

Tartu Ülikooli muuseumi kogudes olevate 19. sajandi teleskoobipeeglite keemiline analüüs

JANET LAIDLA, KADRI TINN, RAGNAR SAAGE

Esimese peegelteleskoobi valmistas kõige levinuma käsitluse kohaselt Inglise füüsik Isaac Newton (1642–1727), kuigi teoreetiliselt kirjeldasid peegelteleskoopi enne Newtonit mitmed teisedki teadlased. Kõige kaugemale jõudis James Gregory (1638–75), kes lasi peegleid lihvida, kuid kelle esimesed tulemused ei olnud piisavalt kvaliteetsed.¹ Newton teadis, et 17. sajandi algusest populaarsust kogunud läätsteleskoopidel on puudusi (nt kromaatilise aberratsioon²), mida peegelteleskoopidel ei teki. Peegelteleskoopidel ilmsid aga uued puudused (metallpeeglid tuhmusid kiiresti), mis said takistuseks nende laiemale kasutusele astronoomias ning läbi 18. sajandi ei saa kindlasti rääkida peegelteleskoopide võidukäigust. Ent juba 19. sajandi alguses kirjutas James Little, et on vähe asju, mis ilmestavad

¹ Vt Henry C. King, *The History of the Telescope* (New York, Dover Publications, Inc. Mineola, 2003), 71. Vrdl E. Pettit, „The Reflector“, *Astronomical Society of the Pacific Leaflets* 7, No. 331 (1956), 249–256 (kättesaadav <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1956ASPL....7..249P>) ja Phyllis Allen, „Problems Connected with the Development of the Telescope (1609–1687)“, *Isis* 34, No. 4 (Spring, 1943), 302–311, 305.

² Kromaatilise aberratsiooni korral murdub eri värvi valgus läätse läbides erineva nurga all ja seega ei saa eri värvi valguskiired samas punktis kokku. Üks lahendus oli teleskoobi fookuskauguse suurendamine, mis tähendas väga pikkade ja raskesti käsitlevate teleskoopide ehitamist. Kromaatilist aberratsiooni peeti nii suureks probleemiks, et Phyllis Alleni hinnangul oli see põhiline motivaator kõikide teleskoobi täienduste tegemiseks 17. sajandil. Allen, „Problems Connected“, 303.

käelise osavuse ja teadustöö head koostööd paremini kui peegelteleskoopid.³

Peegelteleskoopide populaarsuse kasvule aitas tugevasti kaasa Hannoverist pärit muusikust amatöörastronoom William Herschel (1738–1822), kes, kolides Inglise kuurortlinna Bathi, tegeles pärast päevatööd astronoomiaga. Herschel asus lihvima ja hiljem valama teleskoobipeegleid. Tema tegevus oleks võinudki piirduda vaid hobiga, kui ta poleks omavalmistatud seitsme jala pikkuse fookuskaugeusega teleskoobiga avastanud 1781. aastal planeeti Uraan. Koos kuulsusega tulid ka arvukad teleskoopide tellimused, mistõttu leitud neid mitmetes vanades observatooriumides ning teadusmuuseumides,⁴ nii ka Tartus.

Peegelteleskoopide valmistajad otsisid terve 18. sajandi parimat peegli koostist, katsetades erinevate koostisosade, nende omavaheliste vaheliste vahekordade, sulatamisjärjekorra ning temperatuuriga. Põhiliselt koosnesid peeglid vase ja tina sulamist, millele lisati teisi metalle ja muid aineid. Ka ühe valmistaja peeglite koostis võis seega periooditi erineda.

Kahe Tartu Ülikooli muuseumi kogus leiduva peegli keemilise koostise uurimine annab lisateavet 18. ja 19. sajandist pärit teoreetilistele käsitlustele ning annab võimaluse kontrollida, kas kaasaegsed retseptid ning valminud peeglid lähevad oma koostisosades ja vahelkordades kokku. Käesoleva uurimuse eesmärk oli katsetada mitteinvasiivset viisi teleskoobipeegli koostise määramiseks ning hinnata, kui palju vastavad tulemused meie varasematele teadmistele peegli koostisest.

Teleskoobipeegli retsepti otsingud

Isaac Newton alustas ideaalse metallisulami otsinguid ning tõstatas probleeme, mis lahenevad alles mitusada aastat hiljem, kui hakati valmistama esimesi klaasist, hõbedaga kaetud peegleid. Newton ise

³ Rev. James Little, „Observations on the Metallic Composition for the Specula of Reflecting Telescopes and the Manner of casting Them...“, *The Transactions of the Royal Irish Academy*, 10 (1806), 119–188.

⁴ William Herscheli elu ja tegevuse kohta vt nt Michael Hoskin, *Discoverers of the Universe. William and Caroline Herschel* (Princeton, Oxford: Princeton University Press, 2011).

kasutas koostist, mida tol ajal nimetati kellametalliks ja mis koosnes kuuest osast vasest ja kahest osast tinast. Vask tuhmus aga kiiresti ja seetõttu oli vaja peegleid pidevalt uuesti poleerida. Newton lisas retseptile ka ühe osa arseeni, et sulam oleks heledam ja seda oleks võimalik paremini lihvida.⁵ Arseni soovitati kasutada vismuti asemel, sest arseni lisamine ei tekitanud nii palju poore. Newton katsetas ka teiste koostisosadega, nagu antimon ja hõbe.⁶

Astronoom Samuel Molyneux (1689–1728) proovis vähemalt 150 retsepti tinast, vasest ja messingist. Vaid ühel juhul on mainitud ka arseni kasutamist.⁷ Šoti matemaatik ja optik James Short (1710–68), kes valmistas omal ajal väga hea kvaliteediga teleskoobipeegleid, ei avaldanud oma ametisaladusi ja legendi kohaselt lausa hävitas oma tööriistad enne surma.⁸ Samas pidas Short kirjavahetust füüsik John Mudge'iga, kes avaldas mõtteid teleskoobipeegli jaoks sobivate sulamite kohta, mida Shorti katsetused võisid mõjutada. Muu hulgas soovitas Mudge loobuda hõbeda, messingi ja arseni lisamisest.⁹

Kuna eri koostisosadel oli erinev sulamistemperatuur, katsetati ka erinevaid aegu, millal mõnd lisandit lisada, ning mõnikord jahutati segu vahepeal maha ning siis kuumutati uuesti, lisades järgmisi koostisosi.¹⁰ Vase ja tina sulami puhul soovitas näiteks John Mudge lisada tina, lasta segul jahtuda ja siis sulatada segu uuesti. Selliselt toimides ei jäävat tulemuseks olevale peeglile poore.¹¹

Mudge'i kaasaegne vaimulik John Edwards katsetas raua, plii, vismuti ja tsingi lisamist sulamile. Parima tulemuse andis tema hinnangul 32 osa vaske, 15 osa tina, 1 osa messingit, 1 osa hõbedat ja 1 osa

⁵ King, *The History*, 74.

⁶ A. A. Mills, P. J. Turvey, „Newton's Telescope. An Examination of the Reflecting Telescope Attributed to Sir Isaac Newton in the Possession of the Royal Society“, *Notes and Records of the Royal Society of London*, 33, no. 2 (March, 1979), 133–155, 139.

⁷ King, *The History*, 80.

⁸ King, *The History*, 84–86. Vrd. G. L'E. Turner, „James Short, F.R.S., and His Contribution to the Construction of Reflecting Telescopes“, *Notes and Records of the Royal Society of London*, 24, no. 1 (June, 1969), 91–108.

⁹ King, *The History*, 88.

¹⁰ King, *The History*, 89.

¹¹ John Mudge, „Directions for Making the Best Composition for the Metals of Reflecting Telescopes; Together with a Description of the Process for Grinding, Polishing, and Giving the Great Speculum the True Parabolic Curve. By Mr. John Mudge; Communicated by Alexander Aubert, Esq. F. R. S.“, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 67 (1777), 296–349, 301.

arseeni.¹² James Little olevat proovinud ka tsingi ja kulla sulamit, kuid jõudis järeldusele, et ainuke aktsepteeritav segu koosneb vasest, messingist, tinast, hõbedast ja arseenist. Messingi puhul soovitas Little kasutada vaid kõige parema kvaliteediga messingit ning tina lisada täpselt nii palju, kuni vask ja teised koostisosad on küllastunud. Kui seda lisada liiga palju, on tulemuseks pehme ja tuhm peegel, kui aga liiga vähe, siis ei jää sulam piisavalt valge ja tuhmub kiiresti.¹³ Lord Oxmantown mainib oma katsetuste kirjelduses raskusi tsingi lisamisega peegli metalli sulamile.¹⁴ Kirjanduses on mainitud ka teraspeegleid.¹⁵ Erinevate lisanditega katsetamise põhiline eesmärk oli sulami tugevust suurendada¹⁶ ja peegeldamisvõimet parandada.

William Herschel katsetas samuti mitmesuguste metallisulamitega. Ta proovis rauda, kuid see oli liiga poorne. Lõpuks jõudis ta oma suuremate peeglite puhul vahekorraneni, milles oli u 71% vaske ja 29% tina.¹⁷ Suurematele peeglitele tuli lisada rohkem vaske, et vähendada peegli haprust, paraku vähendas vask peegli sära, tegi selle kollasemaks ja tundlikumaks välisingimustele.¹⁸

Suurem läbimurre peegelteleskoopide ajaloos sündis 19. sajandi teisel poolel, mil Prantsuse füüsik Léon Foucault (1819–68) asus koos teleskoobivalmistaja Marc Secretaniga valmistama klaasist hõbetatud peegleid.¹⁹

Museaalide keemilise koostise analüüs

2017. aasta suvel analüüsiti Tartu Ülikooli arheoloogialaboris kahe Tartu Ülikooli muuseumi kogudesse kuuluva peegli koostist. Ana-

¹² King, „History of Telescopes“, lk 89.

¹³ Little, „Observations“, 122–124.

¹⁴ Lord Oxmantown, „An Account of Experiments on the Reflecting Telescope. By the Right Honourable Lord Oxmantown, F.R.S.“, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 130 (1840), 503–527, 507.

¹⁵ Allen, „Problems Connected“, 308.

¹⁶ Nikkeli, antimoni ja arseni lisamisest loodeti peegli tugevuse suurenemist, kuid eriti arseen, aga ka antimon vähendasid peegli helendust (*lustre*). *The Scientific American Cyclopedia of Formulas*, Ed. Albert A. Hopkins. (New York, Munn & Co., Inc, 1919), 89–90. Raamat annab mitmeid teleskoobipeegli metalli retsepte.

¹⁷ King, *The History*, 124.

¹⁸ Oxmantown, „An Account“, 504.

¹⁹ William Tobin, „Evolution of the Foucault-Secretan Reflecting Telescope“, *Journal of Astronomical History and Heritage*, 19(2) (2016), 106–184.

Tabel 1. Peegli ÜAM 1146_44a koostis

Proov	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	As	Bi	Ni	Ag	Co
ÜAM 1146_44a peegli pind	54,5%	<1%	43,9%	<1%	<1%	1%	<1%	<1%	0%	0%
ÜAM 1146_44a auk taga- küljel	50,8%	<1%	45,0%	<1%	1,9%	1%	<1%	<1%	0%	0%
ÜAM 1146_44a raam	66,0%	30,9%	<1%	<1%	<1%	<1%	0%	<1%	<1%	0%

Tabel 2. Peegli ÜAM 1146_71a koostis

Proov	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	As	Bi	Ni	Ag	Co
ÜAM 1146_71a peegli pind	52,2%	<1%	46,3%	<1%	<1%	<1%	0%	<1%	<1%	<1%
ÜAM 1146_71a peegli raam	70,1%	29,6%	0%	<1%	<1%	0%	0%	<1%	0%	0%

lүүsiks kasutati portatiivset röntgenfluoretsents-spektromeetrit (edaspidi pXRF).²⁰ Museaalide puhul pidasime aparraadi suureks eeliseks seda, et pXRF mōōdab eseme pinna keemilist koostist pinna kahjustamata.²¹ Kindlasti tuleb tulemusi analүүsides arvestada aga sellega, et koostist sai mōōta vaid pinnal ning ũhel peeglil ka lābi tagaosas oleva avause. Peegli segu aga vōis olla ebauhtlase jaotusega ning tulemust vōib mōjutada ka peegli lihvimine ja poleerimine ning seal kasutatavad abivahendid, mis vōivad peegli pinnal vāhendada vase vōi tina osatāhtsust. Samuti asjaolu, et peeglid ei ole aastate jooksul kogu aeg seisnud kindlalt suletud karpides, vaid olnud valguse ja õhu kāes. Mōlema peegli pinnalt vōeti 10 proovi 10 kohast (nii keskelt kui servadelt). Tabelites on toodud tulemuste keskmised.

²⁰ Bruker Tracer III-SD. Seaded: 40kV; 11μA; 60sek; 305 μm Al + 25 μm Ti filter. Kvantitatiivseks analүүsiks kasutati Brukeri kalibratsiooni CU1.

²¹ Nāiteks Isaac Newtoni peegelteleskoopidest on vōetud proove, mille tulemusel jāid palja silmaga vaadates nāhtamatud, kuid mikroskoobi all siiski nāhtavad jāljed. Mills, Turvey, „Newton’s Telescope“, 146–147.

Üks peegel (ÜAM 1146:44a) sobib oma mõõdult ja kujult kokku mu-seaaliga ÜAM 1170:3, mis on identifitseeritud kui William Herscheli seitsme jala pikkune teleskoop. Kuna Tartu tähetornil oli oma ajaloo jooksul vähe teleskoobipeegleid ning Herscheli teleskoopi kasutati mitmesugustel põhjustel teadustöök- saks vähe ning peamiselt vaid 19. sajandi esimesel poolel, siis on vähetõenäoline (ent mitte võimatu), et teleskoobile valmistati hiljem uus peegel. Peegli ÜAM 1146:44a pinnalt võetud proovid annavad tulemuseks vahekorra 54,5% vaske ja 43,9% tina ning vähem teisi keemilisi ühendeid. Peegli puhul oli vase- ja tinasisaldus ühtlane ning selle kõikumine mahub 0,5% sisse ära. Sellel peegil oli tagaküljel raamis avaus, mille läbi proovisime samuti proovi võtta. Tulemus erines pinna proovist. Tulemust võis mõjutada auku ümbritsev raam (nt raua ja tsingi osas) ning asjaolu, et peegli pind on poleeritud, ent tagumine osa mitte.

Teist peeglit (ÜAM 1146:71a) on seostatud Johann Gottlieb Friedrich Schraderiga (1763–1832 v 1833). Schrader õppis Göttingeni ülikoolis loodusteadusi ning töötas 1790. aastast Kieli ülikoolis, alates 1792. aastast füüsika ja matemaatika professorina. Teoreetilise töö kõrval valmistas ta teleskoobipeegleid muu hulgas ka Bremeni lähisel Lilienthalis tegutsevale Johann H. Schröterile (1745–1816), kes enne ostis mitu peeglit ja teleskoopi William Herschelilt.²² 1797. aastast töötas ta professorina Peterburi teaduste akadeemia juures, kuid proovis kätt ka eraettevõtjana.²³ Tartu keiserliku ülikooli rektor Georg Friedrich Parrot (1767–1852) tellis 1802. aastal Schraderilt mitmeid instrumente, sh 10-jalase fookuskaugusega peegelteleskoobi. 1804. aastal on teleskoobi eest makstud 500 rubla ettemaksu. Terve teleskoop ei valminud kunagi ja seega on säilinud vaid peegel.²⁴ Schraderi asemel pidi töö lõpule viima Peterburi TA mehaanik Anton Rospini,²⁵ ja Parrot, kes Peterburiga aktiivselt suhtles, on sel

²² King, *The History*, 135.

²³ Felix Lühning, „Schrader, Johann Gottlieb Friedrich“, *Neue Deutsche Biographie*, 23 (2007), 510. <https://www.deutsche-biographie.de/gnd117024333.html#ndbcontent> (20.10.2017).

²⁴ Rentei sekretär Hehn kirjutab professor Pfaffilt 1809 kabinetti üle võttes, et professor Schraderile on makstud 500 rbl BA 10-jalase reflektori eest. EAA, 402-6-536, l. 3–4; TÜ valitsusele on tulnud 21. oktoobril 1820 kiri mehaanik Rospinilt, kes väidab, et teleskoop on üle antud. EAA, 5374-1-384, l. 32.

²⁵ Vt: Антон Роспини, *Русский биографический словарь* А. А. Половцова, 1896–1918, veebis kättesaadav: <http://rulex.ru/xPol/> (18.09.2017).

ajal, kui tähetorni juhataja Friedrich Georg Wilhelm Struve oli pikal välisreisil (1820. aasta suvel), nõudnud siiski ettemakstud tellimuse täitmist. Dokumentidest paistab, et midagi Tartusse saadeti, aga kas teleskoop oli komplektne või miks see käiku ei läinud, pole päris selge. Struve väljautlemistest paistab, et ta oli selle teleskoobi suhtes umbusklik algusest peale. Nimelt kirjutas ta novembris 1820: „Kui hiljuti tähetorni saabunud peegelteleskoop peaks tõepoolest osutama kasutuskõlblikuks, mille üle peab otsustama kogemus, siis ei ole see teleskoop ikkagi märgatavalt võimsam teistest siinse tähetorni liikuvatest teleskoopidest, ja teadus võidaks sellest tõenäoliselt vähe.“²⁶ Loomulikult tuleb arvestada ka Struve erapoolikust, sest antud juhul tahtis ta rektorit veenda väga suure uue kulutuse vajalikkuses, et osta Tartule Fraunhoferi suur refraktor, mis oli sel ajal Münchenis ehitamisel. Kuid edaspidi pole Struve kusagil väljendanud oma huvi selle peegelteleskoobi vastu, kogu ta tähelepanu kulus läätstelekoopidele – Dollondi passaažiriistale, 1822 saabunud Reichenbach-Erteli meridiaanringile ning 1824 Tartusse jõudnud Fraunhoferi refraktorile.

Kuigi peeglit ei ole meistrimärki, tuleb taas mainida, et Tartu tähetornil ei ole palju peegelteleskoobe, mistõttu on tõenäoline, et muuseumil on siiski 19. sajandi algusest pärinev Schraderi peegel. Peegli ÜAM 1146:71a uuringud näitasid sulamit, milles oli 52,2% vaske ja 46,3% tina, lisaks väiksemas koguses teisi ühendeid. Vase- ja tinasisalduse kõikumine oli peeglis ÜAM 1146:71a veidi suurem kui Herscheli peeglis, mahtudes siiski ühe protsendi sisse.

Mõlema peegli puhul vastavad tulemused üldjoontes sellele, mida 18. sajandi lõpu ja 19. sajandi esimeste kümnendite teleskoobieeplite valmistamisest ja keemilisest koostisest kirjanduse põhjal teame. Vase ja tina vahekord ei vasta päris täpselt sellele, mida keskmiselt retseptides mainitakse ehk mõlemas peeglis oli vähem vaske ja rohkem tina. Võimalik, et kuna tegemist oli väiksemate peeglitega (läbimõõduga

²⁶ *Sollte also das kürzlich der hiesigen Sternwarte zugekommene Spiegelteleskop auch wirklich brauchbar seyn, worüber die Erfahrung entscheiden muss, so wird dasselbe doch nicht bedeutend mehr leisten als die andere bewegliche Fernröhre der hiesigen Sternwarte, und der Wissenschaft wahrscheinlich wenig Gewinn aus demselben werden.* Struve aruanne rektorile välisreisist, 17.11.1820 (ärakiri). EAA, 5374-1-384, l. 39. Rospini nõudis oma töö eest Tartu Ülikoolilt 402 rbl, mille maksmise kohta pole jälge õnnestunud leida. EAA, 5374-1-384, l. 54.

alla 40 cm), siis ei lisatud nendesse nii palju vaske.²⁷ Retseptide puhul ei ole kirjanduses alati mainitud, kas tegemist on suure või väikese peegliga või puudutavad kirjeldused just suuri peegleid. Mõlema võrdeldud peegli koostis on võrdlemisi sarnane nii vahekordade kui lisandite poolest. Herscheli peeglis on pisut enam arseeni ja vismutit, Schraderi peeglis pisut rohkem pliid. Suure tinasisaldusega vasesulamid on haprad, mistõttu on mõlema peegli raamid valmistatud messingist.

Kokkuvõte

Kokkuvõttes saame järeldada, et pXRF võimaldab saada teavet muuseumi keemilise koostise kohta ilma selle pinda kahjustamata. Lisaks on aparaat mugavalt käsitletav ning oma suuruse tõttu vajaduse korral ka transporditav suurema muuseumi juurde. Samas annab see vastuse vaid sulami pinna kohta ning ebahütlase segu puhul ei pruugi anda väga täpseid andmeid. Paraku ebahütlase segu puhul ei anna ka peegli sisse uuristatud augud täiuslikku tulemust, kuigi need võimaldavad ligipääsu metalli sellele osale, mida ei ole poleeritud ning mis ei ole korrodeerunud.

Analüüsi tulemused vastavad üldjoontes kirjalikele allikatele, kuid vase ja tina vahekord on piisavalt erinev, et tõstatada küsimust, kas tõesti alustati kahe osa vase ja ühe osa tinaga või muutus vahekord valmistamise käigus või räägitakse kirjanduses peamiselt suuremate teleskoobipeeglite valmistamisest, mis on arusaadavalt keerulisem protsess. Ja väiksemad peeglid sisaldasid vähem vaske põhjusel, et vask tuhmus kiiresti ja peegleid tuli tihti uuesti poleerida, ent suured peeglid oleksid vähese vasesisaldusega jäänud liiga hapraks, mistõttu tuli peegli tuhmumisega leppida.



Janet Laidla (PhD) on Tartu tähetorni juhataja

Kadri Tinn on Tartu tähetorni kuraator

Ragnar Saage (MA) on Tartu Ülikooli ajaloo ja arheoloogia instituudi nooremteadur

²⁷ Vt ülal ja Oxmantown, „An Account“, 504.

Analysis of the Chemical Composition of Two Telescope Mirrors from the University of Tartu Museum Collections

JANET LAIDLA, KADRI TINN, RAGNAR SAAGE

University of Tartu Museum and Institute
of history and archaeology

The purpose of this research was to try and determine the suitability of a portable X-ray fluorescence spectrometer (pXRF) for ascertaining the chemical composition of telescope mirrors in a non-invasive way. Both of the mirrors in question very probably date back to the early 19th century and were made by William Herschel and Johann Gottlieb Friedrich Schrader (although this is not 100% clear). One aim was to see whether the chemical composition of the objects was similar to what we know about the telescope mirrors of the time.

The search for the perfect composition of a telescope mirror haunted telescope makers from the 17th century until the second part of the 19th century when silvered glass mirrors were developed by Léon Foucault and Marc Secretan. A mixture of copper and tin was used to make speculum metal with the addition of a variety of metals and other compounds to add strength and lustre to the telescope mirror. The results of the pXRF tests show both mirrors are similar in composition. The chemical composition of the mirrors is also similar to contemporary recipes. However, the mirrors show less copper and more tin than the recipes would allow. It cannot be conclusively determined whether this is due to the restrictions of xPRF measuring (only from the surface of the mirror) or less copper was included while making smaller mirrors in the early 19th century.