

EESTI KUNSTIAKADEEMIA
Kunstikultuuri teaduskond
Muinsuskaitse ja konserveerimise osakond

Kristiina Piirisild

**VIBRATSIOONI MÕJU KULTUURIPÄRANDILE. KÜLASTAJATEST
JA KONSERTIDEST TINGITUD VIBRATSIOONI KAARDISTAMINE
EESTI RAHVA MUUSEUMIS**

Magistritöö

Juhendaja: Mari Allik (MA)

Tallinn 2024

AUTORIDEKLARATSIOON

Töö autorina kinnitan, et

- 1) käesolev lõputöö on minu isikliku loomingulise töö tulemus, seda ei ole osaliselt ega tervikuna kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud;
- 2) töös sisalduva(te) originaalse(te) teos(t)e loomisega seotud isiklikud autoriõigused kuuluvad minule kui töö autorile ja teos(t)ega seotud varalisi õigusi käsutatakse vastavalt Eesti Kunstiakadeemias kehtivale korrale;
- 3) olen koostanud töö iseseisvalt ning kõik selle koostamisel kasutatud teiste autorite tööd (teosed), seisukohad ja mistahes muudest allikatest pärinevad andmed on töös nõuetekohaselt viidatud.

Kuupäev ja aasta:

Autori nimi:

Õppekava:

RESÜMEE

Pealkiri: Vibratsiooni mõju kultuuripärandile. Küllastajatest ja kontsertidest tingitud vibratsiooni kaardistamine Eesti Rahva Muuseumis

Maht: 79 lk ja 3 lisa (36 lk). Kokku 115 lk.

Illustratsioonid (joonised, tabelid, fotod): 13

Lühitutvustus

Magistritöö keskmes on erinevate vibratsiooniallikate põhjustatud mehaaniliste koormuste, eelkõige vibratsiooni ja löökkoormuse mõju kultuuripärandile. Uurimus toob välja probleemid, mis kaasnevad järjest suurenevate meelelahutuslike sündmuste korraldamisega muuseumides, ning pakub välja meetmeid ja vahendeid vibratsioonist tingitud kahjude ennetamiseks. Käesoleva töö praktilise osa moodustab Eesti Rahva Muuseumi ekspositsioonialadel võimendatud helist ja küllastajatest tingitud vibratsiooni mõõtmine, mis võiks olla heaks eeskujuks analoogsete mõõtmiste läbiviimisel teistes muuseumides. Mõõtmiste tulemused annavad hea ülevaate ekspositsioonipindade vastuvõtlikkusest vibratsioonile, mis on tingitud kas küllastajate tegevusest näituste alal või võimendatud helist muuseumi kontserdipaikades. Saadud andmete analüüsi põhjal on võimalik koostada ERMi näituste alade laiapõhisem riskianalüüs, mis annab soovitusi ekspositsioonipindade projekteerimisele ja seab vajadusel asukohapõhiseid või helirõhutaseme piiranguid kontsertide ja muude võimendatud heliga sündmuste korraldamisel muuseumis.

Võtmesõnad: vibratsioon, vibratsiooni piirmäärad, vibrokiirendus, vibrokiirus, resonants, tsükliline koormus, väsimuskõver, löök, jõud, füüsikalised tegurid, mehaaniline koormus, kahjustusprotsessid, ennetav konserveerimine, võimendatud helist tingitud vibratsioon, kontserdid, küllastajatest tingitud vibratsioon, muuseumid, muuseumietika, Eesti Rahva Muuseum, vitriinid, esemete transport, esemete käsitlemine, esemete eksponeerimine, riskianalüüs, Tartu Ülikooli Tartu Observatooriumi kosmosetehnoloogia labor, vibratsiooni mõõteseade, kiirendusandur.

SISUKORD

RESÜMEE	1
SISUKORD	2
SISSEJUHATUS	4
1. FÜÜSIKALISED JÕUD	9
1.1 Ennetav konserveerimine	9
1.2 Vibratsiooni iseloomustavad suurused	11
1.2.1 Heli iseloomustavad suurused	12
1.3 Vibratsiooni mõõtmine ja hindamine	13
1.3.1 Helitaseme mõõtmine ja hindamine	16
1.4 Eesti seadusandlus	16
1.5 Vibratsiooni tajumine	18
2. HOONEID MÕJUTAV VIBRATSIOON	20
2.1 Soovituslikud vibratsiooni piirväärtused hoonetes.....	21
3. ESEMEID MÕJUTAV VIBRATSIOON	24
3.1 Esemeid mõjutava vibratsiooni soovituslikud piirväärtused	25
3.2 Vibratsiooni mõju eksponeerimispindadele ja eksponaatidele	30
3.3 Kontserdid jm sündmused	34
3.4 Esemete transportimine	38
4. RISKIDE MAANDAMINE	42
4.1 Ennetavad meetmed.....	42
4.2 Monitoorimine	44
5. VIBRATSIOONI MÕÕTMISED EESTI RAHVA MUUSEUMIS JA SAADUD ANDMETE ANALÜÜS.....	47
5.1. I etapi mõõtmised: külastajatest ja majasisesest transpordivahendist tingitud vibratsioon	48
5.1.1. Eesmärk	48
5.1.2 Metoodika.....	50
5.1.3. I etapi tulemused.....	51
5.1.4. Järeldused	57
5.1.5. I etapi kokkuvõtte ja soovitused	58
5.2. II etapi mõõtmised: võimendatud helist tingitud vibratsioon.....	59
5.2.1. Eesmärk	59

5.2.2. Metoodika.....	60
5.2.3. II etapi tulemused	62
5.2.4. Järeldused	64
5.2.5. II etapi kokkuvõte ja soovitused.....	66
KOKKUVÕTE	67
SUMMARY	70
KASUTATUD ALLIKAD JA KIRJANDUS	73
LISAD	80
LISA 1. Küsitlus "Transpordist ja muusikasündmustest tingitud vibratsioon muuseumides"	
LISA 2. Mõõteprotokoll 8-001-24 / 22.01.2024	
LISA 3. Mõõteprotokoll 8-003-24 / 07.03.2024	

SISSEJUHATUS

Statistikaameti andmetel oli Eestis 2023. aastal 170 muuseumi kokku 227 külastuskohaga, mis panustavad meie mälu talletamisse, mõtestamisse ja vahendamisse. Muuseumitegevus ei vaja Eestis eraldi tegevusluba, kuid muuseumi vastavust hinnatakse muuseumiseaduses välja toodud muuseumi definitsioonile alles siis, kui soovitakse saada riigilt tegevus- ja/või projektitoetust, või kavatakse liituda muuseumide infosüsteemiga MuIS,¹ mistõttu on konkurents toetuste saamiseks (eriti arvesse võttes siinset elanikkonda ja muuseumide suurt hulka) erakordselt suur. Muuseumid jagunevad omandivormi järgi kuueks: riigimuuseumid (saavad toetust otse riigieelarvest), riigi sihtasutuse muuseumid, riigile kuuluvat muuseumikogu kasutavad muuseumid, avalik-õigusliku juriidilise isiku muuseumid, munitsipaalmuuseumid ja eramuuseumid.² Riiklik rahastamine on kogu maailmas vähenemas, kuid muuseumidelt oodatakse kestlikkuse tagamiseks organisatsiooniliste muutuste ja uuenduste edendamist.³

2018. aastal valminud raport „Muuseumide ja raamatukogude külastajate ja mittekülastajate uuring“ kaardistas esmakordselt Eestis muuseumide ja raamatukogude külastajate ja mittekülastajate käitumisharjumusi ja ootusi nende asutustele. Uuringust selgub, et inimeste vaba aja sisustamise nimel konkureerivad mitte ainult muuseumid omavahel, vaid konkurents käib kõigi meelelahutust pakkuvate võimaluste vahel sotsiaalmeediast spordisaalini. Seega teine huvitavam või suurem muuseum ei ole tingimata väikemuuseumidele konkurendiks.⁴ Uuringus osalenud 2000 vastanust oli 22% viimase 12 kuu jooksul külastanud muuseumis mõnda sündmust: kontserdid, teatrietendused, filmiõhtud jms. Küsitletutest 39% soovis tulevikus osa võtta programmide, loengute, töötubade ja sündmustest, viimaste hulka võib lugeda ka erinevad muusikasündmused. Muuseumide pakutavatest teenustest kõige populaarsemad olid võimalus õppida tundma erinevaid eluviise ja maailmavaateid, kogeda kaasaegset muuseumiruumi ning hoida ja säilitada vastaja jaoks oluliste inimeste kultuuripärandit, kuid sama oluliseks võib lugeda ka erinevate sündmuste ja

¹ Muuseumid Eestis. – Kultuuriministeeriumi veebileht 23. IV 2024, <https://kul.ee/kultuurivaartused-ja-digitaalne-kultuuriparand/muuseumid/muuseumid-estis> (vaadatud 6. V 2024).

² Muuseumid Eestis.

³ R. R. Janes, R. Sandell, Järelmaailm on kohal: muuseumiaktivismi tekkimisest ja vajalikkusest. Peatoim P. Runnel. (Eesti Rahva Muuseumi aastaraamat 62 [2]) Tartu: Eesti Rahva Muuseum, 2019, lk 229.

⁴ P. Runnel, Muuseumid terviseoasideks. – Eesti Rahva Muuseumi ajaveeb 13. IX 2018, <https://blog.erm.ee/?p=11774> (vaadatud 16. XI 2023).

meelelahutusürituste toimumist muuseumides.⁵ Seega põhjus, miks muuseumides korraldatakse üha enam erinevatesse muusikažanritesse kuuluvaid kontserte, ei ole tingitud pelgalt finantsolukorrast, vaid sedasi tullakse vastu külastajate ootustele.

Muuseumidel on pidev surve võidelda külastajate arvu pärast, seda nii näituste kui ka lisategevuste puhul. Poola näitel mõjutavad muuseumide käekäiku traditsioonilise humanitaarhariduse osakaalu vähenemine koolide õppeprogrammides, vähene külastatavus, muutused sotsiaalses käitumises, demograafilised muutused, kultuuripärandi digitaliseerimine, kultuuripärandiga tegelevate asutuste piiratud poliitiline autonoomia ja ebakindlus tuleviku suhtes. Suurenenud muuseumikülastuste hulk kinnitab omakorda muuseumi vajalikkust ning toetab asutuse majanduslikku toimetulekut. Uuringud näitavad, et erinevad kultuurisündmused (sh kontserdid) suudavad külastajate hulka kõige paremini kasvatada ning nendest on juba saanud osa muuseumides pakutavatest teenustest.⁶

Üha suurenev meelelahutuslike sündmuste arv muuseumides ja muinsuskaitse all olevates hoonetes tekitab konflikte muuseumieetikaga või pärandi säilitamisega üldisemalt. 2022. aastal on ICOM uuendanud muuseumi definitsiooni, mille sõnastuses on välja toodud, et muuseumid peaksid pakkuma külastajatele nauditavaid kogemusi. Seda võib tõlgendada soovitusena pakkuda muuseumides meelelahutuslikke teenuseid.

Muuseum on ühiskonna teenistuses olev mittetulunduslik ja alaline asutus, kes uurib, kogub, säilitab, tõlgendab ning eksponeerib materiaalselt ja vaimset pärandit. Ta on ühiskonnale avatud, ligipääsetav ja kaasav ning seisab mitmekesisuse ning kestlikkuse eest. Muuseum tegutseb ja vahendab teavet eetiliselt ja professionaalselt üheskoos kogukondadega, pakkudes harivaid ja nauditavaid kogemusi ning võimalusi järelemõtlemiseks ja teadmiste jagamiseks.⁷

Vastavalt ICOMi eetikakoodeksi punktile 8.4 peavad muuseumitöötajad edendama kogude uurimist, säilitamist ja kasutamist, samas vältima tegevusi või olukordi, mis võivad põhjustada akadeemiliste ja teaduslike andmete kaotsiminekut. Samas toob punkt 1.9 välja, et juhtorgan

⁵ Muuseumide ja raamatukogude külastajate ja mittekülastajate uuring. Uuringu lõpparuanne. Tellija Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus. Tallinn: Kantar Emor, 2018, <https://www.kul.ee/media/335/download> (vaadatud 29. XI 2023).

⁶ D. E. Jaremen, A. Rapacz, Cultural Events as a Method for Creating a New Future for Museums. – *Sciendoo Tourism* 2018, vol. 28, no. 1, lk 25–28. https://www.researchgate.net/publication/326481794_Cultural_Events_as_a_Method_for_Creating_a_New_Future_for_Museums (vaadatud 26. XI 2023).

⁷ Muuseumide definitsioon. – ICOM Eesti 2022, <https://icomeesti.ee/muud-icomi-dokumendid/muuseumidefinitsioon> (vaadatud 1. XII 2023).

peab tagama muuseumi tegevuseks ja arendamiseks piisavad rahalised vahendid.⁸ Kui muuseumid keskenduvad rahale, tarbimisele ja turuideoogiale, pisendab see muuseumi kui sotsiaalse institutsiooni ja olulise ühiskondliku ressursi rolli.⁹ Muuseumidele pandud surve olla üheaegselt nii säilitav kui ka majanduslikku kasu teeniv asutus tekitab paratamatult konflikte muuseumieetikaga, mida on käsitlenud ka Darja Jefimova oma magistritöös „Mägi materjalid. Konrad Mägi maalide haprusest tehniliste uuringute valguses“.

Käesoleva magistritöö teema toob välja probleemid, mis kaasnevad järjest suurenevate meelelahutuslike sündmuste korraldamisega muuseumides. Seda ennekõike võimendatud helist tingitud vibratsiooni kontekstis, kuid käsitlemata ei jää ka muud vibratsiooniallikad ja nende mõju museaalidele.

Magistritöökä valitud teema kõnetas mind kui muuseumitöötajat juba siis, kui 2016. aastal õnnestus osaleda ICOMi 24. konverentsil „Museums and Cultural Landscapes“ Milaanos ja 2018. aastal võtsin osa IIC kongressist „The State of the Art“ Torinos. Siis puutusin esimest korda kokku ettekannete teemadega, mis käsitlesid lisaks ehitusest tingitud vibratsioonile ka võimendatud helist tingitud vibratsiooni mäluasutustes ja selle mõju museaalidele. Teema käsitlemise vajalikkus tõstati Eesti Rahva Muuseumis (ERM) 2018. aastal toimunud 1990ndate teemalise näitusega „Ise tehtud Eesti“, mille arhitektuurne kontseptsioon nägi ette näitusesaali keskel paiknevat lava erinevate muusikasündmuste tarbeks. Juhtumipõhiselt sai kiirelt selgeks, et ka rahulik madalsageduslik võimendatud heli tekitab vitriinide klirisemist ja teatud esemete „kõndimist“ riulitel.

2019. aastal ERMi välialale planeeritud Metallica kontsert tekitas vajaduse end teemaga veelgi enam kurssi viia. Lava asukoht planeeriti muuseumihoonele küllaltki lähedale, mille eeldatavasse mõjualasse jäid ERMi püsiekspositsiooni Ajarada arheoloogiliste esemete vitriinid. Konsulterides vastavate spetsialistidega, viidi tol ajal läbi mõõtmised kaardistamiseks helist tingitud vibratsiooni majasisest edasikandumist. Kahjuks on tänaseks selgunud, et varasemalt (2019. aastal) läbi viidud uuringutulemuste täpsusaste oli ebapiisav.

Teema valikul sai viimaseks oluliseks tõukeks 2019. aastal loodud rahvusvaheline töögrupp, kelle koostatud küsitluse raporti „Vibratory Impacts of Music and Transport on Museum

⁸ ICOMi muuseumide eetikakoodeks. – ICOM Eesti 2014, https://www.icomeesti.ee/files/ICOMi_eetikakoodeks.pdf (vaadatud 30. XI 2023).

⁹ R. R. Janes, R. Sandell, Järelmaailm on kohal, lk 220.

Collections“¹⁰ tulemused kinnitavad selle magistr töö uurimisteema vajalikkust. Küsimustikku täitis kaks Eesti muuseumi (sh ERM), kuid ankeet jäi mõlemil lõpetamata, mistõttu muuseumi raportis välja toodud ei ole. Antud töögrupi tugevuseks pean koostööd mitme eri valdkonna spetsialistide vahel, nagu heli- ja ehitusinsenerid ning muuseumide ja ennetava konserveerimise valdkonna spetsialistid, kellest tooksin välja Arne P. Johnsoni ja William (Bill) Wei, kelle artikleid olen selles töös ka refereerinud.

Eelnevalt mainitud küsitluse põhjal koostatud ja MuISiga liitunud Eesti mäluasutustele saadetud küsimustiku raport (lisa 1) näitab veelgi selgemini, et vibratsiooni kahjulikku mõju museaalidele tuleb senisest rohkem esile tõsta ja teadvustada. Autorina näen ka vajadust mäluasutustele suunatud eestikeelse juhendmaterjali järele, mille koostamise tõukeks võiks olla see magistr töö.

Käesoleva interdistsiplinaarse uurimistöo laiem eesmärk on anda suunised ERMi ekspositsioonialade riskianalüüsi välja töötamiseks, võttes arvesse võimendatud helist ja külastajate tegevustest tingitud vibratsioone, mis võivad mõjutada museaalide seisundit. Töö taustal soovin pöörata tähelepanu selle probleemi olemasolule mäluasutustes ja pakkuda välja ennetavaid meetmeid vibratsioonist tingitud riskide maandamiseks. Riske maandab hästi ka läbimõeldud ohuplaneering ning teadmine, kuidas ootamatult kõrge vibratsioonitaseme korral käituda.

See magistr töö käsitleb vibratsiooni ja löökoormust üsna laias ulatuses, sest nende mõju museaalidele on kultuuripärandi valdkonnas vähe käsitletud (peamiselt esemete transpordi kontekstis), mistõttu teema paremaks mõistmiseks on vaja laiemat taustsüsteemi.

Töö esimene osa keskendub vibratsiooni iseloomustavatele suurustele, selle mõõtmisele ja hindamisele. Teine osa kajastab soovituslikke vibratsiooni piirmäärasid hoonetes, mõeldes eelkõige kultuuripärandile, mis on osa hoone konstruktsioonist või liialt suur, et seda teistsaldada. Kolmas osa keskendub esemelisele pärandile eelkõige muuseumide kontekstis. Magistr töö neljas peatükk pakub välja meetodeid vibratsiooni monitoorimiseks ning ennetavate meetmete rakendamiseks. Viimase ja autori jaoks kõige olulisema osa magistr tööst moodustab koostöös

¹⁰ A. P. Johnson, C. Higgitt, W. (Bill) Wei, P. Henson, M. Ryan, J. P. Brown, Vibratory Impacts of Music and Transport on Museum Collections, Research Questionnaire Findings 2022, <https://www.wje.com/news/detail/research-vibratory-impacts-of-music-and-transport-on-museum-collections> (vaadatud 6. V 2023).

Tartu Ülikooli Tartu Observatooriumi (TO) kosmosetehnoloogia laboriga ERMis läbi viidud vibratsioonitaseme mõõtmiste andmete analüüs.

Tehniline kunstiajalugu ehk kultuuripärandi interdistsiplinaarsed uuringud on tänapäeval üha levinum pärandi uurimise valdkond, mis ühendab humanitaar- ja reaalteaduste meetodid ning rakendab kaasaegseid info- ja kommunikatsioonitehnoloogia vahendeid andmete kogumisel, töötlemisel, arhiveerimisel, kontekstualiseerimisel ning visualiseerimisel.¹¹ Eesti kontekstis on tegemist võrdlemisi uue distsipliiniga, mille esimesed laialdast kõlapinda saanud projektid on toimunud vahemikus 2010–2013: „Simson ja Deliila“ ja „Bosch ja Bruegel. Ühe maali neli jälge“.¹²

Ennetava konserveerimise vallas ei ole autorile teada, et Eestis oleks läbi viidud niivõrd mastaapseid interdistsiplinaarseid uuringuid. Ka selle magistritöö raames tekkinud koostöö TO kosmosetehnoloogia laboriga on saanud alguse juhusest, mis on kujunenud vastastikku äärmiselt kasulikuks ja arendavaks projektiks, kaasates elavasse diskussiooni ka muusikavaldkonna eksperte. Tegemist on mitmele osapoolle esimese taolise koostööga, kus omavahel põimuvad kultuuripärand, heliinseneeria ja kosmosetehnoloogia.

¹¹ K. Jõekalda. Lõppenud teadusprojektid: Tehnilise kunstiajaloo kui distsipliini arendamine kultuuripärandi analüüsiks Eestis. – Eesti Kunstiakadeemia veebileht 12. V 2018, <https://www.artun.ee/et/tehnilise-kunstiajaloo-kui-distsipliini-arendamine-kultuuriparandi-analuusiks-estis/> (vaadatud 8. V 2024).

¹² Tehniline kunstiajalugu – kunstiajaloo tehnikad? Peatoim T.-M. Kreem. (Eesti Kunstimuseumi toimetised 2 [7]) Tallinn: Eesti Kunstimuseum – Kadrioru Muuseum, 2012.

1. FÜÜSIKALISED JÕUD

Antud peatükk keskendub peamiselt kultuuripärandi kontekstis tsüklilise koormusega seotud nähtustele, mis on tihedalt seotud ka kolme ülejäänud jõudu iseloomustavate mehaaniliste koormustega. Alapeatükkides käsitletakse ka elastses keskkonnas levivaid mehaanilisi võnkumisi ehk heli ja seda iseloomustavaid suurusid.

1.1 Ennetav konserveerimine

Enne, kui ese saab osaks muuseumi kogudest, on ta sageli aktiivses kasutuses ja n-ö töökorras. Muuseumis omistatakse esemetele uus roll, mis peegeldab esemega seotud tavasid, olles tõendiks möödunud sündmustest. See omakorda tähendab eseme immateriaalse ja materiaalse olemuse säilitamist ja vananemise pidurdamist, et alles hoida teadustööks vajalikku informatsiooni. Kõikvõimalikud meetmed, mis aitavad teadlikult vähendada või vältida esemele potentsiaalse kahju tekkimist, nimetatakse ennetavaks konserveerimiseks ehk passiivseks säilitamiseks. Ennetava konserveerimise peamisteks märksõnadeks on esemete käsitsemine, hoiustamine ja kogude haldamine (sh ohuplaneering).¹³

Juba Rooma ajal saadi aru kunstiteoste teatud vananemise protsessidest, kuid suurem muutus esemeid mõjutavatest keemilistest, bioloogilistest ja füüsilistest teguritest tekkis alles 19. sajandil tänu teaduse kiirele arengule. Ennetavat konserveerimist ei võetud kuigi tõsiselt kuni 20. sajandil toimunud maailmasõdadeni, mil muuseumid olid sunnitud mõtlema kogude jätkusuutlikule säilitamisele. Alates 1980ndatest hakati muuseumides üle maailma pöörama rohkem tähelepanu kogude hooldusele ning teadlikkus ennetava konserveerimise printsiipidest suurenes. Insektsiidide kasutamine vähenes märgatavalt, laialdasemalt hakati kasutama arhiivikvaliteediga materjale ning õhus leiduvate ohtlike gaaside, valguse ja suhtelise õhuniiskuse monitoorimiseks vajalikud seadmed muutusid paremini kättesaadavaks.¹⁴

Esimesed meetodilised uurimistööd kultuuripärandit mõjutava löökoormuse ja vibratsiooni teemal avaldati 1980ndatel eesotsas Briti uurija Christine Leback Sitwelliga, kes käsitles peamiselt transpordikasti suutlikkust vibratsioonide vähendamisel. Märksa suuremat

¹³ C. Caple, A History of and an Introduction to Preventive Conservation. – Preventive Conservation in Museums. New York: Routledge, 2011, lk 1–2.

¹⁴ C. Caple, A History of..., lk 2–14.

tähelepanu vibratsiooni mõju olulisusele kunstiteoste kahjustuste ilmnemisel osutas Timothy Green (1955–2022), kelle eeskujul hakkasid seda tegema Canadian Conservation Institute (CCI) ja teised.¹⁵

Märgiliseks murdepunktiks ennetava konserveerimise vallas loetakse 1994. aastat, mil International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC) pidas Ottawas ennetava konserveerimise teemalise konverentsi, mis kujundas oluliselt edasisi uurimusi ja praktikaid ennetava konserveerimise vallas.¹⁶

1990ndate keskpaigas töötas Stefan Michalski välja tabeli, mis käsitleb eseme seisukorra halvenemist mõjutavaid tegureid, et hinnata paremini kogusid ohustavaid riske. Muuseumikogusid ohustavad riskid on: otsene füüsiline jõud; vargus ja vandalism; tuli; vesi; kahjurid; saasteained; valgus; ebasobiv temperatuur; ebasobiv suhteline õhuniiskus.

Tabelit on täiustanud C. Costain, C. L. Rose ja C. A. Hawks; R. R. Waller lisas kümnenda teguri – objektide hooletusse jätmine ja seose kadumine objekte kirjeldava teabega (ingl *custodial neglect*).¹⁷

Eseme seisundi muutumist mõjutavad erinevad mehaanilisi koormusi kirjeldavad jõud, mille tulemusena eseme struktuur ja materjal kahjustub. Esemes võivad deformatsioonid tekkida mikroskoopilisel tasandil, kuni saavutavad silmaga tuvastatava kahju, nagu kaod materjalis, eseme moondumine või täielik purunemine. Erinevad jõud võivad objekti mõjutada ka üheaegselt. Neli kõige enam levinud mehaanilist koormust kirjeldavat jõudu on: staatiline koormus (mehaaniline pinge), löökoormus (piiritletud koormused), tsüklilised koormused (vibratsioon) ja hõõrdumine (rebendid ja kulumine).¹⁸ Materjali enda vastupidavust

¹⁵ S. W. Michalski, Paintings – Their Response to Temperature, Relative Humidity, Shock, and Vibration. – Art in Transit: Handbook for Packaging and Transporting Paintings. Eds. R. Mervin, M.F. Mecklenburg, R. M. Merrill. Washington DC: National Gallery, 1991, lk 223, https://www.academia.edu/741944/1991_Paintings_Their_Response_to_Temperature_Relative_Humidity_Shock_and_Vibration (vaadatud 4. X 2023).

¹⁶ C. Caple, A History of..., lk 11.

¹⁷ J. E. Simmons, Ten Agents of Deterioration. – Global Conservation Forum 2003, <https://cool.culturalheritage.org/byform/mailling-lists/cdl/2003/0476.html> (vaadatud 12. X 2023).

¹⁸ A. Brokerhof, B. Ankersmit, F. Ligterink, Risk Management for Collections. – Cultural Heritage Agency of the Netherlands, 2017, lk 55–57, <https://www.cultureelerfgoed.nl/publicaties/publicaties/2017/01/01/risk-management-for-collections> (vaadatud 9. I 2024).

deformeerimisele ja purunemisele iseloomustavad mehaanilised omadused: tugevus, kõvadus, plastsus, elastsus, sitkus ja haprus.¹⁹

1.2 Vibratsiooni iseloomustavad suurused

Vibratsioon on tahketes ainetes ja tarindites esinev võnkumine, mida iseloomustab laineline liikumine. Võnkumine on osakeste ja osade edasi-tagasi liikumine nende tasakaalupunkti ümber. Vibratsioonilained on energia- ja liikumissuuruste muutused, mis transpordivad energiat ühest paigast teise. Lainete arv ühes sekundis nimetatakse sageduseks ja selle ühikuks on herts (Hz) ehk võnge sekundis.²⁰

Vibratsiooni tüüpiline sagedusvahemik on 10–1000 Hz, mida võivad põhjustada: tehnilised seadmed; hoone lähedalt mööduv transport ja madallendu tegevad õhusõidukid; hoones liikuvad inimesed; uste, kappide ja sahtlite avamine ja sulgemine; objektide liigutamine; objektide transport.²¹ Enamike esemete omasagedus jääb vahemikku 15–100 Hz. Liiklusele, ehitustöödele ja objektide käsitlemisele on iseloomulik sagedusvahemik 4–100 Hz, kusjuures kõrgeim vibratsioonitase saavutatakse 40 Hz juures, mida põhjustab mitmete vibratsiooniallikate kattumine antud sagedusel. Madalatel sagedustel on vibratsiooni amplituud kõrgem, mis võib mõjutada eseme seisundit suuremal määral kui kõrgel sagedusel vibratsioon.²²

Kõik esemed resoneerivad teatud sagedustel, mis sõltub eseme kujust, kaalust ja materjalist. Resonantsagedusteks nimetatakse selliseid sagedusi, mille puhul ese vibreerib peaaegu kontrollimatult, tekitades esemele kõige enam kahju. Ka ülejäänud pikka aega kestvad

¹⁹ P. Kulu, J. Kūbarsepp, A. Laansoo, R. Veinthal, Materjalitehnika I. Tehnomaterjalid. Õpik kõrgkoolidele. Tallinn: TTÜ kirjastus, 2015, lk 17.

²⁰ K.-P. Luik, T. Markula, M. Ründva, T. Lahti, Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimiseks võimalike asukohtade selgitamine. Keskkonnamõju strateegiline hindamine: Mürauuring. Tellija Kaitseministeerium. Tallinn: Akukon Oy Eesti filiaal, 2009, lk , https://www.kaitseministeerium.ee/sites/default/files/sisulehed/harjutusvaljad/osmaap/vibratsiooni_aruanne.pdf (vaadatud 7. III 2024).

²¹ K. Konsa, Artefaktide säilitamine. Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus, 2007, lk 87.

²² P. G. Chiriboga Arroyo, Finite Element Modeling of Vibrations in Canvas Paintings. Doktoritöö, Technische Universiteit Delft, Aerospace Engineering, Structural Integrity department. Delft, 2013, lk 65, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aa30b358e-d0de-4a81-92f3-e9f255443043> (vaadatud 7. X 2023).

madalama amplituudiga sagedused kujutavad endast esemele ohtu.²³ Kõrgematel sagedustel (üle 100 Hz) vibratsiooni mõju kultuuripärandi esemetele ei ole seni põhjalikult uuritud.

Lõuendmaaside puhul on täheldatud, et sagedused, mis jäävad alla 500 Hz, on sageli põhjustatud struktuuri kaudu (raam või riputusüsteem) edasi kanduvast vibratsioonist ning sagedused üle 1000 Hz levivad peamiselt õhu kaudu (heli ja müra). Vahemikus 500–1000 Hz võivad mõlemad sagedused kattuda.²⁴

Selles magistritöös on vibratsiooni piirväärtused väljendatud mõõtetühikutes mm/s^2 (vibrokiirendus α) või mm/s (vibrokiirus v). Kui vibratsiooni mõõtmiste käigus leitakse vibrokiirendus, on selle kaudu võimalik arvutada ka vibrokiirus, kui on teada vibratsiooni spekter ja ajaline kestus. Vibrokiirendus on vektoriaalne suurus, mis iseloomustab vibratsiooni kiiruse muutumist ajas ja mida väljendatakse parameetri ruutkeskmise väärtusega m/s^2 . Paljud rahvusvahelised standardid esitavad piirväärtused millimeetrites,²⁵ millest on andmete esitamisel lähtunud ka siinses uurimuses.

Vibrokiirendus ja raskuskiirendus (g) on rohkem seotud löökkoormusest tingitud ühekordse või hetkelise koormusega esemele. Esemele tekkinud kahju seostamiseks vibratsioonitasemega on vaja teada vibratsiooni kiirust ja sagedust.²⁶

1.2.1 Heli iseloomustavad suurused

Heliks nimetatakse kõiki elastses keskkonnas (õhk, vesi, metall, kivimid jne) levivaid mehaanilisi võnkumisi. Inimese kõrv tajub võnkumisi võnkesagedusega u 16–20 000 Hz. Võnkumisi, mis jäävad alla 16 Hz, nimetatakse infraheliks, ja neid, mis ületavad 20 000 Hz, nimetatakse ultraheliks. Heliastingu tekkimiseks peab heliintensiivsus kõrva vahetus läheduses ületama teatud minimaalse suuruse ehk kuuldeläve, mida mõjutab lisaks helisagedusele ka inimese vanus. Inimese kuulmistaju logaritmilise iseloomu tõttu väljendatakse heli

²³ W. (Bill) Wei, N. Krumperman, N. Delissen, Design of a Vibration Damping System for Sculpture Pedestals: An integral object-based approach. – ICOM-CC 16th Triennial Meeting 2011 Lisbon: ICOM Committee for Conservation, lk 2–3, <https://www.icom-cc-publications-online.org/1206/Design-of-a-vibration-damping-system-for-sculpture-pedestals--an-integral-object-based-approach> (vaadatud 4. VII 2023).

²⁴ P. G. Chiriboga Arroyo, Finite Element Modeling..., lk 107.

²⁵ K.-P. Luik, T. Markula, M. Ründva, T. Lahti, Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste..., lk 6.

²⁶ W. (Bill) Wei, N. Krumperman, N. Delissen, Design of a Vibration Damping System..., lk 3.

iseloomustavaid suursi ehk helitaset ehk helinivood (N) detsibellides (dB), mida ei tohi segamini ajada helivaljusega (L), mida mõõdetakse foonides. Helivaljus sõltub helitasemest ja sagedusest. Näiteks inimese kuuldelävi ($L=0$) 200 Hz juures jääb 15 dB lähedale ja 20 Hz juures 70 dB lähedale.²⁷

Heliintensiivsuse standardseks nulltasemeks, mida mõõdetakse detsibellides, on kokku lepitud inimese kuuldeväli sagedusel 1000 Hz ($I^0=10^{-12}$ W/m²). Heli levimist ruumis mõjutab ruumi absoluutne temperatuur ja niiskustase, samuti ruumi suurus, kuju, viimistlusmaterjalid ja võimalikud takistused. Tavapäraselt levib helilaine õhus kiirusega 340 m/s.²⁸

1.3 Vibratsiooni mõõtmine ja hindamine

Vibratsiooni puhul saab rääkida tsüklilisest koormusest, mis aja jooksul kumuleerub. Võrreldes eseme materjali tugevusega on vibratsiooni tekitatud koormus sageli kordades väiksem, tekitades nähtavaid kahjusid alles mitme miljoni tsükli toimumisel. Paralleele saab tõmmata valgusest tingitud kahjustustega, mille mõju esemele on samuti ajas kumulatiivne.²⁹

Tsükliline koormus võib aja jooksul muutuda ja korduda. See võib olla ebaregulaarne, nt vibratsioon eseme transpordi või kontserdi ajal. Küllastajate liikumine võib eksponaadid „kõndima“ panna või halvemal juhul põhjustada nende ümber kukkumist. Koormus võib olla ka regulaarne, nt ehitustööde ajal vaiade maasse rammimine, mis on hea näide tsüklilisest koormusest. Tsükliline koormus mõjutab pidevalt ka nt kineetilise kunstiteose liikuvaid osi. Tsükliline koormus võib avalduda ka temperatuuri ja niiskuse kõikumise tagajärjel, kui materjal tõmbub kokku ja paisub.³⁰

²⁷ I. Eiskop, A. Sillart, Akustika ja helitehnika. Tallinn: Valgus, 1988, lk 7–18.

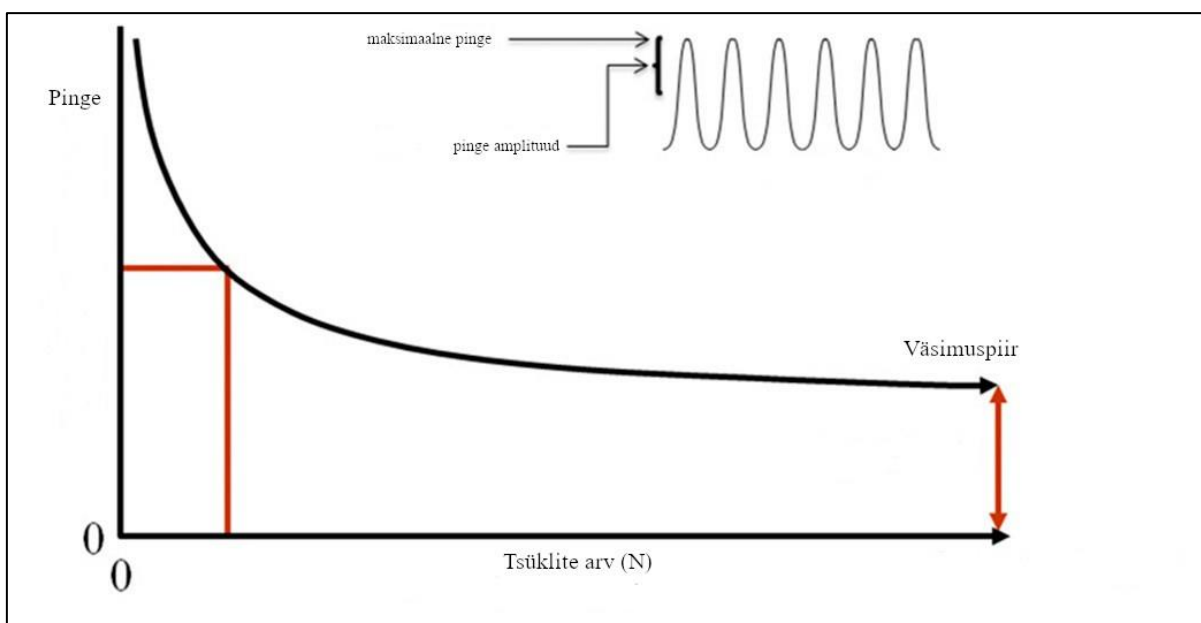
²⁸ I. Eiskop, A. Sillart, Akustika ja helitehnika, lk 7–20.

²⁹ W. (Bill) Wei, L. Sauvage, J. Wölk, Baseline Limits for Allowable Vibrations for Objects. – ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, 15–19 September 2014, no. 1516. Ed. J. Bridgland. Paris: International Council of Museums, lk 1, <https://www.icom-cc-publications-online.org/1325/Baseline-limits-for-allowable-vibrations-for-objects> (vaadatud 20. VIII 2023).

³⁰ A. Brokerhof, B. Ankersmit, F. Ligterink, Risk Management for Collections. – Cultural Heritage Agency of the Netherlands, 2017, lk 55–57.

Vibratsiooni ja tsüklilist koormust iseloomustab amplituud (vibratsiooni tugevus) ja sagedus (1 herts vastab ühele tsüklile minutis). Amplituud võib kirjeldada vibratsiooni ajal eseme deformatsiooni, näiteks lõuendi edasi-tagasi liikumist raami sees.³¹

Vibratsiooni koormuse, kestuse ja sellest põhjustatud kahju hindamise töötas välja insener August Wöhler 19. sajandi teisel poolel. Tema eesmärgiks oli teada saada, miks kaubavagunite teljed murdusid materjali potentsiaalsest koormustaluvusest oluliselt väiksema koormuse all. Alates sellest hetkest on mitmete edasiste uurimismeetodite aluseks nn Wöhleri kõver, mis aitab ennustada materjalide koormustaluvust mitmetes eri valdkondades, näiteks lennunduses.³²



1. Wöhleri kõver. Väsimuskõverat on kultuuripärandi kontekstis vähe rakendatud. Vibratsioonitsüklite asemel on võimalik kasutada ka ajalist mõõdet, kuna objekti mõjutanud vibratsioonitsüklite arvu on sageli keeruline hinnata. (W. (Bill) Wei, L. Sauvage ja J. Wölk, 2014).

Piisavate andmete olemasolul võimaldab Wöhleri kõver ehk väsimuskõver välja arvutada vastavalt pingele ja tsüklite arvule materjali väsimuspiiri (ill 1). Mida suurem on vibratsiooni tekitatud pingeline materjal, seda vähem tsükleid on vaja eseme kahjustumiseks või

³¹ W. (Bill) Wei, N. Krumpnerman, N. Delissen, Design of a Vibration Damping System..., lk 2.

³² W. Wei, L. Sauvage, J. Wölk, Baseline Limits..., lk 1.

isegi purunemiseks. Samas võib madala pinge korral enne märgatava kahju tekkimist toimuda miljoneid tsükleid. Mitmete tootmisest tulnud materjalide puhul on kindlaks tehtud väsimuspiir, mis näitab objekti mittekahjustavate tsüklite maksimaalset arvu kindla pingetaseme juures. Kultuuripärandi kontekstis võib olla ka kokkuleppeline väsimuspiir, kus teatud ajaperioodi jooksul ei tohi objekti mõjutav pinge tekitada nähtavaid kahjustusi. Tasub meeles pidada, et kui pinge ületab materjali koormustaluvust, võib kahjustus tekkida ka vibratsioonitsükli keskel, ehk siis madalama koormuse juures. See ilmestab hästi, kui ohtlik on vibratsiooni pikaajaline mõju esemele.³³

Vibratsiooni mõõtmistel saadud andmete interpreteerimisel on kultuuripärandi valdkonnas olnud pidevalt segadust. Sageli kasutatakse löökkormust ja vibratsiooni sünonüümidega, kuid tegemist on väga erinevate füüsiliste koormustega, mille mõõtmise meetod on üksteisest erinev. Vibratsiooniluger võib salvestada kiirust (mm/s) või kiirendust (mm/s^2) teatud ajaperioodi vältel. Mõned löökkormust salvestavad seadmed registreerivad teatud aja jooksul ainult üksikud kõrgeimad kiirendused (mm/s^2 , sageli kuvatakse mitme kiirenduse andmed korraga, väljendades seda esemele mõjuva gravitatsioonina (g) – $9,8 \text{ m/s}^2$), mis ületavad seatud lävendi, jättes salvestamata taustvibratsiooni jm madalama tasemega vibratsioonid. Taolise seadme puhul jäetakse tähelepanuta madalama tasemega vibratsiooniilmingud, mis mängivad olulist rolli võimalike kahjustuste ennustamisel. Selliste mõõtmiste puhul puudub sageli ka ajaline mõõde, kui kaua on objekt olnud vibratsiooni mõjuväljas, mistõttu ei ole võimalik teada saada eset mõjutanud vibratsioonidoosi.³⁴

Vibratsiooni mõõtvad seadmed võib jagada nelja kategooriasse:³⁵

- A – mõõdab keskkonnatingimusi ja löökkormust;
- B – mõõdab ainult löökkormust;
- C – mõõdab keskkonnatingimusi, löökkormust ja vibratsiooni;
- D – mõõdab vibratsiooni ja löökkormust.

³³ W. Wei, L. Sauvage, J. Wölk, *Baseline Limits...*, lk 1–2.

³⁴ A. Brokerhof, B. Ankersmit, F. Ligterink, *Risk Management...*, lk 61–62.

³⁵ A. P. Johnson jt, *Vibratory Impacts...*, lk 43 .

1.3.1 Helitaseme mõõtmine ja hindamine

Helitaset ja -valjust mõõtvates seadmetes kasutatakse väikesemõõtmelisi kondensaatormikrofone, et mikrofone sees ei tekiks peegeldunud laine mõjul helirõhu tõusu. Seadmete skaala on logaritmiline, mistõttu lugem saadakse vastavalt valemile kohe detsibellides. Siinuselise tooni või kitsaribalise müra valjuse mõõtmiseks on mõõteriistas filtrid A, B ja C. A-korreksioon on kõige lähedasem inimkõrva kuulmistajule. Filtriga A mõõdetakse helivaljust kuni 55 fooni, filtriga B vahemikus 55–80 fooni ja filtriga C üle 80 fooni. Teatud seadmetes on olemas ka filter karakteristikuga D, nt lennukimüra mõõtmiseks, ning Z-filter.³⁶ Sageli kasutatakse helitaseme mõõtmisel A-korreksioonifiltrit, et oleks võimalik täpsemini järgida seadusandluses välja toodud ühiskasutatavatele hoonetele seatud helitaseme piirmäärasid. Kui uuringutulemustes ei ole täpsustatud, millist filtrit on mõõtmisel kasutatud, võib eeldada, et mõõtmised on tehtud A-korreksioonifiltriga ehk dB(A). Kultuuripärandi kontekstis on kontserdi helivaljuse täpsemaks mõõtmiseks soovitatav kasutada C-korreksioonifiltrit, kuna see võimaldab mõõta täpsemini madalate sageduste detsibelle, mida A-korreksioonifilter ei suuda tuvastada.

Heade mõõtmistulemuste saamiseks on soovitatav kasutada 1. või 2. täppisklassi kuuluvaid müramõõteseadmeid, mille helisignaali sagedus jääb vahemikku 250 Hz kuni 2 kHz, ühe kolmandiku oktavi suuruste nominaalsete intervallidega ja üle 2–8 kHz ühe kuuendiku oktavi suuruste nominaalsete intervallidega. Mõõtesüsteem tuleb vahetult enne ja pärast mõõtmisi kalibreerida.³⁷

1.4 Eesti seadusandlus

Eestis on vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes seadusega reguleeritud, selleks et vältida inimestel tervisekahjustuste ja ebameeldivate aistingute teket, mis on välja toodud alljärgnevas tabelis (ill 2).³⁸

³⁶ I. Eiskop, A. Sillart, Akustika ja helitehnika, lk 20–21.

³⁷ Electroacoustics – Sound Level Meters, Part 1: Specifications. EVS-EN 61672-1:2013. Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. Kättesaadav: Tartu Ülikooli akadeemiline raamatukogu.

³⁸ Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid, 2002. – Riigi Teataja, <https://www.riigiteataja.ee/akt/129122020045> (vaadatud 14. VII 2023).

Hooned ja ruumid	Vibratsiooni toimeaeg	Vibro-kiirenduse a_v piirväärtus (mm/s ²)	Vibro-kiirenduse taseme L_{av} piirväärtus (dB)	Baaskõvera koefitsient*
Olemasolevad				
1. Elamute, ühiselamute, hoolekandeaustuste ja koolieelsete lasteaustuste elu-, rühma- ja magamistoad	Päeval	12,6	82	2,0
	Öösel	8,83	79	1,4
2. Majutusettevõtete majutusruumid	Päeval	12,6	82	2,0
	Öösel	8,83	79	1,4
3. Tervishoiuteenuse osutamise ruumid, v. a haiglapalatid	Ööpäevaringse It	12,6	82	2,0
4. Haiglapalatid	Ööpäevaringse It	8,83	79	1,4
5. Õppeaustuste ruumid, kus toimub õppetöö	Päeval	12,6	82	2,0
6. Bürood ja haldushooned	Päeval	25,2	88	4,0
Projekteeritavad				
1. Elamute, ühiselamute, hoolekandeaustuste ja koolieelsete lasteaustuste elu-, rühma- ja magamistoad	Päeval	8,83	79	1,4
	Öösel	6,31	76	1,0
2. Haiglapalatid	Ööpäevaringse It	6,31	76	1,0

2. Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes.

Autorile ei ole teada, et Eestis oleks kultuuripärandit mõjutav vibratsioonitase kuidagi reguleeritud või kehtestatud soovituslikke vibratsiooni piirmäärasid, millest objektide või esemete kaitsmisel lähtuda, seda nii ajalooliste hoonete kui ka museaalide kontekstis. Eesti Standardikeskuse veebilehelt võib leida viiteid erinevatele rahvusvahelistele standarditele, mis seda teemat käsitlevad, kuid need standardid ei ole seadusandlikus mõttes kohustuslikud.

Rail Balticu raudteetrassi maakonnaplaneeringute 2017. aasta KSH aruandes³⁹ on aga välja toodud vibratsiooni erinevad häiringuaspektid, mis muuhulgas käsitlevad ka ajaloolisi ehitisi:

- Tajupiir (0,04 mm/s) – vibratsioonitase, mille ületamisel on vibratsioon tuntav;
- Häiringupiir (0,4 mm/s) – vibratsioonitase, mille ületamisel tajutakse selget häiringut ning mis on reeglina mõju (sh tervisemõju) hindamisel peamiseks kriteeriumiks;
- Hoonetele kahjustuste põhjustamise piir (4 mm/s, ohustatud ajalooliste ehitiste puhul 2 mm/s) – vibratsioonitase, mille ületamisel võivad hoonetes tekkida praod või muud kahjustused.

1.5 Vibratsiooni tajumine

Vibratsioonist tingitud kahjude ennetamisel ja hindamisel tuleb aru saada erinevate tegevustega kaasnevatest vibratsioonitasemetest ning olukordadest, kus vibratsioonitase on inimestele või esemetele ohtlik.

Inimese keha tajub väga madalaid vibratsioonitasemeid, alates 0,25 mm/s. Enamik inimesi tunnetab vibratsiooni tasemel 0,7 mm/s. Inimesele häirivaks vibratsioonitasemeks (pidev vibratsioon) loetakse 2,5–5 mm/s. Taustamüra, mis tekib inimeste kõndimisest või ukse sulgemisest hoones, jääb sageli vahemikku 1,3–2,5 mm/s. Suurema inimeste hulga või erakorralise tegevuse käigus (nt mööbli liigutamine) võib vibratsioonitase tõusta kuni 5 mm/s. Inimesed taluvad sageli üsna kõrgeid vibratsioonitasemeid, kui tegemist on ühekordse sündmusega, kusjuures sageli on inimesed ise selle põhjustajaks. Sagedamini kaevatakse

³⁹ Rail Baltic maakonnaplaneeringute KSH aruanne. Lisa V – Müra ja vibratsiooni hindamine 13. III 2017, lk 30, <https://maakonnaplaneering.ee/maakonna-planeeringud/harjumaa/harju-maakonnaplaneering-rb/> (vaadatud 2. XII 2023).

taustamürrale sarnaneva konstantse häiriva vibratsioonitaseme üle, mille tase jääb võrdlemisi madalaks, kuid mille päritolu ei ole teada.⁴⁰

Näiteks 2022. aastal peatas Muinsuskaitseamet (MKA) ametile esitatud kaebuse alusel Tartus Veski-Näituse ristmiku teetööd, kuna kasutusel olev mehhanism tekitas tänava ääres paiknevates muinsuskaitsealustes majades liigset vibratsiooni.⁴¹ Kokkuleppel tööde teostajaga võeti kasutusele väiksemat vibratsiooni tekitavad masinad ning töid jätkati. Kaebus liigse vibratsioonitaseme osas oli puhtalt tunnetuslik ja visuaalne, nt kirjeldati laelampide vappumist. Kirjavahetuses autoriga tõi Muinsuskaitseameti Tartumaa nõunik Inga Raudvassar välja, et igale juhtumile lähenetakse eraldi. Sageli tuleb tegeleda juba tekkinud häirivate vibratsioonitasemete minimeerimisega või hoonet kahjustanud vibratsiooni tagajärgedega.⁴² Antud objektile ei teostatud vibratsiooni mõõtmisi hoones või selle vundamendilt, seega ei ole võimalik võrrelda vibratsioonitaset enne ja pärast muudatuste sisseviimist.

Muinsuskaitseametis töötab ka vastava pädevusega insener-nõunik Üllar Alev, kes püüab sellistes situatsioonides leida lahendusi koostöös ametnike ja tööde teostajaga. Alev on veendunud, et eelkõige kahjustuvad madala vundamendiga kivihooned. Samuti mõjutab vibratsiooni tugevust vibratsiooniallika kaugus hoonest. Koostöö tulemusena on MKAs kirja pandud mõned tüüplused, mida amet soovib lisada eriti teede ehituse projektidokumentatsiooni.⁴³

- Muinsuskaitsealuste objektide (sh hooned) vibratsioonikahjustuste vältimiseks näha ette erimeetmed pinnase tihendamisel ning seletuskirjas kirjeldada tihendamistehnoloogiat, mis võimaldavad vibratsioonist tingitud kahjustavate mõjude minimaliseerimist.
- Täiendada seletuskirja, et katendi konstruktsioonikihtide tihendamisel projektalal muinsuskaitsealuste objektide (sh hooned) vibratsioonikahjustuste vältimiseks kasutada pinnaste tihendamisel spetsiaalseid teerulle, millel on peal „ostsillatsiooni tihendamistehnoloogia“, või leida alternatiivmeetodid tihendustöödeks, et minimeerida vibratsioonist tingitud kahjustavaid mõjusid.

⁴⁰ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, Vibration Control During Museum Construction Projects. – Journal of the American Institute for Conservation 2013, vol. 52, no. 1, lk 31.

⁴¹ L. Ludvig, Muinsuskaitseamet peatas liigse vibratsiooni tõttu ehituse. – Tartu Postimees 10. VI 2022, <https://tartu.postimees.ee/7542231/muinsuskaitseamet-peatas-liigse-vibratsiooni-tottu-ehituse> (vaadatud 2. VIII 2023).

⁴² Inga Raudvassar, e-kirjavahetus autoriga. 2. VIII 2023. Kirjad autori valduses.

⁴³ Inga Raudvassar.

2. HOONEID MÕJUTAV VIBRATSIOON

Käesoleva magistritöö kontekstis on oluline käsitleda vibratsioonitasemeid, mis mõjutavad lisaks esemetele ka hooneid, kuna hoonetega on otseselt seotud mitmed kultuuripärandi objektid, nt seinapannood, vitraažid või ikonostaasid. Hoonet mõjutav vibratsioon levib edasi ka kergkonstruktsioonidesse, mõjutades omakorda nt vitriinides paiknevaid esemeid. Vähem tähtis ei ole ka kaitsealuste ehitismälestiste kaitse hoonele ohtliku vibratsioonitaseme eest. Muinsuskaitseameti andmetel on Eestis 2024. aasta seisuga 5261 kaitsealust ehitismälestist ja 13 249 kinnismälestist ⁴⁴

Üle maailma on kasutusel erinevad standardid, et kaitsta hooneid vibratsiooni eest. Sageli on need soovitused erinevates riikides drastiliselt erinevad ning see tekitab sobiva piirmäära valikul pigem segadust. Allpool on toodud mõned näited hoonetele seatud erinevatest vibratsiooni standarditest, mis näitlikustavad erinevate riikide seatud piirmäärade erinevusi. Vibratsiooni mõju hoonele sõltub suuresti hoone tüübist, materjalidest ja pinnasest. Ei ole olemas ühte riikidevahelist standardit, mis sobiks kõikidele hoonetüüpidele, sõltumata pinnase materjalist.

Ehitiste puhul soovitatakse uuringutes kõrgemate sageduste korral vibratsioonitaseme piirmäära tõsta, kuna hoonete omaresonants jääb enamasti vahemikku 4–12 Hz.⁴⁵ Kui hoones paiknevad kaitsealused objektid, tasub piirmäära tõstmisesse suhtuda ettevaatusega, kuna esemete omaresonants on nt lõuendmaalide puhul 1–50 Hz. Omaresonantsi puhul tuleb arvestada, et lõuendit mõjutab sellisel juhul vibratsiooniallikast kaksikümend korda suurem vibratsioonitase.⁴⁶ Seega võib vibratsioonitaseme tõstmine hoones paiknevatele esemetele saatuslikuks saada. Referentsmaterjalide kasutamisel peab mõistma soovituslike vibratsiooni piirmäärade ja sageduste laiemat konteksti.

Peamiselt on vibratsiooni piirväärtused kehtestatud autoliikluse, raudteeliikluse, ehitustööde ja lõhkamiste puhul. Relvade kasutamisest põhjustatud nõudeid on kehtestatud üksikutes

⁴⁴ Mälestiste statistika. – Kultuurimälestiste register, <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monuments-statistics> (vaadatud 2. IV 2024).

⁴⁵ A. Serotta, A. Smyth, Managing Construction-Induced Vibration in the Museum Environment. – AIC Objects Specialty Group Postprints 2014, vol. 21, lk 266, <https://resources.culturalheritage.org/wp-content/uploads/sites/8/2015/03/osg021-12.pdf> (vaadatud 22. II 2024).

⁴⁶ S. Hackney, On Canvas. Preserving the Structure of Paintings. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2020, lk 183–186.

riikides.⁴⁷ Kuna selles peatükis käsitlen osaliselt ka militaarvaldkonnas teostatud uuringuid ja vibratsiooni piirväärtusi, tasub meeles pidada, et oma iseloomu tõttu ei saa liiklusest tingitud või ehitustööde tagajärjel tekkinud vibratsioonitasemeid võrrelda otseselt plahvatuste ja lõhkamiste tekitatud vibratsiooni ja lööklainetega. Lõhkamistel tekkinud vibratsiooni ja lööklaine mõjust hoonetele saab rääkida nt tunnelite rajamisel linnadesse.

2.1 Soovituslikud vibratsiooni piirväärtused hoonetes

Ehitiste puhul määratakse üldiselt vibratsiooni piirväärtused vundamendilt mõõdetuna, kuna selliselt on mõõtmisi kõige lihtsam teostada. Esineda võib ka maapinnale esitatud piirväärtusi, kuid seda tehakse harvem. Piirväärtused on seotud ehitise tüübi, pinnase tüübi ja vahemaaga vibratsiooniallikast objektini. Viimasel juhul võetakse arvesse ka vibratsioonisagedust. Ehitise tüübid ja pinnased jagatakse sageli erinevatesse klassidesse, et hinnata erinevate tegurite põhjal kahjusid. Näitena võib välja tuua kergkonstruktsiooniga puithoone, mida mõjutab vibratsioon rohkem kui betoonkonstruktsiooniga hoonet.⁴⁸

Artiklis „Vibration Control During Museum Construction Projects“ tõdevad Johnson, Hannen ja Zuccari, et heas seisukorras hoonele võib vibratsiooni piirväärtuseks seada 13 mm/s. Mida kõrgemad on vibratsioonisagedused, seda kõrgem võib olla lävend. Madalam lävend on sobilik hoone nõrkade elementide puhul, nt eelnevalt kahjustunud vitraažaknad. Kui vibratsioonitasemed on püsivad või pikaajalised, soovitatakse maksimaalset vibratsiooni piirmäära 5 mm/s.⁴⁹

USAs on enamlevinud standard USBM RI 8507, mis põhineb 1980ndatel kaevandusfirma (U.S. Bureau of Mines) tehtud uuringutel lõhkeaine õhkimisest tingitud vibratsiooni mõjust hoonetele. Uuringus tuuakse välja, et hoone jaoks turvaliseks vibratsiooni piirmääraks loetakse olenevalt vibratsioonisagedusest 5–50 mm/s. Hoonet kahjustavad märgid ilmnevad sageli vibratsioonitasemel 75 mm/s: olemasolevate pragude suurenemine, kipsviimistlusega seintes

⁴⁷ K.-P. Luik jt, Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste..., lk 7.

⁴⁸ K.-P. Luik jt, Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste..., lk 7–8.

⁴⁹ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, Vibration Control..., lk 34.

peenikeste pragude tekkimine ja kinnitamata esemete paigalt nihkumine. Vibratsioonitasemeid alla 13 mm/s selles uurimuses ei käsitletud.⁵⁰

Mitmed eri riikides kasutusel olevad standardid on tänapäeval koondatud AASHTO raportisse, mis käsitleb hoonete potentsiaalset kahjustumist transpordist tulenevast vibratsioonist. AASHTO standardis tsiteeritakse ka Saksa standardit DIN 4150, kus säilitamist vajavatele hoonetele on vibratsiooni ülempiiriks seatud 3–9 mm/s, tulenevalt vibratsioonisagedusest. Samas on välja toodud, et DIN 4150 standardi puhul ei ole läbi viidud piisavalt põhjalikke uuringuid.⁵¹

Hoonetele suuremat mõju avaldavatele madalatele vibratsioonisagedustele viitab ka 2009. aastal Eesti Kaitseministeeriumi tellimusel koostatud õhutõrje ja suurtükiväe laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimiseks võimalike asukohtade selgitamise analüüs⁵², mis toob välja puitkonstruktsioonidega hoone vibratsiooni resonantssageduste suurused (ill 3).

Kogu ehitis	1–10 Hz
Vahelaed	10-15 Hz
Vundament (betoonist)	5–15 Hz
Vaheseinad	10–20 Hz
Aknad	20–30 Hz

3. Puitkonstruktsiooniga hoone vibratsiooni resonantssageduste suurused.

Mehdi Bahrekazemi on oma uurimuses välja toonud (viidates Nelson jt 1983. a uurimusele), et ainult 5% hoonetest tekivad 50 mm/s vibratsiooni tulemusena struktuurikahjustused. Bahrekazemi ütleb, et teadaolevalt ei ole ühtegi teavitust hoonele tekkinud kahjustustest, kui vibrokiirus on väiksem kui 25 mm/s. Kindlamalt väidab ta, et heas korras hoonetele ei tekita kahjustusi vibratsioon, mille kiirus jääb alla 15 mm/s. ISO 4866:1990 standardi järgi mõjutab hoone vastuvõtlikkust vibratsioonile selle kestus, sagedus ja dünaamiline koormus. Samuti

⁵⁰ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, Vibration Control..., lk 33–34.

⁵¹ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, Vibration Control..., lk 34.

⁵² K.-P. Luik jt, Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste..., lk 14.

tuleb arvesse võtta hoone aluse maa või vundamendi mõõtmeid, hoone seisukorda, pinnase tüüpi, vibratsiooni loomulikke sagedusi ja sumbumist.⁵³

Bahrekazemi toob ka välja, et vibratsiooni allikast 15 m kaugusel oleva hoone puhul, mis asub pehmel savipinnasel, võiks lubatud vibratsiooni piirmäär olla 4 mm/s. Ajaloolise ja ebastabiilse konstruktsiooniga hoone puhul oleks samal distantsil ja pinnasel soovituslikuks piirmääraks 2 mm/s.⁵⁴ Samas suurusel vibratsiooni piirmäärade ajalooliste hoonete puhul on viidanud ka eespool mainitud Rail Balticu raudteetrassi maakonnaplaneeringute 2017. aasta KSH aruanne.

Anna Henningsson soovib komplekssete hoonete puhul, kus paiknevad sellised teisaldamatud kunstiteosed nagu altarid, lähtuda piirmäärade seadmisel konkreetsest objektist. Ei ole võimalik ega ka mõistlik seada nt ehitustööde ajaks ühtset „turvalist“ vibratsiooni piirmäära, vaid objektipõhise lähenemise korral soovib ta arvesse võtta objekti seisundit, konstruktsiooni stabiilsust ja väärtust.⁵⁵

Vibratsiooni mõju hindamisel on oluline arvesse võtta ka hoone varasemaid struktuurseid kahjustusi, mida põhjustavad hoonele mitmed loodusnähtused või -mehhanismid, nagu temperatuur, niiskus, tuul, vundamendi vajumine, ruumi pindala, paiknemine ilmakaarte suhtes, ebaühtlane kütmine ja vee lekkimine ehitise tarinditesse.⁵⁶

⁵³ M. Bahrekazemi, Train Induced Ground Vibration and Its Prediction. Doktoritöö, Royal Institute of Technology Stockholm, Department of Civil and Architectural Engineering. Stockholm, 2004, lk 16, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:9534/FULLTEXT01.pdf> (vaadatud 7. II 2024).

⁵⁴ M. Bahrekazemi, Train Induced Ground Vibration..., lk 16.

⁵⁵ A. Henningsson, A Model for Vibration Monitoring of Immovable Art in Churches: Reflections on Monitoring as a Tool for Preventive Conservation. – IIC Studies In Conservation 2018, vol. 63, supl. issue 1, lk 113–119.

⁵⁶ K.-P. Luik jt, Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste..., lk 15.

3. ESEMEID MÕJUTAV VIBRATSIOON

Kultuuripärandi objektid dokumenteerivad meie ajalugu, mistõttu on oluline luua nende säilitamiseks parim võimalik keskkond. Mitmeid esemeid mõjutab olulisel määral vibratsioon. Lisaks esemete transpordile võivad vibratsiooniallikaks olla ehitustööd, muuseumi lähedal asuv intensiivne liiklus, masinad näitustel või hoones ja isegi muuseumi külastajad, kelle liikumisest tekib resonants põrandatel ja seeläbi ka vitriinides või ülejäänud ruumi konstruktsioonides.⁵⁷ Tänapäeval on muuseumid tihedalt seotud erinevate meelelahutuslike sündmustega, mille käigus kasutatakse ka muusika või muu heli võimendamist. Teatud helirõhutaset ületades või madalate sagedustega muusika puhul seatakse ohtu esemete turvalisus kas ekspositsioonialal või hoidlas ning teatud tingimuste kokkulangemisel võib see osutada esemetele saatuslikuks.

Kaks eestikeelset lõputööd käsitlevad seoses kultuuripärandi objektide kaitse teemaga põhjalikumalt ka vibratsioonist tingitud ohte ja mõju museaalidele. Darja Jefimova on oma magistritöös „Mägi materjalid. Konrad Mägi maalide haprusest tehniliste uuringute valguses“⁵⁸ välja toonud, et Mägi maalide üheks viimase aja sagedasemaks kahjustuste tekkimise (maalitükkide irdumine) põhjuseks on nende liiga sage eksponeerimine. Kahjustused tekivad iseäranis teoste transpordi ajal vibratsiooni ja keskkonnatingimuste muutuste mõjul. Oma osa on selles ka materjalide loomulikul vananemisel, kuid see on vaid märk sellest, et tegemist on keskkonna suhtes tundlike maalidega. Tekkinud on vastuoluline konflikt: kas rõhuda maalide autentse materiaalsuse säilimisele ja minimeerida maalide laenutamist välisnäitustele või populariseerida Mägi loomingut ja seeläbi tutvustada Eesti kultuuri rahvusvahelisel tasemel, mis seni on olnud ülimalt edukas. Oluline on ka märkida, et Jefimova kirjavahetuses kolleegiga Soome Rahvusmuuseumist selgus, et soomlased soovivad kahjustunud teoseid välisnäitustele mitte laenutada, juhul kui see pole hädavajalik ja oluline.

Aleksander Meresaare bakalaureusetöö „Transpordi- ja säilituskasti ühildamine. Katja Novitskova „Aktiveerimise muster (Planetaarsed sidemed)“ näitel“⁵⁹, mis käsitleb

⁵⁷ E. Hartlieb, P. Ziegler, P. Eberhard, Vibration Analysis on Newly Designed Painting Supports for the Cranach Exhibition 2022 at Herzogin Anna Amalia Bibliothek. Proceedings in applied mathematics and mechanics, 92nd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM) 2023, vol. 22, no. 1, lk 1, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pamm.202200324> (vaadatud 26. X 2023).

⁵⁸ D. Jefimova, Mägi materjalid. Konrad Mägi maalide haprusest tehniliste uuringute valguses. Magistritöö, Eesti Kunstiakadeemia, muinsuskaitse ja konserveerimise osakond. Tallinn, 2023, lk 19.

⁵⁹ A. Meresaar, Transpordi- ja säilituskasti ühildamine. Katja Novitskova „Aktiveerimise muster (Planetaarsed sidemed)“ näitel. Bakalaureusetöö, Eesti Kunstiakadeemia, muinsuskaitse ja konserveerimise osakond. Tallinn, 2019.

põhjalikumalt museaalide (eelkõige skulptuuride) transportimiseks sobivaid materjale ja transpordikastide konstruktsioone, puudutab ka transpordiga seotud vibratsiooni ennetavaid meetmeid. Kahjuks ei käsitleta selles töös vibratsiooni piirmäärasid, kuid see annab põhjaliku ülevaate erinevatest puhver- ja pakkematerjalidest.

Kultuuripärandi valdkonna lõputöodes käsitletakse vähe museaalide jaoks kehtestatud soovituslikke vibratsiooni piirmäärasid ning see ilmestab selgelt, et antud teemale on seni vähe tähelepanu pööratud. Enamike lõputööde puhul antakse soovitusi mõne konkreetse eseme säilitus-, transpordi- ja käsitsemisviisidele ega pöörata tähelepanu soovituslikele vibratsiooni piirmääradele. Sageli ei teadvustata, et vibratsioonist tingitud kahju esemele on ajas kumuleeruv, mistõttu võib esemele tekitatud kahju ilmned a ootamatult. Eestikeelsete selgete juhendmaterjalide vajalikkust ilmestas 2023. aastal autori läbi viidud Muuseumide Infosüsteemiga MuIS liitunud mäluasutuste peavarahoidjatele suunatud küsitlus „Transpordist ja muusikasündmustest tingitud vibratsioon muuseumides“ (lisa 1). Küsimustikule vastas sihitud valimist 33,84% (22 vastust), mida võib lugeda rahuldavaks tulemuseks. Vastustest ilmses, et 50% vastanutest tõdeb, et nende kogudesse, hoidlatesse ja näitusesaalidesse kandub vibratsiooni, kuid ainult 19,5% vastanutest olid liigse vibratsiooni tõttu rakendanud esemete kaitseks täiendavaid meetmeid. Tähelepanu väärrib ka asjaolu, et üle poole (61,9%) vastanutest lubab sündmuse ajal muusika võimendamist kõlaritest.

Seda teemat puudutava erialase kirjanduse kättesaadavus on paranemas, mida ilmestab ka fakt, et viimase kümne aasta jooksul on ilmunud uuringuid ja teadustöid, milles on esitatud täpsemaid tulemusi ja ka soovitusi kultuuripärandit kahjustava vibratsiooni mõju ennetamiseks.

3.1 Esemeid mõjutava vibratsiooni soovituslikud piirväärtused

Selles peatükis välja toodud soovituslikud piirväärtused on antud silmas pidades eelkõige lühiajalist sündmust, nt ehitustegevus, kontsert, transport jne. Ehkki siin võib esineda ka mõningaid erandeid. Seni pole avaldatud ühtegi universaalset standardit kultuuripärandi kaitsmiseks vibratsiooni eest, mistõttu on alljärgnevalt välja toodud erinevad näited soovituslikest vibratsiooni piirmäärdest.

Kui varem on vibratsioonist tingitud kahjustusi käsitletud seoses muuseumide vahel toimuva esemete transpordi ja käsitsemisega, siis üha enam muretsetakse terveid kollekttsioone mõjutava vibratsiooni pärast, mis on tingitud hoone sees või väljas toimuvast tegevusest. Muuseumikogude lähistel toimuvad ehitustööd on museaalidele sama ohtlikud kui üksikute objektide transport. Puudub ka selge arusaam eri tüüpi museaalide vastuvõtlikkusest vibratsiooni tugevusele ja kestusele, enne kui tekivad esimesed märgid kahjustustest. Senised vibratsiooni piirmäärade soovitusel tuginevad kogemusele ja olukorra jälgimisele, kuid vähesel määral on läbi viidud konkreetseid katseid objektide endiga. Huviorbiidist on välja jäänud esemed, mis ei oma niivõrd suurt rahalist väärtust, kuid on olulised kultuuripärandi säilitamisel.⁶⁰

Konserveerimisalane kirjandus toob välja, et muuseumidevahelise transpordi ajal mõjutab kunstiteoseid kordades tugevam vibratsioon, kui on kehtestatud vibratsiooni piirmäärade mõju ajaloolistele hoonetele või kunstiteostele ehitustööde ajal. Samas väidetakse, et kunstiteoste transpordil tekib kahjusid harva, mistõttu ennatlikult arvatakse, et kehtestatud vibratsiooni piirmäärad on liialt konservatiivsed. Tegemist on vastuolulise infoga, mis tähendab, et on vaja paremini mõista museaale ohustavaid ja vibratsioonist tingitud riske.⁶¹

Esemete jaoks soovituslike vibratsiooni piirmäärade osas on erialakirjanduses kõige enam viidatud David Thicketti 1999. aastal ilmunud artiklile „Assessment of Vibration Damage Levels“.⁶² Tegemist on hea näitega, kuna see artikkel käsitleb soovituslikke vibratsiooni piirmäärasid eri tüüpi esemete puhul, nagu polükroomne puit, kipsskulptuur, seinamaalingud ja metall.

Muuseumide puhul, mis asuvad intensiivse liikluskõlme läheduses, hinnatakse taustamürast tingitud pidevaks vibratsiooniks 1 mm/s. Sellise vibratsioonitaseme puhul ei ole teada ühestki kahjustusest, mis oleks võinud tekkida taustamüra, sh liiklusest tingitud vibratsiooni tagajärjel, mis jääb alla 1 mm/s.⁶³

⁶⁰ W. (Bill) Wei, E. Dondorp, Testing to Determine Allowable Vibration Limits at a Natural-History Museum in the Netherlands. – APT Bulletin Journal of Preservation Technology 2020, vol. 51, no. 4, lk 19–20, <https://www.jstor.org/stable/26970189> (vaadatud 18. VIII 2023).

⁶¹ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, Vibration Limits..., lk 66.

⁶² D. Thickett, Assessment of Vibration Damage Levels. – Conservation Research Group, The British Museum, Department of Conservation, report no. 1999/6, väljatrüki koopia autori valduses.

⁶³ W. Wei, L. Sauvage, J. Wölk, Baseline Limits..., lk 2.

Koormus ja vibratsioon võib objektile tekitada kohest kahju, kui mõju avaldub selle nõrgas piirkonnas, nt struktuuris, kahjustunud piirkonnas või varasema paranduse juures. Näiteks võivad keraamilise vaasi olemasolevad praod pikeneda või maali varasem parandus irduda. Vibratsiooni mõju esemetele varieerub sõltuvalt ka objekti struktuurist ja seisundist. Heas seisukorras massiivsed tööd võivad olla väga vastupidavad, kuid vibratsioonile alid või nõrgad objektid võivad olla kahjustustele äärmiselt vastuvõtlikud. Eset kahjustavaid vibratsiooni piirmäärasid on keeruline seada, kui objekti mõjutavad üheaegselt mitu tegurit, nt temperatuur, suhteline õhuniiskus ja vibratsioon. Raskemaks teeb olukorra ka see, kui tegemist on erinevatest materjalidest objektiga, mille igal materjalil on erinev väsimuspiir. Kokkuvõttes tuleb sobivaim lubatud vibratsioonitase valida vastavalt sündmuse iseloomule ja objekti seisundile.⁶⁴

Märkimisväärne on ka kaudne kahju, kui nt ese kukub vibratsiooni tulemusena postamendilt alla. Sellist nähtust nimetatakse eseme „kõndimiseks“, mida juhtub sagedamini siledatel pindadel paiknevate kergete objektidega. Kui vibratsiooniallikas paikneb eseme lähedal, oskame sellega kaasnevad riske paremini hinnata. Sageli alahinnatakse mööda hoone konstruktsioone edasi kanduvat vibratsiooni, kus vibratsiooniallika ja objekti vaheline kaugus on suurem.⁶⁵

David Thicketti 1991. aastal valminud uurimuses olid vaatluse all Briti Muuseumi eksponaadid, mis paiknesid Great Courtis läbi viidud ehitustööde lähistel. Esemete seisundi jälgimise ja vibratsiooni mõõtmiste tulemusena jõuti järeldusele, et vibratsioon tasemel 0,2 g ehk 1961,33 mm/s² (200 Hz juures 1,5 mm/s) võib kujutada ohtu eelkõige õrnadele ja halvas seisus esemetele. Ehitustööde käigus esemeid mõjutanud mõõdetud vibratsioonid jäid vahemikku 0,15–0,44 g (1470–4315 mm/s²). Polükroomsete esemete ja kipsist seinamaalingute peamisteks kahjustusteks olid pigmendi kaod ning mõrade tekkimine ja suurenemine. Artiklis kirjeldatakse, kuidas vibratsiooni tagajärjel hakkab näiliselt fikseeritud ese liikuma ning eseme ja selle kinnitussüsteemi omavahelise hõõrdumise tulemusena tekivad eseme pinnale visuaalselt nähtavad kahjustused. Taolisi kahjustusi märgati esemetel, mida mõjutas vibratsioon vahemikus 0,15–0,4 g (1470–3923 mm/s²). Kirjeldatud on ka esemete „kõndimist“ klaasriiulitel, kuid sellega seoses visuaalselt eristatavaid kahjustusi esemetel ei registreeritud.⁶⁶ Thicketti artikli refereerijad on seni vähe tähelepanu osutanud eksponeeritavate esemete

⁶⁴ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 34–44.

⁶⁵ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 34–44.

⁶⁶ D. Thickett, *Assessment of Vibration Damage Levels*, lk 2-10.

kinnitusviisidele ja toestussüsteemidele, millele Thickett uurimistöös viitab ja mis võivad vibratsiooni korral museaale märkimisväärselt kahjustada.

Hollandi Kultuuripärandi Agentuur (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed ehk RCE) on koos oma koostööpartneritega uurinud aastail 2004–2014 erinevate projektide raames vibratsiooni mõju esemetele ja selgitanud välja vibratsioonitaseme, millest madalamal tasemel lühiajaliste sündmuste mõju esemetele on üldjuhul minimaalne. Töögrupp viis läbi vibratsiooni mõõtmisi objektide lähedal asuvatelt pindadelt, nt transpordikastid, maaliraamid, hoone seinad ja põrandad. Katsete käigus ei paigaldatud sensorit objekti külge, kuna tegemist ei ole hea tavaga, sest olenemata sensorite väikesest kaalust mõjutavad nad objekti, nt lõuendi, käitumist, kui sensor on selle külge kinnitatud.⁶⁷

RCE tehtud mõõtmised kinnitavad, et kõige kriitilisem esemeid mõjutav vibratsioon tekib madalatel sagedustel ehk vähem kui 50 Hz, kus 1 herts on üks tsükkel sekundis. Traditsiooniliste maalide puhul tuuakse välja, et vibratsiooni piirmäär võiks olla 2 mm/s, mille puhul on mõju esemele lühiajaline, nt rokk-kontsert, paar kuud kestvad ehitustööd jne. Ülejäänud objektide puhul peetakse taustamüra maksimummäära 1 mm/s liiga konservatiivseks ning hinnatakse, et isegi 2 mm/s ei tekita esemetele märkimisväärset kahju. Samas tuleb arvesse võtta, et palju räägitud vibratsioonitase 2 mm/s alati ei garanteeri eseme terveks jäämise, kuna arvesse tuleb võtta ka vibratsiooni kumuleerumist ajas ning sageli ei ole meile teada eseme varasem ajalugu ja selle käsitsemisviis. Seega on oht, et maalilt irdub esimese vibratsioonitsükli ajal mõni värvitükk. Kui kahju tekib maali alumistes kihtides, on seda väga keeruline palja silmaga tuvastada. Uurimisgrupp tõi välja, et konserveerimine ja maalide katmine konsolideeriva kihiga üldjuhul vähendab võimalike kahjude tekkimist.⁶⁸

Konsolideeriva kihiga kaetud kunstiteoste paremale vastupidavusele viitab ka Leila Sauvage'i, William Wei ja Marcias Martinezi artikkel. Eksperimendis kolmekümne uue paberalusel pastellmaaliga (loodud 18. sajandi pastellmaalide eeskujul) toodi välja, et kahjustuste ilmumine sõltub tsüklite arvust, paberaluse võnkumise amplituudist ja teose tehnilistest omadustest. Katses pidasid vibratsioonile paremini vastu need tööd, mis olid pealt viimistletud fiksiivlakiga, või mille puhul nihke amplituud jäi oluliselt väiksemaks. Uurimus tõestab, et

⁶⁷ W. (Bill) Wei, N. Krumperman, N. Delissen, Design of a Vibration Damping System..., lk 1-9.

⁶⁸ W. (Bill) Wei, N. Krumperman, N. Delissen, Design of a Vibration Damping System..., lk 1-9.

kunstiteoste eluiga mõjutab olulisel määral vibratsioonist tingitud kumuleeruvad kahjustused, kuid täpsemaid juhiseid või soovituslikke vibratsiooni piirmäärasid see uurimus ei anna.⁶⁹

RCE soovitab muuseumidel pidada tundlike esemete kohta (eelkõige transpordi ajal) logiraamatut, mis kajastaks erinevaid vibratsiooniga seotud sündmusi. Piisava hulga andmete korral on võimalik hinnata esemega seotud andmete paiknemist Wöhleri kõveral ning hinnata paremini järgmise deponeeringuga seonduvaid riske.⁷⁰

Kümme aastat kestnud RCE uuringud näitavad, et esemele tekkiv kahju on väike, kui vibratsioonitase jääb lühikese perioodi jooksul (kuni 6 kuud) alla 2 mm/s. Vibratsioon võib olla sellisel juhul põhjustatud transpordist, kontserdist või ehitustegevusest, mille puhul vibratsiooni sagedused jäävad alla 50 Hz. See eeldab, et kogus olevad esemed on heas seisukorras ning muuseumil on hoolikalt läbi mõeldud plaan juhuks, kui vibratsioonitasemed ületavad soovitud piirmäära. Samuti oleks soovitav vibratsioonile tundlikud ja halvemas seisukorras esemed vibratsiooniallikast eemale viia.⁷¹

Arne Johnson ja Mohamed ElBatanouny on jõudnud mitmete uurimistööde tulemusena järeldusele, et nt ehitustööde käigus on mõistlik kehtestada musealideni leviva vibratsiooni piirmääraks 2,53 mm/s, mis peaks kaitsma enamikke võrdlemisi heas seisukorras objekte.⁷²

Chicago Kunstiinstituut (The Art Institute of Chicago ehk AIC) on välja pakkunud, et ehitustööde ajal on esemete jaoks turvaliseks vibratsiooni piirmääraks 2,5 mm/s, mida võib vibratsiooni sageduse suurenedes tõsta. Lähtudes AICi eelistustest, seadis nt Saint Louisi Kunstimuuseum (Saint Louis Art Museum ehk SLAM) ehitustööde ajal kunstiteoseid mõjutava vibratsiooni piirmääraks 3 mm/s. Ehitustööde käigus seatud piirmäärade puhul on oluline arvestada, et sel juhul on tegemist piiritletud vibratsiooniga: vibratsioon toimub teatud ajaperioodi vältel ning vibratsioonist mõjutatud aladel on hoiustatud ja/või eksponeeritud võrdlemisi heas seisukorras esemed. Kui muuseumis on hoiustatud või eksponeeritud vibratsioonile alteid objekte, mis kipuvad siledal pinnal „kõndima“, on osa hoone interjöörist

⁶⁹ L. Sauvage, W. (Bill) Wei, M. Martinez, When conservation Meets Engineering: Predicting the Damaging Effects of Vibrations on Pastel Paintings – IIC Studies In Conservation 2018, vol 63, suppl. issue 1, lk 418–420.

⁷⁰ W. (Bill) Wei, L. Sauvage, J. Wölk, Baseline Limits..., lk 6.

⁷¹ W. (Bill) Wei, L. Sauvage, J. Wölk, Baseline Limits..., lk 6.

⁷² A. Johnson, M. ElBatanouny, The Effects of Vibrations from Human Traffic and Construction on Museum Collections. – Vibrations and Museum Collections 2019, Part 1, lk 4–9, <https://www.wje.com/assets/pdfs/articles/Vibrations-and-Museum-Collections-Part-1.pdf> (vaadatud 18. XI 2023).

(nt riputatud valgustus) või on tegemist olemuselt õrnade objektidega, tuleb vibratsiooni piirmäärad kriitiliselt üle vaadata ja anda uus hinnang lubatud piirmääradele.⁷³

AIC kasutas soovituslike piirmäärade väljatöötamisel võrdluspunktina raudteest 4,5 m kaugusel asuvale muuseumile edasi kanduvat vibratsiooni. Rongid möödusid muuseumist aeglasel kiirusel mitu korda päevas. Mõõdetud vibratsioon muuseumi hoonetes jäi vahemikku 0,8–1,8 mm/s. Seni puudusid andmed, et pikaajaline pidev vibratsioon oleks tekitanud kogudele kahju.⁷⁴

AICi otsus tõsta suuremate sageduste korral vibratsiooni piirmäära võib olla hoones paiknevatele esemetele ohtlik, sest esemetele võib mõjuda kõrgem resonantssagedus. Kahjuks ei ole artiklis välja toodud, millistest sagedustest on täpselt juttu.

3.2 Vibratsiooni mõju eksponeerimispindadele ja eksponaatidele

Vibratsiooni piirmäärade seadmisel jääb sageli tähelepanuta hoone kergkonstruktsioonide või riiulite ja vitriinide eripäraga arvestamine vibratsiooni edasikandumisel.

Vibreerida võib kõik, millel on teatav mass ja paindlikkus. Sagedus, mille puhul ese hakkab vibreerima, sõltub eseme massist ja jäikusest. Näiteks riiulile lisaraskust asetades vibreerib see madalamal sagedusel kui ilma lisaraskuseta. Võrreldes vibratsiooni algallikaga võib seinalt riiulitele ja stendidele edasi kanduv vibratsioon olla kordades tugevam. Selle põhjuseks on objekti resoneerimine, kui vibratsiooniallika sagedus kattub objekti enda loomuliku sagedusega. Kui vibratsiooniallika sagedus muutub näiteks tugevamaks riiuli loomulikust sagedusest, väheneb oluliselt ka riiuli resoneerimine. See teadmine on oluline eseme toetus- ja/või riiulisüsteemides vibratsioone summutavate materjalide kasutusele võtmisel, kuna valesti valitud summutusmaterjal võib tekitada vastupidise efekti ja eseme resoneerimist võimendada.⁷⁵

⁷³ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 36.

⁷⁴ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 36–37.

⁷⁵ A. Serotta, A. Smyth, *Construction-Induced Vibration in the Museum Environment*. – AIC Objects Specialty Group Postprints 2014, vol. 21, lk 264, <https://resources.culturalheritage.org/wp-content/uploads/sites/8/2015/03/osg021-12.pdf> (vaadatud 22. II 2024).

Muuseumide näituste ala on mõnevõrra sarnane kontoriga, kus inimesed on keskendunud ja võrdlemisi vaikselt keskkonnas. Nii on väiksemgi vibratsioon võrdlemisi hästi põrandatel tunda. Muuseumides, mis asuvad vanemat tüüpi hoonetes, kus on massiivsed ja jäigad põrandakonstruktsioonid, on põrandad küllastajate tekitatud vibratsioonile vähem vastuvõtlikud kui kaasaegsed pikemate laagivahedega kerge teraskonstruktsiooniga põrandad. Sellegipoolest peab iga põranda või vitriini vastuvõtlikkust vibratsioonile eraldi hindama, kas hoone projekteerimise ajal või vajadusel *in situ* vibratsiooni mõõtmiste käigus.⁷⁶

2022. aastal uuriti Saksamaal Anna Amalia raamatukogus toimunud Cranachi⁷⁷ näituse ettevalmistamise raames maalide eksponeerimiseks keset ruumi paigutatud stendi vastuvõtlikkust vibratsioonile ning püüti leida lahendusi vibratsiooni vähendamiseks. Juba visuaalsel vaatlusel täheldati, et konstruktsioon reageerib nõrgemale vibratsioonile, mis avaldas mõju ka maalidele. Ruumis ja stendil tehtud mõõtmiste andmetega loodi programmi Abaqus abil LEM-mudel (lõplike elementide meetod), mis võimaldas simuleerida maalide võimalikku vibratsioonitaset. Katse käigus kasutati originaalmaalidega sarnaste mõõtmete ja raskusega koopiaid. Vibratsiooniallikatest (liiklus, hoonesisene tegevus, küllastajad) hinnati kunstiteostele kõige enam riske tekitavaks maali lähedal küllastajate kõndimist ja rääkimist, mille tagajärjel tekkiv vibratsioon stendil jäi alla 0,01 g (98,0665 mm/s²). Kuna ekspositsioonistendil eksponeeriti ühel alusel nelja maali, täheldati vibratsiooni kandumist ka ühelt maalilt teistele (ingl *coupling effect*). Selle efekti vähendamiseks piisas raskuse (7 kg) lisamisest stendi keskele. Mudeli simulatsioon tõi välja, et vibratsiooni vähendavad lisaks stendi jalgade tugevdamisele kõige paremini just horisontaalvaiade lisamine.⁷⁸

Chicagos asuv Fieldi Loodusloomuuseum (Field Museum of Natural History) uuendas 2018. aastal püsiekspositsiooni, mille käigus sooviti liigutada *Tyrannosaurus rex* (SUE) uude asukohta. Hoone sisehoov ehitati kinniseks, lisades kolm terasraamiga kergbetoonpõrandat. SUE uueks asukohaks planeeriti hoone teine korrus ning projekteerimise käigus võeti arvesse peamiselt museaali kaalu. Peagi ilmnes, et teise korruse põrandad on küllastajate tekitatud vibratsioonile oluliselt vastuvõtlikumad kui esimese korruse põrandad. Vibratsioon oli kolm kuni kuus korda tugevam, vibratsioonisagedus varasemast väiksem (varasema 13 Hz asemel 6 Hz) ning põranda omavibratsiooni sagedus varasemast madalam. See tähendab, et põrand oli

⁷⁶ A. Johnson, M. ElBatanouny, *The Effects...*, lk 4–5.

⁷⁷ Lucas Cranach vanem 1472–1553.

⁷⁸ E. Hartlieb, P. Ziegler, P. Eberhard, *Vibration Analysis...*, lk 1–6.

altim resoneerima, kuna külastajate kõndimisel tekitatud vibratsioon on ligikaudu 6 Hz või vähem. Mõõtmistulemused näitasid, et külastajate tekitatud vibratsioonitase oli umbes 0,508 mm/s ja harva esinev tugevam vibratsioon, nt käärtõstukilt, 2,794 mm/s lähedal, mis on sarnane tavaliselt ehitustööde käigus museaalidele seatud vibratsiooni limiidiga 2,54 mm/s. Muuseumi rahuldav tulemus saavutati põrandatele täiendavate sammaste lisamisega.⁷⁹

Kerstin Kracht viis läbi arvutil mudeldatud katsed, mis tõestasid, kui ohtlikud võivad olla esemega samasageduslikud võnked. Simulatsioonis kasutati messingust kolmeharulist küünlajalga, mis oli asetatud kõige ülemisele metallist riiulile. Küünlajala omavõnkesagedus oli 20 Hz. Objekti omaresonantsiga sarnase võnkesageduse juures ilmnes, et küünlajala kõige hapramad piirkonnad olid selle kolm haru ning jala alumise osa liitekoht, mistõttu pikaajalise vibratsiooni kumuleerumisel võivad suure tõenäosusega seal tekkida deformatsioonid või praod. Vähem tähelepanuväärne ei ole ka see, et metallist riiul käitus 20 Hz juures justkui trampliin, mis näitab, kuivõrd oluline on pöörata tähelepanu vitriinide ülesehitusele juba projekteerimise algfaasis.⁸⁰

Hollandis Leideni Loodusloomuuseumis (Naturalis Biodiversity Center) seisti silmitsi sarnaste probleemidega, mida kirjeldas Kerstin Kracht.⁸¹ William Wei ja Esther Dondorp katsetasid spetsiaalsel vibratsioonilaual loodusmuuseumi hoidla metallriiuli vastuvõtlikkust vibratsioonile ning jälgisid valitud objektide käitumist eri tugevuse ja sagedusega vibratsiooni korral. Põhjused, miks katseid läbi viidi, olid hoones toimuvad suuremahulised renoveerimistööd ning kartus, et mitmed esemed võivad hoidlariiulitel „kõndima“ hakata. Katsete eesmärgiks oli teada saada, milline vibratsiooni piirmäär on mõistlik ehitustööde ajaks seada, et vältida eelkõige kogude „kõndimist“ riiulitel, pidades silmas konkreetse loodusmuuseumi kogusid (putukad, linnu- ja loomatopised, skeletid jpm). Katse eesmärk oli läbi mängida halvim võimalik stsenaarium, kus eseme omaresonantsi tagajärjel hakkavad esemed riiulilt maha „kõndima“. Katsete läbiviimisel lähtuti hinnangust, et resoneeriv ese kahjustub suure tõenäosusega kiiremini kui vibratsiooni mõjualas olev ese, mis ei resoneeri.⁸²

⁷⁹ A. Johnson, M. ElBatanouny, *The Effects...*, lk 4–9.

⁸⁰ K. Kracht, *Kulturgut auf dem Trampolin. Wie Konzerte und Museumsbesucher Vitrienen Zum Schwingen bringen.* – *Restauro* 2018, no. 1, lk 30–33.

⁸¹ K. Kracht, *Kulturgut auf dem Trampolin*, lk 30–33.

⁸² W. (Bill) Wei, E. Dondorp, *Testing to Determine Allowable Vibration Limits...*, lk 19–20.

Katse läbiviimiseks pandi hoidla metallriiul vibratsioonipingile ning riiulile asetati valitud esemed. Katse käigus mõõdeti anduritega vibrokiirust (0,5–2 mm/s PPV) nii seadmelt kui ka riiulilt ning jälgiti esemete ja riiuli käitumist eri sagedustel vahemikus 3–50 Hz. Kuna esemetele ei õnnestunud andureid paigaldada, hinnati esemete vastuvõtlikkust vibratsioonile (sh eseme omavibratsiooni) visuaalselt.⁸³

Katse tulemustest järeldati, et esemed käitusid eri sagedusega vibratsiooni korral väga erinevalt, olenemata esemete suurusest ja materjalist. Siiski võib välja tuua kaks esemeid enim mõjutanud sagedusvahemikku: alla 10 Hz ja üle 30 Hz. Katsest ilmnes, et riiulile asetatud esemeteni jõudev vibratsioonitase oli kordades kõrgem vibratsioonipingi omast: kui vibratsioonipink vibreeris kiirusel 1,5–2 mm/s, siis riiulitel paiknevate esemeteni jõudis vibratsioon kiirusel 15–40 mm/s. Vibratsioonipingile asetatud esemete liikumist oli võimalik silmaga tuvastada alates sagedusest 20 Hz. Katse käigus ei tuvastatud esemetel vibratsioonist põhjustatud kahjustusi, kuid riiulite omaresonantsi tõttu mitmed esemed „kõndisid“ ja liikusid ning mõni kukkus selle tulemusena riiulilt maha või pörkas teise esemega kokku. Katse tulemusena soovitati muuseumil järgida, et vibratsioonitase ei ületaks põrandalt või tundlike esemete juurest mõõdetuna 1,5–2 mm/s.⁸⁴

David Thickett toob välja, et muuseumides on levinuimaks vibratsiooniallikaks külastajad ning et selle mõju näeb ja tajub kõige paremini vanemates puitpõrandatega hoonetes. Briti muuseumi (British Museum, The Great Court) näitusesaalides läbiviidud vibratsiooni mõõtmised näitasid, et külastajad tekitavad lisaks vitriinidest möödumisel suuremat vibratsiooni ka juhul, kui nad pörkavad vitriinide vastu. Briti muuseum eksponeerib sageli vibratsioonile tundlikke esemeid seinavitriinides, mis minimeerib külastajate poolt tekitatud vibratsiooni mõju.⁸⁵

Mõõtmiste käigus uuriti ka esemete „kõndimist“ vitriinides. Et ese hakkaks vitriinis liikuma, on vaja ületada kahe materjali vaheline hõõrdejõud. Hõõrdejõud sõltub kolmest tegurist: eseme kaalust, kontaktpinnast eseme või selle toestussüsteemi ja riiuli vahel ning eseme või selle toestussüsteemi ja riiuli materjalidest. Näiteks akrüülklaasile asetatud pronksist skulptuurid massiga 0,485 kg „kõndisid“ vibratsioonil alla 0,1 g, kuid klaasile asetatud skulptuur massiga 0,330 kg ei liikunud. Esemete võimalikku „kõndimist“ vitriinides jälgiti katse käigus peamiselt

⁸³ W. (Bill) Wei, E. Dondorp, Testing to Determine Allowable Vibration Limits..., lk 22.

⁸⁴ W. (Bill) Wei, E. Dondorp, Testing to Determine Allowable Vibration Limits..., lk 22–25.

⁸⁵ D. Thickett, Vibration Damage Levels for Museum Objects. – ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 2002, vol. 1, lk 90–92, file:///C:/Users/krist/Downloads/ICOM-CC_2002_Rio%20de%20Janeiro_18.pdf (vaadatud 18. XI 2023).

klaasist ja värvitud metallist vitriinides ning nende esemete kaal jäi alla 0,5 kg. Kõige madalam vibratsioonitase, mil esemete võimalikku „kõndimist“ jälgiti, oli 0,02 g juures. Vitriinide riiulid, mida toestasid vertikaalsed metallist latid (rippuvad või mõlemast otsast kinnitatud), olid stabiilsemad kui riiulid või alused, mis olid kinnitatud otse vitriinitaguse seina külge. Thicketti sõnul on vibratsioonile kõige tundlikumateks objektideks klaas, mineraalid ja antropoloogilised kogud.⁸⁶

Briti muuseumis ehitustööde ajal läbi viidud mõõtmised näitasid, et kahju tekkis esemetele vibratsiooniga vahemikus 0,2–0,6 g, seda eelkõige objektide puhul, mis olid oma olemuselt õrnad või eelnevalt kahjustatud. Vibratsioonile mõeldakse esemeid eksponeerides harva. Just halvasti läbi mõeldud toestus- ja kinnitussüsteemid võivad vibratsiooni võimendada. Nii ilmnemiseks kasutatud abrasiivsed kahjustused, kui tekkis hõõrdumine esemete fikseerimiseks kasutatud tihvtide vastu. Kõige enam said ehitustööde käigus kannatada seinamaalid, terrakottad ja polükroomse pinnaviimistlusega esemed. Kipsist seinamaalingute puhul olid peamisteks kahjustusteks uute pragude tekkimine ja olemasolevate laienemine. Mõningal juhul täheldati ka värvi irdumist. Tuleb arvesse võtta, et vibratsioon kandus vaid piiratud osale ekspositsioonist, mistõttu ei olnud kõik materjalide tüübid esindatud. Samuti eemaldati ekspositsioonist enne ehitustööde algust arheoloogiline klaas, mis on vibratsioonile äärmiselt tundlik.⁸⁷

New Yorgi Metropolitani muuseum (Metropolitan Museum of Art ehk MET) on välja toonud, et lisaks ehitustegevusest kanduvale vibratsioonile registreerisid nad märkimisväärseid vibratsioonitasemeid ka muuseumis toimuva tavapärase tegevuse tulemusena, nt vitriinide ja sahtlite avamine ja sulgemine, transpordialuste liikumine galeriides, külastajate liikumine ja õnnetused.⁸⁸

3.3 Kontserdid jm sündmused

Helirõhutasemed on meelelahutuslike sündmuste ajal sageli kõrgemad kui seadusandluses välja toodud piirmäärad. Tunnetuslikult on väga keeruline aru saada, kui helirõhutase ületab

⁸⁶ D. Thickett, *Vibration Damage Levels for Museum Objects*, lk 92.

⁸⁷ D. Thickett, *Vibration Damage Levels for Museum Objects*, lk 92–95.

⁸⁸ A. Serotta, A. Smyth, *Construction-Induced Vibration...*, lk 277.

kokkulepitud piirmäära. Sageli ei ületata piirmäära pahatahtlikult, vaid sooviga pakkuda kuulajatele suuremat muusikaelamust.

Aastail 2021–2022 tehtud helirõhutaseme mõõtmised erinevates kontserdipaikades näitasid, et kontsertide keskmine helirõhutase jääb enamasti lubatud piirmäärade sisse, kuid maksimaalväärtused küündisid sageli oodatust kõrgemale. Näiteks sümfoonia- ja puhkpilliorkestri proovides ja kontserdil mõõdeti keskmiseks helirõhutasemeks 87,8 dB, aga maksimaalväärtus küündis 124,8 dB-ni. Helivõimendust kasutavate kontsertide keskmine helirõhutase varieerus vahemikus 74,5–91,5 dB, kuid maksimaalväärtus ulatus 130,9 dB-ni.⁸⁹ Võrdluseks on allpool toodud tabel erinevate heliallikate orienteeruvast helitasemest (ill 4).

Orienteeruv helitase	Heliallikas
10–30 dB	Lehtede sahin, rahulik hingamine
30–50 dB	Arvuti
50–70 dB	Tavaline vestlus
70–85 dB	Transpordimüra
85–90 dB	Mootorratas
100–110 dB	Disko
100–120 dB	Rokk-kontsert
130–135 dB	Reaktiivlennuki müra
> 125 dB	Valulävi

4. Erinevate heliallikate tekitatud helitasemed detsibellides (ELU-projekti aruanne „Potentsiaalse kuulmislanguse riskiga meelelahutus-, sportimis- jm kohtade akustilise mürakoormuse uuring“, 2021, Tallinna Ülikool).

⁸⁹A. Kääramees, G. Maasikas, H. Tõnisma, H. Lemendik, K. Pruul, K. Kaldma, L. Minn, M. Saarmets, T. Kukli, T. Kaasik, Ü. Maikalo, Potentsiaalse kuulmislanguse riskiga meelelahutus-, sportimis- jm kohtade akustilise mürakoormuse uuring. ELU-projekti aruanne. Tallinn: Tallinna Ülikool, 2021, https://elu.tlu.ee/sites/default/files/2022-01/ELU%20projekti%20aruanne_0.pdf (vaadatud 3. II 2024).

2022. aastal valminud ülemaailmne muuseumidele suunatud küsimustiku raport⁹⁰ näitas, et mitmed mäluasutused rakendavad kontsertide puhul helitaseme piiranguid ning mõnel juhul on seatud ka vibratsioonitaseme piirmäärad. Näiteks Detroidi Kunstiinstituut (Detroit Institute of Arts) on seadnud helitaseme piiriks 90 dB ning jälgib, et kõlarid ei paikneks seintele lähemal kui 1,2 m. Samuti kasutatakse vibratsiooni vähendamiseks tehnika ja instrumentide all põrandal kummimatte ja muid vibratsiooni summutavaid meetodeid. Londonis asuv Rahvusgalerii (National Gallery) on sündmustele seadnud helitaseme piiriks 75–85 dB, sõltuvalt sündmuse iseloomust ja asukoha kaugusest kogude suhtes. Nemad kasutavad ka kõlarite väljunditel spetsiaalseid tasandeid (ekvalaisereid ehk sagedusfiltreid), et summutada soovimatuid sagedusi. Mõned muuseumid kasutasid lisaks helivõimsuse taseme monitoorimisele ka vibratsiooni piirmäärade seadmist tasemele 2 mm/s, lähtudes ehitustegevuse ajal muuseumidele seatud soovituslikest vibratsiooni piirmääradest.

Mitmed muuseumid tõid välja, et muusikalised koosseisud, kus kasutatakse rohkem basskitarre ja löökriistu, on kogude ohutust silmas pidades kõige problemaatilisemad. Samuti peetakse ohtlikuks DJde mängitavat salvestatud muusikat (rokk, klubimuusika, R&B).⁹¹

Kerstin Kracht on 2018. aastal valminud uurimistöös⁹² samuti tähelepanu juhtinud muuseumis toimuvate kontsertide, muuseumi küllastajate ja ühistranspordi negatiivsele mõjule museaalidele. Sellega käib kaasas töötajate hirm museaalide turvalisuse pärast ning „kõndima läinud“ museaalide pidev sättimine peale suuremaid sündmusi.

Muusikasündmuste ajal on madalasagedusliku võimendatud heli lainepikkus pikem ja levib allikast oluliselt kaugemale kui kõrgemad helisagedused. Õhk on kui meedium, mis heli edasi kannab, kuni see põrkub ruumis nt vastu seina, pannes selle vibreerima. Kracht toob välja, et raudbetoon heli kuigi hästi ei summuta ja kannab seda hästi edasi. Nii kandub seintes tekkiv vibratsioon edasi ka põrandatesse, mida nimetatakse struktuurist tingitud müraks (ingl *structure-borne noise*).⁹³

Krachi töös viidatud ja ka Eestis kehtiv EU standard EN 15999-1:2014 („Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for Design of Showcases for Exhibition and Preservation of

⁹⁰ A. P. Johnson jt, *Vibratory Impacts...*

⁹¹ A. P. Johnson jt, *Vibratory Impacts...*, lk 32.

⁹² K. Kracht, *Kulturgut auf dem Trampolin*, lk 30-33.

⁹³ K. Kracht, *Kulturgut auf dem Trampolin*, lk 30-33.

Objects, Part 1: General Requirements“)⁹⁴ seab eesmärgiks, et vitriin peab kaitsma eksponeeritavat objekti ebatavalise niiskuse, saasteainete, tolmu ja vibratsiooni eest, sh löögi eest. Kahjuks ei anna standard täpsemat infot soovituslike vibratsiooni piirmäärade kohta.

Chicago Fieldi Loodusloomuseum uuris põhjalikumalt SUE ehk *Tyrannosaurus rex*'i skeleti eksponeerimisel kasutatava helisüsteemi mõju eksponaadile. 17 kõlarit, sh 6 bassikõlarit, mis paiknesid laes ja seintel, andsid edasi türannosaurusse elukeskkonna ilmestamiseks mõirged ja erinevaid loodushääli. Eeldati, et möiretest tekkiv madalasageduslik heli võib põhjustada fossiilidele kahjulikke vibratsioone.⁹⁵

Mõõtmistel kasutati laseriga mittekontaktset vibratsiooni mõõteseadet, mis salvestas kuue erineva eksperimendi käigus (taustvibratsioon, löök, kõndimine, mõirged kõlaritest, madalasageduslik süntesaatoriheli kõlaritest, erinevad muusikastiilid kõlaritest) skeletti mõjutava vibratsioonitaseme. Juhusliku kõndimise käigus ümber eksponaadi tuvastati fossiililt mõõdetud vibratsioon vahemikus 5,08–12,7 mm/s. Põrandalt edasi kanduv vibratsioon oli eksponaadini jõudes kolm kuni kaheksa korda võimsam ning seda hinnati põrandale toetuvate geomeetrilise objektide puhul tavaliseks resonantskäitumiseks. Kõlaritest võimendatud möirete puhul oli vibratsioon madalam ning jäi vahemikku 0,762–5,08 mm/s.⁹⁶

Selle projekti puhul jäid kõlaritest mõõdetud vibratsioonitasemed võimendatud heli puhul madalamaks kui küllastajate liikumisest tingitud vibratsiooni korral. Sellegipoolest toob projekti meeskond välja, et SUEd eksponeeriv galerii ei ole mõeldud elava kontserdi ja DJ-settide korraldamiseks, mille tulemusena võib tugev bassisisend tekitada eksponaadi osadele märkimisväärset vibratsiooni.⁹⁷

⁹⁴ Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for Design of Showcases for Exhibition and Preservation of Objects, Part 1: General Requirements. EN 15999-1:2014. Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. Kättesaadav: Tartu Ülikooli akadeemiline raamatukogu.

⁹⁵ A. P. Johnson, M. ElBatanouny, W. Simpson, Vibration Mitigation and Sound Testing in SUE Hall at the Field Museum in Chicago. – APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, Special Issue: Mitigating Vibration Damage 2020, vol. 51, no. 4, lk 48–49, <https://www.wje.com/assets/pdfs/articles/APT-Vibration-Mitigation-and-Sound-Testing-in-SUE-Hall-at-the-Field-Museum-Chicago.pdf> (vaadatud 15. X 2023).

⁹⁶ A. P. Johnson, M. ElBatanouny, W. Simpson, Vibration Mitigation..., lk 48–49.

⁹⁷ A. P. Johnson, M. ElBatanouny, W. Simpson, Vibration Mitigation..., lk 49.

3.4 Esemete transportimine

Kõige olulisemad konserveerimisotsused tehakse siis, kui ese deponeeritakse välisnäitusele. Tänapäeval ei ole põhifookuses küsimused, kuidas restaureerida olemasolevaid kahjustusi, vaid kuidas ennetada järgnevat. Esemete deponeerimine peab olema põhjendatud ning arvestama eseme seisukorra võimalike muutuste ja nende tagajärgedega.⁹⁸

Eestis kasutavad mitmed muuseumid suuremõõtmeliste ja hinnaliste esemete transpordiks kunsti transpordiga tegelevaid firmasid, seda kahel põhjusel: muuseumidel ei ole sageli ruumi erimõõdus spetsiaalsete transpordikastide hoiustamiseks või puudub personal, kellel oleks kompetents või võimalused nõuetekohaseid transpordikaste valmistada.

Esemete liigutamist ja käsitsemist hinnatakse üheks suurimaks füüsilise jõuga seotud riskiks. Transpordi käigus võivad eset mõjutada korraga mitu erinevat tegurit. Esemete transpordi eri etappide käigus on oht seda maha kukutada, millegi vastu ära lüüa, põhjustada esemele transpordikärul tugevaid vibratsioone või pakendada ese transpordiks liiga tugeva surve alla.⁹⁹

Mitmed eelmisel sajandil välja antud esemete transporti ja pakkimist käsitlevad soovitused, nt Nathan Stolowi „Procedures and Conservation Standards for Museum Collections in Transit and on Exhibition“,¹⁰⁰ on suures osas endiselt usaldusväärsed, kuid materjalide tehnoloogia kiire areng viimaste kümnendite jooksul on turule toonud mitmeid efektiivsemaid lahendusi museaalide pakkimiseks ja transportimiseks. Mitmed uuringud keskenduvad just maalide transpordile, mistõttu on ka siinses peatükis rohkem käsitletud eelkõige lõuendmaale mõjutavat vibratsiooni ja löökkkoormust.

Esemete transpordiga seotud vibratsiooni ja löökkkoormuse mõju kunstiteostele on seni kõige rohkem uuritud ja selle põhjal saab luua eeldused, kuidas üks või teine objekt teatud tingimustes käitub. Muuseumide konservaatoritel on enamasti kogemuspõhine kompetents hindamaks ühe või teise eseme vastupidavust transpordist tingitud vibratsioonile, võttes arvesse eseme seisundit ja struktuuri. Vähendamaks vibratsiooni ja põrutuse mõju esemele, peaks arvestama esemetele seatud löökkkoormuse tugevuspiiri (ingl *shock fragility rating*). Õrnade kunstiteoste,

⁹⁸ S. Hackney, On Canvas, lk 183–186.

⁹⁹ A. Brokerhof, B. Ankersmit, F. Ligterink, Risk Management for Collections, lk 61.

¹⁰⁰ Stolow, Nathan. Procedures and Conservation Standards for Museum Collections in Transit and on Exhibition. Technical Handbooks for Museums and Monuments, UNESCO. United Nations: Imprimeries Populaires de Genève, 1981.

nt kipsist skulptuuride, vastupidavus löökkkoormusele võiks olla 20 Hz juures 150–250 m/s² või 1200–2000 mm/s. Esemed, millel on ebatavaline kuju, kinnitatakse spetsiaalsete rihmade¹⁰¹ või toestuslattidega, et vähendada transpordi käigus eseme resoneerimist või liikumist. David Saunders on välja toonud, et lühiajalise transpordi käigus (maal ja õhus) mõjub esemetele löökkkoormus, mis on 100 m/s² või 800 mm/s või rohkem, seda peamiselt transpordikasti käsitsemisel või nt lennuki turbulentsi ajal. Pidev vibratsioon vahemikus 5–10 m/s² või 40–75 mm/s on iseloomulik esemete transportimisel kaubikuga. Sarnast vibratsiooni võib esineda ka teiste transpordiviiside kasutamisel.¹⁰²

Kui Thickett soovitas halvas seisus esemetele seada vibratsiooni piirmääraks 0,2 g ehk 1961,33 mm/s² (200 Hz juures 1,5 mm/s), siis Saunders¹⁰³ on soovitanud seada heas seisukorras maalidele vibratsiooni piirmääraks 0,5 g.

Uurimisgrupp Art in Transit on 1991. aastal välja toonud, et esemete transpordiga kaasnevad riskid on tänapäeval oluliselt madalamad kui esemete käsitsemisel muuseumisiseselt.¹⁰⁴ Transpordi ajal on esemete käsitsemisel ohukohaks näiteks transpordikastide peale- ja mahalaadimine kas muuseumis või lennujaamas. Tähelepanelik tuleb olla ka väiksemate museaalide saatmisel käsipagasiga. Sageli on pakendid liiga suured või rasked, et neid käes tassida, mistõttu lennujaamas liikudes valitakse pahaaimamatult transpordikärud, mis tekitavad esemele tugevat vibratsiooni ebatasase pinnakattega põrandatest üle sõitmisel. Samuti ei pöörata piisavalt tähelepanu valitud transpordivahendite vedrustussüsteemidele. Esemete transportimisel kasutatav pehmenusmaterjal suudab löökkkoormust absorbeerida efektiivsemalt kui pehmenada maanteel autotranspordi ajal tekkivaid taustavibratsioone.¹⁰⁵

Museaalide näitustele (sh rändnäitusele) välja andmise tagajärjeks võivad olla eseme kahjustused, mis on tingitud lohakast pakkimisest ja valest transpordiviisist. Mõju avaldab ka pakkematerjalide valik, kliimatingimused ning muuseumi personali kompetents ja väljaõpe.

¹⁰¹ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 35.

¹⁰² A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 35.

¹⁰³ S. Watts, J. Berry, A. de Joia, F. Philpott, *In Control or Simply Monitoring? The Protection of Museum Collections from Dust and Vibration During Building Works*. – ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 2002, vol. 1, lk 110, <https://www.icom-cc-publications-online.org/2192/In-control-or-simply-monitoring-The-protection-of-museum-collections-from-dust-and-vibration-during-building-works> (vaadatud 24. VIII 2023).

¹⁰⁴ S. Hackney, *On Canvas*, lk 183–186.

¹⁰⁵ D. Saunders, *Monitoring Shock and Vibration During the Transportation of Paintings*. National Gallery Technical Bulletin 1998, vol. 19, lk 71–72, <https://www.nationalgallery.org.uk/media/15652/saunders1998.pdf> (vaadatud 19. IX 2023).

Välisnäituste planeerimisel võiks arvestada ka sihtkoha kliimaatiliste tingimustega ning võimalusel planeerida näitus perioodile, mil kliimatingimused on eseme hoiukohaga võimalikult sarnased.¹⁰⁶

Vibratsioonile on tundlikud suured lõuendmaalid, mille puhul võivad maalikihid lõuendilt irduda. Sageli on täheldatud kahjustusi rasketel skulptuuridel, mis ei ole transpordi ajal korralikult toetatud ning annavad löögi ja pinge tagajärjel teatud nõrkadest kohtadest lõpuks järele, st lähevad katki või purunevad.¹⁰⁷

Eksperimendid viitavad, et uuemad lõuendmaalid ei veni piisavalt, et kahjustada ka suurema vibratsiooni korral gesso kihti, mida peetakse maalide puhul vibratsioonile kõige tundlikumaks. Antud juhul mängib rolli materjali enda vananemisaste, temperatuur ja suhteline õhuniiskus, millest sõltub materjali elastsus. Uuemate suurte lõuendmaalide puhul on tugevama vibratsiooni korral probleemiks hoopis raamikiilude nihkumine. Maalide puhul on mehaaniliselt kõige haavatavam krundikiht, kuna sisaldab suuremal hulgal pigmenti. Liimainel baseeruv krundikiht on vibratsioonile äärmiselt vastuvõtlik, sest selle struktuur muutub kuivades klaasjaks. Õli- ja akrüülbaasil krunt muutub madala temperatuuri juures hapraks. Kuna krundikiht on silmale sageli nähtamatu, ilmnevad transpordi käigus tekkinud kahjud alles aastaid hiljem, kui mikropraod on jõudnud maali alumistest kihtidest pindmiste kihistusteni.¹⁰⁸

Pinged, mis tekivad tänu lõuendi liikumisele, on harva niivõrd suured, et tekitada nähtavat kahju. Küll aga tekib kahju sagedamini siis, kui lõuend on transpordi ajal vibratsiooni tulemusena hõõrunud vastu põiklatte või pehmendusmaterjali. Lõuendmaalide puhul aitab vibratsiooni vähendada jäik tagaplaad, mis tekitab maali taha suletud õhuga ruumi ega võimalda vibratsioonil nii tugevalt avalduda. Kõrge sagedusega vibratsioone aitab vähendada sobiv pakkematerjal.¹⁰⁹

Esemete kahjustuste ilmnemisel mängib olulist rolli keskkonnatingimuste kõikumine, seda eriti transpordi ajal. Järsud keskkonnatingimuste muutused võivad toimuda transpordil nii majasiseselt kui ka majast välja.

¹⁰⁶ N. Stelow, *Procedures and Conservation Standards*, lk 7–9.

¹⁰⁷ N. Stelow, *Procedures and Conservation Standards...*, lk 10.

¹⁰⁸ S. W. Michalski, *Paintings...*, lk 241.

¹⁰⁹ S. Hackney, *On Canvas*, lk 183–186.

Temperatuur ja suhteline õhuniiskus mõjutab oluliselt eseme vastupidavust löögile. Näiteks -3 kraadi ja 5% suhtelise õhuniiskuse juures purunevad materjalid allpool tugevuspiiri, mis tähendab, et sobiva temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse hoidmine transpordi ajal on äärmiselt oluline.¹¹⁰

„Materjali hapruse suurenemist (löögisitkuse vähenemist) madalatel temperatuuridel nimetatakse külmahapruseks ja selle omadust külmahapruseks (ingl *cold brittleness, cold embrittlement*).“¹¹¹

Esemete transpordiks sobiva pakendi ja pakkematerjali arvutamiseks vajalikke meetodeid on palju uuritud ning transpordiga tegelevad tunnustatud firmad on valdkonnaga hästi kursis. Olemas on ka mitmeid programme, mis aitavad valida objekti turvaliseks transpordiks sobiva paksuse ja tihedusega pehmendusmaterjali. Üks muuseumidele suunatud veebis tasuta kasutatavatest programmidest on näiteks PacCAD¹¹², mille on loonud CCI.

Üldiselt kehtib põhimõte, et mida suurem ja raskem on transpordikast, seda väiksem on selle kukkumise kõrgus, kuna raskeid objekte ei tõsteta tavaliselt kuigi kõrgele. Vähendamaks väikeste ja kergete esemete maha pillamist transpordi ajal, on mõistlik koondada need mõnesse suuremasse transpordikasti, selle asemel et transportida mitut väikest pakki korraga.¹¹³

¹¹⁰ S. Hackney, On Canvas, lk 183–186.

¹¹¹ P. Kulu jt, Materjalitehnika I, lk 29.

¹¹² PadCAD. Preventive Conservation Tools, Canadian Conservation Institute, Government of Canada, viimati muudetud 18. XII 2017, <https://app.pch.gc.ca/application/padcad/index.app?lang=en> (vaadatud 17. IV 2024).

¹¹³ A. Brokerhof, B. Ankersmit, F. Ligterink, Risk Management for Collections, lk 61.

4. RISKIDE MAANDAMINE

Esemete kaitseks vibratsiooni eest on võimalik kasutada mitmeid vibratsiooni summutavaid kinnitussüsteeme ja abimaterjale. Alljärgnevalt on välja toodud vaid mõned näited erinevatest lahendustest ja materjalidest. Antud töö mahtu arvestades ei ole võimalik süvitsi analüüsida erinevaid vibratsioone ja lööke summutavaid materjale, kuid see peatükk annab teemast lühikese ülevaate.

4.1 Ennetavad meetmed

New Yorgi Metropolitani muuseum (Metropolitan Museum of Art ehk MET) kasutas edukalt aastail 2012–2013 toimunud suuremahuliste ehitustööde käigus ekspositsioonis olevate museaalide kaitseks Sorbothane'i isolatsiooniplaate, mida toodetakse erineva paksuse ja tihedusega. Tegemist on viskoelastse polüuretaaniga, millel on väga head vibratsiooni summutavad omadused. Mõõtmiste käigus tuvastati, et õigesti paigaldatuna suudab see materjal vähendada esemeni jõudvat vibratsiooni 75–80%. Vibratsiooni summutavaid materjale võib kasutada täies ulatuses eseme all või eksponeerimiseks kasutatava aluse all väiksemate padjanditena. Oluline on tagada kõikide padjandite vahel ühtlane kaalu jaotus. Kui eseme aluspind on ebahürtlane, kasutatakse täiendava kihina eseme ja Sorbothane'i plaadi vahel suure tihedusega polüetüleenmaterjali. Eseme või vitriini alla paigaldatud vibratsiooni summutav materjal ei tohi olla liiga pehme, mis võib aja jooksul materjali kokku vajutada, mistõttu selle vibratsiooni summutav omadus väheneb. Samas peab eseme enda mass olema efekti saavutamiseks piisavalt suur, et kontakt vibratsiooni summutava materjaliga oleks piisav. Kergete esemete puhul kasutati METis täiendavaid raskusi eseme ja Sorbothane'i plaadi vahel.¹¹⁴

Vibratsiooni summutavate materjalide kasutamise ajal on mõistlik teha vibratsiooni mõõtmisi, et kinnitada kasutatavate abimaterjalide eesmärgipärasust. METi näitel võib teatud vitriinide või riiulite puhul tekkida olukord, kus vibratsiooni summutavad padjandid hoopis võimendavad teatud sagedusi. Sellisel juhul tuleb aru saada, milline osa vitriinist või riiulist põhjustab kõrge amplituudiga omaresonantsi ning kas täiendavate toetussüsteemidega on võimalik seda

¹¹⁴ A. Serotta, A. Smyth, Construction-Induced Vibration..., lk 268–275.

vähendada. Ka põrandalt edasi kanduvat vibratsiooni on võimalik massi lisamisega vähendada.¹¹⁵

Esemeid mõjutavat vibratsiooni on võimalik vähendada ka teiste abimaterjalidega, nt polüestrist vatiini ning eri paksuse ja tihedusega polüetüleenvahuga, mida MET kasutas edukalt ekspositsioonis paiknevate väiksemate esemete kaitseks vibratsiooni eest. Polüestervatiini kasutati nt sahtlites ja riiulitel alusmatina. Õrnad esemed, mis võivad kangakiudude külge takerduda, asetati eraldi õhukesest kortsutatud polüetüleenkangast pessa. Takistamiseks esemete riiulilt alla kukkumist on soovitatav paigaldada riiuli servadesse nt õhukesest polüetüleenvahust torudest või vajalikku mõõtu lõigatud polüetüleenpesadest täiendavad piirded. MET soovitab vibratsiooniohu korral esemeid mitte eksponeerida konsoolriiulitel ja pleksiklaasist postamentidel.¹¹⁶

Lisaks Sorbothane'i isolatsioonimaterjalile on edukalt kasutatud ka Sylomeri ja Plastazote'i materjale. Maalide jt esemete riputamisel võiks kasutada vibratsiooni absorbeerivaid ja vähendavaid vahelülisid. Abimaterjalide kasutamisel tuleb tagada objekti ühtlane toetuspind. Seda ka juhul, kui soovitakse isoleerida nt maaliraami alumisele servale seinast kanduvat vibratsiooni, paigaldades seina ja maali vahele sobiva paksusega pehmenused.¹¹⁷

Abimaterjalide kasutamisel tuleb silmas pidada, et sõltuvalt sündmuse kestusest tuleb valida ka selleks sobivad materjalid. See tähendab, et kui abimaterjalid paigutatakse koos esemega pikemaks ajaks suletud keskkonda, tuleb valida keemiliselt stabiilsed ja pikaajaseks säilitamiseks sobivad materjalid. Esemete lühiajalisel transportimisel võib pakendi täitematerjalidena kasutada ka lühiajaliseks kasutamiseks sobivaid materjale, kuid museaalidega otseselt kontaktis olevad materjalid peavad olema stabiilsed ega tohi eset keemiliselt või füüsiliselt kahjustada.

Vibratsiooni mõju vähendamiseks on võimalik rakendada järgnevaid meetmeid:¹¹⁸

- Asetada õrnad esemed vooderdusega alusele, takistamaks nende liikumist.

¹¹⁵ A. Serotta, A. Smyth, *Construction-Induced Vibration...*, lk 271–273.

¹¹⁶ A. Serotta, A. Smyth, *Construction-Induced Vibration...*, lk 273–277.

¹¹⁷ C. Higgitt, L. Harrison, T. Galikowski, M. Pau, P. Henson, *Protecting the National Gallery's Painting Collection From the Impact of Vibrations During Building Work. – Studies in Conservation 2020*, vol. 65, supplement issue 1, lk 148–153, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00393630.2020.1754058?needAccess=true> (vaadatud 27. XI 2023).

¹¹⁸ W. (Bill) Wei, E. Dondorp, *Testing to Determine Allowable Vibration Limits...*, lk 24.

- Kasutada esemete lühiajaliseks kinnitamiseks muuseumi kitti (ingl *museum putty*) või geeli.
- Kasutada kõrgete servade või piirdega riuleid.
- Vältida kergete esemete, nt preparaadikarpide, üksteise otsa asetamist.
- Kontrollida, et eseme number oleks eseme külge turvaliselt ja kindlalt kinnitatud.
- Kergete esemete puhul, nt linnutopised, asetada riulitele lisaraskus, mis takistab riulite resoneerimist.
- Paigutada õrnad esemed raskematele riulisüsteemidele või kappidesse.

4.2 Monitoorimine

Füüsikaliste suuruste mõõtmisel on oluline teada, mida soovitakse mõõta. Sellest sõltub mõõteseadme valik ja meetodika. Löögi ja vibratsiooni mõõtmisel on vaja teada, kas mõõta soovitakse inimest või objekti mõjutavat vibratsiooni. Seadme valikut mõjutab mõõtetulemuste soovitud täpsusaste, mõõteperiood, mõõtepiirkond, seadme sõltuvus vooluallikast või arvutist, andmete kuvamine reaajas või nende salvestamine pikema ajaperioodi vältel, objekti suurus jne. Olemas on ka seadmeid, mis võimaldavad saata registreeritud vibratsiooni või löögi kohta teavitusi telefonile või mõnele muule seadmele.

Vibratsiooni salvestav seade peaks suutma registreerida vibratsioone kolmel teljel, minimaalselt sagedusega 0–500 Hz ja kiirendusega 0–100 000 mm/s², mis võiks katta nt transpordi ajal eset mõjutavad vibratsioonitasemed ja sagedused.¹¹⁹

Näiteks KUMUs on hiljuti soetatud seade SPIRON G-Log 2, mida kasutatakse peamiselt kunstiteoste monitoorimiseks transpordil.¹²⁰ Seade võimaldab salvestada lisaks vibratsioonile ka temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust. Seadme spetsifikatsiooni järgi suudab see mõõta vibratsiooni kolmel teljel täpsusega 2,5%, ± 156906 mm/s² (täpsus 3,5%, ±235359 g) ning sagedusega 25–1600 Hz.¹²¹

2024. aastal ERMis läbi viidud mõõtmistel registreeriti kergkonstruktsiooniga seinal võimendatud helist tingitud vibrokiirendus 100 Hz juures 540937 mm/s². Suurim fikseeritud

¹¹⁹ D. Saunders, *Monitoring Shock and Vibration...*, lk 65.

¹²⁰ D. Jefimova, suuline vestlus autoriga, 2. XI 2023. Lindistus autori valduses.

¹²¹ Technical Data SPIRON G-Log 2. Data Logger for Shock and Climate Technical Data. <https://www.datenlogger-store.de/mwdownloads/download/link/id/2609> (vaadatud 2. II 2024).

sagedus jäi veidi alla 50000 Hz. Antud juhul kasutati spetsiaalset PCB Piezotronicsi kolmeteljelist kiirendusandurit 356A44 ja Data Translation analoog-digitaalmuundurit DT9837B. Seadme valik oleneb suuresti sellest, mida mõõta soovitakse. Kui mõõteseade ei vasta soovitud parameetritele, jäävad teatud andmed lihtsalt fikseerimata. Vibratsiooni- või helitaseme mõõtmiseks ei soovita ma kasutada mobiiltelefonides pakutavaid rakendusi.

Endiselt on ebaselge, kuidas mõjutavad esemeid kõrgetel sagedustel (üle 100 Hz) vibratsiooni kiirus või kiirendus, mis ületab esemetele soovituslikke piirmäärasid, nt 5000 mm/s². Seni on enamus artikleid keskendunud just madalamatele sagedustele, lähtudes esemetele omasest omaresonantsi sagedusvahemikust 1–50 Hz.

Vibratsioonist tingitud riskide maandamiseks muuseumides on Johnson, Hannen ja Zuccari välja pakkunud kolm erinevat meetodit¹²²:

1. Konservatiivne lähenemine – kõik kunstiteosed eemaldatakse vibratsiooniallika mõjuväljast;
2. Otsustuspõhine lähenemine – tulenevalt muuseumi personali kogemustest ja väljaõppest määratakse lubatud vibratsiooni piirmäärad ning museaalid eemaldatakse ainult neile ohtlikest piirkondadest;
3. Seiremeetod – sündmuse vältel mõõdetakse vibratsioonitaset, kuid varasemalt ei ole läbi viidud eelnevaid mõõtmisi või analüüse.

Allpool on välja toodud vibratsiooni kaardistamiseks ja ennetamiseks soovituslikud tegevused, mis on kokku pandud kolme artikli^{123;124;125} ja autori enda kogemuse põhjal:

- Selgita välja vibratsiooniallikas.
- Planeeri ja vii läbi vibratsiooni mõõtmised, vajadusel kaasa professionaalid.
- Kaardista vibratsiooni levik vibratsiooniallikast hoone eri ruumidesse ja tasanditele.
- Koosta riskianalüüs.

¹²² A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 30–31.

¹²³ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 37–39.

¹²⁴ A. Serotta, A. Smyth, *Construction-Induced Vibration...*, lk 276–277.

¹²⁵ W. (Bill) Wei, S. Watts, T. Seddon, D. Crombie, *Protecting Museum Collections from Vibrations Due to Construction: Vibration Statistics, Limits, Flexibility and Cooperation*. – *Studies in Conservation* 2018, vol. 63, no. 1, lk 293–300, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00393630.2018.1504438> (vaadatud 2. II 2024).

- Loo hea ja pidev kommunikatsioon eri osapooltega (ehitaja, sündmuse korraldaja jne).
- Hinda museaalide seisundit vibratsioonist mõjutatud piirkondades. Kaardista eseme kahjustused, nõrgad piirkonnad ja eelnevad konserveerimis- ja restaureerimistööd.
- Paiguta ümber vibratsiooniallika mõjualasse jäävad õrnad ja halvas seisukorras museaalid ja deponeeringud.
- Võimalusel ära liiguta esemeid, mille transportimine põhjustab suuremat kahju kui lühiajaline vibratsioon.
- Võta kasutusele vibratsiooni summutavad abimaterjalid/meetmed nii esemete kui vibratsiooniallika (nt kõlarite) puhul.
- Enneta esemete võimalikku „kõndimist“ riiulitel. Takista abivahenditega esemete üksteise otsa ja/või riiulilt alla kukkumist.
- Lepi osapoolte vahel kokku vastutusalad, nt kogude seisundi monitoorimine, mõõteseadmete töökorras oleku tagamine, andmete lugemine ja interpreteerimine, info vahetamine kriisiolukorras jne.
- Pane paika vibratsiooni mõõtmise meetod ja metoodika.
- Selgita osapooltele vibratsiooni piirmäärade seadmise vajalikkust.
- Lepi osapoolte vahel kokku vibratsiooni piirmäärad. Vajadusel jaga hoone lubatud vibratsioonitasemete järgi erinevateks tsoonideks.
- Piira vibratsiooni tekitava sündmuse toimumist samal ajal hoone erinevates osades.
- Sündmuse vältel monitoori pidevalt esemete seisundit (tee hea resolutsiooniga fotod enne ja pärast sündmust; paiguta valged paberilehed eseme alla eraldunud tükide paremaks märkamiseks; märka esemete nihkumist „kõndimise“ tulemusena).
- Lepi kokku tegevused juhaks, kui lubatud vibratsiooni piirmäärasid ületatakse. Vajadusel lepi kokku erinevad tegutsemise tasandid, nt madalama ja kõrgema vibratsiooni piirmäära korral. Selgita välja, mis põhjustas piirmäära ületamist.
- Lepi kokku tegevused juhaks, kui ese on saanud sündmuse käigus kahjustada.
- Lepi kokku ja sõnasta selgelt, millisel juhul ja mis ulatuses peab üks või teine osapool kahju korvama.

5. VIBRATSIOONI MÕÕTMISED EESTI RAHVA MUUSEUMIS JA SAADUD ANDMETE ANALÜÜS

Mõõtmiste eesmärgiks oli hinnata Eesti Rahva Muuseumi (ERM) näituste aladele kanduva vibratsiooni tugevust ja selle võimalikku mõju museaalidele. Mõõtmised teostati kahes etapis. Esimese etapi mõõtmised toimusid 23. oktoobril 2023. aastal, mille käigus hinnati küllastajate ja majasisese transportvahendi tekitatud vibratsiooni kandumist vitriinidesse. Teise etapi mõõtmised toimusid 29. jaanuaril 2024. aastal, mille käigus hinnati ERMi kontserdipaikadest võimendatud helist tingitud vibratsiooni kandumist näituste aladele.

Mõlema etapi puhul kasutati mõõteseadmeteks PCB Piezotronicsi kolmeteljelist kiirendusandurit 356A44 ja Data Translation analoog-digitaalmuundurit DT9837B. Mõõtmistulemused (vibrokiirendus) salvestati QuickDAQ 3.7.0.49 tarkvaraga. PCB Piezotronics 356A44 kiirendusanduri eeliseks on selle mõõtmised, mis võimaldab andurit kinnitada väikeste ja keeruliste objektide külge.

Alljärgnevad alapeatükid annavad ülevaate mõõtmistel saadud andmetest ja nende analüüsist, andes soovitusi võimalike riskide maandamiseks küllastajate tegevusest ja helist tingitud vibratsiooni ja esemete majasisese transpordi korral. Mõõtmistulemuste interpreteerimisel lähtuti erialakirjanduses välja toodud lühiajalistest soovituslikest vibratsiooni piirmääradest maalide jaoks, mille puhul on heas seisundis esemetele soovitatav seada vibratsiooni piirmääraks 5000 mm/s^2 ja kahjustunud või nõrga struktuuriga esemetele 2000 mm/s^2 .¹²⁶ Kuna 2024. aasta alguse seisuga ei ole Eestis välja antud ühtegi ametlikku standardit, mis käsitleks museaalide jaoks soovituslike vibratsiooni piirmäärasid, lähtutakse eespool mainitud piirmääradest. Antud piirmäärasid on edukalt rakendanud mitmed Euroopa ja Ameerika Ühendriikide muuseumid hoone lähedal või hoone sees teostatud ehitustööde vältel ning esemete monitoorimisel transpordi ajal.

Mõõtmised teostas Tartu Ülikooli Tartu Observatooriumi (TO) kosmosetehnoloogia osakonnast insenerid Mari Allik, Silver Põlgaste ja Karl Hendrik Kolina. ERMist osalesid mõõtmiste läbiviimisel selle uurimuse autor (konserveerimisosakonna juhataja) Kristiina Piirisild, helimeistrid Taavo Teras ja Marcus Ellervee.

¹²⁶ A. P. Johnson, W. R. Hannen, F. Zuccari, *Vibration Control...*, lk 36.

Mõõteprotokollis esitatud andmetest jäeti allpool toodud tabelitest välja 56 andmerida (kuue katse tulemused), kuna tegemist oli kas katsega hoidlates, mida selles analüüsis ei käsitleta, poolikuks jäänud katsega või segas katse läbiviimist mõni väline faktor. Mõõtmiste käigus mõõdeti vibrokiirendust (mm/s^2). Andmed mõõdeti võnkuva suuruse maksimaalse hälbe keskväärtusest (ingl *zero to peak*). Mõõteprotokollidega on võimalik lähemalt tutvuda lisades 2 ja 3.

5.1. I etapi mõõtmised: külastajatest ja majasisesest transpordivahendist tingitud vibratsioon

5.1.1. Eesmärk

Mõõtmiste eesmärgiks oli teada saada, kui suurt vibratsiooni võivad külastajad, näituste hooldustööde ajal ringi liikuvad masinad ja esemete transpordiks kasutatavad vahendid tekitada vitriinides paiknevatele esemetele. Vitriinide valikul jälgiti, et esindatud oleks enamik ERMi püsi- ja ajutiste näituste vitriinide eri tüüpidest nii mõõtmete kui ka materjalide poolest. Valituks osutusid viis vitriini, mille materjalid ja mõõtmed on kirjeldatud alljärgnevas tabelis (ill 5).

Nr	Vitriin	Materjal	Mõõtmed
1	„Õige keha, vale keha?“ (ajutine näitus)	Puitkarkass, vineer, MDF, klaasriiul	Üle 5 m pikkune monoliitne vitriinide stand, ühendatud astmete/istumisalaga
2	Klaaspudelid (püsinäituse „Kohtumised“ ümarvitriin)	Teraskarkass, rullikutel MDF-alus, pleksiklaasist riilid, klaas	Vitriin kinnitatud raudbetoonist põranda külge; läbimõõt 1000 mm, kõrgus 2530 mm
3	„Kodune raamatukogu“ (püsinäituse „Kohtumised“ pikk avatud vitriin)	Teraskarkass, rullikutel MDF-alus, viimistletud vineerplaat riilid	Vitriin kinnitatud raudbetoonist põranda külge; 5020 × 1020 mm, kõrgus 2530 mm

4	Relvad (püsinäituse „Kohtumised“ pikk vitriin)	Teraskarkass, rullikutel MDF-alus, pleksiklaasist riiulid, klaas	Vitriin kinnitatud raudbetoonist põranda külge; 5020 × 1020 mm, kõrgus 2530 mm
5	„Vabadus uskuda“ (püsinäituse „Kohtumised“ ümarvitriin)	Teraskarkass, rullikutel MDF-alus, viimistletud EPS-vahtplastist riiulid, klaas	Vitriin kinnitatud raudbetoonist põranda külge; läbimõõt 1000 mm, kõrgus 2530 mm

5. Eksperimendi jaoks välja valitud ERMi vitriinid.

Küllastajate tekitatud vibratsioon tegi kõige enam muret suurte kooligruppide puhul, kuna lapsed on sageli elavamad ja liikuvamad kui ülejäänud vanusegruppidesse kuuluvad küllastajad. Vitriinides paiknevatele esemetele hinnati ohtlikuks ka ajutisele näitusele projekteeritud vitriine, mis olid ühendatud küllastajate istumisalaga.

ERMi hariduskeskuse juhi Kaari Siemeri sõnul¹²⁷ on giidigrupi suuruseks kuni 25 inimest. Laste- ja noortegrupid inimeste arvu poolest ei erine, küll aga erinevad arvukuselt gümnaasistide grupid. Gümnaasiumiklassid on suured (kuni 38 inimest) ja üldjuhul klasse näitusetuuridel ei poolitata. Siemer tõi välja, et kõige enam liiguvad ja hüppavad lapsed Ajaraja püsinäitusel nõukogude perioodi piirisoonis, kuhu jääb ka vitriin „Kodune raamatukogu“. Lisaks on lastele liikumiseks atraktiivne avatud hoidla põrandaklaas, nutivoodi näitusel „Oma ase“, osalussaal ja kuplid näitusel „Inimene ja keskkond“. Hariduskeskuse juhi sõnul on ERMi näitused üsna keerulise ülesehitusega, mistõttu näitused ei soodusta laste jooksmist või tormamist.

Lisaks küllastajatele oli huviorbiidis ka majasiseste hooldustööde ajal ringi liikuvate masinate ja esemete transpordivahendite mõju vitriinidele. Kuna ERMi põrandad on valmistatud raudbetoonist, tuleb umbes iga nelja meetri tagant ületada betoonplaate ühendavaid vuugivaheid. Vuugivahest üle sõites tekib heli järgi korralik põrutus, mis võib tekitada vitriinides täiendavaid vibratsioone.

¹²⁷ K. Siemer, e-kirjavahetus autoriga. 12. X 2023. Kirjad autori valduses.

5.1.2 Metoodika

Vibratsiooni mõõtmisel põrandalt valiti mõõtekohaks piirkond, mis jääb võimalikult kaugemale tugiseintest ja -postidest. Vitriini sees teostatud mõõtmistel valiti kiirendusanduri asukoht lähtuvalt vitriini avatud ukse asukohast ja kiirendusanduri kinnitamise võimalustest vitriinis paiknevatele riiulitele (ill 6 ja 7).

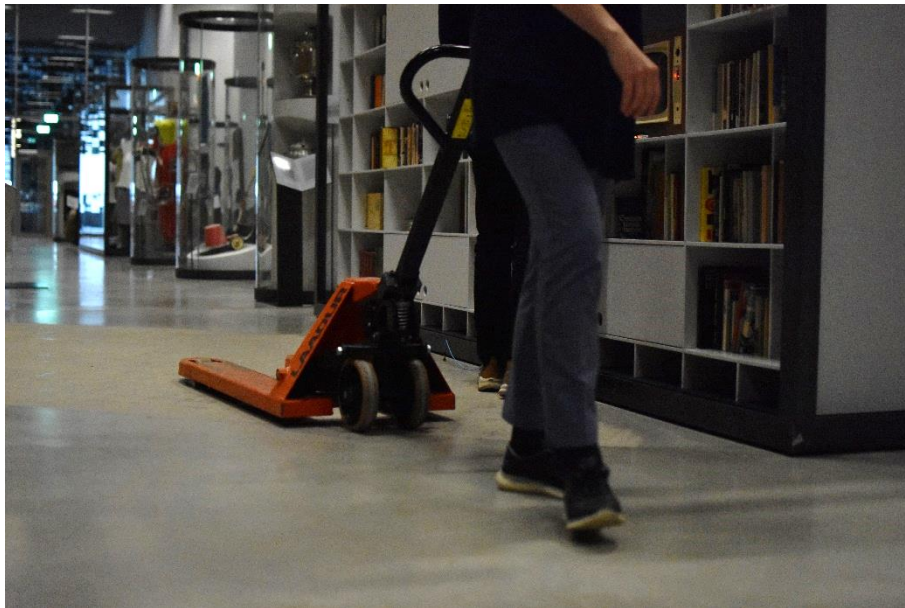


6. Kiirendusanduri paigaldamine relvavitriini ülemisele pleksiklaasist osale.



7. Kiirendusanduri paigaldamine seinale.

Eksperimendis imiteeriti külastaja või külastajate grupi möödumist vitriinist (ühe külastaja kõnd, nelja külastaja hoogne kõnd, ühe inimese hüppamine vitriini kõrval). Masinate ja transpordivahendite liikumise jäljendamiseks sõideti vitriinist mööda roklaga (Rokla Basic 2200), mille tühimass oli 63 kg (ill 8). Mõõtmised teostati ainult ühes teljes, kus hinnanguliselt on kiirendus kõige suurem (x-telg, vertikaalne liikumine). Andur kinnitati põrandale ja vitriinidele kahepoolse kleeplindiga, mis on eksperimendis kasutatud anduri kinnitamisel labori tavapärase praktika.



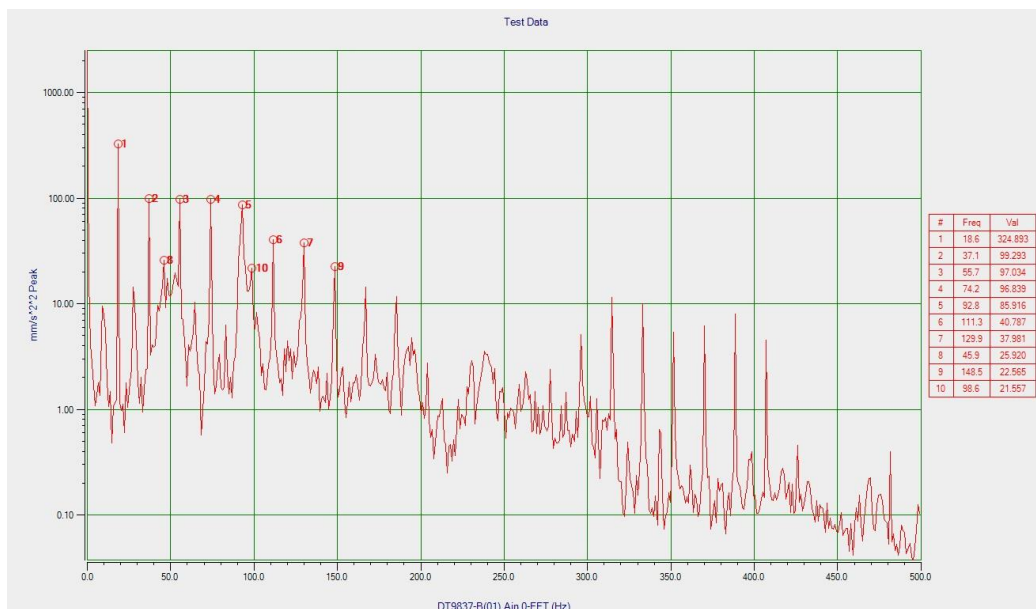
8. Tühimassiga rokla möödumine vitriinist.

5.1.3. I etapi tulemused

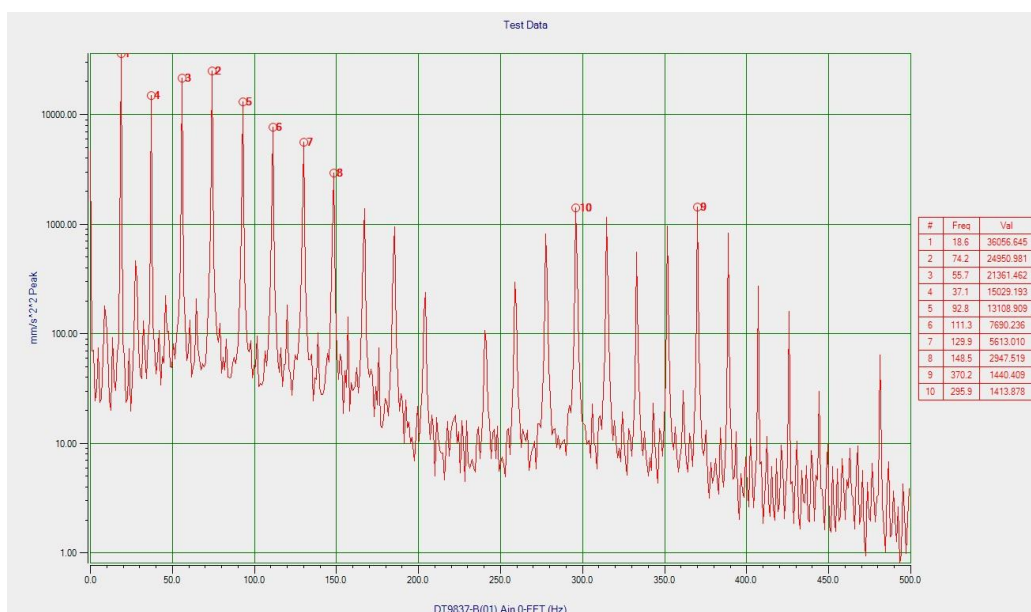
Viie vitriini juures viidi läbi kokku 15 mõõtmist. Lisaks tehti referentsandmete saamise eesmärgil neli mõõtmist otse põrandalt. Mõõtmistulemused (tabel 5) näitasid, et vibratsiooni madalamat piirmäära (2000 mm/s^2) ületati nelja eksperimendi ajal ning vitriinist möödelt ületati vibratsiooni kõrgemat piirmäära (5000 mm/s^2) kahe eksperimendi ajal. Ülejäänud mõõtmistulemused jäid alla 2000 mm/s^2 .

Olulisel määral mõjutab mõõtmistulemusi vitriini asukoht hoones ning tulemused olenevad sellest, kas vitriin paikneb 0-korruse tugiposti peal või raudbetoonplaadi keskel. Tugiposti peal või selle lähedal paiknev vitriin on põrandalt edasi kanduvast vibratsioonist vähem mõjutatud. Roklaga vitriinidest möödudes oli märgata, et raudbetoonplaatide vuugivahedest üle sõitmine

tekitab tavapärasest suuremat vibratsiooni. Mõõtmistulemusi mõjutab ka vitriini materjal, konstruktsioon ja kaal. Mida raskem on vitriin, seda vähem vastuvõtlik on ta vibratsioonile. Kergkonstruktsiooniga vitriinide ja stendide puhul mängib rolli vitriini ülesehitus ja kasutatud materjalid, nt klaasriiulid on vibratsioonile vastuvõtlikumad kui mööbliplaadist riulid. Samas on vitriinide sisutäitena kasutatud EPS-vahtplastil omadus vibratsiooni summutada, kuid katmata kujul ei ole tegemist museaalide pikaajaseks säilitamiseks sobiva materjaliga (vahtplastide hulgast leiab ka keemiliselt püsivamaid materjale). Mõõtmistulemusi mõjutab ka kiirendusanduri asukoha valik vitriini sees, kuna vitriiniriulite eri piirkonnad käituvad vibratsiooni korral erinevalt (ill 9 ja 10). Eenduvad ja vähem toetatud riulipinnad on vibratsioonile vastuvõtlikumad: seal vibratsioonitase suureneb ja on suurem oht saavutada riuli resonanceerimine. Riiuli kõrgematel tasapindadel vibratsioonitase sageli suureneb.



9. Mõõtmistulemused rokla mõõdumisel relvavitriinist. Mõõdetud vitriini alumisest osast.



10. Mõõtmistulemused rokla möödumisel relvavitrinist. Mõõdetud vitriini keskmisest osast. Teatud sagedustel võimendus vibratsioon üle 100 korra võrreldes mõõtmistulemustega vitriini alumisest osast.

I etapi mõõtmistulemuste koondtabelis (ill 11) on esitatud iga mõõtekoha viis maksimaalset kiirenduse väärtust ja vastavad sagedused. Kollasel taustal on esile tõstetud mõõtmistulemused, mis ületavad õrnade esemete jaoks soovituslikku piirmäära 2000 mm/s². Punasel taustal on välja toodud mõõtmistulemused, mis ületavad heas seisus esemete jaoks soovituslikku piirmäära 5000 mm/s².

Mõõtekoht	Kirjeldus	Sagedus / Hz	Kiirendus / mm/s ²
Põrand	Rahulik kõnd (1 inimene)	18,6	701,2
		37,1	574,4
		55,7	491,8
		74,2	361,9
		92,8	343,7
Põrand	Rahulik kõnd (grupp, 4 inimest)	18,6	692,6
		37,1	551,0

		55,7	507,1
		74,2	379,4
		92,8	340,5
	Hüppamine (1 inimene)	37,1	733,6
		18,6	729,9
		55,7	649,7
		74,2	501,1
		45,9	459,0
	Rokla	18,6	185,1
		55,7	140,8
		37,1	138,4
		74,2	116,1
		62,5	110,1
„Õige keha, vale keha?“	Hoogne trepist kõnd (4 inimest)	69,3	13 851,6
		72,3	12 408,2
		66,4	4 010,2
		46,9	1 699,5
		64,5	1 627,8
	Rokla	70,3	4 970,1
		67,4	982,3
		74,2	848,6
		65,4	498,5
		78,1	280,0
	Tavaline kõnd	71,3	419,5
		28,3	50,5
		49,8	46,3

		41,0	43,2
		39,1	41,2
Klaaspudelid	Hüppamine (1 inimene)	79,1	409,4
		25,4	143,6
		29,3	132,9
		27,3	125,4
		36,1	119,7
	Hoogne kõnd	255,9	1358,9
		259,8	1246,7
		263,7	834,1
		252,0	731,5
		268,6	668,5
	Rokla	78,1	213,5
		80,1	138,7
		253,9	109,8
		258,8	98,0
		252,0	87,6
„Kodune raamatukogu“	Hoogne kõnd	18,6	588,6
		55,7	519,5
		37,1	288,4
		74,2	155,8
		129,9	121,8
	Rokla	47,9	1177,9
		18,6	902,5
		55,7	732,8
		49,8	682,8

		40,0	613,1
Relvad	Hüppamine (1 inimene)	18,6	321,8
		11,7	230,1
		37,1	97,0
		74,2	74,2
		55,7	69,4
	Hoogne kõnd	18,6	332,3
		11,7	187,7
		37,1	97,6
		74,2	90,2
		55,7	79,1
	Rokla	18,6	324,9
		37,1	99,3
		55,7	97,0
		74,2	96,8
		92,8	85,9
	Rokla (vitriini külg)	18,6	36 056,6
		74,2	24 951,0
		55,7	21 361,5
		37,1	15 029,2
		92,8	13 108,9
Rokla (vitriini ülemine osa)	18,6	7 288,6	
	74,2	4 774,9	
	55,7	4 079,9	
	37,1	3 066,6	
	92,8	2 485,4	

„Vabadus uskuda“	Hoogne kõnd	37,1	111,8
		18,6	30,2
		29,3	26,9
		35,2	25,3
		46,9	14,2
	Rokla	63,5	184,1
		66,4	100,0
		68,4	83,6
		70,3	66,8
		44,0	66,1

11. Küllastajate tegevusest ja majasisesest transpordivahendist tingitud vibratsiooni mõõtetulemused. Iga eksperimendi puhul on välja toodud viis kõrgeimat väärtust (mm/s²).

5.1.4. Järeldused

Võttes arvesse eespool kirjeldatud mõõtmistulemusi mõjutavaid tegureid, ei ole võimalik saadud andmeid omavahel üks ühele võrrelda ega kanda automaatselt üle kõikidele samatüübilistele vitriinidele ERMi näitustel. Siiski võimaldavad saadud andmed teha teatud järeldusi olemasolevatest riskidest ning teha ettepanekuid nende riskide maandamiseks.

Mõõtmistulemustest võib järeldada, et suured küllastajate grupid ei ole ohuks püsinäituse metallkarkassist vitriinides paiknevatele museaalidele. Küllastaja hüppamise või jooksmise tagajärjel tekkinud vibratsioon ei ohusta vitriinides paiknevaid esemeid (jäädes alla 2000 mm/s) eeldusel, et tegemist on harva toimuva sündmusega.

Märksa suuremat riski kujutavad endast kergkonstruktsiooniga vitriinid, mis on ühendatud küllastajatele mõeldud istumise ja/või liikumise alaga. Näituse „Õige keha, vale keha?“ kergkonstruktsiooniga vitriinist saadud mõõtmistulemused näitavad, kuivõrd ohtlik on taolise monoliitse vitriini projekteerimine. Eksperimendi käigus fikseeriti vitriiniga ühendatud istumisalast üle kõndimise tulemusena vitriinis maksimaalne vibratsioonitase 13851,6 mm/s², mis ületab õrnadele esemetele soovituslikku vibratsiooni piirmäära peaaegu kümnekordselt.

Ootamatuks ohuks vitriinides paiknevatele esemetele on erinevad majasisesed transpordiseadmed ja puhastusmasinad. Puhastusmasinad puhastavad püsinäitust „Kohtumised“ igapäevaselt. Ülejäänud näitusesaalides toimub masinaga puhastamine vastavalt võimalustele, mis oleneb suuresti näituse ülesehitusest. Näituste ettevalmistus- ja hooldustööde ajal sõidetakse näitustel tavapärasest rohkem ka roklate ja tõstukmasinatega. Katsete käigus kasutatud tühikaaluga rokla (63kg) tekitas teatud piirkonnas vibratsiooni, mis vitriini seest mõõtes ületas soovituslikke piirmäärasid 100 korda. Raske metallkarkassiga relvavitriini pleksiklaasist sisemusest mõõdetud vibratsiooni viis kõrgeimat tulemust jäid vahemikku 13108,9–36056,6 mm/s². Võrdluseks teostati sama vitriini erinevatest kohtadest veel kaks mõõtmist. Mõlema mõõtmise viis kõrgeimat tulemust jäid vahemikku 2485,4–7288,6 mm/s² ja 85,9–324,9 mm/s². Seega kahel korral tekitas vitriinist mööduv rokla teatud vitriini piirkondades museaalide jaoks ohtlikku vibratsiooni, seda eriti põranda raudbetoonplaatide vuugivahesid ületades. „Koduse raamatukogu“ vitriinist mõõdetud vibratsioonitase jäi üllatuslikult alla esemeid kahjustava soovitusliku piirmäära. Vitriini ette betoonpõrandasse freesitud lainetus oleks meie ootuste kohaselt pidanud vitriini oluliselt rohkem mõjutama. Määravaks sai tõenäoliselt vitriini enda raskus, sh eksponeeritud raamatute kaal ja vitriiniriivulite materjal (MDF). Seega mõjutab olulisel määral vibratsiooni edasikandumist vitriinis selle materjal ja konstruktsioon ning ERMi püsinäituste pleksiklaasist sisemusega vitriinid ei ole kõige stabiilsemad, mistõttu võis mõõtmiste käigus registreerida oodatust oluliselt kõrgemaid vibratsioonitasemeid.

Kuna mõõtmistulemustest selgus, et rokla põhjustab põranda vuugivahedest üle sõitmisel tugevat põrutust, tasub edaspidi olla esemete transportimisel nii rokla kui ka muude transportvahenditega äärmiselt ettevaatlik. Oluline on, et riivul- ja platvormkärud tagaksid sujuva ja esemete jaoks turvalise sõidu üle võimalike takistuste.

5.1.5. I etapi kokkuvõte ja soovitused

Saadud andmetest võib järeldada, et küllastajate lühiajaline hüppamine või jooksmine ei tekita püsinäitustel nii tugevat vibratsiooni, mis ohustaks vitriinides eksponeeritud esemeid. Ajutiste näituste kergkonstruktsiooniga vitriinide riskitase on mõnevõrra kõrgem, kuid ka seal ei ohusta tavapäraselt käituvad küllastajad vitriinides paiknevaid museaale.

Kõrgendatud oht museaalidele tekib olukorras, kus vitriinide konstruktsioon on seotud külastajatele istumiseks ja/või liikumiseks mõeldud platvormiga, mistõttu tuleb senisest rohkem tähelepanu pöörata vitriinide ja eksponeerimisaluste disainile ja konstruktsioonile juba näituste planeerimise esimestes etappides.

Majasiseste transportvahendite liikumist on keeruline piirata, kuna tegemist on sageli kas näituste ettevalmistusperioodiga, kus tuleb transportida vitriine ja eksponaate, või vajaduspõhiste hooldustöödega. Küll aga saab vibratsiooni minimeerida sujuvamate transportriiulite ja roklate kasutusele võtmisega. Olulist rolli mängib ka kiirus, millega võimalikest takistustest üle sõidetakse.

5.2. II etapi mõõtmised: võimendatud helist tingitud vibratsioon

5.2.1. Eesmärk

Mõõtmiste eesmärgiks oli kaardistada ERMi kontserdipaikadest võimendatud helist tingitud vibratsiooni edasikandumist ekspositsioonialadele. Lähtuvalt ERMis toimuvatest majasisestest sündmustest valiti mõõtmistel kontserdipaikadeks silla-ala, Teatrisaal ja vahetuvate näituste saal. Valitud kontserdipaigad paiknevad näituseala vahetus läheduses, kus risk esemete kahjustumiseks võimendatud helist tingitud vibratsiooni tõttu hinnati kõrgeks.

Silla-alalt mõõtes oli huviorbiidis võimendatud helist tingitud vibratsiooni edasikandumine püsinäitusele „Kohtumised“. Kuna silla-ala kõrval paiknevaid kergkonstruktsiooniga seinu kasutatakse sageli ka eksponeerimispinnana, oli huviorbiidis ka vibratsiooni kandumine seinapinnale. Antud mõõtmiste puhul tuleb silmas pidada, et arvesse ei ole võetud inimeste hüppamist või tantsimist, mis võib kontserdi ja/või sündmuse ajal tekitada täiendavat vibratsiooni.

Teatrisaalis hindasime kõige ohtlikumaks vibratsiooni võimalikku kandumist galeriisse ja kohvikusse. Viimane ehitati 2023. aastal ajutiselt ümber ekspositsioonisaaliks. 2019. aastal teostatud vibratsioonimõõtmised näitasid, et hoidlaruumidesse ja püsinäituse „Kohtumised“ Ajaraja metalli- ja kiviaja ekspositsiooni kanduv vibratsioon Teatrisaalist oli minimaalne, mistõttu antud punktides võimendatud helist tingitud vibratsioonimõõtmisi ei korratud.

Vahetuvate näituste saalis hindasime kõige ohtlikumaks Lipusaali kanduvat vibratsiooni. EÜSi sini-must-valge lipp paikneb ajutiste näituste saali kõrval ja on võimalikest kontsertidest otseselt mõjutatud.

Võimendatud helist tingitud vibratsiooni kaardistamine aitab muuseumil teha paremaid otsuseid kontserdipaikade valikul, sõltuvalt ekspositsiooni asukohtadest ja eksponeeritavatest esemetest.

5.2.2. Metoodika

Mõõtmised teostati kokku kolmes ERMi kontserdipaigas ja nende vahetus läheduses: silla-alal, vahetuvate näituste saalis ja Teatrisaalis ehk *black box*'is. Imiteerimaks erinevate kontsertide helisagedust, kasutati heliklipina roosat müra. Eksperimendis kasutatud heliklipp ja helirõhutase valiti koostöös ERMi helitehniku Taavo Terasega, kelle hinnangul jääb enamik ERMi kontserte vahemikku 90–95 dB(A). Igas ruumis kasutati mõõtmiste käigus täpselt sama helivõimendust, mida kasutatakse reaalse sündmuse või kontserdi ajal.

Kõikide mõõtmiste korral kasutati täpsete dB-ide määramiseks iSEMconi mõõtemikrofoni EMX-7150 ja kalibraatorit SC-1 Acoustical Calibrator. Mõõtemikrofon asetati mõõtmiste ajal helipuldi kõrvale, imiteerides tavapärast situatsiooni, kus rahvamassi keskele ei ole võimalik mõõtemikrofoni paigutada seadme ja küllastajate turvalisust silmas pidades (ill 12).



12. Mõõtemikrofoni seadistamine ERMi silla-alal.

Vibratsiooni mõõdeti kiirendusanduriga ruumi igas valitud punktis 10 sekundi vältel. Vibratsiooni mõõtmisel kasutati analoog-digitaalmuundurit DT9837B ja PCB Piezotronicsi kolmeteljelist kiirendusandurit 356A44. Mõõtmistulemused (kiirendus) salvestati QuickDAQ 3.7.0.49 tarkvara abil. Mõõtmised teostati ainult ühes teljes, kus hinnati, et kiirendus on kõige suurem (x-telg, vertikaalne liikumine). Andur kinnitati põrandatele, kergkonstruktsiooniga seintele ja ühel juhul vitriinile kahepoolse kleplindiga, mis on sellise anduri kinnitamisel labori tavapärane praktika. Mõõtmised teostati kokku 18 punktis.

Kontserdipaikades kasutati järgmisi helivõimendusüsteeme:

Silla-ala: laes on 2×6 võimendused L-acoustics Kara II ja põrandal ratastel 2×4 bassivõimendi L-acoustics SB18 cardioid (suunatud) konfiguratsioonis.

Teatrisaal ehl *black box*: teatrietenduste ajal on kasutusel laes kaks Bose LT 9403 võimendit ja kaks Bose mb24 bassivõimendit; kontsertide ajal on kasutusel kaks Martin audio WS218X bassivõimendit põrandal ning kaks Martin audio V8WDQ võimendit statiivil.

Vahetuvate näituste saal: kaks Martin audio WS218X bassivõimendit põrandal ja üks Martin audio V8WDQ võimendi statiivil.

5.2.3. II etapi tulemused

II etapi mõõtmistulemuste koondtabelis (ill 13) on kollasega esile toodud mõõtmistulemused, mis ületavad õrnade esemete jaoks soovituslikku piirmäära 2000 mm/s². Punasega on välja toodud mõõtmistulemused, mis ületavad heas seisus esemete jaoks soovituslikku piirmäära 5000 mm/s².

Jrk. nr	Heliallikas	Mõõtekoha kirjeldus	Sagedus / Hz	Kiirendus/ mm/s ²
1	Silla-ala, L-acoustics helisüsteem (suunaga A-sissepääsu poole)	Silla-ala keskelt, 90 dB	200	957
			48 800	358
2		Silla-ala keskelt, maksimaalne heli	100	72 256
			48 800	449
3		Silla-ala keskelt, 95 dB	200	3 183
			48 800	451
4		Silla-ala trepihalli seina juurest põrandalt, 90 dB	200	2 016
5		Silla-ala trepihalli seina juurest põrandalt, 95 dB	200	6 038
6		Silla-ala trepihalli seinalt, 90 dB	100	173 747
			3 500	1 691
7		Silla-ala trepihalli seinalt, 95 dB	100	540 937
			3 500	4 188
			5 500	3 987

8		Ohvrikivilt, 90 dB	48 900	358
9		Ohvrikivilt, 95 dB	4 900	350
10	Teatrisaal, Martin Audio helisüsteem	Kohviku põranda keskelt, 90 dB	48 900	393
11		Kohviku põranda keskelt, 95 dB	48 900	376
12		Kohviku ajutiselt kergkonstruktsiooniga seinalt (B-fuajee vastas), 90 dB	100	12 219
			48 900	316
13		Kohviku ajutiselt kergkonstruktsiooniga seinalt (B-fuajee vastas), 95 dB	100	36 914
			49 100	543
14	Teatrisaal, Bose helisüsteem (laes)	Kohviku ajutiselt kergkonstruktsiooniga seinalt (B-fuajee vastas), teatrisaali heli laest, 95 dB	100	46 424
			500	2 076
			2 100	1 306
15	Teatrisaal, Martin Audio helisüsteem	Galerii põrandalt, 95 dB	47 800	49
16		Galerii seinalt, 95 dB	48 100	48

17	Vahetuvate näituste saal, Martin Audio helisüsteem	Lipusaalis EÜSi lipu vitriinilt, 90 dB	47 400	48
18		Lipusaalis EÜSi lipu vitriinilt, 95 dB	47 500	48

13. Küllastajate tegevusest ja majasisesest transpordivahendist tingitud vibratsiooni mõõtmistulemused. Iga eksperimendi puhul on välja toodud kaks kõrgeimat väärtust (mm/s^2).

5.2.4. Järeldused

Saadud andmed ja nende kvaliteet on piisavad, et anda soovitusi ERMi kontserdipaikades võimendatud heli kasutamiseks ja seada vajadusel teatavaid piiranguid.

Tehtud mõõtmiste käigus kasutati mõõtemikrofoni, mida sündmuste või kontsertide ajal tavaliselt ei kasutata. Mõõtemikrofoni üles seadmine ja testimine võtab aega ning seda tavaolukorras alati teha ei jõuaks. See tähendab, et sündmuste ja kontsertide ajal ei ole seni tavaks olnud helirõhutaset mõõta.

Sageli keeravad helitehnikud või DJd kontserdi ajal helirõhutaset kõrgemaks, et võimendada kontserdielamust. Kuna hetkel puuduvad ERMil seadmed, millega salvestada ja monitoorida näitusesaalidesse kanduvat vibratsiooni, ei ole meil võimalik ka sündmuse või kontserdi raames kokku lepitud helirõhutaseme piirmäära efektiivsust kontrollida. Eksponaatide turvalisust silmas pidades ei ole ERMis toimuvate kontsertide ja sündmuste jaoks helirõhutasemele seni piiranguid seatud.

Hetkel puudub teadmine, et ERMis oleks mõni ese kahjustada saanud võimendatud helist tingitud vibratsiooni tulemusena, kuid täheldatud on vitriinide vibreerimist ja eksponeeritavate esemete „kõndimist“. Tuleb arvestada, et vibratsioonist tekkivad kahjustused on ajas kumuleeruvad ning eseme materjal võib jõuda väsimuspiirini ootamatult ja oluliselt väiksema vibratsiooni korral või eseme käsitsemisel. Tagamaks nii ERMi kui ka deponeeritud museaalide jaoks parimad võimalikud eksponeerimistingimused, tuleb teatud juhtudel seada sündmuse ja/või kontserdi helirõhutasemele piirang. Muuseum peaks soetama vibratsiooni salvestava

andmelugeri, mida saab vajadusel kasutada ka esemete transpordi monitoorimiseks. Ka helirõhutaseme määramiseks kasutatud mõõtemikrofoni tuleks edaspidi sagedamini kasutada.

Mõõtmiste käigus saadud andmed näitavad, et silla-alalt ei kandu vibratsioon olulisel määral edasi näitusesaalidesse, jäädes alla 400 mm/s^2 . Näitusesaalide suunas levivat vibratsiooni vähendab ka asjaolu, et silla-alal kasutuses olev helisüsteem on kardiid-konfiguratsioonis, mis blokeerib teatud helisagedused kõlarite taha jääval alal. Tuleb arvestada, et antud mõõtmised ei anna infot kontserdi ajal hüppavate või tantsivate inimeste tekitatud vibratsiooni kohta ega selle mõjust ekspositsioonipindadele, mistõttu on seda vaja tulevikus täpsemalt uurida.

Kui silla-alalt kandub võimendatud heli korral vibratsiooni edasi näitusesaalidesse minimaalselt, siis silla-alal paiknevad kergkonstruktsiooniga seinad kannavad vibratsiooni edasi väga hästi, võimendades vibratsioonitaset olulisel määral. Mõõtmiste käigus on silla-ala trepiahalli seinalt fikseeritud 95 dB suuruse helirõhutaseme korral maksimaalne vibratsiooni kiirendus 540937 mm/s^2 , mis ületab õrnadele esemete jaoks soovituslikku piirmäära 279-kordselt. Väiksema helirõhutaseme korral (90 dB) on vibratsioon oluliselt väiksem, kuid ületab endiselt ka heas seisukorras museaalide jaoks seatud vibratsiooni piirmäära kolmekordselt. Antud seinapinda kasutatakse sageli foto- ja kunstinäituste tarbeks.

Galeriis tehtud mõõtmised näitasid, et Teatrisaalist edasi kanduv vibratsioonitase on nii seinalt kui põrandalt mõõtetuna minimaalne, jäädes alla 50 mm/s^2 . Probleemsemaks osutus Teatrisaalist kohvikusse kanduva vibratsiooni tase, mis põrandalt mõõdetuna jäi 95 dB(A) võimsusel alla 400 mm/s^2 , kuid võimendus oluliselt ajutisel kergkonstruktsiooniga seinal, saavutades 95 dB võimsusel taseme 36914 mm/s^2 , kusjuures kasutati sama helisüsteemi mis kontsertide ajal. Teatrisaali lakke kinnitatud võimendust kasutades fikseeriti kergkonstruktsiooniga seinalt maksimaalne vibratsiooni tase 46424 mm/s^2 , mis ületab õrnadele esemete soovituslikku vibratsiooni piirmäära 23-kordselt.

Ülejäänud mõõtmistulemused jäid positiivses mõttes oodatust madalamaks. Ka eelduste kohaselt suuremasse riskigruppi kuuluvasse Lipusaali jõudis ajutiste näituste saalist maksimaalne vibratsioonitase 48 mm/s^2 .

5.2.5. II etapi kokkuvõte ja soovitusel

Saadud andmetest võib järeldada, et kõige ohtlikum tsoon esemete eksponeerimiseks võimendatud heliga kontsertide jm sündmuste ajal on silla-ala ja muuseumimaja B-osas asuva kohviku kergkonstruktsiooniga seinad. Neil pindadel eksponeeritavate esemete puhul tuleb tõsiselt kaaluda, kas näitusega samaaegselt on võimalik korraldada võimendatud heliga sündmust. Helirõhutaseme soovituslik piirmäär võiks sellisel juhul olla 75 dB(C). Kui plaanitav sündmus või kontsert seab ohtu eksponeeritavad esemed, tuleb sündmuse ajaks esemed ekspositsioonist eemaldada või sündmus/kontsert katkestada. Näituste aladel on soovituslik loobuda võimendatud heliga kontsertide või sündmuste korraldamisest ning äärmisel vajadusel lubada akustilise (nt kammermuusika stiilis) sündmuse toimumist. Alternatiivina oleks näituste alal võimalik korraldada muusikat hõlmavat sündmust juhtmevabade kõrvaklappidega. Seda juhul, kui sellise sündmuse ajal ei tantsita ega hüpata.

Võimendatud heliga kontsertide puhul tuleb edaspidi teha suuremat koostööd ERMi sündmuskorralduse, kontsertide helitehnikute ja DJdega, et garanteerida kokku lepitud helirõhutaseme piirangust kinni pidamine ja eksponaatide ohutus.

ERMi kontserdipaikade maksimaalne eelistatud helirõhutase võiks olla 90 dB. Kui võimendatud helist tingitud vibratsiooniohtu hinnatakse eksponaatide jaoks tavapärasest kõrgemaks, tuleb piirmäära madalamale tuua. Võimalusel tuleks kaaluda kontserdi või sündmuse viimist teise kohta või ohutsooni sattunud esemete teisaldamist.

KOKKUVÕTE

Käesolev magistritöö võtab kokku valiku seni avaldatud kultuuripärandit puudutavat vibratsiooni ja löökkkoormust käsitlevad uuringud, mille sarnast eestikeelset materjali ei ole varem ilmunud. Kui museaalide transpordist ja sellega seonduvatest ohtudest ollakse teadlikud, siis võimendatud helist ja muuseumiküllastajate tegevusest tingitud vibratsiooni mõju museaalidele on teema, millele on hakatud alles nüüd rohkem tähelepanu pöörama. Selles kontekstis annab magistritöö ülevaate ka ekspositsioonialadel paiknevate vitriinide võimalikust omaresonantsist ja selle mõjust eksponaatidele ning pakub välja vibratsiooni ennetavaid meetmeid ja abivahendeid.

Vibratsiooni ja löökkkoormuse mõju museaalidele on töös käsitletud üsna mitmekülgset, alustades hooneid mõjutavast vibratsioonist kuni esemete transpordini välja. Allikmaterjalidena on kasutatud ka militaarvaldkonnaga seotud ning ehitustöödest ja liiklusest tingitud vibratsiooni uuringuid. Seda põhjusel, et sarnase erialase kirjanduse hulk on kultuuripärandi kontekstis võrdlemisi piiratud ning tulenevalt arusaamatustest soovituslike vibratsiooni piirmäärade interpreteerimisel vajas see teema mõnedes selle töö peatükkides laiemat käsitlust.

Mitmetes esemete transporti käsitlevates artiklites on rõhuasetus olnud varem esemele avalduvale vibratsiooni ja löögi hetkelisele mõjule ning tähelepanuta on jäetud esemele mõjuv pikaajaline madalamal tasemel vibratsioon, mis on oluline hindamaks näiteks välisnäitustele minevate esemete transpordi võimalikku arvu, enne kui eseme materjal jõuab väsimuspiirini ja tekivad esimesed suuremad kahjustused. Vähesel määral on leidnud käsitlust ka vibratsioonisageduse mõju esemetele, mis võib tekitada arusaamatusi vibratsiooni soovituslike piirmäärade interpreteerimisel. Kui hoonete omaresonants jääb enamasti vahemikku 4–12 Hz¹²⁸, siis esemete puhul on omaresonants sageli vahemikus 1–50 Hz¹²⁹, mistõttu hoonete sees vibratsioonitaseme tõstmine võib põhjustada esemetele korvamatut kahju.

Selle töö praktiline osa, mis käsitleb Eesti Rahva Muuseumis läbiviidud võimendatud helist ja küllastajate tegevusest tingitud vibratsiooni mõõtmisi ekspositsioonialadel, võiks olla heaks näiteks analoogsete mõõtmiste läbiviimisel teistes muuseumides. Mõõtmiste tulemusena saadi hea ülevaade eri tüüpi vitriinide või ekspositsioonipindade vastuvõtlikkusest vibratsioonile, mis

¹²⁸ A. Serotta, A. Smyth, Construction-Induced Vibration..., lk .

¹²⁹ S. Hackney, On Canvas, lk .

on tingitud kas küllastajate tegevusest näituste alal või võimendatud helist kontserdipaikades. Üllatuslikult kõrgeid vibratsioonitasemeid põhjustasid majasisesed transportvahendid. Saadud andmete põhjal on võimalik välja töötada laiapõhisem ERMi näituste alade riskianalüüs, mis annab soovitusi ekspositsioonipindade projekteerimisel ja seab vajadusel asukohapõhiseid või helirõhutaseme piiranguid kontsertide korraldamisel muuseumis.

Kuna kultuuripärandi objektid on väga erineva suuruse, materjali ja vananemisastmega, ei ole võimalik anda ühest soovituslikku vibratsiooni piirmäära, vaid igale esemele tuleb läheneda individuaalselt. Siiski on võimalik aluseks võtta teatud parameetrid, millest autor lähtus ka ERMis läbiviidud mõõtmistulemuste analüüsimisel: vastavalt Thicketti ja Saundersi soovitudele tuleks heas korras esemete jaoks seada vibratsiooni piirmääraks 5000 mm/s^2 ja kahjustunud või nõrga struktuuriga esemete jaoks 2000 mm/s^2 .

ERMis läbiviidud mõõtmistulemused näitasid ilmekalt, kuidas vibratsioon võib teatud tüüpi vitriinides ootamatult võimenduda, mistõttu ei pruugi vitriini kõrvalt teostatud mõõtmised anda alati head ülevaadet selle kohta, milline vibratsioonitase esemeid mõjutab.

Töö annab põgusa ülevaate ka vibratsiooni vähendavatest meetmetest ja abivahenditest. Vibratsiooni summutavate materjalide kasutusele võtmisel tasub paralleelselt teostada vibratsiooni mõõtmisi, et vältida vibratsiooni võimendumise soodustamist.

Selle magistritöö raames viidi läbi ka esmased katsed Tartu Ülikooli Tartu Observatooriumi (TO) kosmosetehnoloogia laboris. Eesmärk oli teada saada, kas TO labori seadmeid saab kasutada ennetava konserveerimise valdkonnas tekkinud küsimuste lahendamiseks. Katsetes siinus- ja lairibavibratsiooni seadmega simuleeriti esemete transpordist, ehitustegevusest, helist ja küllastajate liikumisest tekkivat vibratsiooni, et hinnata selle mõju erinevast materjalist arheoloogilistele esemetele. Kokkuvõttes olid esmased katsed edukad, kuid paikapidavate tulemuste saamiseks on vaja esemete konteksti sobiva meetoodika välja töötamist ja läbi viia suurem hulk katseid, mida antud töö mahtu arvestades ei olnud võimalik teostada. Seetõttu ei ole ka seda teemat magistritöös põhjalikumalt käsitletud.

Töö lõpufaasis avanes koostöös TO laboriga võimalus viia läbi vibratsiooni mõõtmised ERMi näituste alal reaalse võimendatud heliga muusikasündmuse ajal, mil kontserdile olid seatud esmakordselt kindlad dB-piirmäärad. Kahjuks ei olnud ajaliselt võimalik saadud andmeid analüüsida ja magistritöösse lisada.

Kuigi ERMis läbi viidud vibratsiooni mõõtmised olid edukad, tekkis hiljem vajadus täiendavate mõõtmiste järele teatud seinapindadelt ja vitriinidelt, mida varasemate mõõtmiste käigus teha ei jõutud. Samuti ei kaardistatud absoluutselt kõiki ERMi ekspositsioonialasid, vaid lähtuti mõõtmiste eel tehtud valikust.

Selles magistritöös käsitletud teemadega on autoril plaanis kindlasti edasi tegeleda. Loodan, et antud töö baasil on võimalik välja töötada mäluasutustele suunatud juhised, mis annab soovitusi vibratsiooniga toimetulekuks eri juhtumite puhul.

Muuseumide eesmärk on tagada museaalide ohutus, kuid pakkuda ka külastajatele ja esinejatele meeldivat elamust kontsertide ja muude sündmuste ajal. Meelelahutuslike sündmuste korraldamine mäluasutustes on kahtlemata tulus, kuid siinkohal on vaja säilitada hea tasakaal asutuse põhitegevuse ja majanduslikku kasu teenivate lisategevuste osas. Museaalide parimaks pikaajaseks säilitamiseks on vaja teada ja teadvustada neid ohustavaid tegureid ning vajadusel astuda samme riskide maandamiseks.

Autorina ootan huviga laiemat diskussiooni mäluasutuste töötajate, muusikavaldkonna spetsialistide ja materjaliteadlastega selle teema edasiarendamiseks muuseumides. Samuti on olnud äärmiselt tänuväärne TO kosmosetehnoloogia labori valmidus ja huvi teha koostööd kultuuripärandi valdkonnaga.

SUMMARY

The Effects of Vibration on Cultural Heritage. Mapping visitor and concert-related vibrations in the Estonian National Museum

Kristiina Piirisild

According to the Central Bureau for Statistics, in 2023, there were 170 museums with 277 visiting places in Estonia that contribute to the preservation of our cultural memory. Public funding is declining worldwide, but museums are expected to promote organizational change and innovation to ensure sustainability. Museums are under constant pressure to compete for the number of visitors, both for exhibitions and additional activities. Events such as theatre performances or concerts provide a good source of additional income. Furthermore, visitors actually expect museums to organize such events. However, the ever-increasing number of events with amplified sound in museums and heritage buildings sometimes leads into conflict with museum ethics or preservation of cultural heritage in general.

The topic of this Master's thesis highlights the problems of memory institutions that organize entertainment-oriented events like concerts, theatre etc. This paper focuses primarily on vibration caused by amplified sound, but other sources of vibration and its impact on cultural heritage has been also addressed.

The broader goal of this interdisciplinary research is to provide guidelines for the development of a risk analysis of the exhibition areas of the Estonian National Museum, taking into account the vibrations caused by amplified sound and visitors that may affect the condition of the artifacts. Additionally, the author wants to draw attention to this problem in memory institutions and propose preventive measures, as well as effective risk planning to mitigate the risks caused by vibration.

This Master's thesis summarizes a selection of studies on vibration and shock loads published previously in the context of cultural heritage. Partly because of their impact on museum artifacts this topic has been currently poorly discussed and most of the work has focused on the transportation aspect of it. Also, the effect of vibrations and impact loads on less valuable objects has been insufficiently studied. The impact of vibrations due to amplified sound and

museum visitors is a topic that has only recently drawn more attention. This Master's thesis also provides an overview of the possible self-resonance of the showcases located in exhibition areas, and its effect on the artifacts.

The first part of the thesis focuses on the characteristics of vibration, measurement methodology and evaluation. The second part reflects on the recommended vibration limits given to buildings. This perspective is important because many cultural objects are immovable or part of a building structure. The third part of the thesis focuses on objects and recommended vibration limits, especially in museums. The fourth chapter proposes methods for vibration monitoring, mitigating and preventive measures. Finally, there is the analysis of vibration measurement data in the Estonian National Museum, carried out in cooperation with the space technology laboratory of the Tartu Observatory (TO), University of Tartu.

To the author's best knowledge, no such large-scale interdisciplinary studies have been conducted in Estonia to date in the field of preventive conservation. The cooperation with the space technology laboratory of TO started by chance and has been a mutually beneficial and developing project, while also sparking a lively discussion among experts in the field of sound engineering.

Since cultural heritage objects are of various sizes, materials and degrees of aging, it is not possible to give a single recommended vibration limit, but each object must be approached individually. However, it is possible to establish certain base limits, which the author also used in the analysis of the measurement results carried out at ERM. According to the recommendations by D. Thickett and D. Saunders, the author set the limit of vibration to 5000 mm/s² for objects in good condition and 2000 mm/s² for objects with a damaged or weak structure. The work also provides a brief overview of vibration-reducing measures and aids.

Although the vibration measurements carried out at ERM were successful, there was a later need for additional measurements on certain wall surfaces and showcases that could not be done during the previous measurements. Also, not all exposure areas at ERM were mapped and only the pre-measurement selection of areas was used.

The topics discussed in this Master's thesis need further research. Hopefully my work will inspire to compile an Estonian guide for memory institutions and provide recommendations for dealing with vibration in different cases.

For museums, it is important to ensure the safety of the artifacts, but also to offer visitors and music artists a pleasant experience. Organizing entertaining events in memory institutions is undoubtedly profitable, but it is necessary to maintain a good balance between the main goals of the institution and side activities that provide financial benefits. For the best long-term preservation of museum artifacts, it is necessary to know and be aware of these threatening factors and, if necessary, take steps to mitigate risks. As an author, I am looking forward to a wider discussion with the employees of memory institutions, specialists in the field of music and material scientists for the development of this topic. The readiness and interest of the TO space technology laboratory to cooperate in the field of cultural heritage has also been very encouraging.

KASUTATUD ALLIKAD JA KIRJANDUS

Caple, Chris. A History of and an Introduction to Preventive Conservation. – Preventive Conservation in Museums. New York: Routledge, 2011.

Eiskop, Ilmar; **Sillart**, Aleksander. Akustika ja helitehnika. Tallinn: Valgus, 1988.

Hackney, Stephen. On Canvas. Preserving the Structure of Paintings. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2020.

Jefimova, Darja. Mägi materjalid. Konrad Mägi maalide haprustest tehniliste uuringute valguses. Magistritöö, Eesti Kunstiakadeemia, muinsuskaitse ja konserveerimise osakond. Tallinn, 2023.

Konsa, Kurmo. Artefaktide säilitamine. Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus, 2007.

Kulu, Priit; **Kübarepp**, Jakob; **Laansoo**, Andres; **Veinthal**, Renno. Materjalitehnika I. Tehnomaterjalid. Õpik kõrgkoolidele. Tallinn: TTÜ kirjastus, 2015.

Meresaar, Aleksander. Transpordi- ja säilituskasti ühildamine. Katja Novitskova „Aktiveerimise muster (Planetaarsed sidemed)” näitel. Bakalaureusetöö, Eesti Kunstiakadeemia, muinsuskaitse ja konserveerimise osakond. Tallinn, 2019.

Stolow, Nathan. Procedures and Conservation Standards for Museum Collections in Transit and on Exhibition. Technical Handbooks for Museums and Monuments, UNESCO. United Nations: Imprimeries Populaires de Genève, 1981.

Tehniline kunstiajalugu – kunstiajaloo tehnikad? Peatoim T.-M. Kreem. (Eesti Kunstimuuseumi toimetised 2 [7]) Tallinn: Eesti Kunstimuuseum – Kadrioru kunstimuuseum, 2012.

Internetiallikad

Bahrekazemi, Mehdi. Train Induced Ground Vibration and Its Prediction. Doktoritöö, Royal Institute of Technology Stockholm, Department of Civil and Architectural Engineering. Stockholm, 2004, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:9534/FULLTEXT01.pdf> (vaadatud 7. II 2024).

Brokerhof, Agnes; **Ankersmit**, Bart; **Ligterink**, Frank. Risk Management for Collections. – Cultural Heritage Agency of the Netherlands, 2017, <https://www.cultureelerfgoed.nl/publicaties/publicaties/2017/01/01/risk-management-for-collections> (vaadatud 9. I 2024).

Chiriboga Arroyo, Patricio Gabriel. Finite Element Modeling of Vibrations in Canvas Paintings. Doktoritöö, Technische Universiteit Delft, Aerospace Engineering, Structural Integrity department. Delft, 2013, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aa30b358e-d0de-4a81-92f3-e9f255443043> (vaadatud 7. X 2023).

Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for Design of Showcases for Exhibition and Preservation of Objects, Part 1: General Requirements. EN 15999-1:2014. Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. Kättesaadav: Tartu Ülikooli akadeemiline raamatukogu.

Electroacoustics – Sound Level Meters, Part 1: Specifications. EVS-EN 61672-1:2013. Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. Kättesaadav: Tartu Ülikooli akadeemiline raamatukogu.

Hartlieb, Eva; **Ziegler**, Pascal; **Eberhard**, Peter. Vibration Analysis on Newly Designed Painting Supports for the Cranach Exhibition 2022 at Herzogin Anna Amalia Bibliothek. Proceedings in applied mathematics and mechanics, 92nd Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM) 2023, vol. 22, no. 1, lk 1–6, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pamm.202200324> (vaadatud 26. X 2023).

Henningsson, Anna. A Model for Vibration Monitoring of Immovable Art in Churches: Reflections on Monitoring as a Tool for Preventive Conservation. – IIC Studies In Conservation 2018, vol. 63, supplement issue 1, lk 113–120.

Higgitt, Catherine; **Harrison**, Lynne; **Galikowski**, Tomasz; **Pau**, Mike; **Henson**, Peter. Protecting the National Gallery's Painting Collection From the Impact of Vibrations During Building Work. – Studies in Conservation 2020, vol. 65, supplement issue 1, lk 148–153, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00393630.2020.1754058?needAccess=true> (vaadatud 27. XI 2023).

ICOMi muuseumide eetikakoodeks. – ICOM Eesti 2014, https://www.icomeesti.ee/files/ICOMi_eetikakoodeks.pdf (vaadatud 30. XI 2023).

Janes, Robert R; Sandell, Richard. Järelmaailm on kohal: muuseumiaktivismi tekkimisest ja vajalikkusest. – Muuseumid tänapäeval: väljakutsed ja võimalused. Peatoim P. Runnel. (Eesti Rahva Muuseumi aastaraamat 62 [2]) Tartu: Eesti Rahva Muuseum, 2019, lk 219–249.

Jaremen, Daria E.; Rapacz, Andrzej. Cultural Events as a Method for Creating a New Future for Museums. – *Sciend Tourism* 2018, vol. 28, no. 1, lk 25–33, https://www.researchgate.net/publication/326481794_Cultural_Events_as_a_Method_for_Creating_a_New_Future_for_Museums (vaadatud 26. XI 2023).

Johnson, Arne P.; ElBatanouny, Mohamed. The Effects of Vibrations from Human Traffic and Construction on Museum Collections. – *Vibrations and Museum Collections 2019, Part 1*, lk 4–9, <https://www.wje.com/assets/pdfs/articles/Vibrations-and-Museum-Collections-Part-1.pdf> (vaadatud 18. XI 2023).

Johnson, Arne P.; ElBatanouny, Mohamed; Simpsonn, William. Vibration Mitigation and Sound Testing in SUE Hall at the Field Museum in Chicago. – *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, Special Issue: Mitigating Vibration Damage 2020*, vol. 51, no. 4, lk 45–50, <https://www.wje.com/assets/pdfs/articles/APT-Vibration-Mitigation-and-Sound-Testing-in-SUE-Hall-at-the-Field-Museum-Chicago.pdf> (vaadatud 15. X 2023).

Johnson, Arne P.; Hannen, W. Robert. Vibration Limits for Historic Buildings and Art Collections. – *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology 2015*, vol. 46, no. 2/3, lk 66–74, <https://www.jstor.org/stable/43556454> (vaadatud 7. VIII 2023).

Johnson, Arne P.; Hannen, W. Robert; Zuccari, Frank. Vibration Control During Museum Construction Projects. – *Journal of the American Institute for Conservation 2013*, vol. 52, no. 1, lk 30–47.

Johnson, Arne P.; Higgitt, Catherine; Wei, William (Bill); Henson, Peter; Ryan, Mark; Brown, J. P. Vibratory Impacts of Music and Transport on Museum Collections, Research Questionnaire Findings 2022, <https://www.wje.com/news/detail/research-vibratory-impacts-of-music-and-transport-on-museum-collections> (vaadatud 6. V 2023).

Jõekalda, Kristina. Lõppenud teadusprojektid. Tehnilise kunstiajaloo kui distsipliini arendamine kultuuripärandi analüüsiks Eestis. – *Eesti Kunstiakadeemia veebileht* 12. V 2018,

<https://www.artun.ee/et/tehnilise-kunstiajaloo-kui-distsipliini-arendamine-kultuuriparandi-analuusiks-eestis/> (vaadatud 8. V 2024).

Kracht, Kerstin. Kulturgut auf dem Trampolin. Wie Konzerte und Museumsbesucher Vitrinen Zum Schwingen bringen. – *Restauro* 2018, no.1, lk 30–33.

Kääramees, Alice; **Maasikas**, Greete; **Tõnisma**, Helena; **Lemendik**, Henry; **Pruul**, Kristi; **Kaldma**, Külli; **Minn**, Lisanna; **Saarmets**, Merle; **Kukli**, Tiina; **Kaasik**, Tuuli; **Maikalo**, Üllar. Potentsiaalse kuulmislanguse riskiga meelelahutus-, sportimis- jm kohtade akustilise mürakoormuse uuring. ELU-projekti aruanne. Tallinn: Tallinna Ülikool, 2021, https://elu.tlu.ee/sites/default/files/2022-01/ELU%20projekti%20aruanne_0.pdf (vaadatud 3. II 2024).

Ludvig, Liina. Muinsuskaitseamet peatas liigse vibratsiooni tõttu ehituse. – *Tartu Postimees* 10. VI 2022, <https://tartu.postimees.ee/7542231/muinsuskaitseamet-peatas-liigse-vibratsiooni-tottu-ehituse> (vaadatud 2. VIII 2023).

Luik, Kadri-Piibe; **Markula**, Timo; **Ründva**, Marko; **Lahti**, Tapio. Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimiseks võimalike asukohtade selgitamine. Keskkonnamõju strateegiline hindamine: Mürauring. Tellija Kaitseministeerium. Tallinn: Akukon Oy Eesti filiaal, 2009, https://www.kaitseministeerium.ee/sites/default/files/sisulehed/harjutusvaljad/osmaap/vibratsiooni_aruanne.pdf (vaadatud 7. III 2024).

Michalski, Stefan W. Paintings – Their Response to Temperature, Relative Humidity, Shock, and Vibration. – *Art in Transit: Handbook for Packaging and Transporting Paintings*. Eds. R. Mervin, M. F. Mecklenburg, R. M. Merrill. Washington DC: National Gallery, 1991, lk 223–248, https://www.academia.edu/741944/1991_Paintings_Their_Response_to_Temperature_Relative_Humidity_Shock_and_Vibration (vaadatud 4. X 2023).

Muuseumid Eestis. – Kultuuriministeeriumi veebileht 23. IV 2024, <https://kul.ee/kultuurivaartused-ja-digitaalne-kultuuriparand/muuseumid/muuseumid-eestis> (vaadatud 6. V 2024).

Muuseumidefinitioon. – ICOM Eesti 2022, <https://icomeesti.ee/muud-icomi-dokumendid/muuseumidefinitioon> (vaadatud 1. XII 2023).

Muuseumide ja raamatukogude külastajate ja mittekülastajate uuring. Uuringu lõpparuanne. Tellija Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus. Tallinn: Kantar Emor, 2018, <https://www.kul.ee/media/335/download> (vaadatud 29. XI 2023).

Mälestiste statistika. – Kultuurimälestiste register, <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monuments-statistics> (vaadatud 2. IV 2024).

PadCAD. Preventive Conservation Tools, Canadian Conservation Institute, Government of Canada, viimati muudetud 18. XII 2017, <https://app.pch.gc.ca/application/padcad/index.app?lang=en> (vaadatud 17. IV 2024).

Rail Baltic maakonnaplaneeringute KSH aruanne. Lisa V – Müra ja vibratsiooni hindamine 13. III 2017, <https://maakonnaplaneering.ee/maakonna-planeeringud/harjumaa/harju-maakonnaplaneering-rb/> (vaadatud 2. XII 2023).

Runnel, Pille. Muuseumid terviseoasideks. – Eesti Rahva Muuseumi ajaveeb 13. IX 2018, <https://blog.erm.ee/?p=11774> (vaadatud 16. XI 2023).

Saunders, David. Monitoring Shock and Vibration During the Transportation of Paintings. – National Gallery Technical Bulletin 1998, vol. 19, lk 64–73, <https://www.nationalgallery.org.uk/media/15652/saunders1998.pdf> (vaadatud 19. IX 2023).

Sauvage, Leila; Wei, William (Bill); Martinez, Marcias. When Conservation Meets Engineering: Predicting the Damaging Effects of Vibrations on Pastel Paintings. – IIC Studies In Conservation 2018, vol. 63, supplement issue 1, lk 418–420.

Serotta, Anna; Smyth, Andrew. Construction-Induced Vibration in the Museum Environment. – AIC Objects Specialty Group Postprints 2014, vol. 21, lk 263–279, <https://resources.culturalheritage.org/wp-content/uploads/sites/8/2015/03/osg021-12.pdf> (vaadatud 22. II 2024).

Simmons, John E. Ten Agents of Deterioration. – Global Conservation Forum 2003, <https://cool.culturalheritage.org/byform/mailling-lists/cdl/2003/0476.html> (vaadatud 12. X 2023).

Technical Data ASPION G-Log 2. Data Logger for Shock and Climate Technical Data. <https://www.datenlogger-store.de/mwdownloads/download/link/id/2609> (vaadatud 2. II 2024).

Thickett, David. Vibration Damage Levels for Museum Objects. – ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 2002, vol. 1, lk 90–95, file:///C:/Users/krist/Downloads/ICOM-CC_2002_Rio%20de%20Janeiro_18.pdf (vaadatud 18. XI 2023).

Thickett, David. Assessment of Vibration Damage Levels. – Conservation Research Group, The British Museum, Department of Conservation, report no. 1999/6, väljatrüki koopia autori valduses.

Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid 2002. – Riigi Teataja, <https://www.riigiteataja.ee/akt/129122020045> (vaadatud 14. VII 2023).

Watts, Siobhan; **Berry**, Janet; **de Joia**, Amy; **Philpott**, Fiona. In Control or Simply Monitoring? The Protection of Museum Collections from Dust and Vibration During Building Works. – ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 2002, vol. 1, lk 108–115, <https://www.icom-cc-publications-online.org/2192/In-control-or-simply-monitoring-The-protection-of-museum-collections-from-dust-and-vibration-during-building-works> (vaadatud 24. VIII 2023).

Wei, William (Bill); **Dondorp**, Esther. Testing to Determine Allowable Vibration Limits at a Natural-History Museum in the Netherlands. – APT Bulletin Journal of Preservation Technology 2020, vol. 51, no. 4, lk 19–25, <https://www.jstor.org/stable/26970189> (vaadatud 18. VIII 2023).

Wei, William (Bill); **Krumperman**, Netta; **Delissen**, Niels. Design of a Vibration Damping System for Sculpture Pedestals: An integral object-based approach. – ICOM-CC 16th Triennial Meeting 2011 Lisbon: ICOM Committee for Conservation, lk 1–10, <https://www.icom-cc-publications-online.org/1206/Design-of-a-vibration-damping-system-for-sculpture-pedestals--an-integral-object-based-approach> (vaadatud 4. VII 2023).

Wei, William (Bill); **Sauvage**, Leila; **Wölk**, Jenny. Baseline Limits for Allowable Vibrations for Objects. – ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, 15–19 September 2014, no. 1516. Ed. J. Bridgland. Paris: International Council of Museums, lk 1–7, <https://www.icom-cc-publications-online.org/1325/Baseline-limits-for-allowable-vibrations-for-objects> (vaadatud 20. VIII 2023).

Wei, William (Bill); **Watts**, Siobhan; **Seddon**, Tracey; **Crombie**, David. Protecting Museum Collections from Vibrations Due to Construction: Vibration Statistics, Limits, Flexibility and Cooperation. – *Studies in Conservation*, 2018, vol. 63, no. 1, lk 293–300, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00393630.2018.1504438> (vaadatud 2. II 2024).

Intervjuud

Jefimova, Darja. Suuline vestlus autoriga, 2. XI 2023. Lindistus autori valduses.

Muud allikamaterjalid

Raudvassar, Inga. E-kirjavahetus autoriga, 2. VIII 2023. Kirjad autori valduses.

Siemer, Kaari. E-kirjavahetus autoriga, 12. X 2023. Kirjad autori valduses.

Transpordist ja muusikasündmustest tingitud vibratsioon muuseumides

2023a. küsitluse raport

Koostas: Kristiina Piirisild

2024a.

SISSEJUHATUS

Küsitlusuuringu koostamisel on lähtunud Tartu Ülikooli ühiskonnateaduste instituudi õppejõudude koostatud sotsiaalteaduslike andmekogumise ja analüüsimeetodite ning vahendite veebiõpikust¹. Küsimuste koostamisel on eeskujuna võetud 2022. aasta Wiss, Janney, Elstner Associates (WJE) veebilehel avaldatud küsitluse Vibratory Impacts of Music and Transport on Collections² raport ning selle küsimustik, mis ringles sihtgruppides 2020. aastal.

Antud küsitluse eesmärgiks oli kaardistada Eesti muuseumides kasutusele võetud ennetavad meetmed võimaliku vibratsiooni (transport, muusika, ehitus) mõju vähendamiseks museaalidele ning mõista, kas muuseumid teadvustavad vibratsioonist tingitud ohte, eelkõige võimendatud heliga sündmuste ja kontsertide ajal. Küsitluse tulemused annavad ülevaate hetke olukorrast Eesti mäluasutustes 2023. aastal, tuginedes küsitletava senisele kogemusele ja Eesti Rahva Muuseumis läbi viidud uuringutele.

Küsitlus oli suunatud eelkõige muuseumide kogude-, näituste-, ja konserveerimisosakondade personalile, kuid küsimustikule võisid vastata ka teised muuseumi või pärand säilitamise valdkonnaga kokku puutuvad töötajad.

Kutse küsitluses osalemiseks saadeti sihitud kindlale valimile: riigi-, avalik-õiguslik- ja teistele 2023. aasta seisuga MuISiga liitunud muuseumide peavarahoidjatele. Küsitluskeskkonna veebilink saadeti täpsemalt 65 mäluasutuse töötajale. Kui asutuse alla kuulus mitu muuseumi väga erinevate kogude, ekspositsiooni- ja hoiutingimustega, paluti edastada küsimustiku veebilink ka vastava muuseumi vastutavale koguhoidjale.

Küsitlusuuringus osaleja ja asutuse andmed jäid konfidentsiaalseks, mistõttu ei saa välistada, et ühest asutusest vastas küsimustikule mitu inimest.

Küsitlusele vastamise ajavahemik oli 10. oktoober – 31. oktoober 2023. Kuigi küsimustikku hoiti mõned nädalad kauem lahti, ei laekunud rohkem täiendavaid vastuseid. Küsimustele vastates paluti keskenduda sündmustele, mis on aset leidnud viimase kümne aasta jooksul.

¹ Beilmann, M. Küsimustiku koostamine. Toim M. Beilmann, A. Roots, K. Rootalu - Sotsiaalse analüüsi meetodite ja metodoloogia õpibaas 2020, <https://samm.ut.ee/kusimustiku-koostamine/> (vaadatud 20. IV 2023).

² Johnson, Arne P.; Higgitt, Catherine; Wei, William (Bill); Henson, Peter; Ryan, Mark; Brown, J. P. Vibratory Impacts of Music and Transport on Museum Collections, Research Questionnaire Findings 2022, <https://www.wje.com/news/detail/research-vibratory-impacts-of-music-and-transport-on-museum-collections> (vaadatud 6. V 2023).

Valikuvariantidega küsimustes võis valida mitu vastust. Küsitlus koostati Ankeet.ee küsitlustarkvara abil.

SISUKORD

Kokkuvõte

Ankeedi kokkuvõte

Ankeet

KOKKUVÕTE

Küsimustikule vastas sihitud valimist 33,84 % (22 vastust), mida võib lugeda rahuldavaks tulemuseks. Enamus vastanutest olid peavarahoidjad, mõnel juhul ka koguhoidja, konservator ja kuraator. Ühel juhul on vastuseks märgitud "Muu". Muuseumi omanidivormi arvesse võttes olid esindatud kõik muuseumid: riigimuuseum, riigi sihtasutuse muuseum, munitsipaalmuuseum, avalik-õigusliku isiku muuseum ja eramuuseum. Kogude iseloomult oli kõige enam esindatud fotokogu, millele järgnesid võrdselt mööbel ja arhiiv, kunsti- ja tekstiilkogu.

Enamikes vastanud muuseumides on muuseumide käsitsemist ja transporti puudutav reeglistik kokkuleppeline (77,17 %). Vastanutest 36,36 % olid koostanud kindlad esemete käsitsemise ja transpordi reeglid. Lausa 68,18 % vastanutest leiab, et muuseumisese transpordi käigus tuleb läbida riskiteguriga alasid, mis muudab eseme transpordi keeruliseks ja ohtlikuks. Vastanutest 33,33 % kinnitab ka mõne museaali purunemist muuseumisese transpordi käigus.

Vastanutest 50 % tõdeb, et nende kogude/hoidate/näitusesaalidesse kandub liiklusest tingitud vibratsioon, mis valmistab probleeme. Üle poole vastanutest märgib, et välisnäitustele saadetud esemetel on kahjustusi märgatud pärast transporti väga harva. Saadud andmetest selgub, et ükski vastanud mäluasutus ei monitoori eseme transpordi ajal vibratsiooni, temperatuuri või suhtelist õhuniiskust. Küll on aga kahes asutuses teostatud vibratsiooni mõõtmist sündmuse (nt kontserdi) ajal.

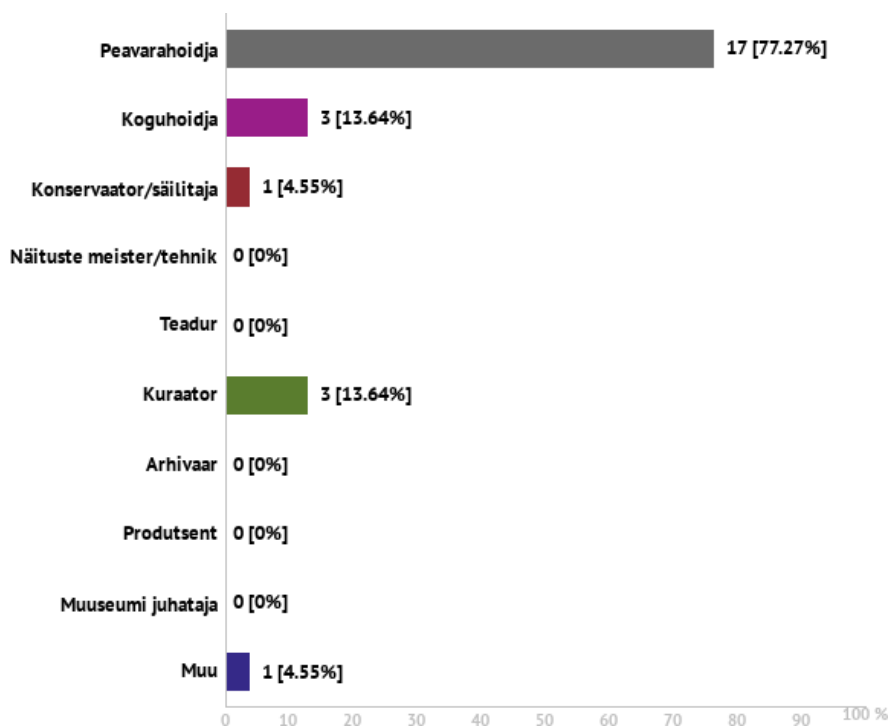
Liigse vibratsiooni tõttu on 19,05 % vastanutest rakendanud täiendavaid meetmeid esemete kaitseks. Peamiselt on muudetud õrnamate esemete asukohta ohutsoonist kaugemale või on viidud ekspositsioonisaalist tagasi hoidlasse. Ka esemete vastuvõtlikkust vibratsioonile on ohu ajal tähelepanelikumalt jälgitud.

Vastanutest 85 % tõdeb, et mäluasutuses lubatakse kogude/hoidlate/näitusesaalide läheduses või sees mängida elavat või salvestatud muusikat ning 61,9 % lubab muusika võimendamist kõlaritest. Muusikasündmuse ajal on märgatud nt esemete kõndimist vitriinides ja/või alusel, või on märgatud eseme nihkumist. Harvem ka esemelt irdunud puru või tükikesi. Üsna sageli tunnevad muuseumitöötajad ise vibratsiooni põrandates ja seintes. Vähesed muuseumid on piiranud sündmuse toimumist teatud ruumides ja/või aladel (14,29 %). Üks vastanud asutus on märkinud, et muusikasündmustele on seatud kindlad dB piirmäärad. Üks vastanu märkis, et vibratsiooni mõõtmine muusikasündmuse ajal akustiku poolt on töös, mille põhjal koostatakse vastavad eeskirjad.

ANKEEDI KOKKUVÕTE

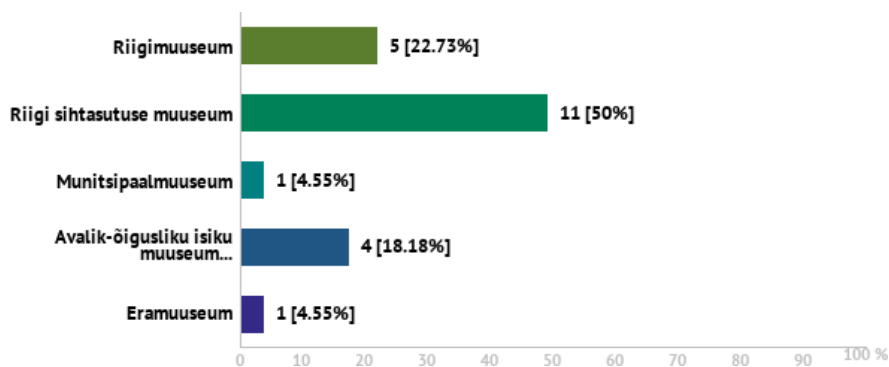
Transpordist- ja muusikasündmustest tingitud vibratsioon muuseumides

1. Ankeedi täitmisel osalenud töötaja(d)



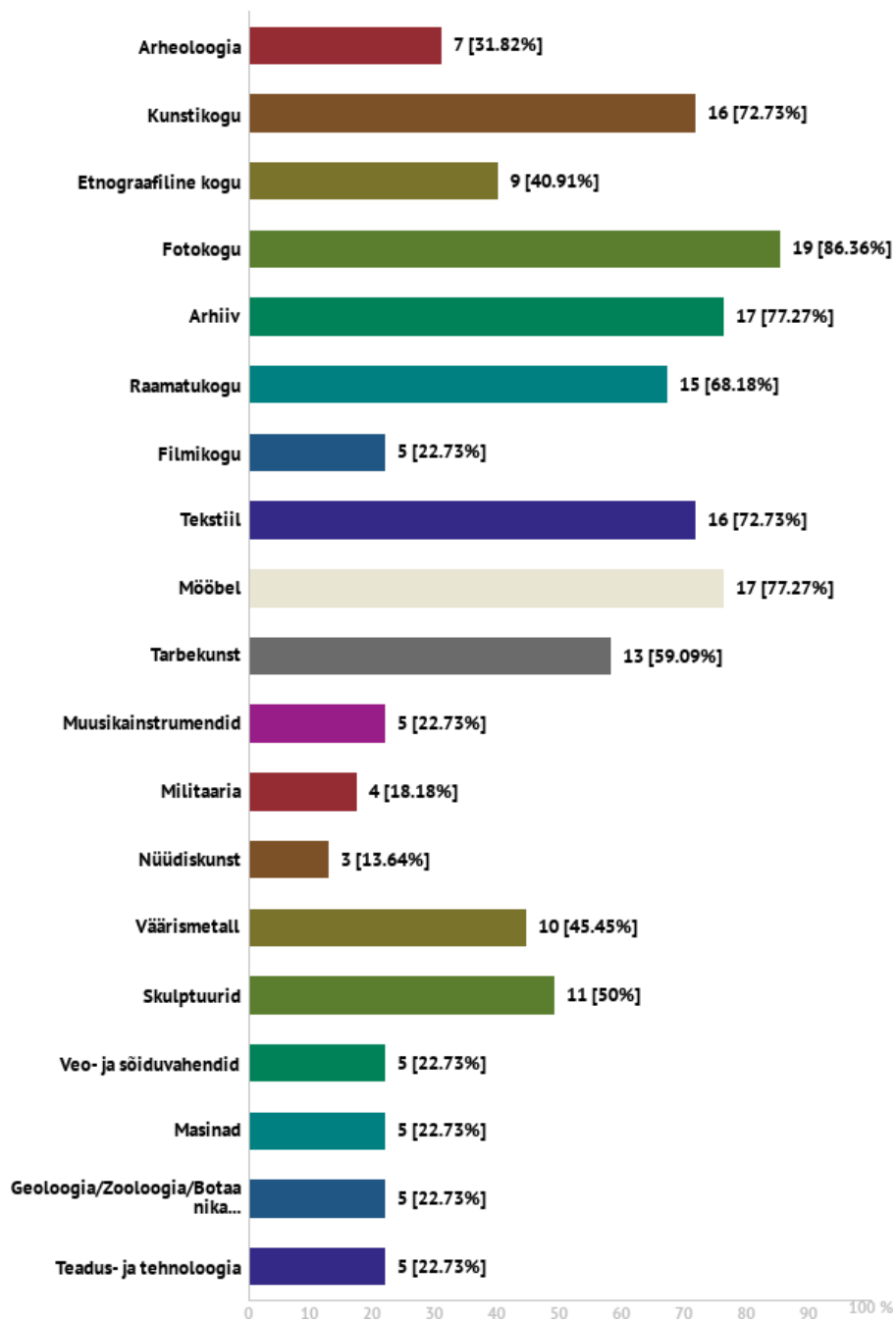
Küsimusele vastuseid : 22 Jäeti vastamata : 0

2. Muuseumi omandivorm



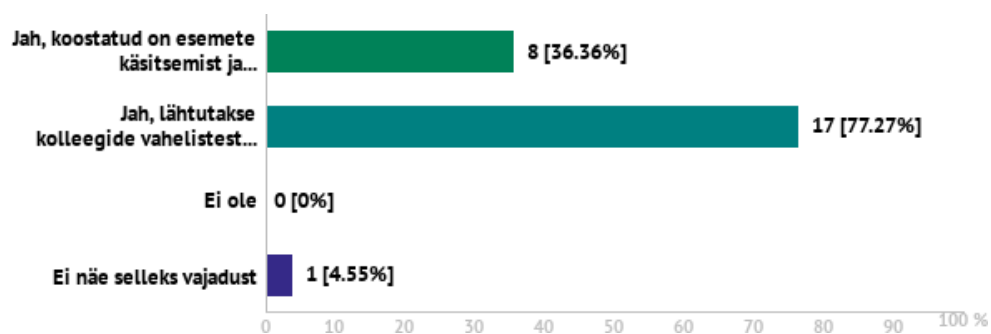
Küsimusele vastuseid : 22 Jäeti vastamata : 0

3. Kogud/kogude iseloom



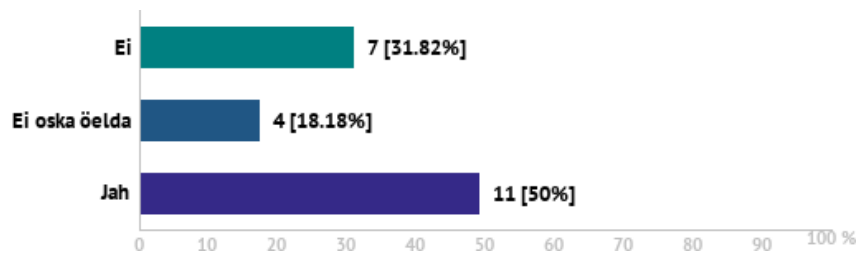
Küsimusele vastuseid : 22 Jäeti vastamata : 0

4. Kas muuseumis on kokku lepitud kuidas museaale käsitseda ja transportida?



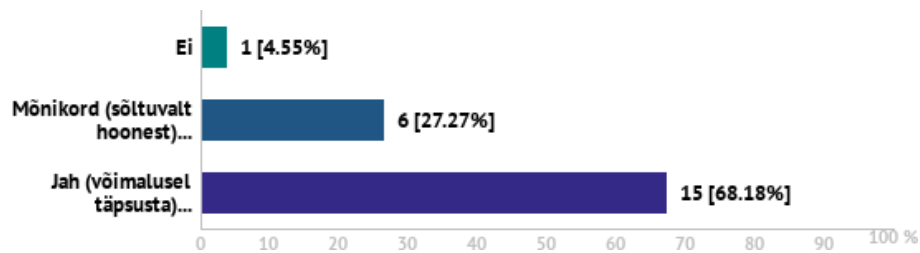
Küsimusele vastuseid : 22 Jäeti vastamata : 0

5. Kas kogude/hoidlate/näitusesaalide lähedal asuvalt sõiduteelt (sh lennu- ja rongiliiklus) kandub hoonesse vibratsioon?



Küsimusele vastuseid : 22 Jäeti vastamata : 0

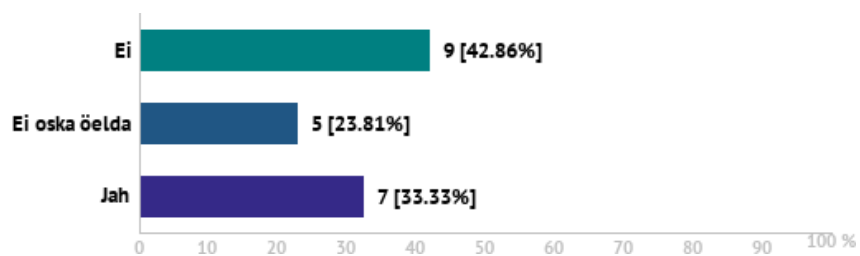
6. Kas muuseumisisese transpordi käigus tuleb läbida riskiteguriga alasid nt trepid, kitsad koridorid, kitsad uksed, ebatasane põrandapind, välialad jms?



Küsimusele vastuseid : 22 Jäeti vastamata : 0

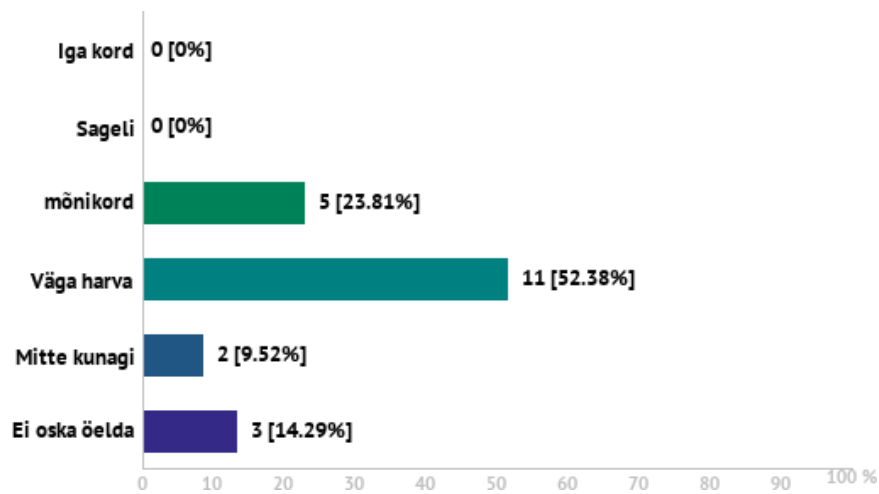
- trepid, välialad
- trepid
- Kitsad koridorid, lift, ebatasasused, kitsad uksed.
- Sõltuvalt kogust tuleb läbida peaaegu alati trepid, ühe kogu puhul ka välialad. Uksed ja koridorid on kitsad ja hoidlates on ka väga kitsad olud.
- ...

7. Kas muuseumisisese transpordi käigus on mõni museaal purunenud või kahjustada saanud?



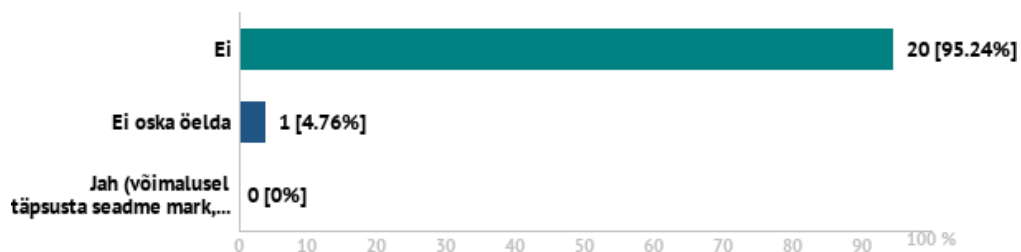
Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

8. Kas museaalidel on esinenud muutusi või kahjustusi pärast transporti välisnäitustele ja/või sealt tagasi?



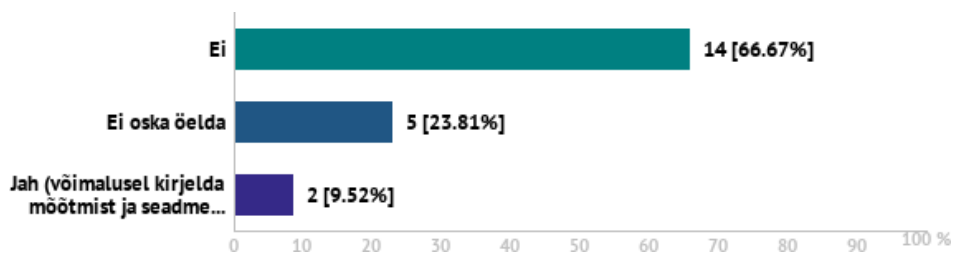
Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

9. Kas museaalide transportimise ajal on mõõdetud vibratsiooni või kogutud muid andmeid (T, RH)?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

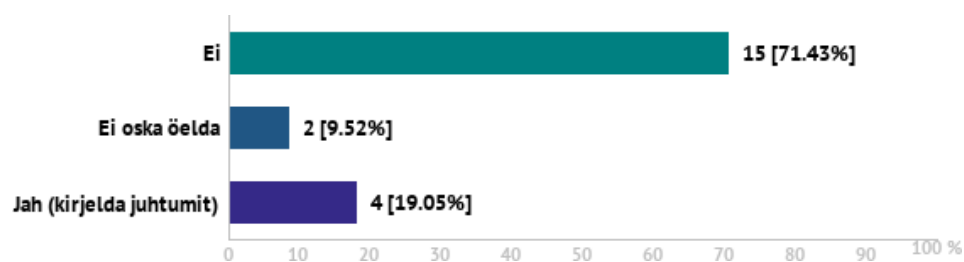
10. Kas muuseumis on teostatud vibratsiooni mõõtmist ehitus-, remonttööde ajal või muul juhul?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

- testitakse vibratsiooni, mis tekib valju heli puhul näiteks kontsert jms
- Ühe hoone osa vibratsiooni sündmuse ajal

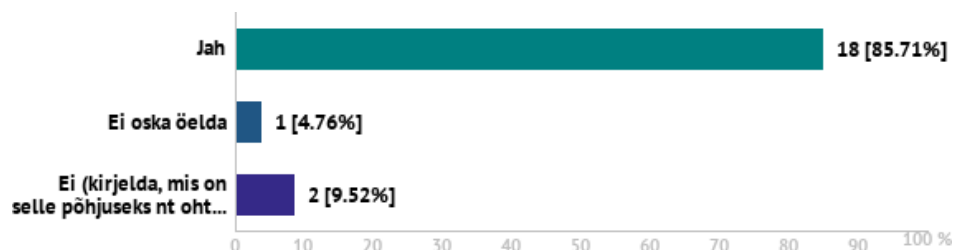
11. Kas muuseumis on teadlikult muudetud museaalide asukohta, minimeerimaks vibratsiooni mõju esemetele?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

- näitusesaalis klaasvitriinis olevad esemed hakkasid samas saamis toimunud kontsertide ajal vibratsiooni tõttu liikuma
- Rull riiulitel on pandud õrnemad esemed (klaas, portselan) sellistele riiulitele mida on vaja vähem liigutada. Samuti oleme maalisiinidel pannud õrnemad esemed nendele siinidele mida vaja vähem liigutada.
- Ekspositsioonist viidi osad museaalid tagasi hoidlatesse.
- on püütud arvestada, et kuidas vibratsioon mõjub

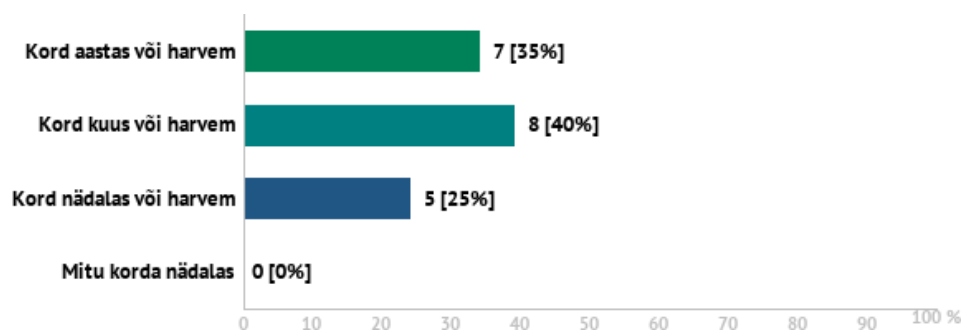
12. Kas muuseum lubab mängida elavat või salvestatud muusikat ruumis, mis on kogude/hoidlate/näitusesaalide läheduses või toimub museaalidega samas ruumis?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

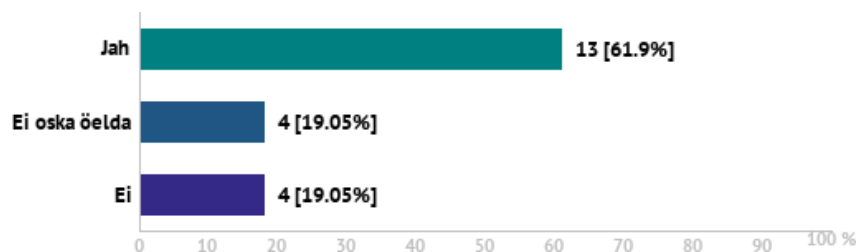
- otseselt mingit sellist luba kirjas ei ole. Ekspositsioonis on kõlaritest muusika aga mitte liiga vali.
- Muuseumi püsiekspositsioonis mängib taustaks salvestatud muusika. Helitugevus on pigem tagasihoidlik. Elava muusikaga üritusi muuseumis ei toimu.

13. Kui sageli toimuvad muuseumis muusikat hõlmavad sündmused?



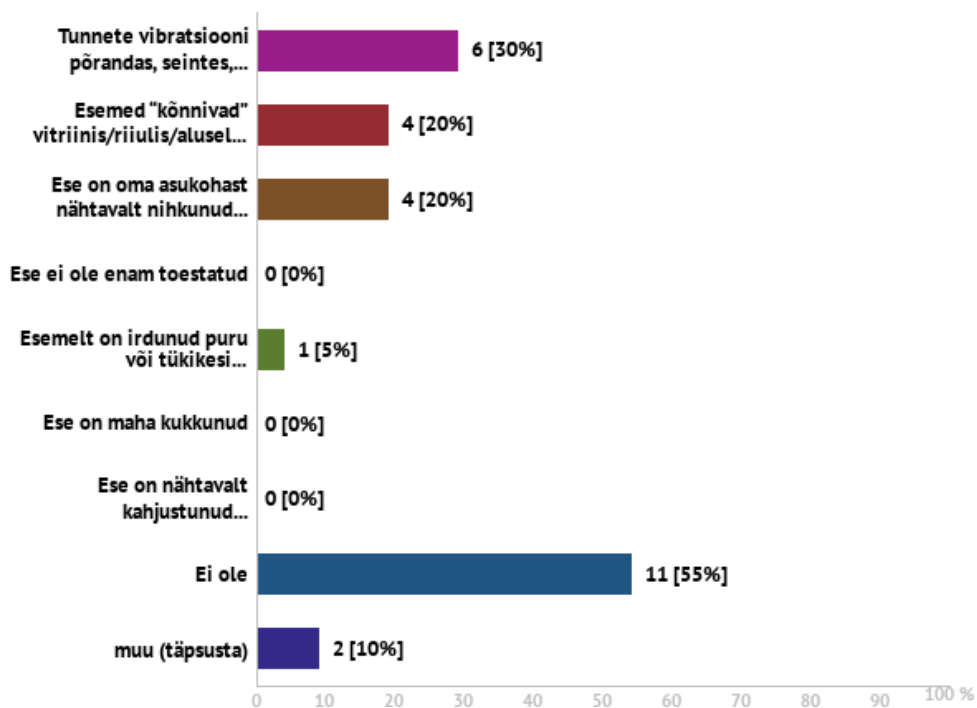
Küsimusele vastuseid : 20 Jäeti vastamata : 2

14. Kas muusika võimendamine kõlaritest on lubatud?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

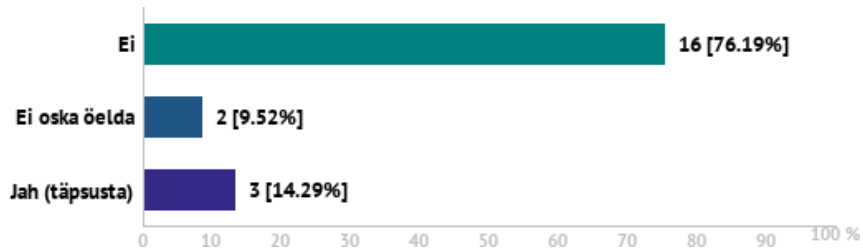
15. Kas olete märganud mõnda järgmist nähtust ja seostanud seda muusikasündmusega?



Küsimusele vastuseid : 20 Jäeti vastamata : 2

- Ei kasuta nii valju ega madalaid helisid museaalidega lähedases või samas ruumis. Pigem on probleemiks rullikutel riiulid. Meil ei ole ruume, kus saaks kasutada suuremaid instrumente, nt trumme, samuti ei ole vajadust väikses ruumis eriti võimendada.
- Muuseumis on tugevat vibratsiooni tunda seoses naaberhoone ehitusega.

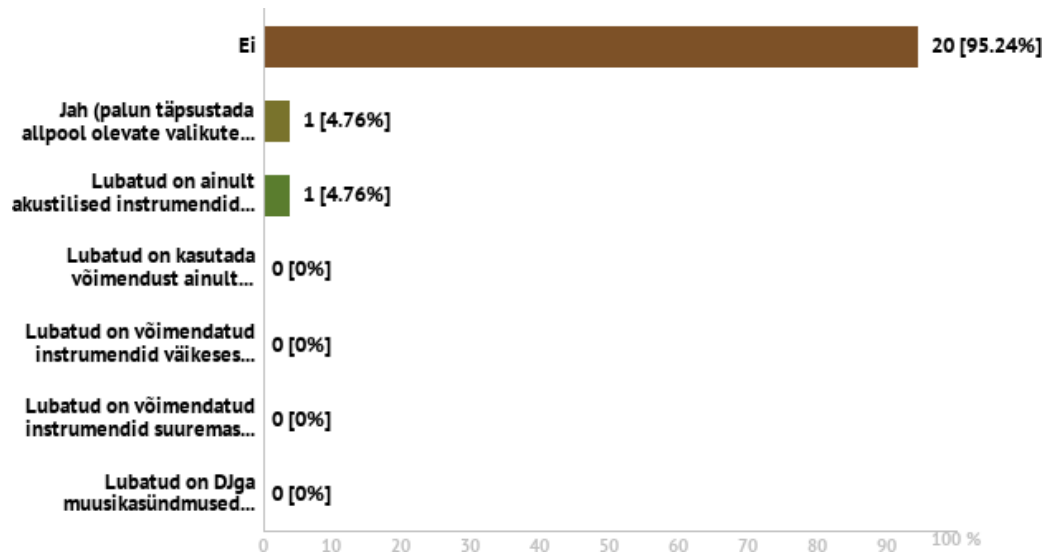
16. Kas olete esemete turvalisust silmas pidades piiranud muusikat hõlmava sündmuse toimumist teatud ruumides või aladel?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

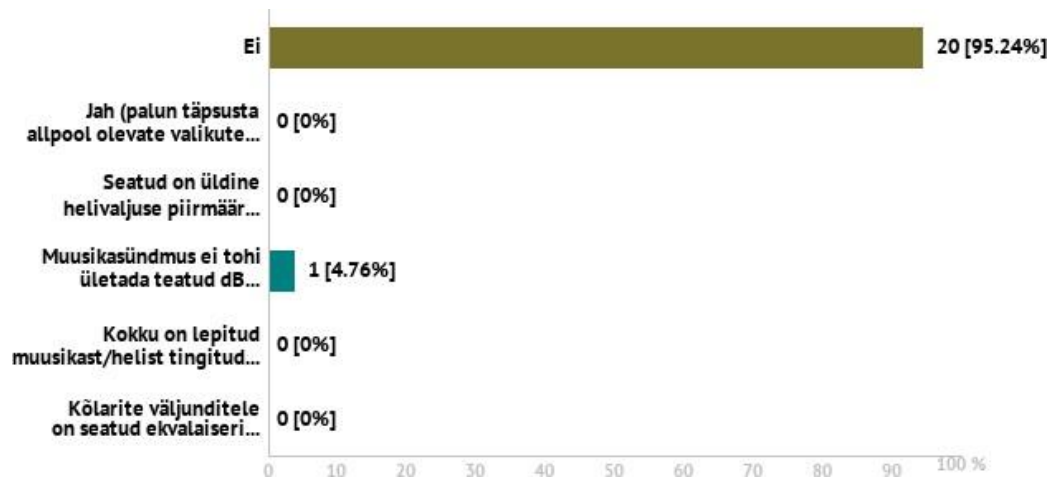
- Oleme otsustanud koostada eeskirja sündmuste tarvis
- Sündmus toimub õues.
- näitusesaalis

17. Kas muuseumis on kokku lepitud, millist muusikat hõlmavat sündmust võib korraldada kogude või näitusesaalide läheduses?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

18. Kas muuseumis on kokku lepitud helivaljuse või helist tekkiva vibratsiooni piirmäärad?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

19. Kas olete muuseumis teostanud vibratsiooni mõõtmist muusikasündmuse ajal?



Küsimusele vastuseid : 21 Jäeti vastamata : 1

- töö on pooleli, sellega tegeleb akustik, kes mõõdab heli erinevatel sündmustel. Analüüsi tulemusel koostame eeskirjad.

20. Muud tähelepanekud ja teave, mida soovite küsitlejale edastada.

Küsimusele vastuseid : 4 Jäeti vastamata:18

Kuna asume maal, siis pole siin ka eriti vibratsiooni. Muusikasündmused toimuvad meil välitingimustes või hoones, kus pole museaale.

13/10/2023 10:30 AM

Tänavaliiklusest või remonttöödest tingitud vibratsiooniga arvestamine ja selle mõjude vähendamine on toimunud juhtumi põhiselt ja ilma spetsiaalsete mõõtmisteta. Samuti muusikasündmuste puhul - väikestes ruumides ekspositsiooni kõrval suurt võimendust, suurte koosseisudega ja osalejate arvuga nt DJ-pidusid jms ei olegi võimalik korraldada, seega enamasti on esinejad kammermuusikud, akustiliste pillidega ehk siis muusikast tuleneva vibratsiooni piiramine on toimunud muudel alustel, nõ terve mõistuse järgi, mitte spetsiifiliste vibratsiooni mõõtmiste toel.

18/10/2023 12:30 PM

5. Pidevalt sõiduteedelt vibratsioon hoidlatesse ei kandu. Küll aga läheduses toimuvate ehitus- ja remonditööde ajal ning teetööde ajal. 11. Museaalide asukohta ei ole muutnud. Oleme neid täiendavalt fikseerinud ja toestanud. Lisaks muusikale tekib vibratsioon ka suuremate inimhulkade liikumisel puitvahelagedega ruumides.

26/10/2023 02:11 PM

muuseumi toimub väga harva muusikasündmuse majas sees, mis vibratsiooni tekitab. Varasemalt on küll toimunud välialal erinevat tüüpi sündmuse, mis majas üldist vibratsiooni on põhjustanud, aga neid kordi on pigem väga harva. Peamine vibratsiooniallikas tuleneb erinevate inimgruppidega tehtavatest tegevustest, üdiselt on muuseumis küll keelatud jooksmine, aga seda siiski juhtub, eriti laste puhul. Samuti kui suurema grupiga majas liikuda, siis kõndimisest ja rääkimisest tekitatav vibratsioon on täiesti tunnetatav, see kandub ka teiselt korruselt alla. ekspos olevate museaalide seisukohast ei ole me siiani määranud mingitele tegevustele erilisi piiranguid, et vibratsioonist tekitatavat mõju museaalidele vähendada. Pigem on lähtunud heast tavast ja mõistlikkusest muuseumimajas sees, mis kõige mürarikamad üritused nagunii välistab.

30/10/2023 09:11 AM

ANKEET

Transpordist- ja muusikasündmustest tingitud vibratsioon muuseumides

25.09.2023

1. Ankeedi täitmisel osalenud töötaja(d)

- Peavarahoidja
- Koguhoidja
- Konservator/säilitaja
- Näituste meister/tehnik
- Teadur
- Kuraator
- Arhivaar
- Produtsent
- Muuseumi juhataja
- Muu

2. Muuseumi omandivorm

- Riigimuseum
- Riigi sihtasutuse muuseum
- Munitsipaalmuseum
- Avalik-õigusliku isiku muuseum
- Eramuseum

3. Kogud/kogude iseloom

- Arheoloogia

- Kunstikogu
- Etnograafiline kogu
- Fotokogu
- Arhiiv
- Raamatukogu
- Filmikogu
- Tekstiil
- Mööbel
- Tarbekunst
- Muusikainstrumendid
- Militaaria
- Nüüdiskunst
- Väärismetall
- Skulptuurid
- Veo- ja sõiduvahendid
- Masinad
- Geoloogia/Zooloogia/Botaanika
- Teadus- ja tehnoloogia

4. Kas muuseumis on kokku lepitud kuidas museaale käsitseda ja transportida?

- Jah, koostatud on esemete käsitlemist ja transporti käsitlev dokument
- Jah, lähtutakse kolleegide vahelistest suusõnalistest kokkulepetest ja soovitustest
- Ei ole
- Ei näe selleks vajadust

5. Kas kogude/hoidlate/näitusesaalide lähedal asuvalt sõiduteelt (sh lennu- ja rongiliiklus) kandub hoonesse vibratsioon?

- Ei
- Ei oska öelda
- Jah

6. Kas muuseumisese transpordi käigus tuleb läbida riskiteguriga alasid nt trepid, kitsad koridorid, kitsad uksed, ebatasane põrandapind, välialad jms?

- Ei
- Mõnikord (sõltuvalt hoonest)

Jah (võimalusel täpsusta)

7. Kas muuseumisese transpordi käigus on mõni museaal purunenud või kahjustada saanud?

- Ei
- Ei oska öelda
- Jah

8. Kas museaalidel on esinenud muutusi või kahjustusi pärast transporti välisnäitustele ja/või sealt tagasi?

- Iga kord
- Sageli
- mõnikord
- Väga harva
- Mitte kunagi
- Ei oska öelda

9. Kas museaalide transportimise ajal on mõõdetud vibratsiooni või kogutud muid andmeid (T, RH)?

- Ei
- Ei oska öelda

Jah (võimalusel täpsusta seadme mark, kuhu seade on transpordi ajal paigutatud, kas on seatud vibratsiooni piirmäärad?)

10. Kas muuseumis on teostatud vibratsiooni mõõtmist ehitus-, remonttööde ajal või muul juhul?

- Ei
- Ei oska öelda

Jah (võimalusel kirjelda mõõtmist ja seadme marki)

11. Kas muuseumis on teadlikult muudetud museaalide asukohta, minimeerimaks vibratsiooni mõju esemetele?

- Ei
- Ei oska öelda

Jah (kirjelda juhtumit)

12. Kas muuseum lubab mängida elavat või salvestatud muusikat ruumis, mis on kogude/hoidlate/näitusesaalide läheduses või toimub museaalidega samas ruumis?

Kui valite "Ei" vastusevariandi, võite järgnevad küsimused vahele jätta ja liikuda küsimustiku lõppu.

- Jah
- Ei oska öelda

Ei (kirjelda, mis on selle põhjuseks nt oht kogudele, segab tavapärast tööd muuseumis, eeskirjad ei luba, muu põhjus)

13. Kui sageli toimuvad muuseumis muusikat hõlmavad sündmused?

- Kord aastas või harvem
- Kord kuus või harvem
- Kord nädalas või harvem
- Mitu korda nädalas

14. Kas muusika võimendamine kõlaritest on lubatud?

- Jah
- Ei oska öelda
- Ei

15. Kas olete märganud mõnda järgmist nähtust ja seostanud seda muusikasündmusega?

- Tunnete vibratsiooni pörandas, seintes, vitriinis
- Esemed "kõnnivad" vitriinis/riiulis/alusel
- Ese on oma asukohast nähtavalt nihkunud
- Ese ei ole enam toestatud
- Esemelt on irdunud puru või tükikesi
- Ese on maha kukkunud
- Ese on nähtavalt kahjustunud

muu (täpsusta)

16. Kas olete esemete turvalisust silmas pidades piiranud muusikat hõlmava sündmuse toimumist teatud ruumides või aladel?

- Ei

Ei oska öelda

Jah (täpsusta)

17. Kas muuseumis on kokku lepitud, millist muusikat hõlmavat sündmust võib korraldada kogude või näitusesaalide läheduses?

- Ei
- Jah (palun täpsustada allpool olevate valikute hulgast)
- Lubatud on ainult akustilised instrumendid ja vokaalesinejad
- Lubatud on kasutada võimendust ainult vokaalesinejatel
- Lubatud on võimendatud instrumendid väikeses koosseisus
- Lubatud on võimendatud instrumendid suuremas koosseisus sh kitarr, süntesaator, trummid
- Lubatud on DJga muusikasündmused

18. Kas muuseumis on kokku lepitud helivaljuse või helist tekkiva vibratsiooni piirmäärad?

- Ei
- Jah (palun täpsusta allpool olevate valikute hulgast)
- Seatud on üldine helivaljuse piirmäär
- Muusikasündmus ei tohi ületada teatud dB
- Kokku on lepitud muusikast/helist tingitud vibratsiooni piirmäär (mm/s; mm/s²; g)
- Kõlarite väljunditele on seatud ekvalaiserid

19. Kas olete muuseumis teostanud vibratsiooni mõõtmist muusikasündmuse ajal?

- Ei
- Ei oska öelda

Jah (võimalusel kirjelda mõõtmist ja seadme marki)

20. Muud tähelepanekud ja teave, mida soovite küsitlejale edastada.



MÕÕTEPROTOKOLL

MEASUREMENT PROTOCOL

Mõõteprotokolli nr ja kuupäev: 8-001-24 / 22.01.2024
Measurement Protocol No and Date:

Tellimuse nr ja kuupäev: - / 20.10.2023
Order No and Date:

Tellija: Eesti Rahva Muuseum, Muuseumi tee 2, 60532 Tartu
Customer:

Objekt: Eesti Rahva Muuseumi I korruse ekspositsiooni alad
Object:

Katseobjekti(de) saabumine laborisse: -
Test object arrival:

Katse(te) teostamise ajavahemik: 23.10.2023
Date of Tests:

Kasutatud meetoodika: -
Method used:

Allkirjad:
Signatures:

Mari Allik
Koostaja(d)
Compiled by

Dokument koosneb mõõteprotokollist ja tulemuste kokkuvõttest 6 lehel ning on välja antud ühes (1) allkirjastatud eksemplaris. *The document consists of a Measurement Protocol with a Summary of Results on 6 pages in one (1) signed copy*

Mõõteprotokolli võib paljundada tema täies mahus, mõõteprotokolli osaline paljundamine on lubatud ainult mõõteprotokolli väljastava labori kirjalikul loal. Tulemused kehtivad ainult tunnistusel toodud katseobjekti(de) kohta.

This Measurement Protocol may only be reproduced in full, except with the prior written permission by the issuing Laboratory. The results given in this Measurement Protocol are valid only for the test object specified above.

Kontakt/Contact: Mari Allik, mari.allik@ut.ee, TÜ katsekoja kosmosetehnoloogia labor, Tartu Ülikooli Tartu observatoorium, Observatooriumi 1, 61602 Tõravere, Nõo vald, +372 737 4501
Testing Centre of University of Tartu, Laboratory of Space Technology, University of Tartu, Tartu Observatory, Observatooriumi 1, 61602 Tõravere, Nõo parish, +372 737 4501

1. Mõõteseadmed

- PCB Piezotronics kolmeteljeline kiirendusandur 356A44, seerianumber: 206372,
- Data Translation Analoog-digitaal muundur DT9837B, seerianumber: 21249B5

2. Jälgitavus

Mõõtetulemused on jälgitavad SI ühikuteni National Physical Laboratory (NPL) ja National Institute of Standards and Technology (NIST) kaudu.

3. Mõõtemetoodika lühikirjeldus

Eesti Rahva Muuseumis (ERMis) kasutati vibratsiooni mõõtmisel analoog-digitaal muundurit DT9837B ja PCB Piezotronics kolmeteljelist kiirendusandurit 356A44. Mõõtmistulemused (kiirendus) salvestati QuickDAQ 3.7.0.49 tarkvaraga. Mõõtmised teostati ainult ühes teljes, kus hinnati, et kiirendus on kõige suurem (x-telg, vertikaalne liikumine). Andur kinnitati põrandatele ja vitriinidele kahepoolse kleeplindiga, mis on antud anduri kinnitamisel labori tavapärase praktika.

Vibratsiooni mõõtmiseks põrandalt valiti mõõtekohaks piirkond, mis jääks võimalikult kaugemale võimalikest tugiseintest ja -postidest. Vitriinid valiti selle järgi, et oleks esindatud enamik ERMi püsi- ja ajutiste näituste vitriinide eritüüpi konstruktsioonid ja materjalid.

Mõõtmiste eesmärgiks oli teada saada, kui suurt vibratsiooni võivad külastajad ning näituste hooldustööde ajal ringi liikuvad masinad tekitada vitriinides paiknevatele esemetele. Mõõtmiste jaoks imiteeriti külastaja või külastajatest koosneva grupi mõõdumist vitriinist (ühe külastaja kõnd, nelja külastaja hoogne kõnd, ühe inimese hüppamine vitriini kõrval). Masinate liikumise jäljendamiseks sõideti vitriinidest mööda roklaga (Rokla Basic 2200), mille tühimass oli 63 kg.

4. Tulemused

Tabel 4.1-s esitatud iga mõõtekoha viis maksimaalset kiirenduse väärtust ja vastavad sagedused.

Tabel 4.1. Mõõtetulemused.

Jrk. nr	Mõõtekoha kirjeldus	Sagedus / Hz	Kiirendus / mm/s ²
1	ERM 1 inimene, rahulik kõnd	18,6	701,2
		37,1	574,4
		55,7	491,8
		74,2	361,9
		92,8	343,7
2	Grupp inimesi, rahulik kõnd	18,6	692,6
		37,1	551,0
		55,7	507,1
		74,2	379,4
		92,8	340,5

Jrk. nr	Mõõtekoha kirjeldus	Sagedus / Hz	Kiirendus / mm/s ²
3	Hüppamine	37,1	733,6
		18,6	729,9
		55,7	649,7
		74,2	501,1
		45,9	459,0
4	Rokla	18,6	185,1
		55,7	140,8
		37,1	138,4
		74,2	116,1
		62,5	110,1
5	Kehanäitus, hoogne trepist kõnd	69,3	13851,6
		72,3	12408,2
		66,4	4010,2
		46,9	1699,5
		64,5	1627,8
6	Kehanäitus, hääli	373,1	5190,1
		377,0	2320,5
		363,3	278,5
		382,9	141,1
		366,3	84,3
7	Kehanäitus, koputus	70,3	29237,0
		73,3	13550,9
		175,8	6781,4
		172,9	6557,5
		68,4	5097,6
8	Kehanäitus, rokla	70,3	4970,1
		67,4	982,3
		74,2	848,6
		65,4	498,5
		78,1	280,0
9	Kehanäitus, tavaline kõnd	71,3	419,5
		28,3	50,5
		49,8	46,3
		41,0	43,2
		39,1	41,2
10	Klaaspudelid, hüpe	79,1	409,4
		25,4	143,6
		29,3	132,9
		27,3	125,4
		36,1	119,7

Jrk. nr	Mõõtekoha kirjeldus	Sagedus / Hz	Kiirendus / mm/s ²
11	Klaaspudelid, hoogne kõnd 2	28,3	13,0
		256,9	11,6
		254,9	11,4
		258,8	10,0
		25,4	8,3
12	Klaaspudelid, hoogne kõnd	255,9	1358,9
		259,8	1246,7
		263,7	834,1
		252,0	731,5
		268,6	668,5
13	Klaaspudelid, palju hüppeid	79,1	276,5
		27,3	217,8
		23,4	186,5
		76,2	183,0
		258,8	139,1
14	Klaaspudelid, rokla lähedalt mööda	78,1	137,4
		253,0	91,9
		255,9	91,9
		251,0	65,0
		271,5	64,1
15	Klaaspudelid, rokla lähedalt mööda 2	78,1	213,5
		80,1	138,7
		253,9	109,8
		258,8	98,0
		252,0	87,6
16	Klaaspudelid, rokla	80,1	41,9
		261,7	31,7
		48,8	23,4
		265,7	22,1
		274,4	20,8
17	Kodune raamatukogu, intensiivne kõnd	18,6	588,6
		55,7	519,5
		37,1	288,4
		74,2	155,8
		129,9	121,8
18	Kodune raamatukogu, põrandalt möödunud, rokla	47,9	1177,9
		18,6	902,5
		55,7	732,8
		49,8	682,8
		40,0	613,1

Jrk. nr	Mõõtekoha kirjeldus	Sagedus / Hz	Kiirendus / mm/s ²
19	Kodune raamatukogu, rokla	55,7	1113,3
		49,8	772,5
		18,6	716,2
		42,0	367,6
		37,1	353,2
20	Relvad, hüppamine	18,6	321,8
		11,7	230,1
		37,1	97,0
		74,2	74,2
		55,7	69,4
21	Relvad, hoogne kõndimine	18,6	332,3
		11,7	187,7
		37,1	97,6
		74,2	90,2
		55,7	79,1
22	Relvad, rokla	18,6	324,9
		37,1	99,3
		55,7	97,0
		74,2	96,8
		92,8	85,9
23	Relvad, vitriini külj, rokla	18,6	36056,6
		74,2	24951,0
		55,7	21361,5
		37,1	15029,2
		92,8	13108,9
24	Relvad, vitriini ülemine osa, rokla	18,6	7288,6
		74,2	4774,9
		55,7	4079,9
		37,1	3066,6
		92,8	2485,4
25	Vabadus uskuda, hoogne kõnd	37,1	111,8
		18,6	30,2
		29,3	26,9
		35,2	25,3
		46,9	14,2
26	Vabadus uskuda, rokla	63,5	184,1
		66,4	100,0
		68,4	83,6
		70,3	66,8
		44,0	66,1

Jrk. nr	Mõõtekoha kirjeldus	Sagedus / Hz	Kiirendus / mm/s ²
27	Hoidla riiuli liikumine, lahti (x-teljes, vertikaalne vibratsioon)	11,7	987,1
		24,4	392,8
		33,2	228,8
		22,5	138,5
		20,5	134,6
28	Hoidla riiuli liikumine, lahti (y-teljes, horisontaalne vibratsioon)	1,0	1584,7
		2,9	1348,9
		31,3	582,4
		33,2	498,8
		6,8	413,0
29	Hoidla riiuli liikumine (x-teljes, vertikaalne vibratsioon)	10,7	311,4
		33,2	179,4
		30,3	74,6
		25,4	66,4
		41,0	59,5
30	Hoidla riiuli liikumine (y-teljes, horisontaalne vibratsioon)	2,9	1442,0
		6,8	660,4
		32,2	391,2
		34,2	325,2
		42,0	258,6

5. Mõõtemääramatus

Määramatuse analüüs on viidud läbi vastavalt Euroopa Akrediteerimiskoostööorgani juhendile EA-4/02. Esitatud mõõtmise laiendmääramatus on saadud standardmääramatusest, korrutades see katteteguriga $k = 2$, mis normaaljaotuse eeldusel vastab ligikaudu 95 % katvustõenäosusele. Mõõtemääramatus on kiirenduse puhul ± 10 %.

6. Keskkonnatingimused

Mõõtmised viidi läbi Eesti Rahva Muuseumis, kus temperatuur mõõtmiskohtades jäi vahemikku (20 ± 3) °C ja suhteline õhuniiskus (50 ± 10) %.



MÕÕTEPROTOKOLL

MEASUREMENT PROTOCOL

Mõõteprotokolli nr ja kuupäev: <i>Measurement Protocol No and Date:</i>	8-003-24 / 07.03.2024
Tellimuse nr ja kuupäev: <i>Order No and Date:</i>	- / 20.10.2023
Tellija: <i>Customer:</i>	Eesti Rahva Muuseum, Muuseumi tee 2, 60532 Tartu
Objekt: <i>Object:</i>	Eesti Rahva Muuseumi I korruse ekspositsiooni alad
Katseobjekti(de) saabumine laborisse: <i>Test object arrival:</i>	-
Katse(te) teostamise ajavahemik: <i>Date of Tests:</i>	29.01.2024
Kasutatud meetodika: <i>Method used:</i>	-

Allkirjad:
Signatures:

Mari Allik
Koostaja(d)
Compiled by

Dokument koosneb mõõteprotokollist ja tulemuste kokkuvõttest 4 lehel ning on välja antud ühes (1) allkirjastatud eksemplaris.

The document consists of a Measurement Protocol with a Summary of Results on 4 pages in one (1) signed copy

Mõõteprotokolli võib paljundada tema täies mahus, mõõteprotokolli osaline paljundamine on lubatud ainult mõõteprotokolli väljastava labori kirjalikul loal. Tulemused kehtivad ainult tunnistusel toodud katseobjekti(de) kohta.

This Measurement Protocol may only be reproduced in full, except with the prior written permission by the issuing Laboratory. The results given in this Measurement Protocol are valid only for the test object specified above.

Kontakt/Contact: Mari Allik, mari.allik@ut.ee, TÜ katsekoja kosmosetehnoloogia labor, Tartu Ülikooli Tartu observatoorium, Observatooriumi 1, 61602 Tõravere, Nõo vald, +372 737 4501
Testing Centre of University of Tartu, Laboratory of Space Technology, University of Tartu, Tartu Observatory, Observatooriumi 1, 61602 Tõravere, Nõo parish, +372 737 4501

1. Mõõteseadmed

- PCB Piezotronics kolmeteljeline kiirendusandur 356A44, seerianumber: 206372,
- Data Translation Analoo-digitaal muundur DT9837B, seerianumber: 21249B5.

2. Jälgitavus

Mõõtetulemused on jälgitavad SI ühikuteni National Physical Laboratory (NPL) ja National Institute of Standards and Technology (NIST) kaudu.

3. Mõõtemetoodika lühikirjeldus

Eesti Rahva Muuseumis (ERMis) kasutati vibratsiooni mõõtmisel analoo-digitaal muundurid DT9837B ja PCB Piezotronics kolmeteljelist kiirendusandurit 356A44. Mõõtmistulemused (kiirendus) salvestati QuickDAQ 3.7.0.49 tarkvaraga. Mõõtmised teostati kahes teljes (x- ja y-teljes). Andur kinnitati põrandale, kergkonstruktsioonist seintele ja ühe mõõtmise puhul vitriinile kahepoolse kleeplindiga, mis on antud anduri kinnitamisel labori tavapärane praktika.

Mõõtmiste eesmärgiks oli kaardistada ERMi kontsertpaikades võimendatud helist tekkivat vibratsiooni ja selle kandumist ekspositsioonialadele.

Mõõtmised teostati kokku kolme ERMi peamise kontsertpaiga seest ja lähistelt: silla ala, vahetuvate näituste saal ja teatrisaal ehk black box. Imiteerimaks erinevate kontsertide helisagedust, kasutati heliklipina roosat müra, valjusega 90 – 95 dBA. Vibratsiooni mõõdeti igas valitud punktis 10 sekundit. Tulenevalt ruumist, kasutati katse käigus täpselt sama helivõimendust, mida reaalse sündmuse või kontserti puhul kasutatakse.

3.1 Helivõimendussüsteemid, mida kontsertpaikades kasutati

- **Silla ala:** laes on 2x6 võimendused L-acoustics Kara II ja põrandal ratastel 2x4 bassivõimendi L-acoustics SB18 cardioid (suunatud) konfiguratsioonis.
- **Teatrisaal e. black box:** Teatrietenduste ajal on kasutusel laes kaks Bose LT 9403 võimendit ja kaks bose mb24 bassivõimendit. Kontsertide ajal on kasutusel kaks Martin audio WS218X bassivõimendit põrandal ning kaks Martin audio V8WDQ võimendit statiivil.
- **Vahetuvate näituste saal:** kaks Martin audio WS218X bassivõimendit põrandal ja üks Martin audio V8WDQ võimendi statiivil.

4. Tulemused

Tabel 4.1-s esitatud iga mõõtekoha maksimaalsed kiirenduse väärtused ja vastavad sagedused. Tabelis on esitatud ainult x-teljes läbi viidud mõõtmiste tulemused, kuna y-teljes mõõdetud kiirendused olid oluliselt väiksemad. Ajast sõltuv kiirendus teisendati Fourier' pöörde abil sagedusest sõltuvaks.

Tabel 4.1. Mõõtetulemused.

Jrk. nr	Mõõtekoha kirjeldus	Sagedus / kHz	Kiirendus / mm/s ²
1	Silla ala, 90 dB	0,2	957
		48,8	358
2	Silla ala, maksimaalne heli	0,1	72256
		48,8	449
3	Silla ala, 95 dB	0,2	3183
		48,8	451
4	Silla ala, seina juures põrandal, 90 dB	0,2	2016
5	Silla ala, seina juures põrandal, 95 dB	0,2	6038
6	Silla ala, seinal, 90 dB	0,1	173747
		3,5	1691
7	Silla ala, seinal, 95 dB	0,1	540937
		3,5	4188
		5,5	3987
8	Ohvrikivi, 90 dB	48,9	358
9	Ohvrikivi, 95 dB	49,0	350
10	Ohvrikivi, ilma helita	48,9	310
11	Kohviku põrandal, black boxi ees, 90 dB	48,9	393
12	Kohviku põrandal, black boxi ees, 95 dB	48,9	376
13	Kohviku seinal, black boxi ees, 90 dB	0,1	12219
		48,9	316
14	Kohviku seinal, black boxi ees, 95 dB	0,1	36914
		49,1	543
15	Kohviku seinal, black boxi ees, Black boxi enda heli, 95 dB	0,1	46424
		0,5	2076
		2,1	1306
16	Galerii põrandalt, 95 dB	47,8	49
17	Galerii seinalt, 95 dB	48,1	48
18	Lipusaal, EVS lipp, vitriinilt, 90 dB	47,4	48
19	Lipusaal, EVS lipp, vitriinilt, 95 dB	47,5	48

5. Mõõtemääramatus

Määramatuse analüüs on viidud läbi vastavalt Euroopa Akrediteerimiskoostööorgani juhendile EA-4/02. Esitatud mõõtmise laiendmääramatus on saadud standard-määramatusest, korrutades see katteteguriga $k = 2$, mis normaaljaotuse eeldusel vastab ligikaudu 95 % katvustõenäosusele. Mõõtemääramatus on kiirenduse puhul ± 10 %.

6. Keskkonningimused

Mõõtmised viidi läbi Eesti Rahva Muuseumis, kus temperatuur mõõtmiskohtades jäi vahemikku (20 ± 3) °C ja suhteline õhuniiskus (50 ± 10) %.