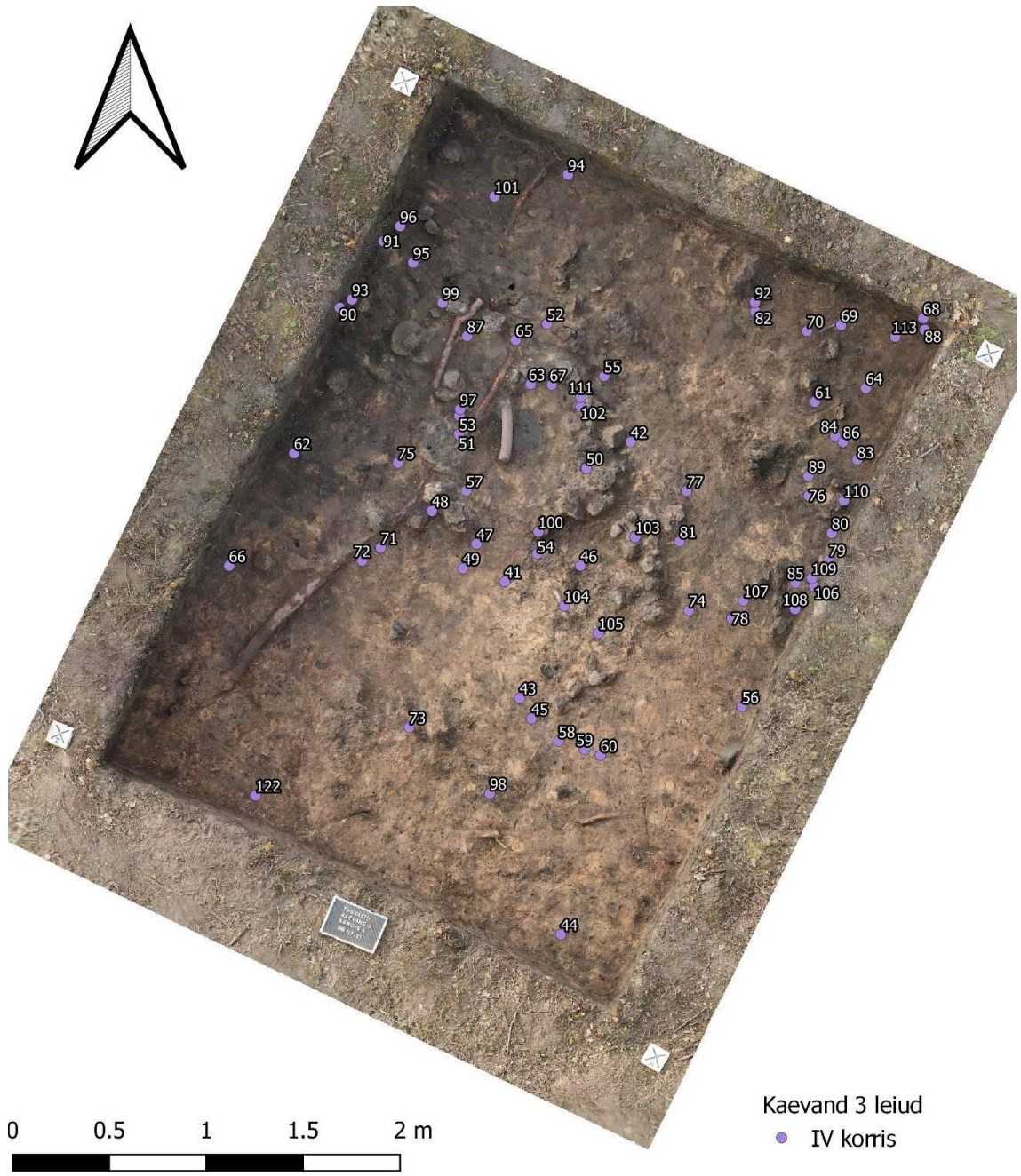
Lisad: Plaanid



Plaan 1. Tarvastu ordulinnuse plaan koos 2021. a kaevandite asukohtadega. Sepikoja kaevand nr 3 eeslinnuse alal. Autor: Ragnar Saage ja Kristo Oks



Plaan 2. I–III korriskte leiud, taustal IVa korrisk ortofoto. Autor: Sandra Sammler ja Ragnar Saage



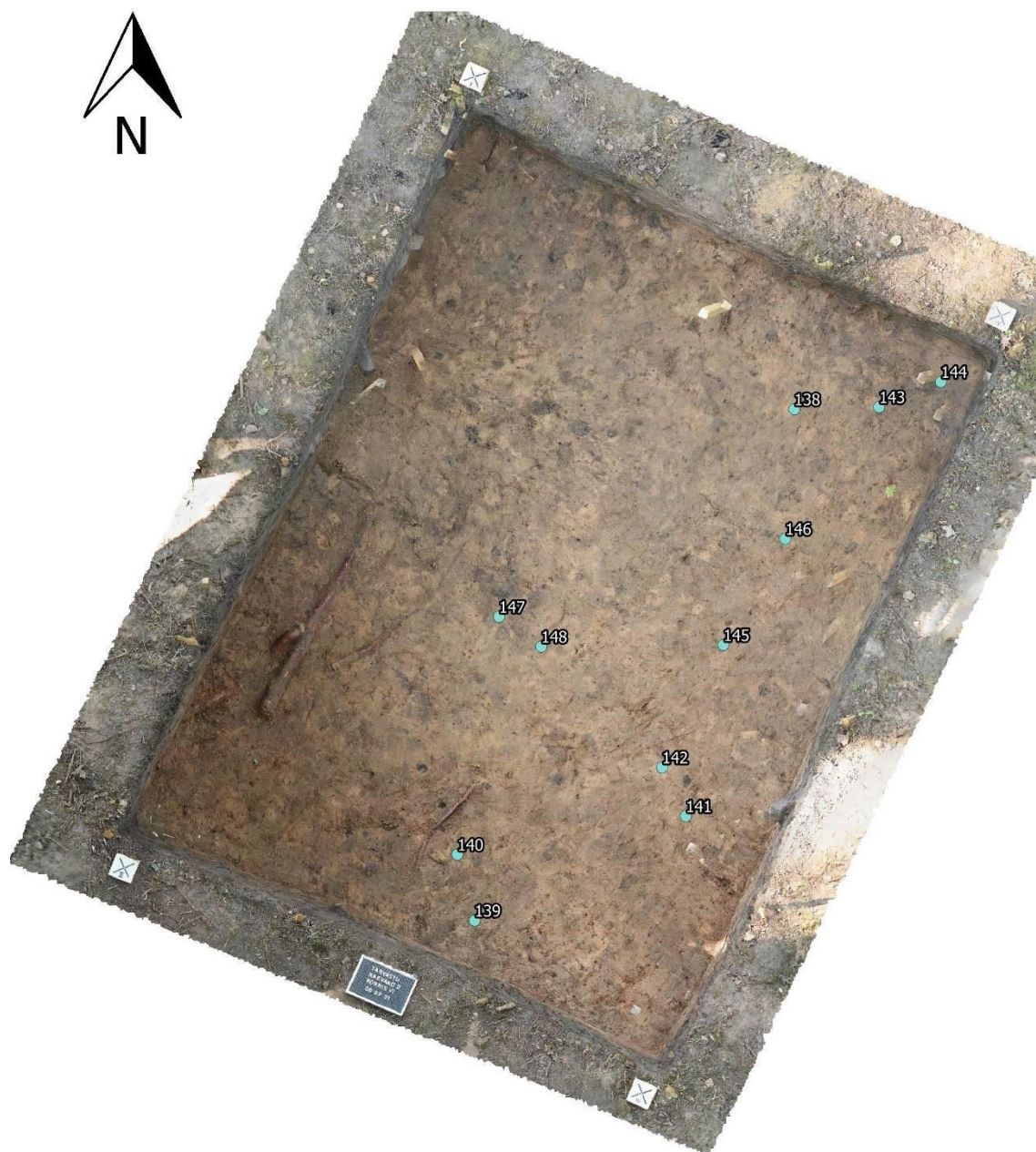
Plaan 3. IV korrise leiud, taustal IVa korrise ortofoto. Autor: Sandra Sammler ja Ragnar Saage



Kaevand 3 leiud
● V korrise

0 0.5 1 1.5 2 m

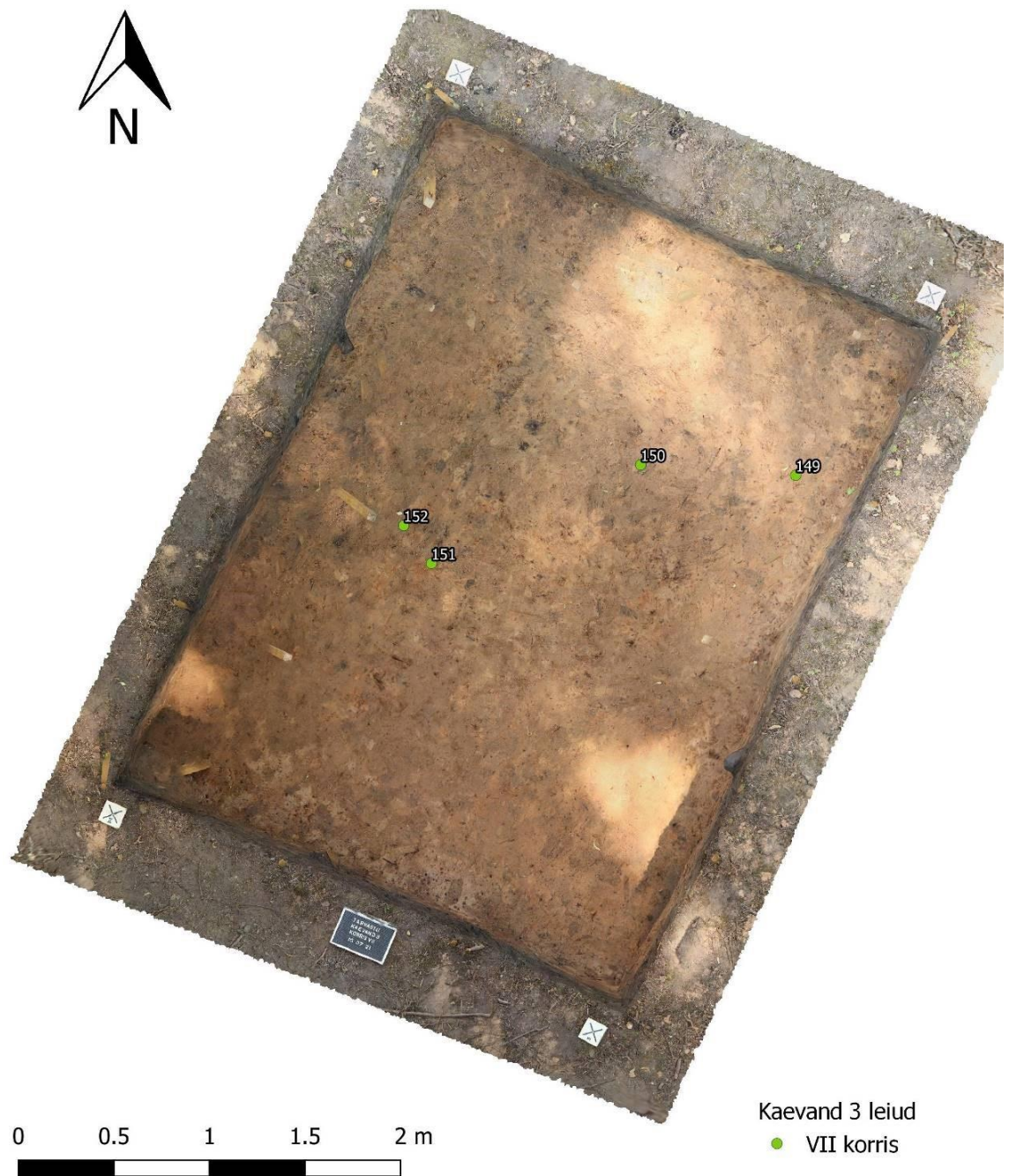
Plaan 4. V korrise leiud, taustal V korrise ortofoto. Autor: Sandra Sammler ja Ragnar Saage



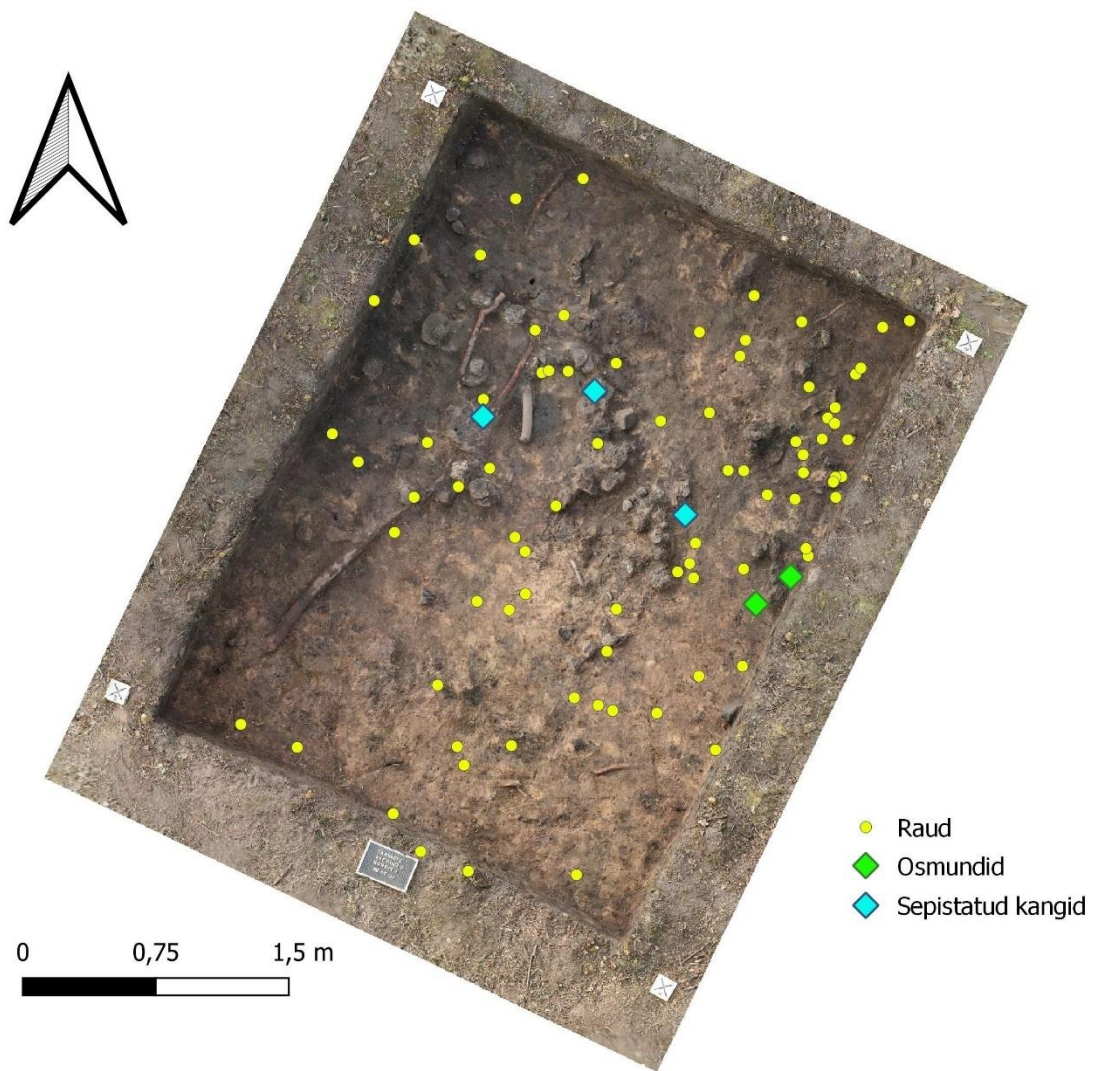
0 0.5 1 1.5 2 m

Kaevand 3 leiud
● VI korrise

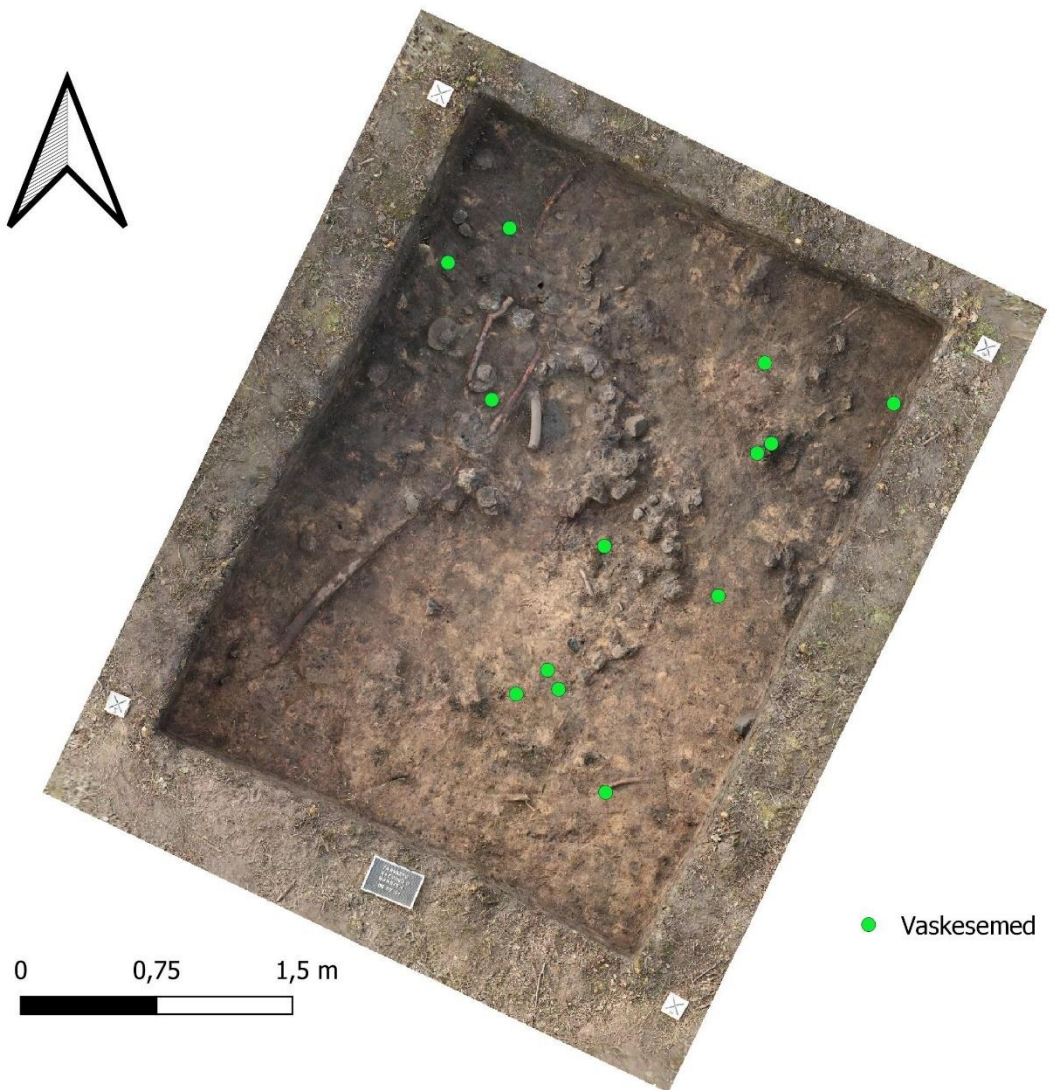
Plaan 5. VI korrise leiud, taustal VI korrise ortofoto. Autor: Sandra Sammler ja Ragnar Saage



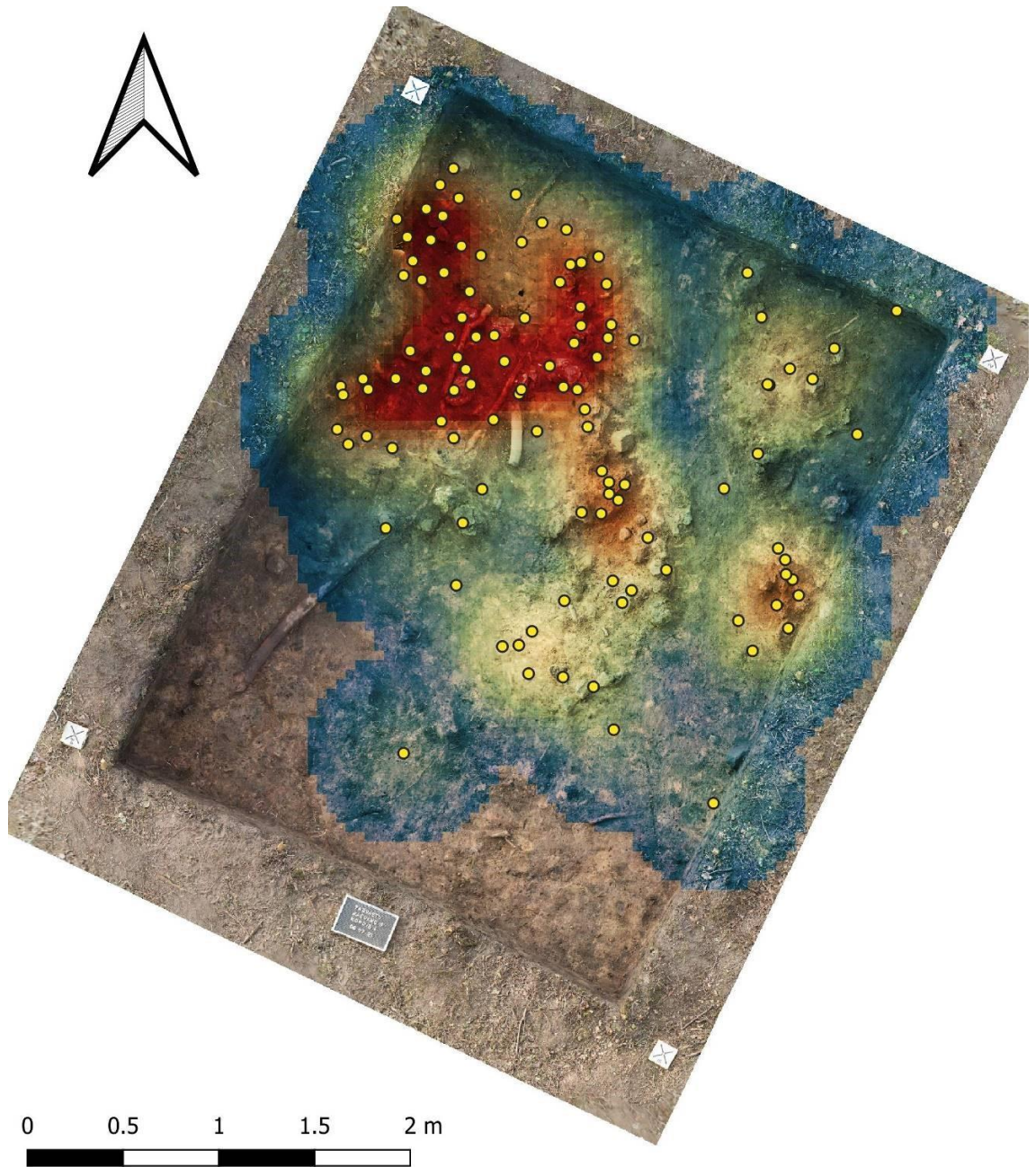
Plaan 6. VII korrise leiud, taustal VII korrise ortofoto. Autor: Sandra Sammler ja Ragnar Saage



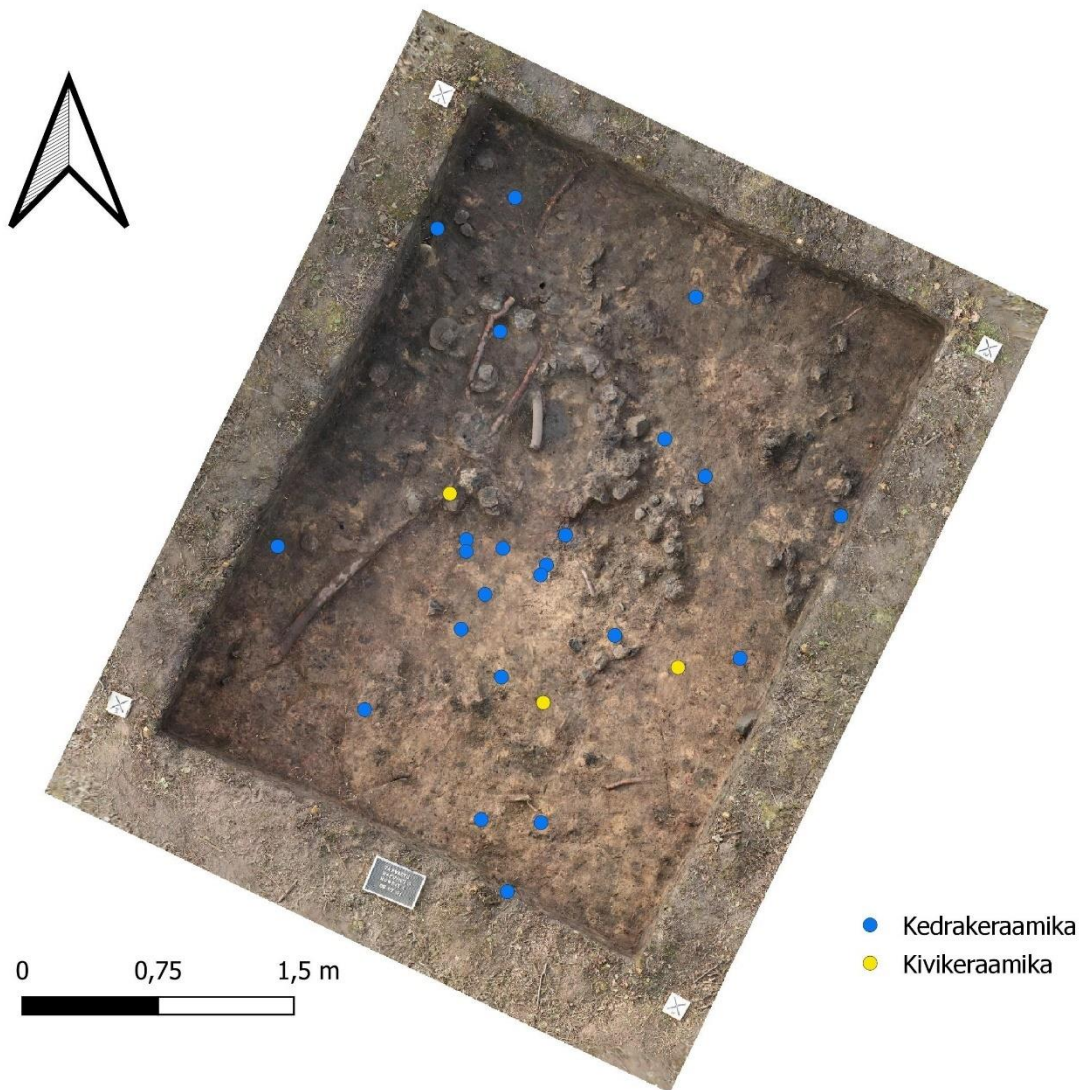
Plaan 7. Raudleidude levik kaevandis.



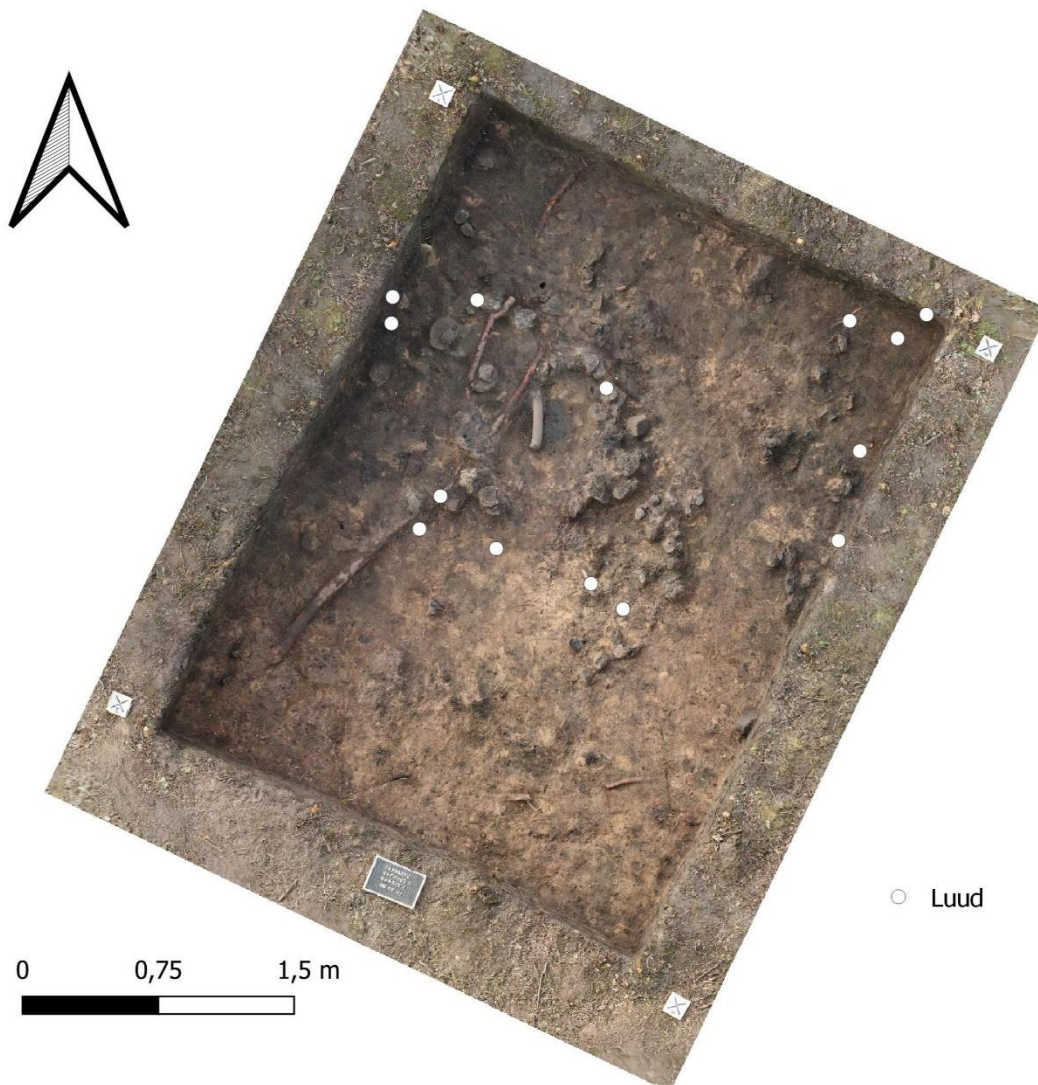
Plaan 8. Vaskleidude levik kaevandis.



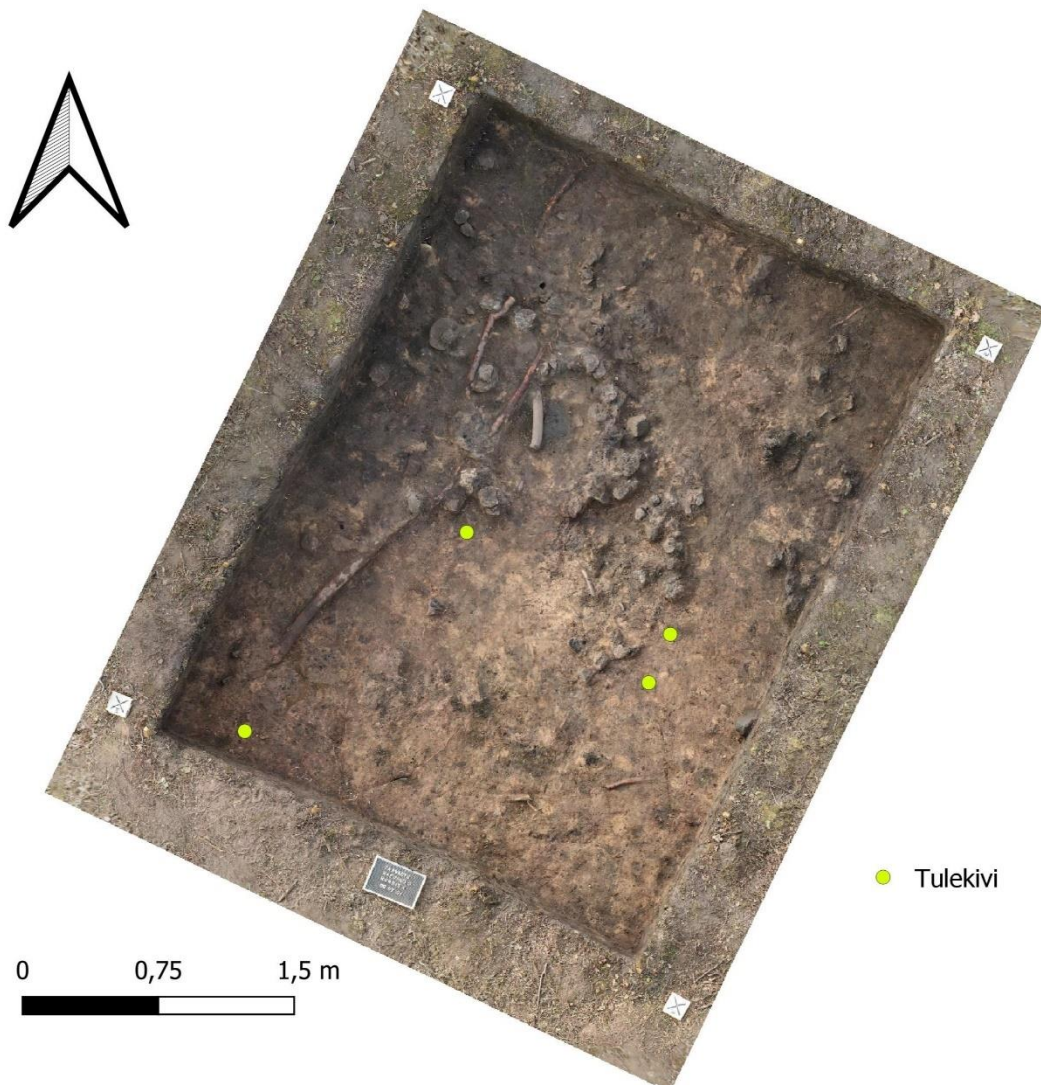
Plaan 9. Šlaki levik kaevandis (QGIS'i tööriist *Heatmap (Kernel Density Estimation)*).
Autor: Ragnar Saage



Plaan 11. Keraamika levik kaevandis.



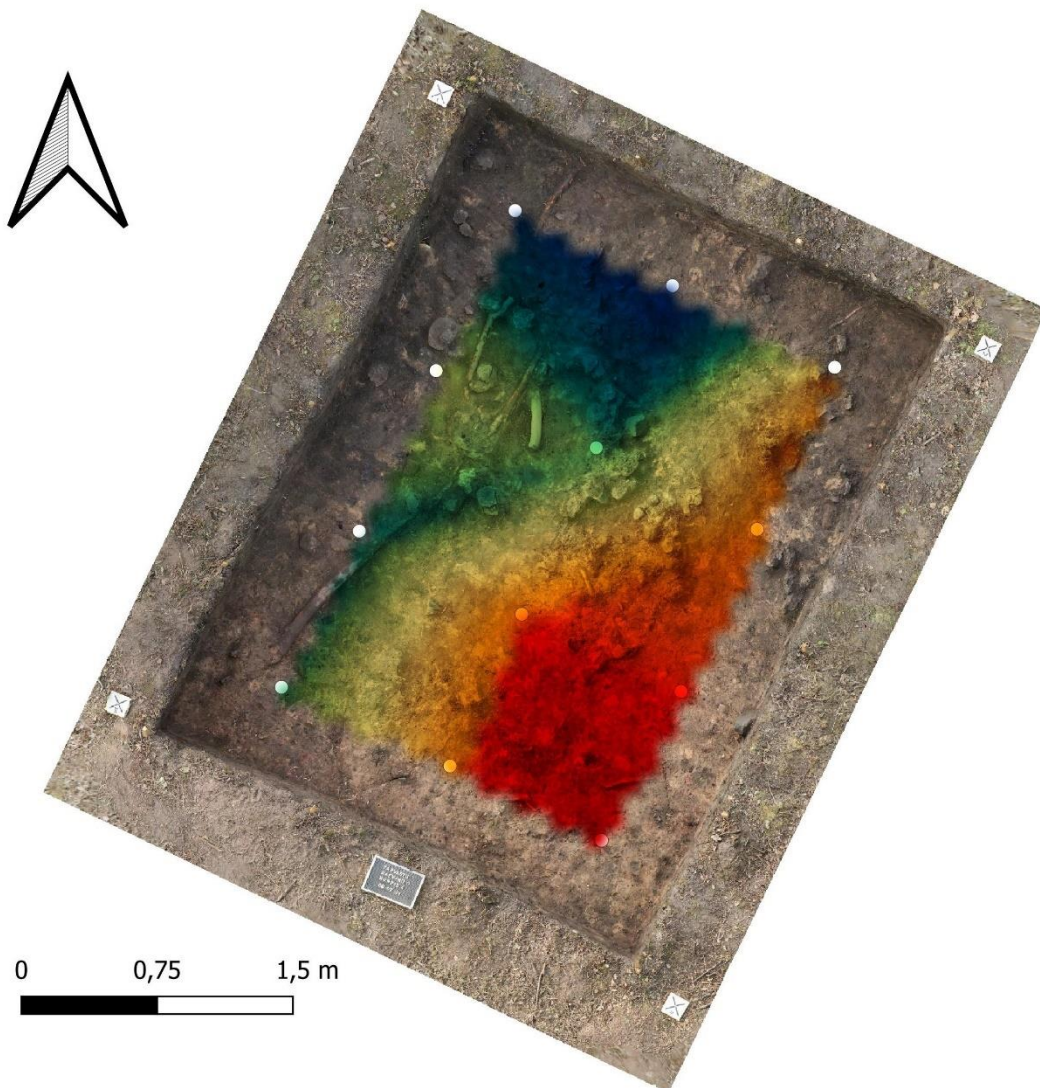
Plaan 12. Looma- ja linnuluude levik kaevandis.



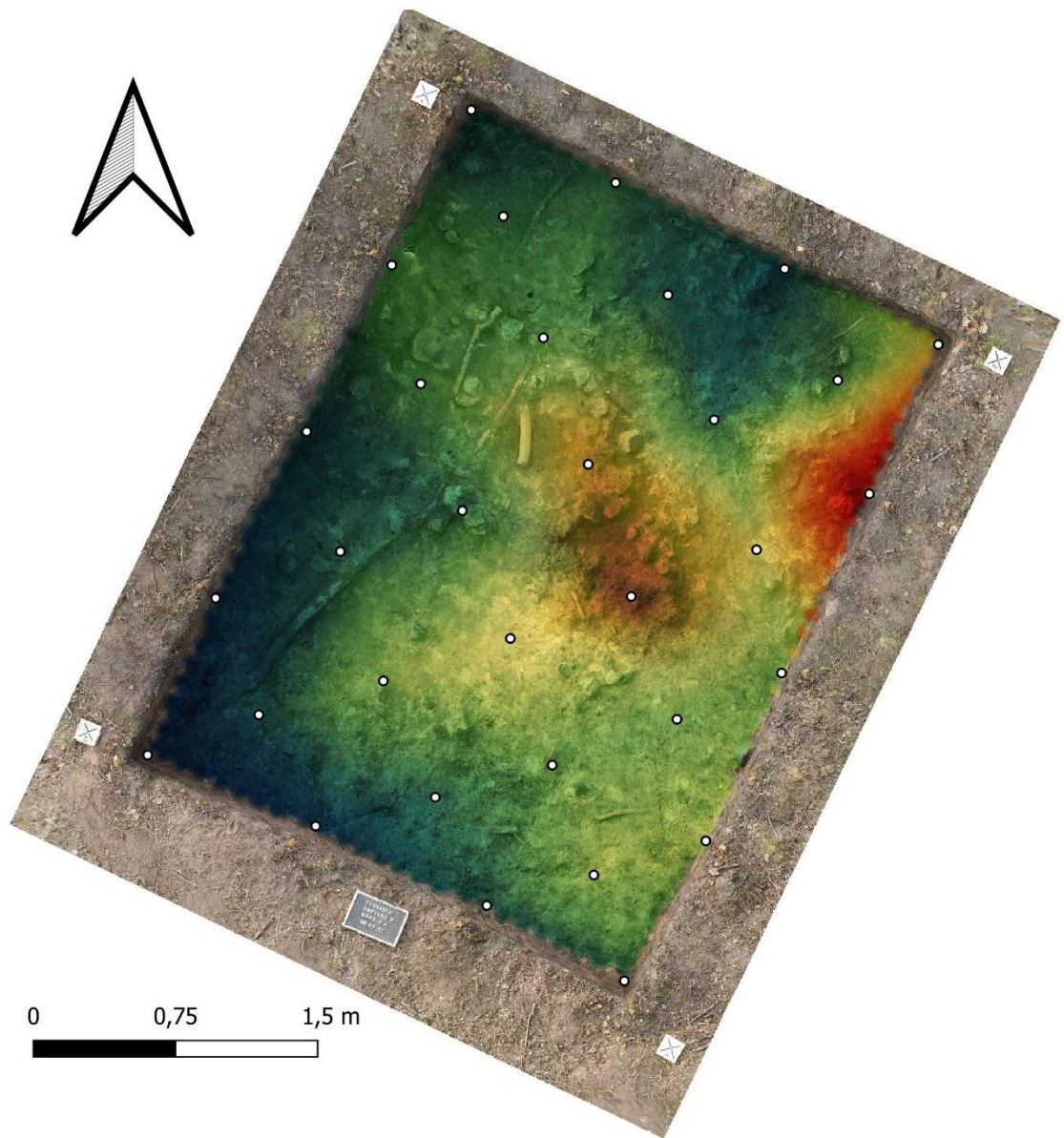
Plaan 13. Tulekivi levik kaevandis.



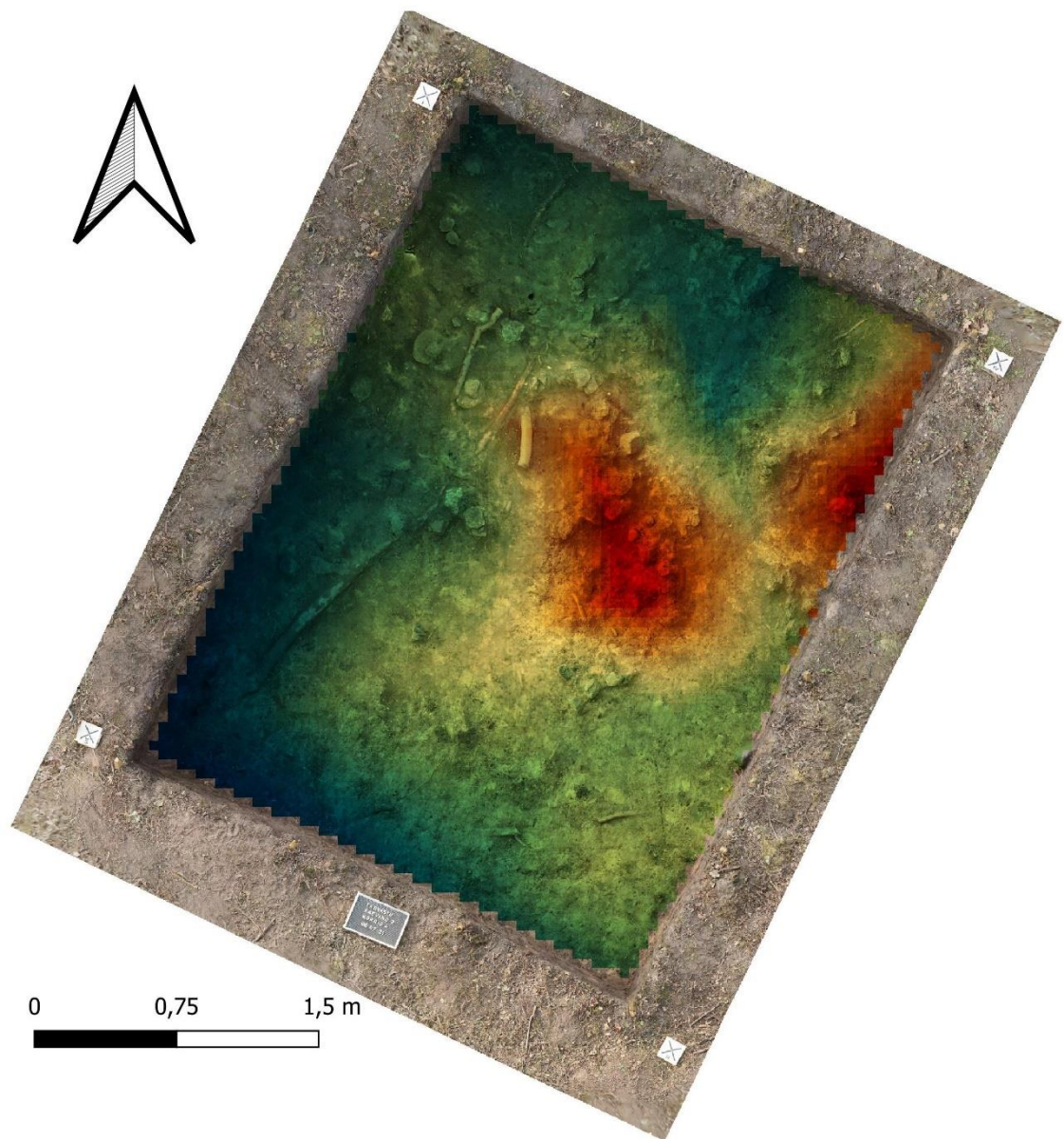
Plaan 14. Söetukkide levik kaevandis.



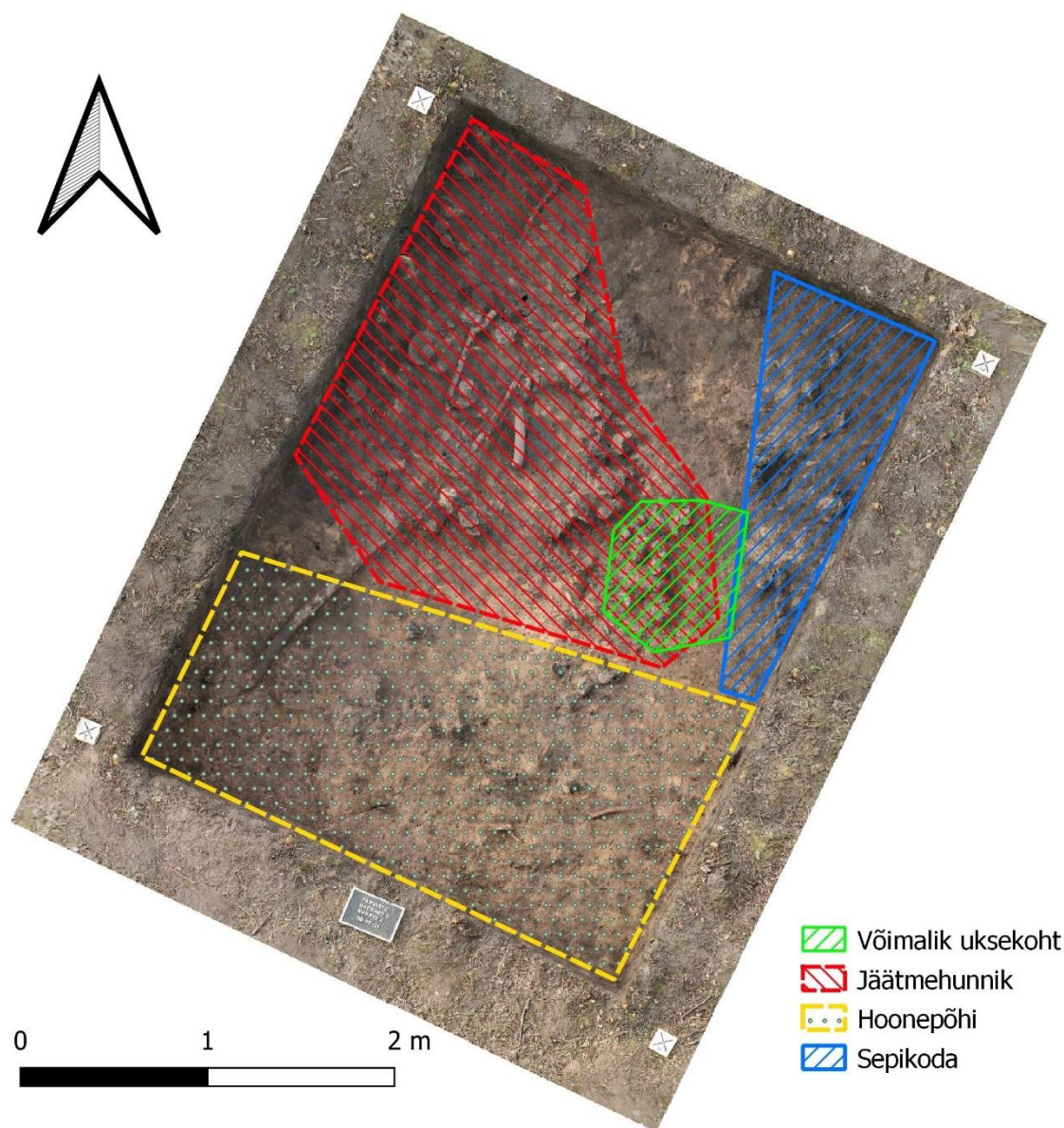
Plaan 15. Naelte levik kaevandis (QGIS'i tööriist *TIN interpolation*).



Plaan 16. Tagilibledede levik III ja IV korrises ning pinnaseproovide võtukohad.



Plaan 18. Tagiliblede levik IV korrises (QGIS'i tööriist *TIN interpolation*).



Plaan 19. Erinevad tsoonid kaevandis.

Lisad: Fotod



Foto 1. Valik raudleide.



Foto 2. Valik raudnaelu, ülal kabja- ja all ehitusnaelad.



Foto 3. Needitud plekk, võimalik turviseplaat.



Foto 4. Vaskleiud v.a nr 101, mis osutus raudtraadiks.

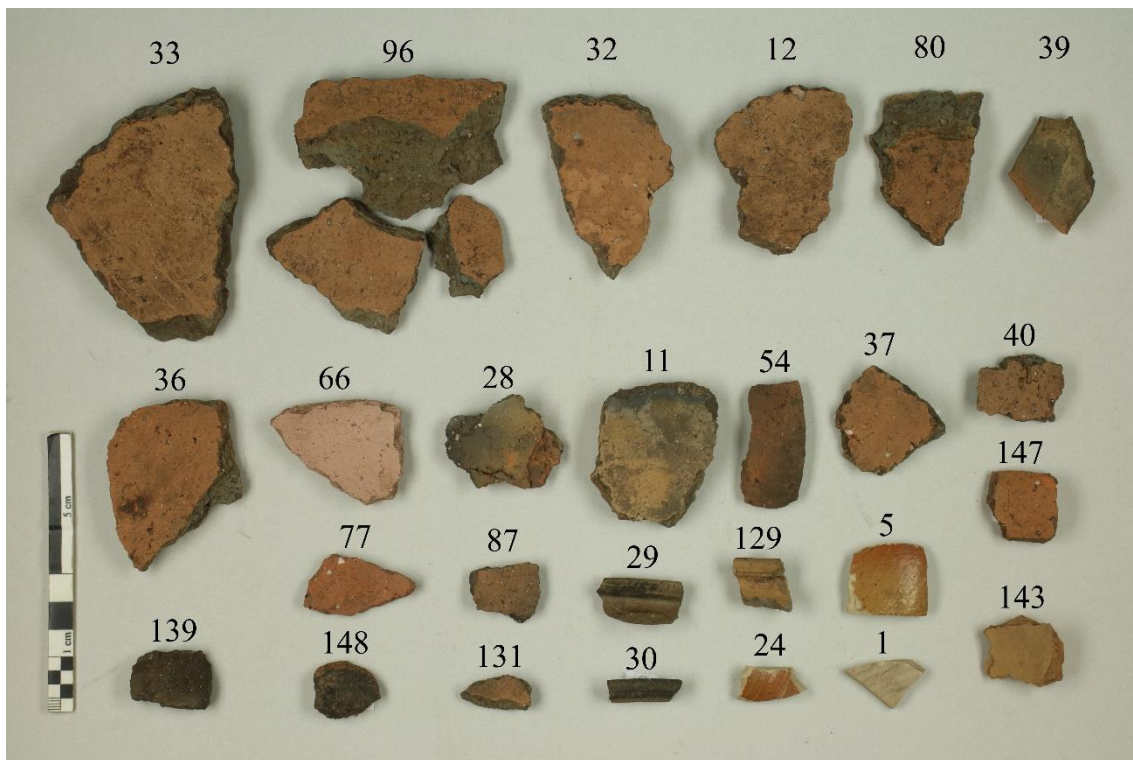


Foto 5. Keraamika, nr 1, 5 ja 24 on Siegburgi kivikeraamika.



Foto 6. Looma- ja linnuluud.



Foto 7. Looduslik tulekivi.

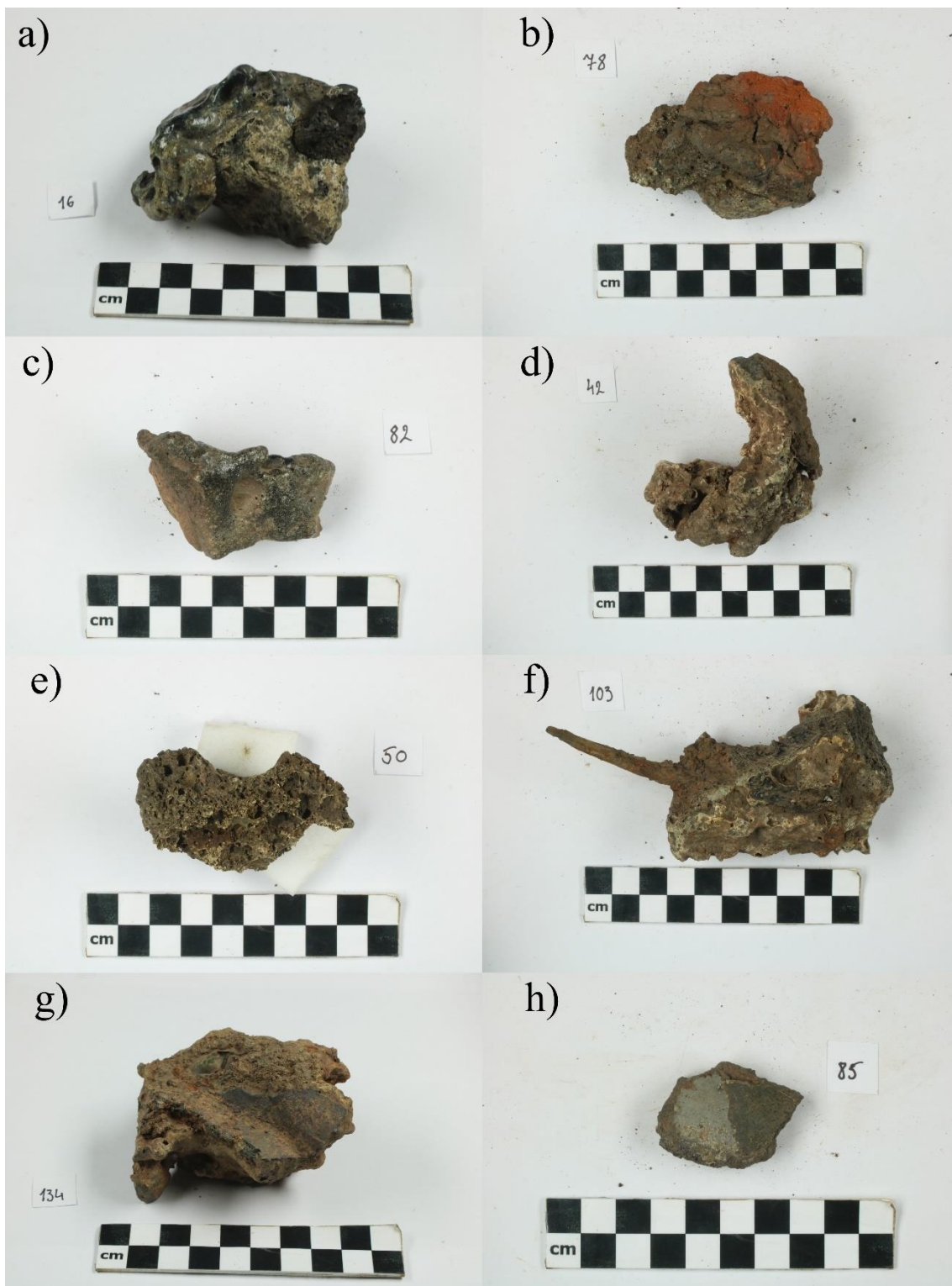


Foto 8. Põlenud- ja sulanud savi. A–C on ääsikatked, D–E düüsi katked, H on tiiglikatke.



Foto 9. Detektorileiud linnuse ja eeslinnuse alalt. Nr 44 on alasi (pealt- ja külgvaates), nr 193 ja 161 toorrauakangid.



Foto 10. Valik detektoriga leitud pliikuule.

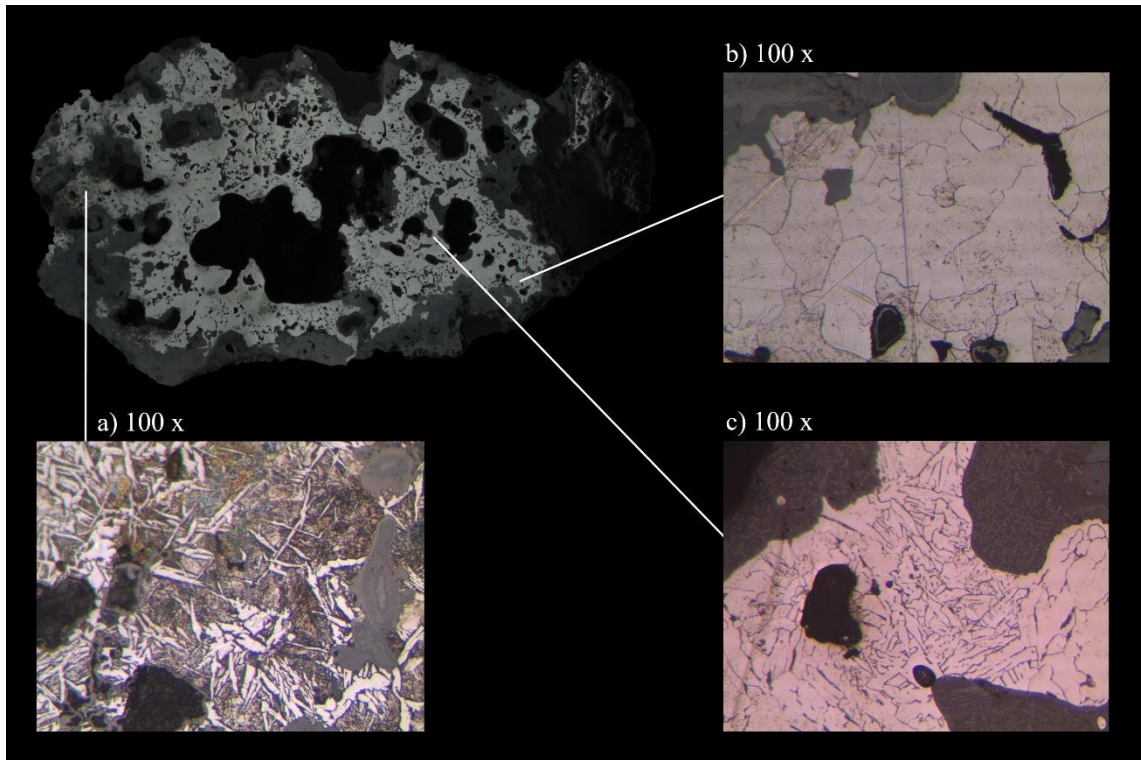


Foto 11. Toorrauakang nr 3. a) Widmanstätteni struktuur, perliit (tumedam) ja ferriit (valge).

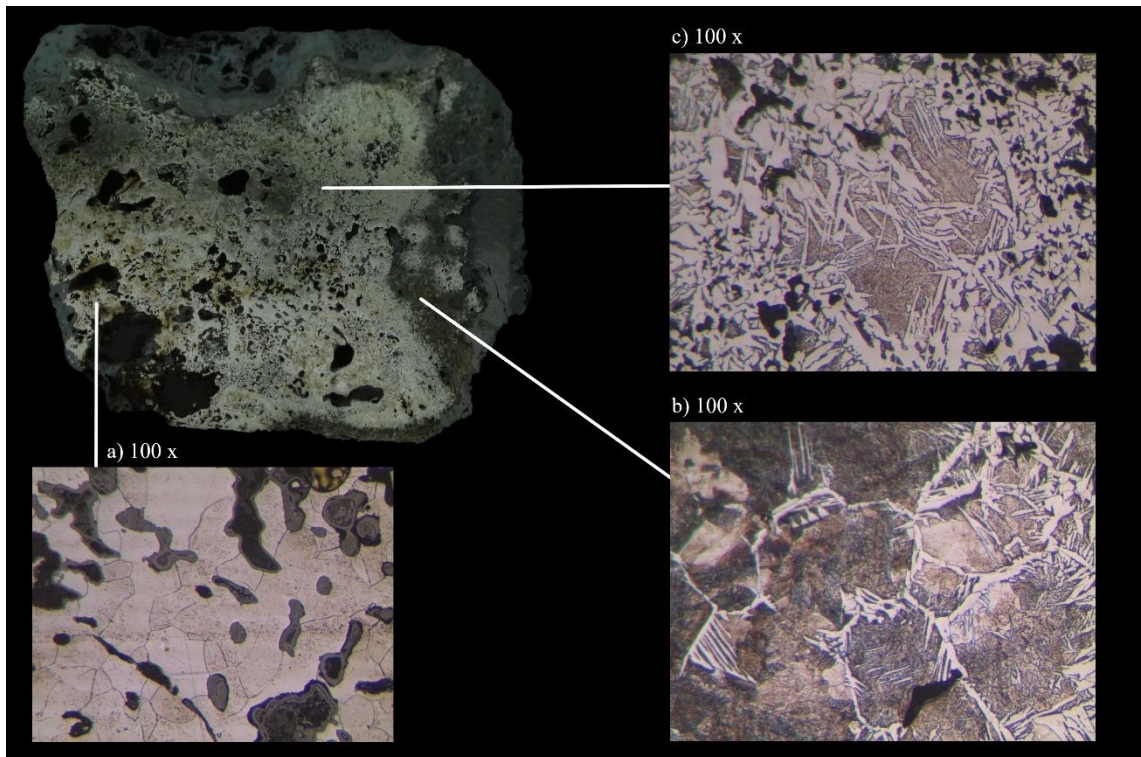


Foto 12. Toorrauakang nr 108. b) Widmanstätteni struktuur.

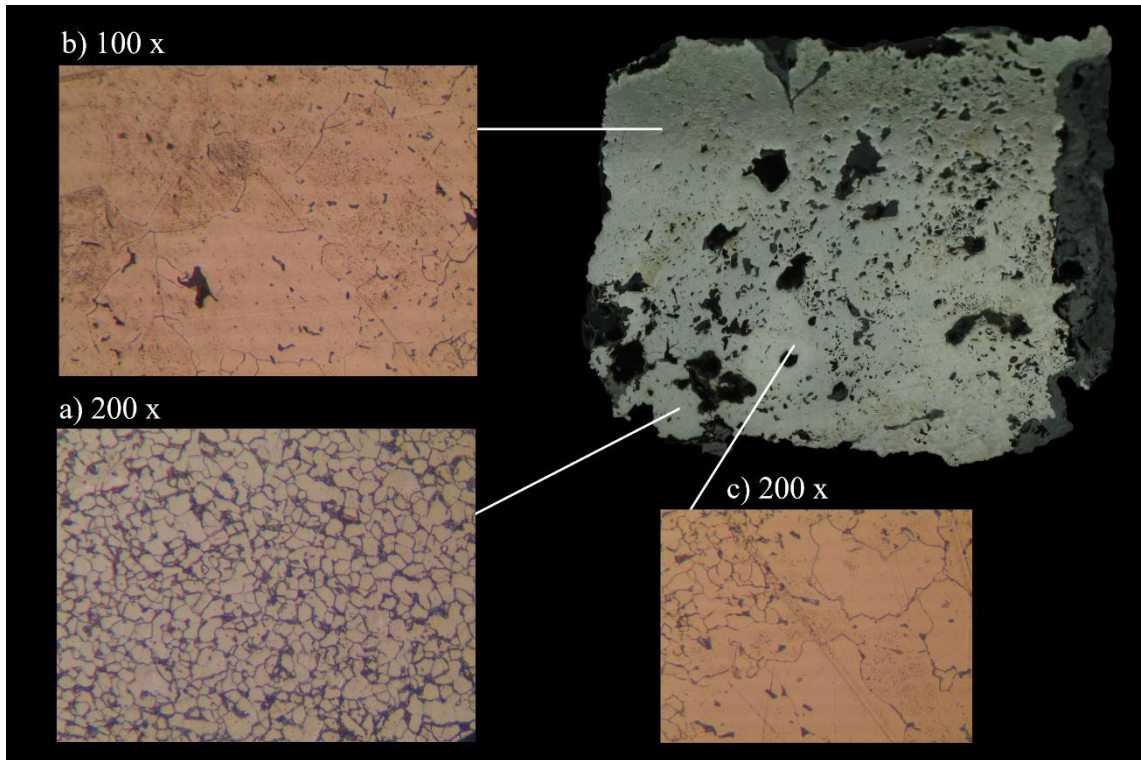


Foto 13. Sepistatid kang nr 51.

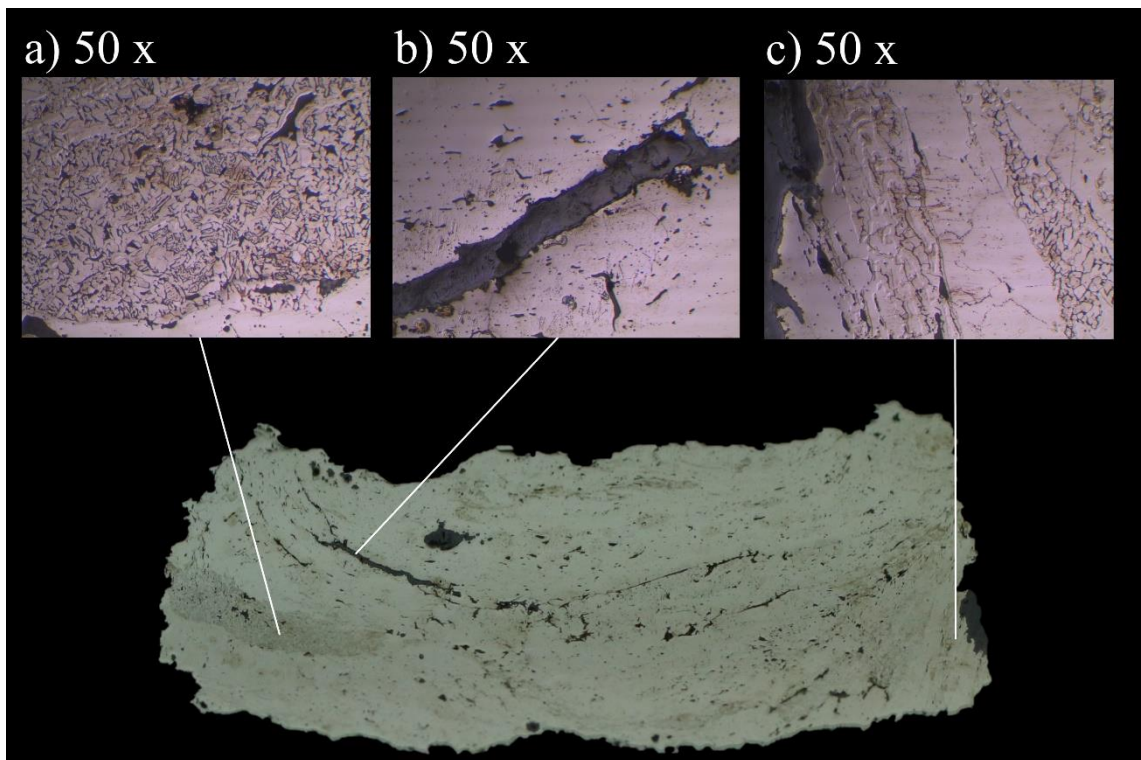


Foto 14. Sepistatid kang nr 81. Pildil B on sepakeevis, piltidel A–C kummitusstruktuurid.

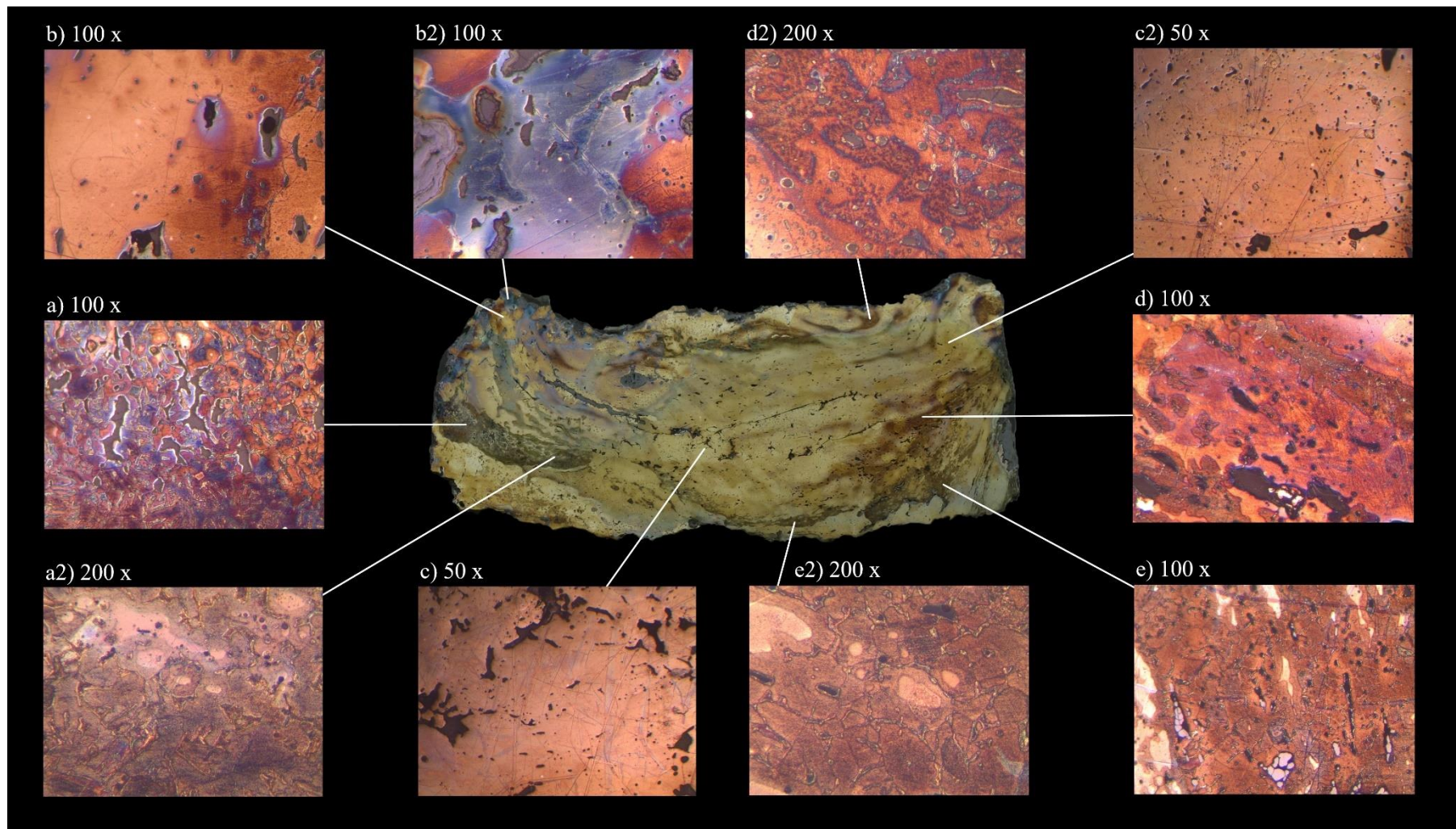


Foto 15. Sepistatud kang nr 81 peale söövitust nitaali ja Klemmi II reagentiga.

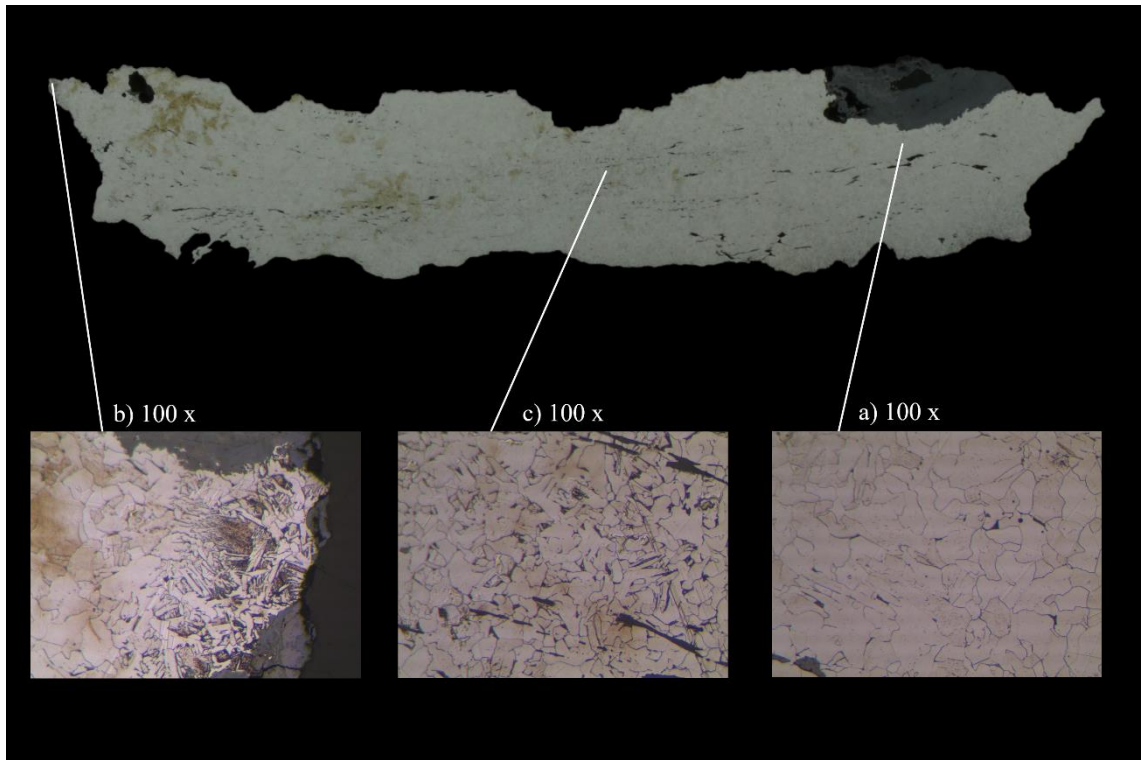


Foto 16. Esemetoorik nr 2.

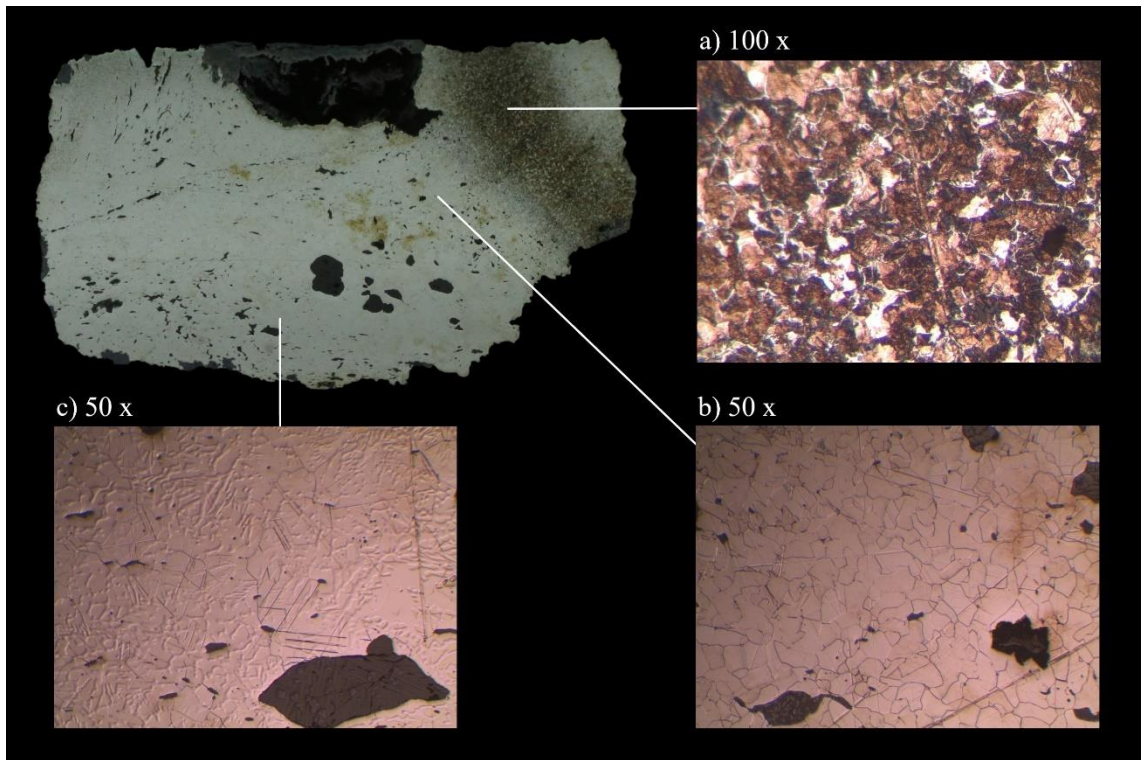


Foto 17. Esemetoorik nr 94. Pildil C on nähtavad kummitusstruktuurid ja kaksikjooned.

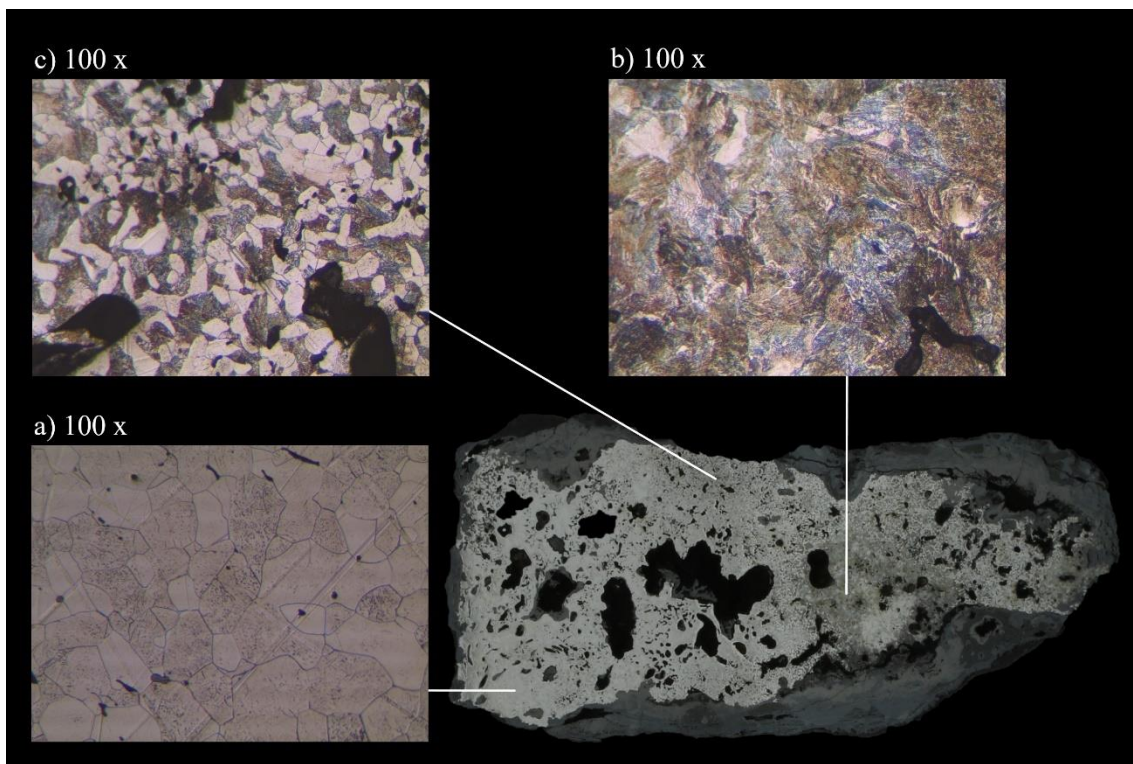


Foto 18. Ebamäärase kujuga rauatükk nr 52.

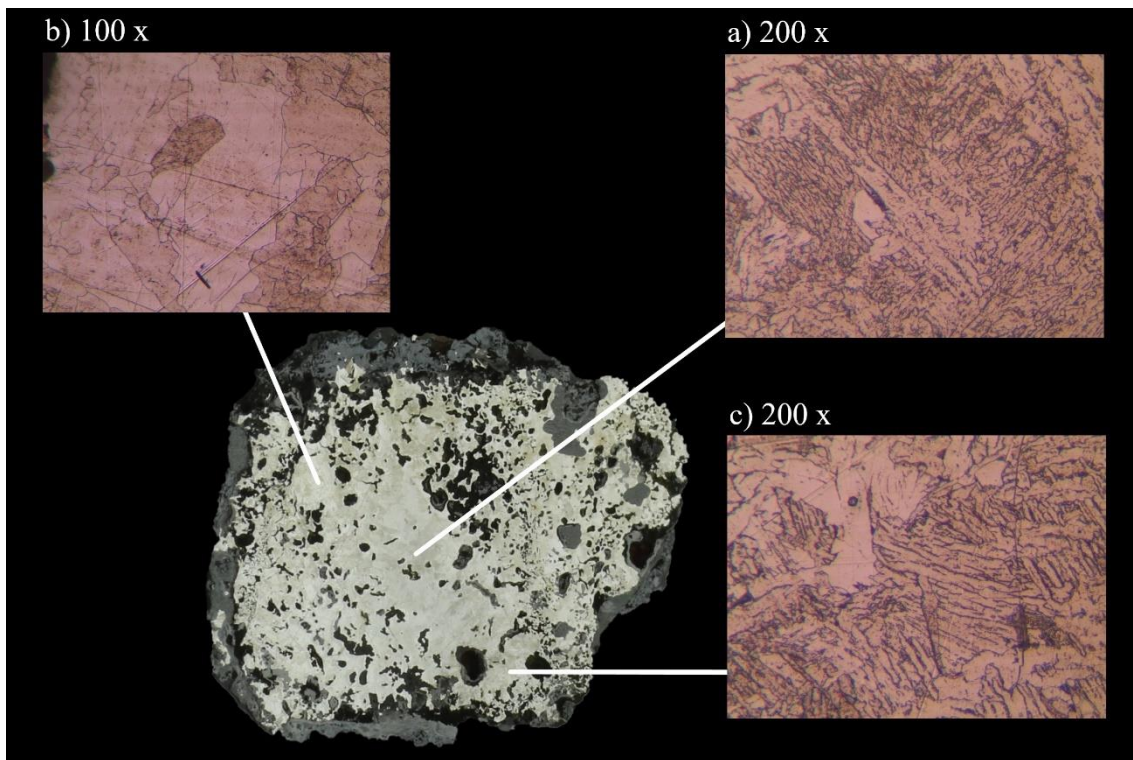


Foto 19. Ebamäärase kujuga rauatükk nr 56.

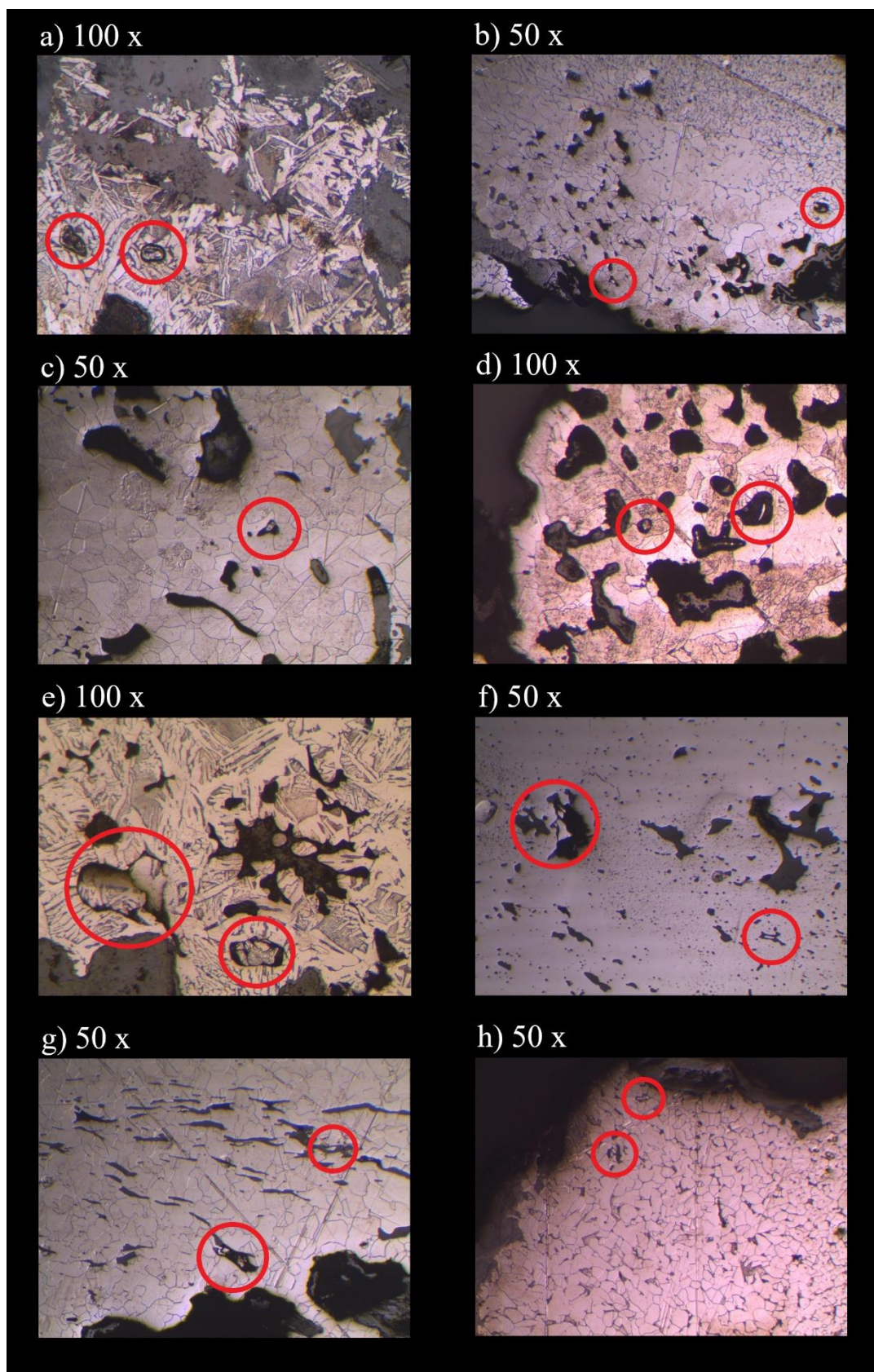
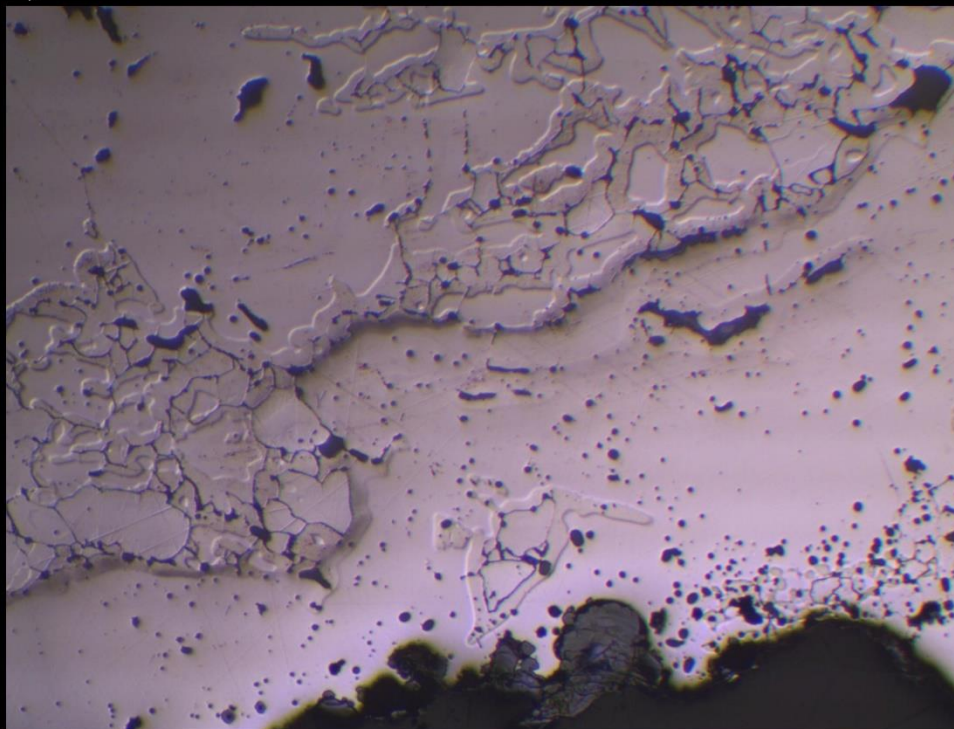


Foto 20. Rauataskud: a) raud nr 3; b) nr 51; c) nr 52; d) nr 56; e) nr 108; f) nr 81; g) nr 2; h) nr 94

a) 50 x



b) 50 x

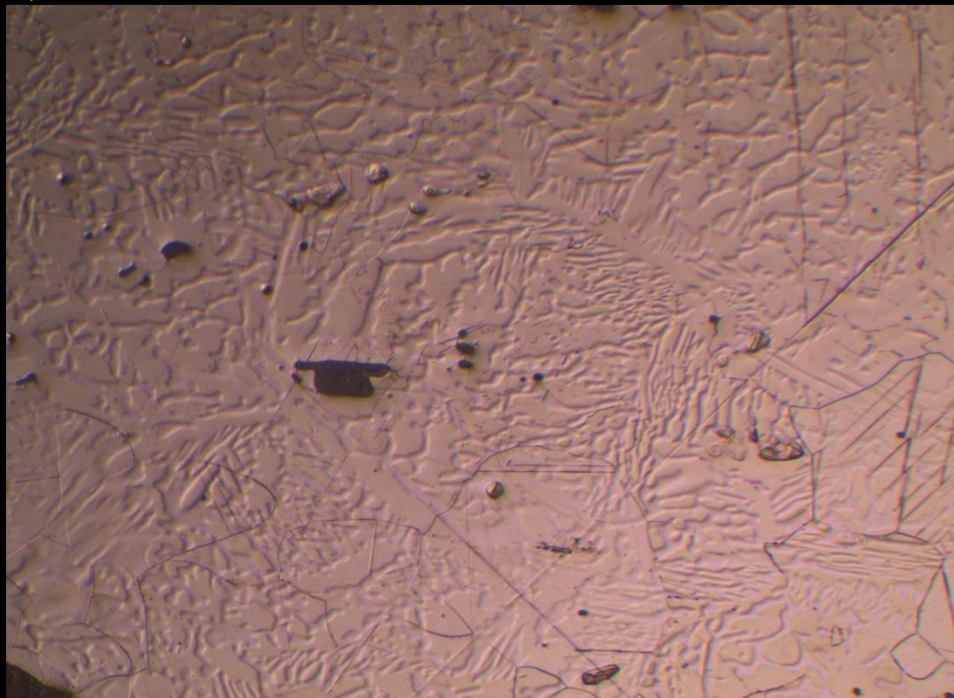


Foto 21. Kummitusstruktuurid: a) raud nr 81; b) raud nr 94.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kristo Oks,

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

Tarvastu ordulinnuse sepikoda,

mille juhendaja on Ragnar Saage,

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'i 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, 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.

Kristo Oks

16.05.2022