



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Tartu kolledž

**PÕHU NIISKUSTEHNILISED OMADUSED NING  
MIKROBIKOOSLUSE AKTIIVSUSE JA BIOMASSI  
ANALÜÜS NIISKUMISEL-KUIVAMISEL**

**HYGROSCOPIC PERFORMANCE OF STRAW AND  
ANALYSIS OF MICROBIAL ACTIVITY AND BIOMASS  
DURING WETTING-DRYING**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Katrin Hermaste

Üliõpilaskood: 153885EAEI

Juhendaja: Aime Ruus, dotsent

Kaasjuhendaja: Jane Raamets, lektor

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“14” august 2020.

Autor: Katrin Hermaste

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“14” august 2020.

Juhendaja: Aime Ruus

/ allkirjastatud digitaalselt /

“14” august 2020.

Juhendaja: Jane Raamets

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“14” august 2020.

Kaitsmiskomisjoni esimees Aime Ruus

/ allkirjastatud digitaalselt /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Katrin Hermaste (sünnikuupäev: 15.11.1995 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Põhu niiskustehnilised omadused ning mikroobikoosluse aktiivsuse ja biomassi analüüs niiskumisel-kuivamisel“ „*Hygroscopic performance of straw and analysis microbial activity and biomass during wetting-drying*“, mille juhendaja on Aime Ruus ning kaasjuhendaja Jane Raamets,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

Katrin Hermaste (*allkirjastatud digitaalselt*)

14. august 2020

Tartu kolledž  
**LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

**Üliõpilane:** Katrin Hermaste, 153885EAEI

Õppekava, peeriala: EAEI02/12Tartu – Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine

Juhendajad: Aime Ruus, dotsent, +372 53 40 28 23

Jane Raamets, lektor, +372 55 61 33 44

**Lõputöö teema:**

Põhu niiskustehnilised omadused ning mikroobikoosluse aktiivsuse ja biomassi analüüs niiskumisel-kuivamisel.

*Hygroscopic performance of straw and analysis of microbial activity and biomass during wetting and drying.*

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Uurida põhu sorptsiooniomadusi: tasakaaluniiskus – sorptsioonigraafik
2. Uurida põhu niiskumist-kuivamist lühiajalisel (24 h) uputamisel lähtuvalt standardi meetodikast.
4. Uurida põhu kui ka savikrohvi käitumist lühiajalise veekahjustuse korral siseruumis. Selle jaoks ehitatakse kaks põhust seinakonstruktsiooni näidist.
3. Uurida mikroobikoosluse aktiivsust ja biomassi seoses niiskumise ja kuivamisega.

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade, materjalide hankimine, katsekehade ettevalmistus	20.06.20
2.	Katsete läbiviimine	3.08.20
3.	Andmete analüüs, töö vormistamine	14.08.20

**Töö keel:** Eesti

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "14" august 2020 a

**Üliõpilane:** Katrin Hermaste "14" august 2020 a /allkirjastatud digitaalselt/

**Juhendaja:** Aime Ruus "14" august 2020 a /allkirjastatud digitaalselt/

**Kaasjuhendaja:** Jane Raamets "14" august 2020 a /allkirjastatud digitaalselt/

**Programmijuht:** Aime Ruus "14" august 2020 a /allkirjastatud digitaalselt/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	9
1.1 Põhuehituse ajalugu .....	9
1.2 Põhumajad Eestis .....	12
1.3 Ehitustehnoloogia .....	15
1.3.1 Nebraska ehk kandvate seinte stiil .....	19
1.3.2 Karkassiga ehk mittekandev põhusein .....	21
1.3.3 Põhupaneelid .....	22
1.4 Konstruktsioonid .....	24
1.4.1 Vundament ja põrandakonstruktsioon .....	24
1.4.2 Katuse soojustamine põhupakkidega .....	25
1.4.3 Aknad ja ukсед .....	26
1.5 Põhumaja omadused .....	27
1.5.1 Soojusjuhtivus ja -salvestus .....	29
1.5.2 Sisendenergia .....	30
1.5.3 Niiskus .....	31
1.5.4 Mikroobikooslus põhul ja selle roll .....	33
1.5.5 Tuleohutus .....	34
1.5.6 Muud omadused .....	35
2 TÖÖ EESMÄRK JA LAHENDATAVAD ÜLESANDED .....	36
3 MATERJAL JA METOODIKA .....	37
3.1 Seinafragmentide ehitamine ja uputuse imiteerimine siseruumis .....	37
3.2 Põhu veeimavuskatse .....	46
3.3 Põhu sorptsioonikatse .....	47
3.4 Mikrobioloogilised uuringud .....	48
4 TULEMUSED .....	50
4.1 Uputuse imiteerimise katse seinafragmendiga .....	50
4.2 Põhu veeimavuskatse .....	61

4.3 Põhu sorptsioonikatse .....	64
4.4 Mikrobioloogilised uuringud .....	67
5 ARUTELU JA JÄRELDUSED .....	70
KOKKUVÕTE .....	73
SUMMARY .....	76
6 KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	79
LISAD .....	83
Lisa 1. Veeimavuskatsete algandmed, vee imamise kaaluandmed 24 tunni vältel ja vee välja kuivamise kaaluandmed esimese 24 tunni vältel .....	83
Lisa 2. Veeimavuskatsete vee välja kuivamise kaaluandmed järgnevate ööpäevade vältel .....	84
Lisa 3. Veeimavuskatsete põhu kaal koos imatud vee kaaluga (leht 1) .....	85
Lisa 4. Veeimavuskatsete põhu kaal koos imatud vee kaaluga (leht 2) .....	86
Lisa 5. Veeimavuskatsete põhus sisalduva vee kaal (leht 1) .....	87
Lisa 6. Veeimavuskatsete põhus sisalduva vee kaal (leht 2) .....	88
Lisa 7. Sorptsioonikatsete algandmed ning kuivatuskapis olnud perioodi kaaluandmed	89
Lisa 8. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 30% juures .....	90
Lisa 9. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 50% juures .....	91
Lisa 10. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 75% juures .....	92
Lisa 11. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 95% juures .....	93
Lisa 12. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 75% juures (desorptsioon) .....	94
Lisa 13. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 50% juures (desorptsioon) .....	95
Lisa 14. Sorptsioonikatsete kaaluandmed 30% juures (desorptsioon) .....	96
Lisa 15. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kuivatuskapis olnud perioodi vältel (katse lõpp) .....	97
Lisa 16. Vee massi ja põhu niiskuse arvutustabelid sorptsioonigraafiku jaoks .....	98
Lisa 17. Vee massi ja põhu niiskuse arvutustabelid desorptsioonigraafiku jaoks .....	99

## EESSÕNA

Magistritöö teema sõnastati koostöös autori ning tema juhendajatega Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledžist, kelleks olid dotsent Aime Ruus ja lektor Jane Raamets. Töö praktiline osa ehk katsed viidi läbi Tartu kolledži laboriruumides ning koolihoovi püstitatud välitelgis. Mikrobioloogiliste uuringute läbiviimist juhendas Laura Lokko. Katsekehade ülesehituse osas toetasid ideede ja nõuga loodusehituse koolitaja Sven Aluste ning Saviukumaja OÜ meeskonnast Martin Hütt, Marko Kikas ja Indrek Kerbo. Katsetusteks vajaminev põhk osteti Lõuna-Eesti põllumehelt Indrek Sootsilt ning krohvisegudega toetas samuti Saviukumaja OÜ. Suured tänud juhendajatele ja kõikidele toetajatele.

Käesolevas magistritöös tutvustatakse viidatud allikate põhjal põhu kui ehitusmaterjali omadusi, ajalugu ja erinevaid ehitustehnoloogiaid. Katsed viidi põhuga läbi mitmel erineval moel. Neist põhilisemad olid sorptsioonikatse lahtise põhuga, lühiajaline veeimavuskatse ning konstruktsioonis oleva põhu ning seda katva savikrohvi lühiajaline veeimavuskatse imiteeritud uputuse põhjal. Lisaks tehti paralleelselt katsetega ka põhu mikrobioloogia uuringuid, mõistmaks mikroobikoosluste aktiivsust ja biomassi niiskumisel-kuivamisel.

Võtmesõnad: põhk, põhumajad, põhu niiskustehnilised omadused, mikrobioloogia põhul, magistritöö

## SISSEJUHATUS

Ökoloogiline ehitus on looduslikest materjalidest eluks vajaliku keskkonna loomine, järgides samal ajal keskkonna- ja energiasäästlikust kui ka selle mõju inimese tervisele [1]. Tänapäeval massiliselt kasutatavad tööstuslikud ehitusmaterjalid sisaldavad hulgaliselt kahjulikke aineid, mistõttu viimastel aastatel palju tähelepanu pälvinud energia- ja keskkonnasäästlik ehitus ei pruugi olla alati tervisele ohutu [1]. Alternatiivi leidmiseks pööratakse sageli pilk traditsioonilistele ja looduslikele minimaalselt töödeldud materjalidele ja ehitusviisidele. Selleks peab enamasti tundma vanu traditsioonilisi ehitusmaterjale, nende päritolu, omadusi konstruktsioonis ja materjali käitlemis- ja ehitusprotsessi.

Selles lõputöös keskendutakse vaid ühele looduslikele ehitusmaterjalile, milleks on taastuv ja looduslik teraviljakasvatusest jääkmaterjalina maha jäänud põhk. Eesmärgiks on uurida põhu kui ehitusmaterjali niiskustehnilisi omadusi ja selle käitumist uputuse olukorras. Lisaks uuritakse ka põhul elutseva mikroobikoosluse aktiivsuse ja biomassi muutust niiskumisel-kuivamisel. Põhu vähesel levikul ehitusvaldkonnas mängib suurt rolli inimeste teadmatust sellest kui ehitusmaterjalist. Samuti ebausk, mida põhumajade ehituse suhtes on läbi aegade tekitanud erinevad müüdid ja kiiresti levivad valearvamused. Põllult pihku korjatud õlekõrred võivad käte vahel tunduda nõrgad, kerged ja ideaalsed vaid loomadele allapanuks. Põhupressimismasinad suudavad nendest kõrrest valmistada aga tiheda, tugeva ja ehituskõlbliku bloki, mida üksteise otsa ladudes saab rajada kindla ja soojapidava seinu. Peale hoone viimistlusprotsessi on selle omanikul üks väga omapärane eluase.

Põhumajade ehitusega seonduvate kooskõlastuste ja ehituslubade hankimine on olnud aga tänapäeval mitmetes maades raskendatud [2]. Andrew Morrisoni sõnul pole mõni ametnik põhust konstruktsioonist midagi kuulnud ning paljudel puudub tööalane kogemus põhust ehitatud majadega [2]. Siiski võib nüüdseks leida ka põhust ehitamiseks vajaminevad ehituskoodeksid, millele viidates on lihtsam hoonele ehitusluba taotleda [2]. Näiteks on 2015. aastal lisatud Rahvusvahelisse Elamukoodeksisse (*International Residential Code – IRC*) põhuehituse osa [2]. Põhumajade ehitust toetavad ka katsekehade testimisega tõendust leidnud vastupidavus ilmastikutingimustele, tulekahjule ning lisaks ka lagunemisele ja närilistele. Selle kõrvalt peab pöörama tähelepanu ka väga tähtsale põhumajadele negatiivset mõju avaldavale aspektile, milleks on vesi ja niiskus. Kuna põhk on looduslik materjal, siis veega kokkupuutes hakkab see lagunema, samuti on siis soodustatud hallituse ja bakteri kasv ja levik.



# 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Põhuehituse ajalugu

Teraviljakasvatuse alguse Lääne-Aasiast nisu kasvatamisega 7000-6000 a. eKr [3]. Umbes sama kaua on selle teraviljakasvatuse kõrvalsaadusena tuntud ka põhku [4]. Põhk on kiirelt taastuv ressurss [4]. Võrrelduna puiduga, mille ressurss taastub olenevalt puidu liigist, selle kasvukeskkonnast ja piirkonnast ligikaudu 40-120 aastat [5], on teraviljakasvatuse kõrvalsaadusena tekkivat põhku saada kord kuni kaks aastat [4]. Tamme, saare, männi ja kuuse kasvuiga on pikem ning jääb 80-120 aasta vahele [5]. Lehtpuudel nagu kask, sanglepp ja haab võtab raieküpseks saamine aega 50-80 aastat, hallil lepal aga 41-50 aastat [5].

Põhk on orgaaniline materjal, mille koostisosana tselluloosi, hemitselluloosi ja ligniini kõrval mängib olulist rolli ka räni, mis aeglustab oluliselt põhu lagunemise kiirust, sest mikroorganismidel on raske seda lagundada [6]. Kõrte pealmine pind on kaetud õhukese vetthülgava vahakihi [6]. Põhk on tänapäevani kasutust leidnud nii loomasöödana, allapanuna, mullaviljakuse tõstjana, küttematerjalina kui ka ehituskonstruktsioonides [7]. Väetamise eesmärgil purustab kombain viljakoristamise ajal põhu otse põllule, mis hiljem sisse küntakse [8]. Loomasööda või allapanu jaoks jäetakse kõrred terveks ning aetakse vaaludesse, hiljem koristatakse põllult [8]. Ühendkuningriigis on levinud ka põhu põletamine elektrienergia tootmise eesmärgil, kuid Carol Atkinsoni läbi viidud uuring näitas, et vähem kui 5 aastaga võimaldas ehituses kasutatav põhk säästa sama koguse süsinikku kui seda eraldub põlemisel [9]. Vaadeldes põhu põletamise ja sellest ehitamise protsessi aasta vältel süsiniku seisukohast, siis põhust ehitamine on 2,5 korda parem kui põhu põletamine [9]. Siiski peetakse mitmes paigas seda ka lihtsalt kasutuks jäägiks [4] ning utiliseerimise probleemide tõttu [10] on levinud põhu suurtes kogustes põletamine otse põllul [4]. Paljud põhuliigid pole kõlblikud loomasöödaks selle kõrge lämmastikusisalduse tõttu, samuti pole otstarbekas tugeva kõrrestruktuuriga õlgesid põllul sisse künda [10]. Selle põletamine on aga lihtsaim kuid keskkonda saastavaim variant [10]. Californias eraldub põhu iga-aastase põletamise käigus rohkem vingugaasi ja tahkeid osakesi kui seda teevad kogu osariigi elektritootmisjaamad [10]. Põlemisel eralduv suits halvendab nähtavust ja tekitab tervisehäireid, kinnitatud on ka selle kantserogeenne toime, mis võib olla riisipõhul kõrge ränidioksiidi sisalduse tõttu suurem [10].

Ehituses on kasutatud lahtist põhku mitmel erineval moel, põhiliselt savi ja muda segu sees [9]. Kuna Nebraska alad on lagedad ning puudus on ehituses peamiselt kasutatavast puitmaterjalist, siis hakati pakitud põhku kasutama esmalt Nebraska asunike poolt 1800. aastatel kui peamise tõeuke andis pakkemasina leiutamine [9]. Esimesed neist olid töös hobuse- või aurujõul [10]. Ehitusmaterjalide nappuses elanud Nebraska pioneerid leidsid, et põhupakkide kasutamine ehituses on palju efektiivsem, suurtest põhuplokkidest ehitiste rajamine oli kiireim viis katus pea kohale saada [10]. Algselt vaadeldi selliseid varjualuseid ajutiste lahendustena, kuid aja möödudes mõisteti, et need on vastupidavad ja mugavad elamiseks säärases ekstreemses keskkonnas [10]. Viimaks hakati seinu ka krohvima ning põhuelamud võeti kasutusele peamiste ning püsivate ehitistena [10]. Enne 1936. aastat püstitati põhust maju ainult Nebraska stiilis ehk katust kandvate seinakonstruktsioonidega, alates nimetatud aastast hakati rajama ka karkassipõhiseid ehk mittekandvate seintega põhumaju, kus põhupakid on vaid seina täite- ja soojustusmaterjaliks [10].

Pressitud põhju tihedus on ligikaudu  $80\text{-}120\text{ kg/m}^3$ , mis annab põhupakkidele ehituses vajamineva kandevoime [6]. Pakkide mõõtmed varieeruvad vastavalt vajadusele, kuid kirjanduses on välja toodud kolm levinumat vahemikku:

- 1) väikesed pakid:  $32\text{-}35\text{*}50\text{*}50\text{-}100\text{ cm}$ ;
- 2) keskmised pakid:  $50\text{*}80\text{*}70\text{-}240\text{ cm}$ ;
- 3) Jumbo pakid;  $70\text{*}120\text{*}100\text{-}300\text{ cm}$  [6].

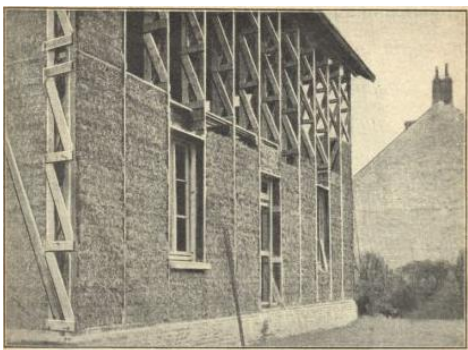
Konstruktsioonis soovitatakse rohkem kasutada pakke rukki- ja nisupõhust, sest võrreldes kaera ja odraga on nende kõrrestruktuur tunduvalt tugevam [6]. Põhupakkide tootmisprotsessil peetakse oluliseks selle väga madalat energiakulu, mis tuleneb sellest, et lisaks vilja kasvatamisele toimub ka selle jääksaaduse ehk põhju töötlemine pakkideks otse põllul [9]. Sellega seotud tegevustes pole vaja kaasata suurt tööjõudu ega kallist tehnikat [9]. Lisaks praktilisusele ja funktsionaalsusele on põhk samal ajal ka silmale ilus vaadata ning stiilne [9].

Põhumajade uurija Roger Welschi andmetel on vanim dokumenteeritud põhumaja ehitatud Nebraskasse, Bayardi linna lähedale 1886. või 1887. aastal [10]. Ühetoaline põhuplokkidest ehitus oli kasutuses koolimajana [10]. Hoone on muldpõrandaga ning katus viimistletud mätastega [10]. Umbes 5 m pika, 4 m laia ja 2 m kõrge hoone igas küljes on aken ning ühes küljes uks [10]. Veel üks vanem säilinud kandvate seintega põhumaja asub samuti Nebraskas, ehitusaastaga 1925 ning on tuntud kui Martin-Monharti Maja (joonis 1) [6]. Põhust on ehitatud ka kirikuid, esimene nendest oli 1928. aastal valminud Palverändurite kirik *Pilgrim Holiness Church* (joonis 2), Arthuri maakonnas Nebraskas [10]. Põhupakid valmistati linnast väljas statsionaarse

pakkimisseadmega, ning linna transporditi pakid muuli abil [10]. Kirikus tegutseti aktiivselt 35 aastat ning peale seda tehti see ümber muuseumiks [10]. 1976. aastal viidi tänu Arthuri maakonna ajaloolisele seltsile läbi ka kiriku taastamisprojekt [10].



Joonis 1. Martin-Monharti maja, Arthur, Nebraska, Joonis 2. *Pilgrim Holiness Church*, Arthur, Nebraska, 1928 [10].



Joonis 3. Esimene põhumaja Euroopas, „*Maison Feuillette*”, (1921) [11].



Joonis 4. Esimene põhumaja Euroopas „*Maison Feuillette*”, (2013) [12].

Kui algselt oli selline ehitusviis tavapärane kuivas kliimas, siis hiljem selgus, et ka niiskema kliimaga maades peavad sellist laadi ehitised vastu [13]. Nii tõi 19. sajandi lõpus leiutatud põhupakkimismasin kaasa põhumajade ehituse leviku üle kogu USA [6]. Hiljem levis selline ehitusmeetod ka Aiasse ja Euroopasse. Euroopa esimene põhumaja (joonised 3 ja 4) valmis 1921. aastal Èmile Feuillette poolt Prantsusmaal, Montargis [14]. Põhumajade ehitus jäi soiku 1940. aastatel sõja tagajärjel ja portlandtsemendi populaarsuse kasvu tõttu [9]. 1970ndal avastati see taas USA „ökoehituse” pioneeride poolt [9].

## 1.2 Põhumajad Eestis

Enamik Eesti põhumajadest asub Põhja-Eestis, kuid Lõuna-Eestis, kus nii põhku kui ka punast savi rohkem leidub, on põhust maju vaid mõned [15]. Eestisse Soomaale ehitasid aastal 2002 esimese põhust sauna (joonis 5) Mikk Suursild ja Rene Valner [16]. Nende ühisfirmas UNITE valmisid ka Eesti esimesed põhumajade tüüpprojektid (joonis 6) [13]. 20-60 m<sup>2</sup> pinnaga majad nägid välja omapärased, kuid oma olemuselt lihtsad [13]. Välisviimistlusena kasutati 5cm krohvikihiti, laudist ja tõrvapappi [13]. Selliste hoonete maksumuseks kujunes ligikaudu 200 000 krooni, mille juures mängis olulist rolli ka tuulegeneraatori ja sellelt saadava energia salvestamiseks vajaminevate akude soetamine [13].



OÜ UNITE  
www.unite.ee



Joonis 5. Esimene põhust saun Eestis, ehitusaastaga 2002 [17].



Joonis 6. Mikk Suursilla ehitatud kolm põhust kalurimaja Nina külas [18].

Pirita põhumajade, ehitusaastaga 2006 (joonis 7), siseviimistluses on kasutatud savikrohvi, väljas aga kahekordset savi- ja lubikrohvi [13]. Sellest tulenevalt järgib välisfassaad põhupakkidele iseloomulikke ümaraid jooni [13]. Olulist tähelepanu pöörati nende ehitusajal raskete mööbliesemete seintele kinnitusele, samuti ka vee- ja kanalisatsioonitorustike paiknemisele ning ehituskvaliteedile [13]. Sisustuselemendid on suuresti enda kätega ehitatud, sealhulgas ka köögimööbel ja vann (joonis 8) [19]. Oma väga headele soojuse salvestamise omadustele on põhumajad suurepäraseks meretuultele avatud piirkondades nagu Pirita [13].



Joonis 7. Pirita põhumajad [13].



Joonis 8. Tadelaktiga viimistletud vann Pirita põhumajas [13].

Mõnuste külas asub aga Maarja Lillemäe ning Reino Bürklandi Linnumetsa talu, mille elumaja on põhust (joonis 9). Ehituseks valiti pika kõrrega rukkipõhk, mille loovutas neile Pajakalt pärit põlluomanik. Algselt rullideks tehtud põhul lasti seista üle talve, kuid kevadel rulle avades selgus tõsiasi, et osa põhku oli hallitama läinud ning pakkimisele eelnes suur sorteerimine. Puitkarkassi sammuks on 75 cm. Pakid tuli aga käsitsi õigesse mõõtu ümber siduda, sest kasutusel olnud 1953. aastast pärit heinapakkimismasin valmistas iga paki erineva pikkusega. Elamu seinad on seest kaetud savikrohviga, välimist poolt katab aga professionaalide paigaldatud lubikrohv, sest see on ilmastikule vastupidavam. Tõestuseks, et maja on põhupakkidest, jätsid nad ühe seina seesmisele poolele krohviga katmata ala ehk väikese akna. [20]



Joonis 9. Põhust maja, talu nimega Linnumetsa [20].

Lahemaal Kolga alevikus aadressil Nõlvaku 2 asub ka Eesti esimene roost ja põhust ridaelamu, mis valmis esimese näidiskorteriga 2015. aastal mõni nädal enne jõule (joonis 10). Hoone arendustöö võttis 7 aastat, ehitamine 2 aastat, sest projekti kooskõlastamine päästeameti ja kohaliku omavalitsusega oli raskendatud. Nii arendaja kui ametnike jaoks oli tegu siiski meie ehitusvaldkonnas millegi uudse ja tundmatuga. Aluseks võeti tööd ja katsetused välisriikidest ning nõuanded Eestis põhuehituse alal pädevalt Knut Klaisilt. Kahekordne ridaelamu koosneb kaheksast korterist ning on ehitusaluse pinnaga 503,8 m<sup>2</sup>. Tulepüsivusklassiks on määratud TP3 ning hoone planeeritud eluiga 50 aastat. Maasoojuskütte tõttu valiti vundamendiks plaatvundament. Katus toetub puitkarkassile ning väikese katusekalde tõttu valiti selleks 195x45 mõõtudega materjal. Hoone vahelagede soojustamisel on põhu asemel kasutatud kivivilla plaate, sest vahelaes ei anna põhupakke nii tihedalt kokku suruda

kui seinakonstruktsioonis ning seetõttu oleks sealne põhk ka väiksema tulepüsivusega. Hoone välisseinad on laotud pilliroo pakkidest ning vaheseinad põhupakkidest. Mõlema puhul on pakkide suuruseks 400 x 400 x 800 mm. Seina välimise krohvikihi sisse lisati ilmastikukindluse tõstmiseks ka lupja. Alumise korruse väliseinte välimine külg kaeti veepritsmete kaitseks ka puitlaudisega. Hoone kõik aknad ja uksed on puidust ning pärit Aknakojast. Veetorud on kondensaatvee vältimiseks isoleeritud. Elektri kaablid on veetud mööda seinaprusside sisekülgi ja vahelae vahelt, mistõttu pistikupesad paiknevad puitprussidega kohakuti. Seinte siseküljed on krohvitud ning värvitud valgeks, viimistlusikihi sisse on läbikumavava värvitooni andmiseks segatud ka rukkilille õisi. [21]



Joonis 10. Esimene põhust ridaelamu Nõlvakul, Kolga alevikus [22]

### 1.3 Ehitustehnoloogia

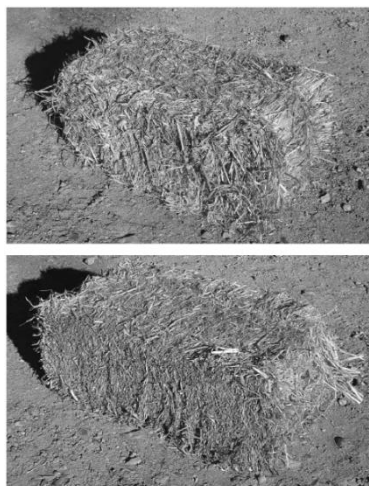
Hein koristatakse põllult tavaliselt siis, kui suhteline õhuniiskus on ööpäeva lõikes kõrgem, umbes 70% [23]. Tavaliselt on selleks hommikune periood, mil päike tõuseb [23]. Kui see pakkida kuuma suvepäeval madalama õhuniiskusega, on kõrred kuivad ja rabedad, mistõttu pakkimise teel need murduvad, mitte ei paindu [6]. Painutatud kõrred moodustavad aga paki tervikliku ja tugeva struktuuri, seega on soovitatav ka

põhk sarnaselt heinale pakkida hommikul, kui õhuniiskus on kõrgem ning materjal seetõttu elastsem [4].

Pakkemasinasse (joonis 11) juhitakse põhk liikuva reha abil, kus see suunatakse edasi vastu terasest lamedat plaati, mistõttu moodustub paki üks külg „volditud“ (joonis 12) õlgedest, teise poole küljele jäävad sirgelt väljaturritavad õled (joonis 12) [24]. Seejärel rammib masin need tihedaks kuni on saavutatud vajalik paki pikkus [24]. Viimaseks lõikab masin turritavate kõrtega külje ühtlasemaks ning väljutab valmis põhupaki [24]. Põhupaki külg, kus kõrred on volditud, jääb tavaliselt tihedam ning seetõttu soovitatakse pakid seina laduda vaheldumisi ridadena (üks rida volditud küljega väljapoole, teine rida selle küljega sissepoole) [24]. Värskest pakitud niiskeid põhupakke tuleks hoiustada hõredalt üksteise kõrval reas, et niiskuse väljakuivamine oleks võimalikult kiire [10]. Kui niisked pakid on ladustatud kompaktselt üksteise otsa, siis võib pakihunniku südamikus mikroobide aktiivse tegevuse tagajärjel tõusta temperatuur väga kõrgele, mis võib olla aluseks tulekahju tekkele [10].



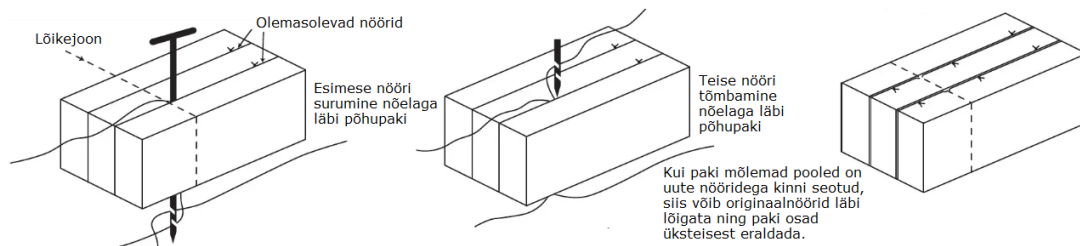
Joonis 11. Põhupakkimismasin. [23]



Joonis 12. Põhupaki volditud külg ülemisel ja lõigatud külg alumisel pildil. [23]

Pakke saab seina laduda horisontaalselt (lapiti) kui ka vertikaalselt (külili) [6]. Kuna põhupakid pole jäigad ning perfektselt ristkülikukujulised, siis umbes 2 meetrit kõrge sein ilma toetusteta on üpriski ebastabiilne [24]. Kui viimaks sein vertikaalselt kokku suruda, siis muutub see jäigaks ja vastupidavaks [24]. Põhupakke on võimalik ka ümber siduda sobivasse mõõtu pallinõela ja polüpropüleenist kinnitusnööri abil [24]. Uued nõõrid tuleb enne kinni siduda, siis võib paki alles kaheks eraldada (joonis 13) [10]. Samuti on võimalik neid painutada kõverdatud vormi [24].





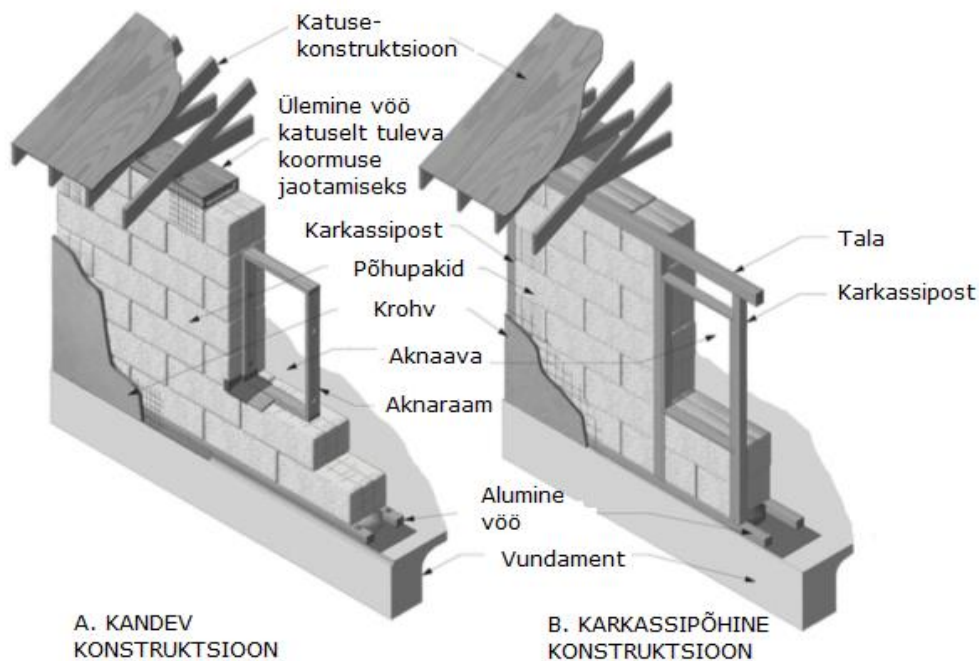
Joonis 13. Põhupaki mõõtu lõikamise protsess [24]

Põhumaja planeerimisega tuleks alustada sügisel, selle ehitamisega aga suvel, sest krohvikihit peab enne esimeste külmade tulekut jõudma korralikult ära kuivada [13]. Sügisese planeeringu sisse jääb ka põhupakkide soetamine, mille juures on väga tähtis esmalt jälgida nende kvaliteeti [6]. Ideaalis ei tohiks korralik põhupakk sisaldada umbrohtu, kuid veel tähtsam on kõrvale jätta niiskuskahjustuse tõttu hallitama läinud pakid [6]. Põhk on vee ja niiskuse suhtes ülitundlik, mistõttu sobib ehitusse võtta vaid alla 15% niiskusesisaldusega pakke [6]. Soovitav on kontrollida ka pakkenõõri tugevust ja paki enda tihedust, mille väärtus võiks jääda vahemikku 80-120 kg/m<sup>3</sup> [13]. Kvaliteedi koha pealt raha säästmine mõistlik ei ole, valida tuleb saadaval olevatest variantidest parim ning maksta selle eest vääriline tasu [4]. Kui ehituseks sobivad pakid on leitud, tuleb neid kindlasti hoiustada varju all [10].

Põhupakkidest ehituse protsess on kiire ning ei vaja meistrit ega keerulisi tööriistu [13], kuid enne ehitama asumist tuleks kindlasti läbida vastavate spetsialistide poolt korraldatud koolitusi. Ehitusprotsessi kiiruse tagab põhupakkidest seina kerkimine sarnaselt telliskivimüüri ladumisega [13]. Kui telliste omavaheliseks sidumiseks kasutatakse selle horisontaal- ja vertikaalvuukides tsementmörti, siis põhupakid fikseeritakse omavahel krohvides seina seest ja väljast, levinumalt loodusliku savikrohviga, mille eluea pikendamiseks kaetakse välisfassaad tihti ka laudisega [13]. See ei ole aga ainus variant, erinevaid viimistluskihtide lahendusi on mitmeid ning mõned neist on toodud välja peatükis „1.3 Põhumajad Eestis“. Siiski on viimistluskihi all keelatud kasutada ehituspaberit, aurutõkkelist membraanikihti või muud seesugust, sest see takistab konstruktsioonil hingamast ning materjalide vahele kondenseerunud vesi võib tekitada niiskuskahjustusi [25]. Põhupakkidest ehitades on soovitatav kasutada selle abrasiivsuse tõttu kaitseriietust nagu pikkade säärttega pükse ja särki, samuti töökindaid ning võimalusel ka tolumumaski [10]. Pakkide vedamiseks on mugav kasutada käru ja pisema traktori abi [10].

Põhumaja põhilisi ehitamisviise on kaks (joonis 14):

- 1) Nebraska stiil ehk kandvate seintega, mis on vana ja algupärane viis;
- 2) karkassil ehk mittekandvate seintega, mis on tänapäeval siiski levinum [25].



Joonis 14. Nebraska stiil (vasakul), karkassil konstruktsioon (paremal) [26].

Nende kõrval leidub ka teistsuguseid tehnoloogiaid, nagu näiteks:

- 1) *GREB* tehnoloogia – põhiliseks konstruktsioonelemendiks on puit, kuid kindlama struktuuri tagamiseks kinnitatakse põhupakid metallist klambrite ja metallvõrguga [27];
- 2) Moodul tehnoloogia – mida iseloomustavad tehases valmistatud ning objektil lihtsasti kokkumonteeritavad põhupaneelid [28]. Paneele toodavad Ühendkuningriigis ettevõtte ModCell® [29], Leedus Ecocon [30] ja Prantsusmaal Paille-Tech [31];
- 3) Hübridtehnoloogia – kus kandvaks ja jäigastavaks elemendiks on näiteks põhupakid kuid ka neid ühendav tsementmört, mida iseloomustab *Gagné* tehnoloogia [32].

Olemasolevatele tehnoloogiatele lisavad omapärasust aga väikesed detailid nagu:

- 1) pakkide ladumine nii lapiti kui ka külili;
- 2) ehituses on kasutatud ka riisiõlgedest, nisust, odrast ja isegi preeria rohust pakitud põhku;
- 3) pakkide tihedus on varieeruv;

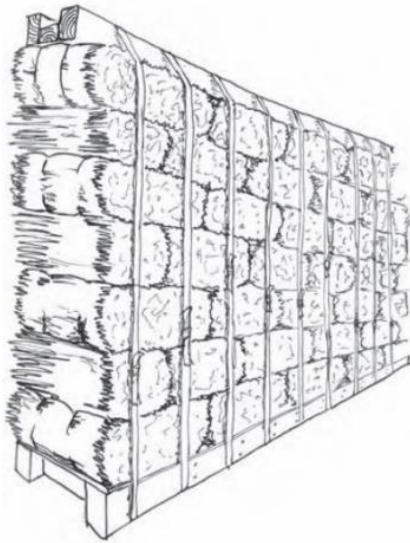
- 4) kasutust on leidnud ümmargused pallid (postide rajamisel);
- 5) konstruktsiooni kandva osana on kasutatud metallkarkassi;
- 6) viimistlusena esineb krohvitud (võrkarmatuuriga ja ilma), puitvooderdusega ja ka viimistlemata seinu, kus eksponeeritakse põhku ennast;
- 7) pakke on kasutatud põhiliselt seintes, kuid ka põrandates ja vahelagedes;
- 8) kujundusena on seinad viimistletud ümarate nurkade kui ka sirgete nurkadena;
- 9) on ehitatud väga vähese eelarvega kui ka väga kalleid põhumaju;
- 10) eluhooneid on püstitanud iseehitajad, spetsialistid ja projekteerijad, on ka tehases eelvalmistatud ehitisi;
- 11) esineb täiesti uusi ehitisi, juurdeehitisi ja ka vanade ehitiste restaureerimist;
- 12) ehitatud on nii rangeid nõudeid järgides, vabatahtlike standardeid järgides, kuid on ka neid, kes pole järginud ühtegi regulatsiooni. [9]

Siseseinte ladumisel on eelistatumad erinevad kivid (looduskivi ja põletamata savitellis), sest neil on hea soojusmahtuvus ning nii ei vähene ruumide kasutatav pind. Vahelaed on tavaliselt vooderdatud puitsõrestikest vastava kandevõime ja helisummutusega. Elektri kaablid ning vee- ja kanalisatsioonitorud tuleks viia põrandasse või lisašahthidesse, Väiksemad veetorud ja kaablid saab paigaldada ka põrandaliistude taha. Pistikupesad saab kinnitada ukse- ja aknakastidesse ning hoone karkassielementide külge, raskete asjade kinnitamiseks on tarvis valmistada lisa alusstruktuur juhul kui siseviimistlusena plaanitakse kasutada vaid krohvi. Paksu põhuseina süvendite lõikamine annab võimaluse kujundada seinasisesed ja omanäolised riiulid ja kapid. [6]

### **1.3.1 Nebraska ehk kandvate seinte stiil**

Esimese pakirea ladumist tuleb alustada hoone välisnurgast või akna-/ukseraamist [4] ning see toetatakse alumisele puitvööle [10]. Iga järgmise rea põhupakk asetseb kahe alumise paki vertikaalse ühenduskoha peal ning nende horisontaalne kattuvus ei tohiks olla väiksem kui 30,5 cm või 12 tolli [10]. Omavahel nihkesse läinud pakke saab hiljem kohendada puidust haamriga [10]. Avatäidete ümbruses peavad pallid asetsema kindlalt, kuid mitte väga tihedalt, sest vastasel juhul moonutab akna- ja ukseraamide ümber tekkiv surve nende kuju ning hilisem elementide paigaldus võib osutuda raskendatuks või võimatuks [6]. Viimase pakirea peale kinnitatakse ülemine müüriplaat, mille ülesandeks on sein stabiliseerida ning katusekoormust ühtlaselt jaotada [10]. Sein eelpingutatakse [10] kas ülemise ja alumise puitvöö omavahelise

ühendamisega polüesterpaelade [6] (joonised 15 ja 16), traatide või keermestatud varraste abil, kuid mõningal juhul lastakse lihtsalt katuse raskuse all vajuda [24].



Joonis 15. Kandev seinakonstruktsioon. [3] Joonis 16. Kandev põhusein. Vundamendi sisse on valatud plasttorud, millede kaudu ühendatakse vundamendiga pingutusrihmade abil ülemine müüriplaat. [33]

Erilist tähelepanu tuleb selle juures pöörata vajumitele, sest need võivad tekitada koondatud jõude kohtadesse, kus neid tuleks vältida [10]. Üheks kriitilisemaks kohaks on avatäidete nurgad, mis ei tohiks kattuda pakkide vertikaalvuukidega [6]. Samuti ei tohiks kohe peale seina püstitamist krohvima asuda, vältimaks vajumitest tingitud pragude tekkeid seina viimistluskihis [10]. Kuna ka kõige kvaliteetsemad pakid erinevad pisut omavahel tiheduse poolest, siis võib ka seina kõrgus mõnes kohas peale pingutamist erineda, mistõttu tuleks eelpingutusega ülemine müüriplaat loodi saada [4]. Lõpuks peaks seinas saavutatud eelpinge ületama katuse raskuse poolt tekitatava surve, mille tulemusena sein enam katuse raskuse all oluliselt ei vaju ning nii ongi saavutatud kindlalt kandev seinakonstruktsioon [6]. Selliselt saab püstitada väikeste pakkidega ühekordseid ning *Jumbo* pakkidega kahekordseid maju, jättes seina kõrguse ja paksuse suhteks maksimaalselt 5:1 [6].

Kui seina- ja katusekonstruktsioon on valmis, tuleb põhuseina sise- ja väliskülge trimmida ehk ära lõigata vabalt väljaturritavad õlekõrred, seina tuleb lõigata riilite ja kappide jaoks mõeldud nišid ning tehnosüsteemide läbiviigud, soovitud kujusse tuleb lõigata ka akna- ja ukseümbrused [4]. Siinkohal tuleb jälgida, et ei lõigataks läbi paki kinnitusnööre [4]. Trimmimiseks ja seinapinna kujundamiseks võib kasutada heki- ja võsalõikureid, murutrimmereid kui ka ketassaagesid [24]. Riilite või muude

sisustuselementide ankurdamiseks võib kasutada seinas tugevdatud traatvõrku, mille sisemisele äärele on keevitatud terasest nurgik [24].

Üks kindel reegel põhupakkidest kandvate seinakonstruktsioonide puhul on mitte kombineerida sellega jäiku ehitusmaterjale nagu puitpostid ja -talad või muu sarnane, mis põhjustaks hilisemaid pragusid krohvitud seinas seetõttu, et üks materjal on kokku surutav ning teine mitte [10]. Konstruktsiooni lihtsus on ilmselge põhjus, miks põhumaja ehitust planeerides valida kandvate seintega ehitusviis [25]. Lihtne võib tähendada kulusäästvat, nii rahaliselt kui ka ajaliselt, sest selleks ei pea palkama tööjõudu, töö on kiire ja energiasäästlik [25].

### 1.3.2 Karkassiga ehk mittekandev põhusein

Mittekandvate põhuseinade (joonised 17 ja 18) puhul on põhupakk soojustuseks ja konstruktsiooni täiteks ning katuse raskust kannab karkass, mille postide paiknemisele põhupakkide suhtes on välja toodud 5 erinevat võimalust:

- 1) postide asetused põhuseinast seespool;
- 2) postide asetused pakkidesse sisselõigatud tühimikes;
- 3) postide asetused põhuseinast väljaspool;
- 4) posti asetused pallide vahel;
- 5) puitkarkassi asetused pallide vahel [6].



Joonis 17. Karkassipõhine põhust konstruktsioon [34].



Joonis 18. Karkassipõhine seinakonstruktsioon [35].

Kõikidel variantidel on omad plussid ja miinused [6]. Seina vastupidavus tuulekoormusele tagatakse pakkide kinnitamisega kandva konstruktsiooni külge või pakkide fikseerimisega nii seest- kui ka väljastpoolt avatud puitraketisega [6].

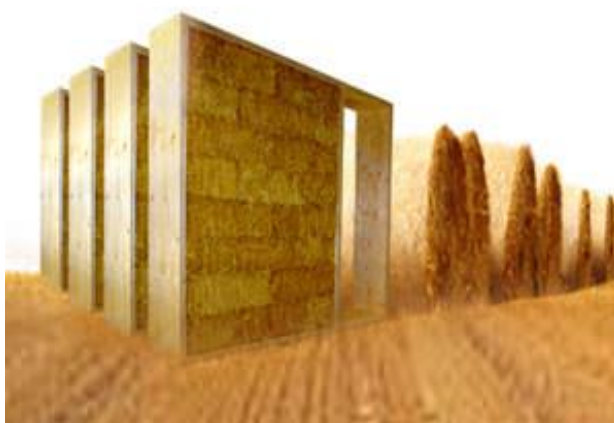
Praegusel ajal on levinum ehitada põhumaja karkassipõhine ehk mittekandvate seintega, sest nii on kindlam ning lubade ja kooskõlastuste saamine lihtsam [10].

### 1.3.3 Põhupaneelid

Eestile lähim põhupaneelide tehas asub Leedus, ettevõtte nimega Ecococon, mis alustas oma tegevust 2008. aastal. Tänapäevaks on ettevõttel kogemusi üle 10 aasta ning tooted vastavad kõrgeimatele kvaliteedinõuetele, mis sisaldab Cardle to Cardle ja German Passivhaus instituudi sertifikaate. Ecococoni põhupaneelide (joonis 19) kandekonstruktsioon on valmistatud FSC sertifitseeritud puidust ning põhk on pressitud mitmesuunalise pressitehnoloogia abil. Paneele saab tellida erinevates mõõtudes, mis annab hoone kujundamiseks rohkem võimalusi, kuid standardseks seinapaksuseks on 40 cm. Paneelide välispinna võib katta õhutõkke membraani ja puitkiudplaadiga, kuid pinnad on tasased ning ideaalsed ka krohvikihiga paigaldamiseks. Ecococoni paneeli soojusläbivus on  $U=0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , õhuheliisolatsiooni takistus  $R=54 \text{ dB}$ , tulepüsivus REI 120 ja pressitud põhk tihedus  $110 \text{ kg}/\text{m}^3$ . [30]



Joonis 19. Ecococoni põhupaneel [30].



Joonis 20. ModCell® põhupaneel [29].

Suurbritannias toodab sarnaseid paneele (joonis 20) nii seintele kui ka katusele ettevõtte nimega ModCell®, mis alustas tegevust 2005. aastal. Nende toodetud paneelidega ning õhukindlate detailidega ehitatud ülisoojustatud süsteemiga hoone vastab PassivHaus spetsifikatsioonidele, mille tulemusel võib neil olla ka null soojusvajadus, mis säästab raha ja CO<sub>2</sub> emissiooni. Karkassielemendina kasutatakse FSC/PEFC sertifitseeritud puitu. Paneelid leiavad kasutust nii elamu-, haridus- kui ka

kaubandus- ja ärihoonete rajamisel. Paneele saab toota vastavalt kliendi soovile erinevates mõõtudes, standardsed sügavused ja nende paneelide vastavad tehnilised näitajad on välja toodud tabelis 1. [29]

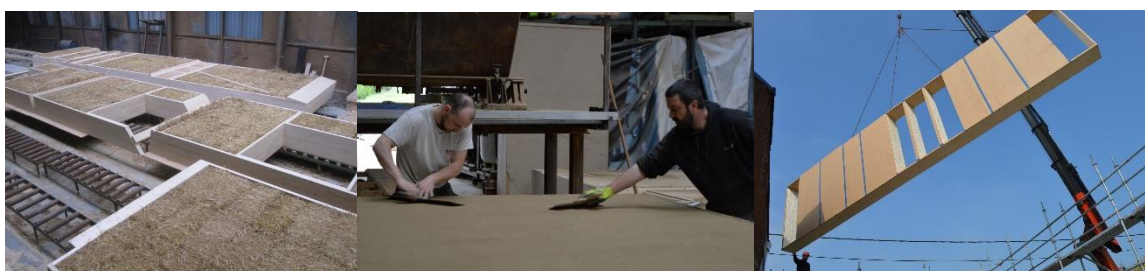
Tabel 1. ModCell® paneelide tehnilised näitajad [29].

Paneeli läbimõõt (mm)	Põhupaki läbimõõt (mm)	Soojuslähivus U (W/m <sup>2</sup> K)	Tulepüsivus (min)	Heliisolatsiooni näitaja** (R <sub>w(-1,-3)</sub> )
427	400	0,13	60+	41-49**
377	350	0,14	60+	41-49**
262	235	0,19	60+	41-49**
167	140	Küsi ettevõttelt infot	30+	41-48**

\*Sisepinnale kinnitatud viimistlusmaterjalid suurendavad ülaltoodud näite.

\*\* Heliisolatsiooni näitaja vahemik on toodud koos ja ilma Farmacelli siseviimistlusplaadiga, mis on varustatud 25 mm hooldusõõnsusega.

Põhku kui kohalikku toorainet ja FSC/PEFC sertifitseeritud puitu kasutab ka ametlikult 2009. aastal registreeritud Prantsusmaa ettevõtte Paille-Tech põhupaneelide tootmiseks. Lisaks seinapaneelidele toodetakse põrandaplaate, soojustatud katuseelemente ja konstruktsioonilisi vaheseinu. Paneelides kasutatakse põhupakke mõõtmetega 36 x 46 x 80 cm, need asetatakse seina vertikaalselt ning paneeli laiuse moodustavad tavapäraselt 3, 6 või 9 kõrvuti asetsevat pakki ja kõrguse 3 üksteise peal asetsevat pakki. Seega on toodete laiuseks koos karkassiga 1210, 2245 või 3280 mm, kõrguseks maksimaalselt 2800 mm. Toodetele antakse kümneaastane garantii, mille kõrvalt saab arvestada ka materjali pikaealisuse, väikese keskkonnamõju, positiivse süsinikujäljega ja tulepüsivusega, mis vastab REI 60 sertifikaadile. Keskmiselt kulub ühe hoone kohta tehases tootmisprotsessiks (joonised 21 ja 22) kolm nädalat ja objektil montaažiks (joonis 21) üks nädal. Kõige rohkem, umbes neli kuud, läheb aega hoone viimistlemise ja sisustamise peale. [31]



Joonis 21. Vasakult paremale: paneelid tehases, paneelide krohvimine ja paneelide montaaž [31].



Joonis 22. Paneelide valmistamine [26].

## 1.4 Konstruksioonid

### 1.4.1 Vundament ja põrandakonstruksioon

Vundamendina võib kasutada oluliselt lihtsamaid konstruksioone, kuna põhupakkidest seinte kaal on üldjuhul väiksem võrreldes kivi-või betoonseinaga [13]. Näiteks 2,4 m kõrge ja 450 mm paks põhusein koos 30 mm paksuse krohvikihiga mõlemal pool kaalub umbes pool tonni iga meetripikkuse seinalõigu kohta, või siis umbes  $230 \text{ kg/m}^2$  [24]. Põhupakkide enda kaal on sellest  $65 \text{ kg/m}^2$ , mis moodustab 28% kogukaalust ning seega hõlmab krohvi kaal sellest väga suure osa [24]. Võrdluseks võib tuua savitelliste kaalu, mis on umbes  $120\text{-}130 \text{ kg/m}^2$ , kuid koos viimistluskihtidega tõuseb seina kaal märgatavalt kõrgemaks kui põhuseina puhul [36]. Fibo plokk mõõtmetega  $350 \times 490 \times 185 \text{ mm}$  kaalub 23 kg, seega ligikaudu  $250 \text{ kg/m}^2$ . Nii kujuneb koos viimistluskihtidega ka tänapäevase Fibo plokist seina kaal kordi suuremaks võrreldes põhuseinaga [37]. Võttes arvesse seina kaalu ning sellest tulenevat koormust vundamendile on odavam ja ökonoomsem lahendus kasutada taladega ühendatud postvundamenti [6]. Üldjuhul selliste postide samm võib kandvate seinte all olla ligikaudu 1 meeter [4]. Postid, mis toestavad vaid põrandaid, võivad olla sammuga 1,5 meetrit või rohkem [4]. Siiski on välja toodud näited väga üldised ning iga hoone



projekteerimise käigus tuleb teostada konstruktsioonidele eraldi arvutused ning sellest lähtuvalt valida sobilikud konstruktsioonitüübid.

Kui hoone seinad on rajatud looduslikust põhust ning maja ehitusega soovitakse veelgi ökonoomsemaks minna, siis on võimalik ka pörandakonstruktsioon ehitada betooni asemel puidust koos soojustusmaterjaliga [6]. Materjali võimet salvestada soojust (termiline mass) peetakse kasulikuks, sest see on abiks kohati ruumi soojendamisel ja jahutamisel [4]. Betoon vajab palju soojust enda sisemise temperatuuri tõstmiseks enne, kui see saab hakata soojust ruumile üle kandma [4]. Seetõttu soovitatakse ehitada pörandakonstruktsioon soojustatud puitkarkassil [6]. Lisaks tavapärasele soojustusmaterjalidele saab ka põhupakke kasutada soojustusena pörandakonstruktsioonis [6]. See eeldab aga vundamendi abil pakside tõstmist maapinnast kõrgemale, et vältida nende võimalikku niiskumist ja märgumist [4]. Sein tuleb pörandakonstruktsiooni ja vundamendiga ühendada selliselt et on takistatud võimalike külmasildade teke [6].

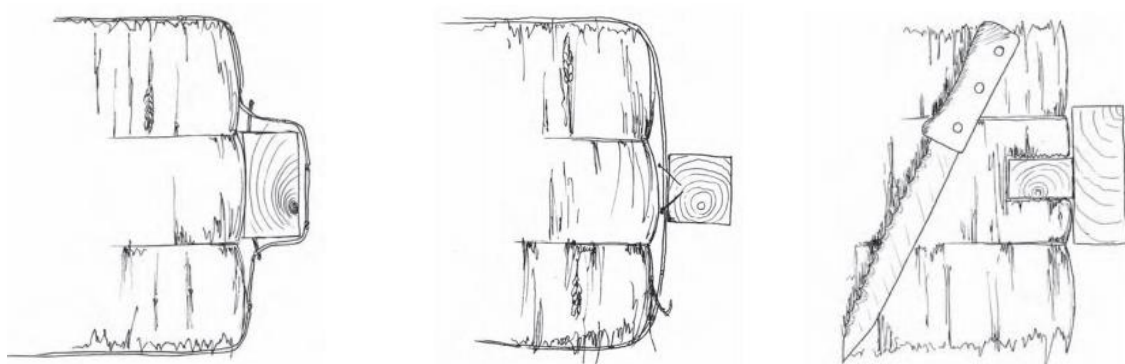
#### **1.4.2 Katuse soojustamine põhupakkidega**

Katuse soojustamiseks põhupakkidega on mitmeid viise, kuid kõik need vajavad põhjalikku läbimõtlemist. Põhiliselt asetatakse põhupakid sarikate vahele, mille paksus ja omavaheline samm on võrdne põhupaki paksuse ja pikkusega. Soojusläbivus jääb sellisel juhul vahemikku  $U=0,14-0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Puitlaudisest sisevoodri puhul on vajalik selle alla paigaldada ka aurutõkkele, OSB-viimistluse puhul seda vaja ei ole. Tulekindluse tagamiseks tuleks siseviimistlus vastava vahendiga katta, töödelda või krohvida. Sarikate sammu saab valida ökonoomsema juhul, kui põhupakid on asetatud nende peale. Katusekatteks saab valida katusekivid, -pleki või SBS-rullmaterjali, kuid need vajavad omakorda jäika aluspinda. Valikus on ka pinnaskatus, mille saab paigaldada vee- ja juuretõkkega või ilma nendeta otse põhupakkide peale. Ilma vett ja juuri tõkestava kihita tuleb arvestada põhumaterjali kiirema niiskumise ja lagunemisega. Viimaseks variandiks on kaheosaline katusekonstruktsioon, kus alumised sarikad kannavad põhupakke ja ülemised katusekatte ja lumekoormust. Kõikide variantide puhul tuleb silmas pidada ka põhupakkide tuulutatust ja pakside võimalikku vajumist allapoole, mis võib ajapikku tekitada harja piirkonda vahe. [6]

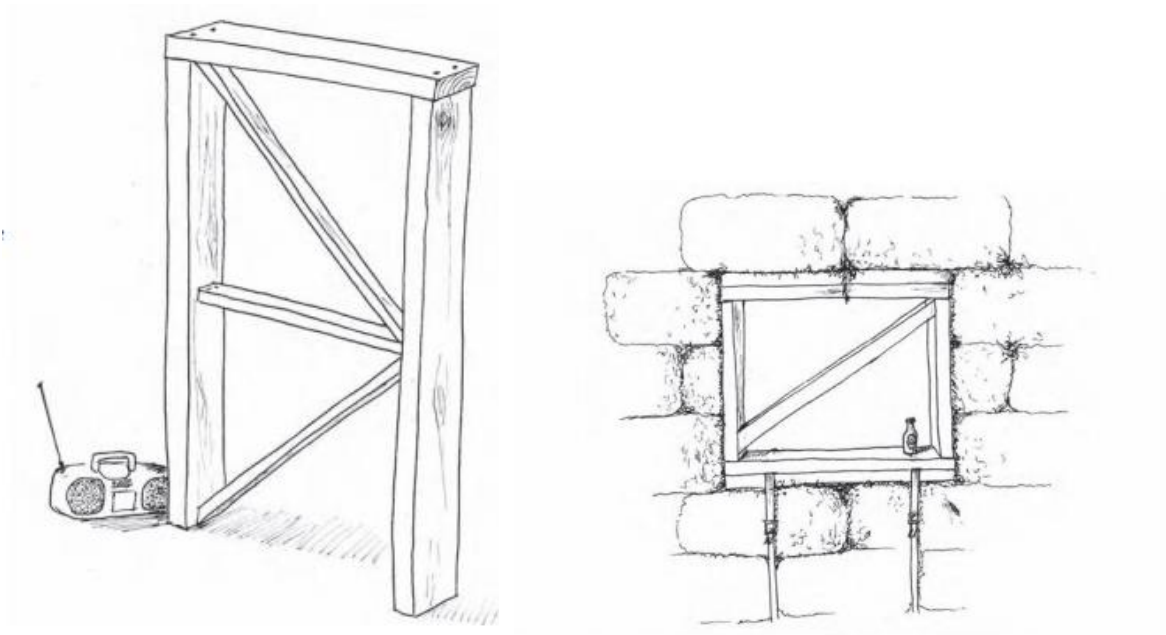
### 1.4.3 Aknad ja ukсед

Kandvate seinte puhul peavad akende ja uste asukohad olema eelnevalt läbi mõeldud, ning nende raamid valmis ehitatud, et neid saaks koos seina ladumisega paika tõsta [10]. Abiks on nende asukohtade märkimine alumise müüriplaadi peale [10]. Seejärel tuleks esimene põhupaki rida lahtiselt müüriplaadi peale laduda, et teha kindlaks pakkide asetsemine akna- ja ukseavade suhtes [10]. Jälgida tuleb pakkide vertikaalvuukide paiknemist, sest need ei tohiks sattuda aknaraami nurgaga kohakuti [6]. Avaused tuleb paigutada seina nurgast vähemalt ühe pallipikkuse kaugusele, et säilitada struktuuri terviklikkus [10].

Ukseraam tuleks kinnitada pallide külge traatvõrguga, mis katab raami posti ja umbes 300 mm mõlemalt poolt põhuseina (joonis 23, 1). Traatvõrk kinnitatakse klambrite või õmblemise teel. Kui ukse raami soovitakse hiljem eksponeerida, siis tuleb võrk viia kinnitustega posti taha (joonis 23, 2). Pallide stabiliseerimiseks ja uksekonstruktsiooni jäigastamiseks võib kasutada ka lisaprussi, mis paigaldatakse ukseposti taha põhupakkidesse lõigatud sälku (joonis 23, 3). Uste ja aknaavade kujust välja vajumise vältimiseks pallide ladumise ja kokku surumise ajal tuleb kindlustada raam vertikaalsete prussidega (joonis 24). [6]



Joonis 23. Vasakult paremale: 1) Ukseposti kinnitamine seina traatvõrguga posti pealt;  
2) Uksepostikinnitamine seina traatvõrguga posti alt;  
3) Ukseposti kinnitamine seina sisse lisaprussi abil [4].



Joonis 24. Ukse- ja aknaraami paigaldatud diagonaalsed prussid on eesmärgiga nende kuju säilitada [4].

Parim lahendus on paigutada aken seina paksuse suhtes keskele. Parem on kasutada kahekordset akent või tänapäevast pakettakent. Sisemiste aknapõskede kujundamisel on mitmeid võimalusi. Saab ka kumera nurgaga aknapõse teha. Nurgad on soovitatav tugevdada võrguga. Krohvitud aknapõskede asemel võib need viimistleda ka puidu või seapuruplaadiga. Ümarad seesmised aknapõsed tagavad suurema hulga valguse jõudmise tuppa. [6]

## 1.5 Põhumaja omadused

Põhumaja on väga hea struktuurse püsivusega ning kõrge isolatsioonivõimega nii soojuse kui müra suhtes [25]. Vastavalt kirjanduse andmetele on põhust hoone (üllatuslikult) vastupidav tulele, pakub kindlust maavärinatega ohustatud piirkondades (USA testid tõestavad põhuseina elastset deformeerumist, mis on siinkohal oluliseks faktoriks [6]), ei ole meelispaiaks kahjuritele ning kasutatavad ehitusmaterjalid on hingavad, looduslikud ja tervisele ohutud [25]. Positiivseks küljeks on ka madalad kulud nii tootmise, ehitusprotsessi kui ka hoone kogu eluea jookusul [25].

Põhumajad on ka keskkonnasõbralikud olles energiatõhusad ja vähendades süsinikuheidet:

- 1) Põhus salvestunud energia on võrreldes keraamiliste savitelliste tootmisega väga väike (savitelliste puhul on see Bathi Ülikooli Säästva Energia Uurimisrühma (*SERT – Sustainable Energy Research Team*) andmete põhjal ligikaudu  $5700 \text{ MJ/m}^3$ , põhu puhul aga Šveitslaste ettevõtte Ecoinvent elutsüklianalüüsi (*Life Cycle Analysis*) andmete põhjal  $0,4\text{-}1 \text{ MJ/kg}$ , ehk paki tihedusega  $120 \text{ kg/m}^3$  on põhus salvestunud energia  $48\text{-}120 \text{ MJ/m}^3$ ) [9];
- 2) Teravili seob oma kasvuperioodi jooksul päikeseenergiat, et absorbeerida fotosünteesi käigus atmosfäärist süsinikdioksiidi ( $\text{CO}_2$ ). Taime hilisemal lagunemisel või põletamisel vabaneb see aga uuesti atmosfääri. Kui kasutada põhku ehituses, siis jääb taime kasvuperioodil kogutud süsinikdioksiid konstruktsiooni sisse kogu selle eluajaks ning seeläbi väheneb ka süsinikuheide [9].

Tänaseks on välja töötatud palju erinevaid meetodeid ja sertifikaate, mida saab kasutada hindamaks projekteeritava või olemasoleva hoone mõju keskkonnale. Laialdaselt levinud ning Eestiski taotletav *LEED* ehk *Leadership in Energy and Environmental Design* sertifikaat on märk vastutustundlikust ehitustegevusest, kus on järgitud keskkonnasäästu ja säästva arengu põhimõtteid [38].

$150 \text{ m}^2$  suuruse maja ehitamisele kulub umbes 10 tonni põhku [13],  $100 \text{ m}^2$  kohta aga 7 tonni põhku, mida jääb põldudele umbes 4 tonni hektari kohta [9]. Sellest järeldades saab 7 hektariliselt põllult kokku korjatud põhuga ehitada umbes neli  $100 \text{ m}^2$  suurust maja [9]. Kui ülemaailmselt kõik kõrvalsaadusena maha jäänud põhk kasutataks ära põhumajade ehitamisel, siis saaks ehitada 1,1 miljonit sellist maja aastas [9].

Põhuseinad taluvad ka konstruktsioonist ja välismõjudest tulenevaid koormusi piisavalt hästi. Varasemad katsekehade testimised on näidanud, et põhuseinad suudavad vastu võtta joonkoormust üle  $500 \text{ kg/m}$ . Seinte kandevõimet suurendab nende horisontaalset nihet takistatavate ehituskihtide lisamine. Põhupakkidest seinade ehitusjärgset kokku vajumist hoitakse ära selle eelpingutamise abil. Soojustusena saab põhupakki seinas kasutada nii uue kui ka vana maja puhul. Vana maja puhul tuleks arvestada soojustuskihi lisaraskusega ning sellest tulenevalt kohandada vajadusel hoone kandvad konstruktsioonid, näiteks võib olla vaja vundamenti tugevdada. Arvestada tuleb ka uste ja akende sügavuse muutumisega, soovitatav on pikendada

ka katuseräästaid. Katuse ja põranda täiendav soojustamine põhupakkidega on keerulisem ja töömahukam. [6]

Viimaks võib välja tuua selle, et tavapäraste materjalidega ehitamine tekitab tihti inimestes murelikkust ja pingeid, sest kogu protsess võib osutuda väga kalliks ja aeganõudvaks, enamikel juhtudel tuleb kaasata ehitusse vastava kvalifikatsiooniga spetsialistid. Põhupakkidest ehitamine maandab aga pingeid ning vastava kogemusega inimese juhendamisel on võimalik kaasata ehitusprotsessi ka pereliikmeid, sõpru ja tuttavaid. Nii on võimalus kõigil rakendada loovust oma kodu ehitamisel. [10]

### 1.5.1 Soojusjuhtivus ja -salvestus

Hoone elanikele on oluline ruumi sisekliima, mille juures mängib olulist rolli konstruktsioonimaterjali soojusmahtuvus. Põhul kui materjalil on erisoojus väga suur ( $c = 2,0 \text{ kJ/kgK}$ ), kuid põhupakid salvestavad soojust tänu väikesele tihedusele vähe. Soojussalvestusvõimet suurendab siinkohal seinte viimistlusmaterjalina kasutatav paks savikrohv. Savikrohvi heale soojussalvestusvõimele reguleerib see ka hästi ruumi õhuniiskust. Soojussalvestusvõimet saab kirjeldada lisaks erisoojusele soojushulgana, mis kulub  $1 \text{ m}^3$  aine soojendamiseks 1 Kelvini võrra:  $S = c * \rho * s \text{ [kJ/m}^3\text{K]}$  või  $[\text{Wh/m}^2\text{K}]$ . [6]

Oluline näitaja ehitusmaterjalide juures on ka nende soojuserijuhtivus  $\lambda \text{ [W/mK]}$  [6]. Soojuserijuhtivus  $\lambda$  erineb põhupakkide puhul sõltuvalt nende tihedusest, kõrre suunast seinas ehk paki asetusest, põhu niiskusest ja vähemal määral põhu liigist [6]. Erinevused tulevad sisse ka katsekeskkonna tingimustest [6].  $\lambda$  varieerub vahemikus  $0,037$  kuni  $0,086 \text{ W/mK}$  [6]. Külili laotud põhupakkide soojuserijuhtivus on  $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$  ja lapiti laotud pakkide puhul  $0,06 \text{ W/mK}$  [6]. Piirde isolatsioonivõimekust hinnatakse konstruktsiooni soojuslähivusega, mille väärtuseks on  $U \text{ [(W/(m}^2\text{K))]}$  (tabel 1) [10]. Mida vähem materjal soojust läbi laseb, seda suurem on selle isolatsioonivõime [10]. Tänu kõrgele isolatsioonivõimele paraneb oluliselt ka energia kokkuhoid, selle juures tuleb suurt tähelepanu pöörata ka pööningu, katuse, vundamendi ja avatäidete soojustamisele [10]. Soojuslik inert, millega materjal endasse soojust neelab arvutatakse valemiga 1.1 [6]:

$$b = (c * \rho * \lambda)^{0,5}, \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K m}^2 \text{h}^{0,5}} \right] \quad 1.1$$

Külmasillad, sisult pigem soojussillad, on konstruktsiooni osad, mis omavad madalamat soojustakistust kui neid ümbritsev piirkond. Soojus liigub neis

piirkondades seestpoolt väljapoole kiiremini kui mujal. Soojuskaod külmasildade kaudu võivad põhjustada lisaks ka teisi probleeme nagu materjalide niiskumine, mis omakorda lagundab orgaanilisi materjale ning soodustab hallituse, seente ja bakterite kasvu. Soojuskaod võivad tihedamini tekkida akende ja ukseavade ümbruses ning hoone nurkades. [6]

### 1.5.2 Sisendenergia

Materjalis salvestunud energia on selle tootmiseks vajalik kogueenergia, mis koosneb materjali kasvatamisele minevast energiast, selle ümbertöötlemisest, kaevandamisest ja transpordist. Üks põhilisi väljakutseid 21. sajandil on vähendada süsinikuheidet ja energiatarbimist, mida saab teha läbi taastuvenergia allikate ja suurema energiatõhususe. Ligikaudu 10% riiklikust energiatarbimisest läheb ehitusmaterjalide tootmisele ja transpordile. Näiteks kulub väga palju energiat savitelliste tootmise peale, sest see protsess hõlmab endas kaevandust suurte ja keerukate masinatega, transporti ja töötlust väga kõrgetel temperatuuridel. [9]

Võttes näiteks ehitise seinu mõõtmetega 1x2,5 meetrit, saab välja tuua erinevatesse seinakonstruktsioonidesse salvestunud energia väärtuste võrdlused, kus on näha mitmekordseid erinevusi võrreldes tavapärasest tänapäeval kasutatavat seinakonstruktsiooni põhuseinte konstruktsiooniga:

1. Kandvate seintega põhusein, kus seinakonstruktsioonis on kasutatud puidust alus ja eelpingutusplaati, põhupakke ja krohvi (liiv, lubi tsement) – 410,9 MJ;
2. Mittekandvate seintega põhukonstruktsioon, kus on kasutatud puitkarkassi, põhupakke, krohvi (tsement, lubi ja liiv) – 505,34 MJ;
3. ModCell põhust seinapaneel, kus on kasutatud puitkarkassi, pressitud põhku ja krohvi – 550,7 MJ;
4. Tänapäevane puitkarkassil vahtplastsoojustusega ja PVC seinaplaatidega sein – 1181 MJ;
5. Tänapäevane puitkarkassil vahtplastsoojustusega ja alumiiniumplaatidega sein – 1545 MJ;
6. Tänapäevane puitkarkassil kiviviimistlusega sein, kus on kasutatud viimitluskivi (100 mm Tyvek®), vineeri (9,5 mm), soojustusvilla (PINK FIBERGLAS®, R-20), polüetüleenkile (0,6 mm), kipsplaati (12,7 mm) – 2370 MJ [39].

### 1.5.3 Niiskus

Kui üheks peamiseks ja positiivsemaks küljeks põhumajade puhul peetakse seda, et püstitatud ja eelpingutatud seinad kujunevad äärmiselt tugevaks ja stabiilseks konstruktsiooniks, siis vesi ja niiskus on need valdkonnad mis alati pidevat tähelepanu vajavad [4]. Põhusein peaks algama maapinnast vähemalt 30 cm kõrguselt [6] ning alumise pakirea ja vundamendi vahele tuleb paigaldada niiskustõke [10]. Kaitseks vihmajärgu ajal maapinnalt seina alaosalale pritsivate piiskade eest tuleb sinna paigaldada vettpidav materjalikiht, näiteks tõrvapapp [6]. Veepritsmete eest kaitseb ka hoone perimeetrile kruus- või taimekatte rajamine, kõva pind, nagu asfalt või betoon veepritsmete eest ei kaitse [6]. Niiskus võib seinalle sattuda ka ülevalt või külgedelt, näiteks tugeva vihmajärgu ajal, mistõttu on meie kliimas sobilik valida sellisele majale viilkatus, mille räästa pikkus oleks vähemalt 70 cm [13]. Katusekattena võib kasutada looduslike materjale nagu roo-, laastu- või puitkatus, kuid võib kasutada ka muid kergemaid materjale [13]. Võimaliku niiskuskahjustuse võivad tekitada ka seina läbivad veetorustikud neile kondenseeruva vee tõttu [4]. Kui vee- ja kanalisatsioonitorustikud tuleb vedada läbi põhuseina, siis tuleks torud paigaldada omakorda plasttorusse või isoleerida veekindla materjaliga [24]. Võimalusel tuleks vältida vedelikuga täidetud torude paigaldamist põhuseina [24].

Kui uurida põhumaja ehitusmaterjalide niiskustehnilisi omadusi täpsemalt, saab võimalike kahjustuste vältimiseks ka detailidele tähelepanu pöörata. Oluline on, et ruumiõhu veeauru difusiooni kulg välisõhu poole ei tekitaks kondensaatvett ehitusmaterjalide pindadele [6]. Kui põhuseina välises krohvikihis esineb mõrsid, võib seestpoolt liikunud niiskus neisse koguneda ja tekitada kahjustusi, mis väljenduvad tumedate jälgedena krohvikihis [4]. Ehitusmaterjalidele on antud selle mõistmiseks difusioonitakistustegur  $\mu$ , mis määrab ära materjali vastupanu veeauru difusioonile võrreldes õhuga ning mis sõltub materjali tihedusest ja poorsusest [6]. Selle korrutamine materjali paksusega annab tulemuseks veeauru difusioonitakistusega ekvivalentse õhukihi paksuse  $S_d$  (m) [40]. Hoone konstruktsioonikihtide takistus veeaurule peaks vähenema seestpoolt väljapoole [6]. Põhupakkidel on ligikaudu  $\mu=2,5$ , savikrohvil  $\mu=6-8$ , lubikrohvil  $\mu=10$  ja tsementkrohvil koguni  $\mu=20-30$  [4]. Siseseina viimistluspinnal niiskuskindlust saab tõsta ka suuremat difusioonitakistust omava värviga [6]. Pesuruumides, kus ruumi õhuniiskus on üle 70%, tuleks krohvile lisada linaseemneõli värnitsat või katta krohv niiskuskindlamate värvidega nagu lateksvärvid [6]. Keraamilisi plaate kasutades tuleks nende alla paigaldada elastne veekindel membraan [24]. Kui märgades ruumides ei soovita kõiki seinu plaatida, siis üks variant on kanda membraanikiht krohvikihile peale, oodata selle kuivamist ning seejärel kruntida pind sobiva akrüülvärviga, mis võimaldab viimistluskrohvile sellele

kinnituda [24]. Kuna osa ehitusmaterjalisse, enamasti soojustusmaterjalisse sattuvast niiskusest peaks saama difundeeruda hoone siseõhku, siis on kokku lepitud  $S_d$ -väärtuse tingimused [6]:

$$S_{d(sise)} \geq 10 * S_{d(välis)} \quad 1.2$$

$$S_{d(sise)} \leq 5m$$

Kui põhumaja ehitamisel on arvesse võetud kõiki eelpool välja toodud aspekte ning kõik tundub korras ja materjal pealtnäha kuiv, siis tegelikult sisaldab siiski see endas jääkniiskust ehk tasakaalulist niiskust, mis on tugevas sõltuvuses ümbritsevast temperatuurist ja suhtelisest õhuniiskusest. Seda ei peeta enam halvaks märgiks, pigem toob see kasu ruumi õhukvaliteedile. Materjali tasakaaluline niiskus tõuseb, kui ümbritsev suhteline õhuniiskus suureneb. Seega seob materjal õhust niiskust endasse ning seda protsessi nimetatakse sorptsiooniks, vastupidisel juhul desorptsiooniks. Maksimalset niiskuse kogust, mida materjal suudab endasse tõmmata õhust, nimetatakse ka hügrokoopseks niiskuseks. Materjali niiskust (protsentuaalset veesisaldust) saab arvutada valemiga 1.3. [6]

$$U_m = (m_v/m_0) \times 100\% \quad 1.3$$

Kus  $U_m$  on materjali niiskus, %;

$m_v$  materjalis sisalduva vee mass, g või kg;

$m_0$  materjali kuivmass, g või kg.

Sorptsioonikõveratega saab lihtsasti esitada ehitusmaterjali sorptsiooni sõltuvust suhtelisest õhuniiskusest. Seda saab teha ka isothermidega, kus mõõtmistulemused on võetud püsiva temperatuuri juures [6]. Suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri koosmõju on oluline hindamaks hallituse tekke ohtu Hukka ja Viitaneni poolt välja pakutud mudeli põhjal [41]. Kui õhutemperatuur on liiga kõrge või madal siis hallituse tekke ohtu pole [41]. Samuti siis, kui suhteline õhuniiskus jääb alla 80% [41]. Seose saab luua ka materjali niiskusega, mida saab mõõta katsekeha kaalumise teel enne ja pärast kuivatamist, elektrijuhtivust mõõtes ja ka hügrokoopse meetodi abil [6]. Põhuseinte viimistlusena kasutataval savikrohvil on kõrge sorptsioonivõime, mistõttu reguleerib see ruumi õhuniiskust [6].

On ka eksperimentaalseid juhtumeid, kus näiteks Washingtoni osariigis Tonasketis 1984. aastal püstitatud vundamendita ja krohvimata maja pole näidanud veel seisukorra halvenemise märke. Ka viharohkemates piirkondades on põhk võimeline



päikselisemate ilmade saabudes kiiresti välja kuivama, mis on hingava materjali üks põhilisi omadusi. [10]

#### **1.5.4 Mikroobikooslus põhul ja selle roll**

Mikroorganismid vajavad oma elutegevuseks piisaval hulgal niiskust, optimaalset temperatuuri ja vaba hapnikku, oluline on ka keskkonnatingimuste püsivus pikema ajaperioodi vältel. [42]. Põhk on looduslik materjal, mis on seente ja mikroobide koostööl lagundatav anorgaanilisteks ühenditeks. Peamised koloniseerijad põhul on erinevatest liikidest hallitusseened, kuid leidub ka baktereid ja aktinomütseete. Hallitusseente eoseid on õhus kogu aeg, arenema hakkavad need siis, kui maanduvad niiskele pinnale, kus leidub nende elutegevuseks piisavalt toitaineid [43]. Edasine areng on suuresti sõltuvuses keskkonnatingimustest [44]. Elamispiinda käsitlev määrus ütleb, et eluruumi optimaalne õhuniiskus peab olema vahemikus 40%-60% [45]. Mikroobse kasvu seisukohast on kriitiline õhuniiskus 75%-95% sõltuvalt temperatuurist ja ehitusmaterjalist [46]. Seetõttu on võimalik mikroobide kasv põhupakkidel, mis on enne ehitusse võtmist vihma tõttu märgunud [47]. Hapnikuvaeguse tõttu on tiheda põhust seinakonstruktsiooni sees mikroobide elutegevuse tõttu toimuv lagunemisprotsess raskendatud [42].

Eestis kasvatatud teraviljalt võib sagedamini leida *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Helminthosporium*, *Mucor* ja *Rhizopus* perekonda kuuluvaid hallitusseeni [48]. Eestist pärit põhupakkidel esines aga neist kolm hallitusseene perekonda: *Aspergillus*, *Penicillium* ja *Cladosporium* [49], mis on kõik tuntud ka kui allergia põhjustaja inimese hingamisteedes [50]. Kütmiseks ja jahutamiseks vajalike materjalide ja energia säästmise seisukohast on põhupakkidest ehitamine jätkusuutlik viis [51], kuid see eeldab kvaliteetset ehitust ja korralikku ventilatsiooni võimalust, et vältida põhu niiskumist ning selle kaudu ka hallituse levikust põhjustatud terviseriske.

Hõbeda nanoosakesed on tuntud kui antibakteriaalse ja seenevastase ainega ning selle mõju on uuritud ka põhust konstruktsiooni puhul [52]. Uurimus teostati kolmes rühmas: töötlemata määrg põhk, põhk etanooliga ja põhk etanoolilahusega mis sisaldas ka hõbeda nanoosakesi (1 µM/L) [52]. Töötlemata määrgal põhul kasvasid samad seeneperekonnad [59], mis leiti Eestis valmistatud põhupakkidelt (*Aspergillus*, *Penicillium* ja *Cladosporium*) [49]. Bakterite perekondadest olid esindatud *Streptomyces*, *Pseudomonas* ja *Firmicutes* [52]. Põhul, millele oli lisatud lihtsalt etanooli esines vaid üks seeneperekond *Aspergillus* ning kaks bakterite perekonda *Pseudomonas* ja *Firmicutes* [52]. Põhul, millele oli lisatud etanooli lahus koos hõbeda

nanoosakestega ei esinenud mitte ühtegi seeneperekonda, kuid bakterite perekonnast leiti samad, mis töötlemata märjal põhul [52].

### **1.5.5 Tuleohutus**

Eestis liigitatakse tulepüsivuse alusel ehitusmaterjalid klassidesse 30 minutiliste sammudena (R30, R60, R90, R120 jne.) [53]. Need klassid kirjeldavad materjali võimet säilitada vastava aja jooksul nende vajalik kandevõime [53]. Lisaks kandevõimele (R) tähistatakse tulepüsivust lähtuvalt konstruktsiooni terviklikkusest (tähis E) ja soojusisolatsiooni võimest (tähis I) [53]. Mure põhumajade tuleohutuse koha pealt on olnud läbi aegade suur probleem, eriti ehituslubade hankimisel, kuid teaduslik tugi on paljuski lubade saamist kergendanud [4]. Tuleohutusteste põhuseintele on tehtud mitmeid nii Austrias, Saksamaal kui ka USA-s [6]. Esimese puhul osutus karkassiga põhuseina tulepüsivuseks 90 min, sein oli krohvitud seest savi- ja väljast lubikrohviga [6]. 1994. aastal USA-s läbi viidud katse tulemuseks saavutati koguni 120 min [6]. Põhuseinale annab säärase tulekindluse nii krohvikihit ise, kui ka tugevalt kokku pressitud põhupakid [6]. Pakkide tiheduse tõttu pole seal ruumi põlemisprotsessiks vajalikule hapnikule, ka paki juba söestunud pind on tule edasise leviku kaitsekihiks, sest takistab hapniku pääsu paki sisse [6]. Ohtu kujutavad aga kärpimata pakkidest väljaturritavad kõrred [6].

1980. keskel viidi Kanadas Riikliku Teadusnõukogu poolt läbi krohvitud põhuseintega tuleohutustest, mille käigus selgus, et põhust seinakonstruktsioon on tulele vastupidavam kui tavapäraest ehitusmaterjalidest konstruktsioon. Mõrdiga laotud põhusein läbis ainult 110°F (43°C) temperatuuritõusu nelja tunni jooksul. Krohvitud põhusein pidas vastu kuni 1850°F (1010°C) kaks tundi, enne kui avastati mõra konstruktsioonis. 1993. aastal viidi sarnane test läbi Uus Mehhikos. Krohvimata põhuseina sisemine külg puutus kokku 1000°F (538°C) viie minuti jooksul ning pärast poolt tundi oli temperatuur tõstetud 1550°F (843°C). Temperatuuri tõus teisel pool seinu oli sellel ajal 1,97°F (17°C). Sellest järeldades on lahtised õled väga tuleohtlikud, pakitud põhk aga mitte. Kui põhust seinakonstruktsioon peaks põlema süttima, siis on soovitatav kustutamisel kasutada vee asemel spetsiaalset tulekustutit, vältimaks niiskuskahjustusi. [10]

Põhupakkide katsekehi kontrollitakse mittesüttimisele standardiga EN ISO 1182. Tooteid, mis on märgatava süttivusega, saab hinnata lihtsa süttivuse testiga, mis vastab standardile EN ISO 11925-2. Materjalide tuletundlikkust tähistavad euroklassid A-F. Ehituses kasutatavad põhupakid vastavad tavaliselt E klassi tuletundlikkusele, mis

tähendab, et süttivus on tavapärane. Põhupakkide tulekindlusele kontrollimine vastavalt standardile EN 1365-01 ja EN 1363-1 näitas nende vastupidavust 90 minutit. [25]

### **1.5.6 Muud omadused**

Põhu helineeldevõime on väga hea, mistõttu on tänapäeval rajatud ka põhust helistuudioid. Heliisolatsioon sõltub konstruktsiooni massist ja tihedusest, ka viimistlusmaterjalide valikust. Austraalias viidi läbi põhust hoone helipidavuskatse, kus mõõdeti sagedusvahemikus 500-10000 Hz helitugevuseks hoone sees 114-117 dB, samal ajal oli helitugevus väljaspool hoonet 62-71 dB. Selle näite põhjal on keskmine helipidavus 49 db. [6]

Lisaks helipidavusele tunnevad inimesed huvi kui kindel on põhust konstruktsioon näriliste ja muude kahjurite suhtes. Enamikel juhtudel ollakse selles suhtes kahtlustavad ning tihti arvatakse, et konstruktsioonis olev põhk pakub soodsat elukeskkonda erinevatele kahjuritele. Üldjuhul on tiheda ehitusmaterjali tõttu selles vähem ruumi kahjuritel liikuda ja elada võrreldes tavapärase puitkonstruktsiooniga. Kahjurid tungivad hoonesse enamasti ehituse käigus konstruktsiooni jäetud avade ja tühimike kaudu. Paksu ja hooldatud krohvikihhi tõttu on ka pisikeste putukate seina sisse pääsemine märkimisväärselt raskendatud. Siiski on viimistlemata seinte puhul oht, et kahjurid teevad nendesse pesa. [10]

## 2 TÖÖ EESMÄRK JA LAHENDATAVAD ÜLESANDED

Lõputöö raames teostati järgmised katsed ja uuringud:

- 1) põhupakkidest seinafragmentide ehitamine ja niiskuse dünaamika jälgimine;
- 2) põhupakkidest seinafragmentide uputamine seestpoolt imiteerimaks veeavarii olukorda;
- 3) katsetes kasutatud põhu sorptsiooniomaduste määramine;
- 4) katsetes kasutatud põhu lühiajaline veeimavus ja väljakuivamine;
- 5) mikroobikoosluse aktiivsuse ja biomassi analüüs niiskumisel-kuivamisel.

Töö eesmärgiks oli uurida nii lahtise kui ka pakitud põhu niiskustehnilisi omadusi ning niiskumise olukorda seinafragmentis. Loetelus toodud teise variandi puhul saab jälgida ka Saviukumaja spetsialistide poolt toodetud savikrohvi käitumist võimaliku uputuse korral siseruumis. Lisaks uuriti ka põhu mikroobikoosluse aktiivsust ja biomassi niiskumisel-kuivamisel.

## 3 MATERJAL JA METOODIKA

### 3.1 Seinafragmentide ehitamine ja uputuse imiteerimine siseruumis

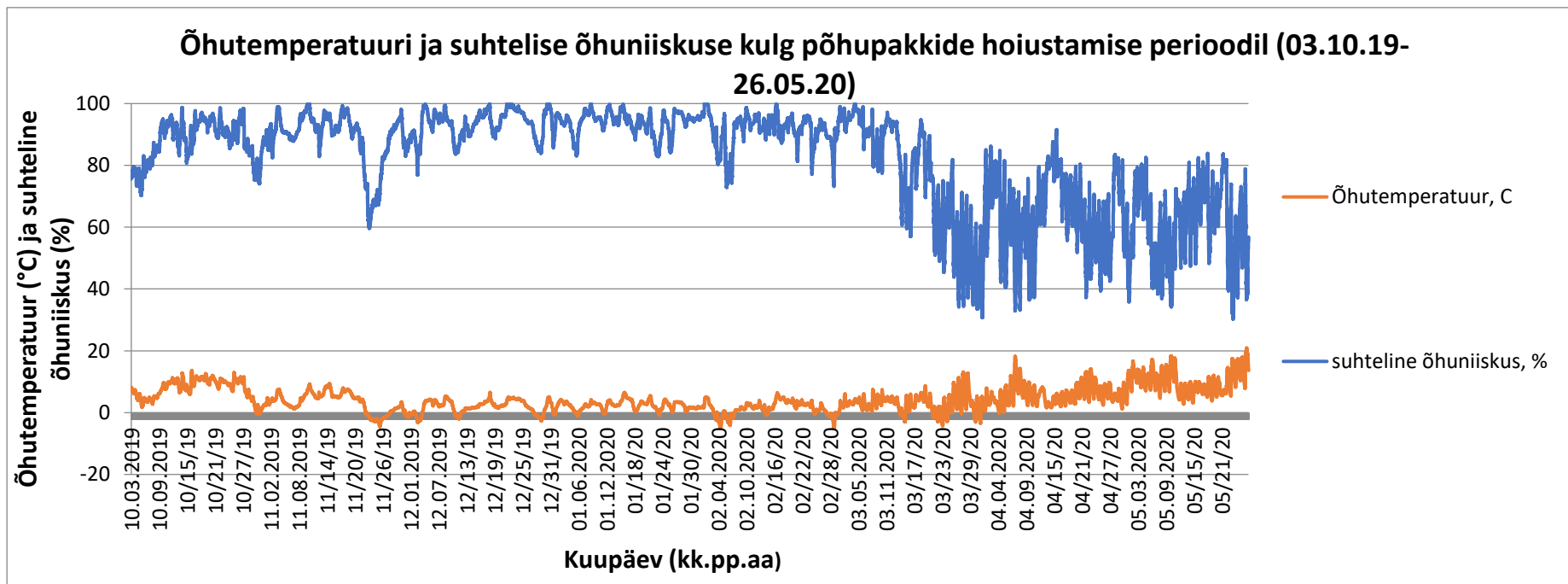
Seinakonstruktsiooni imiteeriva katsekeha jaoks varus töö autor 2019. aastal 25. septembril pakitud rukkipõhku Lõuna-Eestist (joonis 25). Põhupakid seisid kuivana kuuri all (joonis 26) terve talve ja kevade ning hoiustamise keskkonnas mõõdeti pidevalt õhutemperatuuri ja suhtelist õhuniiskust mõõteaparaadiga *Hobo External Temp/RH Data Logger* (joonis 27). Graafikult on näha, et märtsi keskpaigast on õhuniiskus hakanud alanema ning õhutemperatuur tõusma. Sellele vastavalt on arvutatud tabelis 2 keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed õhutemperatuuri ja õhuniiskuse näitajad perioodil 03.10.19-13.03.20 ja 14.03.20-26.05.20. Tabelis 2 on välja toodud ka terve hoiustamise perioodi keskmise, minimaalse ja maksimaalse kastepunkti, õhutemperatuuri ja -niiskuse näitajad. 2020. aasta suvel alustas autor ehitusega.



Joonis 25. Põhupakkide transport



Joonis 26. Põhupakkide hoistamine



Joonis 27. Hoiustamistingimused (temperatuur ja RH)

Tabel 2. Hoiustamistingimused periooditi

Hoiustamistingimused							
Perioodil 3.10-13.03			Perioodil 14.03-26.05			Perioodil 03.10-26.05	
	temp. (°C)	RH (%)		temp. (°C)	RH (%)		Kastepunk
keskmise	3,28	91,22	keskmise	6,50	63,45	keskmise	4,29 82,52 1,26
min	-5,156	59,645	min	-4,333	30,289	Min	-5,16 30,29 -11,891
max	13,644	100	max	20,869	94,692	Max	20,87 100,00 12,592

Katsekehade ülesehituse osas jagasid ideid ettevõtte Equilibre MTÜ asutaja Sven Aluste [54] ning ettevõtte Saviukumaja OÜ meeskond (Indrek Kerbo, Martin Hütt, Marko Kikas, Maksim Matt, Raido Kangro, Garri Aparin, Matthew Mitt ja Annika Quirke), kes toetas ka krohvimiseks vajamineva materjaliga [55]. Esmalt surus autor kõik pakid eraldi tihedamaks ja asendas vanad nõõrid uute vastu. Tihendamiseks kasutas ta kolme koormarihma ning pakkide lõplikuks mõõtmeks saadi ligikaudu 650x520x380 mm, pakid sidus autor kahe nõõri asemel kolmega selle struktuuri parema säilimise eesmärgil (joonis 28). Pakkide tiheduseks saavutas ta ligikaudu 120kg/m<sup>3</sup>.



Joonis 28. Pakkide tihendamine koormarihmade abil. Pildil on näha ka musta värvi uued pakinõõrid.

Kahe samasuguse katsekeha ehitamiseks rajas autor puidust karkassi, kus kasutati kuusepuust prusse ristlõikega 5\*10 cm, OSB-plaate paksusega 18 mm ning erinevaid kruve (*PROF* 4,5x45 mm T20, *WÜRTH* 6x160 mm T25, *HammerJack* 5x120 mm T25). Nii horisontaalsed kui ka vertikaalsed karkassielemendid koosnesid OSB-plaadist mille külge kinnitas autor kaks puitprussi. Alumise vöö vahele valas autor 100 mm kõrguseni keskmise fraktsiooniga (4-10 mm tera läbimõõduga) kergkruusa *Weber Leca M* (joonis 29). Seejärel paigaldas autor vertikaalsed karkassipostid, mille vahele surus üksteise otsa kaks põhupakki. Liitekohtadesse jäänud avasused täitis lahtise põhuga. Viimase pakirea peale asetask ülemise karkassivöö, mille ühendas kolme koormarihma abil alumise vööga (joonis 30). Koormarihmade ja nende pingutite abil surus autor pakid omavahel tihedalt kokku, andes konstruktsioonile stabiilsuse ja tugevuse. Järgmisena kinnitas ülemise vöö kruvidega vertikaalsete postide külge. Mõlema katsekeha lühema külje sisse paigaldas kolm logerit (*Hobo External Temp/RH Data Logger*) (joonis 31) mis mõõtsid temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust.



Joonis 29. Katsekeha karkass, kus on näha ka alumise vöö vahel olevat kergkruusa



Joonis 30. Pakid on karkassi vahele surutud, nende peale on asetatud ülemine vöö. Katsekeha on valmis stabiliseerimiseks (pakkide omavaheliseks kokku surumiseks koormarihmade abil).





Joonis 31. Katsekeha on valmis trimmimiseks. Lühema külje pealt paistavad ka kolm logerit.

Järgmisena võttis autor ette katsekehade trimmimise. Kuna põhupakid ei ole ideaalselt korrapärase kujuga, tuli karkass ehitada läbimõeldult veidike väiksem kui pakkide algne paksus. Nii jäid pakid konstruktsioonis mõlemalt poolt karkassi välja ulatuma. Trimmimise protsess näebki ette nende väljaulatuvate osade maha löikamise. Trimmimisel kasutas autor *STIHL HSE71* elektrilisi hekikääre saelehe pikkusega 700 mm (joonis 32 ja 33). Pärast trimmimist alustas ta seinafragmentide krohvimisega (joonis 34 ja 35). Krohvida otsustas autor vaid seina sisemise külje, kasutades Saviukumaja tooteid – toodetest nakkeseğu, savi aluskrohvi 0-4mm kahes kihis ja džuudivõrku savikrohvi armeerimiseks. Esimese krohvikihina kasutas autor sisseviskeks nakkekrohvi, mis oli aluskrohvist vedelam (joonis 34). Järgmised kaks krohvikihiti kanti seinale maksimaalselt 15 mm paksuselt (joonis 36 ja 37). Kõik

krohvikihid kandis autor seinale kätega ning kelluga, viimase lihvi tegi hõõrutiga. Iga krohvi kiht pidi enne järgmise peale kandmist korralikult ära kuivama. Kuna krohvimise perioodil (02.07.20-12.07.20) oli ilm suve kohta vihmane ja niiske (joonised 1 ja 2), kuivas üks krohvi kiht ligikaudu 3-4 päeva. Enne viimase krohvi kihi seinale kandmist ehitas autor ümber sisemise seina poole OSB-plaatidest kasti, imiteerimaks siseruumi (joonis 37). Kinnitustena kasutas autor *HammerJack* 4,2x45 mm T20 kruvisid. Seejärel kandis autor peale viimase krohvi kihi koos džuudivõrguga ning peale selle täielikku kuivamist suundus autor ehitusega seina välimisele poolele. Ajanappuse tõttu (krohvi kihtide kuivamisele kuluv aeg) otsustas autor lubikrohvi asemel välisseinas kasutada välisvoodri ja tuulutatava õhkvahega lahendust. Kuna lõputöös ei käsitleta ilmastiku (peamiselt otsese vihma) mõju välisviimistlusele ning katsekehad olid ööpäevaringselt telgis varju all, piirdus ta vaid tuuletõkkeplaadi paigaldamisega seinafragmenti välimisele poolele (joonis 38). Tuuletõkkeplaadina kasutas autor puitkiudplaati ISOPLAAT, mõõtmetega 25x800x2400 mm. Tavaliselt kinnitatakse see laia peaga tsingitud papinaeladega või klambritega. Antud juhul kasutas ta aga tavalisi ehitusnaelu (2,5x60 mm), sest piisava pikkusega papinaelu polnud sel hetkel poodides müügil. Tuuletõkkeplaadi paigaldamisega samal päeval kandis autor siseruumi jaoks ehitatud kasti põhjale ja OSB sisemistele alumistele külgedele vesialuselise alküüdkruntvärvi Teknol JRM Base 3 kolmes kihis (joonis 39), ühe kihi kuivamiseks jättis ta kasutusjuhisest lähtuvalt kaks tundi. Värvikiht oli vajalik selleks, et uputuse imiteerides vesi OSB plaatidest läbi ei imbuks. Liitekohtadele kandis autor santiaarsilikooni KIILTO (joonis 40) ning siseruumi ehitas kinniseks lisades viimase OSB-st seinaplaadi (joonis 41). Seejärel valas autor ühe katsekeha siseruumi vett 15 cm kõrguselt, sest nii ulatus vee piir 5 cm üle põhupaki alumise ääre (joonis 42). Vett hoidis autor ruumis kolm järjestikust tundi, mille järel eemaldas ta suure OSB-st seinaplaadi vee välja laskmiseks ning edasiseks seina tuulutamiseks.



Joonis 32. Katsekeha trimmimine.



Joonis 33. Trimmitud katsekeha



Joonis 34. Värskest paigaldatud nakkekrohv



Joonis 35. Nakkekrohv neljandal päeval pärast krohvimist



Joonis 36. Värskest peale kantud teine krohvikihit



Joonis 37. Värskest peale kantud kolmas krohvikihit koos džuudivõrguga ning siseruumi jaoks ehitatud külgmiste OSB plaatidest seintega.



Joonis 38. Katsekehade välimistele külgedele paigaldati tuuletõke



Joonis 39. Katsekeha siseruumi alumine osa kaeti vee tõkestamiseks värviga



Joonis 40. Siseruum pildistatud läbi vaatlusava.  
Liitekohtades on näha ka silikooni.



Joonis 41. Siseruum koos vaatlusavaga.



Joonis 42. Siseruumi põhja valatud vesi

## 3.2 Põhu veeimavuskatse

Kirjeldamaks põhu kui soojustusmaterjali võimet vett imada, viis autor läbi lühiajalise veeimavuse katse, millele järgnevalt hindas väljakuivamise võimet tingimustes, kus kõik küljed on avatud ehk ideaalsetes tingimustes. Katse käigus järgis autor standardit EVS-EN ISO 29767:2019 (*Thermal insulating products for building applications – Determination of short-term water absorption by partial immersion*) [56]. Põhu veeimavuse tarbeks soetas autor 5 metallvõrgust korvi (põhja mõõtmed 18x18 cm ja suudmeava mõõtmed 20x20 cm, korvi kõrgus 9 cm). Põhu fikseerimiseks ja tihendamiseks korvis kasutati suuri naelu, iga korvi jaoks neli naela (joonis 43). Katsetamisel kasutas autor veeanumatena suuri plastikust kaste, roostevabast terasest alusvõresid, digitaalset kaalu ja kraanivett. Alusvõre asetask autor veeanuma põhja, millele toetusid korvidega katsekehad. Anuma põhja valas autor vett nii, et see kataks katsekeha 10 +/- 2 mm ulatuses (joonis 44). Katsekehad seisid osaliselt vees 24 tundi ning 8 tunni vältel kaalus autor neid iga kahe tunni tagant. Peale 24 tunni möödumist nõrutas ta katsekehad üleliigsest veest ning asetask veeanumast välja kuivama. Katsekehade kaalumine toimus järgmise 24 tunni jooksul sarnaselt eelmisele kaalumisele. Järgnevalt hakkask autor katsekehi kaaluma üks kord ööpäevas. Katsetulemustest on näha põhu lühiajaline veeimavus ning pikaajaline välja kuivamise protsess.



Joonis 43. Veeimavuse katsekeha kaalul



Joonis 44. Põhu veeimavuse katsekehad osaliselt uputatuna.

### 3.3 Põhu sorptsioonikatse

Kirjeldamaks põhu niiskust seina sees määras autor konkreetsetes katses kasutatud põhu tasakaaluniiskused ja koostas sorptsioonikõvera. Sorptsioonikatsel kasutas ta katsekehade puhul roostevabast terasest kausse ja lahtist põhku (joonis 45). Katsekehi tegi autor kokku 5 ning katsete läbiviimisel juhendus standardist EVS-EN ISO 12571:2013 (*Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties*) [57]. Katse viis ta läbi kliimakambri meetodil, kui eelnevalt kuivatas katsekehad vastavalt standardile ISO 12570:2000 (*Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature*) [58] kuivatuskapis 40°C juures püsiva kaaluni. Seejärel tõstis autor katsekehad kliimakambrisse, mille keskkonna temperatuuriks määras vastavalt metodikale 23°C ning algseks suhteliseks õhuniiskuseks 30%. Katsekehi kaalus autor üks kord ööpäevas ning kui järgneva kolme kaalumise järel ei tuvastanud autor kaaluerinevust rohkem kui 0,1% kogumassist, tõstis ta õhuniiskuse 50% peale. Kaalumist kordas autor ka 75% ja 95% õhuniiskuse juures. Kui katsekehad olid saavutanud ka 95% juures tasakaaluniiskuse, siis hakkas autor niiskust alandama samade mõõtepunktide ja kaaluerinevuse järgi. Viimaks pani autor katsekehad kuivatuskappi 40°C juurde. Lahutades igast kaalunäidust maha anuma massi, saadi materjali mass (Lisad 7-15). Vee mass saadi igast kaalumise järgsest materjali massist kuivatatud materjali massi maha arvestamisega. Niiskus protsentides saadi iga materjali massi jagamisega kuivatatud materjali massiga ning saadud tulemuse korrutamisel 100%-ga (Lisad 16 ja 17).



Joonis 45. Põhu sorptsioonikatsed kliimakambris.

### 3.4 Mikrobioloogilised uuringud

Antud töö raames kasutati mikrobioloogilise hingamisaktiivsuse ja biomassi uurimiseks kaudset meetodit. Meetod valiti, kuna sooviti näha millist mõju avaldab uputus mikroobikoosluse kasvule ja aktiivsusele üldiselt.

Põhust võeti proovid talvel 15. detsembril, enne katse algust 1. juulil ja peale katse lõppu 3. augustil. Kogu põhk, mida katseteks kasutati, purustati veski abil (*MF 10 basic Microfine grinder drive*). Põhumaterjalist mikroorganismide aktiivsuse



määramiseks kasutati Saksamaa firma WTW OxiTop® manomeetrilist mõõtmisüsteemi [59]. Mikroobikoosluse hingamisaktiivsuse määramiseks kaaluti 50 grammi põhku, mis asetati üheliitrise mahuga mõõtmisanumasse. Absorbendina oli niiskuse sidumiseks kasutusel natroonlubi. Anumad suleti klambritega, külge monteeritud mõõtepead fikseerisid hapnikutarbimisest tingitud rõhu languse [60]. Andmed kanti tarkvara abil arvutisse ning arvutuslikult leiti mikroobikoosluse hingamisaktiivsus [61]. Mikroobset biomassi hinnati SIR (substraadi poolt indutseeritud hingamise) meetodil. Meetodi puhul eeldatakse, et mikroorganismide poolt hapniku tarbimine glükoosi lisamisel on propotsionaalne nende biomassiga. Analüüs teostati kahes korduses. Selleks kaaluti 25 grammi põhku, mis asetati liitrise mahuga mõõteanumasse. Eelnevalt oli põhule lisatud 0,125 grammi glükoosi, et soodustada mikroobikoosluse elutegevust. Mõõteanumad suleti, külge monteeriti mõõtepead ning proovid paigutati ööpäevaks (24 tunniks) kliimakambrisse 22 kraadi juurde. Mikroobide biomassi süsinikusisalduse arvutamiseks kasutati seost:  $1 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} = 28 \text{ mg biomass C g}^{-1}$ . Materjali kuivainesisalduse määramiseks kaaluti 5 grammi põhku, mis paigutati 24 tunniks 70-kraadi juurde. Seejärel leiti arvutuslikult materjali niiskussisaldus.

## 4 TULEMUSED

### 4.1 Uputuse imiteerimise katse seinafragmendiga

Kui katsekeha siseruumist oli vesi peale kolme tunni möödumist välja lastud, tulid nähtavale esimesed veekahjustused (joonis 46). Savikrohv oli kuni 15 cm kõrguselt seinalt siseruumi põrandapinnale maha vajunud ning džuudivõrk oli selles osas täielikult nähtaval. Kapillaarjõudude mõjul oli vesi tõusnud 7,5 cm kõrgusele arvestades vee pinnast. Kergitades džuudivõrgu äärt oli näha ka märgunud põhku (joonis 47). Sein jäeti kuivama ning kuue päeva pärast tegi autor mõlema seinafragmendi karkassi sisse augufreesiga 15 cm läbimõõduga ava, mille kaudu võttis autor mikrobioloogia uuringute jaoks proovid (joonis 48 ja 49). Proove võttes oli tunda, et uputuse läbinud seinafragmendi põhk alumises osas ja kergkruus olid märjad. Ka maha valgunud savikrohv oli proovide võtmise päeval 3. augustil veel pehme.



Joonis 46. Nähtavad veekahjustused peale uputust.



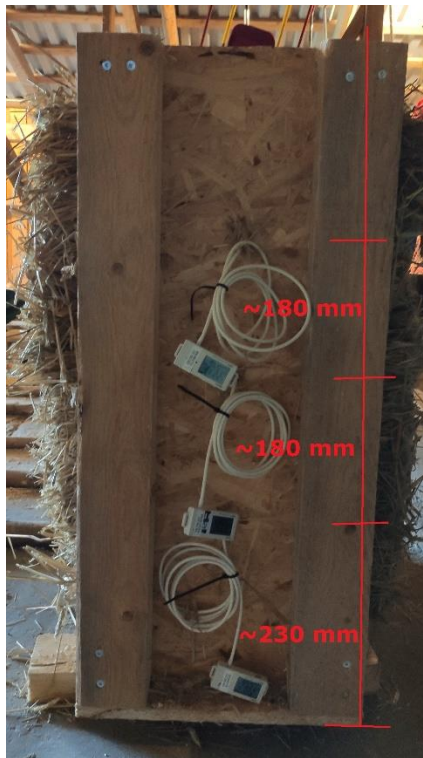
Joonis 47. Fotel on punase joonega näidatud põhu ja alumise puitvöö piir



Joonis 48. Auk uputuse läbinud katsekeha karkassis (6 päeva pärast uputust)



Joonis 49. Auk kuivana seisnud katsekeha karkassis



Joonis 50. Loggerite (Hobo External Temp/RH Data Logger) asukohad seinafragmendi sees

Kogu katsekehade ehituse ja katsetamise vältel kummagi seinafragmendi sisse ning neid ümbritsevasse ruumi paigaldatud logerid (*Hobo External Temp/RH Data Logger*) mõõtsid õhutemperatuuri ja õhuniiskust, mille dünaamika on näha joonistel 51-56. Logerid asetsesid katsekehade servast umbes 20cm sügavusel ning kolmel eri kõrgusel (joonis 50). Krohvimise perioodil oli katsekehade sees keskmine õhuniiskus alla 75% ja keskmine temperatuur ligikaudu 20°C (tabelid 3 ja 4). Väliskeskkonna keskmised näitajad olid samal ajal ligikaudu 18°C ja 71% (tabelid 3 ja 4). Ka uputuse perioodi vältel olid mõlema katsekeha temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad väga sarnased (tabelid 5 ja 6). Keskkonna õhuniiskus oli võrreldes krohvimise perioodiga suurenenud ligikaudu 19% võrra. Ka imiteeritud siseruumide näitajad olid väga sarnased, kus õhuniiskus erines vaid 2%. Ka peale uputust polnud keskmistes väärtustes suuri muutusi märgata (tabelid 7 ja 8). Graafikutelt (joonis 51 ja 52) on näha, et krohvimise perioodil tõusid ühtlaselt mõlema katsekehasiseste õhuniiskuste näitajad, olles algselt 60% ümbruses ning viimase krohvikihi kuivamise lõpus veidike alla 80%. Katsekehade sisesed õhutemperatuuride näitajad on muutunud paralleelselt välisõhu temperatuuri muutusega, kuid kõikumised pole nii suured, jäädes öösel kõrgemale ja päeval madalamale võrreldes väliskeskkonna temperatuuriga. Võrreldes uputuse perioodi graafikuid (joonised 53 ja 54) on muutusi näha imiteeritud siseruumi õhuniiskuse ja temperatuuri joontes. Siseruumi suhteline õhuniiskus suurenes järsult vee sisse valamise ajal ligikaudu 75% pealt veidike üle 80%. Vee välja laskmise ajal vähenes see taas järsult tagasi ligikaudu 75% juurde. Siseruumi õhutemperatuur tõusis samal perioodil kuid sujuvamalt ligikaudu 20°C pealt 23°C peale. Vee välja laskmise ajal alanen sujuvalt tagasi ligikaudu 20°C juurde. Väliskeskkonna näitajate jooned katkevad poole graafiku peal ära, sest logeri toitepatarei sai tühjaks. Peale uputuse perioodi on näha, et kuivana seisnud katsekehasisesed suhtelise õhuniiskuse näitajad püsivad ühtlaselt 70% ja 80% vahel, kui samal ajal tõuseb uputatud katsekeha alumise logeri näit ühtlaselt veidike üle 80% (joonised 55 ja 56). Temperatuurimuutused on aga niivõrd sarnased, et nendes erisusi märgata pole.

Tabel 3. Krohvimise ning krohvi kuivamise perioodi keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad uputamisele läinud seinafragmendi sees ning katsekeskkonnas

ÜLEMINE MÕÕTEPUNKT		KESKMINE MÕÕTEPUNKT		ALUMINE MÕÕTEPUNKT		KESKKOND		
Krohvimise ja selle kuivamise periood (02.07.20-24.07.20)								
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Keskmine	20,0	70,2	20,1	71,1	19,8	72,4	18,3	70,5
Min	13,0	55,9	13,1	58,1	13,2	62,1	7,5	30,4
Max	28,2	77,4	28,1	78,2	26,8	77,2	32,4	96,7

Tabel 4. Krohvimise ning krohvi kuivamise perioodi keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad kuiva seinafragmendi sees ning katsekeskkonnas

ÜLEMINE MÕÕTEPUNKT		KESKMINE MÕÕTEPUNKT		ALUMINE MÕÕTEPUNKT		KESKKOND		
Krohvimise ja selle kuivamise periood (02.07.20-24.07.20)								
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Keskmine	19,6	67,7	19,5	68,4	19,3	71,2	18,3	70,5
Min	13,3	58,0	13,4	57,2	13,2	61,2	7,5	30,4
Max	26,1	73,5	26,0	75,1	25,7	76,5	32,4	96,7

Tabel 5. Uputamise perioodi keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad uputatud katsekeha sees, katsekeskkonnas ja imiteeritud siseruumis

ÜLEMINE MÕÕTEPUNKT		KESKMINE MÕÕTEPUNKT		ALUMINE MÕÕTEPUNKT		KESKKOND		SISERUUM		
Uputamise periood (29.07.20 kell 12.00-18.00)										
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Keskmine	19,7	74,7	19,7	73,9	19,6	75,2	22,0	89,8	20,8	76,1
Min	19,1	74,4	19,2	73,6	19,1	75,0	19,5	78,5	18,9	68,1
Max	20,3	75,2	20,2	74,5	20,3	75,6	24,8	100,0	22,0	82,8

Tabel 6. Uputamise perioodi keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad kuiva katsekeha sees, katsekeskkonnas ja imiteeritud siseruumis

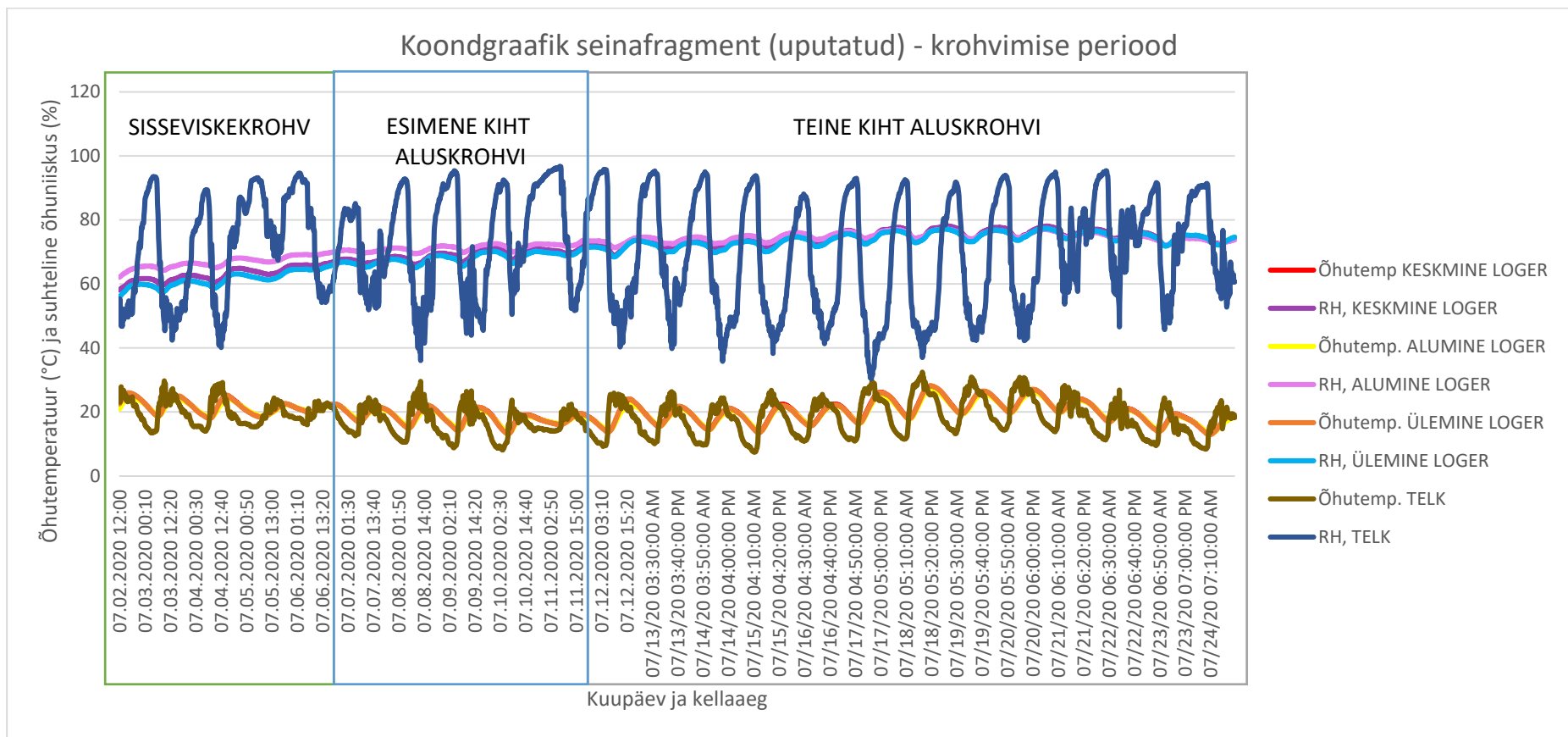
ÜLEMINE MÕÕTEPUNKT		KESKMINE MÕÕTEPUNKT		ALUMINE MÕÕTEPUNKT		KESKKOND		SISERUUM		
Uputamise periood (29.07.20 kell 12.00-18.00)										
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Keskmine	20,0	73,3	19,9	74,3	19,9	76,0	22,0	89,8	20,1	74,1
Min	19,7	73,2	19,5	74,0	19,4	75,7	19,5	78,5	19,0	71,5
Max	20,4	73,6	20,2	74,8	20,2	76,6	24,8	100,0	20,6	75,6

Tabel 7. Peale uputust välja kuivamise perioodi keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad uputatud katsekeha sees ja katsekeskkonnas

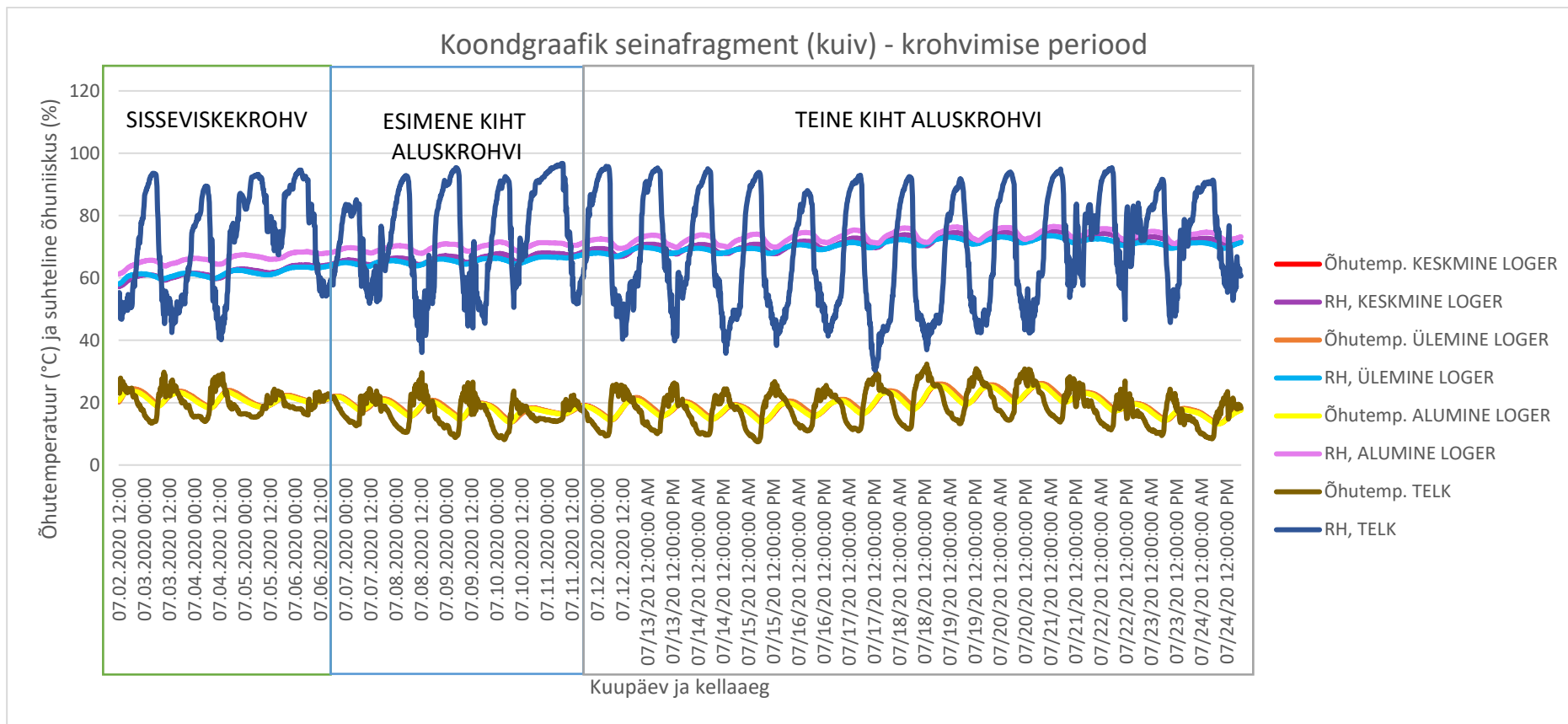
ÜLEMINE MÕÕTEPUNKT		KESKMINE MÕÕTEPUNKT		ALUMINE MÕÕTEPUNKT		KESKKOND		
Välja kuivamise periood								
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Keskmine	20,4	75,3	20,3	75,1	20,1	78,2	19,5	74,7
Min	13,5	71,5	13,6	70,5	13,7	73,9	9,2	42,1
Max	28,5	78,2	28,0	78,5	27,3	81,6	34,9	93,1

Tabel 8. Peale uputust välja kuivamise perioodi keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad kuiva katsekeha sees ja katsekeskkonnas

<b>ÜLEMINE MÕÕTEPUNKT</b>		<b>KESKMINE MÕÕTEPUNKT</b>		<b>ALUMINE MÕÕTEPUNKT</b>		<b>SISERUUM</b>		
Välja kuivamise periood								
	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)	Temp. (°C)	RH (%)
Keskmine	20,0	74,1	19,6	74,8	19,3	77,0	19,0	76,1
Min	14,2	71,2	14,1	71,3	13,7	73,5	11,3	67,6
Max	26,3	76,6	25,7	77,6	25,1	79,8	27,3	80,0

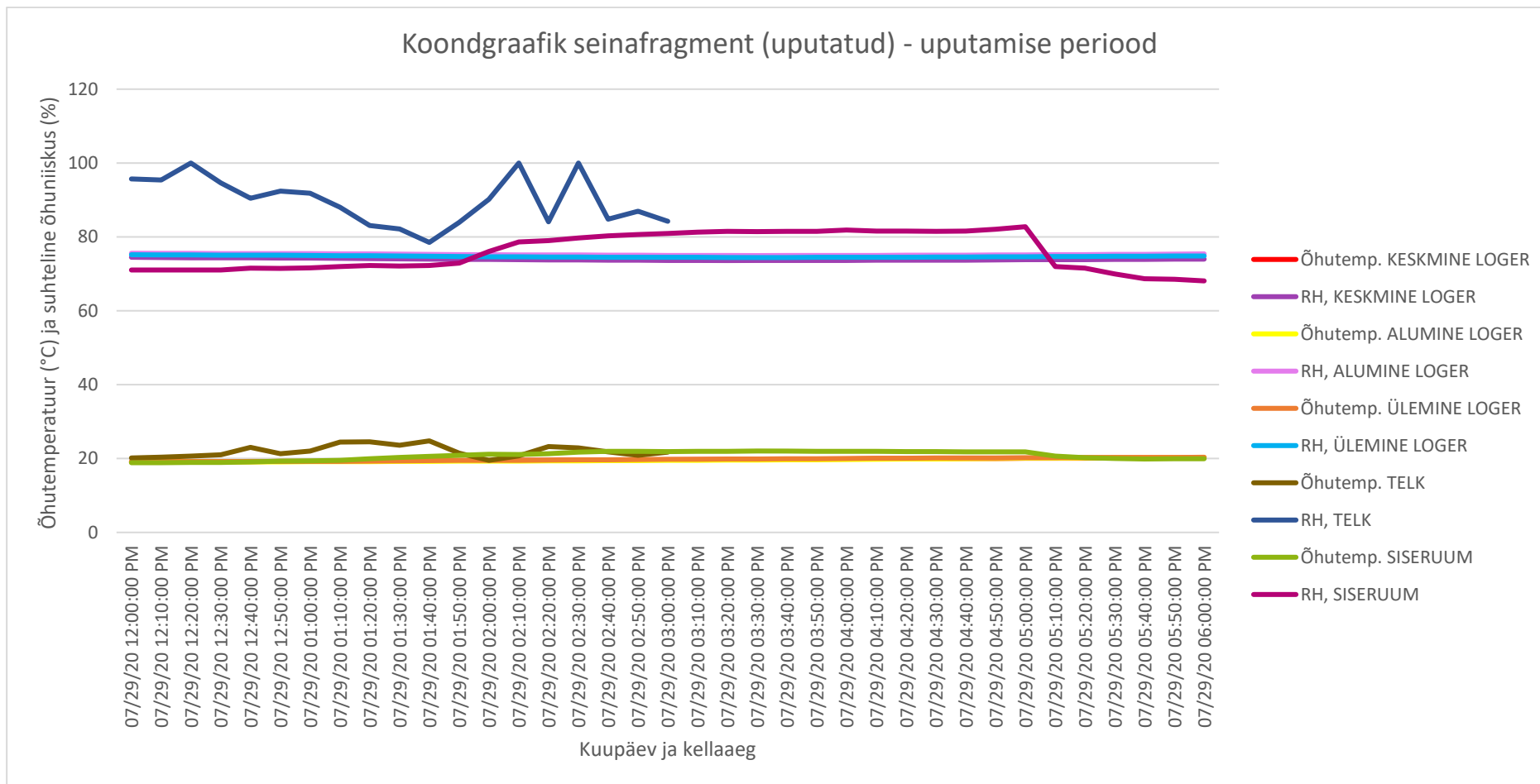


Joonis 51. Uputamisele mineva seinafragmenti koondgraafik krohvimise perioodil

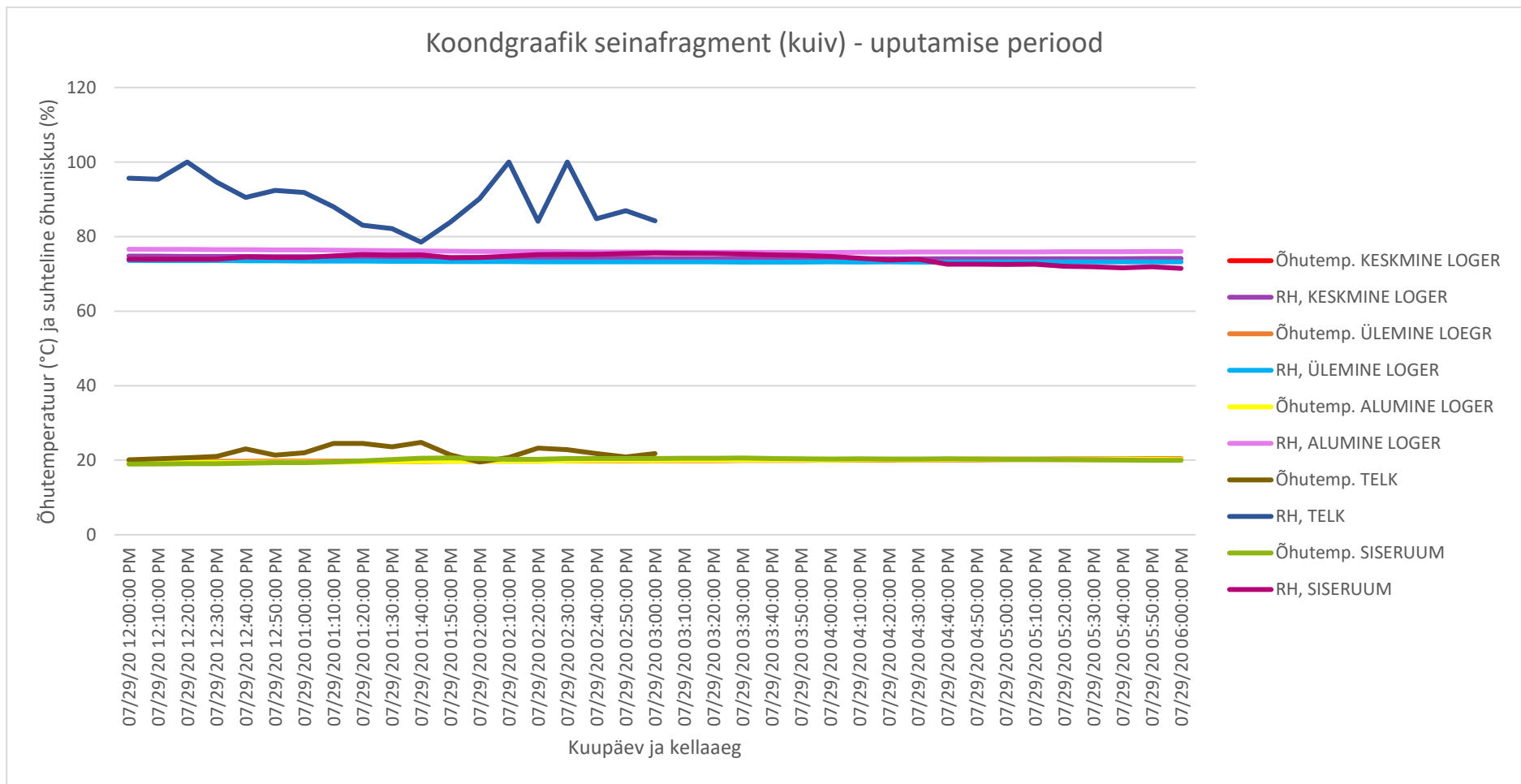


Joonis 52. Kuiva seinafragmenti koondgraafik krohvimise perioodil

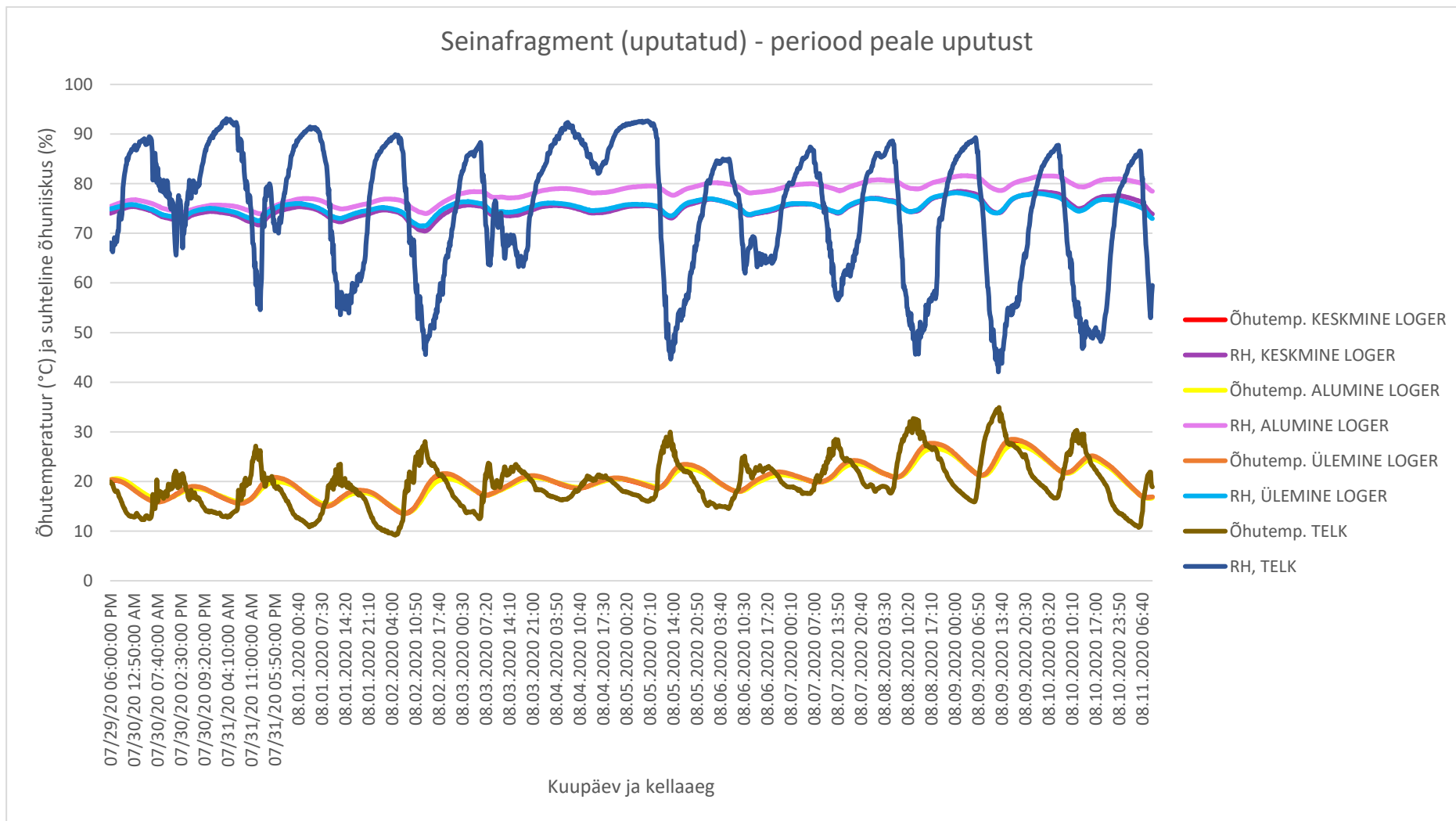




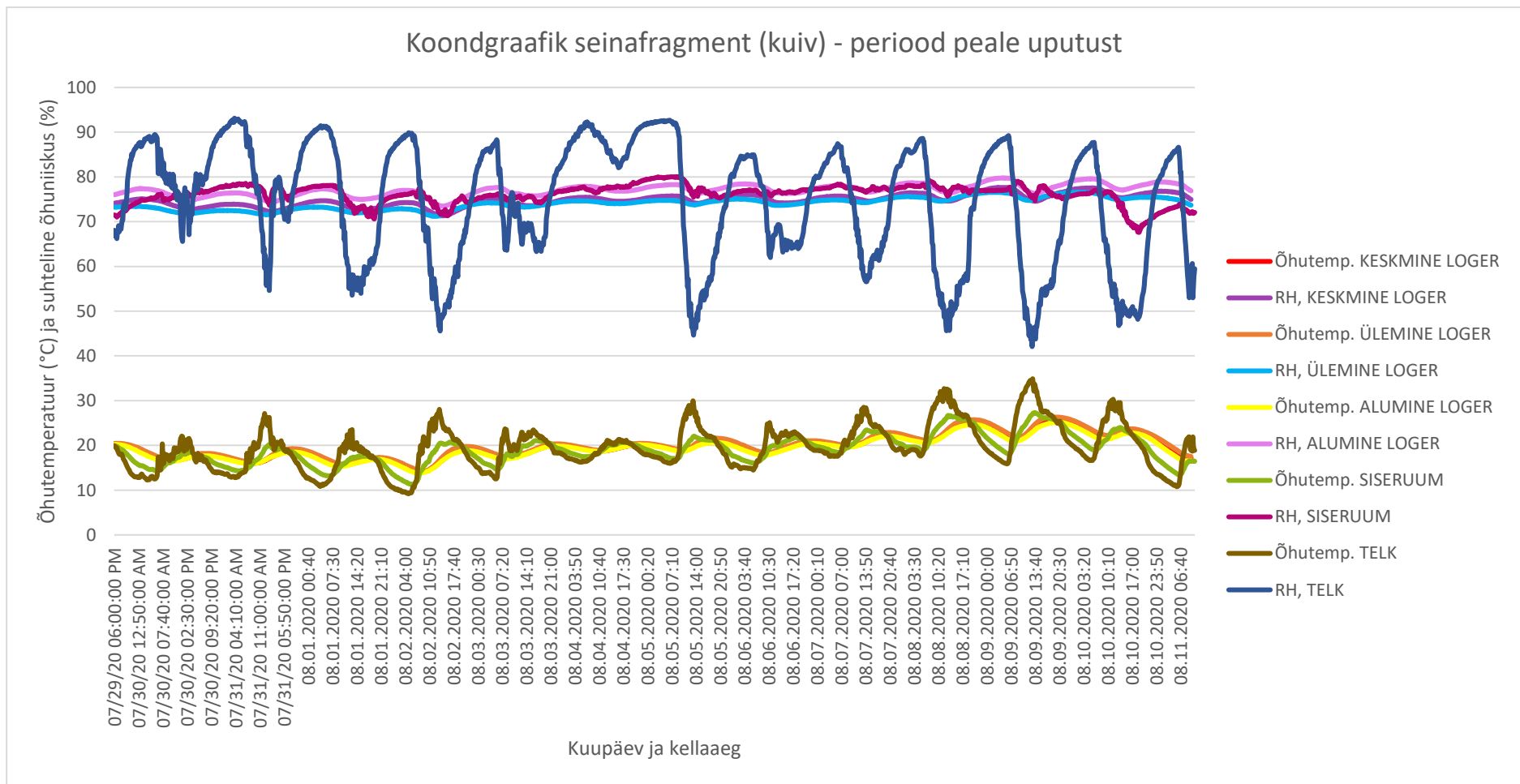
Joonis 53. Uputatud seinagraafendi koondgraafik uputamise perioodi kohta



Joonis 54. Kuiva seinafragmenti koondgraafik uputamise perioodi kohta



Joonis 15. Koondgraafik uputatud seinafragmenti kohta peale uputuse perioodi



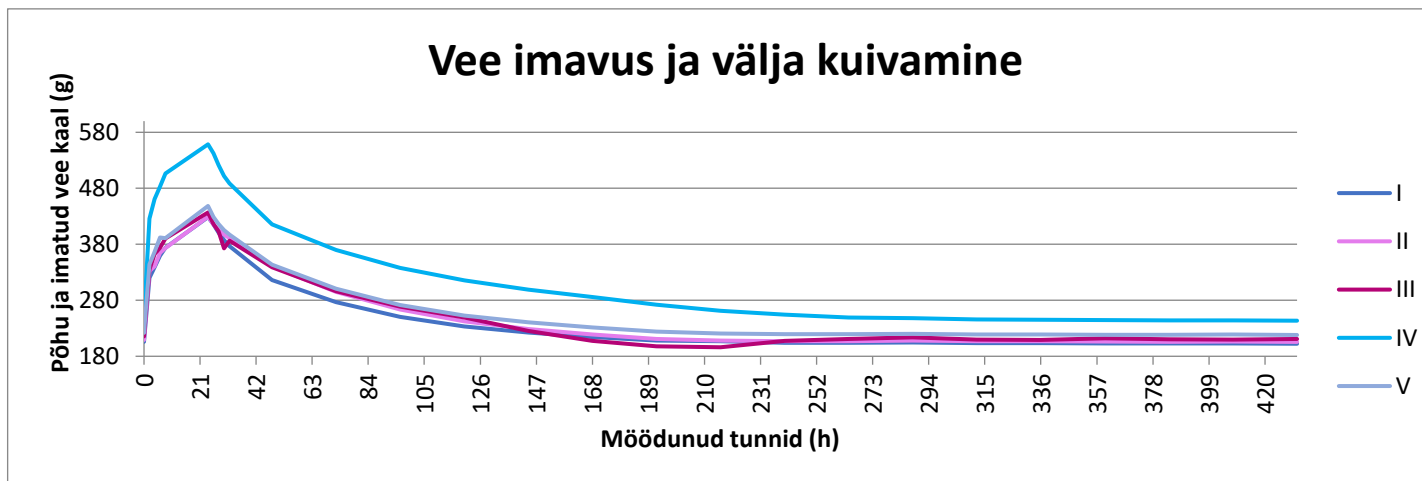
Joonis 52. Koondgraafik kuiva seinafragmenti kohta peale uputamise perioodi

## 4.2 Põhu veeimavuskatse

Põhu vee imavuse ja välja kuivamise graafiku jaoks kogutud andme- ja arvutustabelid on välja toodud lisades 1-6. Tabel 10 on esitatud kokkuvõtlike andmetega. Keskmine kuiva proovi kaal oli 219,941 g ehk ligikaudu 220 g. Veekogus, mis 24 tunni jooksul 1cm ulatuses vette asetatud proovidesse imendus oli 240,383 g ehk ligikaudu 240 g katsekeha kohta ning keskmiselt 7,42 kg/m<sup>2</sup> kohta. Esimese kahe tunni jooksul imasid katsekehad endasse vett keskmiselt 4,06 kg/m<sup>2</sup> kohta ehk ligikaudu 55% ööpäevasest kogusest. Neljas katsekeha, mis imes vett 125,217% ehk ligikaudu 125%, kuivas välja kõige kauem, saavutades 288 tunniga esialgse massi. Teised katsekehad saavutasid massi keskmiselt 204 tunniga. Esimese ööpäevaga kuivas välja keskmiselt 109 g ehk ligikaudu 45% imatud vee kogusest. Kaaluandmete põhjal koostatud vee imavuse ja välja kuivamise graafik näitab põhu ja imatud vee kaalu muutumist 432 tunni jooksul (joonis 57). Ka siin mõõdeti logeriga (*Green eye CO<sub>2</sub> Meter and Datalogger*) ruumi õhuniiskust ja temperatuuri, mille kulg on näha joonisel 58. Kuumade suvepäevade ja kesise ruumi ventilatsiooni tõttu tõusis seal õhutemperatuur mõningal korral päris kõrgele, mõõdetud andmete järgi on maksimaalne ruumi temperatuur olnud 34,1°C ning suurim suhteline õhuniiskus 51,4%, minimaalsed näitajad vastavalt aga 23,2°C ja 23,1% (tabel 9). Samas tabelis on toodud lisaks ka CO<sub>2</sub> sisaldus õhus, sest selle mõõtmine tulenes lihtsalt mõõteaparaadi võimekusest. Katsetulemustes see mõju ei avalda.

Tabel 9. Laboriruumi keskmine, maksimaalne ja minimaalne õhutemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad veeimavuse katse perioodil

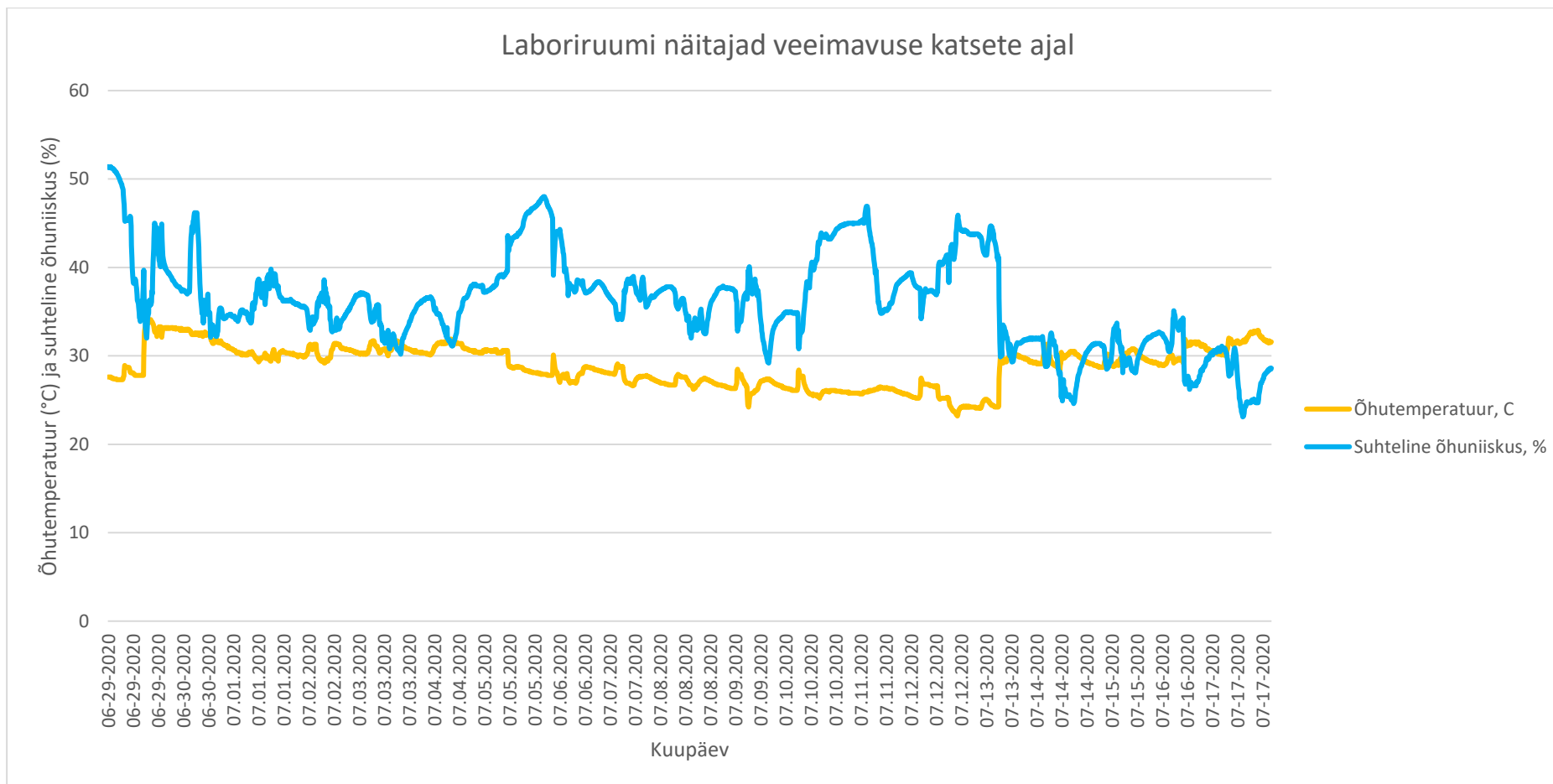
VEEIMAVUSKATSE			
29.06.20-17.07.20			
	Temp. (°C)	CO <sub>2</sub> (ppm)	RH (%)
Keskmine	28,9	460,9	36,1
Min	23,2	392,0	23,1
Max	34,1	890,0	51,4



Joonis 57. Vee imavuse ja väljakuivamise graafik sõltuvalt põhu ja imatud vee kogusest ning möödunud tundidest.

Tabel 10. 24 tunni ja 2 tunni veeimavus

24 tunni ja 2 tunni veeimavus								
	Anuma põhja pindala 0,18x0,18 m (m <sup>2</sup> )	Kuiva proovi kaal (g)	24h tunni jooksul katsekehadesse imendunud vee kaal (g)	24h veeimavus (kg/m <sup>2</sup> )	2h imatud vesi (kg)	2h veeimavus (kg/m <sup>2</sup> )	Vee kaal katsekehad peale 24h kuivamist (g)	24h välja kuivanud vee kaal (g)
<b>I</b>	0,0324	205,844	222,674	6,87	0,115	3,53	110,434	112,24
<b>II</b>	0,0324	208,995	220,32	6,80	0,123	3,80	131,41	88,91
<b>III</b>	0,0324	215,299	221,501	6,84	0,120	3,69	123,451	98,05
<b>IV</b>	0,0324	247,991	310,528	9,58	0,178	5,50	167,598	142,93
<b>V</b>	0,0324	221,575	226,894	7,00	0,122	3,78	121,724	105,17
<b>Keskmine:</b>		219,941	240,383	7,42		4,06	130,92	109,46



Joonis 58. Laboriruumi suhtelise õhuniikuse ja õhutemperatuuri näitajad veemavuse katse ajal

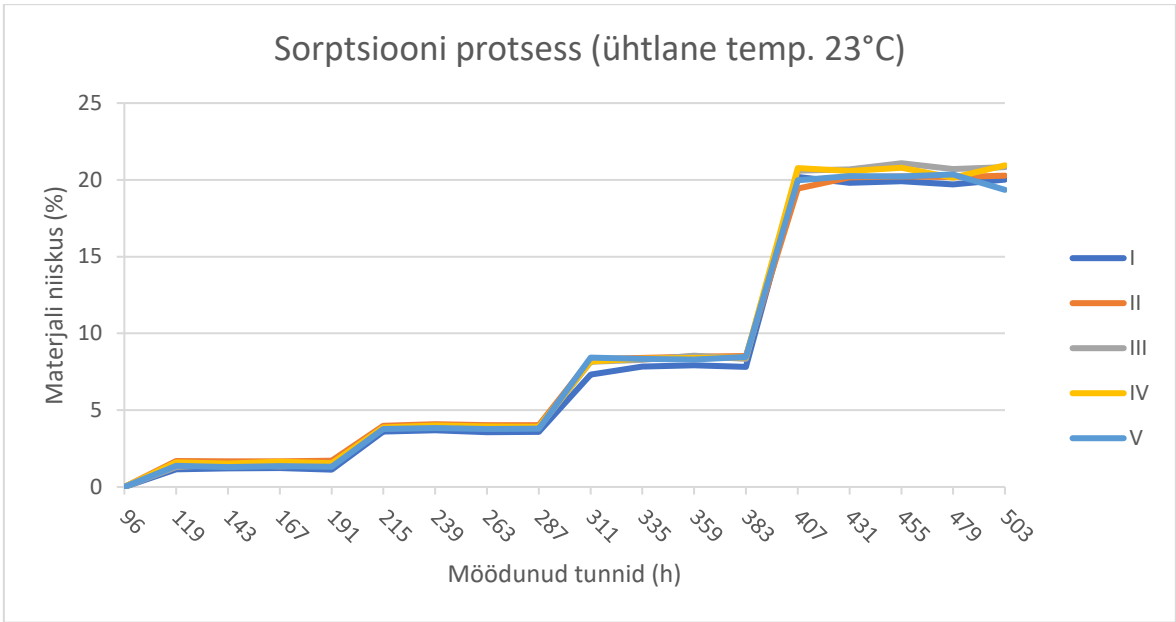
### 4.3 Põhu sorptsioonikatse

Tasakaaluniiskuse tõusu ja languse ning mõõtepunktide RH=30, 50, 75 ja 95% järgi koostas autor sorptsiooni- (joonis 59) ja desorptsiooni protsesside graafikud (joonis 60) ning sorptsioonigraafiku (joonis 61). Algselt olid kõik viis katsekeha kuivatuskapis 40°C juures 4 ööpäeva, mille jooksul vähenes põhu kaal keskmiselt 1,249g, mis on 3,45% algkaalust (lisa 7, lk 68). Katsekehade hoidmise periood iga mõõtepunkti juures kujunes neljaks ööpäevaks (lisad 8-10 ja 12-14) seoses kaalude stabiliseerumisega, välja arvatud mõõtepunkti 95% juures (lisa 11). 95% protsendi juures kõikusid materjali kaalude erinevused väga palju, ning neli neist ei saavutanud tasakaaluniiskust ka peale viiendat ööpäeva. Sellist olukorda tingib ilmselt õhuniiskuste suur erinevus kliimakambris ja laboriruumis (joonis 62, tabel 11). Iga mõõtepunkti juures imasid materjalide proovid õhust niiskust kõige rohkem esimese ööpäeva vältel (joonis 59). Esimese ööpäeva niiskusimavus kasvas sorptsiooni vältel ning langes desorptsiooni vältel iga mõõtepunkti juures (joonis 59). Sarnast tõusu ja langust oli märgata materjali kaalu juures iga mõõtepunkti lõpus (lisad 16-17). Kui õhuniiskuse 30% juures oli põhk õhust niiskust imanud keskmiselt 0,504g ehk ligikaudu 1,43% kogu materjali kaalust, siis 95% tasemel oli see 6,998g ehk 20,28% kogukaalust (lisa 16). Kõige rohkem niiskust imendus ja eraldus esimesest kuivatusperioodist kuni desorptsiooni lõpuni IV proovist. Kõige vähem niiskust imendus ja eraldus aga I proovist. Ühtlasi oli ka esimese proovi kuivmaterjali mass kõige väiksem ning neljandal proovil kõige suurem. Peale desorptsiooni asetati proovid uuesti kuivatuskappi (lisa 15), et uurida mikroobikoosluse biomassi ja nende aktiivsust kuivatatud põhul (tabel 15).

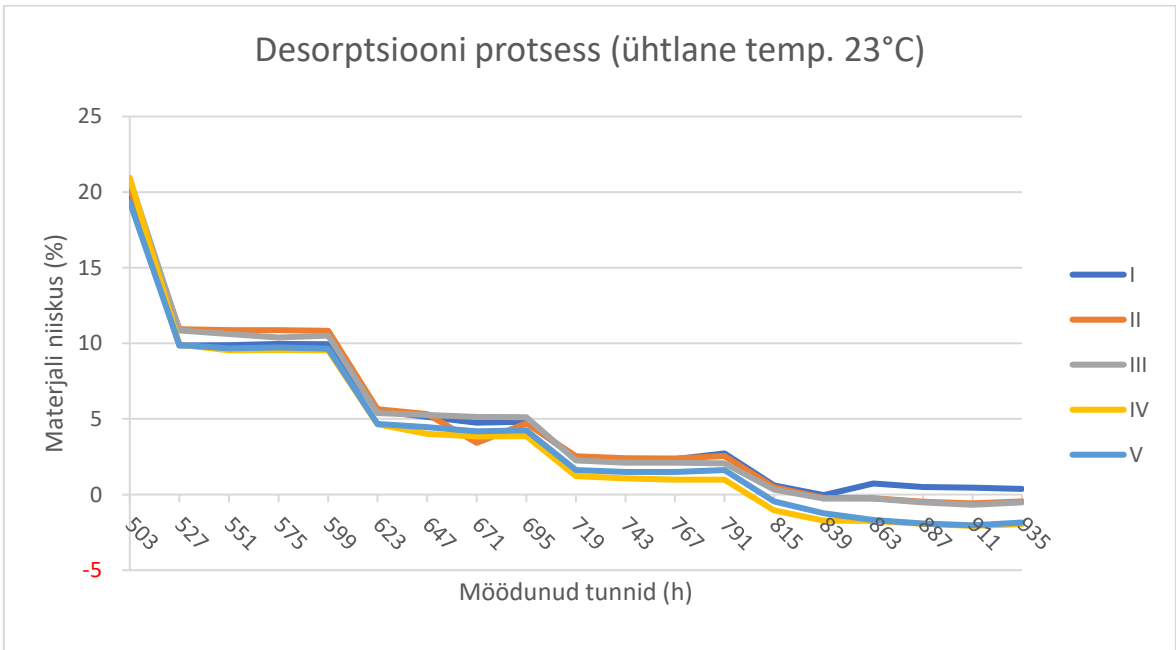
Tabel 11. Laboriruumi keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed õhutemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad sorptsioonikatse perioodil.

SORPTSIOONIKATSE			
26.06.20-02.08.20			
	Temp. (°C)	CO <sub>2</sub> (ppm)	RH (%)
Keskmine	28,2	469,2	39,0
Min	23,2	392,0	23,1
Max	34,1	890,0	61,6

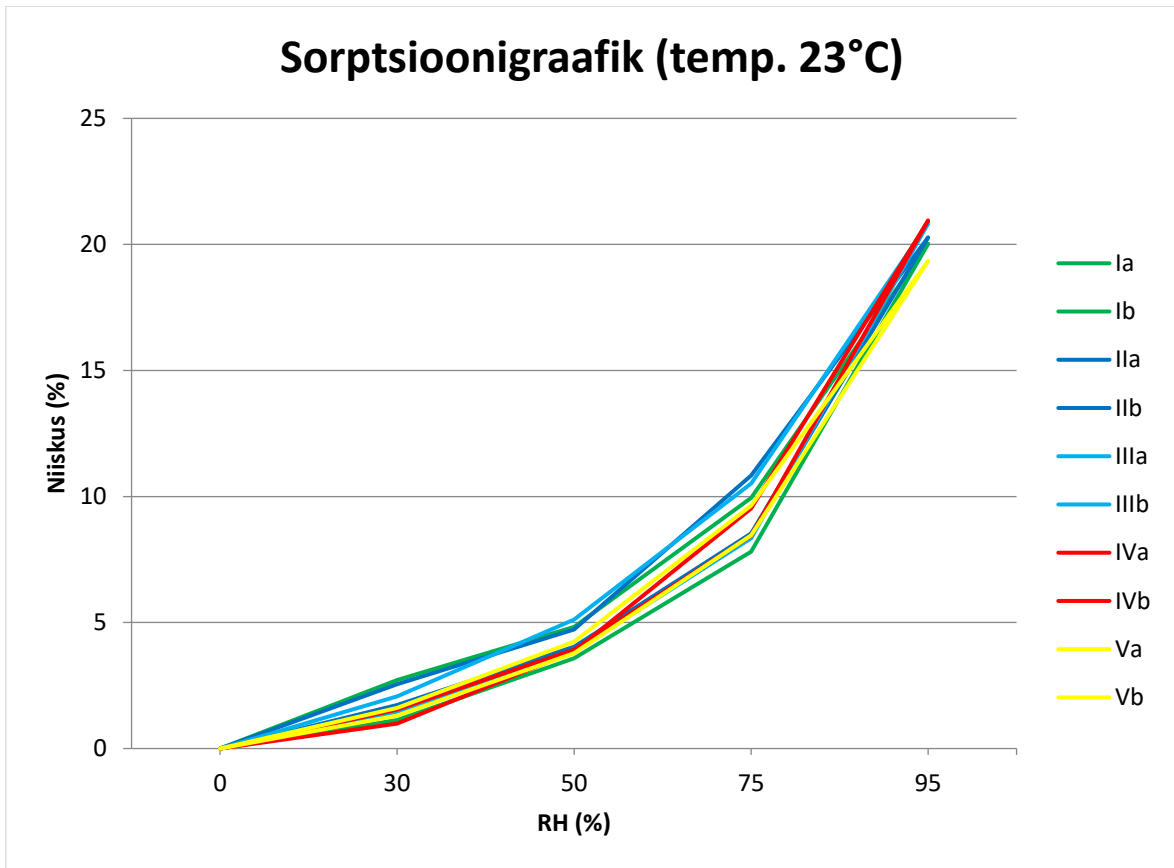




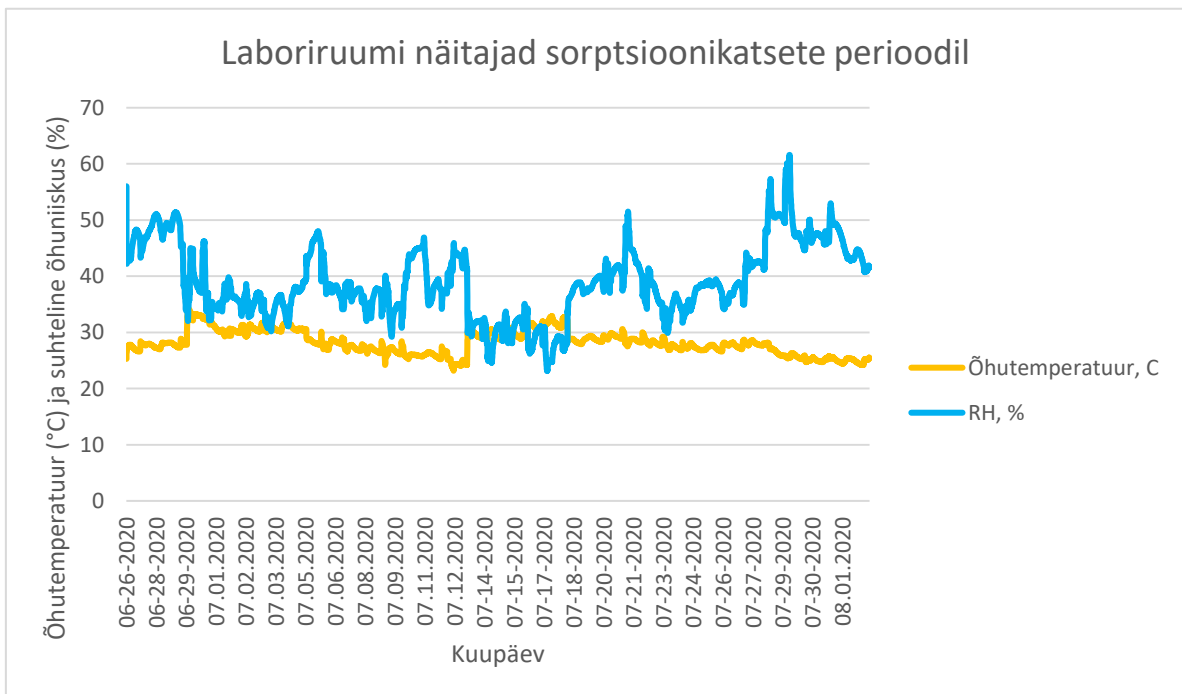
Joonis 59. Sorptsiooni protsessi graafik



Joonis 60. Desorptsiooni protsessi graafik



Joonis 61. Sorptsioonigraafik



Joonis 62. Laboriruumi õhutemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse näitajad sorptsioonikatsete perioodil

## 4.4 Mikrobioloogilised uuringud

Detsembris 2019 pakkide üle talve hoiustamise perioodil (joonis 27) kogutud kuiva põhuproovi SIR-meetodil määratud biomass oli 0,252 mg C/g KA\*24h, sama proovi basaalne hingamisaktiivsus oli 0,008 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h (tabel 12). Võrdluseks võetud välitelgis seisnud ning läbi sadanud vihma tõttu märgunud juhusliku põhupaki proovil oli substraadi poolt indutseeritud hingamise meetodil määratud biomass 0,485 C/g KA\*24h, ning basaalne hingamisaktiivsus 0,020 O<sub>2</sub>/g KA\*24h (tabel 13). Välitelgis seisnud juhuslikest pakkidest määratud mikroobne biomass oli kuu aja pärast aga 0,281 mg C/g KA\*24h, basaalne hingamisaktiivsus 0,036 O<sub>2</sub>/g KA\*24h (tabel 14). Katsekeha I puhul, mida hiljem uputati, oli enne selle krohvimist substraadi poolt indutseeritud hingamise meetodi teel määratud biomass 0,454 mg C/g KA\*24h (tabel 13). Basaalne hingamisaktiivsus oli sama proovi puhul 0,136 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h (tabel 13). Katsekeha II puhul, mis seisis terve katseperioodi vältel kuivana, oli substraadi poolt indutseeritud hingamise meetodi teel määratud biomass 0,772 mg C/g KA\*24h (tabel 13). Basaalne hingamisaktiivsus oli sama proovi puhul 0,048 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h (tabel 13). Märkimist väärib peale uputust niiskest pakist võetud proovi tulemus – selgelt on näha mikroobikoosluse aktiivsuse tõus (SIR – 0,642 mg biomass C/g KA\*24h, basaalne hingamisaktiivsus 0,259 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h) (tabel 14). Katsekeha puhul, mida ei uputatud, sellist tõusu ei täheldatud (tabel 14).

Tabel 12. Biomassi ja hingamisaktiivsuse tulemused proovidest 12.12.2019

Katse nimetus	Täpsustus	Proovi võtmise kuupäev	SIR (mg C/g KA*24h)	BA (mg O <sub>2</sub> /g KA*24h)
Detsember 2019	Kuuri all hoiustatud põhupakid	15.12.2019	0,252	0,008

Tabel 13. Biomassi ja mikroobide hingamisaktiivsuse tulemused proovidest 01.07.2020

Katse nimetus	Täpsustus	Proovi võtmise kuupäev	SIR (mg C/g KA*24h)	BA (mg O <sub>2</sub> /g KA*24h)
Katsekeha I (uputatud)	Proov võetud trimmimise teel	01.07.2020	0,454	0,136
Katsekeha II (kuiv)	Proov võetud trimmimise teel	01.07.2020	0,772	0,048
Telgis seisnud juhuslik niiske põhk	Välitelgis seisnud põhupakid	01.07.2020	0,485	0,020

Tabel 14. Biomassi ja mikroobide hingamisaktiivsuse tulemused proovidest 03.08.2020

Katse nimetus	Täpsustus	Proovi võtmise kuupäev	SIR (mg C/g KA*24h)	BA (mg O <sub>2</sub> /g KA*24h)
Katsekeha I, uputus niiske	millega toimus uputus	03.08.2020	0,642	0,259
Katsekeha II, uputus kuiv	mis jäeti kuivana seisma	03.08.2020	0,259	0,182
Telgis seisnud juhuslik pakk	Välitelgis seisnud põhupakid	03.08.2020	0,281	0,036

Sorptisoonikatseid oli viis ning nende substraadi poolt indutseeritud hingamise meetodi teel määratud biomass jäi vahemikku 0,088-0,409 mg C/g KA\*24h. Basaalne hingamisaktiivsus oli aga vahemikus 0,022-0,795 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h (tabel 15). Veemavuskatseid oli samuti viis ning nende vastavad näitajate vahemikud on järgmised. SIR (substraadi poolt indutseeritud hingamise meetodi teel määratud biomass) on 0,203-0,522 mg C/g KA\*24h, BA ehk basaalne hingamisaktiivsus aga 0,016-0,123 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h (tabel 16).

Tabel 15. Biomassi ja hingamisaktiivsuse tulemused sorptsiooniproovidest 03.08.2020

Katse nimetus	Täpsustus	Proovi võtmise kuupäev	SIR (mg C/g KA*24h)	BA (mg O <sub>2</sub> /g KA*24h)
Sorptsioon1	Peale desorptsiooni kuivatatud	03.08.2020	0,310	0,795
Sorptsioon2	Peale desorptsiooni kuivatatud	03.08.2020	0,189	0,022
Sorptisoon 3	Peale desorptsiooni kuivatatud	03.08.2020	0,409	0,066
Sorptsioon 4	Peale desorptsiooni kuivatatud	03.08.2020	0,757	0,066
Sorptsioon 5	Peale desorptsiooni kuivatatud	03.08.2020	0,088	0,062
<b>Keskmine:</b>			<b>0,350</b>	<b>0,202</b>

Tabel 16. Biomassi ja hingamisaktiivsuse tulemused veeimavuse katsetest 03.08.2020

Katse nimetus	Täpsustus	Proovi võtmise kuupäev	SIR (mg C/g KA*24h)	BA (mg O <sub>2</sub> /g KA*24h)
Veeimavus 1		03.08.2020	0,252	0,016
Veeimavus 2		03.08.2020	0,203	0,055
Veeimavus 3		03.08.2020	0,522	0,123
Veeimavus 4		03.08.2020	0,231	0,072
Veeimavus 5		03.08.2020	0,347	0,106
		<b>Keskmine:</b>	<b>0,311</b>	<b>0,074</b>

## 5 ARUTELU JA JÄRELDUSED

Analüüsidest lahtise põhu veeimavuse katse tulemusi (joonis 57 ja tabel 10) võib näha, et põhku imendus esimese kahe tunni keskmiselt 132g vett ehk ligikaudu 59% algsest põhu massist, mille keskmine väärtus oli 220g. Esimese ööpäevaga imendus vett keskmiselt 240g ehk ligikaudu 109% algsest põhu massist. Arvestada tuleb asjaolu, et selle katse puhul oli põhk igast küljest avatud. Peale uputamise lõppemist algas väljakuivamine, mis kestis ligikaudu 226 tundi. Seinafragmenti uputuse katse puhul imiteeris katsekeha võimalikult sarnaselt reaalselt konstruktsiooni, põhk oli suletud karkassi vahele ning kaetud kahelt poolt viimistlusmaterjalidega (väljastpoolt 25 mm tuuletõkkega, seestpoolt savikrohviga kolmes kihis). Vee tungimist põhuni oli kinnise konstruktsiooni tõttu raske jälgida, kuid esimese tunni möödudes katsus autor vee sees olevat seinapinda ning juba siis oli tunda lahti ligunenud džuudivõrku. Sellest võib järeldada, et savikrohv märgus väga kiiresti ning hakkas seinapinnalt lühikese aja möödudes juba maha valguma. Seda tõestab ka see, et vesi hakkas umbes 20 minutit pärast selle sisse valamist välja nõrguma seinapinna ja siseruumi jaoks ehitatud OSB liitekohtadest (joonis 63). Nii tungis vesi mööda OSB pinda ka konstruktsiooni alla.



Joonis 63 Punaste nooltega on näidatud vee esmased lekkesuunad.

Kui selline avari juhtub reaalselt konstruktsiooni puhul, vajab olukord kindlasti sekkumist. Konstruktsiooni imendunud vee kogust ja vee sisse tungimise sügavust oli raske hinnata. Olukorra kaudseks jälgimiseks mõõdeti õhuniiskust kolmes punktis seinafragmentide sees (joonis 50). Tasakaaluniiskuse määramiseks viidi läbi sorptsioonikatse.

Kirjandusest võib leida soovitusi, et ehitusse sobilik põhu niiskus peab olema alla 15% [6]. Hukka ja Viitaneni poolt välja pakutud mudeli põhjal on aga suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri koosmõju oluline hindamaks hallituse tekke ohtu [41]. Sorptsioonikatsete tulemustest on näha, et õhuniiskuse kasvades oli põhu niiskus ehituses kasutamise jaoks lubatavas piirides veel mõõtepunkti 75% lõpus, jäädes 7,8% ja 8,5% vahele (lisa 16). Esimese ööpäeva vältel, kui katsekehad olid viibinud 95% õhuniiskusega keskkonnas, tõusis põhu niiskus üle lubatava piiri, jäädes 19,4% ja 20,8% vahele (lisa 16). Langetades õhuniiskuse tagasi 75% peale, langes ka põhu niiskus esimese ööpäeva jooksul alla 15% (lisa 16). Õhutemperatuur oli katse toimumise vältel ühtlaselt 23°C. Seega on niiskustehniliselt turvaline põhupakke suvisel perioodil hoiustada tingimustes, kus õhuniiskus materjali sees püsib 75% õhuniiskuse juures. Kui pidada silmas seda, et 80% õhuniiskuse juures veel hallituse ohtu pole [41], siis 95% õhuniiskuse juures on selle risk juba olemas, kuid lühiajaliselt selline keskkond pakkide kvaliteeti oluliselt ei mõjuta. Niipea kui tuleb kuivem periood, kuivavad pakid kiiresti.

Vaadeldes kuiva seinafragmenti (katsekeha II) õhuniiskuse näitajaid (joonised 52, 54 ja 56), siis need püsisid stabiilselt 70% ja 80% vahel vaatamata keskkonna niiskuse pidevale kõikumisele, millest võib järeldada, et sealse põhu niiskus oletatavalt 15% ei ületanud ning hallituse tekke ohtu polnud. Uputatud katsekeha puhul (katsekeha I) ei täheldatud uputuse ajal ja vahetult peale seda märkimisväärset õhuniiskuse tõusu kõige alumises mõõtepunktis, mis jäi uputuse veepiirist ligikaudu 6 cm kaugusele (joonis 53). Õhuniiskus hakkas selles mõõtepunktis tõusma mõne päevaga ning ületas peagi 80% piiri (joonis 55). See tulemus viitab sellele, et uputus võib olla lokaalse iseloomuga, mis teeb kindlasti tagajärgede likvideerimise kergemaks. Tegutseda tuleb aga kiiresti, võimaldades näiteks märgunud põhu vähemalt osalise eemaldamisega konstruktsioonil välja kuivada. Lahtise põhu katsest on näha, et see toimib soodsatel tingimustel mõne päevaga. Ka seinafragmentide mikrobioloogia uuringud näitavad, et kuivast katsekehast võetud põhu mikroobikoosluse aktiivsus ja biomass oli uputatud katsekehast võetud põhu prooviga võrreldes väiksem (tabel 14).

Talvisel perioodil saadi mikrobioloogiliste uuringute puhul tulemuseks, et katusega ruumis ilmastiku otsese mõju eest kaitstult on mikroorganismide biomassi näitaja 0,252 mg C/g KA\*24h ja basaalse hingamisaktiivsuse näitaja 0,008 O<sub>2</sub>/g KA\*24h, mis on väga madal (tabel 12). Mikrobioloogilised uuringud viidi läbi ka nii sorptsiooni- kui veemavuse katse läbinud põhumaterjaliga, mille tulemuste väärtused olid omavahel üpris sarnased (tabelid 15 ja 16). Mikroorganismide biomassi ja hingamisaktiivsuse vahet on hästi näha ka 1. juulil ja 3. augustil võetud välitelgis hoiustatud juhuslike

põhupakkide proovide tulemustes (tabelid 13 ja 14), mille biomass on 1. juulil 0,485 mg C/g KA\*24h ja hingamisaktiivsus 0,020 O<sub>2</sub>/g KA\*24h, 3. augustil on samad näitajad aga 0,281 C/g KA\*24h ja 0,036 O<sub>2</sub>/g KA\*24h. Sellest järeldub, et niiskus avaldab põhule negatiivset mõju ja kutsub esile aeroobsete mikroobide populatsioonis aktiivsuse suurenemise. Viimasena nimetatud olukorda seletab ilmselt see, et vahepeal saabusid kuumemad ilmad, pakid olid tõstetud maapinnast kõrgemale ning neis olev niiskus jõudis välja kuivada, mistõttu ka mikroobide elutegevus vähenes.



## KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti põhu niiskustehnilisi omadusi, käitumist uputuse olukorras ning mikroobikoosluse aktiivsust ja biomassi põhu niiskumisel-kuivamisel. Arvestades läbi viidud katseid ja saadud tulemusi on algselt püstitatud eesmärgid täidetud. Selleks viidi läbi erinevaid katseid. Esimene nendest hõlmas kahe samasuguse seinafragmendi ehitust, nende sisemise külje krohvimist Saviukumaja aluskrohviga ning välimise külje viimistlust välisvoodri ja tuulutatava õhkvahega. Mõlema katsekeha ümber ehitati OSB plaatidest siseruum, kuid vaid ühte nendest valati kolmeks tunniks vesi, et uurida imiteeritud uputuse mõjutusi katsekeha katval viimistluskihil ning selle all oleval põhul. Seinafragmentide ehituses kasutatava põhuga viidi läbi ka sorptsiooni ja lühiajalise veeimavuse katse mõistmaks põhu kui ehitusmaterjali niiskustehnilisi omadusi täpsemalt ning selle mõju mikroobikoosluse tekkele ja aktiivsusele. Katsetes järgiti standardeid ISO 12570:2000 (*Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature*) [58], EVS-EN ISO 12571:2013 (*Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties*) [57] ja EVS-EN ISO 29767:2019 (*Thermal insulating products for building applications – Determination of short-term water absorption by partial immersion*) [56].

Uputuse imiteerimise katse puhul valgus savikrohv kogu veega otseses kokkupuute ulatuses täielikult siseruumi põrandale maha. Selgus, et kolmetunnise uputamise ajal jäi märgumine seinas esialgu lokaalseks, avaldamata mõju õhuniiskusele 6 cm kõrgusel uputuspiirist. Hiljem, mõne päeva möödudes hakkas õhuniiskus siiski kasvama ja jõudis 80%-ni, mis on juba suurenenud hallitusohu tingimuseks. Siit järeldub, et uputuse korral tuleb kiiresti tegutseda ja konstruktsiooni võimalikult palju lahti võtta ning kuivatada. Mõlema seinafragmendi põhu niiskusele avaldas mõju ka krohvimine, sest on näha niiskuse sujuvat tõusu seinafragmendi sees krohvimiste perioodil, kus see tõusis 60% juurest 80% lähedusse. Mikrobioloogia uuringute jaoks proove võttes oli käega katsudes tunda ka seda, et kergkruus alumise vöö vahel ning ka põhu alumine osa olid niisked.

Sorptsioonandmete põhjal koostati sorptsioonikõver, mille andmete abil saab kirjeldada niiskustingimusi piirete sees, kus regulaarselt proove võtta polnud võimalik. Selgus, et kui õhuniiskus on 75%, siis jääb põhumaterjali niiskus vahemikku 7,8-8,5%, mis on oluliselt madalam kui soovituslik ülempiir. Materjali niiskus jõuab 15%, kui õhuniiskus on ligikaudu 80%. Lühiajalise veeimavuskatse andmete põhjal (süvistus vette ainult 10% katsekeha kõrgusest) on näha, et esimese 24 tunniga imas

põhk endasse vett rohkem kui oli põhu algne kaal. Ka väljakuivamine oli samuti esimese 24 tunni jooksul suurem, hilisem välja kuivamine oli aeglasem.

Mikrobioloogilised uuringud viidi läbi mikroobikoosluste biomassi (*SIR*) ja hingamisaktiivsuse (*BA*) mõõtmistega. Uuringud ei sisaldanud mikroorganismide perekondadeni määramist, sest antud olukorras oli eesmärgiks jälgida mikroobide biomassi ja hingamisaktiivsuse üldist muutumist põhu niiskumisel-kuivamisel. Tehtud uuringutest selgus, et uputatud katsekehast võetud proovide biomassi ja hingamisaktiivsuse näitajad olid suuremad kui kuivana seisnud seinafragmentidest võetud proovi puhul. Uputuse läbi teinud seinafragmenti põhu proovis oli biomass 0,642 mg C/g KA\*24h ja hingamisaktiivsus 0,259 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h, samal ajal oli kuivana seisnud seinafragmenti põhu proovis biomass 0,259 mg C/g KA\*24h ja hingamisaktiivsus 0,182 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h. Sama on märgata ka telgis seisnud juhuslikust põhupakist võetud proovidest, kus märgunud paki biomass oli 0,485 mg C/g KA\*24h ja hingamisaktiivsus 0,020 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h ning hiljem välja kuivanud olukorras oli biomass 0,281 mg C/g KA\*24h ja hingamisaktiivsus 0,036 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h. Sorptsiooni- ja veeimavuskatsetest võetud proovide biomassi ja hingamisaktiivsuse näitajad olid kokkuvõttes madalad: biomass oli ligikaudu 200 ja 400 mg C/g KA\*24h vahel ja hingamisaktiivsus 0,016 ja 0,123 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h vahel. Erinevust on näha aga sorptsioonikatsest nr 1 võetud proovis, mille näitajad olid teistest kõrgemad, biomass 0,310 mg C/g KA\*24h ja hingamisaktiivsus 0,795 mg O<sub>2</sub>/g KA\*24h. See võib olla põhjustatud juhuslikust saastuses või sellest, et proov sisaldas umbrohtu või mõnda muud kiiremini lagundatavat komponenti. Kokkuvõtvalt võib öelda, et niiskus põhjustab mikroorganismide biomassis ja hingamisaktiivsuse väärtustes märkimisväärse tõusu.

Põhk on vee ja niiskuse suhtes väga tundlik ning põhupakke ehituses kasutades tuleb hoolikalt jälgida nende kvaliteeti. Lühiajaline põhu niiskumine ei pruugi kaasa tuua ulatuslikke kahjustusi juhul, kui neil lastakse vabalt välja kuivada. Kui põhupakid on pika perioodi vältel seisnud niiskes või märjas keskkonnas, võib mikroobikoosluste aktiivsus olla suur ning hallituse teke tõenäoline. Suuremaid niiskuskahjustusi saanud põhupakke iseloomustavad sageli tumedad laigud, kopitanud lõhn või nähtavad hallitus.

Põhu kui ehitusmaterjali põhjalikumaks jälgimiseks ning edasisteks niiskustehniliste ja mikrobioloogiliste uuringute läbi viimiseks säilitatakse selle lõputöö raames ehitatud seinafragmentide katsekehad. Tulemustest selgus, et kui materjal saab vett või viibib liiga kõrge niiskusega keskkonnas, tõuseb mikrobioloogiline aktiivsus. Lõputöö raames

ehitatud katsekehade puhul tuleks uurida, kuidas mikrobioloogiline aktiivsus ja biomass muutub pikema aja möödudes, kui normaalsed tingimused on taastatud.

## SUMMARY

In this thesis the hygroscopic performance of straw and analysis of microbial activity and biomass during wetting-drying were studied. Various experiments were performed for this purpose. The first involved construction of two similar wall fragments, the plastering of their inner side with the base plaster manufactured by Saviukumaja and the finishing of the outer side with an outer lining and ventilated air gap. OSB walls were built around both specimens to imitate the indoor space. To demonstrate effects of simulated flooding water was poured only into one of the specimens and kept there for three hours. To get the better comprehension to the moisture-technical properties of straw as a building material and its effect on the formation and activity of microbial communities, then there was also performed a hygroscopic sorption properties and short-term water absorption by partial immersion with straw that were used in the construction of wall fragments. The following standards were followed in the experiments: ISO 12570:2000 (*Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature*) [58], EVS-EN ISO 12571:2013 (*Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties*) [57] ja EVS-EN ISO 29767:2019 (*Thermal insulating products for building applications – Determination of short-term water absorption by partial immersion*) [56].

During the flood simulation test, the clay plaster completely fell off from the area of indoor floor which were direct contact with water. After the three hour flood experiment the wetting in the wall initially remained, without affecting the humidity at a height of 6 cm from the immersion limit. The humidity began to rise and reached 80%, which is suitable level of mold growth. In the event of flood, action must be taken quickly and the structure must be dismantled and dried as much and as fast as possible. When sampling for microbiological studies, it was also felt by hand touch that the light gravel between the lower belt and also the lower part of the straw were moist.

Based on the sorption data, a sorption curve was constructed, which can be used to describe the humidity conditions within the limits where regular sampling was not possible. It was found that when the humidity is 75%, the humidity of the straw material is in the range of 7,8-8,5%, which is significantly lower than the recommended upper limit. The humidity of the material reaches 15% when the humidity is about 80%. Based on the data of the short-term water absorption test (only 10% of the height of the test piece was submerged), it can be seen that in the

first 24 hours the straw absorbed more water than the initial weight of the straw. Drying was also higher during the first 24 hours, later drying was slower.

Microbiological studies were performed with measurements of substrate induced respiration (SIR) and basal respiration (BA). The studies did not include the microscopical identification to genera as in this situation the aim was to monitor the general change in microbial biomass and respiratory activity during wetting and drying of straw. Studies showed that the biomass and respiration activity of the samples taken from the submerged test piece were higher than those of the sample taken from the dry wall fragment. The submerged wall fragment straw sample had a biomass of 0.642 mg C / g DW \* 24h and a respiration activity of 0.259 mg O<sub>2</sub> / g DW \* 24h, while the dry wall fragment straw sample had a biomass of 0.259 mg C / g DW \* 24h and a respiration activity of 0.182 O<sub>2</sub> / g DW \* 24h. The same can be seen from the samples taken from a random straw pack in the tent, where the biomass of the wetted pack was 0.485 C / g KA \* 24h and the respiratory activity 0.020 O<sub>2</sub> / g KA \* 24h, and in the later dried-out situation the biomass was 0.281 mg C / g KA \* 24h and the respiratory activity 0.036 0.020 O<sub>2</sub> / g KA \* 24h. The biomass and respiration activity of the samples taken from the sorption and water absorption tests were overall low: the biomass was between about 200 and 400 mg C / g KA \* 24h and the respiration activity between 0.016 and 0.123 mg O<sub>2</sub> / g KA \* 24h. However, the difference can be seen in the sample taken from sorption experiment No. 1, which had higher values, biomass 0.310 mg C / g KA \* 24h and respiration activity 0.795 mg O<sub>2</sub> / g KA \* 24h. This may be due to accidental contamination or the presence of weeds or other more rapidly degradable components in the sample. In summary, moisture causes a significant increase in the biomass and respiratory activity values of microorganisms.

Straw as organic material is very sensitive to water and moisture, and when using straw packs in construction, their quality must be carefully monitored. Short-term wetting of the straw may not cause extensive damage if allowed to dry freely. If straw bales have been standing in a humid or wet environment for a longer period of time, the activity of microbial community may rise and mold is likely to form. Straw bales with major moisture damage are often characterized by dark spots, musty odor or visible mold growth.

In order to monitor the straw as a building material more thoroughly and to carry out further moisture technical and microbiological studies, the test specimens of the wall fragments built within the framework of this dissertation will be preserved. The results showed that when the material receives water or is in an environment with too high humidity, the microbiological activity increases. For test specimens constructed as part

of the dissertation, it should be investigated how the microbiological activity and biomass change over time when normal conditions are restored.

## 6 KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Stroh, L. (2010). Ökoehitus – mis see on? Keskkonnatehnika, lk 21-23. Loetud aadressil <https://keskkonnatehnika.ee/okoehitus-mis-see-on/>.
- [2] Morrison, A. (2015). „Building permits for straw bale houses“. Loetud aadressil <https://www.strawbale.com/building-permits/#comments>.
- [3] Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537-1533.
- [4] Hodge, B. (2006). *Building your straw bale home: from foundations to the roof*. Collingwood, Australia: Landlinks Press. Loetud aadressil [https://books.google.ee/books/about/Building\\_Your\\_Straw\\_Bale\\_Home.html?id=nsGI5AfwBNMC&redir\\_esc=y](https://books.google.ee/books/about/Building_Your_Straw_Bale_Home.html?id=nsGI5AfwBNMC&redir_esc=y).
- [5] EstEst PR OÜ. (2020). Kui kiiresti saavutab mets raieküpsuse? Loetud aadressil: <https://eestimetsaost.ee/kui-kiiresti-saavutab-mets-raiek%C3%BCpsuse/>.
- [6] Minke, G., Mahlke F. (2005). *Building with straw: Design and technology of sustainable architecture*. Basel: Birkhäuser.
- [7] King, B. (2017). *The New Carbon Architecture: Building to Cool the Climate*. New Society Publishers. pp. 95-96. ISBN 978-1-77142-256-7. Retrieved January 1, 2019.
- [8] Constable, G, Somerville, B. (2003). *A Century of Innovation: Twenty Engineering Achievements That Transformed Our Lives*, Chapter 7, Agricultural Mechanization. Washington, DC: Joseph Henry Press. ISBN 0-309-08908-5.
- [9] Atkinson, C. (2010). *Why build with straw?* Nuffield Farming Scholarships Trust. A Yorkshire Agricultural Society Award.
- [10] Steen, A. S., Steen B., Bainbridge, D., Eisenberg, D. (1994). *The Straw Bale House*. Vermont, USA: Chelsea Green Publishing Company.
- [11] Natuurlijk thuis. (2016). *Bouwen met biobased materialen: het is nog nieuw en dus risicovol, toch?*. Loetud aadressil: [natuurlijk-thuis.nl/nl/Blog/details/9256](http://natuurlijk-thuis.nl/nl/Blog/details/9256).
- [12] ESBG. (2015). *Maison Feuillette*. Loetud aadressil: <http://esbg2015.eu/maison-feuillette/>.
- [13] Pere, R. (2008). *Looduslikud ehitusmaterjalid: Seinad, põrandad, katus ja siseviimistlus*. Tallinna Raamatutrükikoda: AS Ajakirjade Kirjastus.
- [14] King, B., Aschheim, M. (2007). *Design of straw bale buildings: the state of the art*. San Rafael, CA: Green Building Press.
- [15] Allikas K. (2015). Eestis ehitatud põhust elumajade ehituslikud lahendused ja omadused. *Characteristics and construction solutions of residential straw bale houses in Estonia. (Magistritöö)*. Eesti Maaülikool, Tartu, Eesti.
- [16] Vähi R. (2008). Põhumajad koguvad populaarsust. Loetud aadressil: <https://arileht.delfi.ee/news/uudised/pohumajad-koguvad-populaarsust?id=31690209>

- [17] Valner, R. Unite põhumajad: Põhu- ja roopakkidest majad põhjala kliimas. *Straw- and reedbale houses in northern climate*. <https://www.slideshare.net/kavalpagan/uni-te-majad>.
- [18] Kohler, V. (2007). Kas põhumajas tohib tikku tõmmata?. Loetud aadressil: <https://tarbija24.postimees.ee/1639901/kas-pohumajas-tohib-tikku-tommata>
- [19] Pajula M. (2014). *Põhumajas on mõnus olla*. Loetud aadressil <https://nipiraamat.ohtuleht.ee/733501/pohumajas-on-monus-olla>
- [20] Kirss, K. (2017). „Pere punus omale pesa Linnumetsa“. Loetud aadressil: <https://lood.delfi.ee/maakodu/kodu/pere-punus-omale-pesa-linumetsa?id=79778582>
- [21] Kiis K. (2016). *Põhust ja roost ehitamine Kolga ridaelamu näitel. Building with Straw and Reed by the Example of Terraced House in Kolga*. (Lõputöö). Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, Estonia. Loetud aadressil
- [22] Raidla, P. (2016). Roopakkidest tasakaalukodu. Loetud aadressil: <https://maaelu.postimees.ee/3587853/roopakkidest-tasakaalukodu>
- [23] Smith, R. (2004). „Humidity said key to harvesting hay“. Farm Progress. Loetud aadressil <https://www.farmprogress.com/humidity-said-key-harvesting-hay>
- [24] Hollys, M. (2005). *Practical Straw Bale Building*. Collingwood ,Australia: Landlinks Press.
- [25] Kuznetsova, A. (2010). *Straw use in Ukraine: opportunities and options*. Kyiv.
- [26] Jacques, K. *The case of Straw-Bale Houses: A sustainable building material wins favor on multiple fronts*. Fine Homebuilding. Loetud aadressil: <https://www.finehomebuilding.com/2018/10/10/houses-design-case-straw-bale-houses>
- [27] Hoxha, D., Ungureanu, V. N., Belayachi, N., Do, D. P., Thevard, J. B. (2012). Hydromechanical Properties of some Mortars Used in some Ecologic Construction Techniques. *Advanced Materials Research*, 587, 6–10.
- [28] Wall, K., Walker, P., Gross, C., White, C., Mander, T. (2012). Development and testing of a prototype straw bale house. *Construction Materials*, 165, 377-384.
- [29] ModCell. (2020). *Technical*. Loetud aadressil: <https://www.modcell.com/technical/>
- [30] Ecococon. (2020). *The Panel*. Loetud aadressil: <https://ecococon.eu/ee/the-panel>
- [31] Paille-Tech. (2020). „NOTRE CŒUR DE MÉTIER“. Loetud aadressil: <http://www.pailletech.be/notre-coeur-de-metier/>
- [32] Jonas, D. (1991). *Building a better castle from straw*. Loetud aadressil: <https://eap.mcgill.ca/MagRack/SF/Summer%2091%20C.htm>
- [33] Whitty, C. (2020). *Straw Bale Construction – Load Bearing vs. Post and Beam*. <http://pajaconstruction.com/straw-bale-construction-load-bearing-vs-post-and-beam/>



- [34] Pinterest. *Straw bale post and beam, via Build Naturally*. <https://co.pinterest.com/pin/294845106839617211/>
- [35] Säästvad ehituslahendused. (2019). *Walls of straw-bales*. Loetud aadressil: [ehituslahendused.ee/services/straw-bale-building](http://ehituslahendused.ee/services/straw-bale-building)
- [36] Nelissen.ee. (2020). Tooted. Loetud aadressil: <https://www.nelissen.ee/kivid-ja-plaadid/>
- [37] Weber. (2017). Fibo plokitooted. Loetud aadressil: <https://www.ee.weber/fibo-plokitooted-ja-korsten/fibo-plokitooted/tapp-liitega-fibo-standardplokk>
- [38] Penjam, K. (2019). LEED sertifikaat - märk vastutustundlikust ehitustegevusest. Loetud aadressil: <https://www.aripaev.ee/sisuturundus/2019/05/0B/leed-sertifikaat-mark-vastutustundlikust-ehitustegevusest>
- [39] Offen M. (2010). *Straw bale construction: assessing and minimizing embodied energy*. A thesis submitted to the School of Environmental Studies. Queen's University. Kingston, Ontario, Canada.
- [40] EVS-EN ISO 13788:2012. Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid. Eesti standardikeskus.
- [41] Hukka, A., Viitanen, H. A. (1999). Mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology*, 33(6), 475-485.
- [42] Vereecken, E., Roels, S. (2012). Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation. *Building and Environment*, 51, 296–310.
- [43] Moon, H.J. (2005). *Assessing mold risk in buildings uncertainty*. PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- [44] Pasanen, A.-L., Pasanen, J.-P., Rautiala, S., Ikäheimo, M., Rantamäki, J., Kääriäinen, H., Kalliokoski, P. (2000). Fungal growth and survival in building materials under fluctuating moisture and temperature conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46(2), 117–127.
- [45] Arundel, A. V., Sterling, E. M., Biggin, J. H., Sterling, T. D. (1986). Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental Health Perspectives*, 65, 351-6361.
- [46] Johansson, P., A. Ekstrand-Tobin, T. Svensson., G. Bok. (2012). Laboratory Study to Determine the Critical Moisture Level for Mould Growth on Building Materials. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 73, 23–32.
- [47] Summers, M.D., Blunk S.L., Jenkins B.M. (2003). How Straw Decomposes, aadressil: [https://www.ecobuildnetwork.org/images/straw\\_bale\\_papers/How\\_Straw\\_Decomposes\\_Summers\\_et\\_al\\_2003.pdf](https://www.ecobuildnetwork.org/images/straw_bale_papers/How_Straw_Decomposes_Summers_et_al_2003.pdf)

- [48] Lõiveke, H., Ilumäe, E., Akk, E. (2008). Teravilja mikrobioloogiast ja ohutusest. *Agraarteadus*, XIX, 2, 38-45.
- [49] Raamets, J., Kutti, S., Ruus, A., Ivask, M. (2017). Assessment of indoor air in Estonian straw bale and reed houses. *WIT Transactions of Ecology and the Environment*, 211, 193–196.
- [50] Singh, J. (2000). Allergic reactions: occupational hygiene. *Health and Safety*, 14–16.
- [51] Milutienė, E., Staniškis, J. K., Kručius, A. (2012). Increase in buildings sustainability by using renewable materials and energy. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(6), 1075–1084.
- [52] Küünal, S. (2014). Hõbenanoosakeste antibakteriaalsete ja seenevastaste omaduste rakendatavus põhuehituses. *Silver nanoparticles applicability in straw bale construction as antibacterial and antifungal agent*. (Magistritöö). Tartu kolledž, Tartu, Eesti. Loetud aadressil: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/3fb019de-18af-4c4e-8379-0868ea5dc0ff>.
- [53] Siseministri määrus. „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“. Vastu võetud 30.03.2017. Jõustumine 07.04.2017. Loetud aadressil [riigiteataja.ee/akt/104042017014?leiaKehtiv](http://riigiteataja.ee/akt/104042017014?leiaKehtiv)
- [54] Equilibre. (2015). Koolitused. Loetud aadressil: <http://www.equilibre.ee/wordpress/loodusehitus/koolitused/>
- [55] Saviukumaja. (2020). Kodu. Loetud aadressil: <https://uku.eu/>
- [56] EVS-EN ISO 29767:2019. *Thermal insulating products for building applications – Determination of short-term water absorption by partial immersion*. Eesti standardikeskus.
- [57] EVS-EN ISO 12571:2013. *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties*. Eesti Standardikeskus.
- [58] ISO 12570:2000. *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature*. International Organization for Standardization.
- [59] Reuschenbach, P., Pagga, U., Strotmann, U. (2003). A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. *Water Research*. 37, 1571–1582.
- [60] O'Malley, L.P. (2006). Evaluation and modification of the oecd 301f respirometry biodegradation test method with regard to test substance concentration and inoculum. *Water, Air, and Soil Pollution*. 177, 251–265.
- [61] Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. Margesin, R. (1996). Soil Respiration by titration. *Methods in soil biology*. Springer-Verlag, Berlin

## LISAD

### Lisa 1. Veeimavuskatsete algandmed, vee imamise kaaluandmed 24 tunni vältel ja vee välja kuivamise kaaluandmed esimese 24 tunni vältel

ALGANDMED							
Katsekeha nr	Korvi kaal (g)	Korvi + põhu kaal (g)	Korvi + põhu + naelte kaal (g)	Põhu kaal (g)	Anuma ruumala (m <sup>3</sup> )	Põhu tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	korv+naelad
I	208,545	414,389	593,576	205,844	0,0036	57,179	387,732
II	207,679	416,674	595,410	208,995	0,0036	58,054	386,415
III	206,823	422,122	601,679	215,299	0,0036	59,805	386,38
IV	208,335	456,326	635,372	247,991	0,0036	68,886	387,381
V	208,82	430,395	609,366	221,575	0,0036	61,549	387,791
						Keskmine põhu tihedus:	61,095

VEE IMAMINE					
Korvi + põhu + naelte kaal (g) 29.06.20					
Katsekeha nr	13.00	15.00	17.00	19.00	21.00
I		708,08	726,91	747,19	761,38
II		718,47	727,36	750,88	759,52
III		721,29	748,84	760,21	776,80
IV		813,50	848,18	870,31	893,60
V		731,75	754,13	779,80	778,90

VEE VÄLJA KUIVAMINE					
Korvi + põhu + naelte kaal (g) 30.06.20					
Katsekeha nr	13.00	15.00	17.00	19.00	21.00
I	816,25	803,26	788,44	775,41	764,47
II	815,73	802,1	792,09	783,69	777,33
III	823,18	802,66	789,19	758,9	772,81
IV	945,9	929,68	908,54	889,52	876,33
V	836,26	816,35	803,75	792,85	785,25

## Lisa 2. Veeimavuskatsete vee välja kuivamise kaaluandmed järgnevate ööpäevade vältel

VEE VÄLJA KUIVAMINE									
Korvi + põhu + naelte kaal (g) - KAALUTUD IGA PÄEV KELL 13.00									
Katsekeha nr	01. juuli	02. juuli	03. juuli	04. juuli	05. juuli	06. juuli	07. juuli	08. juuli	09. juuli
I	704,01	664,52	637,86	620,80	610,04	602,1	595,65	594,72	591,84
II	726,82	681,23	649,64	628,59	615,00	605,46	597,59	594,27	593,52
III	725,13	682,49	655,28	635,31	611,74	593,80	584,27	582,46	593,82
IV	802,97	757,38	725,02	703,06	686,55	673,00	659,56	648,56	641,65
V	731,09	688,74	659,30	640,57	628,31	619,01	611,75	608,35	607,43

VEE VÄLJA KUIVAMINE								
Korvi + põhu + naelte kaal (g) - KAALUTUD IGA PÄEV KELL 13.00								
Katsekeha nr	10. juuli	11. juuli	12. juuli	13. juuli	14. juuli	15. juuli	16. juuli	17. juuli
I	591,56	592,2	591,26	591,24	590,71	590,47	590,86	590,09
II	593,30	594,62	593,20	593,17	592,61	592,41	592,77	592,02
III	597,28	600,13	596,05	595,64	598,32	596,46	595,88	597,39
IV	636,39	635,21	633,16	632,74	631,82	631,36	631,60	630,94
V	607,14	608,08	606,90	606,99	606,35	606,15	606,44	605,80

### Lisa 3. Veeimavuskatsete põhu kaal koos imatud vee kaaluga (leht 1)

PÕHK KOOS IMATUD VEEGA										
Kuupäev	29.juuni					30.juuni				
Kellaaeg	13	15	17	19	21	13	15	17	19	21
Tunnid (h)	0	2	4	6	8	24	26	28	30	32
I	205,844	320,348	339,178	359,458	373,648	428,518	415,528	400,708	387,678	376,738
II	208,995	332,055	340,945	364,465	373,105	429,315	415,685	405,675	397,275	390,915
III	215,299	334,91	362,46	373,83	390,42	436,8	416,28	402,81	372,52	386,43
IV	247,991	426,119	460,799	482,929	506,219	558,519	542,299	521,159	502,139	488,949
V	221,575	343,959	366,339	392,009	391,109	448,469	428,559	415,959	405,059	397,459
<b>Keskmine:</b>	<b>219,9408</b>									

PÕHK KOOS IMATUD VEEGA										
Kuupäev	01.juuli	02.juuli	03.juuli	04.juuli	05.juuli	06.juuli	07.juuli	08.juuli	09.juuli	
Kellaaeg	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
Tunnid (h)	48	72	96	120	144	168	192	216	240	
I	316,278	276,788	250,128	233,068	222,308	214,368	207,918	206,988	204,108	
II	340,405	294,815	263,225	242,175	228,585	219,045	211,175	207,855	207,105	
III	338,75	296,11	268,9	248,93	225,36	207,42	197,89	196,08	207,44	
IV	415,589	369,999	337,639	315,679	299,169	285,619	272,179	261,179	254,269	
V	343,299	300,949	271,509	252,779	240,519	231,219	223,959	220,559	219,639	

#### Lisa 4. Veeimavuskatsete põhu kaal koos imatud vee kaaluga (leht 2)

	PÕHK KOOS IMATUD VEEGA							
Kuupäev	10.juuli	11.juuli	12.juuli	13.juuli	14.juuli	15.juuli	16.juuli	17.juuli
Kellaaeg	13	13	13	13	13	13	13	13
Tunnid (h)	264	288	312	336	360	384	408	432
<b>I</b>	203,828	204,468	203,528	203,508	202,978	202,738	203,128	202,358
<b>II</b>	206,885	208,205	206,785	206,755	206,195	205,995	206,355	205,605
<b>III</b>	210,9	213,75	209,67	209,26	211,94	210,08	209,5	211,01
<b>IV</b>	249,009	247,829	245,779	245,359	244,439	243,979	244,219	243,559
<b>V</b>	219,349	220,289	219,109	219,199	218,559	218,359	218,649	218,009

## Lisa 5. Veeimavuskatsete põhus sisalduva vee kaal (leht 1)

AINULT VESI										
Kuupäev	29.juuni					30.juuni				
Kellaaeg	13	15	17	19	21	13	15	17	19	21
Tunnid (h)	0	2	4	6	8	24	26	28	30	32
I	0	114,504	133,334	153,614	167,804	222,674	209,684	194,864	181,834	170,894
II	0	123,06	131,95	155,47	164,11	220,32	206,69	196,68	188,28	181,92
III	0	119,611	147,161	158,531	175,121	221,501	200,981	187,511	157,221	171,131
IV	0	178,128	212,808	234,938	258,228	310,528	294,308	273,168	254,148	240,958
V	0	122,384	144,764	170,434	169,534	226,894	206,984	194,384	183,484	175,884
					Keskmine:	240,3834			Keskmine:	

AINULT VESI										
Kuupäev	01.juuli	02.juuli	03.juuli	04.juuli	05.juuli	06.juuli	07.juuli	08.juuli	09.juuli	
Kellaaeg	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
Tunnid (h)	48	72	96	120	144	168	192	216	240	
I	110,434	70,944	44,284	27,224	16,464	8,524	2,074	1,144	-1,736	
II	131,41	85,82	54,23	33,18	19,59	10,05	2,18	-1,14	-1,89	
III	123,451	80,811	53,601	33,631	10,061	-7,879	-17,409	-19,219	-7,859	
IV	167,598	122,008	89,648	67,688	51,178	37,628	24,188	13,188	6,278	
V	121,724	79,374	49,934	31,204	18,944	9,644	2,384	-1,016	-1,936	
Keskmine:	130,9234									

## Lisa 6. Veeimavuskatsete põhus sisalduva vee kaal (leht 2)

	AINULT VESI							
Kuupäev	10.juuli	11.juuli	12.juuli	13.juuli	14.juuli	15.juuli	16.juuli	17.juuli
Kellaaeg	13	13	13	13	13	13	13	13
Tunnid (h)	264	288	312	336	360	384	408	432
<b>I</b>	-2,016	-1,376	-2,316	-2,336	-2,866	-3,106	-2,716	-3,486
<b>II</b>	-2,11	-0,79	-2,21	-2,24	-2,8	-3	-2,64	-3,39
<b>III</b>	-4,399	-1,549	-5,629	-6,039	-3,359	-5,219	-5,799	-4,289
<b>IV</b>	1,018	-0,162	-2,212	-2,632	-3,552	-4,012	-3,772	-4,432
<b>V</b>	-2,226	-1,286	-2,466	-2,376	-3,016	-3,216	-2,926	-3,566



## Lisa 7. Sorptsioonikatsete algandmed ning kuivatuskapis olnud perioodi kaaluandmed

KUIVATUSKAPIS					
Kuupäev		25.juuni	26.juuni	29.juuni	
Kellaaeg		14	13	11	14
Möödunud tunnid (h)		0	23	93	96
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)			
I	108,97	130,115	129,526	129,511	129,502
II	108,827	146,332	145,093	145,061	144,974
III	107,489	146,949	145,561	145,606	145,525
IV	116,7	159,816	158,483	158,306	158,277
V	105,415	142,505	141,192	141,185	141,195

MATERJALI MASS (g)					
I		21,145	20,556	20,541	20,532
II		37,505	36,266	36,234	36,147
III		39,46	38,072	38,117	38,036
IV		43,116	41,783	41,606	41,577
V		37,09	35,777	35,77	35,78

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL				
	0,1% massist (g)	vahe, g		
I	0,0211	-0,589	-0,015	-0,009
II	0,0375	-1,239	-0,032	-0,087
III	0,0395	-1,388	0,045	-0,081
IV	0,0431	-1,333	-0,177	-0,029
V	0,0371	-1,313	-0,007	0,01

## Lisa 8. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 30% juures

KLIIMAKAMBRIS 23°C ja 30% RH						
Kuupäev		29.juuni	30.juuni	01.juuli	02.juuli	03.juuli
Kellaeg		14	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	23	47	71	95
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)				
I	108,97	129,502	129,736	129,752	129,756	129,733
II	108,827	144,974	145,584	145,578	145,58	145,596
III	107,489	145,525	146,014	146,089	146,035	146,08
IV	116,7	158,277	158,942	158,908	158,962	158,92
V	105,415	141,195	141,686	141,655	141,682	141,665

MATERJALI MASS (g)					
I	20,532	20,766	20,782	20,786	20,763
II	36,147	36,757	36,751	36,753	36,769
III	38,036	38,525	38,6	38,546	38,591
IV	41,577	42,242	42,208	42,262	42,220
V	35,78	36,271	36,24	36,267	36,250

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL					
	0,1% massist (g)	vahe, g			
I	0,0205	0,234	0,016	0,004	-0,023
II	0,0361	0,61	-0,006	0,002	0,016
III	0,0380	0,489	0,075	-0,054	0,045
IV	0,0416	0,665	-0,034	0,054	-0,042
V	0,0358	0,491	-0,031	0,027	-0,017

## Lisa 9. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 50% juures

KLIIMAKAMBRIS 23°C ja 50% RH						
Kuupäev		03.juuli	04.juuli	05.juuli	06.juuli	07.juuli
Kellaeg		13	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	24	48	72	96
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)				
I	108,97	129,733	130,244	130,258	130,235	130,237
II	108,827	145,596	146,414	146,454	146,426	146,432
III	107,489	146,08	146,979	147,000	146,994	146,993
IV	116,7	158,92	159,887	159,946	159,914	159,909
V	105,415	141,665	142,548	142,569	142,544	142,551

MATERJALI MASS (g)					
I	20,763	21,274	21,288	21,265	21,267
II	36,769	37,587	37,627	37,599	37,605
III	38,591	39,49	39,511	39,505	39,504
IV	42,22	43,187	43,246	43,214	43,209
V	36,25	37,133	37,154	37,129	37,136

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL					
	0,1% massist (g)	vahe, g			
I	0,0208	0,511	0,014	-0,023	0,002
II	0,0368	0,818	0,04	-0,028	0,006
III	0,0386	0,899	0,021	-0,006	-0,001
IV	0,0422	0,967	0,059	-0,032	-0,005
V	0,0363	0,883	0,021	-0,025	0,007

## Lisa 10. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 75% juures

KLIIMAKAMBRIS 23°C ja 75% RH						
Kuupäev		07.juuli	08.juuli	09.juuli	10.juuli	11.juuli
Kellaeg		13	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	24	48	72	96
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)				
I	108,97	130,237	131,005	131,112	131,127	131,106
II	108,827	146,432	147,982	148,009	148,041	148,058
III	107,489	146,993	148,629	148,670	148,773	148,700
IV	116,7	159,909	161,675	161,751	161,767	161,790
V	105,415	142,551	144,206	144,177	144,166	144,221

MATERJALI MASS (g)					
I	21,267	22,035	22,142	22,157	22,136
II	37,605	39,155	39,182	39,214	39,231
III	39,504	41,14	41,181	41,284	41,211
IV	43,209	44,975	45,051	45,067	45,09
V	37,136	38,791	38,762	38,751	38,806

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL					
	0,1% massist (g)	vahe, g			
I	0,0213	0,768	0,107	0,015	-0,021
II	0,0376	1,55	0,027	0,032	0,017
III	0,0395	1,636	0,041	0,103	-0,073
IV	0,0432	1,766	0,076	0,016	0,023
V	0,0371	1,655	-0,029	-0,011	0,055

## Lisa 11. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 95% juures

KLIIMAKAMBRIS 23°C ja 95% RH							
Kuupäev		11.juuli	12.juuli	13.juuli	14.juuli	15.juuli	16.juuli
Kellaeg		13	13	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	24	48	72	96	120
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)					
<b>I</b>	108,97	131,106	133,647	133,567	133,589	133,549	133,613
<b>II</b>	108,827	148,058	151,996	152,265	152,281	152,270	152,302
<b>III</b>	107,489	148,700	153,360	153,393	153,544	153,396	153,448
<b>IV</b>	116,7	161,790	166,910	166,834	166,916	166,655	166,985
<b>V</b>	105,415	144,221	148,340	148,440	148,432	148,476	148,116

MATERJALI MASS (g)						
<b>I</b>	22,136	24,677	24,597	24,619	24,579	24,643
<b>II</b>	39,231	43,169	43,438	43,454	43,443	43,475
<b>III</b>	41,211	45,871	45,904	46,055	45,907	45,959
<b>IV</b>	45,09	50,21	50,134	50,216	49,955	50,285
<b>V</b>	38,806	42,925	43,025	43,017	43,061	42,701

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL						
	0,1% massist (g)	vahe, g				
<b>I</b>	0,0221	2,5410	-0,0800	0,0220	-0,04	0,064
<b>II</b>	0,0392	3,9380	0,2690	0,0160	-0,011	0,032
<b>III</b>	0,0412	4,6600	0,0330	0,1510	-0,148	0,052
<b>IV</b>	0,0451	5,1200	-0,0760	0,0820	-0,261	0,33
<b>V</b>	0,0388	4,1190	0,1000	-0,0080	0,0440	-0,3600

## Lisa 12. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 75% juures (desorptsioon)

KLIIMAKAMBRIS 23°C ja 75% RH						
Kuupäev		16.juuli	17.juuli	18.juuli	19.juuli	20.juuli
Kellaeg		13	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	24	48	72	96
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)				
I	108,97	133,613	131,527	131,530	131,547	131,543
II	108,827	152,302	148,925	148,903	148,902	148,888
III	107,489	153,448	149,653	149,561	149,478	149,526
IV	116,7	166,985	162,401	162,246	162,250	162,239
V	105,415	148,116	144,737	144,654	144,680	144,644

MATERJALI MASS (g)						
I		24,643	22,557	22,56	22,577	22,573
II		43,475	40,098	40,076	40,075	40,061
III		45,959	42,164	42,072	41,989	42,037
IV		50,285	45,701	45,546	45,55	45,539
V		42,701	39,322	39,239	39,265	39,229

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL					
	0,1% massist (g)	vahe, g			
I	0,0246	-2,0860	0,0030	0,0170	-0,004
II	0,0435	-3,3770	-0,0220	-0,0010	-0,014
III	0,0460	-3,7950	-0,0920	-0,0830	0,048
IV	0,0503	-4,5840	-0,1550	0,0040	-0,011
V	0,0427	-3,3790	-0,0830	0,0260	-0,0360

## Lisa 13. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kliimakapis 50% juures (desorptsioon)

KLIIMAKAMBRIS 23°C ja 50% RH						
Kuupäev		20.juuli	21.juuli	22.juuli	23.juuli	24.juuli
Kellaeg		13	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	24	48	72	96
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)				
<b>I</b>	108,97	131,543	130,638	130,557	130,477	130,492
<b>II</b>	108,827	148,888	147,016	146,903	146,209	146,68
<b>III</b>	107,489	149,526	147,574	147,530	147,475	147,470
<b>IV</b>	116,7	162,239	160,207	159,943	159,872	159,882
<b>V</b>	105,415	144,644	142,868	142,789	142,694	142,711

MATERJALI MASS (g)						
<b>I</b>		22,573	21,668	21,587	21,507	21,522
<b>II</b>		40,061	38,189	38,076	37,382	37,853
<b>III</b>		42,037	40,085	40,041	39,986	39,981
<b>IV</b>		45,539	43,507	43,243	43,172	43,182
<b>V</b>		39,229	37,453	37,374	37,279	37,296

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL						
	0,1% massist (g)	vahe, g				
<b>I</b>	0,0226	-0,9050	-0,0810	-0,0800	0,015	
<b>II</b>	0,0401	-1,8720	-0,1130	-0,6940	0,471	
<b>III</b>	0,0420	-1,9520	-0,0440	-0,0550	-0,005	
<b>IV</b>	0,0455	-2,0320	-0,2640	-0,0710	0,01	
<b>V</b>	0,0392	-1,7760	-0,0790	-0,0950	0,0170	

## Lisa 14. Sorptsioonikatsete kaaluandmed 30% juures (desorptsioon)

KLIIMAKAMBRIS 23°C ja 30% RH						
Kuupäev		24.juuli	25.juuli	26.juuli	27.juuli	28.juuli
Kellaeg		13	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	24	48	72	96
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)				
I	108,97	130,492	129,997	129,960	129,982	130,061
II	108,827	146,68	145,890	145,842	145,839	145,896
III	107,489	147,470	146,381	146,330	146,325	146,310
IV	116,7	159,882	158,782	158,720	158,686	158,690
V	105,415	142,711	141,777	141,731	141,731	141,772

MATERJALI MASS (g)						
I		21,522	21,027	20,99	21,012	21,091
II		37,853	37,063	37,015	37,012	37,069
III		39,981	38,892	38,841	38,836	38,821
IV		43,182	42,082	42,02	41,986	41,99
V		37,296	36,362	36,316	36,316	36,357

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL					
	0,1% massist (g)	vahe, g			
I	0,0215	-0,4950	-0,0370	0,0220	0,079
II	0,0379	-0,7900	-0,0480	-0,0030	0,0570
III	0,0400	-1,0890	-0,0510	-0,0050	-0,015
IV	0,0432	-1,1000	-0,0620	-0,0340	0,004
V	0,0373	-0,9340	-0,0460	0,0000	0,0410



## Lisa 15. Sorptsioonikatsete kaaluandmed kuivatuskapis olnud perioodi vältel (katse lõpp)

KUIVATUSKAPIS 40°C								
Kuupäev		28.juuli	29.juuli	30.juuli	31.juuli	01.aug	02.aug	03.aug
Kellaeg		13	13	13	13	13	13	13
Möödunud tunnid (h)		0	24	48	72	96	96	96
	Kopsikute mass (g)	Kopsikute + materjali mass (g)						
I	108,97	130,061	129,626	129,495	129,652	129,606	129,598	129,580
II	108,827	145,896	145,147	144,891	144,889	144,800	144,763	144,810
III	107,489	146,310	145,652	145,428	145,423	145,332	145,268	145,331
IV	116,7	158,690	157,839	157,564	157,548	157,470	157,416	157,468
V	105,415	141,772	141,032	140,754	140,590	140,512	140,468	140,534

MATERJALI MASS (g)								
I	21,091	20,656	20,525	20,682	20,636	20,628	20,610	
II	37,069	36,32	36,064	36,062	35,973	35,936	35,983	
III	38,821	38,163	37,939	37,934	37,843	37,779	37,842	
IV	41,99	41,139	40,864	40,848	40,77	40,716	40,768	
V	36,357	35,617	35,339	35,175	35,097	35,053	35,119	

KAALUDE ERINEVUSE KONTROLL								
	0,1% massist (g)	vahe, g						
I	0,0211	-0,4350	-0,1310	0,1570	-0,046	-0,008	-0,018	
II	0,0371	-0,7490	-0,2560	-0,0020	-0,0890	-0,0370	0,0470	
III	0,0388	-0,6580	-0,2240	-0,0050	-0,091	-0,064	0,063	
IV	0,0420	-0,8510	-0,2750	-0,0160	-0,078	-0,054	0,052	
V	0,0364	-0,7400	-0,2780	-0,1640	-0,0780	-0,0440	0,0660	

## Lisa 16. Vee massi ja põhu niiskuse arvutustabelid sorptsioonigraafiku jaoks

		Vee mass (g)																	
Möödunud tunnid (h)	96	119	143	167	191	215	239	263	287	311	335	359	383	407	431	455	479	503	
	0%	30%				50%				75%				95%					
<b>I</b>	0	0,234	0,25	0,254	0,231	0,742	0,756	0,733	0,735	1,503	1,61	1,625	1,604	4,145	4,065	4,087	4,047	4,111	
<b>II</b>	0	0,61	0,604	0,606	0,622	1,44	1,48	1,452	1,458	3,008	3,035	3,067	3,084	7,022	7,291	7,307	7,296	7,328	
<b>III</b>	0	0,489	0,564	0,51	0,555	1,454	1,475	1,469	1,468	3,104	3,145	3,248	3,175	7,835	7,868	8,019	7,871	7,923	
<b>IV</b>	0	0,665	0,631	0,685	0,643	1,61	1,669	1,637	1,632	3,398	3,474	3,49	3,513	8,633	8,557	8,639	8,378	8,708	
<b>V</b>	0	0,491	0,46	0,487	0,47	1,353	1,374	1,349	1,356	3,011	2,982	2,971	3,026	7,145	7,245	7,237	7,281	6,921	

		Niiskus (%)																	
Möödunud tunnid (h)	96	119	143	167	191	215	239	263	287	311	335	359	383	407	431	455	479	503	
	0%	30%				50%				75%				95%					
<b>I</b>	0	1,140	1,218	1,237	1,125	3,614	3,682	3,570	3,580	7,320	7,841	7,914	7,812	20,188	19,798	19,906	19,711	20,022	
<b>II</b>	0	1,688	1,671	1,676	1,721	3,984	4,094	4,017	4,034	8,322	8,396	8,485	8,532	19,426	20,170	20,215	20,184	20,273	
<b>III</b>	0	1,286	1,483	1,341	1,459	3,823	3,878	3,862	3,860	8,161	8,268	8,539	8,347	20,599	20,686	21,083	20,694	20,830	
<b>IV</b>	0	1,599	1,518	1,648	1,547	3,872	4,014	3,937	3,925	8,173	8,356	8,394	8,449	20,764	20,581	20,778	20,151	20,944	
<b>V</b>	0	1,372	1,286	1,361	1,314	3,781	3,840	3,770	3,790	8,415	8,334	8,304	8,457	19,969	20,249	20,226	20,349	19,343	

## Lisa 17. Vee massi ja põhu niiskuse arvutustabelid desorptsioonigraafiku jaoks

Möödunud tunnid (h)	Vee mass (g)																		
	503	527	551	575	599	623	647	671	695	719	743	767	791	815	839	863	887	911	935
	95%	75%				50%				30%				Kuivatuskapis 40°C					
I	4,111	2,025	2,028	2,045	2,041	1,136	1,055	0,975	0,99	0,495	0,458	0,48	0,559	0,124	-0,007	0,15	0,104	0,096	0,078
II	7,328	3,951	3,929	3,928	3,914	2,042	1,929	1,235	1,706	0,916	0,868	0,865	0,922	0,173	-0,083	-0,085	-0,174	-0,211	-0,164
III	7,923	4,128	4,036	3,953	4,001	2,049	2,005	1,95	1,945	0,856	0,805	0,8	0,785	0,127	-0,097	-0,102	-0,193	-0,257	-0,194
IV	8,708	4,124	3,969	3,973	3,962	1,93	1,666	1,595	1,605	0,505	0,443	0,409	0,413	-0,438	-0,713	-0,729	-0,807	-0,861	-0,809
V	6,921	3,542	3,459	3,485	3,449	1,673	1,594	1,499	1,516	0,582	0,536	0,536	0,577	-0,163	-0,441	-0,605	-0,683	-0,727	-0,661

Möödunud tunnid (h)	Niiskus (%)																		
	503	527	551	575	599	623	647	671	695	719	743	767	791	815	839	863	887	911	935
	95%	75%				50%				30%				Kuivatuskapis 40°C					
I	20,022	9,863	9,877	9,960	9,941	5,533	5,138	4,749	4,822	2,411	2,231	2,338	2,723	0,604	-0,034	0,731	0,507	0,468	0,380
II	20,273	10,930	10,870	10,867	10,828	5,649	5,337	3,417	4,720	2,534	2,401	2,393	2,551	0,479	-0,230	-0,235	-0,481	-0,584	-0,454
III	20,830	10,853	10,611	10,393	10,519	5,387	5,271	5,127	5,114	2,250	2,116	2,103	2,064	0,334	-0,255	-0,268	-0,507	-0,676	-0,510
IV	20,944	9,919	9,546	9,556	9,529	4,642	4,007	3,836	3,860	1,215	1,065	0,984	0,993	-1,053	-1,715	-1,753	-1,941	-2,071	-1,946
V	19,343	9,899	9,667	9,740	9,639	4,676	4,455	4,189	4,237	1,627	1,498	1,498	1,613	-0,456	-1,233	-1,691	-1,909	-2,032	-1,847

