



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT  
PUIDUTÖÖTLEMISE ÕPPETOOL

**ERINEVATES PUIDULIIKIDEST VALMISTATUD  
LAUA VASTUPIDAVUS VÄLISKESKKONNAS**

**Bakalaureusetöö**

**Liisa Truusa**

Juhendaja: Heikko Kallakas,

Puidutöötlemise õppetool, insener

Puidu- ja tekstiilitehnoloogia KAOB02/09

Tallinn 2015

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

.....

Liisa Truusa

# SISUKORD

1.	KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	6
1.1	Puidu omadused .....	6
1.2	Puidu vastupidavus väliskeskkonnas .....	7
1.2.1	Termotöötlus .....	8
1.2.2	Niiskus .....	12
1.2.3	Värvus .....	13
1.2.4	Hallitused ja seened .....	14
1.2.5	Lagunemine ja mädanikud .....	16
1.2.6	Lõhed .....	18
1.2.7	Tugevuse muutus .....	19
1.2.8	Kinnituselementide vastupidavus puidus .....	20
2	MATERJALID JA MEETODID .....	21
2.1	Materjalid .....	22
2.1.1	Puit .....	22
2.1.2	Kruvid .....	22
2.2	Meetodid .....	23
2.2.1	Katsetamise tingimused .....	23
2.2.2	Niiskus ja temperatuur .....	24
2.2.3	Värvuse muutus .....	26
2.2.4	Hallitused ja seened .....	27
2.2.5	Mädanikud .....	28
2.2.6	Korrosioon .....	29
2.2.7	Lõhed .....	29
3	TULEMUSED JA ANALÜÜS .....	30

3.1.1	Niiskus ja temperatuur .....	30
3.1.2	Värvuse muutus .....	30
3.2	Hallitused ja seened .....	32
3.3	Lõhed .....	33
3.3.1	Korrosioon .....	34
	Lisa 1	
	Lisa 2	
	Lisa 3	
	Lisa 4	
	Lisa 5	
	Lisa 6	

## SISSEJUHATUS

Puit on üks vanimaid ja enim kasutatavaid ehitusmaterjale. Kui puitu õigesti töödelda ja hooldada, on see ka väga vastupidav, mida tõestavad vanad puidust majad linnapildis. Oma välimuse, keskkonnasõbralikkuse ja vastupidavuse tõttu on puit tänini väga laialdaselt kasutatav ning hinnatud ehitus- ja viimistlusmaterjal. Erinevad puiduliigid on erinevate omadustega ning mõni neist ei sobi üldse väliskeskkonnas kasutamiseks. Väliskeskkonnas mõjutavad puidu lagunemist õhk, niiskus ja ultraviolettkiirgus (UV kiirgus) ning mikroorganismid. Niiskuse toimele tekkivad hallitused mõjutavad puidu välimust, põhjustades värvuse muutust. Seened kas põhjustavad värvuse muutust või on lagundava toimega. Bakterid, viirused ning putukad mõjutavad samuti puitu.

Antud bakalaaurusetöö eesmärgiks on uurida, kuidas väliskeskkond mõjutab puitu ja selle lagunemist. Töö aluseks on katsekeha, mille muutusi jälgiti ning mille põhjal hinnati erinevaid faktoreid, kuidas need puitu mõjutavad.

Antud bakalaaurusetöö koosneb kolmest peatükist:

Esimeses peatükis käsitletakse kirjandusest saadud informatsiooni erinevate tegurite kohta, mis mõjutavad puidu omadusi väliskeskkonnas.

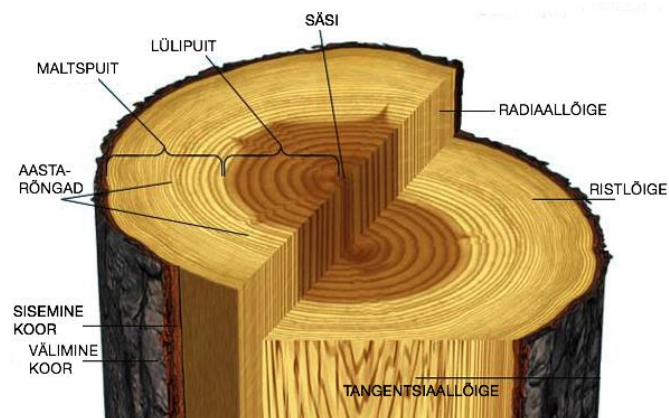
Teises peatükis antakse ülevaade töö praktilistest katsetustest- materjalidest, mida kasutati ja meetodidest, mida rakendati puidu uurimisel väliskeskkonnas.

Kolmandas peatükis esitatakse ja analüüsitakse katse tulemused ning tehakse järeldused puidu vastupidavusest väliskeskkonnas.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Puidu omadused

Puud jagunevad kaheks- okaspuud (*softwood*) ja lehtpuud (*hardwood*). Okaspuud on lihtsama stuktuuriga, kui lehtpuud. Inglise keelsed nimetused *softwood* ja *hardwood* tulenevad tihedusest- nimelt on okaspuu puit üpris väikese tihedusega ja kerge. Puit jaguneb malts- ja lülipuiduks, joonisel 1 on välja toodud puu tüve ehitus. Maltspuit on välimine tihti ka heledama värvusega koore alune osa, mis on suurema niiskussisaldusega ja transpordib puidus vajalikke aineid. Lülipuit tüve sisemine osa, mille niiskussisaldus on tunguvalt madalam kui maltspuidus- toitainete transpordis enam ei osale. Peamiselt koosneb surnud rakkudest ja on tavaliselt tumedam, kui maltspuit. Näiteks kuuse lülipuidu niiskussisaldus jääb vahemikku 34-40 % ja maltspuidul 113-153%. Erineva niiskussisalduse tõttu on ka tüve eri osad erinevate omadustega. [1]



Joonis 1. Puu tüve ehitus [2]

## 1.2 Puidu vastupidavus väliskeskkonnas

Puit on hinnatud materjal, kuid nagu ka muud looduslikud materjalid, kipub see keskkonna mõjul lagunema. Keemilise-, mehaanilise- ja valgusenergia kombinatsiooni mõjul toimub puidu vananemine [3,4]. Peamised puidu orgaanilised komponendid on polüsahhariidid ja polüfenoolid: tselluloos, hemitselluloos ja ligniin. Puidu lagunemisel bioloogiliste või füüsikaliste tegurite toimele modifitseeritakse selle keemilisi koostisosi, mille tulemusel puit vananeb. [3,4] Peamised puitu kahjustavad tegurid on välja toodud tabelis 1. Lisaks väliskeskkonna mõjutustele, putukatele ja seentele kahjustab puitu ka inimtegevus. Puitu mõjutavad erinevad energialiigid, mis on välja toodud tabelis 2.

**Tabel 1**

### **Puitu kahjustavad tegurid [5]**

Inimtegevus- paberitööstus, tulel toidu valmistamine
Põlengud
Vananemine UV kiirguse toimele
Happed, alused, soolad (korrosioon), metallid (värvuse muutus), gaasid
Putukad: termiidid, vaablased, mardikad ( <i>Boros schneideri</i> , <i>Xylophagous</i> ), sipelgad
Bakterid: vesipuit, värvuse muutus, pooride lagunemine, struktuuri lagunemine (tunnelid ja käigud puidus)
Seened: Värvuse muutust põhjustavad: hallitused, seened (sinavusseened jne) Lagunemist põhjustavad seened: pruun mädanik, valgemädanik ja pehmemädanik

**Tabel 2****Erinevate energialiikide efekt puidul [3]**

	Sisekeskkonnas		Väliskeskkonnas	
Energia liik	Tagajärg	Hinnang	Tagajärg	Hinnang
<b>Soojusenergia</b> <b>Tugev</b> <b>Kerge</b>	Tulekahju Värvuse tumenemine	Tugev Kerge	Tulekahju Värvuse tumenemine	Tugev Kerge
<b>Valgusenergia</b> <b>(nähtav valgus</b> <b>ja UV kiirgus)</b>	Värvuse muutus	Kerge	Tugevad muutused värvuses Keemiline lagunemine	Tugev Tugev
<b>Mehaaniline</b> <b>energia</b>	kulumine	Kerge	Kulumine Tuule erosioon Pinna karenemine Kiudude eraldumine	Kerge Kerge Tugev Tugev
<b>Keemiline</b> <b>energia</b>	Plekid Pleekimine Värvuse muutus	Kerge Kerge Kerge	Pinna karenemine Kiudude eraldumine Valikuline pleekimine Värvuse muutused Tugevuse vähenemine	Tugev Tugev Tugev Tugev Tugev

**1.2.1 Termotöötlus**

Peamiselt kasutatakse termotöötlemisel temperatuure vahemikus 150° C kuni 230° C, sest madalamatel temperatuuridel on hüdroolüüs väga aeglane ning tselluloosi lagunemine algab vahemikus 210° C kuni 220° C. Kõrgemad temperatuurid ei ole soovitatavad, kuna 270° C juures hävib peamiselt tselluloos. [6]

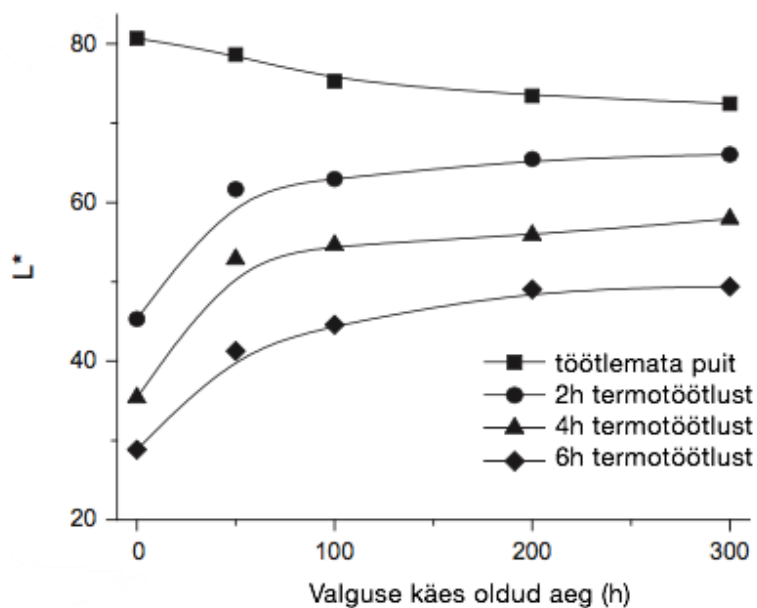
Puidu töötlemise kestus jääb vahemikku 15 minutit kuni 24 tundi olenevalt protsessi tüübist, puidu liigist ja niiskussisaldusest ning soovitud tulemustest [7].

Puidu termiline töötlemine [6]:



- parandab vastupidavust mikrobioloogiliste kahjuste suhtes;
- parandab mõõtmete stabiilsust;
- väheneb materjali hügoskoopsus;
- töötamise algetapis puidu omadused paranevad, kuid hiljem halvenevad;
- materjali tumenemine;
- töötlemisel kalduvus praguneda ja lõheneda;
- kulumiskindluse vähenemine;
- sitkuse ja murdumise moodulite nõrgenemine.

Eelnevast uurimusest UV kiirguse mõju kohta termiliselt modifitseeritud brasiilia kautšukipuule (*Hevea brasiliensis*) oli näha, kuidas massikadu puidus tõuseb temperatuuri ja töötamise aja kasvades. Keskmiselt olimassikadu 225°C juures 2h töötamise korral 4,95%, 4h töötlemisel 10,65% ja 6 h termotöötlemisel 14,6%. Jooniselt 2 on näha, kuidas reageerivad töötlemata ja termotöödeldud puit UV kiirguse mõjutustele. Välja on toodud võrdluseks töötlemata puit ning 2h, 4h ja 6h termotöötlemisega puidud. Graafikult on selgesti näha, et töötlemata puit, mis on alguses heledam, tumeneb valguse toimel. Samas töödeldud puidud, mis tänu termotöötlemisele on tumedamad, pleegivad UV kiirguse toimel ( $L^*$  väärtusest lähtudes). Üleüldine värvuse muutus  $\Delta E$  ja  $b^*$  väärtused kasvasid töödeldud puidul samamoodi nagu töötlemata puidu korral. Infrapunasspektroskoop näitas olulist ligniinide lagunemist töödeldud puidus juba peale paari tundi UV kiirguse käes viibimist. Värvuse muutuse graafikute ja spektromeetri tulemuste alusel jõuti järeldusele, et termiline töötlemine ei paranda puidu vastupidavust UV kiirgusele. [8]



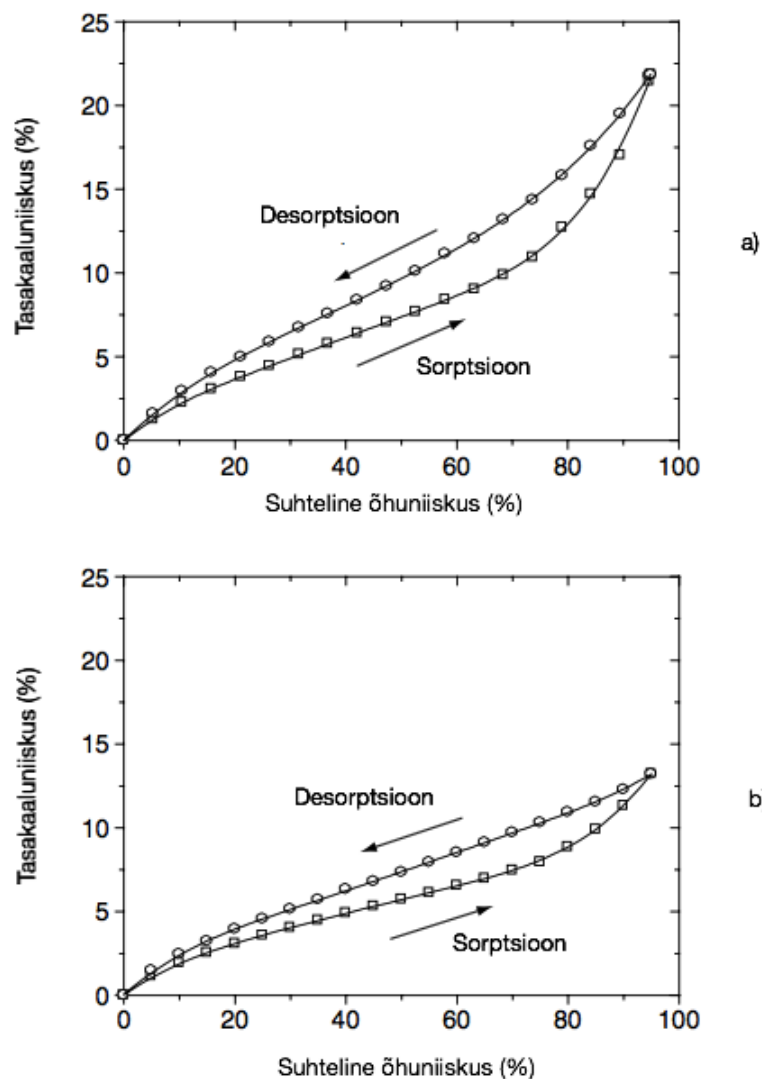
**Joonis 2. 225°C juures töödeldud ja töötlemata puidu L\* koordinaatide graafik [8]**

Termotöödeldud puidu massikadu saab arvutada valemiga [8]:

$$\% \text{ Massikadu} = \left[ \frac{W_0 - W_t}{W_0} \right] * 100 \quad (1)$$

kus  $W_0$  ja  $W_t$ - töötlemata ja termotöödeldud puidu kaalud

Termotöödeldud puidu niiskusevähendus on vähenenud kuna hüdroksüülrühmi on modifitseeritud puidu koostises vähem. Seda selle tõttu, et töötlemisel hemitselluloosi hävinguga väheneb OH rühmade arv puidu rakuseintes. [6] All toodud joonisel 3 on näha, kuidas töötlemata puidul on niiskusevähendus suurem ning tõuseb kiiremini õhuniiskuse suurenemisega.



**Joonis 3. Niiskuse imavus eri töötusega puitudel a) töötlemata puit ja b) termiliselt 250 °C N<sub>2</sub> keskkonnas 2 h töödeldud puit [6]**

Erinevates uurimustöodes on täheldatud, et termotöötlus muudab puidu dimensionaalselt oluliselt stabiilsemaks. Samuti väheneb niiskussisaldus, millest tulenevalt on töödeldud puit vastupidavam erinevatele bioloogilistele faktoritele nagu hallitused, seened ja bakterid. Termotöödeldud puit on palju tumedam, kui töötlemata, aga selle värvus pole püsiv- UV kiirguse toimel pleegib see heledamaks. Nõrkusteks on töödeldud puidul kulumiskindluse, painde- ja mehaanilise tugevuse ning löögikindluse vähenemine. Sellepärast ei sobi termotöödeldud puit konstruktsioonimaterjaliks, kus peab taluma suuri koormusi.[ 6, 7, 8]

## 1.2.2 Niiskus

Puit on hügrokoopne materjal, mis tähendab, et see imab niiskust ümbritsevast keskkonnast. Puidu niiskusimavus sõltub suhtelisest õhuniiskusest, õhutemperatuurist ja puidu niiskussisaldusest. Niiskus mõjutab oluliselt puidu omadusi ja vastupidavust. Enamik probleeme, mis puidu kui ehitus-ja viimistusmaterjalina kasutamisel tekivad, tulenevad niiskussisaldusest puidus.[12] Vihm või kaste, mis satub kaitsmata puidu pinnale, imendub kiiresti läbi pealmise kihi läbi kapillaaride, millele järgneb niiskuse imendumine puidu raku seintesse. Veeaur imendub otse ja puit pundub selle toimele, kuna suhteline niiskussisaldus suureneb. Puidus tekivad pinged, sest niiskuse toimele see pundub ning tõmbub kokku kuna sisemine ja pindmine niiskus on erinevad. Mida suurem on erinevus, seda suuremad on pinged. Kõige suurem on pinge puidu pealispinnal. Pingete tulemusel hakkab puit koolduma ning samuti tekivad praod. [outdoor wood] Puit imab vett üle kiu küllastumise punkti, mis tähendab, et õhk rakus asendatakse veega. Vedelas faasis vedeliku imendumine jätkub kuni maksimaalse niiskussisalduse saavutamiseni.[12]

Puidu niiskuseks nimetatakse seal leiduvat vett väljendatuna protsentides tema massist. Arvutades puidu absoluutset niiskust valem (1), võib tulemus ulatuda üle 100 % kuni 200%, sest arvestatakse niiskust puidu kuivkaalu kohta. Suhtelise niiskuse arvutamisel (valem 2), mille korral arvestatakse puidu niiskust kogu niiske puidu kaaluga, ulatub väärtus 60 kuni 70 %-ni .[1]

Puidu absoluutne niiskus arvutatakse välja valemiga [1]:

$$W_{\text{absolute}} = \frac{WW - DW}{DW} * 100 \quad (2)$$

Puidu suhteline niiskus arvutatakse välja valemiga [1]:

$$W_{\text{relative}} = \frac{WW - DW}{WW} * 100 \quad (3)$$

kus  $W_{\text{absolute}}$ - puidu absoluutne niiskus  
 $W_{\text{relative}}$ - puidu suhteline niiskus  
WW- märja materjali mass (wet weight )  
DW- kuiva materjali mass (dry weight )

Vee imendumise kohta on mitu teooriat. Denti (1977) sorptsiooniteooria kohaselt tungib vesi monokihtide polümeeride raku seintesse. See teooria tugineb BET (Brunauer 1938) teorialle, mis omakorda Langmuiri mudelile (1918). Viimased kaks on gaaside molekulide kohta, aga Dent modifitseeris teooriat, et seletada vee imendumist. Denti mudel lubab mitut kihti, mis tähendab, et kui vesi või veeaur on kontaktis puidu pinnaga, siis see ei kogune ühte punkti vaid jaguneb ühtlaselt raku seinte küllastumiskiirini. Ainult juhul, kui puidu eri osad on erineva niiskussisaldusega võib toimuda ebahühtlane pundumine. [9,11]

### 1.2.3 Värvus

Värvuse muutus võib olla keemiline või põhjustatud erinevatest mikroobidest. Keemilist värvuse muutust põhjustavad oksüdatiivsed ja ensümaatilised reaktsioonid puidu koostisosadega. Peamiselt leiavad muutused aset hoiustamisel või kuivatamisel, kui kasutada kuivatusprotsessil valet temperatuuri ja kuivatusaega. Lehtpuude puhul on levinud probleemiks tumenemine, kui kuivatustemperatuur valitakse liiga kõrge ja kuivatamine on liiga aeglane- tekib hallikas-pruun keemiline värvusemuutus. [9].

Seenkahjustustest on levinud sinavust põhjustav seen (*blue stain*). Tekib kui kuivatamine on liiga aeglane- ohustab värskelt maha raiutud puid ja palke, mille maltspuidu niiskussisaldus on veel kõrge. Lülipuitu ei ohusta, kuna selle niiskussisaldus on liiga madal. Võib katta puidu pinda laikudena või täielikult, pikemalt tuleb sellest juttu järgmises peatükis. [12]

Hallituses võib värvuselt varieeruda heledatest toonidest tumedateni. Okaspuudel, mis on vähem poorsed kui lehtpuud, on võimalik suurem osa pinnapealsest hallitusest maha harjata- värvuse muutus on väiksem. Samas lehtpuud on suuremate pooridega ning pinnapealne hallitus on liiga sügav, et maha hõõruda. Hallitus esineb plekkidena, mille suurused ja tugevused varieeruvad. [12]

Ultraviolettkiirgus on samuti üks faktoritest, mis põhjustab puidu värvuse muutumist. UV kiirgus põhjustab ligniini lagunemist puidus, sellest tulenevalt puidu pind muutub algselt kollakaks või pruunikaks, lõpptulemuseks on hall värvus. Seda keemilist protsessi nimetatakse valguslagunemiseks ning see ulatub puidu pinnalt 0,05 kuni 2,5 mm sügavusele. See toob kaasa puidu värvuse muutuse. [Feist] Bakterid ja viirused võivad samuti kaasa tuua värvuse muutusi [5].

Värvuse muutuse ära hoidmiseks tuleks lähtuda peamistest põhjustajatest. Vältida tuleks hallituste ja seente teket puidul. Samuti tuleks olla ettevaatlik kuumusega töödeldes.

Puidu kaitseks mikroobide eest tuleks lähtuda järgnevast [5]:

- raie külmemal aastaajal;
- koostöö metsatööstuse ja puidutööstuse vahel;
- sobilik värskelt langetatud puidu hoiustamine;
- kuivatamine;
- hoiustamine N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> keskkonnas;
- märgladustamine;
- keemiline töötlemine.

#### **1.2.4 Hallitused ja seened**

Puit on soodsas keskkonnas üpriski vastupidav materjal, kuid ebasoodsas keskkonnas kipub ta kergesti lagunema. Nimelt koosneb puit tselluloosist, hemitselluloosist ja ligniinist, mis on kergesti lõhustatavad ning seetõttu muudavad puidu vastuvõtlikuks putukatele, bakteritele ja seentele. Puitu lagundavad ferendid on tsellulaas,

hemitsellulaas ja ligninaas, mille toimetel on lagunemise lõppproduktiks süsihappegaas (CO<sub>2</sub>) ja vesi (H<sub>2</sub>O). Vastupidavus sõltub puiduliigist ja keskkonnast, osad liigid on looduslikult vastupidavamad kui teised. Üks ühine joon on kõigil liikidel- maltspuit on vähem vastupidav kui lülipuit, kuna viimane sisaldab rohkem vaiku ja muid vee imendumist takistavaid aineid. [1] Seeni on mitut liiki, on värvust muutvad seened, hallitusseened ja mädanikke põhjustavad seened.

Hallitused põhjustavad puidu värvuse muutust. Nagu taimedki, vajavad ka hallitusseened kasvamiseks soodsat keskkonda ja toitaineid- seente eosed vajavad arenemiseks toitaineid, hapnikku, soojust, niiskust ja suhteliselt happelist keskkonda. [1] Seened toituvad kahel viisil- sapotroofid toituvad tänu ensüümidele ja biotroofid toituvad tänu hüüfidele. Esimesed eritavad ensüüme, mis lagundavad aineid lihtsateks molekulides, tagades selle, et nii imenduvad need rakkudesse. Biotroofid saavad toitaineid hüüfide ehk seeneniitide kaudu otse teise organismi rakust. [13]

Sinavust põhjustav seen ehk inglise keeles blue stain (*Grosmannia clavigera*) kasvab maltspuidus- lülipuitu seen üldjuhul ei ohusta [12]. Sinavus võib pinda katta osaliselt laigukestena või täielikult, tuues kaasa värvuse muutuse. Värvuselt varieerub sinakast sinakasmustani ja hallist pruunini. Lagunemist see puidule ei põhjusta, sest sinavus seened toituvad puidu rakkudes olevatest lahustunud ainetest ning ei kahjusta rakuseinu [puiduteadus]. Seda sellepärast, et puuduvad vajalikud ensüümid, et puidu polümeere seedida- nii toitub seen maltspuidus olevatest polariseemimata suhkrutest [12]. Sinavust esineb nii elus puudes kui ka palkides. Männisinelane ehk inglise keeles Pine beetle (*Boros schneideri*) kannab sinavust elus puudesse. Nakatunud puus toitainete transport halveneb, tuues kaasa selle hukkumise. Värskest saetud puud, mille niiskussisaldus on veel kõrge on samuti ohustatud seene poolt. [12] Värskest lõigatud puidu kaitsmiseks, tuleks selle pinda kiirelt kuivatada. Pinnad, mida ei saa koheselt kuivatada, tuleks töödelda vettõrjuva vahendiga, mis sisaldab lisandina ka seente tõrjet. See on vajalik eriti niisketes oludes, hoides nii ära puidu värvuse muutumise. [10] Seened ei põhjusta puidu lagunemist, aga tugevust siiski mõjutavad. Peamine mõju on kõvadusele ja vastupidavusele, samuti mõjutab puidu imavusvõimet, mis tähendab, et võib liigselt imada endasse liimi, värvi või kaitsevahendeid töötlemisel. Puit muutub hügrokoopsemaks ning imab vett endasse seega on oht, et tekivad puitu lagundava toimega seened. [12] Seega sinavus seened mõjutavad peamiselt puidu välimust, tuues kaasa värvuse muutuse. Samas ka kergelt

puidu tugevust vähendades ning niiskusemavust suurendades tekitavad ohu mädanike tekkeks.

Puitu lagundavatest seentest, mis põhjustavad mädanikke tuleb juttu järgmises peatükis (1.2.4 Lagunemine ja mädanikud).

### 1.2.5 Lagunemine ja mädanikud

Puitulagundavad seened põhjustavad puidu lagunemist, värvuse muutust ning tugevusomaduste halvenemist, kuna hävitavad puidu koostisosi (erinevalt muudest seentest, mis toituvad rakus lahustunud ainetest). Mädanikud jagunevad kolme alagruppi [1]:

- Pruun mädanik (kahanemismädanik);
- Valgemädanik (sööbimismädanik);
- Pehmemädanik (*soft rot*).

Pruuni mädanikku tekitavad seened metaboliseerivad puidu raku seinas olevat tselluloosi ja hemitselluloosi läbi ensümaatiliste ja mitteensümaatiliste reaktsioonide. Ligniini jääb peaaegu puutumata, selle tulemusel on ka värvus pruunikas. Pruun mädanik esineb nii elus puudes kui ka töödeldud puidus ja ka lülipuidus, mis tavaliselt oma madala niiskussisalduse tõttu on üpris vastupidav. Rohkem esineb teda okaspuudes kui lehtpuudes.[5] Põhjustab puidu kokkutõmbumist ja pragunemist ning lagunemist. Üheks pruunmädaniku tekitajaks on näiteks majavamm (*Serpula lacrymans*), mis on laialdaselt levinud seenhaigus puidust hoonetel. [1]

Valgemädanik põhjustab puidus tselluloosi, hemitselluloosi ja ligniini lagunemist. Esineb nii leht- kui ka okaspuudus, levinum on lehtpuudus. Põhjustab pealmise kihi pehmenemist ja pragunemist. Võib isegi kahjustada immutatud puitu, mis on kontaktis maapinnaga, kui kokkupuude on piisavalt pikaajaline, kuid kõike levinum on see kasvavatel puudel. Võrreldes pruuni mädanikuga ei mõjuta nii palju tugevust, kuna sama massikao kohta tarbitakse vähem tselluloosi. Põhjustab puidu pleekimist

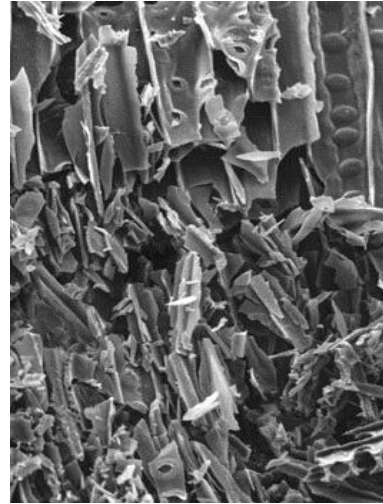


ning lõppfaasis ka pehmenemist. Tuletael (*Fomes fomentarius*) on kõige levinum valge mädaniku seen. [1, 5]

Pehme mädanik lagundab süsivesikuid puidus, selle tõttu juba ainuüksi 5%-ise massikao puhul on 50% langus paindetugevuses. Puit muutub hapraks ja pehmeks. Eriti ohtlik mädanik kuna peab vastu ka väga äärmuslikes oludes. Nagu näiteks vees, kus valge ja pruun mädanik vastu ei pea.[5]



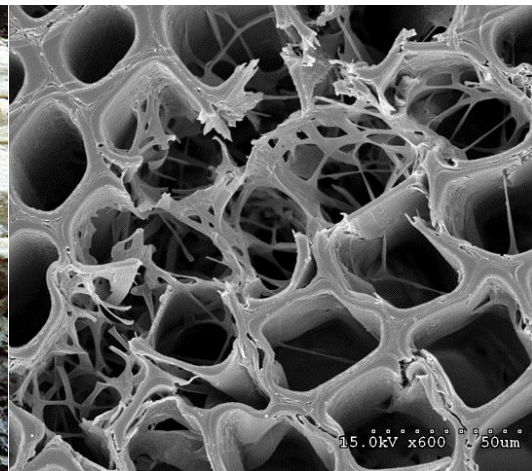
**Joonis 4. Pruun mädanik tammel [14]**



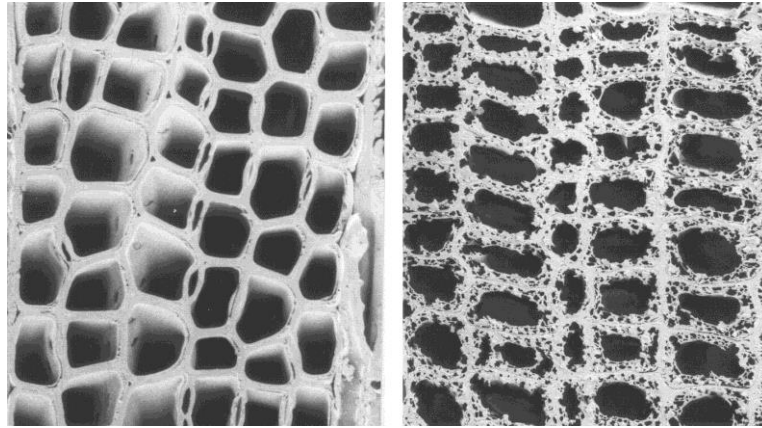
**Joonis 5. Pruuni mädanikuga puidu struktuur [15]**



**Joonis 6. Valge mädanik puidul [15]**



**Joonis 7. Valge mädanikuga puidu struktuur [17]**



**Joonis 8. a- terve puidu struktuur (*C. libani*); b- pehme mädaniku hilisemad faasid ( $\approx 50 \mu\text{m}$ ) [18]**

**Tabel 3**

**Pruuni ja valget mädanikku põhjustavate seente esinevus okas-ja lehtpuudel [5]**

**(käsitlatud väliskeskkonnas surnud puidul elutsevaid seeni)**

<b>Pruuni mädanik</b>	<b>Okaspuu</b>	<b>Lehtpuu</b>	<b>Valget mädanik</b>	<b>Okaspuu</b>	<b>Lehtpuu</b>
<i>Gloeophyllum</i>	x		Schizophyllum commune		x
<i>Daedalea quercina</i>	x	x	Stereum sanguinolentum	x	
<i>Lentinus lepideus</i>	x		Trametes versicolor		x
<i>Paxillus panuoides</i>	x				

Lisaks puitu lagundavatele seentele põhjustavad lagunemist ka bakterid ja viirused. Bakterid ohustavad puitu väga hapnikuvaeses keskkonnas ning on lagundamisel abiks mädanike lõppfaasis. Ka putukad on lagundajad, kuna söövad puitu oma käigud ning munevad sinna oma vastsed. Mõningad putukad on välja toodud tabelis 2. [1]

## **1.2.6 Lõhed**

Lõhede ja pragude teket põhjustab niiskussisalduse muutus puidus, mis toimub loomulikult teel, kui puu maha raiutakse ning see kuivab või tehniliselt teel kui puitu

termotöödleda. Puidu kokkutõmbamine toimub ainult siis, kui vesi raku seitest kaob punktini, mis on proportsionaalselt sama, mis kiu küllastumise punkt. Radiaalne ja tagnetsiaalne teljesuunaline kahanemine on kokku ruumalaline kokkukuivamine, mille määravad puidu osad, mis hoiavad puitu kokku kuivamast. Sellisteks struktuuri hoidvateks teguriteks on säsikiired ja struktuur. Suurema tihedusega puidul on proportsionaalselt ka rohkem raku seinu kui rakuõõnt, seega see kuivab kokku ja pundub ka rohkem, kui madalama tihedusega puit. Vesi hõivab rakus ruumi, mis on ainult siis olemas, kui sinna on imendunud vedelik, kui vesi puidu rakust eemaldada, kuivab rakk kokku ning puit selle tagajärjel samuti. [19, 23]

### **1.2.7 Tugevuse muutus**

Puidu tugevusomadused varieeruvad sõltuvalt liigist, tihedusest ja niiskussisaldusest [20]. Puidu kuivamisel alla kiu küllastumise punkti, selle tugevus ja elastsus paranevad. Tugevuse paranemine algab, kui niiskussisaldus puidus on umbes 25-30 % juures. Erinevatel puiduliikidel on tugevus erinev, aga madalama niiskussisaldusega puit on tugevam. Samas osade omaduste piir on kuskil 4-7 % niiskussisalduse juures, kus puit muutub hapraks, kuna toimub ülekuivatamine. [9]

Aja jooksul puidu tugevus väheneb märgatavalt. Seda mõjutavad mikroorganismid, temperatuur ja niiskussisalduse kõikumine, kemikaalid ja muud välised kahjustajad. Enamasti on muutused tingitud erinevatest välisteguritest mitte puidu enda vananemisest. Mõningast tugevuse vähenemist võib märgata, kui puidule rakendada koormus. Eelkõige mõjutab pikaealine- lühiajalistele koormusele ja löökidele on puit üpris vastupidav. Tugevuse muutus on tingitud molekulide nihkumisest molekulaarstruktuuris koormuse või pinge toimel, mida rohkem on vett raku seinas, seda kergemini nihumine toimub. [9]

Temperatuur mõjutab puidu mehaanilisi omadusi. Puidu kuumendamisel omadused halvenevad ja jahutamisel paranevad. Kuni 100°C erilist suurt tugevuse vähenemist ei esine, aga kõrgemad temperatuurid võivad põhjustada jäädava kahju. Seega tuleks vältida ülekuumendamist ja selle tagajärge ülekuivatamist. [9]

Lisaks mõjutavad puidu omadusi mädanikud, millest juba eelnevalt tuli juttu ning oksakohad, mis nõrgestavad puitu. Oksakohad toimivad nagu augud puidus ning nende mõju sõltub suuruselt ja asukohast puidus. Näiteks 50 millimeetrise diameetriga oksakoht talas mõõtmetega  $38 \times 185\text{mm}$ , vähendab puidu tugevust 25% kui see asub tala keskel ja 43% kui ääres. [9]

### **1.2.8 Kinnituselementide vastupidavus puidus**

Puitu kinnitamisel kasutatakse metallist, puidust või plastikust ühendajaid. Kasutatakse kruvisid, naelu, tüübleid jne. Kruvide valikul tuleb arvestada, millises keskkonnas see vastu peab pidama. Näiteks väliskeskkonda sobivad roostevabast terasest kruvid, tsingiga kaetud terasest kruvid sobivad pigem siseruumides kasutamiseks, kuna ei ole eriti korrosioonikindlad. [20]

Kruvisid toodetakse terasest, vasest, mõnest muust metallist või sulamist. Katmiseks kasutatakse niklit, tsinki, kroomi ja kaadiumi. [9, 12, 22]

Terasest ja rauast kinnitused võivad kahjustada puidu tugevusomadusi. Puidus sialduvad tanniinid reageerivad ning saaduseks on metallide soolad. Kõrgel niiskussisadusel käituvad need soolad nagu kalvaniseeritud rakud, põhjustades puidu tugevuse vähenemist ja vähendades puidu looduslikku vastupidavust lagunemise suhtes. Kruvi, nael või muu kinnitaja mõjutab puitu seni, kuni on nii korrudeerunud, et seda võib isegi näppudega puidust eemaldada. Sellepärast tuleks kasutada pigem roostevabast terasest või mõne kattega kinnitajaid. [9]

## 2 MATERJALID JA MEETODID

Antud töös tehti uuring erinevatest puiduliikidest valmistatud katsekehade vastupidavusele väliskeskkonnas. Uurimustöö aluseks oli COST FB 1303 (*Cooperative Performance Test*) projekt, mida alustati 2014 aasta sügisel.

COST (*European Cooperation in Science and Technology*) on organisatsioon, mis tegeleb teaduse arendamisega kaasates erinevaid Euroopa riike koostööd tegema teaduse ja tehnoloogia alal. Eesmärgiks on teaduse arendamine ja uute tehnoloogiate ja toodete väljatöötamine. COSTi kuulub 36 Euroopa riiki, kaasaarvatud Eesti.

Katsetused toimuvad üle kogu Euroopa kokku 28 erinevas kohas (joonis 9), Eestis asub kaks katsekeha- üks Tallinna Tehnikaülikoolis (antud töö allikas) ja teine Tartu Maaülikoolis. Tallinna Tehnikaülikooli (TTÜ) katsekeha asub U06 õppehoone katusel, mille kõrgus on 9,75 m maapinnast ja 43,75 m merepinnast. Katsekeha pikkus ja laiuskraadid on  $59^{\circ} 23' 38,76''$ ,  $24^{\circ} 40' 10,588''$ .



Joonis 9. COST FB 1303 programmis osalevad Euroopa riigid [29]

## 2.1 Materjalid

### 2.1.1 Puit

Antud töös kasutati katsetusteks kolme erinevat puiduliiki- tamme, kuuske ja temrotöödeldud kuuske. Igast puidust valmistati 3 katsekeha mõõtmetega 490x500x25 mm, mis paigaldati katsealusele. Kasutati harilikku tamme (*Quercus robur*) ja harilikku kuuske (*Picea abies*). Katsekehad tähistati vastavalt laua tähistele: 14 B- kuusk B1-B3; TMT kuusk B4-B6 ja tamm B7-B9. Katsekehad olid radiaallõikes, välja arvatud katsekeha 14 B9, mis oli tangentsiaallõikes (tegemist oli juhusliku saagimise veaga).

Termotöödeldud kuuske katsekehad valmistati termotöötlusel 3 tundi temperatuuril 230 °C, mille tulemusel oli puidu massikadu umbes 7 %.

**Tabel 4**

#### Kasutatud puiduliikide nimetused ja tihedused

Nimetus eesti keeles	Nimetus inglise keeles	Nimetus ladina keeles	Tihedus [g/cm <sup>3</sup> ]
Harilik kuusk	Norway spruce	<i>Picea abies</i>	0,465
TMT harilik kuusk	Norway spruce	<i>Picea abies</i>	0,435
Harilik tamm	English oak	<i>Quercus robur</i>	0,708

### 2.1.2 Kruvid

Kinnitusteks kasutati kahte eri tüüpi kruve, et hinnata erineva kattega kruvide vastupidavust erinevates puiduliikides ja väliskeskkonnas. Igat katsekeha kinnitati ühest otsast roostevabast terasest kruviga ja teisest otsast tsingitud terasest kruviga. Seega kokku oli 9 roostevabast terasest ja 9 tsingitud terasest kruvi mõõtmetega: 51mm ja 16 keerdu ning 50 mm ja 16 keerdu. Tsingitud terasest kruvide kaalud jäid vahemikku 2,70 g kuni 2,73 g. Roostevabast terasest kruvid olid 2,73 g.

## 2.2 Meetodid

### 2.2.1 Katsetamise tingimused

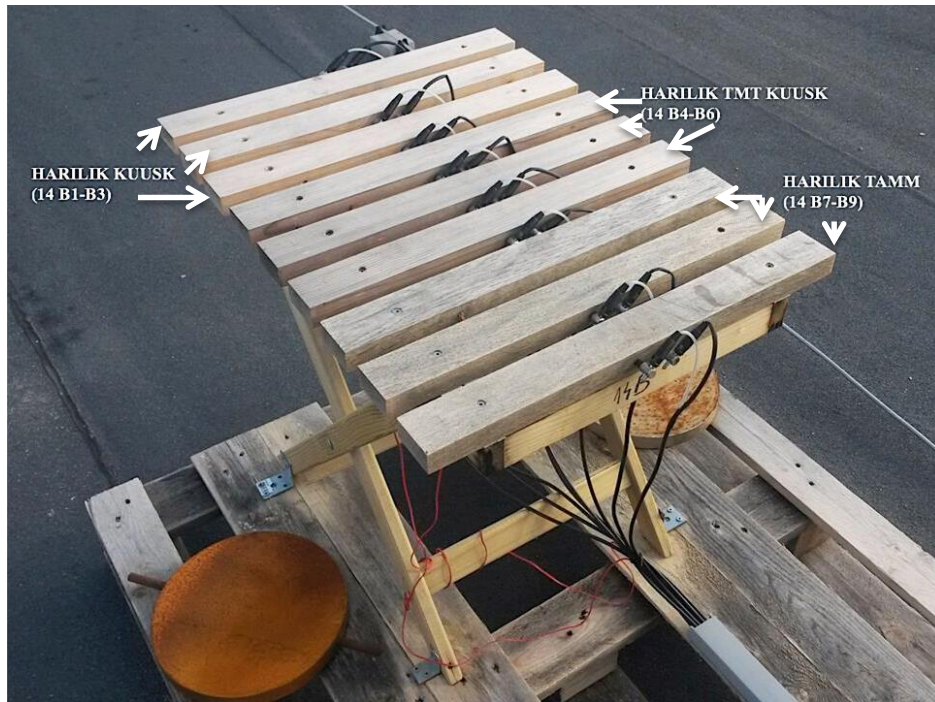
Katsetamiseks valmistati puidust nelja jalaga katsealus immutatud kuusest mõõtmetega 640x490x550 (mm). Katsealust immutati vee baasil puidukaitsevahendiga, mille peamisteks koostisosadeks olid vaskhüdroksiid, etanoolamiin ja boorhape. Aluse valimistamisel võeti eeskujuks COST FB (*Cooperative Performance Test*) juhendis toodud näidis (joonis 10). Alusele kinnitati 9 paralleelset katsekeha üksteisest 25 mm kaugusele. Kolm tammepuidust, kolm kuusepuidust ja kolm TMT kuusest. Katsekehad kinnitati roostevabast- ja tsingitud terasest kruvidega. Katsed toimusid vastavalt COST FB1303 programmi etteantud ajakavale tabelis 5.

**Tabel 5**

#### Mõõtmiste ajakava

Kuupäev	Värvus	Hallitused	Praod	Korrosioon
15.09.2014	x	x		
24.09.2014	x	x		
29.09.2014	x	x		
06.10.2014	x	x		
13.10.2014	x	x		
15.10.2014	x	x		
10.11.2014	x	x		
08.12.2014	x	x		
10.02.2015	x	x		
27.02.2015	x	x	x	x
16.03.2015	x	x	x	
06.04.2015	x	x		
04.05.2015	x	x	x	x
29.05.2015	x	x	x	x





**Joonis 10. COST katsealus (27.02.2015)**

Mõõdeti järgmiseid omadusi:

- puidu niiskus- ja temperatuur;
- mädanike teke;
- hallituste teke;
- värvuse muutus;
- lõhed;
- kruvide korrosioon.

### **2.2.2 Niiskus ja temperatuur**

Puidu niiskuse määramiseks sisestati katsekehadesse 8 elektroodi (3 tükki kuuske, 3 tükki TMT kuuske ja 2 tamme) (joonis 11). Katsekehi oli küll 9, kuid kasutusele antud Gigamoodul oli vaid 8 mõõtekanaliga. Mõõtmisi teostas 8 mõõtekanaliga Gigamoodul (FIRMA) ning andmed salvestati kasutades andmelogerit Thermofox.



Andmeid töödeldi automaatselt iga 12 tunni tagant, kasutatdes SoftFox programmi, kust hiljem kopeeriti andmed MS Excelisse. Elektroodidega mõõdeti materjali elektritakistust ühikutes 10logOhm, mis hiljem MS Excelis teisendati ümber valemiga (3) protsentidesse (%).

Puidu niiskus 10logOhm-s arvutatakse ümber protsentidesse valemiga [resistansse based artikkel]:

$$MC(R;T) = a * T + b * EXP((c * T + d) * R) + (e * T + f) + (g * R^2) + (h * T) + i \quad (3)$$

kus MC- puidu niiskus (%)

R- elektritakistus (10logOhm)

T- puidu temperatuur (°C)

a, b, c, d, e, f, g, h ja i- muutujad

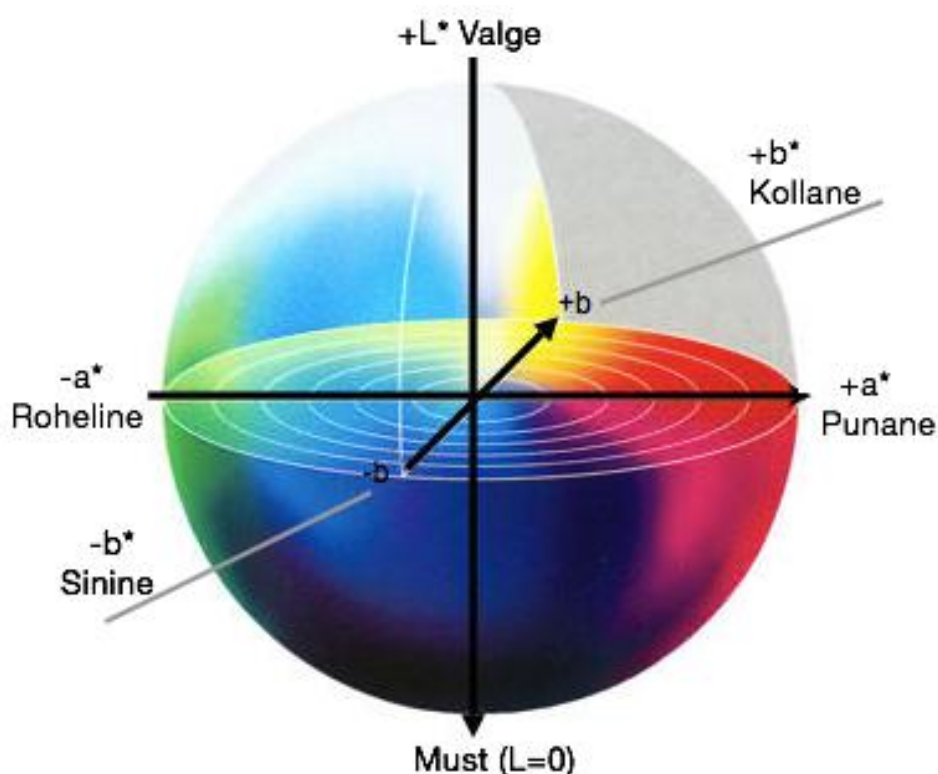
Temperatuuri mõõtmised teostati TMT kuusele, mujale polnud andurid sisestatud. Temperatuuri mõõtmisel kasutati andmelogerit Thermofox, millega salvestati andmed ning SoftFox teisendas need ümber. Temperatuuri mõõtmisel mõõdetakse puidu minimaalne (Tmin), maksimaalne (Tmax) ja keskmine temperatuur (Tkeskmine).



**Joonis 11. Elektroodid katsekehas 14 B1**

### 2.2.3 Värvuse muutus

Antud töös kasutati värvuse esitamisel CIE (*CIE – pr.k. Commission internationale de l'éclairage*) CIELAB ehk CIE  $L^*a^*b^*$  värvusmudelit, mis on värvuse defineerimisel üks enim levinud mudeleid, sest seda peetakse kõige täpsemaks. Kasutatakse veel ka CMYK (*Cyan-Magenta-Yellow-black*) ja RGB (*red, green and blue*) mudeleid. CIELAB värvusruum on esitatud joonisel 12.



Joonis 12. CIELAB värvuskoordinaadid [23]

Värvuse muutuse hindamiseks, tuli algselt katsekehad märgistada, et mõõtmised toimuks samadest punktidest. Igal katsekehal märgistati 3 punkti- mõlemasse äärde üks ja keskele. Üks täpselt keskele ja teised äärtest 30 mm kaugusele. Mõõtmisi sai teostada vaid kuivale katsekehale, lume ja jää korral tuli mõõtmised edasi lükata. Värvuse muutmise mõõtmisel kasutati kolorimeetrit Minolta Chroma Meter CR-121 (standard ISO 7724/1), mõõtmised teostati  $L^*a^*b^*$  koordinaatides, mis võeti CIELAB värvimudelilt.

Koordinaadid jagunevad järgmiselt:

- $L^*$ - heledus (*lightness*), mis on valge-musta telg;
- $a^*$ - kromaatilised koordinaadid punase-rohelise teljel;
- $b^*$ - kromaatilised koordinaadid kollase-sinise teljel.

Tulemuste põhjal arvutati värvuse muutused ( $\Delta$ ) järgnevate valemitega [25]:

$$\Delta L^* = L^* - L^*t \quad (4)$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*t$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*t$$

kus  $L^*$ ,  $a^*$ , ja  $b^*$  on värvuse algväärtused;

$L^*t$ ,  $a^*t$ , ja  $b^*t$  on mõõdetud värvused.

Tulemuste ( $L^*a^*b^*$ ) põhjal arvutati värvuse kogumuutus ( $\Delta E$ ) valemiga [25]:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

## 2.2.4 Hallitused ja seened

Hallituste mõõtmisel hinnati igat katsekeha individuaalselt, vaaldes nii katsekeha pealmist kui ka alumist pinda. Hallituste tuvastamisel kasutati visuaalset hindamist ning hinnang anti vastavalt standardis EN 152:2011 (*Determination of the protective effectiveness of a pre-servative treatment against blue stain in wood in service – Laboratory method*) toodud tabeli 6 järgi. Hinnang 0 tähendab seda, et visuaalsel vaatlusel hallitust/seeni ei märka. Hinnang 1 (kerge muutus) on defineeritud sellega, et leiduvad üksikud kolooniad. Hinnang 2 (keskmine muutus) tähendab, et kuni üks kolmandik pinnast on kaetud ning hinnang 3 (tugev muutus), et rohkem kui 1/3 pinnast on kaetud hallitusega/seentega.

**Tabel 6****Hallituste/seente hindamine vastavalt standardile EN 152:2011 [28]**

Hinnang	Klassifikatsioon	Definitsioon
0	muutust pole	visuaalselt vaadeldes hallitust/seeni ei märka
1	kerge muutus	üksikud kolooniad (<1,5mm laiad ja 4mm pikad)
2	keskmine muutus	kuni 1/3 pinnast kaetud
3	tugev muutus	rohkem kui 1/3 pinnast kaetud

### 2.2.5 Mädanikud

Mädanike tuleb hinnata kord aastas, kuna antud uurimustöö kestis 7 kuud, siis teostati need mõõtmised varem. Mädanike hindamiseks tuleb kasutada visuaalset hindamismetoodikat kombineerides selle noaga torkimisega. Kasutades standardit EN 252 (2014) tuleb noaga torgates hinnata puidu tugevust. Tabelis 7 on välja toodud hinnangud mädanikele standardi EN 252 alusel. Antud uurimustöös mädanikke ei tekkinud.

**Tabel 7****Mädanike klassifikatsioon vastavalt standardile EN 252 [25]**

Hinnang	Klassifikatsioon	Definitsioon
0	Lagunemine puudub	Muutused puuduvad, värv võib olla muutunud
1	Kerge lagunemine	Kerged välised muutused: pindmise puidu lagunemine ja pehmenemine
2	Keskmine lagunemine	Nähtavad muutused: pehmenemine vähemalt 2 mm sügavuseni suuremal alal (vähemalt 10 cm <sup>2</sup> ) või kuni 5 mm sügavuseni piiratud alal (kuni 1cm <sup>2</sup> )
3	Tugev lagunemine	Tõsised muutused: pehmenemine vähemalt 3 mm sügavusele laiemal alal (vähemalt 25 cm <sup>2</sup> ) või vähemalt 10 mm sügavuseni kitsamal alal.
4	Täielikult lagunenud	Täielikult mädanikke täis

## 2.2.6 Korrosioon

Enne kruvidega katsekeha kinnitamist pestakse kõik kruvid etanooliga ning kaalutakse. Roostet hinnatakse vastavalt Jermer-i ja Andersson-i (2005) kirjeldatud protseduurile [27]. Kruvide korrosiooni hinnati visuaalsel vaatlusel kasutades hinnangute andmisel alltoodud tabelit. Hinnang 0 tähendab seda, et visuaalsel vaatlusel roostet ei märka. Hinnang 1 (vähene korrosioon) on defineeritud sellega, et alla 5 % pinnast on kaetud. Hinnang 2 (kerge korrosioon) tähendab, et 5-50 % pinnast on kaetud ning hinnang 3 (tugev korrosioon), et 50-95 % pinnast on kaetud korrosiooniga. Hinnang 4 (täielikult korrodeerunud) antakse juhul kui üle 95 % pinnast on roostega kaetud.

**Tabel 8**

**Korrosioon (Jermer and Andersson 2005) [27]**

Hinnang	Klassifikatsioon	Definitsioon
0	korrosioon puudub	
1	vähene korrosioon	<5 % pinnast
2	kerge korrosioon	5-50 % pinnast
3	tugev korrosioon	50-95 % pinnast
4	täielikult korrodeerunud	>95 % pinnast

## 2.2.7 Lõhed

Lõhede (edaspidi ka praod) tekivad niiksuse ja temperatuuri toimel, sest toimub puidu paisumine ja kokku kuivamine. Praod tekivad pigem pealisele kihile ja ka otstesse. Pragude tekke ja suurenemise hindamisel kasutati visuaalset hindamist ja joonlauaga mõõtmist. Praod, mille pikkus oli rohkem kui 5 mm, loendati ning mõõdeti nende pikkus ja maksimaalne laius kasutades joonlauda. Iga katsekeha analüüsiti eraldi, mõõtmised teostati pinna peale tekkinud pragudele.

## **3 TULEMUSED JA ANALÜÜS**

### **3.1.1 Niiskus ja temperatuur**

Puidu vanandamiskatses kliimakambris jõuti järeldustele, et termotöödeldud puit on vastupidavam, kui töötlemata puit. Samuti täheldati, et niiskussisaldus on nii lüli kui ka maltspuidus võrdne kõigis termotöötamise faasides. Selles katses oli termotöödeldud puidu niiskussisaldus väiksem kui töötlemata puidul [33]. Antud uurimustöös need tulemused nii selgesti välja ei joonistunud graafikul. Küll võib täheldada, et hariliku kuuse näitajad on ühtlaselt madalamad ning hariliku tamme omad ühtlaselt kõrged. TMT kuuse näitajad kõiguvad. Puidu niiskussisaldus muutus vastavalt õhuniiskusele kõikides vahemikus 20-50%. Õhuniiskus kõikus tugevalt 26-100%-ni. Puidu niiskussisaldus sõltus õhuniiskusest, kuid ei muutunud nii järsku.

Temperatuuri graafikul on välja toodud TMT kuusk ning selle sisetemperatuuri sõltuvus õhutemperatuurist (Lisa 4-6). Graafikul on näha, et talvekuudel ja varakevadel on puidu sisetemperatuur on otseses sõltuvuses õhutemperatuuriga ning suuri erinevusi ei esine. Hiliskevadel terava päikese tõttu tekivad graafikule ka eripäraseid- TMT kuuse max temperatuur on kõrgem (27 °C) kui õhutemperatuur sellel hetkel (20°C). Seda sellepärast, et puit on halb soojusjuht.

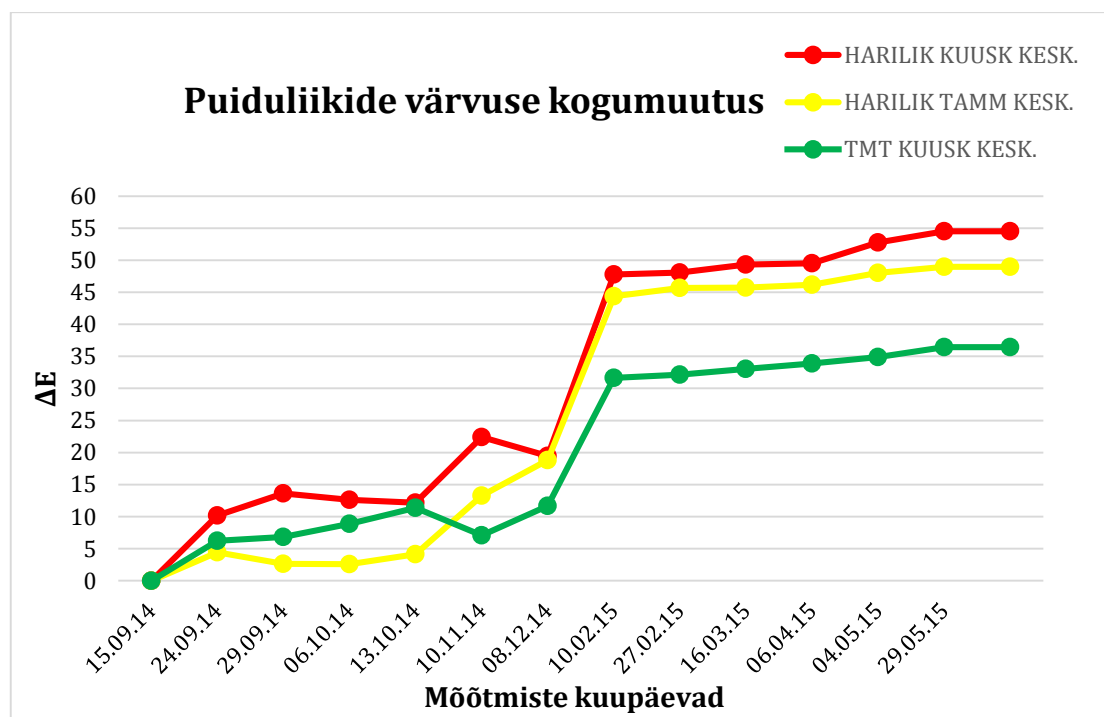
### **3.1.2 Värvuse muutus**

Joonisel 13 on välja toodud kõikide puiduliikide katsekehade värvustemuutuste keskmine tulemus. Nagu näha, on kõige suurem muutus toimunud harilikust kuusest valmistatud katsekehadel ulatudes väärtuseni 55 ühikut. Kõige väiksem muutus oli termotöödeldud (TMT) kuuse värvuses, mis muutus 36 ühiku võrra. Seda, et TMT

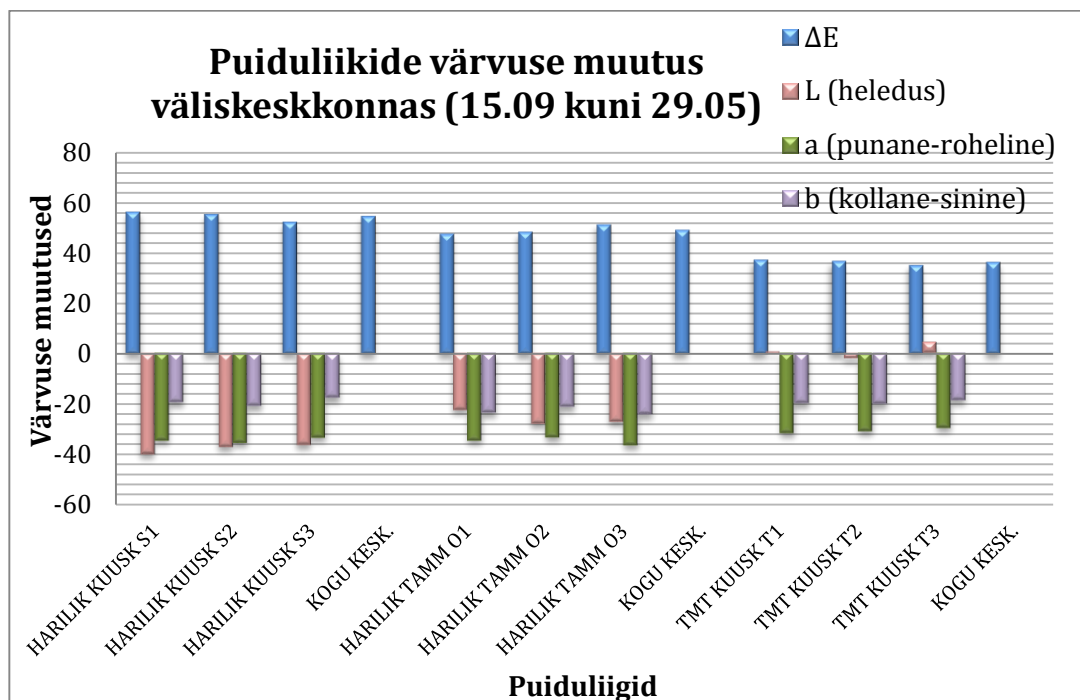
puit on vastupidavam värvuse muutuse suhtes, on tõestatud ka eelnevates uuringutes [29]

Võrreldes ülejäänud Euroopas saadud tulemustega [**Error! Reference source not found.**], on üleüldise keskmise tulemusega antud uurimustöö tulemus üpris sarnane. Pärast 12 nädalat väliskeskkonnas viibimist, tehti vahekokkuvõtte ning tulemuseks saadi, et Euroopa keskmised tulemused on järgmised:  $\Delta E = 20,3$  (harilik kuusk),  $\Delta E=16,9$  (harilik tamm) ja  $\Delta E=12,4$  (TMT kuusk). Antud uurimustöö tulemused olid:  $\Delta E = 19$  (harilik kuusk),  $\Delta E=19$  (harilik tamm) ja  $\Delta E= 12$  (TMT kuusk). Seega tulemused on üpris lähedased keskmise tulemusega.

Peale 9 kuulist katsetamist, tuleb selgelt välja, et kõige rohkem muutub hariliku kuuse värvus, sellele järgneb tamm ja kõige väiksem on termotöödeldud kuuse värvuse muutus. Seega, kuna termotöötlus kuivatab puidu enne, kui hallitused ja seened tekkida jõuavad, on TMT kuusk vastupidavam värvuse muutusele. Ainuke, milles TMT kuuse värvus oluliselt muutub on heledus. Jooniselt 14 on näha, et muutus on väike, kuid tegelikult pikema ajaperioodi järel toimub suurem helenemine. Kui harilik kuusk ja tamm pigem tumenevad, siis TMT kuusk, mis on alguses termotöötamise tõttu tumendab, hakkab UV kiirguse mõjul pleekima ja helenema. Mis tuleneb sellest, et ligniinid hakkavad UV kiirguse toimel puidus lagunema juba paari tunni jooksul väliskeskkonnas viibides.



Joonis 13. Puiduliikide värvuse kogumuutus



Joonis 14. Puiduliikide värvuse muutused

### 3.2 Hallitused ja seened

Hallituste ja seente hindamisel kasutati tabelit 6, mille järgi anti hinnangud. Antud uurimustöös tekkisid pinnale sinavust põhjustavad seened. Harilik kuusk ja tamm olid mõlemad üpris vastuvõtlikud seenele. Harilikule kuusele ja tammele tekkis sinavus juba peale 4 nädala möödumist väliskeskkonnas. Hinnang 1 tähendab, et tekkinud olid üksikud kolooniad mõõtmetega kuni 1,5x4 mm. Peale 12 nädalast väliskeskkonnas viibist on juba 1/3 pinnast kaetud plekkidega. Hinnang 3, mille nii harilik kuusk kui ka harilik tamm saavutasid 24 nädala jooksul, tähendab, et üle 1/3 pinnast on kaetud sinavusega. TMT kuusk oli vastupidav- alles 24.ndaks nädalaks tekkisid üksikud pisemad kolooniad. Vastupidavus tuleneb sellest, et TMT kuusest on seentele eluksvajalikud toitained töötlemise käigus kuumusega ära hävitatud. Tamm on



soonelise struktuuriga ja tulenevalt sellest liigub vesi väga kergesti laiali puidu raku seintesse.

**Tabel 9**

**Seente teke erinevatele puiduliikidele**

Puiduliik		algus	4 nädal	8 nädal	12 nädal	16 nädal	20 nädal	24 nädal
Harilik kuusk	Ülevalt	0	1	1	2	2	2	3
	Alt	0	1	1	2	2	2	2
TMT kuusk	Ülevalt	0	0	0	0	0	0	1
	Alt	0	0	0	0	0	0	1
Harilik tamm	Ülevalt	0	1	1	2	2	2	3
	Alt	0	1	1	2	2	2	3

### 3.3 Lõhed

Esimesed lõhed/praadid tekkisid peale 24 nädalat. 27.02.2014 teostatud mõõtmistel harilikul kuusel (katsekehad B1-B3) veel pragusid polnud tekkinud. TMT kuusel olid erinevused katsekehades. Katsekehadel B4 ja B5 oli kuni 5 pragu paksusega kuni 0,3 mm. Katsekehal B6 oli üle 10 prao läbimõõduga 0,3 mm. Harilikust tammest valmistatud katsekehadel ei olnud veel võimalik pragude teket hinnata, kuna pinna tekstuur oli ise väga praguline ning katsekeha B9 oli tangentsiaallõikes. 04.05.2015 mõõtmisel võis täheldada juba mõndade pragude tekkimist puidust katsekehale B3 kuid B1 ja B2 olid ikka veel pragunemata. B3-le olid tekkinud mõned pikemad praod pikkusega 10 kuni 31 mm ja paksusega 0,1 kuni 0,7 mm. Muudel katsekehadel oli juba oluliselt palju pragusid juurde tekkinud, mõõdud ulatusid kuni 60 mm ja paksused olid 0,2 kuni 0,6 mm. Viimasel mõõtmisel (29.05.2015) olid tekkinud ka üksikud pikemad ja paksemad praod katsekehadele B1 ja B2. TMT töödeldud kuuse pragunemine oli aeglasem võrreldes teiste katsekehade ja praod olid pigem peenikesed, kuid samas ulatusid kohati 80 mm-ni. Maikuu lõpuks oli tammest valmistatud katsekehade hindamine juba kergem, kuna olid tekkinud suuremad ja paksemad praod ning praoline tekstuur enam ei eksitanud hindajat. Pragusid oli igal

katsekehal üle 10ne pikkustega vahemikus 20 kuni 40 mm ning keskmise paksusega 3 mm. Seega võib järeldada, et kevadise päikese mõjul hakkas tamm kuivama ning pragunema. TMT kuust on termotöötlemise tõttu vastupidavam ning ei pragune nii tugevasti. Kuigi alguses tekkisid mõned praod, siis hiljem need väga palju ei suurenenud ning juurde ka ei tekkinud nii suur kogus kui võrrelda seda tammega. Termotöötlemine tagab puidule parema mõõtmete stabiilsuse [6]. Soomes tehtud bakalaaurusetöös täheldati, termiliselt töödeldud sitka kuusk praguneb sama palju kui töötlemata [34]. Antud uurimustöös saadi pigem vastupidine tulemus-termotöödeldud kuusk pragunes vähem. Lähtudes katsetuste kestusest võib oletada, et ka antud uurimustöös kasutatud katsekeha praguneb hilisemates etappides sama palju, kui töötlemata katsekehad.

### **3.3.1 Korrosioon**

Võrreldi roostevabast terasest ja tsingitud terasest kruvide vastupidavust. Roostevabast terasest kruvidele korrosiooni ei tekkinud mõõtmiste jooksul, va katsekehale B8. Mille puhul täheldati viimasel mõõtmisel, et kruvi teravikule oli tekkinud roostet. Antud katsekeha oli sisestatud harilikku tamme.

Tsingitud terasest kruvidele tekkis rooste juba peale 4 nädalat. Kui võrrelda erinevaid puite, siis kõige kiiremini ja rohkem korrodeerusid tamme sisestatud tsingitud terasest kruvid. Viimasel mõõtmisel (29.05.2015) saadi tulemused, et katsekehadesse B1-B6 sisestatud kruvid olid vastavalt standardis EN-152:2011 [28] toodud korrosiooni hindamisele hinnangult 3, mis tähendab, et 50-95% pinnast oli kaetud roostega. Ning harilikku tamme (katsekehad B7-B9) sisestatud tsingitud terasest kruvid olid üle 95% kaetud roostega (hinnang 4). Hariliku tamme sisestatud tsingiga kaetud kruvide tugevat korrodeerumist saab põhjendada puidu struktuuriga, mis praguline ning niiskus pääseb kergesti ligi kruvidele. Metallisoolad reageerivad puidus sisalduva tanniiniga, mis põhjustab puidu lagunemist ning kruvide korrodeerumist [9].

## KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli uurida erinevatest puiduliikidest valmistatud laua vastupidavust väliskeskkonnas. Töös analüüsiti saadud tulemusi lähtudes ilmastikust ning võrreldi teiste projektis osalenute tulemustega.

Antud töö koostamisel tehtud katsete põhjal eristub selgelt, et termotöödeldud kuusk on ilmastikuolude suhtes vastupidavam kui töötlemata puit. Värvuse muutus oli töödeldud puidul võrreldes töötlemata puiduga väiksem, pragusid tekkis vähem ning seente ja hallituste suhtes oli see samuti vastupidavam. Termotöödeldud kuusk oli isegi harilikust tammest paremate omadustega, mis on loetud palju vastupidavamaks puiduks kui kuusk. Hariliku kuuse ja tamme vahel väga suuri erinevusi polnud antud katse toimumise aja jooksul eriti märgata.

Lähtudes töö tulemustest, saab järeldada, et väliskeskkonnas tuleks eelistada töödeldud puitu, kuna loodusliku materjalina on puit üpris tundlik erinevate keskkonnategurite ja mikroorganismide suhtes. Termotöötlemine on vaid üheks võimaluseks, puitu võib katta ka erinevate õlide, värvide ja lakkidega, mis samuti parandavad vastupidavust. Tähelepanelik tuleks olla ka kinnituselementide valikul väliskeskkonnas tuleks kindlasti valida roostevabast terasest kruvid, kuna need ei ole nii tundlikud niiskuse suhtes, kui tsingitud terasest kruvid.

## SUMMARY

The purpose of this bachelor's thesis was to examine different wood species resistance in the outdoor environment. The examination is based on COST FB 1303 program which started in October 2014. COST (*European Cooperation in Science and Technology*) is an organization that is engaged in different researches in the fields of science and technology engaging various European countries.

In this study, wood moisture content, temperature and discolorisation were measured. Also wood decay, fungal attack, cracking and corrosion of wood fasteners (screws). All the results were compared to see the difference between different wood species. Test subjects were Norway spruce, English spruce and thermally modified spruce which were fastened with stainless steel and zinc-plated steel screws.

In the study following conclusions were made:

- Tables made of different wood species differ in appearance and also in its resistance in outdoor environment
- UV light exposure darkens lighter unmodified wood and bleaches thermally modified wood
- Thermal modification does not provide resistance from UV light
- TMT is more resistant to fungus and mold than unmodified wood
- Modified wood is more stable by its measurements- it does not expand or shrink as much as unmodified wood
- Thermal modification ensures better resistance to
- TMT does not crack as much as unmodified timber if you don't over process it
- In outdoor environment stainless steel screws are recommended

This study was conducted in 26 different places across Europe, therefore the author of this bachelor's thesis hopes that these results can be used for analysing and making conclusions of COST FB 1303 results. The author hopes that the study continues and a local wood test subject will soon be designed.

## KIRJANDUSE LOETELU

1. Saarman, E., Veibri, U. (2006). Puiduteadus: Vali Press OÜ.
2. ReSawn Timber co. [WWW] [https://resawntimberco.com/Reclaimed\\_Wood.html](https://resawntimberco.com/Reclaimed_Wood.html) (02.06.2015)
3. Feist W.C., Hon D.N.S. (1984). Chemistry of Weathering and Protection.
4. Feist, W.C. (1982). Structural Use of Wood in Adverse Environments. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
5. Schmidt, O. (2006). Wood and Tree Fungi. Springer.
6. Hill C.A.S. (2006). Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. John Wiley & Sons.
7. Emmler, R., Scheiding, W. (2007). Darker shades of wood: Thermally modified timber (TMT) as a new material for parquet floorings – European Coatings Journal (April), 106-111.
8. Srinivas, K., Pandey, K.K., (2012). Photodegradation of thermally modified wood. – Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology (117), 140–145
9. Madison, V. (2010) Wood Handbook. WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
10. Shmulsky, R., Jones, P.D. (2011) Forest Products & Wood Science. UK: John Wiley & Sons.
11. Skaar, C. (2012). Wood-Water Relations. Springer.
12. Rowell R.M.(ed.) (2005). Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press.
13. Ehitismükoloogia: Mikro-ehk hallitusseened [WWW] <http://mycology.ee/UserFiles/File/mikro-ehk%20hallitusseened.pdf> (02.06.2015)
14. Wood-decay fungus [WWW] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wood-decay\\_fungus](http://en.wikipedia.org/wiki/Wood-decay_fungus)
15. [WWW] <http://tdunc1yr.umwblogs.org/files/2008/11/wood-with-brown-rot-cell-walls-have-fragmented-from-forestopathologycfansumnedu.jpg> (02.06.2015)
16. Department of botany: White rot [WWW] <http://botit.botany.wisc.edu/Resources/Toms%20Fungi/Basidiomycota/Hymeno>

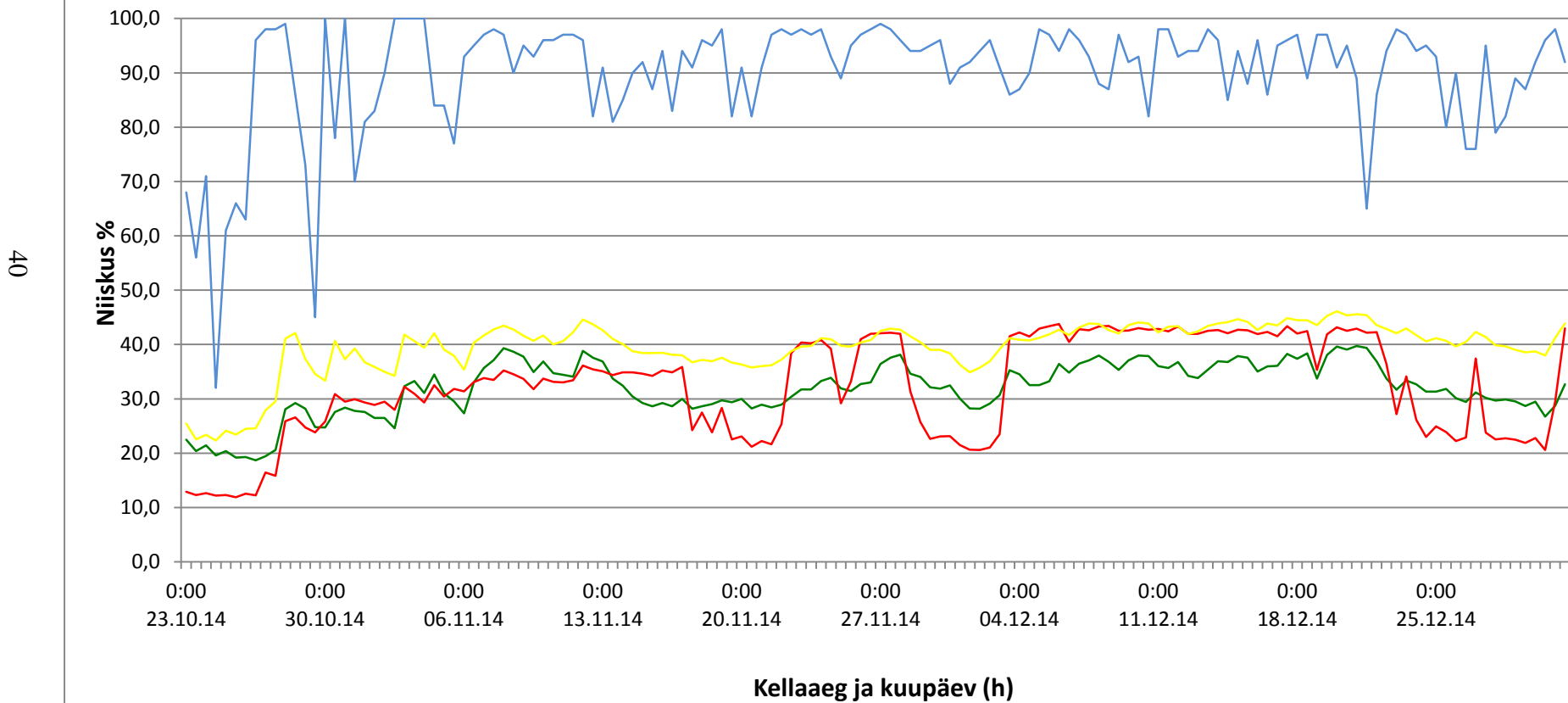
- mycetes/General\_--Wood\_rotters/White\_rot\_Stromatoscypha\_tjv.jpg.html  
(02.06.2015)
17. Treading into a Gray Area Along the Spectrum of Wood Decay Fungi [WWW]  
<http://jgi.doe.gov/treading-gray-area-along-spectrum-wood-decay-fungi/>  
(08.06.2015)
  18. Nitrogen cycling by wood decomposing soft-rot fungi in the “King Midas tomb,”  
Gordion, Turkey [WWW]  
<http://www.pnas.org/content/98/23/13346/F1.expansion.html> (08.06.2015)
  19. Feist, W.C. (1988). Outdoor Wood Weathering and Protection .U.S. Department  
of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI 53705-  
2398
  20. Bucur, V.(ed.) (2011). Delamination in Wood, Wood Products and Wood-Based  
Composites. Springer.
  21. Fastener Basics [WWW] [https://www.boltdepot.com/fastener-  
information/printable-tools/Fastener-Basics.pdf](https://www.boltdepot.com/fastener-information/printable-tools/Fastener-Basics.pdf) (15.05.2015)
  22. Bangash, M.Y.H. (2009). Structural Detailing in Timber - A Comparative Study  
of International Codes and Practices. Whittles Publishing
  23. CIE Lab [WWW] [http://www.bonne-mesure.com/cie\\_lab.php](http://www.bonne-mesure.com/cie_lab.php) (4.06.2015)
  24. Walker, J.C.F. (2006). Primary Wood Processing. Springer.
  25. Wood preservatives. (2014). Field test method for determining the relative  
protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. EVS-EN  
252:2014. Tallinn : Standardiamet.
  26. Müller, U., Rätzsch, M., Schwanninger, M., Steiner, M., Zöbl, H. (2003).  
Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. – Journal  
of Photochemistry and Photobiology B: Biology (69), 97–105
  27. Jermer, J., Andersson B-L (2005) Corrosion of fasteners in heattreated wood –  
progress report after two years’ exposure outdoors. The International Research  
Group on Wood Protection. Document- No. IRG/WP 0540296.
  28. Wood preservatives. (2011). Determination of the protective effectiveness of a  
preservative treatment against blue stain in wood in service - Laboratory method:  
Eesti standard EVS-EN 152-2011. Tallinn : Standardiamet.
  29. Humar, M., Brischke, C., Meyer, L., Jones, D., Thaler, N., Lesar, B., Žlahtič, M.  
COST FP 1303 Cooperative Performance Test- Status update [WWW]

[http://www.researchgate.net/publication/267538192\\_COST\\_FP\\_1303\\_Cooperative\\_Performance\\_Test\\_-\\_Status\\_update](http://www.researchgate.net/publication/267538192_COST_FP_1303_Cooperative_Performance_Test_-_Status_update) (08.06.2015)

30. The International Research Group on Wood Protection (2014). *Proceedings IRG Annual Meeting: The International Research Group on Wood Protection*
31. Tomaka, E.D., Ustaomerb, D., Yildizb, S., Pesman, E. (2014). Changes in surface and mechanical properties of heat treated wood during natural weathering- *Measurement* (53), 30-39
32. Pfriem, A. (2011). Alteration of Water Absorption Coefficient of Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) due to Thermal Modification
33. Metsä-Kortelainen, S., Pääjänen, L., Viitanen, H. (2011). Durability of thermally modified Norway spruce and Scots pine in above-ground conditions- *Wood Material Science and Engineering* (1), 1-7
34. Torvinen, P. (2010) Thermal modification of sitka spruce: bakalauresetöö. Lahti University of Applied Sciences, Soome.

# Puidu-ja õhuniiskus oktoober-detsember 2014

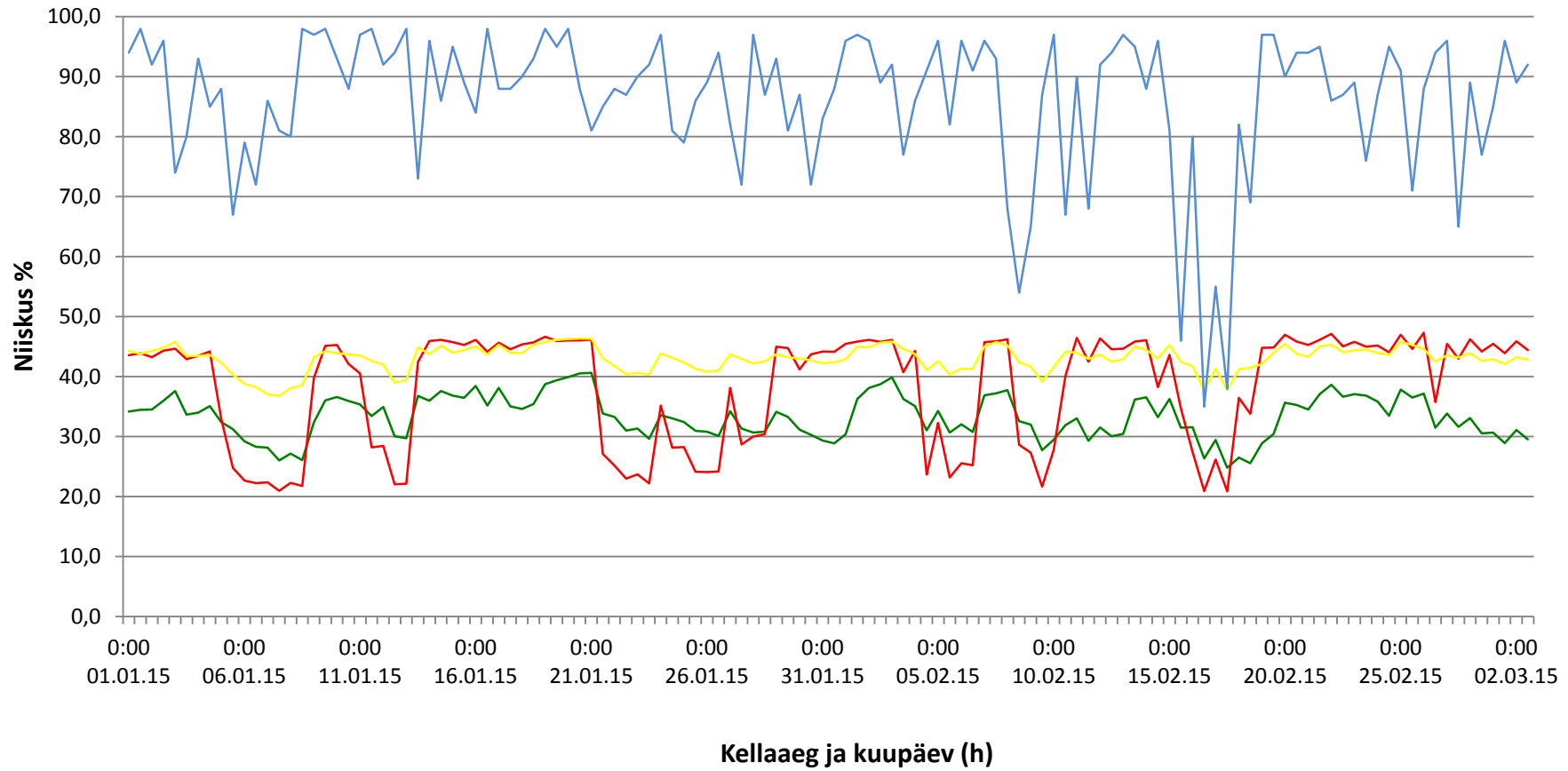
- HARILIK KUUSK
- TMT KUUSK
- HARILIK TAMM
- ÕHUNIISKUS





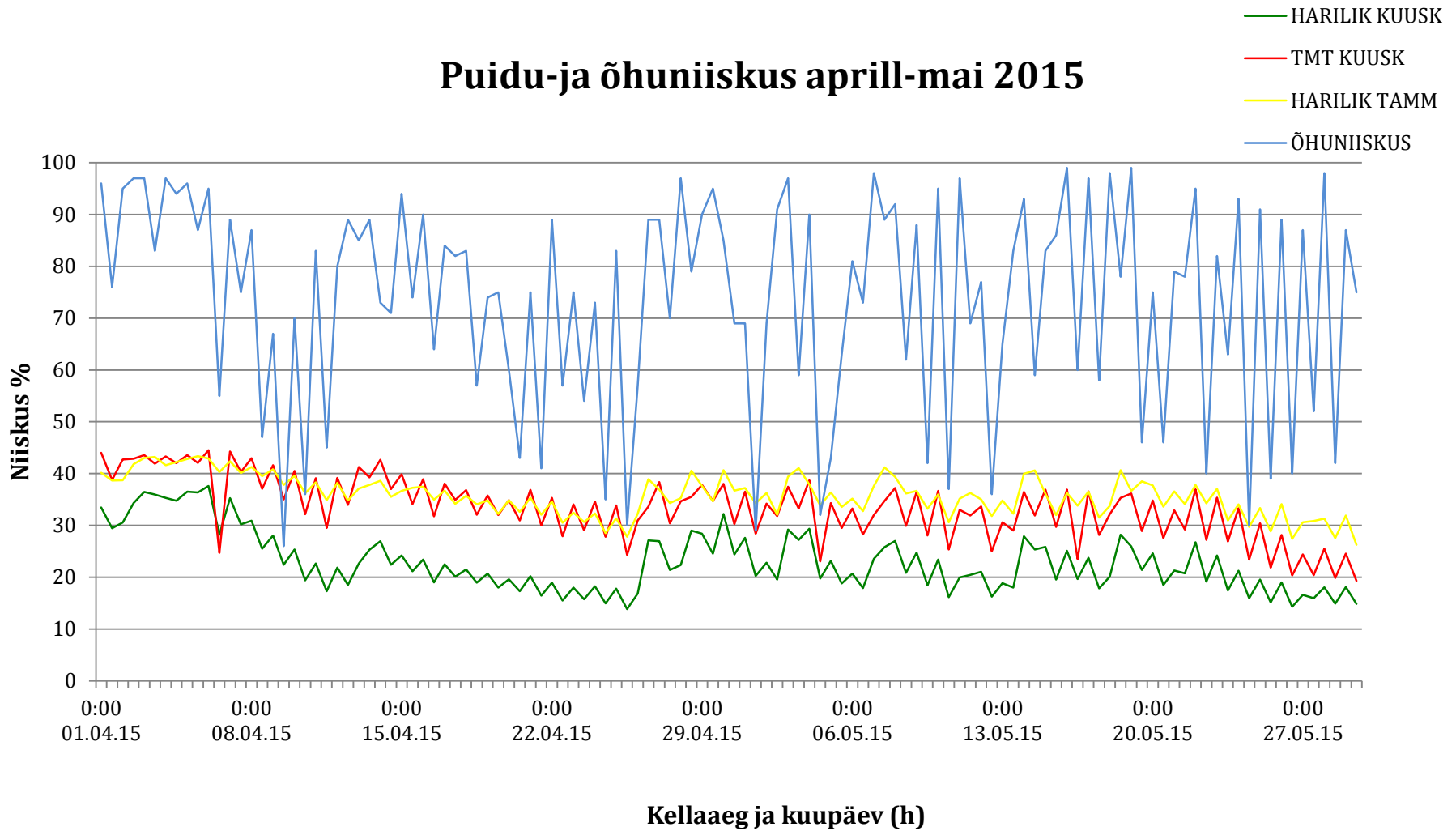
# Puidu-ja õhuniiskus jaanuar-märts 2015

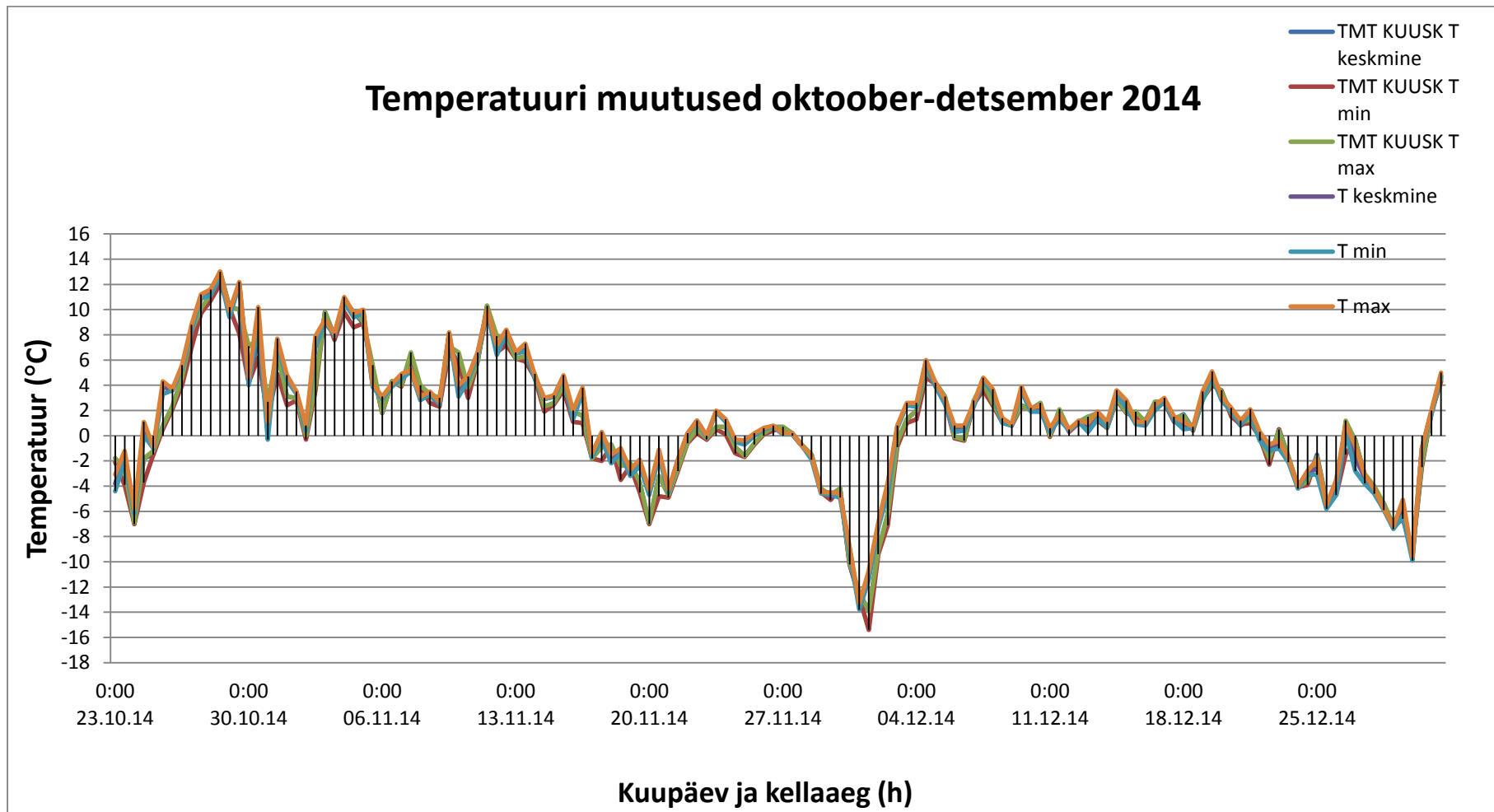
- HARILIK KUUSK
- TMT KUUSK
- HARILIK TAMM
- ÕHUNIISKUS



41

## Puidu-ja õhuniiskus aprill-mai 2015





## Temperatuuri muutused jaanuar-märts 2015

