

Fuktegenskaper hos trä med luftspalter

- Moisture properties of wood with air gaps



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggnadsmaterial

Examensarbete:
Niklas Olovsson

© Niklas Olovsson

Report 5127
ISRN LUTVDG/TVBM-23/5127-SE

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2022

Sammanfattning

Genom experimentell undersökning så analyserades fuktegenskaperna hos trä med luftspalter jämfört med massivt trä. Tre experiment utfördes; koppmetoden, kapilläruppsugningsförmåga och uttorkningsförsök. Ångpermeabiliteten visade sig vara högre i trä med luftspalter än i massiv gran. De två materialen var likvärdiga när det gällde uttorkningstiden och kapilläruppsugningshöjden. Arbetet omfattade också en litteraturstudie för att undersöka klimatpåverkan under den tidigare delen av en livscykelanalys. Här jämfördes trä med luftspalter med två andra träbaserade byggsystem: träregelvägg och korslimmat trä.

Nyckelord: Trä med luftspalter, korslimmat trä, koppmetoden, uttorkningsförsök, kapilläruppsugningförmåga, fuktegenskaper, trä, ångpermeabilitet

Abstract

An experimental study was performed where the moisture properties of wood with air gaps was compared to massive wood. The experimental part consisted of three experiments: the cup method, capillary absorption capacity and drying. The materials investigated in the experiments were wood with air gaps and solid spruce wood. The vapor permeability was higher in wood with air gaps than in solid wood. The two materials were equivalent in drying time and capillary suction height. In addition, a literature study was performed where the materials climate impact during the earlier part of the life cycle through a life cycle analysis was compared. Here, wood with air gaps was compared to stud walls and cross laminated timber.

Keywords: moisture properties, wood with air gaps, cross-laminated timber, cup method, drying test, capillary absorption capacity, water vapour permeability

Förord

Detta arbete är ett examensarbete för programmet Byggt teknik med arkitektur vid Campus Helsingborg/Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har utförts av Niklas Olovsson på distans med hjälp av Byggnadsmaterial, LTH. Handledare för arbetet var Maria Fredriksson och Lars Wadsö, Byggnadsmaterial, LTH. Examinator var Peter Johansson, Byggnadsmaterial, LTH.

Jag vill tacka mina handledare för ett underbart stöd och engagemang, och för all hjälp och vägledning ni har gett mig under arbetet. Tack till min examinator för ditt deltagande. Jag vill även tacka Håvard, Janina, Johan och Marja, IsoTimber AB, för att ha tillhandahållit material för de olika experimenten. Ett tack till Stefan Backe, Byggnadsmaterial, LTH, för all hjälp med materialhantering och utrustning inför proverna.

Sist men inte minst vill jag tacka min familj för det stora stöd ni har givit mig under mitt examensarbete och utbildning.

Definitioner och beteckningar

| | |
|---------------|---|
| δ_v | Ångpermeabilitet |
| v | Ånghalt |
| u | Fuktkvot |
| EPD | Miljövarudeklaration (Environmental product declaration) |
| LCA | Livscykelanalys (Life Cycle Analysis) |
| KL-trä | Korslimmat trä |
| BREEAM | Miljöcertifiering från Storbritannien (BRE Environmental Assessment Method) |
| Greenbuilding | Energicertifiering inom EU |
| LEED | Miljöcertifieringar från USA som används globalt |
| RF | Relativa luftfuktigheten |
| BBR | Boverkets byggregler |
| VIP | Vacuum insulated panel |

Innehållsförteckning

| | |
|---|-----------|
| Definitioner och beteckningar | 7 |
| 1 Inledning | 11 |
| 1.1 Syfte..... | 12 |
| 1.2 Frågeställningar | 12 |
| 1.3 Avgränsningar | 12 |
| 2 Bakgrund om trä som byggmaterial | 13 |
| 2.1 Trä..... | 13 |
| 2.2 Byggsystem | 14 |
| 2.2.1 Träregelvägg | 14 |
| 2.2.2 Korslimmat trä | 14 |
| 2.2.3 Byggsystem med luftspalt..... | 15 |
| 3 Litteraturstudie | 16 |
| 3.1 Trä och dess egenskaper | 16 |
| 3.2 Trä som byggmaterial..... | 20 |
| 3.3 Negativ fuktpåverkan i byggsystem | 21 |
| 3.4 Byggsystem | 21 |
| 3.4.1 IsoTimber | 21 |
| 3.4.2 Korslimmat trä (KL-trä) | 22 |
| 3.5 Livscykelanalysjämförelse..... | 22 |
| 3.6 Miljöstudie | 25 |
| 4 Metod | 26 |
| 4.1 Koppmetoden..... | 26 |
| 4.1.1 Material | 27 |
| 4.1.2 Utförande | 27 |
| 4.1.3 Utvärdering..... | 29 |
| 4.2 Kapilläruppsugningsförmåga | 31 |
| 4.2.1 Material | 32 |
| 4.2.2 Utförande | 32 |
| 4.2.3 Utvärdering..... | 33 |
| 4.3 Uttorkningsförsök..... | 33 |
| 4.3.1 Material | 34 |
| 4.3.2 Utförande | 34 |
| 4.3.3 Utvärdering..... | 34 |
| 5 Resultat och diskussion | 35 |
| 5.1 Koppmetoden..... | 35 |
| 5.1.1 Diskussion för koppmetoden | 40 |
| 5.2 Kapilläruppsugningsförmåga | 42 |
| 5.2.1 Diskussion Kapilläruppsugningsförmåga | 44 |
| 5.3 Uttorkningsförsök..... | 45 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3.1 Diskussion för Uttorkningsförsöket | 46 |
| 6 Slutsats | 47 |
| 7 Referenser | 48 |
| 8 Appendix | 50 |

1 Inledning

Kraven och kunskapen om hur olika byggnadsmaterial och byggtekniker påverkar miljön ökar. En typ av krav som sätter stor press på byggindustrin är att ha miljövänliga hus som samtidigt är energieffektiva. Miljöcertifieringar som Miljöbyggnad, BREEAM, GreenBuilding och LEED är några av de verktyg som idag används i Sverige för att bedöma en byggnads miljöpåverkan (Boverket, 2018).

För att möta de högre miljökraven kommer allt fler alternativa byggtekniker och material ut på marknaden. Några exempel på nya material är VIP-vacuum insulated panel som är en tunnare isolering jämfört med det konventionella mineralull med samma U-värde. Pappersregel är ett annat nytt byggmaterial som släpper ut mindre koldioxid än en stålregel och på grund av att pappersregeln är ihålig är den också väldigt lätt.

IsoTimber har ett byggsystem som är tänkt att vara både miljövänligt och energieffektivt. Byggsystemet är uppbyggt av träreglar med luftspalter. Konventionella byggsystem, däribland träregelväggar, brukar bestå av både plastfolie och mineralullsisolering, men IsoTimbers byggsystem består nästintill enbart av trä. Att bygga med trä kan framstå som en positiv förändring ur miljösynpunkt. Dock är en nackdel att trä är väldigt fuktkänsligt (Boverket 2018). Att använda ett byggsystem med ett isolerande skikt av luftspalter eliminerar mineralullsisolering och plast från byggsystemet. Dock är det viktigt att verifiera hur byggsystemet påverkas av fukt.

1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur ett byggsystem med luftspalt klarar av olika fuktförhållanden såsom hög luftfuktighet, kapilläruppsugningsförmåga och hur lång tid det tar för materialet att torka ut efter uppfuktning.

Syftet är även att göra en litteraturstudie som ger en översikt av de olika byggsystemens miljöpåverkan för att skapa en uppfattning hur byggsystemen förhåller sig till varandra ur miljösynpunkt.

1.2 Frågeställningar

- Vilka fuktegenskaper har IsoTimber byggsystem?
- Hur förhåller sig dessa fuktegenskaper till andra konkurrerande trä byggsystem?
- Kan IsoTimbers byggsystem anses vara ett miljömässigt fördelaktigt val i jämförelse med andra träbaserade byggsystem?

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet inriktade sig på träväggar och utesluter därmed andra typer av byggsystem och väggmaterial. I litteraturstudien där en miljöbedömning gjordes har tre olika byggsystem jämförts. IsoTimbers byggsystem med luftspalter i reglarna, träregelstomme med mellanliggande mineralullsisolering och en vägg av KL-trä med tilläggsisolering. I försöken där fuktegenskaper mättes har trä med luftspalter (IsoTimber) samt massiv gran använts.

2 Bakgrund om trä som byggmaterial

2.1 Trä

I det skogsrika Sverige har kunskapen om trä förvaltats genom generationer. En kunskap som har byggts upp under många år av skogsskötsel och virkeshantering. Genom variationen av träslag växte det fram flera olika byggsystem. De långa furorna lades ovan på varandra och bildade timmerhus medan lövträdens kortare stammar användes till skiftesverks- eller korsvirkeshus (Thörnqvist, 2008).

Under 1800-talets urbanisering gick människor från att bo på landet till att bo i städerna. Längs med de smala gatorna var det först låga hus, men ju fler människor som flyttade in i städerna desto högre byggdes husen. Kombinationen av höga trähus och trånga gator ledde till en större spridning vid brand. År 1888 var det en stor brand i Sundsvall där nästan hela staden brann ner. Efter detta beslutades det om ett förbud mot trähus med fler än tre våningar (en våning med sten och två våningar med trä) (Fridholm, u.å).

Först år 1994 upphävdes förbudet i samband med att Sverige gick med i Europeiska Unionen. Det var då Boverkets byggregler skapades (BBR) och förbudet mot materialval ändrades till ett funktionskrav. Det vill säga att så länge som konstruktionen klarar av de funktionskrav som ställs så kan man bygga med vilket material som helst och utan höjdbegränsning. Ett exempel på funktionskrav är att det måste finnas en brandavskiljande vägg mellan lägenheter som klarar en brand i 60 minuter (EI60) (Boverkets byggregler 2011:6).

Parisavtalet från 2015 innebar att världens länder kom överens om att hålla nere utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser. Gränsen som valdes var att den globala uppvärmningen inte får höjas mer än 1,5 °C. Det sattes både lång- och kortsiktiga mål, där EU kortsiktigt gick med på att minska sina utsläpp med 55% till år 2030 jämfört med år 1990. Sverige är en del av EU och omfattas därmed av den begränsningen (Naturvårdsverket, u.å).

Ett sätt att sänka koldioxidutsläppen är att välja förnybara material. Trä är ett material som faller in i den förnybara materialkategorin. När ett träd har sågats ner för att användas som material ger det möjligheten för nya träd att växa upp på den platsen. Träd som växer binder koldioxid från luften med hjälp av fotosyntes och är därmed en del av kolets kretslopp. Kolet förblir bundet i träet under materialets livslängd och frigörs först vid energiåtervinning

(Fridholm, u.å). Genom återanvändning av materialet förskjuts frigörelsen av kolet ytterligare en längre tid tills virket har uppfyllt sitt syfte.

Av Sveriges nuvarande mark består mer än $\frac{2}{3}$ av skogsmark. Skogsmarken består av 85,5% produktiv skogsmark, där furu och gran är träslagen som dominerar med en andel av 40% vardera (Nilsson m.fl. 2020).

2.2 Byggsystem

Det finns många olika byggsystem, men då fokus i detta arbete ligger på byggsystem som är utav trä så beskrivs nedan de tre träbaserade byggsystem som inkluderats i det här examensarbetet.

2.2.1 Träregelevägg

En träregelevägg består av flera olika skikt där en enkel vägg är uppbyggd med stående reglar med mineralull mellan. På insidan monteras plastfolie och gipsskivor. Plastfolien med kompletterande tejp i skarvar gör att väggen blir lufttät och minskar fukttransport genom väggen (Sandin, 2007). På utsidan av reglarna sitter ett vindskydd, luftspalt och ytterbeklädnad (Sandin, 2007). Enligt Sandin (2007) är en träregelevägg ett bra exempel på en konstruktion där de olika byggnadsfysikaliska kraven uppfylls med ett skikt för varje krav.

Träregelevägg är en av de mest förekommande väggtyperna i småhus och där träreglarna utgör den bärande delen. I större byggnader används de som en utfackningsvägg (Sandin, 2007). Eftersom väggen består av flera skikt kan återvinning vara svårare.

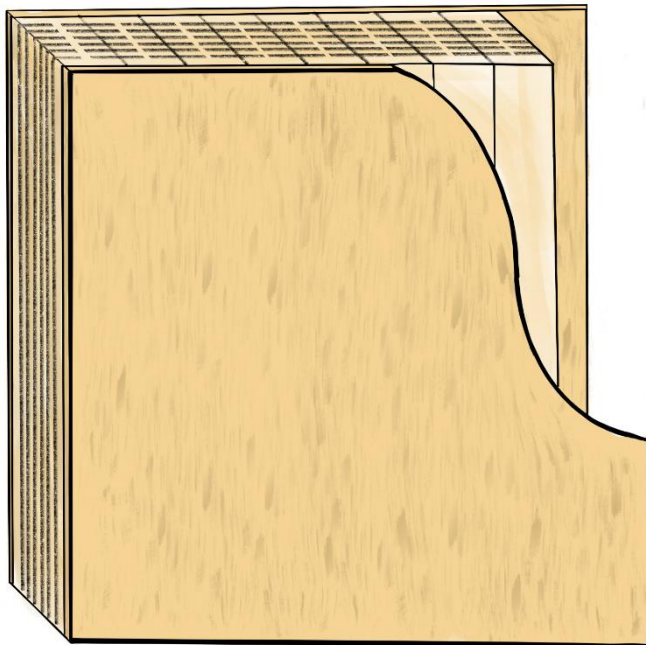
2.2.2 Korslimmat trä

Korslimmat trä (KL-trä) har sin början på det tidiga 1990-talet då förslag presenterades i Europa, men användes först i Sverige i början på 2000-talet. Därefter har KL-trä blivit ett populärt byggmaterial på grund av dess egenskaper däribland dess höga hållfasthet. KL-trä är inte ett komplett byggsystem, utan är en byggstomme som kompletteras med tilläggsisolering, luftspalt och fasadskikt. Fördelen med byggsystem som baseras på KL-trä är avsaknad av plast samt att större delar består av trä.

2.2.3 Byggsystem med luftspalt

IsoTimber är ett företag beläget i Östersund och de har patent på ett byggsystem med luftspalter. Byggsystemet är uppbyggt av stående reglar med utanpåliggande plywoodskivor (se Figur 1). De stående reglarna har sågade luftspalter som bildar ett isolerande skikt enligt lager på lager-principen. Eftersom IsoTimbers byggsystem till större delen består av trä som är ett diffusionsöppet material behövs inte heller byggsystemet tätas med plastfolie som är ett diffusionstätt material.

IsoTimbers byggsystem anpassas efter kundens ritningar och utskärning för fönster och annat görs med millimeterprecision. IsoTimbers byggsystem behöver kompletteras på utsidan med luftspalt och fasadskikt. Vid behov av en högre bärförmåga monteras KL-trä på insidan av väggelementet.



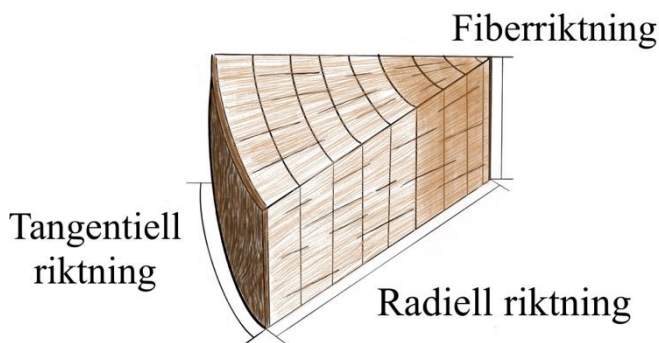
Figur 1. IsoTimber byggsystem.

3 Litteraturstudie

3.1 Trä och dess egenskaper

Träets materialegenskaper påverkas till stor del av trädets förutsättningar på växtplatsen. Störningar i träets struktur och fel i virket är inte ovanligt. Det beror ofta på kvistar och ansamlingar av kåda och bark. Stora torksprickor kan bero av felbehandling av virket under torktiden och är då ett tillverkningsfel, små sprickor kan förekomma under växttiden. Fiberstörningar medför en stor variation av materialegenskaperna även inom samma träslag, till och med inom ett och samma träd (Burström, 2007). Snedfibrighet är en av störningarna och det kan bero på att trädet har vridit sig under växtperioden eller att träet inte sågades parallellt med mörgen. Runt varje kvist blir det fiberstörning med en negativ påverkan av hållfastheten.

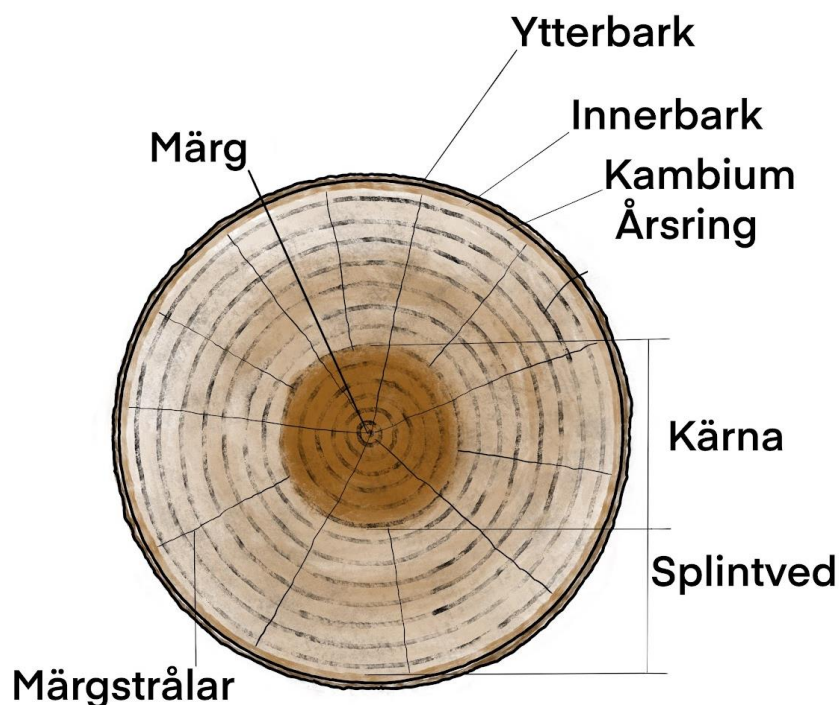
Trä är ett anisotrop material vilket innebär att när det görs undersökningar av materialegenskaper måste det skiljas på vilken av de tre riktningarna det gäller: fiberriktning, radiell riktning eller tangentiell riktning. Dessa tre riktningar (se Figur 2) är vinkelräta mot varandra; fiberriktningen följer stammens längdriktning, radiell riktning är den som är vinkelrätt mot årsringarna och tangentiell riktning är den som är parallell med årsringarna.



Figur 2. Träs tre strukturella riktningar.

En av uppgifterna för trädets stam är att transportera vatten och näring mellan roten och trädets krona. I genomskärning kan man se stammens tre delar: mörgen, veden och barken. I centrum av stammen finns mörgen och den är omsluten av veden, som är den del av stammen som innehåller årsringarna. Den är ofta indelad i två delar: kärnved och splintved. Kärnved innehåller inga levande celler och börjar först bildas när trädet är runt 30 år och är resultatet av blockerade transportvägar. På grund av de blockerade transportvägarna får kärnan långsammare fuktupptagning och mindre fuktrörelser än splintveden. Kärnan är inte alltid synlig utan det beror på vilket trädslag och vilka egenskaper de har att lagra extraktivämnena. Extraktivämnena gör ibland att området blir mörkare och vissa extraktivämnena är fungicider och gör att kärnveden får en bättre beständighet mot svampangrepp.

Vid en genomskärning av stammen syns årsringarna som speglar ett trädets ålder. Årsringarna skapas då trädet växer under våren och sommaren. En årsring består av en del vårved som har uppkommit under vårens växtperiod och del sommarved som har uppkommit under sommarens växtperiod. Cellerna som skapas under våren har tunna väggar som underlättar för vätsketransport, medan cellerna som bildas under sommaren får tjockare cellväggar. Storleken på vår- och sommarved beror på växtförutsättningar och om det är barr- eller lövträd (Burström, 2007).

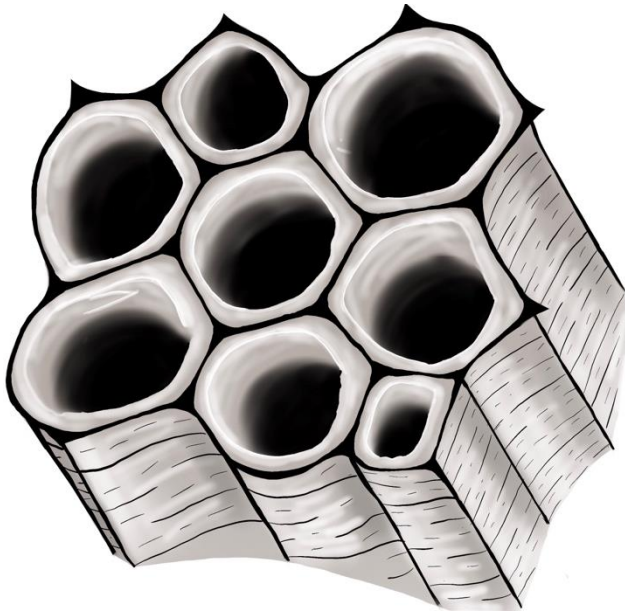


Figur 3. En trädstam i genomskärning.

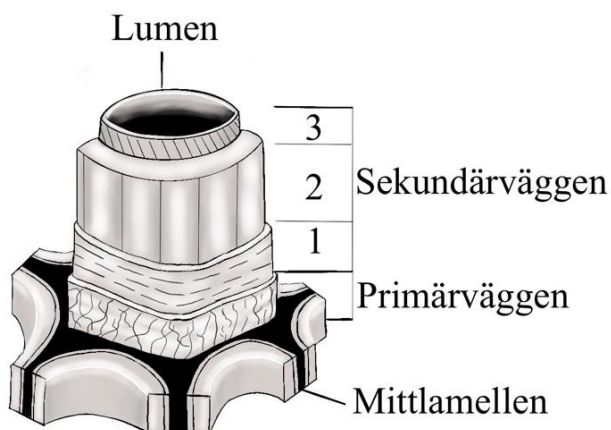
Transport av näring sker på olika sätt beroende på var näringen kommer ifrån och om det är barr- eller lövträd. Kommer näringen från rötterna sker det hos barrträden i celler som heter trakeider. Näringstransport horisontellt sker med hjälp av märkestrålar som är kanaler som går från innerbarken och in mot kärnan. I barrträdens ved finns det hartskanaler vars uppgift är att läcka ut harts för att skydda trädet vid skada. Lagring och transport av ämnen som vatten och mineraler är några av splintvedens främsta uppgifter. Även om kärnveden och splintveden skiljer sig ur fuktperspektiv finns det inga skillnader i hållfastheten (Burström, 2007).

Ytterst på stammen finns barken vars uppgift är att skydda träet mot faror. Barken kan delas upp i två delar, ytterbarken som består av döda celler och innerbarken som består av levande celler vars uppgift är att transportera näring från trädkronan (Burström, 2007). Trädet växer genom celldelning i ett skikt som heter kambium som finns mellan barken och veden (Burström, 2007). Genom celldelningen bildas nya celler som antingen blir vedceller eller barkceller. När stammens storlek ökar i omkrets blir även en del av de nya cellerna från celldelningen kambiumceller.

En granskning av veden på mikroskopisk nivå visar att veden huvudsakligen är uppbyggt av långa celler i stammens riktning. Cellerna är en typ av fibrer och de har en ihålig struktur, tillsammans kan de liknas med en rörbunt (se Figur 4). Cellväggen är uppbyggd av fyra delar: primärväggen och tre sekundärväggar. Primärväggen är det yttersta skiktet som sitter ihop med andra cellers primärväggar genom mittlameller. Mittlamellerna består mestadels av lignin. De tre sekundärväggarna sitter på insidan av primärväggen och de består huvudsakligen av cellulosa och hemicellulosa som är olika typer av kolhydrater samt lignin som är en serie av polymera aromatiska föreningar (Burström, 2007). De angränsande cellernas hål utrymmen (lumen) är förbundna med ringporer (Burström, 2007).



Figur 4. Flera celler som sitter tillsammans med hjälp av mittlamellen.



Figur 5. En enkel trakeidcell och dess väggar; Primärväggen och sekundärväggen (skikt 1, 2 och 3).

Veden i alla träd består i stort sett av samma sorts molekyler (cellulosa, hemicellulosa och lignin). Det medför att kompaktdensiteten av trä är ganska oberoende av trädslag (1500 kg/m³). Däremot varierar skrymdensiteten efter trädslag och därmed också dess porositet (Burström, 2007). Skrymdensiteten definieras normalt som massan i förhållande till volymen när materialet är helt torrt. I verkligheten är det inte så utan den verkliga densiteten är starkt beroende av fuktkvoten i träet. I trä lagras vattnet i cellernas väggar och hålrum. Upp till en fuktkvot på ca 30% lagras vattnet i cellväggarna och det är under intervallet 0-30% fuktkvot som det sker störst fuktbetingade rörelser (svällning och krympning). Över ca 30% fuktkvot börjar vatten också lagras i cellernas hålrum. Övergången sker då träet har nått fibermättnadspunkten.

På grund av den anisotropa uppbyggnaden av trä sker uttorkning med olika hastigheter beroende på vilken riktning. Hastigheten är tjugo gånger högre i fiberriktningen än i tangentiell riktning och två gånger så snabb i radiell riktning jämfört med den tangentiella riktningen (Burström, 2007). Att det är en högre hastighet i fiberriktningen beror på att hålrummen i cellerna är längsgående i fiberriktningen, medan de andra riktningarna har fler cellväggar som fukten ska transporteras igenom. Under uttorkning deformeras träet olika beroende på stammen och hur de är utsågade, enligt Burström (2007) är en minnesregel att vid uttorkning strävar årsringarna att "räta ut sig". Vid uppsugning blir det omvänt och årsringarna vill då kröka sig. Kapillär uppsugning av vatten i träet sker lättast i fiberriktningen och speglar förhållandet i de olika riktningarna i uttorkningen (20:2:1) (Burström, 2007).

Naturen strävar efter att uppnå jämvikt, vilket också stämmer gällande fukt. När ett materials omgivning är fuktigare än materialet kommer materialet att börja absorbera fukt för att uppnå jämvikt. Genom en sorptionskurva kan jämvikts fuktkvoten för ett material läsas av som funktion av relativ fuktighet (Arfvidsson m.fl, 2017).

Ångtransport i luften sker antingen genom fuktkonvektion eller diffusion. Fuktkonvektion är när fukt transporteras med hjälp av luft som är i rörelse. Diffusion innebär att transport sker på grund av en potentialskillnad, till exempel på grund av en skillnad i ånghalt (Burström, 2007). Fukttransport är viktigt att ta hänsyn till eftersom en temperaturskillnad kan göra att fukten kyls ner när den transporteras genom väggen vilket kan leda till att fukten övergår från ångstadie till vätskefas, d.v.s. kondenserar. Det är viktigt att försäkra sig om att detta inte sker eftersom det kan ge upphov till fuktskador.

3.2 Trä som byggmaterial

Träets användning är mångsidig när det kommer till byggbranschen. Det förekommer som byggsystem, isolering, väggars ytbeklädnad både inom- och utomhus, golv, olika sorters skivor mm (Burström, 2007).

Som för många andra byggmaterial kan även dessa utsättas för fukt och det sker på flera olika sätt där de vanligaste är nederbörd, luftfukt utomhus, markfukt, byggfukt, läckage, fuktproduktion (Arfvidsson m.fl, 2017).

3.3 Negativ fuktpåverkan i byggsystem

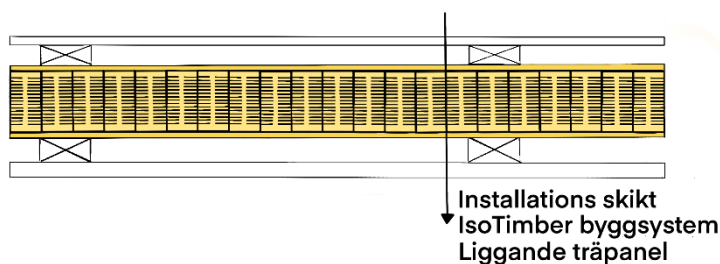
Enligt Sandin (2010) anses uppemot 80% av alla byggnadsskador vara fuktrelaterade. Alla fuktskador är dock inte synliga som till exempel en fuktfläck utan kan vara en lukt av mögel och bakterier (Arfvidsson m.fl, 2017). Hållfastheten på materialet påverkas bland annat genom rötsvampsangrepp vilket leder till hållfasthetsreduktion. Samt sämre värmeisolerande egenskaper och att dimensionen på materialet förändras (Sandin, 2010).

För att det ska vara ett behagligt inomhusklimat är det viktigt att varken ha för torr eller fuktig luft. Negativ fuktpåverkan det vill säga för fuktigt inomhusklimat kan leda till mögel.

3.4 Byggsystem

3.4.1 IsoTimber

IsoTimbers byggsystem kan användas till olika sorters byggnationer. Exempelvis till småhus och lägenhetsavskiljande väggar. Själva byggsystemet är uppbyggt av stående regler med ursågade luftspalter som hålls samman med plywood-skivor på in- och utsida. Massiva regler är fästa som en kant runt om väggblocket. På utsidan kompletteras det med en luftspalt med valfritt fasadskikt och förslagsvis på insidan ett installationsskikt. I Figur 6 visas en utskärning på en variant av IsoTimbers byggsystem.



Figur 6. IsoTimber.

Då IsoTimber byggsystem anländer som hela element innebär det att stommen relativt snabbt ska kunna resas. Rekommendationen från IsoTimber är att ha väderskydd eller att göra byggnaden vädertålig i samband med leverans av elementen. Allt detta för att förhindra fuktpåverkan i byggfasen.

3.4.2 Korslimmat trä (KL-trä)

KL-trä är uppbyggt av flera skikt av träskivor som har limmats vinkelrätt ovanpå varandra (se Figur 7). Genom att fiberriktningen är vinkelrät mot ovanliggande och underliggande skikt ökas hållfastheten i KL-trä, på grund av träs egenskaper i fiberriktning och utspädning av eventuella fiberstörningar. Tjockleken av skivorna påverkar även hållfastheten genom andelen deformation och kvistar. Skivorna som utgör KL-trä kan förekomma i flera olika dimensioner vilket ökar användningsområdet. Då trä är känsligt för fukt rekommenderas det att skydda konstruktionen under uppbyggnadsfasen vid användning KL-trä byggsystem då de består av större delen trä.



Figur 7. Schematisk bild som visar uppbyggnaden av KL-trä.

3.5 Livscykelanalysjämförelse

En livscykelanalys (LCA) möjliggör en jämförelse av miljöpåverkan mellan olika metoder och byggmaterial (Boverket 2018). Det finns flera olika metoder för att göra en LCA. LCA har flertalet stadier med delmoment, som kan ses i Figur 8 så är det indelade i A-D. A beskriver konstruktions- och monteringsstadier med fem delmoment. Användningsfasen av ett material är B-stadiet, C vid slutet av ett materials användande och D beskriver hur det hanteras efteråt; återbruk, materialåtervinning eller energiåtervinning.

| LCA Stages | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|---------------|----------------|--------------|-----------|-------------|--------|-------------|---------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Product stage | | | Assembly stage | | Use stage | | | | | | | End of life stage | | | Beyond the system boundaries | |
| Raw material | Transport | Manufacturing | Transport | Installation | Use | Maintenance | Repair | Replacement | Refurbishment | Operational energy use | Operational Water use | De-construction/demolition | Transport | Waste processing | Disposal | Reuse-Recovery-Recycling-potential |
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D |

Figur 8. A-D är de livscykelstadier som analyseras vid en LCA.

Den LCA jämförelse som gjorts i detta arbete är baserat på följande:

- EPD för korslimmat trä (Södra skogsägarna ekonomisk förening, 2020)
- Miljöbedömning för IsoTimber som jämfördes med träregelvägg (Östberg, 2012)

Jämförelsen blir dock inte helt rättvis eftersom EPD:n för korslimmat trä håller standarden av EN15804 (Södra skogsägarna ekonomisk förening, 2020), vilket inte miljöbedömningen för IsoTimber gör. Miljöbedömningen för IsoTimber är utförd med hjälp av Jergelius modellen (Östberg, 2012). Miljöbedömningen jämför IsoTimber med en träregelvägg medan EPD:n analyserar KL-trä utefter en standard. Det optimala hade varit att analysera och jämföra två EPD:er men då det finns en avsaknad av EPD för IsoTimber så genomförs analysen baserat på dessa två dokument.

Miljöbedömningen skriven av Östberg (2012) var beställd av IsoTimber. Se Figur 9 nedan där de grönmarkerade delarna visar vad som inkluderades i miljöbedömningen. IsoTimber hade inte funnits tillräckligt länge för att kunna testas hur det beter sig i senare delar av en livscykel varav C1-D stadierna uteslöts.

| LCA Stages | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|---------------|----------------|--------------|-----------|-------------|--------|-------------|---------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|------------------|----------|------------------------------------|
| Product stage | | | Assembly stage | | Use stage | | | | | | | End of life stage | | | | Beyond the system boundaries |
| Raw material | Transport | Manufacturing | Transport | Installation | Use | Maintenance | Repair | Replacement | Refurbishment | Operational energy use | Operational Water use | De-construction demolition | Transport | Waste processing | Disposal | Reuse-Recovery-Recycling-Potential |
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D |

Figur 9. Översikt över de olika delarna i en LCA. De grönmarkerade delarna är de stadier som inkluderades i miljöbedömningen för IsoTimber.

När IsoTimber granskas genom en förenklad livscykelanalys (Östberg, 2012) så kan det påvisas att IsoTimber har ett större miljöavtryck än träregelvägg i tillverkningsfasen. Det stora miljöavtrycket är på grund av skapandet av element som är så pass stora bidrar till mycket restmaterial. Tillvaratagande av spill vid produktion och senare minskad användning av plast och mineralull kompenserar dock den betungande tillverkningsfasen och i slutändan ha en positiv koldioxidbelastning (Östberg, 2012).

IsoTimber anses i miljöbedömningen (Östberg, 2012) att ha hög miljöprestanda och med liten miljöpåverkan så länge utvinning av råvara sker på ett hållbart sätt med skogens välmående i åtanke. Detta är i jämförelse med en träregelvägg. Då det visar att koldioxidbelastningen är lägre vid produktion av IsoTimber byggsystem. Sett från “product stage” (se Figur 9) så betyder det att IsoTimber utifrån miljöperspektiv är ett bra val.

I EPD:n för korslimmat trä (Södra skogsägarna ekonomisk förening, 2020) görs en miljövarudeklaration för materialet KL-trä. KL-trä anses ha en relativt liten miljöpåverkan med i åtanke hur hela flödet ser ut. Även här användes spillmaterial till energi tillbaka in i produktionen. EPD:n inkluderade A1-A4, C1-C3 och D (se de grönmarkerade delarna i Figur 10).

| LCA Stages | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|---------------|----------------|--------------|-----------|-------------|--------|-------------|---------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|------------------|----------|------------------------------------|
| Product stage | | | Assembly stage | | Use stage | | | | | | | End of life stage | | | | Beyond the system boundaries |
| Raw material | Transport | Manufacturing | Transport | Installation | Use | Maintenance | Repair | Replacement | Refurbishment | Operational energy use | Operational Water use | De-construction demolition | Transport | Waste processing | Disposal | Reuse-Recovery-Recycling-Potential |
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D |

Figur 10. Översikt över de olika delarna i en LCA. De grönmarkerade delarna är de stadier som inkluderades i EPD för KL-trä.

Att använda förnybar energi i produktionen antyder till ett positivt produktions stadie. De senare stegen i livscykeln såsom C och D där man går mot slutfasen av ett materials livscykel tyder på att korslimmat trä har fördelar. Såsom att det kan återvinnas och forslas bort i större förmåga än när många material är blandade så som en träregelvägg.

Dock avgränsades EPD från att inte göra en bedömning av koldioxidbelastning vilket gör det svårt att bedöma om det är fördelaktigt mot mer traditionella byggsystem i den aspekten.

3.6 Miljöstudie

Enligt 3.5 Livscykelanalysjämförelse gav det intrycket att både KL-trä och IsoTimber är ett bra miljöval. Det kunde påvisas en lägre koldioxidbelastning för IsoTimber än en traditionell träregelvägg, när det kommer till de tidigare stadierna av livscykeln. Det går dock ej att dra några slutgiltiga slutsatser på den heltäckande miljöpåverkan på grund av bristen av information i slutskedet.

En viktig del och en stor påverkan i en livscykelanalys är användandet av produkten. Vilket antas i det här arbetet att de inte skiljas något åt mellan IsoTimber och KL-trä. En fortsatt studie hade varit intressant för att se hur olika fuktförhållanden påverkar energianvändningen i ett hus uppfört med IsoTimbers byggsystem. En annan viktig faktor i miljöaspekten är förekomsten av eventuella köldbryggor vid anslutningar till de olika byggnadsdelar: tak, vägg och golv. Enligt Sandin, K. (2010) har köldbryggor en del oönskade effekter varav en är just ökade värmeförluster.

En fördel vid rivning av ett hus gjort av IsoTimbers byggsystem är möjligheten att återanvända eller återvinna stora delar. Då stora delar av byggsystemet består av trä. Nackdelen för KL-trä är den stora andelen lim som medför svårigheter i återvinningsfasen.

En framtidsvision kan vara ett byggsystem med låg koldioxidbelastning i produktionsfasen med gynnsamt inomhusklimat samt att vid rivningsfasen kan material i största mån återbrukas eller materialåtervinnas. Inget i de livscykelanalyser som har analyserats motsäger att detta skulle kunna vara framtiden. Då trä, som är största beståndsdelen i både KL-trä och IsoTimber, är förnybart material vilket anses ha klimatpositiv påverkan.

4 Metod

Vid undersökningen av fuktegenskaperna för trä med luftspalter gjordes tre experimentella undersökningar; koppmetoden, kapilläruppsugningsförmåga och uttorkningsförsök. Två material användes i experimenten: IsoTimber med urfrästa spår som bildade luftspalter längs med fiberriktningen och massivt trä. De massiva provbitarna är tänkta att representera en KL-trävägg. Som förklarat i 3.4.1 kunde de massiva bitarna tas från kanten av IsoTimbers väggblock, varefter det antogs att de båda materialen bestod av likvärdig kvalitet. Det enda undantaget var för koppmetoden där det massiva träet var splintved av gran. Detta material kom från försöksskogar utanför Vindeln i Västerbotten.

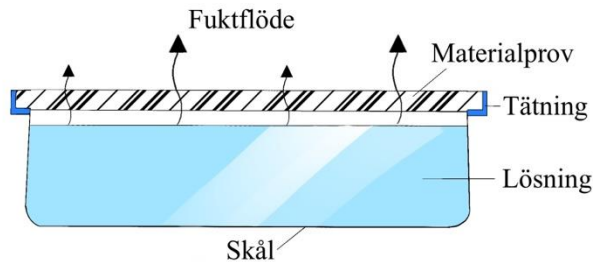
Samtliga experiment utfördes i ett rum där temperatur och RF hölls på stabila nivåer och kontrollerades under experimentets förlopp. En fläkt användes för att få en cirkulation på luften så att temperatur och luftfuktigheten jämnades ut. Samtliga provmaterial ställdes in i rummet för att hinna acklimatisera sig innan experimenten startade. Under tiden ställdes också hygrometer, termometer, fläkt och våg så att det lätt kunde användas, läsas av och justeras under experimentet.

4.1 Koppmetoden

Genom koppmetoden mäts ångpermeabiliteten och ånggenomgångsmotståndet (enligt EN ISO 12572). Ångpermeabilitet anger hur snabbt fukt kan transporteras genom ett material eller produkt. Den varierar beroende på den relativa luftfuktigheten (RF). Ånggenomgångsmotståndet visar istället hur mycket motstånd ett material gör för att vattenånga ska transporteras igenom.

Koppmetoden kan göras på två sätt, antingen med en vätska eller med ett torkmedel i koppen. De två olika metoderna speglar högt respektive lågt RF vilket påverkar åt vilket håll fukten transporteras. Experimentet i det här arbetet fokuserades enbart på den våta koppmetoden för att påvisa byggsystemets egenskaper att hantera ett högt RF.

Experimentet genomfördes genom att skapa ett fuktflöde genom det material som undersöktes. Materialet placerades som ett lock på koppen som innehöll en lösning som skapade ett bestämt RF i koppen som i Figur 11. Beroende på vilken lösning som befann sig i provkroppen kunde RF regleras. Koppen placerades sedan i ett rum med ett annat RF. På grund av differensen skapas det en diffusion från den högre RF till den lägre.



Figur 11. Koppmetoden.

Kopparna var av cirkulär och rektangulär form och gjorda av transparent glas, vilket underlättade vid kontroll av lösningen. Genom regelbundna vägningar av testanordningen kunde det stationära flödet av vattenånga genom provbiten säkerställas.

4.1.1 Material

Materialet som undersökts var:

- 6 prover av massivt trä
- 6 prover med IsoTimber

De massiva bitarna hade en cirkulär form vilket underlättade vid tätningen med en tät butyltejp (Platon). Bitarna med luftspalter hade en rektangulär form på grund av svårigheter vid sågning då flänsar bröts av vid försök till cirkulära former. De rektangulära bitarna fick rundade kanter för att underlätta tätningen och för undvika risken för läckage på grund av eventuella luftspalter som kunde ha skapats av de skarpa kanterna.

4.1.2 Utförande

För att särskilja provanordningarna markerades glaskopparna efter vilken form, nummer av prov och lösning. Det första cirkulära provet med saltlösning blev C1S, se Tabell 1.

Tabell 1. Beskrivning av provbitar och deras beteckning

| MARKERING | FORM | NUMMER AV PROV | LÖSNING I KOPPEN | MATERIAL |
|------------------|-------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| C1S | Cirkulär | 1 | Saltlösning (NaCl) | Massivt trä |
| C2S | Cirkulär | 2 | Saltlösning (NaCl) | Massivt trä |
| C3S | Cirkulär | 3 | Saltlösning (NaCl) | Massivt trä |
| C1V | Cirkulär | 1 | Destillerat vatten | Massivt trä |
| C2V | Cirkulär | 2 | Destillerat vatten | Massivt trä |
| C3V | Cirkulär | 3 | Destillerat vatten | Massivt trä |
| R1S | Rektangulär | 1 | Saltlösning (NaCl) | IsoTimber |
| R2S | Rektangulär | 2 | Saltlösning (NaCl) | IsoTimber |
| R3S | Rektangulär | 3 | Saltlösning (NaCl) | IsoTimber |
| R1V | Rektangulär | 1 | Destillerat vatten | IsoTimber |
| R2V | Rektangulär | 2 | Destillerat vatten | IsoTimber |
| R3V | Rektangulär | 3 | Destillerat vatten | IsoTimber |

Provbitarna som bestod av massivt trä placerades framför de cirkulära glaskopparna, och IsoTimber bitarna framför de rektangulära glaskopparna. För att säkerställa ett så noggrant mått på provbitarnas tjocklek användes medelvärden av fyra detaljerade mätningar med hjälp av ett skjutmått. Vid de fall där någon av måtten avvek från hela millimeter gjordes en uppskattning vad som var närmast av en halv eller hel millimeter.

Insidan av glaskoppen mättes för att få ut arean som provbiten var exponerad emot för respektive lösningen. De rektangulära glaskopparna hade rundade hörn vilket gjorde att den exponerade arean var mindre än om glaskopparna hade varit helt rektangulära.

Lösningarna i provkropparna var natriumklorid (NaCl) och avjonat vatten. Det gjorde att RF i provkoppen var hög, för NaCl är det 75% RF och för avjonat vatten cirka 100% RF. För att säkerställa att NaCl lösningen förblev mättad under hela experimentet tillsattes det ett överflöd NaCl som förblev synligt på botten av provkoppen.

Provbitarna placerades på glaskopparna och fästes med hjälp av en Platontejp. Platontejpen applicerades så att den fortsatte runt sidorna på provbiten för att minimera fukttransport sidledes. Det var viktigt att få provbiten tät mot bägaren så att resultatet inte blev missvisande på grund av läckage genom fukttransport via andra vägar än genom provbiten.

Den kompletta provanordningen vägdes och startvärdet på massan noterades. Temperatur och RF mättes i rummet. Alla vägningarna gjordes med en våg med en upplösning på 0,1 gram. Provanordningen vägdes en gång per dag tills stationärt flöde var uppnått.

Ångpermeabiliteten beräknades enskilt för varje provbit och sammanställdes sedan till ett medelvärde för varje specifik grupp med lösning och material.

4.1.3 Utvärdering

Vid uträkningen av ångpermeabiliteten användes Fick's lag.

Ångpermeabiliteten δ_v kan då beräknas enligt:

$$\delta_v = \frac{g \cdot d}{\Delta v}$$

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| δ_v Ångpermeabilitet | [m ² /s] |
| Δ_v Skillnad i ånghalt | [kg/m ³] |
| d Provbitens tjocklek | [m] |
| g Fuktflödestätheten | [kg/(m ² · s)] |

För att kunna räkna ut ångpermeabiliteten behövdes några andra moment göras först.

Mätningarna från experimentet sattes in i ett diagram för att visa viktförändringen över tid. Via diagrammet bestäms vid vilket tillfälle det uppnåddes stationärt flöde. Från tillfället där stationärt flöde var uppnått fram till diagrammets slut drogs en rät linje. Lutningen på linjen visar massförändringshastigheten.

Massförändringshastighet

$$\Delta m = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

| | |
|--|--------|
| Δm ändring av massa per tidsenhet för en enstaka mätning | [kg/s] |
| m_1 är massan för provanordningen vid tiden t_1 | [kg] |
| m_2 är massan för provanordningen vid tiden t_2 | [kg] |
| t_1 och t_2 är tiden vid vägningarna | [s] |

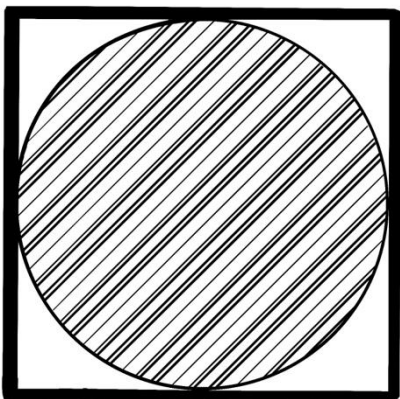
Genom att dela massförändringshastigheten med provbitens exponerade area visades hur mycket fukt per area som transporterades genom provbitens under den givna tiden. Det benämns som fuktflödestätheten g .

Fuktflödestätheten

$$g_x = \frac{\Delta m}{A}$$

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| g_x fuktflödestätheten i x-riktning | [kg/(m ² · s)] |
| Δm massförändringshastigheten | [kg/s] |
| A den exponerade arean | [m ²] |

För de rektangulära provbitarna med rundade hörn behövdes den exponerade arean justeras. Det gjordes genom att de fyra hörnen tillsammans bildade en cirkel och att subtrahera cirkelns area från en kvadrats area där längden på kvadratens sidor var $2 \cdot$ (cirkelns radie) vilket visas i Figur 12. Differensen blev den arean som den exponerade arean skulle justeras med.



Figur 12. Rektangel med streckad cirkel

Vid bestämning av ånghaltsdifferensen användes RF i provkoppen samt RF i klimatrummet. Beroende på vilken lösning som användes i provkoppen skildes sig RF åt. I klimatrummet valdes ett medelvärde på RF som sträckte sig under experimentets förlopp. Genom temperaturen kunde mätnadsånghalten i både klimatrum och provkropp avläsas. För att få ånghalten i klimatrummet och rummet multiplicerades respektive RF med mätnadsånghalten. Klimatrummets ånghalt subtraherades med ånghalten från provkoppen och ånghaltsdifferensen var hittad.

4.2 Kapilläruppsugningsförmåga

Genom att undersöka kapilläruppsugningsförmåga kan uppstigningshöjden och kapillärkoefficienten definieras.

Kapillärkoefficienten bestäms genom att använda sig av den uppsugna vattenmassan som en funktion av roten ur tiden. För de flesta material hade det visat sig som en rät linje som senare avtar vid den så kallade "knickpunkten". För trä är denna övergång dock mer gradvis och man får inte samma tydliga knickpunkt som för andra material (Zelinka, et al. 2016). I det här arbetet fokuseras det därför enbart på uppstigningshöjden.

Genom att veta kapilläruppsugningshöjden ökar förståelse för hur fukt transporteras när materialet står i vatten. Scenarion där det kan förekomma är t.ex. vid översvämning på byggarbetsplatsen, regn vid montering.

Feng & Janssen (2018) definierar tillvägagångssätt för hur kapilläruppsugningsexperiment kan genomföras. Experimentet utförs genom att utsätta en sida av provbiten för vatten under ett visst antal dagar. De övriga sidorna är täckta med plastfolie för att förhindra oönskad avdunstning och luftflöde ut från sidorna. Under experimentets förlopp kommer materialet att suga upp vattnet vilket dokumenteras genom regelbundna vägningar.

4.2.1 Material

Materialet som undersökts var:

- 3 prover av massivt trä
- 3 prover med IsoTimber

4.2.2 Utförande

För att särskilja proverna markerades de med antingen KIT eller KMT samt en siffra mellan 1-3. Den första bokstaven beskrev att det var kapillärförsöket, medan IT beskrev att det var IsoTimber som användes och MT beskrev att materialet var av massivt trä.

Tabell 2. med namn på de olika proverna och betydelse

| MARKERING | PROVNUMMER | MATERIAL |
|------------------|-------------------|-----------------|
| KIT 1 | 1 | IsoTimber |
| KIT 2 | 2 | IsoTimber |
| KIT 3 | 3 | IsoTimber |
| KMT 1 | 1 | Massivt trä |
| KMT 2 | 2 | Massivt trä |
| KMT 3 | 3 | Massivt trä |

Innan själva experimentet började sattes en plastbalja med ett raster i på experimentbordet. Rastret var där för att möjliggöra en vattenreservoar under provbitarna. Ovanpå rastret lades ett par Wettexdukar. Innan vattnet hälldes i baljan blandades det ut med en blå karamellfärg. Karamellfärgen användes för att underlätta avläsning av stighöjden efter torkning. De färgade vattnet fylldes på i baljan så att vattenytan nådde undersidan av Wettexdukarna. På så sätt började Wettexdukarna att suga till sig vatten tills de blev helt mättade. Under experimentets förlopp fylldes baljan på regelbundet med färgat vatten för att konstant hålla Wettexdukarna blöta.

Provbitarnas dimensioner mättes samt arean för luftspalterna så uppsugningsytan kunde korrigeras. Därefter vägdes provbitarna en gång innan de kläddes in med plastfolie. Skarven som bildades av plastfolien täcktes över med aluminiumtejp. Därefter vägdes provbitarna igen, men då med plastfolien och sedan placerades provbitarna på de blöta Wettexdukarna. Vid regelbundna tillfällen vägdes provbitarna och den nya massan dokumenterades.

När experimentet ansågs vara färdigt togs plasten av från provbitarna och de torkades i ugnen på ca 110 grader i 72 timmar. Det gjordes för att få veta hur mycket provbitarna vägde i torrt tillstånd. Genom att subtrahera provbitens massa i torrt tillstånd från provbitens massa i blött tillstånd kunde mängden vatten i provbitarna säkerställas och fuktkvoten beräknas.

Efter att provbitarna hade torkat delades de på mitten med hjälp av en fintandad bandsåg. Kärnan av provbiten exponerades och ett tydlig blått område syntes. Med hjälp av en linjal mättes uppstigningshöjden både vid kärnveden och vid splintveden. Ett genomsnitt av tre mätningar gjordes av kärnveden medan vid splintveden skapades ett intervall av ett maximum- och ett minimumvärde av uppstigningshöjden.

4.2.3 Utvärdering

Vid uträkning av fuktkvot fick det göras en överslagsberäkning på hela provbiten då det inte användes en fuktkvotsmätare under experimentet.

Fuktkvot

$$u = \frac{(m_v - m_t)}{m_t} \cdot 100$$

u fuktkvot

[%]

m_v massan för materialet i fuktigt tillstånd

[kg]

m_t massan för materialet i torrt tillstånd

[kg]

4.3 Uttorkningsförsök

Ett uttorkningsförsök ger en inblick i hur ett blött material torkar ut och hur lång tid det kan ta. Beroende på vilka sidor av provbiten som tätas kan man styra åt vilken riktning uttorkning sker.

Uttorkningsförsöket gjordes genom att blötlägga provbiten därefter mättes tiden det tog för att biten skulle torka till ungefärlig jämvikt med omgivande klimat. För att veta när biten har torkat vägdes provbiten före blötläggning. Under torkperioden vägdes provbiten vid jämna mellanrum för att få reda på hur mycket fukt som lämnat provbiten.

4.3.1 Material

Materialet som undersökts var:

- 3 prover av massivt trä
- 3 prover med IsoTimber

4.3.2 Utförande

Provbitarna vägdes en gång innan blötläggning för att få en uppskattning om vilken vikt provbitarna strävade efter.

För att få bitarna blöta fylldes en plastlåda med vatten varefter bitarna sänktes ned så att provbitarna var helt nersänkta. Då provbitarna ville flyta till ytan användes ett raster för att skapa distans från locken och tillräckligt för att bitarna skulle komma under ytan.

I tre dagar låg provbitarna under vatten. Efter blötläggningen togs de upp en och en för att tätas med Platontejp. För att tejpens skulle få bra fäste torkades provbitarna ytligt med en papperstrasa. Tejpen fästes så att provbiten enbart kunde torka ut genom provbitens fram- och baksida (väggens in- och utsida) som var vinkelrätt mot fiberriktningen.

När provbitarna var färdigtejpade vägdes de ännu en gång och fick därmed en startvikt. Vägningarna som fortlöpte under experimentets förlopp började intensivt med tio minuters mellanrum de tre första timmarna, varefter det minskade till en mätning per timme och tillslut en gång per dag. Experimentet avslutades när massförändringen hade minskat drastiskt.

4.3.3 Utvärdering

Fuktkvoten vid de olika vägningstillfällena beräknades enligt:

$$u = \frac{(m_v - m_t)}{m_t} \cdot 100$$

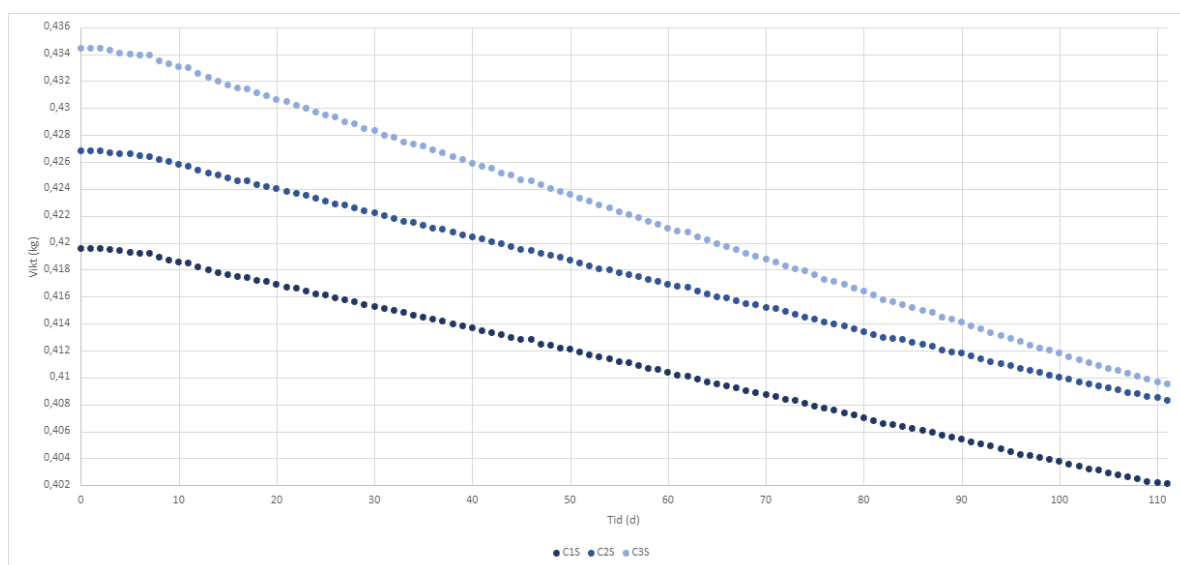
| | |
|---|------|
| u Fuktkvot | [%] |
| m_v Massan för materialet i fuktigt tillstånd | [kg] |
| m_t Massan för materialet i torrt tillstånd | [kg] |

5 Resultat och diskussion

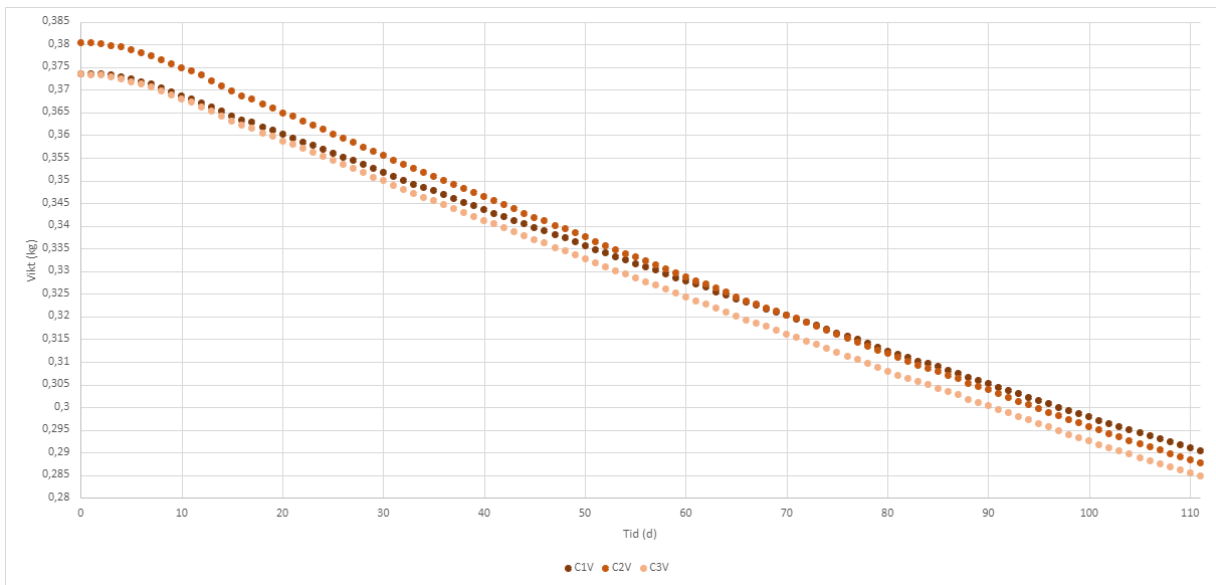
5.1 Koppmetoden

Experimentet för koppmetoden varade i 111 dagar.

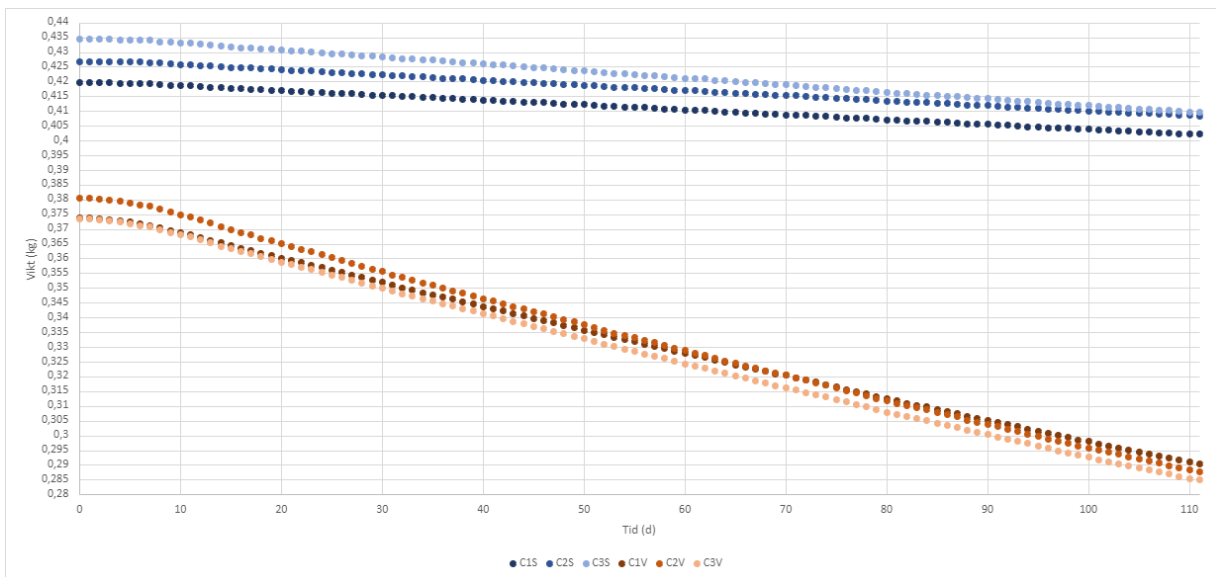
I Figur 13 visas viktminskning för proverna av massivt trä C1S, C2S och C3S med saltlösning vilket ger 75% RF i koppen. Stationärt flöde uppskattades uppkomma efter 20 dagar. I Figur 14 visas viktminskningen för proverna av massivt trä C1V, C2V och C3V, men med vatten i koppen vilket ger RF nära 100% i koppen. Stationärt flöde uppskattas uppkomma efter 20 dagar. I Figur 15 visas viktminskning för alla prov av massivt trä, d.v.s både med vatten och saltlösning i koppen.



Figur 13. Resultat från koppmetoden. Vikt som funktion av tid för massivt trä med RF 75%.

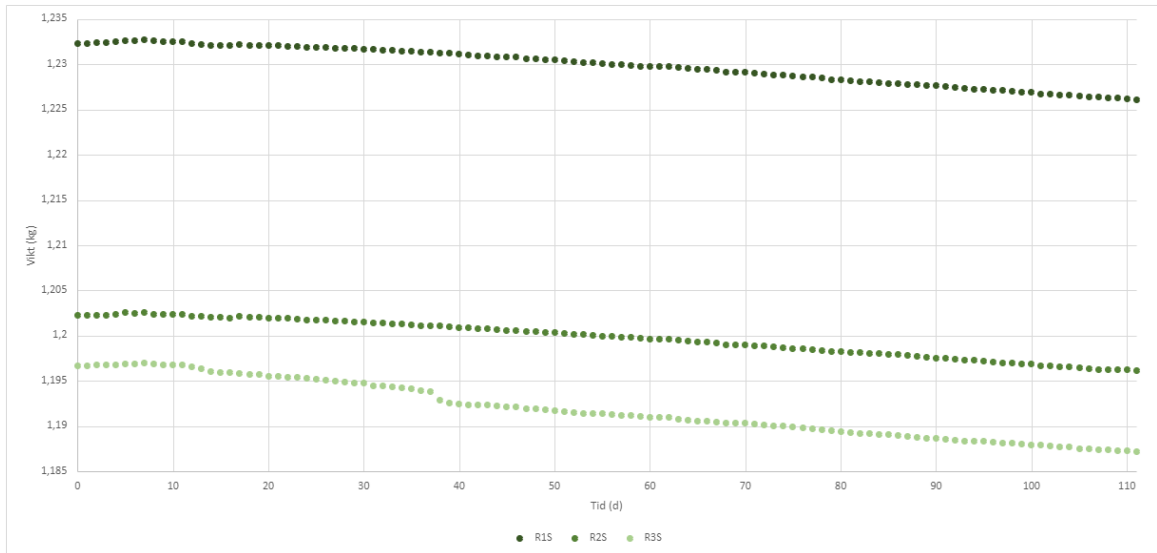


Figur 14. Resultat från koppmetoden. Vikt som funktion av tid för massivt trä med RF 100%.

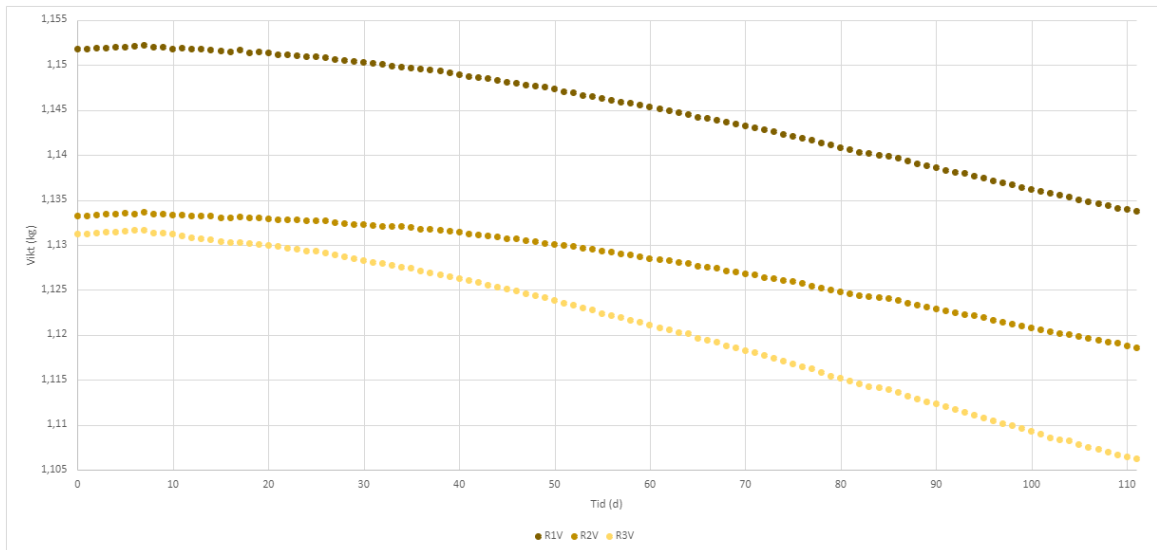


Figur 15. Resultat från koppmetoden. Vikt som funktion av tid för massivt trä med RF 75% vs 100%.

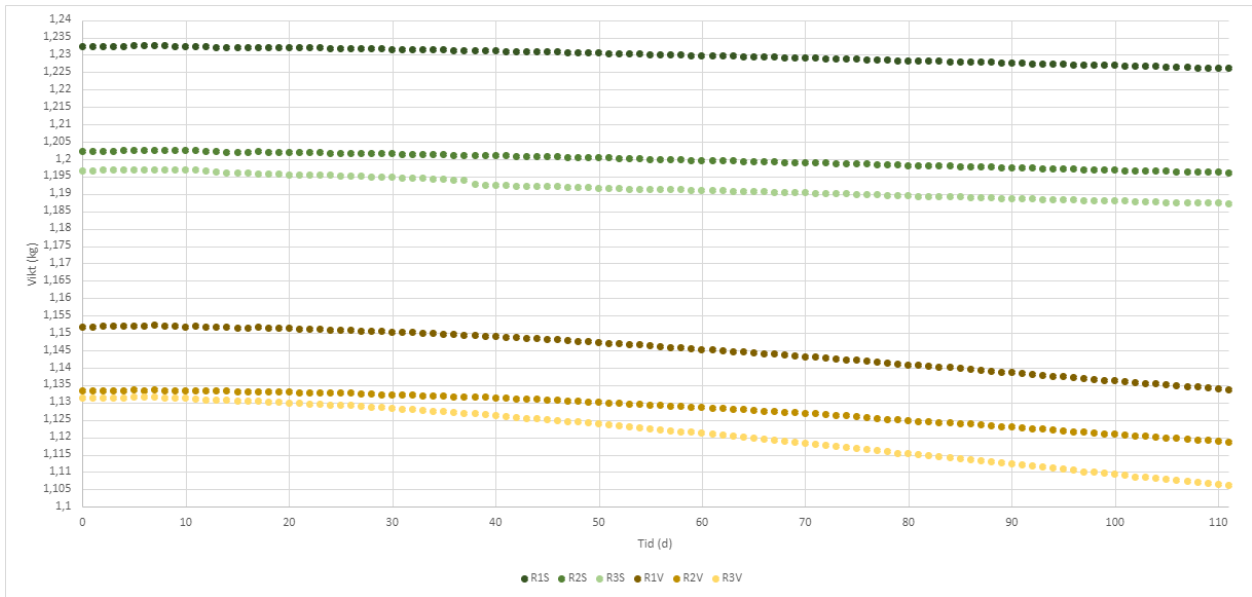
I Figur 16 visas viktnedgång för IsoTimber-proven R1S, R2S och R3S med saltlösning vilket ger 75% RF i kopian. Stationärt flöde uppskattas uppkomma efter 90 dagar. I Figur 17 visas viktnedgång för IsoTimber-proven R1V, R2V och R3V med vatten i kopian vilket ger en RF nära 100% i kopian. Stationärt flöde uppskattas uppkomma efter 90 dagar. I Figur 18 visas viktnedgång för alla prov från IsoTimber, d.v.s både med vatten och saltlösning i kopian.



Figur 16. Resultat från koppmetoden. Vikt som funktion av tid för IsoTimber med RF 75%.

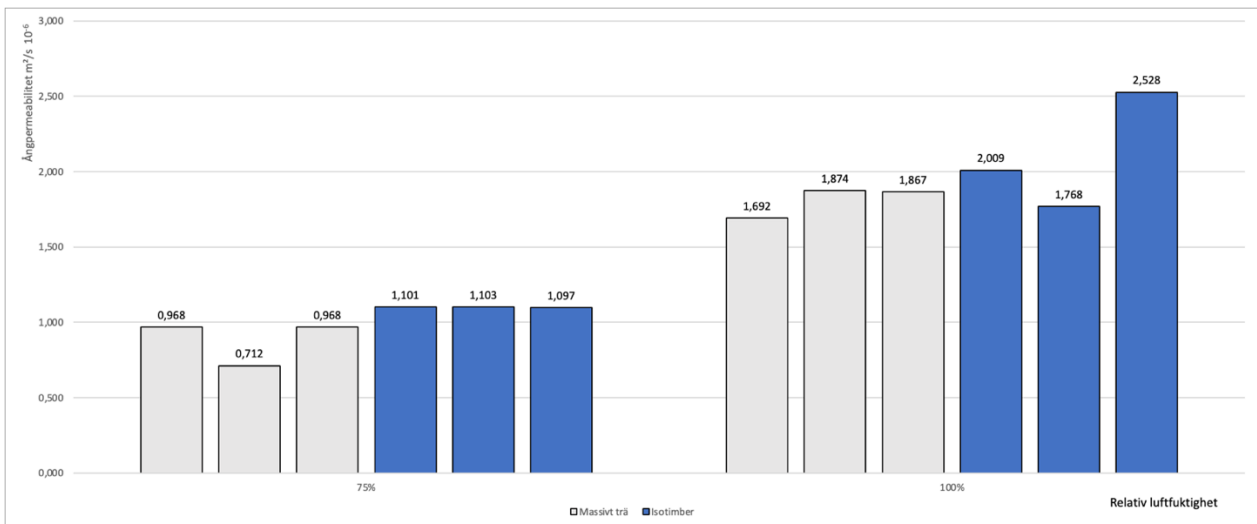


Figur 17. Resultat från koppmetoden. Vikt som funktion av tid för IsoTimber med RF 100%.

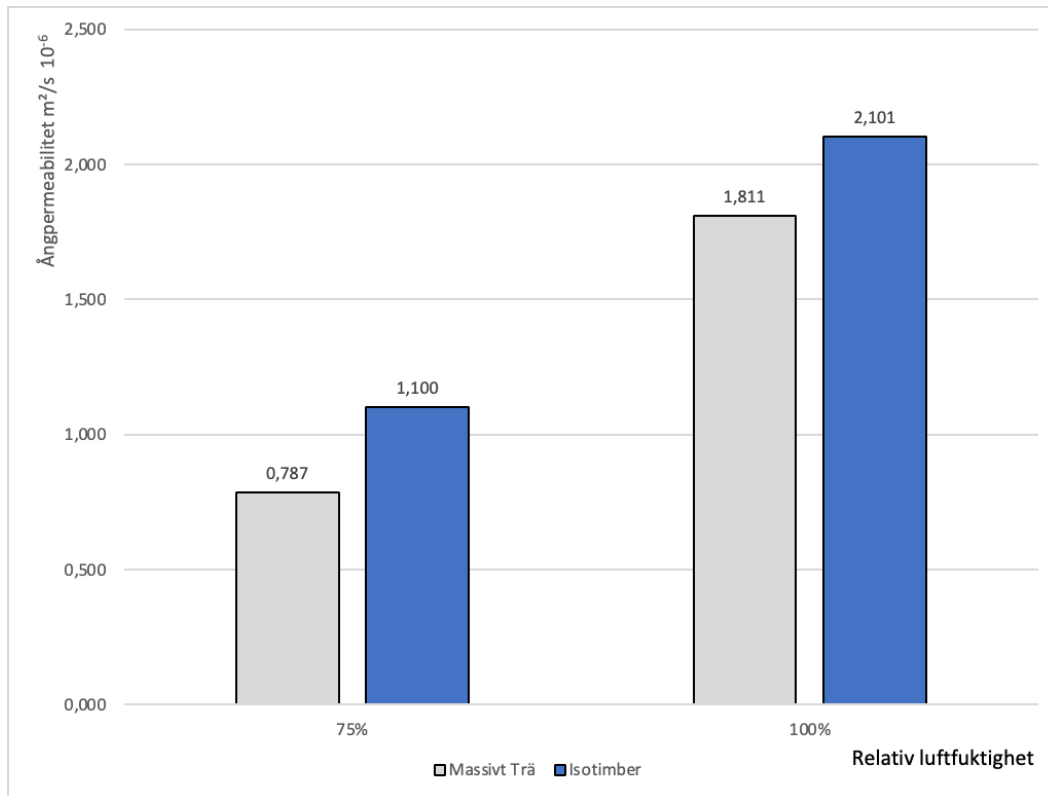


Figur 18. Resultat från koppmetoden. Vikt som funktion av tid för IsoTimber med RF 75% vs 100%.

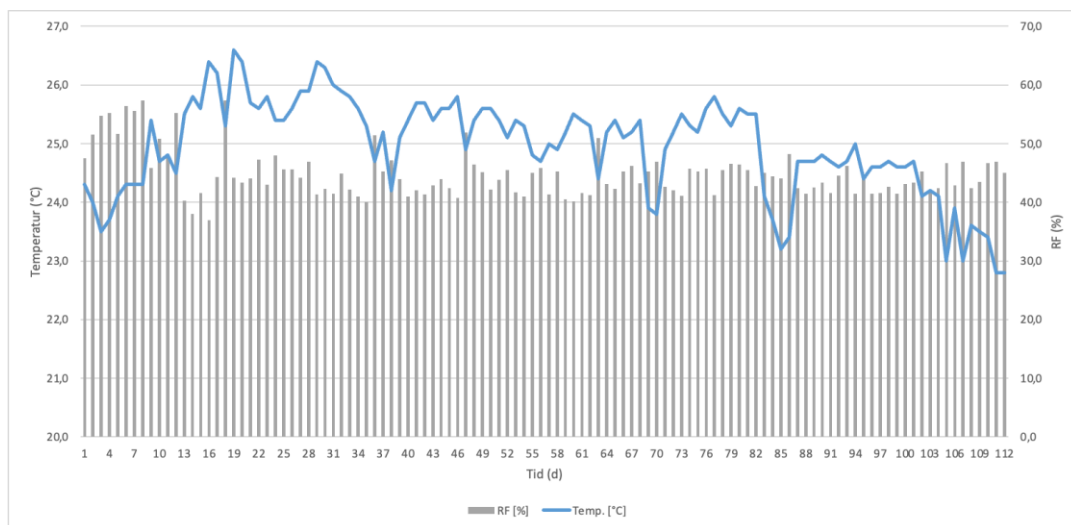
I Figur 19 visas den uträknade ångpermeabiliteten för var och en av provbitarna. I Figur 20 visas genomsnittet av de tre proverna för massivt trä och IsoTimber både i RF 75% och 100%. I Figur 21 visas temperaturen och RF under experimentets förlopp.



Figur 19. Ångpermeabilitet för IsoTimber och massivt trä med RF 75% vs 100%.



Figur 20. Genomsnittlig ångpermeabilitet för IsoTimber och massivt trä med RF 75% vs 100%.



Figur 21. Temperatur och RF i rummet under experimentet med koppmetoden.

5.1.1 Diskussion för koppmetoden

IsoTimber visar högre ångpermeabilitet än massivt trä oberoende av den relativa luftfuktigheten. En hypotes är att luftspalterna och de små springorna som kan förekomma mellan reglarna gör att det blir lättare för fukten att transporteras genom materialet. Detta stöts då ångpermeabiliteten i luft är högre än i massivt trä (Arfvidsson m.fl, 2017).

Enligt Burström (2009) borde ångpermeabiliteten för furu och gran vinkelrät mot fiberriktningen hamna inom ett intervall på $0,5-2,0 \cdot 10^{-6}$ m²/s vid RF 70-80%. Figur 20 visar att ångpermeabiliteten för materialen med en RF 75% hamnar inom de lägre delarna av intervallet. När en jämförelse av ångpermeabiliteten nära RF 100% skulle ske fanns det ingen tillgänglig information, istället användes gran tangentiellt fiberriktning RF 90-95%. Intervallet för ångpermeabiliteten hamnar på $1,5-2,7 \cdot 10^{-6}$ m²/s. Åter igen hamnade ångpermeabiliteten inom den angivna intervallet. Vilket stärker troligheten att experimenten är korrekt utförda.

I Figur 19 förekommer det en spridning i proverna som kan härledas till att trä är ett naturligt material vilket innebär att proverna kan variera på grund av eventuella fiberstörningar. Dock så bör dessa prover ändå anses lyckade då det visar på materialets (trä) sanna struktur. Spridningen för 75% RF så är det massivt trä som har ett avvikande resultat medan IsoTimber har ett stabilt resultat. Vid beaktande av RF 100% kan istället utläsas en spridning av ångpermeabilitet.

Stationärt flöde i Figur 15 uppnås efter cirka 20 dagar för de provbitar som bestod av massivt trä oberoende av om de hade en relativ luftfuktighet på 75% eller 100%. Samma gäller även för IsoTimber i Figur 18, där ett stationärt flöde uppnåddes vid 90 dagar oberoende på RF.

Lutning på kurvorna i Figur 13-18 beskriver fuktflödet genom provbiten, vilket kan ses tydligt i Figur 15 RF 75% och 100% för massivt trä. Där har RF 100% en större lutning än RF 75% vilket är helt förväntat eftersom differensen är större mellan RF i rummet och RF i koppen. Det är inte lika tydligt i Figur 17 för IsoTimber då det stationära flödet uppnåddes vid 90 dagar vilket infaller i slutet av diagrammet. Det innebär att dagar med stationärt flöde för IsoTimber visas under en kortare period än för massivt trä.

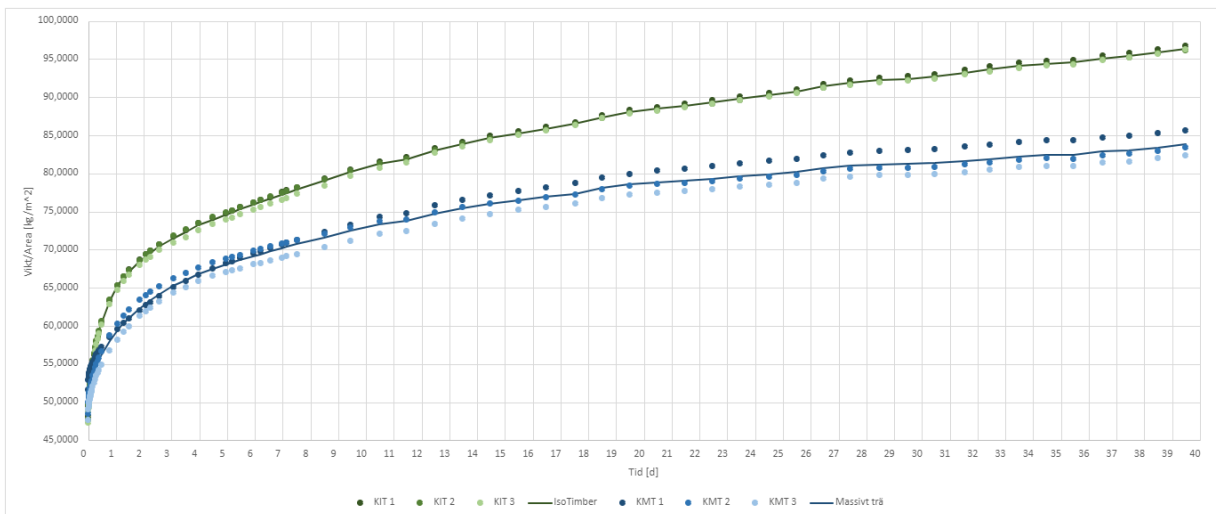
Vid en snabb jämförelse av Figur 15 och 18 kan det uppfattas som IsoTimber har svårare att uppnå ett stationärt flöde än massivt trä. Dock går det inte att utläsa skillnaden genom diagrammen då tjockleken mellan massivt trä och IsoTimber skiljer sig med ungefärligt förhållande 1:6.

I början på Figur 16-18 syns en liten viktökning av materialen från IsoTimber som berodde på att RF i rummet höjdes kort efter start vilket också kan synas i Figur 21. Det gjorde att IsoTimbers provbitar absorberade fukt från två fronter, dels från provkoppen och dels från rummet. Anledningen var att provbitarna hade acklimatiserat sig till en lägre RF vid experimentstart och tjockleken på provbitarna fördröjde utjämningen när RF steg. Provbiten i massivt trä var förhållandevis tunn så där syntes inte någon direkt påverkan. Problemet med svängande RF i rummet löstes med en avfuktare med konsekvensen att temperaturen ökades en aning.

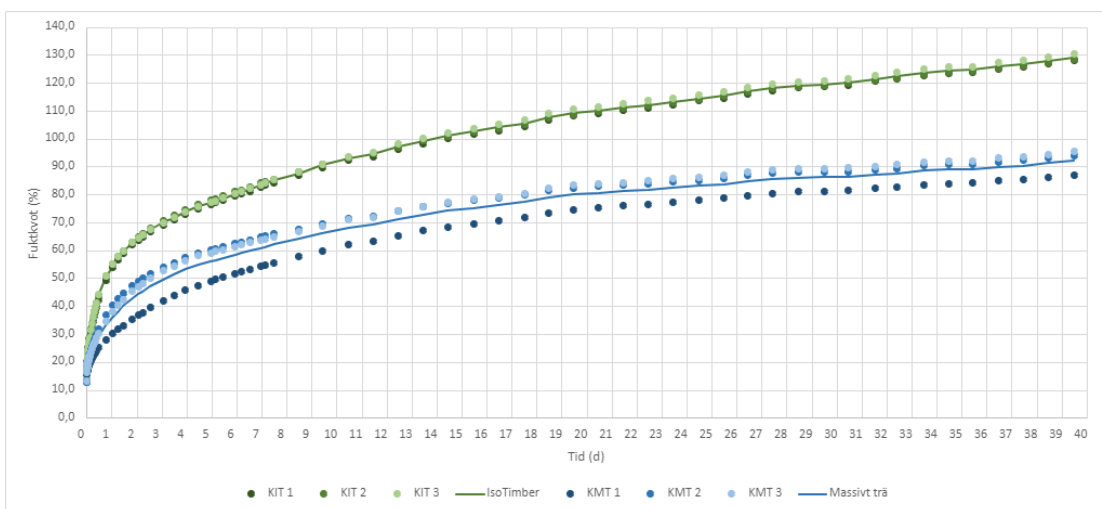
Att de olika startvikterna skiljer sig åt i Figur 13-18 kan bero på att träets struktur varierar för varje bit. I experimenten där det användes saltlösning kan startvikten av provanordningen variera något på grund den mängd natriumklorid som tillsattes i saltlösningen i början på experimenten. Det var inte någon bestämd mängd utan enbart för att hålla saltlösningen mättad under experimentets förlopp men påverkade totalvikten.

5.2 Kapilläruppsugningsförmåga

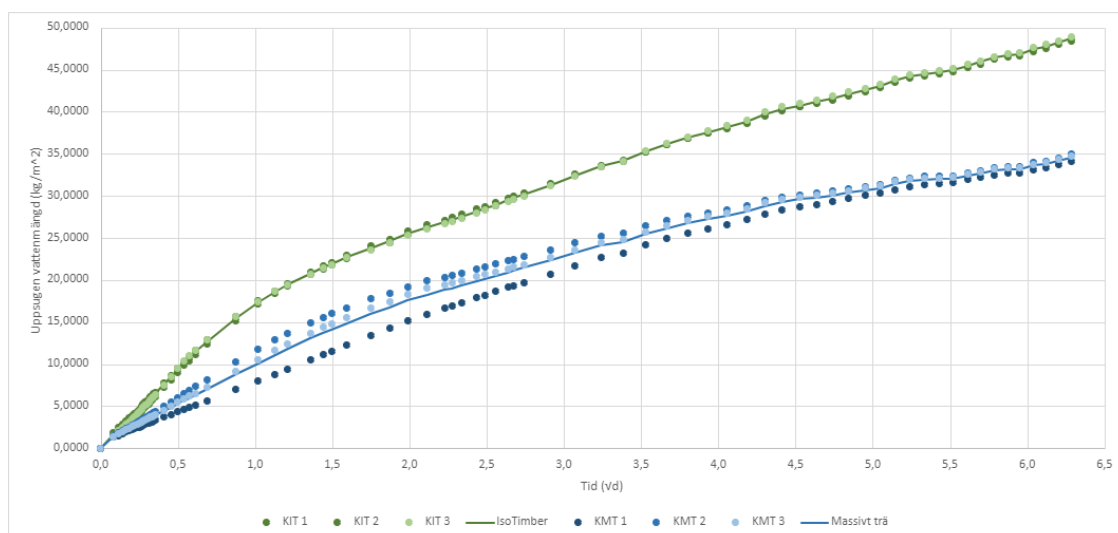
I Figur 22 visas viktförändringen per m² för samtliga provbitar från IsoTimber och de av massivt trä. Linjen representerar den genomsnittliga viktförändringen per m². I Figur 23 visas fuktkvoten samt den genomsnittliga fuktkvoten för alla provbitarna. Samtliga provbitar låg runt samma fuktkvot vid start 12,6-13,4%. I Figur 24 visas kurvorna för den uppsugna vattenmängden per m² genom roten ur tiden.



Figur 22. Resultat från kapilläruppsugningsförmågan. Vikt per areaenhet som en funktion av tid för IsoTimber och massivt trä.



Figur 23. Fuktkvoten för IsoTimber och massivt trä.



Figur 24. Resultat från kapilläruppsugningsförmågan. Uppsugenvattennängd som funktion av roten ur tiden.

Tabell 3 visar stighöjd för de genomsurna provbitarna. En observation som kunde göras var att provvätskan har en markant högre stighöjd vid kanterna av provbiten. Medan mitten har en betydligt lägre stighöjd. Detta var genomgående för alla prover oberoende av ifall det var IsoTimber eller massivt trä.

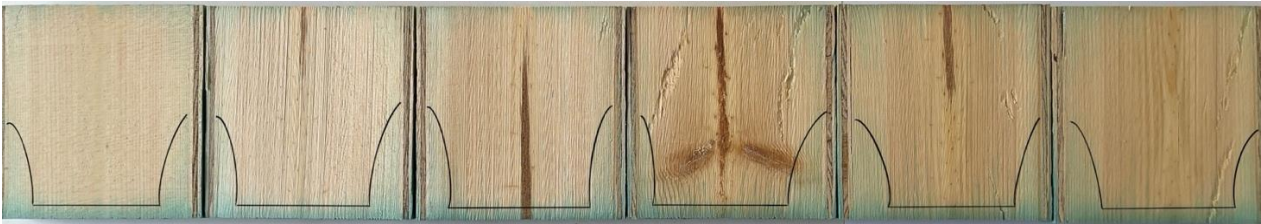
I Figur 25 visas genomskäring av provbitarna där de första tre proverna är från IsoTimber och resterande tre är av massivt trä. I Figur 26 visas samma provbitar som i Figur 25 fast med stömlinjer.

Tabell 3. Stighöjd för IsoTimber och massivt trä

| | STIGHÖJD MITTEN [MM] | INTERVALL FÖR STIGHÖJD KANTERNA [MM] |
|-------|----------------------|--------------------------------------|
| KIT 1 | 6,33 | 16-49 |
| KIT 2 | 6,33 | 22-52 |
| KIT 3 | 7,33 | 21-57 |
| KMT 1 | 6,5 | 20-51 |
| KMT 2 | 6 | 22-55 |
| KMT 3 | 7 | 20-54 |



Figur 25. Bild på prover för kapilläruppsugningsförsöket. De tre första proverna från vänster är från IsoTimber och resterande tre är av massivt trä.



Figur 26. Bild på prover för kapilläruppsugningsförsöket med stömlinjer. De tre första proverna från vänster är från IsoTimber och resterande tre är av massivt trä

5.2.1 Diskussion Kapilläruppsugningsförmåga

Viktförändring i Figur 22 visar att stor del av kapilläruppsugningen sker under de två första dagarna för samtliga prover varefter kurvans lutning avtar. Den genomsnittliga fuktkvoten visar att de prover som bestod av massivt trä hade en markant lägre fuktkvot. Figur 22 kan påvisa att IsoTimber har större viktförändring per kvadratmeter och suger upp mer fukt per kvadratmeter de första dagarna än vad massivt trä gör.

Figur 26 visar att de mittersta zonerna av provet hade lägre stighöjd än kanterna vilket troligen betyder att det är kärnved i mitten och splintved i kanterna. Dock är det bara en möjlig förklaring då inget annat har bevisats.

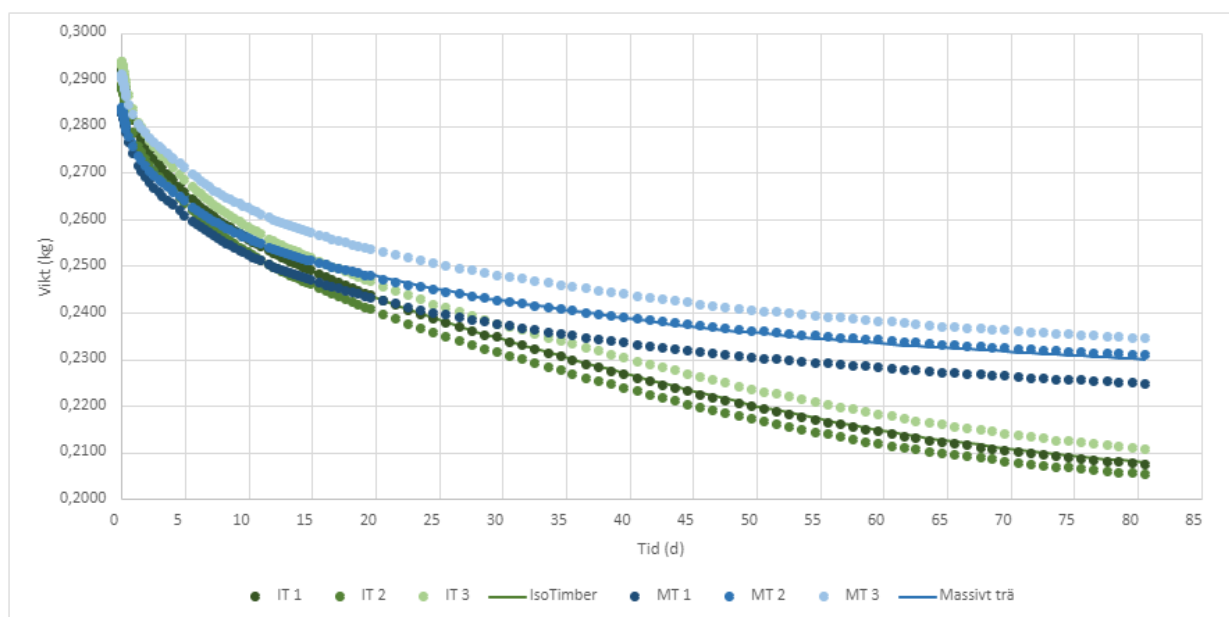
En hypotes som motsäger att IsoTimber besitter större kapilläruppsugningsförmåga än massivt trä är på grund av ett möjlig snedsteg vid beräkning av uppsugningsytan. Då det gjordes en korrigering av uppsugningsytan ändrades samtidigt mängden kärnved och splintved, antaget att det är kärnved i mitten och splintved i kanterna. På grund av ventilationsspalterna inuti regeln är urfrästa ur mittenpartiet (kärnveden) vilket resulterade i att andelen splintved ökade jämfört med kärnved. I Figur 26 syns tydligt att mitten partiet har en lägre stighöjd än kanten. Ifall denna hypotesen är korrekt så betyder det att viktförändringen för IsoTimber i Figur 22 beror till större del att provbitens uppsugningsarea bestod av en större del splintved än provbiten för massivt trä. Då även en förklaring att IsoTimber har en högre fuktkvot i Figur 23. Tabell 3 kan påvisa att skillnaden mellan proverna är

väldigt liten vad gällande stighöjd. Vilket tyder på att fukten kommer lika högt upp i byggsystemet vid användande av IsoTimber såsom massivt trä.

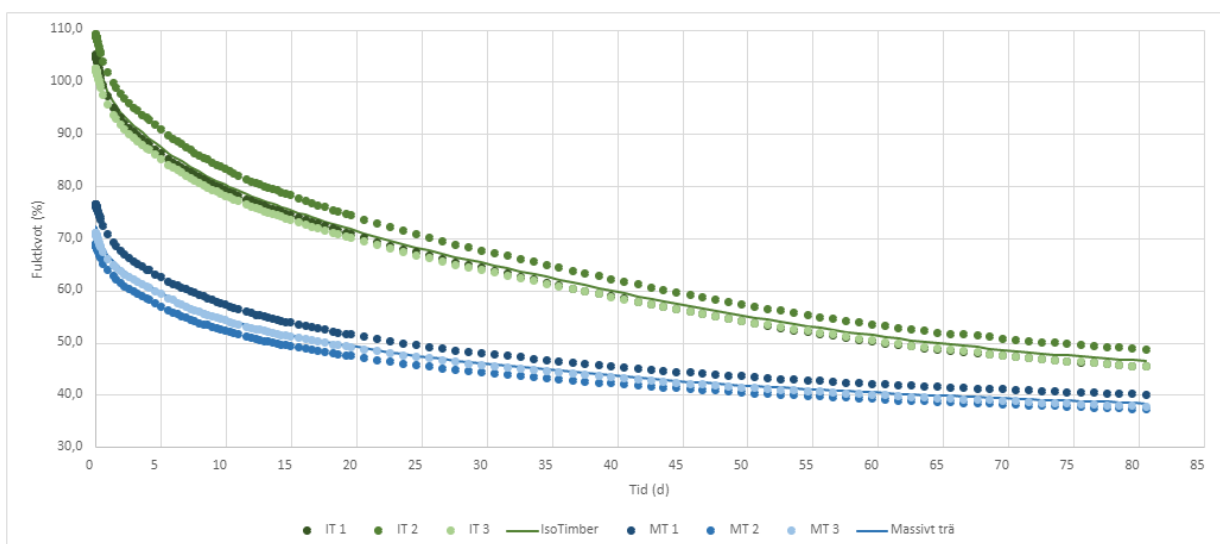
En del av proven har fått fukt upp längs med plastens insida, vilket leder till att färg även finns på utsidan av provet. Enligt Feng, et al. (2020) ska fuktspärren ha ett avstånd från lägsta punkten av provet på 1 cm. I experimenten var avståndet mindre och kan därför vara anledning till att fukt har transporterats längs med plasten. I Figur 25 och 26 syns det en blå hint av fukt från ovansidan av provbiten. Vilket borde inte ha påverkat resultat av själva kapilläruppstigningshöjden, men eventuellt förvrängt Figur 23 en aning angående fuktkvot. Påverkan av fukten från sidorna ser ut att stanna i plywoodens skikt och anses då inte påverka kapilläruppstigningshöjden. Vilket kan ses i närbilderna i Appendix Figur A1-A6. Något som också kan iakttas i närbilderna är utstickande toppar ur de markerade områdena som syns i Figur 25 och 26 vilket indikerar på att sommarveden har en högre uppsugningsförmåga. Det kan dels bero på att hålutrymmena (lumen) i sommarveden är mindre än i vårveden. Ringporerna är också till större del öppna i sommarveden vilket underlättar transport av vatten (Shmulsky & Jones, 2019).

5.3 Uttorkningsförsök

I Figur 27 visas viktförändringen för materialen i uttorkningsexperimentet och den genomsnittliga viktförändringen för IsoTimber och för massivt trä. Fuktkvoten över tid för de individuella proven samt medelvärden för IsoTimber och massivt trä visas i Figur 28.



Figur 27. Resultat från uttorkningsexperimentet. Vikt som funktion av tid.



Figur 28. Fuktkvot som funktion av tid.

5.3.1 Diskussion för uttorkningsförsöket

Då trä är känsligt för fukt på grund av risk till mögel och röta kan det antas att en snabbare uttorkning är att föredra. I Figur 27 visar proverna från IsoTimber och massivt trä en liknande trend för deras viktminskning, men med skillnaden att viktminskningen planar ut snabbare för de prover som bestod av massivt trä.

Figur 28 påvisar att IsoTimber har en högre fuktkvot än massivt trä vid start av experimentet. En hypotes varför IsoTimber har en högre fuktkvot är att luftspalterna möjliggör fuktupptagning över en större area och därmed skapar andra grundförutsättningar för IsoTimbers provbitar. Ett sätt för att fuktkvoten skulle ha blivit jämnare hade varit att vakuummätta provbitarna. Med en tanke på att IsoTimber var till större del mättad jämfört med massivt trä kan man anta att de två materialen har relativt lika uttorkningsegenskaper. Genom Figur 27 att kurvan för IsoTimber fortsätter dala längre än för massivt trä var just på grund av IsoTimber hade en större mängd vatten. Vilket i sin tur också förklarar Figur 28 och IsoTimbers höga fuktkvot jämfört med massivt trä.

Provbitarna togs upp en och en vilket medförde en fördröjning på de olika torktiderna. I Figur 27 så kan ett samband synas av att de torkar i samma ordning som vägningen skedde. Metoden för vägningarna kan därför ha påverkat resultatet innan kurvan börjar att plana ut.

6 Slutsats

Läggs alla resultat ihop från de utförda experimenten tyder svaren på att IsoTimber har jämförbara fuktegenskaper med KL-trä (massivt trä), men koppmetoden visar på en högre ångpermeabilitet för IsoTimber än för KL-trä. Experimentet för kapilläruppsugningsförmågan visade att IsoTimber hade en större uppsugningsförmåga men stämmer hypotesen borde IsoTimber och KL-trä ha liknande uppsugningsegenskaper. Det var svårt att dra några slutsatser angående IsoTimbers uttorkningsegenskaper jämfört med KL-trä då de var mättade till olika nivåer. Men som sagt i diskussionen kan de uppfattas ha liknande uttorkningsegenskaper. Luftspalterna i sig verkar inte bidra till en snabbare uttorknings. Dock är skillnaden minimal och oavsett verkar de båda materialen ha de goda egenskaper som trä i normala fall besitter.

Utifrån ett miljöperspektiv så kan efter att analyserat livscykelanalys av IsoTimber anses ha en positiv klimatpåverkan. Dock i produktions stadiet så tyds det till att vara negativt med själva utfräsningen av luftspalterna men detta kompenseras då det sker en energiåtervinning. En stor fördel jämfört med träregelvägg är att det inte har någon plast eller mineralull i sig.

Inför framtida forskning vore nästa steg att skala upp testerna till att testa på en komplett yttervägg med föreslagen konstruktion för KL-trä samt 300 mm av IsoTimber och undersöka hur fukten transporteras.

7 Referenser

Tryckta källor

- Arfvidsson, J., Harderup, L. E., & Samuelson, I. (2017). Fukthandbok: praktik och teori. I Fukthandbok: Praktik och teori. AB Svensk Byggtjänst.
- Boverket (2018). Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan (rapportnummer: 2018:5). Karlskrona: Boverket.
- Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd - avsnitt 5:543
- Burström, P. G. (2007). Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper (2: a uppl.). Lund: Studentlitteratur AB.
- Feng, C., & Janssen, H. (2018). Hygric properties of porous building materials (III): Impact factors and data processing methods of the capillary absorption test. *Building and environment*, 134, 21-34.
- Feng, C., Guimarães, A. S., Ramos, N., Sun, L., Gawin, D., Konca, P., ... & Janssen, H. (2020). Hygric properties of porous building materials (VI): A round robin campaign. *Building and Environment*, 185, 107242.
- Nilsson, P., Roberge, C., & Fridman, J. (2020). Skogsdata 2020.
- Sandin, K. (2007). Praktisk husbyggnadsteknik:(2: a uppl.). Lund: Studentlitteratur AB.
- Sandin, K. (2010). Praktisk byggnadsfysik. Studentlitteratur AB.
- Shmulsky, R., & Jones, P. D. (2019). Forest products and wood science: an introduction. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell
- Thörnqvist, T. (2008). Trä som byggnadsmaterial, Krav och riktlinjer. Statens fastighetsverk, Stockholm.
- Zelinka, S. L., Glass, S. V., Boardman, C. R., & Derome, D. (2016). Moisture storage and transport properties of preservative treated and untreated southern pine wood. *Wood Material Science & Engineering*, 11(4), 228-238.
- Östberg, T (2012) Miljöbedömning IsoTimber väggsystem: referensmiljöer för framtidens produkter. Östersund: Jergulius institutet.

Elektroniska källor

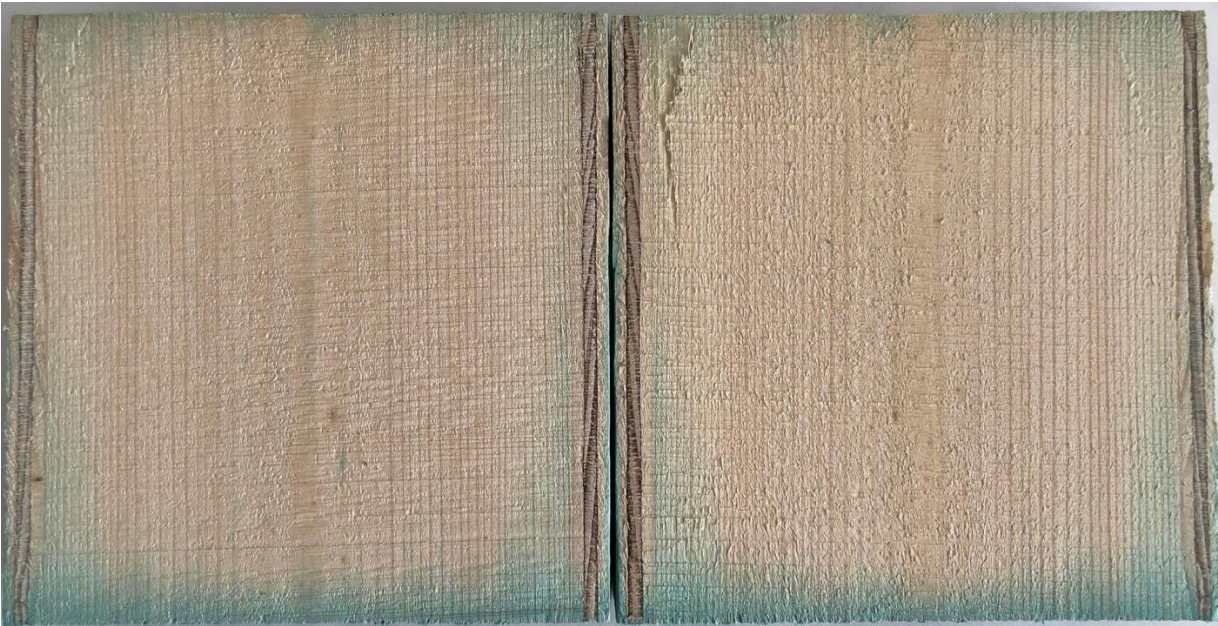
- Naturvårdsverket: (u.å) Hur bidrar Sverige till Parisavtalet. Hämtad: 2022-06-01 från:
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/det-globala-klimatarbetet/parisavtalet/hur-bidrar-sverige-till-parisavtalet/>
- Fridholm, Mattias, (u.å). Varför trä. Hämtad: 2021-11-12 från:
<https://www.svensktra.se/bygg-med-tra/byggande/varfor-tra/>

Fridholm, Mattias, (u.å). Småhus och flervåningshus. Hämtad: 2022-08-12 från:

<https://www.svensktra.se/bygg-med-tra/byggande/olika-trakonstruktioner/smahus-och-flervaningshus/>

Södra skogsägarna ekonomisk förening, (2020). Environmental Product declaration for CLT (Cross laminated Timber). Hämtad: 2021-10-12 från: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316508-1607949248/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-2587-1314_CLT--Cross-Laminated-Timber-.pdf

8 Appendix



Figur A1. Bild KIT1



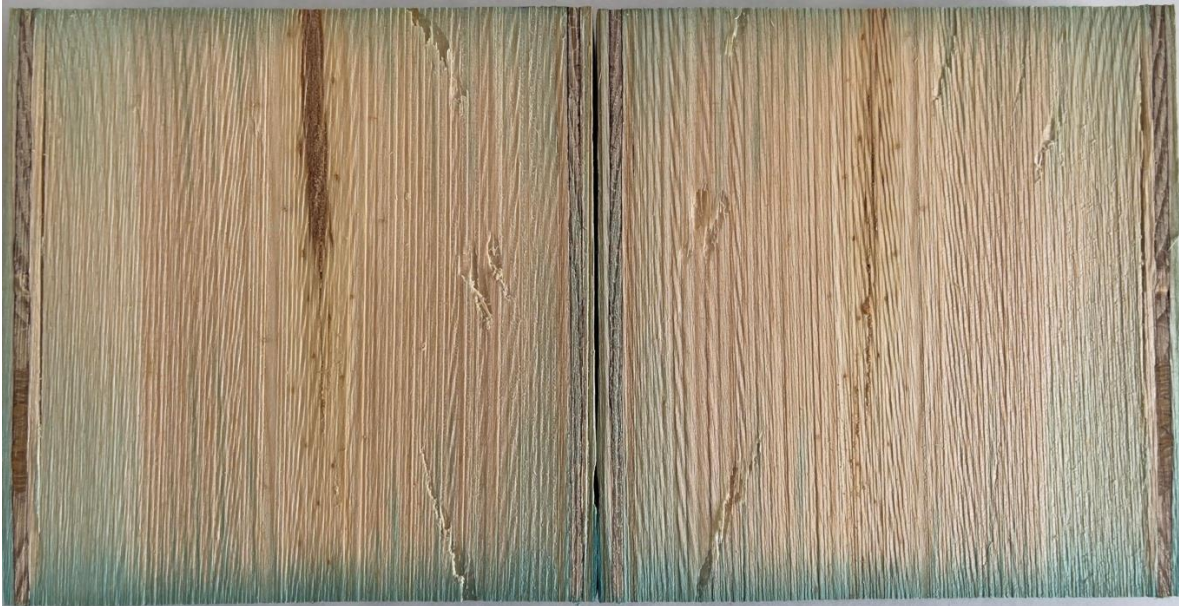
Figur A2. Bild KIT2



Figur A3. Bild KIT3



Figur A4. Bild KMT1



Figur A5. Bild KMT2



Figur A6. Bild KMT3