



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Tartu kolledž

PABERKROHVI NIISKUSTEHNILISTE
OMADUSTE MÄÄRAMINE: SORPTSIOON,
VEEAURU LÄBILASKVUS NING
NIISKUSPUHVERDUS-VÕIME

DETERMINATION OF HYGROTHERMAL PERFORMANCE OF PAPER
CLAY: SORPTION, WATER VAPOUR PERMEABILITY AND
MOISTURE BUFFERING

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Maia-Liisa Teearu

Üliõpilaskood: 122435EAEI

Juhendaja: dotsent Aime Ruus

Tartu 2018

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.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Tartu kolledž
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Maia- Liisa Teearu, 122435EAEI
Õppekava, peeriala: EAEI02/12 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine
Juhendaja(d): dotsent, Aime Ruus, 620 4805

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Paberkrohvi niiskustehniliste omaduste määramine: sorptsioon, veeauru läbilaskvus ning niiskusepuhverdus-võime

(inglise keeles) Determination of hygrothermal performance of paper clay: sorption, water vapour permeability and moisture buffering

Lõputöö põhieesmärgid:

1. määrata erinevate paberkrohvide sorptsioon
2. määrata erinevate paberkrohvide veeauru läbilaskvus
3. määrata erinevate paberkrohvide niiskusepuhverdus-võime

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Erialase kirjandusega tutvumine ja uuringu planeerimine	10.11.17
2.	Materjali hankimine, proovikehade valmistamine	12.12.17
3.	Veeauru puhverdusvõime katse läbiviimine ning andmete analüüs	14.02.18
4.	Sorptsiooni ja desorptsiooni katse läbiviimine ning andmete analüüs	05.05.18
5.	Veeauru läbivuse määramiseks katse läbiviimine ning andmete analüüs	28.05.18

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** “28”mai 2018a

Üliõpilane: Maia-Liisa Teearu “.....”.....201....a
/allkiri/

Juhendaja: Aime Ruus “.....”.....201....a
/allkiri

Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

SISUKORD	4
SISSEJUHATUS	6
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	7
1.1 Paberi ajalugu ja ümbertöötlemine	7
1.1.1 Paber	7
1.1.2 Paberi taaskasutus ja ümbertöötlemine	9
1.2 Paber ja tselluloos ehitusmaterjalina	10
1.2.1 Puitkiudvill ehk tselluvill	10
1.2.2 Ajaleht isolatsioonimaterjalina	10
1.2.3 Paber ja papp tihendusmaterjalina	11
1.2.4 Papp-plaadid	12
1.2.5 Paberkrohv	12
1.3 Veeauru sorptsioon, materjalide tasakaaluniiskus	14
1.3.1 Vesi ja niiskus.....	16
1.3.2 Õhuniiskus	17
1.3.3 Niiskus materjalis	21
1.3.4 Materjalide veeaurujuhtivus	24
1.3.5 Niiskusallikad	26
1.3.6 Ehitusniiskus.....	27
1.3.7 Niiskuskahjustused tarindites	28
1.4 <i>Moisture buffering</i> ja selle mõju ruumis.....	31
2 TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	36
3 MATERJAL JA METOODIKA.....	37
3.1 Proovikehade valmistamine.....	37
3.2 Katsetes kasutatud seadmed	40
3.3 Veeauru sorptsioon (standardi järgi)	41
3.4 <i>Moisture buffering</i> (NORDTEST meetodi järgi)	42
3.5 Veeaurujuhtivus (standardi järgi)	43
4 TULEMUSED	46
4.1 Veeauru sorptsioon	46
4.2 <i>Moisture buffering</i>	57
4.3 Veeauru läbilaskvus.....	59

5 ARUTELU	64
5.1 Veeauru sorptsioon	64
5.2 Moisture buffering	65
5.3 Veeaurujuhtivus.....	66
5.4 Ehitusniiskus. Materjalide tuletundlikkus ja konstruktsioonide tulepüsivus.....	67
KOKKUVÕTE	69
SUMMARY	70
KASUTATUD KIRJANDUS	71
LISAD	75

SISSEJUHATUS

Eesti kliimas veedab inimene ligikaudu 90% oma ajast siseruumides, mistõttu on oluline, et hoone sisekliima oleks ruumisviibijale sobilik. Temperatuuri kõrval on üks tähtsamaid kliimategureid ka õhu niiskus.

Ehitusmaterjalide arenguga on hoonete välispiirded muutunud järjest õhutihedamaks, kuid sellega on rikutud loomulik õhuvahetus. Renoveerimine ja lisasoojustamine toob endaga kaasa kalli ventilatsioonisüsteemi vajaduse, mistõttu on õhuniiskuse kontrollimiseks populaarsust kogumas ka passiivsed alternatiivid. Inim- ja keskkonnasõbralike lahendusena liigutakse aina enam looduslike ehitus- ja viimistlusmaterjalide poole.

Paber on üks suurematest majapidamisjäätmete liikidest moodustades Euroopas keskmiselt 35% kogu olmejäätmetest. Paberkrohv on looduslähedane ning säästlik ehitusmaterjal, sest seda valmistatakse olemasolevatest paberijääkidest. Krohv avaldab mõju sisekliima niiskuslikule reguleerimisele, olles hügrokoopne materjal.

Käesolev töö käsitleb paberkrohvi niiskustehniliste omaduste määramist ruumi õhuniiskuse reguleerijana.

Töö teoreetilises osas on antud ülevaade paberi ajaloost ning kasutusest ehitusmaterjalina, paberkrohvist, ning niiskusest ja selle mõjust. Praktilises osas on uuritud paberkrohvi kui ehitusmaterjali hügrokoopseid omadusi.

Eeskujuna on kasutatud varasemalt koostatud TTÜ Tartu kolledži magistritöid savikrohvide sorptsiooni ning veeauru läbilaskvuse kohta (Vares, 2012; Altmäe, 2017; Soosaar, 2017). Lisaks eeltoodule on käesolevas töös uurimisobjektiks ka krohvi niiskuspuhverdus-võime uurimine.

Antud uurimistöö on tellitud TTÜ Tartu kolledži õppejõu Nele Nuti poolt.

Töö autor tänab juhendaja Aime Ruusi kannatlikkuse ja nõuannete eest ning abi eest katsete teostamisel.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Paberi ajalugu ja ümbertöötlemine

1.1.1 Paber

Kaasaegne paber pärineb aastast 105. pKr Hiinast, kus selle leiutas Tsai Lun. Põhilisteks pabermassi koostisosadeks olid tol ajal mooruspuu lehed ning kohalikud taimed, vahel ka kaltsud (Butler, 1901; Fotijev, 1948).

Puukoorest eraldati kiulised osad, mis kivist uhmrus peenestati. Saadud mass segati veega läbi, keedeti ning nõrutati sõelal, mille järel asetati pabermass vildile, kus pressiti üleliigne vesi välja ning jäeti õhu kätte kuivama. Saadi poognad, mis kuivamise järel siluti ning lõigati soovitud mõõtmetesse (Butler, 1901; Fotijev, 1948).

Selline paberivalmistamise meetoodika levis üsna aeglaselt: 3. sajandil Koreasse ning 7. sajandil Jaapanisse. Araablased õppisid paberivalmistamist peale Hiina naabermaade alade vallutamist hiina sõjavangidelt. 9. sajandi lõpuks osati paberit valmistada Damaskuses ning Bagdadis ning 10. sajandil Egiptuses, kus see 11. sajandiks seni peamiselt kasutatud papüüruse välja tõrjus (Butler, 1901; Fotijev, 1948).

Egiptuses kasutati pabermaterjali valmistamiseks lubjapiimaga töödeldud kanepist köisi ning linaseid kaltse, mis pabermassiks peenestati (Fotijev, 1948). Euroopasse jõudis paber Vahemere kallastel asuvate riikide kaudu, alustades Hispaaniast, mis peale 7. sajandi vallutusi araablaste kontrolli alla kuulus. 12. sajandil oli paberitehnoloogia juba kõrgelt arenenud ning seda osati valmisatada juba ka Itaalias ja Prantsusmaal. 14 sajandil jõudis tehnoloogia Saksamaale ning sajand hiljem Inglismaale (Butler, 1901; Fotijev, 1948).

15. sajandini valmistati paberit käsitööna, kuni see asendus langeva vee jõu abil töötavate mehhanismidega ning manufaktuuridega. Käsiuhmer asendus mehaanilise peenendamisseadmetega, kus puust või kivist künasse langesid ülevalt tambid. Tambid pani tööle vesiratas, mistõttu kutsuti paberitööstusi ka “paberiveskiteks”. 16. sajandil jõudsid taolised veskid Ukrainasse, Leetu ja Valgevenesse. Samal ajal jõudis paber ka Vene aladele, kuid tööstusena hakkas see arenema alles ligi 2 sajandit hiljem (Butler, 1901; Fotijev, 1948).

Olulisi tehnoloogilisi uuendusi tõid 17. sajandil paberivalmistamisse hollandlased, kui loodi kiudainete jahvatamiseks teradega keerlev trummel – tehnoloogia (massi-hollender), mida kasutatakse oluliste muudatusteta tänapäevani. Hollandist välja jõudis tehnoloogia alles järgmisel sajandil ning surus seni kasutatud peenestamisküna välja (Fotijev, 1948).

18. sajandi lõpus tõusis paberivajadus oluliselt, kuid puudus kvalifitseeritud tööjõud. Selle valguses patenteeris prantslane Louis Robert mehhanismi, millega valmistati paber kangast. See mehhanism on tänapäeva paberimasinate eeskujuks. Kahe võlli vahele paigaldati vaskõelast lint, millele juhiti veega lahjendatud paberimass. Suurem vesi nõrgus välja liikuval lindil, mis viis massi kahe valtsi vahele. Seal pressiti välja liigne vesi ning tekkinud paber kangas suunati edasi kuivamisele. Massiliseks muutusid paberimasinad 19. sajandi 30...40. aastatel, mil hakkasid tekkima esimesed suured paberitööstused (Fotijev, 1948).

Samal perioodil hakati paberi liimistamiseks kasutama vaiku otse pabermassis. Seni liimistati paber lehtedena tärklise või loomse liimiga. Sellised arengud paberi valmistamise tehnoloogias ning mehhanismides soodustasid oluliselt paberitööstuse arengut (Fotijev, 1948).

Suure pabermaterjali nõudluse kasvuga tekkis vajadus seni kasutatud kaltsude vähese kättesaadavuse tõttu leida uusi, alternatiivseid kiudaineid. Papi ning kollase pakkimispaberi tootmiseks hakati kasutama ka õlgi. 1844. aastal jõuti meetodini, millega paberiks kasutatav kiud saadi puidu hõõrumisel pöörleval liivakivil. Saadud meetod muutus kiiresti populaarseks, kuid saadud kiudude rabedamate omaduste tõttu vajab see segamist tugevamate kiududega (Fotijev, 1948).

Puumassile järgnesid erinevad tselluloosi tootmise meetodid, millega toodeti õlg- ehk naatriumtselluloosi (Burgess 1853.a.), sulfittselluloosi (Tilghman 1867.a., Ekman 1874.a., Mitscherlich ja Kellner 1878.a.) ning sulfaatselluloosi (Dahl 1884.a.), mis võimaldasid 20. sajandi alguseks oluliselt tõsta paberitööstuse mastaape (Fotijev, 1948).

ÜRO Toidu ja Põllumajanduse organisatsiooni andmetel toodeti 2016. aasta seisuga maailmas umbes 409 milj. tonni paberi- ja papitooteid aastas, mis on võrreldes 2000 aastaga 26% rohkem. Lisaks valmistati taaskasutatud paberit 230 milj tonni, mis on 60% rohkem kui 2000 aastal (ÜRO statistika A).

Tänapäeva olulisemad pabertoodete tootjad maailmas on Hiina (108 milj t), USA (72 milj. t), Jaapan (26 milj. t) ja Saksamaa (26 milj. t). Olulised paberitootjad on ka Soome ja Rootsi ligikaudu 10 milj. t toodanguga (ÜRO statistika B).

1.1.2 Paberi taaskasutus ja ümbertöötlemine

Vastavalt Eurostati andmetele tekkis Eestis 2016. aastal inimese kohta olmejäätmeid 376 kg, mis on Euroopa keskmisest (482 kg) madalam. Suurim kogus olmejäätmeid inimese kohta Euroopas tekitati Taanis (777 kg) ning Norras (754 kg). Väikseim kogus olmejäätmeid inimese kohta toodeti Kosovos (222 kg) ning Rumeenias (261 kg) (Eurostat).

Keskkonnaministeeriumi 2013. aasta statistika järgi on Eesti segaolmejäätmetes keskmiselt 13,5% pabri- ja papijäätmeid. Suurem on kogus kontoripiirkondades (nt Tallinna kesklinn 18,3%). Võrreldes 2008. aastal tehtud uuringutega on paberi osakaal segaolmejäätmetest langenud 4% (Keskkonnaministeerium).

Paberi- ning kartongijäätmeid tekkis Eestis 2016. aastal 36 224 tonni, millest eksproditi 26 350 tonni ning taaskasutati 1394 tonni (Keskkonnaagentuur). Euroopas tekkinud olmeprügist moodustab pabermaterjal koos paberpakenditega keskmiselt 35%, kontorites 80...90%. (Virtanen et al., 1993).

Variante paberi ümbertöötlemiseks ja taaskasutamiseks on mitmeid. Järgnevalt on välja toodud mõned võimalused makulatuurile uue elu andmiseks.

Uue paberi tootmine

Aastast 1981 on Rápina paberivabrikus toodetud makulatuurpappi ning paberit. See on Eesti ainus ettevõte, mis tegeleb vanapaberi taaskasutusega, sellest uut paberit tootes. Ümbertöötlemiseks purustatakse vanapaber spetsiaalse purustajaga. Saadud massile lisatakse vesi. Massist eemaldatakse võõrkehad, mis paberi tootmiseks ei sobi. Selleks võivad olla teibid, klambrid jm. Vajadusel segatakse massi hulka värvaineid, kriiti, liimi, tärklisi. Segu lahjendatakse 0.8...1.5% paberkiu sisaldusega massiks ning sellest hakatakse valmistama paberkangast. Edasine töötlemine toimub analoogselt uue paberi valmistamisega (Rápina paberivabrik).

Kuna paberi valmistamisel toimub alati tselluloosikiu lühenemine, on võimalik ühte paberit ümber töödelda kuni 6...10 korda. Igal ümbertöötlemisel on aga vajalik lisada uusi kiude paberi tugevuse säilimiseks (Aciu et al., 2014).

Tselluvilla tootmine

Paberi ümbertöötlemisel on võimalik valmistada ka tselluvilla. Eesti firma Werrowool OÜ toodetud tselluvillas on kuni 90% täitematerjalist valmistatud purustatud vanapaberist. Firma toodetud tselluvill vastab põlemistestide tulemuse andmetel D-s2, d0 tulekindlusele (Werro Wool).

Paberbetoon

USAs toodetakse vanapaberist ja portlandtsemendist komposiitmaterjali Papercrete. Materjal sisaldab vastavalt konkreetsele tootele 50...80% ulatuses vanapaberit. Kodulehe andmetel on tegu materjaliga, mille soojustakistus on olenevalt segu tihedusest 2...3 m²K/W (Livinginpaper).

Kipskiudplaat

1971. aastast toodab Fermacell kipskiudplaate, mis sisaldavad kipsi ja vanapaberit. Vanapaberimassile lisatakse kips ning segatakse ühtlaseks seguks, lisatakse vesi ning pressitakse kõrsurve all stabiilseks ehitusplaadiks. Valminud plaat on A2 tuletundlikusega, niiskuskindel, heliisoleeriv jäikus- ning kandetarindi plaat (Terve maja).

1.2 Paber ja tselluloos ehitusmaterjalina

1.2.1 Puitkiudvill ehk tselluvill

Puitkiudvill ehk tselluvill (kirjanduses ka tsellvill) on isolatsioonimaterjal, mis põhineb tselluloosil, paberil või puitkiul. Üldjuhul kasutatakse tootmiseks vanu ajalehti. Mittesüttivaks muutmiseks lisatakse tselluvilla valmistamisel boori mineraale, boorhapet või booraksit. Villas sisalduv boor hoiab ka bioloogiliste kahjustuste ning kahjurite eest. Esialgu paigaldati tselluvilla kuivalt puhutuna, hiljem ka märjalt pritsituna. Tegemist on hingava materjaliga, mistõttu sobib see tarinditesse, kus puudub plastist aurutõke. Tselluvill sisaldab niiskust veeauruna ning ka kiududes veena, mis ei kondenseeru pinnale, mistõttu ei tekita see külmasilda (Kaila V, 1999).

1.2.2 Ajaleht isolatsioonimaterjalina

Isolatsioonimaterjalina on kasutatud ka paksu kihina makulatuuri, mida lisaks seinale laotati ka pööningule saepuru peale. 1949. aasta käsiraamatute andmetel on ajalehekihi λ -teguriks sõltuvalt pressitusest 0,053 W/mK...0,059 W/mK, mis seab selle soojustuse poolest

saepuru (0,08 W/mK...0,12 W/mK) (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012) ning isolatsioonivilla (0,032 W/mK...0,040 W/mK) vahele (Isover). Pakkematerjaliks toodetud pruunist jõupaberi ribadest massi seinte isolatsiooni λ -teguriks on 0,066 W/mK ning tihedus 30 kg/m³ (Kaila V, 1999).

1.2.3 Paber ja papp tihendusmaterjalina

Tihenduspaberit on kirjanduses mainitud juba 19. sajandi keskpaigas, kus lehtedena kaltsupaberit (pappi) soovitati kanda seina pinnale. Samal sajandil hakati valmistama tihendamiseks ka õlgpappi, mille ribad naelutati rõhtsuunas nii, et vuugid sätititi palgi keskele. Olulist tähelepanu pöörati nurkadele ning akna- ning uste perimeetritele. Tänapäeval kasutatakse endiselt tihendamiseks pappi ning nurkade jaoks on eraldi tehases toodetavaid nurgatükke. Sarnaselt paberile on ka papp auru läbilaskev (Kaila V, 1999).

19. sajandi alguses hakati ehituspappi ja -paberit rullmaterjalina tootma. Lagede katmiseks kasutati õhukest ehituspaberit ning seinte tasandamiseks tugevamat ehituspappi. Palkhoonete paisumise ja kahanemise tõttu ei paigaldatud pappi seintele otse liimides, vaid kasutati papinaelu. Laes kattis ehituspaber üleliigsed lekkekohad, mis lubas seni kasutatud pressitud saepuru asemel kasutada soojustuseks ka hõövlilaastu. Laastplaadi turule tulemisega kaotas papp populaarsuse (Kaila V, 1999).

Ehituspapist arendati 1,5 mm paksune sulfaattselluloosist materjal, mida nimetati papptapeediks. Rulli laius oli esmakordselt kuni 3,2 m. Tapeedid olid eelnevalt värvitud, kuid esines ka variante, mis kaeti õlivärvi või värnitsaga. See muutis tapeedi niiskuskindlaks. Papptapeete sobis kasutada köökides, esikutes jm puhast pinda vajavates ruumides nende kerge puhastatavuse ja hoolduse tõttu (Kaila V, 1999).

18. sajandi lõpus hakati katuste ning seinte tihendamiseks kasutama puutõrvaga töödeldud kaltsupappi ehk algset tõrvapappi. Skandinaavias hakati seda rullmaterjalina tootma 1862. aastal Rootsis ning 1878. aastal Soomes. Papi valmistamiseks kasutati villaseid kaltse, millele lisati koitõrjeks lupja. Sein tihendati laudise alt tõrvapapiga, mis kaitses seda temperatuuri kõikumiste, tuuletõmbe, niiskuse ning bioloogiliste kahjurite eest. 20. sajandi lõpus kasutati tõrvamiseks ka kivisöe tõrva (Kaila V, 1999).

Mõnikümmend aastat tagasi kasutatati majades tuuletõkkena bituumeniga töödeldud paberit, kuid kuna tegemist on nõrgalt veeauru läbilaskva tootega, siis tuli jälgida, et sisemine

isolatsioon oleks välimisest viis korda suurem, mistõttu sobis sisemiseks isolatsiooniks näiteks plastkile (Kaila V, 1999).

1.2.4 Papp-plaadid

Enne poorse kiudplaadi levikut üritati paksu pappi isoleerivaks muuta papikihtide kokkuliimimisel. 20. sajandi alguses turule tulles oli jäik kartong populaarsuselt teisel kohal olev ehitusplaat vineeri järel. Selleks kleebiti papid kokku 6 mm paksuseks, tootes 1400 · 3000 mm mõõtmetega nn Ensopappi. Toodeti ka 10 mm paksuseid plaate, mis pakkusid lisaks parematele isolatsiooniomadustele ka suuremat jäikust (Kaila V, 1999).

20. sajandi alguses hakati valmistama esialgu pakendites kasutatud taarapappi ja lainepappi. Nende põhjal töötati välja ehitusplaadid, mis säilitasid lainepapi tugevuse ning õhulisuse. Kolme jäiga taarapapi vahele lisati kaks kihti lainepappi, millega saadi 10 mm paksune isolatsiooniplaat (Kaila V, 1999).

1.2.5 Paberikrohv

Paberikrohv võeti algselt kasutusele selle soojapidavuse ja müra summutavate omaduste tõttu ning tegemist on hingava viimistlusmeetodiga. Lisaks headele ehitusfüüsikalistele omadustele on valmistamisprotsess lihtne ning sellega on võimalik luua omapäraseid disainilahendusi (Pere, 2008; Priilinn, 2007). Paberikrohvi on sobilik kasutada köetavates siseruumides, tegemist on vastupidava ning dekoratiivseid võimalusi pakkuva viimistlusmaterjaliga. Siiski kardab paberikrohv niiskust, mistõttu ei sobi materjal kasutamiseks niisketes ja külmades ruumides (Metslang, 2012).

Ühest retsepti paberikrohvi komponentide vahekorrale pole ning täitematerjaliks kasutataval vanapaberil ei ole piiranguid – selleks võib kasutada vanu ajalehti, reklaamlehti, munareste, pappkaste jms. Struktuursema tulemuse saamiseks kasutatakse paksemat paberit. Paksem materjal vajab pikemat leotamist, mistõttu tuleb see eelmisel päeval ligunema jätta (Metslang, 2012). Krohvisegule võib lisada ka erinevaid liivaineid. (Priilinn, 2007). Lisaks paberile võib krohvis kasutada ka tselluvilla, millele lisatakse booraksit ja boorhapet, mis muudab viimistlusmaterjali tulekindlamaks ning biokahjustuste suhtes vastupidavamaks. Paberikrohvi koostisainete tõttu ei ole tegemist tulekindla materjaliga, mistõttu ei sobi see sarnaselt tapeedile ahjude ja kaminade vahetusse lähedusse. Küttekehade läheduses tuleb krohv asendada tulekindlama lahenduse vastu, näiteks tavaline tsementkrohv (Pere, 2008).

Suuremate krohvitööde eel tasub katse-eksituse meetodil väiksemaid testpindasid katta ning luua sobiv retsept. Leotatud paber muljutakse ning rebitakse käsitsi väikesteks tükkideks. Üleöö vettinud paberist saadud mass kurnatakse ning lisatakse metüülselluloosi (tapeediliim) ning soovi korral krohvi heledamaks muutmiseks kriiti mille järel sõtkutakse segu korralikult läbi (Metslang, 2012). Tapeediliimi võib asendada ka saviga (Pere, 2008). Lühiajalise seismise järel on mört krohvimistöodeks valmis, vajadusel võib töö käigus komponentide osakaale muuta. Toonimiseks lisatakse massile pigmente kuid sobib ka hilisem kuivanud pinna värvimine. Paberkrohvi omaduste säilitamiseks tasub see katta looduslike värvidega või pinnakattevahenditega (sh kohupiimavärv, tempera, õllelasuur, linaõlivärv, õli või vaha) (Metslang, 2012). Orienteeruvalt kulub ruutmeetri katmiseks 1 cm paksuse kihina 1,5...2,0 kg pabermassi, 200 g metüülselluloosi ning 10 liitrit vett (Reiljan, 2016).

Pigmentidega toonimisel peab pigmendi maht jääma alla 10% mahust (Metslang, 2012). Pigment lisatakse enne liimainet anumasse koos paberiga ligunema, et paber paremini värvuks. Kuivades muutub krohv heledamaks. Väiksemat kogus on võimalik valmistada käsitsi, suuremate mahtude puhul võib kasutada, sarnaselt teiste krohvide valmistamisele, segumasinat (Pere, 2008).

Vastavalt vajadusele muudetakse mördi koostisainete osakaale, mille abil on võimalik toota kergesti voolitav mass, mis sobib krohvis või palkides olevate pragude täitmiseks. Mört sobib ka reljeefsete dekoratiivsete elementide valmistamiseks (Metslang, 2012). Samuti võib sellesse suruda erinevaid dekoratiivseid elemente kividest teokarpideni (Reiljan, 2016). Kui soovitakse hiljem lihtsalt puhastatavat või pestavat pinda, on otstarbekas krohvitud sein hiljem kergelt õlitada (Pere, 2008).

Krohvi on kerge paigaldada igasugusele pinnale ning see ei nõua aluspinna eeltöötlust (Metslang, 2012). Siiski võib parema nakkuvuse tarbeks aluspinna katta metüülselluloosi sisaldava liimiga (Priilinn, 2007). Puitseinte krohvimisel on hea pragude vältimiseks kasutada hõredat roomatti või armatuuri (Reiljan, 2016). Sileda pinna puhul kasutatakse ka traati, mis kruvidega olemasolevasse seinasse kinnitatakse (Pere, 2008).

Mörtil võib seinale kanda traditsiooniliste krohvimistöõriistadega, kuid võib pinnale kanda ka käsitsi. Paigaldatud krohv kuivab kaua (Metslang, 2012). Vastavalt soovitud krohvikihile krohvitakse ühes või mitmes kihis ning kihi kuivamiseks kulub umbes nädal (Reiljan, 2016).

Paigaldades paksema krohvikihi või mitu kihti, toimib krohv ka soojustusmaterjalina (Pere, 2008).

Paberkrohvi täitematerjali tootmisega tegeleb Eestis OÜ Infokaitse, mis pakub Eesti asutustelt ja ettevõtetelt kogutud ja tööstuslikult purustatud vanapaberimassi (Infokaitsekeskusteemid). Joonistelt 1.1 ja 1.2 on näha paberkrohviga viimistletud seinu.



Joonised 1.1...1.2. Paberkrohvitud seinad (Nele Nutt, erakogu)

1.3 Veeauru sorptsioon, materjalide tasakaaluniiskus

TTÜ Tartu kolledžis on varasemalt koostatud magistritöid savikrohvide (Altmäe, 2016; Soosaar, 2017; Vares, 2012) ning lubikrohvide (Puustusmaa, 2016) sorptsiooni ning veeauru läbilaskvuse kohta.

Varasemalt uuritud savikrohvi sorptsiooni katsete tulemused on toodud tabelis 1.1. Kasutatud on erinevatest savimaardlatest pärinevaid savidest valmistatud Saviukumaja savikrohvi katsekehi. Lisaks on uuritud ühe suurtootja kaubanduses kättesaadavat toodet (grupp IX), mis erineb oluliselt oma käitumiselt käsitsi valmistatud savikrohvidest, mistõttu on selle tulemused eraldi sulgudes välja toodud. Tabelitest on näha, et savikrohvi niiskuse lisandumine adsorptsioonil vahemikus $RH = 0...30\%$ jääb vahemikku $RH = 71,9...301,1 \text{ g/m}^2$ (välja arvatud eelpool mainitud grupp IX, millel $9,4 \text{ g/m}^2$). Adsorptsioonil vahemikus $RH = 30...50\%$ jääb niiskuse lisandumine vahemikku $45,3...164,8 \text{ g/m}^2$ ($8,1 \text{ g/m}^2$) ning vahemikus $RH = 50...80\%$ vahemikku $110,7...298,9 \text{ g/m}^2$ ($24,1 \text{ g/m}^2$). Desorptsiooni käigus eraldub keskkonnas $RH = 80...50\%$ savikrohvist niiskust $116,2...228,4 \text{ g/m}^2$ ($24,2 \text{ g/m}^2$) ning vahemikus $50...30\%$ eraldub $53,3 \text{ g/m}^2$ ($13,7 \text{ g/m}^2$) (Vares, 2012; Altmäe, 2017). Nähtub, et sama nimetuse alt võib leida väga erineva omadusega tooteid.

Tabel 1.1. Savikrohvi niiskuse muutus adsorptsioonil ja desorptsioonil (g/m^2)

	Niiskuse muutus					
	Adsorptsioon			Desorptsioon		
	RH 0...30%	RH 30...50%	RH 50...80%	RH 80...50%	RH 50...30%	
	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2	
I	71,9	45,3	110,7	116,2	53,3	Altmäe, 2017
II	114,2	63,1	146,7	128,4	71,3	Altmäe, 2017
III	283,7	147,8	250,8	209,6	148,2	Altmäe, 2017
IV	82,1	69,5	187,3	154,0	78,0	Altmäe, 2017
V	89,7	55,7	145,6	135,8	65,1	Altmäe, 2017
VI	301,1	164,8	279,0	228,4	165,1	Altmäe, 2017
VII	269,6	164,1	298,9	213,8	161,6	Altmäe, 2017
VIII	108,1	61,7	166,1	143,4	73,7	Vares, 2012
IX	9,4	8,1	24,1	24,2	13,7	Altmäe, 2017
Min	71,9	45,3	110,7	116,2	53,3	
Max	301,1	164,8	298,9	228,4	165,1	

Tabelis 1.2 on esitatud varasemalt uuritud savikrohvide taskaaluniiskused. Erinevate savikrohvide puhul jäävad niiskumised $\text{RH} = 30\%$ juures vahemikku $71,9\text{...}301,1 \text{ g/m}^2$ ($9,4 \text{ g/m}^2$), $\text{RH} = 50\%$ juures $117,2\text{...}465,9 \text{ g/m}^2$ ($41,6 \text{ g/m}^2$). Katsetes suurima suhtelise õhuniiskusega keskkonnas $\text{RH} = 80\%$ jäi savikrohvi niiskus vahemikku $227,9\text{...}744,9 \text{ g/m}^2$ ($41,6 \text{ g/m}^2$). Kuivamise käigus on tasakaaluniiskused keskkonnas $\text{RH} = 50\%$ vahemikus $111,7\text{...}516 \text{ g/m}^2$ ($17,4 \text{ g/m}^2$) ning keskkonnas $\text{RH} = 30\%$ vahemikus $58,3\text{...}357,2 \text{ g/m}^2$ ($3,7 \text{ g/m}^2$).

Tabel 1.2. Savikrohvi niiskus erinevate RH keskkondades (g/m^2)

	Niiskuse sisaldus					
	30%	50%	80%	50%	30%	
	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2	
I	71,9	117,2	227,9	111,7	58,4	Altmäe, 2017
II	114,2	177,3	324,0	195,6	124,3	Altmäe, 2017
III	283,7	431,5	682,3	472,7	324,5	Altmäe, 2017
IV	82,1	151,6	338,9	184,9	106,9	Altmäe, 2017
V	89,7	145,4	291,0	155,2	90,1	Altmäe, 2017
VI	301,1	465,9	744,9	516,5	351,4	Altmäe, 2017
VII	269,6	433,7	732,6	518,8	357,2	Altmäe, 2017
VIII	108,1	169,8	335,9	192,5	118,8	Vares, 2012
IX	9,4	17,5	41,6	17,4	3,7	Altmäe, 2017
Min	71,9	117,2	227,9	111,7	58,4	
Max	301,1	465,9	744,9	518,8	357,2	

Savikrohvi veeauru läbilaskvuse arvutustes on jõutud järeldusele, et aurutakistus S_d jääb vahemikku 0,07...0,12m (tabel 1.3) ning difusioonitakistuskonstant μ vahemikku 2,7...5,3. (Altmäe, 2017; Vares, 2012). Kips-, lubi- ning tsementkrohvi puhul on $\mu=6...10$; puidul sõltuvalt tihedusest $\mu=20...200$, puitlaastplaadil $\mu=20...50$ (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012).

Tabel 1.3. Savikrohvi veeauru läbilaskvuse aurutakistus ning difusioonikonstant

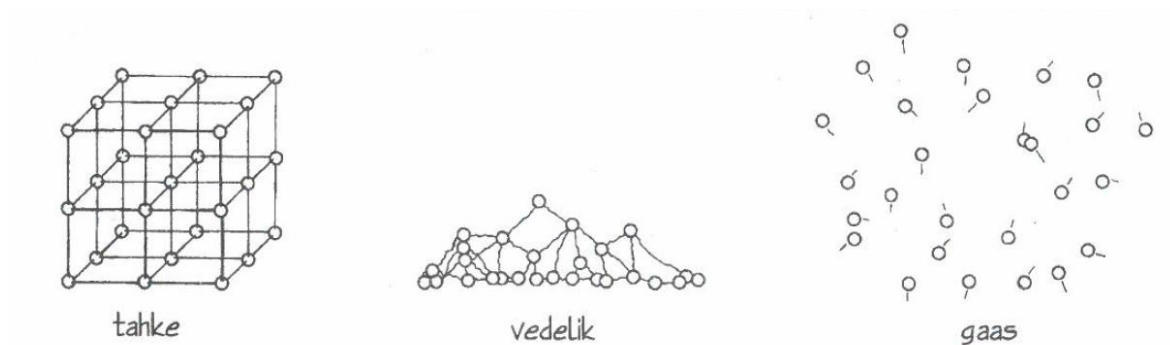
	Aurutakistus	Difusioonitakistus- konstant	Vahe lahuse ning katsekeha vahel	
	S_d	μ		
	m	-	mm	
I	0,10	4,2	50	Altmäe, 2017
II	0,11	4,1	50	Altmäe, 2017
III	0,07	2,7	50	Altmäe, 2017
IV	0,12	4,7	50	Altmäe, 2017
V	0,12	4,6	50	Altmäe, 2017
VI	0,08	3,3	50	Altmäe, 2017
VII	0,08	3,2	50	Altmäe, 2017
VIII	0,12	5,3	20	Vares, 2012
IX	0,12	4,7	50	Altmäe, 2017
Min	0,07	2,70		
Max	0,12	5,30		

Uuritud on ka erinevate katete mõju krohvidele (Vares, 2012; Soosaar, 2017). Sõltuvalt katematerjalist on mõju väga erinev alustades peaaegu olematust mõjust kuni mitmekordseni. Näiteks sorptsioonil vahemikus $RH = 50...80\%$ esimesel tunnil adsorbeerisid linaõli, munaõlitempera ning tihedama akrüülvärviga kaetud kehad veeauru $4 \text{ g/m}^2\text{h}$ ja kaseiinvärvi, pabertapeedi, vähem tiheda akrüülvärvi ning ilma katteta kehad $10...12 \text{ g/m}^2$ (Soosaar, 2017). Siit nähtub, et panustades materjalide sorptsioonivõimele tuleb kindlasti teada, ka, millist katet on plaanis kasutada.

1.3.1 Vesi ja niiskus

Sarnaselt kõikide ainetega, võib vesi esineda tahkelt (jääd), vedelalt (vesi) ning gaasilisena (veeaur). Tahkes olekus seovad molekulid jäigad sidemed, mis võivad kuju muutuseta vibreerida. Soojuse lisandudes muutuvad sidemed elastseks ning aine muutub vedelikuks. Lisasoojusega suureneb ka molekulide hoog, sidemed katkevad ning molekulid eralduvad teineteisest gaasiks ja liiguvad vabalt (joonis 1.3) (Kaila I, 1999). Temperatuuri tõustes

tõuseb ka veemolekulide liikumisenergia ning seda enam eraldub õhku veemolekule (Stroh, 2005).



Joonis 1.3. Vee struktuur (Kaila 1, 1999)

Lisaks temperatuurile aurustub vesi ka muudel põhjustel. Veenõus toimub vedelikus pidev molekulide liikumine. Vedeliku pinnalt toimub aurustumine, kus molekulid eralduvad gaasina õhku (desorptsioon). Samaaegselt muutuvad gaasimolekulid uuesti vedelaks (adsorptsioon). Kuivas õhus toimub desorptsioon aktiivsemalt kuni vee aurustumiseni (Kaila I, 1999).

Tahkes olekus on vesi jääkade sidemete tõttu tekkiva struktuuri tõttu kergem kui vedelas olekus. Jäätudes suureneb vee ruumala 9% (Stroh, 2005). Lisaks jäätumisele toimub aine tahkumine ka kristalliseerumise teel, kus tavatemperatuuril seob aine endaga tahket vett (nt kipsi kõvenemine). Vesi on ainuke aine, mis võib esineda looduslikult kolmes olekus (Kaila I, 1999).

1.3.2 Õhuniiskus

Keskmisest külmema kliimaga riikides veedavad inimesed ca 90% ööpäevast sisetingimustes, seega on hoone sisekliima oluline parameeter inimeste heaolul. Heaolu sõltub õhutemperatuurist, õhu liikumisest, niiskusest, kiirgustest ümbritsevatest objektidest ning õhu saasteosakeste hulgast ruumis (Minke, 2006).

Kuigi inimesed tunnevad kohe, kui õhutemperatuur on liiga madal või kõrge, siis liigniiskus või vähene õhuniiskus ei ole nii hästi tajutav. Õhu niiskus kinnises ruumis võib olulisel määral avaldada mõju inimeste tervistele (Minke, 2006).

Meid ümbritsev õhk sisaldab niiskust, mida on võimalik näha udu, kaste, lume või vihmana. Samas sisaldab õhk niiskust ka veeauruna, mida näha pole võimalik ning mõõteriistadeta

raske määrata (Masso, 2012; Stroh, 2005). Inimene tajub suhtelist niiskust naha, limaskestast ning hingamisorganite teel. (Seppänen et al., 1998).

Uuringud on näidanud (Grandjean, 1972; Becker, 1986), et pikaajaline suhteline õhuniiskus alla 40% võib kuivatada limaskesti, mis vähendab vastupanuvõimet külmetusele ja sellega seotud haigustele (Minke, 2006). Eriti mõjutatud on hingamisteede allergiat põdevad inimesed. Lisaks suurendab see ka staatilise elektri hulka ning paberi- ja tekstiilkiudude eraldumist ning õhu tolmutumist (Seppänen et al., 1998).

Õhuniiskusel kuni 70% võib olla mitmeid positiivseid omadusi. See vähendab õhus olevate peenete tolmuosakeste arvu, aktiveerib naha kaitsemehhanismid mikroobide vastu, vähendab mitmete bakterite ja viiruste elu ning vähendab lõhna ja staatilist laengut ruumis olevatel esemetel (Minke, 2006).

Õhuniiskusel üle 70% tundub õhk ebameeldiv, kuna väheneb sissehingamisel verre jõudva hapniku hulk. Samuti suurevad külmal temperatuuril reumast tingitud vaegused. Lisaks kasvab märgatavalt seente spooride areng, mis võib viia tõsiste allergiliste reaktsioonide või astmani (Minke, 2006).

Kõrge suhteline niiskus põhjustab mõnede materjalide (nt puitlaastplaat) puhul saasteainete õhku eraldamise hulka (Seppänen et al., 1998). Nendest vaatlustest saab järeldada, et suhteline õhuniiskus ruumis peaks jääma 25...45% vahemikku (Seppänen et al., 1998). Samas arvatakse ka, et optimaalne vahemik on hoopiski 40...70% (Minke, 2006).

Täpsemalt on niiskusest tulenevad kahjustused ning nende levikuks soodsad keskkonnad toodud välja käesoleva töö punktis 1.3.7.

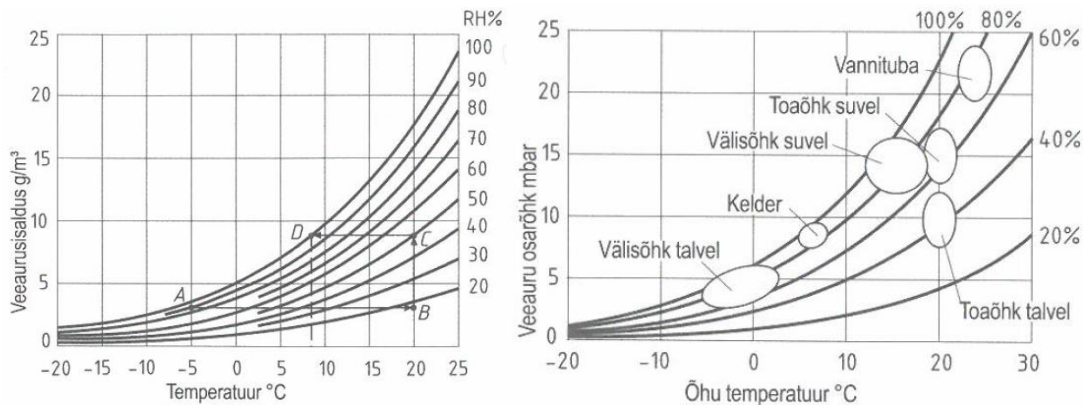
Õhus sisalduvat niiskust saab väljendada absoluutse hulgana õhus (g/m^3 ; kg/kg), veeauru osarõhuna õhus (Pa) ning suhtelise niiskusena RH (protsent maksimaalsest võimalikust õhuniiskusest vastaval temperatuuril) (Masso, 2012). Erinevalt temperatuurist ei ole inimene abivahenditeta võimeline õhus olevat absoluutset niiskust määrama, kuid on võimeline õhuniiskusele reageerima. Kõrge suhtelise õhuniiskuse puhul tundub õhk niiske ning madala puhul vastupidi kuiv, olenemata vee kogusest, mis õhus tegelikult on (Stroh, 2005). Toas, kus on $\text{RH} = 40\%$ ning temperatuur 20°C sisaldab veeauru 7 g/m^3 , tajub inimene et õhk on kuiv, kuid talvist välisõhku, kus on 2°C ning $\text{RH} = 100\%$ sisaldab 6 g/m^3 , tajub inimene ebameeldivalt niiskena (Masso, 2012).

Küllastusniiskus on temperatuurist sõltuvalt maksimaalne veeauru kogus, mida õhk mahutada suudab. Küllastusniiskus vastab väärtusele $RH = 100\%$. Temperatuuri tõustes tõuseb ka maksimaalne võimalik niiskuse sisaldus õhus (tabel 1.4; joonis 1.4...1.5) (Masso, 2012).

Tabel 1.4. Õhu maksimaalne veeaurusisaldus ja veeauru osarõhk erinevatel temperatuuridel normaalrõhul (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012)

Temp.	Max veeauru sisaldus	Rõhk	Temp.	Max veeauru sisaldus	Rõhk	Temp.	Max veeauru sisaldus	Rõhk
°C	g/m ³	Pa	°C	g/m ³	Pa	°C	g/m ³	Pa
-20	0,87	102	0	4,85	611	20	17,28	2337
-19	0,95	111	1	5,21	658	21	18,31	2484
-18	1,04	122	2	5,58	708	22	19,40	2640
-17	1,14	135	3	5,98	762	23	20,54	2805
-16	1,25	149	4	6,40	818	24	21,74	2979
-15	1,38	164	5	6,84	878	25	23,00	3162
-14	1,52	181	6	7,31	941	26	24,32	3355
-13	1,67	200	7	7,80	1008	27	25,71	3559
-12	1,83	221	8	8,32	1079	28	27,17	3773
-11	2,01	242	9	8,87	1154	29	28,70	3999
-10	2,20	266	10	9,45	1234	30	30,31	4237
-9	2,40	292	11	10,06	1318	35	39,56	5622
-8	2,61	319	12	10,71	1408	40	51,16	7388
-7	2,84	348	13	11,38	1502	45	65,52	9614
-6	3,08	379	14	12,10	1602	50	83,14	12390
-5	3,33	412	15	12,86	1708	55	104,50	15818
-4	3,60	447	16	13,65	1820	60	130,20	20010
-3	3,89	485	17	14,49	1939	65	160,90	25090
-2	4,19	524	18	15,37	2064	70	197,10	31194
-1	4,51	566	19	16,30	2197	80	289,10	47084

Kui veeauru kogus mingil temperatuuril on maksimaalne, siis on õhk veeauruga küllastunud, seda nimetatakse ka küllastusniiskuseks. Samamoodi vastab kindlale suhtelisele õhuniiskusele koos temperatuuriga kindel temperatuur, mil õhus olev vesi hakkab kondenseeruma. Sellises olukorras on tegu küllastustemperatuuriga (Masso, 2012). Liigne vesi kondenseerub õhust veepiiskadena, mis võib eralduda avatud pindadele, konstruktsioonidesse, kuid ka õhus (Stroh, 2005).



Joonis 1.4...1.5. Veeauru hulk õhus sõltuvalt temperatuurist. Veeauru osarõhk õhus erinevates keskkondades (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012)

Näiteks on jaanuaris välistemperatuur $-6,7^{\circ}\text{C}$ ja $\text{RH} = 86\%$ maksimaalselt 2,6 grammi vett m^3 õhu kohta ning siseruumis $+25^{\circ}\text{C}$ ja $\text{RH} = 40\%$ juures 9,2 g/m^3 .

Jää sulatamiseks, vee soojendamiseks ning aurustumiseks kulub sama palju energiat, kui veeauru kondenseerumisel, jahutamisel ning jäätumisel vabaneb. Nende energiahulkadega peab arvestama ventilatsiooni- ning jahutussüsteemide projekteerimisel (Masso, 2012).

Sama protsessiga on võimalik seletada jaheda ilmaga aknaklaasi sisemuse märgumist. Väliõhk jahutab aknaklaasi, mis omakorda jahutab siseruumis klaasipinnaga kokkupuutuva õhu akna temperatuurini. Kui ruumis on rohkem niiskust, kui klaasi pinnatemperatuuril võimalik on, küllastub aknaga kokkupuutuv õhk ning liigne vesi kondenseerub aknaklaasile. Sarnane efekt toimub ka prillikandja prilliklaasidel, külmast keskkonnast sooja tultes. Veeaur kondenseerub alati külmemale pinnale. Talvel väljendub see lisaks kondenseerumisena härmatisena näiteks puude okstel. Sademete ning udu tekkimine on samuti seotud kondenseerumisega, kus niiskus kondenseerub õhus olevate tolmu-, tahma- või meresoolade osakeste ümber, mille läbimõõt jääb alla 0,001 mm (Stroh, 2005).

Niiskus sisaldub ka pinnases ning poorsuse tõttu ka enamuses materjalides. Erandina ei sisalda niiskust klaas, metallid, tihedad looduskivid, kummi ning plastik, kuid niiskuse kondenseerumine toimub ka nende pinnale (Masso, 2012).

Eestis on aasta keskmine suhteline õhuniiskus mandril (Tartus) olenevalt kuust vahemikus 69...88%, mereäärsetes piirkondades (Tallinn, Pärnu, Narva) 68...88%. Madalaim keskmine õhuniiskus Eestis on mais 68...72% ning kõrgeim detsembris 88% (Eesti kliima teatmik

ehitajatele, 2000). Vihmasaju ajal võib õhuniiskust ulatuda 95...100%-ni ning kuiva ilmaga vahemikus 30...40% (Stroh, 2005).

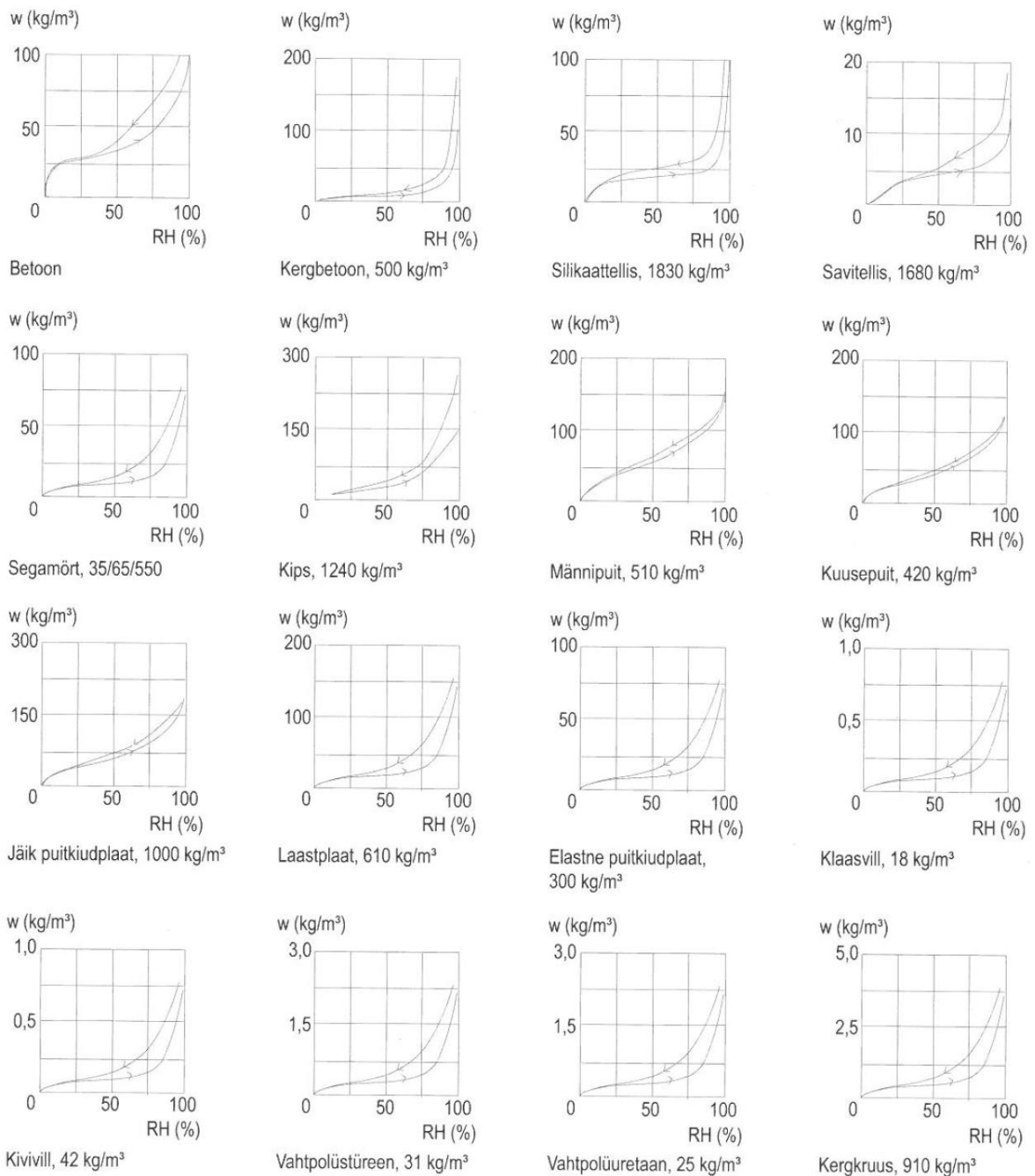
1.3.3 Niiskus materjalis

Materjalis sisalduva niiskuse kogus on otseselt seotud ümbritseva keskkonna suhtelise niiskusega: mida kõrgem on RH, seda rohkem imab materjal niiskust ning suhtelise õhuniiskuse langedes, materjalis olev niiskus vabaneb. Tegemist on kahesuunalise protsessiga (joonis 1.6) (Masso, 2012).

Graafikutelt on näha, et sõltuvalt materjalist on niiskumise ning kuivamise graafikud erinevad, kuid alati on sama RH puhul niiskumas materjalis vähem niiskust, kui kuivavas materjalis. Ühtlasi on kipsi ja soojustusmaterjalide võrdlusel näha, et materjalist sõltuvalt erineb ka maksimaalne niiskus, mida materjal m³ kohta on võimeline sisaldama ning erinevust on märgata ka kuivamise tempos (Masso, 2012).

Materjalid käituvad niiskusega erinevalt, kuid enamjaolt on materjalid hügrooskoopseid (Stroh, 2005). Hügrooskoopseid materjalid on võimelised imama õhust enda sisse niiskust, selle vastandmõiste on kuivamine. Reaktsioon sõltub õhurõhust – kui materjali pinnal on rõhk õhust madalam, siis materjal kuivab ning kõrgema õhurõhu puhul toimub materjali niiskuse imendumine. Õhus oleva auru rõhku mõjutavad õhu temperatuur, niiskus ning rõhk, materjali pinna rõhku mõjutab temperatuur ning niiskus. Vastavalt keskkonnatingimuste muutustele muutub ka materjali niiskus. Ühtlases keskkonnas viibides saavutab materjal tasakaaluniiskuse (Pärnamägi, 2005).

Kuivamisprotsessiga toimub ka mahu kahanemine ning niiskumisega paisumine, millega materjali ebäühtlase struktuuri tõttu tekkivad sisepinged, mis nõrgendavad materjale ning võivad need purustada. Immutamise-kuivatamise tsüklite arvuga väljendatakse materjali vastupidavust sellisele tingimustele (Otsman, 1976).



Joonis 1.6. Materjalide tasakaaluniiskus (w) sõltuvus õhu suhtelisest niiskusest (Masso, 2012)

Oluline on mitteimavate materjalide kaitsmine vee eest, kuna selle kaudu liiguks vesi konstruktsioonikihtideni, mis on niiskuse suhtes tundlikud. Vett mittetaluvad materjalid lagunevad niiskusega kokkupuutudes (nt kips) (Masso, 2012). Üldiselt imab materjal niiskuse endasse ning vabastab selle taas õhku (nt puit, müüritis, krohvid). Mõnedes materjalides tekitab niiskus soovimatuid deformatsioone, eriti puidul (Masso, 2012). Vett täis pooride külmumisel tekivad jääkristallid, mis põhjustavad külmakahjustusi. Kahjustusi

ei teki, kui materjal on piisavalt õhupoore lubades jää paisuda. Mõned materjalid sisaldavad oma struktuuris veemolekule, seda vett ei loeta niiskuseks. Näiteks tsemendiga reageeriv vesi (Stroh, 2005). Orgaanilise aine niiskumine võib soodustada hallituse ning mädanikke arengut, mis põhjustavad selle bioloogilise lagunemise. Lisaks võib niiskumine muuta negatiivselt materjali ehitusfüüsikalisi omadusi (soojajuhtivus, tugevus, mahukaal, mõõtmed). Sõltuvalt materjalist erineb oluliselt ka niiskusimavuse võime lähtuvalt ümbritsevast keskkonnast (tabel 1.5) (Masso, 2012).

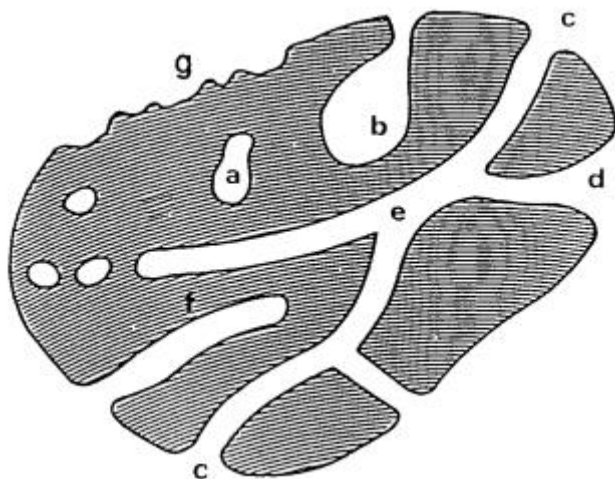
Tabel 1.5. Materjalide ligikaudne tasakaaluniiskus, kg/m³ (Masso, 2012)

Materjal	Mahumass kg/m ³	Õhu suhteline niiskus, %			
		25,0	50,0	75,0	90,0
Betoon	2400	30,0	40,0	60,0	100,0
Kergbetoon	500	10,0	15,0	25,0	150,0
Silikaattellis	1830	20,0	25,0	30,0	80,0
Savitellis	1680	4,0	5,0	7,0	15,0
Segamört	-	10,0	15,0	25,0	75,0
Männipuit	510	40,0	60,0	80,0	150,0
Kuusepuit	420	30,0	50,0	70,0	12,0
Kõva puitkiudplaat	1000	40,0	75,0	100,0	160,0
Pehme puitkiudplaat	300	10,0	15,0	25,0	80,0
Laastplaat	610	20,0	30,0	50,0	150,0
Klaasvill	18	0,10	0,15	0,25	0,80
Kivivill	42	0,10	0,15	0,25	0,80
Vahtpolüstüreen	31	0,25	0,50	0,75	2,00
Vahtpolüüretaan	25	0,25	0,50	0,75	2,00
Kergkruus	910	0,50	0,60	1,00	4,00

Niiskus liigub materjalis lisaks õhuniiskuse mõjudele ka pindpinevuse tõttu pooride kaudu (Masso, 2012). Poorsus väljendab pooride protsenti materjali kogumahust ($0\% \leq p < 100\%$) (Pärnamägi, 2005; Otsman, 1976). Graniidi poorsus jääb alla 1%; keraamikal 25...35%; mullbetoonil 75...85% ning mullplastidel > 90% (Otsman, 1976). Poorsus mõjutab materjali tugevust, veeimavust, soojusjuhtivust, külmakindlust jm materjali omadusi (Pärnamägi, 2005). Lisaks poorsuse arvulisele väärtusele mõjutab materjali omadusi ka poorsuse ühtlus, suurus ning avatud ja suletud pooride suhe (Otsman, 1976).

Pooritüüpide jaotus sõltub nende kontaktist väliskeskkonnaga (joonis 1.7). Poorid, millel väliskeskkonnaga ühendus puudub loetakse suletud poorideks. Sellised poorid mõjutavad materjali makroskoopilisi omadusi nagu tugevus ning soojusjuhtivus, kuid ei mõjuta

protsesse nagu vedeliku vool ning gaaside adsorbeerumine. Poorid, millel on väliskeskkonnaga ühendus, klassifitseeritakse avatud poorideks (b; c; d; e; f) ning need mõjutavad vedeliku voolu ning gaaside adsorbeerumist. Avatud poorid jaotuvad veel ühest otsast avatud (b; f) ning mitmest otsast avatuteks (e). Lisaks on võimalik poore jaotada ka kuju järgi – silindrilised (c; f) või „tindipoti“ (i.k. *ink-bottle shaped*) kujulised (b) (Rouquerol et al., 1994).



Joonis 1.7. Pooritüüpide skemaatiline jaotus. Suletud poorid (a) ning avatud poorid (b; c; d; e; f) (Rouquerol et al., 1994)

Pooride suuruse järgi jaotatakse need mikropoorideks ($\text{\AA}50\text{...}100$), keskmise läbimõõduga ($100\text{...}2000$ \AA) ja makropoorideks (> 2000 $\text{\AA} = 0,2$ μm). Üle 10 μm läbimõõduga poore nimetatakse õõnteks. Kapillaartõus toimub poorides alla 10 μm (Otsman, 1976).

Kapillaartõus toimib pindpinevuse kaudu ning poorides tõuseb vesi algkõrgusest oluliselt kõrgemale ning kaugemale. Kapillaartõusu kõrgust on võimalik arvutada valemiga $h = 0,15 / R_p$ (cm), kus R_p on pooride läbimõõt (cm). Tellismüüritisel on pooride läbimõõt $0,001$ cm, millest tulenev kapillaartõus on $1,5$ m ning betoonis, kus on pooride läbimõõt 10 korda väiksem, tõuseb vesi 15 m kõrgusele (Masso, 2012).

1.3.4 Materjalide veeaurujuhtivus

Vee liikumiskiirus on vedelas olekus kiirem kui veeauruna. Vihmasaju ajal mõjutab piiskade liikumist gravitatsioon ning tuule põhjustatud õhuvool. Lisaks mõjutavad vee liikumist ka difusioon, konvektsioon ning kapillaarjõud. Vedelas olekus vee puhul toimub kapillaarne liikumine ning vee valgumine gravitatsiooni mõjul. (Stroh, 2005). Veeauru liikumiseks on

kaks moodust - konvektiivne ja difuusne. Difuusse liikumise puhul on tegemist veeauru liikumisega osarõhkude vahe tõttu ning inimene seda ei taju (Piirfeld, 2009). Gaas liigub läbi materjali suurema rõhuga keskkonnast väiksema rõhuga keskkonna suunas kuni rõhud ühtlustavad. Läbiva gaasi maht sõltub pooride rohkusest ning suurusest. Materjalides liigub niiskus üheaegselt mitmel meetodil (Stroh, 2005).

Sõltuvalt tarindi poolt eraldatud keskkonnatingimustele sõltub ka veeauru liikumine konstruktsioonis. Olenemata ruumide ventileerimisest tekitab inimtegevus siseruumis suurema niiskuse kui väliskeskkonnas Eesti kliimatingimustes on levinum olukord, kus siseõhu veeauru sisaldus on suurem kui välisõhul. Seetõttu liigub ka veeaur sisekeskkonnast väljapoole. Kui väljas on 0°C, võib rõhuvähe olla üle 500 Pa (vastab 5 cm veesamba rõhule) sisekeskkonnast kõrgem (Masso, 2012).

Eestis kasutatakse niiskuskooormuse määramiseks hoones standardit EVS-EN ISO 13788:2012, milles on välja toodud niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist niiskusklasside kaupa (EVS-EN ISO 13788:2012).

Siseruumi niiskuslisa arvestatakse: Δv , g/m³ hoonete jaoks valemiga

$$\Delta v = v_i - v_e \quad (1)$$

kus v_i – siseõhu niiskus, g/m³;

v_e – välisõhu niiskus, g/m³.

Vähe veeauru sisaldava talvise külma õhu korral võib niiskuslisa olla 3...4 g/m³, suvel aga nullilähedane. Niiskuslisa on märgatavalt suurem, kui hoone kasutus on intensiivsem. Niiskuslisa on oluline faktor kondenseerumise ohule külmematel pindadel, seega on suurem niiskuslisa eriti ohtlik juhul, kui hoone piirdetarindites esineb külmasildu (Masso, 2012).

Ka suvel on õhuniiskus sees madalam. Siseruume võrreldes on niisked ruumid lisaks välisõhule kõrgema veeauru osarõhuga ka hoone teiste ruumidega võrreldes. Vastavalt rõhkude vahele liigub veeaur madalama RH suunas. Kui siseruumis on 21°C ning RH = 45% samal ajal kui väljas on -5°C ning RH = 100%, siis rõhkude vahe on tuletatav tabelist $1.4 \cdot 0,45 \cdot 2484 - 412 = 706$ Pa, mis on võrdne 7,06 cm veesamba rõhule. Projekteerimistöös käigus on veeauru liikumissuund oluline aspekt (Masso, 2012).

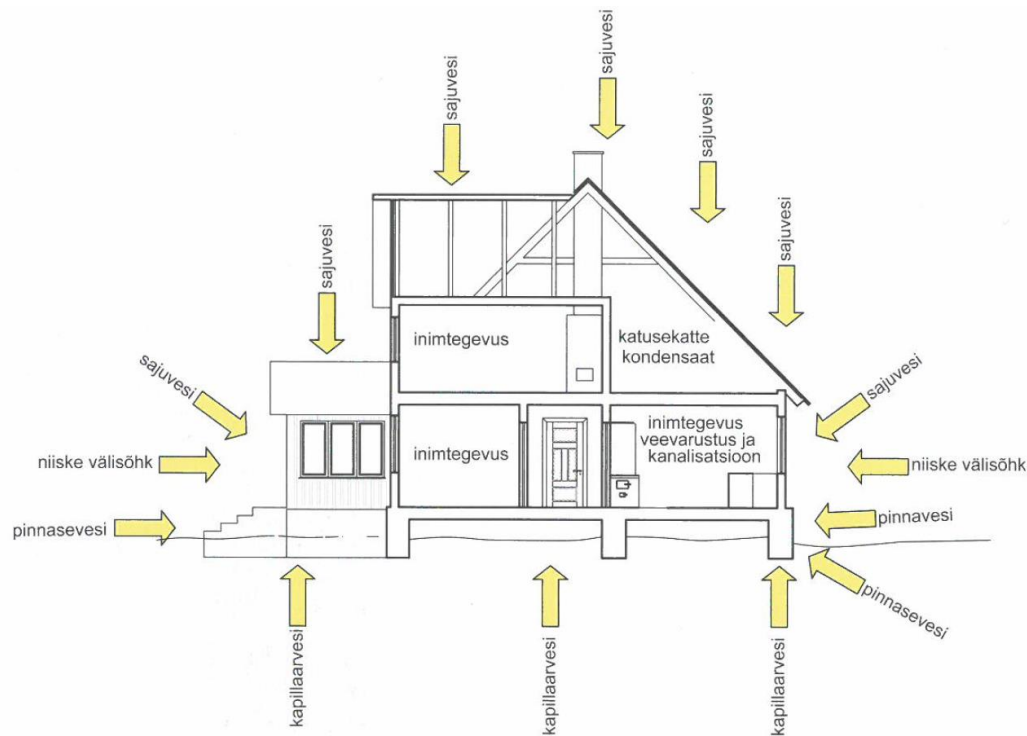
Konvektiivse veeauru liikumise puhul liigub veeaur koos õhuga ning seetõttu on see ka inimesele tuntav (Piirfeld, 2009). Rõhkude erinevuse põhjustab lisaks tuulele ning ventilatsioonile ka temperatuuride erinevus, mille näiteks on korstna efekt. (Hutcheon et al., 1983). Soojem õhk on kergem ning tõuseb kõrgemale ning kuna soojemas keskkonnas liiguvad molekulid kiiremini, suurendab nende liikumine ka rõhku. Võrreldes difusiooniga transpordib konvektsioon rohkem veeauru. Pragude ja avauste kaudu pääseb niiskus ka konstruktsioonidesse (Stroh, 2005). Probleemi tõkestamiseks paigaldatakse erinevaid vee-, auru- ja õhutõkkeid reguleerimaks tarinditesse pääsevat ja sealt väljuvat niiskust (Masso, 2012).

Seina soojustus- ja viimistlusmaterjalide nõ „hingamist“ hinnatakse üldjuhul antud materjali difusioonikonstandi abil. Näiteks liigub vahtplastist läbi vaid difuusne veeaur, kuid konvektiivne mitte, mineraalvillas toimuvad aga mõlemad liikumised. Vahtplastist läheb difuusne veeaur läbi lausa 15 - 60 korda halvemini kui mineraalvillast. Looduslik lubikrohv on 12 korda suurema suurema läbivusega kui polümeerikrohv. Samas ei ole difusioonitakistuskonstant korrelatiivses seoses kondensatsioonivee tekkega. Suurem takistus ei tähenda suuremat kondensatsioonivee tekkimise ohtu (Piirfeld, 2009).

Soosaare (2017) andmetel oli linaõli, munaõlitempera ning tihedama akrüülvärviga kaetud kehade süsteemi (2,5 cm krohv + kate) puhul aurutakistus $S_d = 0,38...0,48$ m ning kaseiinvärvi, pabertapeedi, vähem tiheda akrüülvärvi ning ilma katteta kehadel $S_d = 0,12$ m.

1.3.5 Niiskusallikad

Hoone sisekliima veeauru sisaldus sõltub mitmest asjaolust. Suurimad mõjutajad on välisõhu niiskus ja temperatuur, ventilatsioon ning ruumi enda niiskusallikad (joonis 1.8). Välistest mõjutajatest võib välja tuua sademed ning pinnases sisalduva vee kapillaartõusu (Stroh, 2005). Ruumi peamised sisemised niiskusallikad on näiteks vannitoa kasutamine, ruumis olevate inimeste hingamine ning higistamine, söögi tegemine ja tarinditest välja kuivav niiskus (Abel et al., 2014). Reaalsuses tuleb arvestada, et inimese organism eraldab tunni jooksul umbes 40...50 g veeauru. Aktiivsuse suurenedes võib veeauru eraldumine kümnekordistuda. Lisaks sellele tarvitab inimene igapäevaselt keskmiselt 200 liitrit vett, millest osa aurustub. Põrandapesuga jääb põrandale ligikaudu klaas vett, mis aurustudes õhuniiskust tõstab (Stroh, 2005). Keskmise lisandunud veeauru mass eramutes on 1,5...2,0 kg päevas inimese kohta (Metslang, J. 2012).



Joonis 1.8. Niiskuse võimalikud allikad hoones (Metslang, J. 2012)

1.3.6 Ehitusniiskus

Ehitustööde käigus satub konstruktsioonidesse vett, mis on vajalik materjali lõpliku tugevuse saavutamiseks või töödeldavuseks (nt. mördid, betoon, pahtel, värv) (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012). Niiskust lisatakse kivistumise käigus ka mahukahanemisest tingitud pragude ärahoidmiseks. Lisaks sihipärasele niisutamisele satub konstruktsioonidesse niiskus sademetest ning näiteks vales ladustamisest. Materjalide kuivamiskiirus sõltub ümbritseva keskkonna niiskusest, samuti õhu temperatuurist ning õhu liikumisest. Aurustumine toimub kuni materjalis sisalduv niiskus ja ümbritseva õhu niiskus jõuavad tasakaaluni (Stroh, 2005). Kaasaegse kiire ehitustempo tõttu ei pruugi ehitusniiskus välja kuivada ning konstruktsioonid kaetakse uute aurutihedate kihtidega, mis aeglustavad materjali kuivamist, näiteks plasti sisaldavad seinakatted või keraamilised plaadid (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012; Stroh, 2005).

Seetõttu pöörab ehitusniiskuse väljakuivamisele tähelepanu standard EV 932:2017 Ehitusprojekt, kus sätestatakse, et põhiprojekti seletuskirjas on tarvilik esitada ehitusniiskuse väljakuivamise ajad, ehitusel kasutatavate toodete ja materjalide ehitusaegse ladustamise nõuded sademevee ligipääsu seisukohast ning vajalike mõõtmiste kava, et

saavutada niiskusturvalisus tavapärasest erinevate tarindite puhul. Lisaks kontrollitakse üksikasjalikult, et tingimustes, kus niiskukoormus on suurim, ei oleks kriitiline niiskus ületatud ja et hoone poleks ei otseselt ega kaudselt saanud niiskusest kahjustada (EV 932:2017).

Põletatud materjalides (nt savitellised, kergplokid) ehitusniiskus peale valmimist puudub. Nendesse satub niiskus õhust, mis samas ka materjali paisutab (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012). Üldjuhul tarinditest eralduv niiskus kuivab aja jooksul siiski enamjaolt välja, eeldusel et konstruktsioonis ei ole lisaniiskust tekitavaid allikaid nt praod välisseinas või lekkivad torustikud (Abel et al., 2014). Ehitusniiskuse kogus sõltuvalt materjalist on esitatud tabelis 1.3, kust võib tuletada, et monoliitne raudbetoonist vahelagi paksusega 250 mm ning pindalaga 100 m² sisaldab vett kuni 4,5 m³ (Stroh, 2005).

Tabel 1.3. Ehitusniiskus materjalis (Ehituskonstruktori käsiraamat, 2012)

Materjal	Ehitusniiskuse sisaldus
	kg/m ³
Betoon	180
Keraamiline tellis	10
Tellismüüritis	80
Puit	60...80

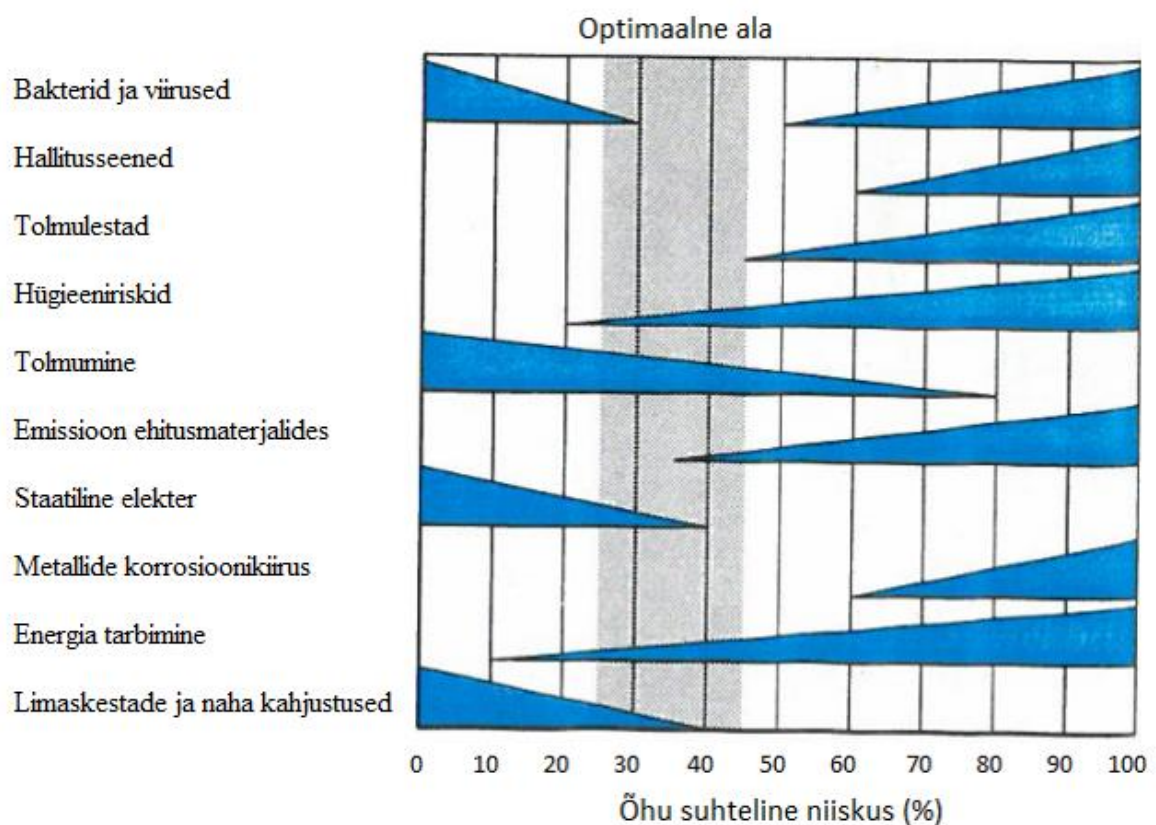
1.3.7 Niiskuskahjustused tarindites

Traditsiooniliselt on ehitamiseks kasutatud ehitusmaterjale, mida on lihtne hooldada ning vajadusel kerge parandada. Reeglina oli tegemist materjalidega, mis mahutavad endasse palju niiskust. Tarindid polnud õhutihedad, mistõttu liikus õhk läbi pragude ning hoidis keskkonna kuivana. Küttekolded tekitasid alarõhu ning ventilatsioon toimus läbi korstende. Igal hooneosal oli oma funktsioon ning hooneid hooldati süstemaatilisel. Kaasajal pööratakse enam tähelepanu õhutihedusele ning ruumide otstarve pole nii rangelt piiritletud (Stroh, 2005).

Üldjuhul pole ehitusmaterjalid niiskuse suhtes tundlikud, kuid probleemid tekivad ülemäärase niiskusega (Masso, 2012). Pikalt mahajäetud hoonete hävimisel on oluline osa niiskusel, mis sõltuvalt materjalist seda kahjustab. Kivimaterjalid ning betoon on tundlikud külmatsüklite suhtes, kus neis sisalduv vesi jääb ja paisudes neid pikkamööda hävitab. Vee ning hapniku koosmõjul tekib metallile rooste (Stroh, 2005). Orgaanilistele materjalidele muutub niiskus probleemiks, kui temperatuur on pikalt vetikatele ning seentele

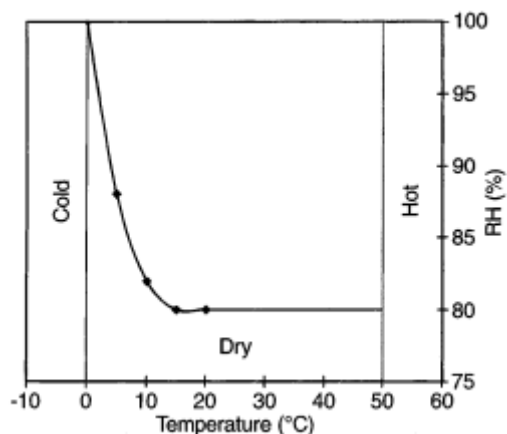
sobivas piirkonnas, kus nende areng võib inimestele ning konstruktsioonidele kahjulikult mõjuda (joonis 1.10) (Masso, 2012). Õigete meetoditega on võimalik hooneid niiskuse eest kaitsta ning materjalide hävimist aeglustada (Stroh, 2005).

Inimesele ei tekita niiskus probleeme - niiske õhk on inimese jaoks isegi mugavam, kuid selle niisutamisel tekivad soodsad tingimused kahjulike eluvormide arenemiseks (joonis 1.9). Eriti suur risk on mikroobide ja hallituseoste levimine õhuniisuti kasutamisel ning võimaliku kondensvee tekkimise tagajärjel (Seppänen et al., 1998). Levinuimad niiskusega kaasnevatest kõrvalmõjudest tingitud terviseprobleemid on kehv enesetunne, allergia ning astma (Stroh, 2005).



Joonis 1.9. Ruumi siseõhu niiskust mõjutavad tegurid (Seppänen et al., 1998)

Jooniselt 1.10 on näha, et hallituse arenguks peab temperatuur olema 0...50°C ning RH > 80%. Kõige kiiremini arenevad seened temperatuurivahemikus 20...35°C, alla selle on levik aeglasem. Sõltuvalt materjalist erineb ka seente kasvuks soodne RH, mis puidu puhul jääb vahemikku 75...80%, kipsplaadil 80...85% ning betoonil ning mineraal- ja vahtplastsoojustusel 90...95% (Masso, 2012).



Joonis 1.10. Hallituse kasvuks soodsad tingimused (Hukka. et al., 1999). Tõlge: cold- külm, dry- kuiv, hot-kuum, temperature- temperatuur.

Soodsaim piirkond hallituse levikuks on külmasildade ümbruses, kus temperatuur on ruumi keskmisest madalam ning RH kõrgem. Hallitus võib levida lisaks tarindi pinnale ka konstruktsiooni sees, mida põhjustab selle seespoolne soojustamine või välissoojustuse paigaldaja lohakuks. Ohustatuimad konstruktsioonid on niisked keldrilaed, alumised palgired või kahjustunud kaitseplekkide piirkondades. Sisemised hallitused pole visuaalselt nähtavad, kuid sellegipoolest rikuvad need ruumi siseõhu kvaliteeti (Masso, 2012).

Konstruktsiooni vastupidavuse suhtes on kõige tundlikum puit, mida ohustavad mädanikseened. Lisaks seentele, mis arenevad otse puidus, esineb ka liike, mis kasvavad materjalil, mida nad otseselt ei kahjusta (betoon, kivi), kuid on võimelised levima seeneniitide abil kuivale puidule ning seda kahjustada (Masso, 2012).

Seente eosed on väga levinud, kuid arenguks vajavad need endale sobivat keskkonda, mille järel nad arenema hakkavad. Soodsate tingimuste taandudes võib seente kasv peatuda. Mädanikseente leviku takistamiseks peab langetama RH taset, kuid suvisel perioodil on ka välisõhu temperatuur ning RH soodsad seente levikuks. Parim meetod seente likvideerimiseks on seente poolt kahjustunud piirkonna väljavahetamine. Niiskuse tõttu võivad kasvama hakata ka vetikad ning samblad (Masso, 2012). Sarnaseid keskkondi eelistavad oma elutegevuseks ka erinevad kahjurid (Stroh, 2005).

Lisaks bioloogilistele kahjustustele võib esineda ka külmakahjustusi, kus poorides olev vesi jäätudes mahu paisumisega (9%) kaasnevate pingete tõttu on võimeline purustama ka kive. Esineda võib ka soolakahjustusi, mis on tingitud vees lahustunud soolade

kristalliseerumisest ($RH < 76\%$). Vees sisalduvad keemilised elemendid võivad kiirendada ka keemilist lagunemist ($RH < 60\%$), nagu näiteks metalli roostetamine (Stroh, 2005).

1.4 Moisture buffering ja selle mõju ruumis

Moisture buffering value (MBV) ehk niiskuspuhverdus-võime (vabatõlge) on erinevate hügrokoopsete materjalide võime reguleerida ruumiõhu niiskust. Nimetatud reguleerimine on seotud niiskustsükliga, mille pikkuseks võib olla ööpäevane keskkonna muutus või ka pikem – aastaegade vahetustest sõltuv tsüklil (Rode et al., 2006).

Konstruksioonimaterjalid, pinnakatted, mööbel ning tekstiilmaterjalid mõjutavad ruumi kui süsteemi hügrokoopset inertsust, mis iseloomustab materjalide käitumist suhtelise õhuniiskuse tsüklilisel muutumisel. Nimetatud ruumis olevate materjalide ning esemete puhverdusvõimel võib sõltuvalt materjalist olla oluline roll RH kõikumise ühtlustamisel (Ramos et al., 2009).

Niiskuspuhverduse suurus sõltub iga ruumis oleva materjali ja eseme puhverdusvõimest, niiskusallikatest, ruumi õhuvahetusest ning ruumiõhu ruumala ja puhverdava materjali õhuga kokkupuutuva pinna suuruse suhtest. Kõige lihtsam situatsioon puhverdusvõime määramiseks on hügrokoopne ning homogeenne materjal, mis on kokkupuutes seisva õhuga (Rode et al., 2006).

Niiskuspuhverdus-võime ideaaltingimustes

Soojusülekanne teoorias tuntud mõiste terminiline efusiivsus (vabatõlge terminile *Thermal effusivity*) väljendab soojuse ülekannet materjalile, kui selle pinnatemperatuur ei ole konstantne. Sama kehtib ka niiskuse ülekande kohta. Materjali niiskusefusiivsus (vabatõlge terminile *moisture effusivity*) b_m sõltub materjali aurujuhtivusest, kuiva materjali tihedusest, materjali veesisaldusest, suhtelisest õhuniiskusest ning küllastunud veeauru osa rõhust ruumis. Nende seost on võimalik väljendada valemiga (2):

$$b_m = \sqrt{\frac{\delta_p \cdot \rho_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial \phi}}{p_s}} \quad (2)$$

kus δ_p on materjali veeauru läbilaskvus, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$;

ρ_0 on kuiva materjali tihedus, kg/m^3 ;

σ_u on materjali niiskus, kg/kg;

σ_φ on suhteline õhuniiskus, %;

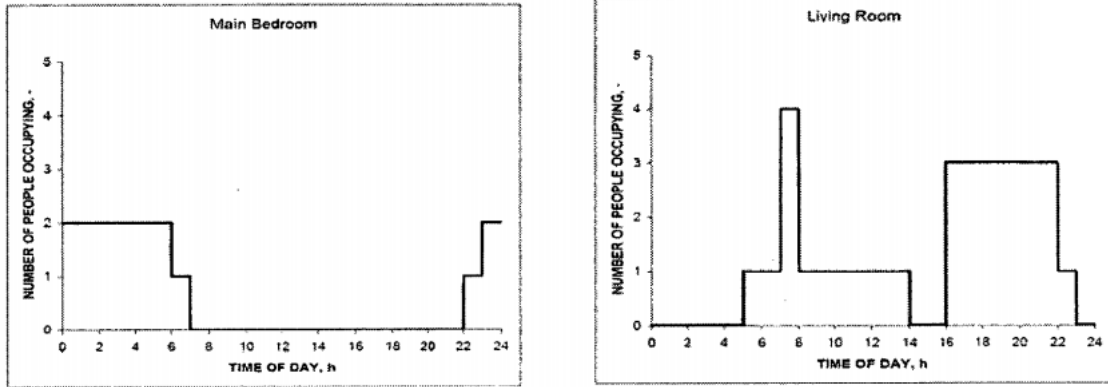
p_s on küllastunud veeauru osarõhk, Pa.

Eelpool esitatud valem kehtib vaid ideaaltingimustes, kui konvektiivne massi ülekandetegur läheneb lõpmatusele (Rode et al., 2006).

Praktiline niiskuspuhverdus näitab vee hulka, mida materjal imendab või vabastab läbi niiskuskeskkonnale avatud pinna kui materjali ümbritsevas keskkonnas toimuvad suhtelise õhuniiskuse muutused. Seda on võimalik väljendada materjalis sisalduva vee massi, niiskuskeskkonnale avatud pindala ja RH kaudu, ning selle ühik on $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{RH})$ (Rode et al., 2006).

Uuringud on näidanud, et niiskuspuhverdus-võime on efektiivsem nõrgalt ventileeritud keskkonnas. Kui õhuvahetuse kordarv jõuab väärtuseni $0,3 \text{ h}^{-1}$, muutub puhverdusvõime olemasolu teisejärguliseks. Samuti suureneb puhverdusvõime temperatuuri tõustes, sest sarnaselt sorptsioonile sõltub ka niiskuspuhverdus maksimaalse võimaliku vee hulgast materjalis, mis suureneb temperatuuri tõusuga (Ferreira et al., 2015).

Levinuim meetod MBV määramiseks on NORDTEST meetod, milles on puhverdamise mõõtmise tsükliks valitud 8h õhuniiskusega 75% ning 16 h, mil $\text{RH} = 33\%$ (Rode et al., 2006). Selline tsükkel iseloomustab magamistoa õhuniiskuse muutumist ööpäeva jooksul, kus päeval inimtegevust ei toimu ning veeaur eraldub öösiti (Ramos et al., 2010). Joonisel 1.11. on esitatud inimese elutegevusega kaasnev niiskuseraldus magamis- ning elutoas (Yang, 2010).



Joonis 1.11. Ruumide niiskustsükkel magamistoas (vasakul) ning elutoas (paremal). Vertikaalne telg näitab inimeste arvu ruumis ning horisontaalne telg kellaega (h) ((joonis Satio (2005)) (Yang, 2010).

Praktilise niiskusphverdus-võime arvutamisel kasutatakse vähemalt viimase kolme katsetsükli tulemusi ning kasutatakse valemit (3) (Jannssen, 2009):

$$MBV_{8h} = \frac{m_{max} - m_{min}}{A \cdot (\varphi_{high} - \varphi_{low})} \quad (3)$$

kus $m_{min/max}$ on minimaalne ja maksimaalne katsekehas olev niiskus, g või kg;

A on niiskuskeskkonnale avatud pindala, m²;

$\varphi_{high/low}$ on madala ja kõrge suhtelise õhuniiskusega keskkonna RH väärtus.

Lisaks on võimalik leida ruumi päevane hügrokoopse inertsuse indeks $I_{h,d}$ (g/m³%RH), valemiga (4), mis arvestab ka ventilatsiooni ning aega (Ramos et al., 2010):

$$I_{h,d} = \frac{\sum_i^n MBV_i \cdot s_i + \sum_j^m MBV_{obj}}{ach \cdot V \cdot t_g} \quad (4)$$

kus MBV_i ning MBV_{obj} on ruumi objektide ja elementide niiskusphverdus-võime

s_i on i elemendi pindala, m²;

ach on õhuvahetusarv, h⁻¹;

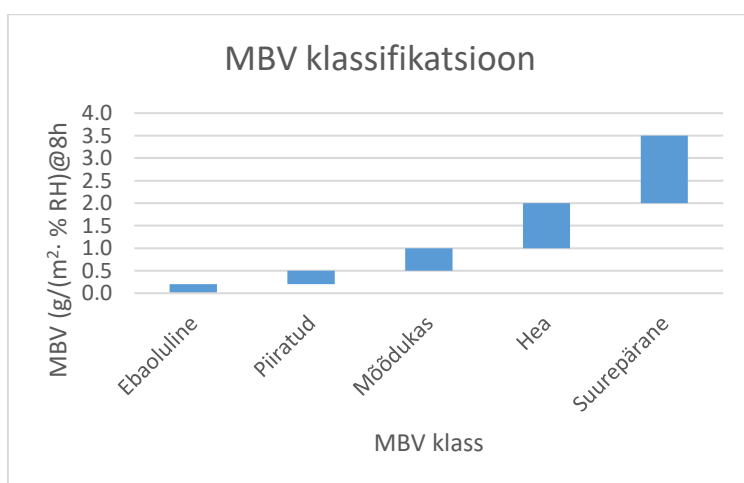
V on ruumi ruumala, m³;

t_g on niiskuse tekkimise aeg, h.

NORDTEST meetodi kohaselt jaotatakse materjalid vastavalt võimalikule niiskuse sorptsioonile ja adsorptsioonile ruutmeetri kohta viieks grupiks. Jaotused ning nende väärtused on toodud tabelis 1.4 ning joonisel 1.12.

Tabel 1.4. MBV klassifikatsioon (Rode, 2005)

MBV praktilisuse klass	MBV tase	
	Miimum	Maksimum
	g/(m ² ·% RH) @ 8/16h	
Ebaoluline	0,0	0,2
Piiratud	0,2	0,5
Mõõdukas	0,5	1,0
Hea	1,0	2,0
Suurepärase	2,0	...



Joonis 1.12. MBV klassifikatsioon (Rode, 2005)

Tabelis 1.5 on välja toodud erinevate materjalide MBV väärtused. Nagu näha, on puitkiudplaadi niiskuspuhverdusväärtus üle nelja korra suurem kui kipsplaadil.

Tabel 1.5. MBV väärtused erinevatel materjalidel (Janssen, 2009)

Materjal	paksus	MBV
	mm	g/(m ² ·% RH)
puitkiudplaat	10	1,92
vineer	10	0,69
kipsplaat	10	0,43
poorbeton	10	0,61
tselluvill	10	0,98

Uuritud on ka pinnakatete mõju niiskuspuhverdus-võimele. Kasutades kipsplaadidil ja -toodetel erinevaid vinüül- või akrüülvärve kruntimisega või ilma väheneb MBV 0,11...0,45 võrra. Kõige enam mõju avaldab uurituteist krunditud 2-kihiline akrüülvärv ning vähim kruntimata kahekihiline vinüülvärv (Ramos et al., 2010).

2 TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva töö eesmärk on erinevatest pabermaterjalidest valmistatud paberkrohvide niiskustehniliste omaduste määramine. Uuritakse erinevate krohvide sorptsiooni omadusi, veeauru läbilaskvusvõimet ning niiskuspuhverduslikke (Moisture Buffering MB) omadusi. Töös kasutatakse erinevatest pabermassidest ning erineva sideainesisaldusega krohviseigusid. Katsekehadele pole viimistluskihte lisatud.

Töö jaguneb teoreetiliseks ja praktiliseks osaks. Teoreetilises osas uuritakse pabermaterjali ajalugu ja kasutusvõimalusi, paberkrohvi kasutust, niiskust üldiselt ja niiskuse mõju ehitusmaterjalides. Praktilises osas uuritakse sorptsiooni ja desorptsiooni, veeauru läbilaskvust ning niiskuspuhverdust. Kõik katsed on läbi viidud TTÜ Inseneriteaduskonna Tartu kolledži laboris. Katsed tuginevad Eesti Vabariigis kehtivatele standarditele ning NORDTEST metoodikale niiskuspuhverdus-võime määramiseks. Katsete läbiviimisel teostatakse kaalumisi määratud ajavahemike järgi kindlate suhteliste õhuniiskuste ja -temperatuuride juures. Katsete tulemuste põhjal analüüsitakse erinevate paberkrohvide niiskustehnilisi omadusi.

Uuringu etapid:

- 1) Erialase kirjandusega tutvumine
- 2) Uuringu planeerimine
- 3) Materjali hankimine ning proovikehade valmistamine
- 4) Veeauru puhverdusvõime määramine NORDTEST metoodikaga:
 - a) Proovikehade konditsioneerimine kliimakambris (vastavalt $RH = 33\%$ ja $RH = 50\%$),
 - b) kaalumine kuni nõutud tulemuse saavutamiseni
- 5) Sorptsiooni ja desorptsiooni katse:
 - a) Katsekehade ettevalmistus- kuivatamine
 - b) Sorptsiooni ja desorptsiooni määramine proovikehade kaalumise teel
- 6) Veeauru läbivuse mõõtmine proovikehade kaalumise teel
- 7) Andmete töötlemine
- 8) Tulemuste analüüs ning kokkuvõte

3 MATERJAL JA METOODIKA

Katsed viidi läbi vastavalt standarditele ISO 12571:2013 ja EVS-EN ISO 12572:2016 millest esimene käsitleb ehitusmaterjalide ja -toodete sorptsiooni määramist ja teine veeauru läbivuse määramist. Kolmanda katse läbiviimisel oli aluseks NORDTEST metoodika sisekeskkonnale avatud homogeensete materjalide või komposiitsüsteemide niiskuspuhverduse võime määramiseks (edaspidi NORDTEST meetod).

3.1 Proovikehade valmistamine

Katse viidi läbi viie erineva retsepti järgi valmistatud proovikehadega. Kasutatud retseptid on välja valitud ja katsekehad valmistatud Nele Nuti poolt Tartu kolledžis. Igast paberkrohvi massist valmistati 5...6 proovikeha. Sellest tulenevalt numereeriti katsekehad süsteemiga I-1 (I- retsepti number, 1- eksemplari number). Sideaineks kasutati modifitseeritud tärklistest seenevastaste lisanditega liimi Metylan Universal Premium, mis on müügil tapeediliimina (Tootja Henkel).

Katsekehade nummerdus:

I-1; I-2; I-3; I-4; I-5 – printeripaber tihedusega 80 g/m^2 + 20 g liimi;

II-1; II-2; II-3; II-4; II-5; II-6 – printeripaber tihedusega 80 g/m^2 + 40 g liimi;

III-1; III-2; III-3; III-4; III-5 – läikiv reklaampaber + 20 g liimi;

IV-1; IV-2; IV-3; IV-4; IV-5 – munarest + 20 g liimi,

V-1; V-2; V-3; V-4; V-5 – ajalehepaber tihedusega 45 g/m^2 + 20 g liimi.

Pabermaterjalid purustati käsitsi. Liim lahustati pidevalt vispeldades kindlas koguses vees ning pabermass segati hoolikalt liimseguga (tabel 2.1).

Tabel 3.1. Proovikehade koostisainete nimekiri (g).

Proovi number	Proovi algkaal (ilma kausita)	Lisatud liim (kuiv)	Lisatud vesi (liimi lahustamiseks)
	g	g	g
I	2793	20,0	1000
II	2406	40,0	1000
III	1017	7,3	500
IV	1180	8,4	500
V	1202	8,6	500

Valmistatud krohv paigaldati plastvormi sisediaimeetriga 100 mm ja kõrgusega ca 25 mm (joonis 3.1).



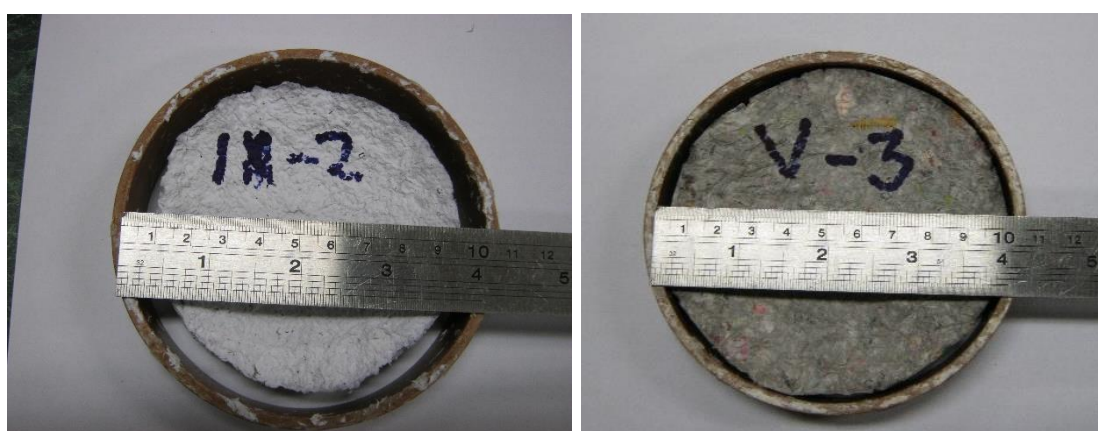
Joonis 3.1. Kuivavad katsekehad, katsekehadele märgitud grupi tunnus (erakogu)

Katsekehi hoiti laboris poorbetoonist alusel 27 päeva keskmisel õhutemperatuuril 22,7°C, keskmise suhtelise õhuniiskuse 29,9% juures. Kuivamise ajal tõmbusid katsekehad oluliselt kokku (joonised 3.2...3.3).

Tabelist 3.2 on näha, et enim kaotas ruumalas II retsepti järgi tehtud paberkrohvist katsekehad. Kõige vähem muutus maht III retsepti järgi valmistatud kehadel. Detailsed katsekehade mõõtmed on toodud lisas (tabel L.1).

Tabel 3.2. Katsekehade keskmised parameetrid

Katsekeha grupp	Proovikehade keskmine diameeter peale kuivamist	Proovikehade keskmine kõrgus peale kuivamist	Kuivade proovikehade keskmine mass	Kuivade proovikehade keskmine tihedus
	mm	mm	g	kg/m ³
I	93,2	22,3	38,06	250
II	88,8	17,6	25,99	239
III	99,7	23,8	25,88	139
IV	99,2	22,5	25,93	149
V	97,2	21,6	39,46	246

**Joonised 3.2...3.3.** Proovikehad II-2 ning V-3 peale 27 päevast kuivamisperioodi (erakogu)

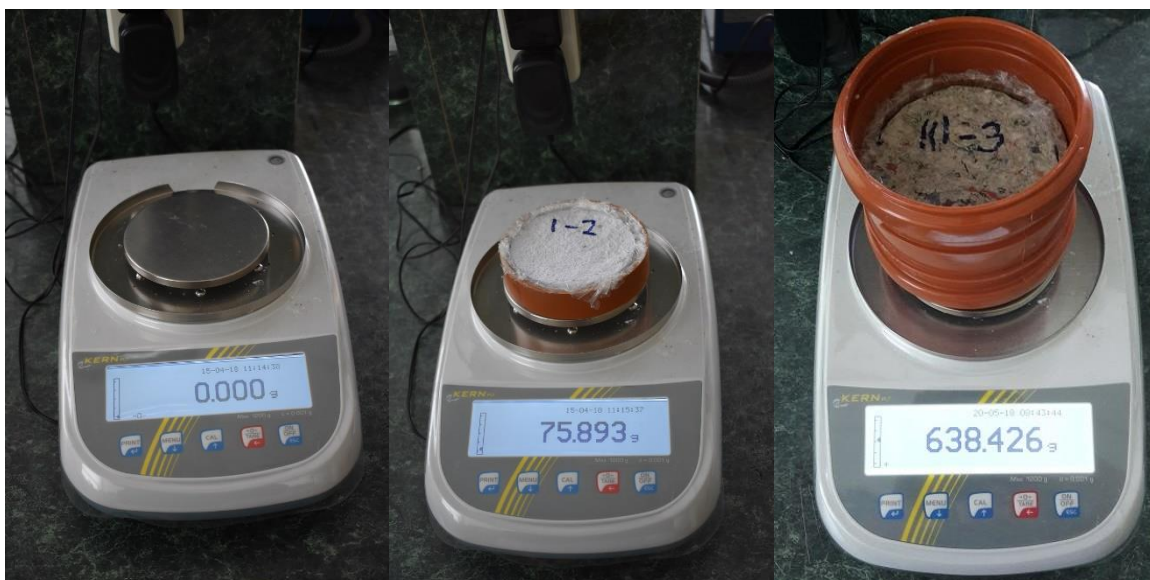
Peale 27 päevast kuivamist sisetingimustes viidi proovikehad kontrollitud kliimatingimustega kambrisse, kus neid hoiti temperatuuril 23°C ja RH = 33% katsete läbiviimise alguseni. Kaalumiseiga selgitati välja ka krohvisegu ligikaudne niiskus (tabel 3.3).

Tabel 3.3. Krohvisegu niiskus

Segu	Kausi mass	15.11.18	16.11.18	17.11.18	20.11.18	Märg taarata	Kuiv taarata	Väljakuivanud vesi	Segu niiskus
		Katsekeha kaal							
	g	g	g	g	g	g	g	g	%
I	116,624	388,674	162,028	161,894	161,864	272,050	45,240	226,810	501
II	113,262	434,300	153,208	151,007	150,984	321,038	37,722	283,316	751
III	110,020	401,400	143,152	143,021	143,022	291,380	33,002	258,378	783
IV	108,879	423,486	145,690	144,533	144,565	314,607	35,686	278,921	782
V	109,243	421,940	166,052	165,362	164,271	312,697	55,028	257,669	468

3.2 Katsetes kasutatud seadmed

Katses kasutati TTÜ Tartu kolledži laboratooriumis asuvaid seadmeid. Kaal Kern PLT 1200-3A (joonised 3.4...3.6) võimaldab kaaluda täpsusega 0,001 g. Kliimakamber RUMED 4101 (joonised 3.7...3.9), mis suudab hoida temperatuuri $0...60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ning RH vahemikus 20...95% täpsusega $\pm 2...3\%$, mis vastavad standardis nõutud tingimustele.



Joonised 3.4...3.6. Digitaalne kaal Kern PLT 1200-3A; sorptsiooni/niiskuspuhverduse katsekeha; veeauru läbilaskvuse katsekeha (erakogu)



Joonis 3.7...3.9. Kliimakamber RUMED; sorptsiooni/niiskuspuhverduse katsekehad; veeauru läbilaskvuse katsekehad (erakogu)

3.3 Veeauru sorptsioon (standardi järgi)

Veeauru sorptsiooni määramiseks viidi läbi katse 26.03.2018-30.04.2018.

Eestis on poorsete materjalide hügroskoopsuse määramiseks kasutusel standard: EVS-EN ISO 12571:2013 *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties* ning enne katse alustamist tuleb kehad kuivatada vastavalt materjali niiskuse määramise standardi reeglitele EVS-EN ISO 12570:2013 *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature*.

Käesolevas katses kasutati paberkrohvi sorptsiooni määramiseks standardis EVS-EN ISO 12571:2013 kirjeldatud kliimakambri meetodit.

Katsekehad kaeti toidukilega nii, et avatuks jäi ainult üks tasapind ning paigaldati algsetesse vormidesse.

Kuigi standard EVS-EN ISO 12571:2013 näeb ette materjalil, mille tihedus on väiksem kui 300kg/m^3 katsekeha mõõtmeteks minimaalselt $100 \cdot 100$ mm, kasutati kokkuleppel juhendajaga katsekehasid, mille diameeter oli keskmiselt 95,4 mm.

Katse viidi läbi temperatuuri 23°C juures. Katsekehad paigutati püsiva, kontrollitud kliimaga kambrisse (joonis 3.7). Standardi järgi on katse läbiviimiseks vajalik valida neli kindlat suhtelist õhuniiskust, mille juures katsekeha massi muutuseid mõõdetakse. Antud katse teostamiseks valiti õhuniiskusteks 30%, 50%, 75% ja 95%. Kehad olid jagatud vastavalt paberkrohvi koostisele viide gruppi: I, II, III, IV ja V. Katsekehasid mõõdeti 24 tunniste vahedega kuni keha oli kindla õhuniiskuse juures saavutanud tasakaaluniiskuse. Tasakaaluniiskuse saavutamiseks loetakse olukorda, kui katsekeha kolme järjestikuse kaalumise tulemusena jääb massi muutus algsest massist 0,1% vahemikku. Mõõtetulemused kanti töötluseks programmi *Microsoft Excel*.

Kaalumistulemuste põhjal arvutati katsekehade niiskus u (%) valemiga (5):

$$u = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\% \quad (5)$$

kus m on katsekeha mass, kg;

m_0 on kuivatatud katsekeha algmass, kg.

Saadud arvuste põhjal koostati sorptsiooni ja desorptsiooni kõverad ehk isotermid, millel näidatakse katsekeha massi muutust erinevate suhteliste õhuniiskuste juures.

Tabelid mõõte- ja arvutustulemustega ning sorptsiooni ja desorptsioonikõverad on toodud välja käesoleva töö punktis 4.1.

3.4 Moisture buffering (NORDTEST meetodi järgi)

Paberkrohvi niiskuspuhverduse omaduste määramiseks kasutati NORDTEST meetodikat sisekeskkonnale avatud homogeensete materjalide või komposiitsüsteemide niiskuspuhverduse võime määramiseks (Rode, 2005). Katse viidi läbi ajavahemikus 24.01.2018...31.01.2018.

NORDTEST meetodiga määratakse niiskuse puhverdusvõimet siseõhuga kokkupuutes olevatel materjalidel nagu näiteks ehitusmaterjalid ja mööbel, jälgendades ööpäevase suhtelise õhuniiskuse muutumist ruumis.

NORDTEST meetodi kohaselt arvutatakse materjali niiskuse puhverdusvõime tingimustes, kui materjali hoitakse suhtelise õhuniiskuse 75% juures 8 tundi ning RH = 33% õhuniiskuse juures 16 tundi, jälgendades magamistoa niiskustsüklit.

Käesoleva töö punktis 3.1 kirjeldatud katsekehad ümbritseti kahekordse toidukilega ja paigutati plastikust vormidesse nii, et õhuniiskusele oleks avatud ainult üks külg katsekehast. Kuigi meetodika soovib kasutada risttahuka kujulisi katsekehi ning minimaalselt 0.01 m² suurust kokkupuutepinda niiskusega, kasutati katses ümmargusi katsekehi keskmise pindalaga 0,007 m².

Uurimustöö teostamisel viidi puhverdusvõime määramine läbi kahel korral. Esimene katse viidi läbi 13.12.2017...19.12.2017. Esimesel korral hoiti algsel aklimatiseerimisel katsekehasid keskkonnas RH = 33%, temperatuuril 23°C. Peale algset aklimatiseerimist hoiti proovikehasid RH = 75% juures 8 tundi ning RH = 33% juures 16 tundi. Katse käigus uuriti katsekehade käitumist esimestel tundidel peale õhuniiskuse muutmist kliimakambris. Selleks kaaluti katsekehasid iga kahe tunni tagant 9:30 kuni 12:30 ning ühe tunni tagant 17:30 kuni 20:30.

Katse teisel teostamisel viidi katse läbi täpselt NORDTEST meetodi kohaselt, mille järgi toimus algne aklimatiseerimine temperatuuril 23°C suhtelise õhuniiskusega 50%, kuni tasakaalupunkti saavutamiseni nii, et kahel järjestikusel päeval jääks katsekehade massi muutus 0,1% sisse keha algmassist.

Käesolevas töös on välja toodud ja analüüsitud ainult teise katse tulemusi.

Kui tasakaaluniiskus oli saavutatud, muudeti kliimakambri suhteline õhuniiskus 75% juurde ning katsekehi kaaluti iga kahe tunni möödumisel. NORDTEST meetodi järgi peab katsekehi kaaluma minimaalselt 5 korda 8 tunnise niiskuse imendumise perioodil vähemalt kolme päeva jooksul.

8 tunni möödumisel muudeti suhteline õhuniiskus 33% ning katsekehi kaaluti ühe korra kahe tunni möödumisel. 16 tundi peale õhuniiskuse madaldamise kaaluti katsekehad ning õhuniiskus tõsteti uuesti 75% peale. Ühe tsükli kaalumised toimusid kell 11:30; 13:30; 15:30; 17:30 (muudeti RH 75%) 19:30 ning järgmisel päeval kell 9:30 (muudeti RH 33%).

Tsükliline niiskuse muutmine jätkus, kuni keskmine massi muutus Δm (g) jäi 5% sisse viimasel kolmel tsüklil (päeval). Seejuures Δm on määratletud kui aritmeetiline keskmine imendunud niiskuse massist ning väljakuivanud niiskuse massist. Lisaks peab erinevus niiskuse imendumisel ja väljakuivamisel iga tsükli jooksul olema väiksem kui 5% keskmisest massi muutusest Δm .

Iga tsükli kohta arvutatakse kaks iseloomustavat suurust: üks massi tõusu ($m_{8tundi}-m_0$) ja üks massi languse kohta ($m_{24tundi}-m_{8tundi}$). Mõõtmistulemuste põhjal arvutatakse iga katsekeha puhul massimuutus ruutmeetri kohta ja ΔRH kohta. Saadud tulemuste põhjal arvutatakse sama tüüpi katsekehade keskmine massimuutus (Δm). Saadud tulemused arvutatakse pindala (m^2) ning keskmise õhuniiskuse (ΔRH) kohta.

3.5 Veeaurujuhtivus (standardi järgi)

Paberkrohvi veeauru läbilaskvuse määramiseks viidi läbi katse 18.05.2018-25.05.2018.

Katse läbiviimisel on lähtutud standardist EVS-EN ISO 12572:2016 *Hygrothermal performance of building materials and products- Determination of water vapour transmission properties- Cup method*.

Nimetatud standard käsitleb ehitusmaterjalide ja -toodete veeauru läbilaskvuse määramist konstantse temperatuuriga tingimustes.

Standardi kohaselt kinnitatakse proovikeha anumale, milles on kuivatusaine (kuiva anuma meetod), või soolalahus (märja anuma meetod). Käesoleva töö katsed viidi läbi märja anuma meetodil.

Standardis on sätestatud, et katsetes kasutatavate kehade diameeter peab olema vähemalt kaks korda suurem, kui katsekeha kõrgus.

Käesoleva töö katses kasutatavate proovikehade paksus oli peale kuivamist 16,3...24,7 mm ning läbimõõt 88,75...99,70 mm. Juhul kui katsekehade niiskusele avatud pindala on väiksem kui 0,05 m², tuleks kasutada minimaalselt 5 keha. Katsekehade arv krohvi kohta oli 5...6.

Testi läbiviimiseks täidetakse katses kasutatavad ümmargused korrosioonikindlad anumad kindlaksmääratud mahus küllastunud soollahusega. Soollahus tagab veeauru osarõhu püsivuse anumats katsetes ettenähtud tasemel. Anumas kindla õhuniiskuse tagamiseks kasutatakse KNO₃ küllastunud lahust, mis tagab 23°C temperatuuri puhul anumasse suhtelise niiskuse 94%.

Katsekeha ning vedeliku vahele peab jääma õhkvahe, paksusega (10 ± 5) mm. Läbiviidud katses jäi vedeliku pinna ning katsekeha vahele katse alguses ca 15 mm õhkvahe, anuma suue oli võrdne katsekeha niiskusele avatud pindalaga.

Katsekehad kaetakse vee- ja aurukindla materjaliga, avatuks jäetakse ainult anumaga seotud tasapind ning selle vastas asuv pind. Anuma suudmele kinnitatakse õhutihedalt katsekeha.

Nõuetekohaselt ettevalmistatud katsekehasid hoitakse kliimakambris, mida on võimalik seadistada temperatuurile (23 ± 2)°C ning RH väärtusega (50 ± 5)%. Rõhkude erinevuse tõttu toimub niiskuse ülekandumine (suurema rõhuga keskkonnast väiksemasse, st topsist läbi katsekeha välja), mille kiirus määratakse katsekeha kaalumise teel. Kogemuslikult peab määrama ajavahemiku, mille järel katsekehasid kaalutakse. Kaalumised toimusid iga 24 h järel.

Kaalumised jätkuvad kuni viie järjestikuse kaalumise tulemusena jääb massi muutus algsest massist ± 5% vahemikku st katsekeha läbib ajaiühikus konstantne kogus veeauru. Kaalumiste tulemusel moodustub massi-aja graafik.

Tulemuste analüüsiks leitakse esmalt massi muutus (kg/s) valemiga (6):

$$\Delta m_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

Kus m_1 on mass ajahetkel t_1 , kg;

m_2 on katsekeha mass ajahetkel t_2 , kg;

t_1 ja t_2 on järjestikused kaalumisajad, s.

Tulemuste põhjal arvutatakse veeauru intensiivsus g (kg/s) valemiga (7):

$$g = \frac{G}{A} \quad (7)$$

kus A on katsekeha pindala, mis on avatud anumale, m^2 ;

G on viimase viie katsetulemuse Δm_{12} keskmine tulemus.

Veeauru juhtivuse W ($kg/(m^2 \cdot s \cdot Pa)$) leidmiseks kasutatakse valemit (8):

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p} \quad (8)$$

kus Δp on standardi poolt määratud rõhk. Antud juhul $\Delta p = 1207 Pa$.

Veeaurutakistuse Z ($(m^2 \cdot s \cdot Pa)/kg$) leidmiseks kasutatakse valemit (9):

$$Z = \frac{1}{W} \quad (9)$$

Veeauru läbivus δ ($kg/(m \cdot s \cdot Pa)$) leitakse valemiga (10):

$$\delta = W \cdot d \quad (10)$$

kus d on materjali või katsekeha paksus, m.

Difusioonikonstant μ leitakse valemiga (11):

$$\mu = \frac{\delta_{air}}{\delta} \quad (11)$$

kus δ_{air} on õhu veeaurujuhtivus $188 \text{ ng}/(m \cdot s \cdot Pa)$.

Katmata materjalikihi aurutakistuse S_d (m) arvutatakse valemiga (12):

$$s_d = \mu \cdot d \quad (12)$$

4 TULEMUSED

4.1 Veeauru sorptsioon

Kuivad katsekehad asetati kliimakambrisse 23°C kraadise õhutemperatuuri juurde suhtelise õhuniiskusega 0%. Vastavalt standardile EVS-EN ISO 12571 kaaluti katsekehi iga 24 tunni möödumisel, kuni järjestikused mõõtmistulemused erinesid alla 0,1%, st saavutati tasakaaluniiskus. Katsekehade kuivamine võttis aega 72 tundi.

Seejärel tõsteti õhuniiskus $RH = 30\%$ peale ning jätkati kaalumist 24 tunniste vahedega kuni uue tasakaaluniiskuse saavutamiseni. Seejärel tõsteti kliimakambris suhtelist õhuniiskust ning korraldati protseduuri 50%; 75% ja 95% suhtelise õhuniiskusega keskkonnas. Kogu katse vältel oli kliimakambris temperatuur $(23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. Kui 95% juures oli tasakaaluniiskus saavutatud, langetati õhuniiskus 75%, 50% ning 30% juurde, et iseloomustada adsorbeerunud vee väljakuivamist paberkrohvist.

Katse käigus saadud mõõtetulemused on toodud tabelis 4.1, kus on näidatud katsekehade mõõtmistulemused suhtelise õhuniiskuse tõstmisel 50% pealt 75%-le. Ülejäänud katsekehade õhuniiskuste muutmistel saadud tulemused on esitatud lisas (tabelid L.2...L.8).

Kaalumiste põhjal on koostatud tabelid tasakaaluniiskuste kohta keskkondades RH 30%, 50%, 75% ja 95% juures adsorptsioonil (tabel 4.2) ja desorptsioonil (tabel 4.3) ning neid iseloomustavad adsorptsiooni (joonis 4.1) ja desorptsiooni (joonis 4.2) kõverad.

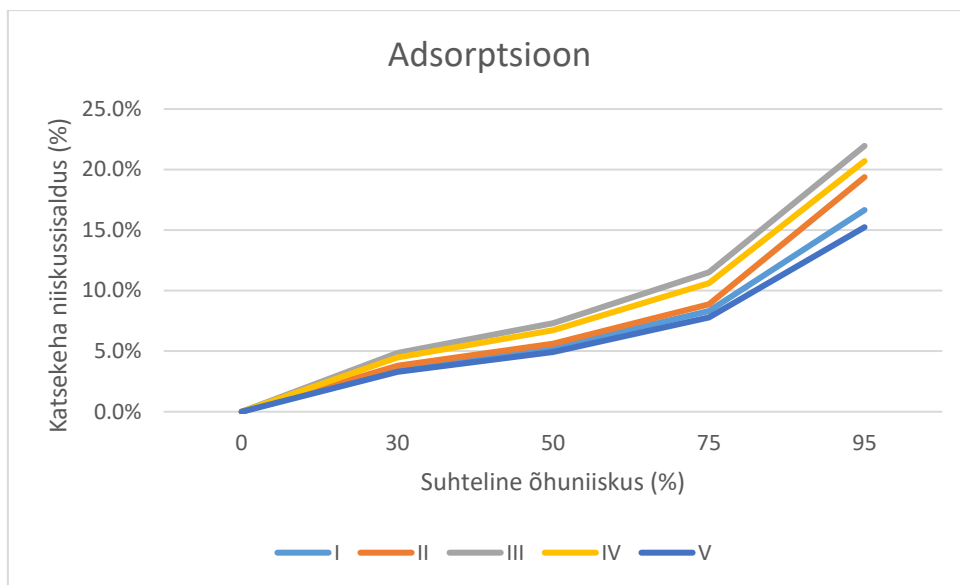
Tabelist 4.2 ning jooniselt 4.1 on näha, sorptsioon toimub vahemikes 0...30%; 30...50% ning 50...75% üsna sarnase ja rahuliku tempoga. Veeauru tõus jääb vahemikku 2,9...4,8%. Tõstes õhuniiskuse $RH = 75\%$ pealt 95%-ni toimub märgatav tõus niiskuse kasvus ning kehad adsorbeerivad 7,4...10,5% enda kuiva massi kohta. Gruppide tulemuste järjekord on olnud üsna stabiilne - kogu adsorptsiooni katseosa vältel on enim adsorbeerinud I grupi katsekehad (printeripaber + 20 g liimi). Kõige vähem on adsorbeerunud IV grupi katsekehad (munarest + 20 g liimi). Ülejäänud katsekehade järjekord varieerub vastavalt kindlale õhuniiskusvahemikule ja ajale kuigi tasakaaluniiskuse saavutamiseks kõigil õhuniiskustel on teisel kohal V grupi katsekehad (ajalehepaber + 20 g liimi), kolmandal kohal III grupi katsekehad (läikiv reklaampaber + 20 g liimi) ning neljandal kohal II grupi kehad (printeripaber + 40 g liimi).

Tabel 4.1. Katsekehade (pakendita) kaalumistulemused adsorptsioonil RH 50...75% (g)

	Aeg (h)					Aeg (h)			
	0	24	48	72		0	24	48	72
	g	g	g	g		g	g	g	g
I-1	39,37	39,43	39,44	39,44	IV-1	27,50	27,54	27,56	27,55
I-2	40,40	40,46	40,47	40,47	IV-2	26,26	26,29	26,31	26,31
I-3	39,13	39,19	39,20	39,21	IV-3	25,38	25,42	25,43	25,43
I-4	38,48	38,53	38,53	38,54	IV-4	28,75	28,81	28,82	28,83
I-5	39,57	39,63	39,65	39,65	IV-5	27,52	27,57	27,58	27,59
II-1	27,84	27,89	27,89	27,90	V-1	40,26	40,35	40,37	40,38
II-2	27,75	27,78	27,78	27,78	V-2	41,32	41,42	41,44	41,45
II-3	27,44	27,47	27,47	27,48	V-3	41,26	41,33	41,35	41,35
II-4	26,28	26,31	26,31	26,33	V-4	41,41	41,52	41,55	41,56
II-5	26,33	26,37	26,36	26,38	V-5	39,14	39,22	39,25	39,25
II-6	26,18	26,21	26,21	26,22					
III-1	25,40	25,45	25,46	25,47					
III-2	26,85	26,91	26,92	26,93					
III-3	28,58	28,64	28,66	28,66					
III-4	26,72	26,78	26,79	26,80					
III-5	28,01	28,07	28,09	28,09					

Tabel 4.2. Paberkrohvide tasakaaluniiskused adsorptsioonil (%)

	RH 30%			RH 50%		
	Vesi katsekehas		Niiskus	Vesi katsekehas		Niiskus
	Vahemik	Keskm.		Vahemik	Keskm.	
	g	g	%	g	g	%
I	1,37...1,43	1,40	3,6%	2,03...2,13	2,08	5,3%
II	1,00...1,04	1,02	3,8%	1,47...1,55	1,52	5,6%
III	1,24...1,38	1,31	4,8%	1,87...2,07	1,98	7,3%
IV	1,14...1,29	1,21	4,5%	1,72...1,94	1,82	6,7%
V	1,27...1,37	1,34	3,3%	1,91...2,06	2,01	4,9%
	RH 75%			RH 95%		
	Vesi katsekehas		Niiskus	Vesi katsekehas		Niiskus
	Vahemik	Keskm.		Vahemik	Keskm.	
	g	g	%	g	g	%
I	3,20...3,36	3,27	8,3%	6,45...6,73	6,55	16,7%
II	2,33...2,46	2,39	8,9%	5,12...5,34	5,22	19,4%
III	2,94...3,29	3,12	11,5%	5,68...6,20	5,95	22,0%
IV	2,72...3,05	2,87	10,6%	5,27...5,92	5,60	20,7%
V	3,03...3,25	3,17	7,8%	5,97...6,37	6,21	15,2%

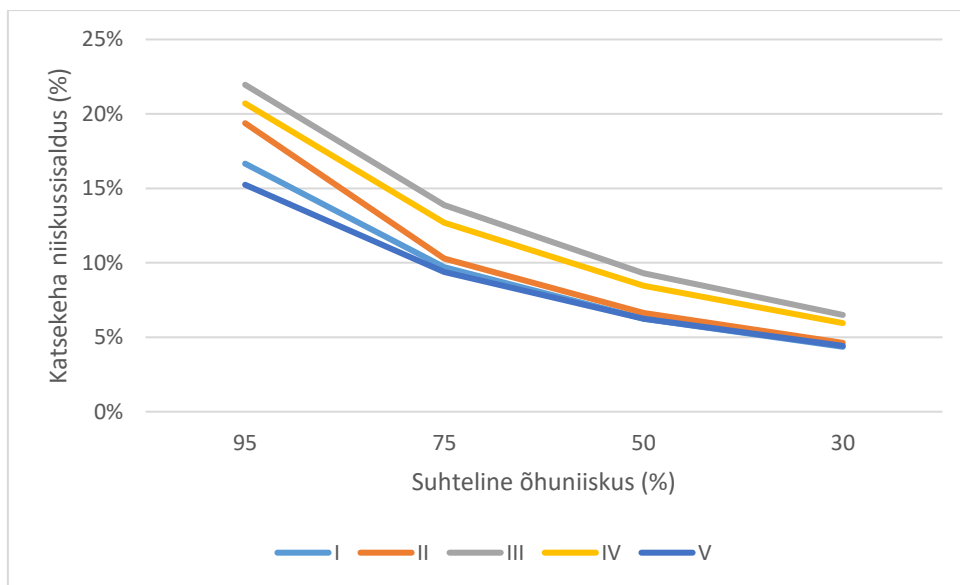


Joonis 4.1. Paberkrohvide niiskumiskõverad

Tabelis 4.3 ja joonisel 4.2 on näha, et kõige suurem osa kogu väljakuivanud niiskusest kuivab välja vahemikus 95...75%, mille jooksul muutub keha niiskus keskmiselt 18,8% pealt (15,2...22,0%) 11,2% (9,4...13,9%) juurde. Niiskusvahemikes 75...50% ning 50...30% toimub niiskuse väljakuivamine üsna sarnaselt, kaotades vastavalt niiskust keskmiselt 3,8% (3,1...4,6%) ning 2,2% (1,8...2,8%) sisalduvast niiskusest.

Tabel 4.3. Paberkrohvide tasakaaluniiskused desorptsioonil (%)

	RH 95%			RH 75%		
	Vesi katsekehas		Niiskus	Vesi katsekehas		Niiskus
	Vahemik	Keskm.		Vahemik	Keskm.	
	g	g	%	g	g	%
I	6,45...6,73	6,55	16,7%	3,73...3,92	3,81	9,7%
II	5,12...5,34	5,22	19,4%	2,70...2,84	2,77	10,3%
III	5,68...6,20	5,95	22,0%	3,54...3,96	3,76	13,9%
IV	5,27...5,92	5,60	20,7%	3,21...3,67	3,44	12,7%
V	5,97...6,37	6,21	15,2%	3,64...3,92	3,82	9,4%
	RH 50%			RH 30%		
	Vesi katsekehas		Niiskus	Vesi katsekehas		Niiskus
	Vahemik	Keskm.		Vahemik	Keskm.	
	g	g	%	g	g	%
I	2,40...2,52	2,46	6,2%	1,67...1,76	1,71	4,4%
II	1,74...1,83	1,78	6,6%	1,21...1,27	1,25	4,6%
III	2,38...2,65	2,52	9,3%	1,65...1,86	1,76	6,5%
IV	2,15...2,43	2,29	8,5%	1,51...1,72	1,61	6,0%
V	2,41...2,62	2,54	6,2%	1,70...1,86	1,80	4,4%



Joonis 4.2. Paberkrohvide kuivamiskõverad

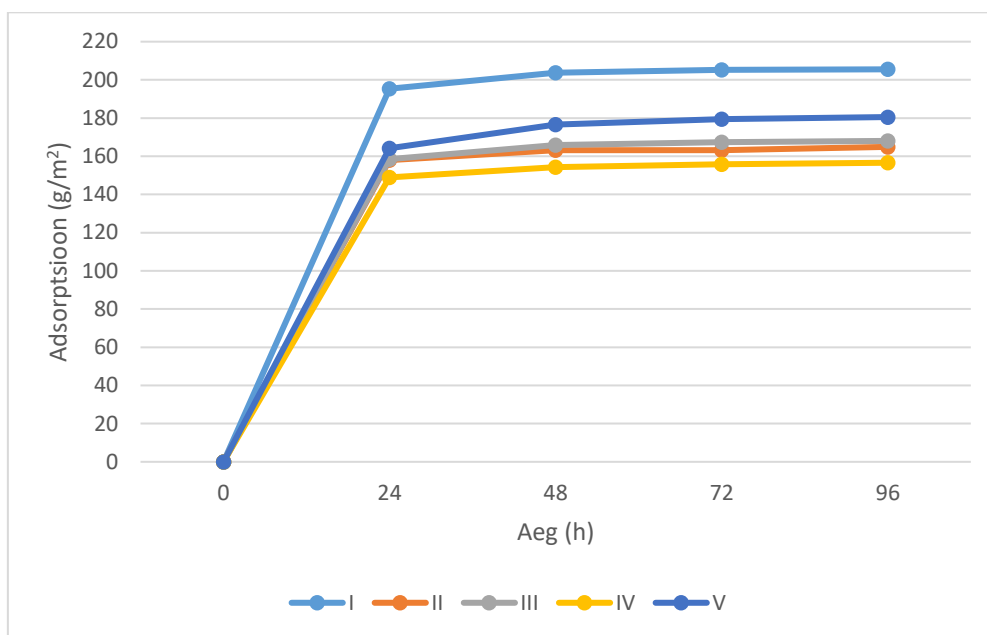
30% õhuniiskuse juures toimus maksimaalne keskmine adsorbeerumine katsekehade grupis I, (206 g/m^2). Sellele järgnesid grupp V (181 g/m^2), grupp III (168 g/m^2) ja grupp II (165 g/m^2). Kõige vähem imendus niiskust grupi IV katsekehadesse (157 g/m^2). Keskmine adsorptsioon 30% õhuniiskuse juures jäi 175 g/m^2 . III, II ning IV grupi katsekehad on adsorptsioonil suhtelise õhuniiskusega 0...30% peaaegu võrdväärsed, jäädes vahemikku 157 g/m^2 kuni 168 g/m^2 . Enim ja vähim adsorbeerunud gruppide veehulk erines 49 g/m^2 võrra.

Joonis 4.3 ja tabel 4.4 näitavad selgelt, et suurem osa niiskusmisest toimub esimese 24 h jooksul, keskmiselt 165 g/m^2 . Järgmistel tundidel toimuv katsekehade keskmine niiskumine on minimaalne jäädes 48 tunni möödumisel keskmiselt $7,7 \text{ g/m}^2$, 72 tunni möödumisel $1,5 \text{ g/m}^2$ ning 96 tunni möödumisel $0,9 \text{ g/m}^2$.

Vahemikus, kus õhuniiskus tõsteti 0%-lt 30%-le loeti stabiliseerunuks 72 tunni möödumisel.

Tabel 4.4. Paberkohvi niiskumine RH 0...30% (g/m^2)

	Aeg (h)			
	24	48	72	96
	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2
I	195,44	203,72	205,18	205,51
II	157,96	163,21	163,16	164,91
III	158,46	165,79	167,38	168,05
IV	148,97	154,36	155,82	156,61
V	164,21	176,60	179,52	180,52

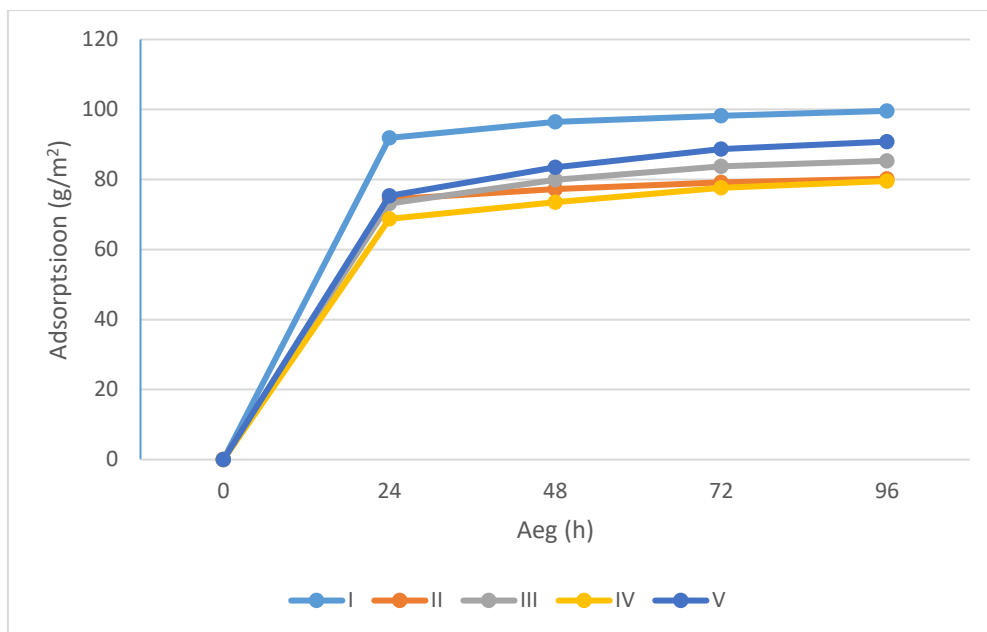


Joonis 4.3. Paberkohvi niiskumine RH 0...30% (g/m^2)

Jooniselt 4.4 ja tabelist 4.5 on näha, et sarnaselt adsorbeerumisele 30% suhtelise õhuniiskuse juures, on RH = 50% juurde tõstmisel samuti kõige paremini adsorbeerunud grupp I katsekehad (100 g/m^2). Sellele järgnevad grupp V (91 g/m^2), grupp III (85 g/m^2) ning kõige vähem on adsorbeerunud võrdselt grupid II ja IV (80 g/m^2). Siiski on märgata erinevate gruppide omavahelist ühtlustumist: kõige rohkem (grupp I) ja kõige vähem (grupid II ja IV). Suurima ning väikseima adsorbeerunud gruppide erinevus on vaid 20 g/m^2 .

Tabel 4.5. Paberkohvi niiskumine RH 30...50% (g/m^2)

	Aeg (h)			
	24	48	72	96
	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2
I	91,91	96,48	98,20	99,60
II	74,31	77,23	79,22	80,22
III	73,12	79,96	83,77	85,34
IV	68,73	73,54	77,62	79,57
V	75,31	83,51	88,72	90,82



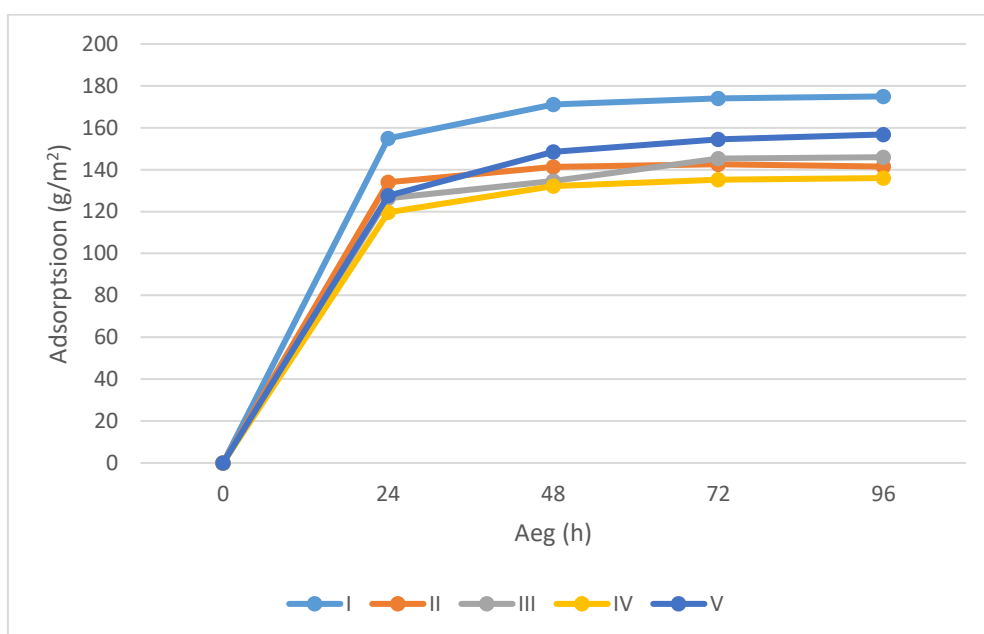
Joonis 4.4. Paberkohvi niiskumine RH 30...50% (g/m^2)

Nagu graafikult 4.4 on näha, on suhtelise õhuniiskuse juures langenud adsorbeerimise kiirus esimese 24h jooksul, jäädes keskmiselt 77 g/m^2 juurde, mis on ligikaudu poole väiksem tulemus kui vahemikus 0%...30%. Samuti on nähtav adsorbeerumise aeglustumine peale 24 tundi. 48 tunnini jõudmisel lisandus keskmiselt $5,5 \text{ g/m}^2$ ning 72 tunnini jõudmisel $3,4 \text{ g/m}^2$. Katsekehad jõudsid niiskusliku tasakaaluni 96 tunni jooksul peale õhuniiskuse tõstmist RH = 50% peale. Viimase 24 tunni jooksul adsorbeerus keskmiselt $1,6 \text{ g/m}^2$.

Tabelis 4.6 ning joonisel 4.5 on 75% suhtelise õhuniiskuse juures on sarnaselt varasematel õhuniiskustel läbiviidud kaalumistega märgata I grupi katsekehade suurem adsorptsioon kui ülejäänud gruppidel (175 g/m^2). Sellele järgneb V grupp (157 g/m^2). Kuigi esimese 72 h jooksul on erinevat tüüpi paberkrohvide adsorbeerumise kiirus erinev, on tasakaaluniiskuse saavutamisel jälle adsorbeerimise mahult kolmandal kohal grupp III (146 g/m^2). Eelviimasel kohal on grupp II (142 g/m^2) ning kõige vähem adsorbeerib grupp IV (136 g/m^2). Siiski on kolme vähim adsorbeerinud grupi katsekehade tulemused peaaegu samaväärsed. Enim ja vähim adsorbeerunud gruppide erinevus on tõusnud 39 g/m^2 .

Tabel 4.6. Paberkohvi niiskumine RH 50...75% (g/m²)

	Aeg (h)			
	24	48	72	96
	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
I	154,96	171,11	174,05	174,96
II	134,05	141,35	142,56	141,50
III	126,29	134,59	145,27	145,95
IV	119,68	132,09	135,26	135,99
V	127,62	148,56	154,41	156,80

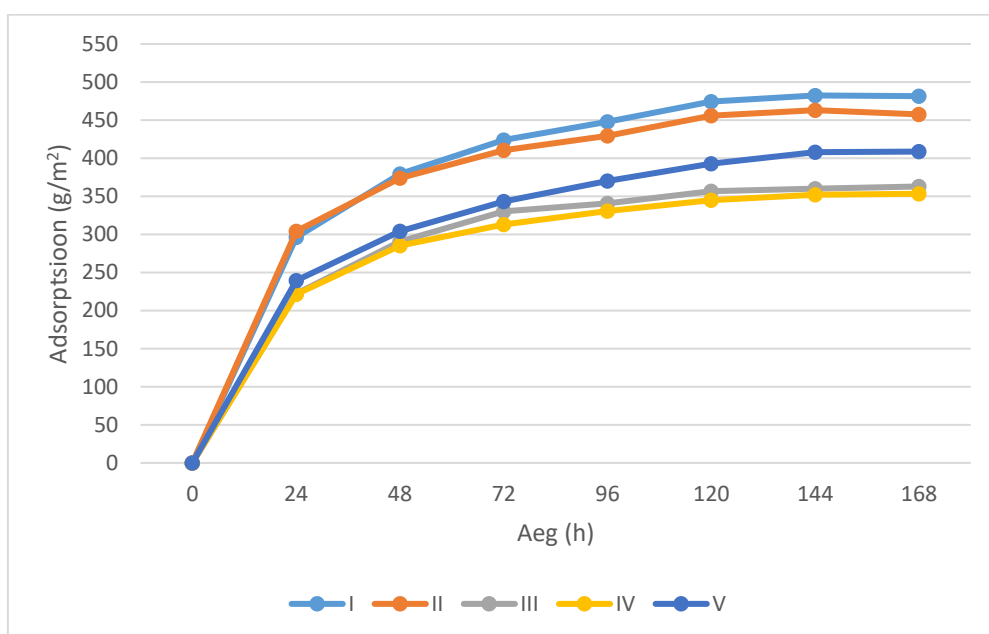
**Joonis 4.5.** Paberkohvi niiskumine RH 50...75% (g/m²)

Esimese 24 tunni jooksul adsorbeerus keskmiselt 133 g/m². Peale seda toimub adsorbeerumise aeglustumine: 48 tunni möödumisel oli lisandunud keskmiselt 13 g/m², 72 tunni möödumisel 4,8 g/m² ning 96 tunni möödumisel 0,7 g/m². Huvitav on asjaolu, et III grupi katsekehade adsorbeerumine suurenes 48 ja 72 tunni vahel võrreldes 24 ja 48 tunni vahemikuga, kuid langes järsult 72 tunni möödumisel.

Suhtelise õhuniiskuse juures 95% kasvab adsorbeerumise aeg tasakaalupunkti saavutamiseni märgatavalt (joonis 4.6; tabel 4.7). Võrreldes varasemate niiskuskeskkondadega pikenes niiskustasakaalu saavutamise aeg lausa 4 päeva.

Tabel 4.7. Paberkohvi niiskumine RH 75...95% (g/m²)

	Aeg (h)						
	24	48	72	96	120	144	168
	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
I	296,19	379,55	424,02	448,07	474,39	482,41	481,30
II	304,34	373,80	410,59	429,23	455,76	463,06	457,57
III	222,06	290,54	330,19	340,90	356,73	360,21	362,90
IV	221,59	285,10	312,90	330,45	345,12	352,05	353,34
V	239,60	304,22	343,38	370,10	392,79	408,09	408,72

**Joonis 4.6.** Paberkohvi niiskumine RH 75...95% (g/m²)

Kõige rohkem on keskmiselt adsorbeerunud I grupi katsekehad (481 g/m²). Erinevatelt eelmistest õhuniiskustest, on teisel kohal võrreldes teiste krohvidega varasemalt madalama adsorbeerimisega olnud II grupi katsekehad (458 g/m²), mis on peaaegu võrdväärne tulemus I grupi katsekehadega. Järgnevad V grupi katsekehad (409 g/m²), III grupi katsekehad (363 g/m²) ning IV grupi katsekehad (353 g/m²).

Kui varasemate niiskuste (RH = 30%, 50%, 75%) juures toimus 81,4% kuni 95,8% kogu kindlas niiskuskeskkonnas adsorbeerumisest esimese 24 tunni jooksul, siis RH = 95% juures adsorbeerub esimesel 24 h keskmiselt 62% kogu RH = 95% keskkonnas adsorbeerunud vee massist ning 24 h jooksul lisandub ca 17% ehk 70 g/m². 72 tunni saavutamiseks lisandub keskmiselt 38 g/m², 96 h saavutamisel 20 g/m², 120 h saavutamisel 21 g/m², 144 tunniks 8,2 g/m² ning viimasel 24 tunnil toimub osadel katsekehadel juba desorbeerumine kuni

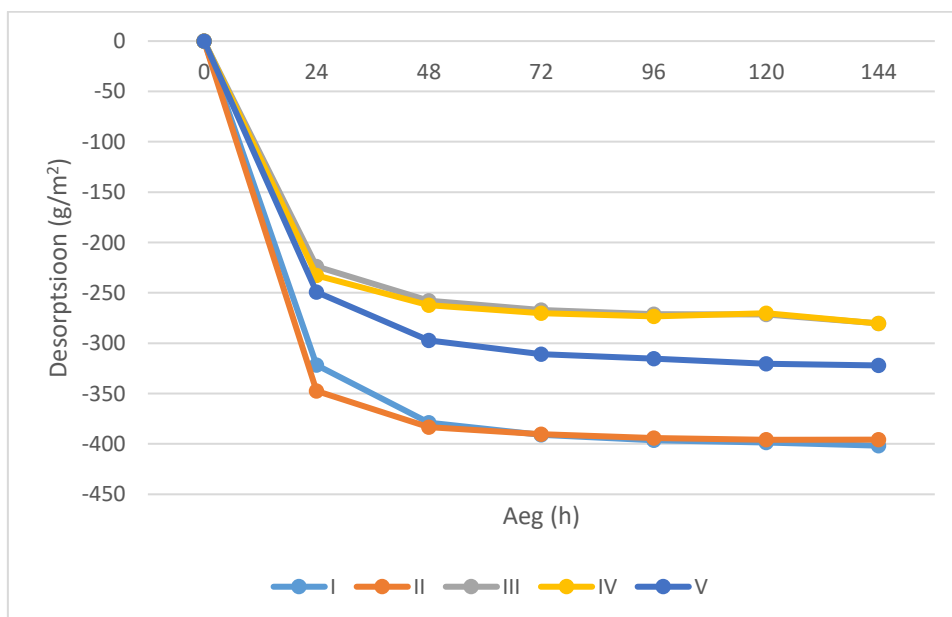
5,5 g/m². Märgata on ka muutusi adsorbeerunud vee hulgas. Adsorbeerunud vee hulk m² kohta on peaaegu sama suur, kui eelnevate õhuniiskuste juures imendunud niiskus m² kohta kokku.

Desorptsioon

Desorptsioonil suhtelise niiskuse vahemikus 95...75% kuivas katsekehast välja keskmiselt 336 g/m² (joonis 4.7; tabel 4.8). Kõige enam kuivasid I grupi katsekehad (402 g/m²) millega olid samaväärsed II grupi kehad (396 g/m²). V grupi katsekehad kaotasid keskmiselt 322 g/m². Kõige paremini säilitasid niiskust IV ning III grupi katsekehad, mis kuivasid mõlemad 280 g/m². Selgelt on eristuvad kiiremini desorbeeruvad kehad (grupid I ja II) ning aeglasemini adsorbeeruvad kehad (grupid IV ja III).

Tabel 4.8. Paberkohvi kuivamine RH 95...75% (g/m²)

	Aeg (h)					
	24	48	72	96	120	144
	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
I	-321,70	-379,00	-390,88	-396,38	-398,65	-401,70
II	-347,52	-383,40	-390,28	-394,22	-395,87	-395,81
III	-223,68	-257,82	-266,95	-271,28	-271,55	-280,25
IV	-232,61	-262,23	-270,14	-273,42	-270,17	-280,40
V	-249,28	-297,19	-310,81	-315,25	-320,34	-322,04



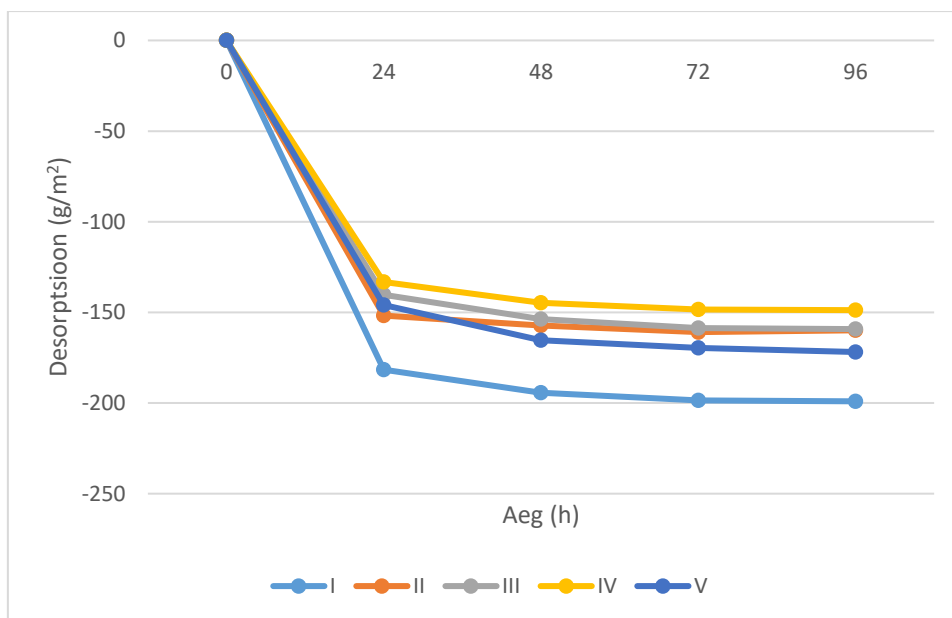
Joonis 4.7. Paberkohvi kuivamine RH 95...75% (g/m²)

Tabelist 4.9 ja jooniselt 4.8 on näha, et kõige intensiivsem niiskuse äraandmine toimub esimesel 24 tunnil 275 g/m^2 . Järgnevatel tundidel on kuivamine märgatavalt aeglustunud. 48-ks tunniks kuivab lisaks 41 g/m^2 , 72-ks 10 g/m^2 , 96-ks $4,3 \text{ g/m}^2$, 120-ks $1,2 \text{ g/m}^2$ ning 144-ks $4,7 \text{ g/m}^2$. Viimase kaalumisvahemiku statistika rikub IV ja III grupi katsekehade järsk kaalulangus, mis on $9 \dots 10 \text{ g/m}^2$ kohta. Tasakaaluniiskus loeti saavutatuks 144 tundi peale niiskuse langetamist $\text{RH} = 95\%$ pealt $\text{RH} = 75\%$.

Kõige vähem ja kõige rohkem väljakuivanud gruppide vahe oli lausa 121 g/m^2 .

Tabel 4.9. Paberkohvi kuivamine $\text{RH} 75 \dots 50\%$ (g/m^2)

	Aeg (h)			
	24	48	72	96
	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2
I	-181,68	-194,38	-198,47	-199,05
II	-151,77	-157,20	-160,88	-159,81
III	-140,26	-153,71	-158,61	-159,22
IV	-133,30	-144,68	-148,44	-148,77
V	-146,03	-165,34	-169,67	-171,86



Joonis 4.8. Paberkohvi kuivamine $\text{RH} 75 \dots 50\%$ (g/m^2)

Desorptsioonil 50% suhtelise õhuniiskuse juures on väljakuivava vee mass m^2 kohta vähenenud keskmiselt ligi 50% võrreldes vahemikuga $95 \dots 75\%$ (joonis 4.8; tabel 4.9). Märgata on ka I grupi katsekehade kuivamise suurenemist võrreldes teiste gruppidega

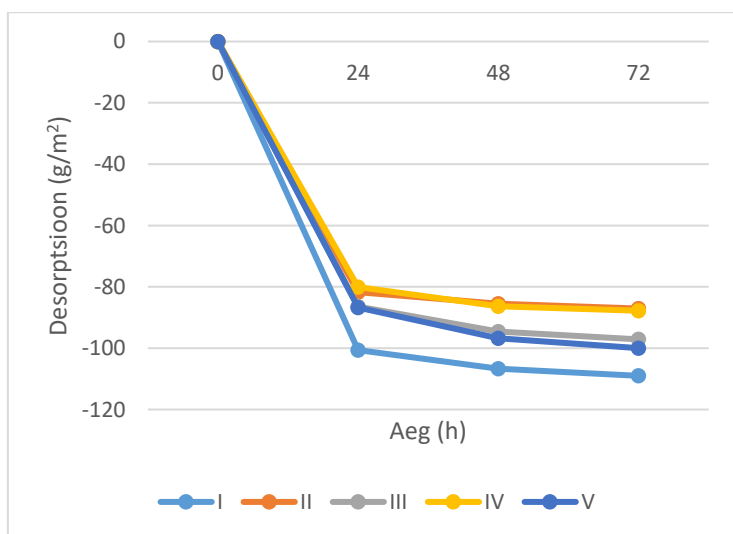
(199 g/m²). Ülejäänud gruppide järjestus kuivamismahu järgi on V grupp (172 g/m²), grupp II (160 g/m²), grupp III (159 g/m²) ning grupp IV (149 g/m²).

Kui vahemikus 95...75% toimus tasakaaluniiskuseni jõudmine 144 tunniga, siis vahemikus 75...50% on aeg tasakaalu saavutamiseni vähenenud 96 tunnini. Lisaks on märgata ka tuntavat kuivamise kiiruse stabiliseerumist peale 24 tundi võrreldes eelmise vahemiku 48 tunniga. Esimesel päeva jooksul kuivas katsekehast välja keskmiselt 151 g/m², teisel päeval 12,5 g/m², kolmandal päeval 4,2 g/m², ning viimasel päeval 0,5 g/m². Enim ja vähim desorbeeritud gruppide vahe on 50 g/m².

Desorptsioonil 30% suhtelise õhuniiskuse juures kuivasid kõige rohkem taas I grupi katsekehad (109 g/m²). Peaaegu võrdselt desorbeerisid V grupi (100 g/m²) ning III grupi (97 g/m²) katsekehad. Vähim niiskust kuivas välja IV grupi (88 g/m²) ning II grupi (87 g/m²) katsekehast (joonis 4.9; tabel 4.10).

Tabel 4.10. Paberkohvi kuivamine RH 50...30% (g/m²)

	Aeg (h)		
	24	48	72
	g/m ²	g/m ²	g/m ²
I	-100,60	-106,64	-109,02
II	-81,70	-85,50	-87,07
III	-86,39	-94,62	-97,13
IV	-80,08	-86,34	-87,79
V	-86,73	-96,76	-99,99



Joonis 4.9. Paberkohvi kuivamine RH 50...30% (g/m²)

Sarnasel varasemate kuivamistsükklitega, on märgata 24 tunni saabumisel kuivamise aeglustumist. Esimese 24 tunni jooksul adsorbeerus keskmiselt 87 g/m^2 , teisel päeval lisandus väljakuivamisele $6,9 \text{ g/m}^2$ ning viimasel 24 tunnil $2,2 \text{ g/m}^2$.

Katse lõpetati 72 tunni saabumisel. Vähim ja enim desorbeerunud gruppide vahe oli 21 g/m^2 .

4.2 Moisture buffering

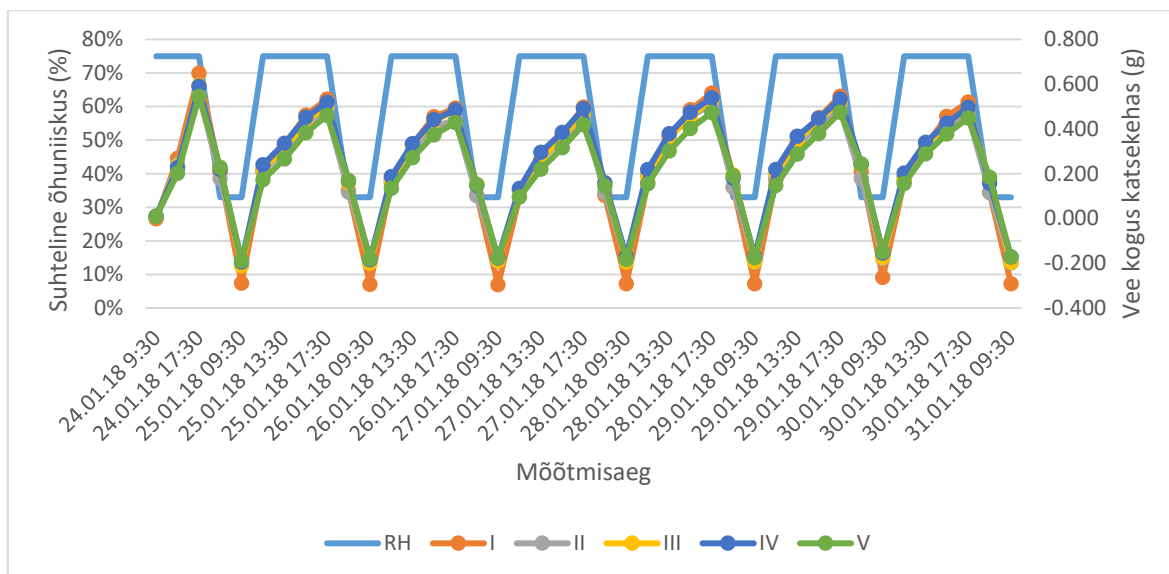
Katses kasutati varasemalt kirjeldatud katsekehi, mis kaeti ühelt küljelt ning äärtest toidukilega, vältimaks ülejäänud külgede kokkupuudet õhuniiskusega. Kaalumistulemused esitatud tabelites L.9...L.12.

Toatingimustes kuivanud katsekehad asetati aklimatiseerimiseks kliimakambrisse $\text{RH} = 50\%$, õhutemperatuuriga 23°C . Katsekehasid kaaluti iga 24 tunni möödumisel, kuni järjestikused mõõtmistulemused erinesid alla $0,1\%$ katsekeha massist, teisisõnu saavutati tasakaaluniiskus. Tasakaaluniiskuse saavutamiseks kulus 144 tundi.

Tasakaaluniiskuse saavutamisel tõsteti kliimakambri suhteline õhuniiskus järgmiseks kaheksaks tunniks 75% -le ning seejärel langetati 16-ks tunniks 33% peale. Kogu katse vältel hoiti kliimakambris temperatuuri 23°C . Niiskuse absorbeerumine ja desorbeerumine katsekehadesse fikseeriti kaalumise teel. Kaalumised viidi läbi iga kahe tunni tagant alates õhuniiskuse tõstmisest kuni langetamiseni. Lisaks viidi läbi kaalumised ka kaks tundi peale õhuniiskuse langetamist 33% -le.

Tsükli 8 h $\text{RH} = 75\%$ ja 16 h $\text{RH} = 33\%$ korrati, kuni kolme viimase tsükli kaalumiste tulemusel adsorbeeruva ja desorbeeruva veehulga erinevus jäi 5% sisse, ning samuti jäi 5% sisse kolme tsükli katsekehade maksimaalne ja minimaalne veesisaldus. Arvutused MBV määramiseks teostati viimase kolme katsetsükli tulemuste põhjal.

Joonisel 4.10 on välja toodud kõikide katsetsükli tulemused. Õhuniiskuse muutumine kliimakambris on välja toodud helesinise joonena (RH), mille väärtused on vasakul vertikaalsel teljel.

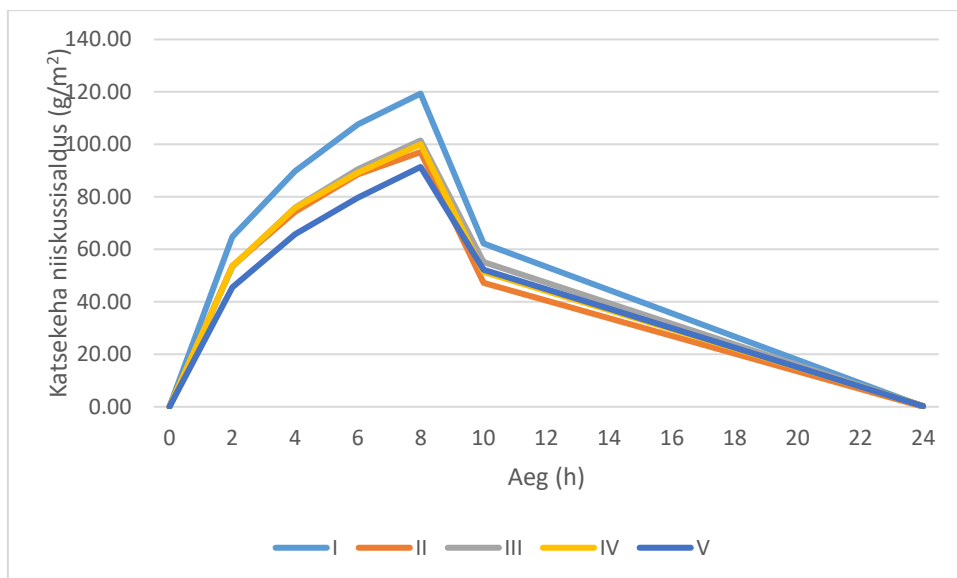


Joonis 4.10. NORDTEST katsekehade gruppide tsükliline muutumine katse vältel (g) ja RH väärtus (%)

Kõige suurema sorptsiooniga on I grupi katsekehad (tabel 4.11) - märgumistsükli jooksul imendus keskmiselt $121,3 \text{ g/m}^2$ ning kuivas välja $121,2 \text{ g/m}^2$. Katses kasutatavatest materjalidest on kõige halvema sorptsiooniga V grupi katsekehad (adsorbeerub $85,8 \text{ g/m}^2$, kuivab välja $85,3 \text{ g/m}^2$). Grupid II, III ja IV on puhverdusvõimelt üsna samaväärsed. Niiskust imendus $85,9 \dots 90,2 \text{ g/m}^2$ ning kuivas välja $85,3 \dots 90,0 \text{ g/m}^2$.

Tabel 4.11. NORDTEST katsekehade gruppide tsükliline muutumine katse vältel (g/m^2)

	28.01.18		29.01.18		30.01.18	
	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2	g/m^2
I	125,4	-125,4	123,2	-119,0	115,1	-119,3
II	112,7	-113,7	109,8	-107,3	103,3	-106,4
III	93,7	-92,6	91,3	-88,9	85,6	-88,5
IV	91,6	-92,2	91,4	-89,4	84,6	-86,7
V	88,9	-87,6	87,8	-84,2	80,8	-84,2



Joonis 4.11. NORDTEST katse viimase kolme viimase tsükli aritmeetiliste keskmiste niiskumiskõver (g/m^2)

Kõige enam (I grupp) ja kõige vähem (V grupp) sorbeerinud kehade vahe on 36 g/m^2 .

Katses kasutatavate erinevate suhteliste õhuniiskuste vahe ΔRH on $75\% - 33\% = 42\%$.

Teisendades m^2 kohta saadud andmed ΔRH kohta, on võimalik arvutada niiskuspuhverdus-võime.

Kõige suurema niiskuspuhverdus-võimega on I grupi katsekehad ($2,9 \text{ g/m}^2\% \text{RH}$) nendele järgneb II grupp ($2,6 \text{ g/m}^2\% \text{RH}$), III ja IV grupp ($2,1 \text{ g/m}^2\% \text{RH}$) ning kõige väiksema puhverdusvõimega on V grupp ($2,0 \text{ g/m}^2\% \text{RH}$).

4.3 Veeauru läbilaskvus

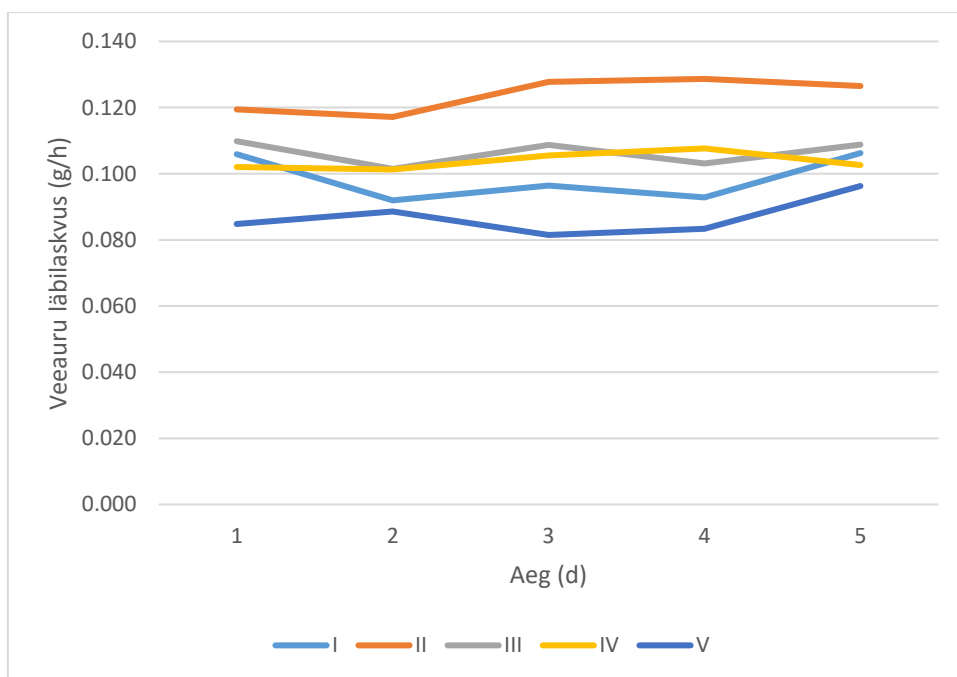
Veeauru läbilaskvuse määramiseks viidi läbi katse 18.05.2018...25.05.2018. Katseks kasutati varasemalt sorptsiooni ning niiskuspuhverdus-võime määramisel kasutatud katsekehasid. Katse viidi läbi kasutades EVS-EN ISO 12572:2016 katsemetoodikat, mis on kirjeldatud punktis 3.5.

Pakendatud katsekehad asetati kliimakambrisse, mis oli seadistatud $\text{RH} = 50\%$ ning temperatuurile 23°C . Katsekehade kaalumise intervalliks valiti 24 h. Kuigi standard näeb ette, et katse lõpetatakse kui 5 järjestikuse kaalumise tulemuste erinevus jääb 5% sisse, otsustati kaalumine lõpetada peale nädalast kaalumistsükli, kuigi katsekehade kaal ei

näidanud stabiliseerimise märke vaid kaalulanguse suurus ei stabiliseerunud. Arvutustes kasutatakse viimase 5 päeva kaalumistulemusi. Katsekehade kaalumistulemused on esitatud lisades (tabel L.14). Arvutustest jäeti välja katsekehade I-3, II-6 ning V-3 andmed, kuna tulemused erinesid oluliselt teiste sama grupi katsekehade mõõtetulemustest.

Veeauru läbivust iseloomustavad näitajad on toodud tabelis 4.12. Kõige rohkem läbis viimase viie päeva jooksul veeauru II grupi katsekehi (printeripaber + 40 g liimi) (14,9 g). Vähim veeauru läbis V grupi katsekehi (ajalehepaber + 20 g liimi) (10,4 g). Teisel kohal on I grupi katsekehad (printeripaber + 20 g liimi) (11,8 g). Kolmandale ja neljandale kohale jäävad veeauru läbilaskvuse poolest grupid III (läikiv reklaampaber + 20 g liimi) ja IV grupp (munarest + 20 g liimi) vastavalt 12,8 g ja 12,5 g.

Kehade veeauruvoo g arvutamisel otsustati kasutada viimase 5 päeva (120 h) tulemusi. Ajaühiku kohta on esitatud kaalumistulemuste aritmeetiline keskmine G. Tulemuste (tabel 4.12; tabel L.15) põhjal läbis ühes tunnis keskmiselt kõige rohkem veeauru II grupi katsekehasid (keskmiselt 0,124 g/h), jäädes vahemikku 0,116...0,137 g/h. Järgnesid I grupi katsekehad keskmiselt 0,099 g/h (0,093...0,104 g/h), III grupi katsekehad keskmiselt 0,106 g/h (0,092...0,121 g/h), IV grupi katsekehad keskmiselt 0,104 g/h (0,095...0,115 g/h). Kõige vähem veeauru läbis V grupi katsekehasid, keskmiselt 0,087 g/h (0,073...0,099 g/h). Katse jooksul olid kõige stabiilsema tulemusega katsekehad grupist IV (joonised 4.12; L.1...L.5).



Joonis 4.12. Veeauru läbilaskvus katsekehade gruppide kaupa (g/h)

Tabel 4.12. Veeauru läbilaskvus katsekehade kohta viimasel 120 tunnil (g/h). Punasega esitatud arvutamisel väljajäetud katsekehad.

	Läbinud veeaur		Veeauru läbilaskvus			Läbinud veeaur		Veeauru läbilaskvus	
	g	g	g/h	g/h		g	g	g/h	g/h
I-1	11,14	11,838	0,093	0,099	IV-1	11,38	12,459	0,095	0,104
I-2	11,57		0,096		IV-2	12,45		0,104	
I-3	19,94		0,166		IV-3	13,78		0,115	
I-4	12,20		0,102		IV-4	11,59		0,097	
I-5	12,44		0,104		IV-5	13,10		0,109	
II-1	14,09	14,871	0,117	0,124	V-1	10,21	10,428	0,085	0,087
II-2	15,32		0,128		V-2	11,85		0,099	
II-3	16,39		0,137		V-3	15,47		0,129	
II-4	14,61		0,122		V-4	8,72		0,073	
II-5	13,94		0,116		V-5	10,93		0,091	
II-6	16,85		0,140						
III-1	13,70	12,766	0,114	0,106					
III-2	11,02		0,092						
III-3	13,39		0,112						
III-4	14,47		0,121						
III-5	11,25		0,094						

Arvutuskäiku on esitletud katsekeha I-1 põhjal.

Keha massimuut aja suhtes on leitav valemiga (6)

$$\Delta m_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} = \frac{624,97 \cdot 10^{-3} - 627,07 \cdot 10^{-3}}{86\,400 - 0} = 2,43 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}$$

Kuna tegemist on katsekeha läbinud veeauru koguse muuduga, on kasutatud absoluutväärtust. Analoogselt järgnevate järjestikuste kaalumistulemuste põhjal tehtud arvutuste tulemused on järgmised:

$$\Delta m_{23} = 2,47 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s};$$

$$\Delta m_{34} = 2,67 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s};$$

$$\Delta m_{45} = 2,71 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}.$$

Massimuutudest arvutatakse nende aritmeetiline keskmine G.

$$G = 2,57 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s.}$$

Saadud tulemuse põhjal arvutatakse veeauru intensiivsus g ($\text{kg/s} \cdot \text{m}^2$) valemiga (7):

$$g = \frac{G}{A} = \frac{2,57 \cdot 10^{-8}}{0,0067} = 3,83 \cdot 10^{-6} \text{ kg / (s} \cdot \text{m}^2\text{)}.$$

Veeauru juhtivuse W leidmiseks kasutatakse valemit (8):

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p} = \frac{3,83 \cdot 10^{-6}}{0,0067 \cdot 1207} = 3,17 \cdot 10^{-9} \text{ kg / (m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa)}$$

Δp on standardis etteantud rõhk. Antud juhul $\Delta p = 1207 \text{ Pa}$.

Veeaurutakistuse Z leidmiseks kasutatakse valemit (9):

$$Z = \frac{1}{W} = \frac{1}{3,17 \cdot 10^{-9}} = 3,15 \cdot 10^8 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}{\text{kg}}$$

Selle põhjal saab määrata veeauru läbilaskvuse katsekeha kohta valemiga (10):

$$\delta = W \cdot d = 3,15 \cdot 10^8 \cdot 0,0217 = 68,72 \text{ ng (m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa)}$$

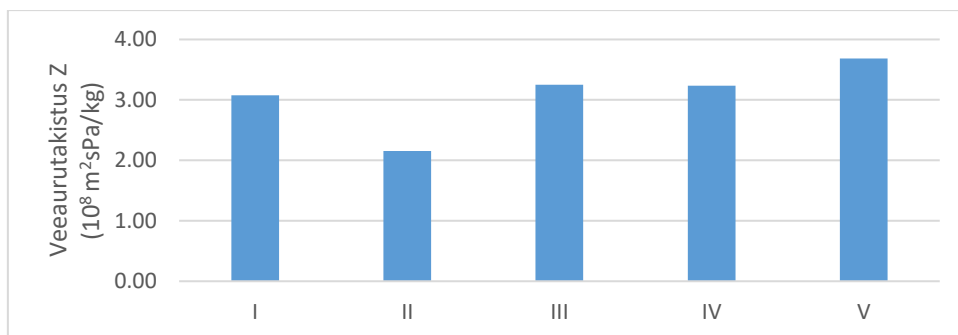
Difusioonitakistuskonstant μ leitakse valemiga (11):

$$\mu = \frac{\delta_{air}}{\delta} = \frac{188}{68,72} = 2,74$$

Viimasena on võimalik arvutada katsekeha iseloomustav aurutakistus S_d valemiga (12):

$$s_d = \mu \cdot d = 2,74 \cdot 0,0217 = 0,059 \text{ m}$$

Kõikide katsekehade arvutustulemused on esitatud tabelis 4.13, veeauru takistuste võrdlus joonisel 4.13.



Joonis 4.13. Veeauru takistus katsekehade gruppide kaupa ($10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$)

Tabel 4.13. Katsekehadele arvutatud parameetrid

	A	G	g	W	Z	δ	μ		S_d		
	m^2 (10^{-3})	kg/s (10^{-8})	$\text{kg}/(\text{sm}^2)$ (10^{-5})	$\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$ (10^{-9})	$\text{m}^2\text{sPa/kg}$ (10^{-8})		$\text{ng}/$ (msPa)	-	m		
I-1	6,72	2,57	0,38	3,17	3,15	3,08	68,72	2,74	2,58	0,06	0,06
I-2	7,31	2,68	0,37	3,04	3,29		69,87	2,69		0,06	
I-3											
I-4	6,57	2,81	0,43	3,54	2,83		78,99	2,38		0,05	
I-5	6,79	2,70	0,40	3,30	3,03		74,74	2,52		0,06	
II-1	6,15	3,33	0,54	4,49	2,23	2,16	77,88	2,41	2,30	0,04	0,04
II-2	6,29	3,64	0,58	4,79	2,09		86,22	2,18		0,04	
II-3	6,01	4,03	0,67	5,55	1,80		103,67	1,81		0,03	
II-4	6,08	3,28	0,54	4,48	2,23		73,09	2,57		0,04	
II-5	6,22	3,08	0,50	4,11	2,43		73,96	2,54		0,05	
II-6											
III-1	7,77	2,97	0,38	3,17	3,16	3,25	74,92	2,51	2,57	0,06	0,06
III-2	7,69	2,54	0,33	2,73	3,66		64,64	2,91		0,07	
III-3	7,85	3,09	0,39	3,26	3,06		78,34	2,40		0,06	
III-4	7,85	3,45	0,44	3,64	2,75		83,64	2,25		0,05	
III-5	7,85	2,61	0,33	2,76	3,63		68,01	2,76		0,07	
IV-1	7,46	2,64	0,35	2,93	3,41	3,23	69,46	2,71	2,71	0,06	0,06
IV-2	7,46	2,94	0,39	3,27	3,06		71,87	2,62		0,06	
IV-3	7,85	3,18	0,41	3,36	2,98		70,52	2,67		0,06	
IV-4	7,93	2,68	0,34	2,80	3,57		63,52	2,96		0,07	
IV-5	7,93	3,03	0,38	3,17	3,16		72,88	2,58		0,06	
V-1	7,23	2,40	0,33	2,75	3,64	3,69	55,01	3,42	3,23	0,07	0,07
V-2	7,31	2,73	0,37	3,10	3,23		69,23	2,72		0,06	
V-3											
V-4	7,46	2,02	0,27	2,24	4,47		47,75	3,94		0,08	
V-5	7,23	2,56	0,35	2,93	3,41		66,45	2,83		0,06	

5 ARUTELU

5.1 Veeauru sorptsioon

Uurimistöö tulemusena selgus, et kõikide katsekehade keskmine akumulatsioon adsorbeerumine oli 826 g/m^2 . Enim veeauru adsorbeerub I grupi paberkrohv, mis koosneb printeripaberist ning 20 g liimist (961 g/m^2 , kuivas välja 710 g/m^2) ning vähim IV grupi katsekehad, retseptiga munarest koos 20 g liimiga (726 g/m^2).

Optimaalses alas, kus kahjulikele eluvormidele ei ole kasvuks soodne keskkond (joonis 1.9), antud töös $\text{RH} = 30\text{...}50\%$, suutsid katsekehad adsorbeeruda $80\text{...}100 \text{ g/m}^2$. Samas piirkonnas kuivas katsekehadest niiskust välja $88\text{...}109 \text{ g/m}^2$.

Võrreldes varasemate savikrohvi kohta tehtud uurimustöödega on paberkrohvi adsorbeerumine samas vahemikus $\text{RH} = 30\text{...}50\%$ stabiilsem kui erinevatel savikrohvidel ($45,3\text{...}164,8 \text{ g/m}^2$) (tabel 1.2), mis viitab sellele, et paberkrohvide erinevad täitematerjalid ei oma nii suurt mõju katsetulemuste erinevusele, kui erinevatest maardlatest pärit savi kasutamine krohvis. Analoogne seaduspära kehtib ka teistes niiskusvahemikes, kus on märgata paberkrohvi puhul stabiilsemaid tulemusi.

I ja II katsekehade retseptide täiteaineks oli printeripaber, kuid erinevus tuli liimi kogusest (vastavalt I grupp 20 g ning II grupp 40 g). II grupi katsekehade adsorbeerumine oli 24 g/m^2 võrra väiksem, millest võib järeldada, et suurem liimi kogus mõjub mingil määral negatiivselt paberkrohvi sorptsioonile, kuid erinevus on üsna väike. Ühtlasi järeldub tulemustest, et printeripaber täiteainena on parem niiskuse adsorbeerimisvõimega, kui teistes gruppides kasutatud pabermaterjalid.

I, III, IV, V grupi katsekehad sisaldasid sama koguse liimainet (20 g), kuid erinevat täitematerjali, mistõttu tulenesid sorptsiooni erinevused ainult täitematerjali omadustest. Parim pabermaterjal nii kuivamisel kui niiskumisel on eelmises lõigus väljatoodud printeripaber. Sellele järgneb akumulatsioon tulemuste järgi ajalehepaber (V grupp) [niiskus 837 g/m^2 ($\text{RH} = 0\text{...}95\%$), kuivas 594 g/m^2 ($\text{RH} = 95\text{...}30\%$)] ja läikiv reklaampaber (III grupp) [niiskus 762 g/m^2 ($\text{RH} = 0\text{...}95\%$), kuivas 537 g/m^2 ($\text{RH} = 95\text{...}30\%$)] ning väiksemaid tulemusi näitas munarestist valmistatud paberkrohv (IV grupp) [niiskus

726 g/m² (RH = 0...95%?), kuivas 517 g/m² (RH = 95...30%)]. Silmas tuleb pidada, et kuivamise katseosa lõpetati RH = 30% juures.

Munarestist valmistatud krohvi nõrgemate sorptsiooniomaduste tulemustel võib põhjuseks olla juba taaskasutatud materjalist valmistatud krohvi lühemad tselluloosi kiud kui muudes materjalides ja seetõttu ka teistsugune mikrostruktuur.

5.2 Moisture buffering

Erinevate paberkrohvide kaalumistulemuste järgi saadud katsekehade grupi praktiline niiskusepuhverdus-võime jääb vahemikku 2,0...2,9 g/m²ΔRH. Kõige paremini puhverdab grupp I (printeripaber + 20 g liimi) (2,9 g/m²%RH), järgnevad grupp II (printeripaber + 40 g liimi) (2,6 g/m²%RH), grupp III (läikiv reklaampaber + 20 g liimi) ja grupp IV (munarest + 20 g liimi) (mõlemad 2,1 g/m²%RH) ning grupp V (ajalehepaber + 20 g liimi) (2,0 g/m²%RH).

Vastavalt niiskusepuhverdus-klassidele joonisel 1.4 (Rode et al., 2006) on pinnakatteta paberkrohvi näol tegemist suurepäraselt puhverdava materjaliga.

Samas on sellegi katse puhul märgata vähest erinevust kahe printeripaberist valmistatud katsekeha puhul. II grupi kehade keskmine tulemus on I grupi katsekehadest, kus liimi on 20 g vähem, 0,3 g/m²%RH võrra väiksem.

Paberkrohvide niiskuse praktiline puhverdusvõime määratakse valemiga (3). Katsekeha I-I näitel on keha praktiline puhverdusvõime

$$MBV_{sh} = \frac{m_{max} - m_{min}}{A \cdot (\varphi_{high} - \varphi_{low})} = \frac{2,689 - 1,826}{0,0068 \cdot (75\% - 33\%)} = 3,1g/(m^2 \cdot \Delta RH)$$

Ülejäänud katsekehade MBV tulemused on toodud tabelis L.13.

Võttes aluseks hüpoteetilise ruumi mõõtmetega 3·4·2,6 m ruumi, ventilatsiooni õhuooluhulk vastavalt Energiatõhususe miinimumnõuetele (Riigiteataja 2018) 0,42 l/(s·m²), kus 2 inimest magavad ja eritub 0,1 l vett tunnis, saab leida paberkrohvi arvestava hügrokoopse inertsuse indeksi I_{h,d} paberkrohvi katsekeha I-1 põhjal (seinapindalast ei ole uksi ja aknaid maha arvestatud).

Õhuvahetusarvu ach leidmiseks arvestame, et toa õhuvahetus tunnis on $5,04 \text{ l/s} = 18,1 \text{ m}^3/\text{h}$, mis tuleneb põrandapindala ning ventilatsiooni arvu suhtest. Teisendades selle toa ruumala kaudu õhuvahetusarvuks, saame väärtuseks $18,1 / 31,2 = 0,58 \text{ h}^{-1}$.

$$I_{h,d} = \frac{\sum_i^n MBV_i \cdot s_i + \sum_j^m MBV_{obj}}{ach \cdot V \cdot t_g} = \frac{3,1 \cdot 46,8}{0,58 \cdot 31,2 \cdot 8} = 1$$

Ruumi inerts on ligikaudu $1 \text{ g/m}^3\%RH$, mis viitab IV klassile (Ramos, 2010). Kõikide katsekehade hügrokoopilise inertsuse indeksid esitatud tabelis L.13.

5.3 Veeaurujuhtivus

Veeauruläbilaskvus m^2 kohta viimase 120 tunni jooksul oli keskmiselt $14,7 \text{ g/m}^2\text{h}$ jäädes vahemikku $11,9 \dots 20,2 \text{ g/m}^2\text{h}$.

Difusioonitakistuse μ väärtus ei ole sõltuv materjali paksusest. Mida suurem on μ , seda vähem veeauru pääseb materjalist läbi. Antud katses jäi difusioonitakistus vahemikku $2,30 \dots 3,23$. Kõige suurema takistusega on ajalehepaberist V grupi katsekehad ($3,23$), järgnesid munarestist IV grupi katsekehad ($2,71$), printeripaberist (20 g liimi) I grupi katsekehad ($2,58$), läikivast reklaampaberist III grupi katsekehad ($2,57$) ning printeripaberist (40 g liimi) II grupi katsekehad ($2,30$).

Võrreldes difusioonitakistuse näitajaid teiste materjalidega on näha, et paberkrohv laseb väga hästi veeauru läbi. Kui kips-, lubi- ja tsementkrohvil on difusioonitakistus $6 \dots 10$, siis paberkrohvil on sellest ligikaudu $2 \dots 3$ korda väiksem takistus. Võrreldes puiduga ($20 \dots 200$) on difusioonitakistus väiksem $6 \dots 87$ korda ning puitlaastplaadist ($20 \dots 50$) $6 \dots 22$ korda.

Võrreldes saadud tulemusi varasemalt uuritud savikrohvidega, on sarnaselt sorptsioonile märgata tuntuvalt stabiilsemat käitumist erinevate retseptide puhul. Kui savikrohvi μ jääb vahemikku $2,7 \dots 5,3$, siis paberkrohv vaid $2,3 \dots 3,2$. Savikrohvi difusioonitakistus kattub osaliselt paberkrohviga, kuid sõltuvalt kasutatavast savist võib vahe olla kahekordne. Arvestades et nii savi-, lubi- kui ka paberkrohvi paigaldamise paksus on sarnane, jäävad ka paigaldatud materjali kihti arvestades (S_d) omavahelised veeauru läbilaskvust väljendavad näitajad samakordsete vahedega.

Samuti on taaskord märgatav II grupi krohvi (printeripaber + 40 g liimi) ning I grupi katsekehade (printeripaber + 20 g liimi) vaheline erinevus. II grupi difusioonitakistus on ligikaudu 12% paremini veeauru läbi kui I grupi katsekehad.

Materjali niiskusefusiivsus katsekeha I-I näitel

$$b_m = \sqrt{\frac{\delta_p \cdot \rho_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial \varphi}}{p_s}} = \sqrt{\frac{68,9 \cdot 10^{-12} \cdot 261,4 \cdot \frac{0,0545}{0,5}}{1402,5}} = 1,18 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{m^2 \cdot Pa \cdot s^{0,5}} \quad (2)$$

Kõikide katsekehade niiskusefusiivsused esitatud tabelis L.13.

5.4 Ehitusniiskus. Materjalide tuletundlikkus ja konstruktsioonide tulepüsivus

Ehitusmaterjalide ja ehitusprotsessi puhul on oluline arvestada ehitusniiskusega selliste materjalide juures nagu näiteks betoon ja erinevad krohvid. Tabelis 3.3 on näha ligikaudsed (määratud ühe katsekehaga ilma standardimetoodikat kasutamata) andmed katses kasutatud krohvisegude kohta. Segude I ja V puhul algse segu niiskus 468...501 % ja segudel II-IV 751...783%. Krohvide tihedus on 139-250 kg/m³. Kahe cm paksuse krohvikihi puhul on 1 m² segus vett näiteks segu I puhul ligikaudu 0,02 · 250 · 501% = 25 kg, segu II ja III puhul vastavalt 0,02 · 239 · 751% = 35 kg ja 0,02 · 134 · 783% = 21 kg. Arvestades, et RH = 95% juures on tasakaaluniiskus kuni 22%, võib öelda enamuse sellest kuivab välja. Savikrohvi puhul näiteks näeb retsept ette, et 25 kg krohvi kuivsegule tuleb lisada 5...6 l vett, mis teeb krohvisegu niiskuseks ligikaudu 20%. Tiheduse 1800...1900 kg/m³ puhul on välja kuivava vee kogus kahesentimeetrise krohvikihi puhul 0,02 · 1800 · 20% = 7,2 kg/m². Krohvimistööde puhul tuleb väljakuivava vee kogusega arvestada ja tagada liigse niiskuse eemaldamine ruumist tööde ja kuivamise ajal.

Vastavalt siseministri määrusele „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“ lisa 6 peavad I kasutusviisi puhul sissepinna materjalid kõikide tuleohtusklassidega hoonetel olema vähemalt D-s2,d2 tuletundlikkusega (Riigiteataja, 2017)

Käesolevas töös on uuritud ainult paberkrohvi niiskustehnilisi omadusi, kuid krohvide kasutamiseks peab materjali tuletundlikkuse viima vähemalt sellele tasemele. Teades materjali andmeid saab määrata eripõlemiskoormuse.

Ruumi mõõtmetega on $2,6 \text{ m} \cdot 4,0 \text{ m} \cdot 5,0 \text{ m}$ seinapindala on $2 \cdot (4 + 5) \cdot 2,6 = 46,8 \text{ m}^2$ (seinapindalast ei ole uksi ja aknaid maha arvestatud). Kui krohvi paigaldatakse 2 cm paksuse kihina, on ruumis paberkrohvi $46,8 \cdot 0,02 = 0,84 \text{ m}^3$.

Arvestades, et krohvi tihedus on $139 \dots 250 \text{ kg/m}^3$ ja eripõlemissoojus $16 \dots 18 \text{ MJ/kg}$ (EVS 812:7), jääb ainult paberkrohvist tulenev eripõlemiskoormus vahemikku $99,3 \dots 178,5 \text{ MJ/m}^2$.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös keskenduti viie esineva retsepti järgi tehtud paberkrohvi hügroskoopsuse, niiskuspuhverdus-võime ning veeauru läbilaskvuse määramisele. Katsekehasid oli kokku 26.

Töö käigus kogutud andmete ja katsetulemuste põhjal on võimalik teha järgmisi järeldusi

1. Kliimakambris läbi viidud katse tulemuste põhjal võib öelda, et paberkrohv on veeauru hästi sorbeeriv materjal, sest niiskust adsorbeerus maksimaalselt kumulatiivselt 826 g/m^2 kohta ja minimaalselt 726 g/m^2 . Seejuures on õhuniiskuse muutumise esimesel päeval sorptsioonikiirus intensiivsem kui järgnevatel päevadel.
2. Paberkrohv liigitub suurepäraselt puhverdavate materjalide hulka. Praktiline niiskuspuhverdusarv jääb vahemikku $2,0 \dots 2,9 \text{ g/m}^2/\% \text{RH}$.
3. Katsekehagruppide I ja II põhjal, mis on sama täiteainega, võib järeldada liimaine suurema sisalduse puhul veidi halvemaid tulemusi sorptsioonil ning niiskuspuhverdus-võimel. Siiski on erinevus üsna väike.
4. Katmata paberkrohvi keskmine difusioonitakistus μ on 2,7, mis on 2...3 korda väiksem lubikrohvist, tsementkrohvist ja mineraalsest viimistluskrohvist ning 0...2 korda väiksem Altmäe töös uuritud savikrohvidest.
5. Kindlasti vääriks edasist uurimist erinevate pinnakatete mõju paberkrohvi hügrokoopilistele omadustele.
6. Ainult paberkrohvist sõltuv eripõlemiskoormus jääb vahemikku $99,3 \dots 178,5 \text{ MJ/m}^2$. Täpsemate arvutuste tegemiseks oleks vaja uurida ka süttivustundilikkust ning pinnakatete mõju. Arvestama peab väljakuivamisniiskusega

SUMMARY

The main purpose of this thesis is to determinate hygrothermal performance of paper clay, specifically sorption, water vapour permeability and moisture buffering of five different paper clay materials, altogether 26 specimens.

It is possible to make following conclusions based on collected data and analysis:

1. It can be concluded from the test results from experiments conducted in the climatic chamber that paper clay is well-sorbing material. The cumulative maximum value for moisture adsorption was 826g/m^2 and minimum value 726g/m^2 . Moreover, the sorption was more intense during the first day of changing the air humidity than the following days.
2. According to test results, that paper clay is classified as excellent buffering material. Practical moisture buffer value of paper clay is between $2,0\dots2,9\text{g/m}^2/\%RH$.
3. It can be seen from test samples from group I and II, which were made with the same filler (copy paper), that with larger amount of glue in the sample, the sorption-ability and the moisture buffering ability were inferior. Still, the difference is not substantial.
4. The mean value of water vapour resistance factor μ of uncovered paper clay is 2.7, which is 2...3 times less than lime plaster, cement plaster and mineral plaster and 0-2 times less than clay-sand plasters examined in the thesis by Altmäe.
5. It will need further research to determine the effect of different covering materials to the hygrothermal performance of paper clay.
6. The fire load depending only on paper clay stays inbetween $99,3\dots178,5\text{MJ/m}^2$. In order to make more accurate calculations, a new study should be performed to investigate ignition sensitivity and the effect of surfacing materials. Also moisture from drying should be taken into consideration.

KASUTATUD KIRJANDUS

Abel, E., Voll, H., Tark, T. (2014). *Hoonete energiatarve ja sisekliima*. Tallinn: Presshouse OÜ, 306 lk.

Aciu, C., Ilutiu-Varvara, D. A., Cobirzan, N., Balog, A. (2014). Recycling of paper waste in the composition of lastering mortars. *Procedia Technology* 12. lk 295...300.

Altmäe, E. (2017). *Savikrohvi niiskustehiliste omaduste määramine: erinevate savide mõju sorptsioonile ja veeauru läbilaskvusele* (Magistritöö). Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledž, Säätva tehnoloogia õppetool. Tartu: TTÜ. 67lk.

Butler, F.O. (1901). *The Story of Paper-making*. Chicago: J.W. Butler paper company. 188lk.

Kättesaadav:

<https://archive.org/stream/storyofpapermaki00butluoft?ref=ol#page/n13/mode/2up>

Eesti kliima teatmik ehitajatele. Jõgioja, E., Pahapill, L. (2000) Eesti ehitusteave. 24lk.

Ehituskonstruktori käsiraamat. Masso, T. (2012). Tallinn: Ehitame kirjastus. 577 lk.

Eurostat. „Municipal waste by waste operations“. Kättesaadav: http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env_wasmun (20.05.18)

EVS 932:2017. *Ehitusprojekt*. Eesti Standardikeskus.

EVS-EN ISO 12570:2013 *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature*. Eesti Standardikeskus

EVS-EN ISO 12571:2013 *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties*. Eesti Standardikeskus.

EVS-EN ISO 12572:2016. *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties – Cup Method*. Eesti Standardikeskus.

EVS-EN ISO 13788:2012. *Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid*. Eesti Standardikeskus.

- Ferreira, C., Ramos, N.M.M. (2015). Influence of Hygroscopic Materials in the Stabilization of Relative Humidity inside Museum Display Cases. *Energy Procedia*, 78. lk 1275-1280.
- Fotijev, S. (1948). *Paberi tehnoloogia lühikursus*. Tallinn: Pedagoogiline Kirjandus. 266 lk.
- Hukka, A.; Viitanen, H., (1999). A mathematical model of mold growth on wooden material. *Wood Science and Technology*, 33 (6). lk 475-485.
- Hutcheon, N.B, Handegord,G.O.P (195). *Building science for a cold climate*. Canada. Institute for research in construction. 440lk.
- Isover. *Pehmed ehitusvillad*. Kättesaadav: <https://www.isover.ee/hoone-osad/pehmed-ehitusvillad> (20.05.18).
- Janssen, H., Roels, S. (2009). Qualitative and quantitative assessment of interior moisture buffering by enclosures. *Energy and Buildings*41, lk 382...394.
- Kaila, P. (1999). *Majatohter I osa*. Tallinn: Ehitame kirjastus, 230 lk.
- Kaila, P. (1999). *Majatohter V osa*. Tallinn: Ehitame kirjastus, 98 lk.
- Keskkonnaagentuur. (2016). *Eesti jäätmekäitluse koondtabel 2016*. Kättesaadav: https://jats.keskkonnainfo.ee/failid/2016_1_ewc.pdf (20.05.18).
- Keskkonnaministeerium. (2013). *Eestis tekkinud segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise uuring*. SA Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus, Säätva Eesti Instituut. Kättesaadav: https://www.envir.ee/sites/default/files/sortimisuuring_2013loplik.pdf (20.05.18)
- Livinginpaper koduleht. Kättesaadav: <http://www.livinginpaper.com/> (26.05.2018)
- Masso, T. (2012). *Ehitusfüüsika ABC. Soojus, niiskus, müra*. Tallinn: Ehitame kirjastus, 172 lk.
- Metslang, J. 2012. *Vana maamaja käsiraamat*. Tallinn: Tammeraamat. 296 lk.
- Minke, G.(2006). *Building with Earth, Design and Techology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser. 200lk.
- Otsman, R. (1976). *Ehitusmaterjalid*. Tallinn: Kirjastus Valgus. 596lk

- Infokaitesüsteemid. *Paberkrohvi tootmine*. Kättesaadav: <http://www.infokaitse.ee/paberkrohvi-tootmine> (20.05.18).
- Pere, R. (2008). *Looduslikud ehitusmaterjalid. Seinad, põrand, katused ja siseviimistlus*. Tallinn: AS Ajakirjade Kirjastus. 96 lk.
- Piirfeld, A. (2009). *Välisseina difusiooniarvutus*. OÜ Ehitusteave. 11 lk.
- Priilinn, K. (2007). *Paberkrohv aitab heli summutada*. Äripäev. Kättesaadav: <https://www.aripaev.ee/uudised/2007/08/14/paberkrohv-aitab-heli-summutada> (20.05.18).
- Puustusmaa, L. (2016). *Mittetäielikult karboniseerunud lubikrohvi niiskustehniliste omaduste uurimine: pinnakatete mõju sorptsioonile ja desorptsioonile ning veeauru läbilaskvusele* (Magistritöö). Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledž, Tartu: TTÜ. 116lk.
- Pärnamägi, H. (2005). *Ehitusmaterjalid*. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 140 lk.
- Ramos, N.M.M., de Freitas, V.P. (2009). Experimental determination of the hygroscopic inertia of building materials. Porto. *Building Research & Information*, lk 293-299.
- Ramos, N.M.M., Degaldo, J.M.P.Q., de Freitas, V.P.(2010). Influence of finishing coatings on hygroscopic moisture buffering in building elements. *Construction and Building Materials*, 24,lk 2590...2597.
- Reiljan, K. (2016). „Lustlik paberkrohvimine“. Lääne Elu: Ehitusleht. Kättesaadav: <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=leehitusleht20160512.2.2> (20.05.18).
- Riigiteataja. (2017). *Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele*. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/104042017014> (20.05.18)
- Riigiteataja. (2018). *Hoone energiatõhususe miinimumnõuded*. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015?leiaKehtiv> (28.05.18)
- Rode, C., Peuhkuri, R., Time, B., Svennberg, K., Ojanen, T. (2006). Moisture Buffer Value of Building Materials. *ASTM Symposium on Heat-Air-Moisture Transport: Measurements on building Materials*. Toronto.
- Rode, C. (2005). *Moisture Buffering of Building Materials*. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 78 lk.

Rouquerol, J., Avnir, D., Fairbridge, C. W., Everett, D. H., Haynes, J. H., Pernicone, N., Ramsay, J. D. F., Sing, K. S. W., Unger, K. K., (1994). Recommendations for the characterization of porous solids. *Pure & Appl. Chem.*, vol 66: lk 1739...1758.

Räpina paberivabriku koduleht. Kättesaadav: <http://www.rappin.ee> (20.05.18).

Seppänen, O., Seppänen, M. (1998). *Hoone sisekliima kujundamine*. Tallinn: Koolibri. 272 lk.

Soosaar, H. (2017). *Pinnakatte mõju savikrohi hügrokoopsusele ja veeauru läbilaskvusele* (Magistritöö). Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledž. Tartu: TTÜ. 80lk.

Stroh Täheväli, L. (2005). *Maja ja niiskus. Praktilisi nõuandeid niiskukahtjustuste ennetamiseks*. Tallinn: Ajakirjade Kirjastus, 96 lk.

Terve maja koduleht. *Fermacell kipskiudplaat*. Kättesaadav: https://www.tervemaja.ee/tooted/fermacell/fermacell_kipskiudplaat/ (20.05.18).

Vares, O. (2012). *Savikrohvi niiskustehiliste omaduste määramine: pinnakatete mõju sorptsioonile ja veeauru läbilaskvusele* (Magistritöö). Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledž, Säätva tehnoloogia õppetool. Tartu: TTÜ. 83lk.

Virtanen, Y., Nilsson, S (1993) *Environmental impacts of waste paper recycling*. International Institute for Applied Systems Analysis. London, New York. 178 lk.

Werro Wool. *Omadused ja eelised*. Kättesaadav: <http://werrowool.eu/tselluvill/omadused-ja-eelised> (20.05.18).

ÜRO statistika A. Forest products statistics. Kättesaadav: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/> (20.05.2018)

ÜRO statistika B. *Pulp and paper capacities*. Kättesaadav: <http://www.fao.org/3/a-i7585t.pdf> (20.05.2018)

Yang, X. (2010). *Investigation on moisture buffering of hygroscopic materials by full scale experiments and HAM simulations*. Quebec. 237 lk.

LISAD

Tabel L.1 Katsekehade koondandmed.

	Läbimõõt	Keskmine läbimõõt	Kõrgus	Keskmine kõrgus	Kuiva keha kaal	Keskmine kuiva keha kaal	Sorptsiooni katse pakendi kaal
	mm	mm	mm	mm	g	g	g
I-1	92,50	93,20	21,67	22,33	39,30	39,33	29,62
I-2	96,50		23,00		40,36		30,28
I-3	92,50		22,00		39,08		29,86
I-4	91,50		22,33		38,42		30,32
I-5	93,00		22,67		39,49		28,97
II-1	88,50	88,75	17,33	17,56	27,79	26,93	30,96
II-2	89,50		18,00		27,70		31,84
II-3	87,50		18,67		27,39		34,47
II-4	88,00		16,33		26,26		29,86
II-5	89,00		18,00		26,27		31,85
II-6	90,00		17,00		26,16		35,50
III-1	99,50	99,70	23,67	23,80	25,40	27,09	28,75
III-2	99,00		23,67		26,82		28,22
III-3	100,00		24,00		28,56		28,54
III-4	100,00		23,00		26,70		27,55
III-5	100,00		24,67		27,97		28,91
IV-1	97,50	99,20	23,67	22,47	27,44	27,06	29,79
IV-2	97,50		22,00		26,25		28,79
IV-3	100,00		21,00		25,35		29,41
IV-4	100,50		22,67		28,72		28,74
IV-5	100,50		23,00		27,53		29,48
V-1	96,00	97,20	20,00	21,60	40,29	40,72	29,25
V-2	96,50		22,33		41,38		29,12
V-3	100,00		21,67		41,24		29,15
V-4	97,50		21,33		41,48		31,37
V-5	96,00		22,67		39,20		28,10
Min	87,50		16,33		25,35		
Max	100,50		24,67		41,48		
Keskmine	95,35		21,40		32,02		

Tabel L.2. Katsekehade (pakendatud) kaalumistulemused adsorptsioonil RH 0...30% (g)

	29.03.18	30.03.18	31.03.18	1.04.18	2.04.18
	g	g	g	g	g
I-1	67,669	68,995	69,054	69,061	69,067
I-2	69,317	70,683	70,739	70,750	70,749
I-3	67,668	68,993	69,053	69,063	69,066
I-4	67,489	68,798	68,847	68,853	68,857
I-5	67,211	68,545	68,603	68,619	68,618
II-1	57,823	58,808	58,852	58,854	58,867
II-2	58,586	59,590	59,618	59,618	59,623
II-3	60,909	61,909	61,935	61,934	61,940
II-4	55,187	56,142	56,173	56,171	56,186
II-5	57,233	58,183	58,219	58,218	58,230
II-6	60,716	61,680	61,710	61,710	61,724
III-1	52,974	54,154	54,203	54,209	54,216
III-2	53,854	55,076	55,127	55,138	55,148
III-3	55,823	57,119	57,183	57,197	57,200
III-4	53,049	54,268	54,325	54,339	54,344
III-5	55,649	56,915	56,980	56,997	56,998
IV-1	56,121	57,286	57,329	57,342	57,340
IV-2	53,932	55,051	55,080	55,096	55,100
IV-3	53,700	54,788	54,823	54,832	54,837
IV-4	56,287	57,494	57,550	57,561	57,574
IV-5	55,830	57,003	57,049	57,056	57,067
V-1	68,291	69,507	69,599	69,617	69,630
V-2	69,224	70,439	70,540	70,562	70,570
V-3	69,137	70,410	70,481	70,499	70,504
V-4	71,554	72,783	72,890	72,917	72,926
V-5	66,076	67,233	67,320	67,343	67,345

Tabel L.3. Katsekehade (pakendatud) kaalumistulemused adsorptsioonil RH 30...50% (g)

	2.04.18	3.04.18	4.04.18	5.04.18	6.04.18
	g	g	g	g	g
I-1	69,067	69,690	69,720	69,733	69,741
I-2	70,749	71,390	71,424	71,433	71,445
I-3	69,066	69,693	69,717	69,734	69,746
I-4	68,857	69,472	69,502	69,514	69,522
I-5	68,618	69,244	69,282	69,289	69,297
II-1	58,867	59,327	59,351	59,368	59,371
II-2	59,623	60,103	60,118	60,129	60,137
II-3	61,940	62,410	62,437	62,441	62,452
II-4	56,186	56,633	56,646	56,660	56,660
II-5	58,230	58,678	58,695	58,709	58,715
II-6	61,724	62,175	62,187	62,201	62,210
III-1	54,216	54,760	54,802	54,834	54,843
III-2	55,148	55,711	55,758	55,784	55,804
III-3	57,200	57,796	57,863	57,889	57,895
III-4	54,344	54,917	54,968	54,992	55,009
III-5	56,998	57,575	57,635	57,676	57,685
IV-1	57,340	57,872	57,911	57,956	57,973
IV-2	55,100	55,617	55,649	55,677	55,691
IV-3	54,837	55,345	55,373	55,400	55,416
IV-4	57,574	58,140	58,187	58,209	58,225
IV-5	57,067	57,598	57,638	57,673	57,685
V-1	69,630	70,184	70,246	70,284	70,300
V-2	70,570	71,129	71,190	71,230	71,253
V-3	70,504	71,077	71,133	71,171	71,187
V-4	72,926	73,489	73,564	73,603	73,614
V-5	67,345	67,888	67,938	67,976	67,988

Tabel L.4. Katsekehade (pakendatud) kaalumistulemused adsorptsioonil RH 50...75% (g)

	6.04.18	7.04.18	8.04.18	9.04.18	10.04.18
	g	g	g	g	g
I-1	69,741	70,790	70,901	70,919	70,924
I-2	71,445	72,528	72,653	72,661	72,675
I-3	69,746	70,795	70,900	70,923	70,918
I-4	69,522	70,573	70,665	70,686	70,687
I-5	69,297	70,345	70,464	70,493	70,510
II-1	59,371	60,204	60,266	60,277	60,264
II-2	60,137	61,005	61,035	61,041	61,047
II-3	62,452	63,276	63,335	63,342	63,335
II-4	56,660	57,483	57,522	57,528	57,517
II-5	58,715	59,525	59,567	59,573	59,564
II-6	62,210	63,024	63,062	63,071	63,066
III-1	54,843	55,776	55,892	55,923	55,910
III-2	55,804	56,767	56,594	56,894	56,924
III-3	57,895	58,944	59,070	59,103	59,113
III-4	55,009	56,011	56,115	56,138	56,134
III-5	57,685	58,666	58,821	58,847	58,850
IV-1	57,973	58,903	59,006	59,017	59,027
IV-2	55,691	56,596	56,685	56,717	56,717
IV-3	55,416	56,309	56,380	56,405	56,415
IV-4	58,225	59,192	59,302	59,325	59,338
IV-5	57,685	58,611	58,717	58,749	58,744
V-1	70,300	71,252	71,400	71,446	71,460
V-2	71,253	72,162	72,341	72,391	72,413
V-3	71,187	72,204	72,322	72,352	72,370
V-4	73,614	74,545	74,727	74,780	74,804
V-5	67,988	68,913	69,060	69,097	69,108

Tabel L.5. Katsekehade (pakendatud) kaalumistulemused adsorptsioonil RH 75...95% (g)

	10.04.1 8	11.04.1 8	12.04.1 8	13.04.1 8	14.04.1 8	15.04.1 8	16.04.1 8	17.04.1 8
	g	g	g	g	g	g	g	g
I-1	70,924	72,999	73,502	73,803	73,960	74,126	74,176	74,185
I-2	72,675	74,747	75,285	75,603	75,796	75,984	76,037	76,049
I-3	70,918	72,956	73,494	73,806	73,964	74,127	74,194	74,158
I-4	70,687	72,646	73,278	73,570	73,718	73,910	73,959	73,943
I-5	70,510	72,459	73,084	73,377	73,543	73,731	73,785	73,780
II-1	60,264	62,113	62,500	62,759	62,901	63,080	63,132	63,125
II-2	61,047	62,931	63,374	63,620	63,728	63,884	63,943	63,924
II-3	63,335	65,149	65,623	65,939	66,035	66,207	66,260	66,200
II-4	57,517	59,480	59,863	60,049	60,164	60,328	60,385	60,314
II-5	59,564	61,432	61,906	62,090	62,183	62,344	62,373	62,359
II-6	63,066	64,977	65,392	65,562	65,700	65,851	65,871	65,840
III-1	55,910	57,703	58,187	58,508	58,493	58,621	58,611	58,649
III-2	56,924	58,595	59,218	59,533	59,552	59,651	59,682	59,694
III-3	59,113	60,762	61,375	61,693	61,839	61,986	62,035	62,022
III-4	56,134	57,951	58,395	58,655	58,839	58,945	58,970	58,982
III-5	58,850	60,584	61,090	61,423	61,509	61,647	61,688	61,744
IV-1	59,027	60,847	61,356	61,600	61,695	61,768	61,836	61,844
IV-2	56,717	58,361	58,790	58,992	59,157	59,291	59,369	59,357
IV-3	56,415	58,008	58,543	58,648	58,791	58,891	58,930	58,967
IV-4	59,338	61,102	61,665	61,950	62,056	62,175	62,206	62,206
IV-5	58,744	60,475	60,893	61,130	61,299	61,441	61,490	61,508
V-1	71,460	73,266	73,736	74,000	74,187	74,335	74,470	74,496
V-2	72,413	74,139	74,575	74,877	75,109	75,278	75,398	75,386
V-3	72,370	74,250	74,734	75,021	75,212	75,385	75,508	75,508
V-4	74,804	76,533	76,996	77,377	77,551	77,740	77,862	77,872
V-5	69,108	70,852	71,393	71,613	71,818	71,981	72,049	72,048

Tabel L.6. Katsekehade (pakendatud) kaalumistulemused desorptsioonil RH 95...75% (g)

	17.04.18	18.04.18	19.04.18	20.04.18	21.04.18	22.04.18	23.04.18
	g	g	g	g	g	g	g
I-1	74,185	71,992	71,627	71,544	71,504	71,495	71,471
I-2	76,049	73,871	73,413	73,311	73,274	73,249	73,237
I-3	74,158	71,972	71,613	71,530	71,492	71,487	71,459
I-4	73,943	71,720	71,357	71,300	71,255	71,237	71,216
I-5	73,780	71,605	71,192	71,110	71,083	71,062	71,044
II-1	63,125	60,999	60,748	60,696	60,671	60,659	60,657
II-2	63,924	61,691	61,492	61,453	61,423	61,417	61,425
II-3	66,200	64,088	63,814	63,765	63,744	63,734	63,718
II-4	60,314	58,146	57,955	57,928	57,897	57,885	57,889
II-5	62,359	60,259	60,017	59,966	59,948	59,933	59,939
II-6	65,840	63,688	63,517	63,480	63,459	63,453	63,456
III-1	58,649	56,916	56,673	56,608	56,579	56,564	56,517
III-2	59,694	58,030	57,751	57,669	57,638	57,615	57,555
III-3	62,022	60,262	59,987	59,899	59,858	59,934	59,784
III-4	58,982	57,148	56,900	56,852	56,816	56,800	56,768
III-5	61,744	60,007	59,720	59,647	59,615	59,583	59,532
IV-1	61,844	60,011	59,763	59,697	59,669	59,656	59,606
IV-2	59,357	57,550	57,368	57,319	57,301	57,280	57,252
IV-3	58,967	57,263	57,052	57,007	56,967	56,955	56,906
IV-4	62,206	60,416	60,113	60,043	60,004	59,987	59,954
IV-5	61,508	59,665	59,464	59,388	59,386	59,580	59,340
V-1	74,496	72,649	72,283	72,180	72,148	72,118	72,109
V-2	75,386	73,604	73,247	73,152	73,113	73,080	73,063
V-3	75,508	73,542	73,170	73,082	73,059	73,018	73,009
V-4	77,872	76,063	75,699	75,579	75,541	75,498	75,476
V-5	72,048	70,207	69,889	69,791	69,759	69,717	69,711

Tabel L.7. Katsekehade (pakendatud) kaalumistulemused desorptsioonil RH 75...50% (g)

	23.04.18	24.04.18	25.04.18	26.04.18	27.04.18
	g	g	g	g	g
I-1	71,471	70,235	70,152	70,122	70,121
I-2	73,237	71,971	71,868	71,841	71,837
I-3	71,459	70,235	70,148	70,131	70,115
I-4	71,216	70,000	69,922	69,886	69,891
I-5	71,044	69,795	69,712	69,683	69,679
II-1	60,657	59,706	59,666	59,645	59,653
II-2	61,425	60,445	60,420	60,395	60,404
II-3	63,718	62,776	62,737	62,716	62,719
II-4	57,889	56,969	56,940	56,917	56,929
II-5	59,939	59,019	58,986	58,965	58,968
II-6	63,456	62,540	62,505	62,479	62,484
III-1	56,517	55,492	55,393	55,359	55,354
III-2	57,555	56,477	56,378	56,338	56,334
III-3	59,784	58,629	58,524	58,482	58,476
III-4	56,768	55,680	55,572	55,542	55,529
III-5	59,532	58,405	58,291	58,246	58,250
IV-1	59,606	58,566	58,471	58,440	58,441
IV-2	57,252	56,262	56,171	56,141	56,143
IV-3	56,906	55,938	55,876	55,851	55,852
IV-4	59,954	58,873	58,769	58,733	58,721
IV-5	59,340	58,271	58,184	58,161	58,156
V-1	72,109	71,004	70,878	70,851	70,830
V-2	73,063	72,027	71,840	71,805	71,793
V-3	73,009	71,859	71,749	71,730	71,715
V-4	75,476	74,396	74,237	74,190	74,171
V-5	69,711	68,666	68,534	68,502	68,488

Tabel L.8. Katsekehade (pakendatud) kaalumistulemused desorptsioonil RH 50...30% (g)

	27.04.18	28.04.18	29.04.18	30.04.18
	g	g	g	g
I-1	70,121	69,432	69,396	69,379
I-2	71,837	71,134	71,092	71,076
I-3	70,115	69,443	69,392	69,378
I-4	69,891	69,216	69,180	69,159
I-5	69,679	68,990	68,949	68,936
II-1	59,653	59,137	59,109	59,097
II-2	60,404	59,883	59,862	59,854
II-3	62,719	62,213	62,186	62,171
II-4	56,929	56,430	56,409	56,403
II-5	58,968	58,472	58,454	58,444
II-6	62,484	61,992	61,966	61,959
III-1	55,354	54,696	54,651	54,628
III-2	56,334	55,684	55,610	55,594
III-3	58,476	57,760	57,696	57,678
III-4	55,529	54,869	54,805	54,781
III-5	58,250	57,563	57,489	57,472
IV-1	58,441	57,808	57,763	57,752
IV-2	56,143	55,548	55,501	55,487
IV-3	55,852	55,258	55,221	55,211
IV-4	58,721	58,084	58,017	58,007
IV-5	58,156	57,523	57,477	57,466
V-1	70,830	70,204	70,126	70,099
V-2	71,793	71,143	71,066	71,045
V-3	71,715	71,052	70,986	70,962
V-4	74,171	73,520	73,438	73,410
V-5	68,488	67,862	67,794	67,774

Tabel L.9. Niiskuspuhverduse katsetulemused (pakendatud) vahemikus 24.01.2018...25.01.2018 (g)

Keskkond:	RH = 0%	RH = 75%			RH = 33%		RH = 75%			RH = 33%
Kuupäev:	24.01.18				25.01.18					
Kellaaeg:	09:24	11:34	17:30	19:30	09:24	11:55	13:26	15:35	17:30	19:30
I-1	69,790	70,062	70,454	69,997	69,505	70,006	70,120	70,260	70,329	69,919
I-2	71,487	71,755	72,135	71,685	71,203	71,718	71,830	71,980	72,037	71,627
I-3	69,788	70,070	70,427	69,992	69,499	69,994	70,108	70,243	70,325	69,914
I-4	69,562	69,841	70,229	69,782	69,277	69,774	69,901	70,018	70,094	69,698
I-5	69,356	69,605	69,989	69,544	69,058	69,551	69,657	69,793	69,869	69,465
II-1	59,389	59,616	59,909	59,570	59,184	59,569	59,647	59,778	59,834	59,498
II-2	60,166	60,416	60,710	60,366	59,940	60,349	60,464	60,572	60,623	60,278
II-3	62,486	62,711	63,028	62,631	62,273	62,689	62,780	62,882	62,948	62,591
II-4	56,685	56,909	57,243	56,843	56,478	56,889	56,980	57,097	57,158	56,788
II-5	58,733	58,985	59,288	58,900	58,533	58,963	59,036	59,156	59,208	58,839
II-6	62,226	62,443	62,791	62,386	62,033	62,444	62,541	62,665	62,706	62,344
III-1	54,898	55,128	55,486	55,073	54,684	55,103	55,212	55,316	55,388	55,071
III-2	55,856	56,096	56,428	56,047	55,630	56,037	56,142	56,265	56,340	55,993
III-3	57,973	58,204	58,578	58,219	57,756	58,214	58,302	58,405	58,485	58,111
III-4	55,048	55,274	55,653	55,256	54,838	55,288	55,377	55,506	55,571	55,218
III-5	57,742	57,946	58,307	57,963	57,507	57,931	58,020	58,144	58,212	57,882
IV-1	57,992	58,215	58,586	58,195	57,788	58,224	58,319	58,432	58,502	58,147
IV-2	55,725	55,930	56,293	55,915	55,528	55,949	56,043	56,156	56,224	55,864
IV-3	55,447	55,670	56,009	55,657	55,240	55,681	55,773	55,899	55,950	55,585
IV-4	58,253	58,474	58,839	58,477	58,047	58,478	58,577	58,690	58,760	58,439
IV-5	57,709	57,925	58,299	57,922	57,502	57,940	58,043	58,156	58,235	57,885
V-1	70,355	70,548	70,889	70,575	70,168	70,530	70,621	70,736	70,806	70,531
V-2	71,297	71,484	71,827	71,527	71,100	71,457	71,547	71,658	71,737	71,448
V-3	71,244	71,445	71,814	71,470	71,035	71,425	71,528	71,657	71,736	71,406
V-4	73,675	73,861	74,200	73,886	73,471	73,821	73,906	74,025	74,102	73,832
V-5	68,047	68,240	68,569	68,256	67,855	68,205	68,301	68,415	68,490	68,205

Tabel L.10. Niiskuspuhverduse katsetulemused (pakendatud) vahemikus 26.01.2018... 27.01.2018 (g)

Keskkond:	RH = 33%	RH = 75%					RH = 33%		RH = 75%					RH = 33%
Kuupäev:	26.01.18						27.01.18							
Kellaeg:	09:29	11:30	13:30	15:30	17:30	19:30	09:30	11:30	13:30	15:30	17:30	19:30		
I-1	69,502	69,966	70,117	70,245	70,285	69,889	69,497	69,895	70,056	70,169	70,295	69,892		
I-2	71,194	71,652	71,823	71,943	71,991	71,607	71,192	71,588	71,737	71,860	71,988	71,604		
I-3	69,497	69,943	70,115	70,243	70,289	69,912	69,491	69,891	70,054	70,165	70,292	69,889		
I-4	69,271	69,720	69,905	70,030	70,054	69,663	69,271	69,664	69,830	69,930	70,063	69,673		
I-5	69,051	69,508	69,683	69,803	69,834	69,441	69,053	69,436	69,599	69,716	69,836	69,442		
II-1	59,192	59,550	59,672	59,770	59,805	59,521	59,184	59,466	59,608	59,703	59,792	59,480		
II-2	59,955	60,323	60,483	60,583	60,617	60,259	59,958	60,265	60,418	60,513	60,622	60,294		
II-3	62,284	62,656	62,783	62,878	62,904	62,533	62,276	62,611	62,739	62,837	62,931	62,565		
II-4	56,483	56,844	56,985	57,080	57,112	56,777	56,497	56,809	56,940	57,035	57,127	56,798		
II-5	58,533	58,906	59,035	59,146	59,164	58,832	58,543	58,866	58,995	59,075	59,173	58,863		
II-6	62,033	62,392	62,550	62,638	62,657	62,317	62,031	62,370	62,497	62,583	62,679	62,322		
III-1	54,710	55,092	55,232	55,334	55,375	55,026	54,702	55,023	55,157	55,259	55,359	55,049		
III-2	55,660	56,014	56,161	56,279	56,323	56,013	55,668	55,973	56,114	56,185	56,293	55,998		
III-3	57,746	58,131	58,298	58,410	58,454	58,104	57,761	58,079	58,225	58,339	58,453	58,114		
III-4	54,840	55,221	55,393	55,495	55,543	55,191	54,847	55,196	55,341	55,429	55,531	55,215		
III-5	57,516	57,866	58,032	58,138	58,193	57,900	57,542	57,829	57,967	58,069	58,186	57,901		
IV-1	57,801	58,188	58,322	58,433	58,474	58,147	57,806	58,141	58,280	58,375	58,478	58,134		
IV-2	55,535	55,892	56,044	56,156	56,207	55,855	55,538	55,869	56,008	56,084	56,196	55,857		
IV-3	55,254	55,629	55,767	55,868	55,902	55,558	55,268	55,500	55,737	55,819	55,919	55,594		
IV-4	58,044	58,418	58,572	58,677	58,716	58,387	58,051	58,382	58,525	58,625	58,734	58,401		
IV-5	57,519	57,885	58,041	58,148	58,199	57,867	57,524	57,856	58,007	58,097	58,200	57,883		
V-1	70,180	70,490	70,621	70,721	70,785	70,500	70,174	70,455	70,570	70,668	70,773	70,503		
V-2	71,108	71,410	71,549	71,651	71,700	71,439	71,109	71,368	71,502	71,595	71,702	71,426		
V-3	71,035	71,386	71,538	71,645	71,699	71,389	71,059	71,361	71,482	71,572	71,689	71,379		
V-4	73,480	73,777	73,909	74,014	74,073	73,807	73,483	73,735	73,864	73,965	74,055	73,801		
V-5	67,869	68,177	68,314	68,409	68,459	68,194	67,866	68,130	68,258	68,352	68,448	68,184		

Tabel L.11. Niiskuspuhverduse katsetulemused (pakendatud) vahemikus 28.01.2018...29.01.2018 (g)

Keskkond:	RH = 33%	RH =75%					RH = 33%		RH = 75%				RH = 33%
Kuupäev:	28.01.18						29.01.18						
Kellaeg:	09:30	11:30	13:30	15:30	17:30	19:30	09:26	11:33	13:29	15:23	17:30	21:30	
I-1	69,500	69,956	70,160	70,283	70,358	69,949	69,495	69,953	70,116	70,234	70,329	69,998	
I-2	71,200	71,648	71,858	71,977	72,052	71,634	71,194	71,669	71,826	71,934	72,038	71,719	
I-3	69,498	69,968	70,163	70,287	70,361	69,920	69,498	69,980	70,141	70,253	70,340	69,989	
I-4	69,283	69,745	69,928	70,055	70,130	69,696	69,283	69,759	69,930	70,033	70,129	69,786	
I-5	69,047	69,480	69,694	69,818	69,892	69,497	69,059	69,490	69,671	69,784	69,883	69,546	
II-1	59,183	59,550	59,710	59,797	59,860	59,517	59,182	59,551	59,675	59,780	59,859	59,578	
II-2	59,958	60,370	60,544	60,638	60,692	60,296	59,944	60,311	60,461	60,566	60,641	60,300	
II-3	62,266	62,683	62,857	62,940	62,992	62,601	62,267	62,630	62,789	62,894	62,945	62,667	
II-4	56,489	56,858	57,037	57,135	57,189	56,805	56,489	56,896	57,012	57,103	57,165	56,848	
II-5	58,546	58,929	59,088	59,178	59,234	58,891	58,543	58,936	59,073	59,161	59,215	58,905	
II-6	62,033	62,428	62,579	62,668	62,720	62,348	62,034	62,403	62,555	62,648	62,720	62,398	
III-1	54,718	55,078	55,236	55,339	55,400	55,071	54,718	55,114	55,249	55,335	55,407	55,090	
III-2	55,635	56,028	56,187	56,284	56,359	56,012	55,653	56,058	56,191	56,293	56,353	56,115	
III-3	57,761	58,170	58,346	58,442	58,521	58,173	57,768	58,191	58,327	58,415	58,505	58,210	
III-4	54,860	55,224	55,421	55,521	55,589	55,237	54,841	55,229	55,382	55,491	55,569	55,289	
III-5	57,531	57,908	58,085	58,178	58,250	57,951	57,529	57,885	58,055	58,160	58,237	57,966	
IV-1	57,806	58,167	58,337	58,439	58,516	58,156	57,813	58,206	58,352	58,432	58,519	58,235	
IV-2	55,546	55,938	56,097	56,192	56,251	55,887	55,556	55,943	56,090	56,171	56,246	55,968	
IV-3	55,275	55,647	55,815	55,913	55,973	55,597	55,266	55,656	55,800	55,875	55,956	55,646	
IV-4	58,062	58,469	58,624	58,712	58,774	58,421	58,057	58,431	58,586	58,676	58,768	58,475	
IV-5	57,533	57,946	58,094	58,194	58,256	57,916	57,529	57,935	58,083	58,161	58,250	57,966	
V-1	70,154	70,497	70,632	70,741	70,813	70,529	70,164	70,487	70,629	70,714	70,804	70,587	
V-2	71,109	71,424	71,580	71,677	71,751	71,468	71,131	71,449	71,586	71,676	71,769	71,543	
V-3	71,046	71,398	71,566	71,664	71,738	71,433	71,035	71,392	71,542	71,642	71,747	71,474	
V-4	73,481	73,809	73,950	74,048	74,121	73,844	73,487	73,781	73,919	74,015	74,116	73,905	
V-5	67,869	68,212	68,351	68,450	68,513	68,245	67,878	68,200	68,335	68,417	68,508	68,278	

Tabel L.12. Niiskuspuhverduse katsetulemused (pakendatud) vahemikus 30.01.2018...31.01.2018 (g)

Keskkond:	RH = 33%	RH = 75%				RH = 33%	
Kuupäev:	30.01.18						31.01.18
Kellaeg:	09:41	11:31	13:30	15:30	17:30	19:30	09:29
I-1	69,527	69,959	70,121	70,252	70,310	69,898	69,495
I-2	71,219	71,678	71,832	71,954	72,026	71,635	71,200
I-3	69,530	69,942	70,103	70,245	70,301	69,908	69,502
I-4	69,310	69,752	69,898	70,031	70,092	69,672	69,278
I-5	69,087	69,503	69,644	69,783	69,859	69,453	69,056
II-1	59,213	59,573	59,665	59,759	59,819	59,493	59,185
II-2	59,958	60,345	60,468	60,590	60,638	60,306	59,942
II-3	62,274	62,662	62,780	62,882	62,928	62,566	62,250
II-4	56,503	56,878	56,986	57,074	57,138	56,781	56,477
II-5	58,554	58,886	59,031	59,158	59,183	58,835	58,541
II-6	62,050	62,408	62,553	62,671	62,687	62,350	62,040
III-1	54,723	55,073	55,203	55,313	55,379	55,078	54,694
III-2	55,669	56,008	56,155	56,250	56,320	55,989	55,654
III-3	57,781	58,130	58,283	58,389	58,468	58,156	57,757
III-4	54,866	55,231	55,383	55,486	55,557	55,218	54,854
III-5	57,566	57,911	58,063	58,156	58,221	57,890x	57,536
IV-1	57,839	58,192	58,321	58,399	58,480	58,143	57,802
IV-2	55,561	55,919	56,054	56,122	56,198	55,871	55,533
IV-3	55,284	55,634	55,777	55,883	55,937	55,579	55,264
IV-4	58,081	58,429	58,571	58,675	58,744	58,414	58,097
IV-5	57,534	57,916	58,050	58,124	58,196	57,852	57,521
V-1	70,200	70,501	70,623	70,711	70,788	70,514	70,173
V-2	71,159	71,438	71,570	71,663	71,729	71,459	71,112
V-3	71,057	71,415	71,551	71,652	71,727	71,445	71,055
V-4	73,515	73,806	73,939	74,025	74,096	73,847	73,492
V-5	67,899	68,190	68,334	68,406	68,479	68,226	67,871

Tabel L.13. Paberkrohvide niiskuse praktiline puhverdusvõime [$\text{g}/(\text{m}^2\%RH)$], ruumi hügrokoopse inertsuse indeks [$\text{g}/(\text{m}^3\%RH)$] ning niiskusefusiivsus [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}^{0.5})$]. Tabelis pole kajastatud efusiivsusi katsekehade puhul, mis jäid veeauru läbilaskvuse analüüsist välja.

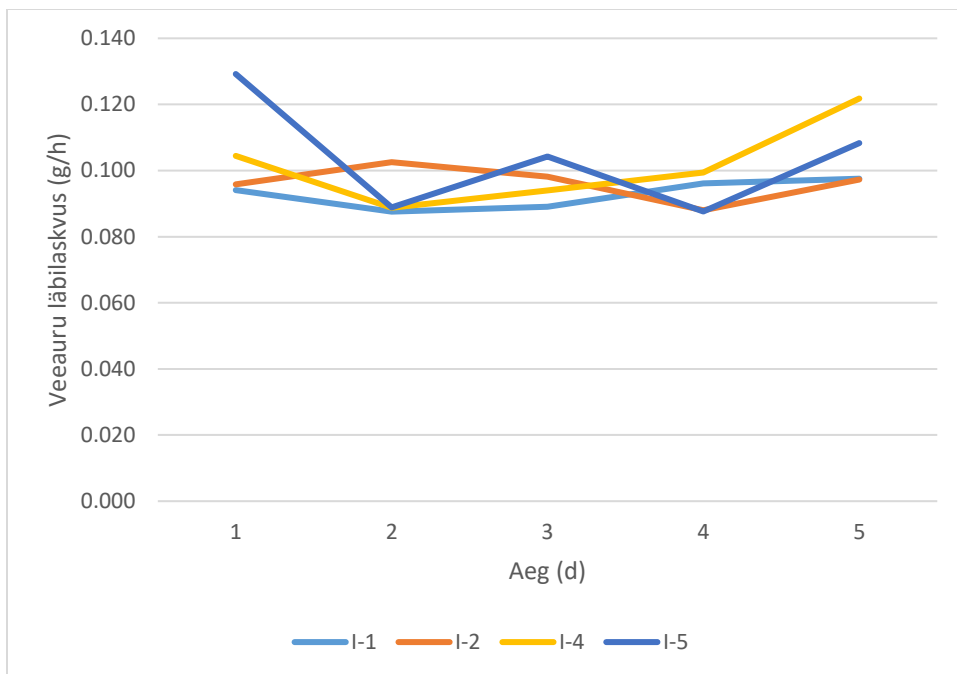
Katsekeha	Niiskus katsekehas						Pindala m^2 10^3	MBV 8h		$I_{h,d}$		b_m		
	28.01.18		29.01.18		30.01.18			$\text{g}/\text{m}^2/\%RH$		-		$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}^{0.5})$		
	g	g	g	g	g	g							10^{-6}	
I-1	2,69	1,83	2,66	1,86	2,64	1,83	6,72	3,06	2,99	0,99	0,97	1,18	1,19	
I-2	2,74	1,88	2,72	1,90	2,71	1,88	7,31	2,79				0,90		1,12
I-3	2,69	1,83	2,67	1,86	2,63	1,83	6,72	3,06				0,99		-
I-4	2,64	1,79	2,64	1,82	2,60	1,79	6,57	3,09				1,00		1,25
I-5	2,68	1,85	2,67	1,88	2,65	1,85	6,79	2,93				0,95		1,20
II-1	2,04	1,36	2,04	1,39	2,00	1,36	6,15	2,63	2,74	0,85	0,88	1,27	1,28	
II-2	2,11	1,36	2,06	1,37	2,05	1,36	6,29	2,84				0,92		1,30
II-3	2,08	1,36	2,04	1,37	2,02	1,34	6,01	2,94				0,95		1,43
II-4	2,00	1,30	1,98	1,32	1,95	1,29	6,08	2,79				0,90		1,24
II-5	2,00	1,31	1,98	1,32	1,95	1,31	6,22	2,65				0,86		1,18
II-6	2,00	1,32	2,00	1,33	1,97	1,32	6,36	2,57				0,83		-
III-1	2,43	1,74	2,43	1,75	2,41	1,72	7,77	2,18	2,23	0,71	0,72	1,04	1,06	
III-2	2,51	1,80	2,50	1,82	2,47	1,80	7,69	2,18				0,71		0,99
III-3	2,70	1,95	2,68	1,96	2,65	1,93	7,85	2,32				0,75		1,11
III-4	2,54	1,79	2,52	1,82	2,51	1,81	7,85	2,27				0,73		1,14
III-5	2,60	1,88	2,59	1,92	2,57	1,89	7,85	2,19				0,71		1,01
IV-1	2,40	1,69	2,40	1,72	2,36	1,68	7,46	2,29	2,22	0,74	0,72	1,02	1,02	
IV-2	2,32	1,62	2,31	1,63	2,27	1,60	7,46	2,29				0,74		1,05
IV-3	2,27	1,57	2,26	1,58	2,24	1,56	7,85	2,15				0,70		1,02
IV-4	2,49	1,77	2,48	1,79	2,46	1,81	7,93	2,15				0,70		0,99
IV-5	2,43	1,70	2,42	1,70	2,37	1,69	7,93	2,21				0,71		1,03
V-1	2,52	1,87	2,51	1,91	2,50	1,88	7,23	2,14	2,11	0,69	0,68	1,04	1,04	
V-2	2,53	1,91	2,55	1,94	2,51	1,89	7,31	2,14				0,69		1,11
V-3	2,60	1,90	2,61	1,92	2,59	1,92	7,85	2,16				0,70		-
V-4	2,57	1,93	2,56	1,96	2,54	1,94	7,46	2,02				0,65		0,94
V-5	2,44	1,80	2,43	1,82	2,40	1,80	7,23	2,11				0,68		1,05

Tabel L.14. Veeauru läbilaskvuse kaalumistulemused (g)

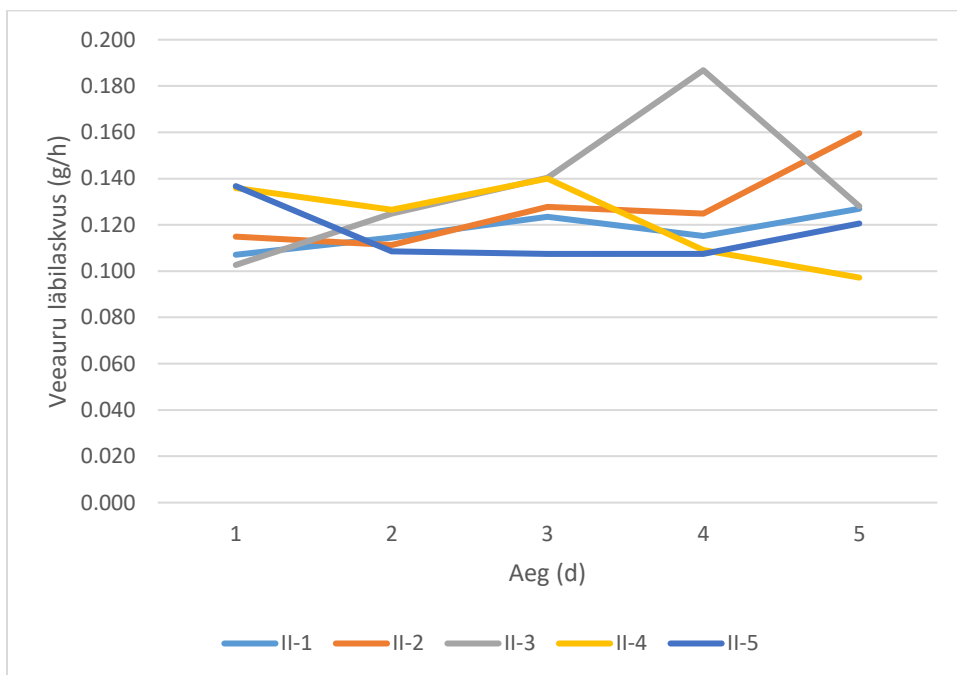
Kuupäev	19.05.18	20.05.18	21.05.18	22.05.18	23.05.18	24.05.18	25.05.18
Aeg (h)	0	24	48	72	96	120	144
	g	g	g	g	g	g	g
I-1	631,53	629,34	627,08	624,98	622,84	620,53	618,19
I-2	628,68	626,61	624,31	621,85	619,49	617,38	615,05
I-3	642,09	633,89	631,01	626,17	623,39	617,71	613,95
I-4	615,69	613,47	610,97	608,84	606,58	604,19	601,27
I-5	617,36	615,17	612,07	609,94	607,43	605,33	602,73
II-1	661,80	659,24	656,67	653,92	650,95	648,19	645,14
II-2	655,49	651,90	649,15	646,48	643,41	640,41	636,58
II-3	655,64	652,51	650,04	647,05	643,68	639,19	636,12
II-4	643,06	640,28	637,02	633,98	630,62	628,00	625,67
II-5	663,08	660,04	656,76	654,16	651,58	649,00	646,10
II-6	648,16	644,03	637,99	635,54	632,97	630,05	627,18
III-1	632,07	629,65	626,20	623,91	621,51	618,49	615,94
III-2	632,26	629,91	627,66	625,48	623,08	621,02	618,89
III-3	641,35	638,49	635,79	633,19	630,25	627,41	625,10
III-4	626,24	623,82	621,25	618,33	615,71	613,30	609,34
III-5	625,07	622,98	620,76	618,58	615,90	613,83	611,73
IV-1	630,66	628,29	626,05	623,89	621,68	619,33	616,91
IV-2	619,62	617,22	614,94	612,38	609,81	607,16	604,77
IV-3	644,12	641,07	638,29	635,69	632,88	629,98	627,29
IV-4	628,82	626,58	624,25	622,00	619,67	617,30	614,98
IV-5	672,15	669,08	666,46	663,87	661,13	658,47	655,98
V-1	634,68	632,94	631,02	628,85	626,78	624,68	622,72
V-2	647,01	644,88	642,49	640,25	638,32	636,41	633,03
V-3	676,41	674,11	671,01	666,05	664,05	661,15	658,64
V-4	641,50	639,73	637,98	636,20	634,39	632,76	631,01
V-5	630,98	629,01	626,93	624,61	622,60	620,25	618,08

Tabel L.15. Veeauru läbilaskvus katsekeha koha viimase 120h jooksul (g/m²h)

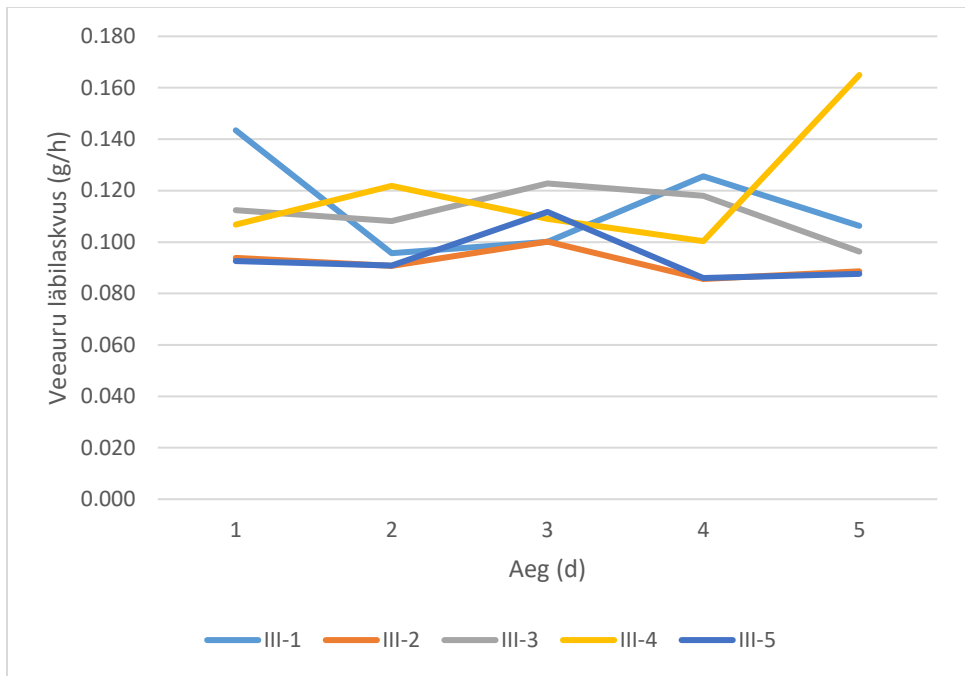
	Läbinud veeaur		Veeauru läbilaskvus	
	g/m ²	g/m ²	g/m ² h	g/m ² h
I-1	1659	1733	13,8	14,4
I-2	1582		13,2	
I-3				
I-4	1857		15,5	
I-5	1832		15,3	
II-1	2292	2420	19,1	20,2
II-2	2437		20,3	
II-3	2727		22,7	
II-4	2403		20,0	
II-5	2242		18,7	
II-6				
III-1	1763	1636	14,7	13,6
III-2	1432		11,9	
III-3	1705		14,2	
III-4	1844		15,4	
III-5	1433		11,9	
IV-1	1525	1612	12,7	13,4
IV-2	1668		13,9	
IV-3	1755		14,6	
IV-4	1462		12,2	
IV-5	1652		13,8	
V-1	1412	1428	11,8	11,9
V-2	1620		13,5	
V-3				
V-4	1169		9,7	
V-5	1511		12,6	



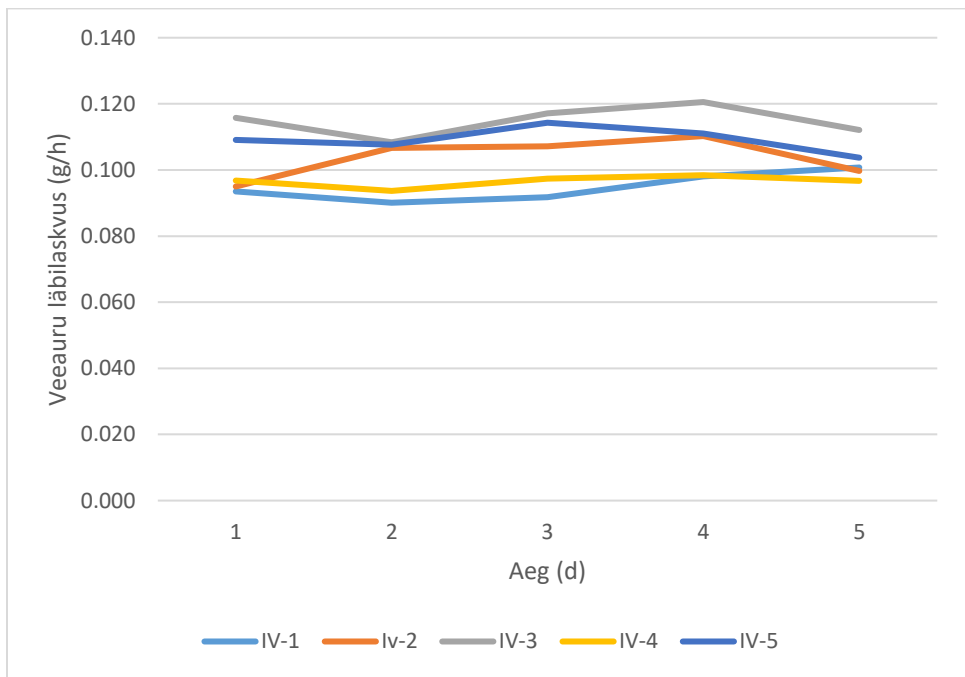
Joonis L.1. I grupi katsekehade veeauru läbilaskvus 5 viimase päeva jooksul katsekeha kohta (g/h)



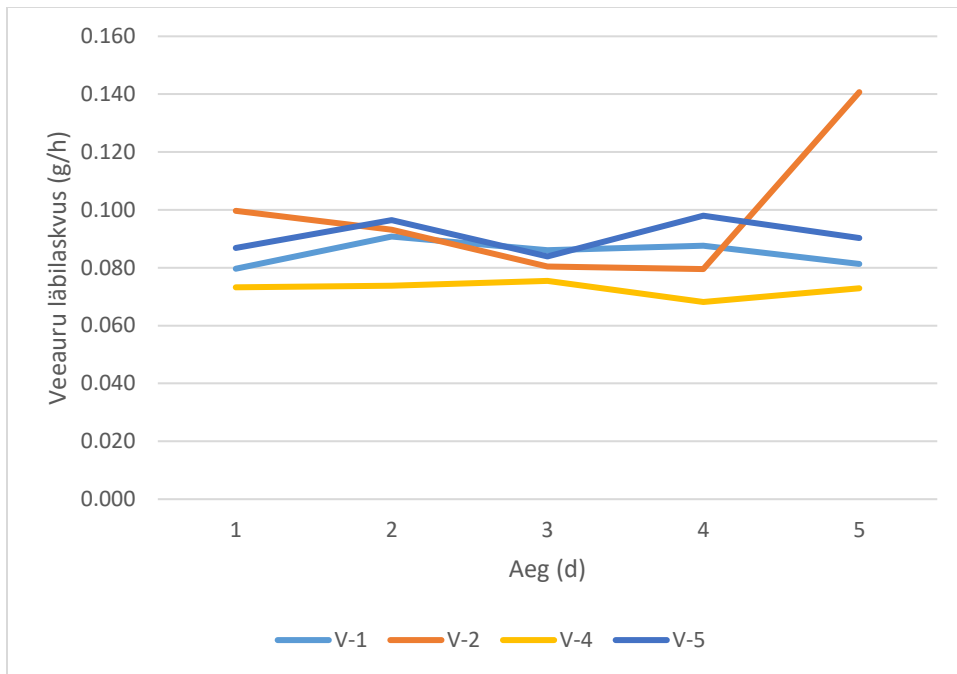
Joonis L.2. II grupi katsekehade veeauru läbilaskvus 5 viimase päeva jooksul katsekeha kohta (g/h)



Joonis L.3. III grupi katsekehade veeauru läbilaskvus 5 viimase päeva jooksul katsekeha kohta (g/h)



Joonis L.4. IV grupi katsekehade veeauru läbilaskvus 5 viimase päeva jooksul katsekeha kohta (g/h)



Joonis L.5. V grupi katsekehade veeauru läbilaskvus 5 viimase päeva jooksul katsekeha kohta (g/h)