



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

RISTKIHTLIIMPUIDU VEEIMAVUS JA LÕIKESERVA KAITSEVAHENDITE TOIMIVUS

MOISTURE UPTAKE OF CLT END-GRAIN AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF PROTECTION MEASURES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Alvar Annuk

Üliõpilaskood: 131787EAEI

Juhendaja: Kristo Kalbe, ekspert

Kaasjuhendaja: Prof. Targo Kalamees

Tartu 2020

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.

"....." 2020.....

Autor: Alvar Annuk

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2020.....

Juhendaja: Kristo Kalbe

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2020... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Alvar Annuk (sünnikuupäev: 25.05.1994)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „ Ristkihtliimpuidu veeimavus ja lõikeserva kaitsevahendite toimivus “, mille juhendaja on Kristo Kalbe

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

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

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

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

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Alvar Annuk, 131787EAEI

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

Juhendaja(d): Ekspert, Kristo Kalbe, +372 6202405

Professor, Targo Kalamees, +372 6202403

Konsultant: -

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Ristkihtliimpuidu veeimavus ja lõikeserva kaitsevahendite toimivus

(inglise keeles) Moisture uptake of CLT end-grain and performance assessment of protection measures

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Katsetoodika väljatöötamine
2. Ristkihtliimpuidu lõikeserva veeimavuse uurimine
3. Kaitsevahendite toimivuse uurimine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Katsetoodika välja töötamine	01.01.20
2.	Ristkihtliimpuidu veeimavus ja kaitsevahendite uuring	11.05.20
3.	Töö lõplik vormistamine	29.05.20

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....2020 a

Üliõpilane: Alvar Annuk ".....".....2020 a
/allkiri/

Juhendaja: Kristo Kalbe ".....".....2020 a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....2020 a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....2020 a
/allkiri/

Sisukord

Lühendite ja tähiste loetelu	6
SISSEJUHATUS	7
1 Meetod.....	10
1.1 Niiskus ja niiskuskahjustused puidus	10
1.2 Toimivuskriteeriumid	11
1.3 Lõikeservade kaitsevahendid	12
1.3.1 Hermetiseerimislint.....	12
1.3.2 Veepõhine akrülaatvärv	13
1.3.3 Veepõhine alküüdkruntvärv	14
1.3.4 Vedelkumm	14
1.4 Mõõtmine.....	15
1.4.1 Kuivatusmeetod	15
1.4.2 Elektritakistuse meetod	15
1.4.3 Kasutatud seadmed.....	16
1.4.4 Katsetoodika väljatöötamine	18
1.4.5 Veeimavuse katse.....	21
1.5 Kaitsevahendite toimivuse hindamine.....	30
2 Tulemused	31
2.1 Ristkihtpuidu veeimavus	31
2.2 Kaitsevahendite toimivus	45
3 Tulemuste hindamine ja arutelu	53
3.1 Magistritöö piirangud/puudused	54
3.2 Tuleviku uuringud.....	54
3.3 Töö olulisus.....	54
4 Järeldused	55
Kokkuvõte.....	57
Summary	58
Kasutatud kirjandus.....	59
Lisad.....	63

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

- CLT- ristkihtliimpuit
- RH- suhteline õhuniiskus
- Temp- temperatuur
- mm- millimeeter
- g- gramm
- m- minut
- h- tund
- s- sekund
- kk – kuu
- pp- päev
- aa- aasta

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö uuritavaks ehitusmaterjaliks on CLT (Cross Laminated Timber) ehk ristkihtliimpuit. Tegemist on saematerjalist valmistatud paneeltootega, kus on vähemalt kolm üksteisega risti paiknevat puitlauda kihti, mis on omavahel kokku liimitud [1]. Tervikuna on CLT väga tugev ning suure koormustaluvusega ja hästi kombineeritav teiste ehitusmaterjalidega [2]. Ristkihtliimpuidust on võimalik moodustada erinevaid suuremaid elemente, mida võib kasutada ka kandevkonstruktsioonina [2]. Väga levinud näited CLT kasutuskohtadest on erinevad seinad, rõdud, katused jne [2]. Ristkihtliimpuidu tihedus on väiksem kui näiteks metalli või betooni tihedus, mis teeb paneelide montaaži oluliselt lihtsamaks ja transpordi odavamaks [3].

Viimaste aastate jooksul on CLT hoonete kasutamine muutunud populaarsemaks [4]. Ristkihtpuidu ehitistel on suured eelised võrdluses traditsioonilise ehitamisega [5]. Tehases valmivad ristkihtpuidust hooned on keskkonnasäästlikumad [5]. Samuti võimaldab tehase keskkond paremat seinte isoleerimist ja keerukate liitekohtade kuiva ning täpset ehitust [5]. Nende hoonete kõige suuremaks eeliseks on ehitamise kiirus. Ehitusaja lühenemine vähendab ka ehitusmaksumust [5]. Samas võib rahaline kaotus tekkida niiskusest tingitud probleemidega ehituse ajal või hiljem. Murede vältimiseks tuleks tagada ehitusplatsil niiskusturvalisus.

Ristkihtliimpuidu tarnijate sõnutsi pole tarvis hoone ehitusprotsessi ning montaaži ajal CLT detaile ilmastiku eest kaitsta [6]. K. Mjörnell ja L. Olsson viitasid, et teadlased kardavad püstitamise ajal vihmale avatud hoones niiskuskahjustuste ning hallituseente kasvamiseks soodsate tingimuste teket [6]. Ehitusjärgsete niiskuskahjustustega tegelemine ei ole soodne. Rootsis läbiviidud uuringus avastati 1800 uuest ning vanast hoonest ligi 66 protsendil niiskuskahjustused. Nende hoonete tuvastatud kahjustuste kõrvaldamiseks ja hooldustöödeks on kulud hinnanguliselt 23-33 miljardit eurot [6].

ISO/DIS 22185-1 [7] standard käsitleb hoonete niiskuskahjustuste tuvastamist ja nende kõrvaldamise meetmeid. Esile on tõstetud ka puidu niiskuskahjustused. Tähelepanu on juhitud niiskuvaheldusest tingitud puidu mõõtmete suurenemisele või vähenemisele, mis omakorda põhjustab materjali pragusid. Lisaks võivad märgumise tagajärel tekkida mikroorganismide arenguks soodsad tingimused. Mikroorganismide elutegevuse tagajärjel võib tekkida puidu mädanemine, väheneb konstruktsiooni vastupidavus või tekivad tervisekahjustused hoones elavatele inimestele. [7]

Ehitusobjektidel on puitkonstruktsioonide katmine ilmastiku eest sageli puudulik. Tarindite ühenduskohad võivad jääda sademetele avatuks [8]. Tõenäolised niiskuse probleemide tekkimise asukohad on [9]:

- vahelae ja seina ühenduskohad;
- põranda ja seina ühenduskohad;
- vuugid;
- avad – aknad, uksed.

Sarnased niiskusega kaasnevad probleemid esinevad ka CLT detailidega [10]. Eestis ehitatud CLT hoonele tehtud uuringus tuvastati kriitilised sõlmed, kus CLT sattus veekontakti ning puidu niiskussisaldus tõusis mitmes mõõtepunktis üle 26% [10]. See ületas mädaniku tekkeks sobiva niiskussisalduse piiri [11]. Kõige kriitilisemad kohad esinesid väliseinapaneelide liitumisel vundamendiga, kus vesi sattus niiskumist takistava materjali (bituumenlindi) ja CLT paneeli vahele [10].

CLT elementide veega kokkupuutumise vähendamist tuleks alustada juba tehases. Valida tuleks sobiv transpordiviis, mis toimetab materjali vabrikust ehitusplatsile. Vahemaad ehitusobjektiga ja tehasega võivad olla suured ning sõidud võivad kesta mitmeid tunde või päevi. Selle aja jooksul peaksid kõik CLT elemendid olema kaetud vihmakindla kattega. Sarnaselt transportimisele tuleks ka ehitusplatsil viia ristkihtliimpuidu kokkupuutumine sademetega miinimumini. Selleks soovitasid Kalbe, Kukk ja Kalamees [10] kasutada lõikeservadel vedelalt peale kantavat membraakatet ning horisontaalsetel pindadel paigaldada isekleepuv veekindel membraankate (rullmaterjal).

Ehitusobjektidel CLT elementide kokkupanemise ajaks tuleks vee sattumine elementidele viia minimaalseks. Ilmateate jälgimine ning kuiva ilma ootamine pole kunagi 100% kindel, sestap tuleks kasutada telki, mis kaitseks ehitusmaterjali sademete eest [12]. Veel on võimalik rajada veekindlad vahelaod materjalide katmiseks või kasutada vettpidavat katematerjali [12]. Kõrgete hoonete rajamiseks on kasutatud ka telke, mida on võimalik liigutada ehituse ajal järk-järgult kõrgemale [13]. Madalamate hoonete ehitamiseks on võimalus rajada ratastel liikuv telk, mida saab liigutada vastavalt vajadusele [14]. Telgiga katmise meetod võib osutada kulukaks ning ehitusettevõtteid proovivad leida teisi variante, et töö saaks tehtud.

Sellest lähtuvalt on käesoleva magistr töö eesmärgiks uurida ristkihtliimpuidu lõikeservade veeimavust ning võrrelda CLT keskmiste ja välimiste kihtide niiskussisalduse muutumist ajas. Lisaks analüüsitakse ristkihtliimpuidu niiskuse välja kuivamist sisemistes ja välimistes kihtides. Katsete teostamise jaoks töötati välja katsemetoodika, mis matkis võimalikult lähedaselt ehitusobjektidel toimuvat. Kui

magistritöös uuringud näitavad, et ristkihtpuidu lõikeserva sattumine veekontakti on ohtlik pakutakse välja ja kontrollitakse nelja erinevat tüüpi kaitsevahendite toimivust. Lõikeservade märgumise takistamise kaitsevahendid valitakse sellised, et saaks hinnata erinevat tüüpi vahendite toimivust.

1 MEETOD

1.1 Niiskus ja niiskuskahjustused puidus

Niiskus on keemiliselt sidumata vesi gaasilises, vedelas või tahkes olekus, mida näidatakse kaaluprotsentides. [15]

Niiskussisaldus on puidus sisalduva vee kaalu ja puidu kuivkaalu suhe, mida näidatakse protsentides [15]. Puidu niiskussisalduse osas tuleb märkida, et selle määrab õhu suhteline niiskus, mitte absoluutne niiskus [16]. Õhu suhteline niiskus on õhus oleva veekoguse ja maksimaalse veekoguse suhe, mida õhk saaks valitseval õhutemperatuuril hoida [16].

Puidu niiskusel on kaks vormi [16]:

- seotud ehk hügrokoopne vesi;
- vaba ehk kapillaarvesi.

Seotud vett leidub rakuseinas ja ainult seotud vee olemasolul on puidu niiskussisalduse ja ümbritseva õhu suhtelise õhuniiskuse vahel tasakaal. [16] Sellest tuleneb puidu hügrokoopne ehk võime imeda iseendasse niiskust seni, kuni see tasakaalustub ümbritseva õhuniiskusega [17]. Rakuseinte küllastussisaldusest väiksema puidu niiskussisalduse korral on puidus ainult veeaur ja seotud vesi, rakuseinte küllastussisalduse ületades tekib ka vaba vesi [18]. Rakuseina vee küllastussisaldus ehk maksimaalne hügrokoopse vee hulk saabub materjali niiskussisalduse ligikaudu 30% juures [17]. Kui niiskussisaldus veel suureneb, hakkab vesi tungima raku õõnsustesse ehk luumenitesse [17]. Vee küllastumispunkt puidus tekib 140% niiskussisalduse ületamisel [19]. Sellisel juhul on veega küllastunud nii rakuseinad kui rakuõõnsused.

Puidus oleva vee liikumist saab klassifitseerida kahe füüsikalise mehhanismi järgi:

1. vedeliku liikumine läbi puidu rakuõõnsuste rõhugradiendi;
2. vedeliku liikumine läbi difusiooni, mis omakorda jaguneb gaasiliseks ja seotud vee difusiooniks. [20]

Vee sisaldus puidus muudab tema füüsikalisi omadusi [21]. Kiirus, millega niiskus puidus liigub, sõltub ümbritseva õhu suhtelisest õhuniiskusest, niiskuse gradiendist ning puidu temperatuurist [21]. Mida kõrgem on temperatuur puidus, seda kiiremini liigub niiskus märjemalt kuivema pinna poole [21].

Niiskuse suurenemisega hakkavad puidu mõõtmed suurenema ja vähenemisega toimub vastupidine protsess – puidu mõõtmed vähenevad [22]. Puidu mõõtmete muutused toimuvad piki tüve telge, radiaal- või tagentsiaalsuunas [23]. Kahanemine ja paisumine toimub peamiselt radiaal- ja tagentsiaalsuunas [23]. Kõige suuremad muutused toimuvad tangentsiaal suunas ning kõige väiksemad pikisuunas. Kahanemise ja paisumisega võib kaasneda puidu väändumine [23]. Üks silmatorkavamaid näiteid puidu väändumisest niiskuse tagajärjel on saekojas lõigatud lameda lauaga, mis pärast kuivamist muutub kumeraks [23].

Liigniiskus ohustab puitu lisaks füüsilisele deformatsioonile ka muul moel [24]. Sobivate keskkonnatingimuste juures hakkavad arenema puidus erinevad biokahjurid, näiteks kahjulikud seened [24]. Kuivana hoitav puit ei kõdune ning üldjuhul seentest ohustatud ei ole [24]. Liigest niiskusest tingitud seene teke ehituskonstruksioonis mõjutab lisaks puidu kahjustumisele ka inimeste tervist [25]. Mõned terviseprobleemid, mis võivad puiduseente tagajärjel tekkida: allergiline või tsütotoksiline reaktsioon ning immuunkomplekside teke [25].

1.2 Toimivuskriteeriumid

Üheks niiskusega kaasnevaks suurimaks mureks puitkonstruksioonides on seened. Seened vajavad kasvamiseks ja arenemiseks vett, sobivat temperatuuri, hapnikku ja toitaineid. Need neli nõuet on omavahel seotud, ühe teguri puudumisel ei alga seene areng või peatub seene kasv. Näiteks sobiva temperatuuri puudumisel ei hakka seen arenema, isegi vee, hapniku ja toitainete eksisteerimisel. [26]

Puitu kahjustavad seened hakkavad kasvama ligikaudu 16% niiskussisalduse juures [26]. Vajalik temperatuur hallitusseene kasvuks jääb vahemikku 0 kuni +50 °C [11], mis kehtib suurema osa Eesti aastaste temperatuurinäitajate kohta. Eesti Riigi Ilmateenistuse mõõdetud andmete järgi oli 2019 aasta keskmine temperatuur 7,6 °C [27]. Meteoroloogiliste aastaaegade keskmised temperatuurid olid talvel -0,5 °C, kevadel 7,6 °C, suvel 16,9 °C ning sügisel 7,7 °C [27], mis on kahjulike seente jaoks igati soodsad kasvutingimused [11]. Seente kasvuks sobivat temperatuurivahemikku ja 2019. aasta Eesti keskmisi temperatuure võrreldes näeme, et 2019 aastal oli Eesti kolmel aastaajal neljast ehitusobjektidel kahjuliku seene tekkimiseks vajalik temperatuur. Arvestama peab asjaoluga, et välja on arvatatud keskmised temperatuurid, kuid suurema osa aastast soosib Eesti ilm puidul seente teket.

Puidus olevat niiskussisaldust tuleb mõistliku ajavahemiku tagant mõõta. Ehitusobjektidel puidu sattumisel veekontakti, peaks mõõtmiste vahed olla päevase intervalliga. Esmane

ohtlik piir on käes, kui puidu niiskussisaldus ületab puidu mistahes punktis 16%, siis tekib oht kahjulike seente tekkeks. [28]. Kui puidu niiskussisaldus on suurem kui 20%, hakkab puidu tugevus vähenema [28]. Puidu niiskussisalduse väga ohtlik piir algab 25% niiskussisaldusest, mis tähendab, et on olemas sobiv niiskustase kõdunevate seente tekkeks ning algab puidu häving [11].

Puidu niiskussisaldust on oluline mõõta enne soojustuse paigaldamist [29]. Avatud ruumides peab niiskussisaldus olema alla 17% ning suletud konstruktsioonides peab niiskussisaldus jääma alla 15% [29]. Õige õhuniiskuse jälgimine aitab vältida puidu deformeerumist ja kahjulike seente teket [29].

Käesoleva magistritöö katsetes mõõdetakse niiskussisaldusi igal katsekehal kümnes erinevas punktis kahes eri sügavuses. Kui mõõtmistulemustes on niiskussisaldus suurem kui 16%, loetakse see kriitiliseks.

1.3 Lõikeservade kaitsevahendid

Magistritöös pakuti välja neli erinevat lõikeservade kaitsevahendit. Kaitsevahendite valikul lähtuti sellest, et need sobiks puidu töötlemiseks ning toote kirjeldusest lähtuvalt tagaksid veekindluse. Katsekehad töödeldi kaitsevahendiga enne katset ainult alumisest lõikeservast, mis asetati veega kontakti. Katsekehade külgservadele kaitsevahendeid ei kantud, sest töö tegemisel on tehtud eeldus, et kaitsevahendeid võib kasutada ainult peitu jäävatel servadel. Nimetatud eeldus tehti kuna ristkihtliimpuidu küljed võivad lähtuvalt sisearhitektuurist jääda nähtavaks ja viimistlemata ning külgedele ulatuv kaitsevahend võib seega osutada mittesobivaks.

Kaitsevahendite toimivuse kontrollimiseks viidi läbi katse ning niiskussisaldust mõõdeti igapäevaselt takistusmeetodi ja kuivatusmeetodiga. Välja pakutud kaitsevahendid on sobilikud, kui katsekeha niiskussisaldus ei ületa mõõdetud punktides 16% piiri.

1.3.1 Hermetiseerimislint

Hermetiseerimislint on iseliimuv materjal, mille saab kinnitada soovitud pinnale. Toote üheks kihiks on bituumen, mis on tuntud vettpidav materjal, mida kasutatakse näiteks vundamendi hüdroisolatsiooniks või katuse katematerjalina. Hermetiseerimislinde pealekandmine ristkihtpuidu lõikeservale peaks tagama veekontakti lõikeserva veekindluse. Käesolevas magistritöös on kasutatud hermetiseerimislinde Soudal

Soudaband. Nimetatud toote toimivust võib mõjutada lindi mitteandmine külgservadele ning vee pääsemine ristkihtpuidu ja lindi vahele. [30] (Joonis 1.1)



Joonis 1.1. Katsekeha lõikeserv, millele on liimitud hermetiseerimislint

1.3.2 Veepõhine akrülaatvärv

Magistritöö teine väljavalitud töötlusvahend on veepõhine kilejaks kuivav läbipaistmatu akrülaatvärv. Selle materjali pealekandmine toimub pintsliga või rulliga. Akrülaatvärviga on võimalik töödelda ka pindasid, mis jäävad hoone valmimisel eksponeerituks, sest tegemist on läbipaistva võõbaga. Pärast pinnale kandmist moodustub võõbast elastne ning vett hülgav kile, mis peaks töödeldud pinnale tagama hüdrofoobsuse. Magistritöös valiti välja puidukaitsevahend Induline SW-910, mis on mõeldud puidu ristlõike pindade töötlemiseks. Kuna tegemist on värvitu tootega, mille pealekandmise kvaliteeti on keeruline hinnata võib kaitsevahend jääda ebaühtlane ning mõjutada katse tulemusi. [31] (Joonis 1.2)



Joonis 1.2. Katsekeha lõikeserv, mis on töödeldud veepõhise akrülaatvärviga

1.3.3 Veepõhine alküüdkruntvärv

Alküüdkruntvärvid on hea nakkumisvõimega ning ilmastikukindlad. Need tooted sisaldavad alküüdvaikusid, mis tekitavad pärast pealekandmist kile. Magistritöös on kasutatud Teknose toodet Teknol JRM, mille üheks kasutuseesmärgiks on puitotsade kaitsmine. Toote tehniline andmeleht kinnitab, et see on ilmastikukindel ja minimaalse veeläbilaskvusega. Sarnaselt Induline SW-910-ga kuivab ka Teknol JRM värvituks, mille pealekandmise kvaliteeti on seega hiljem keeruline hinnata, mis võib mõjutada katsetulemusi. [32] (Joonis 1.3)



Joonis 1.3. Katsekeha lõikeserv, mis on töödeldud veepõhise alküüdkruntvärviga

1.3.4 Vedelkumm

Vedelkumm on hüdroisolatsiooni materjal, mida on võimalik pindadele pritsida või pintsliga värvida [33]. Pindadele kantav vedelkumm tekitab ühtlase vettpidava ning elastse katte. Magistritöös kasutatud vedelkummi tootenimetus on IKO MS Detail [33]. Pärast materjalile pealekandmist toimub keemiline reaktsioon ümbritseva õhuniiskusega, mis peaks muutma toote sitkeks veekindlaks membraaniks [33]. Vedelkummi eeliseks on kohene kvaliteedi kontrollimine – pärast pinna töötlemist on võimalik teha koheseid parandusi kohtades, kus vedelkummi kiht polnud piisav (Joonis 1.4).



Joonis 1.4. Katsekeha lõikeserv, mis on töödeldud vedelkummiga

1.4 Mõõtmine

1.4.1 Kuivatusmeetod

Puidu niiskussisalduse kindlaksmääramise üks võimalustest on kuivatusmeetod. Magistritöös on kuivatusmeetodi puhul lähtunud standardist EVS-EN 13183-1 (Saematerjali üksuse niiskussisaldus. Osa 1: Määramine kuivatusmeetodil) [34]. Protsessi eelduseks on kuivatusahju ning mõõtmiskaalu olemasolu. Katsekehade niiskussisalduse teada saamiseks „t“ ajahetkel on tarvis kaaluda uuritavat objekti. Katse lõppemisel on katsekehad vaja asetada kuivatusahju. Katsekeha kuivatamine lõppeb, kui katsekeha mass ei ole muutunud 2 tunni jooksul üle 0,1%. Kuivatusprotsessi lõpus on võimalik peaaegu kuiva puidu massi järgi välja arvutada niiskussisaldus ajahetkel „t“. Meetodi täpsus on ligi 0,1%. [34]

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100\%$$

Kus- ω = niiskussisaldus (%)

m_1 = katsekeha mass pärast katset (kg)

m_0 = kuiva materjali mass (kg)

1.4.2 Elektritakistuse meetod

Niiskussisaldust on võimalik mõõta ka elektritakistuse meetodi abil. Mõõtmistel on lähtunud standardist EVS-EN 13183-2 (Saematerjali üksuse niiskussisaldus. Osa 2: Määramine elektritakistuse meetodil). Meetodi suureks eeliseks on lihtsus ning mugavus. Tarvis on seadet, mis suudab mõõta kahe juhtteravaiku vahel elektritakistust. Aparaat toimib põhimõttel, et niiskussisalduse muutumisel muutub ka elektritakistus. Mõõtmistulemuse saamiseks tuleks pärast juhttarvike puidu sisse surumist kolm sekundit oodata. Nimetatud meetod võimaldab magistritöös mõõta katsekehade niiskussisaldust igapäevaselt erinevatel sügavustel. Planeeritud on niiskussisalduse mõõtmine CLT detaili pealmistes ning keskmistes kihtides. [35]

1.4.3 Kasutatud seadmed

Holzmeister LG9 NG (Joonis 1.5) on aparaat, mis mõõdab niiskussisaldust kasutades elektritakistuse meetodit. Seade mõõdab väikses piirkonnas ning soovitud sügavuselt niiskussisaldust, mis annab kasutajale täpse tulemuse. Mõõteelektroodid, mis seadmele sobivad on erineva pikkusega, mis annab võimaluse mõõta materjali niiskussisaldust ka sügavamates kihtides. Aparaat suudab niiskussisaldust mõõta vahemikus 5-90%. Soovituslik niiskussisalduse mõõtmispiirkond on 8-15% temperatuuril 20 °C. Enne puidu niiskussisalduse mõõtmist tuleb veenduda puidu temperatuuris, mis tuleb sättida paika enne mõõteelektroodide sisse löömist. Samuti tuleb määrata kasutusjuhendi järgi puidu rühm. Magistritöös kasutatavate teflonkattega isoleeritud elektroodide pikkused on 60mm, nende otsad olid 10mm pikkuses isoleerimata, mis võimaldas mõõtmisi teostada CLT detailide keskmistes kihtides võimalikult täpselt. [36]

Aparaat on kalibreeritud (Lisa 1).



Joonis 1.5 Niiskusmõõtja Holzmeister LG9 NG

<https://lanfor.ru/thumbs/default/images/items/0007895-1.jpeg>

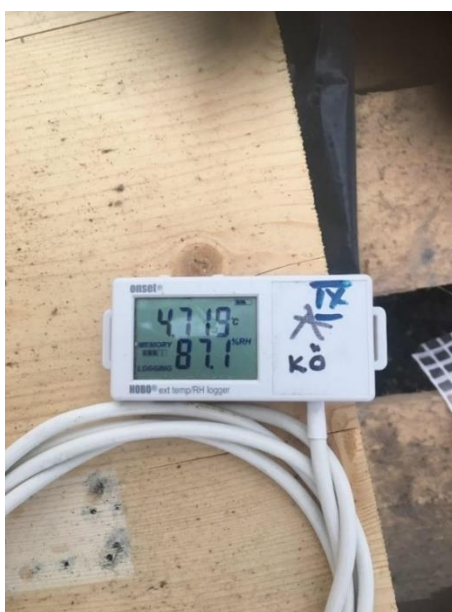
Kaal Kern DS 30K0.1L (Joonis 1.6) on aparaat, millega saadi teada katsekehade mass soovitud ajahetkel. Masina täpsus on 0,1g ning maksimaalne kaalutav ese võib olla 30 kg. Enne kaalumist tuli veenduda, et aparaat oleks loodis. Selleks on olemas vasakul küljel mull-vesilood. Katsekehade kaalumiseks tuli asetada need kaalule ning oodata kolm sekundit katsekeha massi teada saamiseks. Aparaadi töötamiseks tuli katse ajal hoida aparaat vähemalt +10°C keskkonnas [37].

Kaal on kalibreeritud (Lisa 2).



Joonis 1.6. Katsetel kasutatud kaal Kern DS 30K0.1L

Hobo UX100-023 (Joonis 1.7) mõõdab suhtelist õhuniiskust (RH) vahemikus 1-100%. Täpsus $\pm 2,5\%$ (RH vahemikus 10-90%) ja $\pm 5\%$ (RH $< 10\%$ või $< 90\%$). Aparaat mõõdab samal ajal ka temperatuuri täpsusega ± 0.21 °C (vahemikus 0 - 50 °C). Näitude saamiseks on masina järel 1,83 m kaabel. Magistritöös salvestati näidud iga 15 minuti tagant. [38]



Joonis 1.7. Katsetel kasutatud HOBO UX100-023

Kuivatuskapp Memmert UFB-500 on valmistatud roostevabast terasest. Kuivatuskapi temperatuuri on võimalus muuta vastavalt vajadusele. Memmert UFB-500 kuivatuskapi on võimalik temperatuur paika seada täpsusega $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (100°C juures). Magistritöös kasutatud seadme töötemperatuur oli $70 \text{ }^\circ\text{C}$ [39] (Joonis 1.8).



Joonis 1.8. Katsetel kasutatud kuivatuskapp Memmert UFB-500

Fotosüsteem

Veeimavuse katseks valmistati katsekehade pildistamiseks fotonurk. Veekontakti perioodil igal mõõtmisel ning kaalumisel pildistati ka katsekehasid. Vesi, mida märjutamisetapis kasutati oli segatud tindiga ning pildiseeria loob võimaluse vee liikumist CLT detailis jälgida. Kogu fotoseeria (Lisa 3) on tehtud fotoaparaadiga Nikon D5100.

1.4.4 Katsemetoodika väljatöötamine

Katsemetoodika väljatöötamine on käesolevas magistritöös suure osakaaluga. Testkatseid teostati neli. Iga testkatse andis infot, järgnevat eksperimenti täiustada.

Testkatsete eesmärgiks oli:

- Välja selgitada ning kontrollida ristkihtpuidu riskikohad ning neid varasemate uuringutega võrrelda.
- Rajada süsteem, mille abil uurida riskikohtade veeimavust nii, et tulemusi saaks üle kanda tervikdetailidele.
- Õppida tundma töövahendeid ja uurimismeetodeid.

Katsetel on kasutatud katsekehadena viiekihilisi CLT detaile mõõtmetega 20 cm x 20 cm x 10 cm ning 40 cm x 40 cm x 10 cm. Katse meetodika väljatöötamine ning nende teostamine ning analüüsimine toimus vahemikus 7.05.2019- 01.12.2020.

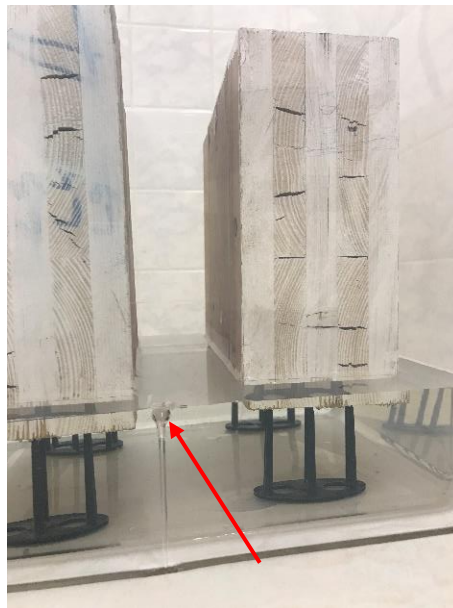
Testkatsete käigus selgitati välja CLT detailide riskikohad ning võrreldi neid varasemate uuringutega. Kontrollkatsete käigus avastati, et lõikeservade veeimavus on ohtlikum, kui külgeinade veeimavus. Tulemused kattusid varasemalt teiste autorite poolt teostatud uuringutega [10,14,40].

Esimese kahe testkatse eesmärgiks oli koguda teadmisi katsete korrektseks läbiviimiseks. Katsed andsid ettekujutuse ettevalmistöödest, kus oli vaja mõelda kõikidele üksikasjadele. Katsete läbiviimisel oli võimalik õppida kasutama erinevaid seadmeid, mida oli lõplikuks katseks vaja. Esimestekatse tulemused näitasid, et ristkihtpuidu lõikeservade niiskusimavus on suurem kui külgedel. Edasised katsed keskenduvad lõikeservade testimisele.

Lõikeservade veeimavuse uurimiseks tuli luua ehitusobjektiga võimalikult sarnane olukord. Selleks ehitati süsteem, et tekitada veekontakt katsekehade lõikeservaga. Arvestama pidi nii ühtlase veetaseme hoidmisega kui ka vee püsiva pealevooluga, et veetase vee aurumise ja katsekehasse imendunud vee koguse arvelt ei alaneks. Selleks kasutati plastmasskarpi, kuhu kolm CLT detaili sisse mahtusid. Külgedele puuriti akutrelliga augud, mis tagas vee läbivoolu. Katsekehad asetati tuuletõkke distantspuksidele, et vältida kokkupuudet plastmasskarbi põhjaga (Joonis 1.9 ning Joonis 1.10). Vee pidev pealevool sai lahendatud voolikuga, mis ühendati veevõrku. Vee tase oli plastmasskastis määratud enne katse algust. Katsekehade alumine lõikeserv oli veekontaktis 5-6 mm ulatuses. CLT detailide kaalumine katse ajal toimus päevas vähemalt korra. Kaalumine toimus ühekaupa ning eelnevalt kuivatati katsekehalt lahtine vesi.



Joonis 1.9. Testkatse läbiviimiseks ehitatud süsteem. Voolikuga tagati pidev vee pealevool



Joonis 1.10. Katsekehad on asetatud distantspuksidele ning punase noolega märgitud veevoolavuse auk

Tulemuste analüüsimisel leiti mõned erinevused ehitusplatsil toimuvaga. Eelnevalt läbiviidud katses olid CLT detailid mõõtudega 20 x 20 x 10 cm, mis andis võimaluse neil kuivada nendest lõikeservadest, mis ei olnud veega kontaktis. Katsemetoodikat tuli edasi arendada, et katsekehasid oleks võimalik võrrelda objektil kasutatavate paneelidega. Samuti prooviti leida lahendus ka läbivoolu süsteemile. Hetkel kasutatud meetodika ei sobinud veemavuskatseks, sest kasutatud süsteem oli pigem sobilik vees

lahustuvate komponentide väljapesu uurimiseks. Läbivoolu probleemi vältimiseks tuli rajada statsionaarne süsteem.

Katsete meetodika edasi arendamine jätkus. Katsete meetodika arendamise viimane katse ning veeimavuse katse olid väga sarnased. Kasutusele võeti IKO MS Detail ning statsionaarne süsteem. Ette valmistati 12 katsekeha ning neid hoiti veekontaktis üks nädal. Pärast seda algas kuivamisprotsess, mis toimus kaks nädalat. Testkatse ning lõpliku katse peamine erinevus oli vee nivoo. Soovitud kõrgus testkatses oli 1-2mm katsekeha alumisest lõikeservast, kuid ebatäpse mõõtmise tagajärjel jäi kõrguseks 20 mm (Joonis 1.11).

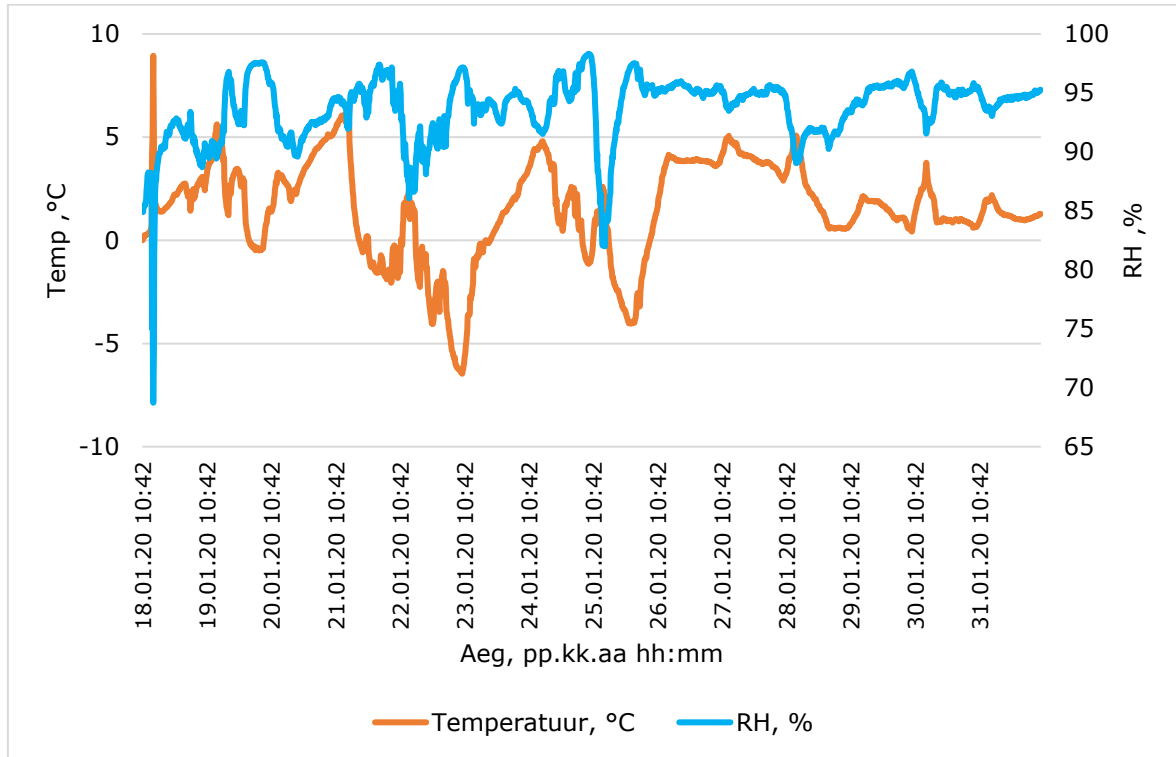


Joonis 1.11. Testkatses ebatäpne veetase – kõrgus ligikaudu 20 mm. Punasega joonega märgitud soovitud veetase- kõrgus ligikaudu 1-2 mm

1.4.5 Veeimavuse katse

Veeimavuse katsega alustati 1.02.2019. Eesmärgiks oli uurida veeimavust CLT detaili lõikeservast. Uuring toimus Tallinna Tehnika Ülikooli Tartu Kolledži laboris C110/1. 12 katsekeha asetati lõikeservaga veekontakti. Katsele eelnevalt viibisid kõik katsekehad väliskeskkonnas (sademete eest kaitstult) kaks nädalat. Kaitse detailide väliskeskkonnas hoidmise eesmärgiks oli katsekehade keskmise niiskussisalduse tõstmine hügroskoopsuse toimetel. See andis võrdlusmomenti objektile transporditavate detailidega [8]. Keskmise väliskeskkonna temperatuur sellel ajavahemikul oli 1,5°C ja suhteline õhuniiskus 93,4% (Joonis 1.12). Uuringu jaoks oli Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži sisehoovi rajatud varjualune, mida oli võimalik ka CLT veeimavuse uuringus kasutada. Varjualune kaitstes detaile sademete eest (Joonis 1.13 ning Joonis 1.14). Neli päeva enne katse alustamist kanti katsekehade kolmele lõikeservale polümeeridel põhinev vedelkumm „IKO MS Detail“ (Joonis 1.15 ning Joonis 1.16).

Vedelkumm takistas veeauru difusiooni teistelt lõikeservadelt ehk andis võimaluse võrrelda 40 cm x 40 cm x 10 cm ristkihtpuitu ühe suure ehitusobjektil monteeritava detailiga – näiteks seina detailiga, mille laius võib ulatuda mitme meetrini. Katsekehad kaaluti enne ning pärast vedelkummi peale kandmist, kaaluvahe on arvestatud maha katsekäigus mõõdetud kaaludest (Tabel 1.1).



Joonis 1.12. Katsekehade konditsioneerimise keskkonna temperatuur ja suhteline õhuniiskus (RH) vahemikus 18.01-01.02.20



Joonis 1.13. Välja rajatud varjualune konditsioneerimiseks ning kuivatamiseks välitingimustes



Joonis 1.14. Katsekehade konditsioneerimine välja rajatud varjualuses



Joonis 1.15. Katsekehade konditsioneerimine pärast vedelkummi peale kandmist



Joonis 1.16. Katsekeha, millele on peale kantud vedelkumm

Tabel 1.1. Katsekehade mass enne ja pärast IKO MS Detaili peale kandmist

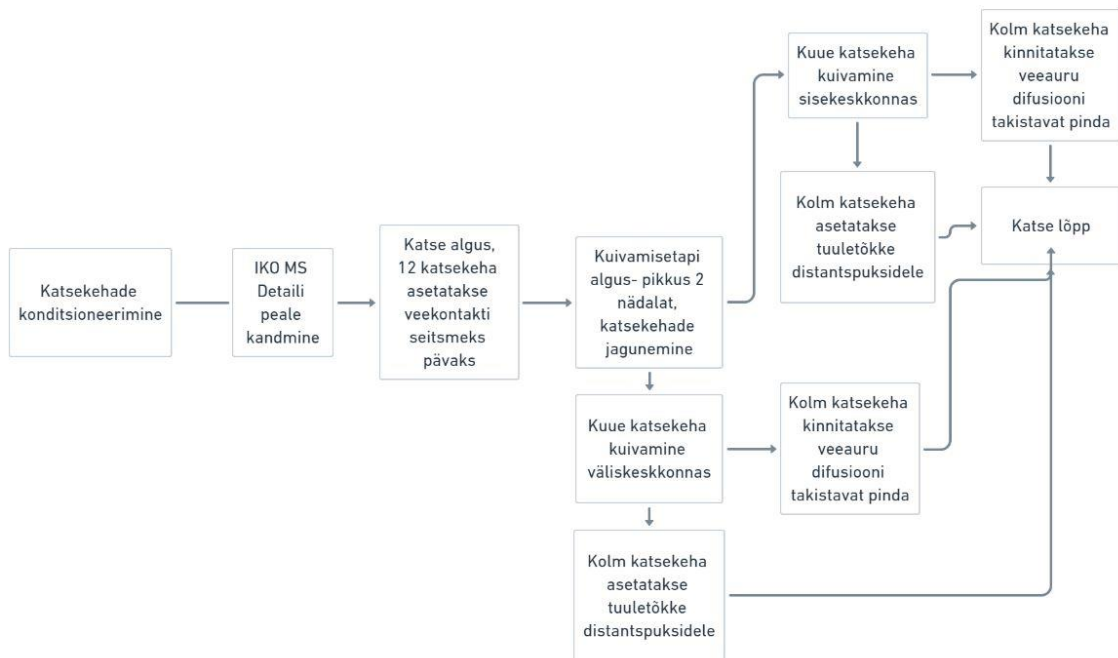
	Mass enne vedelkummi peale kandmist (g)	Mass pärast vedelkummi peale Kandmist (g)	Peale kantud vedelkummi mass (g)
Katsekeha nr.	1.25.2020	1.25.2020	1.25.2020
13	7636,6	7687,0	50,4
14	7353,0	7407,5	54,5
15	7447,4	7507,3	59,9
16	7127,8	7172,3	44,5
17	6980,6	7034,6	54,0
18	7938,9	7986,4	47,5
19	7604,9	7649,9	45,0
20	7049,7	7103,8	54,1
21	7400,7	7456,0	55,3
22	7931,1	7986,5	55,4
23	7103,4	7164,1	60,7
24	7389,0	7459,8	70,8

Katseplaan (Joonis 1.17) nägi ette 7 päeva veekontakti labori tingimustes. Veetase hoiti lõikeservast 1-3mm kõrgusel (Joonis 1.18 ning Joonis 1.19), et saavutada võimalikult sarnane olukord ehitusobjektil esinevate märgumise situatsioonidega. Veekontakti nädalale järgnes kuivamisperiood, kus katsekehad jaotati kaheks põhigrupiks. Esimene grupp, kuhu kuulus kuus katsekeha, kuivasid laboris (Joonis

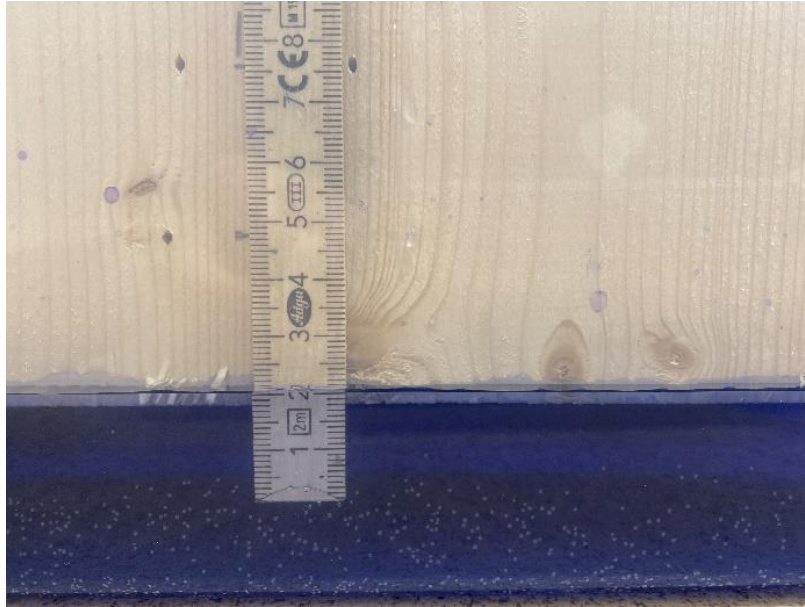
1.20). Teine grupp, kuhu kuulus ülejäänud kuus katsekeha kuivasid välitingimustesse rajatud varjualuses. Mõlemad põhigrupid jagunesid omakorda kaheks:

1. Katsekehad, mille märgunud lõikeservad olid avatud keskkonnale, asetsesid külili tuuletõkke distantspuksidel.
2. Katsekehad, mille veekontaktis olnud lõikeserv paiknes vastu veeauru difusiooni takistavat pinda.

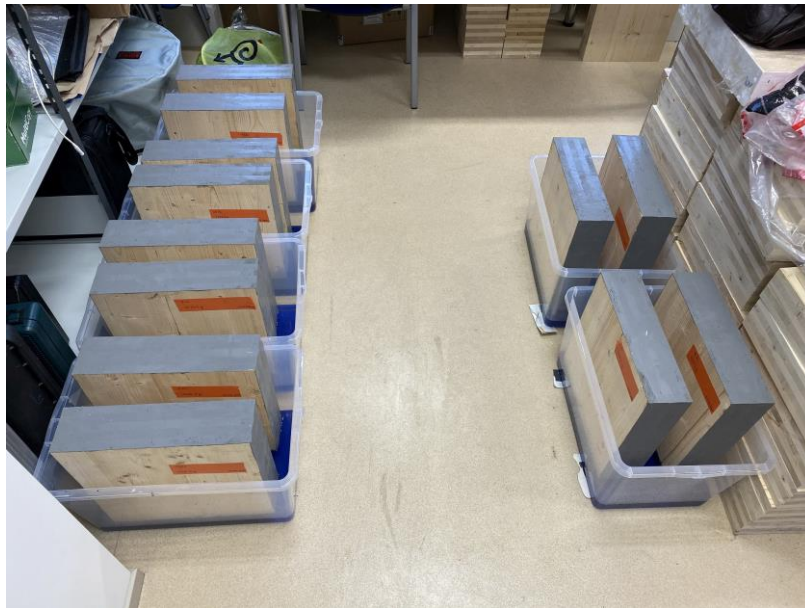
Veeauru difusiooni takistavaks pinnaks kasutati samade mõõtmetega CLT detaili (Joonis 1.21). Katsekeha kinnitamine vastu veeauru difusiooni takistavat pinda andis võimaluse võrrelda ehitusobjektile näiteks ristkihtpuidust seina lõikeserva ning põranda ühenduskohta. Tulemusi analüüsid annab see infot analoogs ühenduskoha kuivamiskiiruse kohta ristkihtpuidu lõikeservas. Katsedetailide jaotumise kohta koostati selgitustega nimekiri (Tabel 1.2). Võimalikult tiheda kontakti jaoks kasutati iga katsekeha kinnitamiseks kahte metallnurka ning kaheksat puidukruvi. Kaalumise ning mõõtmise ajaks eemaldati katsekeha veeauru difusiooni takistav CLT detail ning kaaluti koos metallnurkadega. Kaalumisel arvestati metallnurkadega ning kruvidega, mis olid katsekehade küljes. Katse lõpus eemaldati CLT detailidele paigaldatud abivahendid ning kaaluti massi teada saamiseks eraldi. Kuivatusetapi pikkuseks määrati kaks nädalat, et tulemused näitaksid ristkihtpuidu kuivamisvõimet erinevates keskkondades.



Joonis 1.17. Katseplaani nooled näitavad katse suunda



Joonis 1.18. Veeimavuse katse veetase üle lõikeservas 1-2mm



Joonis 1.19. Katsekehad veekontaktis



Joonis 1.20. Katsekehade kuivamine laboris. Punase noolega näidatud katsekeha paiknemine vastu veeauru difusiooni takistavat pinda



Joonis 1.21. Katsekehade kuivamine väljaskeskkonnas. Katsekehad ei puutunud määratud alusega kokku. Punase noolega näidatud katsekeha paiknemine vastu veeauru difusiooni takistavat pinda

Tabel 1.2. Katsekehade jaotumine kuivamisprotsessis

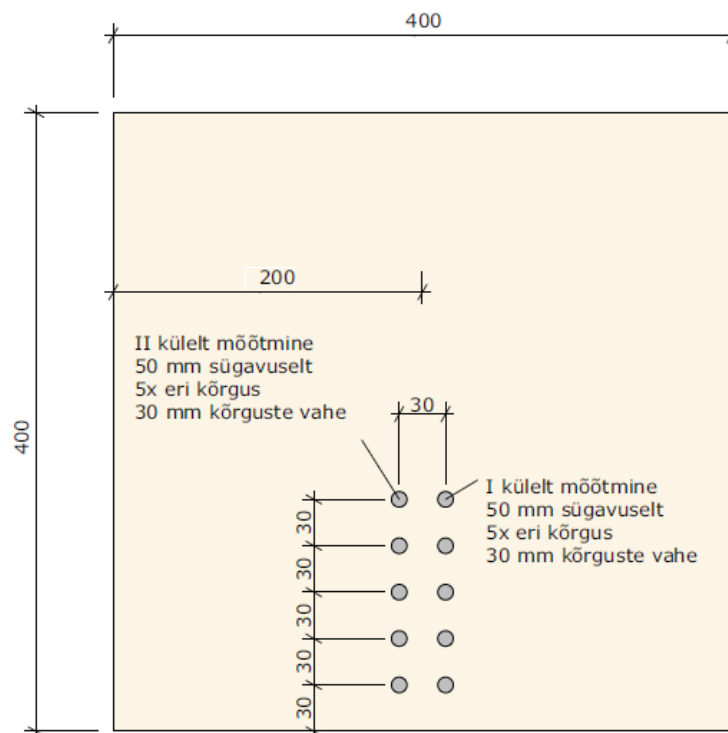
Katsekeha number	Keskfond	Kuivamise meetod
13	Laborikeskkond	Keskkonnale avatud
14	Laborikeskkond	Keskkonnale avatud
15	Laborikeskkond	Keskkonnale avatud
16	Laborikeskkond	Kinnitatud CLT detaili külge
17	Laborikeskkond	Kinnitatud CLT detaili külge
18	Laborikeskkond	Kinnitatud CLT detaili külge
19	Väliseskkond	Keskkonnale avatud
20	Väliseskkond	Keskkonnale avatud
21	Väliseskkond	Keskkonnale avatud
22	Väliseskkond	Kinnitatud CLT detaili külge
23	Väliseskkond	Kinnitatud CLT detaili külge
24	Väliseskkond	Kinnitatud CLT detaili külge

Kõik 12 katsekeha asetati plastmastkarpi kahekaupa. Veekontaktiks kasutatud vedeliku koostisosad oli vesi ning tint (Joonis 1.22). Eelnimetatud koosluse kasutamise eesmärgiks oli vaadelda vee liikumist puidus ajas.

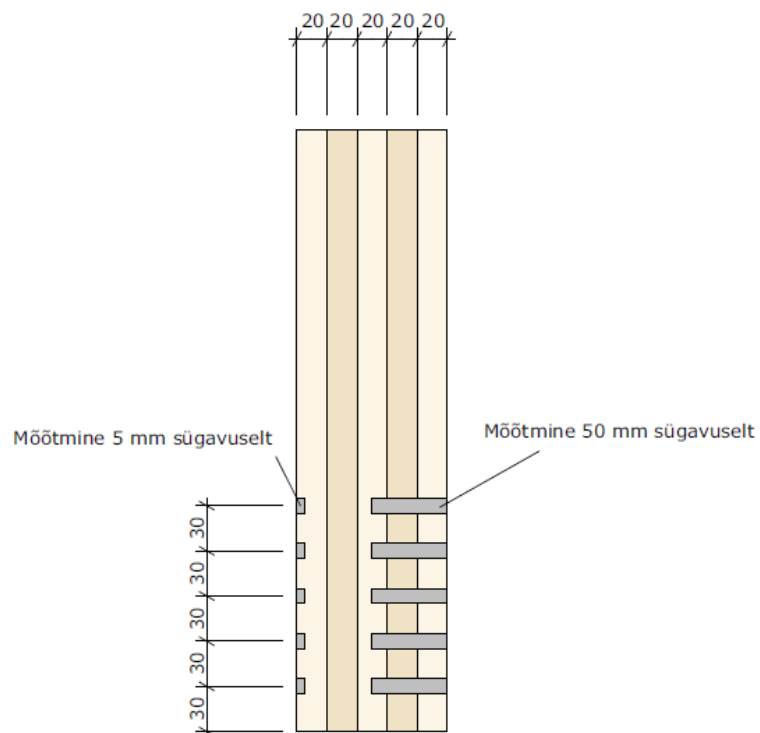


Joonis 1.22. Katses kasutatud tint Parker Quink sinine

Katsekehade kaalumise toimus intervalliga 2h, 4h, 6h, 24h ning hiljem päevas korra. Lisaks kaalumisele kasutati ka elektritakistuse mõõtmise meetodit. Elektroodidega niiskussisalduse mõõtmine toimus kümnest erinevast punktist ühel katsekehal. Viis punkti 5mm sügavuselt erinevatelt kõrgustelt ning viis punkti 50mm sügavuselt erinevatelt kõrgustelt (Joonis 1.23 ning Joonis 1.24). Mõõtmised toimusid ühekaupa ning eelnevalt kuivatati katsekehalt lahtine vesi. Elektroodidega niiskussisalduse mõõtmise toimus päevas korra.



Joonis 1.23. Elektritakistusega mõõdetavad punktid küljel I ja küljel II



Joonis 1.24. Elektritakistuse meetodiga mõõdetavate punktide sügavused külgvaates

Niiskussisalduse mõõtmine eelnevalt nimetatud punktidest annab võimaluse jälgida kuidas niiskus elemendis järjest kõrgemale jõuab. Lisaks saab ülevaate nii katsedetaili keskel kui pealmises kihis toimuvast niiskussisalduse muutumisest. Kõrgeim mõõtmispunkt veekontakti servast määrati neljanda testkatse tulemuste põhjal. Erinevatest kihtidest mõõtmine annab võimaluse jälgida ristkihtliimpuidu keskmise kihi kuivamise kiirust võrreldes pealmise kihiga.

1.5 Kaitsevahendite toimivuse hindamine

Kaitsevahendite toimivuse hindamise meetodika on sarnane ristkihtpuidu veeimavuse uuringuga. Enne katse alustamist töödeldi kolm lõikeserva vedelkummiga ning katsekehade niiskussisaldust tõsteti välitingimustes asuvas varjualuses. Neli päeva enne katse alustamist jagati 12 katsekeha kolme gruppi ning töödeldi nelja erineva kaitsevahendiga (Tabel 1.3). Katsekehade külgedele kaitsevahendit ei lisatud. Ristkihtliimpuidu lõikeservade veeimavuse tõkkeks kasutati hermetiseerimislinti, veepõhist akrülaatvärvi, veepõhist alküüdkruntvärvi ning vedelkummi. Katse pikkuseks ehk veekontakti etapiks oli seitse päeva, mis koosnes veekontakti etapist. Mõõtmiste meetodika oli ühene veeimavuse uuringuga.

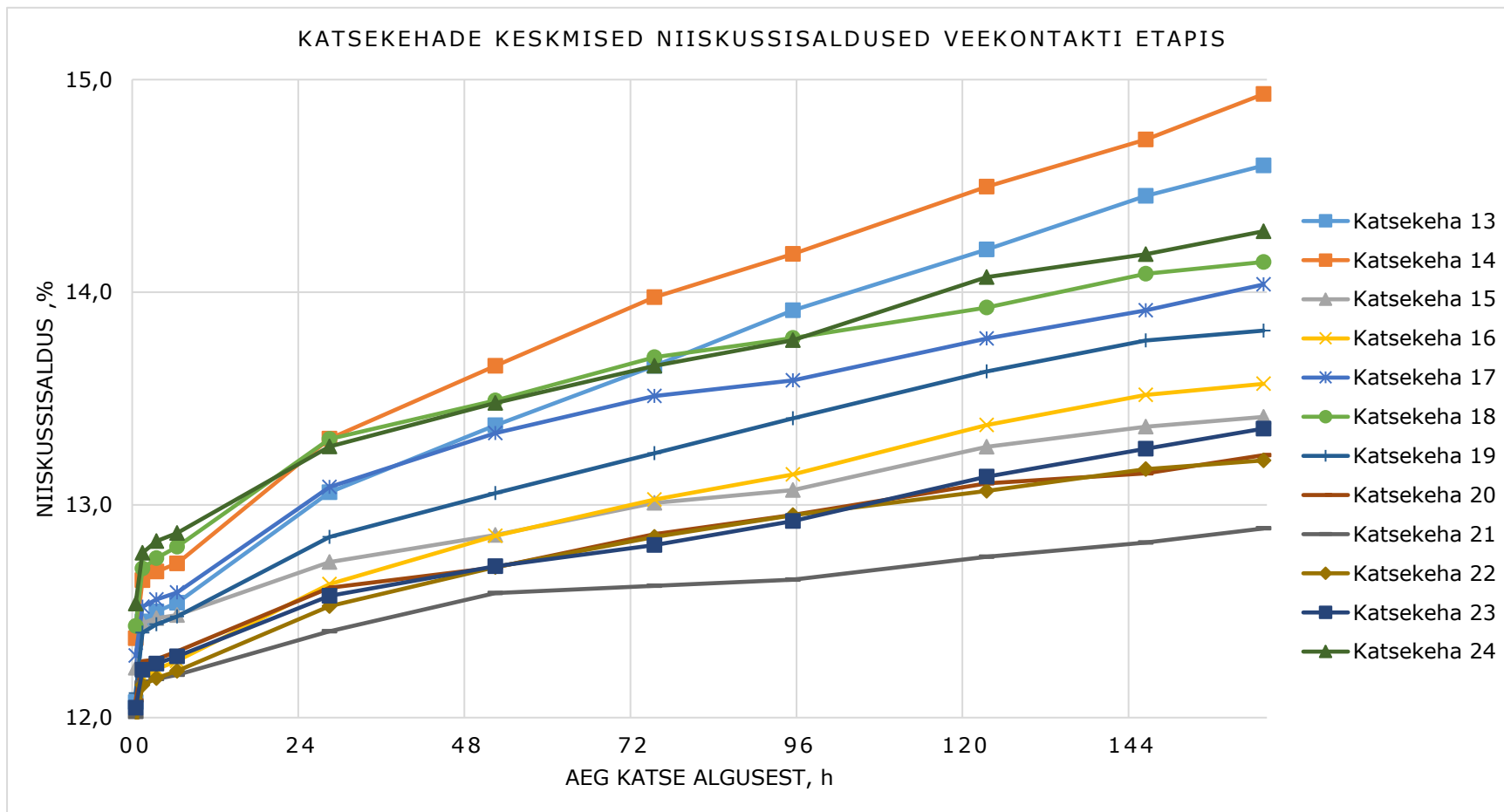
Tabel 1.3. Katsekehade jaotumine kaitsevahendite katses

Katsekeha nr ja kaitsevahend
Katsekeha 25 - hermetiseerimislint
Katsekeha 26 - hermetiseerimislint
Katsekeha 27 - hermetiseerimislint
Katsekeha 28 -veepõhine akrülaatvärv
Katsekeha 29 - veepõhine akrülaatvärv
Katsekeha 30 - veepõhine akrülaatvärv
Katsekeha 31 - veepõhine alküüdkruntvärv
Katsekeha 32 - veepõhine alküüdkruntvärv
Katsekeha 33 - veepõhine alküüdkruntvärv
Katsekeha 34 - vedelkumm
Katsekeha 35 - vedelkumm
Katsekeha 36 - vedelkumm

2 TULEMUSED

2.1 Ristkihtpuidu veeimavus

Katsekehade niiskussisaldused enne katse algust olid vahemikus 11,9-12,5%. Kuus tundi pärast katse algust oli teostatud kolm mõõtmist. Katsekehade niiskussisalduse muutmist vaadeldi iga kahe tunni tagant. Kaalumismeetodil saadud niiskussisalduse suurenemine oli minimaalne, aga see kirjeldab katsekehade niiskussisaldust kogu terviku keskmisena ning võib olla eksitav. Kuue tunni jooksul oli keskmine niiskussisaldus muutunud keskmiselt 0,3%. 30 tundi pärast veekontakti algust olid katsekehade niiskussisaldused suurenenud keskmiselt 0,7%. Selleks hetkeks olid katsekehade keskmised niiskussisaldused kaalumismeetodi järgi vahemikus 12,4-13,3%. Ristkihtliimpuidu detailid olid sellel ajahetkel imanud keskmiselt 46,1 g vett. Veekontakti lõppedes ehk seitse päeva hiljem olid katsekehade keskmised niiskussisaldused kasvanud keskmiselt 1,62%. Katsekeha number 14 niiskussisaldus oli selleks hetkeks kõige suurem ehk 14,9%. Kõige väiksem ehk 12,9% oli katsekeha number 21 niiskussisaldus. Keskmiselt oli mass katsekehades suurenenud 107,7g ehk 15,4g päevas. (Joonis 2.1 ,Tabel 2.1 ning Tabel 2.2)



Joonis 2.1. Katsekehade keskmised niiskussisaldused veekontakti etapis kaalumismeetodi järgi. NB! Esitatud niiskussisaldus kirjeldab kogu katsekeha keskmist ja ei näita lokaalselt kõrgemaid niiskussisaldusi

Tabel 2.1. Katsekehade keskmised niiskussisaldused veekontakti etapis kaalumismeetodi järgi. NB! Esitatud niiskussisaldus kirjeldab kogu katsekeha keskmist ja ei näita lokaalselt kõrgemaid niiskussisaldusi

Aeg katse algusest, h	Niiskussisaldus, %										
	0,0	2,0	4,0	6,0	28,7	52,4	75,0	95,3	123,2	146,5	163,7
Katsekeha 13	12,07	12,45	12,50	12,54	13,06	13,37	13,65	13,92	14,20	14,45	14,60
Katsekeha 14	12,37	12,65	12,69	12,72	13,31	13,65	13,98	14,18	14,50	14,72	14,93
Katsekeha 15	12,23	12,44	12,47	12,48	12,73	12,86	13,01	13,07	13,27	13,37	13,41
Katsekeha 16	11,91	12,19	12,23	12,27	12,63	12,86	13,03	13,14	13,38	13,52	13,57
Katsekeha 17	12,29	12,52	12,56	12,59	13,08	13,34	13,51	13,59	13,78	13,92	14,04
Katsekeha 18	12,43	12,70	12,75	12,80	13,31	13,49	13,69	13,78	13,93	14,09	14,14
Katsekeha 19	12,11	12,40	12,44	12,47	12,85	13,05	13,24	13,41	13,63	13,77	13,82
Katsekeha 20	12,08	12,26	12,27	12,31	12,61	12,71	12,86	12,95	13,10	13,15	13,23
Katsekeha 21	12,00	12,16	12,18	12,20	12,41	12,58	12,62	12,65	12,76	12,82	12,89
Katsekeha 22	11,96	12,15	12,18	12,22	12,52	12,71	12,85	12,95	13,07	13,17	13,21
Katsekeha 23	12,05	12,22	12,25	12,29	12,57	12,71	12,81	12,92	13,13	13,26	13,36
Katsekeha 24	12,54	12,77	12,83	12,87	13,27	13,48	13,65	13,77	14,07	14,18	14,29

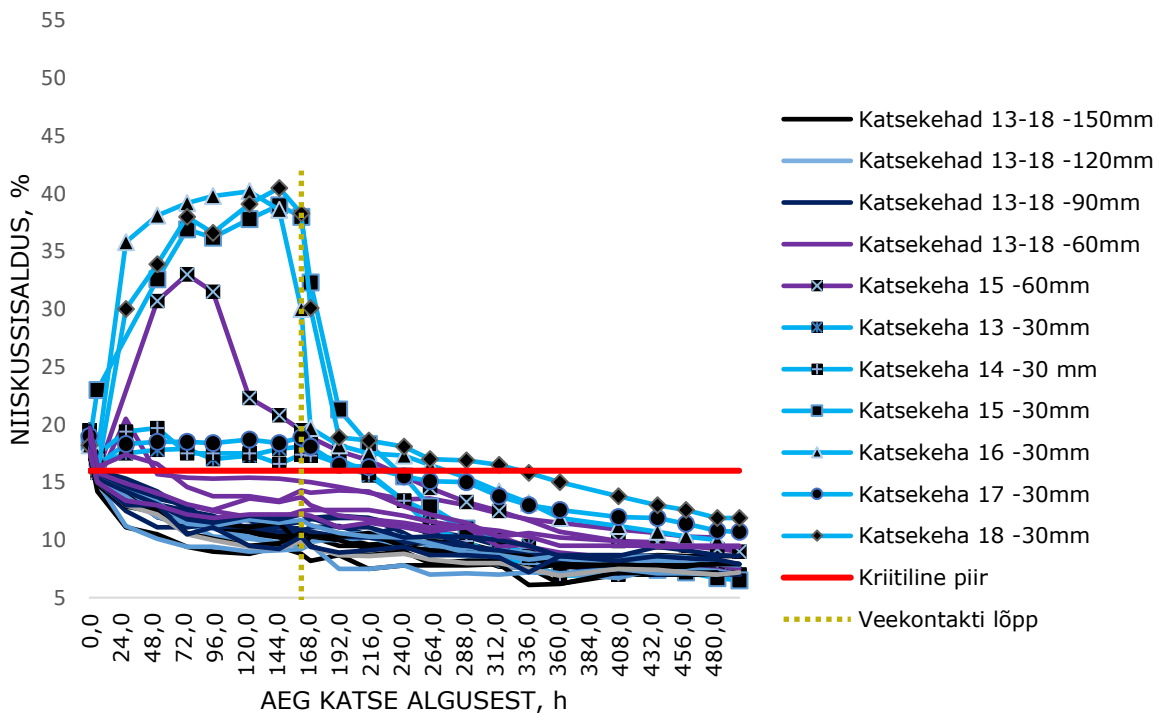
Tabel 2.2. Katsekehade massid veekontakti etapis

Aeg katse algusest, h	Mass, g										
	0,0	2,0	4,0	6,0	28,7	52,4	75,0	95,3	123,2	146,5	163,7
Katsekeha 13	7676,10	7702,00	7705,30	7708,10	7743,70	7765,20	7784,40	7802,30	7821,90	7839,10	7848,90
Katsekeha 14	7388,10	7406,00	7408,70	7411,20	7449,80	7472,30	7493,50	7506,90	7527,70	7542,30	7556,30
Katsekeha 15	7471,60	7485,60	7487,20	7488,10	7504,70	7513,20	7523,30	7527,30	7540,80	7547,10	7550,20
Katsekeha 16	7161,10	7179,30	7181,40	7183,90	7207,00	7221,60	7232,50	7240,00	7254,90	7264,00	7267,30
Katsekeha 17	7017,40	7031,80	7033,90	7036,00	7067,00	7082,80	7093,70	7098,30	7110,60	7118,90	7126,50
Katsekeha 18	7976,10	7995,20	7998,70	8002,50	8038,40	8051,30	8065,70	8072,10	8082,30	8093,60	8097,50
Katsekeha 19	7652,00	7671,40	7674,10	7676,60	7702,20	7716,20	7729,00	7740,20	7755,30	7765,20	7768,40
Katsekeha 20	7093,40	7105,00	7105,70	7108,00	7126,90	7133,00	7142,90	7148,60	7158,00	7161,00	7166,40
Katsekeha 21	7431,30	7442,00	7443,10	7444,40	7458,00	7469,90	7472,20	7474,10	7481,30	7485,70	7490,10
Katsekeha 22	7965,80	7979,40	7981,70	7984,20	8005,80	8018,90	8029,00	8036,30	8044,40	8051,70	8054,60
Katsekeha 23	7133,40	7144,80	7146,60	7148,80	7166,90	7175,80	7182,10	7189,30	7202,60	7211,00	7217,00
Katsekeha 24	7427,90	7443,70	7447,30	7449,80	7476,70	7490,20	7501,70	7509,70	7529,30	7536,40	7543,50

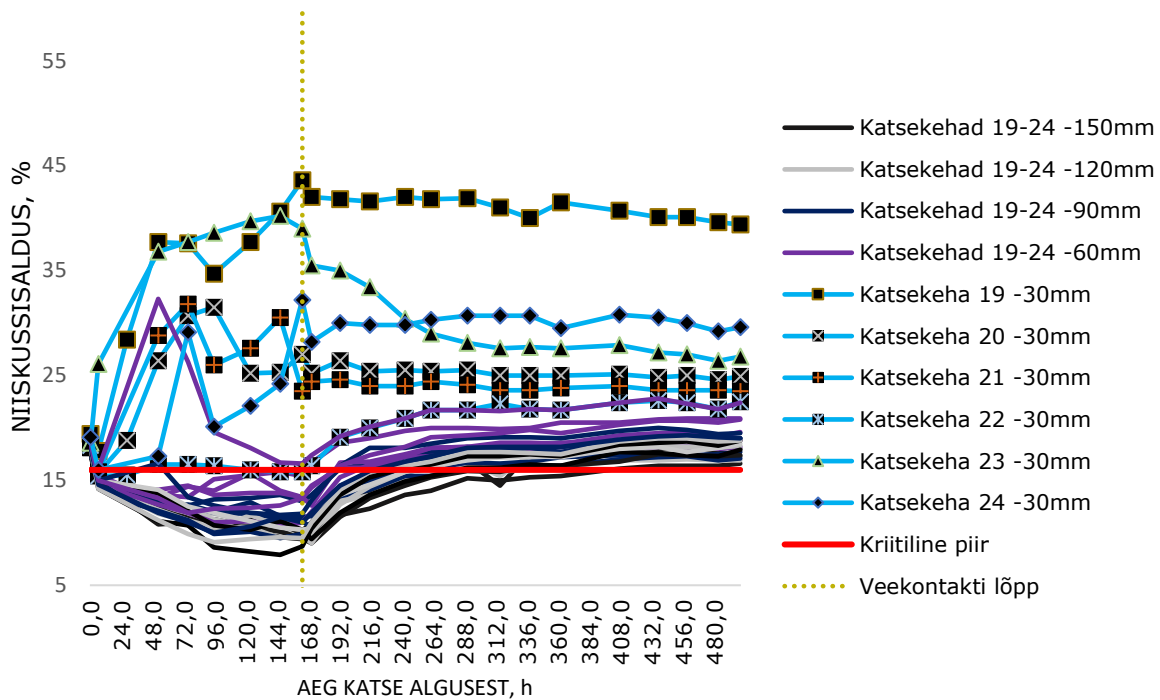
Katse alguses oli kõikide katsekehade niiskussisaldus takistusmeetodiga mõõdetuna 30mm kõrgusel lõikeservast pealmistes kihtides üle 17%. Sellisel tasemel niiskussisaldus viitas olukorrale, kus kriitiline 16% piir oli ületatud väliskeskkonnas ilmastikukindlas varjualuses. Varjualuse keskmine temperatuur oli 1,5 °C ning suhteline õhuniiskus 93,4 %. Järgmine elektroodidega mõõtmine teostati kaheksa tundi pärast katse algust ning katsekehade pealmises kihis jagunesid katsekehade näitajad kaheks (Joonis 2.2 ning Joonis 2.3).:

1. Kümne ristkihtliimpuidu detaili niiskussisaldus oli välimistes kihtides vähenenud.
2. Kahe ristkihtliimpuidu detaili niiskussisaldus oli suurenenud.

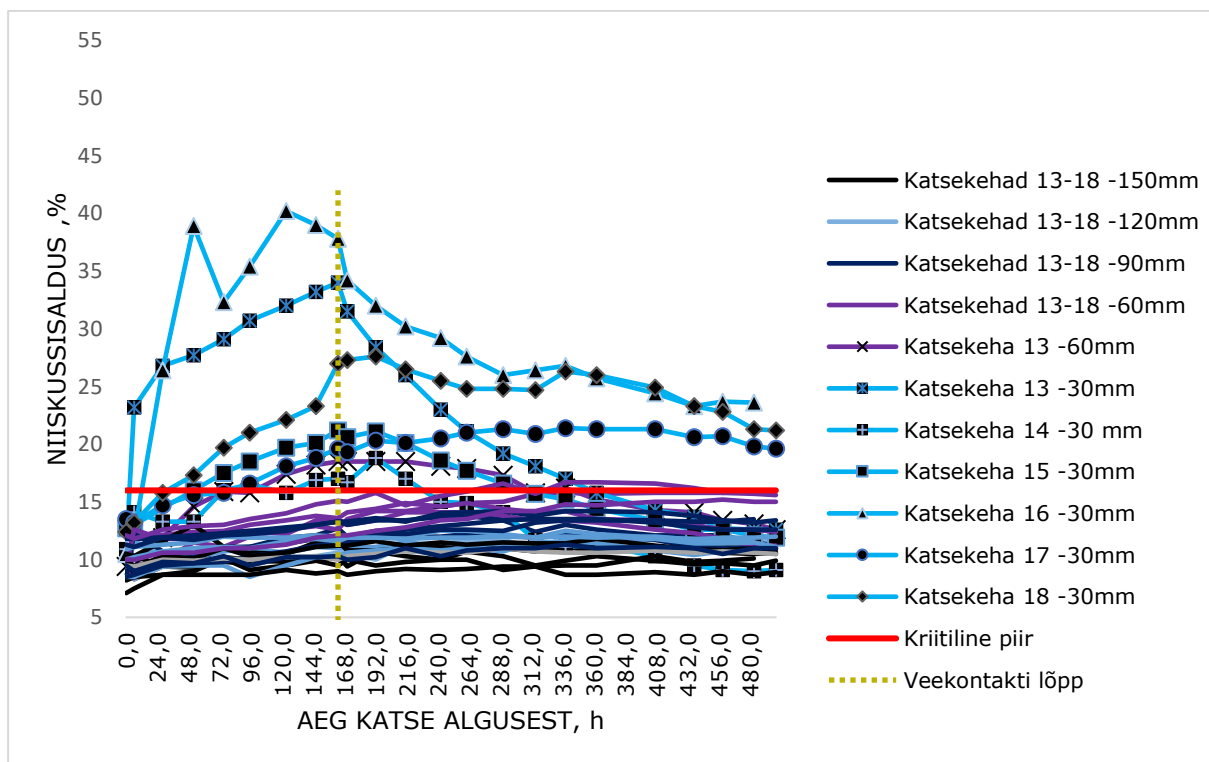
Sellel ajahetkel oli katsekeha number 13 niiskussisaldus sisemises kihis 30 mm kõrgusel veekontakti pinnast kasvanud 23,2 %-ni. (Joonis 2.5).



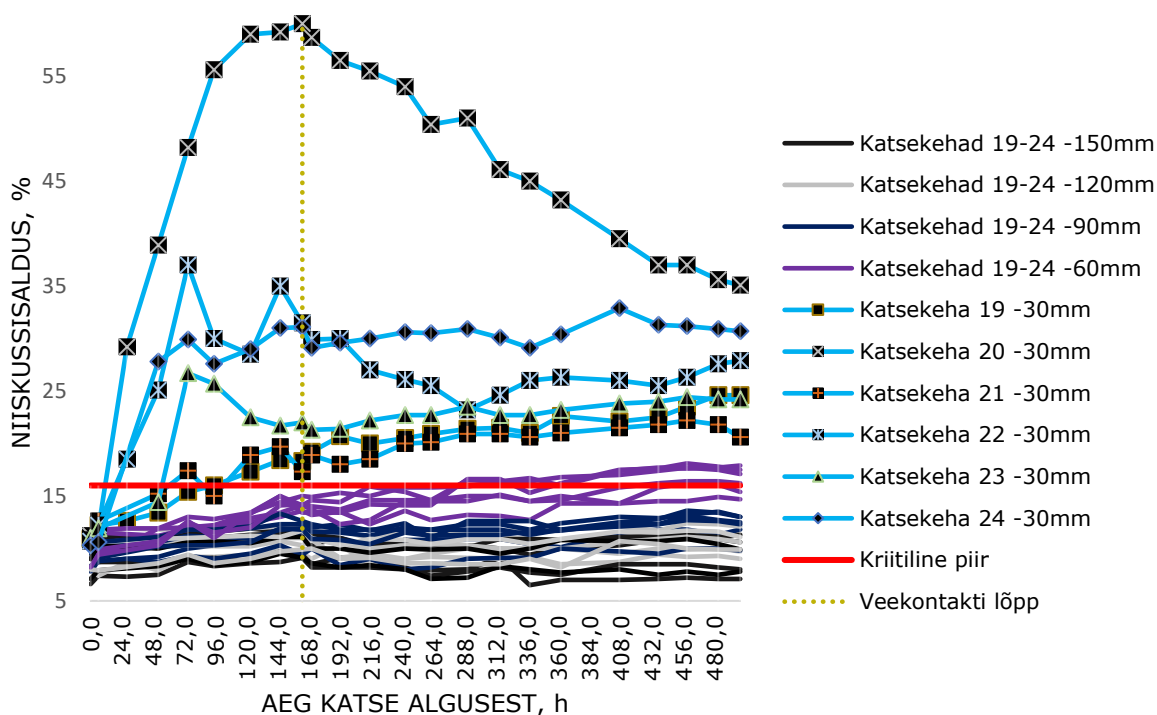
Joonis 2.2. Takistusmeetodiga mõõdetud niiskussisaldused katsekehades 13-18 5mm sügavuselt, kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm.



Joonis 2.3. Takistusmeetodiga mõõdetud niiskussisaldused katsekehades 19-24 5mm sügavuselt, kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm



Joonis 2.4. Takistusmeetodiga mõõdetud niiskussisaldused katsekehades 13-18 50mm sügavuselt, kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

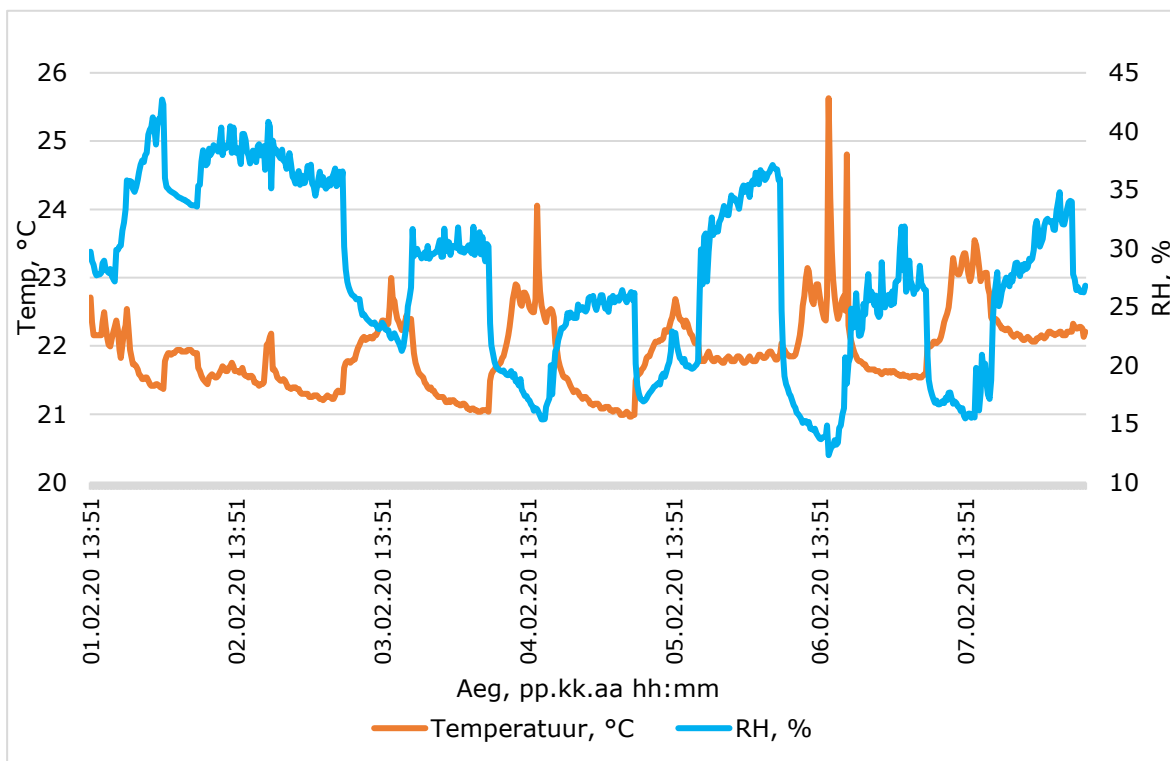


Joonis 2.5. Takistusmeetodiga mõõdetud niiskussisaldused katsekehades 19-24 50mm sügavuselt, kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

Teine mõõtmine elektroodidega teostati 2.02.2020 ehk 29 tundi pärast katse algust. Takistusmeetodiga teostati mõõtmised 7 katsekehas, sest mõõtmisaparaat purunes ning mõõtmised katkestati. Mõõdetud tulemustest võib näha katsekeha number 22 sisemise kihi niiskussisalduse kriitilise piiri ületamist 30mm kõrgusel mõõtmistulemusega 18,5% (Joonis 2.5). Väga ohtliku niiskussisalduse piiri 25 % olid selleks ajahetkeks ületanud katsekeha number 18 välimises kihis 30mm kõrgusel (Joonis 2.2) ning katsekehad number 13 ja 20 sisemistes kihtides 30mm kõrgusel (Joonis 2.4 ning Joonis 2.5).

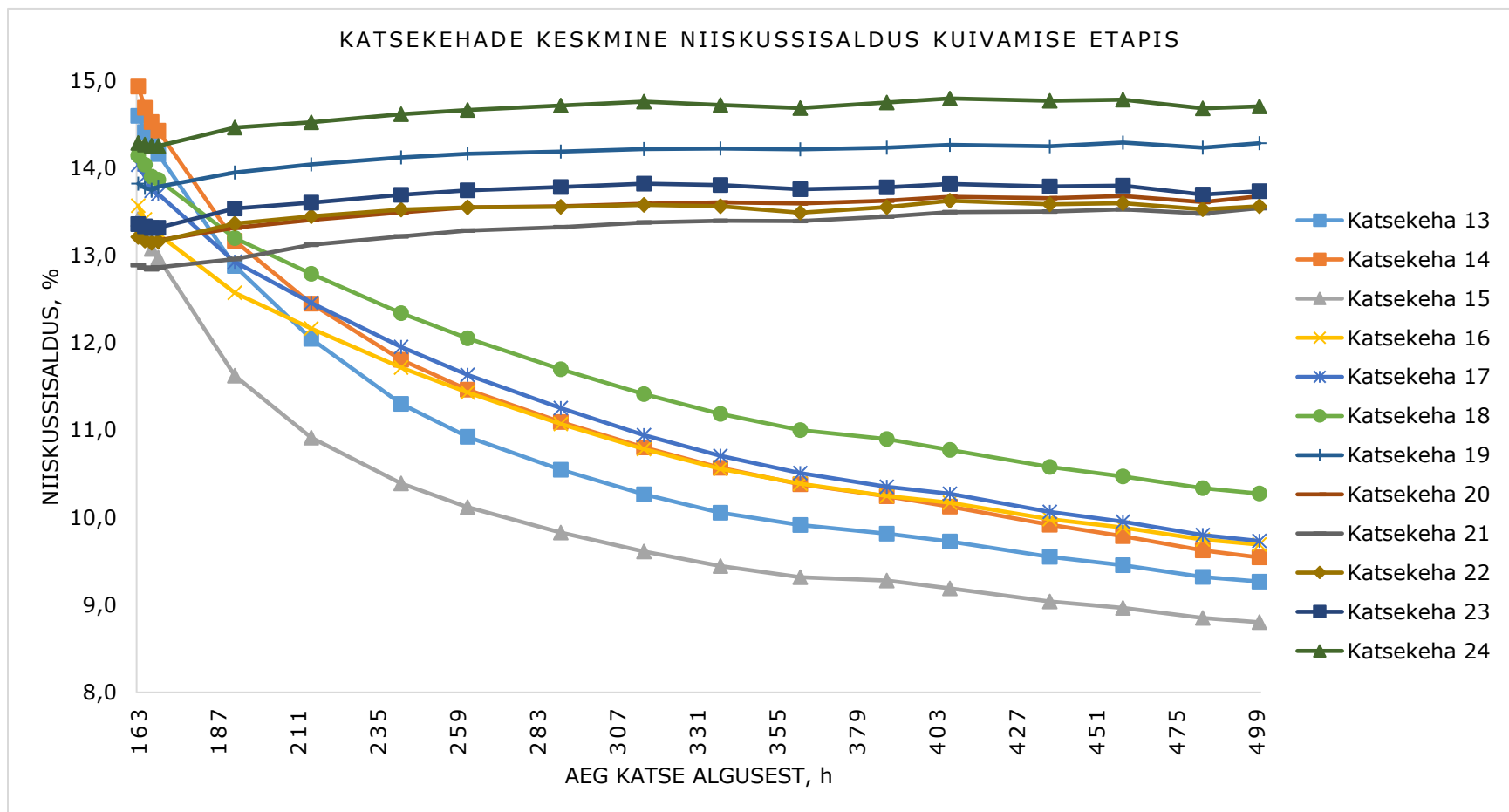
Järgmine kõikide katsekehade mõõtmine toimus 3.02.2020 ehk 52 tundi pärast veekontakti algust. Selleks ajahetkeks olid kõikide katsekehade niiskussisaldused välimistes kihtides 30mm kõrgusel ületanud kriitilise piiri 16 %. Tulemused näitasid, et väga ohtliku piiri 25 % olid ületanud seitse katsekeha kaheteistkümnest kõrgusel 30mm välimistes kihtides (Joonis 2.2 ning Joonis 2.3) ning sisemistes kihtides 5 katsekeha (Joonis 2.4 ning Joonis 2.5). Kattuvused ohtliku piiri ületamisel nii sisemistes kui ka välimistes kihtides olid

katsekehades number 16 ning 20. 16% niiskussisalduse piiri olid selleks ajahetkeks ületanud lisaks eelnevatele katsekehadele kaks katsekeha keskmistes kihtides 30 mm kõrguselt veekontakti pinnast. Silmapaistva niiskussisalduse tõusu tegid katsekeha number 23 ja 15, kus 60 mm kõrgusel ületati välimises kihis 25 % niiskussisalduse piir. Katsekeha number 14 välimise kihi 60 mm kõrgusel oli 52 tundi pärast veekontakti algust ületatud 16% niiskussisalduse piiri (Joonis 2.2 ning Joonis 2.3). 06.02.2020 ehk 123 tundi pärast veekontakti alguseks olid kõikide katsekehade niiskussisaldused välimistes ning sisemistes kihtides tõusnud üle 16%. Katse veekontakti etapis oli keskmine labori temperatuur 21,9°C ning suhteline õhuniiskus 27,4 % (Joonis 2.6).



Joonis 2.6. Katse veekontakti keskkonna temperatuur ja suhteline õhuniiskus vahemikus vahemikus 01-08.02.20

Kuivamisprotsessi alguses jaotati katsekehad kaheks nädalaks kuivama Tabel 1.2 alusel. Kilemajasse väliskeskkonda asetatud katsekehade kaalumismeetodil tuvastatud keskmine niiskussisaldus suurenes kahe nädalaga keskmiselt 0,45%. Sisetingimustes olevate katsekehade keskmised niiskussisaldused langesid keskmiselt 4,6%. Sisetingimustes vastu veeauru difusiooni takistavat pinda asetatud katsekehade niiskussisalduse langus oli keskmiselt 1,1% väiksem kui CLT detailidel, mille kõik lõikeservad olid avatud sisekeskkonnale. Kilemajas olevate kahe grupi niiskussisalduse tõusude keskmine üksteisest nii suurelt ei erinenud. Vastu veeauru difusiooni takistavat pinda olevate katsekehade niiskussisaldused olid keskmiselt tõusnud 0,1% rohkem kui ristkihtliimpuidu detailid, mille veekontakti lõikeserv oli avatud väliskeskkonnale. (Joonis 2.7 ning Tabel 2.3)



Joonis 2.7. Katsekehade keskmine niiskussisaldus kuivamise etapis kaalumismeetodi järgi. NB! Esitatud niiskussisaldus kirjeldab kogu katsekeha keskmist ja ei näita lokaalselt kõrgemaid niiskussisaldusi. Katsekehad 13 - 18 olid sisekeskkonnas ja katsekehad 19-24 väliskeskkonnas

Tabel 2.3. Katsekehade keskmine niiskussisaldus kuivamise etapis kaalumismeetodi järgi. Katsekehade järel nimetatud kuivamiskeskond ning kuivamismeetod. NB! Esitatud niiskussisaldus kirjeldab kogu katsekeha keskmist ja ei näita lokaalselt kõrgemaid niiskussisaldusi.

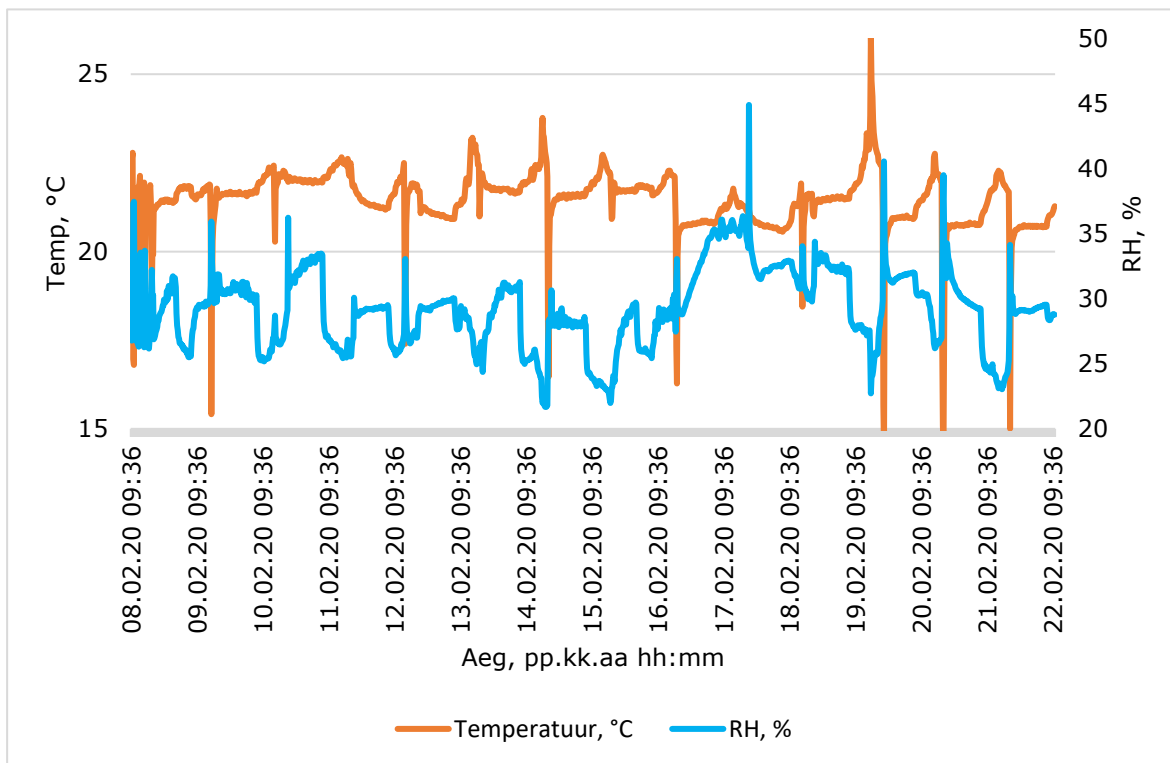
	Niiskussisaldus, %								
Aeg katse algusest, h	163,7	165,7	167,7	169,7	192,5	215,2	242,4	262,8	290,5
Katsekeha 13 - Laborikeskkond - Keskkonnale avatud	14,60	14,41	14,26	14,16	12,88	12,05	11,30	10,93	10,55
Katsekeha 14 - Laborikeskkond - Keskkonnale avatud	14,93	14,69	14,53	14,43	13,17	12,45	11,81	11,47	11,09
Katsekeha 15 - Laborikeskkond - Keskkonnale avatud	13,41	13,25	13,07	12,98	11,63	10,91	10,39	10,12	9,83
Katsekeha 16 - Laborikeskkond - Kinnitatud CLT detaili külge	13,57	13,41	13,31	13,24	12,57	12,16	11,72	11,43	11,07
Katsekeha 17 - Laborikeskkond - Kinnitatud CLT detaili külge	14,04	13,90	13,74	13,70	12,93	12,46	11,95	11,63	11,25
Katsekeha 18 - Laborikeskkond - Kinnitatud CLT detaili külge	14,14	14,04	13,90	13,86	13,20	12,79	12,34	12,05	11,70
Katsekeha 19 - Väiskeskond - Keskkonnale avatud	13,82	13,77	13,75	13,79	13,95	14,04	14,12	14,16	14,19
Katsekeha 20 - Väiskeskond - Keskkonnale avatud	13,23	13,17	13,14	13,17	13,32	13,40	13,49	13,55	13,56
Katsekeha 21 - Väiskeskond - Keskkonnale avatud	12,89	12,86	12,84	12,86	12,96	13,12	13,22	13,28	13,32
Katsekeha 22 - Väiskeskond - Kinnitatud CLT detaili külge	13,21	13,17	13,14	13,16	13,37	13,45	13,52	13,55	13,56
Katsekeha 23 - Väiskeskond - Kinnitatud CLT detaili külge	13,36	13,33	13,31	13,32	13,54	13,60	13,69	13,74	13,78
Katsekeha 24 - Väiskeskond - Kinnitatud CLT detaili külge	14,29	14,27	14,25	14,25	14,46	14,52	14,62	14,66	14,72

Tabel 2.3 järg

Tabel 2.3. Katsekehade keskmine niiskussisaldus kuivamise etapis kaalumismeetodi järgi. Katsekehade järel nimetatud kuivamiskeskond ning kuivamismeetod. NB! Esitatud niiskussisaldus kirjeldab kogu katsekeha keskmist ja ei näita lokaalselt kõrgemaid niiskussisaldusi.

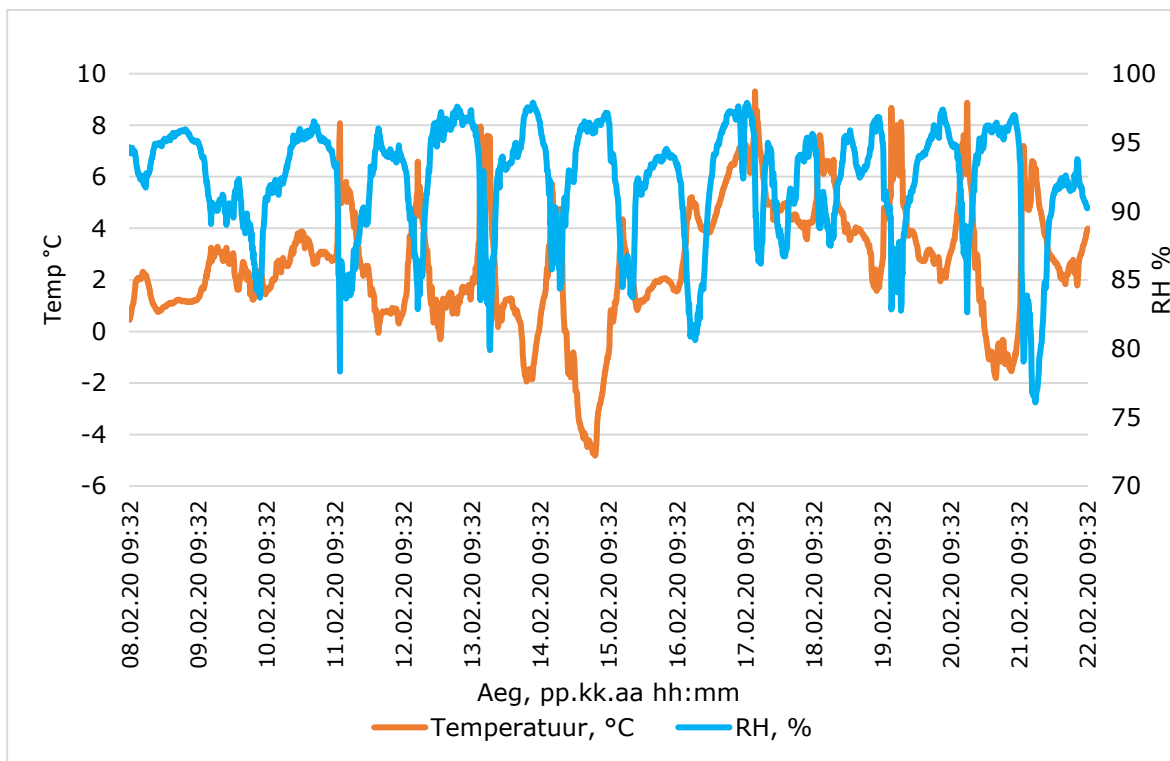
	Niiskussisaldus %								
Aeg katse algusest, h	315,4	338,7	362,2	388,7	407,7	437,7	459,3	483,8	500,5
Katsekeha 13 - Laborikeskkond - Keskkonnale avatud	10,27	10,06	9,92	9,82	9,73	9,55	9,46	9,32	9,27
Katsekeha 14 - Laborikeskkond - Keskkonnale avatud	10,80	10,57	10,38	10,24	10,13	9,92	9,79	9,62	9,54
Katsekeha 15 - Laborikeskkond - Keskkonnale avatud	9,61	9,45	9,32	9,28	9,19	9,04	8,97	8,85	8,80
Katsekeha 16 - Laborikeskkond - Kinnitatud CLT detaili külge	10,78	10,56	10,39	10,25	10,17	9,98	9,89	9,75	9,69
Katsekeha 17 - Laborikeskkond - Kinnitatud CLT detaili külge	10,94	10,71	10,51	10,35	10,27	10,06	9,95	9,80	9,73
Katsekeha 18 - Laborikeskkond - Kinnitatud CLT detaili külge	11,41	11,19	11,00	10,90	10,77	10,58	10,47	10,34	10,27
Katsekeha 19 - Väiskeskond - Keskkonnale avatud	14,22	14,22	14,21	14,23	14,26	14,25	14,29	14,23	14,28
Katsekeha 20 - Väiskeskond - Keskkonnale avatud	13,59	13,61	13,59	13,62	13,67	13,65	13,68	13,61	13,68
Katsekeha 21 - Väiskeskond - Keskkonnale avatud	13,38	13,40	13,39	13,44	13,50	13,50	13,53	13,48	13,54
Katsekeha 22 - Väiskeskond - Kinnitatud CLT detaili külge	13,58	13,56	13,49	13,55	13,63	13,58	13,60	13,53	13,56
Katsekeha 23 - Väiskeskond - Kinnitatud CLT detaili külge	13,82	13,80	13,76	13,78	13,82	13,79	13,80	13,70	13,74
Katsekeha 24 - Väiskeskond - Kinnitatud CLT detaili külge	14,76	14,72	14,69	14,75	14,80	14,77	14,78	14,68	14,71

Sisetingimustes kuivavate katsekehade takitusmeetodiga mõõdetud niiskussisalduse tulemused näitasid, et esimese 6 tunniga olid katsekehade niiskussisaldused 30mm kõrgusel hakanud langema. Langus jätkus terve kuivamisprotsessi vältel. Siiski võib tulemustest märgata ka väikseid tõuse, mis võivad olla seotud sisekliima muutuse või mõõtmisveaga. Kuivamisprotsessi lõpuks olid kõikide avatud lõikeservadega katsekehade niiskussisaldused langenud alla 12% kõikidel mõõdetud kõrgustel ning kihtides. Vastu veeauru difusiooni takistavat pinda olevate katsekehade niiskussisaldused 30 mm kõrguselt ja 50 mm sügavuselt langesid terve kuivamisprotsessi vältel, kuid viimased mõõtmised näitasid järgmisi tulemusi – 23,6%, 19,6%, 21,2% (Joonis 2.4 ning Joonis 2.5). Sisetingimustes kuivasid katsekehad keskkonnas, mille keskmine temperatuur oli 21,5°C oli ning suhteline õhuniiskus 29,25%. (Joonis 2.8)



Joonis 2.8. Katse kuivamisetapi sisekeskkonna temperatuur ja suhteline õhuniiskus (RH) vahemikus 08-22.02.20

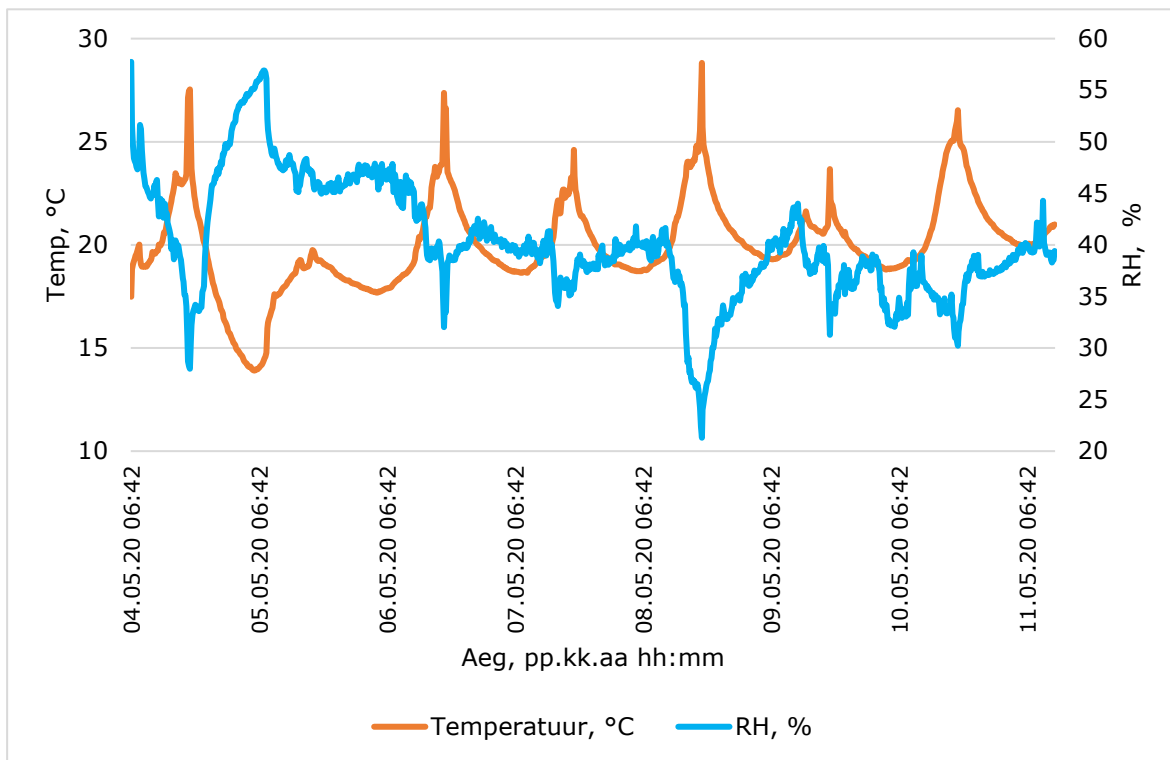
Kuivamisprotsess katsekehadel, mis olid kinnitatud vastu veeauru difusiooni takistasvat pinda ning asusid väliskeskkonnas suurenes niiskussisaldus 30mm kõrgusel 5 mm sügavuselt keskmiselt 2%. Keskmistes kihtides 30mm kõrgusel oli muutus võrreldes kuivamisprotsessi algusega kahes katsekehas positiivne ning ühes negatiivne. Katsekehadel, mille kõik lõikeservad olid avatud väliskeskkonnale, olid niiskussisalduse muutused erinevad. Toimus nii niiskussisalduse vähenemine kui ka suurenemine. Katsekeha number 22 välimise kihi niiskussisaldus 30mm kõrgusel suurenes, kuid katsekehal number 23 niiskussisaldus samal kõrgusel vähenes. Katsekeha number 24 niiskussisalduse muutus 30mm kõrgusel oli 0,2%. Viimati nimetatud katsekeha (24) sisemises kihis oli muutus 0,4%. Katsekeha number 22 sisemises kihis 30mm kõrgusel niiskussisaldus vähenes kuivamisprotsessi käigus 2%, kuid katsekeha number 23 niiskussisaldus kuivamisprotsessis suurenes 2,2%. Katse lõpuks olid väliskihis mõõdetud niiskussisaldused kõikides katsekehades ületanud 16% piiri. (Joonis 2.3 ning Joonis 2.5) Väliskeskkonna temperatuur oli kuivamisetapis keskmiselt 2,6°C ja suhteline õhuniiskus 92,2% (Joonis 2.9).



Joonis 2.9. Katse kuivamis etapi väliskeskkonna temperatuur ja suhteline õhuniiskus vahemikus 08-22.02.20

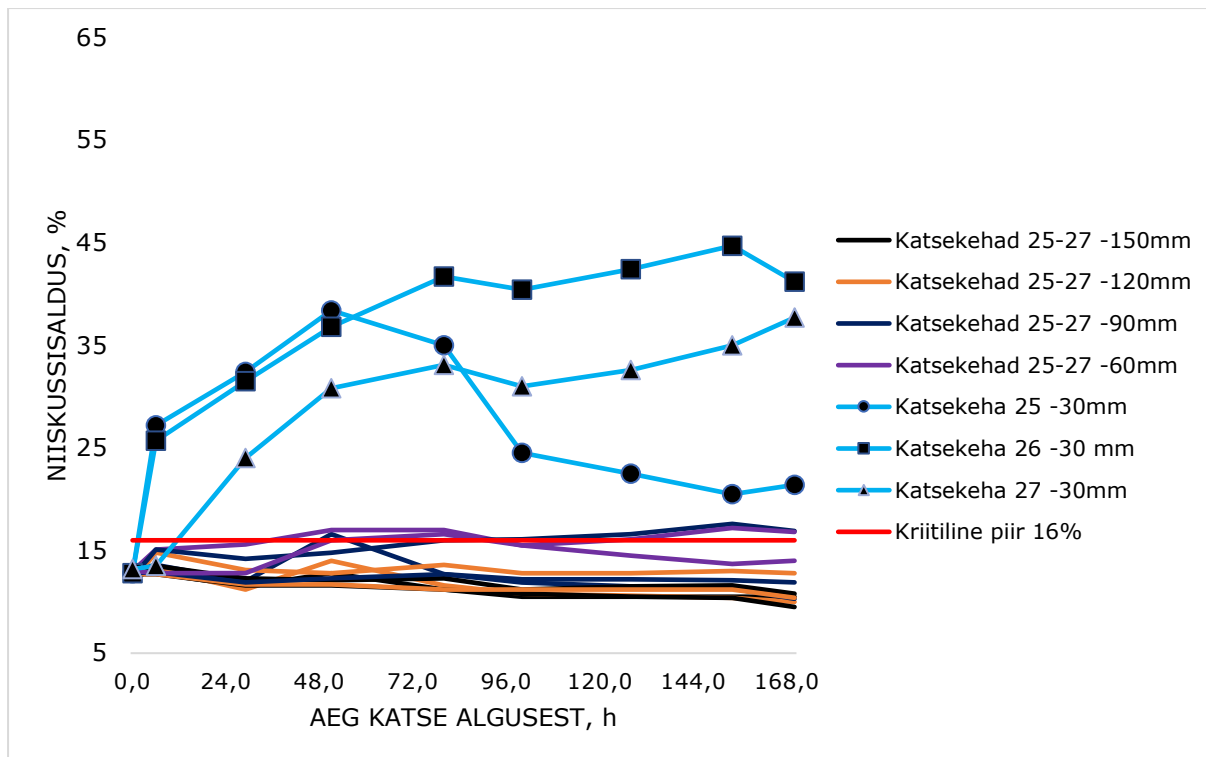
2.2 Kaitsevahendite toimivus

Kaitsevahendite toimivuse uurimiseks teostatud katse ajal oli keskmine temperatuur 20,0°C ja suhteline õhuniiskus 40,2% (Joonis 2.10). Katsekehade takistusmeetodiga mõõdetud niiskussisaldused jäid enne katset erinevates kihtides vahemikku 8-18,4 %.

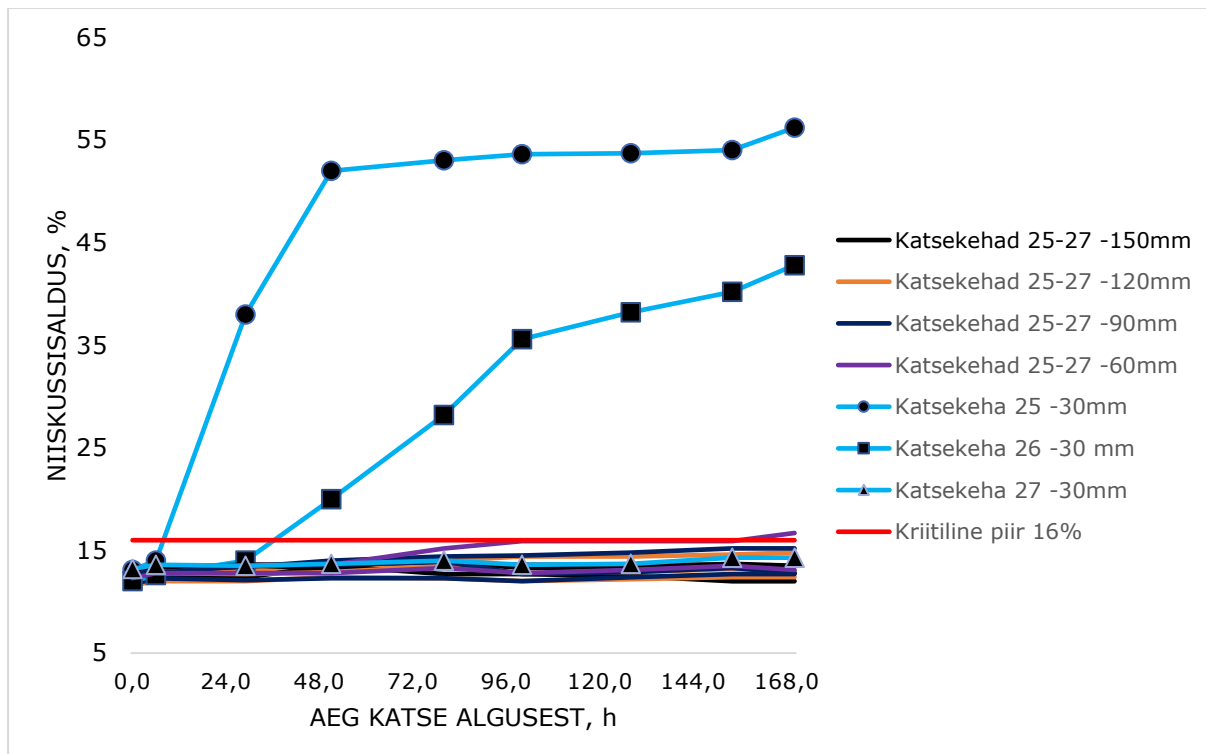


Joonis 2.10. Kaitsevahendite katse keskkonna temperatuur ja suhteline õhuniiskus (RH) vahemikus 4 -11.05.20

Hermetiseerimisliindiga kaetud katsekehade mõõtmistulemustest pärast 6h möödumist oli näha, et välises kihis 30 mm kõrgusel oli kahes katsekehas niiskussisaldus tõusnud üle 25%. Kolmanda katsekeha niiskussisaldus samas punktis oli 13,5%. 30 tundi pärast katse algust oli niiskussisaldus kõigis kolmes katsekehas ületanud 24% piiri. Sisemises kihis 30 mm kõrgusel oli kahe katsekeha (number 26 ja 27) niiskussisaldus alla 14%, kuid katsekeha number 25 niiskussisaldus oli tõusnud 38%-ni. 52 tundi pärast katse algust oli ületanud sisemises kihis niiskussisalduse 16% ka katsekeha number 26. Katsekeha number 27 niiskussisaldus sisemistes kihtides ei tõusnud katse ajal üle 16%. (Joonis 2.11 ning Joonis 2.12)

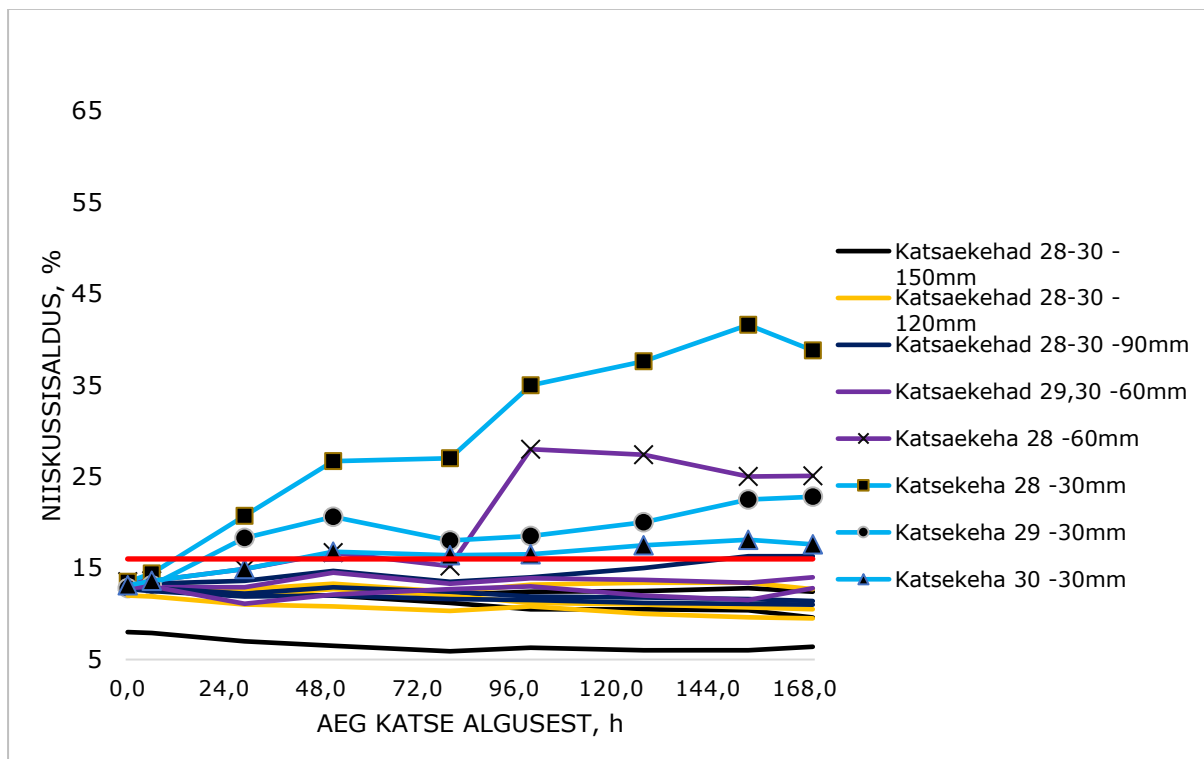


Joonis 2.11. Hermetiseerimislinniga kaetud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 5mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

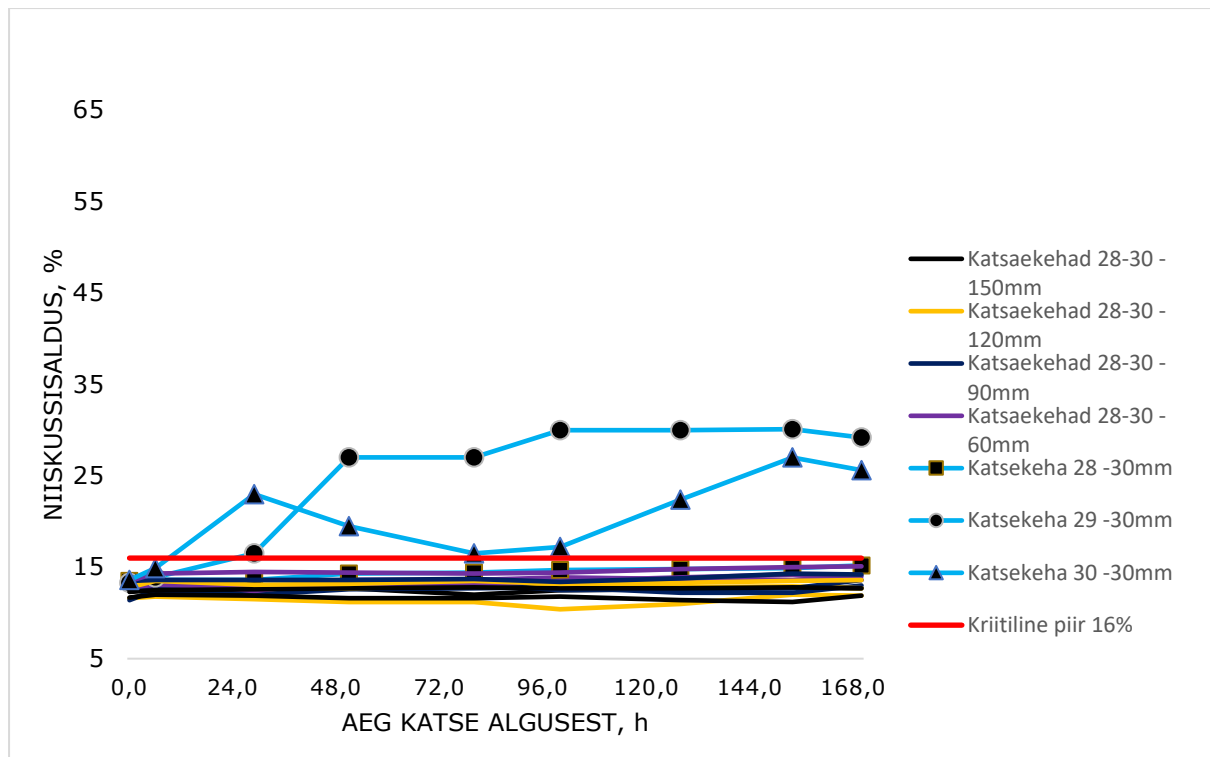


Joonis 2.12. Hermetiseerimislinniga kaetud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 50mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

Katsekehad number 28,29 ja 30 olid töödeldud veepõhise akrülaatvärviga. Esimese kuue tunniga niiskussisalduse tulemused mõõdetud punktides ei muutunud. Pärast 30 tundi veekontakti oli ületanud 16% piiri katsekeha number 28 – välimises kihis kõrgusel 30mm, number 29 - mõlemas kihis kõrgusel 30mm ning katsekeha number 30 - sisemises kihis kõrgusel 30mm. Kolmandal mõõtmisel, mis toimus 52 tundi pärast katse algust, näitasid tulemused, et katsekeha number 30 niiskussisaldus mõlemas kihis oli ületanud 16%. Katse lõppedes ületasid 16% niiskussisalduse piiri mõlemas kihis 30mm kõrgusel katsekehad 29 ja 30. Katsekeha number 28 niiskussisaldused sisemises kihis oli 15,2%, kuid välimises kihis 38,8%. (Joonis 2.13 ning Joonis 2.14)

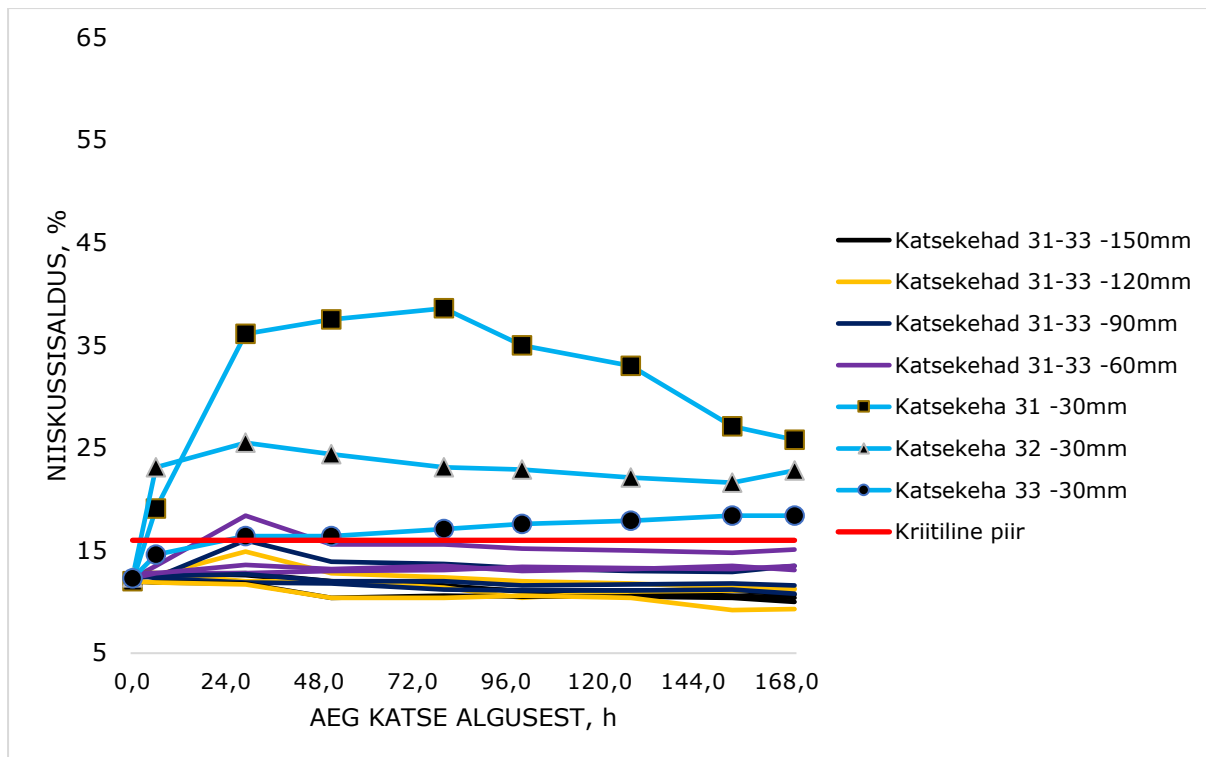


Joonis 2.13. Veepõhise akrülaatvärviga töödeldud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 5mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

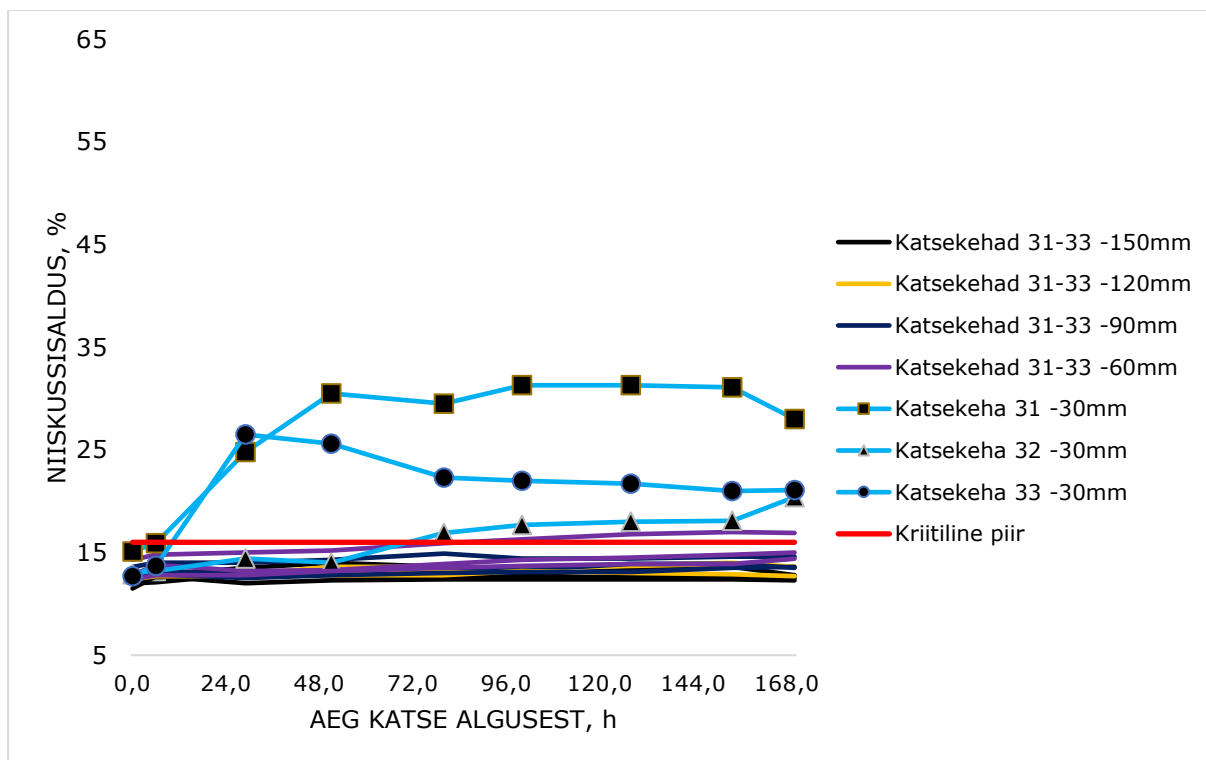


Joonis 2.14. Veepõhise akrülaatvärviga töödeldud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 50mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

Veepõhine alküüdkruntvärv kanti katsekehade number 31, 32 ja 33 lõikeservadele. Esimese kuue tunniga oli katsekehadel number 31 ja 32 niiskussisaldused välimistes kihtides ületanud 16%. 29 tunniga oli katsekehade number 31 ja 33 niiskussisaldused ületanud 16% kriitilise piiri 30mm kõrguselt veekontakti pinnast sisemistes ja välimistes kihtides. Katsekehas number 32 oli ületatud kriitiline piiri ainult välimises kihis, sisemises kihis oli ületanud see katsekeha 16% niiskussisalduse piiri 75-ndaks tunniks. (Joonis 2.15 ning Joonis 2.16)

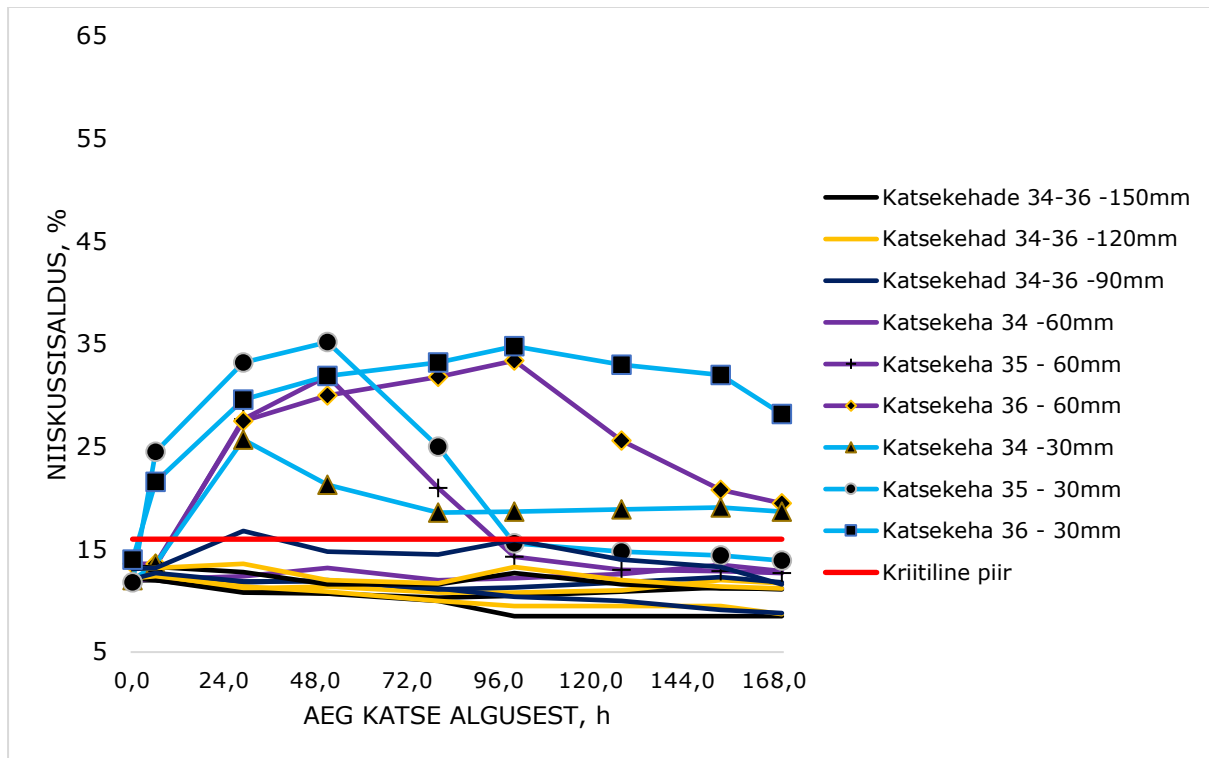


Joonis 2.15. Veepõhise alküüdkruntvärviga töödeldud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 5mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

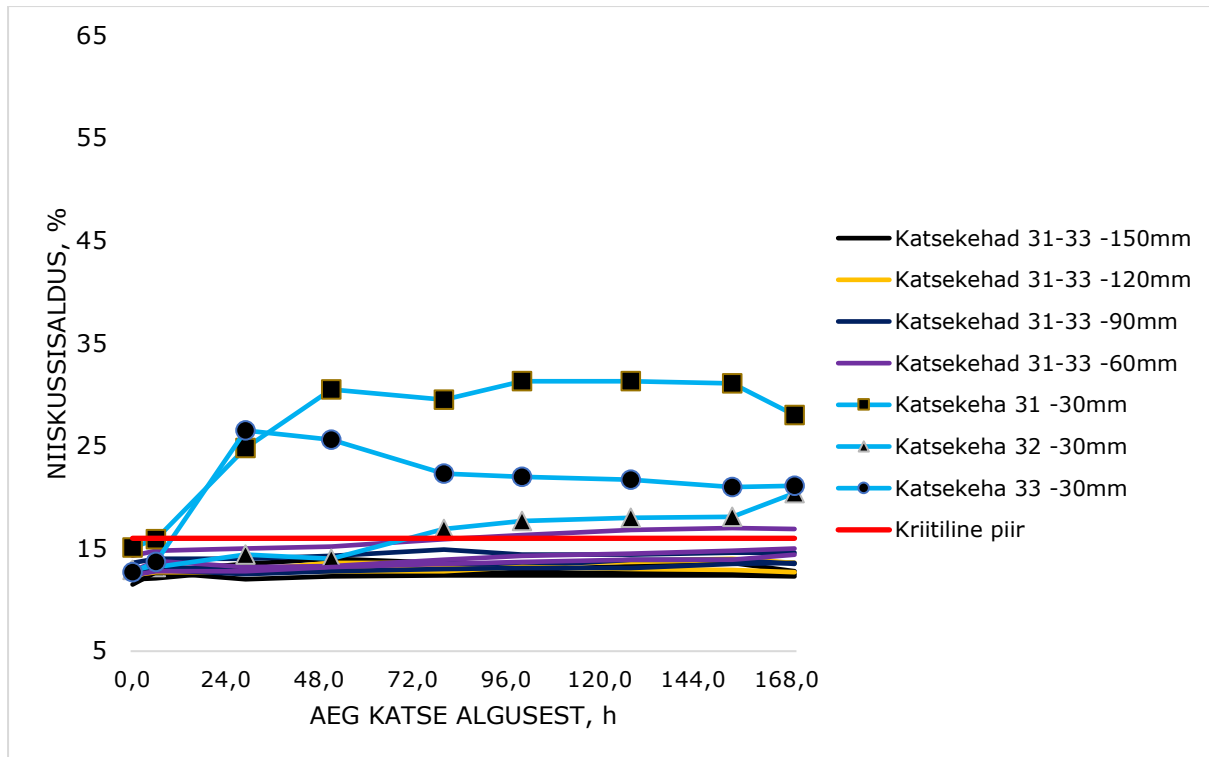


Joonis 2.16. Veepõhise alküüdkruntvärviga töödeldud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 50mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

Vedelkummiga töödeldud katsekehades ületas kuue tunniga 16% niiskussisalduse piiri välimises kihis 30mm kõrgusel katsekeha number 35 ning mõlemas - nii sisemises kui välimises kihis - samal kõrgusel katsekeha number 36. 30 tundi pärast katse algust ületas mõlemas kihis 16% piiri ka katsekeha number 34. Katsekeha number 35 niiskussisaldus mõlemas kihis tõusis üle kriitilise piiri 75 tunniks. (Joonis 2.17 ning Joonis 2.18).



Joonis 2.17. Vedelkummiga töödeldud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 5mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm



Joonis 2.18. Vedelkummiga töödeldud katsekehade mõõdetud niiskussisaldused 50mm sügavuselt kõrgustelt 30, 60, 90, 120, 150mm

Massi suurenemise järgi hinnates töötas veemavus katses kõige paremini vedelkumm. Katses kasutatud vedelkummiga töödeldud katsekehade massid vähenesid katse lõppedes keskmiselt 13,63g (Tabel 2.4). Takistusmeetodiga mõõdetud tulemused näitavad, et nende töötlusvahendite kandmine lõikeservale ei olnud piisav.

Tabel 2.4. Katsekehade massid katse alguses ning lõpus

Katsekeha nr ja kaitsevahend	Mass katse alguses (g)	Mass katse lõpus (g)	Muutus (g)
Katsekeha 25- hermetiseerimislint	6918,7	7136,9	218,2
Katsekeha 26- hermetiseerimislint	7351,6	7546,5	194,9
Katsekeha 27- hermetiseerimislint	6864,9	6891,1	26,2
Katsekeha 28- veepõhine akrülaatvärv	7149,3	7172,7	23,4
Katsekeha 29- veepõhine akrülaatvärv	7293,3	7336,5	43,2
Katsekeha 30- veepõhine akrülaatvärv	7696,9	7745,8	48,9
Katsekeha 31- veepõhine alküüdkruntvärv	7230,0	7386,9	156,9
Katsekeha 32- veepõhine alküüdkruntvärv	7286,6	7484,6	198,0
Katsekeha 33- veepõhine alküüdkruntvärv	7150,4	7341,7	191,3
Katsekeha 34- vedelkumm	7108,8	7107,0	-1,8
Katsekeha 35- vedelkumm	7137,1	7122,1	-15,0
Katsekeha 36- vedelkumm	7550,3	7526,2	-24,1

3 TULEMUSTE HINDAMINE JA ARUTELU

Ristkihtpuidu veeimavuskatses on näha, et katsekehade pealmised kihid on ületanud kriitilise 16% piiri välikeskkonnas varjualuses. Pikaajaliseks ladustamiseks tuleks ristkihtliimpuidule tagada sobilik keskkond. 52 tundi pärast veekontakti algust olid seitse katsekeha kaheteistkümnest ületanud 30mm kõrguselt välimistes ja sisemistes kihtides kriitilise niiskussisalduse piiri 16%. Katses saadud tulemus annab mõista, et ristkihtliimpuidu lõikeserva sattumine veekontakti on ohtlik.

Uuringust tuli välja, et niiskuse väljakuivamine on aeganõudev protsess. Uuringu tulemused näitasid, et väliseskkonnas, kus temperatuuril 2,6°C ja suhtelises õhuniiskuses 92,2% kuivanud katsekehade niiskussisaldus detaili kihtides pärast kahe nädala möödumist ei langenud. Sisekeskkonnas kuivanud katsekehadel, mis olid vastu veeauru difusiooni takistavat pinda, oli sisemises kihis 30mm kõrguselt kuivamisprotsess aeglane. Sisekeskkonnale avatud katsekehade niiskussisaldused vähenesid olulistelt kiiremini.

Kaitsevahendite toimivuse katsetulemused näitavad, et ristkihtliimpuidu veekontakti lõikeserva kaitsmine on keeruline. Neljast erinevast kaitsevahendist ei toiminud mitte ükski neist katse lõpuni. Probleemseks võis saada otsus katsekehade külgesid kaitsevahendiga mitte töödelda. Nii oli veel võimalus liikuda mööda töötlemata pinda

Veeimavus ristkihtliimpuidus on probleem ning materjali ehitusaegne sademete eest katmine ning kaitsmine on hädavajalik. Ameerika Ühendriikides uurisid Evan Schmidt and Mariapaola Riggio ristkihtliimpuidu niiskussisaldust ehituse ajal [41]. Tulemused näitasid, et probleemseid kohad olid katmata osad [41]. Sarnased tulemused saavutati ka Eestis Kristo Kalbe, Villu Kuke ning Targo Kalamehe ristkihtliimpuidust ehitise ehitusaegses uuringus [10]. Selleks, et probleeme vältida on Johan Öberg ja Erik Wiege samuti uurinud, kui ohtlik niiskus ehituse ajal ristkihtpuidule on. [14]. Selleks tuleks lühendada ehitusaega võimalikult palju. Kui see pole võimalik, ehitatava objekti peal olema katus, mis juhib vee detailidest eemale. Vältima peaks ka võimalusi, kus vaba vesi saab pindadele koguneda [14].

3.1 Magistritöö piirangud/puudused

Peamine piirang, mis töö autoril tekkis, oli ajaline pool. Informatsiooni kogumise periood ületas aasta ning kuskilt tuli tõmmata magistritöö uurimisel ajaline piir.

Hiljem, pärast katseid tekkinud mõtted oleks andnud informatsiooni juurde veeimavuse kohta ristkihtpuidus. Veekontakti katse etapis oleks võinud jaotada katsekehad kahte rühma või suurendada katsekehade arvu. Pooled katsekehad võinuks olla välitingimustes, kuid kaitstud sademete eest ning teised sisekeskkonnas. Oleks tekkinud parem võrdlusmoment ehitusobjektiga jahedamate ja soojemate ilmadega. Seda meetodit on võimalik kasutada sügise lõpus või talvel.

Katsetamata jäi kaitsevahendite pealekandmine ka ristkihtpuidu küljele. Veeimavuskatse toimub katsekehade asetamisega vette, kus katsekeha on 1-2mm vees. Kaitsevahend takistaks ka külgedelt vett detaili imendumast. Arvestama peab, et ehitusobjektile jäävad osad detailid avatuks ilma viimistluseta. Sellise pinna jaoks peaks niiskuskaitseks kasutama läbipaistvaid kaitsevahendeid.

Takistusmeetodi efektiivsemaks mõõtmiseks tuleks elektroodid keskmistesse kihtidesse sisse jätta. Selline tegevus tagab niiskussisalduse mõõtmise samast punktist terve katse vältel. Antud meetod välistab ka elektroodide purunemise mõõtmise hetkel.

3.2 Tuleviku uuringud

Erinevad uuringud ja käesolev magistritöö näitavad, et veekontakti sattuv ristkihtpuidu niiskussisaldus suureneb kiirelt. Edasi tuleks uurida veeimavust vähendavaid kaitsevahendeid, neist soblikud välja valida ning katsetada kasutamist sobilikes sõlmedes. See vähendaks probleemide tekkimist erinevates sõlmedes juba projekteerimise staadiumis. Lisaks annaks kaitsevahendite kasutamine ja uurimine võimaluse kanda erinevad kaitsevahendid detailidele juba tehases ja aidata objektimeeskonnal vältida niiskusega tekkivaid probleeme.

3.3 Töö olulisus

Magistritöö katsete tulemused näitavad, et ristkihtliimpuidu veekontakti sattumisel muutub see puitmaterjal vähese ajaga sobivaks elukeskkonnaks erinevatele kahjulikele seentele.

Käesoleva magistritöö tulemustest saab järeldada, et CLT detaile tuleks sademete eest kaitsta, sest vastasel juhul ületab niiskussisaldus materjalis kriitilise piiri. Magistritöö uuringud näitavad, et ristkihtpuidu lõikeservade kaitsmine ei ole lihtne. Nelja erineva kaitsevahendi testimise tulemused kinnitavad kaitsevahendite mitte toimivust.

4 JÄRELDUSED

Käesolevas magistritöös kasutatud katsemetoodikat on võimalik edasi arendada. Probleemsed kohad veeimavuskatses olid plastmasskarpide rõhtasendisse saamine. Nii ristkihtpuidu veeimavuse katses kui ka kaitsevahendite toimivuse katses oli näha, et täpsesse püstasendisse saamine oli väljakutse. Edaspidistes sarnastes katsetes tuleks sellega arvestada ning leida võimalikult loodis põrandapind. Katsekehad on katse jooksul võimalik katta ka õhukese hermeetilise pinnakattega, näiteks fooliumteibiga, et vältida kuivamist.

Veekontakti sattunud ristkihtpuidu lõikeserva läheduses muutub niiskussisaldus. Veel ilmnes, et ristkihtpuidu välimiste kihtide niiskussisalduse suurenemine toimub kiiremini kui sisemistes kihtides. Ristkihtpuidu veeimavusekatse tulemused näitavad, et 24 tunniga oli kaheksast mõõdedust katsekehast seitse 5mm sügavuselt ja 30 mm kõrgusel veekontakti pinnast ületanud ohtliku 16% niiskussisalduse piiri. Sama ajaga oli sisemises kihis 30 mm kõrgusel veekontakti pinnast ohtliku niiskussisalduse 16% piiri ületanud kolm katsekeha. Kõigest 52 tunniga oli seitsme katsekeha sisemised ja välimised kihid 30mm kõrgusel soodsad kahjuliku seene tekkeks ehk ületanud oli kriitilise 16% niiskussisalduse piir.

Pärat ristkihtpuidu veekontakti sattumist on niiskuse väljakuivamine ebasoodsates tingimustes väga pikk protsess. Uuringu tulemused näitavad, et avatud lõikeservadega ristkihtpuidu kuivamine on sisetimingustes kiire. Keskmise temperatuur oli kuivamise ajal 21,5°C ning suhteline õhuniiskus 29,3%. Kuid samas keskkonnas veeauru difusiooni takistavale pinnale kinnitatud ristkihtliimpuidu niiskussisalduse vähenemine keskmistes kihtides oli väike. Välitingimustes, kus keskmine temperatuur oli 2,6°C ning suhteline õhuniiskus oli 92,2%, ei vähenenud katsekehade niiskussisaldused terve kuivamisprotsessi ajal.

Ristkihtpuidu veekontaktikatse tulemustest saab järeldada, et CLT detaile tuleks sademete eest kaitsta, kuid uuringud näitavad, et ristkihtpuidu lõikeservade kaitsmine ei

ole lihtne. Lisaks saame järeldada, et ainult lõikeservade kaitsmisest ei piisa, kaitsma peaks ka ristkihtpuidu aluspinna servasid. Kaitsevahendite toimivuse katse tulemused näitavad, et välja pakutud ja katses kasutatud kaitsevahendid ei toimunud täielikult. Tulemuste põhjal ei ole võimalik järeldada kaitsevahendite toimivust, kui töödelda ka ristkihtpuidu aluspinna servasid.

Autori arvates toimus kaitsevahenditest kõige kehevmini hermetiseerimislint. Katse lõppedes oli hermetiseerimislint katsekehade küljest kohati lahti tulnud, mis võimaldas veel mööda töötlemata pinda liikuda. Kõige paljulubavam kaitsevahend oli autori meelest vedelkumm. Kaitsevahendite toimivuse uuringus vähenes vedelkummiga töödeldud katsekehade mass, kui teiste kaitsevahendite massid suurenesid.

Käesolevast magistritööst saab järeldada, et puidu niiskussisaldust ja võimalikke CLT materjalide kaitsevahendeid ning nende vastupidavust erinevates olukordades tuleks edasi uurida. Tulemused aitavad säilitada ehitusmaterjali kestvus ja majas elavate ning viibivate inimeste tervis.

KOKKUVÕTE

Ristkihtliimpuit ehitusmaterjalina on viimaste aastate jooksul kogunud populaarsust. Ehitusobjektidel CLT detailide katmine sademete eest on probleem. Magistritöö käigus uuriti ristkihtpuidu veeimavust ning pakuti välja neli kaitsevahendit ning kontrolliti nende toimivust. Katsete läbiviimiseks kasutati viiekihilist 20x20x10cm ning 40x40x10cm suuruseid CLT detaile. Katsete teostamise aeg ning analüüsimine toimus vahemikus 7.05.2019- 25.05.2020.

Katsete meetodika väljaarendamiseks viidi läbi neli kontrollkatset. Esimese kahe kontrollkatse tulemused näitasid, et ristkihtpuidu veeimavus lõikeservadest on suurem kui külgedel. Lõikeservade uurimiseks tuli luua võimalikult sarnane olukord ehitusobjektiga. Selleks ehitati süsteem, kus tekitati veekontakt katsekehade lõikeservaga. Süsteemis pidi arvestama pidi nii ühtlase veetaseme hoidmisega kui ka vee püsiva pealevooluga. Katse tulemuste analüüsimisel jõuti järeldusele, et mõned erinevused ehitusplatsiga siiski olid. Katsekehad ei olnud võrreldavad suurte detailidega, mida kasutatakse objektidel ning uuringu jaoks ehitatud süsteem ei olnud sobilik.

Veeimavuse katses kasutati statsionaarset süsteemi, kuhu igapäevaselt vett juurde lisati, et hoida nivood 1-2mm kõrgusel lõikeservast. Kasutusele võeti ka vedelkumm IKO MS Detail, millega töödeldi ristkihtpuidu katsekehade kolm lõikeserva ning veekontakti lõikeserv jäeti töötlemata. Katse pikkuseks oli kolm nädalat – nädal veekontakti ning kaks nädalat kuivamist. Kuivamisprotsessis kuivasid kuus katsekeha sademete eest kaitstud väliskeskkonnas ning kuus sisekeskkonnas.

Uuringu tulemused näitasid, et ristkihtpuidu veekontakti sattumine on ohtlik. 52 tunniga oli seitsme ristkihtpuidu sisemised ja välimised kihid 30mm kõrguselt veekontakti servast ületanud niiskussisalduse 16% ohtliku piiri. Probleemseks osutus ka CLT katsekehade kuivamine väliskeskkonnas, kus kahe nädala keskmine temperatuur oli 2,65°C ja suhteline õhuniiskus 92,19%. Kuivamisprotsessi käigus niiskussisalduse muutus mõõdetud punktides oli minimaalne.

Magistritöös pakuti välja ka neli kaitsevahendit, millega töödeldi katsekehade veekontakti lõikeservad. Külgliseinadele kaitsevahendit ei lisatud. Ristkihtpuidu veekontakti lõikeservad töödeldi vedelkummi, veebaasil puidu kaitsevahendiga, vesialuselise alküüdkruntvärvi ja hermetiseerimisliindiga. Uuringu tulemused näitasid, et ükski kaitsevahenditest soovitud kaitset ei andnud.

SUMMARY

CLT as a building material has gained popularity in recent years. Covering CLT details for precipitation on construction sites is a problem. In the course of the master's thesis, the water absorption of CLT's end-grain was studied, four protectors were proposed and their performance was checked. Five layered 20x20x10cm and 40x40x10cm CLT parts were used for the experiments. Experiments and analysis took place between 7.05.2019 – 25.05.2020.

Four control experiments were performed to develop the research methodology. The results of the first two control experiments showed that end-grain's water absorption is higher than in other CLT surfaces. To get more information about a end-grain, a system was set up for the test pieces end-grain to keep the water level at a constant height. The analysis of the test results concluded that there were some differences between the test setup and construction site. Test specimens were not comparable with the large details used on the objects. Also the system built for the study was not suitable.

Methodology had to be developed before water absorption study. To solve the last study problems, a stationary system was set up where water was added to a plastic box on a daily basis to maintain the water level. Three end-grain of the test specimens were processed with liquid rubber IKO MS Detail, which made it possible to compare test CLT with details used on construction sites for example large wall details. The liquid rubber did not allow the test piece to dry on the end-grain sides that were not in contact with the water. Water absorption study was divided into two stages- a week of water contact and two weeks of drying.

Results of the study showed that contact with water is dangerous for CLT After 52 hours the inner and outer layers of the CLT had exceeded the hazardous moisture content 16% at height of 30mm from the water contact edge. Drying of CLT details in an outdoor environment with a two-week average temperature of 2,65 ° C and relative humidity of 92,19% was also a problem. During the drying process outdoor changes in moisture content at the measured points were minimal.

In the master's thesis, four protective devices were also proposed, which were used to process end-grains that were in contact with water. No protection was added to the side walls. End-grains were processed with liquid rubber, water-based wood preservative, water-based alkyd primer, and sealing tape. The results of the study showed that protective measures did not give the desired results.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] EDUCATIONAL-ADVERTISEMENT MASS TIMBER IN NORTH AMERICA, 2017.
www.awc.org.
- [2] M. Mohammad, S. Gagnon, B. Douglas, L. Podesto, Introduction to Cross Laminated Timber, *Wood Des. Focus.* 22 (2012) 3–12.
http://www.forestprod.org/buy_publications/resources/untitled/summer2012/Volume 22, Issue 2 Mohammad.pdf.
- [3] E. Hansen, Economic Feasibility of Mass Timber Manufacturing in Minnesota, 2019.
- [4] L. Muszynski, E. Hansen, S. Fernando, G. Schwarzmann, J. Rainer, Insights into the global cross-laminated timber industry, *Bioprod. Bus.* 2 (2017) 77–92.
- [5] 7 Benefits of Prefabricated Construction, *Constructionworld.* (2017).
<http://www.constructionworld.org/7-benefits-prefabricated-construction/> (accessed May 5, 2020).
- [6] K. Mjörnell, L. Olsson, Moisture safety of wooden buildings – design, construction and operation, *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 24 (2019) 29–35.
<https://doi.org/10.5755/j01.sace.24.1.22341>.
- [7] ISO / DIS 22185-1 Diagnosing moisture damage in buildings and implementing countermeasures — Part 1 : Principles , nomenclature and moisture transport mechanisms, 2020 (2020).
- [8] E. Liisma, B.L. Kuus, V. Kukk, T. Kalamees, A case study on the construction of a clt building without a preliminary roof, *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 25 (2019) 53–62. <https://doi.org/10.5755/j01.sace.25.2.22263>.
- [9] M. Fredriksson, Moisture conditions in rain exposed wood joints, 2013.
- [10] K. Kalbe, V. Kukk, T. Kalamees, Identification and improvement of critical joints in CLT construction without weather protection, (2020).
- [11] H. Viitanen, J. Vinha, K. Salminen, T. Ojanen, Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures, *J. Build. Phys.* 33 (2010).
<https://doi.org/10.1177/1744259109343511>.

- [12] K. Mjörnell, L. Olsson, Moisture Safety of Wooden Buildings – Design, Construction and Operation, *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 24 (2019) 29–35.
<https://doi.org/10.5755/j01.sace.24.1.23230>.
- [13] R. Stein, H. Stempel, Tall Wood Buildings: Design, Construction and Performance. Second and ... - Michael Green, Jim Taggart - Google Books, (2017).
https://books.google.ee/books?id=8avWDwAAQBAJ&pg=PA75&lpg=PA75&dq=wooden+buildings+construction+protection+tent&source=bl&ots=fGkHSdLDDM&sig=ACfU3U1_iNZsWfe1Pd8fSjSRHr52TpsoRw&hl=et&sa=X&ved=2ahUKEwi52KuonInpAhWRzaQKHeSuBUoQ6AEwDHoECAkQAQ#v=onepage&q=wood.
- [14] J. Öberg, E. Wiege, A. Joelsson, A. Kumlin, A.K. Ab, M. Eriksson, K. Abe, Moisture risks with CLT-panels subjected to outdoor climate during construction-focus on mould and wetting processes. Fuktrisker på KL-trä som utsätts för yttre klimat under produktion-fokus på mögel och uppfuktning, 2018.
- [15] K. Juutinen, Ju. Karila, Niiskus ehitistes, (1999).
- [16] J. Siau, Transport processes in wood, 1984.
- [17] K. Ojalo, J. Lektor, R. Kask, EESTI MAAÜLIKOOL Metsandus-ja maaehitusinstituut Metsatööstuse osakond KASVUTINGIMUSTE MÕJU ULTRAHELI LEVIMISE KIIRUSELE PUIDUS Bakalaureusetöö metsamajanduse erialal, 2014.
- [18] P.A. Van Meel, Moisture Transport in Wood Moisture Transport in Wood, 2003.
- [19] P. Dietsch, S. Franke, B. Franke, A. Gamper, S. Winter, Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, 2015.
<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1355410/502361.pdf> (accessed March 12, 2019).
- [20] C. Hansmann, W. Gindl, R. Wimmer, A. Teischinger, Permeability of wood - A review, *Drev. Vysk. Res.* 47 (2002) 1–16.
- [21] W.T. Simpson, Agriculture handbook No.188 Chapter 1 Properties of Wood Related to Drying, 1991.
- [22] S. V Glass, S.L. Zelinka, Physical Properties and Moisture Relations of Wood, *Wood Handbook; Wood as an Eng. Mater.* 113 (2010) 3.1-3.24.
<https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/7150>.
- [23] S.C. Chafe, Wood-water relations, 1990. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(90\)90117-t](https://doi.org/10.1016/0378-1127(90)90117-t).

- [24] USDA, Wood handbook - Wood as an engineering materjal, Wood Handbook; Wood as an Eng. Mater. (1999) 368.
<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch10/final/c10s0604.pdf>.
- [25] J. Bech-Andersen, Sisekliima ja hallitused, (2005).
- [26] B. Kreber, Understanding Wood Discoloration Helps Maximize Wood Profits, Proc. West. Dry Kiln Assoc. Meet. (45th 1994 Vancouver, B.C.). (1994) 72–76.
<https://doi.org/10.1159/000107589>.
- [27] Kuukokkuvõtted|Riigi Ilmateenistus.
<https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/> (accessed May 20, 2020).
- [28] M.S. Doggett, Wood Moisture, 2013.
<https://builtenv.wordpress.com/2013/12/06/wood-moisture/>.
- [29] V. Kukk, A. Külaots, J. Kers, T. Kalamees, Influence of interior layer properties to moisture dry-out of CLT walls, Can. J. Civ. Eng. 46 (2019) 1001–1009.
<https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0591>.
- [30] Soudaband, 2013. www.soudal.com.
- [31] Remmers, Induline SW-910, 2006. www.remmers.ee.
- [32] TEKNOL JRM, 2010. www.teknos.com.
- [33] L. Membrane, IKO MS Detail IKO MS Detail Ideal for Complex Detail Areas, (2019).
- [34] European Standart -Moisture content of a piece of sawn timber- Part 1: Determination by oven dry method, (1899).
- [35] EN 13183-2 European Standard -Moisture content of a piece of sawn timber- Part 2: Estimation by electrical resistance method, (2002).
- [36] Holzmeister LG9 NG- User manual (rev.3), (1999).
- [37] G. KERN & Sohn, Operating Instructions Electronic Precision and Platform Balances, (2006) 1–39.
- [38] HOBO® External Temp/RH Data Logger (UX100-023) Manual, 2013.
www.onsetcomp.com.
- [39] Memmert, UNB/UFB Operating Instructions, Univers. Ovens. (2009) 5.
<https://doi.org/10.1007/BF00980884>.

- [40] R. Lepage, P. Eng, J. Higgins, G. Finch, Moisture Uptake Testing for CLT Floor Panels in a Tall Wood Building in Vancouver, Conf. 15th Can. Conf. Build. Sci. Technol. Vancouver, BC. (2017) 17. <https://buildingsciencelabs.com/wp-content/uploads/2017/11/CCBST-2017-Moisture-Uptake-Testing-for-CLT-Floor-Panels.pdf>.
- [41] E. Schmidt, M. Riggio, Monitoring moisture performance of cross-laminated timber building elements during construction, Buildings. 9 (2019). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS9060144>.

LISAD

Lisa 1. Kalibreerimistunnistus LG9-NG



Teaduspargi 8, 12618 Tallinn
Tartu labor, Teaduspargi 11, 50411 Tartu

KALIBREERIMISTUNNISTUS

Calibration Certificate

Kalibreerimistunnistus nr Calibration Certificate No. KTRC-19/0099	Kuupäev Date 25.09.2019	Leht Page 1(3)
Tellijä Customer	Tallinna Tehnikaülikool	
Address Address	Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	
Mõõtevahend Measuring instrument	Puiduniiskusmõõtur	
Valmistaja Manufactured by	Logica H&S snc	
Tüüp Type	LG9-NG	
Number Serial number	02508	
Kalibreeritud Date of calibration	25.09.2019	
Lehti Number of pages	3	Dokument on kinnitatud elektroonselt Metroserdi digitempliga. <small>Tarmo Hirsnik kinnitas/approved 25.09.2019 10:53:09 Armin Zoo kinnitas/approved 25.09.2019 11:51:35</small>
Lisad Documents attached	Lisa A ühel lehel	A. Zoo Mõõtmiste eest vastutav isik Person responsible for measurements
		T. Hirsnik Kalibreeris Calibrated by

Kalibreerimistunnistust võib paljundada tema täies mahus. Kalibreerimistunnistuse osaline paljundamine on lubatud ainult tunnistust väljastava labori kirjalikul loal.

This Certificate may only be reproduced in full, except with the prior written permission by the Issuing Laboratory.

Metroserdi dokumentide elektroonilise kinnitamise kohta vaata lisainfot aadressil <http://www.metroserd.ee/et/digitempel>.
For additional information about digital stamps used in Metrosert see <http://www.metroserd.ee/en/digitalstamp>.

EESTI METROLOOGIA KESKASUTUS

Lisa 2. Kalibreerimistunnistus Kern DS 30K0.1L



Teaduspargi 8, 12618 Tallinn
Tartu labor, Teaduspargi 11, 50411 Tartu



KALIBREERIMISTUNNISTUS

Calibration Certificate

Kalibreerimistunnistus nr Calibration Certificate No. ATRM-19/0350	Kuupäev Date 16.08.2019	Leht Page 1(3)
Tellija Customer	Tallinna Tehnikaülikool	
Address Address	Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	
Mõõtevahend Measuring instrument	Mitteautomaatkaal	
Valmistaja Manufactured by	Kern & Sohn GmbH	
Tüüp Type	DS 30K0.1L	
Number Serial number	W1934704	
Kalibreeritud Date of calibration	16.08.2019	
Lehti Number of pages	3	Dokument on kinnitatud elektroonselt Metroserdi digitempliga. <small>Rando Anni kirjeldus/approved 16.08.2019 14:00:58 Andre Ustav kirjeldus/approved 16.08.2019 14:05:01</small>
Lisad Documents attached	-	
	A. Ustav Mõõtmiste eest vastutav isik Person responsible for measurements	R. Anni Kalibreeris Calibrated by

Akrediteeritud kalibreerimislabor AS Metrosert kalibreerib mõõtevahendeid ja väljastab kalibreerimistunnistusi Eesti Akrediteerimiskeskuse (EAK) akrediteerimisotsuse alusel ning sellele vastavates mõõtemääramatuse piirides. Käesolevas kalibreerimistunnistuses antud mõõtetulemused on jälgitavad rahvusvahelise mõõdühikute süsteemi (SI) ühikuteni. EAK on Euroopa Akrediteerimisalase Koostööorganisatsiooni (EA) liige ja on ühinenud EA liikmete vahelise vastastikuse tunnustamise leppega (MLA).

The measurements carried out and the Certificates of Calibration issued by an Accredited Laboratory comply with the measurement ranges and uncertainties approved by the Estonian Accreditation Centre (EAK). The measurement results issued by the Laboratory are traceable to the units of International System of Units (SI). EAK is a Member of EA (European co-operation for Accreditation) and a signatory to the EA MLA (Multilateral Agreement).

Kalibreerimistunnistus võib paljundada tema täies mahus. Kalibreerimistunnistuse osaline paljundamine on lubatud ainult tunnustust väljastava labori kirjalikul loal.

This Certificate may only be reproduced in full, except with the prior written permission by the Issuing Laboratory.

Metroserdi dokumentide elektroonilise kinnitamise kohta vaata lisainfo aadressil <http://www.metrosert.ee/et/digitempel>.

For additional information about digital stamps used in Metrosert see <http://www.metrosert.ee/en/digitalstamp>.

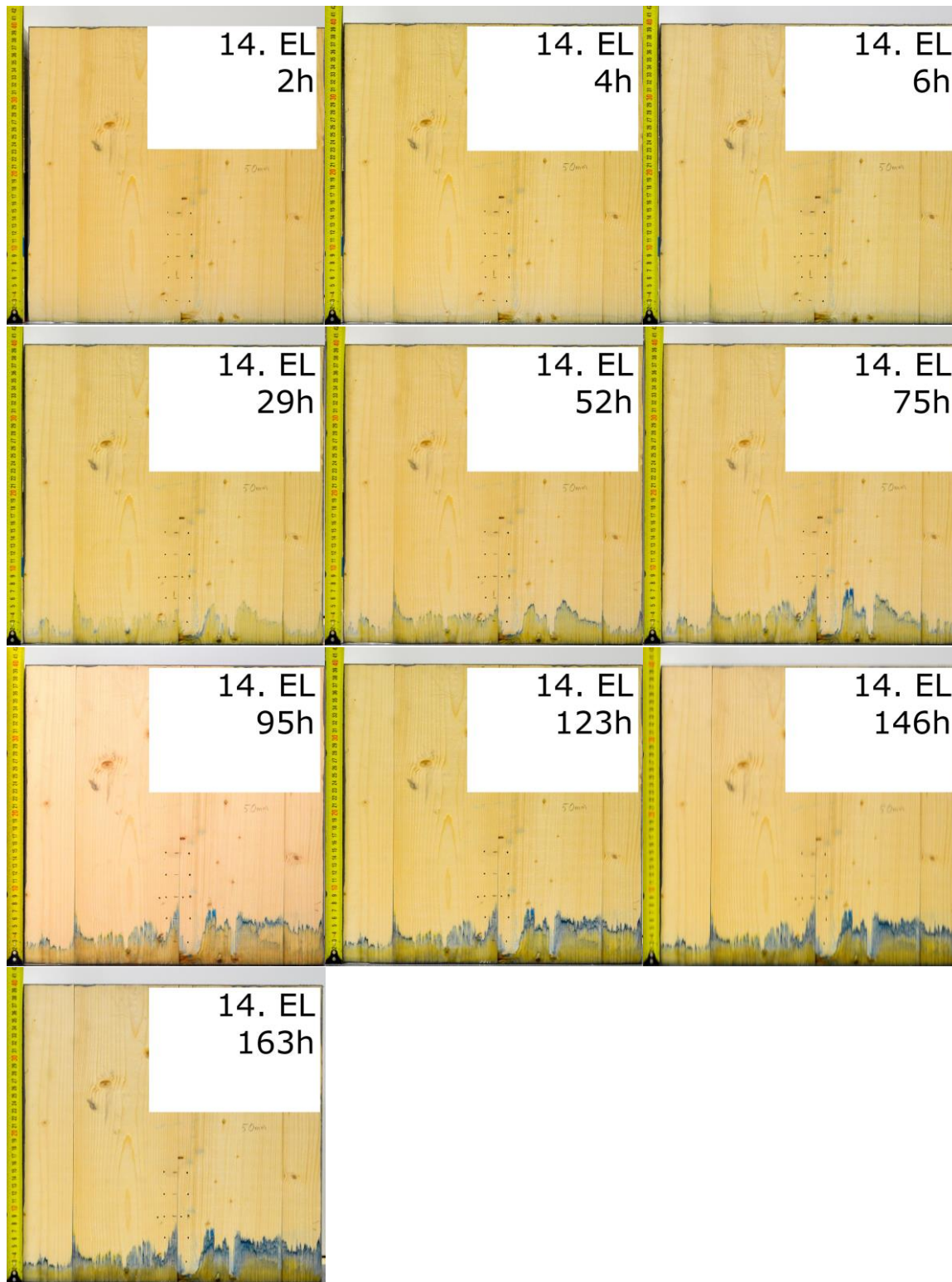
EESTI METROLOOGIA KESKASUTUS

Lisa 3. Lõpliku uuringu vee liikumine katsekehades

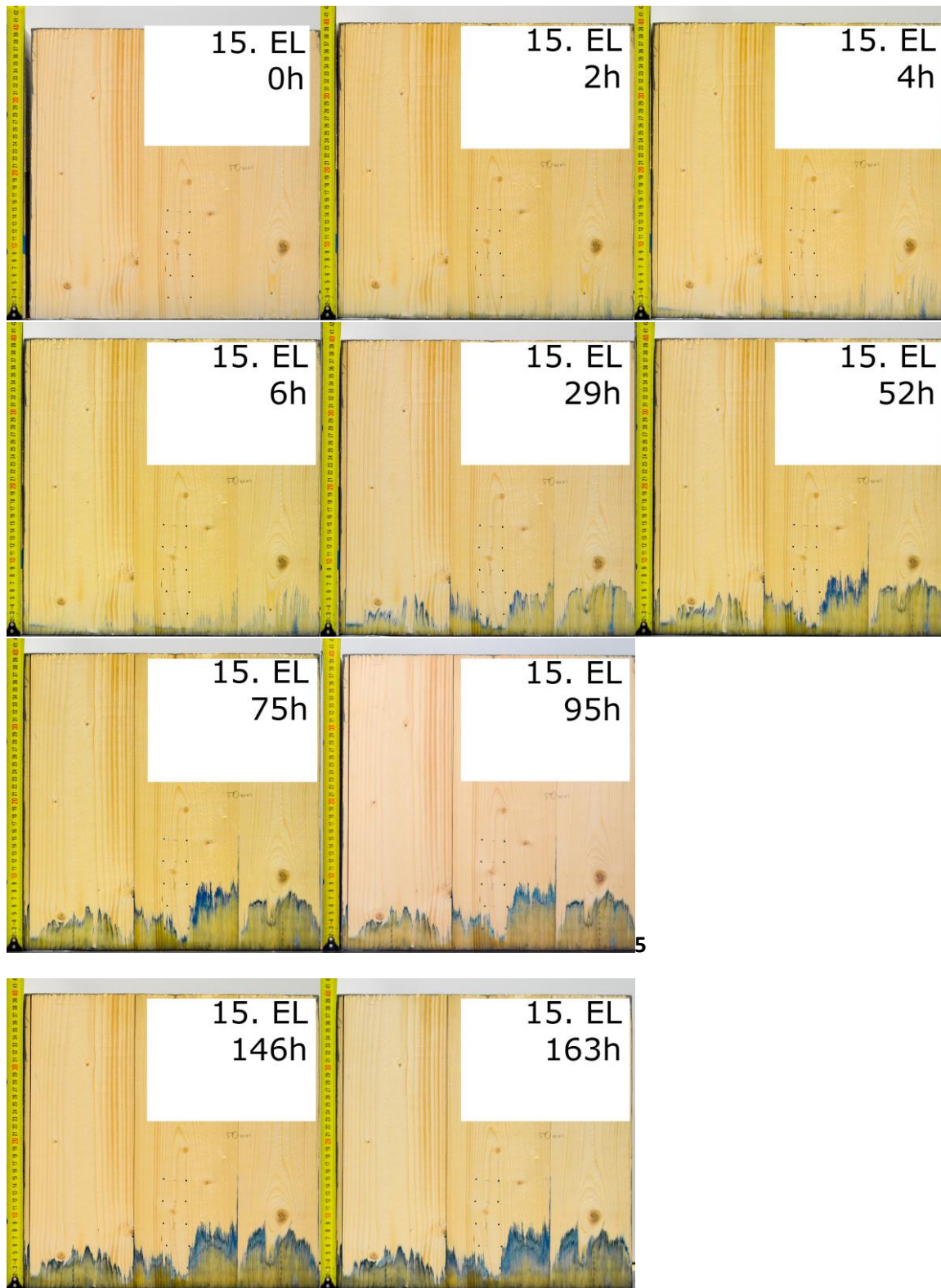
Lisa 3.1. Katsekeha number 13



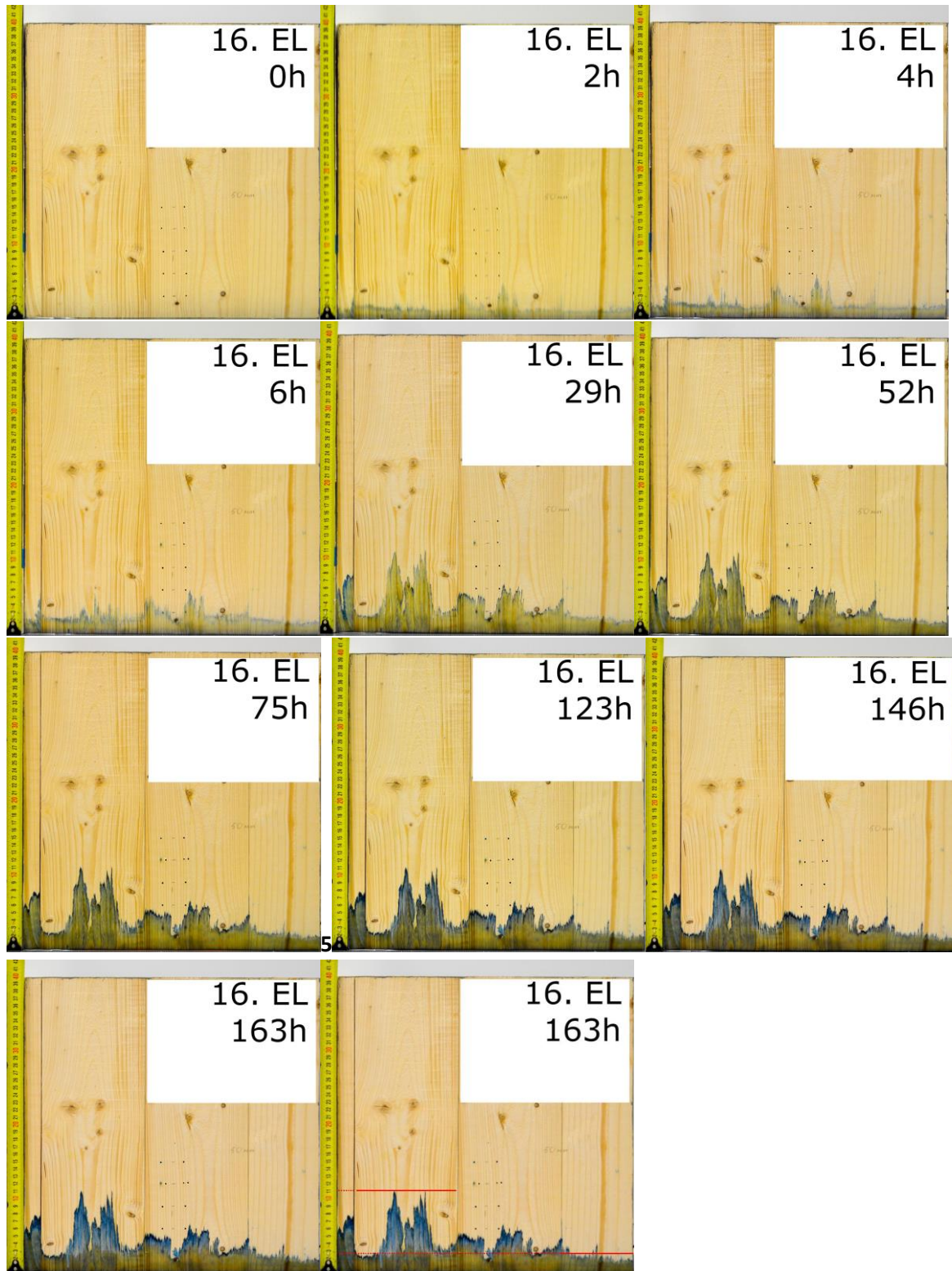
Lisa 3.2 Katsekeha number 14



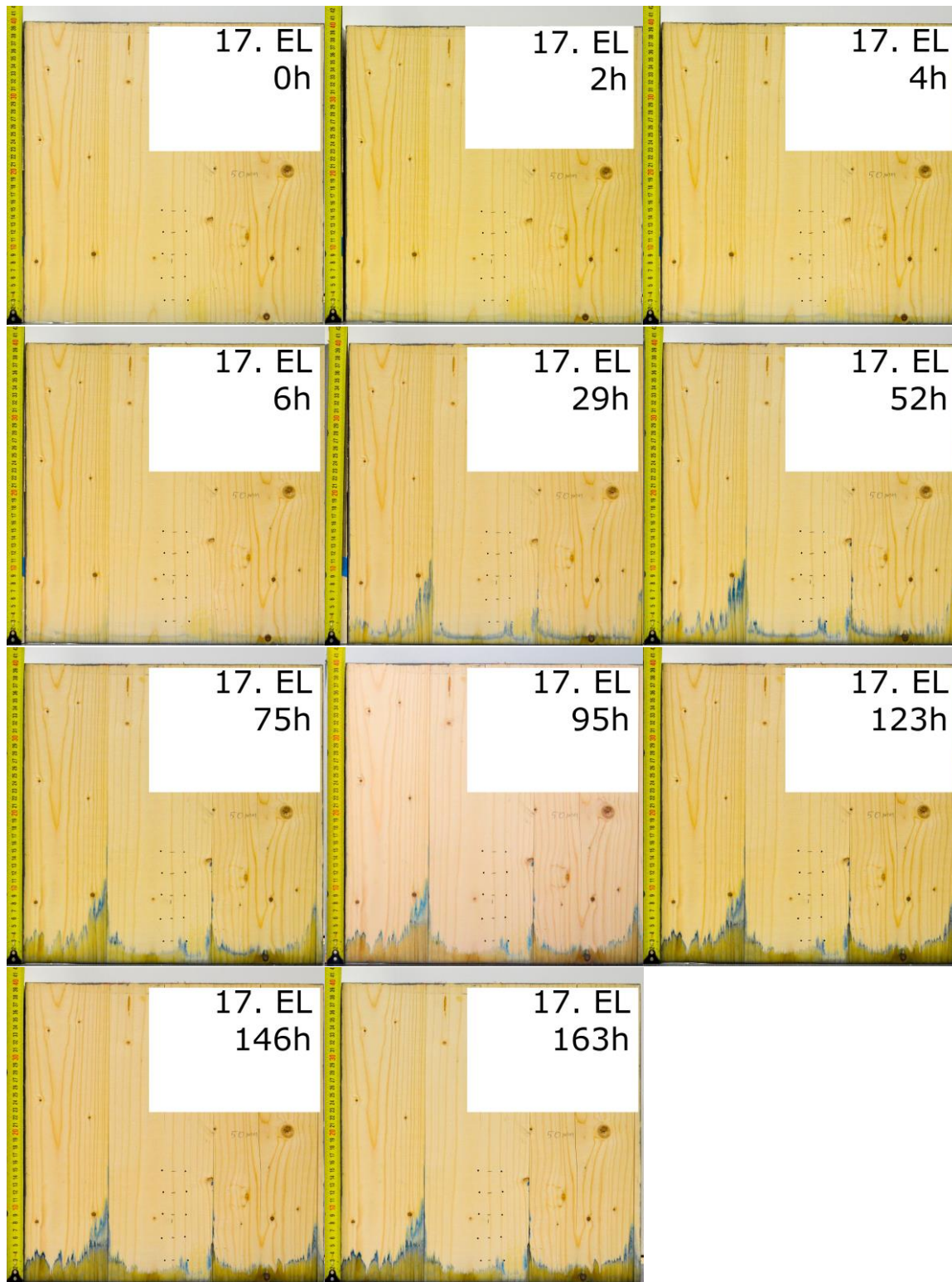
Lisa 3.3. Katsekeha number 15



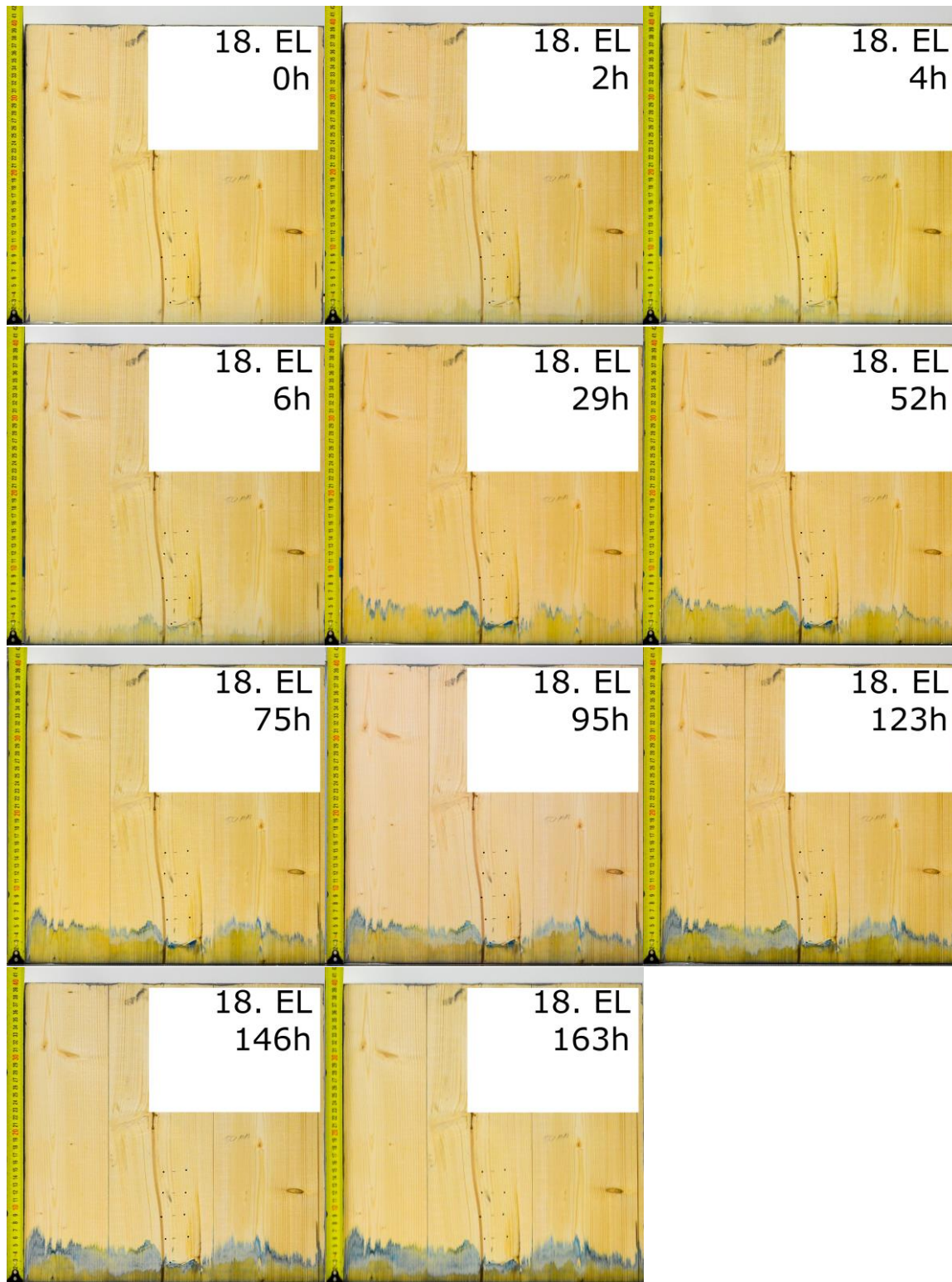
Lisa 3.4. Katsekeha number 16



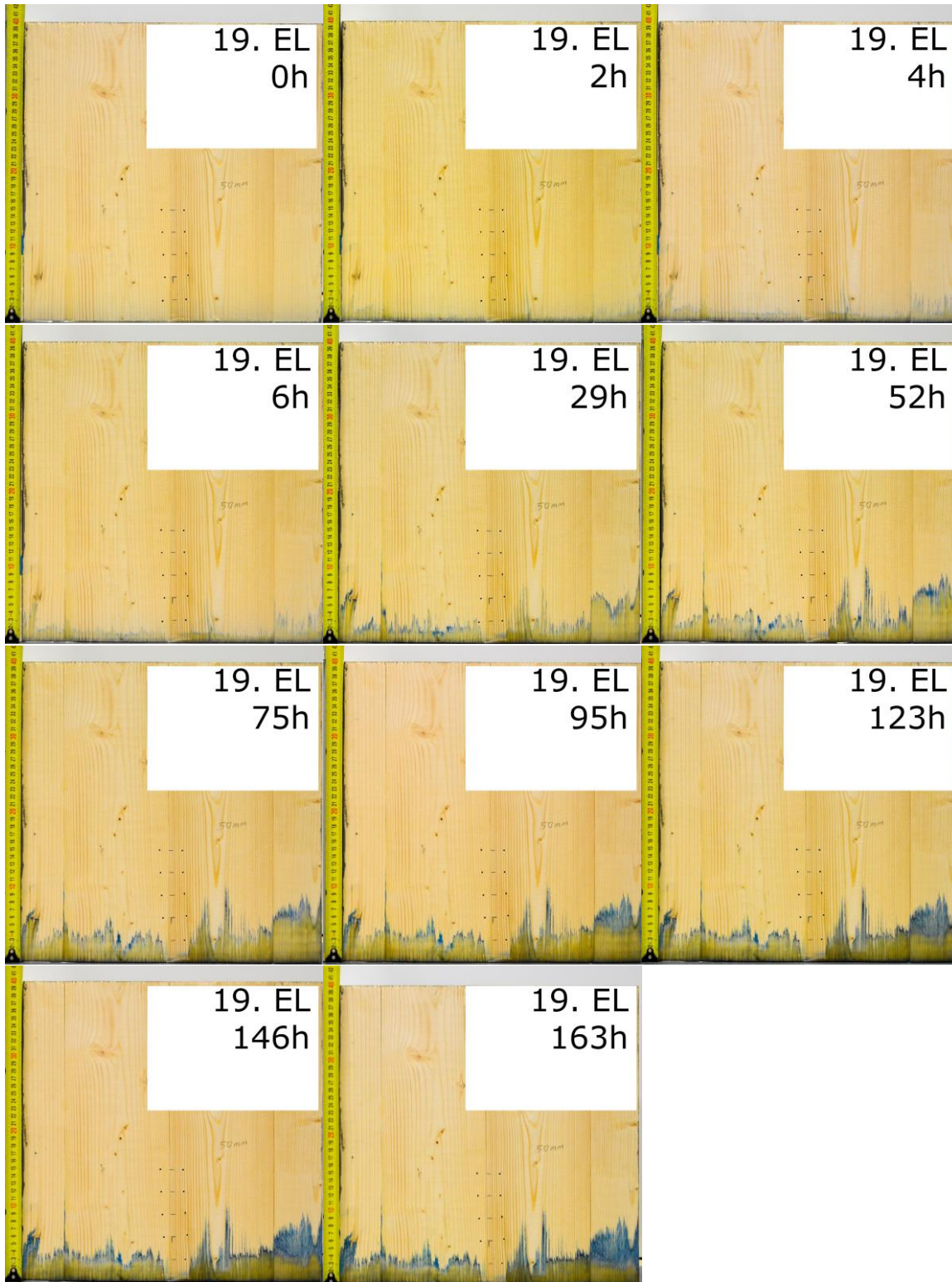
Lisa 3.5. Katsekeha number 17



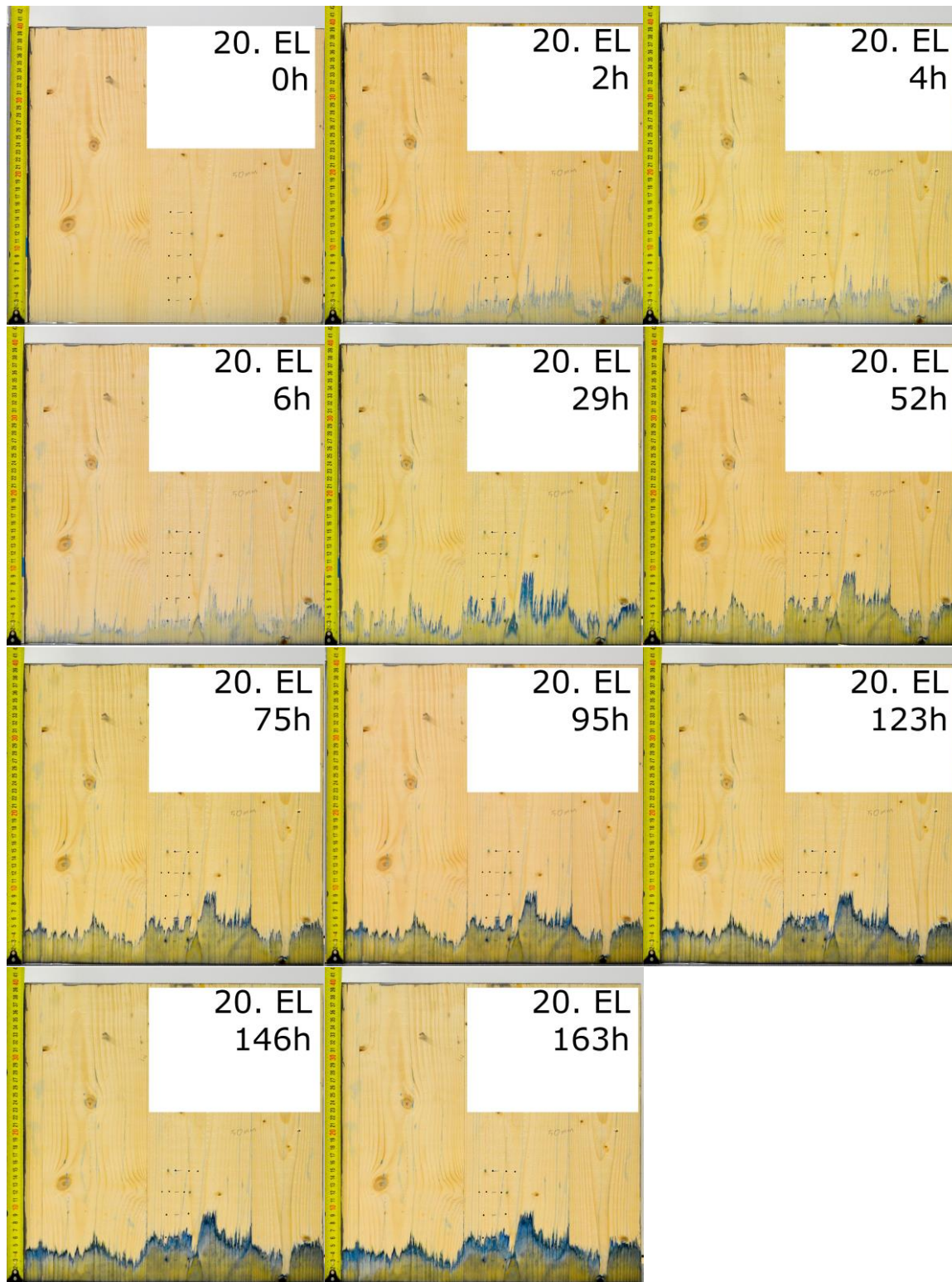
Lisa 3.6. Katsekeha number 18



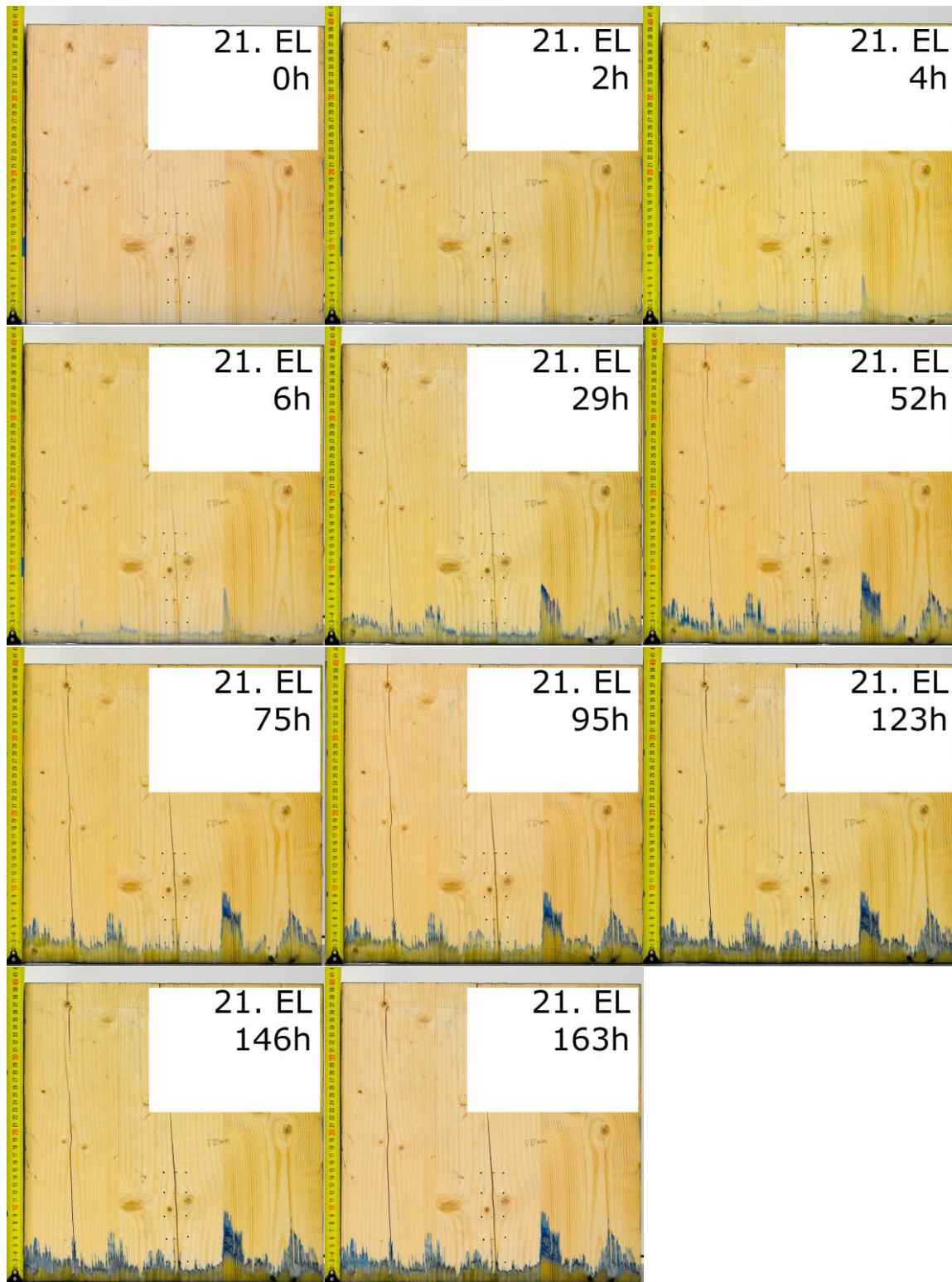
Lisa 3.7. Katsekeha number 19



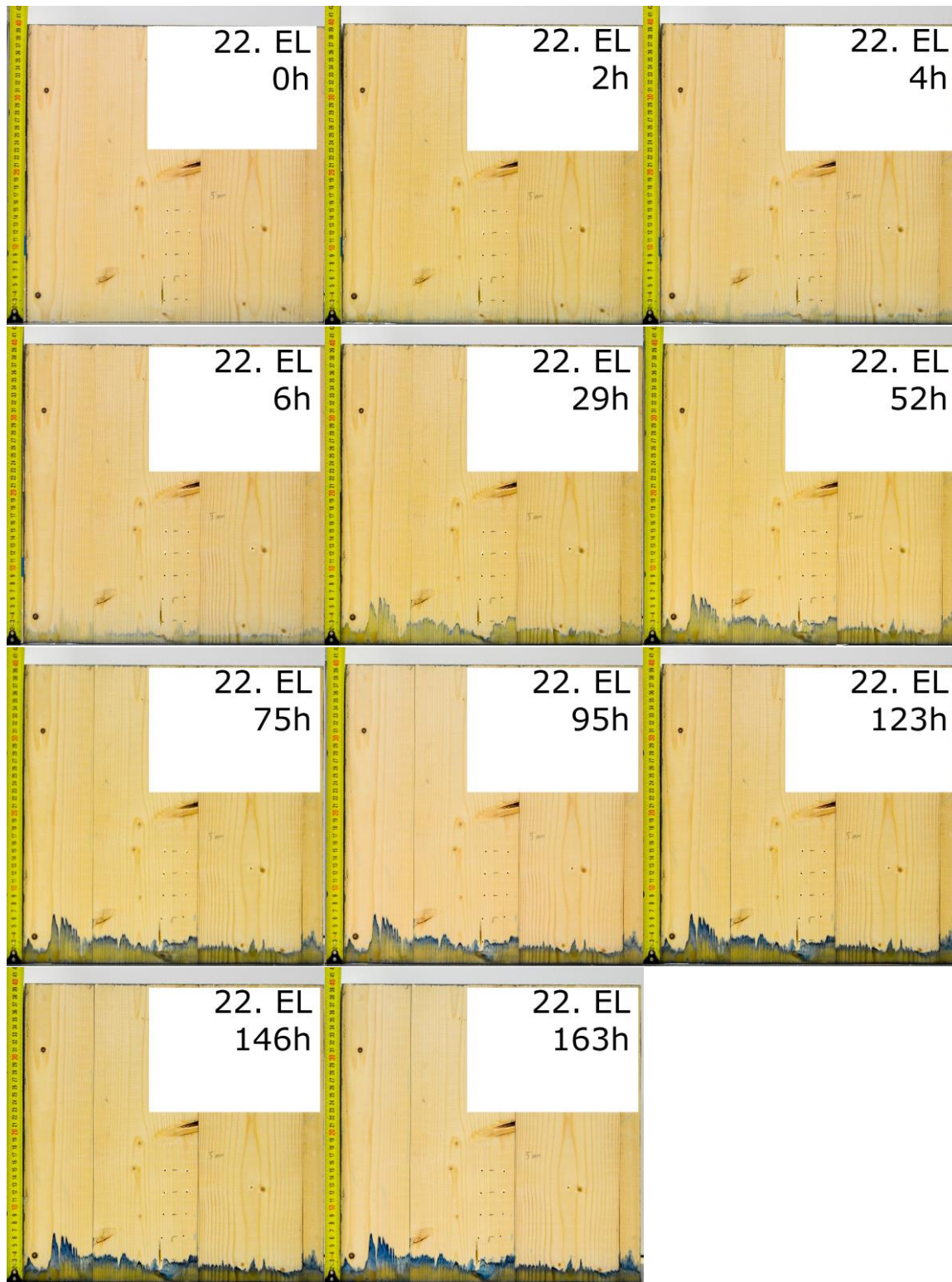
Lisa 3.8. Katsekeha number 20



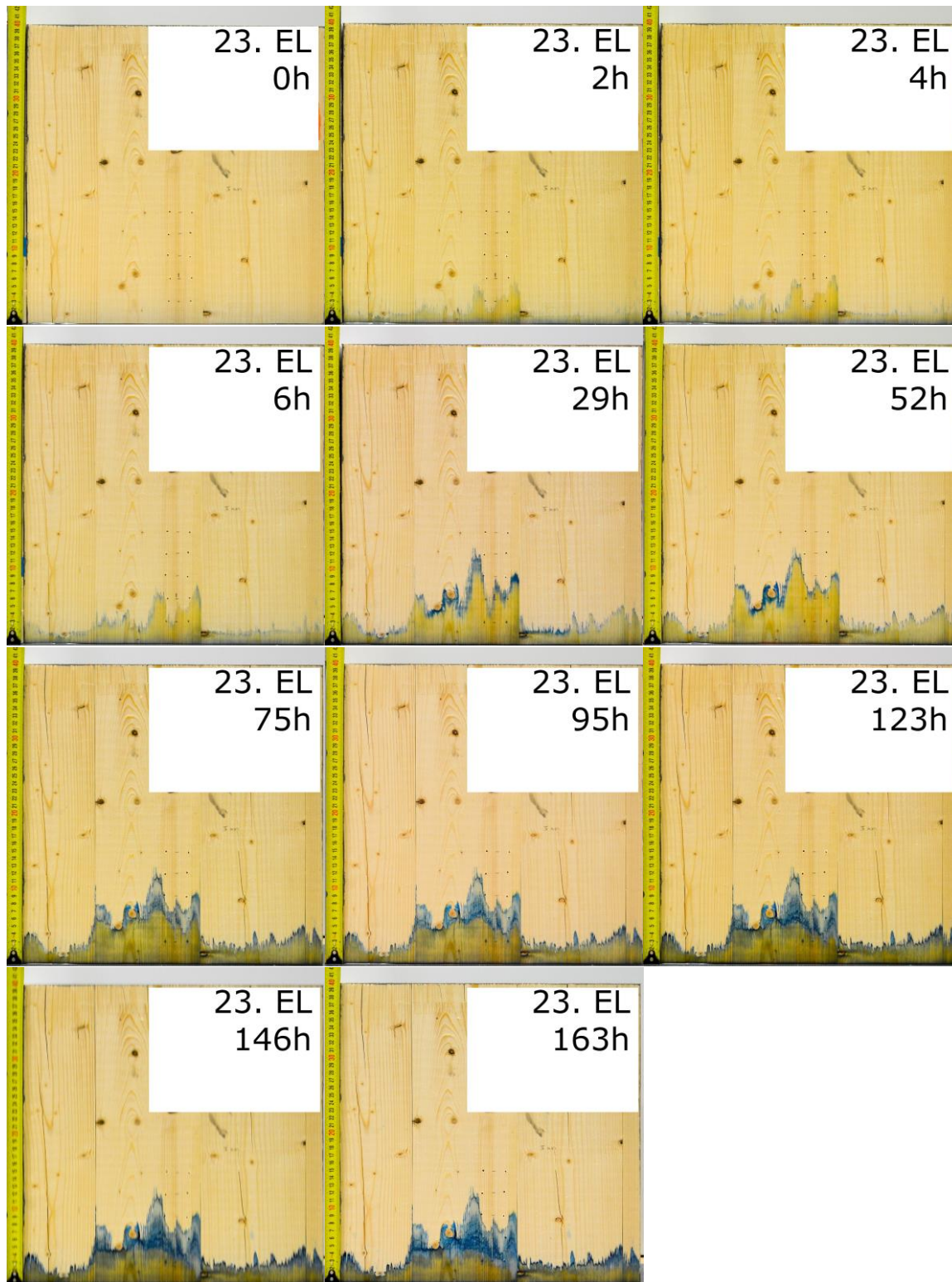
Lisa 3.9. Katsekeha number 21



Lisa 3.10 Katsekeha number 22



Lisa 3.11 Katsekeha number 23



Lisa 3.12 Katskeha number 24

