

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

Ants Hendrik Liivak
Hiliskeskaegsete sulamite koostis Jahu tn. 6 leidude näitel

Magistritöö

Juhendaja:
Ragnar Saage, PHD
Tartu Ülikool

Tartu 2020

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
1.1 Uurimisteema	3
1.2 Varasemad uuringud	5
2. Mõisted	8
3. Kaubandus ja metallikäsitöö Tallinnas	10
3.1 Metallesemete kaubandus ja seadused	10
3.2 Tallinna Jahu tänav ja sealsed arheoloogilised leiud	14
3.3 Tallinna metallimeistrid	16
4. Metoodika	20
5. Mõõtmistulemused	25
5.1 Tina-plii koostisega esemete mõõtmised	27
5.1.1 Kaubaplommid	28
5.1.3 Ehted	32
5.1.3 Naastud	34
5.1.4 Varia	35
5.2 Vasesulamist esemete uuringud	36
5.2.1 Plekitükid, plekist esemed	37
5.2.2 Naastud	38
5.2.3 Valmistusjääk ja katked	40
5.2.4 Ehted	42
5.2.5 Pandlad	43
5.2.6 Varia	45
5.3 Valmistustehnika	46
6 Arutelu	50
Kokkuvõte	53
Kasutatud allikad ja kirjandus	57
Summary	61
Lisad	64

1. Sissejuhatus

1.1 Uurimisteema

Metallesemete kasutamise võimaluste rohkus on andnud inimkonna arengule suure panuse. Vajadusest tingituna, on meistrid katsetanud erinevate metallide koosmõju, et saavutada paremat esemete kvaliteeti ja otstarbekohasust. Iga meister üritas käepäraste vahenditega saavutada parimat tulemust. Metallid varieeruvad väga palju oma keemiliselt koostiselt. Erinevate mineraalide sulatamisel, tekib mitmeid keemilise koostisega sulameid, mille omaduste muutusi on visuaalselt raske hinnata (näiteks, lisades tina pliile jääb metalli värvus samaks).

Esemete keemilise koostise analüüside alusel saab teha oletusi ka väikeste metall-leidude katkendite kuuluvuse kohta suurematesse gruppidesse nagu näiteks nõud, ehted, tarbeesemed jne. Kui me teame, et keskajal hakati kontrollima tinaõude pliipuhust ning Hansalinnades kehtis seadus 1/10 pliiosakaaluga tinaõude kohta (Nadolski 1983, 33), siis saame me oletada, et 10% plii osakaaluga metalleseme puhul võib olla tegu nõukatkendiga. Sellest tulenevalt annavad põhjalikud ja laialdased elementanalüüsid meile aimu ka väiksemate katkendite kuuluvuse kohta.

Tänapäeval usaldame enamasti tootjat koostise osas, et kaupmehele määratud toote kvaliteet vastaks nõuetele, kuid varasemal ajal on selle aluseks olnud metallitöölise suusõnaline lubadus või kokkulepe. Seetõttu on oluline uurida keskaegsete leidude keemilist koostist, et jälgida sulamite otstarbekohasuse arengut metallesemetes, minevikust tänapäevani. Peale selle saame keemilise koostise alusel oletada, millist kaupa eelistati minevikus.

Uurimise alla on võetud Tallinna Kalamaja piirkonna, Jahu tänava 6/Väike-Patarei tänava 1 (edaspidi Jahu 6) kvartalis paiknevad keskaegsed prügiladestuskoha metall-leiud, milleks on peamiselt vase- ja tinasulamist esemed. Kaevamistelt saadud leiud pärinevad üsna kitsalt 15. sajandi II poolde ja 16. sajandi I veerandisse dateeritud kultuurkihist (Russow *et al.* 2019, 216). Ajalise raamistuse on andnud esemeliselt suur hulk münte - üle 230, millest enamus on pärit 14. sajandi lõpust - 15. sajandi lõpuni ning põhiosa on löödud pärast 1422. aasta Liivimaa rahareformi (*ibid*). Välitööd on toonud päevavalgele väga mitmekülgeid keskaegseid leide, kuna 15. sajandil asus seal Tallinna prügiladestuspaik. Leiud võisid sattuda jäätmekasti väga erinevatel põhjustel, näiteks eksiteel, praaktoodetena, eseme praktilise väärtuse kadumisel, kulumise jms alusel.

Magistritöö eesmärk on anda ülevaade Tallinna 15. sajandi värviliste metallide keemilisest koostisest, võttes aluseks Jahu tänav 6 leiud. Kuna Jahu tänav 6 arheoloogilised kaevamised tõid päevavalgele väga palju esemeid, ei olnud kõiki metallesemeid võimalik uurida ning valiku alla sai võetud representatiivne valim. Valiti välja ligikaudu 500 ühikut, et oleks esindatud piisavalt suur kogus esemeid tegemaks adekvaatseid järeldusi. Iga eseme puhul uuriti selle keemilise koostise spektrit, mille alusel valiti välja kõige sobivam kalibratsioon.

Magistritöös on püstitatud järgmised uurimisküsimused:

- Milliseid sulameid kasutati 15. sajandil Tallinnas?
- Milline oli tinaesemete keemiline koostis?
- Milline oli vaskesemete keemiline koostis?
- Kuidas on omavahel seotud eseme funktsioon, valmistamismeetod ja koostis?

Uuringud viidi läbi portatiivse röntgenfluorestsents-spektromeetriga (pXRF), mis annab aimu uuritava objekti keemilisest koostisest eset kahjustamata.

Töö põhiosa on jagatud järgmisteks osadeks:

- Ülevaade ajaloolisest taustast
- Metoodika
- Tulemused
- Arutelu

Esimene sisupeatükk avab tausta, andes põgusa ülevaate metallikaubandusest Läänemere-äärsetes linnades, võttes põhiliselt uurimise alla Tallinnaga seonduva metallikaubanduse ja -tootmise. Siinses lõigus kirjeldatakse lühidalt erinevate sulamite koostise kohta kehtivaid seadusnorme.

Metoodika osas kirjeldatakse uurimistöö raames kasutusel olevat pXRF-i ja selle kasutamiseks vajalikke programme ning uurimismetoodikat. Peatükk annab ülevaate ka uurimistulemuste visualiseerimisest diagrammide abil.

Töö empiirilises osas tuuakse välja, missuguseid esemeid on uuritud Tallinna Ülikooli arheoloogia teaduskogus. Kirjeldatakse esemetest tehtud mõõtmistulemusi ning võrreldakse neid. Metall-

leidude keemilise koostise uuringute juures antakse ülevaade nendes leiduvate keemiliste elementide kvantitatiivsest osakaalust.

Uurimistöo raames tehtud mõõtmistulemused on jagatud kaheks: esiteks, sulamid, kus põhiliseks koostisosaks on tina või plii ning teisalt vasesulamiteks, kus vask moodustab põhilise osa metallist. Tehtud tulemusi saab vajadusel tulevikus täiendada uue kalibratsiooniga.

Siinne töö on jätk bakalaureusetööle (Liivak 2018), mille raames uuriti Tallinna tinavalajate valmistatud toodete keemilist koostist ja võrreldi neid tulemusi tolle aja tina kvaliteedinõuetega. Metoodika põhineb samuti XRF-i kasutamisel, milles on rakendatud proseminaritöö (Liivak 2017) raames tehtud tina – plii kalibratsiooni.

1.2 Varasemad uuringud

Minu peamiseks allikaks on arheoloogilised leiud. Varasemad metallitööde uuringud. Varasemalt on vaskesemeid Eestis uurinud: Ülle Tamla uuris hõbeesemeid 9. – 13. sajandil (1998), Ragnar Saage (2013, 2020) ja Maarja Olli koos Adrian Marcus Roxburgh'iga (2013) aga tinast esemete kohta uuringu on teinud Margit Keerman (2017) uurides keskaegseid tinulisi. Metallitööde laiemaks ülevaateks on oluline teha põhjalikud uuringud ka tinasulamitest. Kuna varasemalt pole hiliskeskaegseid tina- ja vasesulamite kohta mahukaid keemilise koostise analüüse tehtud, tundus olulisena täita see tühik. Maapiirkondadega võrreldes, kus on uuritud nii rauatööd (Peets 2003) kui ka ehtekunsti (Tamla 1998), on linnade metallitööd loodusteaduslike meetoditega isegi vähem läbi uuritud. Jahu tänav 6 arheoloogilised leiud osutusid valituks, kuna 15. sajandi prügiladestuspaik on kindla dateeringuga ja sisaldas väga suurel hulgal metall-leide.

Jahu tänav 6 leiud pärinevad üsna kitsast ajaperioodist – 15. sajandi II poolest (Russow et al. 2019). Tegu võib olla isegi Läänemere-regiooni suurima hiliskeskaegse leiukogumiga. Rikkaliku valimi Jahu tänav 6 leidude seast moodustas piisavalt suur arv metall-leide nagu näiteks: pandlad, tööriistad, naastud, nõelad, palverännumärgid, lusikad, sõrmused, kuljused jne. Leidude hulgas näib olevat kõiki keskaegses linnas leiduvaid sulameid ja metalle: kuld, hõbe, tina-, plii- ja vasesulamid, raudesemeid ning eelevate ühendamisest tehtud komposiitesemeid. Käesolevas

magistritöös pole võimalik kõikidele esemerühmadele keskenduda, mistõttu valisin välja tina-, plii- ja vasesulamid, mille kohta on arheoloogialabori pXRFis olemas kalibratsioonid.

Sarnaseid uuringuid Eesti naabruses on tehtud Novgordist Ljudi kvartalist pärit esemetega, kus uuringu alla võeti kõik metallesemad (Eniosova *et al.* 2017, 187). Uuringu all oli seal 211 eset, mis olid peamiselt metallijätmed, katked, kangid ja traadid 10.–14. sajandist (*ibid.*, 187). Sarnaselt Novgorodi leidudega, on ka Jahu tänava leiuaineses rohkelt metallitööstuse jäänuseid (sealhulgas tiiglitükid ja kivist valuvormid). Teavet Tallinna linna kohta sain Karsten Brüggemann, Ralph Tuchtenhagen teosest (2013) ja Kalamaja piirkonna Jahu tänava 6/Väike-Patarei tänava 1 kvartalis paikneva keskaegse prügila kohta sain teavet Tiina Kala toimetatud teosest, kus Erki Russow (2018) kirjeldas prügiladestus kohta ja ka Eesti 2018. aasta arheoloogiliste välitööd väljaandest (Russow *et al.* 2019).

Tinaesemete juures sain abi põhjalikke uuringuid teinud Dieter Nadolski publikatsioonidest, kus ta uuris tinaesemete füüsilist omapära, kui ka nende tootmisega seotud seadusi ja tinavalajate tsunftid Saksamaal (1983, 1986). Metallitöölise tsunftidest ülevaate saamiseks kasutasin Küllike Kaplinski (1980, 2015) ja Vende (1967) teoseid, kust sain informatsiooni keskajast varauusajani tegutsenud metallitöötajate kohta. Tinaeseme võrdlusmaterjaliks kasutasin Dagnija Svarāne Riias teostatud uuringuid (2014, 2015)

Vasesulamite uuringus oli suureks eeskujuks Maarja Olli ja Adrian Roxburgh'i publikatsioon (2018), kus kasutati kolmnurkdiagrammi vasesulamite iseloomustamiseks. See annab lihtsa visuaalse süsteemi, et tuvastada erinevaid sulameid. Vasesulamite oluliseks võrdlusmaterjaliks said Marcos Martinon-Torrese ja tema kolleegide uuringud vasekoogid (2018). Kuna nende uurimise all on olnud ainult kaks vasekooki, ei saa me üldist järeldust teha Saksimaalt pärit vase toormaterjali kohta.

Uuringus leiti sarnaseid jooni Jui-Lien Fang ja Gerry McDonnell (2011) artiklist vasesulamite värvimuutuste kohta. Selles artiklis on täpselt lahti seletatud metallide koostisest tingitud värvierinevused saadavas sulamis.

Keskaegsest lääne Euroopa metalli kaubandusest sain ülevaate Peter Spuffori (2002) teosest. Rootsi metallikaubandusest keskajal sain infot Göran Dahlbäck (2002) ja Johan Anund (1999) teostest, Rootsist Eestisse toodud metall kauba kohta sain teavet Tõnu Sepp (1987) lõputööst.

Kaubanduse, nõudluse ning sellega seonduvatest seadustest sain teavet Graiyna Nawrolska (1999) artiklist.

2. Mõisted

Legeerimine – Legeerimine on lisandite manustamine metallile või selle sulamile keemiliste ja füüsikaliste omaduste muutmiseks.¹

Skraa – tsunfti koondunud käsitöölise põhikiri

Vasekook – ümara kujuga vasekang, millest valmistati peamiselt potte

Kalibratsioon – toiming, mis fikseeritud tingimustel määrab kindlaks seoses mõõtevahendiga saadud väärtuse

Tinavalaja – Erinevaid tinatöid teostav isik. Tinavalaja töid on teostanud varasemal ajal ka: lukusepad; mõõgasepad; pannasepad; kannuvalajad; turvissepad; naela- ja nõelasepad, kannuvalajad, vasepad, ehtesepad; kellavalajad, suurtükimeistrid; kannusepad (Kaplinski 1980, tabel 3).

Stantsimine – toorikut stantsis plastselt deformeerima v. lõikama (peam. metallide survetöötusel); niiviisi midagi valmistama.²

Messing – vase ja tsingi sulam.

Inglitina – Inglismaalt pärit, roosimärgisega kvaliteet-tina, milles võib esineda vähesel määral vaske.

Pronks – vase ja tina sulam.

Punapronks – vase, tsingi ja tina sulam.

Kalamiin (ing *calamine*) - smitsoniidi ja hemimorfiidi seguga maak. Looduses esineb smitsoniit tavaliselt kas muldjate või kompaksete peitkristalsete agregaatidena, või koorikute ning nõrgvormidena. Harva esineb ka romboeedrilisi või skalenoeedrilisi kristalle. Smitsoniit on värvuselt valge, rohekas, pruunikas või hall.³ Hemimorfiit on värvitu, valge või kollane. Kristallid on õhukesed, tahveljad, ühest otsast teritunud ja teisest lõigatud ning on tavaliselt grupeerunud lehvikjateks kobarateks.⁴

Mündrik – Läänemerel keskajal laevade ja sadama vahel kaupa vedanud paadimees. Peale

¹ [<https://term.eki.ee/termbase/view/6234149/et/et/?initial=L#/concept/view/1193935753/>] (05.06.2020)]

² [<http://termin.eki.ee/esterm/concept.php?id=38032&term=stantsimine>] (05.06.2020)]

³ [<https://kiivid.info/389>] (05.06.2020)]

⁴ [<https://kiivid.info/522>] (05.06.2020)]

kaubaveo oli mündrikel kohustus pidada sadamas korda, valvata, meremärke panna ja merehädalistele abi osutada.⁵

⁵ [<http://entsyklopeedia.ee/artikkel/m%C3%BCndrik> (05.06.2020)]

3. Kaubandus ja metallikäsitöö Tallinnas

3.1 Metallesemete kaubandus ja seadused

Hansa liit võis 15. sajandil omada Põhja-Euroopas sarnast mõju nagu tänapäeval teeb seda Euroopa liit. Nimelt määrati Hansa liidus kaupadele kvaliteedinõuded ja -lepped nagu seda teeb ka Euroopa liit tänapäeval. Ristiusustamine Baltimaades pani aluse õigussüsteemile, millel on samad õigusnormid nagu seda on nn Vanas Euroopas (Graichen ja Hammel-Kiesow 2011, 30). Sellest tulenevalt on arenenud välja kaubandusnormid. Üheks selliseks on plii osakaalu piiritlemine toidunõudes ehk Nürnbergi tinasulam, kus plii osakaal sulamis võis olla 1/10-nele, mis oli väga laia kasutusega norm Hansa linnades (Nadolski 1983, 33). Vaatamata sellele, levisid ka nii-öelda „kehva tina“ sulamid, nagu näiteks 1/3 plii sisaldusega „halb tina“ (sks *mankgut*) ning lausa ½ plii sisaldusega „vale-tina“ (sks *Faul-Zinn*) (*ibid*), ilmselt oli neid sulameid lihtsam töödelda ja toote omahind tuli madalam. Heaks näiteks on Riia, kus on alates 15. sajandist hakatud nõudma 93% tina-sisaldusega sulameid (Svarāne 2015, 131). Väidetavalt olid Saksa tinatooted kehvema kvaliteediga ja odavamad (*ibid.*).

Toodete taseme (nii teostuse kui materjali) hindamiseks olid Madalmaade tinavalukodades palgatud spetsiaalsed toodete kvaliteeti hindavad inspektorid, kes Hansa linnades leidsid tööd alles 14. sajandi lõpul (Nadolski 1983, 33). Ilmselt järgis Eestis enamik lauanõusid tootvatest tinavalajatest Nürnbergi tinasulami normi, mis kehtis lauanõude kohta alates 15. sajandi algusest (Liivak 2018, 22). 2018. aastal pXRF-iga uuritud 15.–18. sajandil Tallinna meistrite poolt valmistatud kannud, koosnesid alla 10% pliisisaldusega sulamist (*ibid*). Seega saame olla suhteliselt kindlad, et vähemalt Tallinnas töötanud metallivalajad olid seadusekuulekad ning neile oli oluline toodete kvaliteet. Seadus kehtis küll tinaõude kohta, kuid muude sulamite puhul, oli meistritele antud vabad käed. Samas ei ole välistatud, et teiste metallisulamite kohta on kehtinud teised seadused.

15. sajandil toodi Tallinnasse sisse nii väärismetalle kui värvilisi metalle. Kaubanduse toimimiseks on vaja kaupa ja kaubatarbijat. Samamoodi on Läänemere kaubanduses liikunud erinevad kaubad vastavalt Läänemere äärsete linnade elanike nõudlusele. Sellega seoses avaldasid kodanikud soovi saada selgust kauba kvaliteedinõuete osas. Suurem osa kauplemiskeskuste linnaelanikest, nagu

näiteks Poolas oleva Elblagi linna kodanikud, olid kohustatud osalema kaubandusnõukogudes, kauba- ja majandusõiguste määramisel, nagu seda tehti ka igal pool mujal Hansalinnades (Nawrołska, 1999, 373). Nõukogus valiti välja esindajad, kes esindasid enda linna linnapäeval (*ibid*). Tallinna käsitöölise organisatsioonide arenemine on jälgitav juba 14. sajandi esimesest poolest (Kaplinski 1980, 115). Tallinnas jäid Kanuti ja Oleviste gild pärast kaupmeeste eraldumist käsitöölise gildideks (*ibid.*, 115). Sissekanded märkmeraamatutesse algavad 1333. aastast ning järgnenud paarikümne aasta jooksul on üsna mitmed tsunftid jälgitavad. Sellest võib järeldada, et käsitöölised hakkasid erialade kaupa kitsamatesse organisatsioonidesse koonduma juba 14. sajandi algul või isegi 13. sajandi lõpul (*ibid.*, 119). Enne 15. sajandi II poolt ei olnud tsunftid veel täielikult spetsialiseerunud (näiteks amet „sepad“ koondas enda alla vase- ja lukusepad) ning alles hiljem koondati lihtsamad käsitöölised tsunftide alla ja raad koostas neile põhikirjad (*ibid.*, 137, 139). Tootmine tsunftide õiguste ja määruste alusel jäi Tallinnas Külleke Kaplinski väitel püsima 18. sajandi kolmanda veerandini (*ibid.*, 140) ning mõnede autorite järgi 19. sajandi alguseni (Vende 1967, 12).

Tallinnast oli saanud 14. sajandil osa Hansa Liidu Ojamaa-Liivimaa kolmandikust (juhtlinn Visby, hiljem Riia) ning 15. sajandi lõpul, kui hansalinnad jagati neljandikeks (*Viertel*) ehk kvartaliteks (*Quartiere*), muutus linn osaks Hansa Liidu Preisi-Liivimaa neljandikust (juhtlinn Danzig, liikmeskonnas Torun, Kulm, Elbing/Elblag, Königsberg, Riia, Tartu jt) (Brüggemann, Tuchtenhagen 2013, 71). 1346. aastal sai Tallinn koos Riia ja Pärnuga endale laokohaõiguse (*ibid.*, 71). See kohustas kõiki Venemaaga kaubandust arendavaid kaupmehi, pakkuma oma kaupa turul (kolm kuni üheksa päeva), ühes nimetatud kolmest linnast (*ibid*). Peale selle tegid mitmed kaubanduslikud eriseadused lõpu linnas kauplemisele, mis seni oli olnud lubatud igapäevale (*ibid.*, 71–72). Visby, omaaegne tähtsaim kaubalinn Läänemere ääres, ei suutnud pärast mereröövlike rüüsteretke 1361. aastal ja sellele järgneval sõja-aastal, enam oma endist ülemvõimu taastada (*ibid*). Pärast sajandivahetust, 1400. aastal, kui suudeti Läänemerelt minema kihutada ka vitaalivennad, oli Tallinn Riia kõrval tähtsaim linn Hansa Liidu idakaubanduses (*ibid*).

14. sajandile oli iseloomulik maa- ja jõekaubateedelt liikuda üle mereteedele, kuna mereteed pidi ole kiirem ja kindlam kaupa transportida (Spuffor 2002, 16). 15. sajandi lõpus muutusid maa- ja jõe-kaubateed jällegi populaarseks, mille heaks näiteks oli Antwerpen-Nürnberg-Veneetsia kaubatee (*ibid*).

Tallinnal olid kaubanduslikud sidemed paljude maade ja linnadega, nende hulgas Flandria, Hollandi, Rootsi ja Soomega ning enamikuga Läänemere Hansalinnadest (Brüggemann, Tuchtenhagen 2013, 75–76). Suurimat kasu lõikasid Tallinna kaupmehed siiski transiidikaubandusest Hansalinnade ja Novgorodi vahel, oma kõrgpunkti saavutas see 15. sajandil (*ibid*). Nii näiteks seisab 1442. aasta Stralsundi hansapäeva protokollis, et Tallinn on saavutanud valitseva seisundi Hansa Liidu Novgorodi kaubandusesinduses, nn Peetri hoovis (*ibid*). Ent mõni aeg hiljem tabas Novgorodi kaubandust kriis. Pärast mitmeid ebakindlaid aastaid katkes 1471. aastal Moskva suurvürsti Ivan III (1462–1505) kallaletungi tagajärjel kaubavahetus Novgorodiga sootuks (*ibid*).

Rootsi linnaõiguse kohaselt ei olnud linnadel, mis asusid Stockholmist ja Turust põhja pool, lubatud tegeleda väliskaubandusega (Dahlbäck 2002, 165). Tegelikuses oli see seadus suhteliselt kasutu, kuna neist põhja pool asus ainult neli linna, mida vabastati erinevate privileegide kaudu sellest keelust (*ibid*). Seega, enamik Rootsi linnadest tegeles väliskaubandusega (*ibid*). Siiski, olulisimaks sadamaks peetakse Stockholmi, mille kaudu eksportisid kaupu sisemaal asuvad linnad Stockholmi läheduses, nt Mälari järvistu ääres (*ibid*). Saksa ja Liivi linnadest, millega rootslased peamiselt kauplesid, oli olulisim Lübeck ning hiljem Danzig (*ibid*). Teistega kaubeldi ka, kuid harvem ning vähemas mahus (*ibid*). Erandiks oli Turu, mis peamiselt kauples Riia ning Tallinnaga (*ibid*). Tõenäoliselt olid Rootsi olulisimateks kaupadeks metallid (raud ja vask), mida saksa kaupmehed olid importinud juba arvatavasti 12. sajandi lõpust (*ibid.*, 166). Kuna arheoloogilise ainese hulgas on metallkangid üsna haruldased leiud, tuleb peamiselt lähtuda kirjalikest allikatest. Ei ole välistatud, et peale vana tinakauba toodi ka tinakange, kuna Peter Spuffor enda publikatsioonis (2002, 325), mainib suhteliselt suurtes kogustes metalli vedu Rootsist (Mälari järvistu äärsest piirkonnast) Lübeckisse, mille põhjal me saame ka oletada, et kaubaveo voog, küll väiksemas koguses, liikus ka Tallinna.

Tinakaup tuli Elblāgi 16. saj algul peamiselt Madalmaadest ja Inglismaalt, enamjaolt lusikate, puuviljanugade ja kahvlite näol, kannud olid valdavalt Siegburgi ja Westerwaldi töökodadest (Nawrołska 1999, 380). Tallinnas oli olukord samasugune – iganenud ja vanad metalltooted ringlesid vanametallina Läänemere regioonis ja tooted sulatati vastavalt vajadusele ümber (Kaplinski 2015, 130).

Messingist valmistatud lauatarbed (nõud) olid palju populaarsemad, kui tinast valmistatud lauanõud, valdavalt kasutamiseks neile inimestele, kes said lubada kallimaid nõusid, kui seda olid savinõud (Spuffor 2002, 269). Messingist nõud jäid oma väärtuse poolest alla hõbenõudele (*ibid*).

Messingit kasutati ulatuslikult hiliskeskajal. Messingit valmistatakse vase ja tsingi segust, kus tsingi osakaal on vase omast väiksem (kuni 30%). Tsinki saadi valdavalt smitsoniidi ja hemimorfiidi seguga maagist, nimega „kalamiin“ (ing k *calamine*) (Spencer 1911, 966). Vahel kasutati sulamis kalamiini 4 korda rohkem kui vaske (Spuffor 2002, 267). Sellest tulenevalt kasvas kalamiini väärtus suuresti ja põhilised messingi sulatuskohad arenesid välja just kalamiini maardlate juures (*ibid*). Kõige suuremaks messingi tootmiskeskuseks oli Aachenist idas olev Liege'i asula Saksamaal(*ibid*).

Kuni 14. sajandi lõpuni, oli Cornwalli tinamaardla monopoliseerinud tinakaubanduse, kuid 14. – 15. sajandil avastatud uued tinamaardlad Kesk-Euroopas Böömimaal, Saksimaal, Sileesias ja Moraavias lõpetasid Cornwalli monopoolse seisundi (Spuffor 2002, 326). Esimene tinamaardla, mis pakkus Cornwallile konkurentsi oli, 13. sajandil avastatud Erzgebirge tinamaardla (Berger 2012, 54).

Suureks messingikokkuostu kohaks sai Nürnberg, mis töötles messingi - ja vasekange ümber, müües neid siis hiljem edasi (Spuffor 2002, 269). Nürnberg oli tugeva metallitööstusega linn, mis reguleeris erinevaid eksportkaupasad Euroopa turul (*ibid*).

Rootsi linnade kaubanduses omas 16. sajandil monopoli Stockholm, müües kaupa edasi teistesse linnadesse (Friberg 1967a). Peamisteks metalliga varustavateks linnadeks Rootsis olid Västeras ja Arboga, mis vahendasid suures koguses vaske ja rauda, mööda Mälareni järve Stockholmi ja mõndedel andmetel ka Uppsalasse (Anund 1999, 462–463). Rootsi metalliekspordi osatähtsus oli kasvanud, 1368. aasta tolliregistri alusel, viidi suur kaubakogus Rootsist Lübeckisse, millest 19,000 tsenderit (sks *zenter*), mis oleks tänapäeval 950,000 kg, oli töötlemata rauda (Spuffor 2002, 325). Esimesi kirjalikult teadaolevaid kaubavahetusi Stockholmi ja Eesti vahel toimus kaupmees Florekini teatel aastal 1336, millal vahetati rukis ja ülejäänud kaup, vase, raua ja teiste vajalike kaupade vastu (Sepp 1987, 31). 15. sajandi teiseks pooleks, oli terve Mälareni järvistu äär muutunud oluliseks rauatootmise alaks (Spuffor 2002, 325). Stockholmist edasi vahendasid metallikaupa peamiselt Hansaliidu kaupmehed (*ibid*).

Rootsi vask tuli ainult Faluni lähedal, Dalarnas olevast Stora Kopparbergeti (Suur Vasemägi) kaevandusest (Dahlbäck 2002, 167). Falunis tehti sellest toorvask ning ekspordiks puhastati ja valmistati see ette Västerasis. Vaske mõõdeti “mesen”ite kaupa, mis oli metalli eksportimiseks mõeldud transpordikast (*ibid*). Vaske eksporditi koguseliselt palju vähem kui raua, aga ühe ühiku vase hind oli tunduvalt kõrgem raua hinnast ning keskaja lõpus oli nende hinnavahekorraks umbes 6:1 (*ibid*). Kuna metallkaup kaalub suhteliselt palju, on seda raske maateed pidi vedada ja seda ka ainult väikestes kogustes (Spuffor 2002, 322). Ainukesteks eranditeks olid metallitöökodjad veekogude ääres, sest veeteed pidi oli rasket kaupa ka odavam vedada (*ibid*.)

Tallinn ei erinenud naaberlinnadest Läänemere ääres, ühe kindla metalliga kauplemise monopoli siin välja ei kujunenud. Küll aga erines Tallinn Läänemere linnadest sellega, et oli oluline peatuspaik, kus said kokku kaks erinevat suurt kultuuriruumi. Sellest tulenevalt on Tallinnas kasutatud erineva päritoluga metallist esemeid, näiteks on jäätmete ladestus paigast leitud nii läänemaadele iseloomulikke palverännumärke kui ka õigeusuristikesi idast.

3.2 Tallinna Jahu tänav ja sealsed arheoloogilised leiud

Väljakaevamised Jahu tänaval toimusid 2018. aasta kevadest kuni 2019. aasta kevadeni, leiumaterjali maht oli ebatavaliselt suur, sellest tulenevalt on uurimistöös taustauuringutele vähem tähelepanu pööratud ja leidude uuringud on väga värsked ning jätkuvad ka praegu, mis tähendab, et uurimata materjali on veel palju. Nende kaevamiste leiuainese põhjal tehtud uurimistööde järeldused, võivad muuta meie arusaama 15. sajandi eluolust Tallinnas alles aastate pärast.

Juba enne 15. sajandit kuulus Jahu tänav Kalamaja eeslinna, mis asub Põhja-Tallinnas (Brüggemann, Tuchtenhagen 2013, 48). Kalamaja kujutas endast iseseisvat eeslinna, kus tänavatel, kõrtsides, võõrastemajades, lõbumajades ja muudes lõbustuskohtades kohtusid kohalikud elanikud mereteed pidi tulnud inimestega (*ibid*.). Püsiasiustusele viitavad ka maksunimistud 15. sajandist (1527. aastaks asus siin 78 majapidamist). Topograafilisi uuringuid pole enne 17. sajandit sellest rajoonist tehtud (Russow *et al.* 2019, 216) 1374. aasta allikas viitab sellele, et peale kalurite elasid Kalamaja rajoonis sadamatöölised, voori- ja kärumehed ja nn mündrikud (Brüggemann, Tuchtenhagen 2013, 48). Voori- ja kärumehed moodustasid ühe tsunfti (skraa aastast 1435) ja kuulusid nn väikeste tsunftide hulka, kalurite organisatsioon kord oli

suhteliselt sarnane tsunfti korruga ja nad allusid oldermannile (*ibid.*). Mündrikute ülesanne oli vedade kaubad paadiga laevalt maale või vastupidi, ka nemad olid moodustatud oma tsunfti (mille põhikirjad on aastatest 1505 ja 1531), kus kohustasid igäüht pidama kahte suurt ja ühte väikest paati, mis pidid häda korral laevadele appi minema, sealhulgas mereröövliatega võitlema või tulekahju kustutama (*ibid.*, 48–49). Mündriku palgad sõltusid kauba laadimise kogusest ja kaubast endast ning vajadusel võisid nad endale abilisi palgata, kellele pidid enda palgast maksma (*ibid.*). Hinnangute järgi oli sadamas tööl keskmiselt 20 mündrikku, keda juhtis oldermann, kelle töö juures oli olulisel kohal sadama kaitse ja puhtuse hoidmine (*ibid.*, 49).

Eeslinnade rahvaarvuks 16. sajandi esimesel poolel võib oletada ligikaudu 700 inimest ja Tallinnas kokku võis elada umbes 6700 elanikku (Brüggemann, Tuchtenhagen 2013, 51). 1538. aasta maksunimistu järgi oli elanikest umbes üks viiendik maksukohuslastest rootslased, ülejäänud nelja viiendiku puhul oli sakslasi ja eestlasi pooleks (*ibid.*, 51–52). Sotsiaalselt positsioonilt koosnes ilmselt kogu ülemkiht ja üle poole keskklassist sakslastest (*ibid.*, 51–52). Ülejäänud keskklassist umbes veerandi moodustasid rootslased ja viiendik mitesakslased (*ibid.*, 52–53). Alamkihist moodustasid kolmveerandi eestlased ja rootslased, kui üksikud sakslased välja arvata. Sotsiaalne jaotus lähtub maksukohuslaste arvust ja üldisest elu-olust. (*ibid.*, 53) Kalamaja rajoon on olnud sajandeid üks suurimaid eeslinnasid Tallinnas. Kirjalikes allikates mainitakse kalamaja eeslinna 1421. aastal, kuid elutegevus eeslinnas on olnud juba varajasemal ajal. Oletatakse, et Suur-Patarei tänava piirkonnas oli juba muinasajal kalameeste eluhooneid (*ibid.*, 53). Hooned olid küll väikesed, kuid tihtipeale elas ühes majapidamises mitu inimest, kuna seal oli soodne elada, sest elamispiinad olid vastuvõetavad madalama sissetulekuga inimestele, millest tulenevalt kasvas Kalamaja elanikkond jõudsalt. See omakorda tekitas linnavõimudele probleeme järelvalve ja korrapidamisega, kalamaja eeslinn on mitu korda maha põlenud (1570, 1710 ja 1854 aastatel).⁶

14. sajandi teisel poolel hakkas raad nõudma jäätmete teisaldamist linnasüdamest väljapoole (Russow 2019, 271). Pürgi ja jäätmeid hakati nüüd järjest enam vedama linnalähedastele põldudele ja aiamaadele, madalate ja liigniiskete alade täiteks ning isegi rannajoone muutmiseks, et tagada veesõidukitele paremaid tingimusi randumiseks (*ibid.*). Linnast toodud prügi mahapaneku kohti on Tallinna eeslinnades varem täheldatud Tatari ja Sakala tänava piirkonnas, Tartu ja Pärnu maantee alguses ning Vabaduse väljakul, kus liivavõtuaugud olid täidetud linnast toodud prahiga

⁶ [<https://www.tallinn.ee/est/pohja/g6232s43130> (19.02.2020)]

(*ibid.*). Arvatavasti on 15. sajandi alguses hakatud varasema hajaasustusega kohtadest tooma väljaheidete ja olmeprahiga segatud pinnast, mis ladestati pikema aja vältel sihikindlalt korrapäraste jäätmekihtidena (*ibid.*). Koht oli valitud linnamüüri piiratud all-linnast linnulennult umbes 500 meetri kaugusele, tuultele avatud klindipealsele nukile; valikut soodustas arvatavasti ka rohkelt jäätmehoidlaste käsitööliste töökodade lähedus jäätmehoidlale, et oleks lihtsam ladestada prügi (*ibid.*).

Jahu tänav 6 arheoloogilistelt kaevamistelt leiti kokku üle 40 000 leiu (Russow *et al.* 2019, 216). Uurimistöös on kasutatud metall-esemeid leiukogust (uurimistöö alguseks polnud kõik leiud veel sorteeritud). Esemel valiti muuseumi kogus olemas olnud alanumbri järgi. Jahu tänava leidude seas oli rõivakinnitusdetailide valik suur: üle 40 pandla, üle 20 haagi, üle 60 nõobi, üle 17 nõela ja üle 200 naastu, millest suurem osa järgis euroopalikku moodi (Russow *et al.* 2019 217). Ehete seas oli enim levinud helmeste kõrval sõrmused (*ibid.*). Relvastuse all leiti: mõõganuppe, pistoda teravikke, ammuoleotsi, tulirelva katkeid ja 33 tinakuuli (*ibid.*, 218). Suurim rühm tootmisjäätmehoidlaste moodustatud värvilise metalli jääkidest (*ibid.*). Kuna leidude valik on suur ning uurimistöö eesmärk oli anda üldine ülevaade Tallinna 15. sajandi tina- ja vaskesemetest, ei eelistatud ühtegi leiu kategooriat teisele, kõik esemed võeti vastavalt teaduskogu numbridest AI7909:11–4162. Uuringus kasutatud metall-leidude arv on ainult väike osa leidude mahust.

Vaadeldes Jahu tänav 6 leiumaterjali saame järeldada, et vase ja tina sulameid on 15. sajandil kasutatud mitmetes erinevates valdkondades. Vasesulamid on Tallinnas peamiselt esinenud pannalde, sõrmkübarate, pleki, nõelte, pottide, katelde ja muude nipsasjadena. Tinasulamid on valdavalt aga olnud olulisel kohal aknapliiraamistuse kasutusel, kaubaplommide, palvemärkide ja serviisiesemete tootmises. Tinast serviiside nõud olid eelistatult kasutatud seni, kuni nõude tootjad hakkasid kasutama fajanssi ja portselani (Kaplinski 2015, 129).

3.3 Tallinna metallimeistrid

Kuna 14. sajandil tegelesid tina ja vasevalamisega paljud erinevad ametimehed: turvissepad; naela- ja nõelasepad, kannuvalajad, vasesepad, ehtesepad; kellavalajad, suurtükimeistrid;

kannusepad (Kaplinski 1980, tabel 3), oli 15. sajandi metallimeistritel võimalik kitsamalt spetsialiseeruda. Sulamite koostis oli väga mitmekesine, tingituna metalliga tegelevate ametikohtade rohkusest. Seetõttu arvan, et sulamite valmistamiseks polnud kehtestatud rangeid reegleid.

Kui meister hakkas toormaterjali saama rae käest, hakati tsunftides teadaolevalt nõudma linnamärgi löömist lauanõudele, et garanteerida metalli sulami koosseisu, mis oli ette nähtud ja meistrile linnaorganite poolt antud (Vende 1967, 12–13). Juhul kui kontrollimisel selgus, et meister siiski oli enda kasuks muutnud metalli koosseisu esemes ja seda legerinud odavama metalliga, siis karistati tootjat rängalt (*ibid.*, 13). Kuna enne elementanalüüside kasutusele võtmist oli raske tuvastada esemete keemilist legerimist (uurides ainult selle füüsilisi omadusi), siis karistati tootjat rängalt (*ibid.*, 13), siis odavamaid metalle sisaldav sulam võis tekitada probleeme, kuna väliselt paistis see sarnane kvaliteetse tootega aga tema omadused võisid osutada kehvemaks.

Tallinna rae 15. sajandi dokumentaalmaterjalides on kirjas enam kui 15 mitmesuguse metallieriala märksõna (Kaplinski 2015, 115). Kuna polnud veel välja kujunenud selgeid kompetentsipiire, võib üks ja seesama sepp esineda kord kannusepa, kord lukusepa või isegi kellasepa ametinime all. (*ibid.*) 1530. aastatest on teada täpsemalt millised ametid kuulusid Püha Kanuti gildi, ning üheks neist olid valajad-sepad. Püha Kanuti gild mainiti esimest korda aastal 1326, ilmselt asutati see tuginedes Taani gildide eeskujule (Vende 1967, 25). Sellest tuleneb ka gildi skraa ja sümboolika, vapp ja lipp. Gildi kaitsepühakuks oli Taani kuningas Knud IV Püha (Kaplinski 2015, 26). Kanuti gildi koondus ligikaudu 20–30 tsunfti, muutes selle üheks varauusaja suurimaks gildiks (Vende 1967, 27). Valajad-sepad võisid olla erinevate sulamite valajad ning ei olnud spetsialiseerunud kitsalt ühele metallile. Lätis, Riias on tinavalamisega tegeletud vanimate dokumentide alusel, aastast 1269. Sellel ajal tunti Riias tinavalajat kannuvalajana, ilmselt seetõttu, et ka seal tootsid tinavalajad peamiselt kannusid (Svarāne 2015, 130). 1550. aastal moodustati Riias esimene tsunft tinavalajatest, kuid on suhteliselt tõenäoline, et tinavalajad olid koondunud ühte ametkonda juba varem (*ibid.*).

Tallinnas kuulusid tinavalajad seppade tsunfti (Kaplinski 2015, 129–130). 1626. aastal lisati 1549. aasta skraale Rootsi kuninglik käsitöökorraldus, mis lubas kolmest meistrist väiketsunfti loomist, selle tõttu toodi Tallinnasse ka kolmas tinameister (*ibid.*). 1630. aastaks töötas Tallinnas ajutiselt 3 tinavalajat, kes ei kuulunud eraldi tsunfti, kuna raad ega seppade tsunft ei näinud selleks otsest

vajadust (*ibid.*). Lüübeki meistrid võeti assorteerimise (valiku loomise) eesmärgil Tallinnasse tina valama, et keegi jälgiks Baltikumis ühtseid tinavalamisreegleid (*ibid.*). Peale kindla koostisega materjalide kasutamise oli tinavalajatel veel muidki reegleid, millest nad pidid kinni pidama. Näiteks 14. sajandi Pariisis olid kaupmehed pahased, et öösel mõned tinavalajad teevad tööd ja kolistavad, selle vastu kehtestati keeld öösel töötamise suhtes (Nadolski 1986, 33). Tinavalamise oskusi ei tohtinud õpetada tsunftivälistele inimestele (*ibid.*). Tinameister Alstroff Fistrow pidi 1715. aastal maksma tsunfti ühiskassasse trahvi, olles õpetanud kohalikule tiserile, kuidas valada kirstunaelu (*ibid.*). Ei ole välistatud, et Lüübekist Tallinna tulnud tinameistrid tõid endaga kaasa nende kodumaal tunnustatud kombeid ja seadusi, mida eelnevalt on põgusalt mainitud. Iga gildi või vennaskonna olulisim dokument oli skraa – kõigile gildi liikmetele kohustuslik normide kogum (Mänd 2019, 233). Skraa määratles, kes ja mille alusel võib saada gildi liikmeks, kuidas valitakse gildi juhid ja määratletakse teiste ametite täitjad ning millise korra järgi viiakse läbi ühised rituaalid, suurt rõhku pandi skraas ka käitumisnormidele ja ühistunde hoidmisele (*ibid.*). 15.–16. sajandil (ka hiljem) domineerisid Kanuti gildis sakslased, ehkki mõnede erialade esindajate seas leidis ka rootslasi ja eestlasi (*ibid.*).

Enamus Tallinnas alates aastast 1537. valminud tooteid, rae poolt eraldatud materjalist tehtud nii vase- kui ka tinatöötajate poolt, olid markeeritud meistrimärgiga (Vende 1967, 13). Meistrimärgi abil sai kauba ostja kinnitust, et algmaterjal on usaldusväärne, kuna metallitöölised olid kohustatud tootma kvaliteetset toodet, mille metallisulam oleks esemele kohane (*ibid.*). Näiteks kui keegi soovis inglistinast kannu, siis tellija saigi võimalikult madala plii-sisaldusega toote (*ibid.*). Toote tuvastamiseks pandi esemele peale linnamärk, mis viitab selles linnas kehtivale lubatud seadusele (Nadolski 1983, 33–35). Kõige paremaks kvaliteedimärgiks oli „inglistina“, mille sümboliks on roos, mis viitab väga puhtale pliivabale materjalile, ning oli kõige hinnalisem tina (*ibid.*).

Vasesepadel oli Tallinnas palju tööd. Erinevate vasktoodete nõudlus linnas oli suur, seetõttu loodi eraldi vasesepade tsunft (Kaplinski 2015, 121). Tsunfti tegevus on jälgitav 14. sajandi II veerandist ning selle peamiseks müügiartiklikuks olid keedu- ja toidunõud, pruuli- ja viinaköögi tarbed (*ibid.*). Enne „Rootsi aega“ valmistasid Tallinna vasksepad oma tooteid osaliselt kohapeal, vanavasest valtsitud plekist (*ibid.*). Tallinna vasesepade, nagu ka tinavalajate, vanimaks tööeeskirjaks võib lugeda kuue „vendi merelinna“ Lübecki, Rostocki, Stralsundi, Wismari, Stettini ja Greiswaldi raadide kokkuleppeid aastatest 1354. ja 1376, mis kanti 1380. aastal ka Tallinna rae

märkmeraamatusse (*ibid.*). Selles tööeskirjas kinnitati, et vasknõude valamiseks vajaliku vasesulami koostiseks tuleb võtta võrdsetes kogustes „pehmet ja kõva vaske“ (*ibid.*). Võib oletada, et „pehme vase“ all mõeldakse uut puhast toormaterjali ja „kõva vase all“ vana taaskasutatavat materjali.

Tina- ja vasesulamist esemete tootmise üheks eripäraks on see, et toote ülejääke ja praake saab hõlpsasti ümber töödelda ilma toorainet raiskamata. Sepikodades jääb raua tootmise puhul jäätmeid alles väikeste rauatükkide kujul, nende kokkukeevitamine on ajamahukas- ja ressursi nõudev tegevus, mis ei pruugi end ära tasuda (Saage 2020, 9). Jahu tänav 6 prügiladestuspaigast tulnud tina- ja vasesulamist esemete osakaalu rohkus on tõendiks, et Tallinna linna elanike jaoks olid tina- ja vasesulamist tooted muutunud igapäevasteks mass-tarbeesemeteks.

4. Metoodika

Uurimistöös kasutatakse arheomeetrilisi uuringuid, et saada teada 15. sajandi metallide ja nende sulamite koostis. Arheomeetria on teadussuund, kus uuritakse arheoloogilisi leide loodusteaduslike analüüsidega. Üks levinud uurimisviise metallesemete uuringuks on röntgenfluorestsents-spektromeetriga (XRF) elementanalüüside tegemine. XRF annab informatsiooni uuritava objekti keemilisest koostisest magneesiumist (Mg) kuni uraaniumini (U) välja.⁷ Esimene arheoloogiaga seotud XRF uuring on teostatud Berkeley poolt Oxfordis, aastal 1960, kui ta uuris Rooma impeeriumi aegseid münte (Shackley 2011, 11).

Esemete keemilise koostise uuringuks uurimistöös kasutati portatiivset röntgenfluorestsents-spektromeetrit ehk pXRF-i, mille suureks eeliseks on võimalus viia see leiukogusse kohale. Laboratoorne XRF on täpsem ja võimaldab mõõta mitut eset korraga, pXRF võimaldab uurida ainult ühe eseme keemilist koostist. XRFi kasutamine on aina enam populaarsust koguv kvantitatiivne mõõtmismeetod arheoloogias, mis võimaldab uurida eseme keemilist koostist ilma seda vigastamata. Leide analüüsiti spektromeetriga Bruker Tracer III-SD, mis oli varustatud kollase filtriga (305 µm Al + 25µm Ti) ja mõõtmisel kasutati seadeid: aeg 1 minut, pinge 40 kV, voolutugevus 10,7 µA.

pXRF-i üheks esimeseks negatiivseks küljeks, on selle väike mõõteraadius, jäädes 5x3 mm suuruseks.⁸ Sellega seoses tuleb olla valiv, kust kohast eset mõõta. Mida lähemal on mõõdetav ese mõõteaknale, seda rohkem Rh kiirgust peegeldub pXRFi mõõteseadistusse tagasi (Bayley 1991, 3–4). Lisaks tuleb pXRF-iga mõõtes arvestada eseme pealiskihi seisukorda, kuna pXRFist tulev kiirgus ei lähe kuigi sügavale eseme sisse (*ibid.*). Tallinna Ülikooli arheoloogia teaduskogus olevad Jahu tänav 6 esemed olid heas seisus, ning osa leide olid mõõtmise ajal konserveerimisel. Esemed, mis mõõdeti olid vahemikus AI 7909: 11–4162.

Analüüsi tulemusel salvestati esemete koostisest spektrid, kus on näha ainult elementide kontsentratsioonide alusel intensiivsuskõveraid, mille kõrge numbriline väärtus näitab suurt

⁷ [<https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/handheld-xrf/archaeometry.html> (27.01.2020)]

⁸ [https://www.researchgate.net/publication/230528629_Non-destructive_analysis_using_PXRF_Methodology_and_application_to_archaeological_ceramics (27.01.2020)]

elemendi kontsentratsiooni, samas kui madal näitab elemendi vähest kontsentratsiooni (Douglas & Leary 1992, 357). Mõõtmised on salvestatud Brukeri poolt välja töötatud formaadis ja spektreid saab vaadelda Brukeri tarkvaraga S1PXRf. Iga eseme spektrit vaadeldi eraldi, et kinnitada kõikide kalibratsioonis kuvatavate elementide tegelik olemasolu, kuna kalibreerimiseks kasutatavates standardites võib esineda rohkem elemente kui uuritavas esemes). Kalibratsioone kasutati kvantitatiivsete tulemuste saamiseks. Kui ese koosnes peamiselt vasest, kasutati CU1 ja CU3 kalibratsiooni, kui aga ese koosnes tinast või pliiist, kasutati PEW kalibratsiooni. Kalibratsioonid CU1 ja CU3 on tootja poolt pXRf-iga kaasa antud, kuid PEW kalibratsioon on autori enda poolt koostatud koostöös Brukeri firma töötaja Lee Drake'iga (Liivak 2018 13–16).⁹ Vasesulamite puhul eelistati pigem CU1 kalibratsiooni, kuid suure pliiisisalduse korral pidi kasutama CU3 kalibratsiooni. Ebaõige võivad kalibratsiooni kasutamisel olla mõõtetulemused valed, mis on tingitud sellest, et standardid, mille alusel kalibratsioon on valmis tehtud, võivad olla uuritavast metallist erineva koostisega.

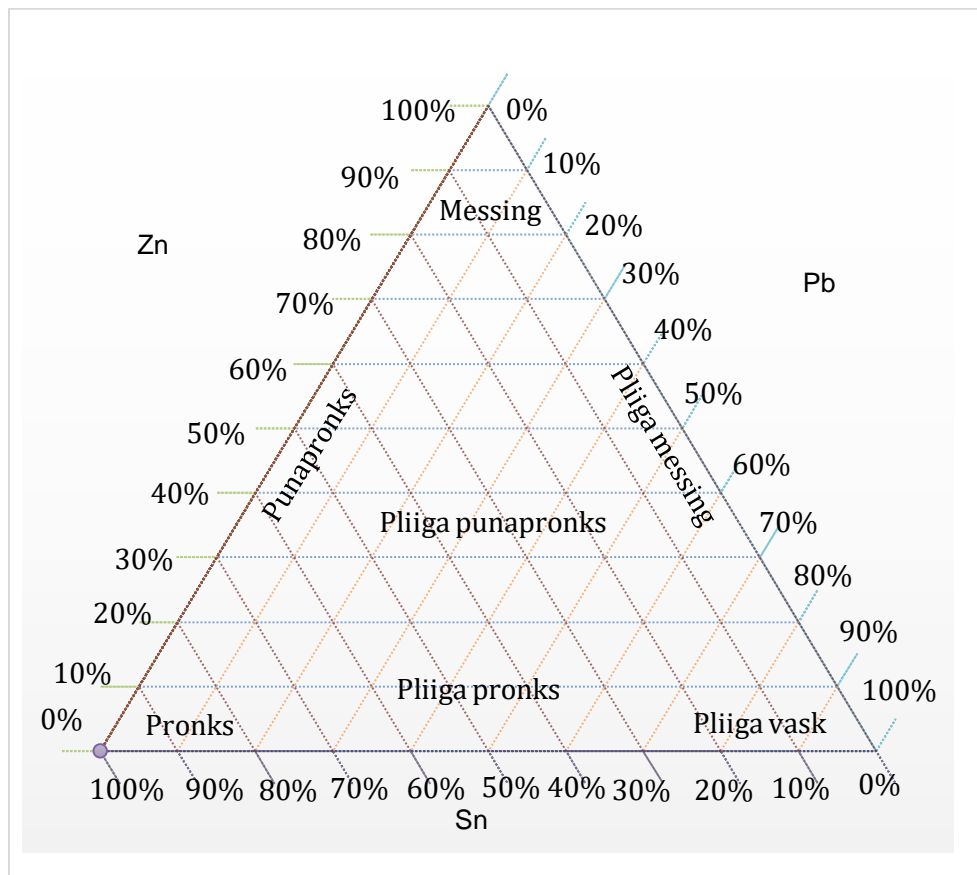
CU1 kalibreeringu viga seisnes selles, et kalibreering ei suutnud tuvastada sulamit, milles oli kõrge raua ja plii sisaldus, seetõttu jäid need tulemused esitamata. Kuna kalibreeringu CU1 juures oli selle usaldusväärsuses kahtlusi, võrreldi neid CU1 ebaõnnestunud tulemusi CU3 kalibreeringuga, mille tulemusi kontrolliti PEW kalibreeringu standarditega, mis on koostatud autori proseminaritöö raames (Liivak 2017, standardid 1–16). Võrdluses selgus, et CU3 suudab täpsemalt mõõta sulameid, kus vase osakaal on olemas, vastasel juhul näitab kalibreering tulemuses elementide olemasolu, mida standardis pole esitatud. CU3 kalibreering andis paremaid tulemusi vasesulamitele, mis sisaldasid rohkem pliid.

Kõiki esemeid mõõdeti ühe korra, kõige tervemast ja paremini säilinud kohast, tavaliselt eseme keskosast. Pärast mõõtmist oli vaja ka aparraadi mõõtmispinda puhastada, et vältida eelneva eseme metallipurust tulenevaid vigu. Oluline oli mõõtmise juures vältida korrosioonikihi mõõtmist või tinakatkust pinda, mis annaksid eseme keemilise koostisest ebatäpse tulemuse. Korrosiooniproduktid eseme pinnal võivad enda koostisesse siduda pinnases leiduvaid elemente, mis ei ole eseme algse koostise osad.

⁹ CU1 annab ülevaate järgnevatest elementidest: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Bi, Zr, Nb, Ag, Sn ja Sb.
CU3 annab aga ülevaate: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Sn ja Sb.
PEW kalibratsioon annab aga ülevaate: Fe, Ni, Cu, Pb, Bi, Sn ja Sb.

Pärast vaatlusi ja kvantifitseerimist S1PXRF programmis, kanti mõõtmis tulemused edasi Exceli tabeli programmi. Lisaks keemilise koostise kindlakstegemisele, püüti ka eseme välimuse järgi tuvastada, kas tegemist on sepistatud, stantsitud või valatud objektiga. Tabelitesse (lisad 1, 2, 3) kandmisel jätsin välja elemendid, mille osakaal oli alla 0,1%, kuna sellise kontsentratsiooni korral on kaheldav et tegemist on tahtliku lisandiga. Alles jäänud elementide sisaldused normaliseeriti 100% peale.

Vasest esemete puhul kasutati Bayley ja Butcheri metodoloogiat (Bayley, Butcher 2014, 24), mille peamiseks eesmärgiks on vaadelda esemeid kolmnurkdiagrammis. Selle meetodika peamiseks eesmärgiks on anda visuaalne ülevaade vasesulamites olevast tina, plii ja tsingi osakaalust. Tina ja plii sulamite puhul kolmnurkdiagrammi ei rakendatud. Kolmnurkdiagrammide tegemisel kasutati Graham ja Midgley (2000) poolt loodud Exceli valemit.

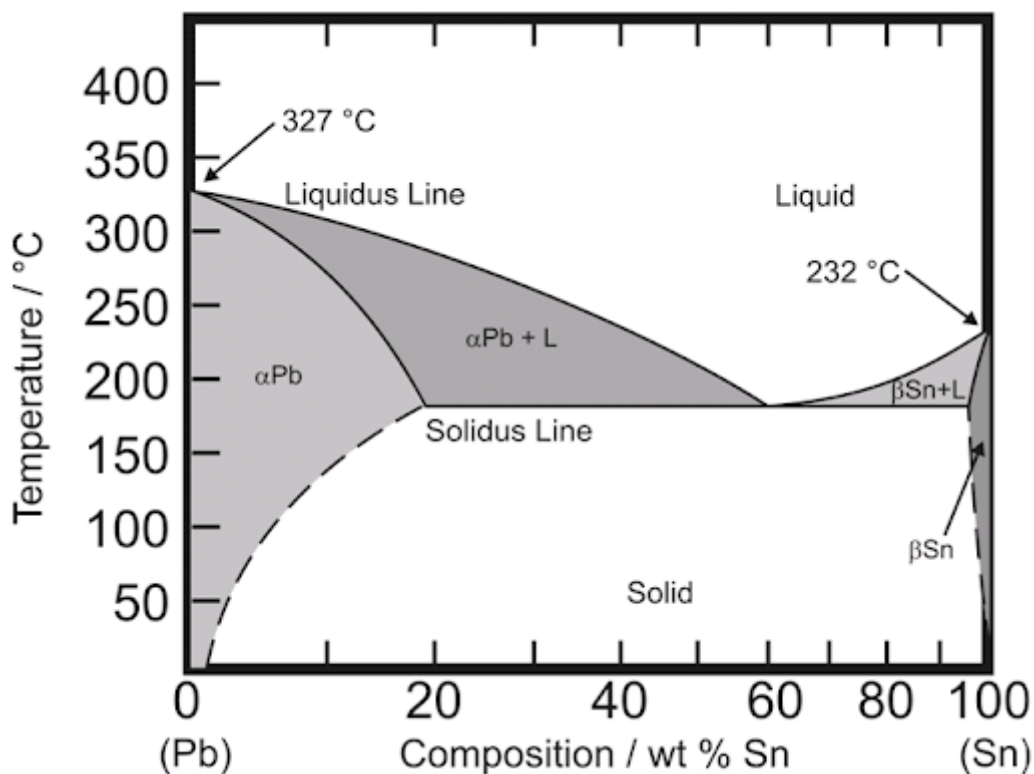


Joonis 1. Kolmnurkdiagrammi näidis (Bayley/Butcher 2014, 24 meetodika alusel ja diagramm tehtud Graham ja Midgley 2000, valemi alusel)

Sulamid (messing, pronks, punapronks jne) moodustuvad erineva osakaaluga metallidest (vask, tina, tsink jne). Messing on vase ja tsingi segu ning pronks on tina ja vase sulam. Tina sulamite erinevate nimetuste aluseks on, tina, plii ja vase protsentuaalne osakaal sulamis. Näiteks on inglisiin väheses koguses vaske, nii-öelda puhtas tinasulamis, on pliisisaldus minimaalne ja „vale-tina“ pliisisaldus sulamis on kuni 50%.

Vasesulamitest saadud tulemuste kandmine kolmnurkdiagrammi annab meile parema ülevaate seppade/valajate eelistustest. Tulpdiagramm võimaldab meil vaadelda üksikuid objekte samas kui kolmnurkdiagramm annab ülevaate kogumist tervikuna. Normaliseeritud tulemused kanti kolmnurkdiagrammi (Roxburgh *et al.* 2018, 8). Peamisi eeliseid kolmnurkdiagrammi kasutamise juures, on selle omadus kategoriseerida esemeid nende otstarbe alusel (*ibid.*, 9) ning mitte piiritledes esemeid rangelt nagu tulpdiagrammis esitatult. Kolmnurkdiagrammide kasutamisel tuleks aga hoiduda sellest, et ei kategoriseeritaks peaaegu puhast vaske mikroelementide alusel mõnda eeltoodud kategooriasse (näiteks pronks), kuna kolmnurkdiagramm ei arvesta vase enda osakaalu sulamis (*ibid.*, 9).

Mõõtmistulemuste viimistluse juures, vaadeldi vajadusel ka erinevusi ja sarnasusi erinevate kalibratsioonidega. Alles jäeti kõige rohkem pXRF mõõtetulemustega ja kalibratsioonidega kattuvad tulemused (lähtudes S1PXRF programmis kajastuvate mõõte-piikide uuringutest). CU3 ja CU1 on mõlemad küll vasesulamite kalibreeringud, kuid CU3 tuvastab paremini plii osakaalu sulamis, samas kui CU1 näitab, et pliid pole üldsegi. Lõplik valik tehti iga eseme vaatluse ja võrdluse tulemusena.



Joonis 2. Tina (Sn) ja plii (Pb) faasidiagramm¹⁰

Tina-plii esemete juures, võrreldi tulemusi tina ja plii faasidiagrammiga. Diagrammi alusel saab järeldada, mis oli sulami juures oletatav töötlemistemperatuur, vastavalt tina ja plii vahekorrale. Nende kahe elemendi osakaalu muutumine sulamis mõjutab selle sulamistemperatuuri. Kui puhta tina sulamistemperatuur on 232°C ja plii sulamistemperatuur on 327°C, siis nende segu sulamistemperatuur võib sõltuvalt tina ja plii osakaalust 100°C ulatuses. Tulenevalt sellest on erineva koostisega tina-plii sulamid võimaldanud tööd hõlbustada ja kiirendada.

¹⁰ [(http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Solidification/Phase_Diagrams.html 25.04.2020)]

5. Mõõtmistulemused

Kokku mõõdeti 511 eset, kuid usaldusväärseid tulemusi saadi 340 eseme kohta. Usaldusväärseks tulemuseks pidasin kalibreeritud sisaldust, mille puhul oli kalibratsioon andnud positiivse väärtuse kõikide spektril esinenud elementide kohta. Enamus tulemustest, mis ei andnud korrektset vastet, on seotud valdavalt sellega, et Jahu 6 jäätmekastis leidis väga palju erinevatest sulamitest esemeid, mille kohta Tartu Ülikooli arheoloogia osakonnas kasutusel oleva pXRFil kalibratsioonid puuduvad. Mõõtetulemuste juures väikese osakaaluga elementide (kuni 2%) olemasolu, ei ole sulami keemilises koostises (kuna on vähe tõenäoline, et metallivalajad oleksid tahtlikult lisanud väga väikese protsentuaalse koostisega elemente sulamisse), küll aga võib see anda infot sulatatud maagi oksiididest ja sulfiididest (Martinon-Torres, *et. al.*, 2018, 39).

Heaks võrdlusmaterjaliks on Bromhammist leitud kahe vasekoogi ilmsiks tulek, mida kasutati justkui vasekangi. Vasekookide tegemine oli tavaks 15. sajandil (Martinon-Torres *et. al.*, 2018, 44). Vasekoogi eripäraks on see, et kuna ta on lapik ja kumer on sellest lihtne valmistada potte, plii isotoobi analüüsi tulemusena on selgunud, et need kaks vasekooki on pärit Harzi mägedest Saksimaalt (*ibid.*) ning nende kohta on tehtud pXRF mõõtmis tulemused: Fe 0.04, Ni 0.04 – 0.03, Cu 99.2 – 97.4 ja Pb 0.7 – 2.6 (*ibid.*, 40). Sellest tulenevalt saame osade vase-sulamite juures oletada, et eseme toormaterjal võis pärineda ka samast Saksimaa leiukohast.

Peamised elemendid, mis esemetes suuremas mahus esinesid, olid Cu, Zn, Sn ja Pb. Eelnevalt nimetatud elementidel on puhtal kujul erinev sulamistemperatuur, näiteks Cu 1082 °C, Zn 419 °C, Sn 232 °C ja Pb 327 °C, millest tulenevalt neid omavahel segades muutub saadava metalli sulamistemperatuur (Kulu *et al.* 2001, 33, 37–38). Vase-tsingi ja vase-tina sulamistemperatuur jääb kõrgemale kui 1000°C, juhul kui vasesisaldus sulamis jääb alla 90% (Saage 2020, 41). Vasesulamitel on erinevad omadused, mida teades saab neid kasutada vastavalt erineval otstarbel. Erinevused omadustes on järgenvad: puhas vasesulam on hea elektrijuhtivusega, korrosioonikindel ja hästi ümbertöödeldav; messing on poleeritav, korrosioonikindel, läikiv, keskmise tugevusega ja hea ümbertöödeldavusega; vase-plii sulam on väga kergesti ümbertöödeldav (Ficher *et al.* 2010, 173).

Vasesulamite segamist teiste metallide ja elementidega tunti juba ammusel ajal. Suurema osakaaluga elemendid (lähtudes varasematest näidetest) on tsink, tina ja plii, kuid nende kolme elemendi kõrval, on olnud sulamites ka vismut ja antimon. Enamasti on antimon ja vismut tulnud sulamisse lisandina vasemaagist (Roberts, Thornton 2014, 176). Sellest tulenevalt on erinevatest kaevandustest pärit maagi keemilise koostise eripäradest tingituna olnud valmistoodangus varieeruvust vasesulamite värvis ja omadustes (*ibid.*). Pole välistatud, et erinäolise toodangu saamiseks on meistrid kasutanud teadmisi erinevast leiukohast saadud maagi omapäradest.

Tina ja plii lisamine vasesulamisse muudab peale füüsiliste omaduste ka värvust. Pole välistatud, et 15. sajandi sepad olid teadlikud, mis osakaalus tina, tsingi või plii lisamisel saavutada sulamile konkreetne värvus. Fang ja McDonnell on oma uuringus (2011) tuvastanud, et vasesulamite värvus muutub tina ja plii lisamisel. Peamiselt tuvastati kaks trendi, millest ühe puhul, kui tina on sulamis 15%, muudab see sulami vähem punakaks, teisel puhul on kõrgema tina osakaaluga vase-sulamis tina osakaaluks juba (18%–33%), mis muuda tina vase-sulamit vähem punakaks vaid langetab kollaka värvuse intensiivsust (Fang, McDonnell 2011, 54).

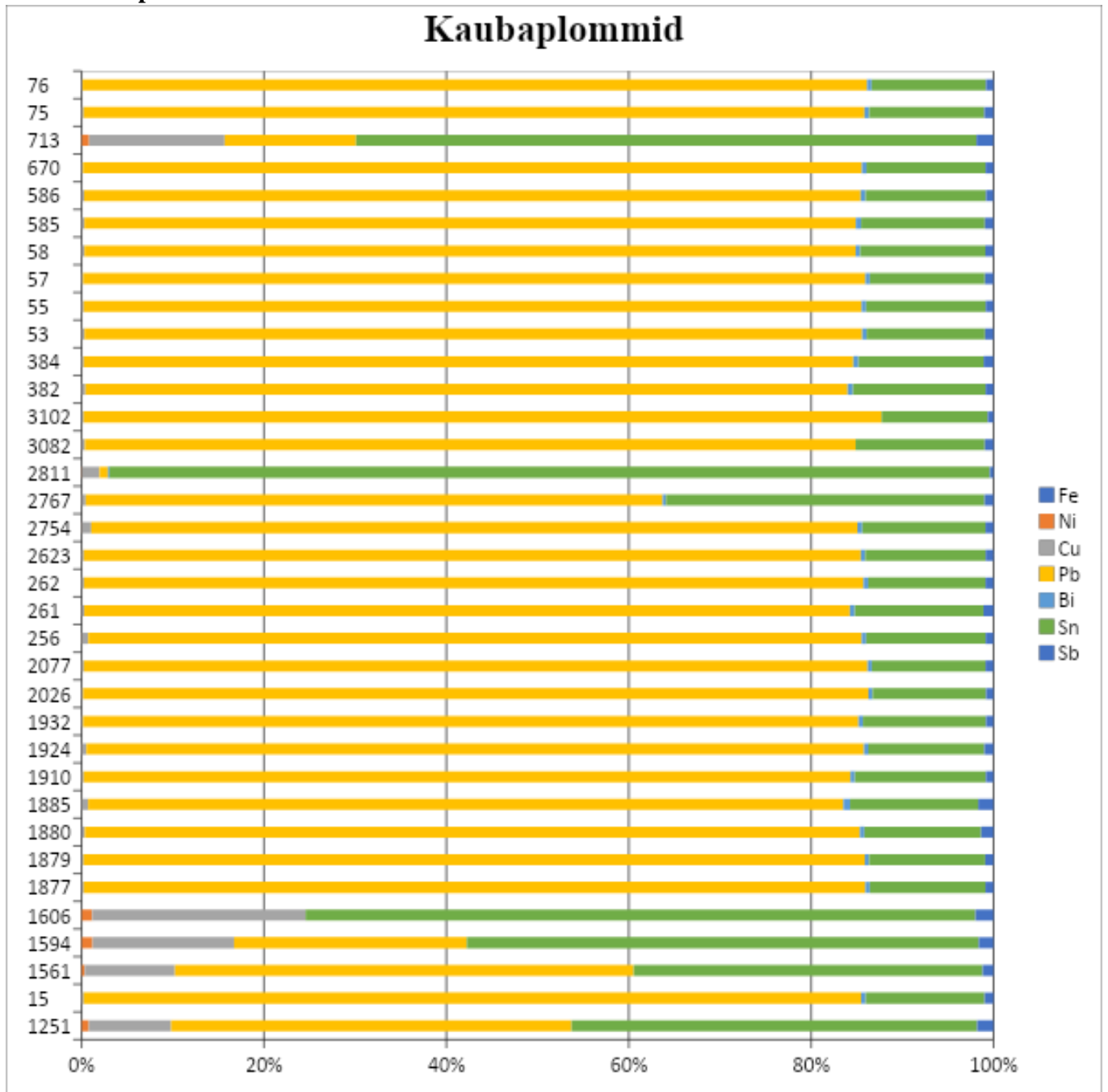
Lisaks tinale ja pliile, muudab metalli värvust tsingi lisamine. Kui messingus on tsingi osakaal 15% on see isegi kollast kollasem (Fang, McDonnell 2011, 57). Kui sulamis on tinski juba üle 30% muutub selle värv rohkem rohekaks (*ibid.*). Punapronksi juures on täheldatud, et kui suurendada tsingi osakaalu sulamis, muudab see sulami vähem punakaks ja rohkem kollakaks ning selle osakaalu vähendades, muutub sulam punakaks (*ibid.*). Plii 5–10% osakaal sulamis muudab selle rohkem hõbedaseks, vähendades punase ja kollase värvi osakaalu (*ibid.*).

Plii mõjub messingi plastilistele omadustele halvasti (Guljajev 1962, 302). Samas, tsingi osakaalu tõustes messingi sepistatavus paraneb, saavutades haripunkti 30%-se sisalduse juures, millest suurema tsingiprotsendi juures hakkab sepistatavus järsult langema (*ibid.*). Sellest on ilmselt lähtunud ka Jahu tänava 6 metall leidude valmistamise juures, kus peamiseks esinevaks vasetüübiks on messing.

5.1 Tina-plii koostisega esemete mõõtmised

PEW kalibratsiooniga sai esitatavad tulemused 116 esemest. Mõõtetulemused on jaotatud kategooriatesse: kaubaplommid, palverännumärgid, ehted, naastud ja *varia*. Kategooriate moodustamise juures, on lähtunud kõige enam esemete välise kirjelduse kattuvusest, kui paigutada 116 eset ühte tabelisse, oleks seda keeruline võrrelda. Kõikide tina-plii esemete keskmine plii osakaal on 51,2%, tina 43,2%, vismuti 5,5%, vase 3,9% antimoni 1,3% ja nikli 0,2%. Peamiseks tina-esemete valmistamisviisiks on valamine, kuid ainuke erinevuseks on naastud, mille puhul kasutati stantsimist.

5.1.1 Kaubaplommid



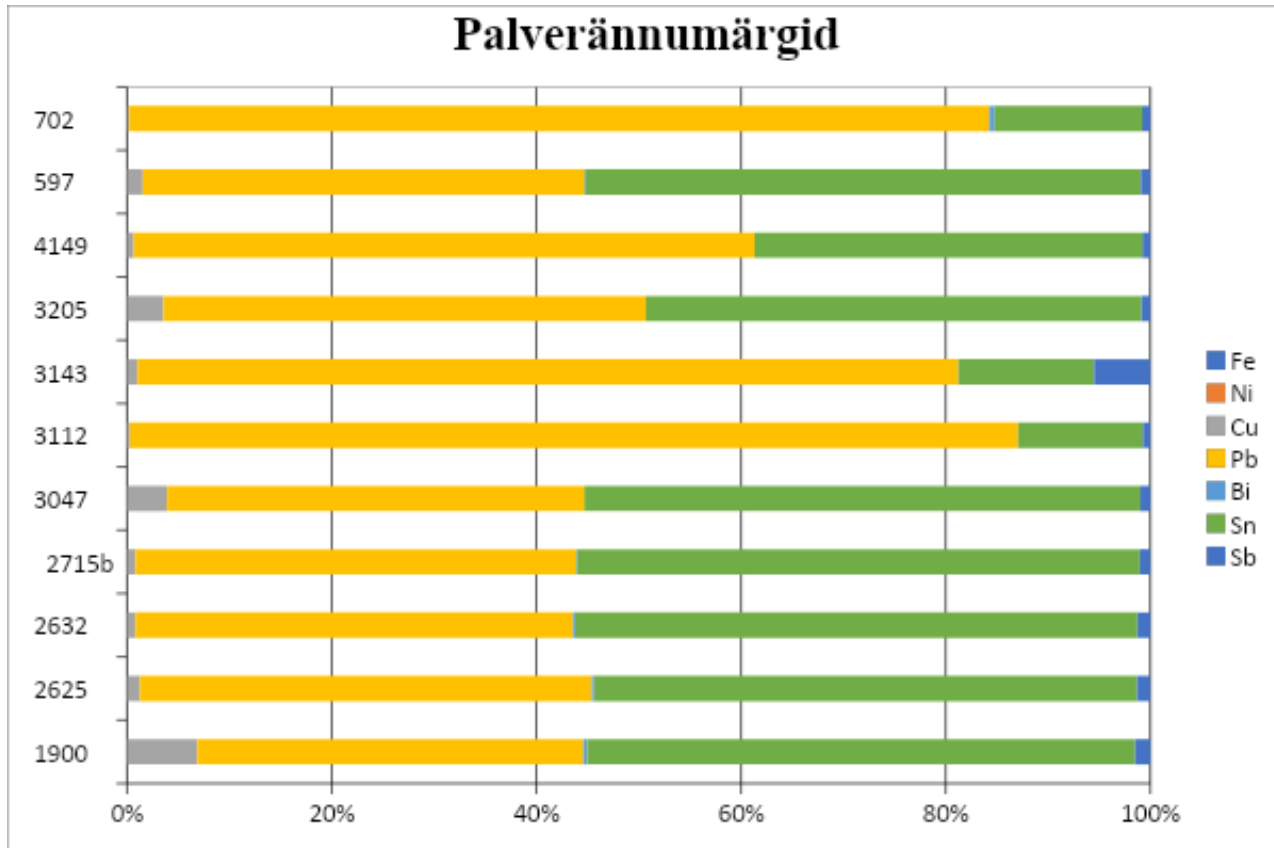
Joonis 3. pXRF analüüs Jahu tn 6 kaubaplommidest.

117 esemest oli kaubaplommide 35, neil on kõige suurem osakaal uuritud tina-plii leidude hulgas. Kaubaplommide keskmine plii osakaal on 54% (mis on kõige suurem pliisisaldus uuritud esemete hulgas) ja tina keskmine osakaal on 41,6%. Tina-plii leidude uuringu tulemusena selgus, et viies

kaubaplommis esineb ligi üle 10% vaske ning ainult üks kaubaplomm on üle 90% tina koostisega. Kaubaplommis number 2811 esineb kõige suuremal hulgal tina - 96,5%.

Saame väita, et enamused kaubaploome valati plii ja vähese tina segust, erandjuhtudel suurema tinakoguse ja vase segust. Väidetavalt on pliid kasutatud tema võime pärast parandada sulami voolavust (parim 40% plii sisalduse juures) ja tõsta sulami kõvaduse ja vastupidavuse taset (Tylecote 2002, 35). Samal põhjusel lisati pliid ka pronksile (*ibid.*, 35). Tulemuste põhjal saab oletada, kas kaubaplommi valamiseks kasutati suvalist saadaval olevat tinasulamit või oldi kaubaplommi valmistamisel teadlikud selle koostisest. Juhul kui oldi teadlikud, siis ei ole välistatud, et olulise ja väärtusliku kauba peale pandi kõrge tina- ja vaseseguga kaubaplomm, et näidata kauba edasitoimetajatele selle olulisust. Need kaubaploomid olid vähese pliisisaldusega, samas neil tinasulamist ploommidel kuhu on lisatud vaske, on väliselt suurem läige. Põhjaliku järeltöötlemiseks, tuleks uurida kaubaploommide päritolu, mille põhjal saaksime kindlamalt väita, kas kaubaploommide sulami erinevus on tingitud tooraine kättesaadavusest ja selle omakorda lihtsamast töötlemisviisist. Võimalik on, et säästa kinniplommitavat materjali, kasutati 40-60% plii sulamit, mille sulamistemperatuuri vahe pliiga on 250 – 183°C.

5.1.2 Palverännumärgid



Joonis 4. pXRF analüüs Jahu tn 6 palverännumärkidest.

Leidude hulgast 11 olid palverännumärgid. Palverännumärkide keskmine plii osakaal on 55% ja tina keskmine sisaldus on 41,7%. Võrreldes paljude teiste tina-plii esemetega, on palvemärkides kõige vähem vismutit ning väga vähesel määral vaske. Erandiks on palvemärk (Joonis 4: 7; AI 7909:3143), mille antimoni sisaldus on 5,5%, mis on kõige kõrgem antimoni sisaldus tina-plii esemete hulgas. Teiste leidude seas on kõrge antimoni sisaldusega (4,1%) kaunistus (AI 7909:267).

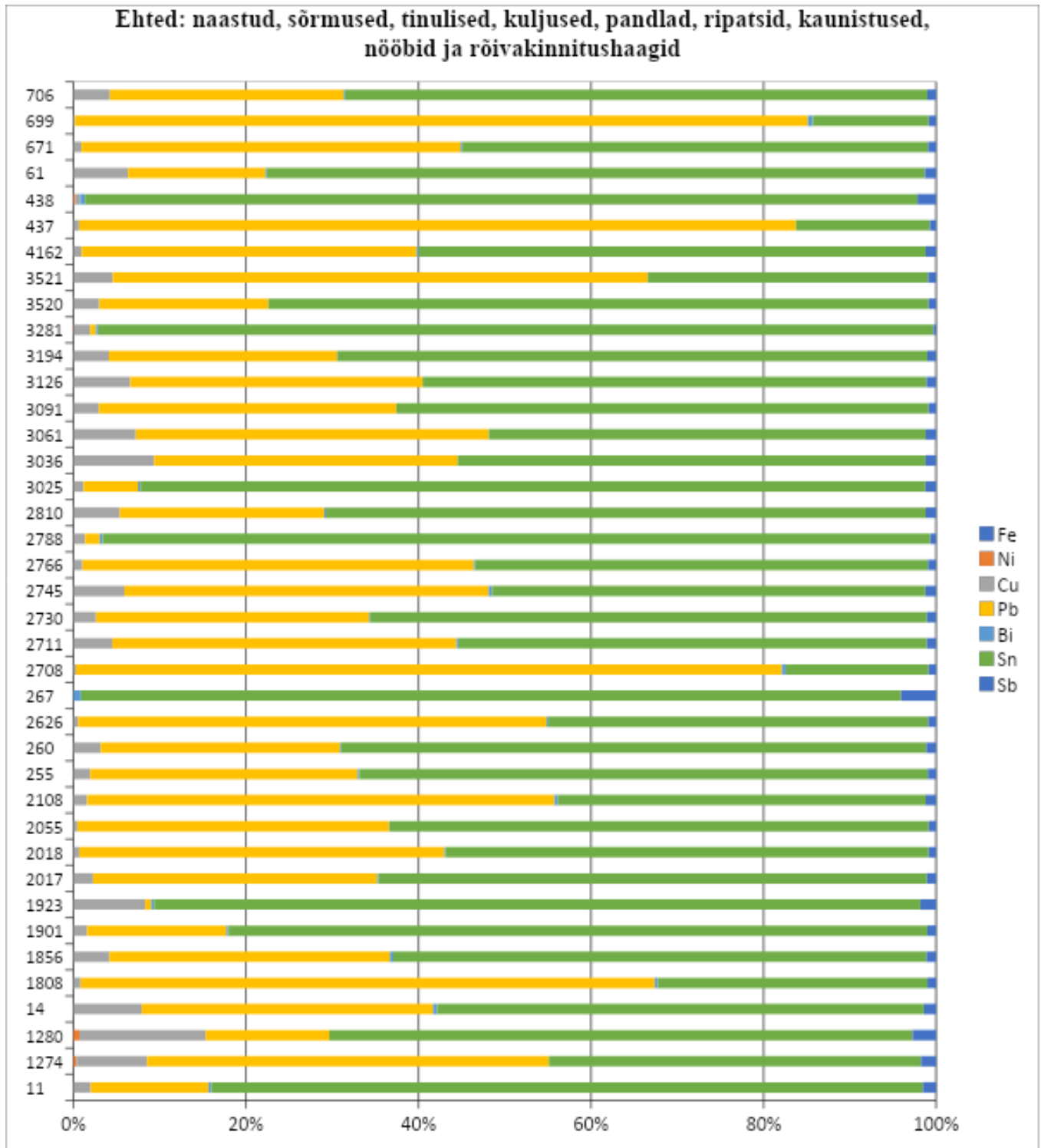
Esimene kirjalik tõend Euroopas antimoni lisamisest sulamisse, jääb aastasse 1540, teosest „De la pyrotechnica“, kus on kirjeldatud selle kasutamist sulamis parema läike saavutamiseks. Jahu tänava leidude seast, mis on varasema dateeringuga, esineb antimoni sisaldus esemetes oletatavalt nendele

parema läike andmisega, kuid suurem tõenäosus on, et antimon on sisaldunud maagis, mida kasutati sulami valmistamisel.

Palverännumärgid on esemete kategooriatest kõige ühtlasema keemilise koostisega. Uurimistöös olevad palverännumärgid on välimuselt erinevad, kuid nende keemilised koostised on suhteliselt sarnased. Palverännumärkides jääb plii osakaal keskmiselt 55% juurde, faasidiagrammist (joonis 2) on näha, et selline pliisisaldus põhjustab madalama sulamistemperatuuri.

13. sajandil tõusis suurel määral tinatoodete nõudlus, mis oli seotud palverännakute laialdasema levikuga (Berger 2012, 54). On tõenäoline, et Jahu tänav 6 arheoloogilistel kaevamistelt leitud palverännumärgid võivad olla toodetud väljaspool Eestit ja on siia jõudnud erinevatelt palverännakutelt naastes. Kallite kuld- ja hõbeehete kõrval avanes võimalus toota massiliselt tinaehteid, kuna tinavalamisprotsess oli kiirem ja odavam (Berger 2012, 54). Jahu tn 6 jäätmekogumispaiast leitud esemete hulgas oli tinast leide suhteliselt palju.

5.1.3 Ehted



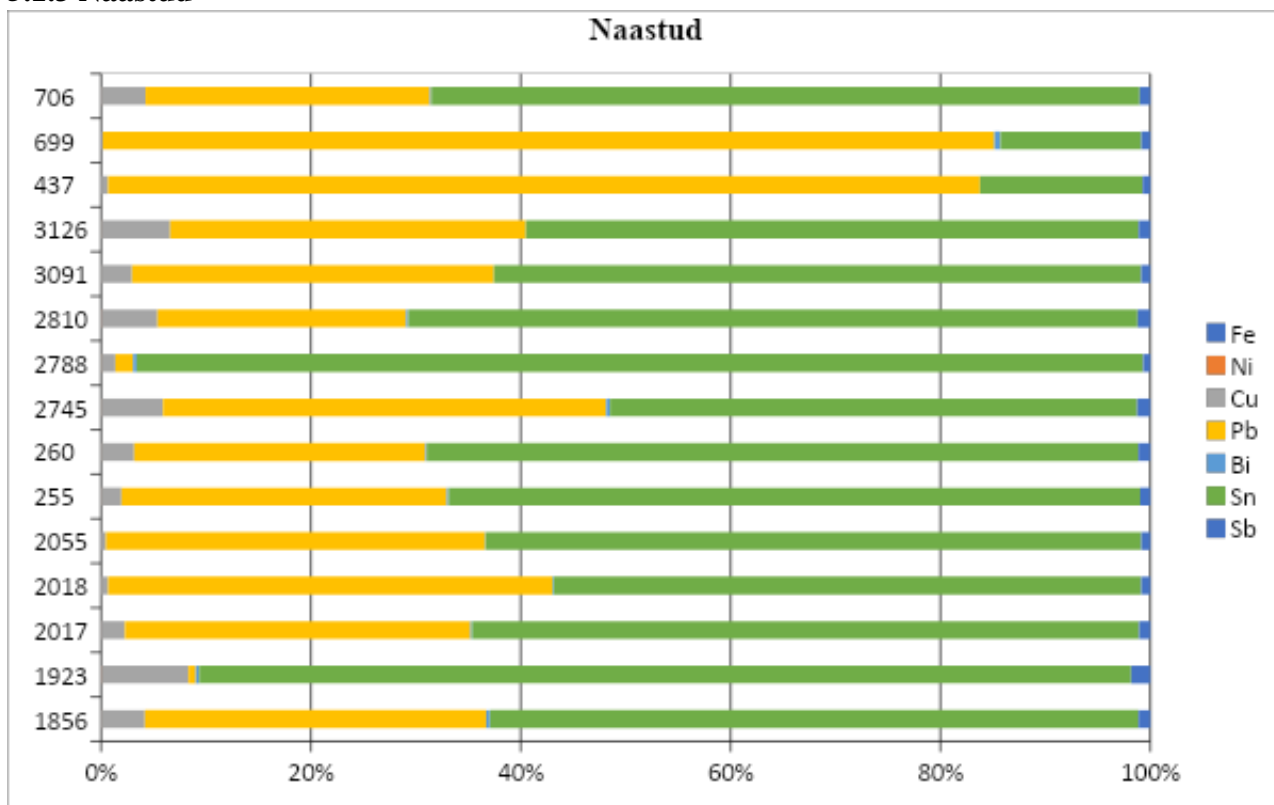
Joonis 5. pXRF analüüs Jahu tn 6 ehtetest.

Kokku sai mõõdetud 39 ehete kategooriasse kuuluvat eset. Ehete kategooria valimisse kuuluvad ka rõivakinnitusdetailid ja kaunistused. Ehetes on keskmine plii osakaal 51,8% ja tina osakaal 42,9%. Kui võrrelda ehte-kategooriat *varia*-kategooriaga, siis üldiselt on ehetes plii osakaal madal ja vaske esineb vähesel määral (alla 10%), neis sisaldub vähesel määral ka antimoni. Kuna tina on suhteliselt madala sulamistemperatuuriga, oli selle valamine palju lihtsam ja vähem aeganõudev ning võimaldas praaki ümber valada (Keeman 2017, 80). See andis võimaluse toota tarbeeseimeid kiiremalt ja enam (*ibid.*). Ehted ja kaunistused jõudsid tänu sellele ka lihtrahvani (*ibid.*).

Heaks võrdluseks on Riias pärit tinaripatsite uuringud (Svarāne 2015). Riias tehtud uuringutes kaheksa 13.–15. sajandi ripatsi keskmine tina osakaal oli 76,18% ja plii osakaal 22% ning esineb ka 0,89% vaske (*ibid.*, 141). Tallinna Jahu tänav 6 viis ripatsit koosnesid keskmiselt 41% tinast ja 55,7% pliist ning vase sisaldus oli 1,8%. Kuna Riias tehtud tinaripatsid olid 20% suurema tinasisaldusega, kui Tallinna ripatsid, siis annab see võimaluse eeldada, et Riiga toodi puhtamat toormaterjali või lisati Riias rohkem tina ripatsitesse, et saavutada parem läige ehetel.

Riias, on tehtud XRF uuringuid ka sõlgedest. XRF uuringu tulemusel leiti, et sõlg ja sõlenõel on tehtud erinevatest sulamitest (Svarāne 2014, 180). Uuringu alla oli võetud 20 tinast valmistatud sõlge ja sõlenõela Riia linnast, 13. – 15. sajandi kultuurikihist (*ibid.*). Nende sõlgede keemilises koostises oli tina 61,94%, pliid 34,69% ja vaske 1,57% (*ibid.*, 181). Jahu tänav 6 leiumaterjali valimis ei olnud ühtegi tinast sõlge, seetõttu võtsin võrdluse alla tabelisse kantud tinaehete kategooria ja Läti sõlgede ja ripatsite keskmise keemilise koostise tulemuse. Riia 26 tinaehete keemiline keskmine koostis on 66% tina ja 31% pliid (Svarāne 2014, 181; 2015, 141), samas kui Tallinna, Jahu tänav tinaehete keskmises keemilises koostises on tina 42,9% ja pliid 51,8%.

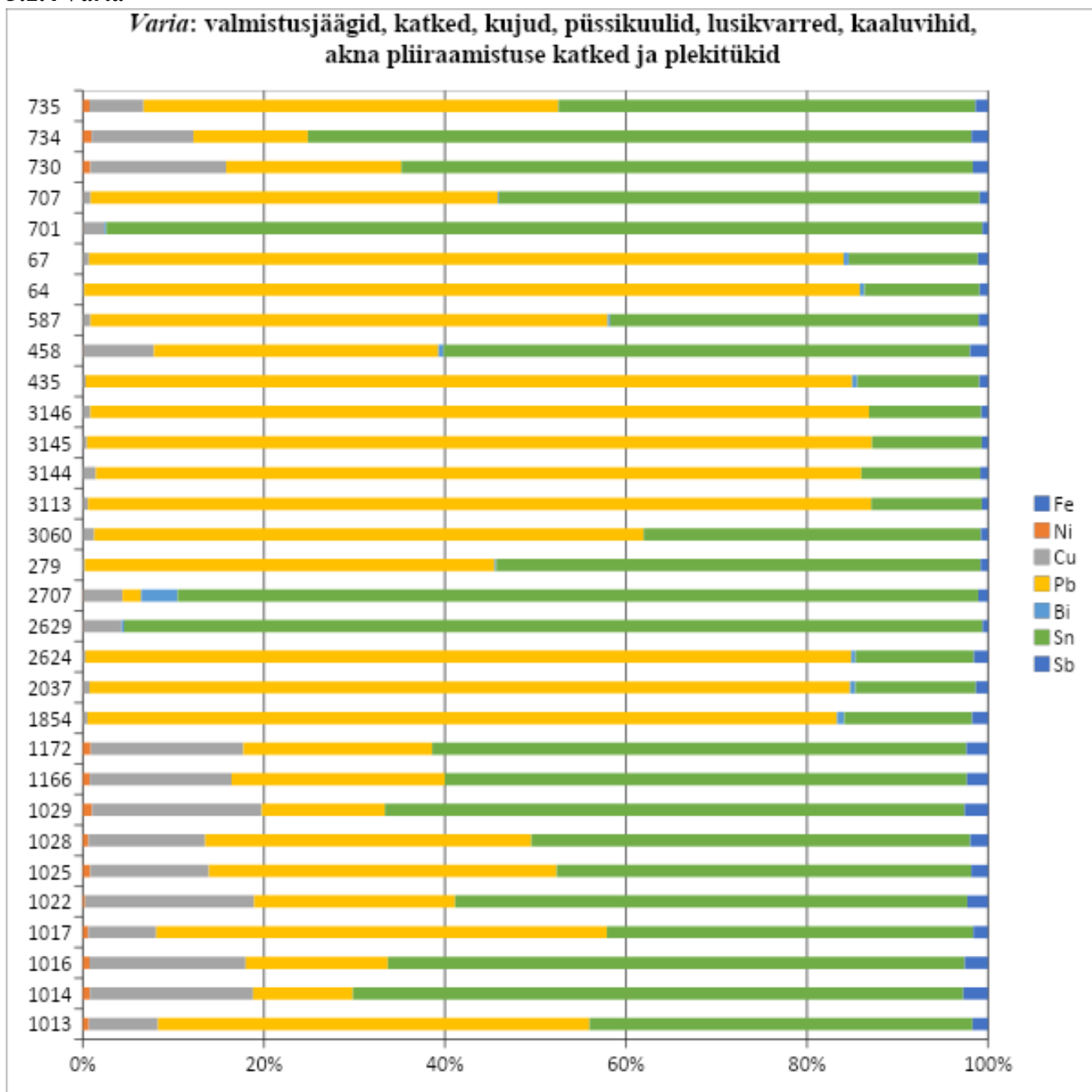
5.1.3 Naastud



Joonis 6. pXRF analüüs Jahu tn 6 naastudest

Kokku mõõdeti 15 tinast naastu, mille keskmine plii osakaal oli 50,7% ja tina osakaal 40,6%. Kui peamiseks tinaesemete valmistamisviisiks oli valamine, siis leidis ka stantsitud esemeid, milleks Jahu tn 6 ainese seas olid naastud. Stantsimine võimaldas ühesuguseid naaste kiiremini toota. Vaadeldes keskmiselt madalamat plii osakaalu naastudes, saame oletada, et stantsimise puhul eelistati väiksema osakaaluga pliid, mis võis lihtsustada stantsimist, suurem plii sisaldus muudab sulami hapraks (Guljajev 1962, 302). Naastude puhul me kindlat sulamieelistust ei leia, küll aga saame väita, et enamus naastudest olid alla 40% plii sisaldusega (joonis 6.).

5.1.4 Varia



Joonis 7. pXRF analüüs Jahu tn 6 varia-st

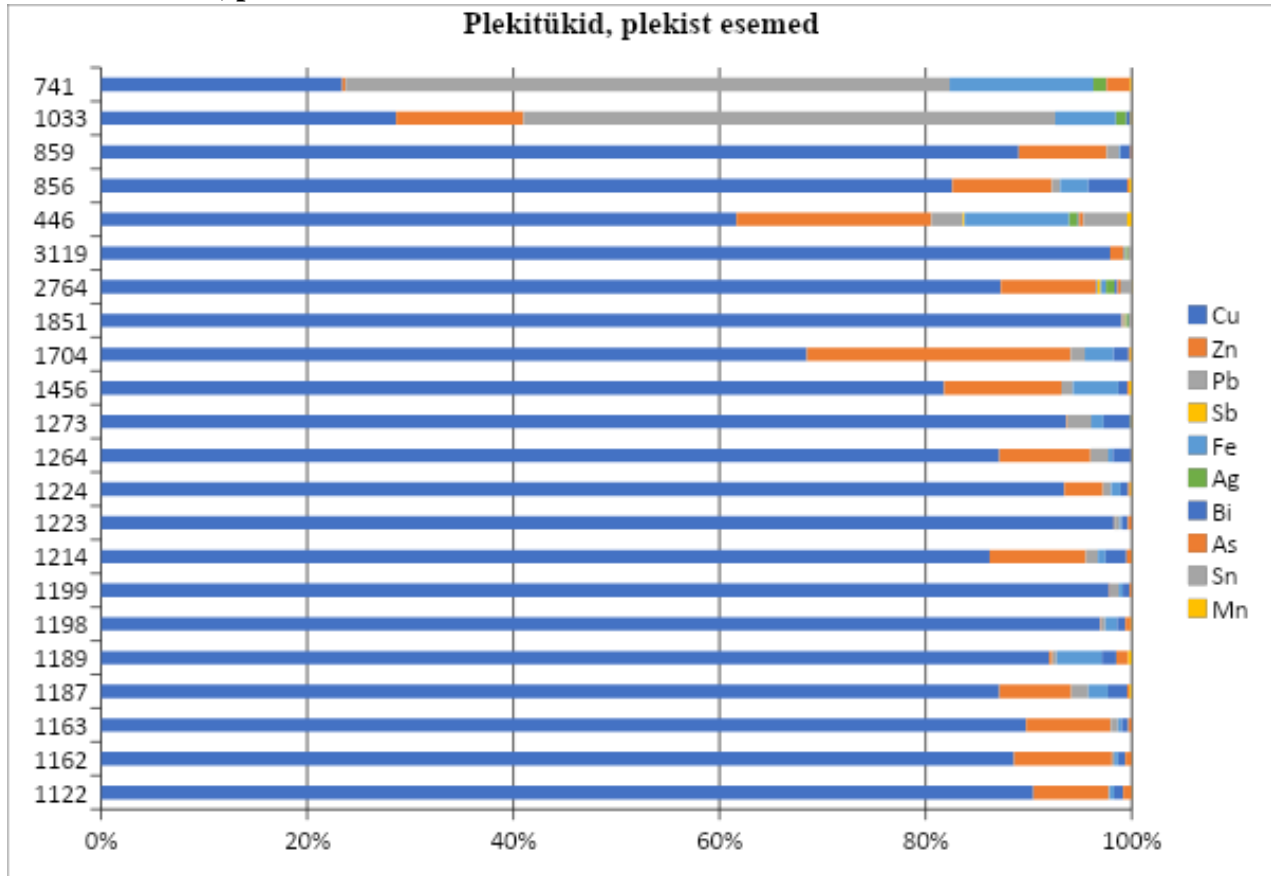
Varia kategooria valim sai moodustatud erinevat tüüpi esemetest, kus mõõdeti kokku 32 eset. Varia kategooria valiku puhul sai paljude esemete puhul määravaks see, et tegu on ainueksemplariga, seetõttu on valim mitmekülgne ja ebahütlane. Varia kategooria esemete keskmine plii koostis on 51,5% ja tina 42,9%. Peale tina ja plii, esines mõnes esemes vähesel

määral vismutit ja antimoni. Vismuti madal osakaal sulamis on tavaliselt seotud tina ja plii toormaterjaliga (Ramdohr 1975, 706, 766) ning antimoni esinemine *varia* kategooria esemetes, võib oletatavalt olla seotud vähem kvaliteetse, või just eripärasema toormaterjaliga, mis ei olnud nii puhas.

5.2 Vasesulamist esemete uuringud

223 vaskleiust on 182 mõõtmist kvantifitseeritud CU1 kalibratsiooniga ja 41 CU3 kalibratsiooniga. Vasesulamist esemete uuringute tulemused on antud nii tulpdiagrammi kujul (joonised 8–12) kui ka kolmnurkdiagrammina (joonised 14–16), et anda parem ülevaade esemete keemilisest koostisest. Vasesulamite tuvastamiseks on kasutatud kahte kalibratsiooni, kuna CU1 kalibratsiooniga ei saanud kvantifitseerida tulemusi, milles on palju pliid. Selle jaoks kasutasin kalibratsiooni CU3. Tabelis on jaotatud esemed erinevatesse kategooriatesse (plekitükid, plekist esemed; naastud; valmistusjäägid; ehted; *varia*) otstarbe ja välise sarnasuse alusel.

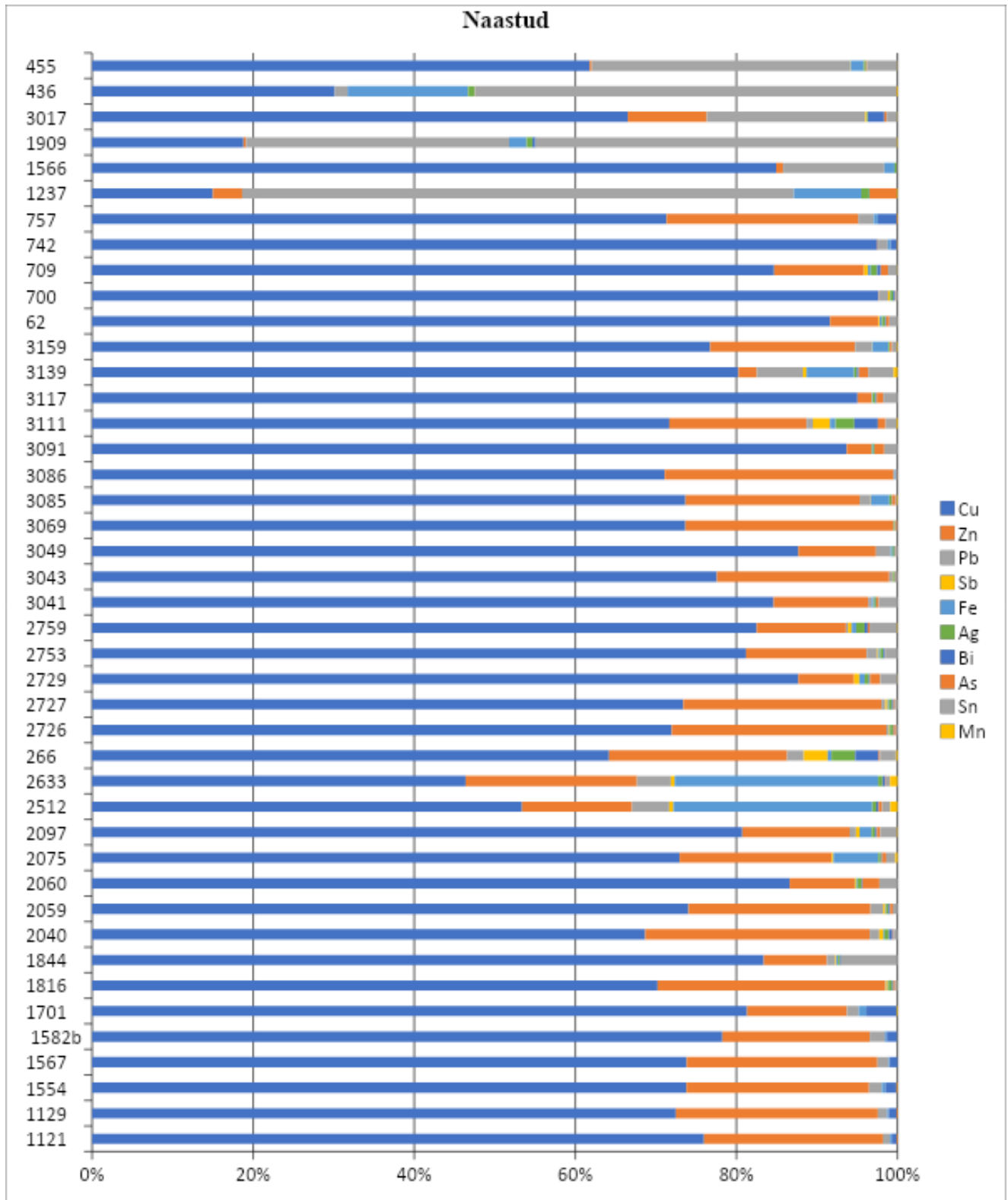
5.2.1 Plekitükid, plekist esemed



Joonis 8. pXRF analüüs Jahu tn 6 lekitükkidest, plekist esemetest

Plekist esemete kategooria määrajaks said õhukesed vasest plekitükid, neid oli uuringus 22 tükki. Plekitükid ja plekist esemed on uuritud leidude seas ühtlaselt kõrge vasesisaldusega. Kahe eseme puhul on suur erinevus neis esineva kõrge plii osakaalu tõttu. Kuna paljudes leidudes esines lisaks vasele ka tsinki, siis võib öelda, et esemete puhul mille Zn sisaldus on vähemalt 5% on tegu messingiga. Pleki peamiseks töötlusviisiks on sepistamine ning vaadeldes graafikus plekis esinevat kõrget vasesisaldust, saame oletada, et pleki sepistamiseks eelistati üle 70% vasesisaldusega sulameid.

5.2.2 Naastud

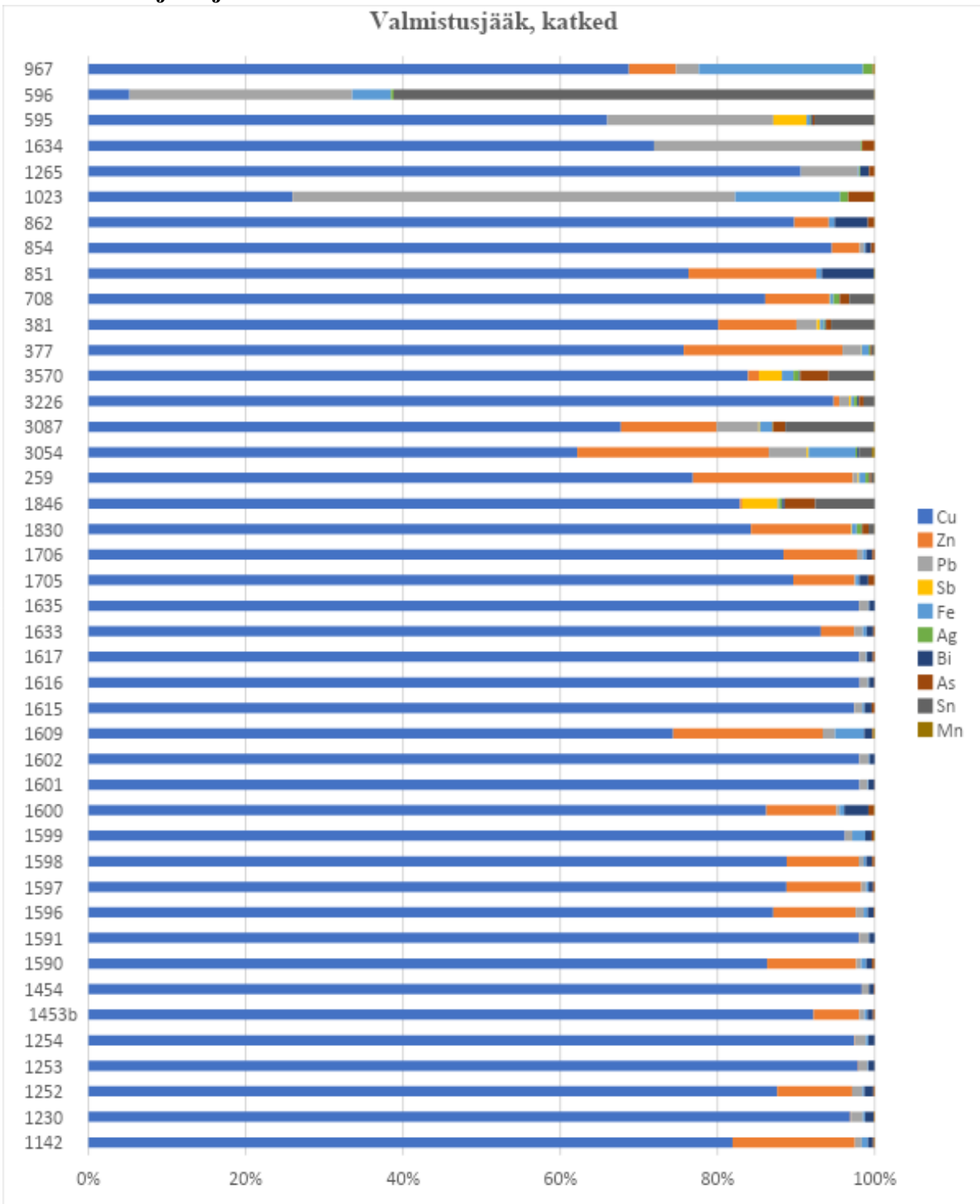


Joonis 9. pXRF analüüs Jahu tn 6 naastudest.

Vasest naaste mõõdeti kokku 39 tükki. Valdavalt on naastude peamiseks koostisosaks vask, millele lisandub tsink (umbes 20%). Pea igas naastus esines väiksemal hulgal pliid, olid ka mõned erandid, kus plii sisaldus oli suurem. Vähesel määral sisaldus leidudes ka rauda, mis võis pärineda maagist või lisanduda seismise käigus pinnasest

Kuna messing on pronksisulamist plastilisem, siis on seda stantsimisel parem kasutada. Kui messingi sulamis on vase osakaal alla 90%, võib tsingi lisamisel sulamistemperatuur alaneda 900°C ni, kui pronksi sulamil, vastavalt tina või plii osakaalule on madalaim sulamistemperatuur 950°C. Temperatuuride vahe on küll üsna väike, aga sulami plastiliste omaduste vahe suur, see võis olla messingi kasutamise juures eeliseks.

5.2.3 Valmistusjääk ja katked

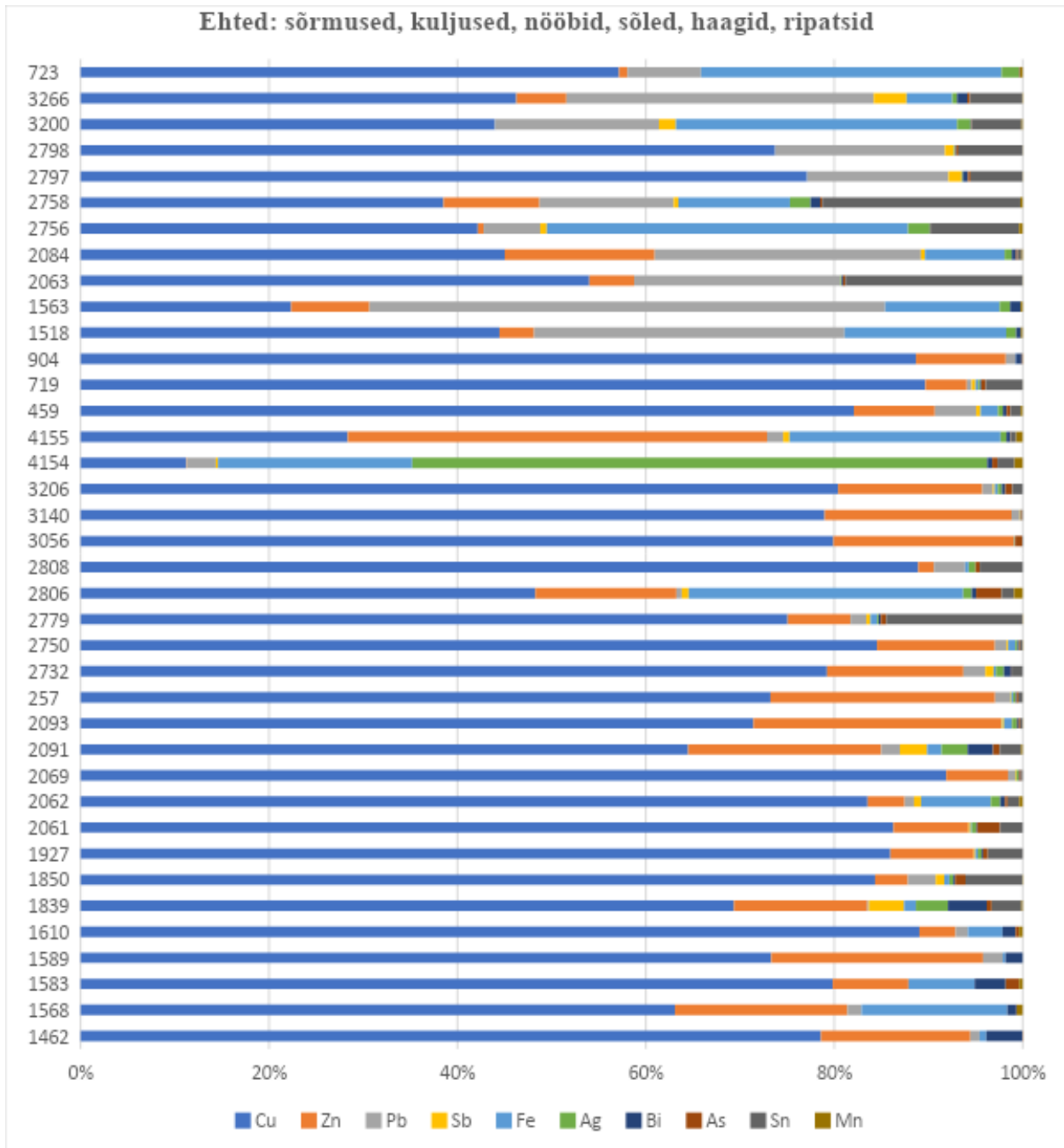


Joonis 10. pXRF analüüs Jahu tn 6 valmistusjääkidest ja katketest.

Valmistusjääke sai mõõdetud 43. Valmistusjäägid ja katked, on enamjaolt kõrge vasesisaldusega. Suurem osa esemeid on väikese plii lisandiga aga on ka paar erandit kus plii osakaal on suur. Mõnes üksikus esemes leidub ka rauda. Vasesulamist esemete seas on jääkides kõige sagedamini esinenud ka vismutit. Mõõtmistulemuste alusel me kindlat ülevaadet ei saa, milliseid sulameid eelistati või milliseid materjale ei kasutatud ümbertöötluses.

Valmistusjääkide hulgas on 26 eset sepistatud ja 10 valatud. Sepistatud esemete rohkuse tõttu saab oletada, et sellest töömeetodist tingituna on tekkinud rohkem valmistusjääke või katkeid, samas ei ole välistatud, et valamistehnikat kasutati rohkem, sest paljude valmistamisjääkide deformeerunud kuju tõttu ei saanud oletada kindlalt valmistusmeetodit.

5.2.4 Ehted

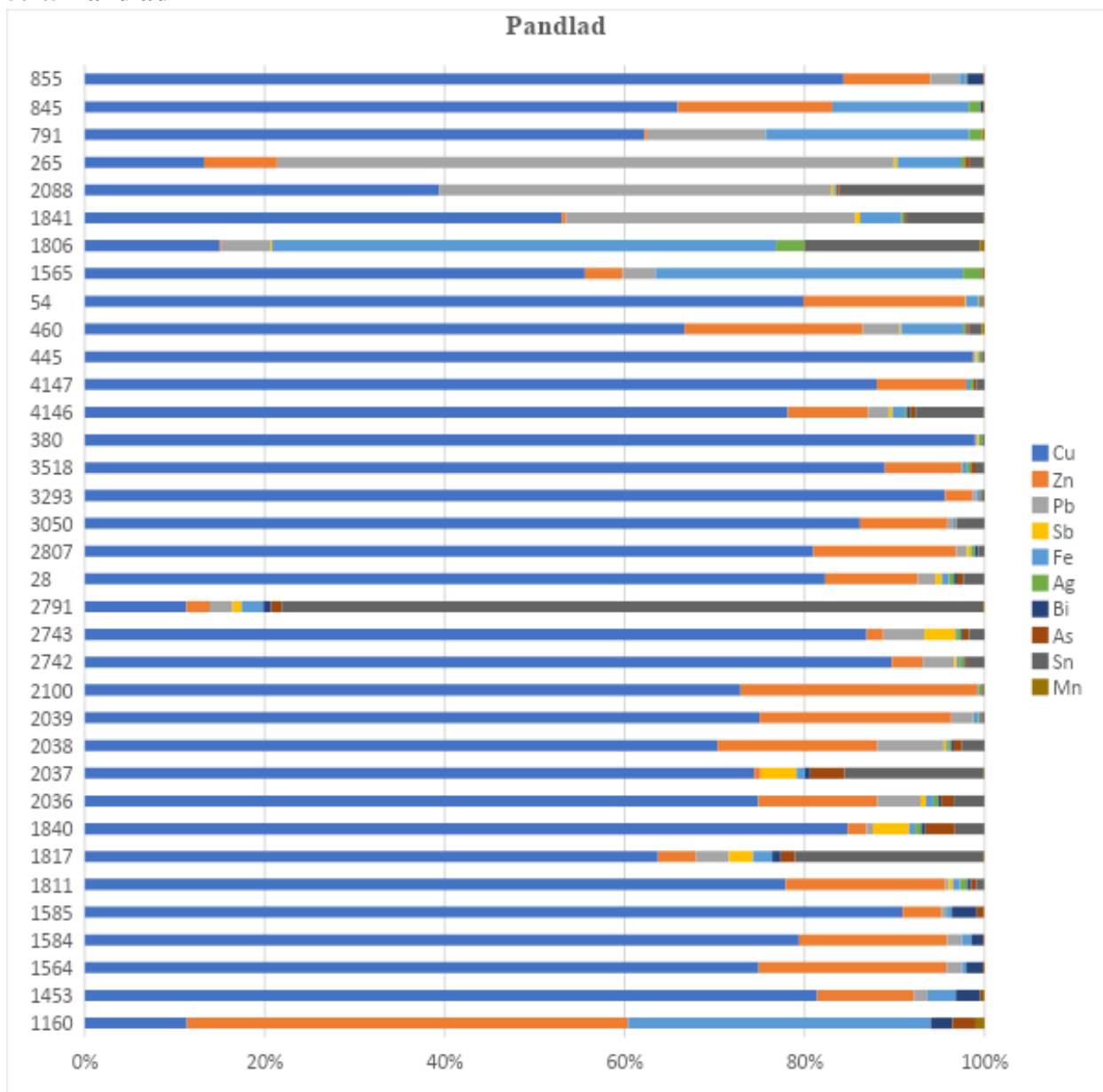


Joonis 11. pXRF analüüs Jahu tn 6 ehetest.

Mõõtmised teostati 38 ehte, keskmised koostis osad olid: Cu 73,5%, Zn 10,5%, Pb 6,2% ja Fe 3,7%. Peamiseks vaskehete valmistusmeetodiks on olnud valamine, kuna 34 ehet on valatud ja 4 eset sepistatud. Ehete kategoorias on peamiseks koostisaineks vask, millele lisatud rauda ja pliid. Võib oletada, et vastavalt eseme otstarbele, on kasutatud nende valmistamiseks erinevaid

sulameid. Erinevate esemete kogused olid väikesed, aga hulk kokku suur, sellest tulenevalt saab vähe järeldusi teha. Ehted milles on üle 10% pliid võivad olla seotud valaja sooviga saada sulatada sulamit madalamal temperatuuril, saavutada hõbedast läiget või soovist hoida kokku vaske ja kasutada sulamis rohkem pliid. Võib teha erinevaid oletusi, kuid kahjuks täpset põhjust, miks eelistati ühte sulamit teisele, ei saa me kindlalt välja tuua.

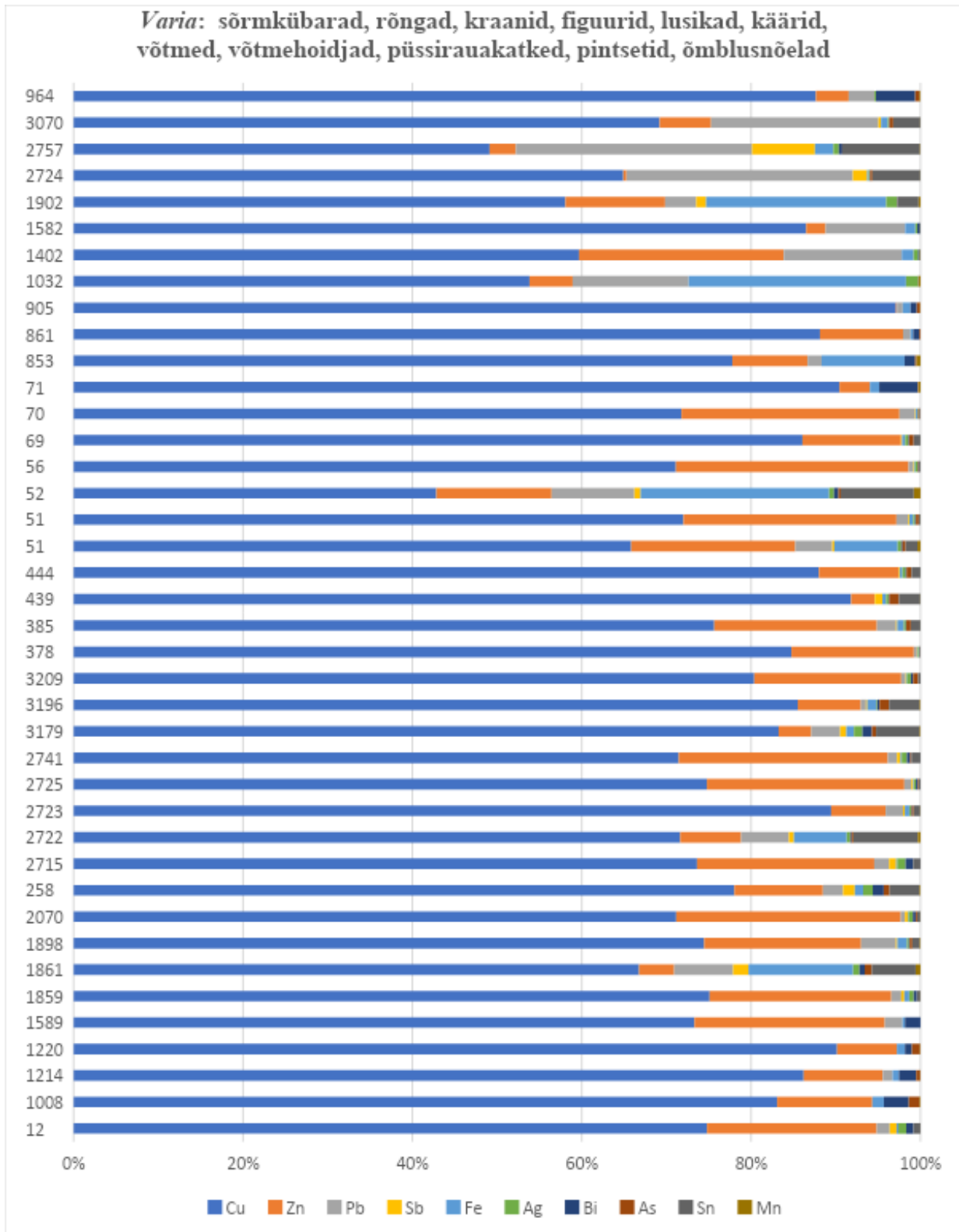
5.2.5 Pandlad



Joonis 12. Pandlad

Pandlaid mõõdeti kokku 35, mille keskmine sulami koostis oli: Cu 74,6%, Zn 10,1%, Pb 5,9% ja Sn 3,13%. Pannalde puhul on kindel sulamieelistus on olnud messing, kuid selle kõrval esineb ka muid segusid. Kõigi pannalde valmistamismeetodiks oli valamine. Võrreldes omavahel pandlaid, üritades leida seost neid valmistanud meistritega, osutusid tulemused väga erinevateks, mis viitab sellele, et erinevates töövaldkonades valmistatud esemete juures ei olnud sulamite kooslused kindlaks määratud ja kasutati olemasolevat metalli.

5.2.6 Varia

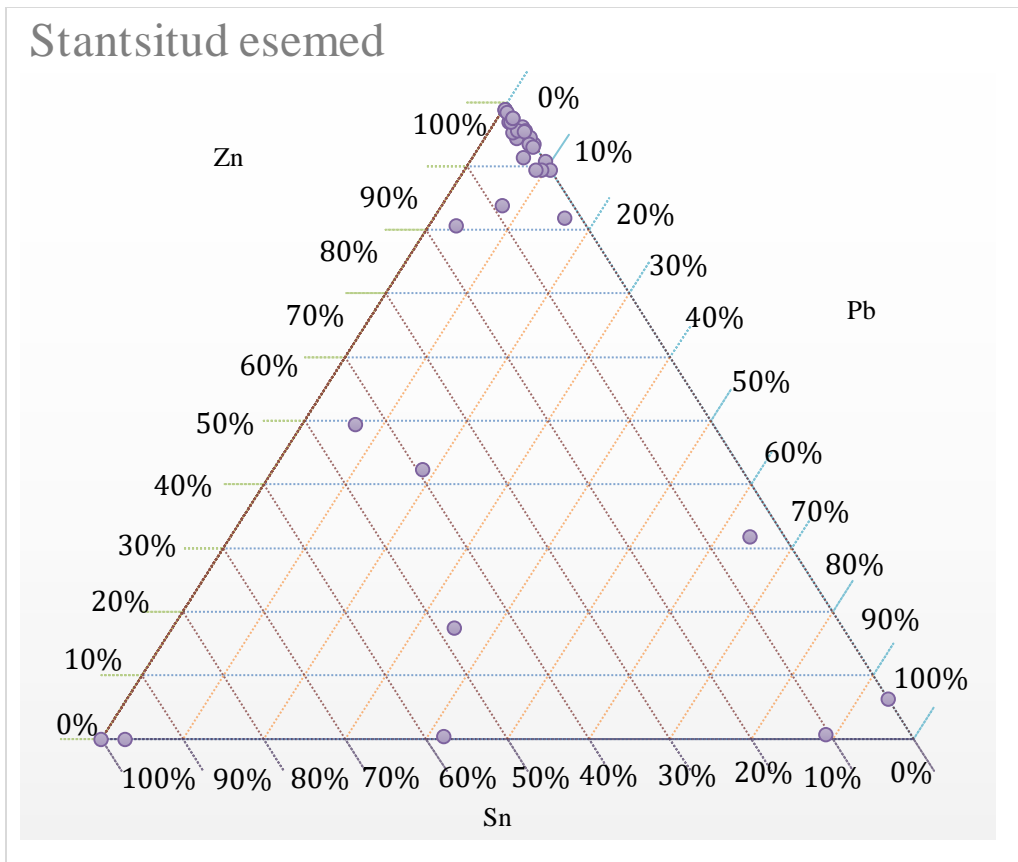


Joonis 13. pXRF analüüs Jahu tn 6 varia-st.

Varia kategoorias mõõdeti esemeid kokku 37. *Varia* kategooria esemetes kindlat ühtset joont metallisulami sisalduses ei esine, kui välja arvata see, et kõigis esemetes on vase-osakaal üle 40%. 22 eset on valatud ja 12 eset sepistatud ning keskmine keemiline koostis oli esemetes: Cu 74,8%, Zn 10,25%, Pb 5,7% ja Sn 3,02%. *Varia* kategooria esemete varieeruv keemiline koostis, võib olla tingitud esemete erinevast otstarbest või metallitöökodade erinevast eelistusest nii sulami kui valmistamismeetodi juures. Üksikesemete kohta *varia* kategoorias ei saa järeldusi teha, küll aga annab see üldise ülevaate Tallinna 15. sajandi vasesulamite kasutusest.

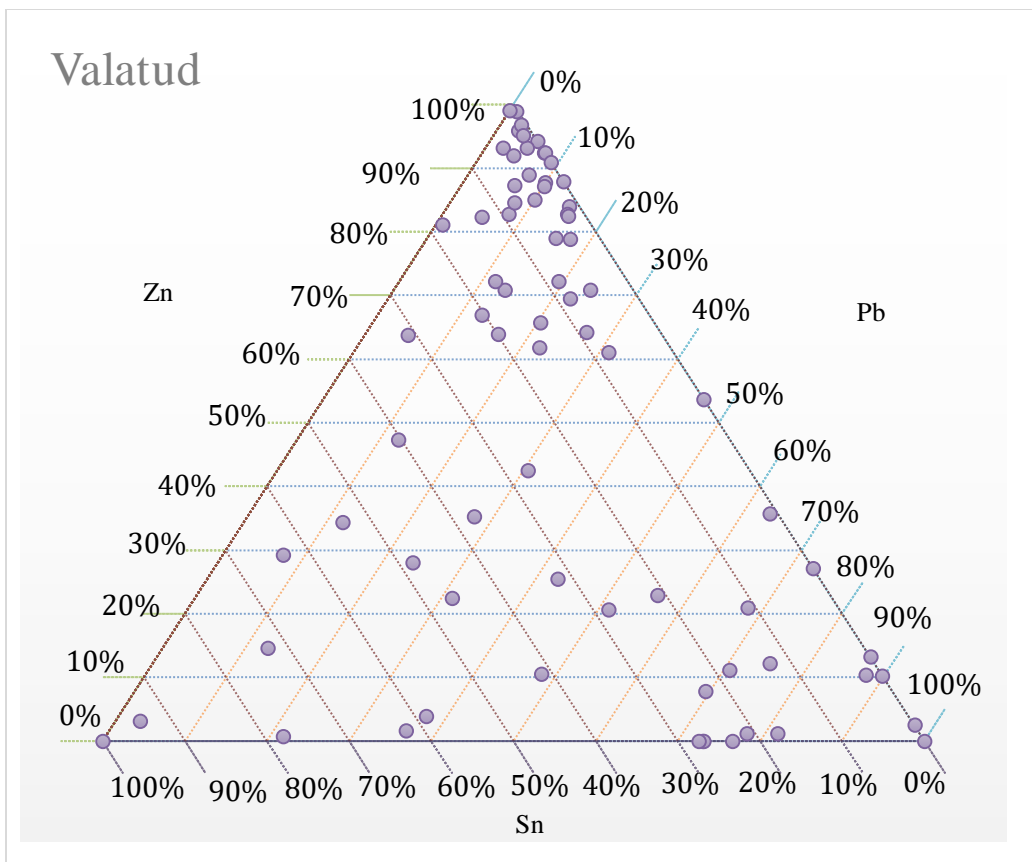
5.3 Valmistustehnika

Vasesulamid kategoriseeruvad pronksiks, messinguks, punapronksiks ja pliiga segatud messingu või punapronksi seguks, lähtutakse tulemuste kategoriseerimise juures joonis 1 järgi jaotamise süsteemist, mida on metoodikas mainitud. Kolmnurkdiagrammidesse kanti kokku 195 CU1 ja CU3 kalibreeringu tulemust. Valimi moodustamisel hoiduti sulamitest, mis olid peaaegu puhtast vasest ning sellest tulenevalt jäeti kõik sulamid, kus esines vaske rohkem kui 95% kolmnurkdiagrammi kandmata.



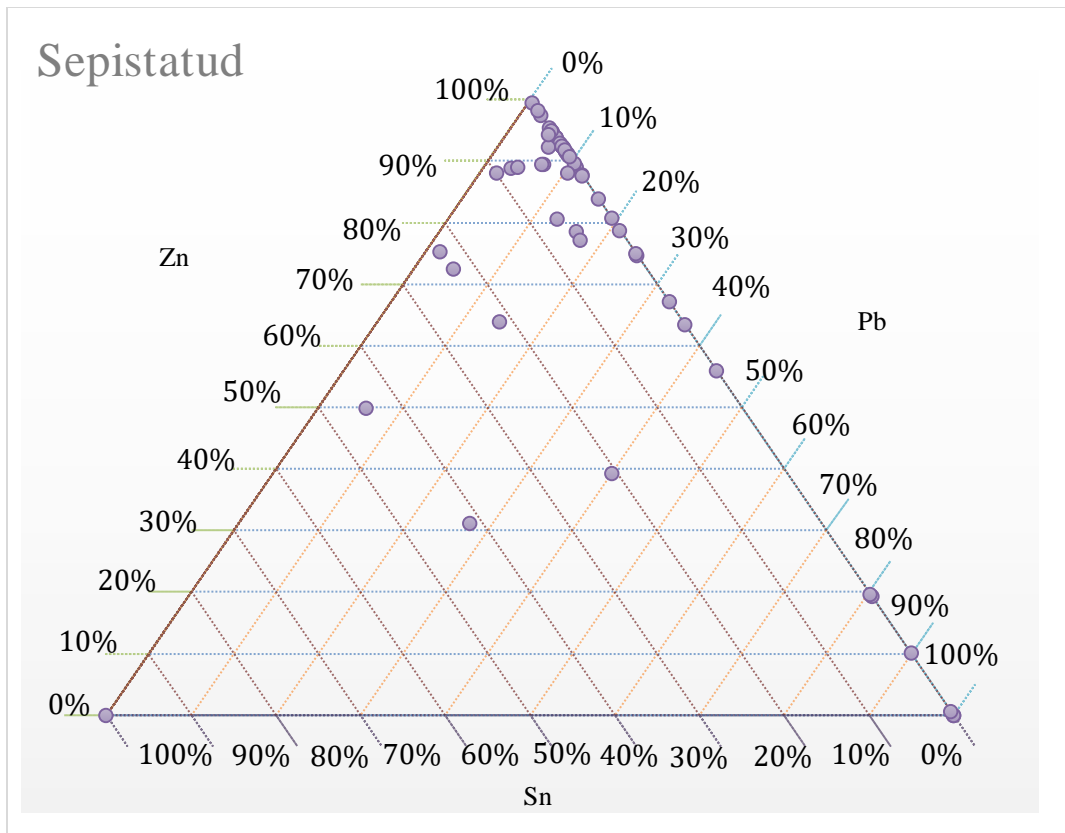
Joonis 14. kolmnurkdiagramm kõikidest vasesulamist stantsitud esemetest.

Stantsitud esemete puhul esineb suhteliselt kindel sulam messingist vähese plii lisandiga. Kõige vähem esineb suure plii sisaldusega (50%) messingit ja suure plii sisaldusega (50%) pronksi sulamit. Peamisteks stantsitud esemeteks olid naastud. Kui võtta arvesse messingi plastilist omadust, siis on suhteliselt tõenäoline, et 15. sajandil eelistasid vasetöölised stantsimiseks messingut, kuna sellist sulamit on lihtsam töödelda.



Joonis 15. kolmnurkdiagramm kõikidest vasesulamitest valatud esemetest.

Valatud esemete juures on kasutatud kõige suuremat hulka erinevaid sulameid. Kõige enam on valamismetoodika juures eelistatud messingit, milles oli vähesel määral pliid. Kui messingis on tsiingi osakaal üle 10%, on seda lihtsam valada, kuna selle plastilisus on hea. Erinevate sulamite kasutamine valamise juures näitab meile seda, et valamise meetoodika juures polnud kindlaid eelistusi. Sulameid kasutati sõltuvalt tellitava eseme kasutusvajadusest või olenevalt metalli kättesaadavusest. On mõeldav, et see andis võimaluse eseme omaduste ja värvi eelistuste tegemiseks, mis võis mõjutada ka lõpptulemuse hinda. Paljude sulamite varieeruvuse taga võib olla ka esemete suuremahulisem ümbervalamine, näiteks Käku sepikojas on ümbervalamise tõendiks olnud ümbetöödeldud teraskang (Saage, *et al.* 2018, 54) ja vasesulamist graapeni jalg, mis on meisliga sihilikult pooleks lõhtunud, et see mahuks tiiglisse, kust saaks seda ümbervalada (Saage, *et al.* 2015 joonis 7).

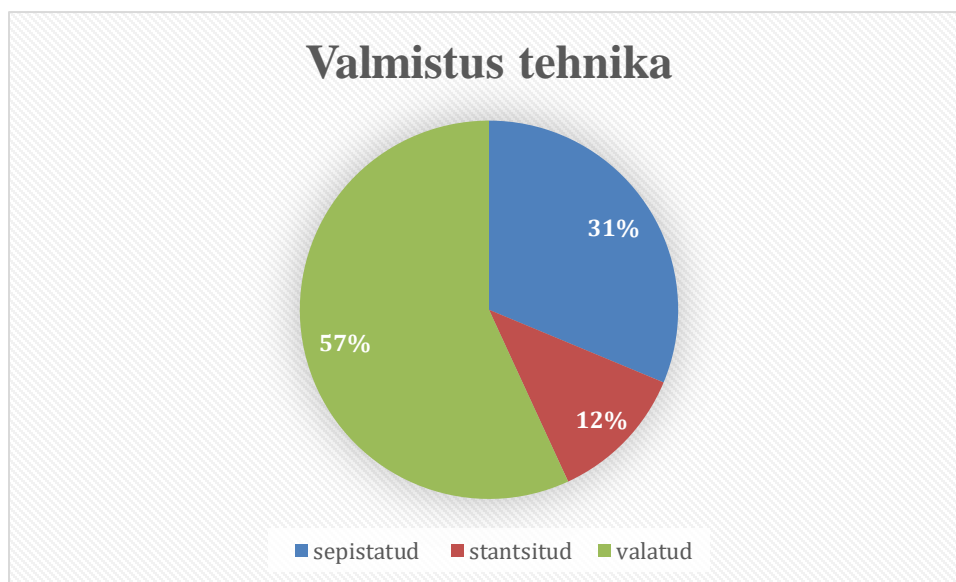


Joonis 16. kolmnurkdiagramm kõikidest vasesulamitest sepistatud esemetest.

Sepistatud esemete juures on küll enamjaolt eelistatud messingit koos natukese pliiga, kuid vähesel määral esineb punapronksi ja plii-vase segu. Kõige vähem esineb pronksisulameid. Kolmnurk diagrammi vaadates selgub, et sepistatud esemete valmistamisel kasutatud sulamieelistuseks on messing, milles plii osakaal võib varieeruda, aga enamasti jääb alla 20%. Tulpdigrammi ja kolmnurkdiagrammi võrdluses selgub, et teiseks levinud komponendiks on Zn 10, 25% osakaaluga.

6 Arutelu

Kõikide tina-plii esemete keskmine plii osakaal on 51,2%, tina 43,2%, vismuti 5,5%, vase 3,9% antimoni 1,3% ja niklit 0,2%. Üle 90% tina esines ainult 8-s sulamis. Julgen väita, et 15. sajandi Tallinnas ei olnud kehtestatud tinasulami-seadust nende esemeliikide kohta, mis on selles uuringus. Võib oletada, et üle 90% tinaosakaaluga sulamid on valatud ümber tinanõudest, mis on valmistatud vastavalt Nürbergi sulami seadusest. Üldiselt on 15. sajandi tina-plii esemetele iseloomulik kõrge plii sisaldus, mis moodustab ligi poole sulamite koostisest. Kindlaid üldistusi esemete valmistamisel sulami eelistuste osas ei saa me teha, kuid naastud ja palverännumärgid koosnevad kõige väiksema plii sisaldusega sulamist, kõige rohkem on pliid kasutatud kaubaplommide valmistamisel.



Joonis 17. Vasesulamite valmsitus tehnika

Vaskesemeid oli sepistatud 66, valatud 120 ja stantsitud 25, ülejäänud vaskesemete puhul, ei suudetud töötlemisviisi kindlaks teha. Sellest saab järeldada, et peamiseks vasesulamite töötlemisviisi eelistuseks oli valamine, ja kõige vähem kasutati stantsimist. Vaskesemete seas olid ainsateks stantsitud toodeteks naastud.

Kõikide vasesulamite keskmises koostises oli: Cu 74,9%; Zn 10,25%; Pb 5,6%; Fe 3,8%; Bi 0,7%; As 0,47% ja Sn 2,98%. Vasesulamites esinevate elementide seas on huvitavaks leiuks raua suur osakaal. Enamasti ei esine toormaterjalis rauda üle paari protsendi, seega võib oletada, et rauda on

sattunud toormaterjali hulka kas juhuslikult või sihilikult. On võimalik et raud on lisandunud pinnasest ja ei ole algse sulami osa. Hetkel puuduvad toormaterjali päritolu kohta kindlad teadmised.

Novgorodis, Ljudi kvartalis toimunud kaevamiste käigus leiti palju sarnase keemilise koostisega metalle (Eniosova *et al.* 2017, 195). Uuringute käigus selgus, et 10. – 14. sajandist pärit Novgorodi metall-leidudest ligi kolmandik koosneb sulamitest milles esineb vase-tsingi-plii ja vase-tsingi-tina ning ka vase-tsingi-plii-tina segust (*ibid.*). Sarnase koostisega olid ka Tallinna, Jahu tänav 6 metall-leiud.

Huvitavaks võrdluseks saab tuua Ragnar Saage doktoritöö tulemused, 13. –17. sajandi metalli valamiseks kasutatud tiiglite uuringust, kus Ragnar Saage tuvastas, et kõige levinumaks vasesulamiks on olnud punapronks (Saage 2020, 54). Küll aga vaadeldes Jahu tänav 6 pärit metall-leidude keemilise koostise uuringuid, on näha suuremal hulgal just messingut. Võime oletada, et muudeks sulamiteks kasutatud tiiglid pole meil säilinud või on enamus vasest kaupa toodud Tallinna valmisproduktina.

Saaremaal jääb Käku leidude dateering 14.–17. sajandisse (Saage 2013, 4). Käku sepikojast leitud sepistatud esemete hulgas esines pigem kõrge tsingi ja madala pliisulamiga esemeid. (Saage 2013, 4). Seega võib öelda, et vaatamata sellele, et Käku sepikodade töötamise perioodil tsinki veel eraldi keemilise elemendina ei tuntud, eelistati sepistamisel kõrgema tsingisisaldusega metalle ja suhteliselt puhast vaske (Saage 2013, 29). Paralleelsete sulamite eelistus on olnud ka Jahu 6 tänava leidudel. Seega, näib et linnas ja maal tegutsevad käsitöölised omasid sulamite omaduste kohta sarnaseid teadmisi ja kogemusi.

Ajaliselt jäävad Jahu tänav 6 ja Käku dateering samasse perioodi, mõlemas kohas kasutati palju erinevaid sulameid ning Käku sepikojas oli taaskasutamine tavaks (Saage, *et al.* 2018, 54). Toetudes nendele teadmistele saab oletada, et Jahu tänav 6 leiumaterjalilis kasutati erinevaid toormaterjale või taaskasutatud metalli. Jahu 6 jäätmeladestuspaigast suurel hulgal pärit messingieelistusega on seotud erinevad oletused: kas sepad üritasid töödelda vaske hõlpsamalt (hoides kokku kütte ja materjali ressursse) või oli eelistuseks kullaläikega vasesulam. Arvan, et 15. sajandil olid metallitöölised teadlikud erinevate vasesulamite omaduste kasutusvõimalustest.

Metallitöödest parema ülevaate saamiseks tuleks teha veel uuringuid. Käesolevat uurimistööd saaks täiendada ka tina- ja vasesusulamite elastsuse ja kõvaduse uuringutega. Suurearvulise uuringu saaks ka teha Jahu tänav 6 raudesemete kohta. Üldiselt on Eestis linnades toimunud metallitööde kohta tehtud loodusteaduslikke uuringuid vähesel määral.

Kokkuvõte

Käesolevas lõputöös analüüsitakse 15. sajandi sulameid, mis leiti Tallinnas Jahu tänav 6 asuvast keskaegsest prügiladestuskohast. Jahu tänav 6 arheoloogiliste kaevamiste käigus (2016. aastal) leiti palju metall-leide, mida esines mitmete erinevate sulamite näol. Kultuurkihist leiti mitmeid münte, mis olid kitsa dateeringuga, 15. sajandi teisest poolest kuni 16. sajandi esimese veerandini. Kõik 511 metalleset leiti Tallinnast, Kalamajas asunud keskaegsest prügikokkuveo kohast, kuhu nad võisid sattuda juhuslikult või olid käsitöölistel allesjäänud praak ja ülejäägid. Metall-leidude suurest kogusest võib järeldada, et Tallinna tina- ja vasesulamite varud olid rahuldavad ning nende keemiline koostis oli varieeruv. Tallinna linna sepikojad olid seotud oma kindlate gildide ja seadustega. Kuna 15. sajandil olid enamuse gildi liikmetest sakslased, koos mõne rootslasega, siis mõjutasid gildi seadusi Hansa linnades valitsevad seadused.

Kõik analüüsid tehti portatiivse röntgenfluorestsents spektromeetriga (pXRF), mille juures kasutati kolme erinevat kalibreerimist. Vasesulamite kohta andsid teavet tehase poolt valmistatud CU1 ja CU3 kalibreeringud, tina- ja pliisulamite jaoks kasutati autori enda tehtud kalibreeringut PEW. See kalibratsioon tehti proseminaritöö käigus, mis loodi 16 tina-plii sulami standardi alusel. PEW kalibratsiooni kasutati esmakordselt autori bakalaureusetöös (Liivak 2018). Tulemuseks olid huvitavad leiud pliiisakaalu kohta sulamis ning see andis julgust arvata, et Tallinna sepikojad järgisid Hansa linnades kasutusel olevat Nürenbergi seadust, kus tohtis kasutada lauanõude juures 1/10 pliiisaldusega sulamit. Kõik mõõtmistulemused salvestati PDZ faili kujul. PDZ failis aga vaadeldi mõõtespektreid S1PXRF programmiga. S1PXRF programmis toimus vaatlus iga eseme kohta eraldi, et kinnitada pXRF tulemuse õigsust, vaadeldes intensiivsuskõveral olevaid piike võimalikult täpselt. Kvantitatiivsete tulemuste saamiseks tuleb kasutada kalibratsiooni. Mõõtmistulemused kanti edasi Exceli tabeli programmi pärast vaatlusi S1PXRF programmis. Peale keemilise koostise kindlaks tegemist ja eseme välisvaatlust püüti järeldada, kas ese on sepistatud, stantsitud või valatud. See on oluline, kuna sepistamisel ja valamisel tehtav metallitöötlus on erinev, mille teadmine võib anda paremat aimu esemest. Tabelisse kandmisel tuli välja jätta väga väikese osakaaluga elemendid, mis võisid esineda eseme pinnal, mitte kuuludes selle koostisesse (kui elementi esineb ainult 0,1%, siis arheoloogilises uuringus ei anna see märkimisväärsed tulemusi) ning tänu sellele saaks anda edasi mõistliku ülevaate esemete koostisest. Alles jäänud elementide sisaldused normaliseeriti 100% peale. Vasest esemete puhul

kasutati Bayley ja Butcheri metodoloogiat, mille peamiseks eesmärgiks on vaadelda esemeid kolmnurkdiagrammis. Selle meetodika peamiseks ülesandeks on anda visuaalne ülevaade vase sulamites olevast tina, plii ja tsingi osakaalust. Kuna tinast valmistatud esemed koosnevad põhiliselt tina ja plii elementidest, siis neid tulemusi ei vaadeldud kolmnurkdiagrammiga vaid kanti tulpdiaagrammi. Kokku jäi alles 349 korrektset mõõtmistulemust.

PEW kalibratsiooniga said esitatavad tulemused 116-st esemest. Mõõtetulemused on jaotatud kategooriatesse, nagu kaubaplommid, palverännumärgid, ehted ja *varia*. Kõikide tina-plii esemete keskmine plii osakaal on 51,2%, tina 43,2%, vismuti 5,5%, vase 3,9% antimoni 1,3% ja niklit 0,2%. 116 eseme seast olid 35 kaubaplommid, neil on kõige suurem osakaal uuritud tina-plii leidude hulgas. Kaubaplommide keskmine plii sisaldus on 54% (mis on kõige suurem pliiväärtus uuritud esemete hulgas) ja tina keskmine osakaal on 41,6%. Tina-plii leidude uuringu tulemusena selgus, et viies kaubaplommis esineb üle 10% vaske. Leidude hulgast 11 olid palverännumärgid. Palverännumärkide keskmine plii osakaal on 55% ja tina keskmine sisaldus on 41,7%. Võrreldes paljude teiste tina-plii esemetega on palvemärkides kõige vähem vismutit ning väga vähesel määral vaske. Ehetes on keskmine plii osakaal 51,8% ja tina osakaal on 42,9%. *Varia* kategooria esemete keskmine plii koostis on 51,5% ja tina 42,9%. Peale tina ja plii esines üksikutes esemes ka vähesel määral vismutit ja antimoni. Üldiselt on 15. sajandi tina-plii esemetele iseloomulik kõrge plii sisaldus, mis moodustab ligi poole kogu sulamist. Kindlaid üldistusi esemete valmistamisel sulami eelistuste osas ei saa me teha, kuid naastud ja palverännumärgid koosnevad kõige väiksema plii-sisaldusega sulamist, samas kõige rohkem on pliid kasutatud kaubaplommide valmistamisel. Arvatavasti oli plii kõrge osakaalu põhjuseks sulamis selle omadus langetada metalli sulatamistemperatuuri.

Kõikidest vaske sisaldavate sulamite mõõtmistest on 189 tehtud CU1 kalibratsiooniga ja 43 CU3 kalibratsiooniga. Vaseuuringute tulemused on antud nii tulpdiaagrammi kujul, kui ka kolmnurkdiagrammina, et anda parem visuaalne ülevaade esemete keemilistest koostistest. Vasesulamite tuvastamiseks on kasutatud kahte erinevat kalibratsiooni CU3 ja CU1, kuna CU3 ja CU1 on mõlemad küll vasesulamite kalibreeringud, kuid CU3 tuvastab paremini plii osakaalu sulamis, samas kui CU1 näitab, et pliid pole üldsegi. Esemed on jaotatud tabelitesse erinevates kategooriates nagu plekitükid, plekist esemed; naastud; valmistusjäädgid; ehted; pandlad; *varia*. Kõikide vasesulamite keskmises koostises oli: Cu 74,9%; Zn 10,25%; Pb 5,6%; Fe 3,8%; Bi 0,7%;

As 0,47% ja Sn 2,98%. Vasesulamites esinevate elementide seas on huvitavaks leiuks raua paariprotsendiline osakaal. Enamasti ei esine toormaterjalis raua üle paari protsendi, seega võib oletada, et raua on sattunud toormaterjali hulka kas juhuslikult või hiljem pinnasest. Hetkel puuduvad toormaterjali päritolu kohta kindlad teadmised.

Stantsitud esemete puhul esineb valdavalt suhteliselt kindel vasesulamieelistus - messing koos väikese plii osakaaluga. Kõige vähem esineb pliiga punapronksi ja pliiga pronksi sulamit. Peamisteks stantsitud esemeteks olid naastud. Kui võtta arvesse vase-plii sulami madalat sulamistemperatuuri, siis on suhteliselt tõenäoline, et 15. sajandil eelistasid vasevalajad stantsimiseks messingiga segu, kuna sellist sulamit on lihtsam töödelda. Valatud esemete juures on kasutatud kõige suuremat hulka erinevaid sulameid. Kõige enam on eelistatud valamismetoodika juures messingit, kuna seda oli lihtsam töödelda tänu oma madalamale sulamistemperatuurile võrreldes (kõrge vasesisaldusega) pronksiga. Erinevate sulamite kasutamine valamise protsessis näitab meile seda, et valamise meetoodika juures polnud kindlaid eelistusi. Esemete valmistamise juures kasutati erinevaid sulameid vastavalt tellija soovile või vastavalt tellitava eseme kasutusvajadusele ja materjali kättesaadavusele. Lõpptulemuse soovitud omaduste ja värvivarieeruvuse saavutamiseks kasutati erinevaid sulameid, sellest võis sõltuda ka eseme hind. Sepistatud esemete juures on küll enamjaolt eelistatud messingit, kuid märkimisväärselt suures mahus esineb ka plii-messingiga segu. Sepistatud esemeid, nagu ka valatud esemeid on tehtud mitmel erineval moel, kuid kindlat valmistamisviisi eelistust ei olnud.

Kokkuvõtteks võib öelda, et 15. sajandil eelistati Tallinnas vasesulamitest messingit, mille põhjuseks võis olla paremad mehaanilised omadused, tinasulamitest oli eelistatud tina-plii segu. Faasidiagrammist lähtudes on tõenäoline, et 40–60% pliisisaldusega tinasegus langeb sulamistemperatuur alla 200°C. Stantsimise juures kasutati peamiselt messingit kuid valamise ja sepistamise meetoodika juures oli metallide varieeruvus esemete valmistamisel suurem. Tundub, et vasesest ja tinast esemetest Tallinnas puudust ei olnud, kuna Jahu tänav 6 prügiladestuskohast leiti väga suurel hulgal erineva koostisega metall-esemeid. Kuna metall-esemetes on kasutatud väga palju erinevaid sulameid võime eeldada, et selle põhjuseks oli Tallinna metallitöölise rohkus, kellel polnud kindlaid sulamieelistusi või pärines toormaterjal erinevates leiu-kauplemise kohtadest, lisaks kasutati ka vanametalli. Kuna tsunftide seadused ja reglemendid sulamite kohta

hakkasid Tallinnas kujunema 16. sajandil, siis võib see olla põhjuseks, miks vase- ja tina-plii sulamid on suurema varieeruvusega, kui hilisema dateeringuga metall-leiud.

Kasutatud allikad ja kirjandus

Kasutatud allikad

Tallinna Ülikooli arheoloogia kogu

Arheoloogia osakonnas olevad Jahu 6 leiud

Jahu 6 tänava arheoloogiliste välitööde metall-leidude nimekiri

Käsikirjad

Kulu, P., Kübarsepp, J., Hendre, E., Metusala, T., Tapupere, O. 2001. Materjalid. Tallinna Tehnika Ülikooli õpperaamat.

Liivak, A. H. 2017. XRF-i kalibreerimine tina ja plii uuringute jaoks, Proseminaritöö. Tartu Ülikooli arheoloogia osakonna arhiiv.

Liivak, A. H. 2018. Tallinna tinanõud 15.–18. sajand. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikooli arheoloogia osakonna arhiiv.

Saage, R. 2013. Käku sepikoda Arheoloogia väljas ja sees. Magistritöö. Tartu Ülikool arheoloogia osakonna arhiiv

Sepp, T. 1987. Raud ja sepatöö Eestis (II at. algusest kuni keskpaigani). Diplomitöö. Tartu Ülikooli areholoogia osakonna arhiiv

Publikatsioonid

Bayley, J. 1991. Ancient Monuments Laboratory Report 10/91, Medieval lead-tin alloy objects from the city of London. Historic Buildings and Monuments Comisson for England.

Berger, D. 2012. Herstellungstechnik hoch-und spätmittelalterlicher Kleinobjekte aus Zinn. – Heilig en profaan 3. Hrsg. H. J. E. V. Beuningen, A. M. Koldewej, D. Kicken, 119 H. V. Asperen, H. W. J. Piron, S. E. V. T. Hof and W. Gertsen. *Rotterdam Papers* 13, Langbroek: Stichting Middeleeuwse Religieuze en Profane Insignes, 39–55.

Brüggemann K., Tuchtenhagen R. 2013 Tallinna Ajalugu. Tallinn.

Dahlbäck, G. 2002 Eisen und Kupfer, Butter und Lachs. Schwedische Produkte im hansischen Handel – *vergleichende ansätze in der hansischen geschichtsforschung Hansische studien XIII, trier*, 163–173.

Douglas, A. Skoog & Leary, J. J. 1992. Principles of Instrumental Analysis, fourth edition, International edition. Harcourt Race College.

Fang, J. ja McDonnell G. 2011. The colour of copper alloys. – *Historical Metallurgy* Volume 45 part 1, 52 – 62.

Ficher, U., Gomeringer, R., Heinzler, M., Kilgus, R., Näher, F., Oeslerle, S., Paelzold, H., Slephan, A. 2010. Mechanical and Metal Trades Handbook.

Gahlnbäck, J. 1929. Zinn und Zinngiesser in LIV-, EST-, und Kurland. Lübeck.

Graichen, G. ja Hammel-Kiesow, R. 2011. Hansa Liidu Ajalugu, varjatud ülemvõim, Hamburg.

Guljajev, A. 1962. Metallograafia. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn.

Kaplinski, K. 1980. Tallinna käsitöölised XIV sajandil. Tallinn: Eesti raamat

Kaplinski, K. 2015. (Toim.) Jüri Kuuskemaa, Tallinn – meistrite linn, Tallinn.

Martinon-Torrese M., Benzonelli A., Stos-Gale Z. ja Henry R. 2018. Argentiferous Copper extraction and post-medieval metals trade: identification and origins of post-medieval Reißscheiben ingots found in Wiltshire, England. – *Historical Metallurgy* Volume 52 part 1, 38 – 47.

Mänd, A. 2019 Gildide põhikiri ja juhtimine - *Tallinna Ajalugu 1561. Aastani* - (Toim.) Kala T., Tamla T. Tallinn 233–235.

Russow, E. 2019 Keskaegne prügila Kalamajas - *Tallinna Ajalugu 1561. Aastani* - (Toim.) Kala T., Tamla T. Tallinn. 271.

Nadolski, D. 1983. Altes Gebrauchszinn: Asehen und Funktion über sechs Jahrhunderte. Leipzig.

Nadolski, D. 1986. Zunftzinn: Formenvieldalt und Gebrauch bei Fest und Alltag des Handwerks. Leipzig.

Nawrońska, G. 1999. Archeological evidence for trade in Elblag from the 13th to the 17th centuries, Elblag – Gdansk – *Lübecker Kolloquium zur Stadtarchäologie im Hanseraum: Der Handel*, Lübeck 373–387.

Anund, J. 1999. Trade in Uppsala 1100. – 1700., – *Lübecker Kolloquium zur Stadtarchäologie im Hanseraum: Der Handel*, Örebro 457–469.

Olli M., Roxburgh M. A. 2018. Eyes to the north: a multi-element analysis of Copper-alloy eye brooches in the eastern Baltic, produced during the Roman Iron age.

Peets, J. 2003. The Power of Iron. Iron production and blacksmithy in Estonia and neighbouring areas in prehistoric period and the Middle Ages. Muinasaja Teadus, 12. Tallinn.

Peter, S. 2002. Power and Profit the Merchant in Medieval Europe, London.

Ramdohr P 1975. Die Erzminerale und ihre Verwachsungen (Berlin).

- Roberts B. W. ja Thornton C. P. 2014.** Archaeometallurgy in Global Perspective. New York.
- Roxburgh M. A ja Van Os B. J. H. 2018.** A Comparative Compositional Study of 7th- to 11th-Century Copper-Alloy Pins from Sedgeford, England, and Domburg, the Netherlands.
- Roxburgh M. A, Heeran S., Huisman D. J. ja Van Os B. J. H. 2018.** Non-destructive survey of early roman copperalloy brooches using portable x-ray fluorescence spectrometry.
- Russow, E., Randoja K., Bernotas R., Tvauri A., Rammo R., Reppo M., Ratas J., Kreem J., Lõugas L. 2019.** Tallinna hiliskeskaegne varalaegas. Jahu- Väike-patarei tänavate vahelise 15. sajandi prügiladestuspaiga päästekavamised – *Arheoloogilised välitööd Eestis 2018* – 185–218.
- Saage, R. 2020.** Metallitööpaigad Eestis 7. – 17. Sajandil. Tartu Ülikool.
- Saage, R., Peets, J., Tiidu, E., Maldre, L. 2015.** New Research Results From the Smithy Site of Käku in 2013–2014. – *Arheoloogilised välitööd Eestis = Archeological fieldwork in Estonia, 2014*, 193–204.
- Saage, R., Peets, J., Kulu, P., Peetsalu, P., Viljus, M. 2018.** Metallographic investigation of iron blooms and bars from the smithy site of Käku, Estonia. – *Fennoscandia archaeologica XXXIV(2017)*, 46–58.
- Shackley, M.S. 2011.** X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology, University of California. USA.
- Spencer, L. J. 1911.** Encyclopædia Britannica. Ühend kuningriigid.
- Svarāne D. 2014** Rīgas 13.-15. Gs. Alvas saktas un to izgatavošanas materiāls – *Arheoloģija un Etnografija*, 176–194.
- Svarāne D. 2015** 13. – 15. gadsimta Rīgas alvas plekariņi – *sena Rīga pētījumi pilsētas arheoloģijā un vēsturē*, 128–148.
- Tylecote, R. F. 2002.** A history of metallurgy (2nd Edition). London: Maney.
- Vende, E. 1967.** Väärismetallitööd Eestis 15.–19. sajandini. Tallinn: Kunst.
- В. Ениосова, Р. А. Митоян, В. К. Сингх 2017.** Новые данные о химическом составе сырья новгородских ювелиров X–XV вв.

Veebiviited

Archaeometry, Archaeological Science with XRF, Bruker [<https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/handheld-xrf/archaeometry.html>] (27.01.2020)]

Forster N., Grave P., Vickery N., Kealhofer L., 2011 Non-destructive analysis using PXRF: Methodology and application to archaeological ceramics

[https://www.researchgate.net/publication/230528629_Non-destructive_analysis_using_PXRF_Methodology_and_application_to_archaeological_ceramics (27.01.2020)]

Nerman. R, 1996. KALAMAJA, Tallinn [<https://www.tallinn.ee/est/pohja/g6232s43130> (19.02.2020)]

Graham D., Migley N., Loughborough University, Kolmnurkdiagramm.

[<https://www.lboro.ac.uk/microsites/research/phys-geog/tri-plot/index.html?fbclid=IwAR3JbGwnPdXKoO336Nhm-SsV7s1G8mH-CuaTZCeVu8WmcnbLYoedJhOunrg> (02.05.2020)]

Supporting Education Across Europe, Faasidiagramm

[http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Solidification/Phase_Diagrams.html (02.05.2020)]

NATARAC, Tal Tech, Tartu Ülikool ja Eesti Loodusmuuseum, Mineraalid, kivimid, maavarad.

[<https://kivid.info/> (05.06.2020)]

Eesti keele instituut

[<https://termin.eki.ee/esterm/> (05.06.2020)]

Eesti Entsüklopeedia

[<http://entsyklopeedia.ee/artikkel/m%C3%BCndrik> (05.06.2020)]

Summary

Composition of medieval alloys by the example of Jahu 6 street

The present thesis analyses 15th century alloys found by the medieval waste dump pile located at Jahu street 6 in Tallinn. During the Jahu street 6 archaeological excavations (in 2016) there were many metal finds composed of multiple alloys of various different metals. Due to a narrow dating frame, resulting from a cultural layer where there were several coins found, which dated from the second half of the 15th century to the first quarter of the 16th century, a chemical compound analysis of the metal alloy finds would give much information about the 15th century smiths of Tallinn.

All metal alloys were found in Tallinn at a medieval garbage disposal area. Many of the metal alloys may have found their way to the dump by accident, or were small leftovers of craftwork. One thing is clear however, that the Tallinn tin and copper smelters were not low on supplies, which is evident from a sizable quantity of different metal alloys found. All Tallinn city smiths were bound under their specific guilds and their laws. Most of the guild laws were influenced by western Hansa city laws.

All the analyses were made using a portable X-ray fluorescence spectrometer (pXRF). For these analyses, three calibrations were used. First two calibrations were CU1 and CU3, which gave the information about copper alloys. These calibrations were factory made calibrations. For the tin and lead alloys, an author made calibration, named PEW, was used. This calibration was made during the proseminar work where the calibration was composed with regard to 16 tin and lead alloy standards. PEW calibration was first used during the author's bachelor's thesis (Liivak 2018) and showed interesting results of lead compositions and proved, that the Tallinn smiths were following Hansa city laws where you could only use 1/10 lead in tableware, by the Nürenberg tableware law. Over 500 metal finds were analyzed and all the analyses were approved manually by S1PXRF program to ensure that all the elements are denoted with correct compounds. All results are saved as PDZ files. After double-checking all the analyses, the results were inserted to an Excel sheet, where results were normalized for tin objects and different types of graphics were made according to alloy compounds. The main categorization was between tin and copper alloys. Copper alloys were classified by the Bayley and Butcher sample, into ternary diagrams to visualize three main

elements in copper alloys (Zn, Pb and Sn). Three ternary diagrams were made regarding the way that alloy finds were manufactured (chased, cast and forged). Ternary diagrams were based on the Graham and Midgley formula. Tin alloys were inserted to stacked column graphics and were categorized by the type of the archaeological finds (pilgrimage signs, jewelry, studs, manufacturing residues and miscellaneous). Some of the pXRF analyses were not correct due to a high amount of different alloys for which the pXRF I used did not have the exact calibrations. This fact already is proof that 15th century copper and tin smiths used many different alloys. Altogether analyses of 349 different metal alloys were obtained.

There were 117 tin and lead alloys that produced a representative result. Many of the tin and lead alloys had a quite high lead content varying around 49,8%. High lead consistency may have been around 40% in the lead alloy, allowing the alloy to become much more fluid, thus granting metal smelters better opportunities for melting leaded alloys. The highest lead consistency was found in trade seals, with a consistency of 53,3% which proved that many trade seals were made mostly of tin alloy leftovers which were most readily available. Some tin and lead alloys also consisted of an average of 5,5% bismuth and with 3,2% copper. Bismuth usage may have been involved due to bismuth's ability to make the alloy melt on lower temperature, although bismuth's melting point is 271,3°C and pure tin melts at 232°C, but by combining tin with lead (pure lead melting point is 327 °C) or with bismuth you can lower the alloy's melting point down to 190 °C. Most even tin-lead alloys were pilgrimage signs, where the metal compounds were quite similar to each other. In general, 15th century tin-lead alloys' specific chemical composition mainly includes lead. A broad generalization is difficult to make, based on the high variability in tin-lead metal alloys' chemical compositions.

227 copper alloys were measured from which 189 were calibrated by CU1 calibration and 43 measurements were calibrated by CU3 calibration. All the results were formed into ternary diagrams and in stacked column graphics. A Ternary diagram categorization was made based on the process of how metal artefacts have been made - chased, cast or forged. Analysis of chased objects showed that the preferred alloy type was brass. The reason for the popularity of this alloy was that brass smelts on lower temperature than bronze, also giving the alloy golden luster. Many of the chased objects were studs. Cast items showed a different variety of used alloys. For casting, the preferred alloy was brass, but there was a considerable amount of bronze alloys as well. The

least used alloy for casting was leaded gunmetal. Forged items also showed wide variety of different alloys. For forging main preference was brass and second most used alloy was leaded copper. The less used alloy type was leaded bronze.

Most copper alloys from the 15th century Tallinn garbage deposit place were brass alloys. Based on analysis we can conclude that copper smiths used for forging and chasing alloys which are ductile and can be melted on lower temperature and are more fluid. Although for casting smiths preferred brass, but there were many other alloy types as well. An interesting comparison can be made by Ragnar Saage's work, where his analysis showed base on the 13th-17th century crucible's found in the Estonia, that the most used alloy in this period was gunmetal. However, looking at the research of the chemical composition of the metal finds from Jahu Street 6, a larger number of brass alloys can be seen.. In conclusion Tallinn smiths used various different alloys for their works according the properties of the different alloys.

Lisad

Lisa 1. Tina mõõtmis tulemused PEW kalibratsiooniga. Alanumbriga AI7909:

Ese	kirjeldus	tehnik	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Pb (%)	Bi (%)	Sn (%)	Sb (%)
11	pannal	valatud	0.0	0.0	2.0	13.6	0.3	82.5	1.5
1013	valmistusjääk	sepistatud	0	1	8	48	0	42	2
1014	valmistusjääk	sepistatud	0	1	18	11	0	67	3
1016	valmistusjääk	sepistatud	0	1	17	16	0	64	3
1017	valmistusjääk	sepistatud	0	1	8	50	0	40	2
1022	valmistusjääk	sepistatud	0	0	19	22	0	57	2
1025	valmistusjääk	sepistatud	0	1	13	38	0	46	2
1028	valmistusjääk	sepistatud	0	1	13	36	0	48	2
1029	valmistusjääk	sepistatud	0	1	19	14	0	64	3
1166	katke	sepistatud	0	1	16	24	0	58	2
1172	katke	sepistatud	0	1	17	21	0	59	2
1251	kaubaplohm	valatud	0	1	9	44	0	44	2
1274	nööp, kahe auguga	valatud	0	0	8	47	0	43	2
1280	nööp, aasaga	valatud	0	1	15	14	0	68	3
14	sõrmus	valatud	0.0	0.0	7.9	33.8	0.5	56.4	1.4
15	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.2	0.5	13.0	1.0
1561	kaubaplohm	valatud	0	0	10	50	0	38	1.2
1594	kaubaplohm	valatud	0	1	15	25	0	56	1.6
1606	kaubaplohm	valatud	0	1	23	0	0	73	2.0
1808	ripats	valatud	0.0	0.0	0.8	66.5	0.3	31.3	1.0
1854	akna pliiraamistuse katke	valatud	0.0	0.0	0.5	82.8	0.8	14.1	1.8
1856	naast	stantsitud	0.0	0.0	4.2	32.5	0.4	61.8	1.1
1877	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.7	0.5	12.7	0.9
1879	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.7	0.5	12.7	0.9
1880	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.3	85.0	0.5	12.8	1.4
1885	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.7	82.8	0.7	14.0	1.7
1900	palverännumärk	valatud	0.0	0.0	6.8	37.7	0.4	53.5	1.5
1901	rõivakinnitushaak	valatud	0.0	0.0	1.6	16.2	0.2	81.0	1.0
1910	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	84.1	0.5	14.4	0.8
1923	naast	stantsitud	0.0	0.0	8.3	0.7	0.3	88.8	1.8
1924	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.5	85.3	0.5	12.7	1.0
1932	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.0	0.5	13.5	0.8
2017	naast	stantsitud	0.0	0.0	2.3	32.9	0.2	63.6	1.1
2018	naast	stantsitud	0.0	0.0	0.7	42.3	0.1	56.0	0.9
2026	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	86.1	0.5	12.4	0.8
2037	akna pliiraamistuse katke	valatud	0.0	0.0	0.7	84.0	0.6	13.3	1.3

Ese	kirjeldus	tehnika	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Pb (%)	Bi (%)	Sn (%)	Sb (%)
2055	naast	stantsitud	0.0	0.0	0.5	36.1	0.0	62.5	0.9
2077	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.9	0.5	12.5	0.9
2108	kuljus	valatud	0.0	0.0	1.6	54.2	0.4	42.6	1.2
255	naast	stantsitud	0.0	0.0	1.9	31.0	0.2	65.9	1.0
256	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.7	84.8	0.5	13.1	0.9
260	naast	stantsitud	0.0	0.0	3.1	27.8	0.1	67.8	1.1
261	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.3	83.9	0.6	14.1	1.1
262	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.3	85.5	0.5	12.9	0.9
2623	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.2	0.5	13.2	0.9
2624	hobuse kujuke	valatud	0.0	0.0	0.3	84.6	0.5	13.1	1.6
2625	palverännakumärk	valatud	0.0	0.0	1.2	44.2	0.2	53.0	1.3
2626	ripats	valatud	0.0	0.0	0.5	54.3	0.2	44.0	0.9
2629	vile	valatud	0.0	0.0	4.3	0.0	0.3	94.8	0.6
267	kaunistus	valatud	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	95.1	4.1
2632	palverännakumärk	valatud	0.0	0.0	0.8	42.8	0.2	54.9	1.2
2707	pühakuju	valatud	0.0	0.0	4.3	2.1	4.0	88.5	1.1
2708	ripats	valatud	0.0	0.0	0.3	81.8	0.5	16.5	0.9
2711	ripats	valatud	0.0	0.0	4.5	39.9	0.2	54.3	1.1
2715b	palverännakumärk	valatud	0.0	0.0	0.8	43.1	0.1	55.0	1.0
2730	sõrmus	valatud	0.0	0.0	2.6	31.6	0.1	64.5	1.1
2745	naast	stantsitud	0.0	0.0	5.9	42.2	0.4	50.2	1.2
2754	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	1.0	84.0	0.5	13.5	0.9
2766	rihmakeel	valatud	0.0	0.0	1.0	45.4	0.2	52.5	0.9
2767	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.4	63.3	0.4	34.9	1.0
2788	naast	stantsitud	0.0	0.0	1.3	1.7	0.3	95.9	0.7
279	kaaluvihht	valatud	0.0	0.0	0.2	45.3	0.2	53.5	0.8
2810	naast	stantsitud	0.0	0.0	5.3	23.7	0.2	69.5	1.2
2811	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	1.9	0.9	0.2	96.5	0.4
3025	sõrmuse katke	valatud	0.0	0.0	1.2	6.3	0.2	91.0	1.2
3036	tinuline	valatud	0.0	0.0	9.3	35.2	0.0	54.2	1.2
3047	palverännakumärk	valatud	0.0	0.0	3.9	40.8	0.0	54.3	1.0
3060	püssikuul	valatud	0.0	0.0	1.2	60.7	0.0	37.3	0.8
3061	tinuline	valatud	0.0	0.0	7.2	40.9	0.0	50.6	1.2
3082	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.4	84.5	0.0	14.2	1.0
3091	naast	stantsitud	0.0	0.0	2.9	34.5	0.0	61.7	0.9
3102	kaubaplohm katke	valatud	0.0	0.0	0.2	87.5	0.0	11.6	0.6
3112	palverännakumärk	valatud	0.0	0.0	0.2	86.8	0.0	12.2	0.7
3113	katke	valatud	0.0	0.0	0.6	86.5	0.0	12.2	0.7
3126	naast	stantsitud	0.0	0.0	6.6	33.9	0.0	58.4	1.1
3143	palverännakumärk	valatud	0.0	0.0	1.0	80.2	0.0	13.3	5.5

Ese	kirjeldus	tehnika	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Pb (%)	Bi (%)	Sn (%)	Sb (%)
3144	püssikuul	valatud	0.0	0.0	1.4	84.6	0.0	13.1	0.9
3145	püssikuul	valatud	0.0	0.0	0.4	86.7	0.0	12.1	0.7
3146	püssikuul	valatud	0.0	0.0	0.8	86.0	0.0	12.4	0.7
3194	tinuline	valatud	0.0	0.0	4.1	26.5	0.0	68.4	1.0
3205	palverännumärk	valatud	0.0	0.0	3.5	47.1	0.0	48.4	0.9
3281	pannal	valatud	0.0	0.1	1.9	0.7	0.2	96.8	0.3
3520	tinuline	valatud	0.0	0.0	3.0	19.6	0.0	76.5	0.9
3521	tinuline	valatud	0.0	0.0	4.5	62.0	0.0	32.5	0.9
382	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.4	83.6	0.6	14.5	0.9
384	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	84.4	0.6	13.7	1.1
4149	palverännumärk	valatud	0.0	0.0	0.6	60.7	0.0	37.9	0.8
4162	pannal	valatud	0.0	0.0	0.9	38.8	0.2	58.8	1.2
435	kaaluvihht	valatud	0.0	0.0	0.3	84.7	0.6	13.5	1.0
437	naast	stantsitud	0.0	0.0	0.7	83.1	0.0	15.5	0.7
438	kaunistus	valatud	0.0	0.2	0.6	0.0	0.6	96.5	2.2
458	katke		0.0	0.0	7.8	31.4	0.6	58.2	2.0
53	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.3	85.3	0.5	13.0	0.9
55	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.3	0.5	13.1	0.9
57	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.8	0.5	12.6	1.0
58	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.3	84.6	0.5	13.7	0.9
585	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.3	84.6	0.6	13.6	1.0
586	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.3	85.1	0.6	13.2	0.8
587	akna pliiraamistuse katke	valatud	0.0	0.0	0.8	57.1	0.3	40.7	1.0
597	palverännumärk	valatud	0.0	0.0	1.5	43.1	0.1	54.3	0.9
61	ripats	valatud	0.0	0.0	6.3	15.9	0.2	76.3	1.3
64	pühakuju	valatud	0.0	0.0	0.1	85.7	0.5	12.7	0.9
67	akna pliiraamistuse katke	valatud	0.0	0.0	0.7	83.4	0.6	14.3	1.1
670	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.4	0.5	13.0	0.9
671	sõrmus	valatud	0.0	0.0	0.9	44.0	0.2	54.0	0.9
699	naast	stantsitud	0.0	0.0	0.2	85.0	0.6	13.4	0.9
701	lusikavars	valatud	0.0	0.0	2.4	0.0	0.2	96.8	0.6
702	palverännumärk	valatud	0.0	0.0	0.1	84.1	0.5	14.4	0.8
706	naast	stantsitud	0.0	0.0	4.2	27.1	0.1	67.5	1.0
707	rõngas	sepistatud	0.0	0.0	0.8	45.0	0.1	53.1	0.9
713	kaubaplohm	valatud	0	1	15	14	0	67	1.9
730	akna pliiraamistuse katke	valatud	0	1	15	19	0	63	1.7
734	katke	valatud	0	1	11	13	0	72	1.8
735	plekk	sepistatud	0	1	6	46	0	46	1.4
75	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.2	85.6	0.5	12.6	1.0
76	kaubaplohm	valatud	0.0	0.0	0.1	86.0	0.5	12.5	0.8

Ese	kirjeldus	tehnika	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Pb (%)	Bi (%)	Sn (%)	Sb (%)
765	püssikuul	valatud	0	1	14	25	0	58	1.7

Lisa 2. Vasesulamite mõõtmistulemused CU1 kalibratsiooniga. Alanumbriga AI7909:

Ese	kirjeldus	tehnika	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Fe (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Sn (%)	Mn (%)
12	nööpnõel	valatud	74.5	20.0	1.5	0.8	0.2	0.9	0.8	0.00	0.82	0.00
1008	pintsetid	sepistatud	82.5	11.2	0.0	0.0	1.4	0.0	2.9	1.27	0.00	0.09
1120	rinnalehe katke, ažuurne, risti kujutis	sepistatud	88.2	7.4	0.6	0.0	0.4	0.0	2.3	0.88	0.00	0.04
1121	naast	stantsitud	76.0	22.2	0.9	0.0	0.2	0.0	0.6	0.13	0.00	0.00
1122	plekitükk	sepistatud	90.1	7.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.8	0.80	0.00	0.03
1129	naast	stantsitud	72.3	25.0	1.2	0.0	0.2	0.0	0.9	0.14	0.00	0.00
1142	katke	sepistatud	81.9	15.6	0.9	0.0	0.8	0.0	0.6	0.17	0.00	0.03
1160	pannal	valatud	11.4	49.0	0.0	0.0	33.6	0.0	2.4	2.57	0.00	1.01
1162	plekitükk	sepistatud	87.9	9.4	0.3	0.0	0.4	0.0	0.7	0.60	0.00	0.02
1163	plekitükk	sepistatud	89.4	8.2	0.7	0.0	0.4	0.0	0.6	0.33	0.00	0.00
1187	plekitükk	sepistatud	87.2	7.0	1.7	0.0	1.9	0.0	1.9	0.26	0.00	0.19
1189	plekitükk	sepistatud	91.5	0.3	0.4	0.0	4.4	0.0	1.4	1.16	0.00	0.33
1198	plekitükk	sepistatud	96.9	0.1	0.4	0.0	1.2	0.0	0.8	0.55	0.00	0.07
1199	plekitükk	sepistatud	97.8	0.1	0.8	0.0	0.4	0.0	0.6	0.20	0.00	0.01
1214	ese, plekist	sepistatud	85.8	9.3	1.2	0.0	0.7	0.0	2.0	0.47	0.00	0.03
1220	püssiraua katke		90.1	7.1	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.96	0.00	0.05
1223	plekitükk	sepistatud	98.3	0.1	0.5	0.0	0.2	0.0	0.6	0.36	0.00	0.00
1224	plekitükk	sepistatud	93.4	3.8	0.8	0.0	0.9	0.0	0.7	0.22	0.00	0.11
1230	katke	sepistatud	96.9	0.1	1.5	0.0	0.3	0.0	1.1	0.09	0.00	0.05
1252	valmistusjääk	sepistatud	87.2	9.5	1.3	0.0	0.2	0.0	1.1	0.15	0.00	0.03
1253	katke	valatud	97.9	0.1	1.1	0.0	0.1	0.0	0.8	0.01	0.00	0.00
1254	katke	valatud	97.4	0.1	1.4	0.0	0.3	0.0	0.8	0.00	0.00	0.01
1264	plekitükk	sepistatud	86.7	8.8	1.7	0.0	0.5	0.0	1.8	0.02	0.00	0.04
1273	plekitükk	sepistatud	93.6	0.1	2.3	0.0	1.2	0.0	2.6	0.00	0.00	0.09
1453	pannal	valatud	81.5	10.8	1.5	0.0	3.1	0.0	2.7	0.29	0.00	0.17
1453 b	katke	sepistatud	92.0	5.8	0.7	0.0	0.4	0.0	0.7	0.20	0.00	0.01
1454	katke	valatud	98.3	0.0	0.8	0.0	0.1	0.0	0.6	0.10	0.00	0.00
1456	plekitükk neediga	sepistatud	81.8	11.4	1.1	0.0	4.4	0.0	0.9	0.17	0.00	0.24
1462	sõrmus	valatud	78.3	15.8	1.0	0.0	0.7	0.0	3.8	0.04	0.00	0.00
1554	naast	stantsitud	73.7	22.7	1.6	0.0	0.4	0.0	1.4	0.13	0.00	0.03
1564	pannal	valatud	74.9	20.9	1.7	0.0	0.5	0.0	1.8	0.17	0.00	0.02
1567	naast	stantsitud	73.7	23.7	1.4	0.0	0.1	0.0	0.9	0.00	0.00	0.00
1568	sõrmus	valatud	63.1	18.3	1.5	0.0	15.5	0.0	1.0	0.04	0.00	0.61

Ese	kirjeldus	tehnik	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Fe (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Sn (%)	Mn (%)
1582 b	naast	stantsitud	78.1	18.3	1.9	0.0	0.2	0.0	1.3	0.00	0.00	0.02
1583	kuljuse tükk	valatud	79.8	8.0	0.0	0.0	7.0	0.0	3.3	1.42	0.00	0.39
1584	pannal	valatud	79.4	16.4	1.7	0.0	1.1	0.0	1.3	0.12	0.00	0.04
1585	pannal	valatud	90.7	4.3	0.6	0.0	0.6	0.0	2.8	0.75	0.00	0.09
1589	kaunistus	valatud	73.1	22.4	2.1	0.0	0.3	0.0	1.8	0.00	0.00	0.00
1590	katke	sepistatud	86.0	11.3	0.6	0.0	0.6	0.0	0.7	0.31	0.00	0.02
1591	katke	sepistatud	98.0	0.1	1.2	0.0	0.1	0.0	0.7	0.00	0.00	0.00
1596	katke	sepistatud	87.1	10.5	1.0	0.0	0.5	0.0	0.7	0.11	0.00	0.02
1597	katke	sepistatud	88.5	9.5	0.6	0.0	0.3	0.0	0.6	0.19	0.00	0.00
1598	katke	sepistatud	88.7	9.2	0.6	0.0	0.3	0.0	0.8	0.29	0.00	0.01
1599	katke	sepistatud	96.2	0.0	0.9	0.0	1.7	0.0	0.8	0.26	0.00	0.11
1600	katke	sepistatud	85.8	8.8	0.4	0.0	0.6	0.0	3.1	0.71	0.00	0.07
1601	katke	valatud	98.0	0.0	1.0	0.0	0.1	0.0	0.7	0.03	0.00	0.00
1602	katke	valatud	98.1	0.0	1.1	0.0	0.2	0.0	0.6	0.00	0.00	0.00
1609	katke	sepistatud	74.3	19.0	1.6	0.0	3.7	0.0	1.0	0.11	0.00	0.22
1610	neet	sepistatud	89.0	3.8	1.3	0.0	3.7	0.0	1.4	0.36	0.00	0.40
1615	katke	sepistatud	97.4	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.9	0.35	0.00	0.02
1616	katke	sepistatud	98.1	0.0	1.0	0.0	0.1	0.0	0.7	0.04	0.00	0.00
1617	katke	sepistatud	98.0	0.0	0.8	0.0	0.1	0.0	0.7	0.22	0.00	0.01
1633	katke	sepistatud	93.2	4.2	1.1	0.0	0.5	0.0	0.8	0.16	0.00	0.02
1635	katke	sepistatud	98.0	0.0	1.2	0.0	0.1	0.0	0.7	0.00	0.00	0.00
1701	naast	stantsitud	81.3	12.4	1.5	0.0	0.9	0.0	3.7	0.00	0.00	0.12
1704	plekk	sepistatud	68.3	25.5	1.4	0.0	2.8	0.0	1.5	0.16	0.00	0.13
1705	katke	sepistatud	89.2	7.8	0.1	0.0	0.5	0.0	1.1	0.78	0.00	0.02
1706	katke	sepistatud	88.4	9.4	0.7	0.0	0.5	0.0	0.8	0.28	0.00	0.00
1811	pannal	valatud	77.7	17.7	0.4	0.4	0.8	0.8	0.4	0.57	0.90	0.03
1816	naast	stantsitud	70.0	28.2	0.1	0.2	0.1	0.5	0.2	0.21	0.25	0.02
1817	pannal	valatud	63.4	4.2	3.7	2.7	2.1	0.0	1.0	1.57	20.85	0.12
1830	katke	sepistatud	83.8	12.6	0.0	0.1	0.6	0.6	0.1	0.80	0.73	0.03
1839	sõrmus	valatud	67.9	13.9	0.2	3.7	1.2	3.3	4.0	0.52	3.10	0.12
1840	pannal	valatud	84.0	2.1	0.7	4.0	0.7	0.7	0.5	3.23	3.24	0.02
1844	naast	stantsitud	83.3	7.8	1.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.02	6.99	0.00
1846	katke	valatud	82.2	0.3	0.0	4.5	0.2	0.4	0.3	3.85	7.50	0.00
1850	ripats	valatud	84.1	3.5	2.9	0.9	0.5	0.4	0.2	1.09	6.01	0.05
1851	plekk	sepistatud	99.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.03	0.16	0.01
1859	paelaotsik	valatud	75.0	21.4	1.2	0.4	0.6	0.5	0.4	0.00	0.41	0.02
1861	käärde katke	valatud	66.6	4.1	6.9	1.8	12.3	0.7	0.6	0.83	5.17	0.56
1898	sõrmkübar	valatud	74.4	18.5	4.1	0.2	1.1	0.2	0.1	0.31	0.88	0.08
1927	kuljus	sepistatud	85.5	8.8	0.0	0.2	0.3	0.4	0.2	0.52	3.67	0.00

Ese	kirjeldus	tehnika	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Fe (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Sn (%)	Mn (%)
2036	pannal	valatud	74.6	13.2	4.8	0.6	0.8	0.5	0.3	1.41	3.39	0.02
2037	pannal	valatud	73.9	0.7	0.0	3.9	1.0	0.0	0.6	3.81	15.37	0.06
2038	pannal	valatud	70.2	17.7	7.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.96	2.49	0.00
2039	pannal	valatud	74.8	21.3	2.3	0.1	0.6	0.2	0.1	0.15	0.24	0.02
2040	naast	stantsitud	68.5	27.8	1.2	0.5	0.1	0.6	0.4	0.12	0.49	0.00
2059	naast	stantsitud	74.0	22.6	1.6	0.3	0.1	0.3	0.2	0.34	0.57	0.00
2060	naast	valatud	86.5	8.1	0.0	0.2	0.2	0.5	0.1	2.11	2.23	0.00
2061	kuljus	valatud	86.2	8.0	0.0	0.2	0.1	0.5	0.1	2.42	2.40	0.00
2062	kuljus	valatud	83.4	3.9	1.0	0.7	7.4	1.0	0.5	0.28	1.22	0.37
2069	kuljus	valatud	91.8	6.5	0.8	0.1	0.0	0.2	0.1	0.18	0.17	0.00
2070	sõrmkübar	sepistatud	70.8	26.4	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.18	0.37	0.02
2075	naast	valatud	72.7	18.8	0.0	0.2	5.6	0.3	0.1	0.51	1.12	0.27
2091	kuljus	valatud	63.6	20.2	1.9	2.9	1.5	2.7	2.7	0.70	2.25	0.15
2093	sõrmus	valatud	71.1	26.2	0.1	0.2	0.9	0.5	0.2	0.18	0.26	0.03
2097	naast	valatud	80.6	13.3	0.8	0.4	1.5	0.4	0.2	0.41	2.06	0.08
2100	pannal	valatud	72.5	26.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.19	0.12	0.00
2512	naast	valatud	53.3	13.6	4.6	0.5	24.7	0.5	0.3	0.44	1.02	0.88
257	sõrmus	valatud	73.2	23.8	1.6	0.1	0.2	0.3	0.1	0.20	0.45	0.01
258	sõrmkübar	sepistatud	77.6	10.4	2.4	1.4	1.0	1.1	1.3	0.69	3.52	0.10
259	katke		76.6	20.3	0.7	0.1	0.8	0.4	0.1	0.23	0.37	0.05
2633	naast	stantsitud	46.3	21.2	4.2	0.5	25.2	0.5	0.3	0.07	0.51	0.91
266	naast	valatud	63.0	21.7	2.0	2.9	0.5	2.9	2.9	0.17	1.95	0.17
2715	sõrmkübar	valatud	73.4	20.9	1.7	0.8	0.1	1.0	0.9	0.00	0.86	0.00
2722	nööpnõel	valatud	71.6	7.2	5.6	0.6	6.2	0.4	0.2	0.21	7.61	0.31
2723	ese, looma kujuline	valatud	89.4	6.4	2.1	0.2	0.5	0.2	0.1	0.21	0.77	0.03
2725	võtmehoidja, inimese kujuline	valatud	74.6	23.3	0.8	0.2	0.1	0.2	0.2	0.12	0.23	0.00
2726	naast	stantsitud	71.8	26.6	0.2	0.1	0.1	0.4	0.1	0.26	0.19	0.00
2727	naast	stantsitud	73.1	24.5	0.5	0.3	0.2	0.4	0.2	0.17	0.27	0.01
2729	naast	valatud	87.6	6.9	0.0	0.7	0.7	0.5	0.2	1.27	2.10	0.02
2731	rõngassõlg	valatud	81.5	14.4	2.6	0.2	0.3	0.2	0.1	0.28	0.22	0.00
2732	hoburaudsõlg	valatud	78.9	14.4	2.3	0.9	0.3	0.8	0.8	0.05	1.16	0.00
2741	rõngas	valatud	71.2	24.6	1.1	0.4	0.1	0.6	0.4	0.14	1.06	0.00
2742	pannal	valatud	89.6	3.4	3.5	0.3	0.3	0.5	0.2	0.24	1.82	0.01
2743	pannal	valatud	86.7	1.9	4.6	3.5	0.2	0.4	0.2	0.73	1.71	0.00
2750	ripats	valatud	84.5	12.5	1.2	0.2	0.8	0.2	0.1	0.12	0.24	0.04
2753	naast	stantsitud	81.1	15.0	1.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.03	1.55	0.00
2759	naast	sepistatud	82.3	11.1	0.3	0.4	0.6	1.0	0.4	0.24	3.37	0.06
2764	plekk	sepistatud	86.9	9.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.3	0.30	1.03	0.03
2779	Sõle nõel	valatud	75.0	6.7	1.7	0.4	0.7	0.1	0.2	0.57	14.43	0.04

Ese	kirjeldus	tehnik	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Fe (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Sn (%)	Mn (%)
2791	pannal	valatud	11.3	2.6	2.5	1.0	2.4	0.0	0.9	1.14	77.72	0.13
28	pannal	valatud	82.0	10.3	2.0	0.7	0.8	0.6	0.3	0.74	2.27	0.02
2806	sõlg	valatud	48.1	14.9	0.6	0.7	29.0	0.9	0.5	2.69	1.30	0.93
2807	pannal	valatud	80.8	15.9	1.2	0.4	0.1	0.4	0.4	0.00	0.69	0.00
2808	neet	sepistatud	88.9	1.7	3.3	0.0	0.4	0.7	0.0	0.45	4.55	0.00
3041	naast	stantsitud	84.6	11.7	0.5	0.0	0.2	0.3	0.0	0.30	2.33	0.00
3043	naast	stantsitud	77.4	21.4	0.4	0.1	0.0	0.2	0.1	0.10	0.11	0.00
3049	naast	valatud	87.7	9.6	1.8	0.0	0.2	0.2	0.1	0.07	0.24	0.00
3050	pannal	valatud	86.1	9.8	0.6	0.0	0.3	0.1	0.0	0.04	3.06	0.00
3054	katke	valatud	62.0	24.3	4.8	0.2	6.0	0.2	0.2	0.00	1.64	0.33
3056	nööp	valatud	79.6	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.72	0.06	0.00
3069	naast	stantsitud	73.4	25.7	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.19	0.04	0.00
3085	naast	stantsitud	73.4	21.6	1.4	0.0	2.3	0.3	0.1	0.44	0.13	0.10
3086	naast	valatud	71.1	28.4	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.06	0.06	0.00
3087	katke		67.7	12.2	5.3	0.2	1.6	0.1	0.0	1.59	11.30	0.06
3091	naast	stantsitud	93.7	3.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	1.20	1.63	0.00
3111	naast	sepistatud	70.9	16.9	0.8	2.1	0.7	2.3	2.9	0.96	1.31	0.14
3117	naast	sepistatud	94.9	1.7	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.82	1.76	0.00
3119	plekk	stantsitud	97.9	1.2	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.04	0.24	0.00
3139	naast	valatud	80.1	2.3	5.7	0.4	5.9	0.4	0.2	1.18	3.13	0.47
3140	nööp	valatud	78.8	19.8	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.10	0.04	0.00
3159	naast	valatud	76.7	18.0	2.1	0.0	2.0	0.1	0.0	0.28	0.57	0.09
3179	võti	valatud	82.9	3.8	3.4	0.7	0.9	1.0	1.1	0.48	5.13	0.09
3196	kaalude kausike	valatud	85.5	7.4	0.6	0.1	1.1	0.1	0.3	1.13	3.62	0.09
3206	rõivakinnitusha ak	valatud	80.3	15.3	1.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.74	1.09	0.00
3209	õmblusnõel	valatud	80.3	17.3	0.5	0.1	0.1	0.5	0.3	0.60	0.27	0.00
3226	katke	valatud	94.7	0.7	1.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.55	1.40	0.01
3293	pannal	valatud	95.6	3.0	0.4	0.0	0.3	0.1	0.0	0.13	0.34	0.00
3517	rihmakand	valatud	91.9	6.0	1.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.16	0.15	0.00
3518	pannal	valatud	88.7	8.5	0.0	0.0	0.6	0.4	0.1	0.50	0.97	0.02
3570	katke	valatud	83.8	1.4	0.0	2.9	1.5	0.7	0.1	3.61	5.75	0.09
377	katke	sepistatud	75.6	20.2	2.4	0.1	0.9	0.2	0.0	0.16	0.35	0.04
378	sõrmkübar	valatud	84.5	14.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.03	0.10	0.00
380	pannal	valatud	98.9	0.1	0.2	0.1	0.0	0.3	0.1	0.04	0.16	0.00
381	katke		80.1	9.9	2.6	0.4	0.5	0.2	0.1	0.62	5.53	0.02
385	küünlajala osa	valatud	75.4	19.1	2.3	0.1	0.8	0.2	0.0	0.53	1.13	0.01
4146	pannal	valatud	78.0	8.9	2.3	0.4	1.3	0.3	0.4	0.61	7.60	0.06
4147	pannal	valatud	88.0	10.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.31	0.92	0.00
4154	ripats	valatud	11.2	0.1	3.1	0.2	20.6	60.9	0.5	0.56	1.80	0.87
4155	ripats	valatud	28.3	44.4	1.7	0.7	22.4	0.6	0.4	0.05	0.60	0.69

Ese	kirjeldus	tehnika	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Fe (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Sn (%)	Mn (%)
439	lukkumi katke		90.8	2.7	0.0	0.9	0.4	0.3	0.1	1.12	2.49	0.02
444	püssiraua katke	valatud	87.8	9.4	0.0	0.1	0.3	0.4	0.1	0.58	1.05	0.00
445	pannal	valatud	98.7	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.09	0.21	0.01
446	plekk	valatud	61.6	18.9	3.1	0.2	10.2	0.8	0.1	0.42	4.23	0.45
459	sõrmus	valatud	81.9	8.6	4.4	0.5	1.8	0.5	0.4	0.39	1.10	0.20
460	pannal	valatud	66.5	19.8	4.1	0.2	6.8	0.3	0.1	0.30	1.34	0.32
51	käärid esimene osa	sepistatud	65.7	19.4	4.4	0.2	7.5	0.4	0.2	0.37	1.40	0.35
51	käärid teine osa	sepistatud	71.9	25.1	1.4	0.1	0.5	0.2	0.1	0.33	0.18	0.02
52	sõrmkübar	valatud	42.7	13.6	9.8	0.7	22.2	0.6	0.5	0.26	8.62	0.77
54	Pannal	valatud	79.8	18.0	0.0	0.1	1.4	0.2	0.1	0.18	0.16	0.09
56	võti	valatud	70.9	27.4	0.5	0.1	0.1	0.3	0.1	0.10	0.15	0.00
62	naast	valatud	91.3	6.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.1	0.39	1.00	0.01
69	lusikas	sepistatud	85.6	11.6	0.0	0.1	0.4	0.4	0.1	0.54	0.79	0.00
70	Laterna karp	sepistatud	71.5	25.7	1.8	0.1	0.2	0.1	0.0	0.15	0.10	0.00
700	naast		97.6	0.1	1.1	0.2	0.1	0.4	0.2	0.08	0.26	0.00
708	katke		85.9	8.1	0.0	0.1	0.4	0.7	0.1	1.20	3.19	0.03
709	naast	sepistatud	84.1	11.1	0.0	0.5	0.4	0.8	0.5	0.90	1.11	0.04
71	konks ketiga	valatud	90.4	3.6	0.0	0.0	1.1	0.0	4.5	0.08	0.00	0.24
719	sõrmus	valatud	89.6	4.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.46	3.91	0.01
742	naast	valatud	97.5	0.1	1.2	0.0	0.4	0.0	0.8	0.04	0.00	0.03
755	õigeusu ristike	valatud	73.2	18.9	1.6	0.0	5.1	0.0	0.9	0.01	0.00	0.24
757	naast		71.2	23.8	1.9	0.0	0.5	0.0	2.3	0.10	0.00	0.03
851	katke	valatud	76.2	16.2	0.0	0.0	0.7	0.0	6.6	0.00	0.00	0.08
853	nööpnõel		77.8	8.9	1.7	0.0	9.8	0.0	1.3	0.15	0.00	0.47
854	katke	sepistatud	94.6	3.5	0.6	0.0	0.2	0.0	0.7	0.44	0.00	0.00
856	plaat	sepistatud	82.6	9.7	0.8	0.0	2.7	0.0	3.8	0.22	0.00	0.21
859	plaat	sepistatud	89.0	8.5	1.2	0.0	0.1	0.0	1.0	0.12	0.00	0.00
861	sõrmkübar	sepistatud	87.7	9.8	0.9	0.0	0.3	0.0	0.7	0.14	0.00	0.00
862	katke	valatud	89.8	4.4	0.0	0.0	0.7	0.0	4.2	0.81	0.00	0.04
904	sõrmus	valatud	88.7	9.5	1.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.08	0.00	0.02
905	sõrmkübar	sepistatud	97.1	0.1	0.7	0.0	0.9	0.0	0.7	0.38	0.00	0.05

Lisa 3. Vasesulamite mõõtmistulemused CU3 kalibratsiooniga. Alanumbriga AI7909:

Ese	kirjeldus	tehnika	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Fe (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Sn (%)	Mn (%)
1023	valmistusjääk	sepistatud	25.9	0.0	56.3	0.0	13.4	1.0	0.0	3.21	0.00	0.14
1032	rõngas	valatud	53.8	5.1	13.7	0.0	25.7	1.4	0.0	0.00	0.00	0.24
1033	plekist ketas, keskel auk	sepistatud	28.6	12.4	51.6	0.0	5.9	1.0	0.4	0.01	0.00	0.10
1237	naast		15.0	3.6	68.5	0.0	8.4	1.0	0.0	3.35	0.00	0.10

Ese	kirjeldus	tehnika	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Fe (%)	Ag (%)	Bi (%)	As (%)	Sn (%)	Mn (%)
1265	katke	sepistatud	90.6	0.0	7.3	0.0	0.1	0.1	1.1	0.68	0.00	0.03
1402	sõrmkübar	sepistatud	59.7	24.2	13.9	0.0	1.4	0.6	0.2	0.00	0.00	0.07
1518	neet	sepistatud	44.5	3.7	33.0	0.0	17.2	1.0	0.5	0.00	0.00	0.17
1563	sõrmus	valatud	22.3	8.3	54.7	0.0	12.2	1.1	1.1	0.00	0.00	0.21
1565	pannal, kaheosaline	valatud	55.6	4.2	3.6	0.0	34.2	1.9	0.1	0.04	0.00	0.31
1566	naast	stantsitud	84.9	0.8	12.6	0.0	1.3	0.2	0.1	0.00	0.00	0.04
1582	sõrmkübar	sepistatud	86.5	2.3	9.4	0.0	1.2	0.2	0.3	0.00	0.00	0.04
1634	katke	sepistatud	71.9	0.0	26.3	0.0	0.0	0.2	0.0	1.56	0.00	0.03
1806	pannal	valatud	15.0	0.2	5.4	0.2	56.0	3.2	0.0	0.04	19.42	0.54
1841	pannal	valatud	53.0	0.5	32.1	0.6	4.5	0.3	0.1	0.18	8.66	0.06
1902	nööpnõel	valatud	58.1	11.8	3.7	1.2	21.3	1.2	0.1	0.03	2.49	0.20
1909	naast	stantsitud	18.8	0.3	32.7	0.0	2.2	0.7	0.4	0.00	44.88	0.08
2063	kuljus	valatud	54.0	4.8	21.9	0.0	0.0	0.1	0.2	0.26	18.80	0.02
2084	kuljus	valatud	45.0	15.9	28.3	0.4	8.5	0.8	0.5	0.17	0.41	0.12
2088	pannal	valatud	39.4	0.0	43.5	0.3	0.3	0.1	0.0	0.31	16.12	0.02
265	pannal	valatud	13.3	8.1	68.6	0.3	7.1	0.5	0.0	0.51	1.56	0.09
2724	figuur	valatud	64.9	0.4	26.7	1.7	0.2	0.1	0.1	0.27	5.66	0.02
2756	nööp	valatud	42.2	0.6	6.0	0.7	38.3	2.3	0.0	0.05	9.41	0.38
2757	rõngas	valatud	49.1	3.1	27.9	7.4	2.2	0.6	0.4	0.02	9.17	0.05
2758	ripats	valatud	38.5	10.2	14.2	0.5	11.8	2.2	1.0	0.22	21.03	0.25
2797	kuljus	valatud	77.1	0.0	15.0	1.4	0.0	0.1	0.6	0.27	5.51	0.03
2798	kuljus	valatud	73.7	0.0	18.0	1.0	0.0	0.1	0.1	0.22	6.83	0.02
3017	naast	stantsitud	66.5	9.8	19.7	0.2	0.0	0.1	2.1	0.29	1.31	0.03
3070	rõngas	valatud	69.2	6.1	19.8	0.3	0.8	0.1	0.1	0.46	3.20	0.02
3200	sõrmus	valatud	44.0	0.0	17.4	1.8	29.9	1.4	0.1	0.06	5.31	0.11
3266	sõrmus	valatud	46.3	5.3	32.6	3.5	4.8	0.5	1.1	0.28	5.54	0.06
436	naast	stantsitud	30.1	0.0	1.6	0.0	15.0	0.8	0.0	0.02	52.32	0.14
455	naast	stantsitud	61.8	0.3	32.1	0.1	1.7	0.2	0.0	0.14	3.73	0.03
595	katke		66.0	0.0	21.1	4.2	0.4	0.1	0.2	0.25	7.62	0.02
596	katke		5.2	0.0	28.3	0.0	4.9	0.3	0.0	0.01	61.11	0.05
723	sõrmus	valatud	57.2	0.9	7.8	0.0	31.9	1.8	0.1	0.02	0.00	0.32
741	plekk	sepistatud	23.4	0.3	58.6	0.0	13.9	1.2	0.1	2.29	0.00	0.15
791	pannal	valatud	62.2	0.3	13.2	0.0	22.6	1.4	0.0	0.06	0.00	0.25
845	pannal	valatud	65.9	17.2	0.0	0.0	15.1	1.3	0.3	0.00	0.00	0.15
855	pannal	valatud	84.3	9.7	3.2	0.0	0.7	0.1	1.8	0.12	0.00	0.03
964	kraan	valatud	87.7	3.9	3.0	0.0	0.0	0.2	4.6	0.51	0.00	0.11
967	katke	sepistatud	68.8	6.0	2.9	0.0	20.9	1.2	0.0	0.03	0.00	0.21

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ants Hendrik Liivak

(sünnikuupäev: 25.06.1995)

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

Hiliskeskaegsete sulamite koostis Jahu tn. 6 leidude näitel

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 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.

Ants Hendrik Liivak

14.05.2020