

TARTU ÜLIKOOLI VILJANDI KULTUURIAKADEEMIA

Pärandtehnoloogia MA õppekava

Markus Pau

**Pärandit hoides ja sünteesides:
maakivimüüride seespoolne soojustamine kanepibetooniga
Mooste mõisa tall-tõllakuuri näitel**

magistritöö

Koolipoolne juhendaja: Madis Rennu MA

Teemajuhendaja: Targo Kalamees PhD

Kaitsmisele lubatud:

.....

(juhendajate allkirjad)

Viljandi 2021

SISUKORD

EESSÕNA.....	4
SISSEJUHATUS	5
1. JÄRJEPIDEVUS KUI PÄRANDI FUNKTSIOON.....	9
2. KANEPIBEToon	15
2.1. Materjaliomadused.....	15
2.2. Maakivimüüride seespoolne soojustamine kanepibetooniga	17
3. PRAKTILISE TÖÖ LÄHTEPUNKTID JA METOODIKA.....	19
3.2. Kasutatud kanepibetooni omadused.....	25
3.2.1. Sorptsioon	25
3.2.2. Veeimavus.....	26
3.2.3. Difusioonitakistus	26
3.2.4. Soojuserijuhtivus.....	27
3.3. Katsetarindi uurimise meetoodika	27
3.4. Katsetarindi püstitamine.....	34
4. MÕÕTMISTULEMUSED JA NENDE HINDAMINE	41
4.1. Suhteline õhuniiskus ja temperatuur	41
4.2. Niiskussisaldus.....	43
4.3. Kahjustused ja muud võimalikud probleemid.....	44
5. ARUTELU JA EDASISED UURIMISKÜSIMUSED.....	46
KOKKUVÕTE.....	49
KASUTATUD ALLIKAD.....	51
SUMMARY	54

EESSÕNA

Autor soovib tänada koostöö eest kõiki, kes aitasid kaasa käesoleva magistritöö teoreetilise ja praktilise osa valmimisele:

Targo Kalamees, Aime Ruus, Tarmo Koosapöeg, TalTech Tartu Kolledž, Malvo Tominga, Mikk Luht, Marko Kikas, Eestimaaehitus MTÜ, Saviukumaja OÜ, Johannes Saar, Madis Rennu, Kristi Jõeste, Ave Matsin, Kadri Tüür, Tartu Ülikooli Viljandi Kultuuriakadeemia Rahvusliku Käsitöö Osakond, Kalev Kriis, Ain Kärner, Anni Martin, Muinsuskaitseameti ehitismälestiste eksperdinõukogu.

SISSEJUHATUS

Pärandi väärtustamine on kultuurilise järjepidevuse eeldus ning tagajärg. Minevikuga suhestumine võimaldab meil kujundada mõtestatud tulevikunägemust – vajadus viimase järele peegeldub täna selgelt nii kultuuri, ökoloogia, kui ökonoomika valdkonnas. Rääkides Eesti ehituspärandist, moodustavad sellest olulise osa maakivihooned, mille ülalpidamine on kulukas maakivimüüride kõrge soojusjuhtivuse tõttu. Teisalt peegeldub maakivihoonete väärtus mitte üksnes pärandistaatuses, vaid nende ehitamiseks kulutatud energiamahus ning kasutatud materjali püsivuses (Madëra et al 2017).

Sellest vaatenurgast on ehituspärandi säilitamine ja sellele ajakohase funktsiooni andmine kooskõlas energiasäästu ning keskkonnanahoiu eesmärkidega (Jackson 2005). Kultuuriline järjepidevus ja ökoloogiline-ökonoomiline jätkusuutlikkus on siinses käsitluses lahutamatu põimunud. Küttekulude vähendamine ning sisekliima parandamine on üks peamisi eesmärke maakivist ehituspärandi kaasajastamisel. Piirdetarindite väljaspoolne soojustamine on aga vastuolus ehituspärandi autentse visuaalse välisilme säilitamisega lähtuvalt tänase pärandikaitse aluseks olevatest väärtushinnangutest.

Neist lähtuvalt taotleb tänane pärandikaitse maakivihoonete ajalooliste fassaadide, täpsemalt nende unikaalsuse ning visuaalse jõulisuse eksponeerimist. Nendele omadustele maakivihoonete puhul on viidanud Peebo ja Rennu: lisatakse, et maakivi kui ehitusmaterjali ökoloogiline jalajälg on suhteliselt väike ning näiteks puidu kui ehitusmaterjali elutsükliga võrreldes on maakivi otsene osalus süsinikuringluses praktiliselt olematu (Peebo, Rennu 2013). Siiski kaasneb maakivi püsivusega tema kõrge soojuserijuhtivus, mis omakorda tingib kõrgemad küttekulud ehk madalama energiatõhususe. Soovides selle probleemiga tegeleda ning samas pärandikaitse alusväärtuste raames püsida, osutub mõõdapäasmatuks seespoolsete soojustuslahenduste kasutamine. Mõisakompleksi kuuluvate hoonete interjööride puhul oleme harjunud nägema viimistletud pinda ning maakivi vaadeldavus seestpoolt pole seega prioriteet võrreldes tervikliku algupärase välisilmega. Levinud soojustusmaterjalidega seespoolset soojustamisel võivad aga olla negatiivsed tagajärjed hoone piirdetarinditele ning sisekliimale (Klošeiko et al 2017), mis omakorda takistavad selle eesmärgipärast kasutamist. **Käesoleva töö üheks põhieesmärgiks on kanepibetooni kui potentsiaalselt seespoolseks soojustamiseks sobiva materjali asetamine ehituspärandi alalhoiu ning kaasajastamise konteksti.**

Esimene peatükk tutvustab üht võimalikku perspektiivi ehituspärandi, spetsiifilisemalt mõisahoonete kaasajastamise kontseptsioonile: vaadeldes mõisat kui looduse ja kultuuri kohtumispaika 19. sajandi kontekstis, osutatakse tinglikele seostele tänaste kultuuriliste, ökoloogiliste ja ökonoomiliste väljakutsetega. Teises peatükis järgneb kanepibetooni kui ehitusmaterjali tutvustus, millele tugineb selle esmane käsitus potentsiaalselt maakivimüüride seespoolseks soojustamiseks sobiva materjalina. Kolmas peatükk selgitab käesoleva töö teoreetilisi lähtepunkte ning praktilist uurimismetoodikat, tuginedes materjaliomaduste kirjeldamisel TalTech Tartu Kolledži laboris läbiviidud katsetele (Ruus et al 2021). Neljandas peatükis esitatakse mõõtmistulemused koos analüüsiga, millele järgneb arutelu ning edasiste uurimisküsimuste formuleerimine, tuginedes käesoleva töö põhjal tehtud järeldustele.

Senine teadustöö (Abdellatef et al 2020) viitab, et kanepibetooni omadused sobivad seespoolseks soojustamiseks paremini kui paljude levinud soojustusmaterjalide puhul. Siiski on laborikatsete tulemuste põhjal keeruline prognoosida kanepibetooni kui maakivimüürile seestpoolt paigaldatud soojustusmaterjali lõplikku toimivust. **Käesolev töö rõhutab vajadust kanepibetooni juhtumipõhise käsitlemise järele, selgitamaks välja asjakohasemaid tootmis- ja paigaldustehnoloogiaid ning nende potentsiaalselt mõju maakivihoonete ülalpidamiskuludele.** Materjalide olulusringi temaatika nii maakivi kui kanepibetooni puhul vajab samuti juhtumiuuringutele tuginevaid käsitlusi, saavutamaks selgemat ettekujutust loodussõbralikust pärandihoiust kui järjepidevusele suunatud kultuurilisest protsessist.

Siinse töö seisukohast kultuuriliselt põhjendatud, kuid siiski *ad hoc* mõttemudeli kaudu võib näha, kuidas keskkonnahoid ning heaperemehelik vastutustunne looduse ees on käinud Eestis käsikäes rahvusliku eneseteadvustamisega. Eestlaste teadlik suhestumine ümbritseva looduse ja maaga saavutas 19. sajandi lõpuks uue taseme tänu siinsetest baltisakslastest loodusteadlaste (Eesti Looduseuurijate selts 1853) ning estofiilidest õpetlaste tegevusele ("Ehstnische Litterarische Gesellschaft" ehk Kuressaare Eesti Selts 1817; Õpetatud Eesti Selts 1838).

Üks ärkamisaja intellektuaalse elu põhiline keskus ülikooli kõrval oli loomulikult mõis – Marek Tamme ja Kalevi Kulli käsitluses seob mõisat “Eesti Teooriaga” nende mõlema paikkondlik lähtepunkt, nende pigem kohalik kui ajalik iseloom: *“Pole kindlasti juhus, et mitmed Eesti teooria põhimised autorid on pärit mõisast ja tihti hiljemgi mõisas tegutsenud. Piisab, kui nimetada näiteks Piibe mõisas sündinud Karl Ernst von Baeri, Raikküla mõisnikke Alexander*

ja Hermann Keyserlingi või Puhtu suvemõisnikku Jakob von Uexkülli, ent niisamuti intellektuaalset keskkonda Vana-Vigala, Sangaste jt mõisates.” (Tamm, Kull 2015, lk 585).

Eesti teooriat mõtestatakse kui “väljapaistvate arusaamade teataval määral kokku kuuluvat kogumit, mis on pärit Eestiga seotud õpetlastelt ning millel võib olla oluline huvipakkuv väärtus kogu intellektuaalse maailma jaoks” (Tamm, Kull lk 580) ning sellest on autorite sõnul võimalik rääkida alates Tartu Ülikooli taasavamisest 1802. aastal. Ehkki mõisa kui tähendusliku kultuurilise ja majandusliku üksuse ajalugu ulatub märksa varasemasse perioodi, vaatleb käesolev töö mõisa tähendust Eesti teooria valguses, ilmestamaks selle tähtsust paikkondliku mõtteloo ning Eesti kultuurilise identiteedi kujunemises. “Eesti teooria” tunnistab, et kultuuri teoreetiline enesekirjeldus, nagu ka kultuuriteooria enda paikkondliku ajaloo kirjeldus, mõjutab kirjeldatava kultuuri identiteeti ja selle arengut. (Tamm, Kull 2015, lk 581)

Töö praktiline osa tutvustab üht võimalikku uurimismetoodikat kanepibetooni kui loodussõbraliku seespoolse soojustusmaterjali juhtumipõhiseks käsitlemiseks maakivihoonete puhul, mis moodustavad märgilise osa ka paljudest Eesti mõisaansamblitest. Töö praktiline osa seisnes katsetarindi paigaldamises, suhtelise õhuniiskuse ja õhutemperatuuri mõõtmises tarindi erinevates punktides ühe aasta jooksul ning kaasuvate kitsaskohtade hindamises. Lisaks tutvustatakse nii katsetarindist eemaldatud kui samast segust valmistatud katsekehade ehitusfüüsikalisi omadusi, toetudes TalTechi Tartu Kolledžis läbi viidud laborikatsetele (Ruus et al 2021). Seejuures on peamiseks eesmärgiks võimalike kitsaskohtade ja probleemide näitlikustamine kanepibetooni kui seespoolse soojustusmaterjali puhul maakivihoonete kontekstis, suunamaks paremini edasist juhtumipõhist uurimistegevust.

Töö praktiline osa viidi läbi seondult Mooste mõisa-tall tõllakuuri renoveerimistöödega, mille eesmärgiks oli anda hoonele funktsioon ökoloogilise ehituse kompetentsikeskusena. Seega võimaldab kontekst käsitleda teorias kirjeldatud ka praktilisel tasandil - juhtumiuuring tutvustab maakivimüüri seespoolset soojustamist kanepibetooniga kui pärandisõbralikku tehnoloogiat, mis võimaldaks maakivist ehitismälestistele kaasaegse funktsiooni andmist loodussõbralikul ning tagasipöörataval viisil.

Mõisas kehastub käesoleva töö vaatenurgast kultuuri elujõulisus ning jätkusuutlikkus. Ühe peegeldusena sellest võib näha Helen Sooväli-Seppingu ja Pille Runneli osutust: 1/3 Eesti ehituspärandist on hävimisohus, kuna uusi hooneid ehitada on esmapilgul odavam, kui vanu funktsionaalselt kaasajastada. Autorid küsivad aga vastupidi: milline oleks ehituspärandi

väärtus praegu Eestis, kui renoveerimise ja hoone väärtust ei hinnataks mitte rahaühikus, vaid süsiniku talletaja ning sidujana? Lisaks rõhutatakse, et materiaalse pärandi hoidmine kui aktiivne osalus kliimaeesmärkide saavutamisel on olulisem kui üksikute kliimaeesmärkide saavutamine kultuuripärandi valdkonnas. (Sooväli-Sepping, Runnel 2021) Sellest lähtuvalt osutab käesolev töö läbi praktilise juhtumiuuringu ühele võimalikule viisile, kuidas mõtestada kliimanetraalset pärandikaitset ning selles aktiivselt osaleda.

Eelnevale tuginedes näeb käesolev töö mõisas üht tugevama tähendusliku jõuga sümbolit Eesti ehituspärandi kontekstis, mille kultuurilist väärtust pole võimalik alal hoida ilma ökoloogilist ja ökonoomilist aspekti kaasamata. Sahlins ja Marshall rõhutavad, et objektide (sh ehituspärandi) loomupärane kasutusväärtus on alati kultuuriliselt määratletud ning kujundatud üht või teist laadi väärtushinnangutest (Sahlins, Marshall 1976). Kuigi mõis pole eksplitsiitselt looduse ja kultuuri kohtumispaik, on siinse käsitluse eesmärgiks osutada mõisale kui potentsiaalselt viljakale pinnasele kultuurilise, ökoloogilise ja ökonoomilise jätkusuutlikkuse mõtestamiseks 21. sajandi kontekstis. Osutades selles raamistikus kanepibetooni potentsiaalsele sobivusele maakivihoonete seespoolseks soojustamiseks, tutvustab käesolev praktiline juhtumiuuring esmast metoodikat, mille abil osaleda pärandi sünteesimise protsessis.

Võtmetähtsusega on siin pärandtehnoloogiline perspektiiv – lisaks ehituspärandis kajastuvate väärtuste mõtestamisele kaasaegses kontekstis juhib käesolev töö tähelepanu ka materjalitunnetuse olulisusele pärandi ning innovaatilise lähenemise ühildamisel. Pärandtehnoloogiline taust toimib siin kriitilise lülina traditsioonilistel võtetel põhineva ehituspärandi ning kaasaegsete teaduslike uurimismeetodite vahel. Siinse töö seisukohast toetub ehituspärandi edukas kaasajastamine ühtaegu nii kultuuritausta muutuste mõtestamisele kui ehitusmaterjali kasutusviiside praktilisele katsetamisele ja funktsionaalsele kohandamisele.

1. JÄRJEPIDEVUS KUI PÄRANDI FUNKTSIOON

Käesoleva peatüki sisuks on pärandi kui kultuuriajaloolisele kontekstile toetuva protsessi suhestamine järjepidevuse ning jätkusuutlikkuse ideedega. Pärandit on esmapilgul lihtne näha pigem koormava kohustuse, kui vabalt valitud jõukohase ülesandena: rääkides kitsamalt rahvuslikust ehituspärandist mõisasüdamete tähenduses, ei saa mööda vaadata nende kõrgetest ülalpidamiskuludest talvise kütteperioodi jooksul. Mõisahoonete väärtuslikkus tuleneb suuresti sellest, et nende ehitamiseks kasutatud materjalid ja töövõtted on tänases kontekstis liialt kulukad - kaasaegsed ehitusmaterjalid ja töövõtted võimaldaksid saavutada nii rahaliselt kui energiakulu mõttes oluliselt tõhusama tulemuse. Sellest vaatenurgast on iseäranis maakivist hoonete puhul tegemist ohustatud arhitektuuriliigiga, kuna sarnaste ehitamine muutub üha vähem tõenäoliseks nii oskustööjõu rakendamise ja kaasnevate kulude kui uutele hoonetele kehtivate energiatõhususnõuete tõttu.

Lünki pärandi ideoloogilises, ökoloogilises ja ökonoomilises käsitluses võib näha puudujääkidenähtena meie kultuurilises enesemääratluses. Et mälestiseks tunnustamisega kaasneb kõrgendatud hoolsuskohustus, pole siinjuures mitte juriidikast, vaid eelkõige ideoloogiast ja identiteedist lähtuv tingimus. Pärandi alalhoidmine tähendab maailmapildi teatavat ankurdamist ning stabiliseerimist. Jan Assmann on kollektiivse mälu ja kultuurilise identiteedi seoseid iseloomustanud järgnevalt: *“Kultuurimälu mõiste moodustavad kõik need igale ühiskonnale ja igale ajastule iseloomulikud taaskasutatavad tekstid, pildid ja riitused, mida “kultiveerides” ühiskond oma minapilti stabiliseerib ja edasi annab, kollektiivselt jagatud teadmine — peaasjalikult mineviku kohta, kuid mitte ainult —, millele toetub rühma teadlikkus oma ühtsusest ja eripärast.”* (Assmann 2012, lk 1783)

Tõstes mõnd hoonet tema kultuuriväärtusest lähtuvalt pärandi staatusesse, tunnustame tema kõrgendatud tähtsust meie väärtusruumis ning maailmapildis. Kuivõrd seome oma kultuurilise identiteedi sel viisil millegi maise ja kaduvaga, näib loomulik ja isegi möödapääsmatu selle eest järjepidevat hoolt kanda. Ühtpidi võib sellist kohustust tajuda mineviku ettekirjutusena, kuid teisalt – kas pole see, mis “ajast maha jääb” lihtsalt ajaproovile vastu pidanud ning sestap veelgi enam väärt edasi kandmist? Antud mõttekäiku võib pidada iseäranis kohaseks maakivihoonete puhul – mis võiks anda paremat tunnustust pärandistaatuse väärimisest, kui hoone füüsiline tervik, mis oma algse kultuurikonteksti “üle elab“ ning peab seega omandama uue, ajakohase

tähenduse? Ehk võib pärandi kaasajastamine osutada kultuurilise minapildi stabiliseerimisel (Assmann 2012) hoopis olulisemaks, kui selle kaitsmine muutuste eest? Asjakohasel teaduslikel *in-situ* ja laboriuuringutel põhinev info annab paremad eeldused ajakohaste funktsioonide edukaks projekteerimiseks, kuid teostus peab sobituma lisaks ehitusfüüsikale ka jätkusuutliku pärandikaitse nõuetega.

Pärandit võib seega vaadelda nii paratamatuse kui potentsiaalina. Käsitledes pärandit – olgu siis vaimselt või füüsiliselt - kujundame oma kultuurilist identiteeti ning kindlustame läbi igapäevapraktika üht või teist laadi väärtushinnangute kehtivust. Nähes pärandis pigem teadvustatud järjepidevat protsessi kui museaalse autentsuse alalhoidmist, saab olevikus toimuv loa mineviku ja tuleviku mõtestatud ühildamiseks. Harvey on osutanud, et sügavam arusaamine pärandi ajaloolisest tingitusest ning põimitusest võimaldab meil astuda sammu edasi, näha pärandit enama kui lahendust vajavate probleemide kogumina ning arutleda selle üle, kuidas toimub ühiskonnas identiteedi, võimu ja autoriteedi loomine. (Harvey 2001)

Käesoleva töö keskne väide seisneb selles, et mugavama sisekliima ning väiksemate ülalpidamiskulude saavutamine maakivihoonete keskkonnahoidliku kaasajastamise näol lisab neile väärtusliku kihi nii kultuurilises kui ehituslikus mõttes. Nii võiks kaasaegse funktsiooniga kohandatud ajaloolist hoonet nimetada pärandiks mõneti sügavamas ja sisulisemaski tähenduses, kui tühja ja tarbetut ent autentsena säilivat arhitektuurimälestist. Kuna maakivimüüride püsivus on võimaldanud paljudel hoonetel nii-öelda muutumatuna oma aeg „üle elada“ ja seeläbi pärandi staatusesse jõuda, võib see kaasaja kontekstis kujuneda pinnaseks sootuks uutele väärtusele ja tähendustele.

Ehitusmaterjalide elutsüklianalüüs on üha aktuaalsemaks muutuv teema tänases arutelus mõistliku energiakasutuse üle. Kõik mõistlikud vahendid ehitatavate hoonete energiatarbe vähendamiseks ning vajalike materjalide võimalikult kohalikuks ja energiatõhusaks tootmiseks peaksid seega olema loomulik osa jätkusuutlikust poliitikast 21. sajandil (Toosi et al 2020). Et pärandi alalhoidmise nii-öelda ökoloogilise väärtuse hindamiseks puudub tänaseni üheselt ja laialdaselt aktsepteeritav skaala (Sooväli-Sepping, Runnel 2021), siis on selle väljakutse illustreerimiseks, vähemasti Eesti kontekstis, kohane pöörata pilk mõisa poole.

Siinses käsitluses on pärandi kaasajastamine nii ökoloogiliselt kui kultuuriliselt motiveeritud, kui võrd neid mõisteid on mõisa kontekstis väga keeruline teineteisest eraldada. Timo Maran tutvustab oma artiklis “Täenduslik keskkond ja ökoloogiline kriis” perspektiivi, mida ta nimetab “semiootiliseks vaateks ökoloogilisele kriisile keskkonnahumanitaaria kontekstis.” Ta räägib sellest, kuidas ökoloogiline kriis on seotud keskkonna tähenduslikkuse vähenemisega ja kuidas keskkonna eiramine (ehk suutmatus või soovimatus tähenduslikul viisil keskkonnaga suhestuda) tuleneb sümboli kui märgitüübi domineerimisest ja kaasnevast kultuuri sulgumisest endasse. Selle all mõistab autor olukorda, kus kultuuris on aina rohkem tekste, tähenduskindlaid ja väärtussüsteeme, mis talitlevad sõltumatult ökosüsteemis toimivatest protsessidest. (Maran 2020, lk 2)

Maran lisab, et kirjeldustasandil tuleneb keskkonna tähenduslikkuse vähenemine kultuuriprotsessidest: tema seisukohast on iseäranis uusaegne kultuur püüelnud abstraktsete suletud sümbol- ja väärtussüsteemide poole. Selle suundumuse väljendusviisidena nimetab ta mitmeid näiteid: *“inimkeele vaatlemine suletud formaalsete süsteemidena; vahetute representatiivsete seoste alahindamine kirjandustekstide ja tekstivälise keskkonna vahel; kirjanduse, muusika ja kaunite kunstide nägemine kõrgkunstina, mis seisab lahus materiaalsest reaalsusest, keskkonnast ja selle probleemidest.”* Maran 2020, lk 3)

Sellises tähenduses võiks ka mõisast tema algse tähenduses rääkida kui sümbolist, mis justkui seisab väljaspool oma loomulikku keskkonda, püüdes moodustada iseseisvat ja eneseküllast maailma. Kujundades ümber loodusmaastikke läbi maaparanduse ning kultiveerimise, püüdis mõis neid suunata teadliku korrastatuse suunas, eemale looduslikust tasakaalust. Samas käis looduse “taltsutamise” ühes selle formaalne mõtestamine, teaduslik uurimine ning klassifitseerimine, olles eelduseks ka looduskaitsele tegevusele Eestis. Selle algeid võib seostada just baltisakslastest mõisnike seast pärinevate loodus- ja kultuuriteadlaste tegevusega: näiteks Piibe mõisas sündinud Karl Ernst von Baer, Raikküla mõisnikud Alexander ja Hermann von Keyserling, Puhtu suvemõisnik Jakob von Uexküll või Pilguse mõisnik Johann von Luce. Niisiis võib mõisas näha nii suletud maailma kui ka maailmaga suhestumise viisi.

Loodusväärtuste formaalne mõtestamine, sealhulgas kohaliku floora ja fauna kaardistamine ning selle alalhoidmise tähtsustamine sai Eestis tuule tiibadesse 19. sajandi teisel poolel. *“Baltisaksa maateaduse kokkuvõtteks võib nimetada 1911. aastal Riias Karl Reinhold Kupfferi (1872–1935) toimetamisel ilmunud koguteost “Baltische Landeskunde”, milles lisaks*

füüsilisele geograafiale, geoloogiale, klimatoloogiale ning floorale ja faunale antakse ülevaade ka Baltikumi ajaloolisest ja poliitilisest geograafiast. Kupfferi osalusel asutas Riia Looduseuurijate Selts 1910. aastal Vaika saartele linnukaitseala, mis tähistab looduskaitse algust Eestis.” (Undusk 2007)

Samasse perioodi langeb ka Eesti rahvuslik ärkamisaeg. Üheks varasematest “Eesti loodusemõtte” formaalsetest viljelejatest võib siinjuures pidada sajandi esimeses pooles Saaremaal tegutsenud estofiilist pastorit ja kirjanikku, Pilguse mõisnikku Johann Wilhelm Ludwig von Luce’t. Ta asutas 1817. aastal Kuressaares esimese eesti küsimuste uurimise ühingu "Ehstnische Litterarische Gesellschafti" (Kuressaare Eesti Selts). See jäi aga asukoha ja väheste kaastöölise tõttu siiski känguma ning lõpetas tegevuse asutaja kadumise tõttu. Ometi on seda peetud isegi 1838. aastal asutatud Õpetatud Eesti Seltsi üheks eeskujuks. (EEVA)

Eesti arvatavasti ühe tuntuima, Raikküla mõisniku Alexander von Keyserlingi õepoeg Hermann Keyserlingi loomingus võib leida korduvaid viiteid sellele, kuidas kultuur sünnib omalaadi paigatavadusena läbi vaimse algatuse ja teatava loodusliku keskkonna ühismõju. (lk 607) (Undusk 2008: 101). Postuumselt avaldatud kolmeköitelises eluraamatus Reis läbi aja (1948–1963) tõdeb Keyserling, et *“kultuur tekib vaid seal, kus inimhing astub abiellu spetsiifilise maapinnasega”* (tsit. Undusk 2003: 70).

Toodud näited ei anna iseenesest siintoodud vaatenurkadele objektiivset kehtivust, kuid sobivad illustreerima käsitlust, mis näeb pärandit pigem järjepideva kultuuriprotsessi, kui staatilise väärtusena (Harvey 2001). Ühe implitsiitse, ent keskse mõistena võib siin näha sünteesi: *“Sünteesmärki, mis on tõesem kui tema alusmärgid, on võimalik saada vaid siis, kui uurija suudab alusmärke mõista ühtse väljana, ühtse mütopoeetilise kujundina, mida ei löhu mingisugused hoiakulised (teoreetilised) raamid — see nõuab uurijalt kõrgetasemelist loovseisundit. Sel juhul ei määra tulemust mitte kokkukorjatud faktide hulk, vaid märkidevahelise sideme (assotsiatsiooni) kvaliteet.”* (Raun 1990, lk 71)

Kui vaadelda täna kasutuseta seisvaid ning sageli avariilises seisukorras olevaid maakivihooneid Eestis, siis ühest küljest võib neis näha koormat, mille oleme möödalinud ühiskondlikust korraldusest kaasa võtnud. Nad on see, mis on sõna otseses mõttes ajast maha jäänud, neis kajastub kõige ehedamalt maakivi kui ehitusmaterjali püsivus: katusega müürid võivad säilida aastakümneid, mõnel juhul sajandeidki. Teisalt, kõrvutades tänast ehitusvaldkonda arhitektuuripärandi ehitamisaegse tasemega, on tehnoloogiline areng

võimaldanud tohutuid kvantitatiivseid ja kvalitatiivseid hüppeid hoone sisulise ülesehituse mõtestamisel. Kas maakivi on sellest lähtuvalt iganenud või on meie ehituskultuur oma juurtest hoopis põhjendamatult kaugenenud? Pärandi sünteesist rääkides näeb käesolev töö potentsiaali maakivi ning kanepibetooni ühildamisel tulenevalt nende spetsiifilistest omadusest ning funktsioonist.

21. sajandi esimese veerandi lõpul elades ei saa mööda vaadata asjaolust, et nii olemasolevate hoonete ülalpidamise kui uute ehitamisega kaasnevad mõjud keskkonnale vajavad senisest märkimisväärselt põhjalikumat mõtestamist. Materjalide olemusring peaks senisest mõjusamalt kinnitama või korrigeerima meie tänase ehituskultuuri väärtushinnanguid nii uus- kui pärandehitiste puhul. Kui maakivi püsivus on meile ilmselge, siis kuidas tõlkida see olemusringi keelde nõnda, et ehituspärandi roll võiks seisneda enam kui üksnes möödaläinud ajaperioodi kulukas markeerimises füüsilisel maastikul?

Ehituspärand, iseäranis niivõrd püsiva materjali puhul nagu maakivi, peaks peegeldama meie kõige tähenduslikumaid kultuurilisi väärtusi just nimelt seetõttu, et ta nende pikaajaliseks edasikandmiseks suurepäraselt sobib. Paberil võime dokumente säilitada, kuid hoonete arhitektuurne tegelikkus, Jüri Soolepilt mõisteid laenates “kohasus” ja “kohalikkus” (Soolep 2011), suhestub meiega tõenäoliselt ka ilma teadliku süvenemise ja uurimiseta. See on meie jaoks sensoorne tegelikkus, millesse on võimalik erinevatel ajaloo perioodidel kodeerida ajakohaseid sõnumeid ning neid tõhusamalt ning funktsionaalsena järgnevatele inimpõlvetele edastada.

Maakivihoonetele omaste kõrgete küttekuludega kaasnevad kasvuhoonegaaside emissioonid, kuid teisalt pakub tasakaalu materjali püsivus ning valdavalt kohalik päritolu. Väärrib ka märkimist, et Eesti traditsioonilised maakivihooned on ehitatud üksnes taastuvate energiaallikate toel (Peebo, Rennu 2013). Arvestades maakivi püsivust ning sellest ehitatud hoonete potentsiaalset eksploatatsiooniga, võiks seda ilmselt pidada üheks loodussõbralikumatest kohalikest ehitusmaterjalidest Eestis.

Jackson osutab, et hoonete ökoloogilise jalajälje hindamine peab toimuma arvutuse põhjal, mis võtab arvesse hoonete lammutamiseks kuluvat energiat (Jackson 2005, lk 51). Samuti tuleb materjalide elutsükli juures arvesse võtta pärandehitiste kasulikku eluiga, mille kasuks töötab nende kultuuriline väärtus. Andmaks ligilähedast hinnangut mõne mõisaansambli või sellesse kuuluva maakivihoonete potentsiaalsele energiabilansile kogu elukaare ulatuses, tuleb eelkõige

käsitleda funktsionaalsust kaasaegses kontekstis. Kuna mõisakompleksi või hoone „kasuteguri“ hindamine peab võtma arvesse ka kõiki ehituslikke eripärasid, siis on tervikpildi hoomamine sageli keeruline.

Kaasaegsete hoonete elukaar on seevastu oluliselt kergemini hinnatav tänu standardiseeritud ehitusmaterjalidele ning töövõtetele. Selles kontekstis on mõistetav, miks energiatõhusate hoonete ehitamine võib kergesti saada eelise ajalooliste hoonete alalhoidmise ning keskkonna- ja päranditundliku kaasajastamise ees. Ehituspärandi elukaar oleneb tema suhestatusest kultuuriga – siinse juhtumiuuringu puhul on hoone uueks funktsiooniks ökoloogilise ehituse kompetentsikeskus. Et tegemist on iseäranis ajakohase (Maran 2020) otstarbega, on hoone potentsiaalse eluea pikkus seega märkimisväärselt soositud, tänu ehituspärandi tugevale seosele tänaste kultuuriliste, ökoloogiliste ja ökonoomiliste probleemidega.

Madëra jt on leidnud, et kivimüüride seespoolse soojustamisel levinud soojustusmaterjalidega jääb arvutuslik energiasääst vahemikku 82-88% (Madëra et al 2017, lk 271). Autorid rõhutavad siiski, et seespoolseks soojustamiseks tuleks eelistada piisavalt madala veeauru difusioonitakistusega materjale, vältimaks niiskuse kogunemist kivimüüri pinnale ning sellest tulenevaid kahjustusi. – hindamaks nende sobivust maakivimüüride seespoolseks soojustamiseks, tuleb seega arvesse võtta mitmeid füüsikalisi omadusi lisaks soojuseri juhtivusele. Kui mõni maakivihoonete seespoolse soojustamise tehnoloogia võimaldaks neis mõistlike ülalpidamiskulude juures saavutada meeldivama ja tervislikuma sisekliima, soodustades seeläbi hoonete laialdasemat kasutust, siis võiks niisuguse tehnoloogia lähem teaduslik käsitlemine ning järjepidev edasiarendamine olla väärikas viis ehituspärandi kaasajastamiseks.

2. KANEPIBEToon

Kanepibetoon kujutab endast kergkomposiitsegu, mille valmistamiseks segatakse lubjapõhine sideaine täiteaineks oleva kanepiluu ning veega. Märja segu paigaldamine toimub raketiste abil, kuid võimalik on kasutada ka eelkuivatatud plokkke või paneele. Käesolev töö keskendub märgsegu paigaldamise meetodile, kuna viimane võimaldab paremini saavutada ühtlase kontakti ebaühtlase profiiliga maakivimüüri ning kanepibetooni vahel.

Kanepibetooni mõiste puhul on tegemist ingliskeelses teaduskirjanduses levinud 'hemp concrete' termini otsetõlkega, millega kaasneb teatav problemaatika. Betooni all mõeldakse enamasti mineraalsel täiteainel põhinevat segu, mille survetugevus võimaldab selle kasutamist kandvate seinte ehitamiseks. Sama ei kehti kanepibetooni puhul – materjali kasutatakse eelkõige kandvate sõrestike täitmiseks, millest tulenevalt on kanepibetooni füüsikalised omadused betoonist sootuks erinevad. Niisiis on tegemist mõneti tingliku mõistega, mis on parema puudumisel otsetõlkena ingliskeelsest teaduskirjandusest üle võetud.

2.1. Materjaliomadused

Kanepibetoon kui loodussõbralik ehitusmaterjal (Shea et al 2012, lk 270) on leidnud laialdast teaduslikku tähelepanu tänu oma füüsikalistele omadustele. Täiteaine ehk kanepiluu poorsus on ligikaudu 80% (Arnaud, Gourlay 2011) – kanepiluutükkide vaheliste tühimike ning nende siseste pooride koosmõjust tuleneb kanepibetooni suhteliselt madal soojusjuhtivus. Teisalt aitab kõrge niiskushahutavus ning auruläbivus vähendada suhtelise õhuniiskuse kõikumise kriitilisi mõjusid hoone piirdetarinditele, tagades seeläbi stabiilsema ning mugavama sisekliima.

Art Miljan on osutanud Eesti kliimale kui sobivale keskkonnale kiu- ja õlikanepi kasvatuseks, kuid sellest määravamaks peab autor siiski majanduslikke tingimusi (Miljan 1947). Eelmainitud ökoloogiliste ja ökonoomiliste probleemide taustal väärub esiletoomist kanepibetooni potentsiaalselt kohalik päritolu. Kuigi kanepi kasvatamine kiu- ja õlikultuurina on ajalooliselt olnud Eestis võrdlemisi levinud, tõrjusid selle aegamisi erinevatest tööstusharudest välja kulutõhusamad alternatiivid ajakohasteks otstarveteks. Tänapäevaks kasvatatakse Eestis küll õlikanepit, kuid mitte märkimisväärsel hulgal kiukanepit, mis sobib paremini kanepibetooni täitematerjali tootmiseks.

Kanepibetooni omadused varieeruvad olenevalt segu koostisest ning valmistamisviisist. Niyigena jt on näidanud, et täiteaine fraktsioonist tulenevalt varieerub kanepibetooni soojusjuhtivus vahemikus 0,075 – 0,124 W/mK ning survetugevus 0,47 – 0,99 MPa (Niyigena et al 2018, lk 213). Abdellatef jt on teadustööde tulemusi kõrvutades näidanud, et kanepibetooni kuivtihedus jääb enamasti vahemikku 300-500 kg/m³ (Abdellatef et al 2020, lk 11).

Koostise ning valmistamisviisi mõju kanepibetooni omadustele on uuritud erinevatest vaatenurkadest: Nguyen jt on kaardistanud erineva koostisega kanepibetoonist katsekehade mehaaniliste omaduste muutumist 28 päeva jooksul, keskendudes eelkõige survetugevusele (Nguyen et al 2009). Arnaud ja Gourlay on uurinud täitematerjali fraktsiooni ning sideaine osakaalu mõju kanepibetooni poorsusele ning kuivamisprotsessile (Arnaud & Gourlay 2012) ning Abdellatef jt keskendunud eelkõige erineva koostisega kanepibetoonide niiskuspuhverdamisvõime kirjeldamisele (Abdellatef et al 2020).

Glé ja Arnaud on juhtinud tähelepanu sellele, et kanepibetooni tundlikkus koostise, valmistamise ja paigaldamise tehnoloogia suhtes võimaldab läbi mõtestatud toomisprotsessi kujundamise kontrollida materjali omadusi vastavalt vajadustele. Autorid kirjeldavad katsekehade ning modelleerimise abil kanepiluu fraktsiooni ning kanepibetooni kokkusurutuse seost akustilise summutusfaktoriga. (Glé, Arnaud 2011)

Kanepibetooni veeauru difusioonitakistus oleneb samuti segu koostisest ning valmistamise ja paigaldamise viisist. Berardi jt on koostanud võrdleva ülevaate kanepibetooni füüsikalisi omadusi käsitlevate teadustööde tulemustest, kus veeauru difusioonitakistuse tegur jääb vahemikku $\mu = 3.59 - 7.68$. Kuiva kanepibetooni soojuserijuhtivus varieerub sama ülevaate põhjal vahemikus 0.05 W/(m·K) kuni 0.138 W/(m·K) (Berardi et al 2016, lk 3).

Kanepibetooni valmistamiseks kasutatakse enamasti lisaks lubjale ka hüdraulilisi lisandeid. Selle eesmärgiks on segu tahenemisprotsessi kiirendamine – aeglase karboniseerumisega paralleelselt toimub sel juhul ka märksa kiirem hüdratatsiooniprotsess. Walker ja Pavia on näidanud, et kanepibetooni sideaine hüdraulilisuse suurendamine mõjutab eelkõige kanepiluu siseseid ehk mikropoore, kusjuures kanepibetooni difusioonitakistust mõjutab sellest enam osakeste vaheliste tühimike ehk makropooride maht (Walker, Pavia 2014). Siiski viitavad autorid kontrastile Tran Le leitud tulemustega: viimaste põhjal on sideaine hüdraulilisusel märkimisväärne mõju lõplikule difusioonitakistusele (Tran Le 2011).

Kuigi soojuseri juhtivuse ning difusioonitakistuse poolest on kanepibetoon võrreldav poorbetooniga, ei sobi see madala survetugevuse tõttu (0,05 – 0,35MPa) kandvate seinte ehitamiseks ilma puitsõrestikuta (Berardi et al 2016, lk 2). Rääkides ehitusmaterjalide elutsüklist on oluline märkida, et kanepibetoonist hoonete ehitamisel kasutatakse taastuvat materjali nii madala soojusjuhtivuse kui kandevõime saavutamiseks. Kanepiluu ning ehituspuidu tootmisega kaasneb madalam energiatarve ning potentsiaalselt väiksemad keskkonnamõjud, võrreldes täielikult mineraalsel täiteainel põhineva poorbetooniga (Pavia, Walker 2014).

Uuringud on näidanud, et kanepibetooni näol on tegemist mittesüttiva materjaliga. See tähendab, et piisavalt kõrge temperatuuri korral materjal söestub, kuid ei soodusta tule levikut. Siiski sõltub lõplik tulepüsivus materjali paksusest, koostisest, tihedusest ning viimistlusviisist. (Gregor 2014, lk 83)

2.2. Maakivimüüride seespoolne soojustamine kanepibetooniga

Maakivimüüride seespoolisel soojustamisel kanepibetooniga tuleb arvesse võtta lisaks potentsiaalselt tekkivale kondensaadile ka ehitusprotsessist tulenevat niiskussisaldust. Eesti Vabaõhumuuseumis ehitatud maakivist hoone seespidise soojustamise juhtumiuuringu põhjal on Klošeiko jt näidanud, et materjali algse niiskussisalduse arvestamata jätmisega võivad kaasned olulised riskid. (Klošeiko et al 2017)

Kuna seespoolse soojustamise mõjul võib maakivimüüri sisepinna temperatuur langeda karmimal külmaperioodil kohati miinuskraadideni, peaks sisemiseks soojustamiseks kasutatav materjal suutma järsust temperatuurierinevusest tingitud kondensaadiga, iseäranis viimase voolamisega kaasnevaid probleeme leevendada, soovitatavalt ära hoida. Materjali omadustest võib seega määravaks pidada veeimavust, sorptsiooni ja difusioonitakistust. Kuigi neid näitajaid on kanepibetooni puhul uuritud läbi arvukate teadustööde (Nguyen et al 2009; Tran Le 2011; Arnaud, Gourlay 2012; Walker, Pavia 2014; Berardi et al 2016; Abdellatif et al 2020), on laborikatsete tulemusi suhestada tegeliku olukorraga, viimata läbi *in-situ* uuringuid.

Kanepibetooni puhul on tegemist niiskusliikumise mõttes hüstereetilise materjaliga. (kreeka keeles *hysteresis* – „hilinemine“). See tähendab, et materjali niiskusmahutavus sõltub varasematest märgumis- ja kuivamistsüklitest. Oumeziane jt on leidnud, et hüstereesil on märkimisväärne mõju kanepibetooni võimele niiskust siduda ning vabastada (Oumeziane 2014, lk 531). On ka osutatud, et hüstereesi mõju temperatuurilisele jaotumisele kanepibetoonis kinnitab niiskusliikumise mõju soojusliikumisele. (Oumeziane et al 2015, lk 7)

Oumeziane jt järgi kujundab materjali niiskuse puhverdamisvõimet oluliselt selle “niiskuslik ajalugu” ehk varasemad muutused materjalisiseses suhtelises õhuniiskuses. Seega on kanepibetooni kui hüstereetilise ehitusmaterjali puhul otstarbekas esitada niiskuse puhverdamisvõime pigem vahemiku (Oumeziane järgi 1.85–2.65 g/m²) kui ühese väärtusena (Oumeziane 2014, lk 532).

Omaette oluline on ka segu nakketugevus müüriga. Selleks, et maakivist müüri pinnale kondenseeruv veetilk imenduks kanepibetooni sisse, peab viimane olema ühtlaselt müüriga kontaktis. Seega on maakivihoonete seespoolse soojustamise puhul tarvis kindlasti saavutada soojustuse võimalikult ühtlane liitumine maakivimüüriga. Sõltuvalt aluspinnast võib see olla mõnel pool lihtsam ning mõnel pool tülikam – sageli on maakivist kõrvalhoonete müüride täitmiseks kasutatud väga ebahühtlase suurusega materjali, kivi- ja tellisetükke.

Kanepibetooni kui varieeruvate hügrotermiliste omadustega materjali kasutamine maakivimüüride seespoolseks soojustamiseks vajab lisaks laborikatsetele ka põhjalikke juhtumiuuringuid. Käesolev töö püüab praktilise ehituskogemuse ja teaduslikku käsitluse ühildamisega saavutada meetodilist lähtepunkti, mis toetaks kanepibetooni kui kivimüüride seespoolseks soojustamiseks sobiva materjali juhtumipõhist teaduslikku uurimist Eesti kliimas.

3. PRAKTILISE TÖÖ LÄHTEPUNKTID JA METOODIKA

Käesolev peatükk annab ülevaate magistratöö praktilise osa metoodikast. Kuna teadaolevalt on tegemist esimese maakivihoone müürile seestpoolt paigaldatud kanepibetoonist soojustusega Eestis, siis on käesoleva peatüki peamine eesmärk kirjeldada ning selgitada katsetarindi ülesehituse põhimõtteid ja uurimismetoodikat lähtuvalt käsitletavatest uurimisküsimustest.

Mooste tall-töllakuuri kohta koostatud raport (Ziegert 2017) tutvustab erinevatel soojustusmaterjalidel põhinevaid seespoolse soojustamise lahendusi ning annab soovitusi nende teostamiseks. Ühe olulisema punktina väärrib mainitud raportist esiletoomist soovitus vältida alumise 1m soojustamisel orgaanilist täiteainet. Autori hinnangul kujutab see endast riski materjali püsivusele maapinna lähedal oleva madalama temperatuuri ja suurema niiskussisalduse tõttu. Käesoleva töö uurimismeetodi üheks oli kaardistada kahe erineva kanepibetooni puhul erinevusi temperatuuris, suhtelises õhuniiskuses ning niiskussisalduses allpool ning ülalpool raportis mainitud piiri.

Tulenevalt eesmärkidest võib maakivimüüridele seestpoolt paigaldatud soojustuse ülesehitus oluliselt varieeruda. Kõnealuse katsetarindi puhul olid uurimisfookuses eelkõige suhteline õhuniiskus, temperatuur ja niiskussisaldus. Kuna eesmärgiks oli neist näitajatest lähtuvalt võtmetähtsusega rakenduskõlbliku info kogumine, siis on lähema tähelepanu alt kõrvale jäetud mitmed olulised, kuid eraldi põhjalikumalt käsitlemist vajavad küsimused, mis võivad kaasna maakivimüüride kirjeldatud viisil seespoolse soojustamisega – neid võimalikke probleeme ja kitsaskohti tutvustatakse edasistes peatükkides lähtuvalt nende loogilisest seosest tööprotsessi erinevate etappidega. Seeläbi formuleeritakse juhtumiuuringule tuginevalt edasised uurimisküsimused.

3.1. Mooste tall-tõllakuur: füüsiline ja teoreetiline kontekst

Käesoleval juhul oli tegemist kunagise tall-tõllakuuriga, mida kasutati aastakümneid ka väetiselaona. Selle tulemusena oli seintesse ladestunud märkimisväärselt soolasid, mis seovad niiskust ning võivad seega märkimisväärselt mõjutada soojustus- ja viimistluskihtide paigaldamist ning väljakuivamist. Soolade sisalduse hindamise ning nende müüridest eemaldamise meetodikat samas hoones, siinse juhtumiga sama maakivimüüri näitel käsitleb Helari Sirelpuu magistritöö „Looduskivist ja põletatud savitellistest kombineeritud müüritiste desalineerimine“ (Sirelpuu 2020).



*Foto 1 Mooste tall-tõllakuur enne renoveerimist (2017):
vaade lõunast (autor: Targo Kalamees)*

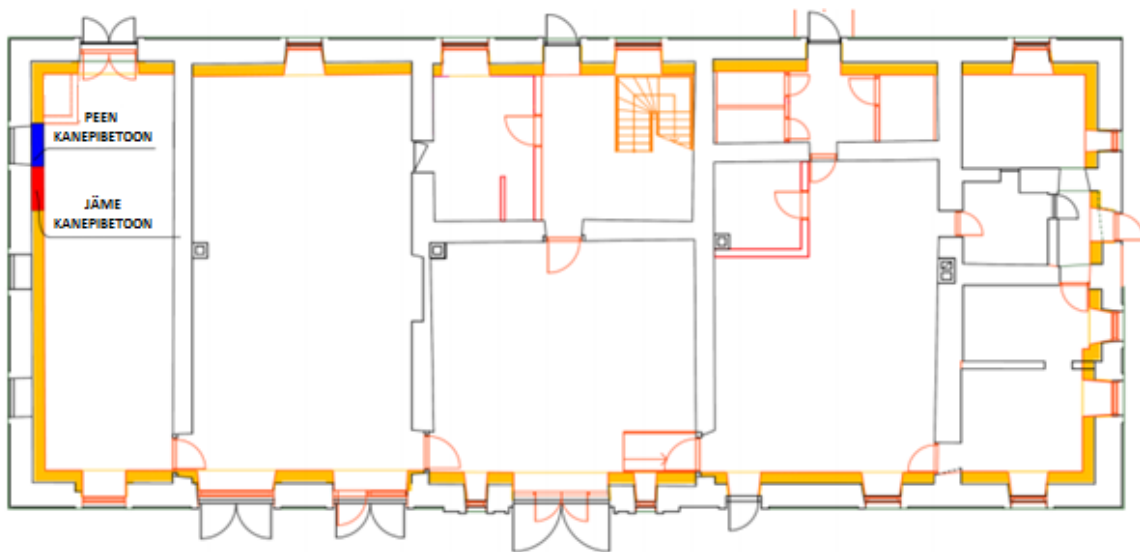


*Foto 2 Mooste tall-tõllakuur enne renoveerimist
(2017): vaade läänest (autor: Targo Kalamees)*



*Foto 3 Mooste tall-tõllakuur pärast renoveerimist (2020):
vaade edelast (Autor: Dan Lukas)*

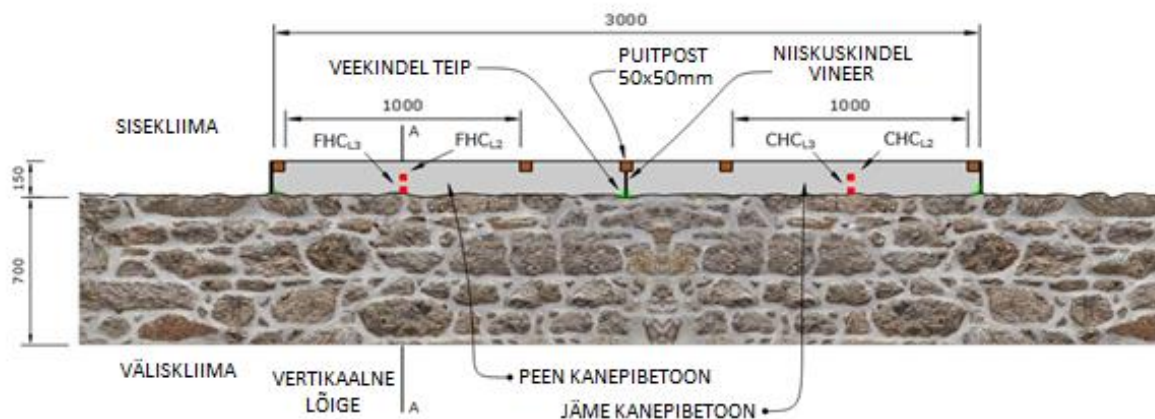
Katsetarindi uurimismetoodika rakendab ühest küljest võimalikult lihtsustatud lähenemist, tehes seda samas nii-öelda mõistlikest ebasoodsamates tingimustes: eiratud on Ziegerti soovitus vältida seespoolset soojustamist orgaanilise täitematerjali kasutamist alumise 1m ulatuses (Ziegert 2017). Soovituste aluseks olevate kalkulatsioonide empiiriline kinnitamine



Joonis 1 Mooste mõisa tall-tõllakuuri põhiplaan: katsetarind asub hoone loodepoolses otsas

või ümberlõkkamine võimaldab fookuseerida järgnevat uurimisküsimusi nõnda, et neid oleks edaspidi lihtsam integreerida tegeliku ehitusolukorraga, võttes arvesse objekti unikaalseid tingimusi. Seega, niiskusega küllastunud orgaanilise täiteaine kasutamine maapinna lähedal on käesoleva töö seisukohast eelkõige kaasnevate probleemide esiletoomise ja kirjeldamise teenistuses. Lisaks sellele kasutati jämedama kanepibetooni valmistamiseks 150% peenema kanepibetooni veekogusest - katsetarindi kontekst oli seega kujundatud erinevate kõrgendatud riskide koosmõjust.

Ehitusniiskuse väljakuivamiseks kuluva ajaperioodi pikkus avaldab olulist mõju ehitusprotsessile, lükates edasi viimistluskihi paigaldamist ning tööde üleandmist. Sestap on oluline välja töötada ning katsetada meetodeid, mis võimaldaksid vähendada ehituse ajal lisatava niiskuse hulka. See omakorda eeldab täiteaine ning sideaine omaduste laiapõhjalist käsitlemist ning võrdlevat katsetamist.



Joonis 2 Horisontaalne lõige katsetarindist (B-B joonisel 5). Temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse mõõtmispunktid on näidatud punaste ruutudega.

Kuna maakivimüüritise seespoolne soojustamine võib kaasa tuua soovimatuid niiskusprobleeme, oli katsetarindi uurimisel üheks põhieesmärgiks kirjeldada erinevusi selles, kuidas kaks erineva fraktsiooniga kanepibetonsegu kirjeldatud niiskustingimustes toimivad. Katsetarindis teostatud mõõtmiste abil on võimalik hinnata, millistel perioodidel võib kondensaadioht kujuneda märkimisväärseks, kuid enne ehitusliku niiskuse väljakuivamist on see keeruline.



Foto 4 Kanepibetoniga soojustatav osa maakivimüürist hoone loodepoolses otsas

Nagu eelnevalt pildilt näha, oli tall-tõllakuuri loodeseina puhul tegemist ebaühtlase aluspinnaga, mis on maakivist abihoonete puhul väga levinud. Rääkides kanepibetooni ja müüritise pinna ebaühtlasest liitumisest ning sellega potentsiaalselt kaasnevast kõrgendatud kondensaadiohust, on äärmiselt oluline teadvustada selle aspekti mõju soojustuse lõplikule efektiivsusele ning püsivusele. Kuna käesolevas töös nakkumise ja liituvuse temaatikat lähemalt ei käsitletud, siis on edasiste võrdlevate *in-situ* katsete puhul soovitatav sellele kõrgendatud tähelepanu pöörata. Kõnealuse katsetarindi puhul on jätkuva seire üheks eesmärgiks tuvastada võimalikke defekte müüritise ja kanepibetooni ühtlases kokkupuutes, iseäranis madalama (500mm) tsooni puhul, kus selle riski võib pidada omakorda kõrgendatuks, tulenevalt täiendavast maapinna niiskusest (Ziegert 2017).

3.2. Kanepibetooni koostis ja valmistamine

Kanepibetooni retsept oli mahupõhine, kuna praktilises töösituatsioonis pole otstarbekas koostisosade kaalumise iga lisamise juures. Nagu eelnevalt mainitud, toetub sobiva segu valmistamise ning kasutuskõlblikkuse hindamise oskus suuresti käelisele tunnetusele. Kuna käesolevas töös kasutati lubjapastat, siis on oluline märkida selle mõju kanepibetooni veesisaldusele.

Sideainena kasutati AS Limexi poolt toodetud lubjapastat, mis tootja andmetel sisaldab 55% vett. Jürmann on leidnud arvutuslikult, et sama lubjapasta veesisaldus on 33,6 – 34,4% - erinevus ilmneb mainitud töös sõelumata ning sõelutud lubjapasta vahel (Jürmann 2005, lk 35). Seega väärib esiletoomist, et kanepibetooni täpne algne veesisaldus on teadmata lähtuvalt tõsiasjast, et kasutatud lubjapasta veesisaldus on varieeruv. Siin ilmneb taas eelmainitud vajadus käelisel tunnetusel põhineva kogemuse järele, mis võimaldab hinnata segu koospüsivust ning korrigeerida vajadusel retsepti. Sellest tulenevalt võimaldab mahupõhine arvestus paremini katse kordamist, kui koostisosade kaalule tuginev lähenemine.

Täiteainena kasutati kaht erinevat kanepilüüd - peen (10-15mm) vaakumpakendatud kanepilüüd pärines Belgiast ning jäme (15-30mm) lahtine kanepilüüd Eestist. Peene kanepilüüdi fraktsioon võimaldas selle valmistamist horisontaalse segumasina abil, kuid jämeda kanepilüüdi puhul polnud see võimalik ning segu tuli valmistada käsitsi. Esmalt segati kokku vesi ja lubjapasta: peene kanepibetooni puhul 10 liitrit lubjapastat 10 liitri veega ning jämeda kanepibetooni puhul 10 liitrit lubjapastat 15 liitri veega. Kõik lubjapasta tükid lahustati põhjaliku segamisega.

Seejärel lisati 40 liitrit kanepiluud ning segati segu kuni koospüsivuse saavutamiseni. Jämeda kanepibetooni puhul võttis täitematerjali küllastumine ning töödeldavaks muutumine märkimisväärselt kauem aega kui peene kanepibetooni valmistamisel. Seda võib seostada Arnaud ja Gourlay osutatud makropooride suurema osakaaluga (Arnaud, Gourlay 2012) , mis mõjutab ka täiteaine veemahutavust – seetõttu tuli jämeda kanepibetooni valmistamiseks kasutada 50% rohkem vett kui peene kanepibetooni puhul. Väga oluline erinevus seisnes ka selles, et jäme kanepibetooni valmistamine toimus käsitsi, peene kanepibetooni valmistamine segumasina abil.

Segu sobivust hinnati Sparrow ja Stanwixi poolt kirjeldatud kuulitesti abil. Meetod seisneb ca 100mm diameetriga kuuli vormimises, mille tugevuse katsetamiseks surutakse sõrmega selle keskpunkti, kuni kuuli purunemiseni. Kui selle käigus tekib 2-3 suuremat tükki, püsib segu küllalt hästi koos – kui aga rohkem, siis on ilmselt sideaine osakaal segus liialt väike. Kui kuul sel meetodil ei purune, siis on sideaine osakaal liialt suur. (Sparrow, Stanwix 2014)

3.2.1. Katsekehad

Veeimavuse ja sorptsiooni katsetamiseks Taltechis Tartu Kolledži laboris valmistati mõlemast katsetarindi püstitamiseks kasutatud segust kahes erinevas mõõdus katsekehad: 100mm diameetriga 2,5cm paksused kettad (foto 5) ning difusioonitakistuse mõõtmiseks risttahuka kujulised katsekehad mõõtmetega 40x40x120mm (Foto 6). Nende valmistamisel püüti segu suruda kokku sarnase tugevusega nagu katsetarindi puhul. Laboris teostatud mõõtmised näitasid, et katsekehade tiheduses – iseäranis jämeda kanepibetooni puhul – ilmnes olulisi kõikumisi. Sellest järelduvalt tuleks edasiste katsete puhul kasutada võimalikult ühtlase fraktsiooniga täiteainet, saavutamaks ühtlasemat tihedust.



Foto 5 Katsekehad veeauruläbivuse mõõtmiseks



Foto 6 Katsekehad veeimavuse ja sorptsiooni mõõtmiseks

3.2. Kasutatud kanepibetooni omadused

Mooste mõisa tall-tõllakuuri loodepoolses otsas paikneva maakivimüüri seespoolseks soojustamiseks kasutati kahe erineva fraktsiooniga kanepibetooni. Peene kanepibetooni puhul oli täiteaine fraktsioon 10-15mm ning jämeda kanepiluu puhul 15-30mm. Esmase praktilise võrdlusmomendi saavutamiseks paigaldati jäme ja peen kanepibetoon kõrvuti, teineteisest eraldatuna. Mõlemast segust valmistati katsekehad, mille omadusi mõõdeti TalTech Tartu Kolledži laboris. (Ruus et al 2021) Laboritulemuste põhjal on võimalik saada aimu materjali omadustest pärast karboniseerumist, kuid kasutuskõlblikkuse saavutamiseks tuleb neid seostada katsetarindi tegelike omadustega, mis omakorda sõltuvad kuivamisprotsessist.

3.2.1. Sorptsioon

Lisaks katsekehade kuivatamisele ning sundkarboniseerimisele koostati nende kohta ka sorptsioonikõverad, mis iseloomustavad materjali niiskussisaldust erineva suhtelise õhuniiskuse juures nii sorptsiooni kui desorptsiooni faasis. Laboratoorsete mõõtmiste tulemusi on Ruus jt täpsemalt käsitlenud eraldiseisvas töös (Ruus et al 2021).

Katsetarindis kasutatud materjali sorptsiooni ehk veeauru imavus mõõdeti 30%, 50%, 75% ja 95% suhtelise õhuniiskuse juures. Jämedast kanepibetoonist karboniseerimata katsekehade kõrgeim mõõdetud niiskussisaldus 50%-lise suhtelise õhuniiskuse juures oli 4,3% ning jämedast kanepibetoonist karboniseeritud katsekehade puhul 4,6%. Peenema kanepibetooni niiskussisaldus sama õhuniiskuse juures oli karboniseerimata kujul 3,5%, karboniseeritult 3,6%.

75%-lise suhtelise õhuniiskuse juures, mida võib pidada ehitusmaterjalide seisukohast kriitiliseks tasemeks (Ruus et al 2021), oli jämedast kanepibetoonist karboniseerimata katsekehade niiskussisaldus 6,6% ning karboniseeritud katsekehadel 7%. Peene karboniseerimata kanepibetooni niiskussisaldus samades tingimustes oli 5,3% ning karboniseeritult 5,4%. 95%-lise õhuniiskuse juures oli erinevus peene ning jämeda karboniseerimata kanepibetooni niiskussisalduses väiksem (vastavalt 14,9% ja 16%). Oluliselt madalam niiskussisaldus oli aga peenel karboniseerunud kanepibetoonil (12,2%).

Desorptsiooni ehk lihtsamalt öeldes kuivamise faasis olid nimetatud väärtused 30%, 50% ja 75%-lise suhtelise õhuniiskuse juures 2-3% suuremad. Kõrgeim hüsterees ehk erinevus niiskusmahutavuse vahel sorptsiooni ja desorptsiooni faasis tuvastati peenest kanepibetoonist katsekehade puhul. Kuna katsekehade tihedused olid erinevad, arutati nende põhjal niiskusmahutavus kuupmeetri kohta. 75%-lise õhuniiskuse juures oli see peene kanepibetooni puhul 19,5 kg/m³ ning jämeda kanepibetooni puhul 17,1 kg/m³. 50% õhuniiskuse juures olid need väärtused vastavalt 12,6 ja 11,3 kgm-3 ning 95% õhuniiskuse juures 55,6 ja 37,1 kgm-3. (Ruus et al 2021)

3.2.2. Veeimavus

Kui sorptsiooni puhul mõõdeti materjali võimet siduda veeauru, siis veeimavuse mõõtmiseks asetati külgedelt niiskuskindla kihiga kaetud piklikud katsekehad otsapidi püsti vette ning eemaldati sealt küllastumise järel 24 tundi hiljem. Jämeda karboniseerimata kanepibetooni veeimavuse väärtuseks mõõdeti 1.86 ning karboniseeritult 1.9 kgm-2min-0.5. Peene karboniseerimata kanepibetooni veeimavuseks mõõdeti 1.41 ja karboniseeritult 1.45 kgm-2min-0.5. Karboniseerumisel polnud seega märkimisväärset mõju veeimavusele. (Ruus et al 2021)

3.2.3. Difusioonitakistus

Karboniseerumata peene kanepibetooni difusioonitakistus ($\mu=3,8$) oli sarnane jämedaga ($\mu=4,0$). Karboniseeritult oli peene kanepibetooni difusioonitakistus $\mu=3.5$ ning jämeda kanepibetooni puhul $\mu=4,4$. Need väärtused on veidi madalamad Walkeri ja Pavia näidatust - 531-627 kgm-3 tiheduse juures difusioonitakistus $\mu=5.42-5.71$. (Pavia, Walker 2014) Vaadeldes tulemusi Berardi jt poolt koondatud teadustööde kontekstis, paigutuvad need keskmisest veidi madalamale (Berardi et al 2016, lk 4). Korduskatsete käigus vajab kontrollimist peene kanepibetooni madalam difusioonitakistus.

Tuginedes Arnaud ja Gourlay kirjutatule, võib see tuleneda asjaolust, et jämedas kanepibetoonis moodustavad mikropoorid suurema osa kogumahust kui peene kanepiluu puhul – niiskuse liikumine toimub läbi nende aeglasemalt kui läbi osakeste vaheliste tühimike ehk makropooride, mis omakorda võib tuua kaasa madalama niiskuseläbivuse tarindi tervikpildis. Seda illustreerib ka segu valmistamisele kuluv aeg, mis oli jämeda kanepibetooni puhul oluliselt

pikem – kuna suletud poore on rohkem, siis võtab nendesse vee imendumine kauem aega võrreldes märksa kiiremini kasutuskõlblikuks saava peene kanepibetooniga, milles on rohkem avatud tühimikke.

Laborikatsete kokkuvõttele toetudes võib öelda, et need illustreerivad kanepibetooni suhteliselt head niiskuspuhverdamisvõimet, mis on maakivimüüride seespoolisel soojustamisel üheks olulisemaks parameetriks. (Ruus et al 2021)

3.2.4. Soojuserijuhtivus

Tiheduse põhjal on võimalik leida orienteeruv arvutuslik soojusjuhtivus. Katsekehade kuivatamise ning kaalumise järel arvutati nende orienteeruv tihedus ning selle põhjal oletatav soojusjuhtivus. Selle väärtus oli $\lambda = 0.066 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ jämeda kanepbetooni puhul, tihedusega 230 kg/m^3 ning $\lambda = 0.109 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ peene kanepibetooni puhul, tihedusega 447 kg/m^3 . Need väärtused mahuvad Berardi jt esitletud vahemikku (Berardi et al 2016, lk 4).

3.3. Katsetarindi uurimise metoodika

Paraku ei suuda laboratoorsed uuringud arvesse võtta ega imiteerida kõiki tegelikust olukorrast tulenevaid tingimusi, mistõttu vajab usutava käsitusmudeli saavutamise võrreldavate empiiriliste katsete läbiviimist. Mooste tall-tõllakuuri hoonesse püstitatud katsetarindi väljakuivamist jälgiti *in-situ* mõõtmiste abil, kuid võrdlusmomenti saavutamiseks valmistati kahest kirjeldatud kanepibetoonist katsekehad ka laboratoorsete katsete jaoks. Täiendav võrdlusmoment tegelike ja kontrollitud tingimuste vahel annab paremad eeldused kasulike teadmiste saavutamiseks ja sisukate uurimisküsimuste sõnastamiseks.

Iga ajalooline hoone vajab unikaalset lähenemist ning erinevaid lahendusi, mistõttu selguvad lõplikud töövõtted sageli katsetamiste ning tööproovide tulemusena. Lähtealuseks on võimalik võtta siinse töö tingimused ning varieerida kanepiluu ehk täiteaine fraktsiooni, lubja ehk sideaine valikut ning veesisaldust. Rääkides iseäranis mälestistel töötamisest, peab tehnoloogia toimivus olema tõestatud ka keskkonnas, kus seda rakendada soovitakse.

Katsetarindi tööde lõpetamise järel valmistati mõlemast kasutatud kanepibetoonist katsekehad laboratoorsete katsete jaoks. Katsetarind ja katsekehad on valmistatud ühesuguse retsepti alusel, ühesugustes tingimustes ning ühesugust tehnoloogiat kasutades. Kui katsetarindi puhul mõõdeti perioodiliselt selle erinevates punktides temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust, siis katsekehade puhul uuriti kanepibetooni sorptsiooni, veeimavust ja veeauruläbivust. Täpsemaid tulemusi on kirjeldanud Ruus jt (Ruus et al 2021).

Kogumaks andmeid niiskussisalduse ning selle jaotumise kohta kanepibetoonist soojustuse ristlõikes, võeti aasta pärast paigaldamist südamikpuuriga proovid 200mm ning 1200mm kõrguselt kummastki kanepibetoonist (foto 7). Puurimiskohad katsetarindis on tähistatud ingliskeelsetel lühenditel põhineva koodi alusel: Jämeda kanepibetooni puhul on 200mm kõrgusel asuv puurimiskoht tähistatud ingliskeelse lühendiga CHCL (*Coarse Hemp Concrete Lower*) ning samal kõrgusel peenes kanepibetoonis asuv puurimiskoht FHCL (*Fine Hemp Concrete Lower*).



Foto 7 Niiskussisalduse mõõtmiseks võetud katsekehade puurimiskohad katsetarindis

1200mm kõrgusel asuvad puurimiskohad jämedas ja peenes kanepibetoonis on tähistatud vastavalt lühendiga CHCU (*Coarse Hemp Concrete Upper*) ja FHCU (*Fine Hemp Concrete Upper*). Igast puurimiskohast pärinev materjal jaotati sügavuste kaupa: näiteks peenest kanepibetoonist 200mm kõrguselt võetud proovid on tähistatud puurimise järjekorras nõnda:

FHCL4 (0-40mm); FHCL5 (40-80mm); FHCL6 (80-120mm); FHCL7 (120mm+). Müürile kõige lähemalt võetud proovide (antud loetelus FHCL7) sügavus oli erinev maakivimüüri varieeruva profiili tõttu ning on pole seega üheselt määratletud. Eemaldatud materjal kaaluti, kuivatati Taltech Tartu Kolledži labori kuivatusahjus kuni minimaalse kaalu saavutamiseni ning arvutati kahe tulemuse erinevuses kajastuv niiskussisaldus. Laboratoorsed mõõtmised teostas TalTech Tartu kolledži magistrant Tarmo Koosapöög lähtuvalt standardist ISO 12570.

Saadud tulemuse ja eemaldamisjärgse kaalu erinevus näitab konkreetsest punktist pärineva materjali niiskussisaldust eemaldamise hetkel. Võrreldes aga omavahel ruumipoolsete ning õuepoolsete proovide niiskussisaldust, oli võimalik saada aimu sellest, missuguseks võib seinaristlõikes kujuneda niiskuse jaotumine madalamas tsoonis võrreldes kõrgemaga ning jämedas kanepibetonis võrreldes peenega.

Tuli arvestada, et jäme kanepibeton sisaldas paigaldamise hetkel 50% rohkem vett kui peen kanepibeton. Kuna peene kanepibetoniga sarnases koguses vett lisades jäi jäme kanepibetonsegu liialt kuivaks ning sellest polnud võimalik käte vahel koospüsivat kuuli vormida, siis tuli suurema veemahutavusega kanepiluu küllastamiseks suurendada vee osakaalu. Pärandtehnoloogia vaatenurgast peitub siin äärmiselt oluline detail – lõpliku koostise määramine sai tugineda üksnes käelisele tunnetusele, kuna peenema kanepibetoniga sarnase retsepti järgi ei õnnestunud jämedama kanepiluuga sobivat segu valmistada. Abtellatef jt on samuti esile toonud asjaolu, et kanepibetooni toimivuses veendumiseks pole



Foto 8 Jäme kanepibetonsegu

kuigi häid teaduslikke teste ning koostisainete osakaal määratakse kogemuse põhjal (Abtellatef et al 2020, lk 3). Selline vaatenurk lähtub vahetult olemasolevast ning võimaldab otsida käelise tunnetuse abil seda, mis võiks väärida innovaatiliseks pärandiks kujunemist.

Pärandtehnoloogiline perspektiiv osutub niisiis kasulikuks seetõttu, et võimaldab maakivimüüritiste ja kanepibetooni ehitustehnilisest spetsiifikast lähtuvalt esitada materjalispetsiifilisi, asjakohaseid „kuidas?“ ja „miks?“ küsimusi. Olukorrapõhiste küsimuste ühildamine ehitusfüüsikalise teoreetilise taustaga saab omakorda eelduseks paindlikumate ning efektiivsemate soojustuslahenduste väljatöötamiseks ajaloolistele maakivihoonetele.

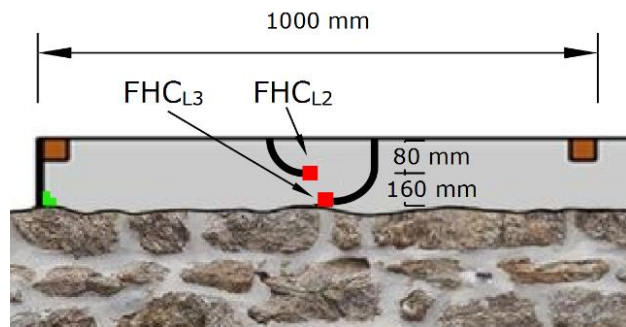
Siinse töö kirjeldus annab üksnes põgusa sissevaate sellesse, missuguseid vahendeid pakub materjalitunnetuse saavutamise protsess käelise pädevuse kognitiivseks struktureerimiseks ja väljendamiseks. Mitmed käesoleva töö seisukohast võtmetähendusega teadmised, kogemused ja infokillud ei ole väljendatavad loodusteadusliku uurimistöö terminites. Pigem võib neis näha midagi Michael Polanyi kirjeldatud „vaikiva teadmise“ taolist. (Polanyi 1962) Sobiva kanepibetonsegu valmistamine eeldab käelist kogemust sarnase seguga. Äratundmismoment võib individuaalselt toimida veidi erinevate märkide alusel, kuid ilma teadmata, mida otsitakse, pole seda ka võimalik leida. Samas tuleb arvesse võtta ka segu koostise, valmistamise ning paigaldamise mõju selle režiimile ning funktsioonile seespoolse soojustusmaterjalina.

Kanepibetooni paigaldamise võtted võivad oluliselt varieeruda, kuid maakivihoonete seespoolse soojustamisega kaasnevate riskide ja töömahu juures on ühtlane kvaliteet määrava tähtsusega. Siin pole küsimus ainult visuaalses väljanägemises, vaid eelkõige ühtlaste hügrotermiliste omaduste ning neist tulenevalt mugava sisekliima, madalamate küttekulude ja kestvama ehituslahenduse saavutamises. Uudse materjaliga töötamisel on seega möödapääsmatu saavutada esmane käeline tunnetus, millele tuginedes oleks järgnevate katsete puhul võimalik tajuda arenguid või puudujääke.

Käelise kogemuse kirjalik tõlgendamine ehk püüd „vaikivat teadmist“ omadel tingimustel rääkima panna, on antud *in-situ* katsetoodika juures oluline eesmärk, mida sellegipoolest ei õnnestu saavutada. Kuna sobiva segu määratlus lähtus katsetarindi ehitamisel käegakatsutavast ja silmnähtavast, siis tuleb teadvustada seda kui oluline on materjali teoreetilise ja praktilise tunnetuse ühildamine. Käeline ja kognitiivne kogemus on eelduseks materjalipädevuse omandamisele ning seetõttu käesoleva teema puhul väga olulise kaaluga.

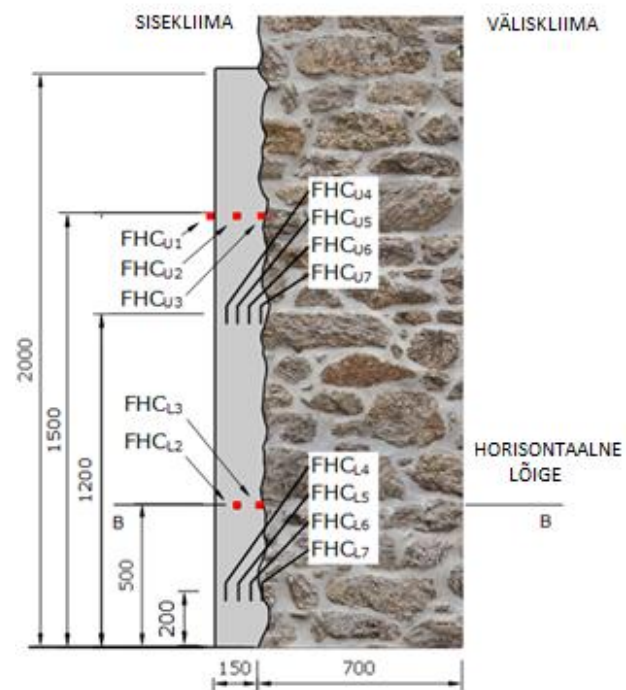
Kanepibetooni veeimavus vedelikust ja niiskusimavus õhust on suhteliselt kõrge (Ruus et al 2021). Seega peaks sobiva paksusega soojustuskihi puhul müüridele kondenseeruv niiskus saama kanepiluu poolt endasse imetud ning ühtlustuma kogu segumassi ulatuses suurema

Punktides CHCU1 ja FHCU1 paiknesid sisepinna temperatuuri mõõtvad andurid. Katsetarindi peal asuva mõõtepunkti abil (INT) oli võimalik hinnata temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust soojustamata ning soojustatud maakivimüüri üleminekupiirkonnas.



Joonis 4 Andurite asukoha fikseerimiseks segu sisse paigaldatud plastikkõrid

Võrreldes omavahel temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust sisepinnal, kanepibetooni sees ja maakivimüüri pinnal oli eesmärgiks teha esmaseid järeldusi selle kohta, kui kiiresti toimub materjali väljakuivamine ning millised temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse kõikumised toimuvad eelmainitud punktides aasta jooksul pärast katsetarindi valmimist. Teiseks peamiseks võrdlusmomentiks oli erinevus andurite asukoha kõrguses. Kuna Prof.-Dr. Kristof Ziegerti koostatud raport soovitas vältida orgaanilise täitematerjali kasutamist müüride alumise 1 meetri sisemisel soojustamisel (Ziegert 2017), oli katse üheks eesmärgiks selle soovitusel sisu valideerimine empiirilise kogemuse põhjal.



Joonis 5 Vertikaalne lõige katsetarindist (A-A Joonisel 3). Temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse andurite asukohad on tähistatud punaste ruutudega.

Katsetarind kavandati nii-öelda lihtsustatud kujul, et tundmatute arv võrrandis oleks võimalikult väike. Katsetarindis ei kasutatud kanepibetooni hüdraulilisi lisandeid, mille eesmärk on segu esmast tahenemist hüdratatsiooni abil kiirendada. (Sparrow & Stanwix 2014). Käesolevas katses kasutatud segud koosnesid kolmest komponendist: kanepiluust, lubjapastast ning veest.

Jämeda ja peene kanepibetooni omaduste võrdlevaks käsitlemiseks tuli need teineteisest eraldada niiskuskindla vineeriga (Foto 13). Materjal kinnitati keskmise sõrestikuposti ja maakivimüüri vahele – viimase ebatasasustest tingitud tühimikud kaeti niiskuskindla teibiga. Kanepibetoonist katsetarind paigaldati maakivimüürile seestpoolt kahe võrdleva sektsioonina. Kummagi sektsiooni laius oli 1500mm ning kõrgus 2000mm. Peamiseks eesmärgiks oli võrrelda kahe erineva jämedusega kanepibetooni kasutamise mõju segu välisseina hügrotermilisele režiimile.

Ka käesoleval juhul oli tarindi aluspind väga ebahütlane ning ühtlase liituvuse saavutamine sellevõrra mõneti tülikam. Võrdlevate katsete puhul on üheks oluliseks uurimissuunaks kindlasti võimalike nakkelahenduste kõrvutamine siinses töös käsitletud paigaldustingimustega. Maakivimüüritis oli antud juhul puhastatud lahtisest tolmust ning sellesse 6 kuud enne paigaldamist lubikrohvist „küüned“ sisse visatud (Foto 4). Nende külge oli võimalik paremini kinnitada järgnevat täite- või krohvikihiti. Maakivist välismüüride paksus oli ligikaudu 700mm.

3.4. Katsetarindi püstitamine

Selleks, et saavutada referentspind soovitava soojustuse jaoks, paigaldati 50x50mm postid lähtuvalt maakivimüüritist ja betoonpõrandat eraldava EPS-soojustuse sisepiirist. Postide kinnitamiseks puuriti sobiva asukohaga vertikaalteljele augud, millesse paigaldatud messingtüüblite ning keermelattide abil oli võimalik paika seada postide lõplik asend. Kuna maakivimüüris oli kasutatud palju tellisetäidet, siis kindlama ankurduse saavutamiseks paigaldati tüüblid üksnes sobival vertikaaljoonel asuvatesse maakividesse. See muutis võimalike kinnituspunktide valiku märkimisväärselt keerulisemaks, kuid kindla ankurduse tähtsus võib kirjeldatud viisil kanepibetooni paigaldades osutada määravaks.

Moostes rajatud katsetarindi puhul puhastati maakivimüür eelnevalt tolmust harja abil, seejärel niisutati ning kaeti lubjapiimaga. Seega oli tegemist nii-öelda kõige lihtsama nakkelahendusega: enne uue kanepibetooni kihiga alustamist kaeti selle taha jääva müüri pind samasuguse lubjapiimaga, mida kasutati kanepibetooni valmistamiseks. Katsetarindi sisse paigaldati plastiktorud (joonis 4) hilisemaks andurite sisestamiseks. Katsetarindi äärmiste tugipostide külge kinnitati niiskuskindel vineer ning tühimikud tihendati niiskuskindla teibiga.



Foto 9 Messingtüübli abil maakivisse fikseeritud keermelatt raketise tugipostide paigaldamiseks



Foto 10 Raketise tugipost on looditud ja fikseeritud keermelati külge mutrite ning seibide abil – välipinna kaugus seinast järgib EPS soojustuse piiri

Raketise kinnitamiseks vajalike tugipostide paigutus lähtus sellest, et need jääksid kõikidest mõõtmispunktidest võimalikult kaugele. Jämedama ja peenema kanepibetooni eraldamiseks paigaldati nende vahelise posti ning maakivimüüri vahele niiskuskindlast vineerist vahesein, mille kokkupuude müüriga tihendati niiskuskindla teibiga. Kuigi tavaolukorras oleks ratsionaalne paigutada tugipostid ühtlase sammuga, siis antud juhul tuli kummagi seiniosa keskele jäävaid poste nihutada kogu sein keskpunkti suunas, jätmaks nii vasakus kui paremas seinapooles piisavalt palju üksnes seguga täidetud ala täpsemate mõõtmisandmete saamiseks.



Foto 11 Sõrestikupostide kinnitamiseks vajalike kinnituskohtade paikaseadmine laserlöödi abil



Foto 12 Tugipostid on fikseeritud maakivimüüri külge

Kui katsetarindi otste ning kaht poolt eristava niiskuskindlast vineerist vaheseina kokkupuuteala maakivimüüri olid veekindla teibiga tihendatud, sai alustada segu valmistamisega. Nagu eelnevalt kirjeldatud, oli segu koostisosade suhe mõlema fraktsiooni puhul mahupõhiselt 1:4 ehk ühe osa sideaine kohta 4 osa täiteainet.

Pulberlubja puhul oleks täiendavalt tulnud lisada ka sideainega sarnases mahus vett, kuid antud juhul oli kasutusel lubjapasta, mis sisaldab ligikaudu 50% vett. Lubjakotid on küll vettpidavad, kuid väiksema vigastuse korral hakkab pasta juba välja kuivama. Lisaks võib ka kotisuu kinnituse tihedusest sõltuvalt lubja niiskussisaldus väheneda. Sellisel juhul ei saa pasta puhul olla täiesti kindel mahupõhisele arvestusele, sest väiksema veesisaldusega pasta ruumala on võrdlemisi sarnane märjemale pastale.

Kuna seisnud pasta puhul koguneb vesi pealmisse kihti, on oluline enne kasutamist pasta korralikult läbi segada, lisades vajadusel vett, et saavutada parajalt vedel sideaine, mis seguneks täiteainega ühtlasemalt. Niisiis oli sellisel puhul võimatu täpselt paika panna vee sisaldust – sobiva segukoostise üle sai otsustada üksnes eelmainitud kuulitesti abil (Sparrow, Stanwix 2014).



Foto 13 Katsetarindi külgraketis on fikseeritud äärmise posti külge, kiilutud tihedalt maakiviseina vastu ning vineeri ja maakivi vahelised tühimikud kaetud niiskuskindla teibiga

Andurite hõlpsamaks paigutamiseks ning lubjakahjustuste eest kaitsmiseks tuli paigaldada plastikkõrid mõlemas seinaosas 500mm ja 1500mm kõrgusele põrandapinnast. Kummalgi kõrgusel mõõdeti suhtelist õhuniiskust ning temperatuuri maakivimüüri pinnal ja kanepibetooni keskel. Andurite asukohad paigutati teineteisest vähemalt 100mm kaugusele, et vältida omavahelisi mõjusid.

Kõride otsad painutati omavahel 90 kraadise nurga alla, et kõri üks ots suunduks vähemalt mõned sentimeetrid mööda seina pikitelge. Selle eesmärk oli vähendada soojus- ja niiskustõrjumise erinevust kõri juures võrreldes üksnes kanepibetoonist ristlõikega. Kui tarindi ristteljel kulgev kõri pöördub pikiteljele, on seina ristlõige juba mõne sentimeetri kaugusel sarnane ülejäänud kanepibetoonile.



Foto 14 Kõride asetus temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse andurite jaoks (FHCL3 – müüri ääres; FHCL2 – tarindi keskel) 500mm kõrgusel peenes kanepibetoonis.

Käsitsi segamine on kõige vahetum ja kindlam viis segu omaduste muutumise otseseks tajumiseks. Kuigi taoline kogemuslik ehituspärand Eestis puudub ning käsitsi segamist ei saa tänaste töövahendite taustal ka kuidagi otstarbekaks pidada, siis kanepibetooni puhul kehtib selgesti sama põhimõte, mis teistegi käsitöövaldkondade puhul – hea meister peab oskama hinnata tunnetuslikult, mitte üksnes kitsaste parameetrite või tootja juhiste järgi (Polanyi „vaikiv teadmine“). Antud juhul on see iseäranis kohane, kuna täiteaine fraktsioonist sõltub oluliselt määral ka selle segunemine ja küllastumine sideaine ning veega. Sellest lähtuvalt peab asjatundja oskama iga masinatäie puhul öelda, kas see sobib paigaldamiseks või mitte. Kuigi kuulitesti abil on võimalik kergesti aru saada valest koostisest, siis ei saa seda võtta kui sobiva segu absoluutset indikaatorit.



Foto 15 Paigaldamiseks sobiv järele segatud kanepibetoon

Peen kanepibetoon saavutas koospüsiva konsistentsi üsna lühikese segamise järel, kuid jämedamat kanepibetooni tuli sarnase tulemuse saavutamiseks oluliselt kauem segada. Lõputöö (Pau 2017) kogemuse põhjal võis järeldada, et sideaine on mõistlik lahustada võimalikult vedelaks – isegi kui veesisaldus võib algul näida liigne, siis mõningase „tõmbamise“ järel muutub kanepibetoon tunduvalt paremini vormitavaks. Kuna vedelamas olekus sideaine peaks teoorias ka paremini ja ühtlasemalt täiteainesse imbuma, siis võib teatava tingliku analoogia tuua kruntvärvi - selle ülesandeks on imbuda materjali sügavamale, kui põhivärv seda suudaks ning seeläbi luua ulatuslikum kinnituspind sarnase koostisega ent rammusamale värvikihtile. Kui suurem veesisaldus segus aitab tõepoolest lubjaosakesi efektiivsemalt kanepiluu sisse toimetada ning tagab orgaanilise materjali ühtlasema immutuse, siis võib see

mõnevõrra suurendada ka materjali tulepüsivust ning vastupidavust biokahjustustele. Samuti on suure niiskumahutavusega täiteaine puhul nii suurem tõenäosus, et veesisaldus on piisav lubja karboniseerumiseks. Teisalt kaasneb suurem ajutine niiskukoormus, mille arvestamata jätmisega võivad kaasned märkimisväärsed riskid. (Klošeiko et al 2017)

Vee lisamine võimaldas küll pealtnäha ühtlase segu kiiremini valmis teha, kuid mõne aja järel kuulitesti tehes oli see kasutamiseks endiselt liialt „puine“ ega püsinud koos. Iga 10-15 minuti järel tuli vannis segu kätega põhjalikult läbi segada: selle aja jooksul vajus suurem osa niiskusest vanni põhja, sest pealne kiht ei jõudnud piisavalt kiiresti veest küllastuda. Alumist kihti taas



Foto 16 Katsetarind koos paigaldatud andurite ning valmistatud katsekehadega

üles segades hakkas veesisaldus vähehaaval ühtlustuma. Segamise ajal oli kuulda ka vaikset „kihinat“ – kanepiluu olev õhk tõrjuti vee poolt välja. 15 minutit seisnud segu puhul sarnast heli kuulda polnud, kuid kui see taas läbi segada, oli kontrast märgatav. Oluliseks tähelepanekuks võib siin pidada ka veeläike olemasolu. Segades omavahel kokku suure veemahutavusega suurefraktsioonilist kanepiluu ning lubjapiima, võis veeläike kadumist pärast mõneajast seismist seostada selgesti segu koospüsivusega. Selliste kogemuskildude põhjal on võimalik kujundada põhjalikumat arusaama sellest, kuidas head segu valmistada ning ära tunda – siinse käsitluse eesmärk on pakkuda selleks üht võimalikku empiirilist lähtepunkti.

Kanepibetooni segamise käigus muutub ka osakeste „veeremine“ ning kaasnev heli. Kuiv kanepiluu „heliseb“ peene puiduse kõlaga, luutükid libisevad omavahel lahtisemalt. Veega küllastunud segu pudeneb pehmelt ja helitult ning segunõus veeredes kleepuvad luutükid kergemini kokku. Katsetarindi püsitamise protsess võimaldas läbi käelise tegevuse kinnistada tunnetuslikku arusaama sobivast segukoostisest. Käesoleva katsetarindi paigaldamiskogemuse

taustal on oluline mainida, et lõplikus kvaliteedis veendumise juures ei tohiks käelise tunnetuse olulisust alahinnata ning iga masinatäit valmistades on pigem otstarbekas teha enne kanepibetooni paigaldamist eelmainitud kuulitest. Kuigi ühtpidi on eesmärgiks valmistada võimalikult väikese veesisaldusega segu, kiirendamaks väljakuivamist ning ehitusprotsessi, peab see siiski olema piisav, et täitematerjal küllastuks ning kanepibetoon oleks vormitav.

Jämeda ja peene kanepibetooni omaduste *in-situ* ning laboratoorne uurimine võimaldab luua seoseid tunnetuslike seisukohtadega, mis põhinevad praktilisel kogemusel. Antud juhul oli eesmärgiks eelkõige soojustuskihi monoliitsus ning fikseeritus tugipostide ja maakivimüüri vahele. Sestap on katsetarindis segu kokku surutud veidi tugevamalt, kui elementaarselt vajalik – seda on oluline meeles pidada soojusjuhtivuse mõõtmistulemusi hinnates. Õhulisema paigaldusega on võimalik saavutada madalamat soojuserijuhtivust, kuid ühtlasi suureneb ka tühimike esinemise tõenäosus. Ühtlaste omaduste saavutamiseks vajaliku käelise tunnetuse alalhoidmiseks on seega oluline ka järjepidev töötamine materjaliga. Kanepibetooni ühe võtmeomaduse ehk monoliitsuse saavutamiseks oli eesmärgiks tühimikke eos vältida – lisaks paremale püsivusele ja väljanägemisele võimaldab ühtlane seinatäide ka mõõtmistulemuste paremat tõlgendamist ning põhjendatud järelduste tegemist.



Foto 17 Peen kanepibetoon pärast paigaldamist



Foto 18 Jäme kanepibetoon pärast paigaldamist



Foto 19 Andur on paigaldatud ning kõri avasuletud plastiliiniga

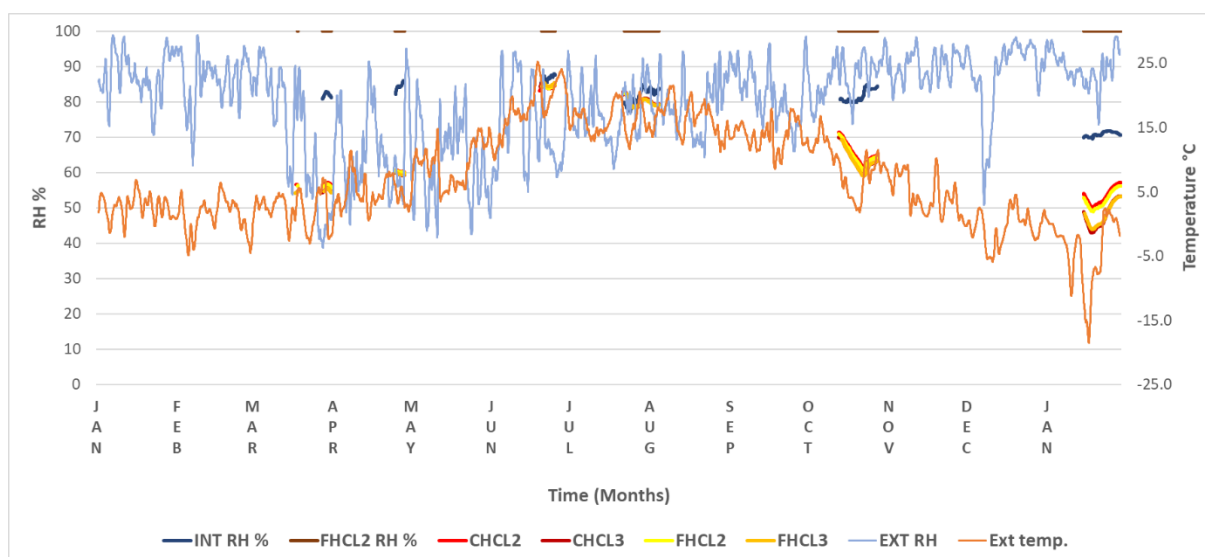
4. MÕÕTMISTULEMUSED JA NENDE HINDAMINE

Talvine külmaperiood võimaldas tuvastada mõningaid temperatuurierinevusi, mille abil anda esialgne võrdlev hinnang jämeda (CHCL ja CHCU) ja peene (FHCL ja FHCU) kanepibetooni sobivusele seespoolse soojustusmaterjalina. Ühildades seda võrdlusmomenti kõrgema (CHCU ja FHCU) ja madalama (CHCL ja FHCL) tsooni võrdlusega, on võimalik esmaseid oletusi püstitada. Seejuures tuleb mainida, et viimaseid ei tohiks segi ajada väidetega, mis põhinevad mitmekordsel empiirilisel katsetamisel.

4.1. Suhteline õhuniiskus ja temperatuur

Suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri mõõtmisi teostati perioodiliselt 12 kuu jooksul pärast katsetarindi püstitamist (veebruar 2020 – jaanuar 2021). Kuna kanepibetooni paigaldamisaege veesisaldusest tulenevalt püsis pooriõhu suhteline õhuniiskus kõikides katsetarindi sisestes mõõtmispunktides 100% juures, siis polnud võimalik kõnealuse mõõtmisperioodi põhjal hinnata väliskliima kõikumise mõju kanepibetooni niiskussisaldusele.

Graafikul 1 toodud mõõtmistulemused näitavad, et 500mm kõrgusel põrandapinnast oli kanepibetooni sees (CHCL2 ; FHCL2) ning müüri pinnal (CHCL3 ; FHCL3) mõõdetud temperatuuride erinevus kõige selgemini tajutav talvise külmaperioodi jooksul. Perioodidel, mil välistemperatuur (EXT temp.) oli kõrgem kui 0 °C, niisugust erinevust ei täheldatud.

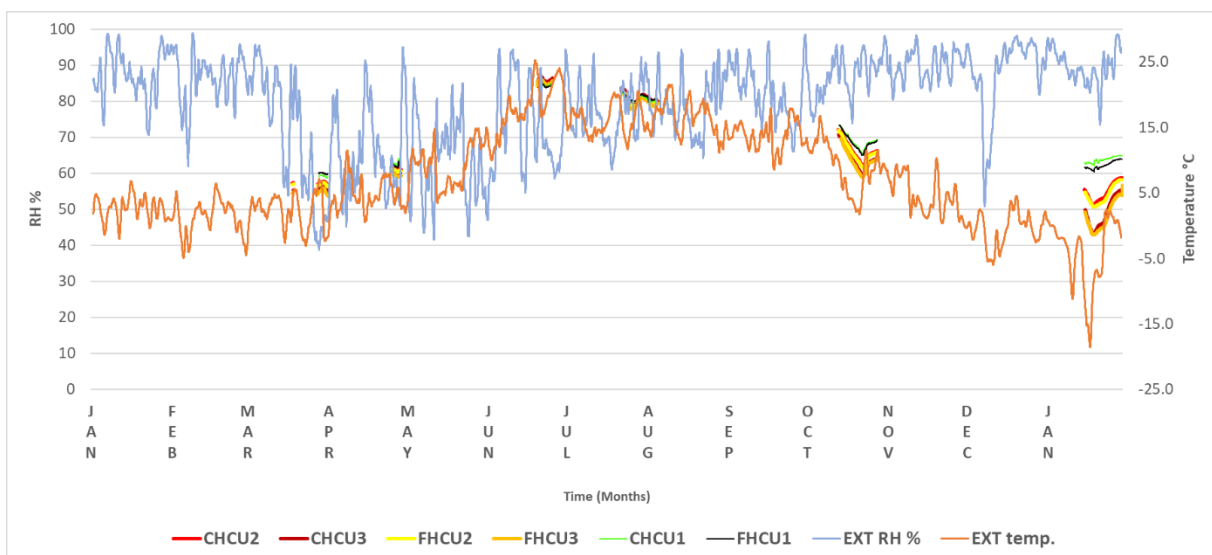


Graafik 1 Mõõdetud temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse väärtused 500mm kõrgusel.

Aasta pärast paigaldamist oli kanepibetoon endiselt niiskusest küllastunud ehk teisisõnu – kanepibetooni pooriõhu suhteline õhuniiskus püsis kõikides mõõtmispunktides 100%. 500mm kõrgusel mõõdeti miinimumtemperatuuriks maakivi pinnal jämeda kanepibetooni puhul (CHCL3) -1.4°C ja peene puhul -0.9°C . Samal kõrgusel mõõdetud miinimumtemperatuur jämeda kanepibetooni keskel (CHCL2) oli 2.5°C ning peene kanepibetooni keskel (FHCL2) 1.9°C .

Graafikul 2 on toodud temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse mõõtmistulemused 1500mm kõrgusel asuvatest punktidest. Kanepibetooni keskel (CHCU2 ; FHCU2) ning müüri ääres paiknevate (CHCU3 ; FHCU3) mõõtmispunktide vahel võib märgata veidi suuremaid erinevusi, kui samas võrdluses 500mm kõrgusel paiknevate andurite puhul (Graafik 1).

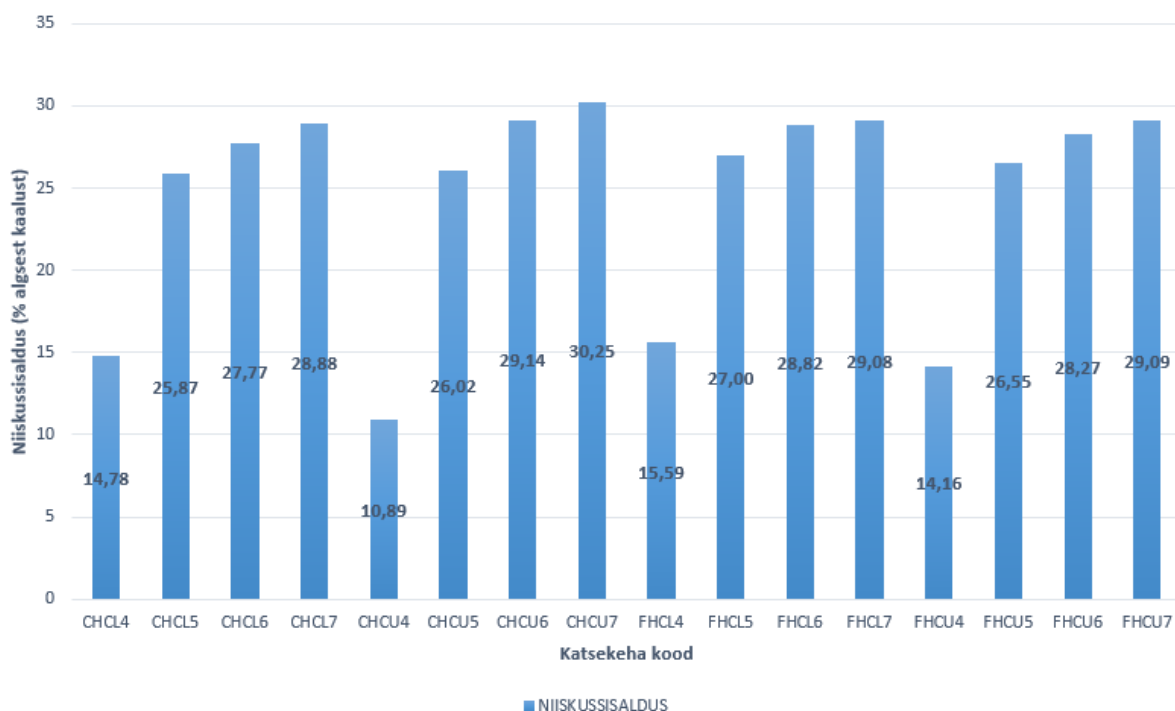
1500mm kõrgusel oli maakivi pinnal mõõdetud miinimumtemperatuur jämeda kanepibetooni puhul (CHCU3) -1.2°C ning peene kanepibetooni puhul (FHCU3) -1.4°C . Jämeda kanepibetooni keskel (CHCU2) mõõdetud miinimumtemperatuur oli 3.1°C ning peene kanepibetooni keskel (FHCU2) 2.8°C . Madalaim mõõdetud temperatuur jämeda kanepibetooni sisepinnal (CHCU1) oli 9.1°C ja peene kanepibetooni sisepinnal (FHCU1) 8.2°C .



Graafik 2 Mõõdetud temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse väärtused 1500mm kõrgusel

4.2. Niiskussisaldus

Katsekehad niiskussisalduse mõõtmiseks eemaldati katsetarindist aasta pärast selle valmimist. Proovid võeti 200mm (CHCL ; FHCL) ning 1200mm (CHCU ; FHCU) kõrguselt. Igast puurimiskohast (CHCL ; CHCU ; FHCL ; FHCU) pärinev materjali jaotati sügavuste kaupa: näiteks jämedast kanepibetoonist 200mm kõrguselt võetud proovid on tähistatud puurimise järjekorras nõnda: CHCL4 (0-40mm); CHCL5 (40-80mm); CHCL6 (80-120mm); CHCL7 (120mm+). Müürile kõige lähemalt võetud proovide (antud loetelus FHCL7) sügavus oli erinev maakivimüüri varieeruva profiili tõttu ning on pole seega üheselt määratletud. eemaldatud materjal kaaluti, kuivatati Taltech Tartu labori kuivatusahjus kuni minimaalse kaalu saavutamiseni ning arvutati kahe tulemuse erinevuses kajastuv väljakuivanud niiskussisaldus.



Graafik 3 Katsetarindist eemaldatud kanepibetooni niiskussisaldus

4.3. Kahjustused ja muud võimalikud probleemid

Katsetarindi pealmise osa müüripoolsel pinnal võis täheldada hallitust. Seda on võimalik seostada soojustatud ning soojustamata ala üleminekuga: kuna ülaltpoolt oli kanepibeton avatud, siis sai sein ülemine osa kuivada kiiremini võrreldes keskmise ning alumise osaga. Samuti oli hallitusega kaetud ala kanepibetonist osaliselt karboniseerunud, mis viitab selle suuremale kokkupuutele õhuga. Kõrgest suhtelisest õhuniiskusest tulenevale hallitusohule viitab ka senine teadustöö (Marceau et al 2017).



Foto 20 Hallitus katsetarindist eemaldatud kanepibetonil

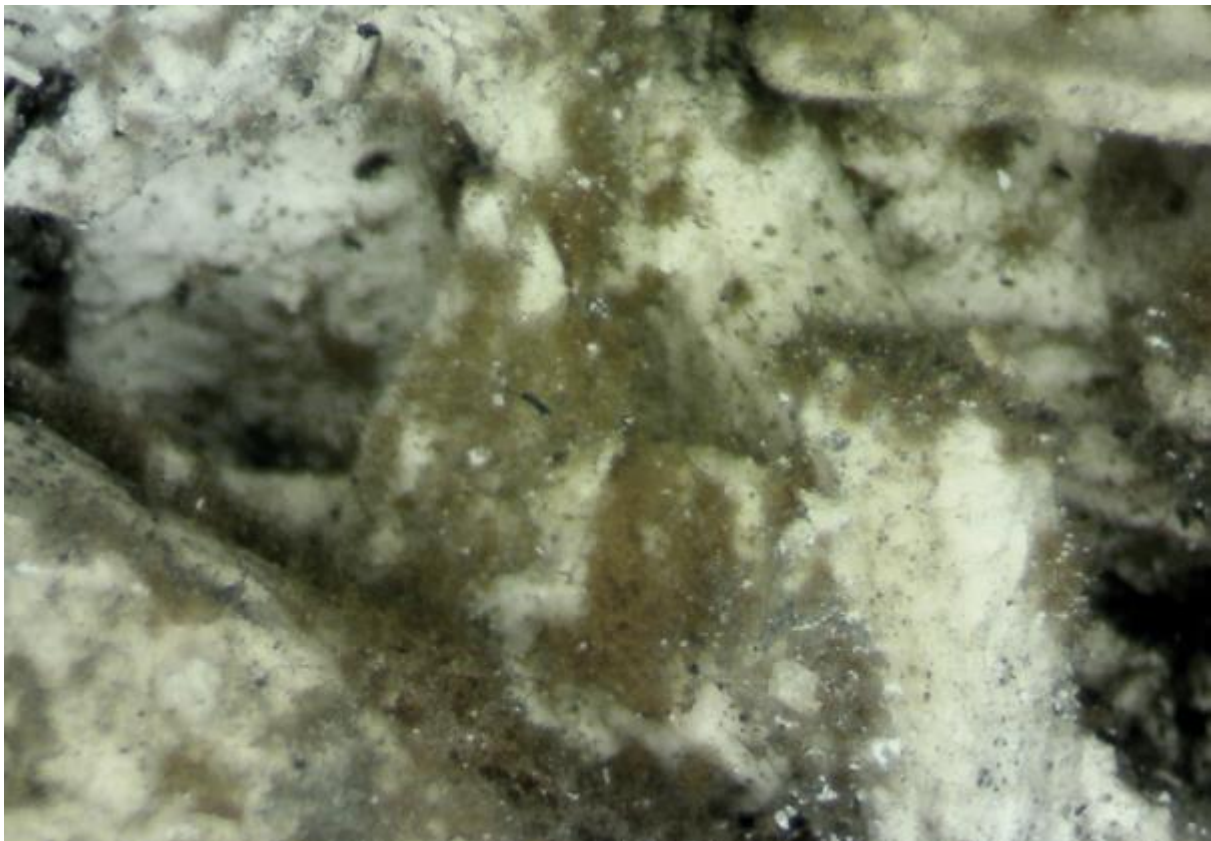


Foto 21 Lähivaade hallitusele (autor: Urve Kallavus)

Võib oletada, et kiirem väljakuivamine võrreldes ülejäänud seinaga tingis olukorra, kus kanepibetooni mahukahanemise tõttu tekkis tühimik selle ja maakivimüüri vahele. Kuna talvise külmaperioodi jooksul langes kanepibetooni taguse maakivimüüri pinna temperatuur madalamale ülejäänud müürist, siis võis tühimikus kujuneda kastepunkt, millesse siseneva ruumitemperatuuril õhu kondenseerumine lõi sobivad tingimused hallituse kasvuks. Tegemist on üksnes hüpoteesiga, mille paikapidavus vajab korduskatsete abil kinnitamist.

Kuna talveperioodil oli maakivimüüri sisepinna madalaim mõõdetud temperatuur $-1,4^{\circ}\text{C}$, siis ei saa välistada ka külmakahjustusi, arvestades kanepibetooni suurt algset niiskussisaldust. Tänu kanepiluu elastsusele ei pruugi külmakahjustuste ulatus ega mõju soojustuse efektiivsusele olla märkimisväärne – see oleneb mõistagi kanepiluu fraktsioonist, nakkekihist, niiskussisaldusest ja külmaperioodi pikkusest. Nende seoste ja riskide täpsem käsitlemine on möödapääsmatu, saavutamaks mõtestatud vaadet maakivimüüride efektiivsele seespoolsele soojustamisele kanepibetoniga Eesti kliimas. Enne vastavate uuringute läbiviimist ja ohutuse tõendamist ei saa siinkirjeldatud viisil paigaldatud kanepibetooni soovitada maakivimüüride seest poolt soojustamiseks.

5. ARUTELU JA EDASISED UURIMISKÜSIMUSED

Käesoleva töö peamise järeldusena võib öelda, et aeglase väljakuivamise tõttu kaasneb siinkirjeldatud viisil valmistatud ning juhtumiuuringu tingimustes paigaldatud kanepibetooniga märkimisväärne oht hallituse kasvuks. Paigaldusaegset niiskust on võimalik vähendada segu madalama veesisalduse näol, kuid sõltuvalt valmistamis- ja paigaldusmeetodist võib see vähendada segu töödeldavust ning lõplikku survetugevust. Katsetarindi lõpliku väljakuivamise aeg pole teada.

Kuna katsetarind paigaldati ruumi, mida kasutatakse laopinnana ning kus inimesed viibivad harva, oli ruumi temperatuur seatud minimaalsele tasemele, hoidmaks ära võimalike külma- ja niiskuskahjustuste teket. Talvise kütteperioodi jooksul oli ruumi sisetemperatuur 10-12 °C. Seega oleks kiirema väljakuivamise soodustamiseks võimalik ka sisetemperatuuri tõstmine ning niiskusimurite paigaldamine, millega kaasneks aga suurem energiakulu.

Teine võimalus liigniiskuse vältimiseks on eelnevalt valmistatud ning karboniseerunud plokkide või paneelide kasutamine. Maakivimüüri ebatasase profiili tõttu on see aga raskendatud – kui soovitakse saavutada sirget seinapinda, siis tähendab see siiski eelvalmistatud materjali ning maakivimüüri vahelise tühimiku täitmist lahtise kanepibetoonseguga. Vastasel juhul ei pruugi kanepibetoon täita eelkirjeldatud niiskuspuhvri funktsiooni ja kondensaadioht maakivimüüri pinnal võib suureneda. Siit omakorda tuleneb vajadus vastava tehnilise lahenduse järele, mis võimaldaks minimaalse ruumikao juures saavutada maksimaalse efekti energiasäästu ning mugava sisekliima näol.

Et talveperioodil ei pruugi renoveerimis- või restaureerimisjärgus olevates maakivihoonetes eeldada siinsest oluliselt kõrgemat sisetemperatuuri, oli käesoleva töö seisukohast oluline katsetada kanepibetooni kui seespoolset soojustusmaterjali minimaalsetes sobivates tingimustes. Järgnevate uuringute käigus on võimalik rakendada niiskussisalduse vähendamiseks eeltoodud võimalusi, saavutamaks optimaalset lahendust kuluefektiivsuse ning riskimaandamise seisukohast.

Võrreldes käesolevas töös uuritud jämeda (CHCU1) ning peene (FHCU1) kanepibetooni sisepinna temperatuuri 1500mm kõrgusel põrandast (Graafik 2), on erinevus küll väike, kuid märgatav. Kuna ehitusaegne veekogus jämedas kanepibetoonis oli 50% suurem peenemas kanepibetoonis kasutatust, siis on temperatuurierinevus iseäranis märkimisväärne.

Kanepibetooni nakkuvus maakivimüüri on täpsemat uurimist vajav probleem, kuna siinkirjutaja seisukohast võib seda kaudselt seostada eelmainitud hallituse levikuga. Kuna maakivimüür oli kanepibetooniga kaetud vaid väikeses osas ning katsetarindi pealmine külg õhu juurdepääsule avatud, toimus seal kuivamisprotsess kiiremini, kui tarindi ülejäänud osades. Seda kinnitab asjaolu, et katsekehade müüripoolne külg oli märgatavalt tahenenud vaid ülemise serva lähedal.

Kuivamisest tingitud mahukahnemise tõttu tekkis maakivimüüri ning kanepibetooni vahele ülemises servas tühimik. Selle kaudu pääses ruumitemperatuuril õhk otse müürini, mille temperatuur oli kanepibetooni madala soojuseri juhtivuse tõttu ruumitemperatuurist oluliselt madalam (Graafik 2). On võimalik, et õhu jahtumisega kaasnev kondensaat suurendas niiskuskooormust piisavalt, et soodustada hallituse teket. Tegemist on üksnes oletusega, mille paikapidavus vajab kontrollimist täpsustatud korduskatsete näol.

Kas ja kuivõrd soodustab ebaühtlane nakkuvus kanepibetooni ja maakivimüüri vahel kondensaadi teket ning võimalikke kahjustusi, väärib niisiis samuti põhjalikumat käsitlemist. Siinse juhtumi puhul oli nakkekihiks üksnes sama lubjapiim, mida kasutati kanepibetooni valmistamiseks. Edasiste uuringute käigus on oluline hinnata lõpliku kuivamisperioodi pikkust sõltuvalt täiteainest ning varieeruvast veesisaldusest. Seejuures on oluline ka hinnata, kas ja kuivõrd mõjutavad veega küllastunud kanepibetooni ning maakivimüüritise tõhusat liitumist talvised külmaperioodid, mil müüri sisepinna temperatuur võib kohati langeda miinuskraadideni. Samuti vajab käsitlemist, kuidas hinnata külmumisega kaasneva riski ulatust ning mõju kanepibetooni ja maakivimüüritise omavahelisele nakkuvusele.

Uurimistegevus Mooste mõisa tall-tõllakuuris jätkub rajatud katsetarindis perioodiliste mõõtmiste teostamisega. Lisaks on oluline täpsustada erinevate luufraktsioonide sobivust erinevateks paigaldusviisideks – see teema pole seni Eestis praktikapõhist uurimist pälvinud, ent teadustöodes leidub mitmeid viiteid peenema fraktsiooniga luu suuremale soojuslähivusele ning väiksemale niiskuselähivusele (Abdellatef et al 2020).

Kuna veesisaldus mängib olulist rolli ka lubja karboniseerumisel, siis väärub omaette käsitlemist, kas ja kuivõrd kujundab segu algne veesisaldus selle karboniseerumissügavust pärast seina paigaldamist. Teoorias on võimalik, et liialt kuiva seguga täites võib see vähese vee endasse siduda ning ühtlase karboniseerumise jaoks ei pruugi seda jätkuda. Suuremad kanepiluutükid vabastavad nendesse talletunud niiskust aeglasemalt, kui peenema fraktsiooniga kanepiluu. Sellest olenev niiskuse välja kuivamisaeg võib mõjuda soodsalt ka lõplikule kvaliteedile.

Näib vähetõenäoline, et eraldiseisvate katsete juures suudetaks matkida tegelikke tingimusi ehitusobjektidel, mistõttu võib siinkirjeldatud katsetarindiga sarnases mastaabis tööproovide teostamine osutuda vajalikuks praktikaks enne mahukamate renoveerimistöde ettevõtmist.

Võimalikud edasiarendused ühtlasemalt nakkuva segulahenduse saavutamiseks on kohane asetada siinkirjeldatud katsetarindiga võrreldavasse konteksti. Sel viisil on tulemusi võimalik kõrvutada nii-öelda nullpunktiga, millele tuginedes teha järgnevatest katsetest sisukamaid ja edasiviivamaid järeldusi. Samuti vajab täpsemat käsitlemist müüritise võimaliku soolasisalduse mõju nakkumisele, võimalikud meetodid desalinearimiseks ning nende efektiivne integreerimine renoveerimisprotsessiga (Sirelpuu 2020).

Omaette põhjalikku käsitlemist eelneva taustal väärub pärand kui protsess. Kuidas ühildada parimal viisil praktiline oskusteave traditsiooniliste maakivihoonete vallas kanepibetooni kui seespoolse soojustusmaterjali juhtumipõhise uurimisega? Kuivõrd saab kiukanepist rääkida kui traditsioonilisest ning kuivõrd uuenduslikust ja loodussõbralikust toormest ehitusmaterjalide tootmisel? Missuguste kriteeriumite põhjal, lisaks ehitusfüüsikalistele omadustele, tuleks määrata materjali kasutamiskõlblikkust ehituspärandi jätkusuutlikuks kaasajastamiseks nii kultuurilises, ökoloogilises kui ökonoomilises plaanis?

KOKKUVÕTE

Muutuv kultuurikontekst toob ühest küljest kaasa uusi probleeme, kuid pakub ka uusi võimalusi pärandi mõtestamiseks ning seda alal hoidvas kultuuriprotsessis osalemiseks. Kliimaneutraalse muinsuskaitse idee võib osutuda viljakaks ka ehitusmaterjalide olelusringi puudutavate arutelude jaoks laiemalt - pärandi ning kaasaja senisest põhjalikum suhestamine võimaldab paremini mõista tänaseid kitsaskohti ning vastata ka eelseisvatele keskkonna- ja kliimaküsimustele.

Käesoleva töö vaatenurgast on mõisatel kui iseäranis laia tähendusväljaga üksustel suur potentsiaal olla vajalikuks puutepunktiks looduse ja kultuuri sünteesival mõtestamisel. Eesti kultuuriline identiteet on välja kasvanud just nimelt siinsest looduslikust pinnasest ning formaliseerunud suuresti tänu baltisakslastest õpetlastele, kelle omavahelises lävimise ning ideede vahetamise üheks peamiseks paigaks oli mõis.

Viimase olulisus Eesti kultuuri ühe läbiva kihina on meile küll tajutav ajaloolises, kuid harvem kaasaegses kontekstis. Käesoleva töö eesmärgiks oli näidata, kuivõrd oluline ning suure potentsiaaliga on tänase kultuurilis-ökoloogilise kriisi lävel teadvustatud suhestumine mõisapärandiga ning sellest ajakohaste tähenduste ja õppetundide väljasõelumine.

Käesoleva juhtumiuuringu peamine järeldus seisneb ehitusaegse niiskuse vähendamise vajaduses kanepibetooni paigaldamisel. Kuna talvisel perioodil langes seestpoolt soojustatud maakivimüüri sisepinna temperatuur lühikeseks ajaks alla 0 kraadi, siis võib paigaldusest tulenev niiskussisaldus sellistes tingimustes suurendada külmakahjustuste ohtu.

Samuti täheldati, et käesolevas töös kirjeldatud viisil kanepibetooni paigaldamisega kirjeldatud tingimustes kaasneb paigutine hallituse levik. Seespoolse soojustuse sisepinna temperatuur oli talveperioodil veidi kõrgem jämeda kanepibetooni puhul. Kirjeldatud viisil paigaldatud kanepibetooni lõplik väljakuivamisaeag pole teada.

Enne ehitusaegse niiskuse väljakuivamist pole võimalik täpselt hinnata ka käesolevas töös kirjeldatud kanepibetoonist katsetarindi efektiivsust soojustava ja niiskust puhverdava kihina. Katseperioodi lõpul oli kanepibetooni niiskussisaldus maakivimüüri lähedal märkimisväärselt kõrgem kui tarindi ristlõike ülejäänud osas. Tulevaste katsete puhul on soovitatav kaaluda ruumi sisetemperatuuri tõstmist ja vajadusel täiendavalt niiskusimurite paigaldamist või eelkuivatatud

kanepibetooni kasutamist, vähendamaks riske. Kanepibetoonist soojustuspaneelide valmistamise ning seespoolse paigaldamise tehnoloogia maakivihoonetes väärrib seega põhjalikumat uurimist.

Siinne käsitus on loodetavasti alles üks esimestest *in situ* juhtumiuuringutest, mis otsib viise Eesti maakivihoonete kaasajastamiseks kanepibetooni kui loodussõbraliku ehitusmaterjali abil. Praktiliste katsete läbiviimine hoonete tegelikus kontekstis on siinse töö seisukohast möödapääsmatu, pakkumaks välja toimivaid soojustuslahendusi ehituspärandi kaasajastamiseks ning energiatõhusaks alalhoidmiseks. Kuna selle probleemi ees seisab pärandikaitsevaldkond laiemalt, siis püüti siinsete arutluste ja kirjelduste abil mõtestada pärandit mitte koormava kaasavarana, vaid pigem tulevikku suunatud järjepideva ning kohanemisvõimelist kultuuriidentiteeti taastootva protsessina.

KASUTATUD ALLIKAD

Abdellatef, Y. , Khan, M. A. , Khan, A. , Alam, M. I. , Kavgic, M. 2020. Mechanical, thermal and moisture buffering properties of novel insulating hemp-lime composite building materials. *Materials*, vol 13.

Assmann, J. 2012. (tõlkinud Kalle Hein) Kollektiivne mälu ja kultuuriline identiteet. *Akadeemia* 2012 nr. 10. Lk 1775-1786.

Berardi, U. , Dhakal, U. , Gorgolewski, M. , Richman, R. 2016. Hygrothermal performance of hempcrete for Ontario (Canada) buildings. *Journal of Cleaner Production* 142, lk 1-10.

Maděra, J. , Koci, V. , Cerny, R. 2017. Computational analysis of the energy efficiency of stone walls: Current situation and possible improvements. *Proceedings of the 6th International Conference on Harmonisation between Architecture and Nature (EcoArchitecture 2016)*. Vol. 12, No. 2 (2017) lk 264–272.

Collet, F. , Pretot, S. 2014. Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content. *Construction and Building Materials* vol 65, lk 612-619

Glé, P. , Gourdon, E. , Arnaud, L. 2012. Modelling of the acoustical properties of hemp particles. *Construction and Building Materials* 37, lk 801-811

Gregor, L. 2014. Performance of hempcrete walls subjected to a standard time-temperature fire curve. Victoria University. College of Engineering and Science. Melbourne. [Magistritöö]

Harvey, D. 2001. Heritage Pasts and Heritage Presents: temporality, meaning and the scope of heritage studies, *International Journal of Heritage Studies*, 7:4, lk. 319-338.

Jackson, M. 2005. Embodied energy and historic preservation: A needed reassessment. *APT Bulletin*, Vol. 36, No. 4, lk 47-52

Jürmann, K. 2005. Lubi kui traditsiooniline ehitusmaterjal ja lubikrohvi õhuniiskust reguleeriv toime. Tartu Ülikool. [Bakalaureusetöö]

Klošeiko, P, Kalamees, T. , Arumägi, E. , Kallavus, U. 2015. Hygrothermal Performance of a Massive Stone Wall with Interior Insulation: an In-Situ Study for Developing a Retrofit Measure. *Energy Procedia* 78, lk 195 – 200.

Maran, T. 2020. Täenduslik keskkond ja ökoloogiline kriis. *Tartu Ülikool. Akadeemia* nr. 12 - 2020.

Marceau, S. , Glé, P. , Guéguen-Minerbe, M., Gourlay, E. , Moscardelli, S. , Nour, I., Amziane, S. 2017. Influence of accelerated aging on the properties of hemp concretes. *Construction and Building Materials* vol 139, lk 524 - 530

Miljan, A. 1947. Kanepikasvatus. Tartu: Teaduslik kirjandus.

Nguyen, T-T. , Picandet, V. , Amziane, S. , Baley, C. 2009. Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete.

European Journal of Environmental and Civil Engineering vol 16 nr 7 lk 1039-1050.

Niyigena, C. , Amziane, S. , Chateauneuf, A. 2018. Multicriteria analysis demonstrating the impact of shiv on the properties of hemp concrete. *Construction and Building Materials* 160 lk 211-222.

Oumeziane, Y. 2014. Hysteretic behaviour and moisture buffering of hemp concrete. *Transport in Porous Media* 103: lk 515-533

Oumeziane, Y. , Moissette, S. , Bart, M. , Lanos, C. 2015. Hysteresis phenomenon in hemp concrete. *First International Conference on Bio-based Building Materials*.

Pau, M. 2017. Kanepibetoonsegede tutvustus ja katsetamine Eesti kliimas. Tartu Ülikool. [Bakalaureusetöö]

Pavia, S. , Walker, R. 2014. Moisture transfer and thermal properties of hemp–lime concretes. *Construction and Building Materials* 64, lk 270–276

Peebo, A. , Rennu, M. 2013 Maakivi ehitusmaterjalina: töötlemine ja kasutus. *Studia Vernacula* Vol 4: Lugusid materjalidest. Tartu Ülikool.

Raun, M. 1990. Solipsismist ja Keyserlingist. *Vikerkaar* nr. 7, lk 70 - 73

Ruus, A. , Koosapoe, T. , Pau, M. , Kalamees, T. 2021. Influence of production on hemp concrete hygrothermal properties: sorption, water vapour permeability and absorption.

Sahlins, Marshall 1976. Culture and Practical Reason. Chicago and London: University of Chicago Press.

Shea, A. , Lawrence, M. , Walker, P. 2012. Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building. Construction and Building Materials vol 36, lk 270-275

Sinka, M. , Bajare, D. , Gendelis, S. , Jakovics, A. 2018. In-Situ measurements of hemp-lime insulation materials for energy efficiency improvement. Energy Procedia vol 147 lk 242-248.

Sirelpuu, H. 2020. Looduskivist ja põletatud savitellistest kombineeritud müüritiste desalineerimine. Eesti Maailikool. [Magistritöö]

Soolep, J. 2011. Ruum ja mõte: 10 loengut arhitektuurist

Sooväli-Sepping, H. , Runnel, P. 2020. Kliimaneutraalne muinsuskaitse – kas kultuuripärandi renessanss? Muinsuskaitse aastaraamat 2020, lk 90-92.

Stanwix, W , Sparrow, A. 2014. The hempcrete book. Designing and building with hemp-lime. London: Green Books.

Tamm, M. , Kull, K. 2015. Eesti Teooria. Akadeemia nr 4. lk 579-625

Toosi, H. , Lavagna, M. , Leonforte, F. , Del Pero, C. , Aste, N. 2020. Life Cycle Sustainability Assessment in Building Energy Retrofitting; A review. Sustainable Cities and Society vol 60.

Tran Le, A. 2011 Etude des transferts hygrothermique dans le beton de chanvre et leur application au batiments. Université de Reims Champagne-Ardenne, France. [Doktoritöö]

Undusk, J. 2007. Keskkonnafilosoofia ja looduse mõte Balti kultuuriruumis. Sirp 21.09.2007

Ziegert, C. 2017. Investigation and technical concept for conservation works and building physics.

Johann Wilhelm Ludwig von Luce - Eesti Vanema Kirjanduse Digitaalne Tekstikogu (EEVA)
<https://utlib.ut.ee/eeva/index.php?lang=et&do=autor&aid=85>

SUMMARY

The MA thesis by Markus Pau “**Preserving and Synthesizing Heritage: Internal Insulation of Field Stone Walls with Hemp Concrete in The Example of Stable and Carriage Shed at Mooste Manor**” aims to elaborate through practical research on the subject of heritage as a sustainable cultural process. Fieldstone buildings have a high energy demand due to their elevated heating costs during the winter period. On the other hand, their value lies not only in the immense embodied energy and craftsmanship required for construction, but also in their potentially long lifespan due to the longevity of fieldstone as a building material. This is an important factor that should be taken into account in the life cycle assessment of heritage fieldstone buildings.

To achieve better energy efficiency in the case of heritage fieldstone buildings while preserving their authentic visual appearance, internal insulation is the only option. As most insulation materials are not suited for this task, the work at hand focuses on introducing hemp concrete as a potentially viable solution. The relatively low thermal conductivity and relatively high water vapour permeability of hemp concrete has been shown in various research, but to determine its feasibility for internally insulating fieldstone heritage buildings, *in-situ* research is also required. This way, unpredictable local factors can also be taken into account in order to develop optimal hempcrete production and application techniques for fieldstone walls.

The paper at hand describes the application and assessment methodology of an experimental internally applied hemp concrete insulation in the stable and carriage shed at Mooste manor. As the work described herein is the first of its kind in Estonian climate, the main goal is to provide a practical and methodological basis for future *in-situ* research in this area. Two different types of hemp shiv were used to comparatively assess their properties – coarse hemp shiv size was 15-30mm and fine hemp shiv size was 10-15mm. An experimental section 2000mm high, 1500mm wide and 150-200mm thick was built with each hemp concrete mix. The sections were adjacent to each other, separated by moisture resistant plywood and waterproof sealing tape. Room indoor temperature was 10-12 degrees C during the test period. Relative humidity and temperature was recorded periodically at various heights and depths within the insulation during one year after application. Samples were also taken with a core

drill at 200mm and 1200mm height to assess moisture distribution at various depths inside the hemp concrete insulation. All measurements and test results should be subject to falsification.

One year after placement, relative humidity was 100% in all measuring locations. During the winter period, minimum temperatures recorded on fieldstone surface were slightly lower in the case of coarse hempcrete. On fieldstone surface, the difference in minimum temperature between coarse and fine hemp concrete was smaller at 1500mm than at 500mm. Surface temperature during the winter period was slightly higher in the case of coarse hemp concrete.

Further *in-situ* research is required to determine the drying time of internal hemp concrete insulation in described conditions. Mould growth was detected at the top of the insulation, on the side facing the fieldstone wall. Thus, the production and application method described herein is not recommended for internally insulating fieldstone buildings under similar conditions. Future practical research should also focus on developing methods that would allow for lower initial moisture content in hemp concrete, to reduce the risk of mould growth. High moisture content is also associated with higher thermal conductivity, leading to higher energy demand for heating. Another aspect here is the reduced temperature on hemp concrete surface, which affects indoor thermal comfort.

The work described here serves to provide an initial basis for conducting future *in-situ* studies with hemp concrete in fieldstone buildings. The underlying theme of this paper was about the necessity of seeing heritage within the context of today's cultural, ecological and economical problems. In this regard, the development of hemp concrete mixes suitable for internal insulation of heritage fieldstone buildings serves not only as a way of reducing heating costs, but also engaging more dynamically with the heritage process.

LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.

Mina, Markus Pau,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Pärandit hoides ja sünteesides: maakivimüüride seespoolne soojustamine kanepibetoniga Mooste tall-tõllakuuri näitel“, mille juhendajad on Madis Rennu ja Targo Kalamees, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commonsi litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Markus Pau

20.05.2021