

Eesti Kunstiakadeemia
Kunstikultuuri osakond
Muinsuskaitse ja konserveerimise eriala

Kateriin Ambrozevits

Puitpinna puhastamine kuivjääpritsi meetodil

Bakalaureusetöö

Juhendaja: PhD Maris Mändel

Välisjuhendaja: PhD Urve Kallavus (Tallinna Tehnikaülikool)

Konsultandid: Gert Kähr ja Aivo Hansen (OÜ Pinnad-Puhtaks),

Kristjan Kaevu (OÜ REKA Grupp)

Tallinn

2021

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et:

1. käesolev bakalaureusetöö on minu isikliku töö tulemus, seda ei ole kellegi teise poolt varem (kaitsmisele) esitatud;
2. kõik bakalaureusetöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd (teosed), olulised seisukohad ja mistahes muudest allikatest pärinevad andmed on bakalaureusetöö nõuetekohaselt viidatud.

Ülaltoodust lähtudes selgitan, et:

- käesoleva bakalaureusetöö koostamise ja selles sisalduvate ja/või kirjeldatud teoste loomisega seotud isiklikud autoriõigused kuuluvad minule kui bakalaureusetöö autorile ja bakalaureusetöö varalisi õigusi käsutatakse vastavalt Eesti Kunstiakadeemias kehtivale korrale;
- keelatud on käesoleva bakalaureusetöö ja selles sisalduvate ja/või kirjeldatud teoste kopeerimine, plagieerimine ning mistahes muu autoriõigusi rikkuv kasutamine.

(kuupäev)

(bakalaureusetöö autori nimi ja allkiri)

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele:

(kuupäev)

(kuupäev)

*(bakalaureusetöö juhendaja allkiri,
akadeemiline või teaduskraad)*

*(bakalaureusetöö juhendaja allkiri,
akadeemiline või teaduskraad)*

Sisukord

Autorideklaratsioon	2
Sissejuhatus	4
1. Arhitektuuri puhastamise meetoditest	6
1.1 Mehaaniline kraapimine	8
1.2 Veega puhastamise erinevad viisid.....	8
1.3 Suruõhk.....	9
1.4 (Mikro)abrasiivsed meetodid	10
1.5 Laserpuhastus.....	11
1.6 Keemilised meetodid	12
2. Puidu puhastamise meetodid	13
3. Kuivjääpuhastus	15
3.1 Toimemehhanism.....	15
3.2 Puhastuse efektiivsus	17
3.3 Eelised ja riskid.....	17
3.4 Senised kasutusvaldkonnad	20
4. Puhastuskatsed ja uuringud	22
4.1 Ettevalmistus.....	22
4.2 Materjaluuuringud	22
4.3 Puhastuskatsete käik	27
4.3.1 Katse I	28
4.3.2 Katse II.....	30
4.4 Töötlemise mõju uuringud.....	32
4.5 Tulemuste analüüs ja järeldused	36
Kokkuvõte	40
Summary.....	41
Kasutatud materjal.....	43
Kasutatud allikad	43
Intervjuud	46
Lisa – võrdlusmaterjal puidu liigi määramise juurde	47

Sissejuhatus

Töös vaadeldakse ülevaatlilikult erinevaid pinnapuhastusmeetodeid ning spetsiifilisemalt kuivjääpuhastuse tehnoloogiat eelkõige välitingimustes asuvatelt arhitektuursetelt puitelementidelt saaste ja viimistluse eemaldamiseks. Puitelemendina on silmas peetud nii ehituspalki, lauamaterjali kui puitpitsi. Töö eesmärgiks on analüüsida, kas kuivjääpuhastus on kultuurimälestiste restaureerimise põhimõtteid arvestades puitpindade töötlemiseks sobiv meetod ning võimaldab säilitada ajaloolist väärtust kandvaid omadusi nagu tööriistajäljed, peened profiilid ja algne viimistlus.

Analüüs keskendub küll arhitektuurile ja sellega seotud elementidele, kuid teadolevalt kasutatakse analoogse tööpõhimõttega tehnoloogiat ka skulptuuride, mööbli, tarbeesemete jt objektide hooldamisel ja restaureerimisel. Erinevused seisnevad eelkõige seadmete võimsuses ja töömetoodikas ning on valdavalt tingitud objektide transporditavusest, objekti ja puhastatava pinna mõõtmetest ning väli- ja sisetingimustes töötamise eripäradest. Lisaks, pindade puhastamine, olgu viimistlusest või aja jooksul akumulunud saastest, ei ole asjakohane üksnes mälestiste või miljöväärtuslikel aladel asuvate hoonete puhul, vaid seesugust perioodilist tähelepanu vajavad kõik objektid, mida soovitakse säilitada. Seetõttu võivad uurimuse tulemused olla kasulikud igasuguste puitobjektide hooldamise või restaureerimise kavandamisel ja teostamisel.

Käsitluses ei keskenduta arutelule, kas ja mis põhjendusel on ajalooliste objektide puhastamine üldse otstarbekas. Märkida tuleb vaid, et igal valikul saab olla nii poolt- kui vastuargumente ning tehtav otsus peab olema igakülgsest kaalutud ja põhjendatud, kaardistades nii ühe kui teise tegevussuuna riske ja nende maandamise võimalusi.

Uurimuse käigus on läbi töötatud viisteist artiklit Taylor and Francis' e väljaantavatest rahvusvahelisest teadusajakirjadest Journal of Architectural Conservation, Particulate Science and Technology ja Aerosol Science and Technology ning Elsevier' i avaldatud rahvusvahelistest teadus- ja tehnoloogiaajakirjadest Wear, Applied Thermal Engineering ja Powder Technology. Lisaks on vaadatud tootetutvustus- ja tööprotsessi videoid erinevatest Youtube' i kanalitest, tutvutud paljude teenusepakkujate ja seadmetootjate kodulehtedega internetis ning läbi viidud intervjuud Helsinki Metropolia rakenduskõrgkooli lektori ja konservaatoriga ning kuivjääpuhastuse teenusepakkujatega Eestis.

Uurimustöö viimase etapina viidi läbi empiirilised puhastuskatsed kahe ettevõtte juures, kus kuivjääpritsiga töödeldi kolme erinevat arhitektuurset puitelementi. Katsete eesmärk oli

tuvastada, kas ja millistel tingimustel on võimalik pehmet puidupinda puhastada olmemustusest või viimistlusest selliselt, et aluspind ei saaks kahjustusi ning säiliks tööriistajalg ja ajalooline säilitusväärtusega värvikiht. Tulemuste analüüsi toetasid erinevad laboratoorsed uuringud Tallinna Tehnikaülikoolis, mõistmaks nii töödeldavat materjali kui töötlemise mõjusid pinnastruktuurile.

Töö esimeses peatükis antakse ülevaade arhitektuuri enamlevinumatest puhastamise meetoditest ning neist sobiva valimise kriteeriumitest. Teises osas vaadeldakse Eestis kasutatavaid puitpinna puhastamise võimalusi. Kolmandas peatükis tutvustatakse lähemalt kuivjääpuhastuse tehnoloogiat, eeliseid ja riske. Töö neljandas osas on kirjeldatud 2021. aasta kevadel teostatud puhastuskatsete käik ja sellega kaasnenud materjali- ja pinnamõju-uuringud. Peatükk lõppeb katsete analüüsi ja järelduste tegemisega.

Kõik töös kasutatud fotod on teinud autor.

Täna Maris Mändelit lahke juhenduse ja toetuse eest. Samuti suur tänu Tallinna Tehnikaülikooli vanemteadur Urve Kallavusele, kelle õpetuste abil said võimalikuks empiiriliste katsete tulemuste analüüsiks nii vajalikud laboratoorsed uuringud.

Täna OÜ-d Säästvad Ehituslahendused katseobjektide võimaldamise eest. Samuti OÜ Pinnad-Puhtaks ja OÜ REKA Grupp spetsialiste, kes väga vastutulelikult olid nõus oma seadmetega puhastuskatseid läbi viima.

Olen väga tänulik Sihtasutusele Eesti Rahvuskultuuri Fond, kes pidas uurimistöö läbiviimist rahalise toetuse vääriliseks. Toetus eraldati Aktsiaseltsi SUNTEE (täna ärinimega OÜ Suntee) poolt 2002. aastal algatatud fondist, mis loodi eesmärgiga toetada arhitektide ja ehitusinseneride õpinguid ja täiendõpet ning ehitismälestiste säilitamist.

Aitäh kõigile, kes aitasid märgata vigaseid viiteid, segaseid lauseid ja liigseid komasid ning keeleliselt korrigeerida ingliskeelset kokkuvõtet.

1. Arhitektuuri puhastamise meetoditest

Hoone vanust ja väärtuslikkust mõistetakse tema ajalooliste tunnuste kaudu, mida väljendavad kasutatud materjalid ja elemendid. On väga oluline, et konserveerimisspetsialistid suhtuksid kultuuripärandi hoidjatena mälestiste terviklikkuse säilitamisse ülima hoolsusega.¹ Ka paatina ja tööriistajalg, nn meistri puudutus, moodustavad osa sellest väärtuste kogumist, mille säilitamine, eriti pärandobjektide hooldamisel ja restaureerimisel, tuleb eesmärgiks seada.

Määrduvana näiva pinna puhastamise otsustamisel peab esmalt kaaluma sekkumise vajalikkust ning kättesaadavate puhastusmeetodite valikut, sest kuigi puhastamine võib eemaldada pinnalt saaste, ei pruugi see sealjuures aidata kaasa ajaloolise objekti säilimisele. Vahel on puhastamine tõepoolest vajalik remondi või hooldamise eesmärgil, kuid sageli võib põhjenduseks olla hoopis esteetilise väljanägemise parandamine või alumiste viimistluskihtide esiletoomise soov. Tihti on ka keeruline eristada aja jooksul kogunenud saastekihti materjali loomulikult vananemisel tekkivast paatinast.²

Tänaseks väljatöötatud juhised pärandobjektide puhastamiseks lähtuvad üldjuhul 1964. a Veneetsia hartas sätestatud säilitamise, konserveerimise, hooldamise ja remondi põhimõtetest. Üks peamisi soovitusi on kasutada meetodit, mis oleks võimalikult õrn. Seda mitte üksnes aluspinna kaitsmise, vaid ka paatina säilitamise ning korduva puhastamise võimalikkust silmas pidades. Aluspinna kahjustamine viib suure tõenäosusega edaspidi mustuse kogunemise, niiskuse imendumise ja pinna lagunemise kiirenemiseni.³ Lisaks õrnusele on eelistatud leida meetod, mis sobib ühtviisi kõigile materjalidele, mida hoone ehitusel on kasutatud, sest see teeb puhastusprotsessi kiiremaks ja lihtsamaks.⁴ Samuti on aina enam oluline keskkonnasäästlikkus. Nii ei ole võimalik läbimõeldud lähenemise olulisust üle hinnata.⁵

Puhastusmeetodite väljakujunemisele on suurt mõju avaldanud nii subjektiivne filosoofiline lähenemine kui kohalikud traditsioonid, kuid Euroopa kontekstis on tehnoloogiate areng ajajoonel jälgitav. Esmalt kasutati kuiv- ja märgmenetlusega liivapritsi, millele järgnesid kemikaalid, siis kõrge ja madala survega erinevad pihustusmeetodid, seejärel Façade Gommage® (so Thomann-Hanry väljatöötatud õrnatoimeline kivifassaadide

¹ D. Slaton, K. C. Normandin, *Masonry Cleaning Technologies – Journal of Architectural Conservation* 2005, november, lk 27.

² Sealsamas, lk 8.

³ Sealsamas, lk 7–13.

⁴ C. Kavenagh, Chr. J. Gembinski, *Saint John the Divine – Journal of Architectural Conservation*, 2005, november, lk 82.

⁵ D. Slaton, K. C. Normandin, *Masonry Cleaning Technologies*, lk 27.

märghpuhastussüsteem, kus kasutatakse alumiiniumsilikaadi pihustamist surveseadmest⁶), nn pöördsüsteemid (ingl k *rotation whirl systems*) ja viimasena laserpuhastus. Kuid iga objekti puhul ei pruugi kõik variandid sobida, näiteks vajamineva vee liiga suure koguse tõttu või tekitab meetod palju tolmu. Mõnel juhul on kaitsvate plastik-katete paigaldus, vahel peaaegu õhutihedate telkide ehitamiseni välja, tõstnud tööde hinna liiga kõrgeks.⁷ Osa puhastusaineid on sobimatud neist eralduvate lõhnade või materjale kahjustavate gaaside lendumise tõttu.⁸ Mehaaniline kraapimine, kui kõige lihtsam ja kättesaadavam meetod värvieemalduses, on väga töömahukas.

Efektiivse pinnapuuhastuse eelduseks on selge arusaam puhastatavast materjalist, eemaldatavast ainest ning nende omavahelisest mõjust. Siinjuures tuleb eristada saasteainete ladestust, mis on üleliigne ja ebasoovitatav, ning paatinat, mis on materjalidele omane ja väljendab aja kulgu. Samuti on oluline mõista varasemalt läbiviidud protseduuride mõjusid, kuna see võib mõjutada sobiva meetodi valikut.⁹ Ebasobiva meetodi kasutamine võib lõppeda plekkide, värvimuutuse, söövituse või erosiooniga. Kusjuures aluspinda võib kahjustada nii ühekordne liialt agressiivne kui ka ülemäära sage puhastamine.¹⁰ Üksikasjalikku teavet aluspinna ja akumulunud saaste olemusest annavad analüüsid.¹¹ Samal viisil on võimalik tuvastada pinda katvate viimistluskihtide keemiline koostis.

Viimistluse puhul on määravaks teguriks selle nake aluspinnaga ning osa meetodeid võib viimistluse hoopis lahustada või sulatada (nt aur, keemilised puhastusained) või võib mõni (mikro)abrasiivse puhastuse meediume viimistluselt seda kahjustamata „põrkuda“. Orgaanika kasv hoonetel varieerub taimedest mikrobioloogiliste organismideni, nagu samblikud, vetikad, seened ja bakterid. Selline kattedkiht on sageli esteetiliselt mittesoovitatav ja võib mõnel juhul suurendada aluspinna lagunemist, sest takistab niiskuse väljakuivamist. Puhastusmeetodid, mis eemaldavad saasteained, eemaldavad reeglina ka orgaanilise materjali, kuid kui nad ei sisalda biotsiide, kasvab orgaanika suure tõenäosusega tagasi.¹²

Kindlasti tuleb arvesse võtta meetodi sobivust lähedalasuvate materjalide ja hooneosadega ning keskkonnaga, samuti tööohutust. Valiku protsess peaks hõlmama uurimustööd, laboratoorseid

⁶ Thomann-Hanry. <https://thomann-hanry.co.uk/facade-cleaning-system/> (vaadatud 03. XII 2020).

⁷ M. Stancliffe, I. De Witte, E. De Witte, St Paul's Cathedral – Journal of Architectural Conservation, 2005, november, lk 88.

⁸ C. Kavenagh, Chr. J. Gembinski, Saint John the Divine, lk 82–83.

⁹ N. Ashurst, Introduction – Journal of Architectural Conservation, 2005, november, lk 1–5.

¹⁰ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 13.

¹¹ N. Ashurst, Introduction, lk 5.

¹² D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 23.

ja kohapealseid teste, kaaluda tuleb kulukust tellija jaoks, puhastatava objekti asukohta ja näiteks temperatuurist tulenevaid piiranguid, isegi saavutada soovitava puhtuse taset. Soovitatav on teha proovipuhastus väikesel pinnal ning võimalusel jälgida seda piisava perioodi vältel, et tuvastada ka pikemaajalised mõjud.¹³

Järgnevalt on vaadeldud erinevatel materjalidel kasutatavad enamlevinud puhastusmeetodeid.

1.1 Mehaaniline kraapimine

Mehaaniline kraapimine, sageli kombineerituna soojuskiirguriga või sellest madalama temperatuuriga infrapunambiga kuumutamise, võimaldab puhastada värvikihte puitpindadelt.

Kui värvikiht hakkab kobrutama, saab kaabitsaga värvi eemaldada, kuid tuleb jälgida, et puidu pind ei saaks kõrvetada. Erineva kujuga kaabitsad võimaldavad pääseda ka kitsaste profiilide või dekoori reljeefide süvenditesse. Töömetoodika on liikuda piki puidu suunda, et kiude lahti ei lükkaks, olenevalt kaabitsast saab kasutada nii lükkamis- kui tõmbamisliigutust ning pinna säästmise ja töö sujuvuse huvides on oluline kaabitsat aeg-ajalt teritada.¹⁴ Lateks- ja alküüdvärvi kuumutamisel tuleb kasutada isikukaitsevahendeid ning töötada välitingimustes, sest kuumutamisel eraldub mürgiseid gaase.¹⁵ Õlivärviga kaetud pind aga ei vajagi täielikku värvieemaldust isegi enne ülevärvimist, piisab lahtise värvi maha harjamisest pehmema messingharjaga.¹⁶ Meetod on töömahukas ja aeganõudev.

1.2 Veega puhastamise erinevad viisid

Mustuse eemaldamiseks võib mistahes aluspinna puhul esmalt kaaluda puhastamist vee ja harjaga. See on ilmselt alati kättesaadavam viis, samuti odav, lihtsasti teostatav ja keskkonnasäästlik. Samas kipub selliselt puhastatud pindadele orgaanika kiiresti tagasi kasvama ning suurema saaste eemaldamise katsed ei osutu kuigi tulemuslikeks, viimistlusest rääkimata.

Lihtsamad survepesurid on kaubanduses laialt kättesaadavad ning ei vaja mingit väljaõpet, kõrgsurvepesu on aga eraldi väljatöötatud meetod, mis nõuab eriseadmeid. Survestatud veel on kaks efekti: otsene mõju ehk erosioon, mida saab kontrollida veejõu surve abil ning hüdrauliline

¹³ D. Slaton, K. C. Normandin, *Masonry Cleaning Technologies*, lk 11–14.

¹⁴ Vanade laudpõrandate restaureerimine – Ajakiri Pööning, 2017, <https://www.ajakiripooning.ee/vanade-laudporandate-restaureerimine/> (vaadatud 08. XII 2020).

¹⁵ Välisüks. Ajalugu, parandamine ja värvimine – Muinsuskaitseamet, <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/valisuks-ajalugu-parandamine-ja-varvimine> (vaadatud 08. XII 2020).

¹⁶ K. Jürmann. Laudisvoodri ja ehisdetailide restaureerimine – Ajakiri Pööning, nr 3(12)/sügis 2018, lk 90.

efekt, mille tugevust reguleeritakse veehulga kaudu.¹⁷ Samuti saab valida erineva avasuurusega otsikuid ja kohandada otsiku kaugust puhastatavast pinnast.¹⁸

Märgmenetluste juures peab kindlasti jälgima, et kasutatavas vees ei leiduks lisaaineid, mustust või mineraale, mis võiksid aluspinda kahjustada. Näiteks juba väike kogus rauda võib põhjustada plekkide tekke.¹⁹ Lisaks võivad vee kuivamisel pinnareljeefi jääda jäägid, mis tekitavad taassaastumise.²⁰

Suure hulga vee kasutamine nõuab pärast ka kuivatamist.²¹ Tarbitud vesi tuleb kokku korjata, mis vahel võib osutada küllalt kulukaks. Siiski, eelisena näiteks abrasiivsetes ja keemilistes meetodites kasutatavate ainete ees puudub siin oht töötajatele ning vesi ei muutu peale kasutamist koormuseks keskkonnale (lisatud kemikaalid või eemaldatud osakesed saab välja filtreerida ning vee juhtida kanalisatsiooni).²²

Kui on oht, et objekti tungiv vesi võib seda kahjustada, on alternatiiviks aurupuhastus.²³ Samas nagu eespool öeldud, võib see mõne viimistlusaine hoopis sulatada või lahustada.

Lisaaineteta kõrgsurvepesu võib pehmenendada või lahustada nõrgalt seotud õhusaastet, tolmu, tahma ja teisi ladestusi.²⁴ Sel meetodil on võimalik eemaldada osakesed suurusega isegi vähem kui 1 µm. Puhastusefektiivsuse tõstmiseks võib veele lisada keemilisi aineid või ultrahelilaineid. Kasutatud vee ja lisaainete järeltöötlemise vajaduse tõttu loetakse kuivmenetlusi siiski keskkonnasõbralikumateks ja lihtsamateks.²⁵

1.3 Suruõhk

Üks lihtsamaid ja mugavamaid meetodeid on suruõhuga puhastamine, kuid sellega ei õnnestu eemaldada alla 1 µm läbimõõduga osakesi, sest vaid õhuvoo tekitatud hõõrdejõud ei ole selleks piisav. Samuti ei suuda üksnes suruõhk eemaldada kirmet moodustavaid aineid.²⁶ Väliskeskkonnast arhitektuurile akumuleeruvat saastet ja kasutatavaid viimistlusmaterjale

¹⁷ J. Sembrat, P. Miller, J. Skavdahl, L. Frenzel, Conservation of Historic Metals by Waterjetting Techniques – Journal of Architectural Conservation, 2005, november, lk 124.

¹⁸ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 14.

¹⁹ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 17.

²⁰ Y.-H. Liu, H. Maruyama, S. Matsusaka, Effect of Particle Impact on Surface Cleaning Using Dry Ice Jet – Aerosol Science and Technology, 2011, lk 1519.

²¹ Sealsamas, lk 1519.

²² J. Sembrat, P. Miller, J. Skavdahl, L. Frenzel, Conservation of Historic Metals by Waterjetting Techniques, lk 127.

²³ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 17.

²⁴ Sealsamas, lk 14.

²⁵ Y.-H. Liu, H. Maruyama, S. Matsusaka, Effect of Particle Impact on Surface Cleaning Using Dry Ice Jet, lk 1519.

²⁶ Sealsamas, lk 1519.

arvestades on harvad juhtumid, kus see meetod oleks piisav ning seetõttu siin pikemalt ei peatuta.

1.4 (Mikro)abrasiivsed meetodid

Nii kõrgsurvepesu kui suruõhuga puhastamise efektiivsust saab suurendada lisades voogu abrasiivseid osakesi.²⁷ Need meetodid puhastavad hõõrumise, karestamise või pinna erodeerimise kaudu,²⁸ mistõttu ei sobi kasutamiseks õrnadel aluspindadel.²⁹

Mõnevõrra leebem on kasutada mikroabrasiivseid meetodeid, milles pihustatakse väga väikeseid osakesi (läbimõõduga vähem kui 90 µm) väga madalal survel (tavaliselt vahemikus 25–75 psi³⁰). Meetodite erinevused seisnevad kasutatavas meediumis (so õhuvoogu lisatav aine).³¹

Teaduskatsetes on vaadeldud vesialuselisi polüuretaankäsna,³² kuid selle kasutamise kohta Eestis või lähiriikides ei õnnestunud andmeid leida. Veel kasutatakse liiva, klaasipuru või klaaskuule, kirjanduses nimetatakse ka purustatud maisitõlvikuid ja sarapuupähkli kestadid, mis kõik on tugevasti abrasiivsed.

Levinumatest pehmeimaks peetakse soodapritsi (saadaval nii kuiv- kui märgmenetlusena) – söögisooda ja õhu segu suunatakse suurel survel vastu puhastatavat pinda, mille tulemusena soodatera lõhkeb ning vabanev lööklaine puhastab pinna.³³ Sooda tuleb puhastatavalt materjalilt kindlasti eemaldada, sest tegemist on soolaga, mis võib aluspinda aja jooksul kahjustada. Veega loputamine võib moodustada soodapasta, mida on teatud pindadelt omakorda keeruline eemaldada,³⁴ kuid saab kasutada ka suruõhku.³⁵

Üks tehnoloogia, mille arvamine abrasiivsete meetodite valdkonda võib selle lähemal vaatlemisel olla küsitav, kasutab suruõhku lisatud külmutatud süsihappegaasi ehk kuiva jää osakesi – kui osake tabab aluspinda, põhjustab kineetilise energia ja soojust ülekande osakese aurustumise, mis eemaldab aluspinnalt pinnakatte või saasteained.³⁶ See on Eestis ning

²⁷ Y.-H. Liu, H. Maruyama, S. Matsusaka, Effect of Particle Impact on Surface Cleaning Using Dry Ice Jet, lk 1519.

²⁸ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 18.

²⁹ Y.-H. Liu, H. Maruyama, S. Matsusaka, Effect of Particle Impact on Surface Cleaning Using Dry Ice Jet, lk 1519.

³⁰ 1,7–5,1 baari.

³¹ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 18.

³² Sealsamas, lk 20.

³³ Sodablastservice OÜ, <https://www.sbs-eesti.ee/> (vaadatud 08. XII 2020).

³⁴ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 20.

³⁵ K. Kaevu, OÜ REKA Grupp. Suuline vestlus, 07. I 2021. Märkmed autori valduses.

³⁶ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 20.

maailmas vähemalt puitpindade konserveerimises veel väga vähe kasutatud meetod ning leiab kolmandas peatükis üksikasjalikumat käsitlemist.

Abrasiivsete meetodite üheks peamiseks probleemiks on kasutatava meediumi tööalalt eemale lendumise piiramine. Samuti oleneb efektiivsus suurel määral spetsialisti oskustest saavutada ühtlast tulemust. Muutused pihustusotsiku kauguses puhastatavast aluspinnast ja isegi konkreetsetes käeliigutustes, võivad tingida puhastatud pinnal märgatava visuaalse erinevuse. Kui puhastuspinnad on suured ja siledad, tuleb seda pidada oluliseks riskiks.³⁷ Tegemist on pinda kahjustavate meediumitega, mis seab olulised piirangud alusmaterjalidele, mille puhul neid meetodeid kasutada saab.

1.5 Laserpuhastus

Laser tekitab intensiivse, puhta ja suunatud energiavoo, mida iseloomustavad valguse lainepikkus, sagedus ja energiahulk. Meetodit kasutatakse peamiselt skulptuuride ja monumentide puhastamiseks³⁸ ning see on osutunud sobivaks väga erinevate ainete ja materjalide puhul – saastekoorikut, korrosioonikihte, soovimatuid värvikihte ja teisi jääke on eemaldatud näiteks marmorilt ja muud tüüpi kivipindadelt, pronksilt, alumiiniumilt, terrakotalt, krohvilt ja elevantluult.³⁹

Laserpuhastus on nn puhas meetod – puuduvad ohtlikud kemikaalid ja vaja läheb väga väikest kogust vett (seda pihustatakse protsessi kiirendamiseks aeg-ajalt aluspinnale). Väliskeskkonnas töötades tuleb arvestada peene tolmu, mis kipub ladestuma optilistele seadmetele ja võib neid kahjustada, kui seade ei ole spetsiaalselt välitingimustes töötamiseks arendatud. Kindlasti tuleb tarvitusele võtta ohutusmeetmed nii konservaatori kui ümbritsevate inimeste jaoks, kuna välitöödel kasutatava seadme laserkiir võib olla nii tugev, et loetakse silmadele ohutuks alles mõnesaja meetri kauguselt.⁴⁰

Kuna materjalid neelavad erineva lainepikkusega energiat erineval kiirusel, võib laserpuhastus kahjustada aluspinda. Kahtlemata mõjutab töö kvaliteeti spetsialisti kindel käsi, sest kui seadme otsiku ja aluspinna vahel distantis suureneb, suureneb ka valgusvoo läbimõõt ja väheneb energia kontsentratsioon pinnaühiku kohta.⁴¹ Nii on tihti keeruline saavutada suurtel aladel ühtset

³⁷ C. Kavenagh, Chr. J. Gembinski, Saint John the Divine, lk 84.

³⁸ M. Stancliffe, I. De Witte, E. De Witte, St Paul's Cathedral, lk 88.

³⁹ M. Cooper, Laser Cleaning of Sculpture, Monuments and Architectural Detail – Journal of Architectural Conservation, 2005, lk 106.

⁴⁰ Sealsamas, lk 109–111.

⁴¹ M. Cooper, Laser Cleaning of Sculpture, Monuments and Architectural Detail, lk 105–107.

tulemust⁴² või on töö aeganõudev ja hinna-efektiivsuse suhe kipub jääma madal.⁴³ Samas on puhastusprotsess kontaktivaba ning seadme reguleerimine võimaldab eemaldada soovimatud ained, jättes paatina ja õrnad pinnadetailid puutumata.⁴⁴

Laserpuhastust peetakse pigem nn nišiteenuseks, kuna hind ruutmeetri kohta on tavaliselt kõrgem kui võrreldavatel meetoditel ja seetõttu kasutatakse enamasti üksnes eriti väärtuslike elementide puhastamiseks.⁴⁵

1.6 Keemilised meetodid

Keemilistes meetodites reageerib puhastusaine mustuse või aluspinnaga, et lahustada või eemaldada ladestust ja määrdumist.⁴⁶ Puhastusained on saadaval erinevas vormis (nt vedelik, geel, pasta) ning neid tuleb teatud viisil lahjendada ja peale kanda, samuti varieerub pinnal hoidmise optimaalne aeg. Osa viimistluse eemaldamise meetodeid seisnevad näiteks kompressi kasutamises – eemaldusaine, tavaliselt geeli või pasta kujul, kantakse pinnale ja kaetakse, lastakse mõnda aega mõjuda ning eemaldatakse koos aine ja viimistluse jääkidega.⁴⁷ Üks spetsiifiline meetod tähendab vedela lateksi pihustamist puhastatavale pinnale, kuhu see jäetakse tahenema ning seejärel kooritakse koos sellesse kleepunud mustusega paanidena maha (Arte Mundit® meetod).⁴⁸

Reeglina nõuab keemiliste ainete kasutamine pinna loputamist, mis võib pinnale kantava veehulga tõttu osutuda problemaatiliseks. Lisaks võib see panna liikuma aja jooksul aluspinda ladestunud orgaanilised ained ja soolad.⁴⁹ Pahatihti sisaldavad puhastusained tugevaid leeliseid või happeid, mis on ohtlikud inimestele ja loomadele, võivad kahjustada puhastatavaid materjale või teisi hooneosi, taimi, keskkonda jms. Vajalikuks võivad osutuda spetsiaalsed jäätmekäitluse protseduurid. Enne suurema ala töötlemist tuleb prooviala mitme nädala vältel jälgida, mis teeb selle meetodi ajamahukaks. Tooteohutusnõuetega tutvumine on keemiliste puhastusainetega töötamisel äärmiselt oluline.⁵⁰

⁴² D. Slaton, K. C. Normandin, *Masonry Cleaning Technologies*, lk 20.

⁴³ M. Stancliffe, I. De Witte, E. De Witte, *St Paul's Cathedral*, lk 88.

⁴⁴ M. Cooper, *Laser Cleaning of Sculpture, Monuments and Architectural Detail*, lk 108.

⁴⁵ Sealsamas, lk 113.

⁴⁶ D. Slaton, K. C. Normandin, *Masonry Cleaning Technologies*, lk 20–21.

⁴⁷ D. Slaton, K. C. Normandin, *Masonry Cleaning Technologies*, lk 21–24.

⁴⁸ C. Kavenagh, Chr. J. Gembinski, *Saint John the Divine*, lk 84.

⁴⁹ Sealsamas, lk 83.

⁵⁰ D. Slaton, K. C. Normandin, *Masonry Cleaning Technologies*, lk 20–24.

2. Puidu puhastamise meetodid

Olmemustuse eemaldamise tavapäraseid meetodeid on (surve)pesu, millele vahel lisatakse puhastusainet. Õlivärviga värvitud materjali puhastamiseks soovitatakse kasutada vedela männiseebi lahust eelnevalt niisutatud pinnal või pesta 3–5% soodalahusega ning loputada puhta sooja veega. Samuti sobib neutraalse reaktsiooniga pesuvahendi lahja lahus.⁵¹ Lateksvärvile toimivad leeliselised ja neutraalsed vahendid, silikaat-, kahekomponentsetele, epoksüüd-, polüuretaan jm värvidele leeliselised ning sisetöödel kasutatavate värvide (näiteks tempera ja liimvärv) jaoks neutraalsed pesuvahendid.⁵² Selline pehme pesu ei kahjusta viimistlust ning võimaldab värvitud, lakitud või muul viisil kaetud pinda kogunenud saastest puhastada.

Värvi eemaldamiseks kasutatakse vahel lihvimist, kuid see kahjustab pinda ning seetõttu ei ole sobiv kultuuriväärtuslike objektide puhul. Väiksemaid või keeruka kujuga elemente tuleb lihvida käsitsi, suuri pindasid saab töödelda ketaslõikurile kinnitatud lihvkettaga, põrandaid spetsiaalse lihvimismasinaga. Võimalik on valida erineva kõvaduse ja karedusega lihvpabereid. Õlivärvi lihvimisel tuleb arvestada, et töömaterjalide kulu on suur, sest värv nõ sulab lihvpaberi külge ning seda tuleb tihti vahetada.⁵³

Viimistluse või tihkema saaste eemaldamiseks eelistatakse sageli soodapuhastust, millega on võimalik eemaldada nii värv, lubi, krohv, tahm kui tapeet.⁵⁴ Soodapritsiiga on Eestis lubatud puhastada ka kultuurimälestiseks tunnistatud hooneid,⁵⁵ kuid osa ajalooliste hoonete restaureerimisega tegelevaid spetsialiste hindab seda siiski liiga lõhkuvaks.⁵⁶ Näiteks on oht, et sarikapalgi puhastamisel soodapritsiiga kaob iseloomulik kirvejalg ning alles jääb lihtsalt ebatasane pind.

⁵¹ Linaõlivärvi kasutamine puitpindadel – Muinsuskaitseamet, <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/linaolivarvi-kasutamine-puitpindadel> (vaadatud 08. XII 2020).

⁵² Nõuanded ja juhendid. Välistööde juhendid. Puitpinnad. Nõuandeid värvitud pindade puhastamiseks – Karl Bilder, <http://www.varvikeskus.ee/varvikeskus/NOUANDED/NOUANDEDJUHENDID/valistood/puitpinnad/puhastamisenouanded/> (vaadatud 08. XII 2020).

⁵³ Vanade laudpõrandate restaureerimine – Ajakiri Pööning, 2017, <https://www.ajakiripooning.ee/vanade-laudporandate-restaureerimine/> (vaadatud 08. XII 2020).

⁵⁴ Sodablast OÜ, <https://www.soodaprits.ee/puit-ja-palk/> (vaadatud 08. XII 2020).

⁵⁵ Soodahai OÜ, <https://www.soodahai.ee/puitpindade-puhastamine/> (vaadatud 08. XII 2020).

⁵⁶ K. Jürmann. Laudisvoodri ja ehisdetailide restaureerimine, lk 90.

Kultuurimälestiste kontekstis kõige sobivamaks peetav, just puitpindadele spetsiifiline värvieemalduse võte on mehaaniline kaapimine koos eelneva kuumutamisega, millest oli juttu alapunktis 1.1. Tõsi, see on töömahukas ja aeganõudev.

Veel ühe võimalusena on kaubanduses saadaval hulk erinevaid värvieemaldajaid. Õlivärvi jaoks kasutatakse aluselist, lateks- ja alküüdvärviga kaetud pinnal lahustipõhist vahendit ning pärast tuleb pind pesta sooja seebiveega ning hoolikalt loputada.⁵⁷ Tuleb arvestada, et kemikaalide efektiivsus varieerub ning seetõttu võib meetod osutada ajamahukaks ja ebapiisavaks.⁵⁸ Samuti on tegemist keskkonnaohtlike ainetega ning esineb arvestatav risk, et puidupooridesse imunud kemikaal hakkab pikapeale mõjutama ka uut värvikihti.⁵⁹

Laiendamaks õrna aluspinna hooldamise valikuid on seega põhjust uurida meetodeid, mis siiani on olnud pigem kasutusel teistes valdkondades. Järgmises peatükis tutvustatakse kuivjääpritsi tehnoloogiat, eeliseid ja riske.

⁵⁷ Välisuks. Ajalugu, parandamine ja värvimine – Muinsuskaitseamet, <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/valisuks-ajalugu-parandamine-ja-varvimine> (vaadatud 08. XII 2020).

⁵⁸ Vanade laudpõrandate restaureerimine – Ajakiri Pööning, 2017, <https://www.ajakiripooning.ee/vanade-laudporandate-restaureerimine/> (vaadatud 08. XII 2020).

⁵⁹ Nõuanded ja juhendid. Välistööde juhendid. Puitpinnad. Nõuandeid värvitud pindade puhastamiseks – Karl Bilder, <http://www.varvikeskus.ee/varvikeskus/NOUANDED/NOUANDEDJUHENDID/valistood/puitpinnad/puhastamisenuanded/> (vaadatud 08. XII 2020).

3. Kuivjäähpuhastus

3.1 Toimemehhanism

Pindade kuiva jääga puhastamise toimemehhanisme on uurinud väga mitmed teadlased ning käesolevas töös on füüsikalist protsessi tutvustatud üksnes põgusalt. Juba 1986. aastal esitles Hoenig andmeid osakeste ja orgaanika eemaldamise kohta kuiva jää abil ning Whitlock viis kolm aastat hiljem läbi esimesed laboratoorsed mõõtmised, mis näitasid kuni 1 µm suuruste osakeste eemaldamise efektiivsust.⁶⁰ Aastatel 1990–1991 Sherman'i ja Whitlock'i läbiviidud katsed kinnitasid head tulemust ka kirmet moodustavate orgaaniliste ainete eemaldamisel.⁶¹ 1994. aastal näitas Sherman puhastustulemusi mikroskoobiga tehtud „enne ja pärast“ piltide abil. Hills on 1994.–1995. aastal kirjutanud, kuidas sublimeerimine võimaldab eemaldada aluspinnalt orgaanikat ning milline on kuivjäähpritsi toimemehhanism madalal kiirusel. Jacobs (1996. a), van der Donck ja teised (2006) testisid erinevate puhastusotsikute võimekust alla 1 µm osakeste eemaldamisel.⁶² 1999. aastal sõnastasid Jackson ja Carver kuiva jää kasutamise puhastava toime mitmed võimalikud mehhanismid.⁶³ Aluspinna ja kuiva jää osakese kokkupuutel tekkivaid füüsikalisi jõude on uurinud Kousaka (1980), Wang (1990), Tsai (1991), Matsusaka ja Masuda (1996. a), Adhiwidjaja (2000), Theerachaisupakji (2003), Toscano ja Ahmadi (2003) ja Banerjee ja Campbell (2005). Temperatuuri mõju puhastusefektiivsusele on analüüsinud Liu (2010).⁶⁴

Kuivjäähpuhastust peetakse peamiselt füüsikaliseks, mitte abrasiivseks puhastusmeetodiks.⁶⁵ Meediumina kasutatakse kõrgsurve all kokku pressitud veeldatud süsinikdioksiidi ehk kuiva jää osakesi, mis pihustatakse suruõhu abil vastu aluspinda.⁶⁶ Kasutatav süsihappegaas on ammoniaagi või etanooli tootmise ning õli või gaasi rafineerimise kõrvalsaadus.⁶⁷ See menetlus ei ole mõeldud asendamaks liivapritsi, happega söövitamist ega teisi tugevaid

⁶⁰ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning – Particulate Science and Technology, 2007, lk 42.

⁶¹ Y.-H. Liu, H. Maruyama, S. Matsusaka, Effect of Particle Impact on Surface Cleaning Using Dry Ice Jet, lk 1520.

⁶² R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 40–44.

⁶³ Y.-H. Liu, D. Hiram, S. Matsusaka, Particle removal process during application of impinging dry ice jet – Powder Technology, 2011, lk 608.

⁶⁴ Y.-H. Liu, H. Maruyama, S. Matsusaka, Effect of Particle Impact on Surface Cleaning Using Dry Ice Jet, lk 1520.

⁶⁵ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 42.

⁶⁶ Sealsamas, lk 37.

⁶⁷ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application – Wear, 1999, lk 402.

puhastustehnikaid,⁶⁸ vaid tegemist on kõige optimaalsema pehme meediumiga.⁶⁹ Pelletite tugevus on võrreldav kipsiga ($\text{CaSO}_4\text{--}2(\text{H}_2\text{O})$) või kaltsiumkarbonaadiga (CaCO_3).⁷⁰ Samas, kui peaks vaja olema pisut jõulisemat puhastust, on osale seadmetele võimalik monteerida lisaseade, mis võimaldab kuivjää graanulite hulka segada soovikohast abrasiivset meediumi.⁷¹

Välja on arendatud neli erinevat CO_2 -ga puhastamise meetodikat:

- makroskoopilised pelletid, mis pihustatakse pinnale ning puhastamine toimub termilis-mehaanilise toime abil;
- vedel ja superkriitiline⁷² CO_2 on kooskasutatavad menetlused, mis baseeruvad süsinikdioksiidi lahustavatel omadustel;
- peenema fraktsiooniga CO_2 lumi.⁷³

Pelletite pörkumisel tekib termiline energia, mis põhjustab aluspinna jahtumise. Nii väheneb materjali elastsus, pinnale kinnitunud kiht muutub hapramaks ja tõmbub pragunedes kokku. Kuna kattekiht ja aluspind reageerivad temperatuuri muutusele erinevalt, siis side nende vahel nõrgeneb, mis võimaldabki kattekihil irduda. Arvestada tuleb, et pikema tööaja korral temperatuurierinevus väheneb, mis vähendab puhastuskiirust. Lisaks soodustab kihtide eemaldamist pelletite kineetiline energia ja õhuvoog.⁷⁴ Aluspinnaga ristisuunaline voog loob vasaraefekti, mis tabab kokkupuutepinda suurema kineetilise energiaga, kuivõrd väiksemad pihustusnurgad tähendavad suuremat abrasiivset mõju. Seda asjaolu tuleb arvestada paksemate kihtide eemaldamisel, et saavutada piisav jahtumine, kahanemine ja pragunemine.⁷⁵

Tugevate aluspindade puhul on võimalik kasutada suurema fraktsiooniga meediumi, kuid õrnemal puitmaterjalil on sobiv peenem CO_2 lumi.⁷⁶ Väiksemate ja vähemtihedate lume- või jääosakeste pihustamine eemaldab tahked osakesed impulssülekande teel (aluspinnaga kokkupõrge kannab impulsi kuiva jää osakeselt üle saasteaine osakesele, seeläbi ületades jõud, mis hoiavad seda aluspinna küljes) ja orgaanilised ained lahustades.⁷⁷

⁶⁸ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 42.

⁶⁹ Y.-H. Liu, D. HIRAMA, S. MATSUSAKA, Particle removal process during application of impinging dry ice jet, lk 607.

⁷⁰ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application, lk 402.

⁷¹ K. Kaevu, OÜ REKA Grupp. Suuline vestlus, 07. I 2021. Märkmed autori valduses.

⁷² CO_2 vedela oleku staadium, kus ainel on nii vedeliku kui gaasi omadused.

⁷³ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 37.

⁷⁴ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application, lk 404–405.

⁷⁵ Sealsamas, lk 408.

⁷⁶ H. Häyhä, Helsinki Metropolia rakenduskõrgkooli lektor, konservator. Kirjalik vestlus, 11. XII 2020. Märkmed autori valduses.

⁷⁷ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 39.

3.2 Puhastuse efektiivsus

Puhastusefektiivsust mõjutavad väga mitmed tegurid. Pelletite puhul tuleb silmas pidada nende tihedust, tugevust, pinnastruktuuri, kuju, süsihappegaasi sisaldust ja mõõtmeid. Meediumi ja aluspinna kokkupuutel tekkivaid jõudusid ja seeläbi tulemust mõjutavad ka seadmete eripärad, nagu vooliku pikkus, läbimõõt, karedus ja paiknemine või otsiku tüüp ja mõõdud ning tööprotsessi kriteeriumid, näiteks õhurõhk, suruõhuvoo hulk, niiskustase ja temperatuur, pelletite hulk õhuvoos, töökaugus aluspinnast ning otsiku nurk aluspinna suhtes.⁷⁸

1989. aastal on läbi viidud uuring (Whitlock), mille tulemused kinnitasid kuiva jääga puhastusmeetodi kuni 99,9%-list efektiivsust (toorikkristallile pihustati kuni 1 µm suuruste osadega aerosool, loendati pinnale langenud osakesed ja määrati suurused, siis puhastati kristalli CO₂ lumega, misjärel uuesti loendati ja määrati suurused – suurematest kui 0,1 µm osakestest õnnestus eemaldada 99,9%) ning hiljem (Jacobs 1997, van der Donck 2006) on leitud, et olenevalt seadme otsikust, on võimalik eemaldada isegi 0,03 µm osakesi. Aastakümnete jooksul on arendatud seadmeid, mida on võimalik igati seadistada ja reguleerida.⁷⁹ Seega on kuivjääpritsi tehnoloogial väga suur kasutuspotentsiaal.

3.3 Eelised ja riskid

Meetodi eeliseks on kasutatav meedium, süsinikdioksiid, mis võimaldab töötada kiiresti, õrnalt ja keskkonnale ohutult. Süsinikdioksiid ei ole mürgine, tuleohtlik ega osoonikihti kahjustav ning kujutab inimesele vaid väikest ohtu, välja arvatud kõrge kontsentratsiooni korral sissehingatavas õhus ja nahaga kokkupuutel külmakahjustuse näol. Puhastusprotsess võimaldab pinnalt eemaldatud saasteained ümbritsevast õhust välja ventileerida või kokku korjata ning on jääkainevaba ja mittelõhkuv.⁸⁰ Võib isegi öelda, et kuivjää kasutamine mõjub desinfitseerimisena ning kaotab lõhnu, sest eemaldab pinnalt pea kõik bakterid.⁸¹

Pärandobjektide hooldamise ja restaureerimise meetodi valiku olulisemaid küsimusi on, kuidas säästa aluspinda, ajaloolist säilitusväärtusega materjali. Tuleb mõõnda, et kuivjääga puhastuses on olemas teatud piirangud, mis on peamiselt seotud termilise šoki, mehaanilise tugevuse ja faasimuutustega, kuid need esinevad väga harva. Optilise ega elektronmikroskoopia abil ei ole ka suurtel suurendustel leitud kahjustusi valdaval osal aluspindadest. Kasutamine on olnud

⁷⁸ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application, lk 402–405.

⁷⁹ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 42, 44–45.

⁸⁰ Sealsamas, lk 37.

⁸¹ Kuivajääpuhallus. Desinfioi ja poistaa hajut – Dry Ice Finland OY, <https://www.dryice.fi/kuivajaa puhallus/> (vaadatud 15. XII 2020).

edukas isegi peenikeste painduvate objektide puhul, nagu fiiberoptika⁸² ja CO₂-ga puhastatakse pinnaanalüüsi, skaneeriva elektronmikroskoobi ja optilise spektroskoopia uuringuseadmeid.⁸³

Probleeme võib esineda pehmetel materjalidel, nagu kuld, mille puhul on võimalik näha aatomite ümberpaigutumist.⁸⁴ Ettevaatlik peab olema kipsi sisaldavate detailide, näiteks arhitektuuri dekoorielementide puhastamisel, kuna on leitud, et mõnel juhul on aluspind saanud kahjustada.⁸⁵ Pehmema puidu korral võivad suurema fraktsiooniga graanulid olla mõnevõrra lõhkuvad.⁸⁶

Arhitektuuri puhastamise kontekstis võib riske lugeda madalateks ja enamjaolt maandatavateks. Kuna kuiv jää on pehmem kui teised kasutusel olevad tahked meediumid, on võimalik protsessi parameetreid seadistada vastavalt materjalile selliselt, et objekti aluspinnale ja sisestruktuurile ei teki kahjustusi, kuid pinda kattev saastus saab täielikult eemaldatud.⁸⁷ Kui tegemist on õrnade esemete või pindade puhastusega, on eelkõige meediumi pihustuskiiruse reguleerimine oluline.⁸⁸

Ainukesed jääkained, mis protsessis tekivad, on eemaldatud mustuseosakesed. Pihustatav CO₂ aurustub kokkupuutel aluspinnaga nii, et järelkoristuse kulud ja tekkivad keskkonnakahjud on minimeeritud. See sublimeerumine tähendab ühtlasi, et puhastatud objekti pooridesse ja õnarustesse ei jää mingeid sekundaarseid jääke ning nii ei ole vajadust täiendava puhastuse või kuivatamise järele. Võrreldes liivapritsi kasutamisega võib aja kokkuhoid olla isegi kuni 75%, olenevalt puhastatavast objektist.⁸⁹

Meetodi suuremad riskid on niiskuse kondenseerumine ning eemaldatud osakeste kandumine kõrval olevatele puhastele pindadele (taassaastumine). Samuti, liikuv gaasis toimuv ioniseerumine võib tekitada staatilist elektrit, mistõttu tuleb vahel objekt maandada.⁹⁰ Hoonete puhul ei ole välitingimustes töötamisel staatiline elekter ja kondenseerumine märkimisväärseks ohuks, kuid kui arhitektuurilt on võimalik või vajalik puhastustööde läbiviimiseks elemente eemaldada või puhastades hoone interjööri, tuleb leida võimalused riskide maandamiseks.

⁸² R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 37.

⁸³ Sealsamas, lk 50–51.

⁸⁴ Sealsamas, lk 49–50.

⁸⁵ Optimum Dry Ice Blasting – Here's How It Works, 18. III 2014, <https://www.youtube.com/watch?v=X4tWQLvXeSE> (vaadatud 09. XII 2020).

⁸⁶ K. Kaevu, OÜ REKA Grupp. Suuline vestlus, 07. I 2021. Märkmed autori valduses.

⁸⁷ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application, lk 404.

⁸⁸ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 55.

⁸⁹ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application, lk 402–403.

⁹⁰ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 45–49.

Niiskuse kondenseerumise vältimiseks on võimalik kasutada infrapunalampe või kuumaõhupuhurit ja irddetaile puhastatakse kuumal plaadil. Väiksemate esemete korral saab kasutada kuivatuskambrit, kus objekt asetatakse suletud ruumi ning seal luuakse madal kastepunkt nii, et kondenseerumist ei toimu.⁹¹

Taassaastumise vältimiseks ei tohiks puhastustöid läbi viia kitsal alal, tööpaiga lähedal ei tohiks olla ühtegi objekti, sh seadmeid, mille vastu mustuseosakesi sisaldav voog saaks põrkuda. Samuti on puhastusprotsessi meetodika oluline, kindlustamaks, et voog ei puuduta juba puhastatud pinda – liikuma peab puhtalt alalt määrdunu poole. CO₂ puhastuse käigus õhku paisatud osake on võimalik kinni püüda HEPA filtriga ventilatsioonis.⁹²

Konserveerimisspetsiifiliselt tuleb arvestada, et tavapärase teenusepakkuja on pigem harjunud töötama tugevate ja suurte pindadega ning ei pruugi aduda ajaloolise materjali haprust, mistõttu tuleb teha järjepidevat selgitustööd ja järelevalvet. Seadme otsikut ei tohi liiga pikaks ajaks suunata samale alale ning seadmega töötamise suund ja järjekord tuleb enne hoolikalt läbi mõelda.⁹³

Tööohutuse seisukohalt, kuna hermeetiliselt tihendamata pihustusseadmete kasutamisel on mõõdetud helitugevuseks kuni 125 dB(A), tuleks kasutusele võtta vastavad kaitsemeetmed ning eelistada hermeetiliselt tihendatud seadmeid. Samuti tuleb jälgida CO₂ kontsentratsiooni tööala ümbritsevas õhus.⁹⁴ Tööde teostaja võib kasutada kaitseriietust ja sooje kindaid, kindlasti peavad olema kaitseprillid ning siseruumis ka hapnikuvoolikuga mask.⁹⁵

Mälestiste restaureerimisel on kuivjääpritsi peamine konkurent soodapritsi. Kuna puhastusteenuse hind sõltub pinna suurusest, omadustest ja saavutada soovtavast tulemusest, on vähe teenusepakkujaid, kelle hinnakirjad oleksid avalikud ning neilgi on üsna suured erinevused. Soodapritsi kasutamine (sh pindade katmine, materjalikulu ja järelkoristus) võib ühel ettevõttel maksta alates 75 €/h või 5 €/m².⁹⁶ Teisel on soodapritsiga puitmaja puhastamise ligikaudseks hinnaks märgitud 7–10 €/m², sealjuures puitpinna puhastamine (alla 100 m²) 90–100 €/h või alates 10 €/m² (jõudlus 8–12 m²/h).⁹⁷

⁹¹ R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning, lk 46–47.

⁹² Sealsamas, lk 47–54.

⁹³ H. Häyhä, Helsinki Metropolia rakenduskõrgkooli lektor, konservaatore. Kirjalik vestlus, 11. XII 2020. Märkmed autori valduses.

⁹⁴ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application, lk 403.

⁹⁵ K. Kaevu, OÜ REKA Grupp. Suuline vestlus, 07. I 2021. Märkmed autori valduses.

⁹⁶ Airsmile OÜ, <https://soodapritsi.airsmile.ee/index.html#pricing-tables3-3d> (vaadatud 15. XII 2020).

⁹⁷ SodaBlastBaltic OÜ, <http://www.sbb.ee/hinnad/> (vaadatud 15. XII 2020).

Kuivjääpritsiga puhastusteenuste pakkujaid õnnestus leida Eestis kolm: OÜ REKA Grupp Tamsalus, OÜ Pinnad-Puhtaks Viljandimaal ning Kuivjäa OÜ Pärnus. Esimene neist on Belgias valmistatud Cryonomic seadmete ametlik edasimüüja⁹⁸ ning nimetab ligikaudseks hinnaks 100 €/h (materjalikulu 25 kg/h).⁹⁹ Teise hinnad on vahemikus 8–15 €/m² või keskmiselt 105 €/h.¹⁰⁰ Võrdluseks – Soomes jäävad teenuse hinnad suurusjärku 7–25 €/m²¹⁰¹, Kärcheri seadme rendihinnad 280 €/päev (sh kompressor), jää kilohind on 1,50 €/kg ning kulu enamasti 40–100 kg/h.¹⁰²

Erinevate survetehnoloogiate hindade võrdlemisel tuleb märgata, et kuivjäepuhastuse korral on ettevalmistavate tööde ja järelkoristuse maht, seega ka tööajakulu, oluliselt väiksem, kui abrasiivmeediumite korral. Sellises võrdluses ja eeliseid kaaludes ei peaks kuivjääpritsi ennatlikult ülemäära kulukaks pidama.

3.4 Senised kasutusvaldkonnad

Kuivjääprits on seni peamiselt kasutust leidnud metallide puhastamisel¹⁰³ ja vaikude, lakkide, liimide, õlide, rasvade, bituumeni ja tihendusainete eemaldamiseks.¹⁰⁴ Samas on sel meetodil puhastatud ka õrnu pindu, nagu tahmakahjustusi raamatutelt ning näiteks Park City hõbedakaevandusest leitud 19. sajandist pärinevaid kaarte, fotosid, raamatuid ja dokumente.¹⁰⁵ Kõige levinumalt rakendatakse meetodit, sh Eestis, toiduainetetööstuse tootmisliinide ja trükipresside puhastamiseks ning värvi eemaldamiseks autoremonditöökodades, kuid kuna seadmed võimaldavad suurt reguleerimisskoopi ning erineva fraktsiooniga meediumi kasutamist, on kuivjääpritsi kasutuspotentsiaal tunduvalt laiem. Näiteks Soomes on viimastel aastatel sel viisil puitpindade puhastamiseks tellimuste hulk kolmekordistunud.¹⁰⁶

Silmas pidades puitmaterjali restaureerimise võimaluste avardamist, on kuiva jääga puhastamine end tõestanud põlengujärgselt tahma ja söestunud materjali eemaldamisel¹⁰⁷ ning see sobib hästi ka raskesti ligipääsetavate õnaruste nagu kitsaste profiilide ja voolitud

⁹⁸ OÜ REKA Grupp, <https://www.rekagrupp.ee/seadmed> (vaadatud 07. I 2021).

⁹⁹ K. Kaevu, OÜ REKA Grupp. Suuline vestlus, 07. I 2021. Märkmed autori valduses.

¹⁰⁰ G. Kähr, A. Hansen, OÜ Pinnad-Puhtaks. Suuline vestlus 11. III 2021. Märkmed autori valduses.

¹⁰¹ D. Lavento, Kuivjäepuhallus on nopea tapa puhdistaa hirsipintaa, 30. I 2020 – Rakennusmaailma, <https://rakennusmaailma.fi/kuivajaapuhallus-on-nopea-tapa-puhdistaa-hirsipintaa/> (vaadatud 20. V 2021).

¹⁰² KLV-Palvelu OY. Kuivjäepuhallus, <https://klvpalvelu.fi/kuivajaapuhallus-2> (vaadatud 20. V 2021).

¹⁰³ D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies, lk 20.

¹⁰⁴ G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application, lk 403.

¹⁰⁵ Dry Ice Blasting Smoke Damaged Books, 29. VII 2007, <https://www.youtube.com/watch?v=A-Gy4I8jSHE> (vaadatud 09. XII 2020).

¹⁰⁶ D. Lavento, Kuivjäepuhallus on nopea tapa puhdistaa hirsipintaa, 30. I 2020 – Rakennusmaailma, <https://rakennusmaailma.fi/kuivajaapuhallus-on-nopea-tapa-puhdistaa-hirsipintaa/> (vaadatud 20. V 2021).

¹⁰⁷ Videos on näha ka füüsikalise protsessi lihtsustatud animatsioon. Cold Jet Dry Ice Blasting – Fire Restoration (2018!), 07. X 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=BGBnTzu5F5M> (vaadatud 09. XII 2020).

puidetailide puhastamiseks vanast viimistlusest.¹⁰⁸ Kuivjääpritsi desinfitseerivaid omadusi on kasutatud puitkonstruktsioonidelt hallituse eemaldamisel,¹⁰⁹ sealhulgas Eestis.¹¹⁰

Restaureerimisvaldkonnas on kuiva jää abil puhastatud näiteks Prahas asuvat Karli silda, kus aluspinna materjalideks on liivakivi ja krohv,¹¹¹ rahvuslikuks ajalooliseks maamärgiks peetavat Split Rock'i tuletorni Minnesotas ning Philadelphia Kunstimuuseumi hoone fassaadi.¹¹²

Konserveerimiseks on Eestis kuivjääpritsi kasutatud teadaolevalt vaid ühel korral – Eesti Meremuuseumi eksponaadi, 2015. aastal Kardiorust leitud keskaegse puidust koge vraki puhastamisel. Alternatiivseid pritsimeetodeid hinnati seal ebasobivaiks liigse abrasiivsuse või suure hulga vee kasutamise tõttu – aeglaselt kuivatatud vana materjali uuesti märjakstegemine ei olnud aktsepteeritav. Esialgne materjaliuuring näitas, et tegemist on erakordselt hästi säilinud tugeva tammeplanguga, kuigi see oli rohkelt kaetud erineva mustuse ja raskesti eemalduvate roosteplekkidega. Proovipuhastus tehti irdsel keredetailil, et veenduda pinna vastupidavuses. Töid juhtinud konservaatori soovitusel alustati väga madalast survetugevusest, reguleerides seda vajadusel aegamööda tugevamaks.¹¹³ Tavapärasele 3mm graanulitele tuleb puidu puhastamisel eelistada väiksemafraktsioonilist CO₂ lund.¹¹⁴

¹⁰⁸ Wood Restoration Complitaion – Dry Ice Blasting, 09. X 2019, <https://www.youtube.com/watch?v=dtXgijhs8xk> (vaadatud 09. XII 2020); Dry ice paint stripping from wooden furniture, 10. XII 2010, <https://www.youtube.com/watch?v=bWy48Wjiq4g> (vaadatud 09. XII 2020).

¹⁰⁹ Mold Removal Process using Dry Ice Blasting – Adrian Environmental, 29. V 2012, <https://www.youtube.com/watch?v=Dw-D7ozmSLc> (vaadatud 09. XII 2020).

¹¹⁰ Pinnad puhtaks kuivjääga – TM kodu & ehitus, <https://kodus.ee/artikkel/pinnad-puhtaks-kuivjaaga> (vaadatud 15. XII 2020).

¹¹¹ Restoring the Charles Bridge (Prague) with Dry Ice, 04. X 2007, <https://www.youtube.com/watch?v=oqbTBk6ggRk> (vaadatud 09. XII 2020).

¹¹² Dry Ice Blasting for Contractors, 21. X 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=SGIY9LmUlmU> (vaadatud 09. XII 2020).

¹¹³ H. Häyhä, Helsinki Metropolia rakenduskõrgkooli lektor, konservaator. Kirjalik vestlus, 11. XII 2020. Märkmed autori valduses.

¹¹⁴ Sealsamas; K. Kaevu, OÜ REKA Grupp. Suuline vestlus, 07. I 2021. Märkmed autori valduses.

4. Puhastuskatsed ja uuringud

4.1 Ettevalmistus

Selgitamaks välja kuivjääpritsiga töötlemise mõju puitpinnale, viidi 2021. aasta kevadel läbi puhastuskatsed. Järelduste tegemist toetasid materjaliuuringud sarikapalgiks kasutatud puidu liigimääramisel, värvikihtide arvu ja koostise tuvastamisel ning pinnatöötamise mõju uuringud.

Töödeldavaks materjaliks oli puit kolmel erineval kujul:

- kirvejäljega sarikapalk,
- mitme värvikihiga kaetud profileeritud aknakarniis ning
- mitme värvikihiga kaetud puitpits.

Katseobjektid võimaldas OÜ Säästvad Ehituslahendused ning kõigi kolme objekti puhul oli tegemist Eestis asuvatelt vanadelt hoonetelt kogutud elementidega. Võrreldes üksnes katse tarbeks ettevalmistatud puiduga on võimalik nii luua kõige lähedasem olukord imiteerimaks pärandobjekti restaureerimist – saab vaadelda viimistlusi, mida hoonetel läbi aja kasutatud on ning nende vananemisel tekkivaid muutusi ja omavahelist mõju.

Uurimisküsimused olid püstitatud objektist sõltuvalt järgmised:

1. sarikapalk – kas kuivjääpritsiga töötlemine võimaldab alles jätta kirvejäljele iseloomuliku reljeefi;
2. aknakarniis – kas kuivjääpuhastuse abil on võimalik eemaldada viimistlust kihthaaval nii, et alumine, vanem, viimistluskiht jääb terveks;
3. puitpits – kas kuivjääpuhastus võimaldab ligipääsu ka kitsastele õnarustele ja peenikestele profiilidele.

Kõikide objektide töötlemise analüüsi peamiseks eesmärgiks on tuvastada võimalik pinnakahjustuste tekkimine kuivjääpuhastuse tagajärjel.

4.2 Materjaliuuringud

Algavas alapeatükis kirjeldatud uuringud viidi läbi Tallinna Tehnikaülikoolis.

Erinevatel puitudel on erinevad tugevusomadused, seetõttu tuvastati sarikapalgiks kasutatud puidu liik. Eriti just kaitsva viimistluseta kasutatava palgi puhul on pinnapuhasust teostades pinnastruktuuri säästmine oluline. Samuti oli vajalik määrata karniisi ja puitpitsi katvate värvikihtide arv ja pealmiste kihtide värvitüüp. Värvide koostise tuvastamine aitab juba enne puhastusega alustamist analüüsida värvikihtide naket ning teha järeldusi selle kohta, milliseid

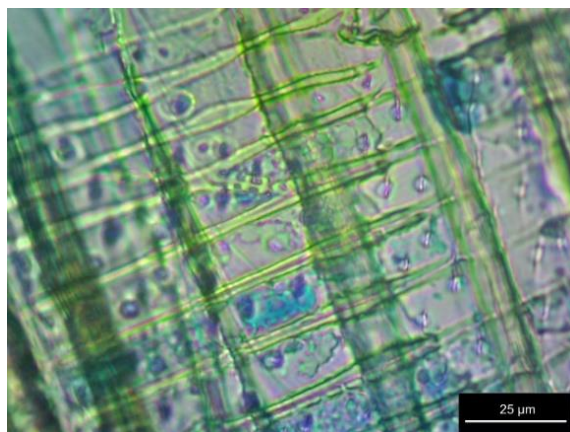
värvikihte võib kuivjääpuhastuse meetodil olla võimalik eemaldada aluspinda kahjustamata või lausa kihiti ja milliste puhul ei ole see tõenäoline. Kindlasti saab nakketugevuse tuvastada ka sondaažiga, kuid see lõhub objekti pinda enam kui väikese värviproovi võtmine ning ei pruugi iga kord olla võimalik.

Sarikapalgiks kasutatud puidu liigi määramiseks võeti palgist puiduproov, mis lõhestati radiaalselt, et paljastada säsiikiired – puidu liigi tuvastamiseks kasutatakse trahheiidide¹¹⁵ ja säsiikiirte¹¹⁶ pooride kuju ja välimuse võrdlust. Radiaallõike küljelt eemaldati žiletiga õhukesed laastud, mis asetati mikroskoobi alusklaasile, värviti värvainega (ill 1), kaeti katteklaasiga ning vaadeldi valgusmikroskoobiga (Jenaval; ill 2).

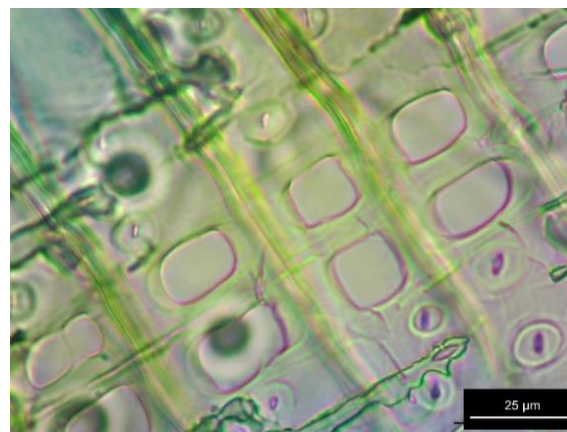
Tulemust võrreldi Eestis levinuimalt ehituspuiduna kasutatava hariliku männi (*Pinus sylvestris*) prooviga (ill 3) ning nn kiudude kataloogi¹¹⁷ jooniste ja kirjeldustega (Lisa). Uuringu tulemusena ilmnis, et sarikapalgi näol on tegemist *Picea abies* ehk hariliku kuusega.



1: Puiduproovilt lõigatud õhukesed laastud värvainega mikroskoobi alusklaasil.



2: *Picea abies*. Valgusmikroskoop.



3: *Pinus sylvestris*. Valgusmikroskoop.

Karniisi ja puitpitsi katvaid värvikihte uuriti infrapunaspiktromeetria (FTIR) meetodil (Bruker Alpha). Uuritavalt objektilt eemaldati killuke värvi, püüdes piirduda ühe kihi paksusega. FTIR

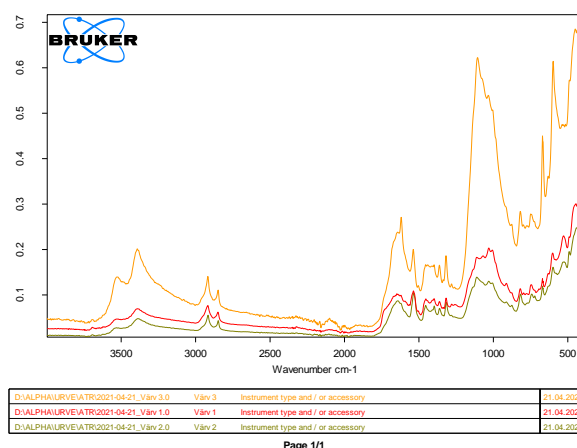
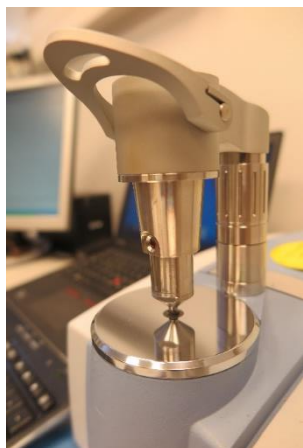
¹¹⁵ Piklikud, otsast teravnevad, tüve suhtes püstised puidurakud, mida mööda liigub vesi ning mis salvestavad toitained.

¹¹⁶ Õhukeseseinaliste parenhüüm-rakkudega ümbritsetud suhteliselt lühikestest säsitrahheiididest koosnevad radiaalsed kanalid puidus, mille kaudu liiguvad toitained ja gaasid niinest säsi poole.

¹¹⁷ IAWA List of Microscopic Features of Softwood Identification. Eds. H. G. Richter, D. Grosser, I. Heinz, P. E. Gasson. 2004, IAWA Journal 25 (1).

seadme „nõela“ alla paigutati värviproov, uuritav pind allapoole (ill 4). Seade kuvab spektri, mida võrreldi andmebaasis leiduvate spektritega automaatselt ja käsitsi, olenevalt proovist. Võrdlusel tuleb lähtuda horisontaalsel teljel näidatud lainepikkuste väärtustest – millisel lainepikkusel piigid esinevad ja milline on nende omavaheline suhteline „kõrgus“. Käsitsi võrdlemisel kasutati võrdlusspektrite andmebaasiks IRUG¹¹⁸ digitaalset andmebaasi.

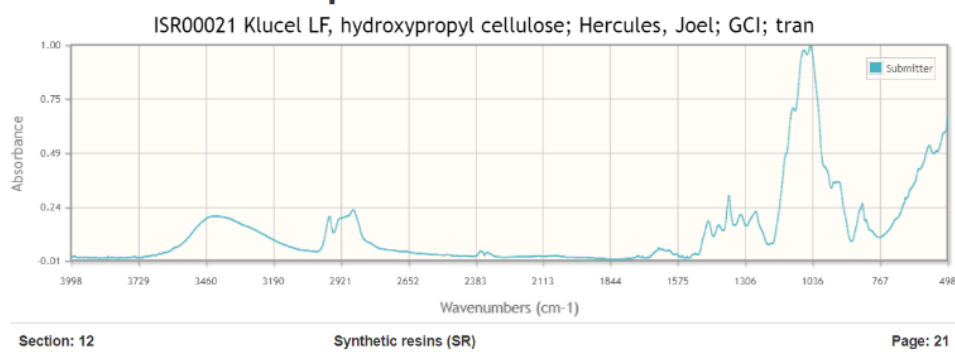
Esmalt analüüsiti karniisilt eemaldatud värvitükke.



4: FTIR seade.

5: Karniisi kolme pealmise värvikihi infrapuna-spektrid. Värv 1 – kõige uuem kiht. Värv 2 – teine kiht. Värv 3 – kolmas kiht. Spektri järgi on kõik värvid sama tüüpi.

Interactive IRUG Spectrum

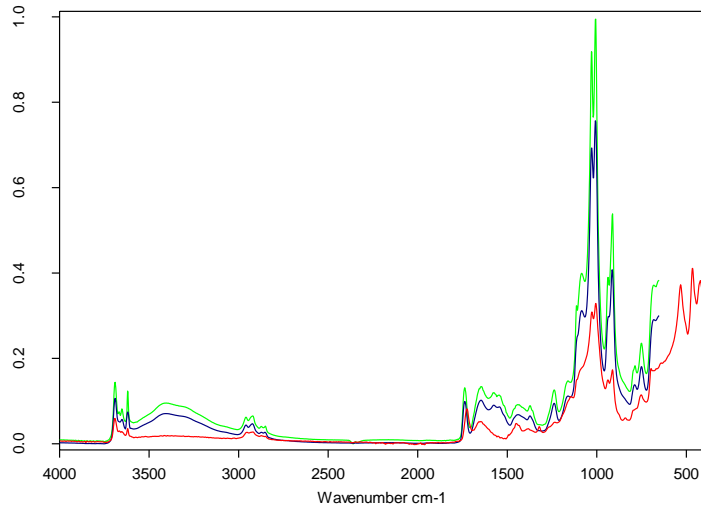


6: Kõige lähedasem võrdlusspekter annab vasteks sünteetilise vaigu.

Andmebaasis vasteks saadud sünteetiline vaik viitab, et karniisi kolm uuemat värvikihti on alküüdisisaldusega.

Seejärel tehti uuring ka puitpitsilt võetud värvitükkidega.

¹¹⁸ IRUG Database. Search Spectral Database. <http://www.irug.org/search-spectral-database?reset=Reset> (vaadatud 18. V 2021).

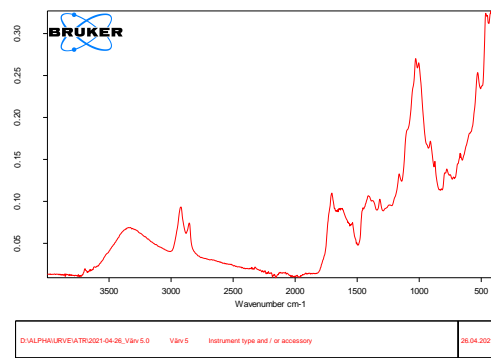


Compound Name	SILICATE WITH CELLULOSE - PIGMENT
Molecular Formula	NaAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂
Molecular Weight	382.2
CAS Registry Number	73987-94-7
Sample Preparation	ATR single bounce
Comment	Additive
Reference	MP0706/ NIC02194
Copyright	(c) 2009 Nicodan
Entry No.	1102
Library name	DYESAM402-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
Blue	773	SODIUM ALUMINIUM SILICATE	73987-94-7	NaAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	382.2
Green	750	SILICATE WITH CELLULOSE - PIGMENT	73987-94-7	NaAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	382.2

Color	File	Path	Spectrum Type
Red	2021-04-26_Värv 4.0	D:\ALPHA\URVE\ATR	Query Spectrum

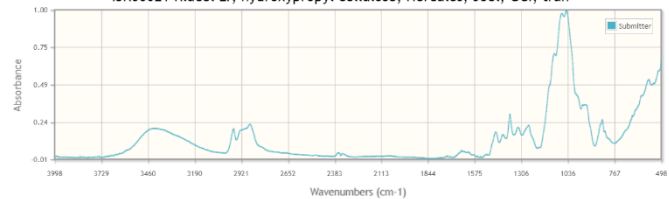
7: Punane joon näitab proovitüki spektrit, sinine ja roheline on võrdlusspektrid, mida pakub andmebaas Paints Spectra Database 2507 spectra (ST Japan-Europe). Võrdlus näitab, et puitpitsi kõige uuemas värvikihis on silikaatvärv.



D:\ALPHA\URVE\ATR\021-04-26_Värv 5.0 Värv 5 Instrument type and / or accessory 26.04.2021
Page 1/1

Interactive IRUG Spectrum

ISR00021 Klucel LF, hydroxypropyl cellulose; Hercules, Joel; GCI; tran



Section: 12

Synthetic resins (SR)

Page: 21

8: Puitpitsi uuematest teise värvikihi infrapuna-spekter on analoogne eespool näidatud karniisi kolme uuema värvikihi spektritega.

9: Kõige lähedasem võrdlusspekter annab ka siin vasteks sünteetilise vaigu.

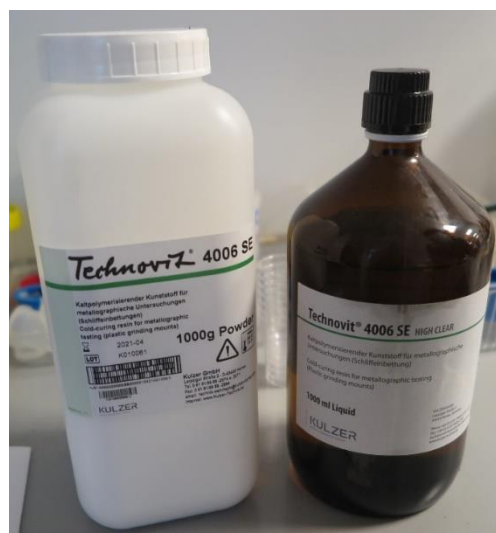
Puitpitsi kõige uuem värvikiht on seega infrapunaspektrite analüüsi järgi silikaatvärv, järgmine kiht aga alküüdvärv.

Karniisi ja puitpitsi katvate värvikihtide arvu kindlakstegemiseks valmistati objektidelt eemaldatud värvifragmentidest mikrolihvid ja uuriti neid mikroskoobi abil. Selle uuringu tarbeks tuli võtta värviproov kuni aluspinnani, et hõlmatud oleksid kõik pinda katvad kihid.

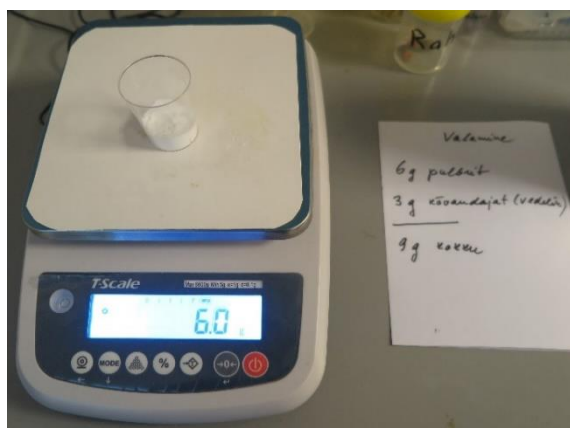
Esmalt asetati elementidelt võetud väikesed värvitükid rullikute abil plastiktopsi, et nad püsiks mikrolihvi pinnaga risti (ill 10). Seejärel segati kokku kahekomponentne, isekõvenev vaig (ill 11 ja 12). Umbes 30 minutit tahenenud vaigu saab plastvormist eemaldada (ill 13). Värvitüki ristlõike vaadeldavuse saavutamiseks lihviti mikrolihvi tooriku pinda ekstsentrilihvmasina abil järgemööda lihvpaberitega karedusega 180, 500, 800 ja 2000 (so osakeste arv tolli kohta; ill 14). Pinna poleerimiseks kasutati Al_2O_3 suspensiooni vees, osakeste suurusega 0,05 μm . Seejärel vaadeldi värvitükkide ristlõikeid mikroskoobis (ill 15 ja 16).



10: Värvitükid rullikute vahel plasttopsis.



11: Kahekomponentse isekõveneva vaigu valmistamiseks pulber ja kõvendaja Technovit 4006 SE.



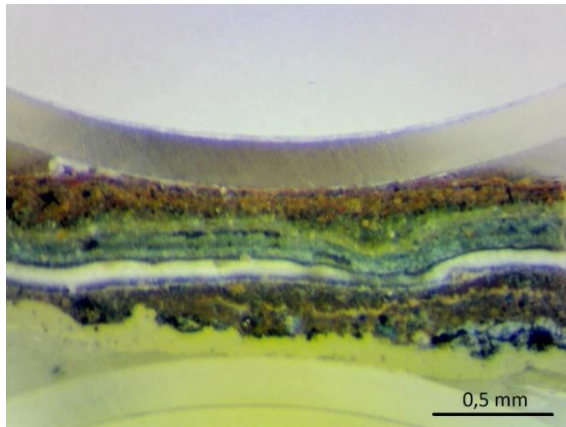
12: Lihvitavuse saavutamiseks tuleb vaigu valamisel täpselt retsepti järgida.



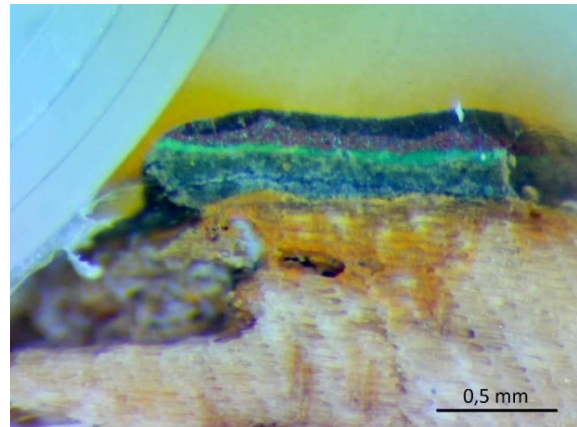
13: Kaks mikrolihvi toorikut ja erinevad lihvpaberid.



14: Ekstsentrilihvmasinal mikrolihvvi tooriku lihvimine.



15: Mikroskoobifoto karniisi värvikihtide mikrolihvist. Värvitoonid fotol on informatiivsed.



16: Mikroskoobifoto puitpitsi värvikihtide mikrolihvist. Värvitoonid fotol on informatiivsed.

Karniisi värvitüki uurimine võimaldas tuvastada kuus värvikihti. Puitpitsil on tuvastatavad viis kuni kuus värvikihti.

4.3 Puhastuskatsete käik

Ettevõtteid, kes Eestis kuivjääpuhastuse teenuse osutamist oma kodulehel reklaamivad, leiti kolm ning koostööpalvele vastasid neist kaks – OÜ Pinnad-Puhtaks ning OÜ REKA Grupp¹¹⁹. Puitpindade puhastamise osas suuri kogemusi ei oma ükski, kuna spetsialiseerutakse metallile ja vaid paaril korral on ümarpalkidest maja seinte sisepinnalt eemaldatud tahma või olmemustust. Siiski on spetsialistid teadlikud seadme laiematest kasutusvõimalustest ja suurest

¹¹⁹ Kolmas on Kuivjää OÜ, asukohaga Pärnus.

potentsiaalset ka õrnade pindade töötlemisel, samas mööndes, et Eestis seda suunda arendatud ei ole.

4.3.1 Katse I

Esimesed puhastuskatsed toimusid 15. märtsil 2021 Viljandimaal, koostöös OÜ-ga Pinnad-Puhtaks. Kasutatavateks seadmeteks olid Intelblast IBL3000¹²⁰ ja Intelblast Mini¹²¹, kahe erineva otsikuga (ill 17 ja 18). Spetsialistide sõnul on ainukeseks Eestis kättesaadavaks kuiva jää fraktsiooniks ≥ 3 mm (ill 19). Kuna nii ettevõtte kogemuse kui käesoleva uurimuse teoreetilise osa pinnalt oli teada, et selle kasutamine on puidupinda lõhkuv, siis lisati fraktsiooni jämeduse kompenseerimiseks Intelblast IBL3000 seadme otsikule purustussõelaga lisamoodul (ill 20). Intelblast Mini seadmega purustussõelaga lisamoodulit kasutada ei ole võimalik.

Esimesena eemaldati viimistluskihte värvitud karniisilt, kasutades kitsast otsikut ja rõhku 3 baari. Kiiresti selgus, et sellistel parameetritel eemaldub värvikiht koos puidutükkidega, peamiselt pehmest puiduosast (ill 21). Puitpitsi puhastamisel oli samasugune tulemus (ill 22). Seadme reguleerimisel madalamale rõhule ummistus purustussõel, mistõttu jäägraanuleid objektile ei pihustunud ja seega väiksemat rõhku kasutada ei olnud võimalik. Kuna Intelblast Mini seadmega purustussõela moodulit kasutada ei saa, siis oli selle seadme kasutamisel mistahes rõhu juures samuti pinda tugevalt kahjustav tulemus.

Prooviti ka rõhku suurendada kuni 6 baarini, tuvastamaks, kas jäägraanulite suuremal kiirusel pihustamine läbi sõela purustab neid peenemaks või vastupidi. Mõju puidupinnale oli siiski võrreldavalt abrasiivne.

Värvikihita sarikapalgi puhastamisel kasutati esmalt laia otsikut ja rõhku 4 baari. Puhastati nii kirvega tahatud ala kui ka kooritud ümarpalgi osa. Esimene sai silmaga nähtavaid kahjustusi, kuid ümarpalk osutus oluliselt vastupidavamaks, samas puhastav efekt oli märgatav (ill 23).

¹²⁰ Polar Blasting, <https://polarblasting.net/product/ibl-3000/> (vaadatud 26. IV 2021).

¹²¹ Indors, <https://indors.eu/cryogenic-sandblasting-dry-ice-machine/2218-intelblast-ibl-mini.html> (vaadatud 26. IV 2021).



17: Intelblast kitsas otsik.



18: Intelblast lai otsik.



19: Kuiva jää graanulid ≥ 3 mm.



20: Purustussõelaga lisamoodul, mis Intelblast IBL3000 kasutamisel lisatakse otsiku külge.



21: Karniis, kitsas otsik, rõhk 3 baari. Värvikihid eemalduvad koos pehme puiduosa tükkidega.



22: Puitpits, kitsas otsik, rõhk 3 baari. Värvikihid eemalduvad koos pehme puiduosa tükkidega.



23: Sarikapalk, lai otsik, rõhk 4 baari. Vasakul ovaalne kirvega tahatud ala sai kahjustusi. Seda ümbritsev ümarpalgi pind silmaga nähtavaid kahjustusi ei saanud. Paremalt servas tumedam ala on kuivjääpritsiga töötlemata, millega võrreldes on näha keskmise ala puhastusefekt.

4.3.2 Katse II

Teine katse viidi läbi 22. märtsil 2021 Tamsalus, OÜ REKA Grupp juures. Kasutatav seade oli Cryonomic Combi7.¹²² Kasutati samuti kahte erinevat otsikut ning purustussõelaga lisamoodulit (ill 24 ja 25). Tootja pakub kolme erineva purustusvõimekusega lisamoodulit, siin kasutatu purustab näitlikustatuna 10 pelletit 40-ks osaks, mis tootja andmetel sobib tahatud palgilt värvi eemaldamiseks.¹²³ OÜ REKA Grupp tellib kuiva jääd Lätist, kuid ka seal kättesaadav on samamoodi fraktsiooniga ≥ 3 mm.

Puitpitsi puhastamisel värvist kasutati esmalt laia, seejärel toru-otsikut ning mõlemal juhul rõhku 3 baari. Kuigi väiksemal distantsil ja olenevalt puhastusnurgast kippusid ka siin eemalduma värvikihid koos pehmema puiduosaga, siis kohati oli võimalik eemaldada kõige pealmist värvikihti ka selliselt, et järgmine jäi kahjustamata (ill 26). Aluspinna säästmise vaates paremaid tulemusi andis toru-otsiku kasutamine ning sellega pääses ka hõlpsamini puitpitsi kitsastesse vahedesse (ill 27).

Karniisi puhastamisel värvist kasutati nii laia kui ka toru-otsikut ning prooviti rõhku 1 baar ja 3 baari. Mõlemal juhul eemaldusid kõik värvikihid rebides kaasa ka pehmemat puiduosa (ill 28).

Sarikapalki puhastati esmalt laia otsikiga ning rõhuga 3 baari, mis oli silmnähtavalt pinda väga lõhkuv (ill 29). Seejärel vähendati rõhku 1 baarini ning töödeldi ühte pinda sellest ühekordselt üle liikudes, kõrvalasuvat pinda töödeldi kaks korda (ill 30) ning kolmandas etapis vahetati otsik toruja vastu (ill 31) – kirvejäljele silmaga nähtavaid kahjustusi ei tekkinud, pikemaajalisema töötlemise korral muutus puidu pind kergelt krobelseks.

¹²² Cryonomic. https://www.cryonomic.com/Repository/PDFs/CRY-COMBI-EN-feb15_LR.pdf (vaadatud 27. IV 2021).

¹²³ Cryonomic. Crushers. <https://www.cryonomic.com/en/products/1211/heavy-duty-dry-ice-blasters-manual-or-automated/combi71-remote-control-in-option> (vaadatud 27. IV 2021).



24: Crynomic purustussõelaga lisamoodul ja lai otsik.



25: Crynomic toru-otsik. Purustussõel on paigaldatud otsiku ja vooliku vahele.



26: Puitpits, lai otsik, rõhk 3 baari. Keskosas on näha kollaka värviga kaetud ala, mille sees eemaldusid kohati kõik värvikihid koos puidutükkidega.



27: Puitpits, toru-otsik, rõhk 3 baari. Valdavalt oli võimalik eemaldada pealmine värvikiht (rohekashall) järgmist (tumepruun) kahjustamata.



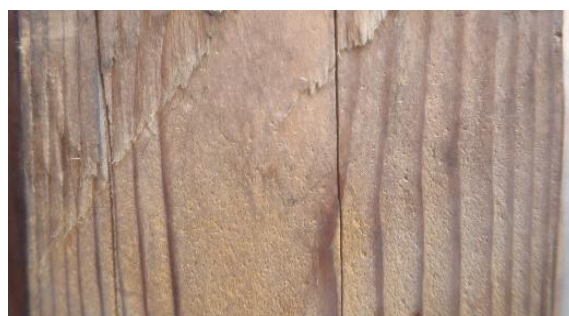
28: Karniis, nii lai kui ka toru-otsik, rõhk 1-3 baari.



29: Sarikapalk, lai otsik, rõhk 3 baari.



30: Sarikapalk, lai otsik, rõhk 1 baar. Vasakul puhastamata ala, keskel kahekordselt ning paremal ühekordselt töödeldud pind.



31: Sarikapalk, toru-otsik, rõhk 1 baar.

4.4 Töötlemise mõju uuringud

Kuna sarikapalgi pind oli värviga katmata ja seega välismõjutustele kõige vastuvõtlikum, teostati sellele täiendavad mõju-uuringud.

Objekti pinda pildistati portatiivse digitaalse mikroskoobiga (Dino; Dino-Lite Edge3.0 Digital Microscope AM73115MZT; ill 32) nii enne kui ka pärast töötlemist. Kuna üldise pinnastruktuuri mõjude osas teostati ka uuringud skaneeriva elektronmikroskoobiga, siis keskenduti siin just kirvejälje säilimise vaatlamisele.



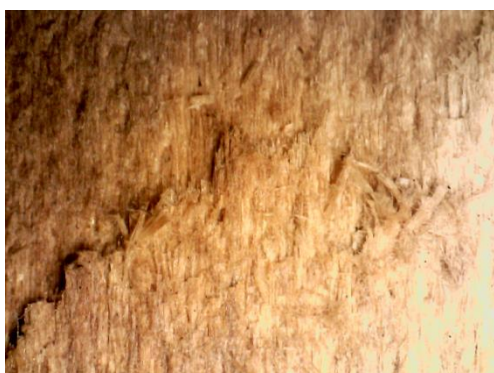
32: Uuringud Dino-Lite mikroskoobiga.



33: Sarikapalk, kirvejalg enne puhastust, x65.



34: Sarikapalk, kirvejalg enne puhastust, x185.



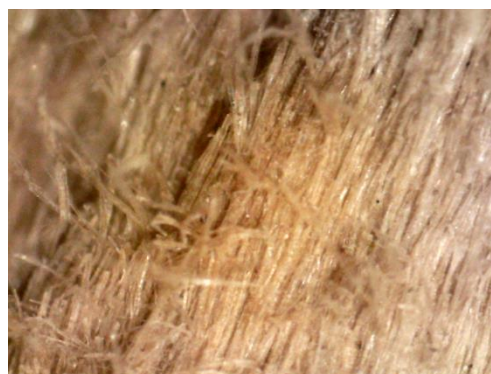
35: Sarikapalk, kirvejalg pärast ühekordset puhastust, lai otsik, rõhk 1 baar, x65.



36: Sarikapalk, kirvejalg pärast ühekordset puhastust, lai otsik, rõhk 1 baar, x185.

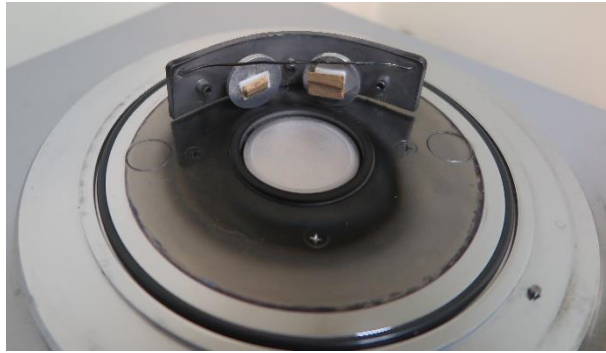


37: Sarikapalk, kirvejalg pärast kahekordset puhastust, lai otsik, rõhk 1 baar, x65.



38: Sarikapalk, kirvejalg pärast kahekordset puhastust, lai otsik, rõhk 1 baar, x185.

Nagu mainitud, võeti ka proovitükid, uurimaks puhastamata ja puhastatud puidu pinnastruktuuri erinevusi skaneeriva elektronmikroskoobi (SEM; Zeiss EVO MA 15; ill 43) abil Tallinna Tehnikaülikooli laboris. SEM uuringute tarbeks kinnitati esmalt proovitükk metallalusele, kasutades kahepoolset teipi. Alusele kleebitud proov asetatiioonpuhustusseadmesse (Fine Coat Ion Sputter JFC-1100; ill 39 ja 41), mille abil kaeti proovide pinnad elektrijuhtivuse loomiseks õhukese kuld/pallaadiumi kihiga (ill 40).



39: Metallalusele kleebitud puiduproovid ionpuhustusseadmes.



40: Kuld/pallaadiumi kihiga kaetud puiduproovid on valmis SEM uuringuteks.

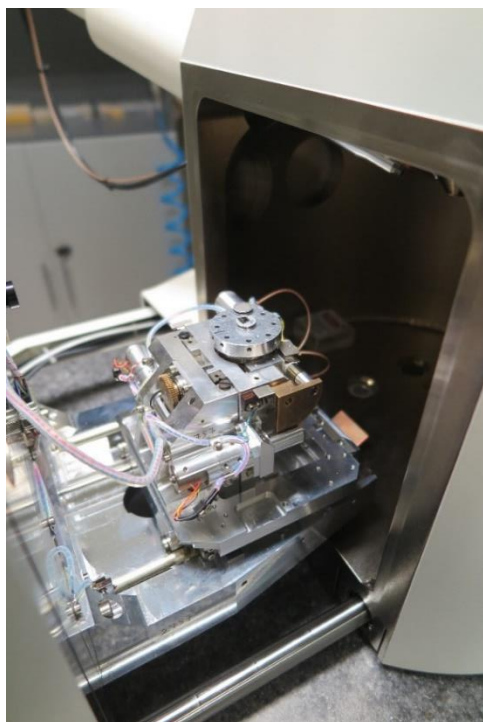


41: Ioonpuhustusseade. Proov asetatakse kupli alla.

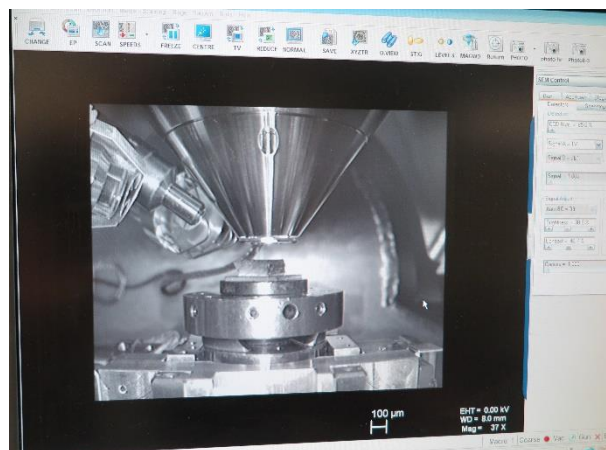
Seejärel asetati alusel proovid SEM seadmesse (ill 42–44).



42: Skaneeriv elektronmikroskoop Zeiss EVO MA 15.

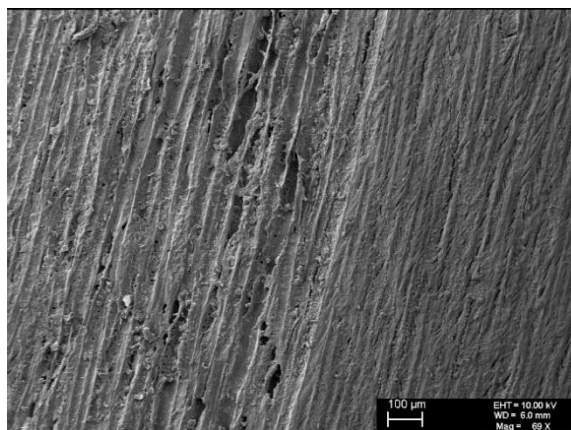


43: SEM tööruum, kuhu asetatakse metallalusele kinnitatud proovid. Pärast luugi sulgemist tekitatakse ruumi vaakum.

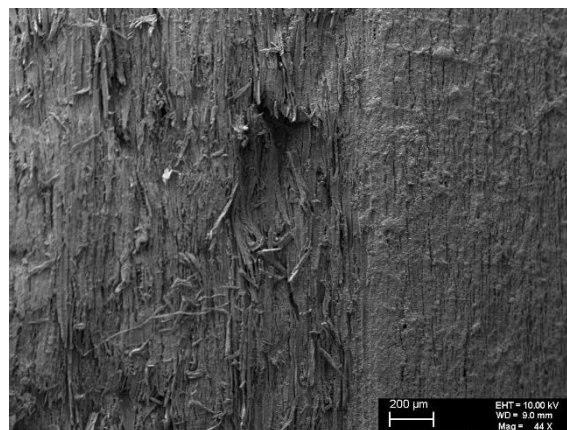


44: Vaade SEM tööruumi – keskosas on näha alusele kinnitatud proov.

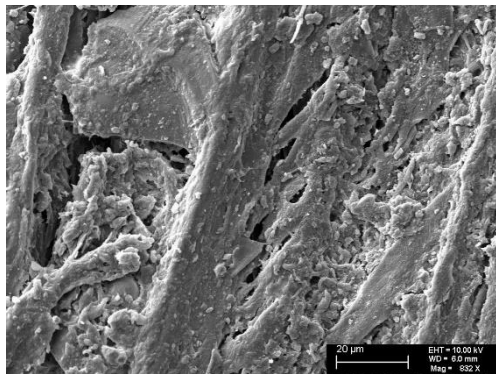
Fotod tehti puhastamata puidupinnast ning ühe- ja kahekordselt puhastatud puidupinnast (näha ill 30) võetud proovidest (ill 45-52). Eraldi vaadeldi töötuse mõju pehmemale puiduosale (varapuit; ill 47-49) ja tugevamale puiduosale (hilispuit; ill 50-52).



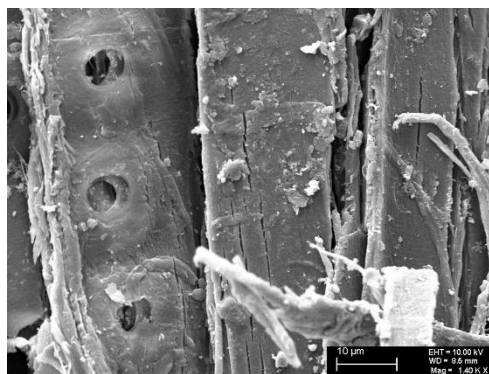
45: SEM foto – puhastamata puidupind, vasakul pehmem ja hõredam varapuidu osa, paremal tugevam ja tihedam hilispuit.



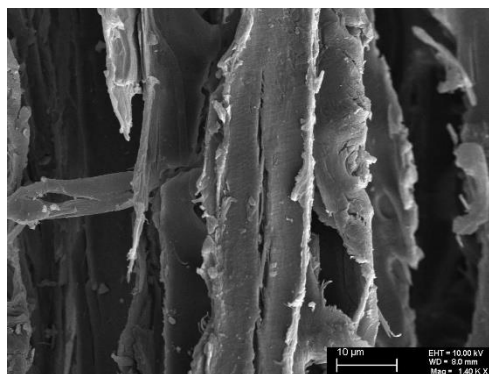
46: SEM foto – ühekordselt puhastatud puidupind, vasakul pehmem ja hõredam varapuidu osa, paremal tugevam ja tihedam hilispuit.



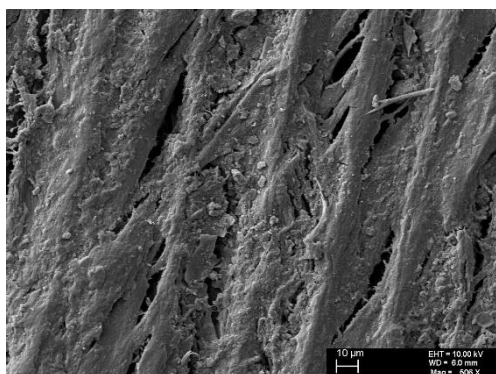
47: SEM foto – puhastamata puidupind, varapuit, keskosas on näha diagonaalsed rebendid puidukius, mis võivad olla põhjustatud palgi töötlemisest kirvega.



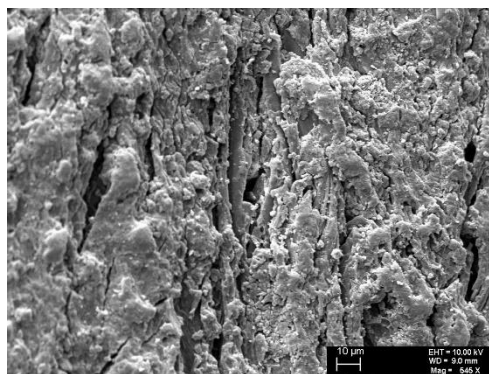
48: SEM foto – ühekordselt puhastatud puidupind, varapuit. Puidukiudude kestades on näha pikisuunalised kitsad praod.



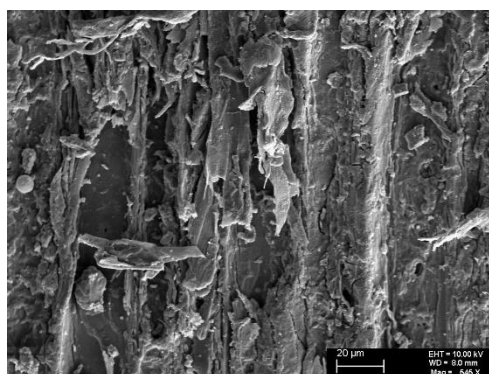
49: SEM foto – kahekordselt puhastatud puidupind, varapuit. Puidukiudude kestades on näha laiemad pikisuunalised lõhed.



50: SEM foto – puhastamata puidupind, hilispuit, keskel ülal on näha diagonaalsed rebendid puidukius, mis võivad olla põhjustatud palgi töötlemisest kirvega.



51: SEM foto – ühekordselt puhastatud puidupind, hilispuit on sõtkutud taigna sarnane.



52: SEM foto – kahekordselt puhastatud puidupind, hilispuit.

4.5 Tulemuste analüüs ja järeldused

Kuna juba teoreetilise uurimuse pinnalt oli ette teada, et ≥ 3 mm fraktsiooniga kuiva jää graanul on puidu suhteliselt pehme pinna jaoks liiga jäme ja terav, siis ei olnud üllatuseks, et valdav enamus seadistusi põhjustas kõikide objektide pinnal lausa silmnähtavaid kahjustusi.

Värvimata puidupinna jaoks oli mõlema katse kõige vähemlõhkavam kombinatsioon illustratsioonil 30 näidatud Cryonomic laia otsiku ja ühebaarise rõhuga ühekordne puhastus (ala paremal servas). Dino-ga tehtud fotodel (ill 35 ja 36) on näha, et kirvejälge selline töötlus oluliselt ei purusta, kuigi lööb laiali puidukiud, mis suruõhu kasutamisel on ootuspärane. Näha on ka, et kiudude vahel on oluliselt vähem mustust, kui oli enne puhastust (vrd ka ill 33 ja 34), seega puhastustulemus on sellise seadistuse korral hea. SEM foto (ill 46) ühekordse töötlusega alast näitab sasisitud kiudude kaudu aga ilmekalt, et kuivjääpuhastust tuleks teostada ühesuunaliselt, piki puidu kiudu ja kasvu suunas. Seda on eriti oluline rõhutada, kui seadet ei opereeri konservaator või restaureerimisspetsialist ise, vaid teenuseosutaja, kes on harjunud töötlemata tugevamaid aluspindu kasutades edasi-tagasi liigutust.

Sarika ümarpalgi osa mikroskoobiga ei uuritud, sest põhieesmärk oli kirvega töödeldud ehk juba kahjustatud pinna puhastamise mõjude uurimine. Siiski tuleb märkida, et kui kõikidel teistel pindadel oli kahjustus silmaga nähtav, siis seal mitte (ill 23). Võib järeldada, et laia otsikuga, võimalikult madalal rõhul ja purustussõela kasutades võib ümarpalki puhastada isegi ≥ 3 mm jäägraanulitega. Seda ka juhul, kui pinda pärast viimistlusega ei kaeta ning eriti, kui tegemist on sisetingimustes paikneva palgiga, kus niiskusmõjud ja putukakahjustuste risk on väiksemad kui välitingimustes. Tähelepanuväärne on, et Soomes on kuivjääpritsi abil puhastatud isegi tahatud palgist seinu – nii välisfassaadi, jättes sealjuures pinna pärast viimistlemata¹²⁴, kui ka sisepindu ajaloolise väärtusega hoones.¹²⁵

Kuivjääpuhastuse seisukohast sõltub puidu vastupidavus töötlemisele kõige enam tema tihedusest. Puidu tihedus on otseselt seotud vara- ja hilispuidu¹²⁶ osakaaluga aastarõngas.

¹²⁴ T. I. Lehtonen, Kuivjäällä pinta puhdistuu nopeasti ja ekologisesti – Newspool, <https://newspool.fi/kuivajaalla-pinta-puhdistuu-nopeasti-ja-ekologisesti/> (vaadatud 20. V 2021).

¹²⁵ Kuivjäähallus Eskimot Oy. 17.01.2019 sotsiaalmeedia postitus tehtud tööst, <https://www.facebook.com/eskimot.fi/?fref=ts> (vaadatud 20. V 2021).

¹²⁶ Nimetatakse vahel ka vastavalt kevad- ja sügispuiduks.

Esimese tihedus on isegi rohkem kui kaks korda väiksem kui viimasel¹²⁷, sest hilispuidus on rakkude seinad paksemad ja poorid väiksemad.¹²⁸

Katsetes kasutatud sarika valmistamiseks kasutatud puit osutus harilikuks kuuseks. Hariliku kuuse puidu tihedus varieerub suuresti sõltuvalt kasvukohast, kuid jääb enamasti vahemikku 450–470 kg/m³. Erinevalt männist võivad väiksemad oksad põhjustada kiudude rebendeid, mis mõjutab hariliku kuuse puidust valmistatud objektide vastupidavust. Ka ei ole kuusepuit hariliku männiga võrreldes nii vastupidav seenhaigustele ja putukakahjustustele ja immutamine on keerulisem.¹²⁹ Seevastu hariliku männi puidu tihedus jääb vahemikku 500–530 kg/m³ ning pinna vastupidavust saab immutamiseega veelgi suurendada.¹³⁰

Neist andmetest võib järeldada, et männipuidu pind võiks olla kuivjääpritsiga töötlemisele mõnevõrra vastupidavam, kui siin uuritud kuusepuit. Selle tuvastamiseks oleks vaja teostada analoogsed puhastuskatsed ka männipuidul.

Värvitud karniisi ja puitpitsi töötlemine näitlikustas, kui oluline on viimistluskihtide koostise ja omavaheliste mõjude tuvastamine enne kuivjääpuhastust. Karniisi kõik värvikihid on väga tugeva nakkega nii omavahel kui ka aluspinnale. See tähendab, et suuremal rõhul või jämedama graanuliga töötlemine eemaldab värvi koos pehmema puiduosaga (ill 21 ja 28). Kuna väiksemal rõhul isegi ≥ 3 mm graanulite pihustamine viimistlust üldse ei kahjusta, on usutav, et peenema jääfraktsiooni kasutamisel isegi suurema rõhu juures ei oleks see viimistluskihi eemaldamiseks piisav. Järelikult teatud tüüpi värvi või värvikihtide kombinatsiooni eemaldamiseks ei ole kuivjääpuhastuse meetod kohane.

Puitpitsi puhul oli pealmine, mineraalne värvikiht vanemale, alküüdisisaldusega värvile halvasti nakkunud ja osaliselt juba iseeneslikult irdunud. Alküüdvärv aga oli omakorda varasema küljes tugevasti kinni. Nii oli võimalik Cryonomic toru-otsiku, purustussõela ja madala rõhu kasutamisel isegi ≥ 3 mm jäägraanulitega eemaldada uuem värvikiht alumist

¹²⁷ T. Toomjõe, Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) puidu tugevusparameetrite uurimine mittepurustaval ja purustaval meetodil. – Magistritöö: Eesti Maaülikool, 2016, lk 13, https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2523/Teele_Toomj%C3%B5e_2016MA_MT_t%C3%A4istekst%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y (vaadatud 17. V 2021).

¹²⁸ H. Peetermann, Aastarõngaste laiuse, sügispuidu, tiheduse ja defektide omavaheliste seoste mõju hariliku kuuse (*Picea abies* (L.) KARST) tugevusomadustele. – Magistritöö: Eesti Maaülikool, 2016, lk 8, https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2680/Hardo_Peetermann_MA2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y (vaadatud 17. V 2021).

¹²⁹ S. Kalder, Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) ja hariliku kuuse (*Picea abies* (L.) KARST) puidus esinevate okste analüüs laasitud ja laasimata puudel. – Magistritöö: Eesti Maaülikool, 2016, lk 9, https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2633/Siim_Kalder_2016MA_MT_t%C3%A4istekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y (vaadatud 17. V 2021).

¹³⁰ Sealsamas, lk 8.

kahjustamata (ill 27). Seega on teatud tüüpi värvikihtide kombinatsiooni korral võimalik kuivjääpritsi abil puhastustöö ajamahukust oluliselt vähendada. Töö planeerimine peaks aga kindlasti algama värvikihtide analüüsist, et mitte asjata aega kulutada või objekti kahjustada.

Silmas pidades, et puidu puhastamiseks on kahtlemata parim kasutada suhkru- või lumelaadses fraktsioonis kuiva jääd, on siiski võimalik ka jämedama graanuliga teatud puhastustöid teostada. Nimelt olukorras, kus puhastatava hoone või elemendi näol ei ole tegemist ajalooliselt väärtusliku objektiga ning seda soovitakse puhastada olmemustusest või on värvikiht sellel suhteliselt nõrgalt kinni ja pind värvitakse hiljem üle. Sellist tööd on alles hiljuti teinud Soome juhtivaid kuivjääpuhastuse teenusepakkujaid.¹³¹ Kindlasti tuleks kasutada võimalikult madalat rõhku, laia pihustusotsikut ja purustussõela. Arvestama peab, et võib jääda vajadus käsitsi mõned alad üle puhastada, näiteks bio- või niiskuskahjustuste tõttu juba nõrgenenud puit, mille kahjustamise tõenäosus kuivjääpritsi kasutamisel oleks liiga suur või kitsamad profiilid, kuhu jämedam graanul ei pruugi ulatuda. Paratamatult tuleks küll leppida pinna mõningase kahjustamisega, kuid värviga katmine maandab niiskuse imendumise ning mustuse ja hallituseente eoste ladestumise riski.

Rõhutada tuleb, et kõikide objektide puhul on kriitiline teostada proovipuhastus väikesel varjatud alal ning alustada töötlemist madalamal rõhul, hoides seadme otsikut pinnast kaugemal, vajadusel rõhku suurendades ja liikudes objektile lähemale. Seda on oluline meeles pidada, kuivõrd metallidega töötama harjunud teenusepakkujad pigem alustavad suurema rõhuga, seda soovi korral vähendades.

Teostades katseid kahe erineva tootja seadmetega on tähelepanu vääriv, kuivõrd erinev on nende efektiivsus ja võimekus. Intelblast seade ei võimaldanud ≥ 3 mm jäägraanulite juures purustussõela lisamoodulit kasutades rakendada väiksemat rõhku kui 3 baari, vastasel juhul sõel ummistus. Crynomic seade seevastu töötas purustussõelaga ka ühebaarisel rõhul väga hästi. Lisaks on vähemalt sellele seadmele olemas veelgi tõhusam purustussõelaga lisamoodul, mis tootja andmetel on mõeldud just eriti delikaatsete pindade töötlemiseks. Näitlikustatuna purustab see 10 pelletit 80-ks osakeseks¹³², mis on kaks korda peenemaks, kui võimaldas siinkirjeldatud katsetes kasutatud purustussõel.

Katsete kaudu sai kinnitust, et puidu puhastamisel pinna säästmine eeldab võimalikult väikeses fraktsioonis kuivjää kasutamist. Selleks, et jäätera puidu struktuuri ei kahjustaks, peab see

¹³¹ Dry Ice Finland OY. Facebook'i leht, <https://www.facebook.com/dryicefinland/> (vaadatud 20. V 2021).

¹³² Crynomic, <https://www.crynomic.com/en/products/1211/heavy-duty-dry-ice-blasters-manual-or-automated/combi71-remote-control-in-option> (vaadatud 27. IV 2021).

olema puidurakust väiksem ehk alla 1 mm suurune. Sellises fraktsioonis kuiva jääd on võimalik saada teadaolevalt kahel moel – tootes jää kohapeal või ostetud jää korral kasutades otsiku küljes piisava tihedusega purustussõelaga lisamoodulit. Teine oluline tähelepanek, mida ilma SEM-iga uuringuteta ei oleks olnud võimalik tuvastada, on õige töömetoodika väljatöötamine. Puitu tuleb puhastada liikudes ühes suunas, piki kiudu ja kasvu järgides. Tavapärased edasi-tagasi liigutused sasivad pehme puiduosa kiud segamini ning ka tugevam hilispuidu osa meenutab lähivaates pigem sõtkutud tainast, kus puidu struktuuri on vähe märgata. Nii muutub pind suurema ebatasasuse tõttu vastuvõtlikumaks niiskusele ja sobivamaks ladestuspaigaks mustusele ning seeneeostele.

Kuigi kuivjääpuhastuse laialdasemaks rakendamiseks pärandobjektide puhastusel ei ole hetkel Eestis sobivaid seadme lisamoduleid ja/või ei toodeta piisavalt peenes fraktsioonis kuiva jääd, on võimalik läbimõeldud tööprotsessi ja ettevalmistuse korral ka olemasolevate vahenditega teatud töid siiski kaaluda:

- puhastada ümarpalki olmemustusest, eriti sisetingimustes ja isegi juhul, kui seda ei kaeta viimistlusega;
- teatud värvitüüpide kombinatsioonis eemaldada pealmist värvikihti alumist kahjustamata;
- puhastada hiljem ülevärvitavat puitpinda olmemustusest või nõrgalt kinnitunud vanast värvist, kui tegemist ei ole ajalooliselt väärtusliku objektiga.

Selleks, et meetodi sobivust ajaloolise väärtusega puitarhitektuuri ja -elementide puhastamiseks edasi uurida, oleks vaja läbi viia analoogsed katsed (so samade seadmete ja seadistustega) männipuidul ning peenema purustusvõimekusega sõela kasutades.

Kokkuvõte

Kui esmapilgul näib pinnapuhastusvõimaluste valik lai – tavalisest veega pesemisest keemiliste ainete kasutamiseni ja erinevate abrasiivmeediumite pihustamiseni suruõhu abil – siis kipub just õrnemate pindade, nagu puidu, töötlemiseks efektiivse meetodi leidmine olema keerukas. Ajaloolise väärtusega puidult värvikihi eemaldamise peamine viis on aeganõudev ja töömahukas mehaaniline kraapimine, enamasti kombineerituna kuumutamise soojuskiirguri või infrapunalambiga. Mõnevõrra aktsepteeritakse ka soodapritsi puhastamist, kuid see pahatihti siiski kahjustab puidu pinda. Seepärast on uute võimaluste uurimine igati teretulnud.

Kuivjääpuhastuse meetod on praegu pigem kasutusel metallide puhastamiseks, kuid sellel on tänu seadme reguleerimisvõimalustele potentsiaali ka õrnemate ja pehmemate pindade vaates. Seda kasutatakse näiteks tekstiili ja elektriseadmete puhastamiseks, laboritingimustes on töödeldud õrnu optikaseadmeid ja mõõteriistu, mille pinnale ei või jääda ühtki jälge. Töö käigus selgus, et vähemalt mõned korrad on puhastatud vanu ajaloolisi raamatuid ja fotosid ning Soome näitel tuleb tõdeda, et aina enam osatakse ka palkmajade või laudisega kaetud fassaadide värskendamisel uurida kuivjääpuhastuse võimalust. Eestis paraku ei ole veel sobivaid seadmeid, mis võimaldaksid puitu töödelda nii, et pinnakahjustust ei tekiks, siiski ei tohiks kuivjääpuhastuse eeliseid seniste alternatiivide ees jätta enam kauaks tähelepanuta.

Pärandobjekti pinna, sealhulgas puidu puhastamine nõuab kindlasti tavapärasest enam tähelepanelikkust ja töö põhjalikumat planeerimist. Seadmeoperaatori ja restaureerimisspetsialisti koostöö mängib siin olulist rolli. Arvestamiseks konkreetse objekti eripäradega, on põhjendatud teatud eeluuringud, nagu värvikihtide arvu ja omavahelise nakke tugevuse kindlakstegemine või puidu liigi määramine.

Teostatud empiirilised katsed näitasid, et materjali spetsiifika tingib teatud muudatused tavapärasel töömehaanikas, näiteks tuleb puitu puhastada pikikiudu, liikudes ühesuunaliselt. Samuti, et teatud värvitüüpide kombinatsiooni korral ei pruugi kuivjääpuhastus olla üldse sobiv meetod viimistluse eemaldamiseks, sest ei suuda lõhkuda värvikihtide omavahelist naket. Teisel juhul aga võib olla tõenäoline eemaldada viimistlust suisa kihthaaval.

Kuigi ka praegu Eestis kättesaadavad võimalused lubavad teatud puitpindade puhastamist, on oluline märkida, et just õrna pinna puhastamiseks väljatöötatud seadmete olemasolu on ajaloolise tähtsusega ja säilitusväärtusliku puidu puhastamise möödapääsmatu eeldus.

Summary

This thesis presents an overview of the various methods of cleaning different surfaces. The method of dry-ice blasting, primarily focusing on cleaning air pollution residue and even finishes from wooden architectural elements, is explained more thoroughly. The objective is to analyze the suitability of dry-ice blasting considering the principles of restoring monuments - whether the treatment preserves historically valuable features like tool marks, narrow profiles and original finishes.

Cleaning surfaces as a way of maintenance is of course not only a requisite for historic buildings under protection or buildings located in an environment of historic significance. All buildings that we want to preserve need such periodic attention. Thus the information, analysis and conclusions presented here may be useful when planning to freshen up or renovate any wooden object.

Research resumes fifteen articles in total from Taylor and Francis's international scientific publications *Journal of Architectural Conservation*, *Particulate Science and Technology* and *Aerosol Science and Technology*, also Elsevier's published International science- and technology publications *Wear*, *Applied Thermal Engineering* and *Powder Technology*. In addition it includes material from numerous introductory and work-in-progress videos from different Youtube channels as well as information from service providers and equipment producers. Interviews with a lecturer and conservator of Helsinki's Metropolia University of Applied Sciences and some Estonian service providers offer knowledge from first-hand experiences.

After theoretical research empirical tests were performed on three wooden objects from historical buildings which were treated with a dry-ice blaster. The object was to determine if and in which conditions it is possible to clean a relatively soft wooden surface from accumulated residue (such as air pollution) or finishes while concurrently not damaging the surface itself and preserving historic tool marks or even the first layer of paint. The analysis of these tests was supported by laboratory research which enabled to understand the treated materials (tree species, paint types) and the effects of dry-ice blasting on the surface structure.

When at first glance the selection of surface cleaning methods seems to be wide – ranging from common washing to using chemicals or abrasive mediums such as soda- or sandblasting – then actually it is quite complicated to find an appropriate one for softer materials that also should not be soaked in water. The common method of removing paint from a historic wooden façade

is the time consuming and labor intensive scraping. This is mostly combined with heating with an infrared lamp or heat-gun which unfortunately increases the risk of scorching the very same material we are trying to preserve. Soda blasting is sometimes accepted as well, but sadly it frequently damages the delicate surface by leaving tiny holes that moisture and mold spores can enter and can result in the eradication of tool marks. This is why new possibilities must be researched.

Dry-ice blasting is mainly used for cleaning metal, for example on the production lines in the food industry, printing presses or for stripping paint off cars, but the facility to change equipment settings allows it to work with more tender surfaces as well. Dry-ice blasting has been used for cleaning textiles and electrical components and even delicate optics and measuring equipment in lab conditions. There are several examples of old historical books and photos having been cleaned thus, and in Finland, for example, this method seems to be more and more sought after to freshen up old log houses or wooden facades.

Unfortunately the right equipment can not yet be found in Estonia for treating wood with no concurrent surface damage. Yet there are options available even when they have not been originally designed for delicate surfaces – cleaning everyday smudges off round logs, especially when done indoors and even without the aim to cover up later or cleaning off lightly attached finishes with the intention to repaint is feasible when done on objects other than monuments.

Empirical tests showed that the specifics of this material determines some changes in work methodology and it must be emphasized that wood should only be treated along the grain. Also it became clear that some combinations of finishes are too tenacious for this treatment and cannot be removed. On some occasions it might be possible to remove the paint by layers. But even the currently available equipment allows us to clean some wooden architectural elements.

Maintenance of monuments, including wooden objects, demands more attentiveness and preparation than usual. Cooperation between the operator of the equipment and the conservation specialist is paramount. It would also be beneficial to conduct some pre-studies to determine the specific attributes of the particular object – e.g. wood species (some are softer than others), the number of layers of finishes and so on, in order to ascertain their mutual effects.

The benefits and potential of using dry-ice blasting for wooden historical architectural elements should not be ignored much longer.

Kasutatud materjal

N. Ashurst, Introduction – Journal of Architectural Conservation, 2005, november, lk 2–6.

M. Cooper, Laser Cleaning of Sculpture, Monuments and Architectural Detail – Journal of Architectural Conservation, 2005, lk 105–119.

IAWA List of Microscopic Features of Softwood Identification. Eds. H. G. Richter, D. Grosser, I. Heinz, P. E. Gasson. IAWA Journal 2004, 25 (1): 1–70.

K. Jürmann. Laudisvoodri ja ehisdetailide restaureerimine – Ajakiri Pööning, nr 3(12)/sügis 2018, lk 88–91.

C. Kavenagh, Chr. J. Gembinski, Saint John the Divine – Journal of Architectural Conservation, 2005, november, lk 65–86.

Y.-H. Liu, D. Hirama, S. Matsusaka, Particle removal process during application of impinging dry ice jet – Powder Technology, 2011, lk 607–613.

Y.-H. Liu, H. Maruyama, S. Matsusaka, Effect of Particle Impact on Surface Cleaning Using Dry Ice Jet – Aerosol Science and Technology, 2011, lk 1519–1527.

J. Sembrat, P. Miller, J. Skavdahl, L. Frenzel, Conservation of Historic Metals by Waterjetting Techniques – Journal of Architectural Conservation, 2005, november, lk 121–146.

R. Sherman, Carbon Dioxide Snow Cleaning – Particulate Science and Technology, 2007, lk 37–57.

D. Slaton, K. C. Normandin, Masonry Cleaning Technologies – Journal of Architectural Conservation 2005, november, lk 7–31.

G. Spur, E. Uhlmann, F. Elbing, Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application – Wear, 1999, lk 402–411.

M. Stancliffe, I. De Witte, E. De Witte, St Paul's Cathedral – Journal of Architectural Conservation, 2005, november, lk 87–103.

Kasutatud allikad

Airsmile OÜ, <https://soodaprits.airsmile.ee/index.html#pricing-tables3-3d> (vaadatud 15. XII 2020).

Cold Jet Dry Ice Blasting – Fire Restoration (2018!), 07. X 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=BGBnTzu5F5M> (vaadatud 09. XII 2020).

Cryonomic, <https://www.cryonomic.com/en/products/1211/heavy-duty-dry-ice-blasters-manual-or-automated/combi71-remote-control-in-option> (vaadatud 27. IV 2021).

Cryonomic, https://www.cryonomic.com/Repository/PDFs/CRY-COMBI-EN-feb15_LR.pdf (vaadatud 27. IV 2021).

Cryonomic. Crushers, <https://www.cryonomic.com/en/products/1211/heavy-duty-dry-ice-blasters-manual-or-automated/combi71-remote-control-in-option> (vaadatud 27. IV 2021).

Dry Ice Blasting for Contractors, 21. X 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=SGIY9LmUImU> (vaadatud 09. XII 2020).

Dry Ice Blasting Smoke Damadged Books, 29. VII 2007, <https://www.youtube.com/watch?v=A-Gy4I8jSHE> (vaadatud 09. XII 2020).

Dry Ice Finland OY. 19. V 2021 sotsiaalmeedia postitus tehtud tööst, <https://www.facebook.com/dryicefinland/> (vaadatud 20. V 2021)

Dry Ice Paint sStripping From Wooden Furniture, 10. XII 2010, <https://www.youtube.com/watch?v=bWy48Wjiq4g> (vaadatud 09. XII 2020).

Indors, <https://indors.eu/cryogenic-sandblasting-dry-ice-machine/2218-intelblast-ibl-mini.html> (vaadatud 26. IV 2021).

IRUG Infrared & Raman Users Group. Search spectral database, <http://www.irug.org/search-spectral-database?reset=Reset> (vaadatud 18. V 2021).

S. Kalder, Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) ja hariliku kuuse (*Picea abies* (L.) KARST) puidus esinevate okste analüüs laasitud ja laasimata puudel. – Magistritöö: Eesti Maaülikool, 2016, lk 68, https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2633/Siim_Kalder_2016MA_MT_t%c3%a4istekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y (vaadatud 17. V 2021).

KLV-Palvelu OY. Kuivajääpuhallus, <https://klvpalvelu.fi/kuivajaapuhallus-2> (vaadatud 20. V 2021).

Kuivajääpuhallus. Desinfioi ja poistaa hajut – Dry Ice Finland OY, <https://www.dryice.fi/kuivajaapuhallus/> (vaadatud 15. XII 2020).

Kuivajääpuhallus Eskimot Oy. 17. I 2019 sotsiaalmeedia postitus tehtud tööst, <https://www.facebook.com/eskimot.fi/?fref=ts> (vaadatud 20. V 2021).

D. Lavento, Kuivajääpuhallus on noopea tapa puhdistaa hirsipintaa, 30. I 2020 – Rakennusmaailma, <https://rakennusmaailma.fi/kuivajaapuhallus-on-noopea-tapa-puhdistaa-hirsipintaa/> (vaadatud 20. V 2021).

T. I. Lehtonen, Kuivajäälla pinta puhdistuu nopeasti ja ekologisesti – Newspool, <https://newspool.fi/kuivajaalla-pinta-puhdistuu-nopeasti-ja-ekologisesti/> (vaadatud 20. V 2021).

Linaõlivärvi kasutamine puitpindadel – Muinsuskaitseamet, <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/linaolivarvi-kasutamine-puitpindadel> (vaadatud 08. XII 2020).

Mold Removal Process using Dry Ice Blasting – Adrian Environmental, 29. V 2012, <https://www.youtube.com/watch?v=Dw-D7ozmSLc> (vaadatud 09. XII 2020).

Nõuanded ja juhendid. Välistööde juhendid. Puitpinnad. Nõuandeid värvitud pindade puhastamiseks – Karl Bilder, <http://www.varvikeskus.ee/varvikeskus/NOUANDED/NOUANDEDJUHENDID/valistood/puitpinnad/puhastamisenouanded/> (vaadatud 08. XII 2020).

Optimum Dry Ice Blasting – Here's How It Works, 18. III 2014, <https://www.youtube.com/watch?v=X4tWQLvXeSE> (vaadatud 09. XII 2020).

H. Peetermann, Aastarõngaste laiuse, sügispuidu, tiheduse ja defektide omavaheliste seoste mõju hariliku kuuse (*Picea abies* (L.) KARST) tugevusomadustele. – Magistritöö: Eesti Maaülikool, 2016, lk 36, https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2680/Hardo_Peetermann_MA2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y (vaadatud 17. V 2021).

Pinnad puhtaks kuivjääga – TM kodu & ehitus, <https://kodus.ee/artikkel/pinnad-puhtaks-kuivjaaga> (vaadatud 15. XII 2020).

Polar Blasting, <https://polarblasting.net/product/ibl-3000/> (vaadatud 26. IV 2021).

OÜ REKA Grupp, <https://www.rekagrupp.ee/seadmed> (vaadatud 07. I 2021).

Restoring the Charles Bridge (Prague) with Dry Ice, 04. X 2007, <https://www.youtube.com/watch?v=oqbTBk6ggRk> (vaadatud 09. XII 2020).

Sodablast OÜ, <https://www.soodaprits.ee/puit-ja-palk/> (vaadatud 08. XII 2020).

SodaBlastBaltic OÜ, <http://www.sbb.ee/hinnad/> (vaadatud 15. XII 2020).

Sodablastservice OÜ, <https://www.sbs-est.ee/> (vaadatud 08. XII 2020).

Soodahai OÜ, <https://www.soodahai.ee/puitpindade-puhastamine/> (vaadatud 08. XII 2020).

Thomann-Hanry. <https://thomann-hanry.co.uk/facade-cleaning-system/> (vaadatud 03. XII 2020).

T. Toomjõe, Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) puidu tugevusparameetrite uurimine mittepurustaval ja purustaval meetodil. – Magistritöö: Eesti Maaülikool, 2016, lk 65, https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2523/Teele_Toomj%c3%b5e_2016MA_MT_t%c3%a4istekst%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y (vaadatud 17. V 2021).

Vanade laudpõrandate restaureerimine – Ajakiri Pööning, 2017, <https://www.ajakiripooning.ee/vanade-laudporandate-restaureerimine/> (vaadatud 08. XII 2020).

Välisuks. Ajalugu, parandamine ja värvimine – Muinsuskaitseamet, <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/valisuks-ajalugu-parandamine-ja-varvimine> (vaadatud 08. XII 2020).

Wood Restoration Complitaion – Dry Ice Blasting, 09. X 2019, <https://www.youtube.com/watch?v=dtXgjhs8xk> (vaadatud 09. XII 2020).

Intervjuud

H. Häyhä, Helsinki Metropolia rakenduskõrgkooli lektor, konservaator. Kirjalik vestlus, 11. XII 2020. Märkmed autori valduses.

K. Kaevu, OÜ REKA Grupp. Suuline vestlus, 07. I 2021. Märkmed autori valduses.

G. Kähr, A. Hansen, OÜ Pinnad-Puhtaks. Suuline vestlus 11. III 2021. Märkmed autori valduses.

Lisa – võrdlusmaterjal puidu liigi määramise juurde

IAWA List of Microscopic Features of Softwood Identification. Edited by H. G. Richter, D. Grosser, I. Heinz, P. E. Gasson. 2004, IAWA Journal 25 (1): 1–70. Väljavõtted lehekülgedest 40, 42, 44 ja 50:

Lk 40

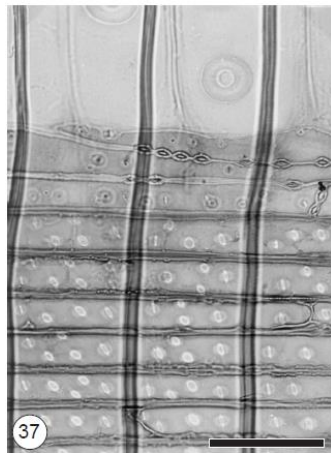


Fig. 37. Ray composition, radial sections. — 37: Ray with three rows of ray tracheids along upper part of ray (feature 79). *Picea abies*.

Lk 42



Fig. 40. Cell walls of ray tracheids, radial sections. Cell walls with helical thickenings resembling fine dentations (feature 69). *Picea abies*.

Lk 44

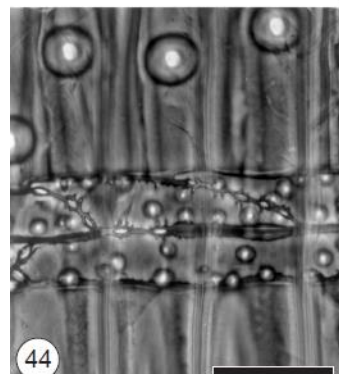
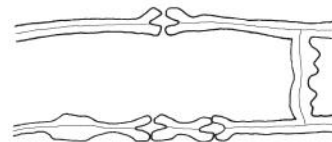
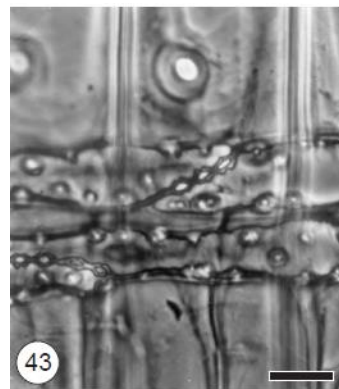


Fig. 43-44. Pit borders of ray tracheids in *Picea*, radial sections (phase contrast). — 43: Pitting with narrow apertures, pit borders angular. *Picea abies*. — 44: Pit borders angular with dentate thickenings (feature 84). *Picea abies*

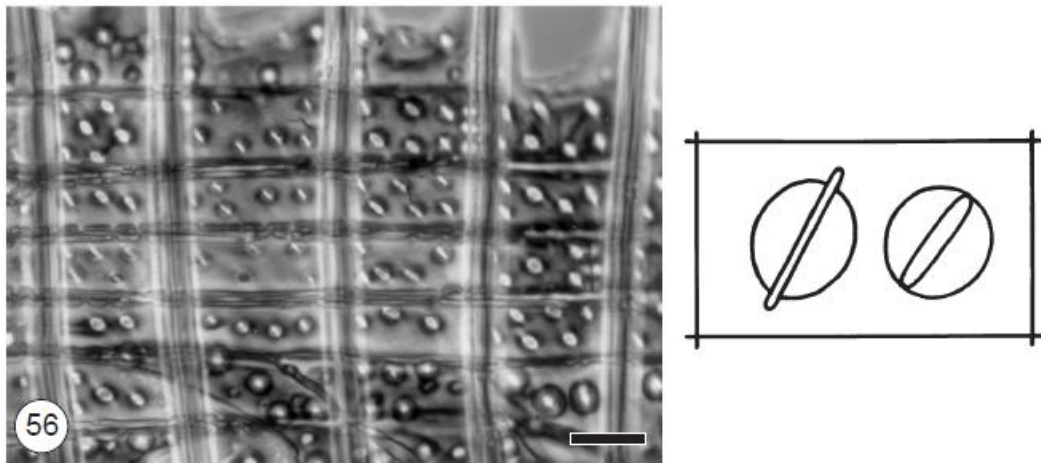


Fig. 56. Cross-field pitting, radial sections. Piceoid (feature 92). *Picea abies* (phase contrast).