

TARTU ÜLIKOOL

Humanitaarteaduste ja kunstide valdkond

Ajaloo ja arheoloogia instituut

Küllike Tint

ARHEOLOOGILISE VETTINUD PUIDU KONSERVEERIMINE: METOODIKA
JA PRAKTIKA

Juhendajad: Jüri Peets, PhD

Riina Rammo, PhD

Tartu 2018

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Puidu konserveerimine Eestis.....	8
2. Arheoloogilise vettinud puidu konserveerimine (teooria).....	15
2.1. Puidu struktuur ja koostis.....	15
2.2. Puidu säilimine arheoloogilises kontekstis: protsessid.....	20
2.3. Puitu kahjustavad tegurid	22
2.4. Vettinud puidu hoiustamine kaevamiste ajal ja peale kaevamist	23
2.5. Arheoloogilise puidu konserveerimine	24
2.5.1. Immutamismeetodite valikud	24
2.5.2. Suhkur	29
2.5.3. Poüetüleenglükool (PEG)	32
2.5.4. Silikoonõli	35
2.6. Arheoloogilise vettinud puidu kuivatamine	38
2.6.1. Vaakumkülmkuivatus	38
2.6.2. Normaalrõhul külmkuivatus.....	43
2.6.3. Kontrollitud õhkkuivamine.....	44
2.6.4. Lahusepõhine kuivatus	46
3. Arheoloogilise vettinud puidu konserveerimiskatsed.....	47
3.1. Katsed I–IV: Peetri koge proovid	47
3.1.1. Dokumenteerimine ja soolade väljasaamine	47
3.1.2. Katse 1: kaheastmeline konserveerimine.....	52
3.1.3. Katse 2: konserveerimine aurutamise meetodil	54
3.1.4. Katse 3: suhkruga konserveerimine	58
3.1.5. Katse 4: silikoonõliga konserveerimine.....	61
3.2. Katsed V ja VI: Tartu Lutsu 12, Tallinna Pärnu mnt 31 ja Kiikri proovitükid	63
3.2.1. Lagunemisastme määramine	64
3.2.2. PEG-i puitu imbumise aeg ja kiirus	65
3.2.3. Kuivatamine ja tulemused (lõppmõõdud)	67
3.3. Diskussioon.....	71
Kokkuvõte.....	74
Kasutatud kirjandus	78
Summary	88

Lisa 1. Kaardid

Lisa 2. Puidu konserveerimise ajalooga seotud tabelid ja fotod

Lisa 3. Uurimistöös läbi viidud katsed

Lisa 4. Fotod

Lisa 5. Tabelid

Lisa 6. Lühendid

Sissejuhatus

Arheoloogiliseks vettinud puiduks nimetatakse inimese poolt kasutatud või valmistatud esemeid ja konstruktsioone (Björdal 2012, 118), mis on märjas maapinnas säilinud mitmesuguste soodustavate tegurite koosmõjul. Puit on üks vanimaid kasutatud materjale esemete, nõude, laevade ja sõidukite valmistamisel, sest seda on lihtne ka algeliste tööriistadega töödelda (Unger *et al.* 2001, 3). Orgaanilise materjalina säilib puit üldjuhul halvasti ning säilinud esemed on seega hinnaline materjal andmaks lisateavet omaaegse ehituse, kaubanduse ja kultuuri kohta. Selleks, et orgaanilisi esemeid saaks uurida ka 50-ne või rohkema aasta pärast peale leidmist, on nende pikaajalise hea säilivuse tagamiseks oluline õige tegutsemine juba kaevandis (väljakaevamine, pakendamine, hoiustamine, transport). Näiteks, kui ese on mitmeks tükiks purunenud, peaks olema võimalik katkeid peale konserveerimist kokku liimida ilma, et need erinevates suundades kuivanud oleksid. Kuigi ükski asi ei ole igavene, on konservaatori ülesanne tagada eseme stabiilsus, mis tähendab märja puidu puhul objekti viimist vettinud olekust kuiva näiteks konservandiga immutamise ja läbimõeldud kuivatamise teel.

Puit säilib hästi keskkonnas, kuhu hapnik ja valgus ligi ei pääse ning see takistab mikroorganismide lagundavat tegevust (Werz, Seemann 1993, 37). Eestis on arheoloogilise vettinud puidu peamiseks leiukohtadeks rannikualad (nt uppunud vrakid), kõrge põhjaveetasemega alad (nt Tartu vanalinna territoorium), kaevud, jäätmekastid või rabad. Seega leitakse arheoloogilist puitu tavaliselt vähe, kuid soodsates säilimistingimustes võib seda välja tulla massiliselt. Eestis puuduvad suuremahuliste arheoloogiliste orgaaniliste esemete säilitamiseks sobivad hoidlad (Roio *et al.* 2016b, 8) ja siin on vähe selle ala konservaatoreid, mis muudab esemete hoiustamise ja konserveerimismeetodite valiku keeruliseks.

Magistritöö teema valiku üheks ajendiks oli arheoloogiliste esemete säilitamise kursus, mis tutvustas erinevaid arheoloogilisi materjale ja nende konserveerimise võimalusi ning millest tekkis eriala vastu lähem huvi. Kuna 2015. aastal kaevati Kadriorus 14. sajandi koge koos rohkete leidudega (keraamika, nahk, tekstiil, puit)

(Roio *et al.* 2016a, 158), andis see hea võimaluse teha konserveerimispõhine töö vettinud puidu säilitamisest. Teemast tulenevalt on käesoleva töö peamisteks eesmärkideks anda ülevaade arheoloogilise vettinud puidu konserveerimisest Eestis ning uurida ja hinnata erinevate meetodite kasutusvõimalusi 14. sajandi Peetri koge ja sealt pärinevate leidude konserveerimiseks.

Teema võimaldas seda töövaldkonda ise tundma õppida ja tööprotsessi lähemalt selgemaks teha. Ehkki arheoloogilise puidu konserveerimisest on Eestis ka varem kirjutatud (nt Peets 1989; Peets, Ratas 2000; Peets 2015; Kriiska, Lõugas 2006; Roio 2006), ei ole veel tehtud uurimust, mis kirjeldaks koos puidu konserveerimisega seotud erinevaid etappe (dokumenteerimine, immutamine, kuivatamine) ja esemetega toimuvaid protsesse konserveerimise käigus. Katsete tegemine on nende protsesside uurimise juures oluline, sest on juhuseid, kus meetodid on liiga kiiresti kasutusele võetud, selgitamata nende pikemaajalist toimet esemele. Seetõttu on olnud vajalik nende uuesti konserveerimine (nt maarjasega konserveeritud esemed, Vasa laev) (Johansson 1994, 514, Hocker *et al.* 2012). Seega on konserveerimismeetodi leidmine vajalik ja katsete tegemine näitab, kuidas üks või teine meetod antud objektile sobib – näiteks, millise kontsentratsiooni või molekulmassiga stabilisaatorit on vaja kasutada.

Käesolev magistritöö koosneb kolmest suuremast osast, millest esimene käsitleb puidu konserveerimise ajalugu Eestis. Peatükis käsitlen ajavahemikku 1930. aastatest kuni 2000. aastateni ja allikatena kasutan lisaks varasematele uurimustele erinevaid suhtluskanaleid (küsitlus, kirjavahetus) ja võimaluse korral aruandeid. Kindlasti on arheoloogilise vettinud puiduga tegelenud konservaatoreid, arheolooge ja objekte rohkem, kui peatükis välja toodud, kuid kirja panin selle informatsiooni, mis küsitluse põhjal sain. Esiialgu oli plaanis anda ka hinnang, kuidas on konserveerimismeetod aja jooksul mõjutanud eseme seisukorda, kuid kuna tihtipeale pole teada, milline oli objekti seisund enne stabiliseerimist ja mis tingimustes on neid aja jooksul hoitud, otsustasin selle osa tööst välja jätta.

Magistritöö teine ehk arheoloogilise vettinud puidu konserveerimise teoreetiline osa annab ülevaate puidu ehitusest, selle lagunemisest ja kahjustustest ning erinevatest immutamis- ja kuivatamismeetoditest. Peatükis seletan lahti puidu ja selle konserveerimisega seonduvad terminid. Puidu konserveerimise tausta seletamisel toetusin peamiselt David Grattani ja Richard W. Clarke'i artiklile (1987), Achim Unger, Arno Schniewindi ja Wibke Unger raamatule (2001), ICOMi (*The International Council of Museums*) vettinud orgaanilistele leidudele pühendatud konverentsi neljandale (1991), viiendale (1994), kuuendale (1997) ja kaheksandale kogumikule (2002), Donny Lee Hamiltoni ja Helen Dewolfi silikoonõli meetodi juhendile (2007) ning külmkuivatuse osas ka James M. Flink ja Henning Knudseni (2002) raamatule.

Olulise ja ajamahuka osa käesolevast uurimistööst võttis arheoloogilise vettinud puiduga läbi viidud katsed, mida käsitlen lähemalt kolmandas peatükis. Kuigi maailmas on puidu konserveerimisega tegeletud juba 19. sajandist ja veel tänapäevalgi üritatakse sellele materjalile leida aina paremaid säilimisvõimalusi, on pidev katsete tegemine oluline, sest iga meetod võib erineva päritoluga leiule mõjuda isemoodi ja eksperimenteerimine aitab välja selgitada konkreetsele esemele sobiva meetodi. Ehkki katsematerjalina on kasutatud erineva kontekstiga puitu, keskendub töö peamiselt Peetri koge esemete konserveerimisele. Lisaks koge puidule kasutasin oma katsetes järgmistelt kaevamistelt kogutud näidiseid: Tartu Lutsu 12, Tallinna Pärnu mnt 31 ja Kadrioru Kiiikri vraki puitu (lisa 1, joonised 3–5). Viimati nimetatud objektide leidudest tehtud eksperimentide eesmärk oli omandada paremad konserveerimisalased kogemused, võrrelda erineva puiduga saadud tulemusi ja täpsustada protsessiga seotud üksikasju (nt PEG-i imendumise kiirust ja ulatust). Kokku viidi uurimistöö raames läbi 18 puutükiga kuus erinevat konserveerimiskatset, mille andmed on tabelina esitatud lisa 3 (tabel 1). Katsete peatükk tugineb peamiselt teooria peatükis lahti seletatud meetoditele, kuid dokumenteerimise osa juures kasutasin ka Yohsei Kohdzuma artiklit (2005).

Soovin tänada oma juhendajaid: Riina Rammot, kes oli suureks toeks ja abiks katsete tegemisel samal ajal, kui endal seda võimalust ei olnud ja Jüri Peetsi, kes selgitas ja

õpetas põhjalikult puidu konserveerimisega seosnevid protsesse ning kes on mitmete töös läbiviidud katsete autoriks. Samuti tänan abi eest Andres Vindit, Tarvi Toomet ja Alar Läänelaidu, Kristel Kajakut konservantide hankimise ja küsitlusele vastamise eest, Priit Lättit, Maili Roiot, Ants Krauti ja Andres Tvaurit katsematerjalide eest ning Jaan Märssi ja Marike Lahte küsitlusele vastamise eest.

1. Puidu konserveerimine Eestis

Maailmas on puitu konserveeritud juba 19. sajandist. Huvi ei olnud esialgu seotud mitte kultuurväärtuslike esemete säilitamise ja arheoloogiliste küsimuste lahendamise, vaid vajadusega muuta mõnikord mitmeid sajandeid või tuhandeid aastaid veekogude põhjamudas laagerdunud puit väärtuslikuks tooraineks (Peets 2015).¹ Tänapäeval tegelevad selle valdkonnaga mitmete ülikoolide ja teaduskeskuste tipp tehnoloogiaga varustatud uurimis- ja konserveerimislaborite spetsialistid (*ibid.*): näiteks Mary Rose Trust ja Canadian Conservation Institute. Maailmas kasutatud meetodite kohta on hea ülevaade antud raamatutes *Conservation of Wood Artifacts – A Handbook* (Unger *et al.* 2001) ja *Conservation of Marine Archaeological Objects* (Pearson 1987), mistõttu keskendun selles peatükis vaid 20. sajandil Eestis tehtule. Eestis on temaga tegeletud suhteliselt vähe ja ehkki on olemas mõned konserveerimist tutvustavad õppeained, siis sarnast spetsialiseerumist orgaaniliste esemete konserveerimisele nagu on näiteks Cardiffi või Göteborgi ülikoolis, meil ei ole. Eestis on vesist ala suhteliselt palju, mille tõttu on puit kohati hästi säilinud ja selle stabiliseerimisega on mingil määral küll tegeletud, kuid põhjalikumalt alles 20. sajandi viimasest veerandist. Konserveerimisaruandeid on enamasti koostama hakatud alles 2000ndatest aastatest, varasemast ajast on neid säilinud väga vähe. Kogu saadud informatsioon on pandud kokkuvõtliku tabelina lisadesse (lisa 2, tabel 1).

20. sajandi alguses oli arheoloogiliste orgaaniliste esemete konserveerimine haruldane ettevõtmine, sest leiti, et nende säilitamine on mõttetult kulukas ning tuleks piirduda ainult kipsmullaazide valmistamisega (Mäesalu, Peets 2010, 218). Siiski algasid esimesed katsed arheoloogilise vettinud puidu konserveerimises juba 1930ndatel, kui Lõhavere linnuse (lisa 1, joonis 1) 13. sajandi kaevust leiti rohkelt puitsemeid (kaks hitsmeatra, redel, labidad, vibukaar, odavarred) (Peets 1989, 71; Tõnisson 2008, 273). Kaevurakke ja põhilauad pakiti märja sambaga puukastidesse ja viidi koos

¹ Nt must tamm, mille leiukohtadeks olid ka vanad laevavrakid ja ehituskonstruksioonid.

esemetega Eesti Rahva Muuseumisse Eerik Põllule² (1908–1995) konserveerida (Moor 1939, 16; Peets 1989, 71). Lisaks neile konserveeriti ka Varbola Jaanlinna kaevust pärinevad puidust esemekatked (Mäesalu, Peets 2010, 218). Esemed puhastati esmalt tsinkplekist vannides vee ja formaliini lahuses. Seejärel asendati vesi puidus järk-järgult etanooliga, millele oleks pidanud järgnema stabiliseerimine ja keetmine parafiinis, kuid mis jäi 1940. aastal sõja tõttu pooleli (Peets 1989, 72). 1944. aastal, muuseumivarade evakueerimisel, jäid tsinkvannid leidudega keldrisse. Need leiti Tartu vallutamisel punaarmeele poolt, kes piirituse ära jõid ja puitesemed vanni hävinema jätsid (Mäesalu, Peets 2010, 218). Esimestel sõjajärgsetel aastakümnetel arvati, et arheoloogilise puidu konserveerimiseks puuduvad rahuldavad meetodid, mistõttu need jäeti enamasti lihtsalt kuivama (Peets 1989, 72) (foto 1).



Foto 1. Tallinna Raekoja platsi 1958. aasta kaevamistelt leitud konserveerimata puidust liua katke (TLM 9423: 249), mis on kuivamisel purunenud. Foto: K. Tint.

1958. aastal leiti Lõhavere linnamäe arheoloogilistelt kaevamistelt aardevakk (AI 4133: 2274), mis võeti üles monoliidina ja avati Ajaloo Instituudis järk-järgult 1959.–1960. (Harri Moor, Aino Sarv, Andres Lääne), 1980. (Jüri Peets) ja 1992. aastatel (Mare Sokolovski) (Valk 2014, 7; Laul, Tamla 2014, 13–15). 13. sajandi kasetohust vakas oli lisaks vasesulamist esemetele, klaashelmestele ja tekstiilijäänustele ka kaks

² Ta oli Eesti esimene arheoloogiliste esemete konservaator, kes esmalt töötas TÜ arheoloogia kabinetis, siis ERM-is ja hiljem Riiklikus Kunstimuuseumis õlimaalide restauraatorina (Mäesalu, Peets 2010, 218).

komplekti puulaastudest kõlasid ning puust kudumismõõga pide (*ibid.*, 13). 1950ndatel ja 1960ndatel aastatel peeti Rootsis ja Soomes tekstiilide ja muu orgaanilise konserveerimiseks universaalseks vahendiks „Modocoli“, mis on peamiselt PEG (polüetüleenglükool) 3000 ja metüülselluloosi³ segu, millele oli lisatud erinevaid plastifikaatoreid ning mis jõudis n-ö salakaubana Soomest Eestisse. Lõhavere aardevakk immutati kohe pärast leidmist tervenisti „Modocoli“ lahusega, kuid paraku ei olnud veel teada aine pikemaajalist toimet ning mingi aja jooksul aine polümeriseerus, muutudes sisuliselt tihkeks ja kõvaks plastikuks, protsessi ei olnud aga enam võimalik tagasi pöörata. Tööd jäid pooleli ning 1980. aastal andsid Evald Tõnisson ja Silvia Laul konserveerimisülesande Jüri Peetsile,⁴ kes hakkas leide tahkunud „Modocoliga“ seotud pinnaseosakestest, mustusest ja korrosiooniproduktidest koosnevast ollusest välja puhastama. Tööks kasutati erinevaid orgaanilisi lahuseid ja kemikaalide vesilahuseid (nt EDTA)⁵, tekstiilide välja puhastamisel kasutati isegi kuuma auru. Puitu ja tohtu töödeldi PEG 3000 lahusega. (Peets 08.03.2018)

Esimesed katsetused PEG-iga tehti Eestis juba 1960ndate lõpul, kui Andres Lääne konserveeris Tamula neoliitiliselt asulakohalt (lisa 1, joonis 1) leitud elamudetaile PEG 4000-ga (Peets 1989, 73). 1977. aastal konserveeris ta Vabariikliku Restaureerimisvalitsuse hoonetes Saaremaalt Harilaiu rannikult (lisa 1, joonis 1) leitud 18. sajandi lõpust pärinevat ja 285 cm suurust kuusepuust vöörikuju „Merineitsi“ (SM 8672) (lisa 2, fotod 1–3; Raid 1978, 8; Pao 1978, 13). Esemekonserveerimiseks valmistati spetsiaalselt roostevabast terasest kütteseadmega vann ning PEG 1500⁶ ja PEG 4000⁷ hankimise ja lahuses immutamiseni hoiti eset destilleeritud vees (Peets

³ Puidust valmistatud liimaine, mida kasutatakse tapeediliimina ja sideainena liimvärvides (Infokaitstesüsteemid 2018)

⁴ Peets õppis orgaaniliste esemete konserveerimist Vello Lõugase soovitusel, kes 1970ndatel kaevas Saaremaal Kaali järve juures, kust loodeti leida vastavat materjali (Peets 08.03.2018).

⁵ EDTA – etüleendiamiintetra atsetaat hape.

⁶ PEG-i oli keeruline saada, kuid see jõudis Eestisse Soomest ja Saksa DV-st.

⁷ PEG 4000 osteti käila kuju konserveerimiseks läbi Muuseumite Inspeksiooni Moskva kaudu Vabaõhumuuseumisse, kuna sel ajal oli plaanis luua Restaureerimiskeskus Vabaõhumuuseumi juurde. Tol ajal polnud võimalik aga osta materjale vastavalt vajadusele ja allesolevat materjali kasutati hiljemgi Nõva risti konserveerimisel. (Laht 12.03.2018)

1989, 73). Esmalt immutati kuju PEG 1500-ga ning seejärel tugevdati pinda PEG 4000-ga. Tööd lõppesid 1982. aastal, misjärel on kuju hoiustatud Saaremaa Muuseumis, kuid kuna suvel oli seal niiskus kõrge ja PEG on hügrokoopne, hakkas PEG esemest välja imbuma (Peets, Ratas 2000, 139). Mõni aeg hiljem, ilmselt pärast liigse PEG 1500 välja immitsemist, olukord stabiliseerus ning hetkel on kuju hea väljanägemise juures taas Kuressaare linnuses.

1986. aastal konserveeris Marike Laht 19. sajandi (1860. a) Nõva kiriku ratasristi (lisa 1, kaart 1; lisa 2, fotod 4–5), mida oli enne konservaatorini jõudmist hoitud keskküttega korteris diivani all ning mistõttu see oli kättesaamisel juba kuivama ja kõmmelduma hakanud (Laht 12.03.2018). Esmalt ese puhastati ning niisutati piirituselahusega, eemaldati naelad ning immutati siis kiledest tehtud vannis PEG 4000-s umbes 50–60°C juures. Esialgu oli objekt lahuses umbes päeva, siis uues lahuses umbes nädala, misjärel oli risti taas võimalik puhastada. Sama protsessi korrati kahenädalase tsükliga. PEG aga polnud igale poole sisse imunud, vaid jäi osaliselt eseme pinnale, mida siis puhastati 60-ne kraadise veega. Risti kuivatati kontrollitud õhkuivatamise meetodil suhteliselt jahedas ruumis, kus objekt oli filterpaberitega kergelt kaetud. Sageli vahetati ka külgi, et kuivamine toimuks võimalikult ühtlaselt. Kogu stabiliseerimine kestis kokku umbes kuus kuud ning praegu on risti võimalik näha Nõva kiriku orelirõdul (Laht 04.04.2017, 2)

Kuna orgaaniliste esemete puhul on tihtipeale probleemiks nende esialgne hoiustamine (vettinud oleku säilitamine) ja kuna osa meetodeid (nt Minski külmadekuumade vannide meetodit) pole soovitatav kasutada kinnises ruumis, on mitmel juhul arheoloogiliste puitesemete konserveerimisega alustatud juba kaevandis. Dunkri (Vana-Tooma) 5 (lisa 1, joonis 2) 1982. aasta kaevamistel pesti puitesemed 2–5% boorhappe lahuses ja asetati koos väiksema koguse sama lahusega kilekottidesse (Märss 2012a, 3). Esemed ise (TLM 20059, 27426, 28002) konserveeriti mõned kuud hiljem Tallinna Linnamuuseumis Moren'i & Centerwall'i meetodil, kus PEG 4000 lahuse kontsentratsiooni alustati 10%-st, mida tõsteti 50–60 kraadisel kuumutamisel aurutamise teel. Lahuse nivoo taset hoiti ühtlasena, lisades selle pidevalt 15% lahust juurde. Tegevus kestis vitsiknõude puhul umbes kolm nädalat kuni oli saavutatud

80%-line kontsentratsioon (Märss 2012a, 7; Märss 04.04.2017, 2). 40 mm läbimõõduga puitesemetel ei tohiks selle meetodiga tavaliselt tekkida muutusi kujus, värvis ega suuruses (Unger *et al.* 2001, 407). Konserveeritud eseme mõõtmed võivad siiski erineda algupärastest mõõtmetest 5–8%, mis on tekkinud peamiselt PEG-i termilisest kahanemisest (igas suunas võrdselt) (Märss 2012a, 1). Paljudel vitsiknõudel on veel praegusel hetkel tahkunud PEG 4000 peale jäänud, mida saab aga vajadusel kuuma veega eemaldada (Märss 04.04.2017, 2) (lisa 2, fotod 18–20). Vanaturu kaevu 1977. aastal konserveeritud leidude puhul (TLM 16648) kasutati sama meetodit PEG 1500-ga (Märss 2012b, 7) (lisa 1, joonis 2; lisa 2, fotod 14–17).

1979. aasta novembris katsetati esimest korda Minski külmade-kuumade vannide meetodit Kuusalu III asulakoha (lisa 1, joonis 1) allikatünni tükkide (AI 5043: 591) konserveerimisel (Peets 02.11.2016). 1981. aastal konserveeriti samal meetodil Nõuni järvest leitud 18. sajandi lõpust pärinev 4,25 m pikkune männitüvest õõnestatud ruhipaat (lisa 1, joonis 1). Nimetatud töötlemisviisi eelistati selle kiiruse, seadmete lihtsuse, materjali kättesaadavuse ja odavuse tõttu ning seda oli hea kohe kaevandi juures kasutada. Meetodi puuduseks on selle mürgisus ja deformatsioonivõimalus töödeldava eseme korduval ümbertõstmisel (Peets 1989, 74). Tänapäeval enam Minski külmade-kuumade vannide meetodit selle mürgisuse tõttu ei kasutata. Nõuni paat oli enne konserveerimist juba veidi kuivanud (RH 64%), mistõttu oli selle põhja ja külgedele tekkinud hulganisti pikipragusid. Konserveerimise jaoks rajati spetsiaalselt vajalike mõõtmetega vannid ja ahjud ning kasutati Kohtla-Järvel toodetavat fenoolpiiritust „mark B“ (*ibid.*, 75). Paati hoiti umbes ööpäeva fenoolpiirituses, misjärel seda keedeti ühe tunni jooksul suhkrulahuses ja jahutati siis fenoolpiirituses taas maha. Kogu protsessi korrati umbes kümme korda, millele järgnes eseme stabiliseerimine muuseumi hoidlas aasta jooksul (*ibid.*, 74–75) (lisa 2, fotod 6–7). Hetkel on Nõuni ruhe Valga muuseumis ja selle seisund ei ole eriti hea, sest pinnale on tekkinud rohkelt lõhesid ning seinast on murdunud väike osa (lisa 2, fotod 8–9). Paadi deformeerumise võis tekitada 1988. aasta tulekahju Valga muuseumis, mille ajal sai leid ilmselt termilisi kahjustusi, ka võis kustutamise ajal puit uuesti märjaks saada ja hiljem kuivades praguneda. Samal meetodil konserveeriti ka 1985. aastal okaspuust Karujärve ruhe ninaosa (SM 9665) (lisa 1, joonis 1; lisa 2, 10–

12) ja 1985.–1987. aastatel Tartus Lossi 3 (TM A 169) jäätmekastist leitud puitesemetest osa (vitsiknõud, puidust kausid) (Peets 02.11.2016; Peets 1989, 77). Need viimased on siiani heas seisus (lisa 1, joonis 6; lisa 2, foto 13), Lossi tn vitsiknõu pinnale on tekkinud ainult mõned väiksemad valged täpikesed.

Ehkki külmade-kuumade vannide meetod on üldiselt lihtne ja kiire, sest materjal on suhteliselt kergesti kättesaadav, siis alati ei lähe kõik plaanipäraselt. Konserveerimistöodega tegeles ka 1988. aastal loodud arheoloogiliste päästekaevamiste firma AGU, kelle 1988. ja 1989. aastatel toimunud Tartu Werner Kohviku hoovi (Tartu vanalinna kvartal VII) (lisa 1, joonis 6) kaevamistelt leiti vesise keskkonna tõttu rohkelt orgaanilist materjali (ka puitu), mis plaaniti nimetatud meetodil kohapeal konserveerida. Kuna aga suhkrut läks vaja üle poole tonni, oli seda tol hetkel kestnud suhkrukriisi tõttu keeruline hankida ja ostuloo saamisega läks kaua aega. „...pooleteist kuu möödudes oligi meil ostuluba käes. Hoopis hull oli aga lugu siis, kui keevasse 300 liitrisse fenoolpiiritusse valati kotitäis suhkrut, millest pool osutus mannaks. Mannapudruga polnud aga meil midagi peale hakata.“ (Tamm 1989, 4).⁸

Kuigi vähesel määral on vettinud puidu stabiliseerimisega tegeletud juba 20. sajandi I poolest, siis alles 1980-ndatel aastatel, koos Ajaloo Instituudi Geoarheoloogia ja muinastehnoloogia labori loomisega hakati metallesemete konserveerimise kõrvalt põhjalikumalt tegelema ka orgaanikaga (puit, tekstiil, nahk) (Kriiska, Lõugas 2006, 287). Märkimisväärseteks ettevõtmisteks on kindlasti 1985. aastal allveeklubi „Viikar“ sukeldujate poolt avastatud Maasilinna 16. sajandi laevavraki (lisa 1, joonis 1; lisa 2, fotod 21–24) ning 1991. aasta juunis Saaremaa allveeklubi „Süvari“ sukeldujate poolt kaldale toodud Pärnu 14. sajandi koge⁹ (lisa 1, joonised 1, 7)

⁸ Siinkohal tuleb täpsustada, et protsessi on valesti kirjeldatud, sest külmade-kuumade vannide meetodil toimub keetmine ainult suhkrulahuses ja fenoolpiirituses jahutatakse esemed maha.

⁹ Avastati Pärnu jahtklubi sadamasilla ehitustööde käigus (Peets 2015).

konserveerimistööd,¹⁰ mis viidi läbi Jüri Peetsi juhatamisel (*ibid.*, 287). Puidu stabiliseerimiseks immutati pitside abil laevad kõigepealt 20%-lise PEG 1200 vesilahusega¹¹ misjärel laevad külmutati ja niiskus eemaldati normaalrõhul sublimatsioonimeetodi teel¹² (Roio 2006, 307). Normaalrõhul külmutust polnud eelnevalt maailmas nii suuremahuliste esemete puhult läbi viidud. Pärnu koge puhul viidi esimene etapp läbi AGU konservaatorite Kalle Käsi ja Kaimo Jäägeri poolt ja protsess kestis intervallidega peaaegu kaks aastat, kuni külmutusmasinad katki läksid ning puudusid ressursid nende parandamiseks või uute ostmiseks (Peets, Ratas 2000, 141). Tööd seiskusid ning jätkusid 1994. aastal Jüri Peetsi ja Aivar Kriiska käe all, mil esmalt viidi läbi hallitustõrje, kasutades fosfiine eraldavaid tablette ja seejärel desinfitseeriti koge jäänused 10%-lise formaliinilahusega. Sublimatsiooniprotsessil kontrolliti temperatuure palkide erinevatest osades, mis pidid lõpuks jõudma konserveerimiskonteineri temperatuuriga samale tasemele. Tööd viidi lõpule 1995. aasta detsembris (Peets, Ratas 2000, 141–142) (lisa 2, fotod 25–27).

2018. seisuga tegelevad arheoloogilise vettinud puidu konserveerimisega mõningal määral Tartu Ülikooli arheoloogia laboris Kristel Kajak, Tallinnas Ajaloo Instituudi arheoloogia laboris Tarvi Toome ja Aive Viljus, Viljandi muuseumis Herki Helves ja Tallinna Linnamuuseumis Jaan Märss. Suuremaks ettevõtmiseks on kindlasti viimastel aastatel Kadrioru Peetri 14. sajandi koge (MM 15330/115 Aa) konserveerimistööd, mida teostavad Soome konservaatorid (FOG OÜ) ning mille juures kasutatakse kontrollitud õhkuivatamist (Lätti 13.04.2018).

¹⁰ Maasilinna laevavraki konserveerimine toimus 1987.–1990. aastatel selleks spetsiaalselt ehitatud laboris (konservaatoriteks olid J. Peets, J. Märss ja R. Vinap) ja Pärnu koge konserveerimine 1993.–1996. aastatel sisseehitatud külmutusseadmetega metallkonteineris.

¹¹ Maasilinna vraki puhul aasta ja Pärnu koge puhul 18 kuud (Peets, Ratas 2000, 141).

¹² Vesi eemaldatakse koos pindaktiivse täiteaine ja stabiliseeriva komponendiga küllastunud vettinud puidust külmutatult ehk kuivamine toimub jää aurustamise teel. Nii on materjali kokkutõmbumine väiksem kui vettinud puidu kuivamisel õhu käes (Peets 2015).

2. Arheoloogilise vettinud puidu konserveerimine (teooria)

Puit on heterogeenne (ebaühtlane)¹³, anisotroopne¹⁴, hügrokoopne¹⁵ ja reoloogne¹⁶ materjal (Konsa 2007, 207), mille efektiivsemaks kasutamiseks tuleb tunda selle bioloogilist algupära, struktuuri, kompositsiooni, defekte ning looduslikku mitmekülgust (Keith, Kellogg 1981, 41).

Igal puuliigil on erinevad omadused, mida inimesed on osanud oma eesmärkide saavutamiseks arvestada. Näiteks harilikku tamme eelistati selle tugevuse, kestvuse ja veekindluse tõttu laevade ja sildade ehitamisel, kuid vibu või kaevetööriista valmistamiseks oli see liiga rabe, mistõttu oli nende esemete jaoks vaja veidi paindlikkuma saart (Rodgers 2004, 35; Wiemann 2010, 1, 9). Puidu valik sõltus sellest, mis ümbruskonnas saadaval oli – näiteks keskaegses Novgorodis kasutati teedehitustel enamasti piirkonnas levinud kuuske ja mäнди (Sorokin 2007, 39–40), Gentis aga esialgu (10.–11. sajandil) tamme ja harilikku saart, ent varude lõppedes asendati need liigid ehituskonstruksioonideks vähem sobiva lepaga (Deforce 2016, 7). Nagu eespool juba mainitud, on puit heterogeenne materjal (Rodgers 2004, 35) ning selle ehituse ja struktuuri tundmine on oluline ka ajaloolis- ja kultuuriväärtuslike puitesemete konserveerimisel.

2.1.Puidu struktuur ja koostis

Puidu määramisel vaadeldakse puidu makroskoopilise ehituse põhitunnuseid rist-, radiaal- ja tangentsiaallõikel. Ristlõige on lõige, mis on risti tüve pikiteljega (joonis 1, A), radiaallõige (joonis 1, B) tehakse puidu pikisuunas, nii et lõige läbiks selle keskel olevat säsi. Tangentsiaallõige (joonis 1, C) saetakse samuti puidu pikisuunas, kuid

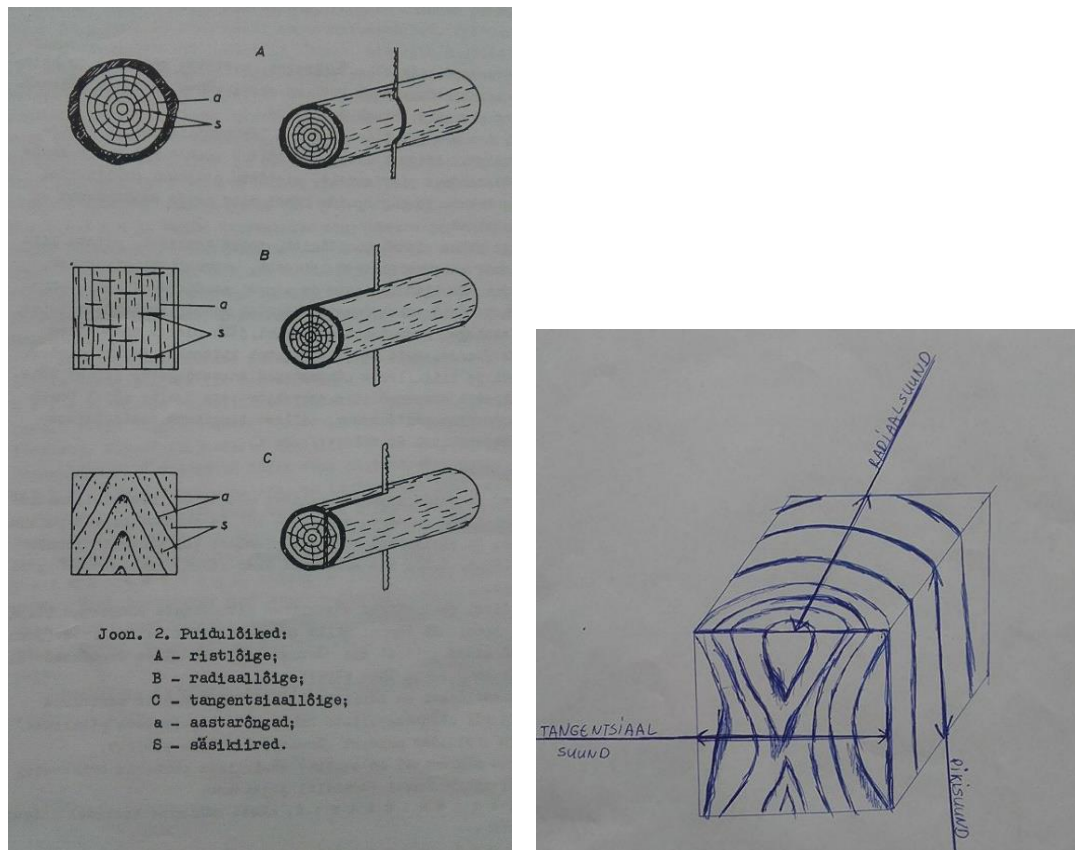
¹³ Materjali erinevatel osadel on erisugused omadused.

¹⁴ Puidu füüsikalised omadused on eri suundades erinevad (tugevuses, kahanemisel ja paisumisel).

¹⁵ Puit muudab ja ühtlustab oma niiskust vastavalt ümbritseva õhu niiskusele ja temperatuurile.

¹⁶ Pikaajalisel välismõjul muutuvad puidu kuju ja mõõtmed.

lõige tehakse säsist veidi eemal (Untera 1990, 4). Vastavalt erinevatele lõigetele vaadatakse aastarõngaste järgi ka puidu suundasid, mis on konserveerimisel võetud mõõtude puhul väga oluline (ristlõikel võetakse radiaalsuuna, radiaallõikel pikisuuna ja tangentsiaallõikel tangentsiaalsuuna mõõdud) (joonis 2).



Joonised 1–2. Puidu suunad ja lõiked (Untera 1990, 7) ja puukuubiku joonis erinevate suundadega (joonis: K. Tint).

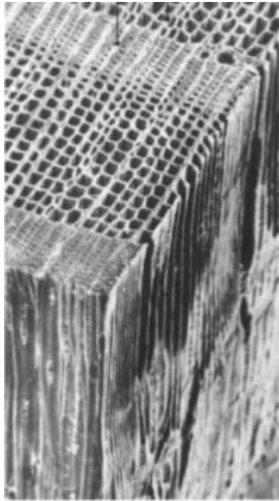
Puud jagunevad lülipuidulisteks (nt tamm, mänd, saar) ja maltspuidulisteks (nt kask, lepp, haab). Esimesed koosnevad välimisest pehmemast ja heledamast maltspuidust, mille moodustavad umbes 10–30 koorealust aastarõngast ning sellest seespool asuvast tumedamast ja tugevamast tüveosast ehk lülipuidust (Konsa 2007, 206). Puidu vanuse määramisel või puidu uurimisel tuleb arvestada, et kuna maltspuit on kahjuritele, seentele ja lagunemisele vastuvõtlikum, on lülipuiduliselt materjalilt (eriti ehituspalkidelt) see tavaliselt ära tahatud (Läänelaid 2006). Puuliike, millel ei ole vahet sise- ja välisosa värvuses ega niiskussisalduses, nimetatakse maltspuidulisteks (Untera 1990, 5).

Bioloogiliselt on leht- ja okaspuu siseehitus erinev. Lehtpuu koosneb suurematest poorsetest tugirakkudest ja väiksematest mahlu juhtivatest torudest – trahheedest, mis moodustavad kanaleid puidu pikisuunas (joonised 3–4; Keith, Kellog 1981, 50; Puidu Keskus, 26.04.2017). Okaspuu koosneb tüve- ehk pikisuunalistest torukujulistest rakkudest ehk trahheiididest, aastarõngad on kergemini eristatavad kui lehtpuudel ning ristlõikes moodustavad nelinurksed rakud meekärje sarnase struktuuri (joonis 5; Keith, Kellog 1981, 49; Puidu Keskus, 26.04.2017). Puiduliigi makroskoopilisel määramisel on oluline osa kindlasti säsiikiirtel, mis erinevad muust osast värvuse poolest ja tangentsiaallõikes tumedamate teritunud otste, joonte või läätsekujuliste ribakestena (Untera 1990, 8).¹⁷ Lehtpuudel on need mitmekülgsamad, rohkem arenenud (Keith, Kellog 1981, 50) ja vahel ka silmaga eristatavad (nt tamme puhul) (joonised 3–4).



Joonised 3–4. Lehtpuu ehitus (tamm). Suured piklikud augud on puidu trahheed ja tugevad pikijooned (teisel pildil risti jooksvad jooned) on säsiikiired. Joonised: The Wood Database 2008–2018.

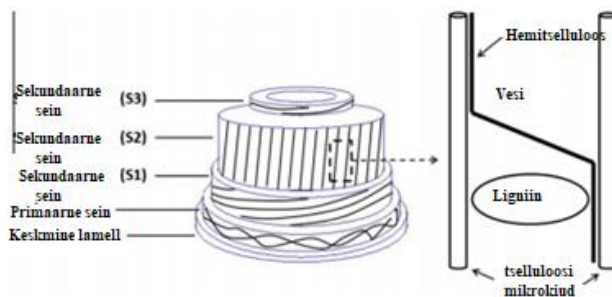
¹⁷ Säsiikiirte kaudu jõuavad toitained puidu keskkohas paikneva säsiini - varre südamikus asetseva koeni.



Joonis 5. Okaspuu ehitus (mänd). Mustad neljakandilised augud on trahheiidid (Keith, Kellog 1981, 48).

Puit koosneb mitmekihilistest rakkudest. Rakke hoiab omavahel koos raku lamell, mis ümbritseb esmast (p)¹⁸ ning sekundaarset rakuseina (S)¹⁹ (Deng *et al.* 2012, 221). Viimane koosneb omakorda kihtidest – välimisest (S1), keskmisest (S2) ja sisemisest (S3) seinast, mille keskel asub raku luumen (joonised 6–7; *et al.* 221; Bader *et al.* 2012, 378) (joonis 3). Konserveerimise seisukohast peetakse olulisemaks just tselluloosirikast keskmist S2 kihti, mis moodustab ligi 80% kogu raku seinast ja mis juhib puukiudude mehaanilist tegutsemist (Grattan, Clarke 1987,

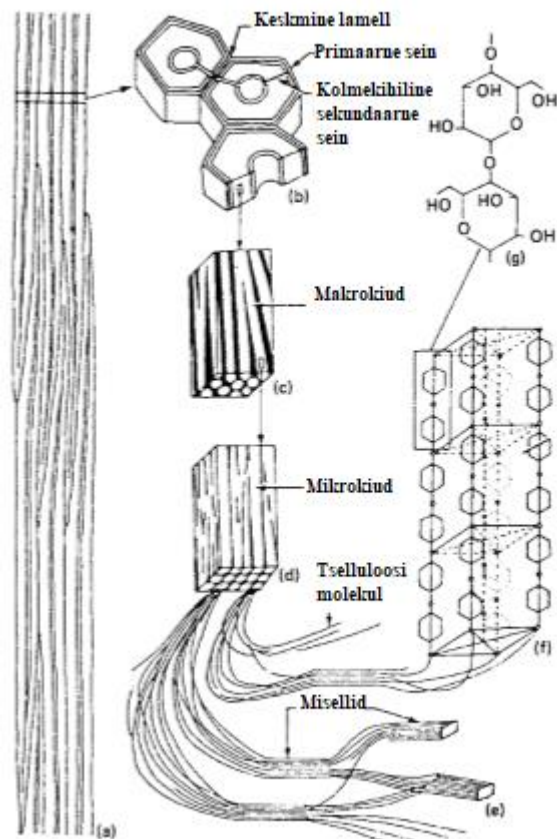
165–166; Rodges 2004, 40; Bader *et al.* 2012, 378).



Joonis 6. Tüüpiline puidu rakuseina struktuur (Deng *et al.* 2012, 222).

¹⁸ Primary wall.

¹⁹ Secondary wall.



Joonis 7. Detailne rakuseina struktuur: a) kiurakud, b) rakkude ristlõige koos kihtidega: pealmine osa lamell, mis ümbritseb primaarset ja sekundaarset kolmekihilist seina, c) fragment keskmisest S2 kihist, mis näitab makrokiude (valge osa on tselluloos), d) fragment makrokiust, näitamaks puidu mikrokiude, e) mikrokiudude struktuur, mille keskmisi korrapäraseid osasid nimetatakse misellideks, f) miselli fragment, mis näitab tselluloosi molekulide paiknemist, g) tselluloosi molekuli fragment (kaks glükoosi jääki ühendatud hapniku aatomiga). Joonis: Florian 1987, 23.

Keemiliselt koosneb puit peamiselt: 1) polüsahhariididest – tselluloosist (41–45%), hemitselluloosist (23–30%) ja pektiinist; 2) aroomaatsetest ühenditest – ligniinist (19–33%); 3) ekstraktiivainetest (valgud, vahad, orgaanilised happed, värvained) ja mineraalainetest (nt Na, K, Fe) (2–15%) (Barton, Brownell 1981, 97; Konsa 2007, 207). Tselluloos on puidu kiu struktuuri põhiline osa ja sellest sõltub puidu tugevus.

See on kõrgmolekulaarne polüsahhariid, mille pikad makromolekulid koosnevad glükoosijääkidest (Konsa 2007, 207), mis omakorda sisaldavad kolme hüdroksüülgruppi, andes tselluloosile põhilised keemilised omadused. Hüdroksüülgrupid tõmbavad enda külge vee molekule, mis põhjustavad puidu paisumise ja kokkutõmbumise (Barton, Brownell 1981, 97–98). Hemitselluloos funktsioneerib sideainena ning koosneb erinevatest suhkrutest (nt glükoosist, galaktoosist, ksüloosist), mille täpsem sisaldus erineb vastavalt lüli- ja maltspuidule (Barton, Brownell 1981, 100, 101). Oma keemilise struktuuri tõttu laguneb hemitselluloos kiiremini (umbes viie kuuga) ning pole arheoloogilise puidu puhul tavaliselt säilinud (Sandak *et al.* 2014, 73). Ligniin on polümeer, mis seob puidu põhistruktuuri moodustavad tselluloosi molekulid (Barton, Brownell 1981, 97, 102), toimides seega puitu toetava skeletina. Ekstraktiiv- ja mineraalained paiknevad rakkude vahel ja õõnsustes, nende sisaldus puidus varieerub ning (Barton, Brownell 1981, 104) nende ülesandeks on kaitsta puidu osasid biolagunemise ja ensümaatilise hüdrolyüüsi²⁰ eest (Sandak *et al.* 2014, 72).

2.2. Puidu säilimine arheoloogilises kontekstis: protsessid

Kindlates anaeroobsetes keskkondades, näiteks väga kuivas või märjas stabiilse keskkonnaga pinnas, võib puit säilida kaua, isegi aastatuhandeid. Järgnevalt keskendun eelkõige märjale keskkonnale, mida esineb ka Eesti tingimustes. Põhilised eeldused orgaaniliste esemete säilimiseks sel juhul on hapniku ja valguse puudumine, kõrge niiskussisaldus, madal temperatuur ja kaitsev ümbruskond, näiteks muda, mis ei lase õhku ligi (Werz, Seemann 1993, 37). Lagunemise kiirust mõjutavad kindlasti ka pinnase iseloom, maa sees olemise aeg, puidu liik ja selle eelnev töötlus (Čufar *et al.* 2008, 56). Näiteks Vasa 1628. aastast pärineva Rootsi sõjalaeva hea säilivuse üheks põhjenduseks peetakse seda, et laev uppus kohe pärast valmimist, mis tähendab, et puit oli heas seisukorras ega polnud jõudnud enne uppumist veel lagunema hakata (Hocker *et al.* 2012, 175).

²⁰ Ensümaatiline hüdrolyüüs on protsess, milles ensüümid (biokeemiliste sidemete kiirendajad) kiirendavad keemiliste sidemete lõhkumist ja fragmentidele veemolekuli osade liitumist (Estern 2015).

Ehkki arheoloogilistelt kaevamistelt leitud vettinud puit võib esialgu jätta mulje heast seisukorrast, tuleb siiski arvestada, et aja jooksul on selle struktuur ja omadused muutunud, sest sajandeid kestev lagunemine maapinnas vähendab eseme tugevust ja puidu rakuseina mikromorfoloogiat (Björdal 2012, 118). Muutused arheoloogilise puidu keemilises koostises on põhjustatud eelkõige aeglase hüdrolyüüsi tõttu (Passialis 1997, 111).

Võrreldes tavapuiduga on vettinud puidu tihedus kahanenud ja maksimaalne niiskuse sisaldus kasvanud ning sellest tingitud muutused on tihedalt seotud puidu rakuseina struktuuriga (Čufar *et al.* 2008, 56). Erinevate piirkondade arheoloogilise vettinud puidu keemilised analüüsid osutavad, et lagunemisel säilib suuremas osas ligniin ning kahaneb tselluloosi ja hemitselluloosi hulk (Passialis 1997, 111; Čufar *et al.* 2008, 56; Björdal 2012, 119). Ligniini ja tselluloosi lagunemisel muutub puit poorsemaks ning hügrokoopsemaks, kuid kuna hävinud tselluloosi asemele tuleb vesi, siis säilitab ese märjas keskkonnas siiski oma kuju (Sandak *et al.* 2014, 73). See aga tähendab, et kui puidu maksimaalne niiskussisaldus kasvab, hakkab see õhu kätte sattudes tavalise puiduga võrreldes kuivama ka siis, kui õhu niiskussisaldus on suhteliselt kõrge. Protsessiga kaasnevad raku seina ja süsivesikute lagunemine vähendab veelgi alles olevat tselluloosi, põhjustades puidu nõrgenemise, ekstreemse kokkutõmbumise, drastilised muutused eseme kujus ning lõpuks selle hävinemise (Unger *et al.* 2001, 30–31).

Puidu hävimise vältimiseks tuleb objektis olev vesi asendada täiteainega. Mida rohkem on lagunenu raku S2 kiht, seda poorem ja nõrgem on ka objekt ning eseme struktuuri hoidmise ja pikaajalise säilitamise mõttes on oluline, et eelkõige see kiht täidetakse konservandiga.

2.3. Puitu kahjustavad tegurid

Ajalooliste ja kultuuriväärtuslike esemete paremaks säilitamiseks on oluline teada nende kahjustuste põhjust ning ulatust. Puidu hävimist mõjutavad peamiselt keemilised ja bioloogilised kahjustused, valgus ning temperatuur.

1) Bioloogiliste kahjustuste juures hävitavad puitu enamasti seened ja bakterid, mis tekitavad iseloomulikke lagunemismustreid – seened enamasti valget, pruuni ja pehmet mädanikku ning bakterid uuristamis- ja kulutamisejälgi puidu raku seintesse (Singh 2012, 17). Erosioonibakter, mis on vettinud või maetud keskkondades peamine puidu raku seina lagundav vorm, on võimeline tegutsema äärmiselt hapnikuvaeses keskkonnas ning on hea temperatuuri ja niiskuse taluvusega. Sissetung algab puidu pinnalt mööda kiiri ja vaigukanaleid, kust bakterid sisenevad raku luumenisse ning liiguvad sealt edasi keskmise lamelli suunas hävitades tselluloosi, kuid jättes enamasti puutumata ligniinirikkad osakesed. See on ka üheks põhjuseks, miks arheoloogiline puit säilitab oma kuju ja terviklikkuse vettinud keskkonnas (*ibid.*, 18; Björdal 2012, 119).

Olenevalt puidu liigist ja keskkonna tingimustest, võib lõhustamistöö kesta tuhandeid aastaid. Näiteks Göteborgi lähedal uppunud 17. sajandi Göta vraki puhul oli bakter tunginud ainult 5–15 mm sügavusele puitu (Björdal 2012, 119, 121; Fors *et al.* 2012, 2523, 2526). Erinevalt erosioonibakterist, hävitab tunnelbakter ka ligniinirikkaid elemente ning ehkki ka see liik on hea niiskuse ja temperatuuri taluvusega, leidub seda äärmiselt hapnikuvaestes vettinud keskkondades vähem (Singh 2012, 17). Pehme mädanik, mis on aktiivne kõrge niiskussisaldusega keskkonnas ja ka preservaate sisaldavas puidus, eksisteerib tihtipeale koos juba eelnevalt mainitutega ning selle seeneniidistik lagundab raku seina alates keskmisest luumenist, moodustades õõnsusi eelkõike S2 kihis (*ibid.*, 18–19).

2) Bioloogilise lagunemise kõrval leiab tavaliselt aset ka keemiline lagunemine. Näiteks merevees uppunud puidu puhul tuleb arvestada selle sooldumisega, mille

käigus ühtlustub puidu ja ümbritseva keskkonna soolade sisaldus ning millest ühtlasi sõltub hilisemate puidus toimuvate protsesside ulatus (Peets 2015). Näiteks rauddetailide hävinemisel tekivad puidu pinnale raud(III)oksiidhüdraadi laigud ja -kogumid (*ibid.*). Puidu merepõhja settimisel koguneb setetes mikroorganismide tegevuse,²¹ orgaanilise aine lagunemise ja väliskeskkonna inimtekkelise saastatuse tagajärjel väevliühendeid, eriti vesinik- ja raudsulfiide, millest osa talletub puidus (Fors *et al.* 2012, 2529–2530; Peets 2015). Setetest väljapuhastamisel puutub ese taas kokku hapnikuga, mille tagajärjel oksüdeeruvad puidu sees olevad sulfiidid sulfaatideks ning raud(II)ioonid raud(III)ioonideks, mis kokkuvõttes lõppevad väävelhappe moodustamise ja puidu hapestumisega. Selle tagajärjel kiireneb tselluloosi hüdroolüüs ja merelise arheoloogilise vettinud puidu mehaaniline nõrgenemine (Fors *et al.* 2012, 2522; Peets 2015). Siiski on oksüdeerumist võimalik konserveerimisprotsessi käigus aeglustada, kontrollides niiskuse ja temperatuuri taset ruumis, et vähendada vee ja hapniku hajuvust puitu (Fors *et al.* 2012, 2531).

2.4. Vettinud puidu hoiustamine kaevamiste ajal ja peale kaevamist

Üldiselt on vettinud puitesemete puhul oluline, et neid hoiustataks jahedas, pimedas ja märjas kohas. Kuna arheoloogiline puit on sajandeid paiknenud maa sees stabiilses keskkonnas, siis peale selle pinnasest eemaldamist tuleb esemele luua võimalikult sarnane olustik, et vältida järsust keskkonnamuutusest tingitud hävinemist. Jättes vettinud puidu näiteks päikese kätte seisma, võib selles hapniku, vee ja atmosfääriliste reostuste koosmõjul aset leida fotokeemiline lagunemine – atmosfääriline vääveldioksiid ja vesi võivad tekitada puidus väävelhappe (Pearson, Jenssen 1987, 269). Valguse käes võib puit muutuda hapraks, pulveriseeruvaks, tuhmunuks või lihtsalt värvuda (Pearson, Jenssen 1987, 268), mis on peamiselt tingitud ligniini lagunemisest (Sandak *et al.* 2014, 71). Vettinud arheoloogilise puidu pimedas ja jahedas hoiustamine aitab takistada mikrobioloogilist kasvu (Jones 2012, 15). Lisaks tuleb kaevamistel arvestada, et aja jooksul lagunenu puitu tuleb kaevata äärmiselt ettevaatlikult, et selle pehmenenud pinda võimalikult vähe kahjustada.

²¹ Nt sulfaate redutseeriva bakteri ja erosioonibakteri tõttu.

2.5. Arheoloogilise puidu konserveerimine

Puidu hea säilitamine hõlmab endas erinevaid etappe alates selle väljakaevamisest kuni pakendamiseni ja hoidlasse paigutamiseni välja. Laborisse jõudes tuleb esmalt hinnata puidu seisukorda (milline on selle lagunemisaste ja kahjustused). Seejärel toimub eseme puhastamine, millele järgneb tavaliselt immutamine konservandiga. Lõpuks tuleb ese kuivatada ja pakendada. Kindlasti peaksid lõpptulemuse õnnestumise tagamiseks erinevate konserveerimisetappide meetodid omavahel hästi sobima ehk erinevate meetodite valikul tuleb läbi mõelda kogu konserveerimisprotsess, näiteks kui kõrge kontsentratsioonini kavatakse viia immutus ning millist kuivatusmeetodit kasutatakse (vaakumkülmkuivatust, normaalrõhul külmkuivatust või õhkuivatust). Peale puidu stabiliseerimist on oluline osa kindlasti esemete hoiustamisel, kus eelistatud tingimused on toatemperatuuril (18–20°C) 35–55%-lises õhuniiskuses, pakendatult happevabasse paberisse ja kartong- või pappkarpidesse (Watson 1997a, 19; Konsa 2007, 211).

2.5.1. Immutamismeetodite valikud

Selleks, et arheoloogiline vettinud puit säiliks, tuleb selles sisalduv keemiliselt sidumata vesi asendada stabiliseeriva ainega, mis annaks esemele vee eemaldamise järel mehaanilise tugevuse. Vastasel juhul võib kuivamisel puit kokku tõmbuda, praguneda ja kahjustuda. Stabilisaatori valikul tuleb arvestada erinevate asjaoludega: konserveeritava eseme suuruse ja lagunemisastmega, immutamisprotsessi maksumusega, puidu „loomuliku väljanägemisega“²², keskkonna saastumise vältimise²³ ja stabiliseeriva aine omadustega. Viimase puhul tuleb arvestada ka ainete hügrooskoopsust, mis võivad mõjutada eseme omadusi peale konserveerimist, sest

²² Näiteks puit ei tohi jääda läikivaks ja „rasvaseks“.

²³ Aine ei tohiks olla ohtlik konservaatori tervisele ja läbi tuleb mõelda selle hilisem käitlemine.

näiteks õhust niiskust võttes võib tõusta eseme kaal, mis omakorda mõjutab puidu mehaanilist tugevust (Peets 2015).

Soovitavalt peaks konservant olema vajaduse korral eemaldatav, mis tähendab, et kui täiteaine on eseme materjali kahjustanud, peaks selle uuesti konserveerimine olema võimalik (Grattan, Clarke 1987, 164). Taoliselt on toimitud maarjasega konserveeritud esemetega, näiteks Hjortspringi eelroomarauaaegse paadi puhul Taanis²⁴, kus maarjasega konserveerimine muutis puidu rabedaks ja raskeks ning põhjustas selle lagunemise (Häggström, Sandström 2013, 11, 14). Samas tuleb arvestada, et kogu vana konservanti ei ole esemest nagunii täielikult võimalik eemaldada (nt Poole'i paat) (Hutchings 1997, 285) ja selle kahjustav toime võib juba nõrgenenud puidus jätkuda (Hamilton 1999).

Puidu immutamise kohta kasutatakse kirjanduses kahte mõistet – eristatakse eseme impregneerimist/küllastumist (*impregnation*) ja raku seinade täitmist (*bulking*). Küllastumise eesmärk on täita puidus olevad tühimikud (raku luumen, seinakapillaarid ja mikrokapillaarid) keemiliselt inertse materjaliga, mis tagab objekti struktuurilise toe ja mehaanilise tugevuse (Grattan, Clarke 1987, 165). Eelkõige kasutatakse meetodit tugeva lagunemisastmega esemete korral, kus raku seinad on juba hävinenud (tabel 1, de Jongi I klass)²⁵. Küllastavateks stabilisaatoriteks liigitatakse nt PEG-ide, mille molekulaarmass on üle tuhande, maarjas, ja monomeerid, mida on võimalik puidus polümeerida (Rodgers 2004, 40, 41, 51).

Juhul kui objekti lagunemisaste on väiksem (tabel 1; de Jongi III klass), piisab vaid puidu rakuseinte, eelkõige S2 kihis puuduoleva tselluloosi, asendamisest (Grattan, Clarke 1987, 165–166; Rodgers 2004, 40, 41, 51). Selle eeliseks on lühem immutusperiood, väiksem täiteaine hulk, ökonoomsus ning konserveeritud puit on

²⁴ Maarjasega konserveeriti Skandinaavias ja Baltikumis 1861. aastast kuni 1950ndateni, selle töi kasutusele Taani arheoloog Christian F. Herbst (Häggström, Sandström 2013, 9).

²⁵ De Jong jaotas puidu lagunemisastme veesisalduse põhjal kolme klassi, mille alusel valitakse tavaliselt konserveerimismeetod (Rodgers 2004, 51).

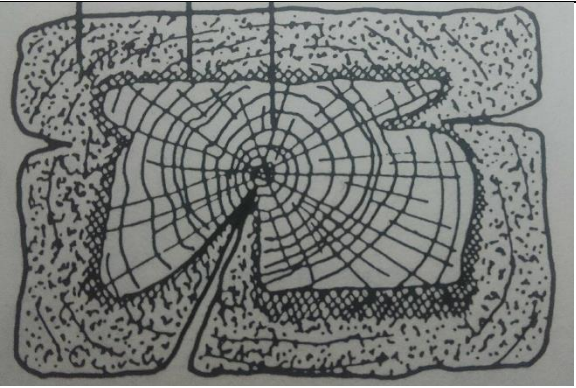
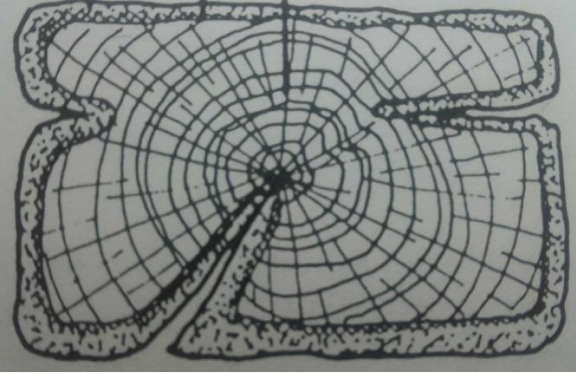

kerge ja näib loomulikuna (Grattan, Clarke 1987, 165–166). Taolised stabilisaatorid on näiteks PEG-id, mille molekulaarmass on tuhandest väiksem (enamasti PEG 200, 400) ning mitmesugused suhkrud ja soolad (Rodgers 2004, 40). Juhul kui puidu lagunemisaste on erinev (seesmine osa terve ja välimine lagunenu) (de Jongi II klass; tabel 1) rakendatakse kaheastmelist immutamist, kus esmalt kasutatakse madalaastmelist täiteainet, mis tungiks sügavamale puitu ning seejärel tugevdatakse välisosa suurema molekulaarmassilise ainega (Rodgers 2004, 41, 51). Nii on toimitud näiteks Bremeni koge puhul Saksamaal (Hoffmann 1997, 252).

Immutamisprotseduuri ajal tuleb lahuse kontsentratsiooni tõsta väga aeglaselt ja väikestes kogustes, et vältida osmootilise šoki²⁶ tekkimist. Vastasel juhul ei tungi täiteaine puidust korralikult läbi, ese tõmbub kokku ja tekivad praod (Hoffmann *et al.* 1994, 331). Ehkki leidub küll erandeid (nt Poole'i ruhi)²⁷, kehtib see reegel üldjuhul kõikide stabilisaatorite puhul. Kui on märgata puidu kokkutõmbumist juba immutamise ajal, on see märk sellest, et kontsentratsiooni on liiga kiiresti tõstetud (Hoffmann 1994, 371).

²⁶ Osmootiline šokk hõlmab kolme mõistet:

- 1) Le Chatelier' ehk dünaamilise tasakaalu printsiip tähendab süsteemi viimist uude tasakaaluolekusse ehk kahe erineva kontsentratsiooniga aine kokkupuutes toimub ainete segunemine ja ühtlustumine (Strugatski, Nadeinski 1969, 102).
- 2) Osmoos ja osmootne rõhk – kui lahus on lahustist eraldatud poolläbilaskva vaheseinaga, nimetatakse lahusti üleminekut lahusesse osmoosiks ning selle jaoks rakendatavat rõhku osmootseks rõhuks, mille intensiivsus oleneb temperatuurist ja lahuse kontsentratsioonist (*ibid.*, 117–118). Nt vettinud puidus ehk n-ö poolläbilaskvas seinas olev vesi asendub aeglaselt PEG-iga.
- 3) Osmootne šokk tekib esemes järsust kontsentratsiooni muutusest, mille tõttu nt vesi liigub puidu raku seinast välja, kuid takistab konservandi imbumist esemesse, põhjustades rakkude kokkutõmbumise ja eseme kahjustumise (Oilgae Glossary 2018). Nt kui viia PEG-i lahus kohe 10% pealt 40%-ni, annavad šokist märku pragude tekked.

²⁷ Poole'i ruhe hoiti peale väljakaevamisi ligi 12 aastat vees, misjärel töödeldi seda PEG-iga. Tööd jäid pooleli 1988. aastal ja ruhi lasti tagasi vette. Tõenäoliselt oli suurem osa PEG-i puidust juba välja lahustunud kui 1992. aastal alustati kohe 63%-lise suhkrulahusega immutamist (Hutchings 1997, 281, 285).

Christensen	de Jong	joonised
a) Puit on väga pehme – vähe tselluloosi	I Veesisaldus üle 400%	
b) Puidu välimine kiht on pehme, vähe on tselluloosi, sisemine osa on hästi säilinud	II Veesisaldus 185%–400%	
c) Hästi säilinud	III Veesisaldus kuni 185%	

Tabel 1. Christenseni ja de Jongi puidu säilimisastmed (Rodgers 2004, 41). Joonised: Grattan 1987, 67, joonis 3.18.

Enne artefakti (eriti suurte komposiitsemete) konserveerimist on soovitatav valitud meetodit esmalt katsetada objektist võetud proovide peal, mille põhjal selgub, millise

väljanägemise saavutab ese peale konserveerimist ja kui suur on meetodi kokkutõmbumise vähendamise efekt ehk ASE (*anti-shrinkage efficiency*)²⁸.

Üldjuhul arvestatakse, et meetod on aktsepteeritav ainult juhul, kui ASE väärtus on üle 75% (Morgós, Imatzu 1994, 289). Kõige rohkem tõmbub puit kokku tangentsiaalses (umbes 8,3%) ning kõige vähem pikissuunas (umbes 0,4%), radiaalne kokkutõmbumine on enamasti pool tangentsiaalsest kokkutõmbumisest (umbes 4%) (Hoffmann *et al.* 1994, 313; Unger *et al.* 2001, 24; Grattan *et al.* 2006, 52). Ilma immutamisetä võib vettinud tamm kokku tõmbuda isegi kuni 24% (Hamilton 1999) (fotod 2–3). Puidu imavuskatsed on osutanud, et suhteliselt terve puidu puhul on imavus kõige suurem pikisuunas, väiksem tangentsiaalses suunas ja takistatud ristisuunas (Hoffmann 1994, 364). Suurema lagunemise korral kaovad puidus suunalised erinevused, mis on tingitud puidu anatoomiliste joonte hävimisest (membraanid lagunevad piki sooni, trahheiide ja kiu rakke) ja selle tõttu imab puit endasse ka rohkem niiskust (Hoffmann 1994, 361–362, 364). Selline puit on võrreldav filterpaberiga, kus kapillaarid puuduvad ja lahuse peale tilgutamisel on näha, et suunalised erinevused puuduvad.

²⁸ ASE 100% – puit on võrdne oma originaalsele leitud olekule, pole paisunud ega kokku tõmbunud; ASE alla 100% – puit on tõmbunud kokku; ASE üle 100% – puit on paisunud; ASE 0% – puidu kokkutõmbumine immutuseta (Morgós, Imatzu 1994, 289).



Fotod 2–3. Kiiكري praami tammepuit vettinud (üleval) ja õhu käes kuivanud olekus (all). Fotod: A. Läänelaid.

Tänapäeval kasutatakse suuremõõtmeliste või päästekaevamistelt leitud massiliste puitesemete konserveerimiseks enamasti PEG-i või suhkrut. Lisaks neile stabiliseeritakse puitu ka atsetoon-vaigul, alkohol-etril, kamper-alkoholil ja silikoonõlil põhinevate meetoditega. Kuna need on kallid ja sageli kergesti süttivad ained, siis rakendatakse neid üldjuhul harva ja eelkõige väiksemate esemete puhul (Hamilton 1999). Kuna katsetan oma magistritöös suhkrut, PEG-i ja silikoonõliga konserveerimist, siis tutvustan siinkohal lähemalt just neid meetodeid.

2.5.2. Suhkur

Varaseimad teated suhkruga konserveerimise kohta pärinevad 1904. aastast, mil William Powell katsetas seda seente, hallituse ja putukate vastu ning märkas, et suhkrulahus mängib olulist rolli esemete kokkutõmbumise vähendamisel (Parrent

1985, 63). Suhkruga konserveerimisel on proovitud erinevaid võimalusi, näiteks sahharoosi, glükoosi, laktoosi, mannitooli ning nende erinevaid segusid, kuid läbi aegade on neist eelistatuim olnud sahharoos ehk igapäevases kasutuses olev valge suhkur. Suhkruga on konserveeritud näiteks Becki ja Frieslandi laeva Saksamaal ning mitmeid kanuusid (Unger *et al.* 2001, 425–426). Suhkru eeliseks on odavus, hea lahustuvus vees ja seda pole vaja kuumutada, mistõttu on see suuremate objektide konserveerimise puhul ökonoomne. Samuti pole see mürgine ega söövitav, mis tähendab, et ei tekita rauda sisaldavas puidus reaktsioone (Hoffmann 1990, 317; Meide 2002). Suhkru struktuur ja keemilised omadused sarnanevad tselluloosiga. Suhkrul on väike molekulaarmass ($M=342$), mistõttu on see lahuses liikuv ja imbub puitu suhteliselt kergelt. Välimuselt jätab see eseme loomulikuks – ei värvi artefakti tumedamaks ega tee ka raskeks (Hoffmann 1990, 317; Hoffmann *et al.* 1994, 309, 328).

Suhkru puhul on üheks suurimaks puuduseks selle sobivus mikroorganismide kasvukeskkonnaks juba eseme immutamisel, kuid oht säilib ka peale objekti stabiliseerimist (Grattan, Clarke 1987, 184). See tähendab, et lahuse juures tuleb kasutada biotsiidi, mis aitaks puitu kahjustavate elusorganismide vastu ka peale konserveerimist, kui artefakt on juba hoidlas. Kui mikroorganismid (nt pärmiseened) satuvad immutamisprotseduuri ajal puitu, tekib nende elutegevuse tagajärjel süsihappegaas, mis takistab täiteaine imbumist esemesse ja mille tõttu kerkib puit lahuse pinnale (Hoffmann 1990, 326; Hoffmann *et al.* 1994, 335). Bakteriaalsel tegevusel on suhkru lahusele kahjulik mõju, sest osa sahharoosist laguneb monomeersuhkruks ja väikese molekuliga osadeks, muuhulgas ka orgaaniliseks happeks, mis kuivamisel takistavad suhkrul kristalliseerumast²⁹. Tulemusena võib tekkida kleepuv hügrokoopne siirup, mille tõttu puit ei saavuta kuiva väljanägemist (Hoffmann 1990, 326; Hoffmann *et al.* 1994, 330). Mikroorganismide vastu on katsetatud kuumutamist, kuid sellest tavaliselt ei piisa (Hoffmann *et al.* 1994, 311). 1993. aastal tehti ICOMi Euroopa laborites biotsiididega katsetusi, mis näitasid, et kõige efektiivsema tulemuse andis Kathon CG (*ibid.*, 330), kuid kuna see on suhteliselt

²⁹ Kristalliseerumine on oluline, et puidu konserveerimine suhkruga hästi õnnestuks.

kallis, on Eestis alternatiivina kasutatud ka katapiini ning odavama variandina veel etanooli ja „Boracoli“³⁰ (Peets, 06.11.2016). Kuna biotsiidi molekulaarstruktuur on tavaliselt suhkru omast suurem, on sel soovitatav lasta esmalt vees sügavamale puitu imbuda ja alles seejärel panna ese suhkrulahusesse (Hoffmann 1990, 326; Hoffmann *et al.* 1994, 330, 335).

Suhkruga külmuivatamisel on täheldatud pragude tekkimisi (Hoffmann 1994, 371), mis võib olla põhjustatud lõppkontsentratsiooni astmest või suhkru mehaanilisest omadusest. Sahharoos imbub peamiselt raku seintesse, kuhu suhkru molekulid tungivad läbi raku poorse süsteemi süsivesikute lagunemise tõttu. Raku luumenisse jõuab täitainet tavaliselt suhteliselt vähe ja suuremal määral alles juhul, kui raku seinad on juba hävinenud (Schmitt, Noldt 1994, 381, 387). Et vältida osmootilise šoki tekkimist, tuleb suhkru kontsentratsioon tõsta aeglaselt (kahe nädala kuni kuu tagant 5% kaupa) kuni 70%-ni, mis on kontrollitud õhkuivatamisel andnud kõige väiksema kokkutõmbeprotsendi ja parimad tulemused (Hoffmann *et al.* 1994, 326, 313).

Üheks negatiivseks aspektiks suhkruga konserveerimise juures on materjali plastilisuse vähenemine (Hoffmann *et al.* 1994, 335). See tähendab, et kui PEG-iga immutatud ja õhkuivatatud puitu on võimalik suhteliselt lihtsalt vormida ja painutada ka pärast stabiliseerimist, kuumutades puidus olev PEG selle sulamispunktini (näiteks kuumalambiga), siis suhkruga konserveeritud puitu saab moonutada ainult selle immutamise ja õhkuivatamise ajal, sest peale stabiliseerimist on puit kõva ja rabe (Hoffmann 1994, 373). Ainuke võimalus seda hiljem teha, on viia konserveeritud puit tagasi vettinud olekusse ehk selle tagasipööramine (*ibid.*, 374). Kuigi suhkur annab häid tulemusi, on need võrreldes PEG-iga juhuslikumad (esineb rohkem kõmmeldumist ehk puidu kaardumist, kokkutõmbumist ja pragunemist) (Grattan, Clarke 1987, 184; Hoffmann 1994, 372). Peale konserveerimist peaks artefakti hoidma kindlasti alla 65%-ses suhtelises õhuniiskuses (RH), sest vastasel juhul hakkab hügrokoopne konservant endasse õhust niiskust imama (Hoffmann *et al.* 1994, 332).

³⁰ „Boracol“ – biotsiid, mille toimeaineteks on katapiin ja booraks.

2.5.3. Poüetüleenglükool (PEG)

Polüetüleenglükool (PEG) on sünteetiline materjal, mida sünteesiti esmalt 1859. aastal. Kaubanduslikku kasutusse tuli PEG 1939. aastal ja arheoloogilise vettinud puidu peal katsetati seda alles 1948./1949. aastal (Grattan, Clarke 1987, 169)³¹. PEG on tänapäeval puidu konserveerimisel kõige laialdasemalt kasutatud stabilisaator – sellega on konserveeritud näiteks Vasa sõjalaev Rootsis, Mary Rose Inglismaal, Bremeni koge Saksamaal, Batavia laevavrakk Austraalias, Taani viikingite laevad ja Shinani keskaegne aardelaev Koreas (Hoffmann 2010, 725).

PEG lahustub hästi nii vees kui ka alkoholis ja selle eeliseks on erinevate molekulaarastmete olemasolu, mis tähendab, et seda on võimalik kasutada vastavalt vajadusele erineva lagunemisastmega puidu puhul. Väiksema molekulaarmassiga PEG-id ($M=200-600$) esinevad vedelal, suure molekulaarmassiga PEG-id ($M=3250-6000$) tahkel ja vahepealsed PEG-id ($M=1000-1500$) poolvedelal kujul (Hamilton 1999). Peale konserveerimistööid on materjali kerge käidelda, see ei saasta keskkonda ega pole ka mürgine konservaatorile. PEG on tagasipööratav materjal ehk peale eseme stabiliseerimist on ainet võimalik puidust eemaldada ka mitmete aastakümnete möödudes (Grattan *et al.* 2006, 58). Samas tuleb arvestada, et kui konservant on juba puitu imbunud, pole seda kunagi võimalik täielikult eemaldada, sest osa PEG-ist seob end mehaaniliselt ligniiniga (Hamilton 1999). PEG-il on plastilisuse efekt, mis tähendab, et puitu on vajadusel võimalik raskuse all painutada ka peale konserveerimistööid, mida on proovitud näiteks Bremeni koge palkide peal (Hoffmann 2010; Bardet *et al.* 2012, 1537). Puidul on rõhu all olles võime raku seinas olevaid peenkiude ümber seada – need nihkuvad piki teineteist nii kaua, kuni leiavad uue positsiooni, misjärel need taas ühenduvad (Hoffmann 2010, 726). Immutamise ajal mõjub PEG pehmemdina, mille molekulid mõjutavad puidu amorfseid osasid, vähendades rakuseina jäikust ja suurendades elastsust (Bjurhager *et al.* 2010, 247).

³¹ USA ja Rootsi katsetasid PEGiga üksteisest sõltumatult suhteliselt samal ajal.

PEG-i negatiivseks pooleks on selle hügrooskoopsus, mida tuleb suuremate objektide konserveerimisel kindlasti arvestada, sest niiskuse imavusega kasvab eseme kaal (Peets 2015) ja seetõttu võib artefakti struktuur muutuda või laguneda. Näiteks Vasa laeva alumises osas on 1960ndatel sisestatud raudpoldid neile aastakümnete jooksul peale suruva raskuse tõttu täiesti paindunud ja ka Bremeni kogel tekkisid sarnased muutused juba aasta peale konserveerimistöid (Hocker 2006, 18–19; Grattan *et al.* 2006, 58; Hoffmann 2010, 725).

Probleemseteks esemeteks on erinevate omadustega materjalidest koosnevad artefaktid ehk komposiitmaterjalid, milleks on enamasti rauast detaile sisaldav puit. Õhu kätte sattudes hakkab puit settimise käigus tekkinud raudsulfiite raudsulfaatideks oksüdeeruma, mille tõttu tekib väävelhape, puit hapestub, paisub ja praguneb (Grattan *et al.* 2006, 60; Peets 2015). Väävelhapest annab tavaliselt märku kollakate ja valgete soolalaikude teke eseme pinnale ning selle murega seistakse silmitsi mitmel pool maailmas (nt Vasa laev, Batavia, Mary Rose) (Hocker 2006, 17–18). Rauda sisaldava puidu puhul arvatakse, et PEG ei ole kõige parem konserveerimisvahend, sest konservant võib teatud tingimustel aja jooksul laguneda ning moodustada puidu osiseid lagundavaid süsinikühendeid – happeid ja aldehüüde ning vastupidi, puidu laguproduktidest tekkinud ained võivad lõhkuda PEG-i polümeerset struktuuri (Peets 2015). Näiteks Vasa vrakki asetati laeva koospüsimiseks hävinenud poltide asemele üle 5500 teraspoldi ning kuna seitsmeteist aasta jooksul immutati laeva korduvalt ühe ja sama PEG-i lahusega, on selle tõttu paljud poldid nüüdseks roostetanud ja puitu lahustunud ning neid ei saa ilma puitu kahjustamata uutega asendada (Hocker 2006, 18–19)³². Selle vältimiseks on soovitatav lisada PEG-i lahusesse antioksidante ning kindlasti tuleks puidus olevad rauast tugidetailid asendada roostevabast terasest valmistatutega (Grattan, Clarke 1987, 191–192).

³² Ilmselt oleks sama tulemus ilmnenud juhul, kui laeva oleks pritsitud ainult uue PEG-i lahusega, kuid aastate jooksul sama lahust kasutades sai PEG ise puidus sisalduvate hapete ja lahustuvate raudosakestega kokku ning kandis need immutamisel üle terve laeva (Hocker 2006, 18).

Puidu mehaaniliste omaduste vähenemine ei sõltu muidugi ainult PEG-ist, vaid ka puidu liigist ja selle mikrostruktuurist – näiteks tammel jooksevad radiaalsuunas tugevad silmaga nähtavad säskiired, mille pehmenemine tänu PEG-ile mõjutab kindlasti ka radiaalseid mehaanilisi omadusi. Näiteks Vasa laeva puidu jäikus ja tugevus on peale 20%-lise PEG 600 lahusega immutamise järel vähenenud radiaalsuunas üle 50%. Samuti on täheldatud, et võrreldes tammega on PEG-i sisaldus männis radiaalsuunas tavaliselt kõrgem, mis viitab, et molekulid imenduvad enamasti puidu kiirtesse (Bjurhager *et al.* 2010, 244, 247–248). Üldjuhul nii hügrooskoopsuse kui ka väävelhappe vastu aitab stabiilse kliima säilitamine – oluline on hoida õhuniiskus 18–20°C juures alla 55% (Hocker 2006, 20).

2.5.3.1. PEG 400 ja 4000

Magistritöös eksperimenteerin PEG 400 ja 4000-ga, mistõttu kirjeldan neid veidi lähemalt. PEG-i puhul tuleb arvestada, et ehkki materjal on sama, on erinevatel molekulaarastmetel erinevad omadused, mis kõik mõjutavad eseme hilisemat säilimist ja väljanägemist. Vähem lagunenuid puidu peal eelistatakse enamasti kasutada PEG 400, mis imub kiirelt esemesse ja jätab selle loomuliku väljanägemisega. Stabilisaatori kitsaskohtadeks on kaitse puudumine mikroorganismide tegevuse eest, see ei taga puidu mehaanilist tugevust ja külmuivatamisel nõuab lahus külmutamiseks väga madalaid miinuskraade, mistõttu soovitatakse immutamislahuse kontsentratsioon jätta 25–30%, maksimaalselt 45% juurde (Grattan, Clarke 1987, 190; Gregory *et al.* 2012, 5). Kui artefakti on plaanis külmuivatada ja kontsentratsioon ületab 50%, blokeerib see eseme pindmise kihi, mis takistab veeauru väljumist (Watson 1997a, 15–16). Bakteriaalse tegevuse vastu aitavad siinjuures biotsiidid ja alkohol, aga ka see, kui alustada PEG 400 kontsentratsiooni 20%-st (Hamilton 1999; Sully 26.05.2017). Kõrgete kontsentratsioonide juures on PEG 400 väga hügrooskoopne ja jätab puidule veidi rasuse ja kleepuva väljanägemise (Grattan, Clarke 1987, 174, 190).

Tugevasti lagunenuid puidule PEG 400 tuge ei anna ja artefakt pole kokkutõmbumise eest kaitstud, mistõttu kasutatakse sel juhul kõrgema molekulaarmassiga PEG-e (nt

PEG 4000), tagades nii puidu mehaanilise tugevuse (Grattan, Clarke 1987, 191, 192). Nende juures pole biotsiidide lisamine vajalik ja üleliigset PEG-i on eseme pinnalt võimalik kuuma vee või kuumalambiga sulatades eemaldada (Hamilton 1999). Samas võib immutamise aega võtta aastaid ning PEG 4000 teeb puidu raskeks, värvib eseme tumedaks ja kõrgemate kontsentratsioonide juures tuleb lahust kuumutada (Grattan *et al.* 2006, 57). Seetõttu pole soovitatav kontsentratsiooni väga kõrgele tõsta (mitte üle 45%). PEG 4000 kasutatakse vahel ka pinnakatteks, peale PEG 400-ga immutamist – meetod tagab eseme stabiilsuse ja tugevuse nii puidu sees kui ka rohkem lagunenu välise osa peal. Samas on oht, et PEG 400 võib hakata endasse kõrgema molekulaarmassiga PEG-i imama (Grattan 1982, 133; Grattan, Clarke 1987, 197; Ghaumat *et al.* 2002, 364).

Kanada konserveerimisinstituudi (CCI) konserveerijad on kaheastmelise PEG-i meetodi kasutamiseks välja töötanud Exceli programmi PEGcon (Cook, Grattan 1991), mis arvutab puidu tiheduse ja niiskussisalduse põhjal PEG-i lahuste lõppkontsentratsioonid. Programm on kasutusel sellisena nagu see 1990. aastal loodi, kuid aja jooksul on erinevad laborid kohandanud seda vastavalt oma kogemusele. Mõnel pool soovitatakse PEG 400-ga alustada 5%-st, et vältida osmootilise šoki tekkimist, teisel juhul soovitatakse alustada 20%-st,³³ et vältida bakteriaalset tegevust biotsiide lisamata ja alles seejärel lisada 5% kaupa PEG 4000 (Hamilton 1999; Sully, 26.05.2017; Panter, Sully 2017, 3).

2.5.4. Silikoonõli

Silikoonidega on arheoloogilise vettinud puidu peal katsetatud juba 1965. aastast, kui metüülpolüsiloksaani pihustati koos PEG-i, boorhappe ja booraksi seguga Vasa laevale (Unger *et al.* 2001, 496). Läbi aegade on proovitud erinevaid silikoonidega konserveerimisvõtteid ja kõikidest lähenemistest ma siinkohal ülevaadet ei anna, vaid tutvustan eelkõige käesolevas töös katsetatud Teksase A&M Ülikoolis 1993. aastast alates välja töötatud meetodit (Hamilton 1999). Meetod hõlmab endas kolme astet –

³³ Juhul kui programmis näidatud protsent on väiksem.

kuivatamine, immutamine ja katalüüs. Konserveerimist alustatakse eseme lahusepõhise kuivatamisega, mis tähendab, et enne silikoonõlisse panekut asetatakse ese etanooli vesilahusesse, mille kontsentratsiooni tõstetakse 25% ehk veerandi kaupa kuni 100%-ni. Viimases astmes hoitakse eset kahel korral, et vesi kindlasti etanooliga asenduks, misjärel korratakse täpselt sama protseduuri atsetooniga. Peale kuivatamist algab eseme töötlemine silikoonõliga, mis sisaldab kolme komponenti – passiivset polümeeri³⁴ (silikoonõli), ristsideme tekitajat (MTMS-i)³⁵ ja katalüsaatorit³⁶ (DBTDA-d).³⁷ Nimetatud kolme substantsi ühendamisel tekib ainete ja puidu raku seinte vahel ristside, mis moodustab n-ö raku tellingu, kuid jätab raku enda tühjaks. See tähendab, et ristsideme tekitaja MTMS moodustab sideme iseendaga, silikoonõliga ja rakkudega, tekitades kolmedimensioonilise võrgustiku igas puidu rakus. (Ludwik 2012, 15)

Immutamisel pannakse artefakt silikoonõlisse, millele lisatakse 25% MTMS-i ja protsessi kiirendamiseks võib kasutada ka vaakumit (Dewolf, Hamilton 2007, 1). Siiski on viimane pigem soovitatud stabiilsema materjali puhul (nt klaas), sest puit võib liiga kiirel toimimisel kaarduda (Ludwik 2012, 15). Lõpuks töödeldakse ese katalüsaatori DBTDA-ga, mis käivitab esemes silikooni polümerisatsiooni.³⁸ Oluline on, et katalüsaatoriga toimetatakse teistest kemikaalidest eraldi laua peal, et need omavahel ei seguneks: enne uue vahendi avamist suletaks alati eelmine ja iga uue lahuse puhul kasutatakse uut puhast segamispulka. Üldjuhul jätab silikoonõli puidu loomuliku heleda tooniga, eseme kujus suuri muutusi ei toimu, puit on stabiilne ning

³⁴ Passiivne polümeer on aine, mis ei allu keskkonnamõjutustele.

³⁵ Metüültrimetoksisilaani – ristsideme tekitaja ehk aine, mis seob polümeeri (silikoonõli) ahela puidus olevate rakkudega.

³⁶ Katalüsaator on aine, mis muudab reaktsiooni kiirust, kuid ei kuulu reaktsiooni lõpp-produktide koostisesse. Katalüsaatori iga osakene võib reaktsioonist osa võtta loendamatu arv kordi, mistõttu on selle väike hulk võimeline muundama suurt hulka reageerivat ainet, kuid jääb reaktsiooni lõppemisel keemiliselt muutumatuks. (Strugatski, Nadeinski 1969, 104–105) Antud juhul kiirendab katalüsaator DBTDA silikoonõli polümeriseerimise reaktsiooni.

³⁷ Dibutüültina diatsetaat.

³⁸ Polümerisatsioon on keemiline reaktsioon, milles ühest või mitmest madalmolekulaarsest ühendist tekib samasuguse elementide koostisega, kuid suurema molekulaarmassiga kõrgmolekulaarne ühend. Silikoonõliga konserveerimisel tähendab see, et aja jooksul konservant eseme sees paksub ja taheneb ning katalüsaator kiirendab seda protsessi.

see ei vaja edaspidisel säilitamisel nii suurt keskkonna kontrolli, mida tuleb hügrooskoopsuse tõttu ette näiteks PEG-i ja suhkru puhul (Hamilton 1999). Silikoonõliga konserveerimisel on välja töötatud konkreetne õpetus (Hamilton, Dewolf 2007), kus on eraldi toodud erinevate immutamislahuste kontsentratsioonid ja eseme lahuses hoidmise aeg. Võrreldes PEG-i ja suhkru meetodiga, mille puhul kohtab kirjanduses palju erinevaid konserveerimisvõtteid ja arvamusi³⁹, on silikoonõli meetodit kindla juhendi tõttu algajal konservaatoril üsna lihtne kasutada. Samas võib seda universaalset õpetust ka meetodi negatiivseks pooleks pidada, sest erinevate puuliikide ja lagunemisastmete puhul ei kasutata üldiselt ainult üht kindlat toimimisviisi – näiteks vähem lagunenu või suurem puit imendub lahuses tavaliselt pikemat aega kui rohkem lagunenu artefakt.

Silikoonõli negatiivseks aspektiks on see, et peale katalüsaatori lisamist ei ole konservanti enam esemest võimalik eemaldada. Lisaks on ained kergesti süttivad, mürgised, lenduvad ja keskkonda saastavad, mis muudavad töö konservaatorile ebamugavaks ning kindlasti tuleb kasutada kaitsevarustust (kindad, põll, respiraator). Olenemata sellest, et protsess ei ole tagasipööratav, silikoonõlimeetodit siiski kasutatakse, sest erinevalt PEG-ist, mille juures on täheldatud aine lagunemist, peaks silikoonõli konserveeritult püsima vähemalt 200 aastat (Hamilton 1999). Silikoonõli on niiskuse ja temperatuuri suhtes vähem tundlik ja see ei mõjuta rauda sisaldavat puitu (Gregory *et al.* 2012, 7). Arvestades aine kulukust ja mürgisust, on sellega võimalik konserveerida vaid väiksemaid esemeid. Samas on silikoonõli võimalik taaskasutada ja kui arvestada selle pikaajalisust, võib meetod kokkuvõttes olla isegi soodsam kui juba mõne teise vahendiga töödeldud objekti taaskonserveerimine. Siiski, kuna meetod tuli kasutusele alles 1990ndatel ja nii mõnegi stabilisaatori kohta on aja jooksul selgunud selle kahjulik mõju, tuleb ka silikoonõli kohta ilmselt enne uurida selle pikemaajalist toimet puidule. Siiani on silikoonõliga konserveeritud esemeid näiteks La Belle ja Uluburuni laevavrakilt ning Port Royali uppunud linnast Jamaikalt (Graves 2004, 14), kuid ma ei leidnud infot selle kohta, milline on esemete seis aastaid hiljem peale konserveerimist.

³⁹ Erinevad kontsentratsioonid ja kontsentratsioonide tekitamise võimalused, kuivatused.

2.6. Arheoloogilise vettinud puidu kuivatamine

Arheoloogilise vettinud puidu kuivatamine on üks keerulisemaid ülesandeid nimetatud materjali konserveerimise juures – protsess peab toimuma tasakaalukalt ja kontrollitult, sest vastasel juhul võivad eseme kujus ja struktuuris toimuda drastilised muutused (nt lõhenemine). Kuigi maailmas on eksperimenteeritud mitmete erinevate meetoditega (nt lahusepõhine kuivatamine, kriitiline CO² kuivatamine) (Kaye *et al.* 2000; Unger *et al.* 2001, 499–501), on vettinud puidu konserveerimisel enamasti rakendatud külmkuiatust ja kontrollitud õhkkuiatust. Kuna katsetan oma töös vaakumkülmkuiatust, normaalrõhul külmkuiatust, õhk- ja lahusepõhist kuivatust, tutvustan selles peatükis nimetatud meetodeid veidi lähemalt.

2.6.1. Vaakumkülmkuiatus

2.6.1.1. Vaakumkülmkuiatuse eelised ja masina ehitus

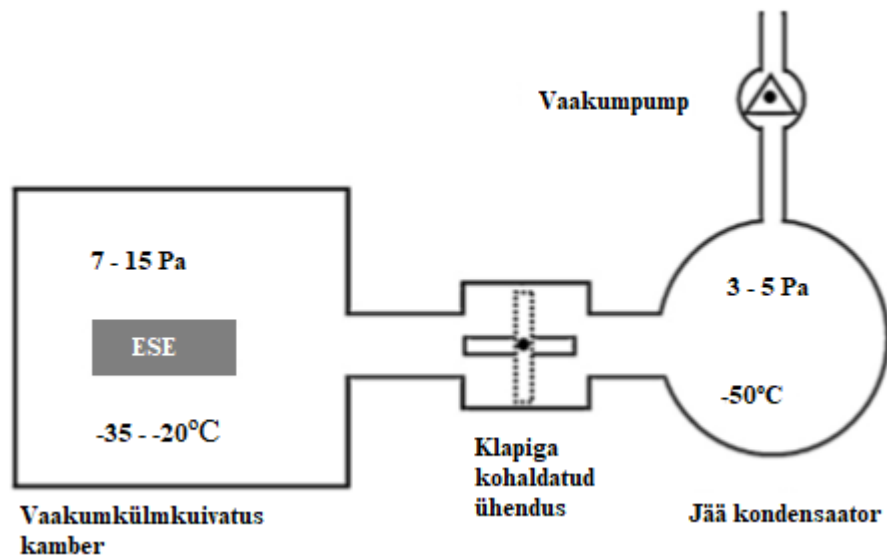
Vaakumkülmkuiatit kasutati algselt hoopis teisteks eesmärkideks, näiteks toidu pikemaajaliseks hoiustamiseks või vere plasma ja penitsilliini säilitamiseks (Watson 2004, 172). Arheoloogilise puidu peal katsetati meetodit esmalt alles 1959. aastal⁴⁰, kuid laialdasemalt hakati seda orgaaniliste esemete konserveerimisel kasutama peale Wallace R. Ambrose'i eksperimente 1975. aastast⁴¹ (Unger *et al.* 2001, 410; Watson 2004, 172). Vaakumkülmkuiatit eelistatakse seetõttu, et see teeb kuivatamise säästlikumaks nii aja kui ka materjali suhtes – see tähendab, et õigel toimimisel tagab meetod minimaalse eseme kokkutõmbumise, objektid on kerged ja heledad ning artefakt on lähedane oma originaalile ehk puit pole kaardunud, paisunud ega lõhenenud (Gregory *et al.* 2012, 5). Nagu eelnevalt mainitud, võtab PEG-iga konserveeritud puit õhust niiskust, mis võib artefakti lõpuks nõrgestada ja kahjustada. Nii vaakum- kui ka normaalrõhul külmkuiatus on eelistatud just seetõttu, et see vähendab PEG-i hügrooskoopsuse mõju (Grattan, Clarke 1987, 190; Peets 2015). Edukaks kuivatamiseks tuleb siiski eelnevalt arvestada erinevate aspektidega, näiteks

⁴⁰ Tookordsed R. M. Organi ja Anna Rosenquisti katsetused ebaõnnestusid, sest enne külmkuiatamist puitu ei immutatud, mistõttu sublimatsioonil see lagunes (Watson 2004, 172).

⁴¹ Ambrose immutas puitu eelnevalt PEG 400-ga (Watson 2004, 172).

puidu suuruse, lagunemis- ja immutamistasmega, mis kõik mõjutavad kuivatamise säästlikkust, aega ja töökäiku.

Vaakumkülmkuivatid koosnevad enamasti vaakumkambrist, kus toimub eseme külmutamine, vaakumpumbaga seotud jää kondensaatorist, kuhu jõuab jääst tekkinud aur ja nendevahelisest klapiga kohaldatud ühendusest (Gregory *et al.* 2012, 5). Teoreetiline kuivatuse mudel põhineb soojuse ja massi ülekandel kambris ning seal olevas esemes (joonis 8, Jensen, Jensen 2006, 157). Vaakumkambrist ja jää kondensaatori vaheline ühendus peaks olema võimalikult lühike ja lai, et soodustada auru laiali hajumist (Grattan, Clarke 1987, 193). Külmkuivatuse jaguneb kolmeks peamiseks etapiks: külmutamine, sublimatsioon ja desorptsioon.



Joonis 8. Vaakum-külmkuivatuse mudel PEG-ga töödeldud arheoloogiliste esemete kuivatuseks. Joonis: Gregory *et al.* 2012, 6.

2.6.1.2. Eutektiline temperatuur ja eseme külmutamine

Peale ette nähtud immutamiskontsentratsiooni saavutamist, tuleb objekti külmutada väga madalate temperatuuride juures, et imendunud lahus saavutaks eutektilise

temperatuuri⁴² ehk lahuse tahkumise madalaima temperatuuri. Eelistatakse isegi, et temperatuur objektis jääks sellest 2–5 kraadi allapoole, et vältida vedeliku teket esemes ja sellest tingitud puidu kahjustumist jää sublimatsioonil⁴³ (Jensen, Jensen 2006, 156; Schnell, Jensen 2007, 57). Lahuse tahkumisel jäätab esmalt ära esemes olev vaba vesi, seejärel kõrgema molekulaarmassiga stabilisaator (nt PEG 4000), kolmandaks madalama molekulaarmassiga stabilisaator (nt PEG 400 või suhkur) ning lõpuks seotud vesi⁴⁴, millega saavutatakse maksimaalne eutektiline temperatuur (Schnell, Jensen 2007, 52; Stætkvern 2002, 347).

Külmkuivatamismeetodi valikul tuleb arvestada, et mida väiksem on stabiliseeriva aine molekulaarmass (nt PEG 200, PEG 400, suhkur)⁴⁵, seda madalam on ka eutektiline temperatuur, mida paljud külmkuivatusmasinad ei pruugi saavutada (Watson 1997a, 13; Watson 2004, 173; Schnell, Jensen 2007, 54). Väikese kontsentratsiooni juures on madala molekulaarmassiga stabiliseeritud esemete külmkuivatus siiski võimalik (maksimaalne kontsentratsioon 45%) (Gregory *et al.* 2012, 5), kuid mida rohkem konservanti lahusesse lisada, seda suurem on võimalus lahuse mittetäielikuks külmumiseks ja selle sulamisriskile jää aurustumisel (Stætkvern 2002, 349). See tähendab, et kui lahus ei saavuta oma eutektilist temperatuuri või kui külmkuivatusmasina temperatuur on liiga kõrge, hakkab PEG jääst vett imama, ilma, et jää või PEG ise veel sulaksid ja veidigi kõrgem temperatuur võib viia lahuse pehmenemisele või vedeldumisele (Schnell, Jensen 2007, 52, 54). Kuna külmkuivatus eraldab esemest kogu vee ainult jäätunud vormist otse auruks, on siiski oluline, et vedelat olekut (nii seotud kui ka vaba vett) esemesse ei jääks, sest vastasel juhul käitub konservant lihtsalt jaheda vedelikuna, mis hakkab aurumise asemel hoopis keema (Stætkvern 2002, 348). See aga võib tekitada eseme pinnale kleepuva massi (Watson 2004, 173) või halvemal juhul põhjustada objekti kokkutõmbumise, pragunemise ja

⁴² Eutektiline temperatuur – kõrgeim temperatuur, mille juures nii vesi kui ka stabiliseeriv aine koos seotud veega on tahkes olekus.

⁴³ Sublimatsioon on jää muutumine tahkest olekust otse auruks (Flink, Knudsen 2002, 11).

⁴⁴ St stabilisaatori poolt jääst imatud vesi.

⁴⁵ Neid peetakse klaastemperatuuriga stabilisaatoriteks, mis tähendab, et lahus muutub küll jäigaks, kuid eutektiline temperatuur võib jääda alla –50°C, mida kõik külmkuivatid ei pruugi saavutada (Watson 1997a, 13; Schnell, Jensen 2007, 54).

lagunemise (Ghaumat *et al.* 2002, 363; Jones *et al.* 2009, 2178). Lisaks tuleb arvestada, et kui lahusesse on lisatud etanooli või teisi biotsiide bakteriaalse tegevuse vältimiseks, võib eutektiline temperatuur sellest veelgi langeda (Schnell, Jensen 2007, 55). Kuigi stabilisaatorite eutektilised temperatuurid on mitmel juhul välja toodud (tabel 2), on külmuivatusmasinad enamasti erinevad ning töörežiimid muudetavad, mistõttu tasub sobivaid temperatuure kindlasti katsetada ka kasutuses oleva masinaga.

	Eutektiline temperatuur
PEG 400	-28,4 °C
PEG 4000	-18,3 °C
Suhkur	-32 °C

Tabel 2. Eutektilised temperatuurid (50% PEG-i lahused) (Stætkvern 2002, 344, 345; Flink, Knudsen 2002, 22).

Ökonoomsemaks kuivatamiseks peaks eseme külmutamine toimuma piisavalt aeglaselt, et tekiks suuremad ühesuunalised jääkristallid. Kiire külmutamine moodustab tihke massina väiksemaid erisuunalisi kristalle, mistõttu nõuab masin jää aurustamiseks rohkem energiat, tehes kuivatamise ajamahukamaks ja eseme struktuurilistele muutustele tundlikumaks (Watson 1997a, 13; Flink, Knudsen 2002, 32–33). Soovitav on ese külmutada umbes $-32 - -40^{\circ}\text{C}$ ⁴⁶ juures ning vaakumit hakata kasutama alles siis, kui puit on jõudnud vähemalt -25°C -ni (Hamilton 1999).

2.6.1.3. Sublimatsioon eseme sees ja desorptsioon

Kylmuivatamise kiirust mõjutavad sublimatsiooni rõhk ja temperatuur, mis on omavahel võrdelised. See tähendab, et madaldades näiteks eseme temperatuuri PEG-i eutektilise temperatuurini, alandab see kohe ka rõhku ning aeglustab tööde kulgu (Gregory *et al.* 2012, 5). Sublimatsioon algab alati eseme pinnalt, liikudes sealt sisse poole, et tekkinud aurul oleks võimalik väljuda. Kui esemest on eemaldatud umbes kolm neljandikku jääst, nimetatakse kuivatatud ja külmunud kihi kontuuri piiripinnaks

⁴⁶ Oleneb muidugi konservandist ja selle kontsentratsioonist.

(*interface*), kus veesisaldus teeb järsu muutuse⁴⁷ (Flink, Knudsen 2002, 34). Seal muutub jää aurustamine keerulisemaks, sest objekti siseseks sublimatsiooniks tuleb energia transportida läbi kuivanud piirkonna jäätunud kihini, mis tähendab, et kambri tuleb hakata temperatuuri tõstma. Kuna jää on palju parem soojusjuhtivus kui puul, tuleb kuumus valida vastavalt esimesele (Flink, Knudsen 2002, 36; Watson 2004, 173). Vaakumi madala rõhu tõttu peab välimisse kondensaatorisse kogunenud auru pidevalt väljutama. Vastasel juhul toimub lihtsalt kuuma auru liikumine, mis võib temperatuuri tõstmisel viia esemes oleva jäätunud lahuse sulamiseni ja sublimatsiooni katkemiseni (Watson 2004, 173–174).

Peale interfaasi läbimist sisaldavad tahkained kuivatatud osas veel suurel määral seotud külmumata vett (u 25–30 g vett 100 g tahkainete kohta), mille eemaldamist nimetatakse desorptsiooniks (Flink, Knudsen 2002, 38–39). Selleks vähendatakse esemes rõhku, mille tulemusena seob vesi end tahkainetega (*ibid.*, 39). Kui niiskussisaldus pole objektis lõpuks piisavalt madal, tuleb muuta külmuivati töörežiimi. Struktuurilt väga ebastabiilsete esemete puhul võib alandada kambri temperatuuri (-50 – -80°C), mida võib olla aga keeruline saavutada. Teise variandina võib tõsta eseme temperatuuri, mis on jällegi puidu struktuuri ja selle täiteaine keemiliste omaduste tõttu suhteliselt piiratud (Flink, Knudsen 2002, 40–42). Kuigi sublimatsioon ja desorptsioon on küll kuivatamise erinevad etapid, toimuvad need siiski samal ajal objekti erinevates piirkondades. See tähendab, et temperatuur ja niiskussisaldus on esemes kohati erinevad ning peale jää aurumist tuleb mõnda aega oodata, et ka seotud vesi igalt poolt desorbeeruks⁴⁸. Esemel lõppniiskussisaldus on saavutatud, kui seotud vee rõhk on võrdne vee auruga kondensaatoris (Flink, Knudsen 2002, 30, 43–44).

⁴⁷ St umbes 20-30% veest jäätunud faasist läheb üle 0-3%-le veele kuivanud kihis.

⁴⁸ Viimane piirkond, mis desorbeerub, on see, mis viimasena aurub (sublimeerub).

2.6.1.4. Vaakumkülmkuivatuse puudujäägid

Vaakumkülmkuivatuse meetodi puudujäägiks on selle kulukus, kuna masin ise on kallis ja sellega on enamasti võimalik ainult väiksemaid esemeid kuivatada. Ökonoomsem on küll tavaline vaakumita külmkuivatus, kus vettinud ese asetatakse madalate temperatuuride juures sügavkülma avatud raamile, et lasta õhul selle ümber ringelda, ent sel juhul võib kuivatus nädalate asemel kesta kuid. Suuremate külmkuivatuse masinate juures (läbimõõt üle ühe meetri) võib probleemseks osutuda kuumuse kandumine seadme keskele, mille lahenduseks on pakutud küll kuumariuleid või kuumateipi⁴⁹, kuid sel juhul on esemeid kerge üle kuumutada, mistõttu pole see ilmselt väga soovitatav. (Grattan, Clarke 1987, 176, 193; Hamilton 1999; Gregory *et al.* 2012, 5)

2.6.2. Normaalarõhul külmkuivatus

Massiivsete esemete puhul (nt laevavrakid) on vaakumkülmkuivatus kallis ja tihtipeale võimatu, sest masina maht seab piirid objekti suurusele. On juhtumeid, kus artefaktid on selle jaoks koost lahti võetud ja peale kuivatamist taas kokku pandud, nagu näiteks Doveri pronksiaegse paadi puhul (Cornfield 1994, 392; Watson 1997b, 555), kuid see nõuab suuri ressursse⁵⁰, mida Eestis paraku ei ole. Eestis on Maasi vraki ja Pärnu koge puhul kasutatud normaalarõhul külmkuivatust (täpsemalt ptk 1, Roio 2006, 307, 308; Peets 2015). Külmemates piirkondades on säästlikuma meetodina kasutatud ka talvekliimat (nt Kanadas, Grattan *et al.* 1980), kuid selle saavutamine on meie muutavas ilmastikus keeruline.

Väiksemate esemete puhul on toiming lihtsam – tavaliselt kasutatakse selleks kahte omavahel ühenduses olevat kirstsügavkülmikut. Nendest esimene, mis on mõeldud

⁴⁹ Vahele on suuremate esemete külmkuivatamisel kasutatud nt kuumateipe, mis mässitakse ümber eseme, et kuumus ka eseme keskele jõuaks ja sublimatsioon saaks toimuda (Grattan, Clarke 1987, 176, 193).

⁵⁰ Doveri pronksiaegse paadi kaevamise ja konserveerimise juures tegutses ligi 30 spetsialisti (Cornfield 1994, 392).

töödeldavate objektide jaoks, on suurem ja töötab -8°C juures. Teine on väiksem kirst, kus on -40°C ning sinna asetatakse veel jahutusspiraal, mille külge koguneb eseme pinnalt sublimeerunud jääaur. Lisaks pannakse sinna ka puhur, mis aitab tekkival niiskusel kondenseeruda. Normaalarühul külmuivatamist saab kindlasti rakendada erineval moel, näiteks ka tavalises sügavkülmikus (kolmandas ptk-s VI katse), kuid oluline on, et madalatel temperatuuridel juhitakse esemetelt tekkinud aur ära. Meetodi negatiivseks pooleks on see, et kuivatamine kestab üle kahe sentimeetrise diameetriga esemete puhul üsna kaua ja suuremate esemete puhul võib see esialgu toimida suhteliselt tormakalt. (Grattan, Clark 1987, 193–194; Gregory *et al.* 2012, 6)

2.6.3. Kontrollitud õhkuivamine

Ökonoomsuse ja lihtsuse tõttu on suurte esemete puhul enim kasutatud kontrollitud õhkuivatamise meetodit, mis põhineb niiskussisalduse järkjärgulises vähendamises suletud keskkonnas (nt polüetüleenkilekotis, -karbis või telgis). Siinses töös tutvustatud variantidest pole selline meetod tegelikult eriti soovitatav, sest protsess on aeganõudev ja isegi äärmiselt kontrollitud kuivatamisel võivad tulemused olla ootamatud. Peamiseks ohuks on eseme kannatamine kuivamisstressi all, kus kiiremini kuivav välimine pind, tõmbub seesmisest, aeglasemini kuivavast osast enam kokku, mille tulemusena tekivad puitu praod (Yonghee Yi 2012, 031).

Kuivatamise kordaminek sõltub mitmest parameetrist – puidu lagunemisastmest, stabiliseeriva aine imendumisefektiivsusest ja õhuniiskuse vähendamise kiirusest (Gregory *et al.* 2012, 4). See tähendab, et kui puit on äärmiselt lagunenu, pole piisavalt kaua lahuses imendunud või kuivab liiga kiiresti, võib ese kokku tõmbuda, praguneda ja kõmmelduda (*ibid.*). Arvatakse, et puidu kõmmeldumine⁵¹ esineb siis, kui kuivamisel ei pööra puitu piisavalt kiiresti ümber, ese jõuab ühelt poolt kiiremini ära kuivada ning mingis piirkonnas esineb seetõttu rakkude hävinemist ja puidu tangentsiaalset või radiaalset kokkutõmbumist (Hoffmann 1994, 372–374; Unger *et al.* 2001, 24). Teise võimalusena on pakutud lahuse ebaühtlast ja -piisavat imendumist

⁵¹ Kõmmeldumist on tavaliselt rohkem täheldatud suhkruga konserveeritud puidu puhul.

puitu, mis võib olla põhjustatud ka puidu liigi eripärasustest. Selle vältimiseks on esemeid soovitatav kuivatada nii, et õhk oleks igale poole ligipääsetav, näiteks võreraamil või mingite kinnituste vahel. (Hoffmann 1994, 372–374) Suuremate objektide puhul võib väiksegi kokkutõmme tähendada suuri struktuurilisi muutusi (Grattan, Clark 1987, 205). Seda on näha näiteks Saesaare paisjärvest leitud hooldustööde paadi puhul, kus sõiduki osad on kuivamisel erinevas suunas kokku tõmbunud (foto 4; Peets 02.10.2017). Seetõttu peab kuivatamist ja niiskussisaldust niiskusmõõdikutega järjepidevalt kontrollima ning aeg-ajalt eseme peal ka kontrollmõõtmisi läbi viima.

Õhkuivatamise juures on siiski positiivne, et vajadusel on artefakti kergem painutada (Hoffmann 1994, 373), mis võib olla oluline esemete puhul, mida tuleb omavahel kokku sobitada – näiteks laevavrakkide küljest lagunenuid palgid. Üldjuhul on kontrollitud õhkuivatamisel soovitatav kuivatada pigem heas korras puitu, sest sel juhul on vee sisaldus ja eseme kokkutõmbumisprotsent puidus väiksem (De Jong *et al.* 1981, 4).



Foto 4. Saesaare paisjärve paat. Foto: Põlva Talurahvamuuseumi fotoarhiiv.

2.6.4. Lahusepõhine kuivatus

Mitmetele immutamismeetoditele (nt kamper-alkoholi, silikoonõli, atsetoon-vaigu meetoditele) eelneb tavaliselt vee asendamine orgaanilise lahustiga (nt atsetoon, metanool, isopropanool) ehk eseme lahusepõhine kuivatamine. Orgaanilistel lahustitel on väike viskoossus, pindmine pinge ja polaarsus ning vee asendumisel kahaneb kokkutõmbuvate kapillaaride jõud ja seega ka nende kokkuvarisemine vee aurumisel esemes (Grattan, Clark 1987, 166; Gregory *et al.* 2012, 7). Meetodi positiivseks pooleks on selle lihtsus ja suhteliselt lühiajaline kestvus, kuid negatiivseks peetakse materjalide tuleohtlikkust, mürgisust ja esemete võimalikku kokkutõmbumist, mistõttu saab seda kasutada pigem väiksemate esemete peal (Grattan, Clark 1987, 166; Gregory *et al.* 2012, 7).

3. Arheoloogilise vettinud puidu konserveerimiskatsed

Vettinud puidu konserveerimise mõistmiseks ja parema kogemuse omandamiseks tuleb katseid läbi viia mitmesugusest kontekstidest pärit puiduga. Nagu sissejuhatuses mainitud, on Kadrioru Peetri koge puutükkidega tehtud katsete eesmärgiks proovida erinevaid konserveerimismeetodeid ning sealjuures jälgida ja dokumenteerida töö käigus toimuvaid protsesse ja võrrelda lõpptulemusi. Samuti hinnata kasutatud meetodite sobivust vraki ja sealt leitud esemete konserveerimiseks. Lisaks eksperimenteerisin Tartu Lutsu 12, Tallinna Pärnu mnt 31 ja Tallinnast Kadrioru piirkonnast pärit Kiikri laevavraki proovidega, et jälgida PEG 400 puitu imbumise kiirust ehk vaadata, mis on puutükkide minimaalne lahuses hoidmise aeg. Teiseks on need lisaeksperimendid ühtlasi osaliselt Peetri koge puutükkide peal tehtud katsete kinnistamiseks, täiendamiseks ja ebaõnnestumiste parandamiseks, aga ka üldisemalt arheoloogilise vettinud puidu konserveerimise õppimiseks (nt hinnangu andmine, konserveerimismeetodi määramine). Katses olevate puutükkide andmed ja kasutatud meetodid on lisatud kõik koondtabelisse (lisa 3, tabel 1). Kokkuvõttes aitab katsete käigus omandatud kogemuste pagas tulevikus hinnata puidu seisukorda ilma artefakti lõhkumata. See tähendab, et kui massiivsed objektid (laevavrakk, paat või kaevu rakked) on piisavalt suured, et neilt on võimalik proove võtta, siis väiksemate ja ühest tükist koosnevate leidude puhul (taldrik, kingsepa liist, flööt) tahetakse esemed säilitada võimalikult tervena ja algsel kujul.

3.1. Katsed I–IV: Peetri koge proovid

3.1.1. Dokumenteerimine ja soolade väljasaamine

3.1.1.1. Peetri koge proovitükkide kontekst ja visuaalne dokumenteerimine

Kadrioru Peetri 14. sajandi koge leiti koos 16. sajandi laevavrakiga (Viljo) 2015. aasta juunis 200 m Tallinna lahest lõuna pool (Roio 2016, 2) (lisa 1, joonis 4). Laevade uppumise ajal ulatus meri umbes Narva maanteeeni ja veel saja aasta eest paiknes vrakkide kohal vesi (Roio *et al.* 2016a, 140; Roio 2016, 2). 1930. aastatel hakati ala täitma Põhja Paberi- ja Puupapi vabriku põlevkivi tuhaga, mille nelja meetrise täitekihi alt vrakid leiti (Roio *et al.* 2016a, 140; Roio *et al.* 2016b, 4). Dendrokronoloogiliste dateeringute ja uuringute järgi pärineb Peetri vraki puit 13. sajandi lõpust ja Poola

aladelt, kuid leidude järgi hukkus laev umbes 14. sajandil (Roio *et al.* 2016a, 144; Roio *et al.* 2016b, 6).

Katsetes kasutatud materjaliks on laevalt pärinevate palkide naaglid (P2, P6, P7, P8; lisa 3, tabel 1: 2, 6–8) ja vrakist murdunud väikesed detailid (P1, P3, P4, P5; lisa 3, tabel 1: 1, 3–5). Selleks, et hinnata arheoloogilise puidu säilivust ja selgitada sobivaim konserveerimismeetod, tuleb leiud eelnevalt põhjalikult dokumenteerida. Esimeste katsetega alustati 2016. aasta jaanuaris. Proovid ei olnud enam vettinud, vaid pigem niiskes olekus. Paremini olid säilinud suurema liivakihiga kaetud esemed. Esmalt tuli objektide seisukorda hinnata visuaalsel vaatlusel – märkida kahjustused (praod, hallitused, plekid) ning seejärel kaaluda, mõõta ja pildistada. Dokumenteerimise käigus selgus, et mitmel puutükil olid pinnale tekkinud erineva tooniga laigud – rohekad, valged ja kollakad plekid (nt P3; lisa 4, fotod 1–2), mis olid ilmselt põhjustatud hallitusseente poolt. Enamus juhtudel kadusid plekid peale destilleeritud veega pritsimist, ent kahel proovil (P7 ja P8; lisa 4, foto 3) arenes hallitus edasi, mistõttu tuli need lõpuks panna isopropanooli ja destilleeritud vee lahusesse (2:1).

Kuna mitmetel puutükkidel tekkis oranžide plekkide tõttu kahtlus rauast detailide olemasolust, oli enne esemete puhastamist vajalik röntgenpiltide tegemine (lisa 4, fotod 4, 10, 13, 16, 19, 22–24, 29–30). Peale rauaosakeste tuvastamise aitavad röntgenpildid ühtlasi selgitada puidu sisemist seisukorda artefakti lõhkumata – sel viisil võib leida märke kahjurite (laevaoherdite) tegevusest või juba varem konserveeritud puidu kahjustustest⁵². Näiteks P6-te (lisa 4, fotod 22–24) läbis esmapilgul kaks naela, kuid röntgen tõendas, et tegelikult oli puu külge löödud vaid üks nael ja sellestki oli alles jäänud ainult auk. Seega võis puhastamisel esemele kleepunud ja sellega mitteseotud metallitüki sealt lihtsalt eemaldada.

⁵² Näiteks maarjasega konserveeritud puidu puhul on avastatud, et ehkki ese võib peale vaadates hea välja näha, on selle sisemine struktuur muutunud üsna hapraks (Häggström, Sandström 2013, 37).

3.1.1.2. Puidu lagunemisastme ja tiheduse määramine

Järgmisena tuli esemed puuliigi määramiseks vetikatest ja liivast puhastada (lisa 5, tabel 1). Puuliigi määramine on oluline, et tekiks aimdus, kuidas võib puit konserveerimise ajal ja peale töid käituda. Käesoleva töö kontekstis oli puuliigi kindlakstegemine⁵³ oluline eelkõige maksimaalse veesisalduse (U_{max}) määramiseks, et selgitada puidu lagunemisaste ja sellest tulenevalt konserveerimismeetodite valik. Puidu lagunemisel jääb rakuseina aineosi järjest vähemaks, mille arvelt kasvab vee hulk ja maksimaalne niiskussisaldus (Kohdzuma 2005, 2). Niiskuse eemaldamisel jääb alles vaid puidu aineosa ja esemest eemaldunud vesi ehk maksimaalne niiskussisaldus on seega võrdeline puidu lagunenu osaga. Mida suurem on maksimaalne niiskussisaldus, seda suurem on ka lagunemisaste (*ibid.*, 2). Kadrioru puidu niiskuse määramiseks kasutati *Exotek MC-60A Moisture Content Meter* aparati, mis mõõdab niiskust liigipõhiselt, kuid ainult eseme pinnalt. Kahjuks sellega õiget tulemust ei saavutatud, sest oleks vaja teada vee sisaldust puidus endas.

Pärast U_{max} -i määramist mõõdeti ka puidu tihedus. Tiheduse määramise põhimõte on eelmisega sisuliselt sama ehk see annab ettekujutuse puidu lagunemisastmest ja aitab otsustada konserveerimismeetodite valiku üle. Siiski peetakse seda veel täpsemaks, sest veesisalduse määramisel ei pruugi ese enam olla esialgses ehk täielikult vettinud olekus ja kuna maksimaalne veesisaldus erineb ka liigipõhiselt, näitab tiheduse mõõtmine selgemalt hävinenud tselluloosi osa (Kohdzuma 2005, 2). Maksimaalse veesisalduse määramine on siiski vajalik, sest see näitab, millises seisus on puit mõõtmise hetkel. Näiteks, kui puit on juba kuivanud, siis U_{max} osutab sellele, kui palju vett on selleks hetkeks puitu alles jäänud. Sel juhul näitab vaid tihedus eseme üldist lagunemisastet.

Kuna katses määrati tihedus uputamismeetodiga, tuli esemete piirjooned enne vette kastmist paberile kanda, et oleks võimalik peale stabiliseerimist võrrelda nende mõõtmelisi muutusi. Tiheduse määramiseks pandi puit ääreni vett täis anumasse ja

⁵³ Kõik puuliigid, peale Kiikri katsetükkide, määras dendrokronoloog Alar Läänelaid.

mõõdeti sellest üle voolav vesi, mis andis eseme ruumala. Arvutused tehti valemi $\rho=M/V^{54}$ järgi (Tallnerk Grupp), mille puhul jäi saadud tulemus vahemikku 0,94–2,78 g/cm³. Arvestades, et tavatingimustes on hariliku tamme tihedus 0,72 g/cm³, on katses saadud tulemused liiga kõrged. Vale resultaati tekkis seetõttu, et arvutused tehti märja, mitte kuivanud puiduga. Tegelikult tuleb mõõta vettinud puidu kaal ja ruumala, seejärel panna ese umbes 100–110°C juures (Unger *et al.* 2001, 24) 48 tunniks ahju kuivama ning teha vajalikud arvutused järgmise valemi⁵⁵ (Kohdzuma 2005, 2) järgi:

$$D = \frac{m_0}{V}$$

Katse kordamisel valmistati ette uus sobiv proovitükk⁵⁶, mille põhjal saadi puidu tiheduseks 0,52 cm³ (lisa 5, tabel 2). Selle tulemuse järgi on puit hävinud umbes 29,39% ulatuses. Kuna tavalises, 100% säilinud õhkuivas tammes on vaba vett ainult 15% (Tallnerk Grupp), aga tulemus sellest on peaaegu kaks korda suurem, siis 29,39% annab ligi 200% veesisaldust, kuuludes seega de Jongi teise klassi. Sarnased tulemused saadi Peetri vrakilt pärit proovidest ka Mary Rose Trusti poolt, kes said maksimaalseks niiskussisalduseks 212% ja 216% (Pearson, 17.06.2016). Antud juhul on minu katse tulemus veidi väiksem, sest proovitükk ei hõlmanud endas kogu puidu läbilõiget, vaid ainult keskmist rohkem säilinud osa. Sama tüki maksimaalne niiskussisaldus (U_{max}) oli 41,63%, mis näitab puidu seisundit antud hetkel ja millest lähtuvalt tehakse ka konserveerimismeetodite valik.

3.1.1.3. Soolatustamine

Kuna enamasti soovitatakse artefakti enne immutamist soolade väljasaamiseks vees leotada (Rodgers 2004, 43) ja kuna Peetri koge tükid pärinevad algselt soolasest mereveest (Roio *et al.* 2016a, 140), asetasin oma proovid destilleeritud vette ning

⁵⁴ ρ = tihedus, M=mass, V=ruumala.

⁵⁵ D= Põhitihedus, M₀= kuivanud puidu kaal, V=ruumala.

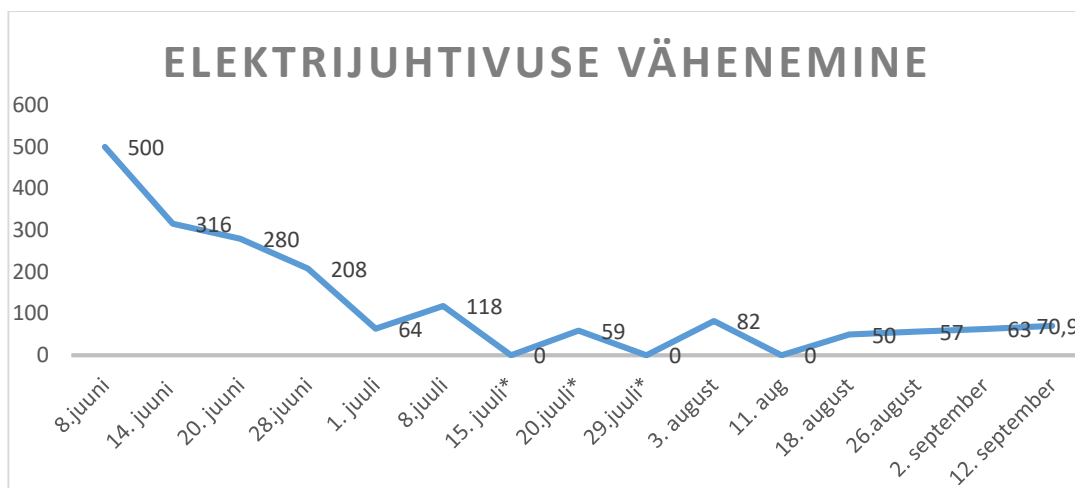
⁵⁶ Katse tehti 2018. a veebruaris. Selleks kasutati puhastamise käigus Peetri koge küljest lahti tulnud uut proovitükki, mis ei kajastu katsete tabelis (lisa 3, tabel 1). Seda tükki selle uurimistöös raames ei konserveeritud.

mõõtsin elektrijuhtivust igal nädalal *ELMEIRON Conductivity cell EC-60*-ga kuni neli kuud. Elektrijuhtivus on seotud ionide hulgaga vees, mille põhilise osa moodustavad erinevate soolade lahustumisel tekkinud katioonid ja anioonid ning vee molekulide lagunemisel tekkinud vesinik- ja hüdroksiidioonid. Elektrijuhtivuse kasv näitab ionide hulga suurenemist, mis on omakorda indikaatoriks katsekeha soolade sisalduse vähenemisest. (Strugatski, Nadeinski 1969, 130, 135; Peets, 22.02.2018)

Vett toatemperatuuril hoides oli elektrijuhtivuse näit esialgu kõrge, mis tähendab, et soolade väljumine esemetest oli tõhus. Pideva hallituse ja värvikirme tekke tõttu tõsteti puutükid külmikusse ning temperatuuri vähenemisel liikusid ained aeglasemalt ja soolade hulk vees langes märgatavalt (graafik 1). Soolade väljutamist võib kindlasti teha, sest puidu vees hoidmine aitab nii või teisiti eset paremini säilitada, ei lase sel kuivada ja vähendab bakteriaalset tegevust edaspidise immutamise ajal, kuid seda ei pea kindlasti tegema neli kuud. Sarnaste väiksemate esemete puhul piisab tõenäoliselt juba ühest kuust või pooleteisest kuust, sest Eesti maapinna ja veekogude soolsus⁵⁷ ei ole üldjuhul väga kõrge, kogu soolsust pole puidust nagunii võimalik väljutada ning protsess jätkub ka konservandiga immutamise perioodil. Peetri koge puutükke hoiti mitu kuud⁵⁸ destilleeritud vees mitte ainult soolahulga väljasaamiseks, vaid ka esemete parema säilivuse tagamiseks, samal ajal kui töötati välja edaspidiste katsete plaanid. Üldjuhul oli esemete seisukord veest väljavõttes hea, ehkki osad puutükid olid pinnalt kohati veidi pehmemaks muutunud. Vees leotamist on soovitatav teha ka sisemaalt leitud poolmärgade ja vettinud objektide puhul, et oleks sujuvam üleminek hilisemasse töölahusesse (Kajak 05.04.17).

⁵⁷ Eesti mere soolsus jääb vahemikku 1–2 PSU-d (tuhandikosa), avaookeanides on soolsus keskmiselt 35 PSU-d (Keskkonnaministeerium 2018).

⁵⁸ Osade proovikehade puhul neli kuud, kolme puutüki puhul isegi üle aasta.



Graafik 1. Elektri juhtivuse vähenemine leotusvees mikrosiemensites (μS).

3.1.2. Katse 1: kaheastmeline konserveerimine

Kokku katsetasin Peetri koge proovitükkide puhul nelja immutamise- ja kuivatamismeetodit: PEGi kaheastmelist ja aurutamise meetodit, suhkruga ja silikoonõli meetodit ning lahusepõhist kuivatust, vaakumkülmkuivatust ja kontrollitud õhkkuiivatust.

Esimeseks eksperimendiks valiti kõige halvemas seisus proovitükk (P1; lisa 3, tabel 1: 1), mille peal katsetati Per Hoffmanni välja töötatud ja rohkelt kasutatud kaheastmelist PEG-i meetodit (Hoffmann 1997, 252–253), mida on rakendatud näiteks Bremeni koge ja Shinani laevavakkide puhul (Unger *et al.* 2001, 414, 415; Peets 2015). Kuna P1 oli välispinnalt suurte pragudega ja pudenev, tundus see olemasolevatest tükkidest selle jaoks kõige paremini sobiv, sest PEG 400 stabiliseerib puidu sisemise osa ja PEG 4000 tagab selle välimise tugevuse.

Siinjuures otsustati esialgu lähtuda Bremeni koge konserveerimisel kasutatud skeemist ehk tõsta esimese astme lahuse 50%-ni ning teine 70%-ni (Hoffmann 2001, 134). Kuna ese oli kavandatud ka külmuivatada, tuli seda plaani töö käigus korrigeerida, sest 70%-line PEGi lahuse on eutektilise temperatuuri saavutamiseks liiga kõrge.

Seetõttu lõpetati ka teine aste 50% juures⁵⁹. Immutamist alustati 20%-lise PEG 400 lahusega ja kontsentratsiooni tõsteti enam-vähem iga kahe nädala tagant 5% kaupa kuni 50%-ni. Seejärel asetati puutükk 5%-lisse PEG 4000 lahusesse, mis tõsteti samal viisil 50%-ni. Bakteriaalse tegevuse vältimiseks lisati lahusesse 10% etanooli. Iga kontsentratsiooni tõstmise järel toimus proovi kaalumise, et dokumenteerida võimalikud muutused. Mõnel juhul on soovitatud puitu hoida lahuses nii kaua kuni selle kaal stabiliseerub, mis tähendab, et objekt on täiteainega küllastunud (Rodgers 2004, 50). Enamasti ei soovitata siiski kaalu järgi eseme stabiliseerimist kontrollida, sest kaalu muutus võib olla tingitud erinevatest asjaoludest, näiteks raku seina paisumisest ja kokkutõmbumisest või tasakaalustamisest (Le Chatelier' printsiip, vt lk 26), mille puhul võib eseme kaal esialgu hoopis langeda (Grattan, Cook 1987, 181).

Katse käigus, minnes üle teisele immutamisastmele (50%-liselt PEG 400-lt 5%-lisele PEG 4000-le), langes proovitüki kaal, sest osa PEG 400-st voolas esemest tagasi lahusesse. Selle vältimiseks tuleks seega PEG 4000 kohe lisada PEG 400 lahusele juurde (Ghaumat *et al.* 2002, 364). Üldjuhul tõuseb kaal nii kaua, kuni kogu ese on täielikult (nii seest kui väljast) jõudnud sama kontsentratsioonini (Grattan, Cook 1987, 181), kuid selle saavutamine ei ole eesmärk ja võtab ka liiga kaua aega. Oluline on pigem see, et sisemine osa puidust saaks täidetud, mis saavutatakse ka juhul, kui aegamisi lahuse kontsentratsiooni tõsta. Kogu immutamine võttis aega 12 kuud.

Nagu mainitud, katsetati selle tüki puhul viimase konserveerimisetapina vaakumkülmkuivatit Sublimator 700 Tallinna Ülikooli arheoloogia teaduskogus. Vaakumkülmkuivatit seaded olid juba eelnevalt paika pandud. Ese külmutati vaakumkambris -20°C juures, misjärel toimusid erinevad soojendustsüklid infrapunakiirgusega:

- a) Rõhk 4 mbar - Ir temperatuur +100 kraadi - min. kestvus 600 min.
- b) Rõhk 3 mbar - Ir temperatuur +120 kraadi - min. kestvus 240 min.
- c) Rõhk 2 mbar - Ir temperatuur +150 kraadi - min. kestvus 240 min.

⁵⁹ Mis on ka liiga kõrge, kuid sinnani oli juba mindud.

Peale igat soojendustsükli toimus eseme külmutamine. Kokku kestis kogu kuivatus 36 tundi. Iga soojendustsükliga vähendas masin rõhku ja tõstis temperatuuri⁶⁰. Masina seaded olid sätitud 20%-lise PEG-iga immutatud puidu jaoks, mistõttu oli külmutamistemperatuur liiga madal ja soojendustemperatuurid jällegi liiga kõrged. Kuna ka lahuse kontsentratsioonid olid vaakumkülmkuivatuse jaoks liiga kõrged, võib öelda, et eutektilist temperatuuri oleks nii või teisiti keeruline saavutada olnud. Siiski oleks igal juhul pidanud masina seadeid veidi muutma. Ehkki konkreetse tüki puhul kleepuvat pinda ega väga suuri muutusi mõõtmistes ei tekkinud, on puidu seisukord muutunud peale kuivatust siiski veidi halvemaks – selle pealispind on rabe, osa tükke on esemest pudenenud, praod puidus on läinud suuremaks ja peenemas otsas olev pragu läinud harali (10 mm rohkem; lisa 4, foto 9). Kaalust on ese kaotanud oma massist rohkem, kui see dokumenteerimisel kaalus (tabel 3). Puidu kontuurjoonistuste põhjal selgus, et ese on osaliselt, umbes 1–3 millimeetrit, paisunud ja osaliselt kokku tõmbunud. Samuti olid PEG-ist puidu pinnale alles jäänud väiksemad valged laigud, mida saab sealt küll kergelt eemaldada, kuid mida ideaalis võiks mitte tekkida. Kokkuvõttes jäi eseme üldilme hapraks ja värvus muutus võrreldes esialgse seisukorraga tumedamaks (lisa 4, fotod 5–8).

Esialgne kaal	468 g
Kaal peale destilleeritud vees leotamist	628 g
Kaal peale immutamist	676,30 g
Kaal peale kuivatust	385,3 g

Tabel 3. P1 kaaluerinevused.

3.1.3. Katse 2: konserveerimine aurutamise meetodil

Kolme Peetri koge proovitüki peal (P2, P3, P4; lisa 3, tabel 1: 2–4) katsetati PEG 400-ga stabiliseerimist aurutamise meetodil ehk PEG-i kontsentratsiooni tõsteti aurutamise teel. Meetodi eeliseks on ökonoomsus ehk väiksem materjalikulu, sest täitainet ei pea vajaliku astme saavutamiseks lahusesse pidevalt juurde lisama. Katse eesmärgiks oli näha, kui kiiresti tõuseb PEG-i kontsentratsioon 20% pealt 40%-ni. Kuna osade arvamus kohaselt piisab bakteriaalse tegevuse vastu PEG-i 20%-lisest algastmest (vt

⁶⁰ Samad seaded olid ka P5 puhul (vt allpool), mida kuivatati P1-ga koos.

lk 34), otsustasin alkoholi ja biotsiide mitte lisada, et jälgida mikroorganismide toimingut lahuses ja selle mõju puidule – sealjuures ei vahetanud ka kordagi lahust. Esemed kuivatasin kolmel viisil – õhkuivatuse, vaakumkülmkuivatuse ja normaalrõhul külmkuivatusega.

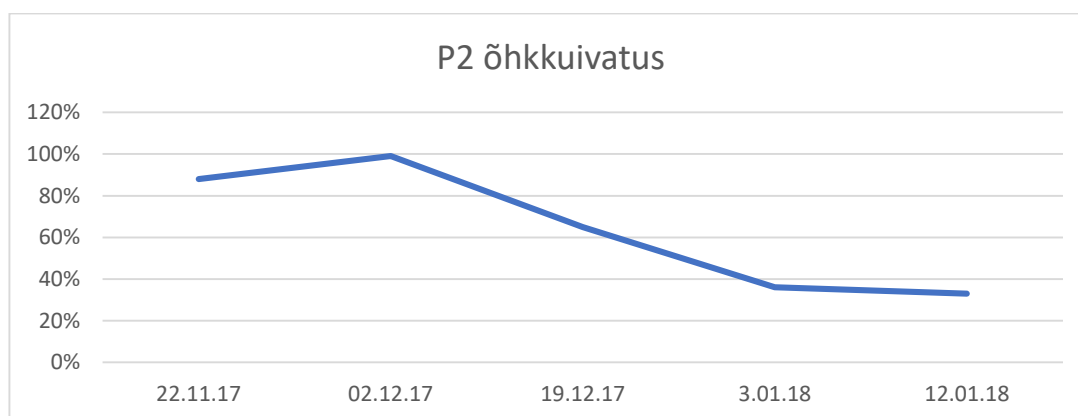
Esemete dokumenteerimistulemused olid üldiselt teiste Peetri koge proovidega sarnased (lisa 5, tabel 1), kuid nimetatud esemeid hoiti vees kauem (kokku 13 kuud), enne kui otsustati valitud meetodi kasuks. Olenemata sellest, et nr P2-le tekkis õrn ristisuunas lõhe, aitas puutükkide hoiustamine destilleeritud vees külmkapis esemeid hästi säilitada.

Esemete lahusesse panekul jäi immutusnõus lahuse piir 4700 ml juurde. Toatemperatuuril hoides jõudis see umbes 11 nädalaga (augustist oktoobrini) 2250 ml-ni ehk 40%-ni. Võrreldes teiste katsetega, mille puhul lisati konservanti iga kahe nädala tagant 5% võrra juurde, on kontsentratsiooni tõus toimunud aeglasemalt ehk umbes 1,8% nädalas, mistõttu on ka osmootilise šoki tekke võimalus väiksem. Esemeid kaalusin ainult enne ja pärast immutamist, mitte protsessi ajal.

Umbes kuu aja pärast hakkas lahusele tekkima värviline kirme ja pruun sade. Värviline kirme tähendab kindlasti mikroorganismide kohalolu, kuid samas ei olnud lahusesse ja puutükkide ümber tekkinud lima ega hallitust, mistõttu ei pidanud biotsiidide lisamist vajalikuks ning kirme korjati lihtsalt võrguga ära. Esialgu arvasin, et kuna P3 on kunagi sisaldanud raudnaelu, võis pruuni sademe teke tähendada roosteosakeste väljajumbumist, sest näiteks vees hoidmise ajal andis ese lõpuks ka anumale oranžika jälje. Kuna aga esemete kaal on immutamise ajal langenud, on siiski tegemist puidu lagunemisega ning pruun sade on ilmselt lagunenuid puidu jääk (tabel 4). Lahusest võeti proov (10 ml; lisa 4, foto 18), milles oli sadet umbes 1 mg (vea täpsus 1 mg). Selle põhjal oleks lagunenuid puidu osakaal 0,2 g kahe liitri kohta, kuid täpsemad tulemused saavutati ilmselt esemete kaaluvahede põhjal – kokku kaotasid kolm

puutükki 11,24 grammi 1,55 liitri kohta⁶¹. Selle põhjal võib öelda, et etanooli või biotsiidi tasub teine kord siiski lahusesse lisada ja lahust tuleb aeg-ajalt kindlasti ka vahetada.⁶²

Kuu aega peale kontsentratsiooni saavutamist alustasin naagel P2-ga õhkuivatust ehk ese pandi koos niiskusemõõtjaga toatemperatuuril minigrippi. Seitsme nädalaga jõudis kuivatus suhtelise 36%-lise õhuniiskuseni, kuid selle aja jooksul kõikus niiskus väga tugevalt, vähenedes kuuga umbes 60% (graafik 2), mistõttu on tulemus ebarahuldav – puit on tangentsiaalsuunas ligi poole võrra kokku tõmbunud ja pragunenud (lisa 4, fotod 11–12, joonis 3). Vaadates eseme lõppkaalu, on ka muidugi võimalik, et 40%-line PEG 400 lahus ei olnud õhkuivatuse jaoks piisav ja kontsentratsioon oleks pidanud olema kõrgem. Teine variant on, et aastane vees leotamine lagundas puitu edasi ja seda oleks pidanud suurema molekulaaruga PEG-iga või kauem immutama.



Graafik 2. Proovitüki P2 õhkuivatus.

Enne vaakum- ja normaalrõhul külmuivatust olid ülejäänud esemed (P3 ja P4) veel paar kuud 40%-lises PEG-i lahuses. Võrreldes esimese katsega, muudeti seekord vaakumkülmuivatati seadeid ning eseme (P3) külmutamine toimus -40°C juures, millele järgnesid erinevad soojendustsüklid infrapunakiirgusega:

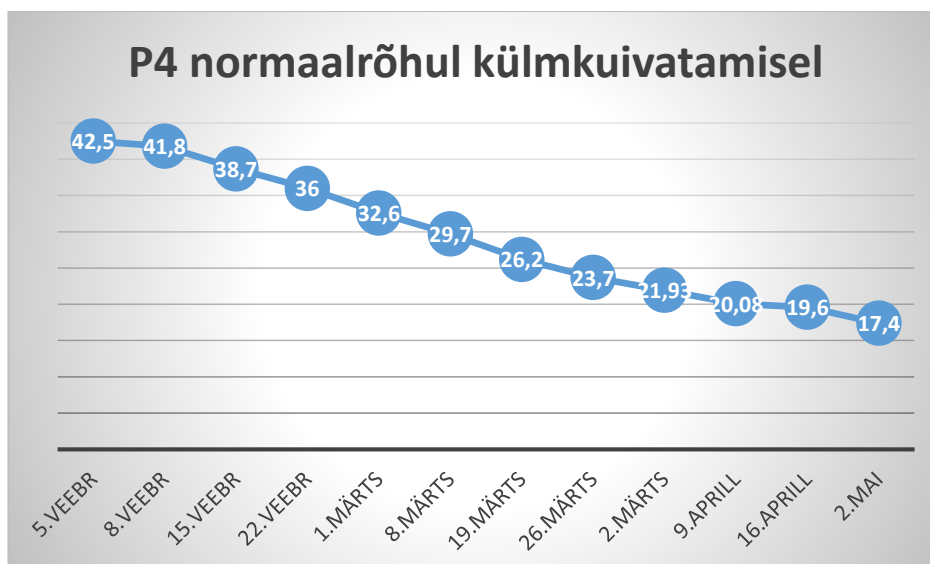
⁶¹ Puutükide väljavõtmisel oli lahuse piir 1550 ml.

⁶² Pikemaajalisemas vees hoiustamisel tasub biotsiidi juba vette lisada.

- a) Rõhk 4 mbar - Ir temperatuur +100 kraadi - min. kestvus 600 min.
- b) Rõhk 3 mbar - Ir temperatuur +120 kraadi - min. kestvus 240 min.
- c) Rõhk 2 mbar - Ir temperatuur +100 kraadi - min. kestvus 240 min.

Ese muutus väga kergeks ja heledaks, selgelt tulid esile erinevad puidu töötlemiste ja naelte jäljed ning võib öelda, et Peetri koge proovidest oli see kõige parema tulemusega (lisa 4, fotod 5–6).

Normaalrõhul külmuivatuse jaoks kuivatati esmalt kaks kilogrammi silica geeli kümme tundi 70°C juures, et selles jääks niiskust alla 20%. Silica geeli kasutati seetõttu, et sel on võime imada ja anda ära niiskust. Seega ahjus kuivatatud geel mõjub külmuivatamisel kondensaatorina, imades endasse puidust aurunud vett. Oluline on, et puidu pinnale ei tekiks jääkihti, sest vastasel juhul ei saa eseme kuivamisel niiskus objekti seest väljuda. P4 normaalrõhul külmuivatamine toimus koos Kiikri vraki proovitükkidega (vt allpool). Asetasin esemed sügavkülma (-28°C) koos 1 kg silica geeliga ja kaalusin neid esimesel nädalal iga paari päeva tagant ning hiljem kord nädalas. Esialgu oli kaalukaotus suurem (umbes viis grammi nädalas), kuid muutus peagi väiksemaks (umbes kolm grammi nädalas) (graafik 3). Paari nädala pärast lisati esemete juurde puhur, et tekiks suurem õhuliikumine ja veel 1 kg silica geeli (kokku kaks kg). Kuu pärast täheldati P4-l väikest jääkihti, puutüki kahes kihis paiknemise tõttu (lisa 4, fotod 14–15). Kuna aga kuivamisel olid kokku paindunud pooled üksteise peal, takistas see korralikku õhu läbivust ning selleks, et õhk oleks igalt poolt ligipääsetav, oleks P4 pidanud kuivatamisel korralikult lahti tegema või harali seisma panema. Üldiselt on P4 tulemus hea – see on kerge ja heleda tooniga (lisa 4, foto 17). Mõned praod on küll rohkem esile kerkinud, kuid kuna külmuivatatus kestab veel, saab jooniste põhjal lõplikud järeldused teha alles peale kuivatamist.



Graafik 3. P4 kaalulangus.

	P2	P3	P4
Kaal esemete dokumenteerimisel	152 g	213 g	59 g
Kaal enne immutamist (M1)	168,51 g	269,82 g	51,26 g
Kaal peale immutamist (M2)	165,81 g	266,4g	46,4 g
Puidu lagunemise % immutamise ajal (M1-M2) x 100 : M1	1,6%	1,26%	9,4%
Kaal peale kuivatamist	55,11 g	85,3 g	17,04 g (pole veel lõppkaal)

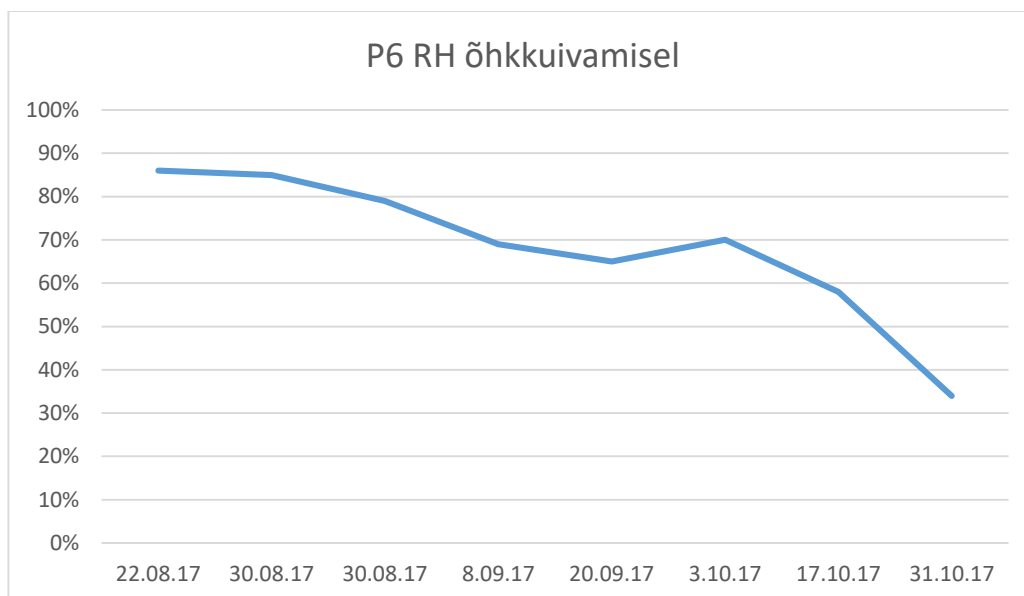
Tabel 4. Puutükkide kaalud konserveerimise vältel.

3.1.4. Katse 3: suhkruga konserveerimine

Ehkki maailmas on suhkruga konserveeritud juba aastakümneid, pole Eestis teadaolevalt peale Minski külmade-kuumade vannide meetodi (vt peatükk 2) puhta suhkruga veel katsetatud. Valiku kasuks võib välja tuua, et meetod on suhteliselt odav ja seetõttu võib seda kaaluda eriti suurte objektide konserveerimisel. Nimetatud meetodiga konserveerisin kaks proovi (P5 ja P6; lisa 3, tabel 1: 5–6), kasutades selleks tavalist rafineeritud valget lauasuhtut, mis on erinevatest suhkruliikidest andnud kõige paremaid tulemusi (Parrent 1985, 63).

Nagu eelnevalt mainitud, on suhkru puhul probleemiks mikroorganismide ja hallituse teke, mille vastu aitavad biotsiidid ja tugev kuumutamine (Peets 06.11.2016). Euroopa laborite katsed näitasid, et tavaline kuumutamine mikroorganismide tegevust siiski ei takista (Hoffmann *et al.* 1994, 311), mistõttu otsustati kindluse mõttes proovida mõlemat vahendit. Seega lisati lahusesse tavalist kodukeemia toodet „Boracoli“ ning ühtlasi kuumutati seda kuuekümmne kraadi juures kord nädalas üks kuni kaks tundi. Suhkruga immutamise kestis kokku üheksa kuni kümme kuud. Kontsentratsiooni alustati 20%-st ning tõsteti kaalupõhiselt iga kahe nädala tagant 5% võrra kuni 70%-ni. Esemid kaaluti iga kontsentratsiooni tõstmise järel. Kuna esialgne „Boracoli“ kogus (40 ml) jäi tõenäoliselt ebapiisavaks, hakkasid puutükid umbes seitsme kuu möödudes lahuses hõljuma. Samas lahuse ise oli korralik, hallitust ei olnud tekkinud, mistõttu ei osanud sellele suurt tähelepanu pöörata. Tegelikult oli pärmiseente tõttu tunginud puitu süsihappegaas, mis oli ilmselt hõljumise põhjustajaks ja võimalik, et takistas mingil määral ka täiteaine korralikku sisseimbumist (vt lk 30–31). Tagantjärele võib öelda, et tavaline kuumutamine suhkruga konserveerimisel ei aita ja ka biotsiidi tasub teine kord julgemalt või isegi juba vees leotamise ajal lisada. Antud katse juures jäi biotsiidi osakaal lahuse kontsentratsiooni tõstmisel sama taseme juurde, jäädes lõpuks ilmselt ebapiisavaks.

Augusti lõpus (umbes peale üheksat kuud immutamist) alustati P6-ga kontrollitud õhkkuivatamist (graafik 4). Proov pandi koos niiskusemõõdikuga minigrippi ja võeti välja, kui niiskus oli jõudnud 33%-ni. Kokku kestis kuivatus umbes kolm kuud. Jooniste järgi on ese osaliselt kokku tõmbunud ja osaliselt paisunud (kõige rohkem kolm mm; lisa 4, joonis 6). Välimuse poolest on proov heleda tooniga, kuid kohati jäänud tumedalaiguliseks (lisa 4, fotod 20–21, joonis 6). Ühelt poolt võisid tumedad laigud tekkida sellest, et ei pööratud puitu kuivatamisel piisavalt regulaarselt. Teiselt poolt aga võis selle põhjustada mikroorganismide tegevus ehk suhkur ei kristalliseerunud ja tekkis siirup, mille tõttu puit ei saavutagi kuiva muljet.



Graafik 4. P6 RH vähenemine õhkuivatamise perioodil.

Teise proovitüki (P5) külmkuivatus toimus kuu aega hiljem ning ese oli selle ajani lahuses. Taaskord oli lahuse kontsentratsioon külmkuivatuse jaoks liiga kõrge, sest suhkru eutektiline temperatuur on äärmiselt madal (-32°C ; Flink, Knudsen 2002, 22). Külmkuivati seeded olid samad, mis P1 puhul, mis tähendab, et need olid suhkruga konserveerimise jaoks valed. Kuna külmutamine toimus vaid -20°C juures, ei külmunud lahus esiteks ära ning kuna infrapunaga kuumutamine toimus 150°C juures, muutus suhkur kõigepealt siirupiks ja seejärel karamellistuseks⁶³. Ese oli peale kuivatamist läikiv, laiguline, kleepuv ja pinnal olid suhkrust alles jäänud valged osakesed.

Teiseks puuduseks oli suhkru hügrooskoopsus, mida osutas läike kadumine esemelt ja mille asemele jäid tumedad laigulised plekid. Joonise põhjal näib ese samas seisus, mis enne, kohati 1 mm võrra paisunud, mis tähendab, et kokkutõmbumises suuri muutusi pole toimunud (lisa 4, joonis 7). Fotode pealt on näha, et mõned praod on selgemalt esil ja kohati 1 mm võrra laiemad (lisa 4, fotod 25–28). Üldiselt on praod

⁶³ Suhkru karamellistumise/sulamise temperatuur on küll tavaliselt vahemikus $160\text{--}192^{\circ}\text{C}$, kuid külmkuivatuse puhul on karamellistumist täheldatud juba madalamatel temperatuuridel, mis on ilmselt seotud vee eemaldamisega külmkuivatamise protsessi käigus (Beckett *et al.* 2006, 2591; Flink, Knudsen 2002, 81).

rohkem nähtavad, sest puit on konserveerimise käigus heledamaks muutunud. Samal põhjusel on näiteks paremini märgata eseme keskel paiknevaid töötlusjälgi ja aastarõngaid. Mõlema proovitüki puhul on kaal lähedane oma esialgsele kaalule (tabel 5).

	P6	P5
Kaal esemete dokumenteerimisel	154 g	347 g
Kaal enne immutamist	167 g	354,5 g
Kaal peale immutamist	197,35 g	400,24 g
Kaal peale kuivatamist	147,38 g	338,8 g

Tabel 5. Proovitükkide (P5 ja P6) kaalud konserveerimise jooksul.

3.1.5. Katse 4: silikoonõliga konserveerimine

Viimasteks Peetri koge tükkidega (P7 ja P8; lisa 3, tabel 1: 7–8) tehtud katseteks otsustati proovida Dewolfi ja Hamiltoni silikoonõli meetodit (Dewolf, Hamilton 2007) (vt alapeatükk 2.5.4). Meetodit pole veel Eestis kasutatud, sel on selge toimimisjuhend ja sellega saab katsetada teistest erinevat kuivatamismeetodit – lahusepõhist kuivatust. Nimetatud tükid valiti eelkõige seetõttu, et dokumenteerimise perioodil tekkis esemetele rohke hallitus, mistõttu pandi proovitükid isopropanooli ja destilleeritud vee lahusesse. Kuna nii või teisiti plaaniti kasutada silikoonõli meetodit, oli sealt hea etanoolilahuse peale üle minna.

Tööprotsess kestis kokku umbes 14 kuud. Lahust vahetati enam-vähem iga kuue nädala tagant, mille juures kaaluti alati ka proove. Puutükkide kaal muutus etanoolis ja atsetoonis järjest väiksemaks (tabel 6), mis tähendab, et toimus soovitud asjade käik – vesi esemes asendus alkoholiga, kuivatades puitu. Eelviimase etapina hoiti puutükke ligi kaks kuud 75%-ses silikoonõli (viskoossus 5000 cSt)⁶⁴ ja MTMS-i lahuses. Protsessi kestus on tavaliselt umbes kuus nädalat (*ibid.*, 2), kuid kuna selle kiirendamiseks ei kasutanud soovitatud vaakumit (*ibid.*, 1), siis pikendati esemete immutamisaega. Silikoonõlist välja võttes tuli enamuse õlist puidult pintsliga maha pühkida ja leotada neid umbes 30 sekundit MTMS-s, et ka pragudes olev liigne õli

⁶⁴ Silikoonõli viskoossus ulatub 2000-st kuni 19500 cSt-ni (sentistooks) ning soovitatakse kasutada pigem madalat viskoossust (Ludwik 2012, 14).

kätte saada. Selleks, et imendunud lahus kiiremini polümeriseeruks, töödeldi esemed viimase etapina aurutamise meetodil katalüsaatoriga (DBTDA-ga) ehk plastikkarbis olevate puutükkide juurde lisati klaasanumas 10 ml DBTDA-d. Juhendis on protsessi kiirendamiseks soovitatud kasutada ka UV-valgust või niiskust (*ibid.*, 4), mistõttu pandi karpi ka teine klaasanum koos 10 ml veega ja seejärel suleti karp kaanega. Kuna DBTDA toime kestus on 24 tundi, tuli seda iga päev vahetada. Nädala lõpuks nägid esemed välja samasugused nagu need olid peale silikoonõlist väljavõtmist ehk silmnähtavaid muutusi ei tekkinud. Vett ei vahetanud ning see oli nädala jooksul muutunud paksemaks valgeks massiks, mis näitab, et karbis reaktsioonid toimusid. Aurutamise meetod on just soovitatud seetõttu, et DBTDA pealekandmine pintsliga võib olla esemele liiga tugev. Liigsel pealekandmisel võib puidule tekkida kõva valge mass, mida on hiljem keeruline eemaldada (*ibid.*, 2–3). Üldjoontes on töökäik võrreldes teiste katsetatud meetoditega ebamugavam – ained on lenduvad ja mürgised, mistõttu tuli kasutada tõmbekappi, ventilatsiooni ja kaitsevahendeid. Lisaks on koristamine keerulisem, sest silikoonõli puhastamiseks tuleb kasutada etanooli või atsetooni ja jääkide käitlemine on ainete mürgisuse tõttu komplitseeritud.

Puutükid ise on toonilt heledad, kuid osaliselt laigulised, mille tõttu tundub, et ese ei ole kohati korralikult ära kuivanud (eriti P7; lisa 4, foto 33). Samuti jättis hallitus proovile (P7) tugeva jälje, mis ei kadunud sealt ära ka peale konserveerimist. Laigulisus võis tekkida sellest, et leotasin esemeid kas liiga vähe MTMS-s, mistõttu ei kulunud liigne silikoonõli korralikult maha või vastupidi, liiga kaua ehk pealispinnalt kulus ainet liiga palju maha. Kuna meetodi puhul on öeldud, et esemed muutuvad konserveerimisel heledaks (Hamilton 1999), arvan pigem, et oleks pidanud puutükke veidi kauem MTMS-s leotama. P8 proovi puhul on olemasolevad praod lahusepõhise kuivatuse ajal mm võrra laiemaks ja pikemaks läinud, puit on õrnalt kaardunud ning juurde on tekkinud mõned väga õrnad ristipraad. Jooniste ja läbimõõtude põhjal on ese umbes kolme mm võrra kokku tõmbunud (lisa 4, joonis 8). Paari kuu möödudes on P7 puhul näha, et ese on saavutanud rohkem ühtlase tumeda tooni ja näeb võrreldes esialgse seisuga parem välja (lisa 4, foto 34). See aga tähendab, et kuigi katalüsaator kiirendas polümerisatsiooni, siis vähesel määral kestab see siiski veel edasi.

	P7	P8
Kaal esemete dokumenteerimisel	184 g	172 g
Kaal peale isopropanooli lahust	205 g	181 g
Kaal enne silikoonõlis immutamist	183 g	152 g
Lõppkaal	136,7 g	124,42 g

Tabel 6. Silikoonõliga konserveeritud puutükkide (P7 ja P8) kaalud.

3.2. Katsed V ja VI: Tartu Lutsu 12, Tallinna Pärnu mnt 31 ja Kiikri proovitükid

Pärnu mnt 31, Lutsu 12 ja Kiikri laevavraki proovide (lisa 1, joonised 3–5) katsete üheks eesmärgiks oli Peetri koge puutükkide juures ebaõnnestunud lagunemisastme määramine. Seejärel jälgida PEG-i puitu imendumise aega ja lõpuks võrrelda konserveeritud esemete lõpptulemusi konkreetsete mõõtude põhjal – kui palju on ese kokku tõmbunud või paisunud. Peetri koge tükkide puhul vaadati mõõtmelisi erinevusi jooniste põhjal, mis on siiski ebatäpne, arvestades, et mitmeid esemeid on nende kuju tõttu üpris keeruline joonistada ja need võivad paberi peal nihkuda. Konkreetsetest kohtadest mõõtude võtmine annab kindlama tulemuse ja parema arusaama puidu erisuunalistest mõõdumuutustest (nt tangentsiaal- või radiaalsuunas). Kiikri laevavraki proovide eesmärgiks oli lisaks eelnevalt mainitule tõsta PEG-i kontsentratsiooni aurutamise (sarnaselt Peetri puutükkide teisele katsele), kuid seekord biotsiidi („Boracoli“) lisades ja eksperimenteerida erinevate külmuivatusmeetoditega. Pärnu mnt 31 ja Lutsu 12 katsetega alustati 2016. aasta septembris ning Kiikri puutükkidega aasta hiljem.

Lutsu 12 puit (L1 ja L2; lisa 3, tabel 1: 9–10) pärineb Tartust jäätmekastist ning on dendrodateeritud 1385. aastasse (Tvauri *et al.* 2017, 150). Kuna kast sisaldas märga, väljaheidetega orgaanikarikast pinnast, oli puit suhteliselt hästi säilinud (*ibid.*, 150, 154). Pärnu mnt 31 proovitükid (Pä1 ja Pä2; lisa 3, tabel 1: 11–12) on võetud

tõrrepõhja laua osast, mis leiti 18.–19. sajandi veerenni kõrvalt Tallinnast (Tvauri 05.10.2016). Mõlema puhul on tegemist männiga. Kiikri laevavrakk leiti 2017. aasta suvel 20 m Kadrioru rannast ja 120 m Peetri ning Viljo vrakkidest eemal (Kraut 2016, 38). Tamme ja männi puiduproovid pärinevad vraki välisplangutusest ning on dateeritud 19. sajandisse. Kontekstilt sarnanevad need Peetri koge puutükkidele, see tähendab, et pärinevad soolasest keskkonnast ja on mattunud 1920-tel aastatel klaasi- ja rauajäätmete ning põlevkivituha kolmemeetrise täitekihi alla (Kraut 2016, 38). Veidi omapärased on need selle poolest, et puitu läbivad laevaoherdite⁶⁵ (*Teredo navalis*) käigud (foto 5), mis tähendab, et laev on kunagi reisinud soolasemates ja soojemates piirkondades.



Foto 5. Laevaoherdite käigud. Foto: K. Tint.

3.2.1. Lagunemisastme määramine

Palgid puhastati esmalt liigsest sodist ja valmistati ette sobivad proovitükid. Lutsu 12 ja Pärnu mnt 31 puidust võeti kaks suuremat tükki (L2 ja P2; lisa 3, tabel 1: 10–12; lisa 4, fotod 35–36; lisa 5, tabel 3), et neist oleks võimalik aeg-ajalt PEG-i imendumist näitavaid puursüdamikke võtta ning kaks väiksemat (L1 ja P1; lisa 3, tabel 1: 9–11), et teha kindlaks puidu lagunemisaste. Lagunemisastme määramiseks tuli kõigepealt kaaluda väiksemad proovitükid, et tuvastada nende veega küllastunud kaalud (M_w) ning seejärel asetada need filterpaberil 48 tunniks 80°C juures kuivatuskappi. Uus kaalumine toimus kõigepealt vahetult peale proovide kapist väljavõtmist ja seejärel taas paari päeva möödudes peale tavatingimustes seismist, et saada puidu ainelise osa kaal (M_0). Kuna puit on hügrokoopne, hakkab see kohe peale kuivamist õhust niiskust imama, mistõttu tuleb proovidel ruumis veidi seista lasta. Paari päeva pärast on puit endasse vaba vett imanud ja kapillaarid on stabiliseerunud, mis tähendab, et need ei

⁶⁵ Laevaoherd on limune, kes hävitab puidust struktuure soolases merevees ja on levinud näiteks Briti rannikualade ja Taani väinade juures (Rowley 2005).

võta ega anna enam niiskust ära (Unger *et al.* 2001, 24; Peets 23.01.18). Kiikri puutükkide puhul valmistati sarnaselt ette kolm tamme- ja kolm männipuidust proovi (K1–K6; lisa 3: tabel 1: 13–18) ning mõõdeti ära nende piki-, radiaal- ja tangentsiaalsuunad (lisa 5, tabelid 7–8). Peale immutamist jaotati K4 ja K5 omakorda pooleks, et võrrelda hiljem vaakum- ja normaalrõhul külmuivatustulemusi (lisa 3, tabel 1: 16–17; 19–20; 23–24). Kaks proovi (K1 ja K2) läksid U_{max} -i mõõtmiseks 110°C juures 48 tunniks ahju. Maksimaalne veesisaldus arvutati valemi (Kohdzuma 2005, 2) järgi:

$$U_{max} = \frac{M_w - M_o}{M_o} \times 100$$

Selle põhjal selgus, et Päl (90,53%) ja L1 (119,54%) ning K1 (119,54%) proovid kuuluvad de Jongi III klassi ehk hästi säilinud puidu hulka ning K2 (185%) de Jongi II ja III klasside vahele (tabel 1; lisa 5, tabelid 4, 7). Kiikri puutükkide mõõtmete puhul olid peale kuivatamist suuremad vahed pigem tammel, eriti tangentsiaalsuunas (4 mm), mis esialgu ei tundu küll eriti silmatorkav, kuid tuleb arvestada, et mida mahukam on objekt, seda suurem on ka eseme kokkutõmbumine. See tähendab, et tavatingimustes tuleb proovi tulemused korrutada artefakti päris mõõtmetega ehk kui ese on meetri pikkune, on ka kokkutõmbumine neli korda suurem. Lutsu 12 ja Pärnu mnt 31 kuivatamistükkidel mõõtmisi ei tehtud.

3.2.2. PEG-i puitu imbumise aeg ja kiirus

PEG-i imbumist puitu prooviti hinnata lahusele lisatud sinise tindi liikumise põhjal. Selleks, et aru saada, kas tint liigub koos PEG-iga või mitte, tilgutati esmalt tindilisandiga 20%-list PEG 400 lahust filterpaberile. Lahuse levik paberis kinnitas, et PEG liigub koos tindiga, mistõttu pandi esemed 20%-lisse PEG 400 lahusesse (lisa 4, foto 37), lisades sinna esialgu umbes 40 ml tinti. Lahuse kontsentratsiooni tõsteti iga kahe nädala tagant 5% võrra kuni 70%-ni ning esemete lahuses hoidmise aeg oli umbes 13 kuud.

Viiel korral võttis Alar Läänelaid Tartu Ülikooli Loodus- ja Tehnoloogia Teaduskonna Geograafia osakonnas vastava torupuuriga esemetest proove, mille põhjal jälgiti PEG-i imbumist puitu. PEG-i puitu imbumise piiri üritati vaadata puursüdamike peal toonierinevuste põhjal. Tegelikult oli seda suhteliselt keeruline hinnata. Esiteks ei olnud puurimine ilmselt kõige parem viis, sest puuritud proovide pikkuste põhjal on näha, et see pressis mitmel juhul südamikke kokku, mistõttu need paljudel kordadel murdusid. Teiseks sai puur puurimisel ilmselt ka ise konservandiga kokku, mis võis proovi pinna PEG-iga määrada ka seal, kuhu see imendumise käigus polnud jõudnud. Kolmandaks, Kii kri puutükkidega tehtud katsetes selgus, et tint jäi siiski valdavalt puidu pinnale, mitte ei liikunud eseme sisse, mis tähendab, et ilmselt oleks pidanud kasutama PEG 400-le vastavat molekulaarmassiga värvi. Siiski on proovidel näha umbkaudseid tumedamaid ja rasusemaid piire (lisa 4, foto 38), mille põhjal tehti Lutsu ja Pärnu mnt puutükkide minimaalse lahuses oleku aja arvutused (lisa 5, tabelid 5–6).

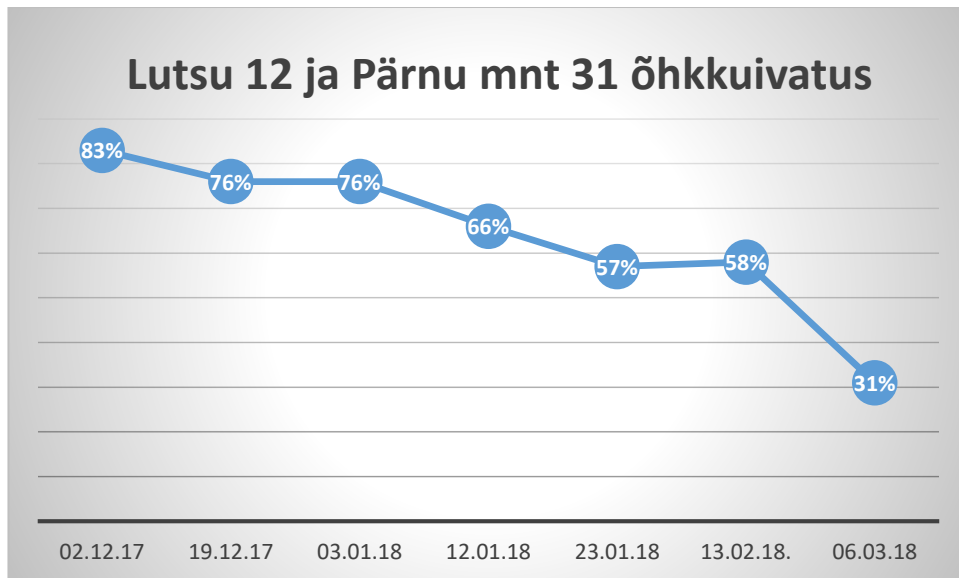
Kõige selgemad piirjooned tekkisid alles neljandal korral (19. nädalal) võetud puursüdamikel, mille põhjal arvutati minimaalne immutamisaeg. Selgemad piirjooned on näha Pärnu proovi puhul – 4 cm paksusest puiduplaadist on keskel heledamat imbumata osa alles jäänud vaid 1,6 cm. L2 puhul murdus proov küll mitmeks jupiks, kuid 10 cm-st oli imbumata jäänud umbes 4 cm. Viimaste südamike puhul (viies proov) on näha, et puit on tume ja korralikult küllastunud (lisa 4, foto 38)⁶⁶. Pärnu puhul on näha, et keskmine osa on heledam, mis näitab, et kontsentratsioon puidu äärtes on suurem ja keskel väiksem. 19 nädala jooksul oli keskmine imbumine nädalas L2 puhul 3,11 mm ja paremini säilinud Pärnu proovil 1,09 mm nädalas. Selle põhjal võib minimaalseks lahuses hoidmise ajaks pidada esimese puhul umbes 34,11 ja teise puhul 33,5 nädalat (lisa 5, tabel 6).

⁶⁶ L2-st ei õnnestunud ühelgi korral tervet puidu tükki läbivat proovi saada, kuid viimane puursüdamik läks kokku eelviimasel korral tehtud prooviauguga (st puidu keskele tekkis nende ühendusest auk), mistõttu oli näha, et ese on ka keskelt korralikult läbi imbumud. Kahjuks pole südamike pealt näha, kui palju see võis vastasküljelt imbuda ning selle tõttu võib minimaalne lahuses oleku aeg paari nädala võrra tegelikult lühem olla.

Kiikri puhul pandi kaks tamme- ja kolm männiproovi (P3–P6, männipuit proovide võtmiseks; lisa 3, tabel 1: 15–18; lisa 4, foto 43) kolmeks kuuks (24.10.17–23.01.18) PEG 400 5%-lisse lahusesse koos poole liitri „Boracoli“ ja 228 ml tindiga. PEG-i 10%-line kontsentratsioon lahuses saavutati aurutamise teel kahe ja 20%-line ühe kuuga. Peagi kadus aga lahusest sinine värv ja indikaatoriga kontrollimisel selgus, et Boracoli lisamise tõttu oli lahus veidi aluseliseks muutunud. Enam-vähem iga kümne päeva tagant saeti ühest männipuu proovist (lisa 4, fotod 43) ketas (kokku viis 1–2 cm läbimõõduga ketast), mille abil plaaniti tindi liikumise põhjal vaadata PEG-i imbumise kulgu. Tindi esilekutsumiseks lisati veidi hapet, misjärel selgus, et värv oli ainult proovide pinnale jäänud, mitte puitu sisse imbunud. Seetõttu tuli teave teisiti kätte saada. Kuna PEG toimib antifriisina, pandi proovid –28°C juude sügavkülma, mille mõte oli härmatise tekke kaudu näha külmunud ehk imbumata osa (härmatisega) ja külmumata ehk PEG-iga imbunud osa (härmatiseta) piirjooni. Kahjuks ei õnnestunud ka sellest selget tulemust saada ning tuleb veel mõelda, kuidas info kätte saada.

3.2.3. Kuivatamine ja tulemused (lõppmõõdud)

Enne konserveerimist teostati L2 ja Pär2 proovitükkide peal erinevad mõõtmised (lisa 5, tabel 3), et vaadata puidu dimensioonilisi muutusi peale konserveerimist. Übermõõt võeti tamiiliga, sest erinevalt niidist või villast see ei veni. Tamiiliga sooniti esemesse kerge joon, et saaks ka hiljem samast kohast mõõtmisi teha. Peale puutükkide õhkuivatamist (kolm ja pool kuud; graafik 5) tehti uued mõõtmised, mille põhjal selgus, et muutusi ei olnud tekkinud ehk kokkutõmbumist ega paisumist ei toimunud ja meetod puutükkidele sobis. Siiski muutis 70%-line PEG 400 lahus puutükid raskeks ja jättis neile veidi rasuse pinna, mistõttu tundub selline kontsentratsioon liigse materjalikuluna. Ühtlasi võib juhtuda, et sellisel hulgal võib PEG hakata puidust välja lekkima (foto 6). Lisaks leian, et tamiil ei ole siiski kõige parem arheoloogilise vettinud puidu mõõtevahend, sest übermõõdu võtmisel võib see soonimisel teinekord mõõtmistulemusi mõjutada, eriti kui on tegemist suurema lagunemisastmega puiduga, mis on pinnalt pehmem. Kindlasti tasub ka konkreetne mõõtmiskoht ära märgistada, et ei oleks probleeme vanade mõõtmiskohtade ülesleidmisel. Uuel mõõtmisel oli Lutsu ja Pärnu mnt puutükkide soonimiskohta keeruline üles leida, sest need olid ilmselt immutamisel ära tuhmunud.



Graafik 5. L2 ja Pärnu niiskuse vähenemine kolme ja poole kuu jooksul.



Foto 6. Välja lekkinud PEG 400 laik ühel Pärnu mnt proovitükil (katke analüüs jäi tööst välja). Foto: K. Tint.

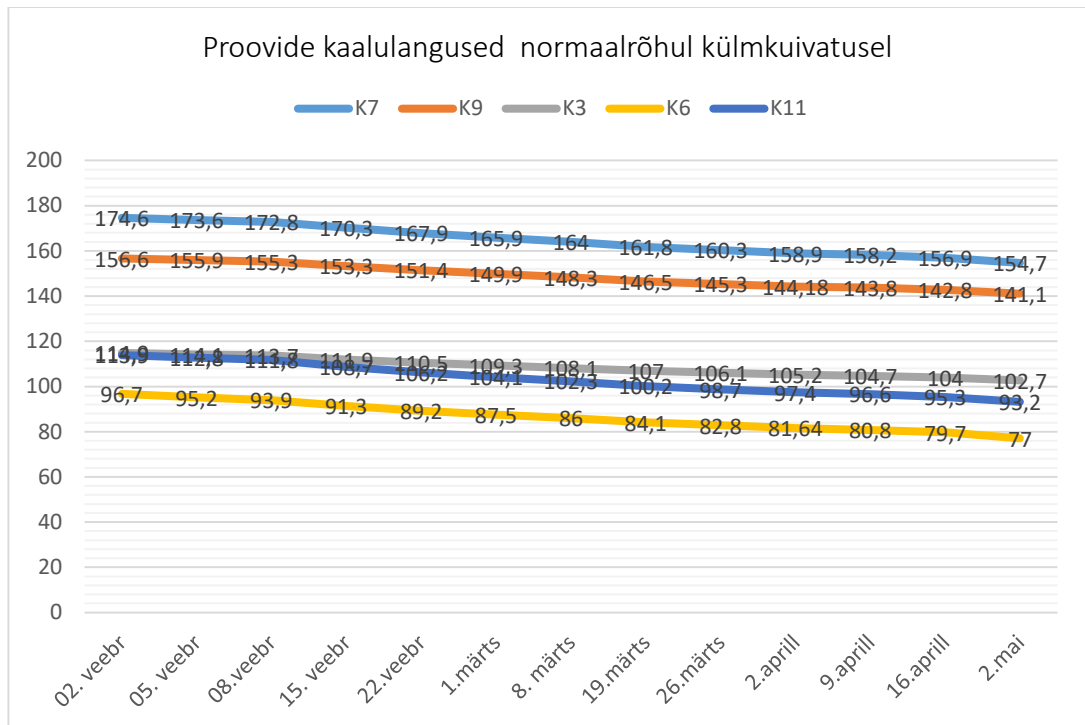
Kiikri puutükkide puhul katsetati vaakumkülmkuivatust ja normaalrõhul külmkuivatust. Kuivatamistulemuste võrdlemiseks saeti lahusest võetud männipuust veel kaks puukuubikut (K9 ja K10; lisa 3, tabel 1: 21–22) ja peale selle kaks proovi pooleks (K4 → K7 ja K8; K5 → K11 ja K12; lisa 3, tabel 1: 16–17, 19–20, 23–24). Mõõtude märgistamise jaoks tehti esemetele harilikuga või noaga jooned, mille põhjal võeti enne ja pärast konserveerimist mõõdud. Esimene osa proovidest (K8, K10, K12; lisa 3, tabel 1: 20, 22, 24) pandi P3 tükiga samadel tingimustel vaakumkülmkuivatusse. Esemed kaotasid üle poole oma kaalust (tabel 7), kuid väljanägemiselt jäid need heleda „loomuliku“ puidu tooniga (v.a tamm II). Mõõitudel suuri muutusi ei tekkinud – maksimaalne erinevus on 1 mm. Ainult ristisuunas lõigatud tamme puhul tuleb mainida, et see kaardus silmnähtavalt tangentsiaalsuunas

(lisa 4, fotod 47–48), kuid kindlasti vähem, kui tavatingimustes ilma eelneva immutusega kuivamisel (fotod 2–3).

	K12	K8	K10	P3
Enne kuivatamist	93,4 g	148,8 g	159,5 g	266,4 g
Peale kuivatamist	44,0 g	79,8 g	65,5 g	85,3 g

Tabel 7. Kiikri proovitükkide kaalud enne ja pärast vaakumkülmkuivatust.

Normaalrõhul külmkuivatuse puhul (K3, K6, K7, K9, K11; lisa 3, tabel 1: 15, 18, 19, 21, 23) on tingimused samad, mis olid P4 puhul, ainult, et puutükid ise on veidi paksemad ja kuivamine võtab kauem aega. Kuna kuivamine töö kirjutamise ajal alles kestab, siis saab siin rääkida ainult esemete kuivamisprotsessist, kuid mitte lõpptulemustest. Esiialgu olid kaalude langused suuremad, kuid muutusid peagi väiksemaks (graafik 6). Kuu aja pärast tekkis ristisuunas lõigatud tamme (K7) sisse pikipragu (lisa 4, fotod 50–51), mille võis põhjustada puhuri panek külmikusse, põhjustades liiga kiire kuivamise. Kuna sama ristisuunas saetud tamm kaardus (K8) vaakumkülmkuivatuses, on ka võimalik, et puit ei imunud enne kuivatust korralikult läbi ning vajab pikemat immutusaega ja suuremat kontsentratsiooni.



Graafik 6. Normaalarõhul puutükkide kaalude langus.

3.3. Diskussioon

Kõik tööetapid (hoiustamine, dokumenteerimine, immutamine, kuivatamine) mõjutavad eseme konserveerimisprotsessi lõpptulemust, mistõttu peavad valitud meetodid omavahel hästi sobima. Arvestades, et puidu konserveerimine on väga ajamahukas, on oluline kogu tööde käiku võimalikult täpselt dokumenteerida – pildistada (tavafoto, röntgenfoto) ja kirjeldada –, et hiljem algseid andmeid lõpptulemustega võrrelda. Mõõdud tuleb kindlasti võtta puidu erinevatest suundadest ja korralikult ära märkida, et peale stabiliseerimist ei tekiks raskusi mõõtmiskohtade ülesleidmisel. Ka jooniste tegemine on vajalik, kuid nendest üksi ei piisa, sest ei pruugi anda teavet puidu suunalistest erinevustest. Võimalusel, eriti suuremate esemete puhul, tuleb võtta proove lagunemisastme määramiseks, näiteks maksimaalse niiskussisalduse või tiheduse mõõtmise abil. Väiksemate esemete puhul on see keerulisem ja siin aitab seisukorda hinnata pigem kogemus. Kui kaevamise ja konserveerimise vahele jääb pikem periood, tasub puitu hoiustada jahedas ja pimedas kohas vee sees koos biotsiidiga või pakendada see väga korralikult, et vältida niiskuse väljumist esemest.

Uurimistöö käigus läbi viidud katsetes enamasti ideaalseid tulemusi ei saavutatud, mis on peamiselt tingitud vähesest kogemusest. Valitud meetodid puidus üldjuhul suuri dimensioonilisi muutusi esile ei toonud (v.a P1 ja P2; lisa 4, fotod 9, 12) ehk objektide kuju säilis sarnane algsega. Probleeme oli eelkõige pindmise välimusega, sest mitmel juhul jäid esemed laiguliseks. Teine kitsaskoht oli bakteriaalne tegevus, mida oli vahel märgata immutamisperioodil (nt Peetri koge leidude puhul teises katses PEG 400-ga ja kolmandas katses suhkruga immutamisel) ja mida tasub tulevikus kindlasti vältida.

Peetri koge puutükkidega tehtud eksperimentidest jõuti kõige parema tulemuseni II katses, kus P3 proovitüki puhul kasutati PEG 400-ga immutamisel kontsentratsiooni tõstmiseks aurutamist ja vaakumkülmkuivatust (lisa 4, foto 6). Paralleelselt andis kõige halvema tulemuse samas lahuses, kuid õhkuivatamisega tehtud P2 (lisa 4, foto 12), mis võib olla tingitud niiskuse suurest kõikumisest kuivatamise perioodil või liiga väiksest PEG-i kontsentratsioonist õhkuivatamise jaoks. Lahuse kontsentratsiooni

tõstmiseks on aurutamise meetod üldiselt soovitatav, sest materjalikulu on väike, kuid teinekord tuleb lahusesse lisada ka etanooli või biotsiidi, et vältida bakteriaalsest tegevusest tingitud puidu lõhkumist, mida oli märgata teises katses esemete kaalu vähenemise ja lahuse tumenemise põhjal. Samuti tasub jälgida, et aurumine liiga kiiresti ei toimuks, sest vastasel juhul on oht osmootilise šoki tekkele ja võimalusele, et ese ei jõua korralikult läbi imbuda (nt K8; lisa 4, foto 48).

Esimeses katses (P1) tehtud kaheastmelise meetodi PEG-i kontsentratsioonid läksid vaakumkülmkuivatuse jaoks liiga suureks ja kuna külmkuivati temperatuur ei olnud piisavalt madal, toimus esemes pragunemine. Kui külmkuivati seaded olid sätitud vastavalt lahuse nõudlusele, olid tulemused head – puit oli kerge ja hele (nt II katses P3 ja VI katses K10, K12; lisa 4, fotod 6, 46, 50). Normaalrõhul külmkuivatus andis vaakumkülmkuivatusega sarnaseid tulemusi ehk ese jäi toonilt heledaks ja muutus kergeks, kuid kuivatamine võttis kauem aega. Näiteks Kiikri vraki paarisentimeetrise läbimõõduga puit kuivas vaakumkülmkuivatis kaks ööpäeva, normaalrõhul aga üle kolme kuu (st protsess kestab veel). Õhkuivatuse puhul tuleb tunnistada, et antud katsete juures vähenes niiskus kohati liiga kiiresti (nt gripi avamisel) ning see peaks tegelikult olema tasakaalukam, sarnaselt normaalrõhul külmkuivatusele (graafikud 2–6). Katsete juures täheldati, et õhkuivatusel olid suurema kontsentratsiooniga immutamisel (70%) tulemused paremad ja kokkutõmbumist esemete juures väga ei olnud – näiteks viiendas katses L2, Pärnu, kolmandas katses P6, vastukaaluks teises katses tehtud P2-le (lisa 4, fotod 21, 39–40, 12). Pärnu mnt puutükist hakkas PEG 400 välja lekkima (foto 6).

Kolmandas ja neljandas katses suhkru ja silikoonõliga konserveeritud puutükkide (P5–P8) seisukord on rahuldav, kuid esemete pinnad muutusid laiguliseks (lisa 4, fotod 20–21, 27–28, 33). Silikoonõli puhul on näha, et polümerisatsioon peale katalüüsimist kestab veel edasi, sest P7 puhul on ese konserveerimisele järgnenud kuude jooksul muutunud ühtlaselt tumedamaks ja laigulisus on vähenenud (lisa 4, foto 34). Kuna suhkruga konserveeritud puutükkide puhul tekkis vaakumkülmkuivatusel kõrgete temperatuuride tõttu karamellistumine, on tulevikus ehk etem kasutada normaalrõhul külmkuivatust. Vaakumkülmkuivatust tasub ilmselt veel katsetada, kuid

sel juhul tuleks programm seadistada nii, et temperatuur liiga kõrgele ei läheks. Siiski jäid esemed rahuldava väljanägemisega, kuid võrreldes PEG-i töötusega veidi rabedamaks.

PEG 400 ja tindilahuse abil tehtud imbumiskiiruse katsete (katsed V ja VI) tulemusi on keeruline hinnata. Ehkki immutamise perioodil tekkis puursüdämike peale tumedam ala, mille põhjal tehti imbumisaja arvutused, tasub katset korrata mõne värvainega, mille molekulaarmass vastaks konservandi omale. Saetud ketaste pealt (katse VI) on ilmselt sisse imbunud PEG-i piiri veidi parem jälgida, sest puurides võib puur proove lõhkuda ja moonutada, mistõttu on järeldusi teha keerulisem. Siiski jäid ketastega tehtud katsed veel poolikuks, sest tint ei imbunud koos stabilisaatoriga puitu, vaid jäi ainult eseme pinnale. Samuti ei andnud ketaste külmutamisest tekkinud härmatis selgeid PEG-i imbunud ja imbumata osa kontuure. Kindlasti on seda informatsiooni võimalik kuidagi kätte saada, kuid see jääb tuleviku ülesandeks.

Kokkuvõte

Töö eesmärkideks oli anda ülevaade arheoloogilise vettinud puidu konserveerimisest Eestis ning uurida ja hinnata erinevate meetodite kasutust 14. sajandi Peetri kogelt pärinevate esemete konserveerimiseks.

Ehkki 20. sajandi alguses peeti Eestis arheoloogilise vettinud puidu konserveerimist liiga kulukaks ülesandeks ning enamasti jäeti puutükid lihtsalt kuivama, tehti esimesed katsetused siiski juba 1930ndatel aastatel Lõhavere ja Varbola Jaanlinna kaevudest pärinevate esemete peal. Nii maailmas kui ka Eestis on juhuseid, kus konserveerimismeetodid on liiga kiiresti kasutusele võetud (nt maarjas või „Modocol“), selgitamata nende pikajalist toimet esemele. Seda aga enamasti põhjusel, et ebameeldivad kõrvalmõjud võivad ilmnedas alles mitme aasta või aastakümne möödudes ning nii pikaajaliseks hoiustamiseks ja katsetamiseks ressursse tavaliselt ei jätku. Eestis sai arheoloogiliste puitesemete konserveerimine suurema hoo sisse alles 20. sajandi viimasel veerandil. 1970ndatel ja 1980ndatel kasutati suhkru kerge kättesaadavuse tõttu tihtipeale Minski külmade-kuumade vannide meetodit. Ehkki esimest korda kasutati PEG-i juba 1960ndatel, oli seda suhteliselt keeruline hankida ning PEG-i kasutamine koos külmuivatusega muutus laialdasemaks alles 1980ndatel aastatel. Kindlasti on märkimisväärsimateks Eestis konserveeritud objektideks Maasilinna ja Pärnu koge vrakid, kus esmakordselt maailmas kasutati normaalarhul külmuivatust nii suuremahuliste esemete konserveerimisel.

Kuna arheoloogiline puit on sajandeid paiknenud maa sees stabiilses keskkonnas, siis peale selle pinnasest eemaldamist, tuleb esemele luua võimalikult sarnane olustik, et vältida järsust keskkonnamuutusest tingitud hävinemist. Puit võib kahjustuda keemiliselt (sooldumine, hapestumine), mehaaniliselt (kühvli jäljed, kriimustused) ja bioloogiliselt (seened, bakterid). Lagunemise kiirust mõjutavad peamiselt hapnik, niiskus ja temperatuur. Vettinud keskkonnas hävineb puidu lagunemisel hüdrofüüsi käigus peamiselt tselluloos, mille asemele imunud vee osakaal on võrdeline puidu lagunemisastmega ja mis konserveerimisel asendatakse tavaliselt stabilisaatoriga.

Puidu säilitamine hõlmab endas erinevaid etappe alates eseme väljakaevamisest kuni selle lõpliku hoiustamiseni. Peamise osa konserveerimisprotsessist moodustavad dokumenteerimine, immutamine ja kuivatamine, mis kokkuvõttes tähendabki puidu stabiliseerimist ehk eseme aeglast üleviimist ühest keskkonnast teise. Konserveerimisel tuleb arvestada, et kõik etapid on omavahel seotud, mis tähendab, et kogu meetodite valik tuleb kohe algusest lõpuni läbi mõelda. Näiteks, mida suurema kontsentratsiooniga on immutamislahus, seda madalamaid temperatuure tuleb külmuivatamisel kasutada.

Puidu säilivuse määramisel liigitatakse puit tavaliselt Christenseni ja de Jongi jaotuse järgi hästi (veesisaldus kuni 185%), keskmiselt (veesisaldus 185–400%) ja halvasti (veesisaldus üle 400%) säilinud puiduks, mille põhjal tehakse immutamismeetodite valik. Suure lagunemisastme korral täidetakse puidus olevad tühimikud, sealhulgas raku luumen, seina kapillaarid ja mikrokapillaarid ehk ese küllastatakse täielikult suurema molekulaarmassilise stabilisaatoriga (nt PEG 4000). Väiksema lagunemisastme korral asendatakse lihtsalt raku seinas hävinud tselluloos madala molekulaarmassilise konservandiga (nt suhkur, PEG 400).

Arheoloogilise vettinud puidu konserveerimise mõistmiseks ja parema kogemuse omandamiseks teostati kokku kuus katset erinevatest kontekstidest pärinevate puutükkidega, et proovida mitmesuguseid konserveerimismeetodeid (katsed I–IV) ja jälgida puiduga toimuvaid protsesse konserveerimise ajal. Lisaks tehti täiendavad katsed PEG 400 imbumiskiiruse jälgimiseks ja erinevate puidu konserveerimisega kaasnevate protsesside selgitamiseks (katsed V–VI).

Teostatud katsete põhjal soovitatakse Peetri koge esemete konserveerimiseks kasutada 20%–40%-list PEG 400 vesilahust aurutamise meetodil, millele järgneb vaakum- või normaalrõhul külmuivatamine. Antud katsete puhul andis see puutükkidele kõige parema resultaadi – esemed jäid heleda tooniga, kergeks ja säilitasid oma mõõtmed. Meetod sobiks ka Peetri koge enda konserveerimiseks tingimusel, et laev on alles vettinud

olekus. Seda siiski pritside abil, kuna laev on aurutamismeetodi jaoks liiga suur. Hetke seisuga on vraki juures rakendatud juba kontrollitud õhkuivatamist, mistõttu poleks antud meetod laeva enda konserveerimiseks enam sobiv.

PEG-iga immutamine ja vaakumkülmkuivatus on tänapäeval kahtlemata kõige enam kasutatud meetodid (ka Eestis). PEG-i kui stabilisaatori populaarsus on ilmselt tingitud erinevate molekulaarmasside valikust, mida saab rakendada vastavalt vajadusele erineva lagunemisastmega puidu peal. Lisaks on selle positiivsed ja negatiivsed omadused aastakümnete jooksul põhjalikult läbi uuritud. PEG-i kasutamine aurutamise meetodil on ökonoomne, sest konservanti ei pea lahusesse pidevalt juurde lisama ehk kontsentratsioon tõuseb vee aurumise teel, mille kiirust on võimalik ise kontrollida (nt osmootilise šoki vältimiseks).

Vähesemal määral kasutatakse ka suhkrut, sest erinevalt PEG-ist ei mõjuta see rauda sisaldavat puitu ja on odavam, kuid selle tulemused võivad olla ootamatud. Siiski, nagu ka teisest ja kolmandast katsetest selgus, tuleb suhkruga ja madalmolekulaarmassiliste PEG-ide puhul kasutada kindlasti biotsiidi, et takistada mikroorganismide juurdepääsu ja sellest tingitult puidu lagunemist. Kuivatusmeetoditest on kõige sobivam kasutada kas vaakumkülmkuivatust (väiksemate artefaktide puhul) või normaalrõhul külmkuivatust (massiivsete objektide puhul), mis jätavad esemed loomulikuks, kergeks ja vähendavad stabilisaatori hügrooskoopsust puidus. Ka silikoonõli meetod andis katsetes üsna rahuldavad tulemused ja kuigi konservant on pika kestvusega (u 200 a) ning pole erinevalt PEG-ist või suhkrust keskkondlikest tingimustest niivõrd mõjutatud, on see antud meetoditest kõige kallim, mis tähendab, et pole massiliste või massiivsete objektide konserveerimisel ilmselt kõige otstarbekam. Lisaks on aine negatiivseteks ja samas väga olulisteks aspektideks mürgisus ja tagasipööramatus. Meetodiga kaasnev lahusepõhine kuivatus võib põhjustada ka eseme kokkutõmbumist.

Antud katsete põhjal ei soovitaks ma esemete konserveerimisel kasutada PEG-i kaheastmelist ja PEG 400 meetodit kõrgetel kontsentratsioonidel (50–70%; I, V ja VI

katse), sest esemed muutuvad raskeks, PEG 400 puhul ka õliseks ning stabilisaator võib hakata esemest välja imbuma (foto 6). Külmuivatamisel on nimelt oluline, et konservantide (eriti madalmolekulaarsete) lõppkontsentratsioon lahuses ei ületaks 45%, sest vastasel juhul on eutektilise temperatuuri saavutamine külmuivatamisel keeruline. Samuti ei soovita ma PEG 400 madalate kontsentratsioonidega immutamise puhul (kuni 50%) kasutada õhkuivatust, sest sellisel juhul võib ese deformeeruda (II katse, P2). Õhkuivatamine on küll odav, kuid võib anda ootamatud tulemused ja katsetes saavutati parem resultaat alles 70%-lise kontsentratsiooniga. Nimetatud meetod muutis esemed suhteliselt raskeks, mida tuleb suuremate objektide konserveerimisel kindlasti arvesse võtta. Nimelt võib peale suruv raskus mõjutada allpool paiknevat puitu, nagu on juhtunud näiteks Vasa sõjalaeva või Bremeni koge puhul.

Suhkru ja silikoonõli katsete tulemused jäid rahuldavaks ning neid meetodeid võiks tegelikult veel proovida, et vältida laigulise pinna teket esemele. Samuti peab jätkama konservandi imbumisaja katseid mitmesuguste stabilisaatoritega (nt suhkur, erineva molekulaarmassiga PEG-id) ja eksperimenteerima neid erineva lagunemistasmega puitude peal. Kokkuvõttes võib öelda, et ükski ese ei ole igavene ning konservatori ülesanne on eseme eluiga pikendada võimalikult kaua. Kindlasti on iga unikaalse eseme konserveerimisotsus individuaalne, arvestades objekti suurust, konteksti ja rahalisi võimalusi.

Kasutatud kirjandus

Käsikirjalised allikad

Kajak, K. 2013. TÜ 1929 Karksi ordulinnuse leidude (puit, toht, vitsad, nahk, tekstiil) konserveerimisaruanne. Tartu. (*Käsikiri TÜ arheoloogia osakonna laboris.*)

Kajak, K. 2015. TM A – 133 (Ülikooli 14, Tartu, puitleiud) konserveerimisaruanne. Tartu. (*Käsikiri TÜ arheoloogia osakonna laboris.*)

Kajak, K. 2016a. TM A 244: 1–64; :212–213 Tartu Lutsu tn 12 naha-, puidu-, tekstiil- ja klaasfragmentide konserveerimisaruanne. Tartu. (*Käsikiri TÜ arheoloogia osakonna laboris.*)

Kajak, K. 2016b. TM A 245: 1–41 Kloostri tn vildi, puidu ja nahkade konserveerimisaruanne. Tartu. (*Käsikiri TÜ arheoloogia osakonna laboris.*)

Kajak, K. 2016c. TÜ 2310 Vaidavere peitleiu (mündid, tekstiilid, puittükid ja raudesemed) konserveerimisaruanne. Tartu. (*Käsikiri TÜ arheoloogia osakonna laboris.*)

Kajak, K. 2017. TM A 141: 661 (Ülikooli 15, Tartu) kingaliistu konserveerimisaruanne. Tartu. (*Käsikiri TÜ arheoloogia osakonna laboris.*)

Moora, H. 1939. Lõhavere linnamäe kaevamisaruanne. (*Käsikiri TLÜ Arheoloogia teaduskogu arhiivis.*)

Märss, J. 2010. Püssirohuveski (?) puidust tala konserveerimisaruanne. Tallinn. (*Käsikiri Tallinna Linnamuuseumi arhiivis.*)

Märss, J. 2012a. Dunkri tn 5 kaevamiste puitleiud 1982, TLM 20059, 27426, 28002. – konserveerimisaruanne. Tallinn. (*Käsikiri Tallinna Linnamuuseumi arhiivis.*)

Märss, J. 2012b. Vanaturu kaevu puitleiud. TLM 16648 (kogunr. A 83): 47, 88, 89/1-8, 91/1-5, 92-124. – konserveerimisaruanne. Tallinn. (*Käsikiri Tallinna Linnamuuseumi arhiivis.*)

Pearson, D. 17.06.2016. Tallinn Kogge – Conservation Report. Mary Rose Trust. (*Käsikiri Eesti Meremuuseumis.*)

Kirjandus

Bader, T. K., de Borst, K., Fackler, K., Ters, T., Braovac, S. 2012. A nano to macroscale study on structure-mechanics relationships of archaeological oak. – *Journal of Cultural Heritage*, 14, 377–388.

Bardet, M., Gerbaud, G., Doan, C. Giffard, M., Hediger, S., De Paëpe., Trân, Q.-K. 2012. Dynamics property recovery of archaeological-wood fibers treated with

polyethylene glycol demonstrated by high-resolution solid-state NMR. – *Cellulose* 19, 1537–1545.

Barton, G. M., Brownell, H. H. 1981. *The Chemistry of Wood. – Canadian Woods: Their Properties and Uses.* Eds. Mullins, E. J., McKnight, T. S. University of Toronto Press, Toronto, 97–128.

Beckett, S. T. M. G., Francesconi, P. M., Geary, G. M., Maulny, A. P. E. 2006. DSC study of sucrose melting. – *Carbohydr*, 341: 15, 2591–2599.

Bjurhager, I., Ljungdahl, J., Wallström, L., Gamstedt, E. K., Berglun, L. A. 2010. Towards improved understanding of PEG-impregnated waterlogged archaeological wood: A model study on recent oak. – *Holzforschung*, 64, 243–250.

Björdal, C. G. 2012. Microbial degradation of waterlogged archaeological wood. – *Journal of Cultural Heritage*, 13: 3, 118–122.

Cook, C., Grattan, D. W. 1991. A Method for calculating the concentration of PEG for freeze-drying waterlogged wood. – Proceedings of the 4th ICOM-Group on wet organic archaeological materials conference. Ed. Hoffmann, P. ICOM International Committee for Conservation Working Group on Wet Archaeological Materials, Bremerhafen, 317–328.

Cornfield, M. 1994. *The Dover Boat: Its Discovery and Recovery.* – Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine, 1993. Eds. Hoffman, P., Daley, T., Grant, T. Ditzgen Druck and Verlags-GmbH, Deutsches Schiffartsmuseum, Bremerhafen, 391–400.

Čufar, K., Gričar, J., Zupančič, M., Koch, G., Schmitt, U. 2008. Anatomy, Cell Wall Structure and Topochemistry of Water-logged Archaeological Wood Aged 5,200 and 4,500 Years. – *IAWA Journal*, 29: 1, 55–68.

de Jong, J., Eenkhoorn, W., Wevers, A. J. M. 1981. Controlled drying as an approach to the conservation of shipwrecks. – Icom committee for conservation. 6th triennial meeting, Ottawa, 21 - 25 september 1981. International Council of Museums, Paris, 1–10.

Deforce, K. 2016. Wood use in a growing medieval city. The over exploitation of woody resources in Ghent (Belgium) between the 10th and 12th century AD. – *Quaternary International*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.09.059> [13.02.2018].

Deng, Q., Li, S., Chen, Y. 2012. Mechanical properties and failure mechanism of wood cell wall layers. – *Computational Materials Science*, 62, 221–226.

Flink, M. J., Knudsen, H. 2002. *An introduction to freeze drying.* Jouan Nordic A/S, Allerød, Holbæk.

Florian, M.-L., E. 1987. Deterioration of organic materials other than wood. – Conservation of Marine Archaeological objects. Ed. Pearson, C. Butterworths, London, Boston, Durban, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington, 21–54.

Fors, Y., Jalilehvand, F., Risberg, E. D., Björdal, C., Phillips, E., Sandström, M. 2012. Sulfur and iron analyses of marine archaeological wood in shipwrecks from the Baltic Sea and Scandinavian waters. – Journal of Archaeological Science, 39, 2521–2532.

Ghaumat, G., Barthez, J., Dubois, N., Lacand, P., Besson, G. 2002. Contribution to the optimisation of PEG concentrations in waterlogged degraded wood suitable for subsequent freeze-drying treatments. – Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm, 2001. Eds. Hoffman, P., Grant, T., Spriggs, J. A., Cook, C., Recht, A. ICOM International Committee for Conservation Working Group on Wet Archaeological Materials, Bremerhafen, 363–370.

Grattan, D. W., McCawley, J. C., Cook, C. 1980. The Potential of the Canadian Winter Climate for the Freeze-Drying of Degraded Waterlogged Wood: Part II. – Studies in Conservation, 25: 3, 118–136.

Grattan, D. W. 1982. A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood. – Studies in Conservation, 27: 3, 124–136.

Grattan, D. W. 1987. Waterlogged Wood. – Conservation of Marine Archaeological objects. Ed. Pearson, C. Butterworths, London, Boston, Durban, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington, 55–67.

Grattan, D. W., Clarke, R. W. 1987. Conservation of waterlogged wood. – Conservation of Marine Archaeological objects. Ed. Pearson, C. Butterworths, London, Boston, Durban, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington, 164–200.

Grattan, D., Bilz, M., Grant, T., Logan, J. 2006. Outcome Determines Treatment – An Approach to the Treatment of Waterlogged Wood. – Journal of Wetland Archaeology, 6: 1, 49–63.

Graves, D. J. 2004. A comparative study of consolidants for waterlogged wood: polyethylene glycol, sucrose and silicone oil. – SSCR Journal 15: 3, 13–17. http://www.academia.edu/313572/A_comparative_study_of_consolidants_for_waterlogged_wood_polyethylene_glycol_sucrose_and_silicone_oil [09.05.2018]

Gregory, D., Jensen, P., Stætkvern, K. 2012. Conservation and in situ preservation of wooden shipwrecks from marine environments. – Journal of Cultural Heritage, 13: 3, S139–S148. https://www.researchgate.net/publication/257515766_Conservation_and_in_situ_preservation_of_wooden_shipwrecks_from_marine_environments [04.10.2017].

Hamilton, D. W. 1999. Wood conservation. – Methods for Conserving Archaeological Material from Underwater Sites. Conservation Research Laboratory, Center for Maritime Archaeology and Conservation, Texas A&M University. <http://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual/ConservationManual.pdf> [8.12.2017].

Hamilton, D. L., Dewolf, H. 2007. Conservation Research Laboratory Instructions Polymer Passivation (silicone oil) conservation treatment based on report by Helen Dewolf, May 26, 2004 and modified by Donny L. Hamilton September 25, 2007. <http://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual/siliconeoil.pdf> [8.12.2017].

Hocker, E. 2006. From the Micro- to the Macro-: Managing the Conservation of the Warship, Vasa. – 2nd Int. Workshop on Science, Technology and Cultural Heritage 2005, Catania, Italy, in *Macromolecular Symposia*, 238, 16–21.

Hocker, E., Almkvist, G., Sahlstedt, M. 2012. The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator's perspective. – *Journal of Cultural Heritage*, 13, 175–182.

Hoffmann, P. 1990. Sucrose for stabilizing waterlogged wood - some investigations into antishrink-efficiency (ASE) and penetration. – Proceedings of the 4th ICOM-Group on wet organic archaeological materials conference. Ed. Hoffmann, P. ICOM International Committee for Conservation Working Group on Wet Archaeological Materials, Bremerhafen, 317–328.

Hoffmann, P. 2001. To be and to continue being a cog: the conservation of the Bremen Cog of 1380. – *The International Journal of Nautical Archaeology*, 30: 1, 129–140.

Hoffmann, P., Perez de A. C., Sierra M. J. L., Ramiere, R., Tran, Q. K., Weber, U. M. 1994. European inter-laboratory study on the conservation of waterlogged wood with sucrose. – Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine, 1993. Eds. Hoffman, P., Daley, T., Grant, T. Ditzgen Druck and Verlags-GmbH, Deutsches Schiffartsmuseum, Bremerhafen, 309–335.

Hoffmann, P. 1994. Sucrose for stabilizing waterlogged wood. II. Stabilization and the degree of degradation. – Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine, 1993. Eds. Hoffman, P., Daley, T., Grant, T. Ditzgen Druck and Verlags-GmbH, Deutsches Schiffartsmuseum, Bremerhafen, 357–379.

Hoffmann, P. 1997. Die Bremer Kogge im 800 000 Liter-PEG-Bad. Zwischenbericht von der Konservierung eines großen Eichenholzschiffes. – *Restauro*, 103: 4, 252–259.

Hoffmann, P. 2010. On the long-term visco-elastic behaviour of polyethylene glycol (PEG) impregnated archaeological oak wood. – *Holzforschung*, 64, 725–728.

Hutchings, J. 1997. The conservation of the Poole Log-boat: Sucrose treatment on a large scale. – Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, York, 1996. Eds. Hoffman, P., Grant, T., Spriggs, J. A., Daley, T. ICOM International Committee for Conservation Working Group on Wet Archaeological Materials, Bremerhafen, 281–291.

Häggström, C., Sandström, T. 2013. Alum-treated archaeological wood: Characterization and re-conservation. R&D-publication from Swedish National Heritage Board, Stockholm.

Jensen, P., Jensen, J. B. 2006. Dynamic model for vacuum freeze-drying of waterlogged archaeological wooden artefacts. – Journal of Cultural Heritage, 7, 156–165.

Johansson, L.-U. 1994. Reconstruction and Impregnation of Archaeological Wood? – Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine, 1993. Eds. Hoffman, P., Daley, T., Grant, T. Ditzgen Druck and Verlags-GmbH, Deutsches Schiffartsmuseum, Bremerhafen, 513–516.

Jones, D. M. 2012. Waterlogged Organic Artefacts: Guidelines on their Recovery, Analysis and Conservation. English Heritage Publishing. <https://content.historicengland.org.uk/images-books/publications/waterlogged-organic-artefacts/woa-guidelines.pdf/> [14.02.2018].

Jones, S. P. P., Slater, N. K. H., Jones M., Ward K., Smith A. D. 2009. Investigating the process necessary for satisfactory freeze-drying of waterlogged archaeological wood. – Journal of Archaeological Science, 36, 2177–2183.

Kaye, B., Cole-Hamilton, D. J., Morphet, K. 2000. Super Critical Drying: A New Method for Conserving Waterlogged Archaeological Materials. – Studies in Conservation, 45: 4, 233–252.

Keith, C. T., Kellogg, R. M. 1981. The Structure of Wood. – Canadian Woods: Their Properties and Uses. Eds. Mullins, E. J., McKnight, T. S. University of Toronto Press, Toronto, 41–70.

Kohdzuma, Y. 2005. Characteristics of Archaeological Waterlogged Wood. <http://www.nara.accu.or.jp/elearning/2005/characteristics.pdf> [18.04.2018].

Konsa, K. 2007. Artefaktide säilitamine. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu.

Kraut, A. 2018. Kadrioru vrakipargist. – Tutulus 2017, 38–39.

Kriiska, A., Lõugas, L. 2006. Scientific Methods in Estonian Archaeology. – Archaeological Research in Estonia 1865–2005. Estonian Archaeology 1. Eds. Lang, V., Laneman, M. Tartu University Press, Tartu, 269–291.

Laul, S., Tamla, Ü. 2014. Peitleid Lõhavere linnamäelt. Käsitöö ja ehtevakk 13. sajandi algusest. Tallinna Raamatutrukikoda, Tartu, Tallinn.

Ludwik, L. 2012. A comparative study on surface treatments in conservation of dry leather. With focus on silicone oil. Uppstats för avläggande av filosofie kandidatexamen i Kulturvård, Konservatorprogrammet 15 hp Institutionen för kulturvård Göteborgs universitet.
https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/32480/1/gupea_2077_32480_1.pdf
[1.04.2018].

Läänelaid, A. 2006. Lossi legendist, tamme teekonnast ja maali mõistatusest. – Horisont 5, 40–44. http://www.loodusajakiri.ee/horisont/artikkel753_742.html
[18.05.2017].

Morgós, A., Imazu, S. 1994. Conservation of Waterlogged Wood Using Sugar Alcohol and Comparison the Effectiveness of Lactitol, Sucrose and PEG #4000 Treatment. – Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference. Portland/Maine, 1993. Eds. Hoffman, P., Daley, T., Grant, T. Ditzen Druck and Verlags-GmbH, Deutsches Schiffartsmuseum, Bremerhafen, 235–254.

Mäesalu, A., Peets, J. 2010. Sõjanuiad, võimusembolid ja margapuud. – Ilusad asjad. Tähelepanuväärseid leide Eesti arheoloogiakogudest. Muinasaja teadus 21. Toim Lang, V., Tamla, Ü. Ajaloo Instituut, Tallinn, 211–236.

Pao, B. 1978. Veel mõnda haruldasest vöörikujust. – Sirp ja Vasar 3.03.1978, nr 9.

Parrent, J. M. 1985. The Conservation of Waterlogged Wood Using Sucrose. – Studies in Conservation, 30: 2, 63–72.

Passialis, C. N. 1997. Physico-Chemical Characteristics of Waterlogged Archaeological Wood. – Holzforschung, 51: 2, 111–113.

Pearson, C., 1987. Conservation of Marine Archaeological objects. Ed. Pearson, C. Butterworths, London, Boston, Durban, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington.

Pearson, C., Jenssen, V. 1987. Environmental considerations for storage and display of marine finds. – Conservation of Marine Archaeological objects. Ed. Pearson, C. Butterworths, London, Boston, Durban, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington, 268–287.

Peets, J. 1989. Vettyneen arkeologisen puun konservoinnista Virossa. – Meriarkeologia – Tutkimusen ja konservoinnin kehityksestä: Seminaari Kotkassa 29.–30.7.1988. Kotka. Kymenlaakson maakuntamuseo. Kymenlaakson maakuntamuseon julkaisuja no 13. Kotka, 71–80.

Peets, J., Visnap, R. 1988. On the conservation of waterlogged wood in vacuum chamber at low temperatures. – Loodusteaduslike Meetodeid Eesti Arheoloogias. Toim Rõuk, A.–M. & Selirand, J. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Ajaloo Instituut, Tallinn. 138–143.

Peets, J., Ratas, J. 2000. The Conservation of Large Archaeological Waterlogged Wooden Objects. Results and Problems. – The Conservator as an Investigator. The Baltic-Nordic Conference on Conserved and Restored Works of Art, 6.–9. October, Tallinn, Estonia. Eds. Hordal, R., Ruuben, T. Ennistuskoda Kanut, Tallinn, 139–143.

Peets, J. 2015. Maasi laeva „kollane“ – kas Vasa needus või redoksreaktsioonid? – Renovatom Anno, 14. <http://www.renovatum.ee/autor/maasi-laeva-kollane-kas-vasa-needus-voi-redoksreaktsioonid> [09.05.2018].

Raid, N. 1978. Haruldane vöörikuju. – Sirp ja Vasar 6.01.1978, nr 1.

Rodgers, A. B. 2004. The Archaeologist's Manual for Conservation: A Guide to Non-toxic, Minimal Intervention Artifact Stabilization. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.

Roio, M. 2006. Investigation of Underwater Heritage in Estonia. Archaeological Research in Estonia 1865–2005. Estonian Archaeology 1. Eds. Lang, V., Laneman, M. Tartu University Press, Tartu, 301–310.

Roio, M. 2016. Aastakümneid oodatud leid Kadriorust. – Tutulus 2015, 2–3.

Roio, M., Lõugas, L., Läänelaid, A., Maldre, L., Russow, E., Sillasoo, Ü. 2016a. Medieval ship finds from Kadriorg, Tallinn. – Archaeological Fieldwork in Estonia 2015. Eds. Russow, E., Haak, A. Tallinn, 139–158.

Roio, M., Lõugas, L., Läänelaid, A., Russow, E. 2016b. Uppunud vrakid Kadrioru maapõuest. – Muinsuskaitse aastaraamat 2015. Toim. Loit, M. AS Printon Trükikoda, Tallinn, 4–8.

Rowley, S. J. 2005. *Teredo navalis* Great shipworm. – Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Reviews. Eds. Tyler-Walters, H., Hiscock, K. Marine Biological Association of the United Kingdom, Plymouth. <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/2117> [30.04.2018].

Sandak, A., Sandak, J., Babinski, L., Pauliny, D., Riggio, M. 2014. Spectral analysis of changes to pine and oak wood natural polymers after short-term waterlogging. – Polymer Degradation and Stability, 99, 68–79.

Schmitt, U., Noldt, U. 1994. Scanning Electron Microscopic Observations on Sucrose Impregnation of Waterlogged Archaeological Wood. – Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine, 1993. Eds. Hoffman, P., Daley, T., Grant, T. Ditzen Druck and Verlags-GmbH, Deutsches Schiffartsmuseum, Bremerhafen, 381–390.

Schnell, U; Jensen, P. 2007. Determination of Maximum Freeze Drying Temperature for PEG-Impregnated Archaeological Wood. – Studies in Conservation, 52: 1, 55–58.

- Singh, A. P. 2012.** A review of microbial decay types found in wooden objects of cultural heritage recovered from buried and waterlogged environments. – *Journal of Cultural Heritage*, 13, 16–20.
- Sorokin, A. N. 2007.** The use of wood in construction. – *Wood Use in Medieval Novgorod*. Eds Brisbane, M., Hather, J. Oxford, 37–61.
- Strugatski, M., Nadeinski, B. 1969.** Üldine Keemia. Toim Karik, H. Valgus, Tallinn.
- Stætkvern, K. 2002.** Freezing of polyethylene glycol – compression strenghts and freezing curves for high-molecular weight PEGs with and without low-molecular weight PEGs added. – *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stocholm, 2001*. Eds. Hoffman, P., Grant, T., Spriggs, J. A., Cook, C., Recht, A. ICOM International Committee for Conservation Working Group on Wet Archaeological Materials, Bremerhafen, 335–350.
- Tamm, J. 1989.** Arheoloogiline avariitalitus ja selle viletsus. – *Edasi* 19.05.1989, nr. 115.
- Tvauri, A., Bernotas, R., Läänelaid, A. 2017.** Archaeological excavations at the courtyard of Lutsu Street 12, Tartu. – *Archaeological Fieldwork in Estonia 2016*. Toim. Russow, E., Rammo, R. Tallinn, 147–154.
- Tõnisson, E. 2008.** Eesti muinaslinnad. Toimetanud ja täiendanud Mäesalu, A., Valk, H. *Muinasaja Teadus* 20. Greif OÜ, Tartu-Tallinn.
- Unger, A., Schwind, A. P., Unger, W. 2001.** *Conservation of Wood Artifacts. – A Handbook*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Untera, H. 1990.** Puidumääraja. Õppevahend metsamajanduse erialale. Eesti Põllumajanduse Infokeskus, Tallinn.
- Valk, H. 2014.** Eessõna. – *Peitleid Lõhavere linnamäelt. Käsitöö ja ehtevakk 13. sajandi algusest*. Tallinna Raamatutrükikoda, Tartu, Tallinn, 7–8.
- Watson, J. 1997a.** Freeze-drying Highly Degraded Waterlogged Wood. – *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, York, 1996*. Eds. Hoffman, P., Grant, T., Spriggs, J. A., Daley, T. ICOM International Committee for Conservation Working Group on Wet Archaeological Materials, Bremerhafen, 9–23.
- Watson, J. 1997b.** Conservation of the Bronze-Age boat from Dover: an interim report. – *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, York, 1996*. Eds. Hoffman, P., Grant, T., Spriggs, J. A., Daley, T. ICOM International Committee for Conservation Working Group on Wet Archaeological Materials, Bremerhafen, 555–567.

Watson, J. 2004. The freeze-drying of wet and waterlogged materials from archaeological excavations. – Physics Education, 39: 2, 171–176. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/39/2/005> [7.12.2017].

Werz, B. E. J. S., Seemann, U. A. 1993. Organic Materials from Wet Archaeological Sites: The Conservation of Waterlogged Wood. – The South African Archaeological Bulletin, 48: 157, 37–41.

Wiemann, M. C. 2010. Characteristics and Availability of Commercially Important Woods. - Wood Handbook – Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory. United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, 2-1-2-45. http://www.woodweb.com/Resources/wood_eng_handbook/wood_handbook_fpl_2010.pdf [09.05.2018]

Yi, Y. 2012. History of the conservation technology of the excavated wooden objects. – Conservation of wooden objects. National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon. <https://primastoria.files.wordpress.com/2014/10/wood-conservation-nrich.pdf> [5.10.2017].

Andmebaasid ja veebiviited

Eesti Muuseumide veebivärv. <https://www.muis.ee/> [09.05.2018].

Estern. 2018. Eesti keele instituudi mitmekeelne terminibaas. <http://termin.eki.ee/estern/> [24.03.2018].

Infokaitseüsteemid. 2018. Paberkrohvi tootmine. <http://www.infokaitse.ee/paberkrohvi-tootmine> [08.05.2018].

Keskkonnaministeerium. 2018. Merekeskkonna kaitse. <http://www.envir.ee/et/merekeskkonna-kaitse> [05.04.2018].

Kultuurimälestiste riiklik register. <https://register.muinas.ee/public.php> [20.03.18].

Meide, C. 2002. Sucrose (Sugar) treatment of waterlogged wood.

<http://www.staugustinelighthouse.org/LAMP/Conservation/sucrose-treatment> [5.11.2017].

Oilgae Glossary 2018. Osmotic shock. http://www.oilgae.com/ref/glos/osmotic_shock.html [21.04. 2018]

Puidu Keskus. 2017. Puitkonstruktsioonid ehituses. <http://puidukeskus.ee/puitkonstruktsioonide-ehituses/> [26.04.2017].

The Wood Database 2008–2018. Wood Finder. <http://www.wood-database.com/wood-finder/> [18.02.2018].

Tallnerk Grupp. Wood Products and Building. 15.11.2009. Puidu tihedus.
<http://www.tallnerk.ee/?238>, 27.02.2018 [09.05.2018].

Maa-ameti **Geoportaal.** Maainfo Kaardirakendus.
https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1026&HEIGHT=658&zlevel=0,552500,6505000 [09.05.2018]

Avaldamata esmaallikad (kirjavahetus, suuline informatsioon, küsitlus)

Kajak, J. 05.04.17. Küsitlus.

Laht, M. 04.04.2017. Küsitlus.

Laht, M. 12.03.2018. Kirjavahetus.

Lätti, P. 13.04.2018. Suuline informatsioon.

Märss, J. 04.04.2017. Küsitlus.

Panter, I.; Sully, D. 2017. Treatment of waterlogged wood using the PEGcon programme. MSC in conservation for archaeology and museums. G121 Conservation Processes. UCL Institute of Archaeology. Loengumaterjal. (Kuulatud 16.02.18.)

Peets, J. 02.11.2016. kirjavahetus.

Peets, J. 06.11.2016. kirjavahetus.

Peets, J. 02.10.2017. Suuline informatsioon.

Peets, J. 22.02.2018. Kirjavahetus.

Peets, J. 08.03.2018. Suuline informatsioon.

Sully, D. 26.05.2017. kirjavahetus.

Tvauri, A. 05.10.2016. kirjavahetus.

Summary

Archaeological waterlogged wood conservation: methodology and practice

Archaeological wood is a term used for describing man-made wooden objects and constructions recovered by archaeologists which have been preserved in wet ground on account of the concurrence of many conducive factors. Wood is one of the oldest used materials and as an organic material, it usually decays fast. Therefore, the preserved objects are valuable materials for giving information about past construction, trade and culture. In order to study organic materials, even after fifty years, the correct operation for their long term good preservation starts already at the excavations (digging, temporary storage, packaging, transportation). Although nothing in this world lasts forever, the purpose of the conservator is to provide the stability of the object by transferring the artefact slowly from waterlogged state into a dry state, for instance, by impregnating or bulking the object with a preservative after which it is dried.

Wood preserves well in an environment, where oxygen and light do not tap into, which impedes the destructive action of microorganisms. In Estonia, waterlogged archaeological wood is mainly found in coastal areas (for instance, sunken wrecks), areas of high groundwater level (the old town of Tartu), wells, lavatory cesspits or bogs. This means that archaeologists usually find the wood rarely, yet, in good preservation conditions, it is possible to find it in great quantities at once. However, the problem is that there is lack of storages for preserving capacious waterlogged organic artefacts and there are only a few conservators on that field, which makes the storage of the artefacts and the selection of the conservation methods complicated.

In 2015 two ship wrecks from Kadrioru (14th century wreck Peeter and 16th century wreck Viljo) (Appendix 1, Fig. 4) were discovered with abundant finds, which gave me a good opportunity to write a thesis about waterlogged archaeological wood conservation. Although there have been some writings on that matter in Estonia, there

has not yet been a research that would extensively explain the processes that happen with wood during the different stages in conservation, such as in documentation, impregnation/bulking and drying. The main purpose of this thesis was to provide an overview of archaeological waterlogged wood conservation in Estonia and to study and consider the use of different conservation methods on a 14th century cog of Peeter and on artefacts found from the wreck. Although many experiments with different conservation methods have been done in the world already from the 19th century, these experiments are still necessary to understand which method is most suitable for a given object. The more experiments, the better is the understanding of the artefact and of the method – how it accommodates with wood from different context.

This work is based on approximately 18 wood pieces that involve six different conservation experiments, which are all summarized in Appendix 3 (table 1). The main experiments were carried out on wood from Peeter's cog, but some additional examinations were done on wood from Tartu Lutsu 12, Tallinn Pärnu mnt 31 and Kadrioru Kiikri ship wreck excavations (Appendix 1, Fig. 3–5). The reason behind this was to obtain better experience in conservation (for instance, determining the level of wood deterioration and conservation method), compare the conservation results with wood from different context (but mostly with the artefacts from Peeter's wreck) and specify the details involved in the work process (such as the speed of the impregnation of PEG into the wood).

At the beginning of 20th century, the conservation of archaeological waterlogged wood was reckoned as senselessly expensive task and artefacts were mostly let to dry out or, in some cases, gypsum replicas were done instead. Nevertheless, the first experiments started already in 1930-s when the excavations from the hill fort of Lõhavere (Appendix 1, Fig. 1) contained wooden finds from the well. Artefacts (including the well and finds from the well of Varbola Jaanilnn) were conserved by the first Estonian archaeological artefacts conservator Eerik Pöld at Estonian National Museum. The used method was ethanol drying – it was intended to increase the concentration of ethanol in the water solution gradually, to complete the transpiration of water, after which the artefacts were planned to boil in paraffin. Unfortunately, due to the outbreak

of war, the work was left unfinished and in 1944, during the evacuation of museum property, Red Army men drank the ethanol and left objects to deteriorate. In 1958 a craft and jewellery box from the hill fort of Lõhavere was found, which was conserved at the Institute of History, in Tallinn, in 1959–1960 (Harri Moora, Aino Sarv, Andres Lääne), in 1980 (Jüri Peets) and in 1992 (Mare Sokolovski). In 1950's and 1960's "Modocol" was found to be the universal preservative in Finland and in Sweden for conserving archaeological organic artefacts. It was also smuggled to Estonia from Finland and the whole monolith was immersed in the solution. The problem was that the long-term effect of the substance had not yet been profoundly studied and after some time the whole complex polymerized, changing into hard plastic. In 1980, Jüri Peets started to clean the finds out of the polymerized monolith, by using different organic solutions and chemical aqueous solutions, such as EDTA. Wood and bark from the craft and jewellery box was processed with PEG 3000 aqueous solution.

The first experiments with PEG were done in 1968 by Andres Lääne who conserved the fragments of dwellings and small objects of wood and bone, found from the Tamula Neolithic settlement site (Appendix 1, Fig. 1). In 1977, a life-size female figure, a galion of a 17th–18th century sailing-ship was found near the coast of Saaremaa (Appendix 1, Fig. 1; Appendix 2, Fig. 1–3). A special conservation tank with heating elements was constructed of stainless steel sheet. PEG 1500 was used to impregnate and PEG 4000 to consolidate the surface. In 1986, Marike Laht conserved the wheel cross from Nõva church (Appendix 1, Fig. 1; Appendix 2, Fig. 4–5) with PEG 4000. During that time, it was difficult to get PEG, but it usually came to Estonia from Finland, German Democratic Republic or through Moscow. In 1977, Jaan Märss, from Tallinn City Museum, conserved the objects from the well of Vanaturu with PEG 1500 (Appendix 1, Fig. 2; Appendix 2, Fig. 14–17). He used Moren and Centerwall's method where PEG concentration was increased from 10% to 80% through the evaporation of water on a 50–60°C heating. The artefacts from Dunkri 1982 excavations were conserved the same way, yet, this time with PEG 4000. The solidified PEG was gently washed off with hot water (Appendix 1, Fig. 2; Appendix 2, Fig. 18–20).

In the end of 1970's and during the 1980's, the method of "cold and hot baths" from Minsk was used for the conservation of wooden objects. The method was easy to use right next to the excavations, but due to its toxicity, it now has historical value and is not used anymore. The wooden object is soaked in phenol spirit for about a day, then boiled in a 50% sugar solution for about an hour. After that the object is cooled in phenol spirit for 1–2 hours, depending on its size, and the process is repeated 6–10 times. This method was used on, for instance, a wooden barrel from a spring from Kuusalu III settlement (1979), the dugout boat from the lake of Nõuni (1981), a part of the dugout from the lake Karujärve (1985) and objects from the lavatory cesspits from Tartu Lossi 3 excavations (1985–1987) (Appendix 1, Fig. 1, 6; Appendix 2, Fig. 6–13).

Considerable undertaking was the conservation of the wreck of Maasilinn (1987–1990) (Jüri Peets, Jaan Märss, Rein Visnap) and the cog wreck of Pärnu (1993–1996) (Jüri Peets, Aivar Kriiska, Kaimo Jääger, Kalle Käsi) (Appendix 1, Fig. 1, 7; Appendix 2, Fig. 21–27). Wrecks were sprayed/sprinkled with PEG 1200 20% concentration aqueous solution several times a day (the wreck of Maasilinn for a year and the cog of Pärnu for 18 months). After bulking, freeze-drying on a normal pressure was used, which was the first time it was applied on large items.

In waterlogged environment, cellulose is replaced by water during the deterioration of wood, which means that the maximum moisture content gives us the extent of the degradation of wood (U_{max}). The water in the wood is usually replaced by a preservative, thus, the object will not collapse during drying. The deterioration of wood is usually determined according to Christensen's and de Jong's distribution (Table 1) as good, average and badly preserved wood. On the basis of this, a choice of conservation methods is made. It is possible to determine the state of deterioration through density of wood, which gives more precise results. Yet, determining the maximum moisture content is important to understand the state of wood on a given moment, for instance, it gives us an insight on how much the artefact has already dried.

During the conservation of waterlogged wood, it must be kept in mind that all conservation stages are combined with each other, which means that all methods should be planned thoroughly from the beginning to the end. For instance, the higher concentration the impregnation/bulking solution has, the lower the temperatures should be during freeze-drying. There are two main terms used for replacing water with preservative – impregnation and bulking. The aim of impregnation is to fill the spaces, such as the cell lumina, cell wall capillaries and microcapillaries, within the wood with chemically inert material which provides structural support and lends mechanical strength to the object. This is usually used on badly preserved artefacts. The aim of bulking is to fill up the spaces in the cell wall, which is used on well preserved artefacts.

Considering that waterlogged archaeological wood conservation is a long-term process, it is important to document the work carefully, to make it possible to compare primary data with the end results. This means taking pictures (photos, X-ray photos), describing objects, taking drawings of artefacts and measurements in tangential, radial, longitudinal directions. If possible, the maximum moisture content should also be determined, but this usually depends on the size of the object.

For my master thesis, I experimented with three different impregnation/bulking methods: a) PEG, which is the most popular preservative today b) sugar – although there is a concern about bacterial activity and it is said that sugar can give unexpected results, it is one of the cheapest preservatives c) silicon oil method – it is expensive and toxic, yet it lasts over 200 years and it is not affected by environmental conditions. Together with named preservatives I used four different drying methods: vacuum freeze drying, freeze drying on a normal pressure, air drying and solvent based drying. All of the methods are summarized in Appendix 3, Table 1.

The experiments of this work did not give very excellent results, which is mostly due to the lack of experience. In general, selected methods did not bring forward big dimensional changes, except for P1 and P2 (Appendix 4, Fig. 9, 12), so the shape of

the objects preserved similar to the original. The problem was in particular the surface appearance, which in many cases was blotched. The second problem that appeared during the conservation was bacterial activity, for instance, in second experiment with PEG 400 sublimation method and in third experiment with sugar solution, which is something that could be avoided in the future.

The best result with the wood from the cog of Peeter was achieved in a second experiment with P3, done with PEG 400 sublimation method (Appendix 4, Fig. 6). To contrast, the worst result was achieved with P2, which was processed in the same solution, but the object was later air dried (Appendix 4, Fig. 12). This could have happened due to big fluctuation of RH during drying (the graph 2) or because of too small PEG concentration for air drying. In general, increasing the concentration through sublimation is recommended because the cost of the material is small, but ethanol or biocide should be added.

Based on conducted experiments, I would recommend using 20–40% PEG 400 aqueous solution by increasing the concentration through sublimation, followed by vacuum freeze drying or freeze drying on a normal pressure. Artefacts were light in color and weight and preserved their dimensions. Method would be suitable for conserving the cog of Peter on the condition that wood would be in waterlogged state. Although, because of the size of the object, the solution should be applied on the artefacts with sprays. For now, controlled air drying has already been used, and due to that, the given method would most likely not be suited any more.

Based on the experiments, I would not recommend using PEG two step and PEG 400 methods on high concentration (50%–70%) (I, V, VI experiment), because objects will become heavy, with PEG 400 also oily, and there is a risk that PEG 400 could leak out of the object (Fig. 6). During freeze drying it is important, that the concentration of preservatives (especially low-molecular) would not overcome 45%, otherwise achieving the eutectic temperature is quite difficult. During the first and third experiment (P1 and P5) (Appendix 3, Table 1: 1, 5), the concentration was raised too

high for vacuum freeze drying. I would also not recommend using air drying on lower concentrations (until 50%), because the object can deform (II experiment, P2). Air drying is cheaper, but it can give unexpected results and, during my experiments, better results were achieved with 70% concentration (experiments III, V, VI). Yet, this made the objects heavy, which should be kept in mind when conserving larger artefacts, because on pressing weight could affect the wood below (for instance, Vasa ship wreck or the cog of Bremen). Freeze drying on a normal pressure gave similar results as vacuum freeze drying, but the duration is longer – in vacuum freeze drying two centimetre wood took two days, whereas in normal freeze-drying, the process still continues after three months.

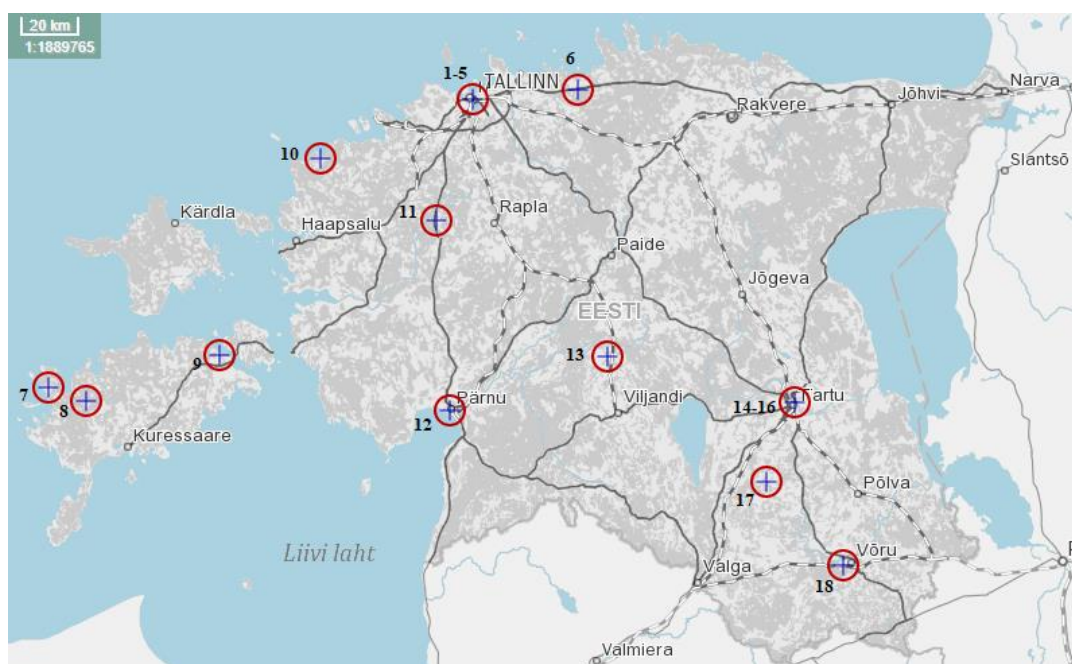
The wood conserved with sugar and silicon oil (P5–P8) (Appendix 3, Table 1: 5–8) gave a quite satisfactory results, but the surface of the objects was blotched (Appendix 4, Fig. 20–21, 27–28, 33). On P7, conserved with silicon oil, it is visible that polymerization after catalyzation still continues, because after couple of months the blots have disappeared and the object has achieved evenly dark color (Appendix 4, Fig. 33–34). During vacuum freeze drying, because of high temperatures, sugar conserved wood (P5) caramelized. In order for that to not occur, the settings of the machine should be set so that the drying temperatures would stay low. The second option is to use freeze drying on a normal pressure. Although the methods gave satisfactory results, I would still recommend trying them again, in order to avoid blotchiness.

It was quite difficult to estimate PEG 400 and ink penetration rate through the wood (experiments V and VI). Although some darker areas appeared on drilled wood samples (Appendix 4, Fig. 38), the experiment should be repeated with a color that has the same molecular weight as PEG. During the experiments, it appeared that the ink stayed on the wood surface and did not filter in the object together with PEG. In the case of the experiment with the wood from Kiikri ship wreck, we tried to see PEG penetration by freezing the sawn discs, so that the unfrozen part of the wood would show the PEG penetration. Unfortunately, it did not show clear borders and, therefore, a new way how to get the information, should be considered. The experiment still

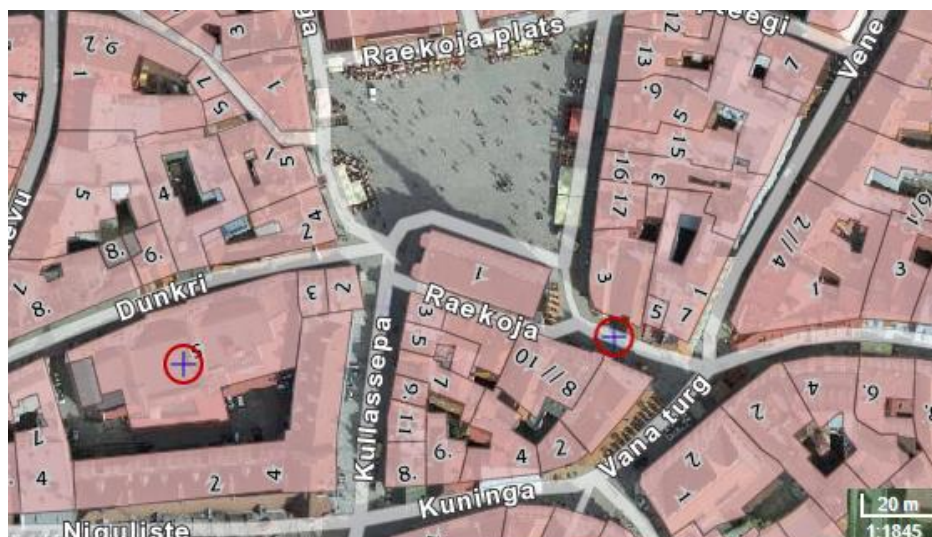
continues. Similar experiments should be repeated with different preservatives, on wood from different context and with different deterioration.

In conclusion, it can be said that any kind of conservation decision is individual, based on the size of the object, context and financial situation.

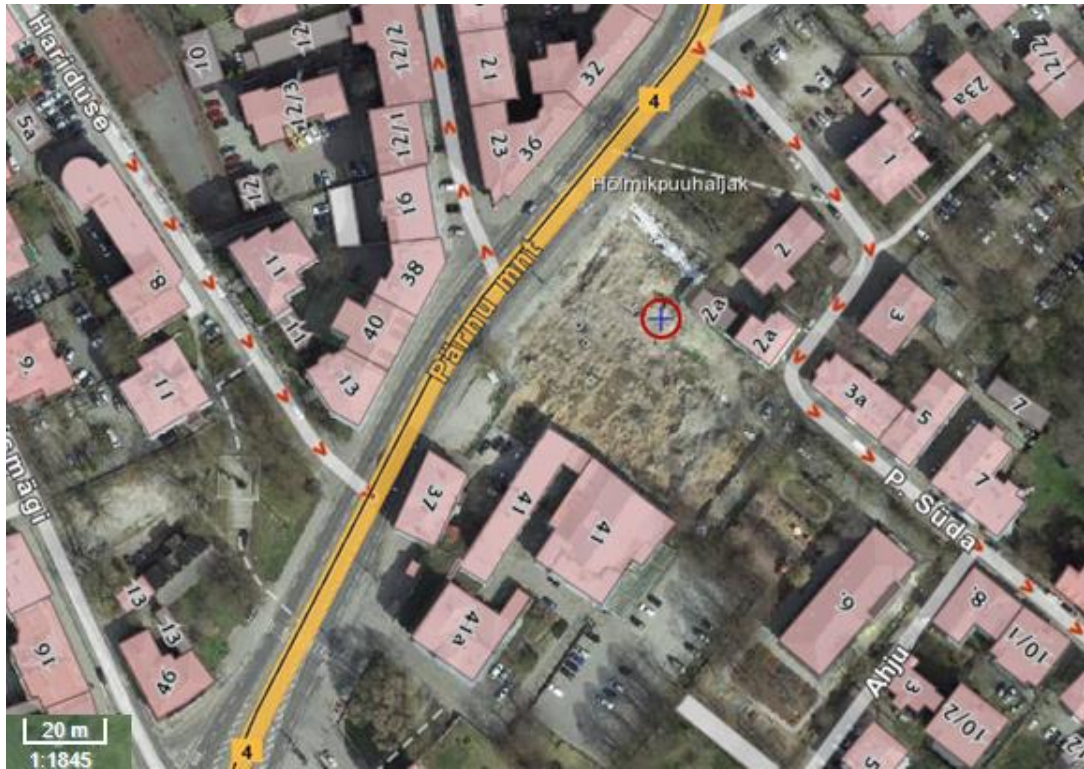
Lisa 1. Kaardid



Joonis 1. Koondkaart magistritöös mainitud objektide kohta (katsematerjal ja II ptk).
1–5 – Kiikri vrakk, Peetri koge vrakk, Pärnu mn 31, Dunkri (Vana-Tooma) 5, Vanaturu kael; 6 – Kuusalu III asulakoha allikatünn; 7 – Harilaiu ranniku vöörikuju „Merineitsi“; 8 – Karujärve ruhipaadi ninaosa; 9 – Maasilinna laevavrakk; 10 – Nõva ratasrist; 11 – Varbola Jaanilinn; 12 – Pärnu koge vrakk; 13 – Lõhavere linnus (aardevakk ja kaevuleiud); 14–16 – Lossi 3, Lutsu 12, Werneris kohviku sisehoov; 17 – Nõuni ruhipaat; 18 – Tamula asulakoha vaiad.



Joonis 2. Dunkri (Vana-Tooma) 5 ja Vanaturu kael. Kaart: https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1620&HEIGHT=974&zlevel=0,552500,6505000&setlegend=SHYBR_ALUS0182A=0,SHYBR_ALUS12_82=1



Joonis 3. Pärnu mnt 31. Kaart:

https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1620&HEIGHT=974&zlevel=0,552500,6505000&setlegend=SHYBR_ALUS01_82A=0,SHYBR_ALUS12_82=1

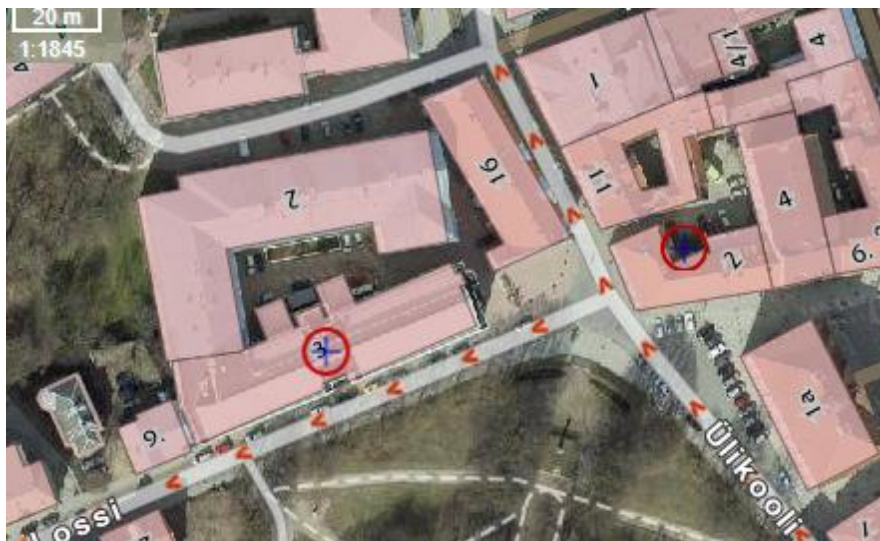


Joonis 4. Peetri koge, Viljo vraki leiukoht (Tuukri 23) ja Kii kri vraki leiukoht (tähistatud suurema ristiga). Kaart: https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1620&HEIGHT=974&zlevel=0,552500,6505000&setlegend=SHYBR_ALUS01_82A=0,SHYBR_ALUS12_82=1



Joonis 5. Tartu Lutsu tn 12. Kaart:

https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1620&HEIGHT=974&zlevel=0,552500,6505000&setlegend=SHYBR_ALUS01_82A=0,SHYBR_ALUS12_82=1



Joonis 6. Tartu Lossi 3 ja Wernerii hoov (Raekoja plats 2) (tähistatud ringiga). Kaart:
https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1620&HEIGHT=974&zlevel=0,552500,6505000&setlegend=SHYBR_ALUS01_82A=0,SHYBR_ALUS12_82=1



Joonis 7. Pärnu koge leiucoht (märgitud ristiga). Kaart:

https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1620&HEIGHT=974&zlevel=0,552500,6505000&setlegend=SHYBR_ALUS01_82A=0,SHYBR_ALUS12_82=1

Lisa 2. Puidu konserveerimise ajalooa seotud tabelid ja fotod.

Konservaator	Objekt	Aeg	Konserveerimismeetod
Eerik Pöld	Lõhavere linnuse kaevurakked ja puitesemed (AI 3578). Varbola Jaanlinna kaevust leitud puitesemed (AI 3721, 3863).	1930.-ndad	Esemete lahusepõhine kuivatamine etanooliga, misjärel plaaniti esemed stabiliseerida ja keeta parafiinis. (vt lk 8–9)
Andres Lääne	Tamula neoliitilise asulakoha elamudetailid (AI 4118).	1968	Immutamine PEG 4000 lahuses. (vt lk 10–11)
Andres Lääne	Harilaiu vöörikuju „Merineitsi“ (SM 8672).	1977–1982	Immutamine PEG 1500-ga ja pinnatöötlus PEG 4000 lahusega. (vt lk 10–11)
Marike Laht	Nõva ratassrist (registri nr. 16415).	1986	Immutamine PEG 4000 lahusega. (vt lk 11)
Jüri Peets	Kuusalu III asulakoha allikatünn (AI 5043: 591).	1979	Minski külmade-kuumade vannide meetod. (vt lk 12–13)
Jüri Peets, Ain Mäesalu, Ants Kraut	Nõuni ruhipaat (VaM Fp 2139).	1981	Minski külmade-kuumade vannide meetod. (vt lk 12–13)
Jüri Peets	Lõhavere aardevakk (AI 4133: 2274).	1980	„Modocolist“ polümeeriseerunud aardevakkast esemete väljapuhastamine orgaaniliste lahustite, kemikaalide vesilahustega (nt EDTA) ja kuuma auruga. (vt lk 9–10)
Jüri Peets	Karujärve ruhe ninaosa (SM 9665).	1985	Minski külmade-kuumade vannide meetod. (vt lk 12–13)
Jüri Peets	Tartu Lossi 3 puitleiud (TM A 169).	1985–1987	a) Minski külmade-kuumade vannide meetod. (vt lk 12–13) b) 15% PEG 1500 lahus + vaakumkülmkuivatus. (Peets, Visnap 1988, 140–141)
Jüri Peets, Rein Visnap, Jaan Märss (osaes Orissaares,	Maasilinna laevavrakk (MM 13469 Aj vs).	1987–1990	PEG 1200 20%-lise lahusega immutamine (käsipritsiga) +

Tallinnasse toomises enam mitte)			normaalrõhul külmkuiivatus. (vt lk 13–14)
Kalle Käsi, Kaimo Jääger (külmutuskonteineri projekti autor), Aivar Kriiska, Jüri Peets	Pärnu koge vrakk (PäMu 15094 A 2500).	1993–1995	PEG 1200 20%-lise lahusega immutamine (pitside abil) + normaalrõhul külmkuiivatus. (vt lk 13–14)
Jaan Märss	Tallinna Vanaturu kaevu leiud (TLM 16648: 47, 88, 89/1-8, 91/1-5, 92-124).	1977	PEG 1500 lahus Moren-Centerwalli meetodil. (vt lk 11–12)
Jaan Märss	Tallinna Dunkri 1982. a kaevamiste leiud (TLM 20059, 27426, 28002, 24444).	1982	a) PEG 4000 10% lahus, Moren-Centerwalli meetodil b) PEG immutus ja normaalrõhul külmkuiivatus. (TLM 24444: 1) (vt lk 11–12; Märss 04.04.2017)
Jaan Märss	Tampveski tala (eksponeeritud Jaani Seegi muuseumis).	2010	Immutamine PEG 4000 15% lahusega (pealekandmine maalriharjaga), imbumiskiiruse suurendamiseks lisatud juurde kuni 40% isopropüülpriiritust. Bakteriaalse tegevuse vastu lisatud booraksit. (Märss 2010)
Kristel Kajak	Tartu Ülikooli 14 hoone aluse osa kaevamisleiud 13. sajandi II p – 18. sajandi algus (TM A 133).	27.12.2014–25.07.2015	a) Lahusti põhine kuiivatus (:4754/1-3; :4755/1-2) b) 10%-line PEG 2000 viidud 30%-ni + vaakumkülmkuiivatus. c) 10%-line PEG 400 viidud 30%-ni + vaakumkülmkuiivatus (Kajak 2015, 1, 9–10)

Kristel Kajak	Tartu Ülikooli 15, jäätmekastist 6 2007. aastal välja kaevatud 16. sajandi kingaliist (TM A 141: 661).	24.10.2016–19.06.2017	Rohke hallituse tõttu tuli kuiv puit panna lahusesse. Kasutati PEG 1500 10%-list lahust, mis tõsteti 30%-ni (10 nädalat). Järgnes vaakumkülmkuivatus. (Kajak 2017, 1–3)
Kristel Kajak	2016. a Tartu Lutsutn 12 kaevamistel leitud puitesemed (TM A 244: 34–56).	07.07.2016–08.12.2016	20% PEG 400 lahus tõsteti järk-järgult 40%-ni. Järgnes vaakumkülmkuivatus. (Kajak 2016a, 1, 4–5)
Kristel Kajak	2016. a Tartu Kloostri 1B väljakaevamistelt konserveeritud puitleiud (TM A 245: 2–7) (vitsiku küljelauad, pürukatked, treitud fragmendid).	26.07.2016–13.12.2016	20%-line PEG 400 lahus viidi 30%-ni. Järgnes vaakumkülmkuivatus. (Kajak 2016b, 1, 3)
Kristel Kajak	2012. a Karksi ordulinnuse kaevamistelt leitud puitesemed (TÜ 1929) (13. sajand).	Märts 2013–Jaauar 2014	Esemed pandi PEG 400 10%-lisse lahusesse sünteetilisest materjalist võrgus või roostevabast terasest plaatidel. Immutamisele järgnes vaakumkülmkuivatus. (Kajak 2013, 1, 6)
Kristel Kajak	01.10.2013 välja kaevatud Vaidavere peitleiu puutükid (müntide järgi aastatest 1624–1654).	02. oktoober 2013–detsember 2014	Destilleeritud vees leotamine sooladest väljasaamiseks, 10%-line PEG 400 lahus + 1% booraksit (fungitsiidi). Immutamisele järgnes vaakumkülmkuivatus. (Kajak 2016c, 1, 5)

Tabel 1. Mõned Eestis kasutatud arheoloogilise vettinud puidu konserveerimismeetodid.



Foto 1. Skulptuur "Merineitsi" Kuressaare linnusevalli keldris mõni päev pärast merest väljatõmbamist. 1977. a. Foto: T. Grepp. Saaremaa Muuseumi fotokogu (SM F 3566:5 F).



Foto 2. Skulptuur "Merineitsi" Tallinnas enne konserveerimist polüetüleenglükooliga: eestvaade. Pildistatud 24. 02. 1978. a. Foto: Viivi Rinaldo. Saaremaa Muuseumi fotokogu (SM F 3567:1).



Foto 3. „Merineitsi“ praeguse seisuga Saaremaa Muuseumis. Foto: P. Kivi.



Foto 4. Nõva Ratasrist 19./20. Sajand 1978. Foto: A. Sillasoo. (Kultuurimälestiste riiklik register 20.03.2018)
[https://register.muinas.ee/public.php?menuID=photolibrary&action=view&id=1143_1 20.03.18]



Foto 5. Nõva Ratasrist 2014. Foto: Ü. Jukk. (Kultuurimälestiste riiklik register, 20.03.2018)
[<https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=16415>
20.03.18]

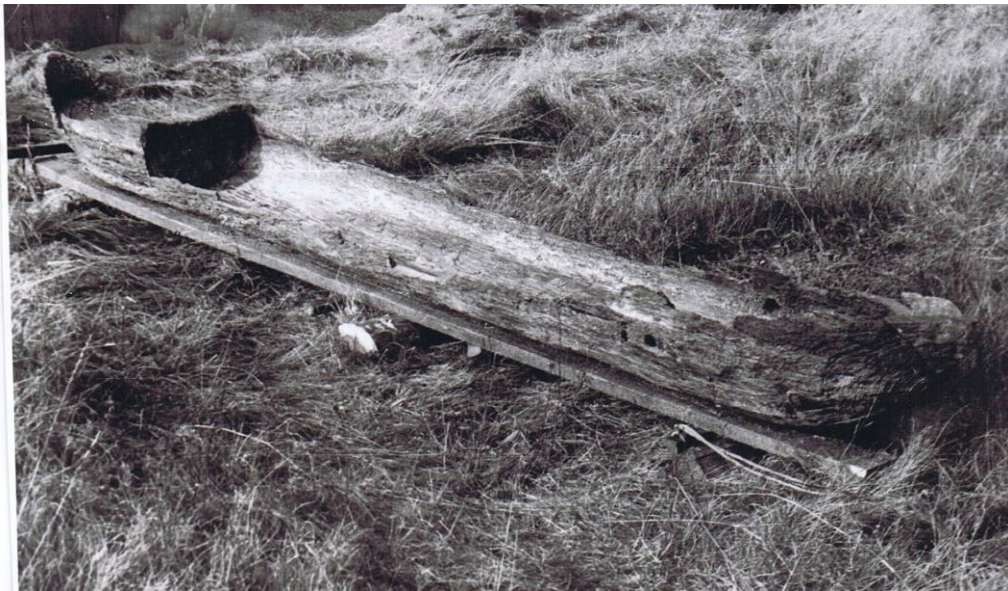


Foto 6. Nõuni paat enne konserveerimist. Foto: V. Ahonen.



Foto 7. Nõuni paadi konserveerimine. Foto: V. Ahonen.



Fotod 8–9. Nõuni paat hetke seisuga Valga muuseumis. Fotod: K. Tint.



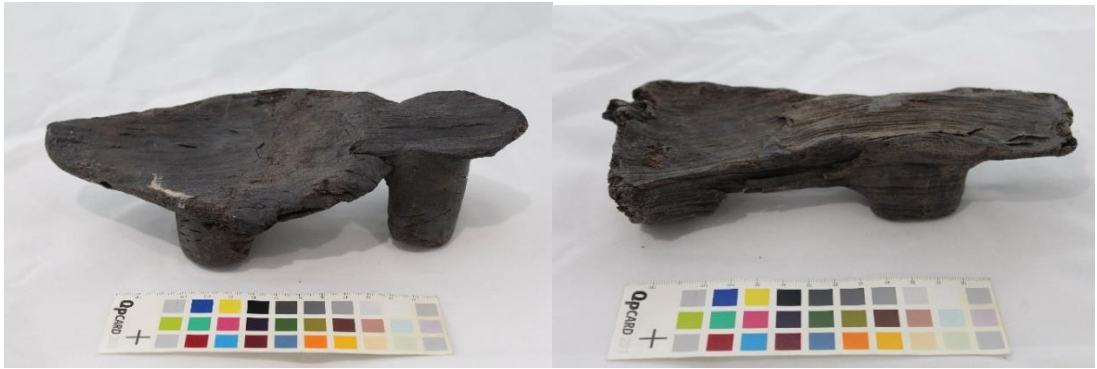
Fotod 10–11. Karujärve ruhe ninaosa ja selle konserveerimine 1985. a. Fotod: J. Peets.



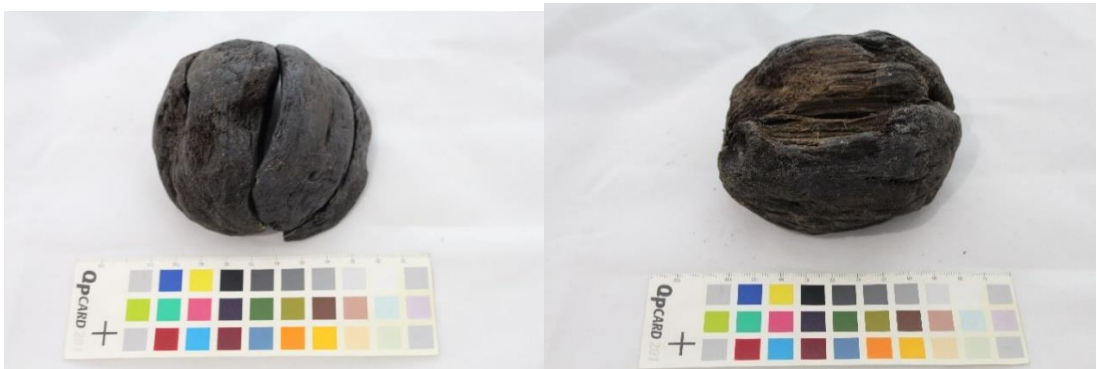
Foto 12. Karujärve ruhepaadi ots/paadivöör (SM 9665) hetke seisuga. Foto. P. Kivi.



Foto 13. Lossi tn vitsiknõu (Tartu Linnamuuseumis, numbrita). Foto: K. Tint



Fotod 14–15. Tallinnast Vanaturu kaevust leitud porikingad (TLM 16648: 123, 124 A 83), konserveeritud PEG 1500-ga Moren-Centerwalli meetodil. Foto: K. Tint.



Fotod 16–17. Tallinnast Vanaturu kaevust leitud puidust kuulikujulised esemed (TLM 16648: 106, 107 A 83), konserveeritud PEG 1500-ga Moren-Centerwalli meetodil. Foto: K. Tint.



Fotod 18–19. Tallinnast Dunkri tn 1982. aasta väljakaevamistelt leitud vitsiknõud (numbrita), konserveeritud PEG 4000-ga Moren-Centerwalli meetodil. PEG 4000 veel esemete peal. Fotod: K. Tint.



Foto 20. Tallinnast Dunkri tn 1982. aasta väljakaevamistelt leitud pudrunuia taoline puidust ese (TLM 24444: 9). PEG 4000 jäljed on esemelt ära eemaldatud, pragudes veel veidi näha. Foto: K. Tint.



Foto 21. Maasilinna laevavraki katmine kilega Orissaare sadamas. Allveearheoloogia klubi "Viikar" liikmed Urmas Dresen, Vallo Liivrand, Aare Karolin, Tiit Ahven, Rein Albri ja Endel Sõerde (MM F 1341/14); Eesti Meremuuseum SA. [Foto: <http://www.muis.ee/museaalview/2258462>, 04.05.2018]



Foto 22. Hoone, kus hoiti Maasilinna vrakki (MM F 1993/1); Eesti Meremuuseum SA. [Foto: <http://www.muis.ee/museaalview/132277>, 04.05.2018].



Foto 23. Maasilinna vrakk ja detailid (MM F 1993/6); Eesti Meremuuseum SA. [Foto: <http://www.muis.ee/museaalview/2693988>, 04.05.2018]



Foto 24. Maasilinna vrakk eksponeerituna Lennusadamas. Foto: P. Lätti

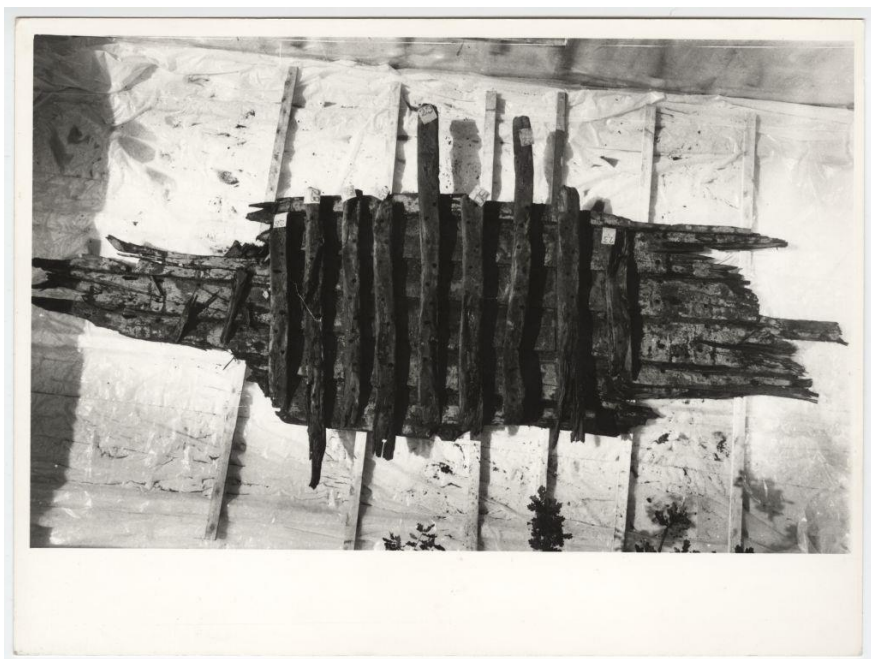


Foto 25. Pärnu koge (MM F 3115); Eesti Meremuuseum SA. [Foto: <http://www.muis.ee/museaalview/139315>, 04.05.2018]


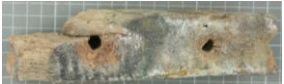






Foto 26. Pärnu koge puhastamine ja konserveerimine. Juuni 1991. a. Foto: M. Lauk (Pärnu Muuseumi fotokogu).







Foto 27. Pärnu vrakk Pärnu muuseumis eksponeerituna. Foto: Pärnu Muuseum.

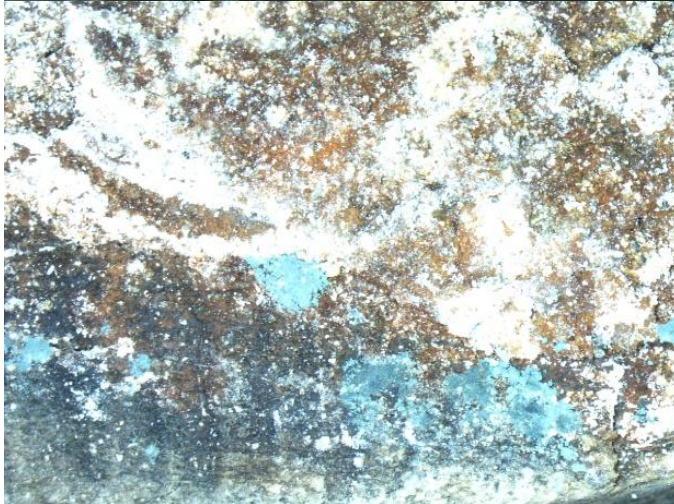
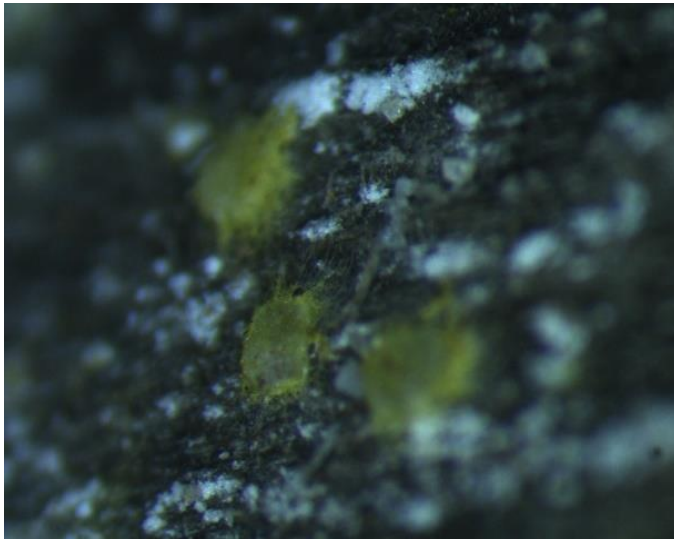
Lisa 3. Uurimistöös läbi viidud katsed.

	Proov	Ese	Katse nr	Immutus	Kuivatus	Foto
1	P1	MM15330/13 0 Aa	I	Kaheastmeline PEG 400 (kuni 50%) ja PEG 4000 (kuni 50%) immutus	VKM	
2	P2	Naagel MM15330/13 1/2 Aa	II	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 40%)	Õhk	
3	P3	MM15330/13 2 Aa	II	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 40%)	VKM	
4	P4	MM15330/13 3 Aa	II	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 40%)	NRM	
5	P5	MM15330/13 4 Aa	III	Immutamine suhkruga (kuni 70%)	VKM	
6	P6	Naagel MM15330/13 1/1 Aa	III	Immutamine suhkruga (kuni 70%)	Õhk	
7	P7	Naagel MM15330/13 1/3 Aa	IV	Immutamine silikoonõliga	LAH	
8	P8	Naagel MM15330/13 1/4 Aa	IV	Immutamine silikoonõliga	LAH	
9	L1	Lutsu 12 Umax tükk	V			

10	L2	Lutsu 12 puursüdämike võtmise tükk	V	Immutamine PEG 400-ga (kuni 70%)	Õhk	
11	Pä 1	Pärnu mnt 31 Umax tükk	V			
12	Pä 2	Pärnu mnt 31 puursüdämike võtmise tükk	V	Immutamine PEG 400-ga (kuni 70%)	Õhk	
13	K1	Umax tamme tükk	VI			
14	K2	Umax männi tükk	VI			
15	K3	Tamm II	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	NRM	
16	K4 (hiljem K7 ja K8)	Tamm III	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)		
17	K5 (hiljem K11 ja K12)	Mänd II	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)		
18	K6	Mänd III	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	NRM	
19	K7 (endine K4)	Risti saetud tamm I	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	NRM	

20	K8 (endine K4)	Risti saetud tamm II	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	VKM	
21	K9	Männipuidust saetud proov I	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	NRM	
22	K10	Männipuidust saetud proov II	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	VKM	
23	K11 (endine K5)	Õhuke pikisuunas lõigatud mänd I	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	NRM	
24	K12 (endine K5)	Õhuke pikisuunas lõigatud mänd II	VI	Immutamine PEG 400-ga aurutamise meetodil (kuni 20%)	VKM	

Lisa 4. Fotod



Fotod 1 ja 2: Kollakad (80x suurendus) ja sinakad plekid P3-1 (10x suurendus). Foto: K. Tint.

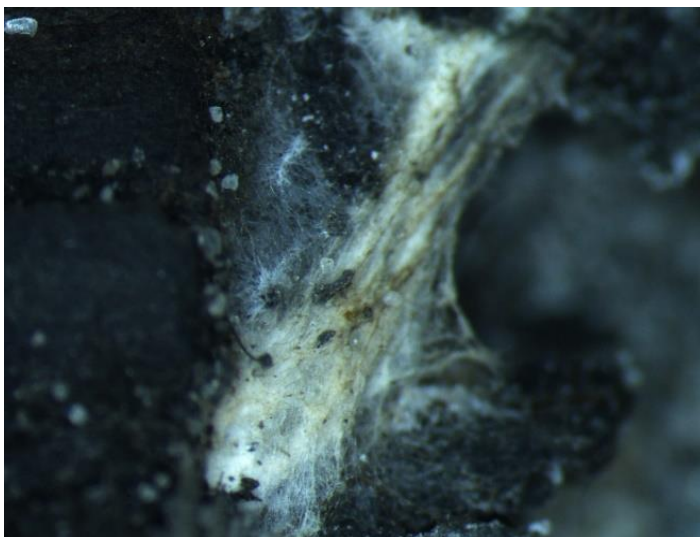


Foto 3: Hallitus P7-1 (40x suurendus). Foto: K. Tint.

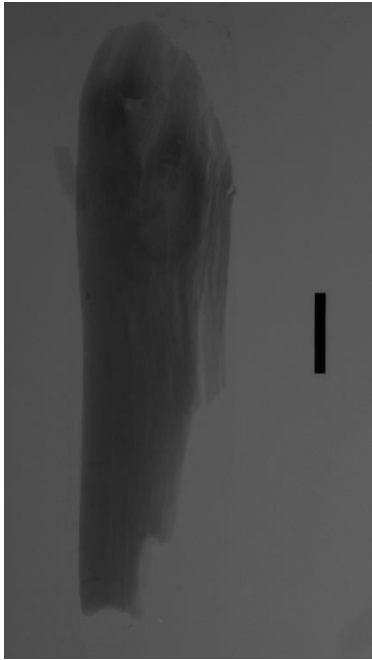


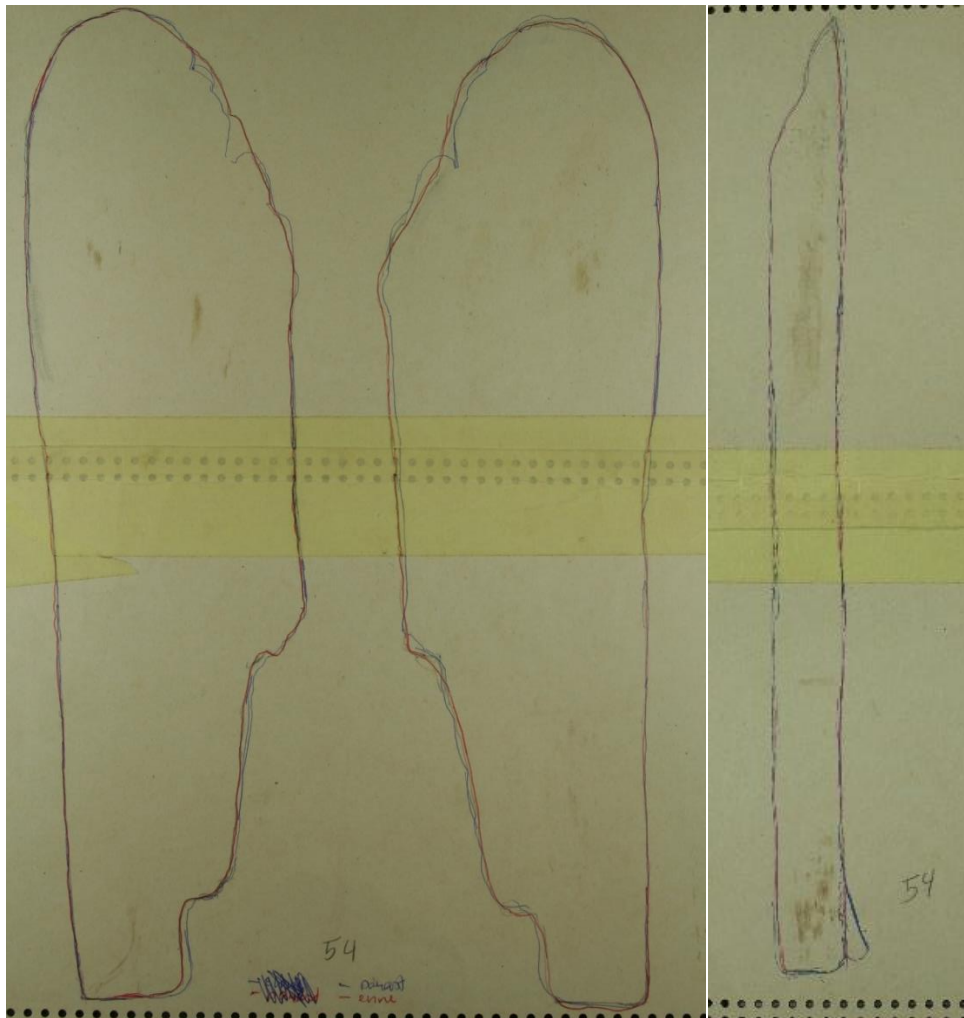
Foto 4. P1 röntgenpilt. Foto: A. Vindi.



Fotod 5–8. P1 enne (vasakul) ja pärast (paremal) konserveerimist. Fotod: K. Tint.



Foto 9. P1 laienuud pragu peale kuivatamist. Foto: K. Tint.



Joonised 1–2. P1 erinevatelt külgedelt enne ja pärast konserveerimist. Joonis: K. Tint.

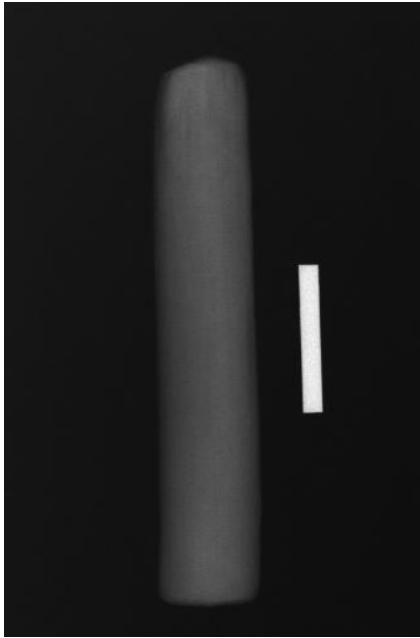
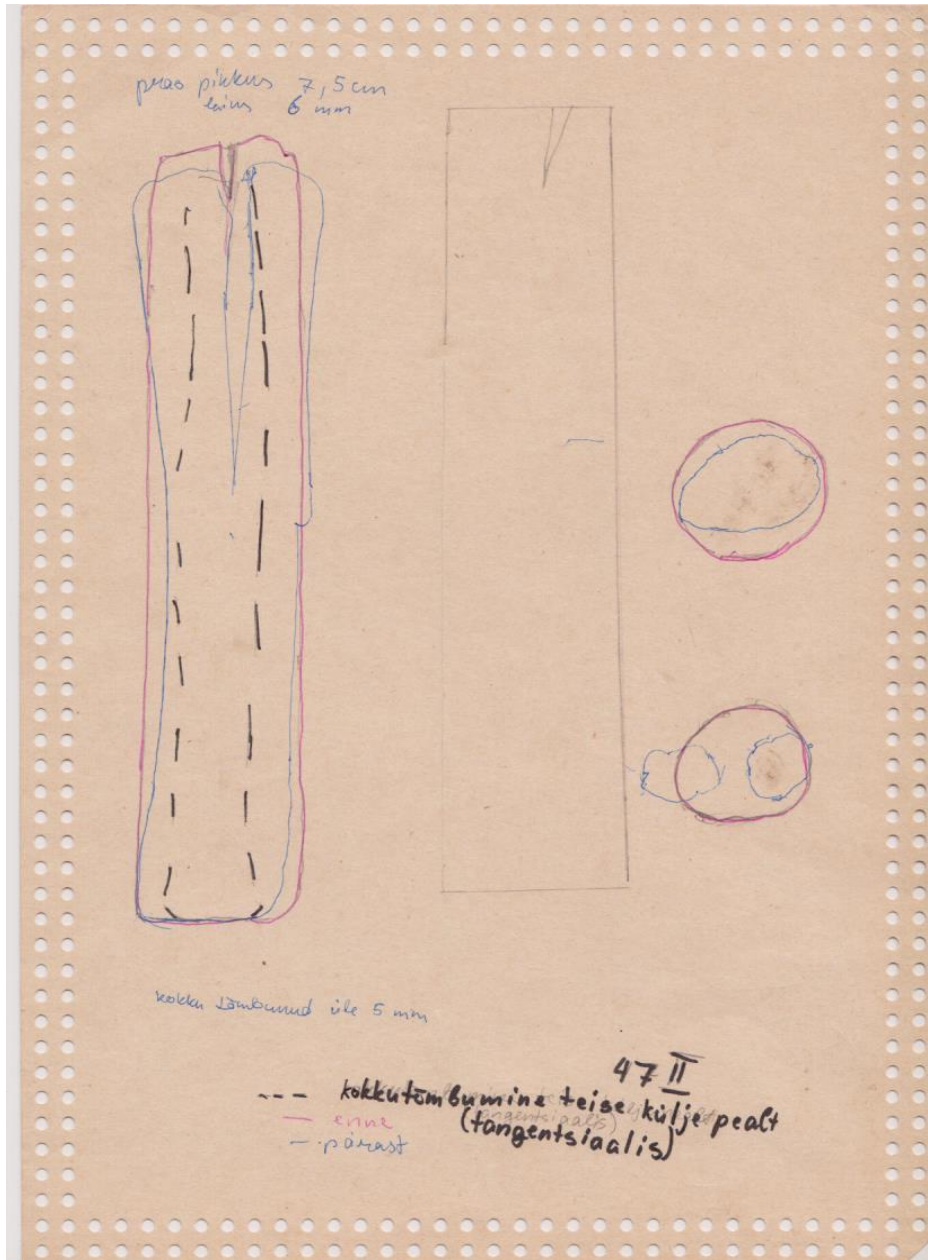


Foto 10. P2 röntgenpilt. Foto: A. Vindi.



Fotod 11–12. P2 enne (vasakul) ja pärast (paremal) konserveerimist. Fotod: K. Tint.



Joonis 3. P2 enne ja pärast konserveerimist. Joonis: K. Tint.

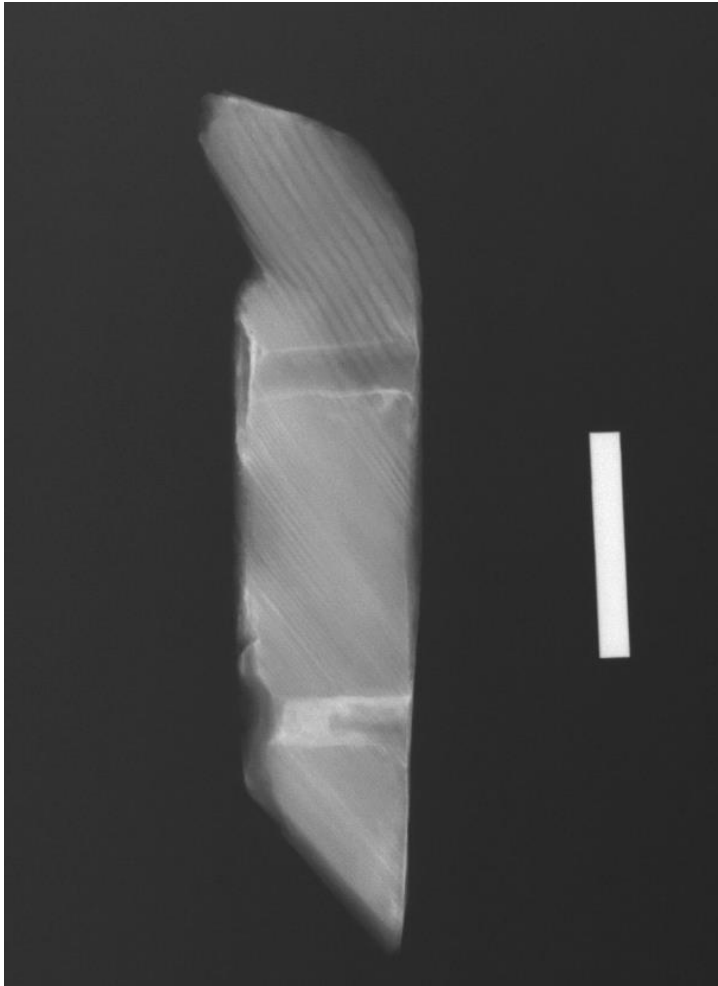


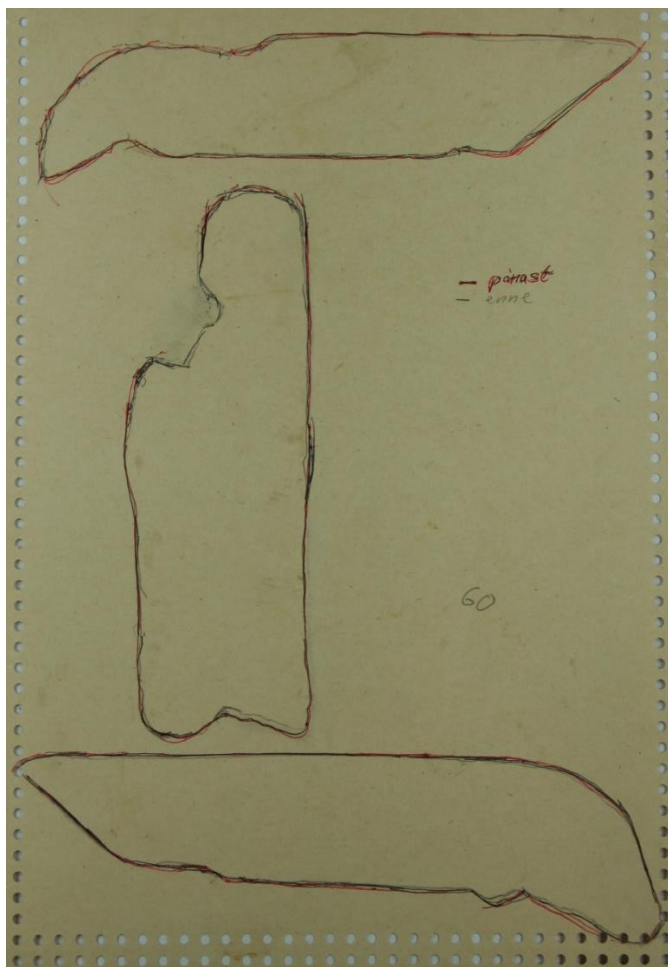
Foto 13. P3 röntgenpilt. Eset on kunagi läbinud naelad/needid. Foto: A. Vindi.



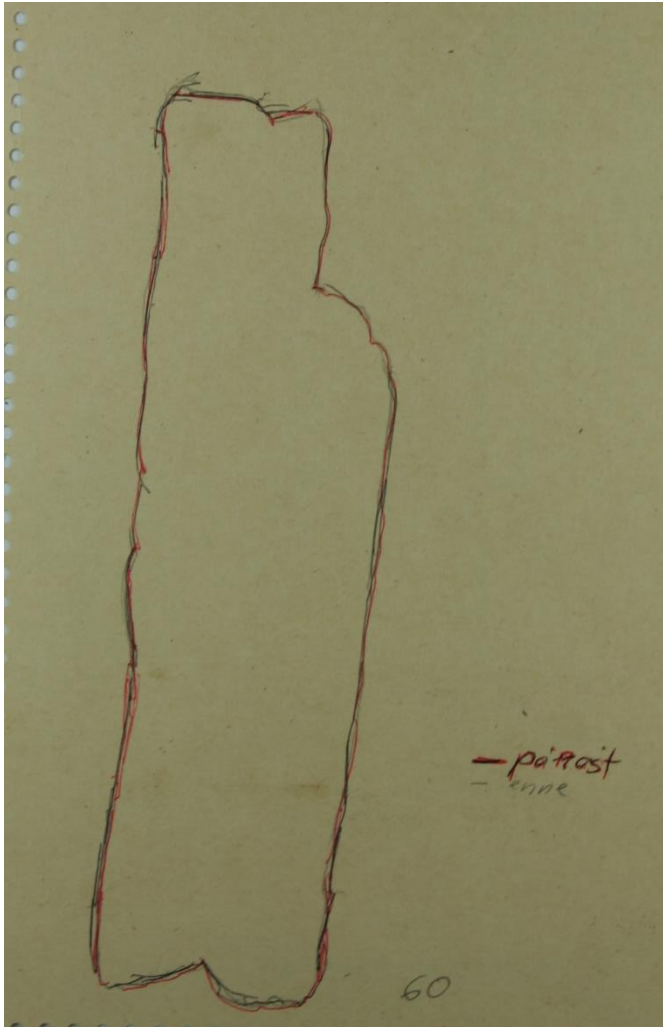
Foto 5. P3 enne konserveerimist. Foto: K. Tint.



Foto 6. P3 pärast konserveerimist. Foto: K. Tint.



Joonis 4. P3 enne ja pärast konserveerimist erinevatelt külgedelt. K. Tint.



Joonised 5. P3 enne ja pärast konserveerimist erinevatelt külgedelt. K. Tint.



Foto 14. P4 esialgses seisus. Foto: K. Tint.



Foto 15. P4 peale puhastamist lahti painutatuna. Foto: K. Tint.

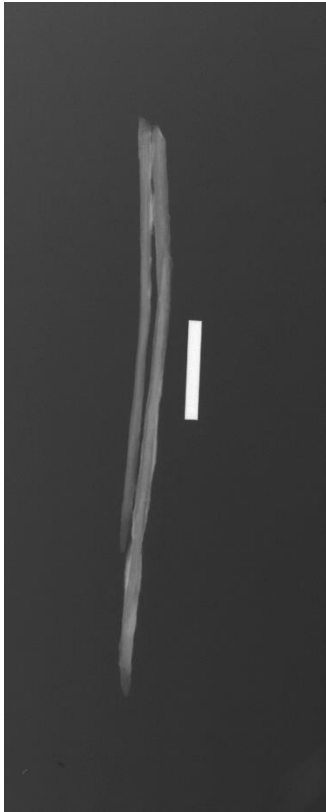


Foto 16. P4 röntgenpilt külje pealt. Foto: A. Vindi.



Foto 17. P4 veel kuivamisjärgus Foto: K. Tint.

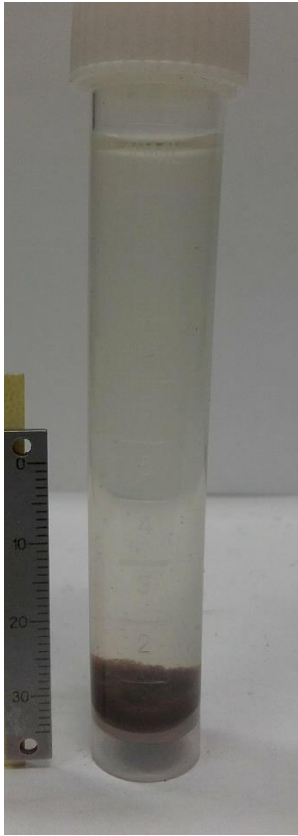


Foto 18. P2, P3 ja P4 PEG 400 lahuse proov. Foto: K. Tint.

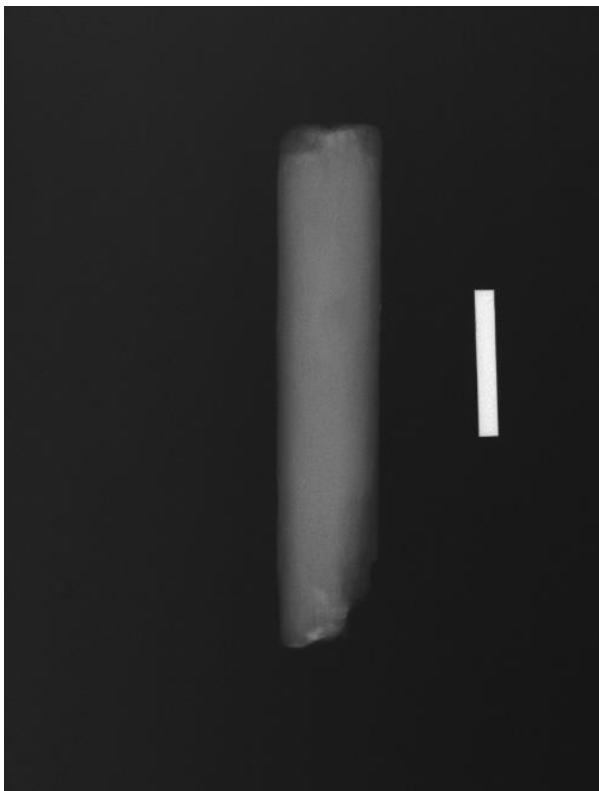
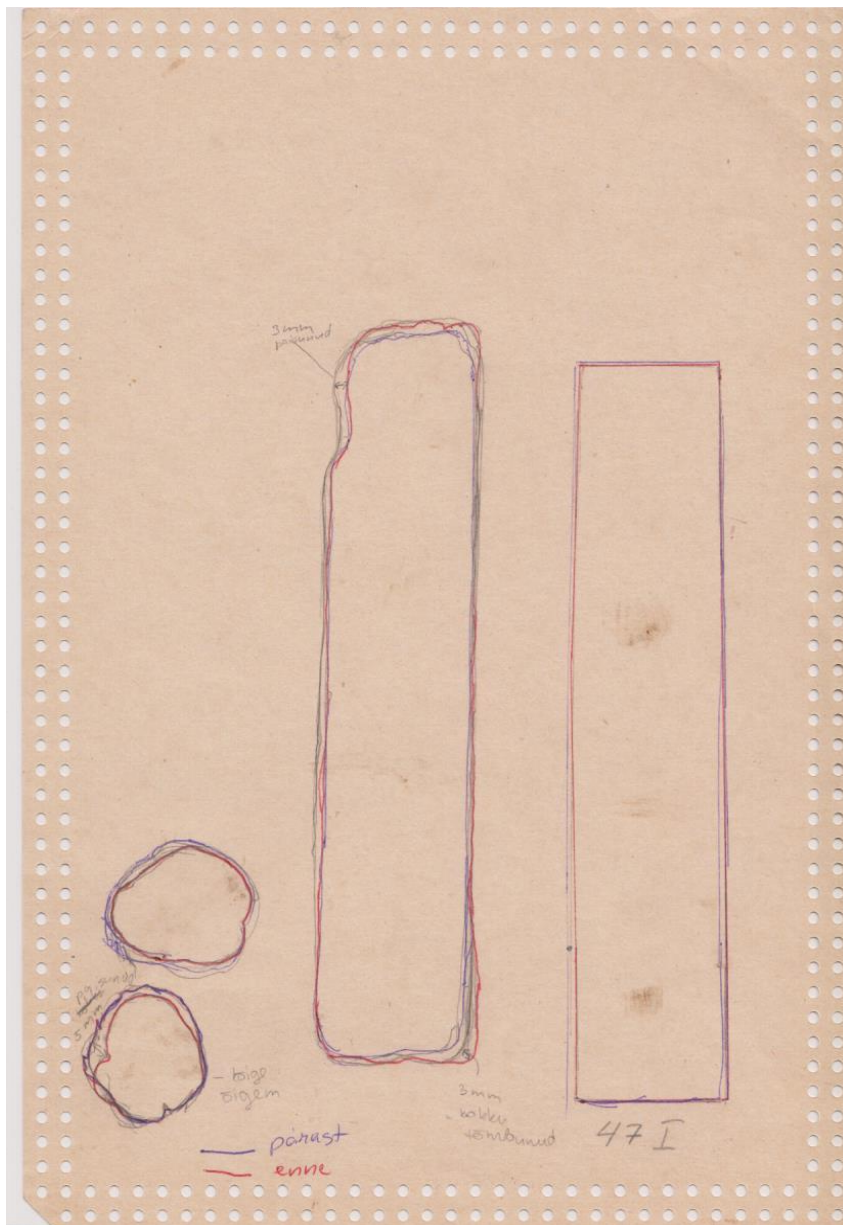


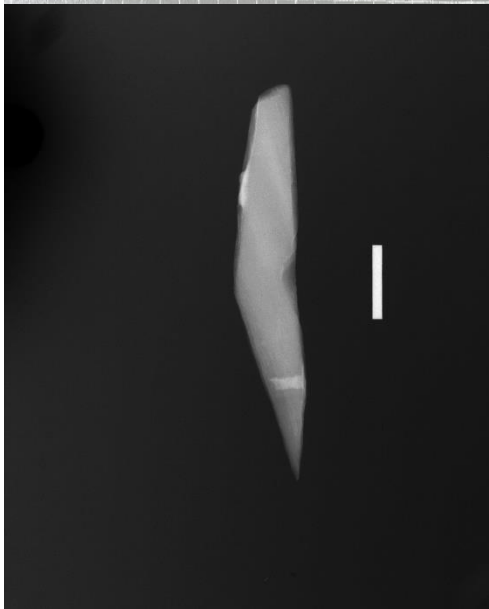
Foto 19. P6 röntgenpilt. Foto: A. Vindi.



Fotod 20–21. P6 enne ja pärast konserveerimist. Foto: K. Tint.



Joonis 6. P6 enne ja pärast konserveerimist. Ülemisest otsast veidi paisunud ja alumisest otsast kokku tõmbunud. Joonis: K. Tint.



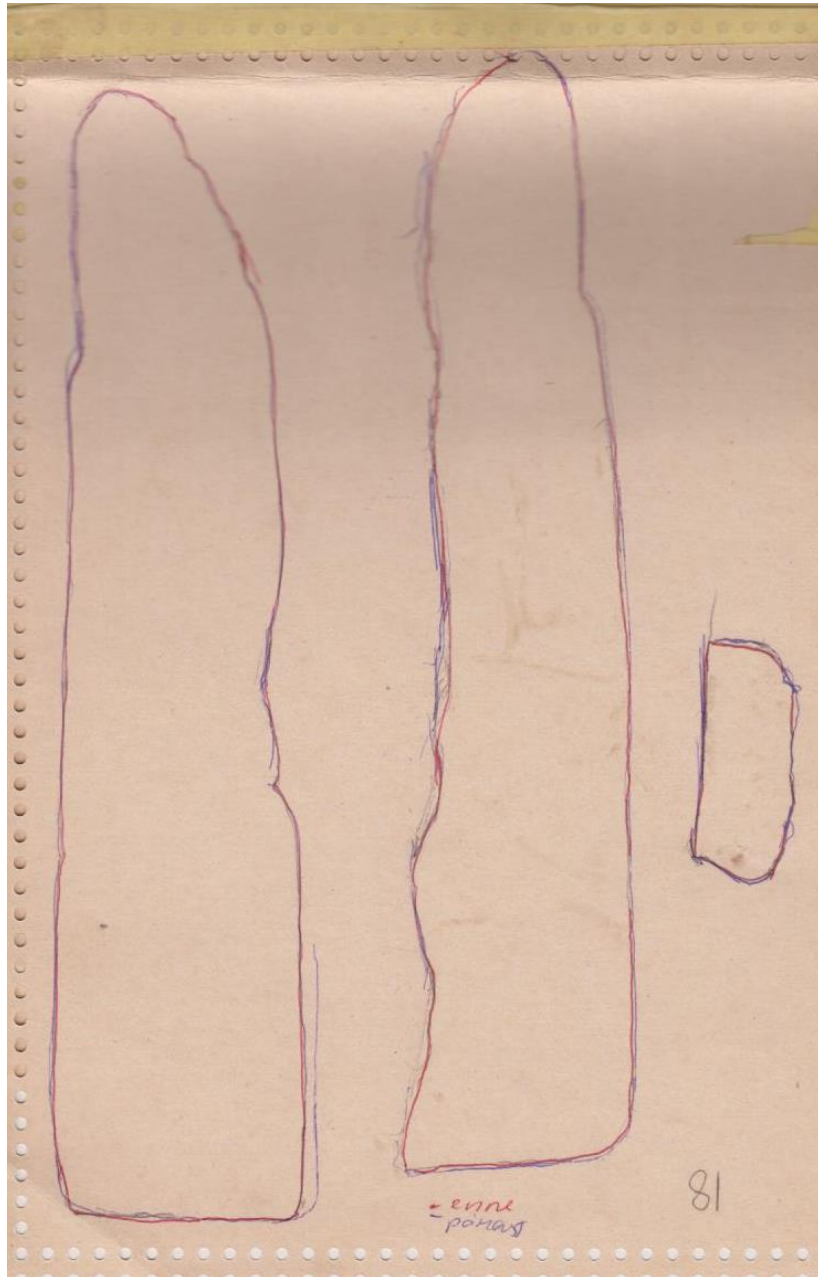
Fotod 22–24. Metalli tuvastamine P5-l. Röntgenpilt selgitab, et proovi peal olev metall on esemele lihtsalt külge sattunud ega pole puutükiga seotud. Fotod: A. Vindi (alumine), K. Tint (ülemised).



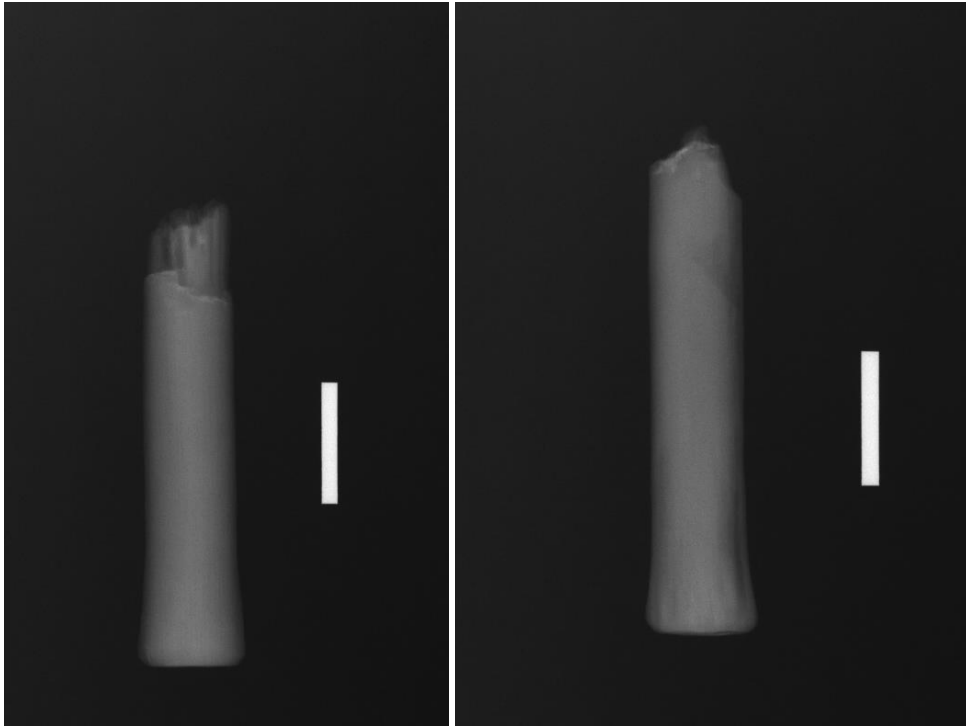
Fotod 25–26. P5 enne konserveerimist. Foto: K. Tint.



Fotod 27–28. P5 peale konserveerimist. Foto: K. Tint.



Joonis 7. P5 enne ja pärast konserveerimist erinevatelt külgedelt. Joonis: K. Tint.



Fotod 29–30. P7 (vasakul) ja P8 (paremal) röntgenpildid. Fotod: A. Vindi.



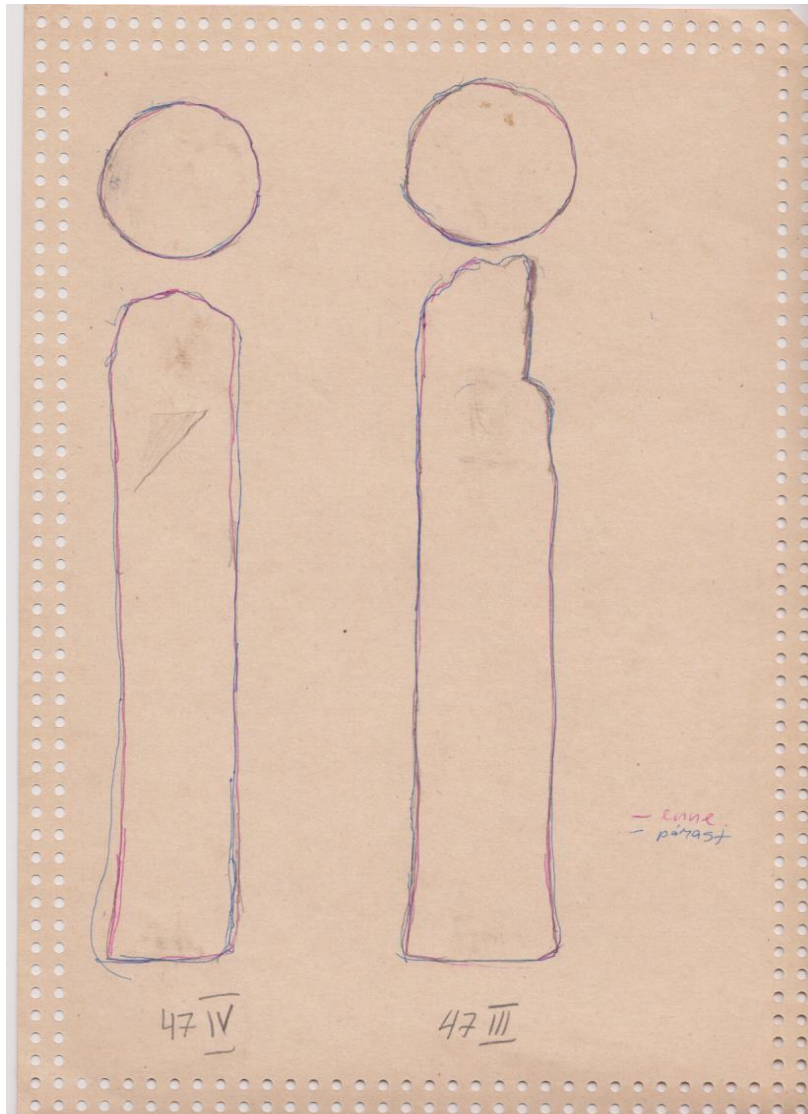
Fotod 31–32. P7 (vasakul) ja P8 (paremal) enne konserveerimist. Fotod: K. Tint.



Fotod 33. P7 (ülemine) ja P8 (alumine) pärast konserveerimist. Foto: R. Rammo.



Foto 34. P7 kolm kuud peale konserveerimist. Foto: K. Tint.



Joonis 8. P7 (paremal) ja P8 (vasakul) enne ja pärast konserveerimist. Joonis: K. Tint.



Foto 35. L2 proovitükk. Foto: K. Tint.



Foto 36. Pär proovitükk. Foto: K. Tint.



Foto 37. Pär ja L2 proovitükkide panek tindilahusesse. Foto: R. Rammo.



Foto 38. L2 (iga numbri all pikemad ja vasakul pool) ja Pär (iga numbri all lühemad ja paremal pool), umbkaudsed imbumisjooned on punasega eraldatud. Foto: K. Tint.



Fotod 39–40. L2 (vasakul) ja P2 (paremal) peale konserveerimist. Fotod: K. Tint.



Foto 41. K4 (üleval) ja K5 (hiljem K11 ja K12) (all) enne immutamist. Foto: K. Tint.

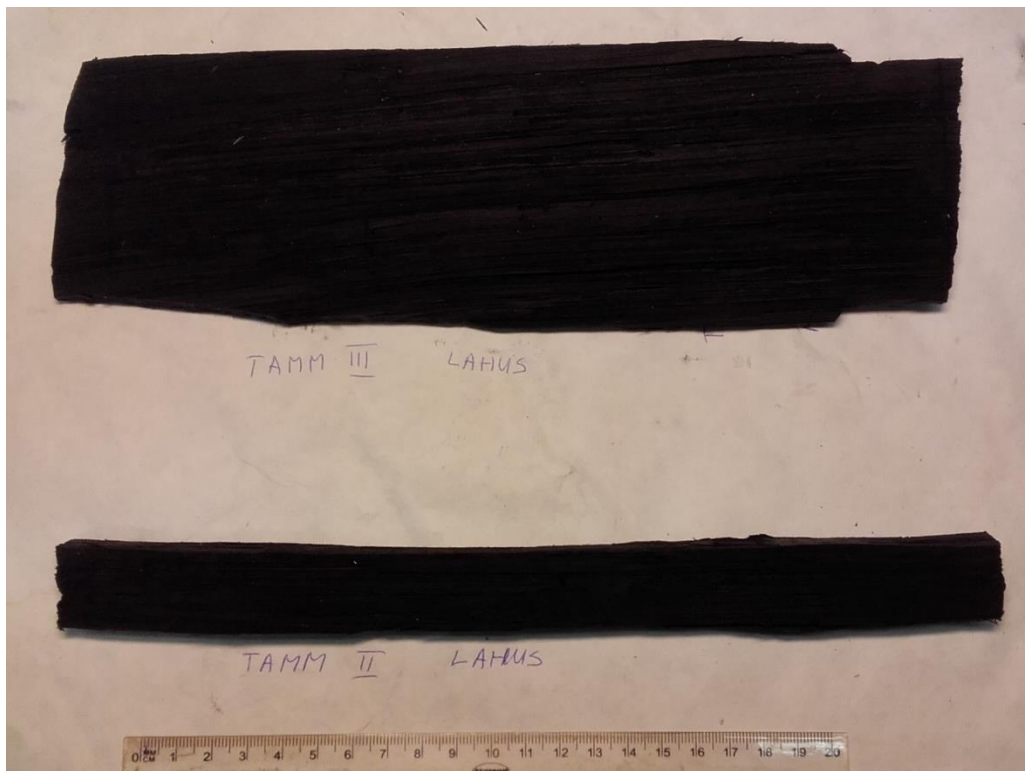


Foto 42. K4 (hiljem K7 ja K8) (üleval) ja Kiikri 3 (all) enne immutamist. Foto: K. Tint.



Foto 43. Männipuu ketaste saagimiseks, et jälgida PEGi imbumise kiirust. Foto: K. Tint.



Foto 44. K11 (endine K5) enne normaalrõhul külmuivatust. Foto: K. Tint.



Fotod 45–46. K12 (endine K5) enne (üleval) ja pärast vaakumkülmuivatust (all). Foto: K. Tint.



Fotod 47–48. K8 enne (üleval) ja pärast (all) vaakumkülmkuivatust (endine Kiikri 4). Fotod: K. Tint.



Foto 49. K7 enne normaalrõhul külmkuivatust (endine K4). Foto: K. Tint.



Fotod 50–51. Normaalrõhul külmuivatuse ajal tekkinud pikisuunas praod (K7) (üleväl) ja kaardumine (all). Fotod: K. Tint.



Foto 52. K10 vaakumkülmkuivatusest. Foto: K. Tint.



Foto 53. Normaalarõhul külmkuivatuses olev K9. Foto: K. Tint

Lisa 5. Tabelid

	P1	P5	P4	P3	P6	P2	P7	P8
Puuliik	tamm	tamm	tamm	saar	tamm	tamm	tamm	tamm
Kaal (g)	468	347	59	213	154	152	184	172
tihedus (g/cm ³) (P=M/V)	0,94	2,78	1,18	2,03	1,06	1,01	1,02	1,13
pikkus (mm)	335	265	50	190	180	180	190	?
Laius (mm)	50-100	30-60	28	35-55				
Läbimõõt (mm)	25	20-45	5	35-40	30-35	30-35	35-45	35-40
Ruumala (cm ³)	475-500	125	50	105	145	150	180	152,5
Niiskussisaldus puidu pinnal (%)	58,1	57,6	58,4	50,2	57,9-58,4	29,8-30	57,6-58,4	58,1
Muu	hallitus	Oranžid rooste jäljed peal	Oranžid rooste jäljed peal	Hallitus, oranžid rooste jäljed, valged soolalaigud	Veidi soolalaigud peal	Hallitus ja valged soolalaigud	Hallitus ja valged soolalaigud	Hallitus ja valged soolalaigud

Tabel 1. Peetri koge puutükkide andmed.

Esialgne kaal (M_{\max})	185,4 g
Kuivanud puidu kaal (M_0)	130,9 g
Kaalude vahe	54,5 g
Ruumala (V)	250 cm ³
Puidu lagunenu osa % (kaalude vahe x 100 : M_{\max})	$54,5 \times 100 : 185,4 = 29,39 \%$
Tihedus ($D=M_0:V$)	$130,9 : 250 = 0,524 \text{ g/cm}^3$
$U_{\max} = \frac{M_w - M_0}{M_0} \times 100$	$(185,4 - 130,9) : 130,9 \times 100 = 41,63\%$

Tabel 2. Peetri koge proovitüki tiheduse mõõtmisega seotud andmed.

	Lutsu 2	Pä 2
pikkus	155 mm	180 mm
Laius	135 mm	135 mm
Läbimõõt	106 mm	35 mm
Übermõõt tamiiliga enne stabiliseerimist	419 mm	334 mm
Übermõõt tamiiliga pärast stabiliseerimist	419 mm	334 mm
Kaal enne pikisuunast tüki võtmist	1683,61 g	873,04 g
Kaal peale immutamist	1729,3 g	881,02 g
Puursüdamiku läbimõõt	7 mm	7 mm
Puuraugu läbimõõt	17 mm	17 mm
Esemel lahusesse	25.10.2016	25.10.2016
Lahusest väljavõtmise aeg	29.11.2017	29.11.2017

Tabel 3. Proovikehad maksimaalse veesisalduse määramiseks.

	pikkus	laius	läbimõõt	kaal 1 (M _w)	kaal 2 (kuivatist)	kaal 3 (M ₀)	U _{max}
Pä1	145 cm	35 mm	15 mm	77,7 g	39,92 g	40,78 g 47.52%	90,53%
L1	200 cm	100 mm	20 mm	260,29 g	113,82 g	118,56 g 54,45%	119,54%

Tabel 4. Maksimaalse niiskussisalduse määramine.

	L2	Pä2
Üldine läbimõõt	10,6 cm	3,5 cm
02.11.2016 (I proov)	0,3 cm (proovi pikkus 2,4 cm)	0,3 cm (proovi pikkus 2 cm)
09.03.2017 (IV proov)	5,7 cm (proov 7,2 cm)	0,25 cm (alt) ja 1,8 cm (ülevalt) (proovi pikkus 3,6 cm)
29.11.2017 (V proov)	6,5 cm (proovi pikkus 6,5 cm)	3,5 cm (proovi pikkus 3,5 cm)

Tabel 5. Umbkaudsed PEGi imbumispiirid I, IV ja V proovi põhjal.

	L2	Pä2
Lahuses oldud aeg (25.10.16–09.03.17)	19 nädalat	19 nädalat
Puidutüki läbimõõt proovi kohalt	106 mm	40 mm
Proovi pikkus	75 mm	36,5 mm
Imbunud osa	Umbes 59 mm (+ paar mm)	20,5 mm
Imbumata osa	Umbes 41 mm (- paar mm)	16 mm
PEGi imbumine keskmiselt nädalas (imbunud PEG : lahuses oleku aeg)	$59 : 19 = 3,11$ mm	$20,5 : 19 = 1,09$ mm
Imbumata osa lahuses oleku aeg (imbumata osa : PEGi nädala keskmine)	$41 : 3,11 = 13,18$ nädalat	$16 \text{ mm} : 1,09 = 14,67$
Minimaalne soovitatav imbumisaeg kokku (imbunud osa + imbumata osa nädalad)	$19 + 13,18 = 32,18$	$19 + 14,67 = 33,67$

Tabel 6. PEG-i imbumise arvutused 2017. a märtsis võetud proovide põhjal (neljas proovivõtmise).

	K1	K2
Pikisuund enne (mm)	250	335
Pikisuund pärast (mm)	248	334
Radiaalsuund enne (mm)	58,8	45,2
Radiaalsuund pärast (mm)	50,2?	43
Tangentsiaalsuund enne (mm)	28	12,1
Tangentsiaalsuund pärast (mm)	24,1	12,2
Kaal enne (g)	292	203
Kaal pärast (g)	133,3	71,2
U_{\max} (%)	119,05	185,11

Tabel 7. Proovide mõõdud enne ja pärast kuivatust ning maksimaalne niiskussisaldus.

	K3	K4	K5	K6
Pikisuund enne (mm)	250	240	337	320
Pikisuund pärast immutamist (mm)	250	-	Peale immutamist uus mõõt 329	320
Pikisuund pärast kuivatamist (mm)		-		
Radiaalsuund enne (mm)	18,3	17,3 ja 16,6	45,5	47,1
Radiaalsuund pärast immutamist (mm)	-	-	-	-
Radiaalsuund pärast kuivatamist (mm)		-		
Tangentsiaalsuund enne (mm)	22,2	71,1	12	8,2
Tangentsiaalsuund pärast (mm)	-	-	-	-
Tangentsiaalsuund pärast kuivatamist (mm)		-		
Kaal enne (g)	116,8	342,2	182,1	86,6
Kaal peale immutamist (g)	118,5	-	215	102,2
Kaal peale kuivatamist (g)		-		

Tabel 8. Lahusesse pandud esemete mõõtmed.

	K7	K8	K9	K10	K11	K12
Pikisuund enne	101	120	73,5	76	330	330
Pikisuund pärast						329
Radiaalsuund enne	-	-	47	47	29	23
Radiaalsuund pärast			46,6			22,3
Tangentsiaalsuund enne	-	-	43	43 (külje pealt) 42 (otsast)	16	12
Tangentsiaalsuund pärast	-	-	42,3			11, 2
Kaal enne	179,7	151,8 g	160,5	161,7	118,5	93,4
Kaal pärast		79,8 g	65,5 g			44

Tabel 9. Külmuivatuse jaoks pooleks saetud puutükid peale immutamist.

Lisa 6. Lühendid

AI – Ajaloo Instituut

ASE – kokkutõmbumise vähendamise efekt (*anti-shrinkage efficiency*)

CCI – Canadian Conservation Institute

DBTDA – Dibutüültina diatsetaat

EDTA – etüleendiamiintetra atsetaat hape

ICOM – International Council of Museums

MM – Eest Meremuuseum

MTMS – Metüültrimetoksüsilaani

NRM – Normaalrõhul külmuivatus

PEG - Polüetüleenglükool

RH – niiskustase

SM – Saaremaa Muuseum

TLM – Tallinna Linnamuuseum

TM – Tartu Linnamuuseum

U_{\max} – Maksimaalne veesisaldus puidus

VKM – Vaakumkülmuivatus

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Küllike Tint (isikukood 49109180230),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose **“Arheoloogilise vettinud puidu konserveerimine: metoodika ja praktika“**,

mille juhendajad on Jüri Peets ja Riina Rammo

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 10. mai 2018.

