

TARTU ÜLIKOOLI VILJANDI KULTUURIAKADEEMIA

Pärandtehnoloogia õppekava
rahvusliku metallitöö eriala

Kaie Konsap

**ROOMA RAUAAEGSETE KÄRBISSÕLGEDE VALMISTAMISE
TEHNOLOOGIA**

Lõputöö

Juhendajad: Egge Edussaar-Harak, MA, metallikunstnik

Eilve Manglus, MA, lektor

Viljandi 2023

Resümee

Lõputöö „**Rooma rauaaegsete kärbissõlgede valmistamise tehnoloogia**“ uurimisobjektiks on Eesti aladelt leitud kärbissõled. Töö eesmärgiks on uurida kärbissõlgede valmistamist kaduva vaha meetodil, sõlgede materjale, tinaga ja hõbedaga katmist. Töös antakse ülevaade Rooma rauaaegsete leidude kontekstist, sel ajal ehete valmistamiseks kasutatud metallidest. Viidi läbi mitmeid eksperimente kärbissõlgede valmimiseks: valmistati erinevaid vahamudeleid, valuvorme, valati vasesulamitest sõlgi, kaeti neid tina ja hõbedaga. Eksperimendid viidi läbi 100-aastasest sepikojas. Võimalusel kasutati kohalikke ja taaskasutatavaid materjale.

Märksõnad: kärbissõlg, Eesti Rooma rauaaeg, ehete valamine, valamistehnoloogiad, vahamudelid, valuvormid, tina ja hõbedaga katmine

Abstract

The object of research in the thesis "**Technology of Manufacturing Iron Age Roman Fibulae**" are cross-ribbed fibulas found in Estonia. The aim of the work is to study the manufacturing of cross-ribbed fibulas by lost-wax casting, to research fibula materials, as well as tin and silver plating of the fibula. The work provides an overview of the Roman Iron Age findings and their context, and of metals used in creation of jewelry in that era. A number of experiments were conducted for manufacturing cross-ribbed fibulas: various wax models and casting molds were made, copper alloy fibulas were cast, which were plated with tin and silver. The experiments were conducted in a 100-year-old forge. Where possible, local materials were used.

Keywords: cross-ribbed fibula, Roman Iron Age, jewelry casting, casting techniques, wax models, casting molds, tin plating, silver plating

Sisukord

Resümee	2
Sisukord.....	3
Sissejuhatus	4
1. Ülevaade Eestist leitud kärbissõlgedest.....	5
2. Rooma rauaaegsete ehete materjalid ja valamise tehnoloogiad	6
3. Kärbissõlgede kandmise võimalusi	8
4. Kärbissõlgede valmistamine.....	10
4.1. Eeltööd.....	10
4.2. Vahamudeli valmistamine	12
4.3. Kipsvormi valamine	13
4.4. Savisegust vormi valamine.....	15
4.5. Savi ja söe segust kinnises vormis valamine Aafrikas kasutataval meetodil	19
4.6. Vaakumvalu.....	23
4.7. Nõel	23
5. Tina ja hõbedaga katmine.....	24
6. Tulemused	26
Kokkuvõte	28
Allikad	29
Lisa 1. Kärbissõle ehitus.....	32
Lisa 2. XRF ehk röntgenfluorestsents-analüüsid.....	32
Lisa 3. Kolmnurkdiagrammi lugemise näide	33

Sissejuhatus

Rooma rauaaeg Eestis (50–450 pKr) on periood, millest on säilinud küllalt palju metallist ehteid ja muid esemeid. Üheks tüüpiliseks ja laialt levinud ehtetüübiks olid kaarsõled. Käesolevas töös keskendun kaarsõlgede hulka kuuluvate kərbissõlgede valmistamise uurimisele eksperimentaalarheoloogia meetoditega. Töö on jätkuks varasemale seminaritööle ning selle eesmärgiks on aru saada, kuidas ligi 2000 aastat tagasi kərbissõlgi võidi valmistada, ning anda praktiline ülevaade võimalikest valmistamisviisidest, kasutatud materjalidest ja kandmisest riiete kinnitusena.

Uurimisküsimused:

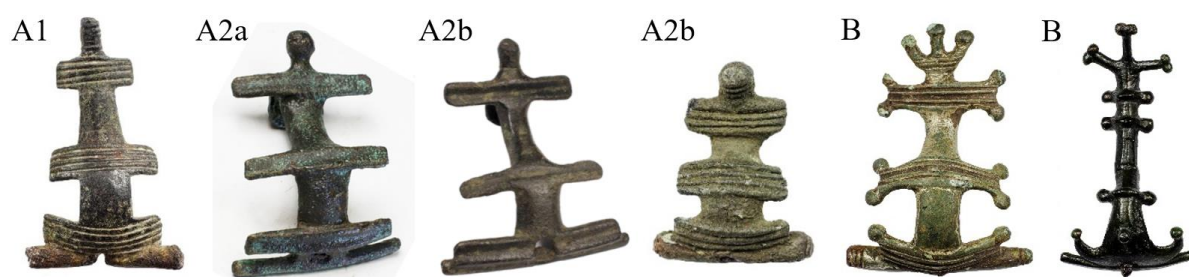
- Kuidas Rooma rauaajal kərbissõlgi valati?
- Milliseid materjale kasutati kərbissõlgede valmistamiseks?
- Milline tulemus on võimalik saavutada lihtsaid vahendeid ja kohalikke materjale (v.a metalli) kasutades?
- Kuidas ja miks kaeti kərbissõlgi tinaga?
- Kas kərbissõlgedelt leitud tina jäägid olid mõeldud hõbedase läike andmiseks või kasutati tina hõbede kinnitamiseks?

Töö esimeses peatükis annan ülevaate Eesti kərbissõlgedest, nende materjalidest ja valmistamise meetoditest. Teises peatükis käsitlen Rooma rauaaegsete ehte materjale ja valamise tehnoloogiaid. Kolmandas peatükis vaatlen kərbissõlgede kandmise võimalusi. Neljandas peatükis kirjeldan läbi viidud eksperimente: valasin vasesulamitest kərbissõlgi kaduva vaha meetodil eri materjalidest vormidesse. Viiendas peatükis kirjeldan sõle katmist tina ja hõbedaga. Eksperimentide läbiviimisel tuginesin eksperimentaalarheoloogide Söderbergi, Meeksi jt tehtud katsetele, Ghanas kasutatavale traditsioonilisele valamismeetodile ning metalli eriala õppejõudude nõuannetele. Eksperimentide tulemused ja järeldused leiab töö viimastest peatükist.

Olen väga tänulik kõigile, kes toetasid või andsid vihjeid vajalike materjalide leidmisel ning praktilisi näpunäiteid katsete läbi viimiseks: ajaloolased Maarja Lillak, Mari-Liis Posti, Ragnar Saage, Ülle Tamla, metalli eriala õppejõud, eriti Väino Niitvägi, raamatukogu juhataja Ene Trallman ja lõputöö juhendajad.

1. Ülevaade Eestist leitud kärbissõlgedest

Eesti Rooma rauaaegsete leidude hulgas (50–450 pKr) on palju erinevaid sõlgi, sealhulgas haaknõela põhimõttel töötavaid kaarsõlgi, mis koosnevad kaarekujulisest sõlekehast ja kinnitusnõelast (Kirme, 1986). Almgren (1897) on loonud Euroopa kaarsõlgede tüpoloogia, mille järgi kärbissõled kuuluvad V grupi esimesse seeriasse. Sellele tuginedes on Schmiedehelm (1923) välja töötanud kohalike sõlge tüpoloogia, mida on hiljem täiendanud Moora (1938) ja Laul (2001). Kärbissõlgi jaotatakse kaheks alagrupiks, A ja B (joonis 1). Neil on leitud kaht tüüpi nõelakinnitust – varasematel (3.–4. saj) on kasutusel teljetoru, hilisematel (4. saj) ristpulk (Moora, 1938). Kärbissõle ehitust vt lisa 1.



Joonis 1. Eestist leitud kärbissõlgede tüübid. A – 1. põhjaeesti ning 2. lõunaeesti ja põhjaläti alagrupp, a. lõunaeesti (kaelaga), b. läti seeria (kaelata), B – alagrupi sõled kolmnurkse pea, kolmeharulise jalg ning nappudega okstega (autori fotod)

Peaaegu kõik Rooma rauaajal Eesti aladel kasutusel olnud ehtetüübid on siia jõudnud Roomast, Rooma provintsidest või nendega piirnevatelt aladelt (Lang, 2007). Eestist leitud kärbissõled pärinevad enamasti 3.–4. sajandist ja on jõudnud siia algselt Masuuria piirkonnast, aga ka lõunapoolsetelt Balti aladelt, Skandinaaviast ning Dnepri veeteed mööda, omandades siin kohalikud vormid (Kirme, 1986; Laul, 2001; Lang, 2020). Kärbissõled on Eestis leitud laialt levinud ja seotud tarandkalme levikualadega (Laul, 2001; Olli, 2019a, 2019b). Arheoloogiliste leidude hulgas võib olla ligi 200 pahk- ja kärbissõlge, kui arvestada nii muuseumites kui ka erakogudes olevaid sõlgi (Konsap, 2022).

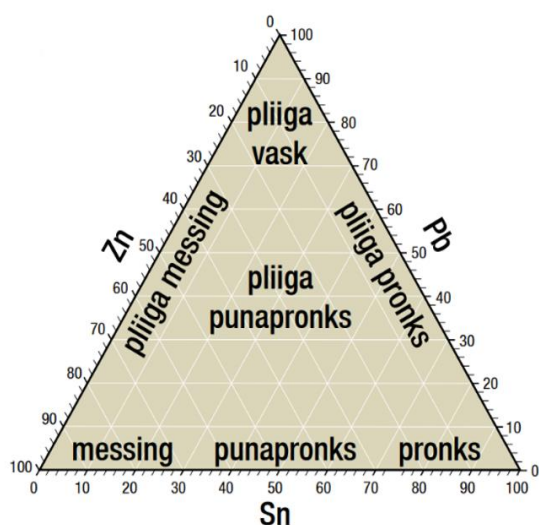
Osad sõled on saanud väiksemaid või suuremaid kahjustusi põletusmatuste käigus, kus põlemisjäänused puistati kivide vahele või maeti kalmekivide vahele pesitsi (Laul, 2001; Olli & Kivirüüt, 2017). Samas võib leida ka põletamata luukilde ja terveid sõlgi. Seega ei ole võimalik kalmetes olevaid esemeid seostada konkreetsete isikute ja kandmisviisidega. Tõenäoliselt elasid inimesed matmispaiga lähedal ning maeti ehetega, mida nad eluajal kandsid. Lisaks sellele võidi lisada rituaalide käigus matuse ajal või matuste vahel leinajatele kuuluvaid esemeid, kuna on leitud ka palju põletamata asju. (Olli & Kivirüüt, 2017; Olli, 2019a).

2. Rooma rauaaegsete ehete materjalid ja valamise tehnoloogiad

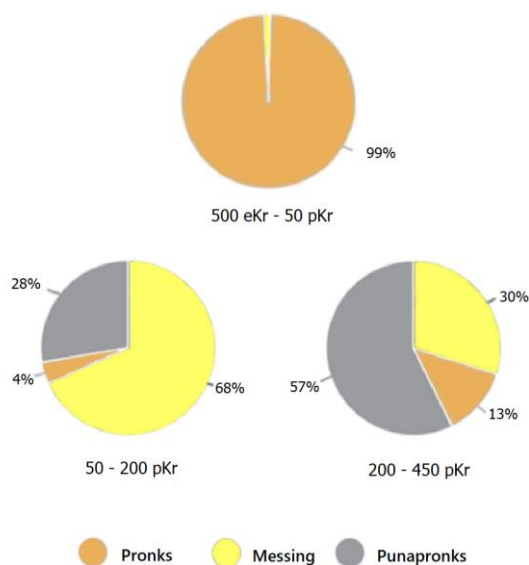
Metallide valamise tehnoloogia kujunes välja juba 4. aastatuhandel eKr tõenäoliselt seoses vase töötlemise arenguga. Umbes tuhat aastat hiljem õpiti vaske legerima. Esialgu kasutati valamiseks avatud vorme. (Untracht, 1985)

Kuna Eestis ja lähiümbruses puuduvad vase sulamite jaoks vajalikud looduslikud metallimaagid, tuli esemete tootmiseks materjal importida esemete või valuplokkidena. Kohalik vasesulamite sulatamine algas juba hilispronksiajal, hilisema eelrooma ja Rooma rauaaja valamise kohta on vähe andmeid: säilinud on vaid mõned valuvormid. (Lang, 2007) Kärbissõled olid mõõtudelt enamasti väikesed – pikkus alla 5 cm (Konsap, 2022). Babenskas jt (2021) põhjendavad vasesulamitest ehete väikest kaalu tooraine nappusega või toormaterjali juurdevoolu häiretega piirkonnas. Nii on märgata, et hilisemasse aega dateeritud kärbissõled on mõõtetelt suuremad.

Arheoloogilised esemed on valmistatud erinevatest vase sulamitest, nagu tinapronks, messing ja punapronks (joonis 2 ja 3). Eelrooma rauaajal oli laialt kasutusel vase ja tina sulam, mida tänapäeval tuntakse pronksina. (Roxburgh, 2022)



Joonis 2. Sulamite sisalduse skeem, mis näitab tina, tsingi ja plii vahekorda vasesulamites %des (Olli & Roxburgh, 2017), lugemist vt lisa 3



Joonis 3. Pronksist, messingist ja punapronksist esemete % eelrooma, varajase ja hilise rooma rauaaja leidudes (Roxburgh, 2022)

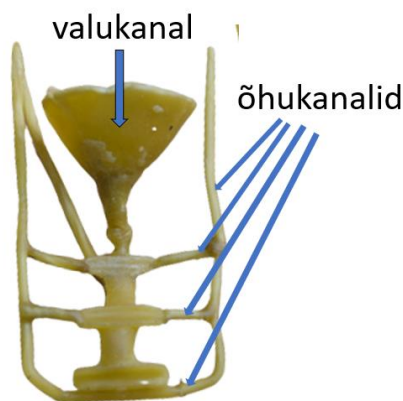
Tinapronksis on tina sisaldus 5–25%, suurem sisaldus muudab materjali liiga hapraks. Valusulamiks kasutatakse pronksi, milles on üle 10% tina. Vase ja tsingi sulamid on messingid ehk valgevased. Tsingi lisamine kuni 30–35% vasele suurendab sulami tugevust,

kõvadust ja plastsust, kuid üle 35% tsingi lisamisel hakkab plastsus kiiresti vähenema. 1–2% plii lisamine parandab messingi töödeldavust. Tsingi lisamine tinapronksile parandab sulami valuomadusi ja korrosioonikindlust. Seda sulamit nimetatakse punapronksiks. Tinapronksile võib lisada väikeses koguses (alla 5%) pliid voolavuse ja töödeldavuse parandamiseks. (Koitmäe-Pihl, 2022)

1. sajandil eKr võtsid roomlased kasutusele tehnoloogia, mis võimaldas messingi massilist tootmist. Messingi tootmine oli esialgu keeruline, sest sulamit tuleb kuumutada hapnikuvaeses keskkonnas, mida on võimalik saavutada vaid kaanega tihendatud tiiglis¹. Igal kuumutamisel tsink veidi aurustub ning iga kord, kui messingit uuesti sulatatakse, väheneb kokkuvõttes metallis tsingi hulk. (Roxburgh, 2022)

Roxburgh (2022) uuris röntgenfluorestsents-spektromeetriga (pXRF) 1246 eelrooma ja Rooma rauaaegset arheoloogilist leidu, mis pärinesid 49 kohast üle Eesti ja Põhja-Läti. Selgus, et nii nagu mujal Rooma aladel Euroopas, toimus ka Läänemere kirdeosas messingi laialdasem kasutuselevõtt 1. sajandi keskel ja üleminek pronksilt messingist valmistatud ehetele ning 2.–3. sajandil hakati messingi asemel kasutama järjest rohkem punapronksi. Uuritud 98 kärbissõlest on 66 punapronksist, 19 messingist ja 13 pronksist. (Roxburgh, 2022)

Rooma rauaajal oli levinud metallesemete valamine kaduva vaha meetodil. Soovitud ese vooliti mesilasvahast. Seejärel kaeti vahast mudel saviseguga nii, et suuremad avad jääks sulametalli vormi valamiseks ja vaha välja sulatamiseks. Peenemad kanalid tuli lisada vormist õhu välja suunamiseks (joonis 4).



Joonis 4. Vahamudel valu- ja õhukanalitega (autori foto)

Vaha on hea seetõttu, et ta ei lase vormi sees savil õhuga kokku puutuda, vähendab savi kokku-tõmbumist ja sisepinna lõhenemist kuivamisel. Nii saab valatud ese üsna lähedane

¹ tulekindel sulatusnõu, kus viiakse läbi katseid, mis vajavad väga kõrget temperatuuri

algsele mudelile. Puudusena saab aga vahast mudelit kasutada vaid ühe korra.

Edasiarendusena kasutati ka vaha kopeerimismeetodit. Selle meetodi korral vooliti vahast üks emamudel, millega vajutati jäljend niiskesse savisse. Savisse tekkinud jäljendisse sai sulavaha valada korduvalt. (Söderberg, 2018; 2012; Kurisoo, 2018)

Savi on valuvormide valmistamiseks kõige vanem materjal. Kõigepealt kaetakse vahavorm õhukese kihi kõige peeneteralisema saviga, jälgides väga täpselt iga vahakuju konarust, kühmu või nõgusust. Siis kaetakse töö paksemalt jämedama struktuuriga saviga. Edasi vorm kuivatatakse aeglaselt õhu käes, et vältida mõranemist. Kuivanud vormidest sulatatakse vaha välja ja savivorm põletatakse. (Untracht, 1985; Meeks *et al.*, 2012; Söderberg, 2018)

10.–11. sajandil Kesk-Euroopas elanud munk Theophilus, Itaalia 16. sajandi kullasepp Cellini jt varased autorid märkisid, et valuvormi valmistamisel lisati savile liiva ja segati umbes 30% hobuse- või lehmasõnnikut. Võidi lisada riideribasid ja savisegul lasti enne kasutamist mõnda aega seista (Hawertone & Smith, 2013; Sias, 2005). Riidekiud ja sõnnik suurendavad õhu käes kuivanud, kuid põletamata savi tugevust. Mädanenud orgaaniline materjal mõjutab savi kokku tõmbumist kuivamisel ja parandab savi läbilaskvust pärast põletamist (Sias, 2005). Vorme on valmistatud ka söepuru ja savi segust, mis on tänapäevalgi kasutusel mitmes Aafrika piirkonnas (Roy, 2011).

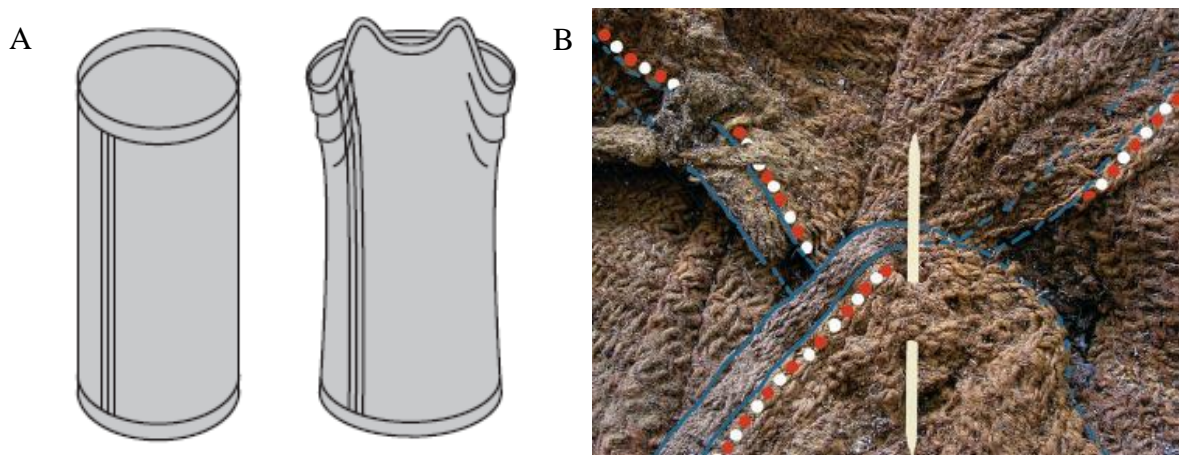
Mitu tuhat aastat on kasutatud pehmetest kividest valmistatud vorme. Selleks sobivad lubjakivi, vilk, steatiit jt (Untracht, 1985). Nendesse sai uuristada vajaliku eseme vormi. Lihtne on valmistada pealt avatud vormi. Kärbissõle valamiseks peaks vorm koosnema vähemalt kolmest osast.

3. Kärbissõlgede kandmise võimalusi

Kärbissõlgede kandmise kohta Eestis on teave üsna napp, kuna Rooma rauaajal olid levinud põletusmatused ja tarandkalmed. Luukillud ja esemed puistati kalmetesse kivide vahele ning neid ei saa seostada konkreetse inimese või kandmisviisiga. Ehete levik näitab aga tihedaid sidemeid nii naaberalade kui ka veidi kaugemate piirkondadega. Sellest võib eeldada, et rõivamood ja ehete kandmise viisid levisid sarnaselt ehete valmistamise ja materjalide levikuga. (Olli, 2019a, 2019b; Banyte-Rowell, 2019)

Banyte-Rowelli (2019) sõnul omandasid baltlaste rõivad 3. sajandil "kosmopoliitsed jooned", mis jõudsid ka läänemeresoomlasteni. Sarnased ehted, kuid veidi erinevate kohalike joontega, levisid kogu Balti regioonis.

Taanis Velje looduskaitsekeskuses avastati 2009.–2010. aastal varajasse rooma rauaaega dateeritud hauad, kus oli säilinud suur osa riietusest (Mannering *et al.*, 2019).



Joonis 5. A – *Peplos*-kleit. B – Kleidi kinnitus õlalt. Joonis ja foto Lise Ræder Knudsen (*ibid*)

Hammerumi tüdruk kandis *peplos*-tüüpi kleiti. Kleidi õlaosas polnud midagi, mis kangaosi koos hoiaks, kuid tekstiilist leitud augujäljed näitasid, kust kangas oli kinnitatud (joonis 5). Sellist torukujulise kleidi kinnitust toetavad Taani Rooma rauaaegsetest leidudest naiste haudadest leitud kaarsõled, mis asetsesid sageli paaris kõrgel õlgadel. Sarnast sõlgede paigutust leiab ka sama perioodi Skandinaavia matustest (*ibid*).

Peplos-kleidi juured ulatuvad Vana-Kreekasse, neid kanti Rooma-aegses Euroopas laialdaselt erinevates vormides (Hendzsel *et al.*, 2008; Rammo, 2022). Rammo kirjutab, et niisugust lihtsat kleiti kanti põhjapoolsetel aladel kõige kauem, Läänemere idakallastel veel 12.–13. sajandil. Sellele viitavad naiste luustike leidude mõlemal õlal asetsevad ehtenõelad, mis sobisid riide kinnitamiseks. Sageli ühendas ehtenõelu kett, kuigi Eestist ei ole leitud ühteigi sel viisil ühendatud kangakatket. (Rammo, 2022)

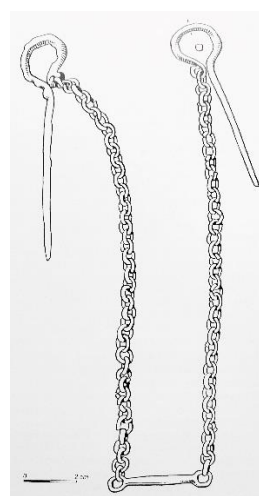
Eestist leitud varasemad kärbissõled on keskmiselt 3–6 cm. Need sobivad hästi just eelnevalt kirjeldatud *peplos*-kleidi kinnitamiseks. Leidude AI 4375:80 ja AI 3781 okste otstes on augud ning AI 1996:161 okste ühe otsa all aasad, kuhu oli tõenäoliselt midagi riputatud (joonis 6). Lätist on leitud esimese kahega sarnane kärbissõlg kettide ja luunulatega (joonis 7). Virunuka kalmest on saadud Läti leiuga sarnase keti ja vahelüliga rinnakee karjusekeppnõeltega AI 4161:780 Rooma rauaaegast (joonis 8). Kuigi enamik kärbissõlgi ei oma omavahelisi ühendusi, võidi neid siiski kanda paaridena.



Joonis 6. AI 4375:80 ja AI 1996:161 (autori fotod)



Joonis 7. Lätist leitud kettidega kärbissõlg
A 14011:20 (foto Maarja Lillak)



Joonis 8. Rinnakee karjusekepp-
nõeltega AI 4161:780 (Laul, 2001)

Milliseid ehteid keegi kandis, saab mõnikord seostada kandja soo, positsiooni või sotsiaalse grupiga. Nii võib leida teatud kaunistustega sõlgi rikkalikumate hauapanustega kalmetest. (Olli, 2018; Banyte-Rowell, 2014)

4. Kärbissõlgede valmistamine

4.1. Eeltööd

Eksperimentide läbi viimiseks korrastasin Otepää kõrgustiku servaalal asuva koduse sepikoja (joonis 9). See polnud kohe kasutatav, tegin mitmeid muudatusi: parandasin lõõtsa, ehitasin ääsidele šamottkividest ahju, töö käigus ühendasin lõõtsa külge tolmuimeja. Olemas olid järgmised vajalikud tarbed: kahed pihid, plekikäär, sepikojas töötamise kaitsevahendid, kivid ahju ladumiseks. Juurde tuli muretseda mitmeid tööriistu ja materjale: kaks tiiglit,

grafiitpulk, 0,01 g täpsusega kaal, infrapuna termomeeter, booraksit, tsinkkloriidi, grillsütt, kambriumi savi, ahjusegu, hõbedat, messingi ja vase jääke, tinanõusid, pliid vanast akust.



Joonis 9. Sepikoda koos vajaliku varustusega (autori foto)

Katsetamiseks valisin TÜ arheoloogiakogust kaks eri tüüpi kärbissõlge. Üks neist on läti tüüpi teljjetoruga kärbissõlg TÜ 2668:6 (joonis 10). Sõlg on valatud vase sulamist, kaal 8,14 g, pikkus 33 mm, teljjetoru laius 23,7 mm, oksad 13 mm, kaunistatud kolme soonega, jalg ümara nupu ja väikese soonega. Sõlg on dateeritud 3.–4. sajandisse (tara.ut.ee).



Joonis 10. Kärbissõlg TÜ 2668:4 pealt, alt ja küljelt (autori fotod)

Teiseks valisin lõunaeesti tüüpi ristpulgaga kärbissõle TÜ 2668:4 (joonis 11). See on valatud vase sulamist, kaal 8,26 g, pikkus 46 mm, ristpulk 26 mm, kolm oksa 16–19 mm,

kaunistatud ühe laia soonega, jalg lõpeb ümara nupuga. Sõlg on dateeritud 4. sajandisse (tara.ut.ee).



Joonis 11. Kärbissõlg TÜ 2668:6 pealt, alt ja küljelt (autori fotod)

Nendest sõlgedest jäljendite võtmiseks kasutasin firma Pebeo kahekomponentset silikoonpastat (modelleerimiskummi). Võtsin paraja hulga mõlemat pastat, segasin ühtlaseks ja panin ettevaatlikult, aga tihedalt sõle ümber, lasin seista vastavalt juhendile. Kuna tegemist on museaalidega, siis lõikasin vormi lahti eriti ettevaatlikult nõelahooidja juurest alustades (joonis 12). Hiljem kasutasin vorme originaalile lähedaste vahamudelite saamiseks.



Joonis 12. Modelleermiskummist vorm (autori foto)

4.2. Vahamudeli valmistamine

Kaduva vaha meetodil valamiseks tuleb esmalt valmistada vahast mudelid. Nende valmistamiseks on erinevaid viise ja materjale. Mudelid võib voolida mesilasvahast või kasutada sünteetilisi vahasid. Aga võib võtta juba valmis esemest jäljendi ja vaha valada selle sisse, mis võimaldab teha mitu samasugust vahamudelit.

Mudelite valmistamiseks kasutasin nii puhast mesilasvaha kui ka sünteetilisi vahasid (näiteks Ferres rohelist vaha). Esimeste vahamudelite valmistamiseks võtsin arheoloogiakogus tehtud silikoonvormid. Sulatasin mesilasvaha või sünteetilist vaha ning valasin vormi. Kuna lõikasin silikooni lahti sõle alt, mitte külgedelt, oli raske täita väikeseid peeneid okste otsi. Samal põhjusel oli mudelite tervelt kätte saamine silikooni seest

raskendatud. Hiljem valisin välja paremini õnnestunud vahast sõled ja tegin väiksemaid parandusi. Kõiki pindu oli vaja siluda, sest originaalesemad olid kaetud ebatasase pudedda kihiga ja vaha pinnad jäid krobelised.

Viis vahamudelit valmistasin mesilasvahast voolides, 10–15 valasin silikoonvormi ja umbes 40 mudelit tegin vahapritsiiga (joonis 13).



Joonis 13. *Joonis 13. Vahamudelite näidised: A – mesilasvahast voolitud, B – kummivormi valatud, C – vahapritsiiga tehtud (autori fotod)*

4.3. Kipsvormi valamine

Esimese valamise katsetuse tegin kipsvormiga. Kõigepealt valmistasin kaks vahamudelit, kinnitasin valukanali nõelakinnituse külge ja õhukanalid iga oksa mõlemasse otsa ning jala külge, kokku seitse tükki (joonis 14).



Joonis 14. *Vahamudelid koos valu- ja õhukanalitega (autori fotod)*

Kipsvormi tegemiseks võtsin väikese silindrikujulise konservikarbi, kuhu mudel sisse mahuks nii, et servadesse jääks vähemalt 1 cm vaba ruumi. Kinnitasin mudeli õigele kõrgusele, segasin valamiseks mõeldud kipsist hapukoore paksuse segu ja valasin ettevaatlikult vormi (joonis 15).



Joonis 15. Vahamudeli paigutamine purki ja kipsist vormid (autori fotod)

Järgmisel päeval valasin messingist sõled Viljandi kultuuriakadeemia sepikojas Mart Reino juhendamisel. Kõigepealt panime kipsvormid sütele tagurpidi, et vaha vormist välja sulaks. Vaha peaks olema välja põlenud, kui vorm seest roosakalt hõõguma hakkab. Oluline oli vahamudelid enne kipsiga katmist ära kaaluda, et saaks arvutada vajaliku metallikoguse. Minu kaks mudelit koos kanalitega kaalusid kokku 8 g. Kuna vase tihedus on umbes 10 korda suurem, tuli saadud vaha kaal korrutada 10-ga ja ümardada ülespoole, et metalli kindlasti jätkuks. Tükeldasin tiiglisse 100 g messingi jääke, mis läksid tiigliga ääsile süte sisse sulama. Sulanud metallile lisasin booraksit, valasin messingi eelkuumutatud vormi (joonis 16). Vormi peale panin niiske savipalli, et tekitada lisaks aururõhku, mis suruks metalli igale poole. Veel kuuma vormi tardunud metalliga panin vette ja puhastasin eseme kipsist.



Joonis 16. Vaha vormist põletamine, sulametalliga tiigel, valamine (fotod Reelika Ilves)

Metallivalu ei õnnestunud. Võimalikud vead (joonis 17): A. Õhukanaleid oli saanud liiga palju, esimesest vormist voolas metall kiiresti läbi, jõudis õhukanaleid mööda vormi pinnale, aga ei täitnud vormi korralikult. B. Õhukanalid ei olnud piisavalt hästi okste külge sulatatud, need olid kipsi valamisel lahti tulnud ja metall ei voolanud okste otsteni. Edaspidi jälgisin soovitusi, et vahamudeli õhukanalid peavad olema siledad, ühendused kindlad ja sujuvate üleminekutega (McCreight, 1994).



Joonis 17. A – esimene valatud sõlg, B – teine valatud sõlg (autori fotod)

Muutsin õhukanalite paigutust. Panin need küll iga oksa ja ristpulga otstesse, aga ühendasin omavahel ja pinnale tõin mõlemast küljest vaid ühe (vt joonis 4 lk 7). See andis paremaid tulemusi.

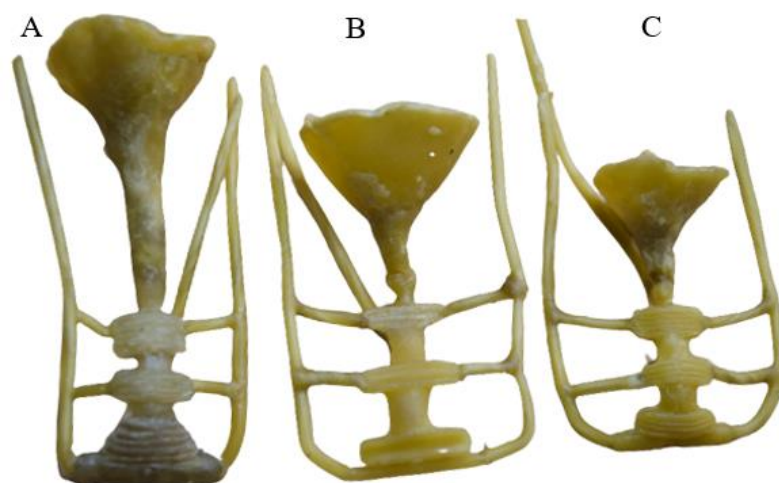
4.4. Savisegust vormi valamine

Teise eksperimendina valmistasin vormid savi-liiva-orgaanika segust. Tegin kaks erinevat segu. Ühe segasin savist, liivast, põdra-, teise hobusesõnnikust mahu vahekorras 1:1:1. Mõlemale lisasin peoga hundinuia tõlviku ebemeid. Viimased takistavad vormi mõranemist. Kõik need materjalid kogusin kodu ümbrusest Otepää kõrgustiku servaalalt, kus Maa-ameti kaartide järgi on vaheldusrikas maastik liiva, saviliiva ja liivsaviga. Talu maadelt kaevasin savi ja liiva ning korjasin põdra pabulaid. Hobusesõnnikut pidin otsima mõne kilomeetri kauguselt. Segasin ained ja vee, et saaks voolimiseks sobiva materjali (joonis 18).



Joonis 18. Vormi segud põdra ja hobuse sõnnikuga (autori fotod)

Valamiseks valmistasin kolm vahamudelit, ühe voolisin mesilasvahast, kaks tegin varem kirjeldatud arheoloogiliste leidude järgi (joonis 19). Mudelitele kinnitasin valu- ja õhukanalid.



Joonis 19. Mesilasvahast kärbissõlgede mudelid valu- ja õhukanalitega: A – voolitud mudel, B - TÜ 2668:6, C - TÜ 2668:4 (autori foto)

Katsin vahast mudeli ettevaatlikult esimese kihi saviga ja jätsin selle ööpäevaks umbes 10–15°C siseruumi kuivama. Aeglane kuivatamine on oluline, et vormi sisse ei tekiks mõrasid (Meeks *et al.*, 2001). Kahe sõle katmiseks kasutasin põdrasõnnikuga segu, ühel korral hobusesõnnikuga. Järgmiseks päevaks ei olnud vormid piisavalt kuivanud, ka kolmandal päeval mitte, siis tõin need tuppa 20°C juurde. Lõpuks kuivanud vorme niisutasin ja katsin järgmise segu kihiga. Lisasin tahkeid komponente, et segu oleks pisut tihkem. Kahe päeva pärast kandsin peale kolmanda hobusesõnnikut sisaldava kihi.

Meeks ja Söderberg soovitavad kuumutada vorme algul kaks tundi madalamal temperatuuril ja siis mitu tundi kõrgemal temperatuuril, et kogu niiskus kindlasti välja saada. Savis sisalduv keemiliselt seotud vesi eraldub temperatuuril 400–500°C. Kuumutamise käigus on väga oluline välja põletada kogu vaha ja vältida tahma sattumist vormi, mis vähendab lõpptulemuse kvaliteeti. (Meeks *et al.*, 2001)

Mina põletasin kuivanud vormid Toomas Mägi (2021, õppematerjal) soovitude järgi. Asetasin vormid ääsile hõõgivate süte sisse nii, et vaha saaks vormist välja voolata ja vorm põletatud (joonis 20). Katsin vormid üleni sütega ja jätsin ääsile järgmise päevani.



Joonis 20. Vormide põletamine (autori foto)

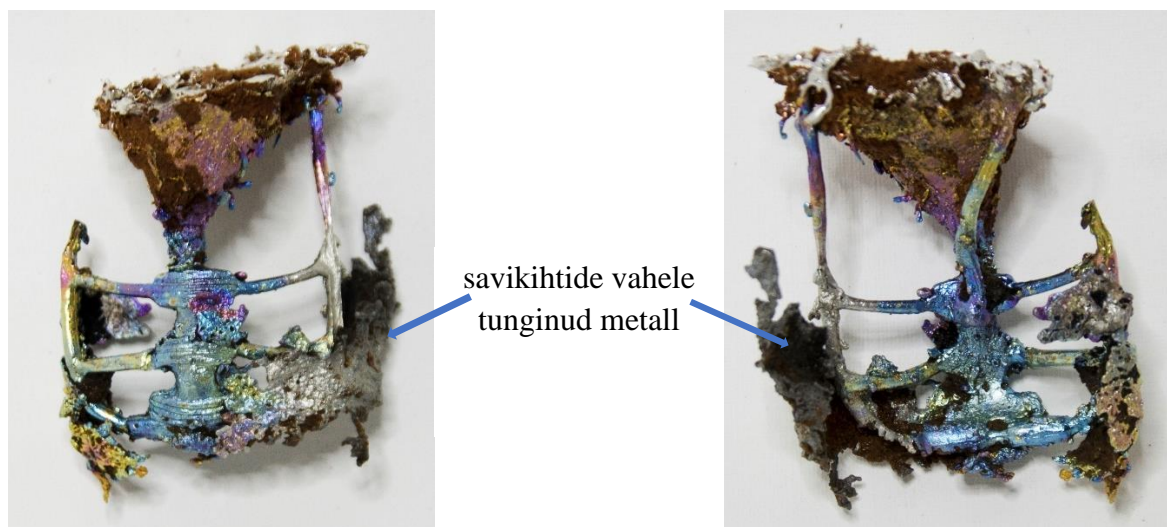


Joonis 21. Põletatud vormid (autori foto)

Hiljem selgus, et vormid olid peale põletamist suhteliselt haprad, pealmisest kihist hakkas materjali pudenema (joonis 20). Edaspidi lisasin segule kambriumi sinisavi, orgaanika osa langes umbes veerandile mahust.

Valamiseks valmistasin ette metalli. Arvutasin vajaliku koguse (vt lk 14). Esimesel korral sulatasin umbes 30 grammi messingi jääke, koostisega 63% vaske, 37% tsinki. Panin ääsile tehtud šamottkividest ahju puusöed põlema. Kui söed juba hõõgusid, tegin tiigli jaoks pesa. Tiiglile panin peale kivi, et takistada tsingi lendumist. Vajaliku temperatuuri saavutamine võttis aega poolteist tundi, sest lõõtsaga õhu juurde pumpamine oli suur töö. Sulanud metalli valasin ühte eelkuumutatud vanasse vormi.

Järgmine messingi sulatamine ebaõnnestus, sest ma ei saavutanud piisavalt kõrget temperatuuri (910–950°). Põhjus võis olla jahedas ilmas. Tahtsin väga teada, kas minu valmistatud savivormid on kasutatavad. Selleks sulatasin tina ja valasin vormi.



Joonis 22. Tinast valatud kärbissõlg koos kanalitega eest ja tagant (autori fotod)

Valatud tina tungis igale poole ja näitas ära suuremad vead (joonis 22). Selgus, et vorm on kasutatav, aga metall oli valgunud savikihtide vahele. Need ei olnud hästi haakunud, olid lahti kuivanud või lahti põlenud.

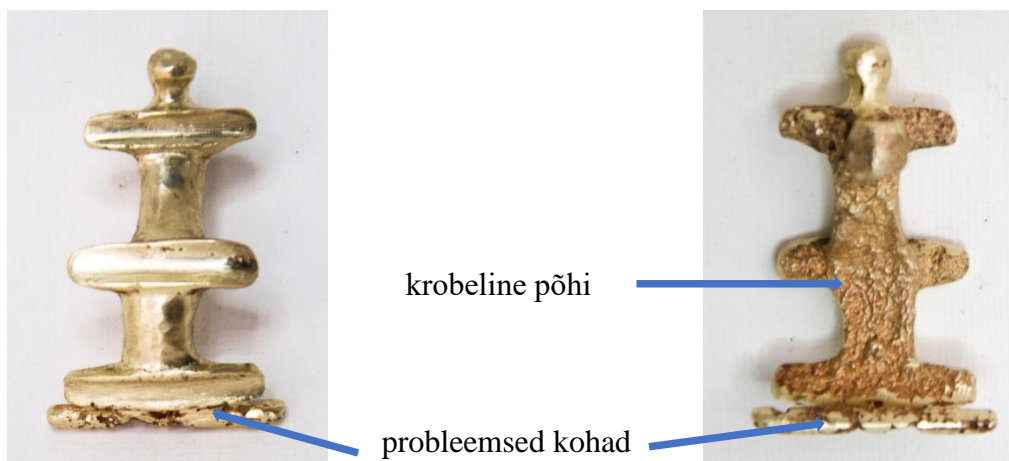
Järgmisel korral sulatasin 90 g punapronksi ($\text{Cu}_{70}\text{Zn}_{16}\text{Sn}_{12}\text{Pb}_1$), milles oli 43% messingi (CuZn_{37}), 43% vase, 12% tina ja 1–2% plii tükke. Esialgu panin sulama messingi ja vase. Katsin ahju ka pealt kividega, et vajalik temperatuur saavutada. Vormid panin ahjule eelsoojenema. Metall sulama saamisega oli jälle probleeme: tiigel hõõgus, aga pooleteist tunniga metall ei sulanud. Kuna tiigel oli sügaval süte vahel ja kaetud šamottkivi tükiga, et tsink ei aurustuks, ei saanud pidevalt sulami seisundit kontrollida. Umbes tunni aja pärast selgus, et metall oli sulanud, aga juba tardunud. Lisasin sütt ja kuumutasin edasi. Kui metall oli lõpuks sulanud olekus, lisasin tina ja plii ning pisut booraksit. Tõstsin tiigli ettevaatlikult pihvidega süte seest ja püüdsin metalli eelsoojendatud vormidesse valada. Need asetasin võimalikult lähedale, et sulametall ei hanguks enne vormi jõudmist. Esimesse vormi valamine läks hästi. Teisest vormist valasin osa metalli mööda. Arvasin, et vorm ei täitunud metalliga ja kallasin lagunevasse vormi ka tina. Lasin vormidel õues liiva sees jahtuda umbes 10–15 minutit enne lõhkumist (joonis 23). Selgus, et midagi tuli välja, aga tulemus ei olnud kvaliteetne (joonis 24). Näha oli valudefekte, savi oli seal, kus oleks pidanud olema metall. Sellest jäid sõle pinnale augud.



Joonis 23. Jahtuvad vormid (autori fotod)

Joonis 24. Valamise tulemused (autori fotod)

Ühte valatud sõlgedest viimistlesin. Eestist leitud kärbissõlgedel on viimistletud vaid pealmine külg. Kasutasin sama viimistlusviisi, aga kasutasin kaasaegseid vahendeid. Liigne metall oli võimalik maha lihvida, aga ei saanud parandada pulgal olevaid augukeksi (joonis 25).



Joonis 25. Lihvitud punapronksist kärbissõlg eest ja tagant (autori fotod)

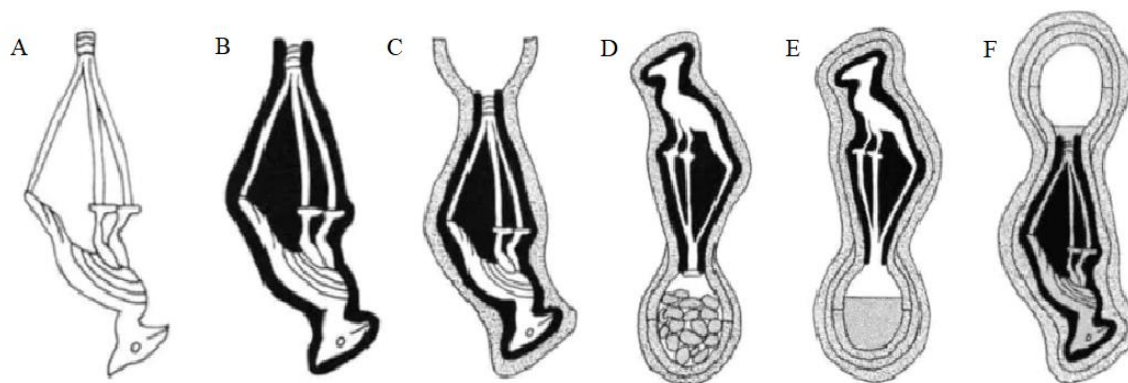
Teisel valamise katsel ebaõnnestus tulemus valesi valitud sulami koostise tõttu. Soovisin valada punapronksi Cu50Zn30Sn20 . Vormi lõhkudes selgus, et saadud materjal oli kena hõbedast tooni, aga liiga habras (joonis 26). Sõlge ei olnud võimalik tervelt kätte saada.



Joonis 26. Liiga haprast materjalist valatud sõled (autori fotod)

4.5. Savi ja söe segust kinnises vormis valamine Aafrikas kasutataval meetodil

Ühe eksperimendi eeskujuks valisin Ghanas ashantede poolt kasutatava valamise tehnoloogia (joonis 27). Alumiste kihtide jaoks kasutasin savi ja söe segu, pealmiste jaoks savi-liiva-orgaanika segu. Sõe-savi seguks riivisin ja sõelusin grillsütt ning lisasin sellele vahekorras 1:1 jahvatatud kambriumi sinisavi, mida on võimalik osta ehituspoest. Segasin kuivad komponendid, siis lisasin vett nii palju, et tekiks hapukoore paksune segu. (Roy, 2011)



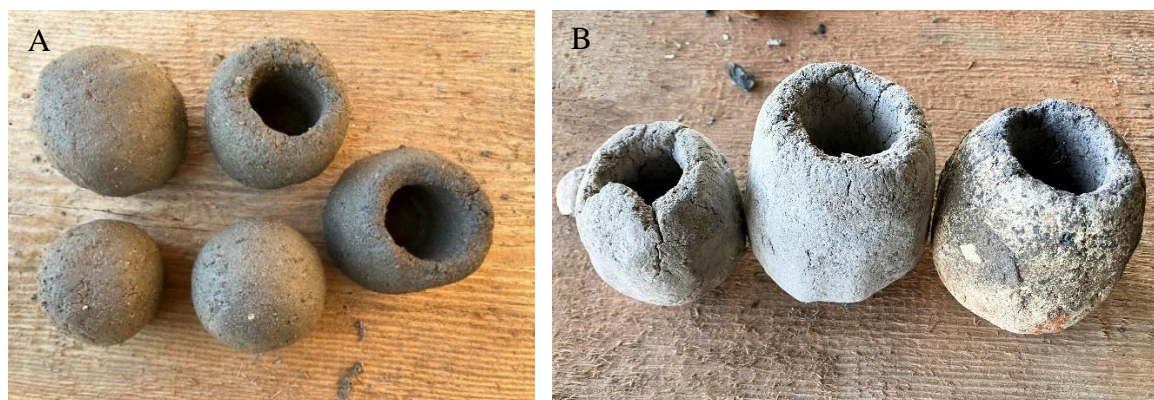
Joonis 27. Ashante kinnises vormis valamise etapid. A – vahamudel; B – vahamudel on kaetud savisõe seguga; C – kaetud saviseguga; D – vaha välja sulatatud, alumisse ossa lisatud metall ja saviga suletud; E – vorm kuumutamisel, alumises osas metall sulanud; F – vorm pööratud, sulametall valgunud vormi (Werger, 2022)

Valmistasin vahamudelid ja kinnitasin vajalikud kanalid. Vahast mudeli teljetoru sisse panin rauast pulga, mille eelnevalt hõõrusin kokku grafiidiga. Katsin vahast mudeli 3 kihi savi ja sõe seguga, iga kihi lasin kuivada enne järgmise kihi lisamist (joonis 28). See võttis aega kaks päeva, kuigi hoidsin vorme kuivas soojas kohas. Viimaseks paksemaks kihiks panin savi-liiva-sõnniku segu, andsin vormile kuju. Lasin vormidel rahulikult kuivada ja põletasin puusõe sees vaha välja, nagu kirjeldasin punktis 4.3 leheküljel 16.



Joonis 28. Vormi valmistamine: A – vahamudel, B – sõe-savi seguga, C – savi-liiva orgaanika seguga, D – põletatud vormid (autori fotod)

Kinnise vormi ehitamiseks tegin metalli paigutamiseks eraldi ümara tiigli, mille valmistamisel võtsin arvesse Theophiliuse soovitus segada pehmet savi juba põletatud savi puruga, tampida sitkeks seguks, vormida puidust toki ümber tiigel, katta kuiva tuhaga ning panna see tule lähedale kuivama (Hawthorne & Smith, 2013). Segasin šamottkivi puru poest ostetud koldeseguga +1700°C, vormisin ümarad tiiglid, põletasin suitsusauna ahjus sauna kütmise ajal (joonis 29). Üks tiiglistest mõranes kuumas ja hiljem läks katki.



Joonis 29. Vormitud tiigid: A – enne ja B – pärast põletamist (autori fotod)

Ühe sõle soovisin valada tinapronksist. Selleks täitsin tiigli 39 g vase, 10 g tina ja 1g pliiga. Teise sõle jaoks panin tiiglisse punapronksi materjali: 20 g messingit, 15 g vaske, 3 g tina ja 0,8 g pliidi. Edasi ühendasin metallitükkidega tiigli savisegust vormi külge nii, et tiigel metalliga jääks esialgu allapoole (joonis 30). Katsin ettevaatlikult vormid savi-liiva orgaanika seguga, pirnukujulisteks, märkisin peale suuna ja panin vormid kuivama. Kuna vorme oli alguses keeruline koos hoida, siis võinuks need enne saviga katmist traadiga kokku tõmmata.



Joonis 30. Kinnise vormi valmistamine (autori foto). **Joonis 31.** Vormid põletamise ootel (autori foto).

Kuivanud vormid asetasin ääsil tiigel metalliga allpool, ümbritsesin ja katsin sütega (joonis 31). Kui söed juba korralikult hõõgusid, katsin ahju kividega ka pealt. Kuna selle meetodi puhul ei olnud võimalik kindlaks teha, millal metall sulama hakkab, siis jälgisin süte ja vormi värvi. Vahepeal lisasin ülevalt sütt juurde. Ghanas kuumutati vorme tunde, võeti hõõguvad vormid sütel, veeretati maad mööda ning siis laoti liiva sisse üksteise kõrvale nii, et metalli sisaldav osa jäi ülesse (Roy 2011). Nii sai sulametall gravitatsiooni mõjul vormi voolata. Kuna mina ei olnud päris kindel, kui hästi on metall sulanud, pöörasin vormid ääsil ümber, katsin uuesti sütega ja kuumutasin veel vähemalt tunni, kuni kuumus hakkas langema

ja vormid üleni enam ei hõõgunud. Tõstsin vormid liivale, lasin veel umbes tunni jahtuda, enne, kui need hakkasin lõhkuma.



Joonis 32. Vormi lõhkumisel eraldusid tükid kihtide kaupa (autori fotod)

Vormi lõhkumisel eraldus vormi materjal kihtide kaupa (joonis 32). Selgus, et vormi sees olid lõhed, mille kaudu näiteks tinapronks oli suuremas osas (39,9 g) valgunud savi-sõe ja järgmise kihi vahele ja sõlest oli olemas ainult pea-pulk (1,4 g). Väike osa (6,3 g) metalli oli jäänud tiigli põhja sulamata (joonis 33).



Joonis 33. Tinapronksist valatu (autori foto)

Joonis 34. Punapronksist A – avamine, B – tulemus (autori fotod)

Punapronksi sisaldav vorm oli mõõtudelt natuke väiksem. Vormi lõhkumisel oli näha, et sõe-savi segust hakkab kərbissõlg paistma, aga tegelikult ka see sõlg õnnestunud (joonis 34). Metall ei olnud täitnud kogu vormi, sõlg kaalus vaid 8 g. Kummaline oli see, et vormi olin pannud 39 g metalli, kadunud osa ei leidnudki.

Väga huvitav meetod, aga vajab palju rohkem katsetamist ja kogemusi. Probleemiks olid lõhed vormi sees. Tundub, et kõrvalekaldumine ghanalaste tehnoloogiast ning vormide liigne kuumutamine ei tulnud kasuks.

4.6. Vaakumvalu

Kuna valamised ei õnnestunud nii hästi, kui ma oleksin soovinud, siis otsustasin valada ühe osa kərbissõlgedest vaakumvalu kasutades. Vahapritsi abil saadud vahast sõlgedest valmistasin kaks vahapuud, kokku 22 sõlge. Vahapuud asetasin spetsiaalsesse anumasse, valmistasin vastavalt juhendile kipsisegu, valasin ettevaatlikult vahapuule (joonis 35). Vaha kaalu järgi arvutasin välja, et valamiseks on vaja 270 g messingit ja 160 g hõbedat. Arvutamist vt lk 14. Sellega minu osa lõppes, edasi tegid tööd masinad.



Joonis 35. Kipsvormid (autori foto)



Joonis 36. Messingist ja hõbedast valupuud (autori fotod)



Vaakumvalu tulemused olid küllalt head, ainult üks sõlg oli puu küljest lahti tulnud. Kõik väiksemad probleemid olid seotud pigem vahamudelite kvaliteediga (joonis 36).

4.7. Nõel

Eestis kasutusel olnud kərbissõlgede nõelakinnitusi võib liigitada kaheks, nõel oli kas teljetoru või ristpulga küljes. Nõelad olid valmistatud rauast, mis on väga halvasti säilinud. Varasematel kərbissõlgedel domineerisid teljetorudega kinnitused, hilisemad on ristpulgaga. Teljetoru puhul oli nõel läbi torgatud toru keskosast. On üksikud säilinud nõelad (joonis 37). Nende põhjal on keeruline kindlaks teha, kas nõelad olid pinge all või volditi sõle vahele nii palju kangast, et see hoidis nõela tugevalt nõelahoidjas.

Raua kasutamist nõelaks võib põhjendada selle materjali vastupidavuse ja jäikusega. Sõlgede kandmine igapäevaselt nõudis tugevust. Vasest, vase sulamist, hõbedast nõelad kipuvad olema liiga pehmed.



Joonis 37. Nõelte näited: A – teljetoruga ja B – ristpulgaga kärbissõlel (autori fotod)

Sepistasin mõned nõelad. Materjaliks kasutasin olemasolevaid peeneid rauast esemeid: laastunaelu, sukavardaid, armatuuri sidumistraati. Viimane neist ei sobinud. Kõige paremaks materjaliks osutus vana sukavarras, mida sai kuumalt painutada, hiljem säilis paras painduvus ja pinge.



Joonis 38. Sepistatud nõelad (autori fotod)

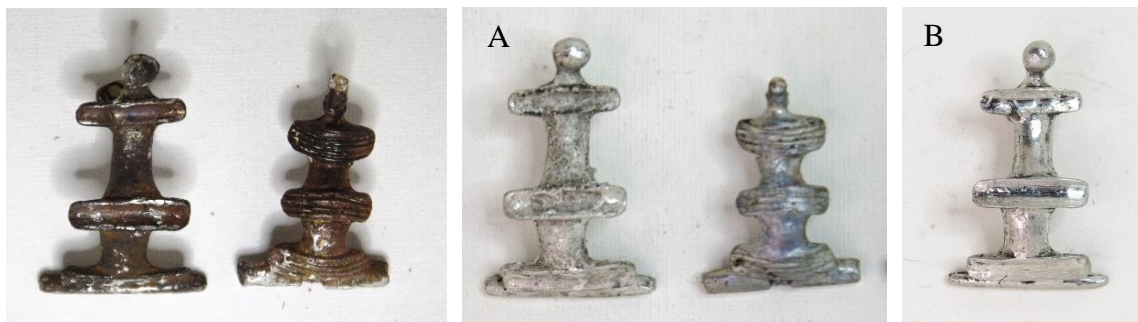
5. Tina ja hõbedaga katmine

Rooma rauaaegsetelt kärbissõlgedel võib mõnikord näha pinnal heledaid laiike – tina jääke. Tinaga katmiseks tellisin mõned toorikud, mis valati messingist (joonis 39).



Joonis 39. Messingist kärbissõlgede toorikud (autori foto)

Esimesel korral puhastasin kərbissõle, ajasin tina kuumaks ja kastsin sõle tina sisse. Sõlg tumenes, aga tina külge ei hakanud. Toomas Mägi (telefoniintervjuu, 15. aprill 2023) soovitas hoida eset ööpäev akuhappes. Hoidsin, aga isegi tinas kuumutades jäi messingi külge vaid mõni piisk tina (joonis 40). Tekkis mõte, et põhjus võib olla messingis.



Joonis 40. Tinapiiskadega sõled
(autori foto)

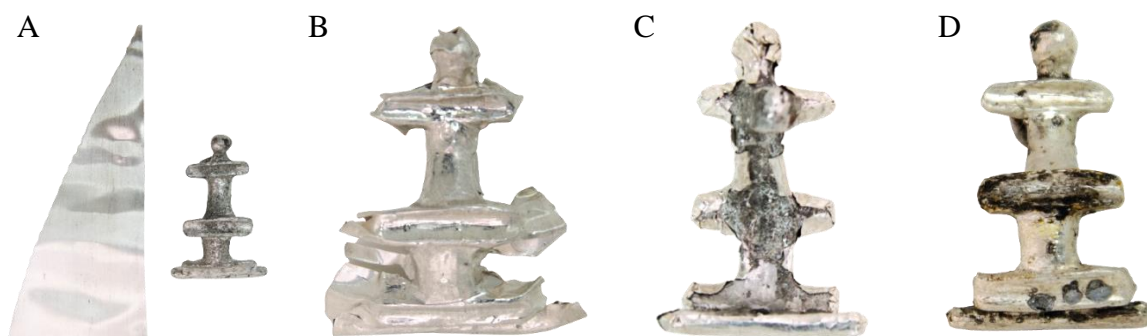
Joonis 41. A – tinaga kaetud, B – poleeritud sõlg (autori fotod)

Vesteldes Väino Niitvägiga (intervjuu, 24. aprill 2023) selgus, et tema on messingit edukalt tinaga katnud. Protsessi õnnestumiseks tuleb messing korralikult puhastada, pisut soojendada, pintseldada korralikult üle tsinkkloriidiga, et messing ei oksüdeeruks. Seejärel kasta sulatina sisse. Siis liigne tina kuumalt maha koputada. Kõikidele kohtadele, mis olid oksüdeerumise eest kaitstud, jäi tina külge. Esialgse ebaõnnestumise põhjuseks oli messingi kiire oksüdeerumine. Tinaga kaetud sõled said väga kena hõbedase läike, kui neid metallpulgaga poleerisin (joonis 41). Hiljem lugesin, et tegelikult tuleb vasesulamist ese esmalt soojendada, katta kampoliga ja seejärel kuumutada natuke üle tina sulamistemperatuuri. Seejärel kastetakse ese korraks sulatina vanni, lastakse liigne tina ära valguda. Legeerimata tina kiht tagab sileda, peegeldava ja hõbedase pinna. (Selwyn, 2004)

Edasi plaanisin sõle katta hõbefooliumiga, mida on nimetatud ka plateerimiseks. Valtsisin 999 prooviga hõbeda 0,1 mm paksuseks. Asetasin hõbefooliumi liivapadjale ja surusin eelnevalt tinaga kaetud sõle vastu plekki, et sõle kontuuri jääksid näha. Siis lõikasin pleki väiksemaks ja hõõrusin poleerpulgaga võimalikult tihedalt materjalid üksteise vastu, servad pöörasin sõle alla. Siis poleerisin tinutuskolviga pinda 200°C juures, edasi 300°C juures.

Lootsin tina nii palju sulatada, et hõbeplekk sellele kinnituks, aga servad ei tahtnud igalt poolt korralikult kinni jääda. Ostustasin proovida gaasipõletiga kuumust juurde anda, aga see ei olnud hea mõte, sest kõrgema temperatuuri mõjul moodustab hõbe tina ühendi ja õhukesse hõbedasse võivad tekkida augud (Selwyn, 2004). Just nii juhtuski, joonise 42

parempoolsel pildil on selgelt näha kolm hõbedast läbi tunginud tina laiku, mida enne kuumutamist ei olnud.



Joonis 42. Hõbedaga katmise etapid: A – hõbe ja tinatatud sõlg, B – hõbepleki sobitamine, C – sõlg alt, hõbepleki, D – tinadefektidega sõlg (autori fotod)

Plii-tina sulam lahustab hõbedat üllatava kiirusega, hõbedasse võib tekkida soovimatu auk. Tina moodustab hõbedaga eutektilise sulami, liigne selliste ühendite moodustumine võib muuta pinna karedaks ja rabedaks. (Selwyn, 2004; Märss, e-kiri 5. mai 2023).

Kärbissõlgede TÜ 2668:4 ja TÜ 2668:6 röntgenflurestsents-spektromeetri (XRF) analüüsid näitasid väga kõrget pliiisisaldust, 25–30% (vt lisa 2). Tavaliselt lisati pliid sulamisse kuni 5% voolavuse parandamiseks. Kuna XRF analüüsib vaid eseme kõige pindmist kihti, siis võib järeldada, et need kaks sõlge olid kaetud plii või plii-tina seguga. Seda võidi teha esemele hõbedase läike andmiseks, aga on võimalus, et selle sulamiga võidi sõlgedele kinnitada õhuke hõbeplekk, mis aja jooksul on ainete omavahelise toime tõttu hävinud. Nii on näiteks 12.–13. sajani Pudivere leiu keekandja Al 4194:3 parandusneedi alt üllatuslikult leitud hõbeda jääke, mida ülejäänud esemel enam ei olnud (Rummo & Tamla, 2022). Kui sellise vanusega esemelt on hõbedane kate hävinud, siis 800 aastat vanematel esemetel on see veel tõenäolisem. Metallirestauraator Jaan Märss (2023, e-kiri 5. mai 2023) kinnitab, et põletusmatuse korral võib tina hõbedat täiesti hävitada.

6. Tulemused

Kärbissõlgede valmistamise eksperimentide käigus omandasin väärtuslikke kogemusi ja praktilisi oskusi erinevate valamise võimaluste ja materjalidega töötamise kohta.

Kokkuvõtte kogemustest:

Vahamudelid: Vaha valik sõltub sellest, kuidas vahamudelit valmistada. Oluline on vaha pinna väga hea viimistlemine. Vaha on lihtsam töödelda, kui hiljem metallil vigu

parandada. Mesilasvaha on hea voolimiseks, vahapritsis kasutatava materjali hilisem viimistlemine ei anna väga häid tulemusi.

Valuvormid: Valmistasin 12 eri materjalist vormi. Eestis leiduvad liiv ja savi sobivad vormide valmistamiseks, väga hea puhas materjal on kambriumi sinisavi. Vorm tuleb teha mitmekihiline, aga tuleb vältida savi kiiret kuivatamist ja põletamist. Savisegust vormi tegemisele kulus keskmiselt viis päeva.

Vasesulamid: Kõik vasesulamid (tinapronks, messing ja punapronks) annavad kena tulemuse. Oluline on vase, tsingi ja tina õige vahekord. Vaske võiks olla umbes 80%, liigne tsingi ja tina muutsid tulemuse rabadaks.

Valamine: Tuleb saavutada metalli sulamistemperatuurist pisut kõrgem temperatuur, lisada madala sulamistemperatuuriga komponendid ja sulam vormi valada. Abiks on täpsed mõõteriistad kaalu ja temperatuuri mõõtmiseks. Ristpulgaga kärbissõlge on lihtsam valada, teljetoru sisse augu saamine ei õnnestunud.

Tina ja hõbedaga katmine: Katmisel on oluline õige rääbusti valimine vastavalt töötlemise temperatuurile. Tinaga kaetud sõled said kauni hõbedase läike. Õhukese hõbelehega katmine on võimalik, aga nõuab väga täpset temperatuurivahemikku töötamisel, et tagada hõbede haakumine ja pinna kvaliteet. Liiga kõrge kuumus rikub tulemuse.

Eksperimendid võimaldasid saada parema ülevaate ajalooliste kärbissõlgede valmistamise protsessist ning sellega seotud probleemidest. Kuigi kõik katsed ei andnud kaugeltki soovitud tulemust, aitasid need mõista ja hinnata Rooma rauaaegsete meistrite oskusi ning teadmisi metallitööst just tollaegseid tingimusi arvestades. Nende ehteid ei peeta väga meisterlikeks, aga isegi selle kvaliteedi saavutamine nõuab palju oskusi (joonis 43).



Joonis 43. Kettidega ühendatud kärbissõled (autori foto)

Kokkuvõte

Kärbissõled olid Rooma rauaajal Eestis levinud. Kõik leitud sõled on valmistatud vase sulamitest – tinapronksist, messingist või punapronksist ja mõnedel on pinnal tina ja plii jääke. Leiud tarandkalmetest ei anna otseselt teavet sõlgede kandmise kohta, kuid naaberalade leidude põhjal võib oletada, et väikeseid kärbissõlgi kasutati *peplos*-kleidi kinnitamiseks õlgadelt.

Lõputöö tegemise käigus viisin läbi eksperimente Rooma rauaaegsete kärbissõlgede valmistamiseks Eesti arheoloogilistele leidudele tuginedes. Kuna eesmärgiks oli sõlgede valmistamine kaduva vaha meetoditel, mitte ajalooliste võtete täpne jäljendamine, siis kasutasin osaliselt kaasaegseid töövahendeid. Suurema osa katsetest viisin läbi üksi selleks kohandatud sepikojas. Eksperimentide käigus valmistasin vahamudeleid, valuvorme kipsist, savi-liiva-orgaanika segust avatud ja söe-savi segust Ghanas kasutatava suletud valuvorme, kokku 12 vormi. Kasutasin võimalikult palju kohalikke materjale (mesilasvaha, liiv, savi, sõnnik).

Töö tulemused näitasid, et edu aluseks on kvaliteetne ja hästi viimistletud vahamudel. Teine oluline tegur on korralik valuvorm. Kips osutus heaks peeneteraliseks materjaliks, mis hangus kiiresti ja andis parema tulemuse. Savisegust vormi tegemisele kulus keskmiselt viis päeva ja tuli arvestada pikema kuivamisajaga ja pragunemisega. Savi sidusust aitasid parandada hundinuia tõlviku ebemed.

Erinevad vasesulamid andsid kõik natuke kuldse tooniga tulemuse, pigem oli probleeme puusütega ääsil sobiva kõrge temperatuuri saavutamise. Tinaga vasesulamist kärbissõlgede katmine andis üllatavalt kena hõbedase tulemuse. Vasesulamist ehteletinaga hõbepleki kinnitamine on võimalik, aga pisut keerulisem.

Allikad

- Almgren, O. (1897). Studien über nordeuropäische Fibelformen der ersten nachchristlichen Jahrhunderte mit Berücksichtigung der provinzialrömischen und südrussischen Formen. Stockholm.
- Babenskas, E., Bagdzevičiene, J., Bliujiene, A., Petraukas, G., Rimkus, T. (2021). Essential changes in the composition of Copper alloys reveal technological diversities in the transition from the earliest iron age to the early roman period in Lithuania. *Archeologia Baltica* 28, 39-62. doi: <https://doi.org/10.1017/RDC.2021.69>
- Banyte-Rowell, R. (2014). Gender Roles in prehistoric communities of West Lithuania's Micro-areas between the Late Roman Iron Age and the Late Migration Period: Continuity or Change? *Lietuvos archeologija* 40, 99-138.
- Banyte-Rowell, R. (2019). Connections between the West Balts and their neighbours in the Roman and Migration Periods: the northern direction. *Interacting Barbarians Contacts, Exchange and Migrations in the First Millennium AD*, 11-19. Universität Warschau.
- Hendzsel, I., Istvanovits, E., Kulcsar, V., Ligiti, D., Ovari, A., Pasztokai-Szeöke, J. (2008) On the Borders of East and West: A Reconstruction of Roman Provincial and Barbarian Dress in the Hungarian National Museum. M. Gleba, C. Munkholt, M. Nosch (toim). *Dressing the Past* (lk 29-42). Oxford: Oxbow Books.
- Hawthorne, J. G., Smith, C. S. (2013) *Theophilus On Drives Arts. The Foremost Medievaal Treatise on Painting, Glassmaking and Metalwork*. New York: Dover Publications.
- Kirme, K. (1986). *Eesti sõled*. Tallinn: Kirjastus Kunst.
- Koitmäe-Pihl, A. (2022). Metallikeemia VI teema. *Metallikeemia kursuse õppematerjal*. https://moodle.ut.ee/pluginfile.php/345718/mod_resource/content/3/Muud%20v%C3%A4rvalised%20metallid%20ja%20nende%20sulamid_AKP.pdf
- Konsap, K. (2022). *Kärbissõled Eestis Rooma rauaaegsetes leidudes*. [Seminaritöö, Tartu Ülikooli Viljandi kultuuriakadeemia].
- Kuriso, Tuuli. (2018). Late Iron Age (800-1200/1250 AD) pendants in the north-eastern Baltic Sea region: adorning, self-definition, religion. [Dissertation in fulfilment of 46 the requirements for the doctoral degree at the Faculty of Arts and Humanities at Kiel University].
- Lang, V. (2007). *The Bronze and Early Iron Ages in Estonia*. Tartu University Press.

- Lang, V. (2020). Rooma rauaaeg ja rahvasterännuaeg (50-550 pKr). V. Lang (toim), *Eesti ajalugu I. Eesti esiaeg* (lk 231-282). Tartu Ülikooli ajaloo ja arheoloogia instituut.
- Laul, S. (2001). *Rauaaja kultuuri kujunemine Eesti kaguosas*. Tallinn: Ajaloo Instituut ja Õpetatud Eesti Selts.
- Mannering, U., Møbjerg, T., Rostholm, H., Knudsen, L. R. (2019). *The Hammerum Burial Site. Customs and Clothing in the Roman Iron Age*. Jutland Archaeological Society. Aarhus University Press.
- McCreight, T. (1994). *Practical casting: a studio reference*. Cape Elizabeth, MA: Brynmorgen press.
- Meeks, C., Tulp, C., Söderberg, A. (2001). Precision lost wax casting. Experimental and Educational aspects on Bronze Metallurgy, Wilhelminaoord 18 - 22 October 1999. https://www.academia.edu/1217400/Precision_lost_wax_casting
- Moora, H. (1938). Die Eisenzeit in Lettland bis etwa 500 n. Chr., II. Teil: Analyse. (Õpetatud Eesti Seltsi Toimetused, XXIX.) Õpetatud Eesti Selts, Tartu.
- Olli, M. (2019a). *From individuality to regionality in the distribution area of tarand cemeteries in the Roman Iron Age*. [Doktoritöö, University of Tartu]. dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/66571/olli_maarja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Olli, M. (2019b). Regions and communication in South-Estonia and North Latvia in the 3th and 4th centuries based on local ornaments. *Estonian Journal of Archaeology*, 23 (2), 75–102. doi: <https://doi.org/10.3176/arch.2019.2.01>
- Olli, M., Kivirüüt, A. (2017). Individual and collective burial places: an analysis of the Viimsi tarand graves of northern Estonia. *Body, Personhood and Privacy: Perspectives on Cultural Other and Human Experience. Approaches to Culture Theory*, 7, 271–292. University of Tartu Press.
- Olli, M., Roxburgh, M. A. (2017). Pilguheit silmiksõlgedele – Eesti varaseimate sõlgede lugu. *Tutulus*, 20-21. <https://drive.google.com/file/d/1ON8zU9L79Lekvgwca6yO3sxMafKBGGf2/view>
- Roy, C. (2011). *Asante brass casting workshop in west Kumasi, 2004*. From filmmaker Christopher Roy's documentary, "African Art Techniques: Wood, Cloth, Metal, Clay" [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=REutkpo3ors>
- Roxburgh, M. A. (2022). Eyes to the North: a multi-element analysis of copper-alloy brooches in the eastern Baltic, produced during the Roman Iron Age. *Estonian Journal of Archaeology*, 27 (1), 3–29. doi: <https://doi.org/10.11588/ger.2018.66174>

- Rammo, R. (2022). Vanamoodsad peploskleidis naised Läänemere idakaldal 12.–13. sajandil. *Tutulus*, lk 30–33.
- Rammo, R., Tamla, Ü. (2022). Pudivere peitleid. H. Luik, Ü. Tamla, V. Lang (toim). *Ilusad asjad, põnevad lood* (lk 11–46). Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Schmiedehelm, M. (1923). Beiträge zu der sogenannten gotischen Frage im Baltikum. – Sitzungsberichte der Gelehrten Estnischen Gesellschaft, 1922, 76–108.
- Selwyn, L. (2004). *Metals and corrosion: a handbook for the conservation professional*. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Sias, F. R., noorem. (2005). *Lost-wax casting: old, new and inexpensive methods*. Pendleton: Woodsmere Press.
- Söderberg, A. (2012). Scandinavian Iron Age and Early Medieval Ceramic Moulds - Lost Wax or Not or Both? *EXARC Journal*, 3. <https://exarc.net/ark:/88735/10082>
- Söderberg, A. (2018). Viking Jewellery Mould Making. Experimental and Reconstructive Aspects. *Ancient Technology*.
https://www.academia.edu/37771518/Viking_Jewellery_Mould_Making_Experimental_and_Reconstructive_Aspects
- Untracht, O. (1985). Casting. Methods of Giving Form to Molten Metal. *Jewelry concepts and technology* (lk 482-535). London: Hale
- Werger, P. J. (2022). Ashante casting. *Ganoksin jewelry making resources*.
<https://www.ganoksin.com/article/ashante-casting/>

Lisa 1. Kärbissõle ehitus

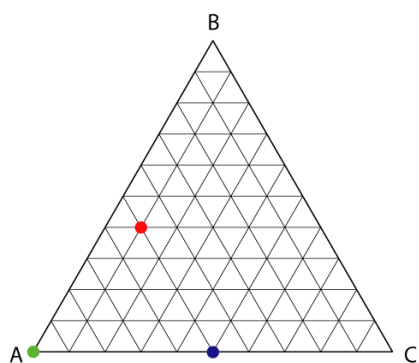


Lisa 2. XRF ehk röntgenfluorestsents-analüüsid

Pearnr	Cu	Sn	Zn	Pb	Sb
TÜ 1954: 1	71.2	17.4	2.4	5.4	0
TÜ 2668: 4	50.9	16.1	2.1	25.2	1
TÜ 2668: 6	33.8	20.2	1.5	30.5	0

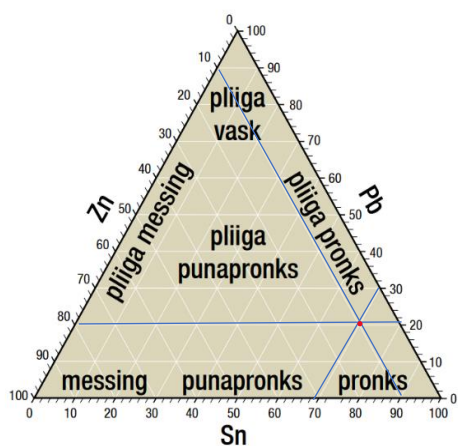
XRF ehk röntgenfluorestsents-analüüsisiga saab määrata materjali keemilise koostise määramiseks. Seda kasutatakse tihti arheoloogiliste esemete materjalide määramiseks, sest see meetod ei kahjusta eset. Aga korrodeerunud pinnakihi ei pruugi saada eseme tegelikku koostis. Näiteks tabelis toodud kärbissõlgede TÜ 2668:4 ja TÜ 2668:6 tulemustest selgub, et sulami vase sisaldus on 50,9% või veel väiksem. Plii sisaldus 25,2% ja 30,5%, mida lisati sulamitesse kuni 5% parema voolavuse saavutamiseks. Andmed viitavad sellele, et eseme pind oli kaetud pliiga või tina-plii seguga.

Lisa 3. Kolmnurkdiagrammi lugemise näide



<https://et.wikipedia.org/wiki/Kolmnurkdiagramm>

Kolmnurkdiagrammile saab korraga märkida kolm omavahel seotud tegurit, mis kokku annavad 100%. Roheline täpp A juures tähendab, et see koosneb 100%-lt komponendist A. Sinise täpiga märgitud ei sisalda komponenti B, aga sisaldab võrdselt A ja C komponenti. Punane täpp asukoht näitab, et see koosneb 10% komponenti C, 40% komponenti B ja 50% komponenti A.



Sulamite sisalduse skeem, mis näitab tina, tsingi ja plii vahetava vasesulamites %-des (Olli & Roxburgh, 2017)

Kolmnurkdiagrammile on kantud vasesulamite lisandite hulk %-des. Tina (Sn), tsink (Zn) ja plii (Pb) annavad kokku 100%. Diagrammilt ei saa teada vase hulka. Näiteks kərbissõle TÜ 1954:1 sisaldab Sn 17,4%, Zn 2,4% ja Pb 5,4% ehk 25,2% kogu materjalist. Sellele diagrammile märkisin need kui 100% vase lisanditest: Sn 69%, Zn 9,5% ja Pb 21,4%. Punase täpi asukoht näitab pliiga pronksi.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kaie Konsap,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Rooma rauaaegsete kərbissõlgede valmistamise tehnoloogia“, mille juhendajad on Egge Edussaar-Harak (MA) ja Eilve Manglus (MA) 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 3.0, 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.

Kaie Konsap

11.05.2023