

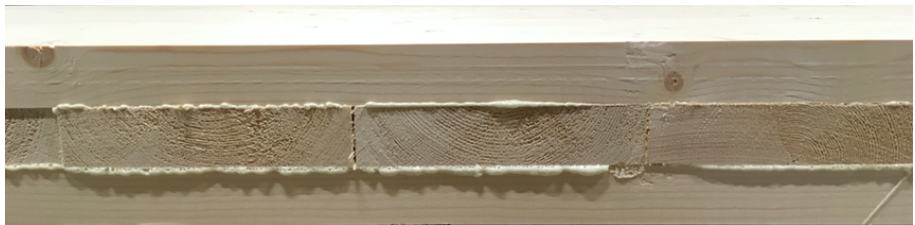
Avdelningen för Byggnadsfysik

---

Examensarbete TVBH—19/5102

Lund 2019

# Analys av mögelrisk när KL-trä används i klimatskalet



Sara Shareef  
Hiba Alyaseen



**LUNDS**  
UNIVERSITET



# Analys av mögelrisk när KL-trä används i klimatskalet

Sara Shareef  
Hiba Alyaseen

Examensarbete

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi  
Lunds Universitet  
Box 118  
221 00 Lund

© Sara Shareef och Hiba Alyaseen

ISRN LUTVDG/TVBH—19/5102--SE(173)  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 LUND

# Sammanfattning

<b>Titel:</b>	Analys av mögelrisk när KL-trä används i klimatskalet
<b>Författare:</b>	Sara Shareef och Hiba Alyaseen
<b>Handledare:</b>	Petter Wallentén, Institutionen för Bygg och miljöteknologi, avdelningen för Byggnadsfysik
<b>Examinator:</b>	Lars-Erik Harderup, Institutionen för Bygg och miljöteknologi, avdelningen för Byggnadsfysik

I boverkets rapport *Beräkning av behovet av nya bostäder till 2025* framgår det att 600 000 nya bostäder behöver byggas fram till år 2025. Regeringen anser att ett ökat industriellt träbyggande kan bidra till att möta behovet av nya och överkomliga bostäder av god kvalitet. Trä kan ge goda förutsättningar för industriell byggproduktion och hög prefabriceringsgrad som i sin tur kan pressa byggkostnaderna, öka konkurrensen samt effektivisera produktionen av bostäderna. Trä är även en hållbar produkt som binder koldioxid under sin livslängd. En undersökning visar att ett industriellt flerbostadshus av trä har 40% lägre koldioxidutsläpp än ett jämförbart betonghus.

Genom diskussion med olika yrkesverksamma aktörer inom byggbranschen framgår att korslimmat trä, även kallat KL-trä är ett nytt konstruktionsmaterial som har börjat bli allt mer frekvent på den svenska marknaden. Produkten kan användas både som bärande konstruktion och som klimatskydd. Utmaningarna med den nya träprodukten består av att få fram fungerande lösningar för akustik, brand och fukt. Eftersom fukt är en särskilt viktig fråga med avseende på mögelrisken för organiska produkter, kommer studien att riktas åt att undersöka risken för mögelpåväxt på KL-träkonstruktioner.

Syftet med denna studie är att undersöka hur KL-träkonstruktioner fungerar i olika svenska klimat med avseende på mögelrisk. Syftet är även att undersöka vilka faktorer som har störst inverkan på olika KL-träkonstruktioner ur fuktsynpunkt. Detta för att ge verksamma aktörer inom byggbranschen samt ingenjörstudenter en inblick i hur KL-trä fungerar som konstruktionsmaterial, särskilt med avseende på risken för mögelpåväxt.

Studiens mål är att redogöra för om KL-träkonstruktioner fungerar med avseende på mögelrisk. För att kunna uppfylla målet kommer följande frågeställningar att besvaras:

- Fungerar typiska KL-träkonstruktioner i alla delar av Sverige med normalt varierande fuktillskott?
- Vilka faktorer kan ha störst inverkan på uppkomst av mögelpåväxt på typiska KL-träkonstruktioner?

- Hur stor är den normala byggfukten i KL-trä, och kommer denna byggfukt hinna torka ut med de vanligaste byggmetoderna som används just nu?

För att kunna genomföra denna studie har fyra ytterväggar innehållande KL-träkonstruktioner från olika projekt studerats. Analyserna har utförts med hjälp av värme- och fuktsimuleringsprogrammet WUFI samt genom användning av en mögelmodell, en så kallad MRD-modell. Dessutom har litteraturstudie, studiebesök och intervjuer genomförts. Litteraturstudie i form av handböcker, kurslitteratur, standarder och vetenskapliga artiklar har bidragit till den teoretisk bakgrundsinformation som krävs för att kunna utforska KL-trä vidare. Intervjuerna har varit särskilt viktiga för att kunna få en övergripande bild över KL-trä som konstruktionsmaterial men även en djupare förståelse för studiens forskningsområde. Ett projekt utfört med KL-trästomme har även följts närmare, detta för att kunna få insikt i hur KL-trä fungerar vid praktiska tillämpningar.

Studien har kunnat bidra till följande slutsatser:

- KL-träkonstruktioner i de studerade ytterväggarna fungerar i olika klimat, representerande hela Sverige. Däremot kan uppbyggnaden av ytterväggarna ge varierande förutsättningar för mögelpåväxt i KL-träet.
- KL-träkonstruktioner bör inte utsättas för direkt exponering av uteklimatet under byggprocessens olika skeden. KL-träet bör därför alltid väderskyddas. Konstruktionerna ska heller inte utsättas för relativ fuktighet högre än 90% samt att fuktklass 3 inte får överstigas. Klimatet utgör även en avgörande faktor för risken av mögelpåväxt. KL-träets materialegenskaper har även en stor betydelse för uppkomsten av mögel. Att montera en plastfolie i ytterväggar med KL-trästomme kan även medföra ökad risk för mögelpåväxt. Därför anses tejpling av skarvar och otätheter vara tillräcklig för att kunna uppnå en god lufttäthet.
- Den normala byggfukten i KL-träkonstruktioner vid relativ fuktighet 80% är 80 kg/m<sup>3</sup>, motsvarande cirka 18 % i fuktkvot. Denna byggfukt hinner efter två år torka ner till en fukthalt som är 56 kg/m<sup>3</sup>, motsvarande 12% i fuktkvot. Uttorkning till jämviktsfuktkvot är även möjlig att uppnå med de vanligaste byggmetoderna.

**Nyckelord:** Byggfukt, CLT, KL-trä, Korslimmat trä, MRD, MRD-index, Mögelpåväxt, Uttorkning, Fukt, WUFI.

# Abstract

The aim of this thesis, Analysis of mold risk when CLT is used as a framing material, is to analyze the risk of mold growth in different CLT-panels subjected to outdoor climate. The analysis is performed in the hygrothermal calculation tool, WUFI and by using a mold model called MRD-model. The focus in this study is to examine how well the CLT-panels works in different parts of Sweden with normally varying additional moisture, which parameters can have the greatest impact on mold growth and how large the normal building moisture is in CLT. Results showed that buildings with CLT-panels are functioning in different climates in Sweden. On the other hand, the construction of different outer walls can provide varying conditions for mold growth. The study has also shown that CLT should not be exposed to direct exposure to the outdoor climate and that some weather protection is required during transport and storage. Also, the CLT should not be exposed to relative humidity higher than 90 %, and moisture class 3 should not be exceeded. It is also found that the normal moisture level in CLT-panels while implementing in wall constructions at 80% relative humidity is about 18% in moisture ratio.

# Förord

Detta examensarbete är skrivet som avslutande moment i högskoleingenjörsutbildningen Byggteknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola, på avdelningen för Byggnadsfysik på Lunds Universitet. Denna uppsats omfattar 22,5 högskolepoäng och avslutades under juni 2019. Examensarbetet behandlar ett aktuellt konstruktionsmaterial, KL-trä med fokus på fukt och mögelpåväxt. Ämnet för studien har fastställts genom forskning, diskussioner med yrkesverksamma aktörer samt samtal med handledaren Petter Wallentén.

Vi vill tacka alla som har varit involverade och stöttande under utbildningen. Vi vill särskilt tacka vår handledare, Petter Wallentén som har väglett oss genom hela arbetet och hjälpt oss med fuktsimuleringsprogrammet som används i arbetet. Vi vill även tacka Lars-Erik Harderup för att vara vår examinator. Vi vill rikta ett stort tack till Anna-Lena Hirell för korrekturläsning av uppsatsen och hennes värdefulla synpunkter. Ett stort tack riktas även till alla medverkande kontaktpersoner och företag som vi har haft givande diskussioner och intervjuer med, däribland:

Björn Visell, Nock Massiva Trähus  
Joakim Lyth, Wingårdh  
Lars Olausson, Liljewall Arkitekter  
Lars Olsson, RISE  
Oskar Ranefjärd, LTH  
Per Karnehed, Karnehed Design & Construction AB  
Peter Jacobsson, Martinsons  
Stephen Burke, LTH  
Sven Thelandersson, LTH

Alla bilder och figurer i rapporten är författarnas egna om inget annat anges.

*Lund i juni 2019*

*Sara Shareef & Hiba Alyaseen*



# Definitioner och beteckningar

CLT	Cross Laminated Timber
EKS	Europiska konstruktionsstandarder, Boverkets konstruktionsregler.
Fukthalt $w$	Anger massan av vatten i förhållande till volymenhet av material i $\text{kg}/\text{m}^3$ .
Fuktkvot $u$	Anger massan av vatten i förhållande till massan av absolut torrt material i $\text{kg}/\text{kg}$ , (%).
Klimatklass 1	Kännetecknas av en miljö med relativa fuktigheten enbart under ett fåtal veckor per år överstiger 65%.
Klimatklass 2	Kännetecknas av en miljö med relativa fuktigheten enbart under ett fåtal veckor per år överstiger 85%.
Klimatklass 3	Trämateriell med en medelfuktkvot som överskrider 20%.
KL-trä	Korslimmat trä
$w_{krit}$	Kritiska fukthalt. Anger materialets fuktillstånd vid vilket det uppstår risk för olägenheter.
Lameller	brädor eller plankor som kan användas för uppbyggnad av KL-träkonstruktioner.
MRD	Mould Resistance Design Model som används för att beräkna risken för mögel på materialet.
$v_s$	Mättnadsånghalt. Den maximala ånghalt som en volymenhet luft kan innehålla och varierar beroende av temperaturen i $\text{kg}/\text{m}^3$ .
$\gamma_M$	Partialkoefficient. Partiell säkerhetsfaktor som tar hänsyn till osäkerheter i hållfasthetsvärden, i beräkningsmodeller och i värden för tvärsnittsmått.
RF	Relativ fuktighet. Anger förhållandet mellan den aktuella ånghalten i förhållande till mättnadsånghalt.
WUFI	På tyska är Wärme Und Feuchte Instationär, är ett värme- och fuktsimuleringsprogram som används för simuleringar av de hygrotermiska förhållanden.
$Z_v$	Ånggenomgångsmotstånd, anger motståndet hos materialet mot fuktransport vid diffusion i $\text{s}/\text{m}$ .
$\delta_v$	Ånggenomsläpplighetskoefficient, beskriver hur snabbt fuktflöde kan överföras genom materialet, väsentligen genom fuktdiffusion $\text{m}^2/\text{s}$ .



# Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	i
Abstract.....	iii
Förord.....	iv
Definitioner och beteckningar.....	v
Innehållsförteckning.....	vii
1 Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte .....	2
1.3 Mål och frågeställningar .....	2
1.4 Metod .....	2
1.5 Avgränsningar.....	3
1.6 Disposition av uppsats .....	4
2 Teori .....	5
2.1 Lagar, regler och krav.....	5
2.1.1 EKS .....	5
2.1.2 Boverkets byggregler.....	5
2.2 Allmänt om trä.....	6
2.2.1 Träets egenskaper .....	7
2.3 KL-trä som konstruktionsmaterial .....	8
2.3.1 Tillverkningsprocess av KL-trä .....	10
2.3.2 Lim i KL-trä .....	10
2.3.3 KL-trä som stomelement.....	11
2.3.4 Fuktförhållanden i KL-trä.....	13
2.3.5 Brand.....	14
2.3.6 Ljud.....	15
2.4 Fuktegenskaper i trä .....	15
2.4.1 Fuktttransport i ångfas.....	16
2.4.2 Fuktttransport i vätskefas.....	17
2.4.3 Temperaturberoende .....	17
2.4.4 Fuktkällor .....	18
2.4.5 Kritiska Fukttillstånd .....	20
2.4.6 Fuktegenskaper hos KL-trä .....	20
2.5 Mikrobielltillväxt .....	21
2.6 Hygrotermiska egenskaper hos KL-trä .....	23
2.6.1 Densitet.....	23
2.6.2 Värmeledningsförmåga .....	23
2.6.3 Värmekapacitet, värmediffusivitet.....	23
2.6.4 Jämviktsfuktkurva.....	23
2.6.5 Kapillärsugningsförmåga .....	23
2.6.6 Fuktttransportkoefficienter .....	24
2.6.7 Lufttäthet.....	25
2.6.8 Fler studier om KL-trä .....	25
3 Analysmetoder.....	29
3.1 Tillvägagångssätt .....	29
3.1.1 Intervjuer, studiebesök och diskussioner .....	29
3.1.2 Programvara .....	30

3.1.3	Ytterväggskonstruktioner .....	30
3.2	WUFI .....	30
3.2.1	Konstruktion .....	31
3.2.2	Inställningar .....	35
3.2.3	Klimat .....	35
3.2.4	Förutsättningar för simulering i WUFI .....	36
3.3	MRD- modell .....	37
3.4	Ytterväggskonstruktioner .....	39
3.4.1	Yttervägg A.....	39
3.4.2	Yttervägg B.....	39
3.4.3	Yttervägg C .....	40
3.4.4	Yttervägg D .....	40
4	Genomförande.....	43
4.1	Val av typiska ytterväggskonstruktioner .....	43
4.1.1	Basfall .....	43
4.1.2	Uppbyggnad av ytterväggskonstruktioner i WUFI .....	44
4.2	Parameterstudie .....	48
4.2.1	Beskrivning av parametrar.....	49
4.3	Uttorkning av KL-träkonstruktion .....	54
5	Analys och resultat.....	55
5.1	Intervjuer, diskussioner och studiebesök .....	55
5.1.1	Fuktförhållanden under tillverkning .....	55
5.1.2	Byggfukt.....	56
5.1.3	Fuktupptagning och fuktorkning.....	57
5.1.4	Mögelpåväxt.....	57
5.1.5	Väderskydd .....	58
5.1.6	Fuktskyddande åtgärder .....	58
5.1.7	Herrestadsskolan - Liljewall arkitekter .....	59
5.2	Val av typiska ytterväggar.....	60
5.2.1	MRD-diagram.....	61
5.2.2	Val av typisk ytterväggskonstruktion.....	65
5.3	Parameterstudie .....	66
5.3.1	KL-träkonstruktion i yttervägg B.....	66
5.3.2	KL-träkonstruktion i yttervägg D .....	77
5.3.3	Sammanställning av resultat .....	89
5.4	Vatteninnehåll/ Byggfukt/ uttorkning.....	93
5.4.1	KL-träkonstruktion i yttervägg B.....	94
5.4.2	KL-träkonstruktion i yttervägg D .....	96
5.4.3	Sammanställning av resultat .....	99
6	Diskussion .....	101
6.1	Resultatdiskussion .....	101
6.2	Metoddiskussion och felanalys .....	105
6.2.1	Uppbyggnad av konstruktion.....	105
6.2.2	Simuleringar i WUFI.....	106
7	Slutsats .....	109
8	Vidare studier .....	111
	Referenser.....	113
	Bilagor .....	119

Bilaga A- Klimat.....	119
Bilaga B - Materialdata .....	123
Bilaga C- Uppbyggnad av yttervägg B och D med lim.....	138
Bilaga D- Intervjuer, studiebesök och diskussioner.....	140



# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

I boverkets rapport *Beräkning av behovet av nya bostäder till 2025* (2017) framgår det att 600 000 nya bostäder behöver byggas fram till år 2025. För att kunna uppnå målet behöver 66 700 bostäder byggas per år fram till 2025. Med den ökade bostadsproduktionen är det även viktigt att ta hänsyn till de internationella klimatmålen och byggnadsmaterialens livscykelerspektiv. Enligt Boverket (2019) framgår det att utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn svarade för 21 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser under 2016.

Regeringen anser att ett ökat industriellt träbyggande kan bidra till att möta behovet av nya och överkomliga bostäder av god kvalitet (Regeringskansliet 2018). I Regeringskansliets rapport (2018) *Inriktning för träbyggande* framgår det även att trä kan ge goda förutsättningar för industriell byggproduktion och hög prefabriceringsgrad som i sin tur kan pressa byggkostnaderna, öka konkurrensen på byggmarknaden och effektivisera produktionen av bostäderna.

Trä är en hållbar produkt som binder koldioxid under byggnadens livstid. Med träets lätta vikt blir det även enklare att bygga på redan befintliga fastigheter. Trä ger också goda förutsättningar för varierande formgivning och arkitektonisk utformning. Genom en ökad industriell produktion av bostäder kan tiden för byggprocessen som helhet minska, en förbättrad kvalitet för bostäderna uppnås och kostnaderna för de nya bostäderna sänkas (Regeringskansliet 2018). En forskningsrapport *Om industriellt byggande i trä- nuläge och prognos mot 2025* (Brege, Nord & Stehn 2017), visar även att ett industriellt flerbostadshus av trä har 40% lägre koldioxidutsläpp än ett jämförbart betonghus.

KL-trä är ett konstruktionsmaterial som består av flera lager trälameller som är staplade med 90 gradig vinkel i förhållande till varandra. Användningen av KL-trä har ökat de senaste åren just på grund av de hållbarhetsaspekter som materialet innehåller (Brandner 2013). Joakim Lyth<sup>1</sup> konstaterar att KL-trä har börjat bli allt mer frekvent på den svenska marknaden. Detta förklaras med fördelarna som produkten innebär, bland annat att KL-trä möjliggör ett hållbart byggande, möjligheten till prefabricering som medför snabbt montage samtidigt som en minskad bullernivå på arbetsplatsen kan uppnås. Utmaningarna med den nya träprodukter utgörs i att få fram fungerande lösningar för akustik, brand och fukt, tillägger Lyth. Materialet kan användas som bärande stomme i olika typer av projekt, exempelvis till skolor, flervåningshus, industrilokaler, småhus men även till specialprojekt (Borgström & Fröbel 2017).

---

<sup>1</sup> Joakim Lyth, arkitekt, Wingårdhs Malmö, Intervju den 14 december 2018.

Mer än 80% av skador som byggnader drabbas av bedöms vara fuktskador, som i sin tur kan orsaka volymförändring, minskad hållfasthet samt försämrade värmeisolering (Sandin 2010). Fukt kan även orsaka mögelpåväxt i material, vilket kan leda till bland annat allergier, infektioner och irritationer (Mögel i byggnader 1984). Denna rapport inriktar sig därför på att analysera risken för mögel när KL-träkonstruktioner används i klimatskalet. Analyserna genomförs med hjälp av simuleringsverktyget WUFI och en mögelmodell, en så kallad MRD-modell.

Examensarbetet skrivs i samarbete med avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet med syfte att undersöka hur KL-träkonstruktioner fungerar med avseende på mögelrisk.

## 1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka hur KL-träkonstruktioner fungerar i olika klimat med avseende på mögelrisk. Syftet är även att undersöka vilka faktorer som har störst inverkan på olika KL-träkonstruktioner ur fuktsynpunkt. Detta för att ge yrkesverksamma aktörer inom byggbranschen samt ingenjörstudenter en inblick i hur KL-trä fungerar som konstruktionsmaterial, särskilt med avseende på risken för mögelpåväxt.

## 1.3 Mål och frågeställningar

Studiens mål är att redogöra för om KL-träkonstruktioner fungerar med avseende på mögelrisk. För att kunna uppfylla målet om hur KL-träkonstruktioner fungerar med avseende på mögelrisk kommer följande frågeställningar att besvaras:

- Fungerar typiska KL-träkonstruktioner i alla delar av Sverige med normalt varierande fuktillskott?
- Vilka faktorer kan ha störst inverkan på uppkomst av mögelpåväxt på typiska KL-träkonstruktioner?
- Hur stor är den normala byggfukten i KL-trä, och kommer denna byggfukt hinna torka ut med de vanligaste byggmetoderna som används just nu?

## 1.4 Metod

För att skapa grund och kunskap under skrivprocessen har både kvantitativ och kvalitativ metod genomförts. Litteraturstudie i form av handböcker, kurslitteratur, standarder och vetenskapliga artiklar har bidragit till den teoretisk bakgrundsinformation som krävdes för att kunna utforska KL-trä vidare. Studiebesök hos KL-träleverantören Martinsons har bidragit till utökad förståelse för KL-trä som produkt samt tillverkningsprocessen av KL-trästommar. Intervjuerna har varit särskilt viktiga för att kunna få en övergripande bild över KL-trä som konstruktionsmaterial i Sverige men även en djupare förståelse för studiens forskningsområde. Ett projekt utfört med KL-trästomme, kallat Herrestadsskolan har även följts närmare genom diskussion med ansvarig arkitekt, detta för att kunna få insikt i hur



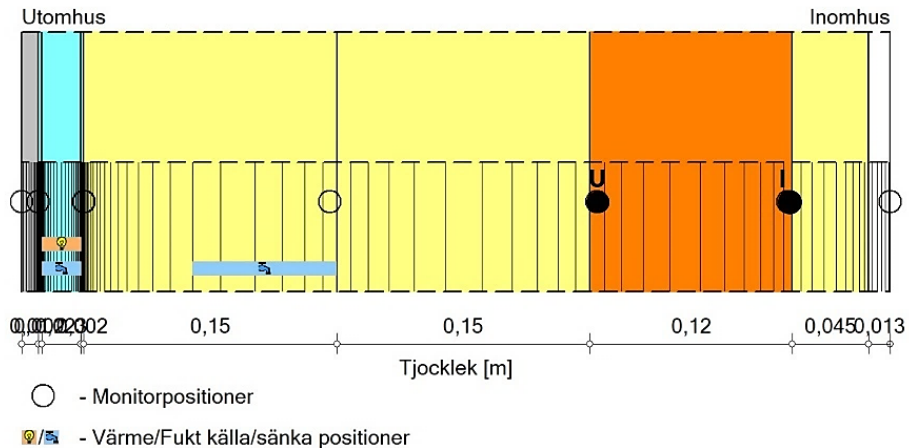
KL-trä fungerar vid praktiska tillämpningar. Intervjuer, studiebesök och diskussioner beskrivs mer djupgående under kapitel 3. Till den kvantitativa delen tillhör beräkningar utförda med fuktsimuleringsprogrammet samt undersökningar med mögelmodellen.

Resurser i form av ett fuktsimuleringsprogram och en mögelmodell har varit nödvändiga att införskaffa för att kunna besvara frågeställningarna. Fuktsimuleringsprogrammet som används i studien är WUFI Pro 6.2 och mögelmodellen är en så kallad MRD-modell. Mer ingående information om analysmetoderna redovisas under kapitel 3.

## 1.5 Avgränsningar

Denna studie inriktar sig på fukt och risken för mögelpåväxt i KL-träkonstruktioner. Med KL-träkonstruktioner menas KL-träet som finns i studerade ytterväggar. Vid uppkomst av annan information som kan vara värdefull under arbetsprocessen kommer även denna att presenteras. Avgränsningarna för denna studie utgörs av:

- att endast undersöka ytterväggskonstruktioner med KL-trä. Ytterväggarna är framtagna från genomförda projekt i Sverige. En viss avvikelse kan ha uppkommit vid simuleringar i jämförelse med hur den verkliga konstruktionen ser ut.
- att fyra ytterväggar studeras. Ett urval kommer att göras för de så kallade typiska ytterväggarna, där endast KL-träkonstruktionerna analyseras vidare. Med typiska ytterväggskonstruktioner menas konstruktioner som har förekommit i verkligheten och vars egenskaper medger störst risk för mögelpåväxt.
- att endast de vanligaste byggmetoderna undersöks. Med vanligaste byggmetoder menas uppbyggnad av de typiska ytterväggskonstruktionerna, liksom placering av KL-träkonstruktionen i yttervägg, andra ingående material och väderskydd.
- att undersökningen riktar sig på fyra olika städer i Sverige som anses ha varierande klimat, enligt bilaga A, vilka därmed representerar hela Sverige. Städerna är Lund, Stockholm, Borlänge och Luleå.
- att fuktsimuleringsprogrammet WUFI Pro 6.2 1D används för simuleringar av de hygrotermiska förhållanden. Ingen hänsyn tas till fuktläckage genom genomföringar som dörrar och fönsteröppningar samt köldbryggor i hörn och andra anslutningar.
- att en Mould Resistance Design model, MRD-modell används för bedömning av risken för mögel.
- att endast analysera KL-träkonstruktionerna enligt utvändigt mätuppsättning, U och invändigt mätuppsättning, I redovisade under figur 1.1. Punkt U och punkt I anger monitorposition där mätdata har tagits ur WUFI för analys i MRD-modellen.



Figur 1.1 Principuppgbygnad av en ytterväggskonstruktion i WUFI. Prickarna U och I motsvarar mätpunkter över studerad KL-träkonstruktion. Monitorposition U motsvarar utvändig mätpunkt och monitorposition I motsvarar invändig mätpunkt.

## 1.6 Disposition av uppsats

Denna studie är huvudsakligen uppdelad i tre delar:

Den första delen omfattar kapitel 2 som är ett teorikapitel. Kapitlet inleds med vilka lagar, regler och riktlinjer som finns för träkonstruktioner och KL-träkonstruktioner, med hänsyn till fuktegenskaper och mögelpåväxt. Under detta kapitel beskrivs även en teoretisk bakgrund om trä- och KL-trä som konstruktionsmaterial samt allmänna materialegenskaper. Störst fokus ägnas åt hygrotermiska förhållanden i trä som KL-trä samt ett beskrivande avsnitt för mögel.

Studiens andra del utgörs av kapitel 3 som ger en djupare genomgång av valda analysmetoder. Därefter följer kapitel 4 som beskriver genomförandeprocessen inför analyserna under kapitel 5.

Den avslutade delen utgörs av kapitel 5, 6, 7 och 8. Kapitel 5 redovisar analyser och resultat genomförda med WUFI och MRD. Kapitel 6 är ett diskussionskapitel som utvärderar studien. Under kapitel 7 dras slutsatser utifrån studiens resultat. Slutligen föreslås exempel på ämnen att utforska vidare, vilka redovisas under kapitel 8.

## 2 Teori

I detta kapitel ges en teoretisk bakgrund för trä som material, uppbyggnad och egenskaper men även för vilka krav och regler som kan vara relevanta att känna till. En beskrivning av KL-trä som konstruktionsmaterial redogörs också för i kapitlets avslutande delar vilket är nödvändigt att känna till inför fortsättningen.

### 2.1 Lagar, regler och krav

I detta avsnitt presenteras lagar, regler och allmänna råd som utgör riktlinjerna i arbetet med träbaserade produkter samt fuktrelaterade frågor. Boverket ger ut Boverkets Byggregler (BBR) samt Boverkets konstruktionsregler (EKS). Krav för bärförmåga, stadga och beständighet anges i EKS. I PBL, BBR och EKS finns minimikrav på det som ska byggas (Boverket 2018). Reglerna i BBR innehåller funktionskrav som stödjer fuktsäkerhetsprojekteringen och kontrollarbetet under projekteringen samt under byggskedet (Boverket 2017a). Ur Boverket (2018) framgår det att regler för fuktsäkerhet upprättas för att kunna styra byggnaders utformning och konstruktion så att fukt inte orsakar skador som kan medföra en negativ inverkan på människors hygien eller hälsa.

#### 2.1.1 EKS

Genom EKS 10 (BFS 2015:6) tillämpas och integreras eurokoderna i Sverige. EKS 10 innehåller nio av de tio centrala delar som eurokodsytetemet omfattar, bland andra Eurokod 5. Denna utnyttjas vid dimensionering av träkonstruktioner (Boverket 2015). Dimensionering av korslimmat trä är ännu inte fastställd i EN 1995-1-1 men nya eurokoder planeras komma ut 2020 där KL-trä kommer att inkluderas. Vid dimensionering av korslimmat trä utnyttjar tillverkarna, European Assessment Document, EDA 130005-00-0304 som förutsättning för att erhålla europeiska tekniska bedömningar (Jacob, Harrington & Robinson 2018). När det gäller värdet av partialkoefficienten  $\gamma_M$ , som används vid dimensionering av KL-trä, utnyttjas i vissa länder samma värde som för konstruktionsvirke medan andra länder använder ett värde som svarar mot värdet för limträ. I Sverige finns det inte något särskilt värde för KL-trä utan det förordas ett värde som är lika med 1,25 (Borgström & Fröbel 2017).

#### 2.1.2 Boverkets byggregler

Enligt Plan och bygglag (2010:900) 8 kap 4 § ska en byggnad ha de tekniska egenskaper som är nödvändiga i fråga om skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljön (Sveriges Riksdag 2018). I Plan och byggförordning (2011:338) 3 kap 9 § framgår det att byggnaden ska projekteras och utföras så att oacceptabel risk för användarnas eller grannarnas hygien eller hälsa inte uppkommer, särskilt inte till följd av förekomst av fukt i delar av byggnaden eller på ytor inom byggnadsverket (Sveriges Riksdag 2019). Krav som anges i BBR, relaterade till fukt, är bland annat att byggnader och deras installationer ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell tillväxt som kan påverka hygien eller hälsa, Boverket (2014a).

För att krav på god inomhusmiljö ska uppfyllas bör varje material och byggnadsdetalj som väljs samverka med varandra för att få en fungerande helhet. Detta ställer krav på beställare och fastighetsägare att känna till vad som krävs för fuktsäkerhet i byggnaden, projektörer att kunna nyttja de hjälpmedel och riktlinjer som finns för fuktsäkerprojektering, entreprenörer att förstå hur byggmaterialen kan påverkas av fukt och byggnaden som helhet samt kontrollansvariga att kunna identifiera och bedöma viktiga kontrollpunkter i fuktsäkerhetsarbetet (Boverket 2014a). Utifrån Boverkets byggregler framgår ett allmänt råd som lyder enligt följande, 6:51 *Allmänt* (Boverket 2017a):

*Allmänt råd*

*Vid planering, projektering, utförande och kontroll av fuktsäkerheten kan Branschstandard ByggaF – metod för fuktsäker byggprocess användas som vägledning.*

*Byggnader, byggprodukter och byggmaterial bör under byggtiden skyddas mot fukt och mot smuts. Kontroll av att material inte har fuktskadats under byggtiden bör ske genom besiktningar, mätningar eller analyser som dokumenteras.*

Hänsyn till fuktsäkerhet måste tas under hela byggprocessen. Ett systematiskt fuktsäkerhetsarbete förutsätter följande (Boverket 2017a):

- Lämpliga materialval och lösningar
- Lämpliga väderskydd för materialen och byggnaden under byggskedet samt
- Lämpliga val av kontroller

Högsta tillåtna fukttillstånd utifrån BBR 6:52 och 6:53 kan anges som fuktkvot,  $u$  (% eller kg/kg) eller relativ fuktighet (%), (Boverket 2014b). Kontroll av fukttillstånd utförs på byggnadsdelar under ogynnsamma förutsättningar. Högsta tillåtna fukttillstånd är det högsta tillstånd där fukt inte kan förväntas orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa. Det kritiska fukttillståndet kan definieras som det fukttillstånd där ett materials egenskaper och funktion börjar brista. Vid fuktsäkerhetsprojektering bör följande villkor uppfyllas:

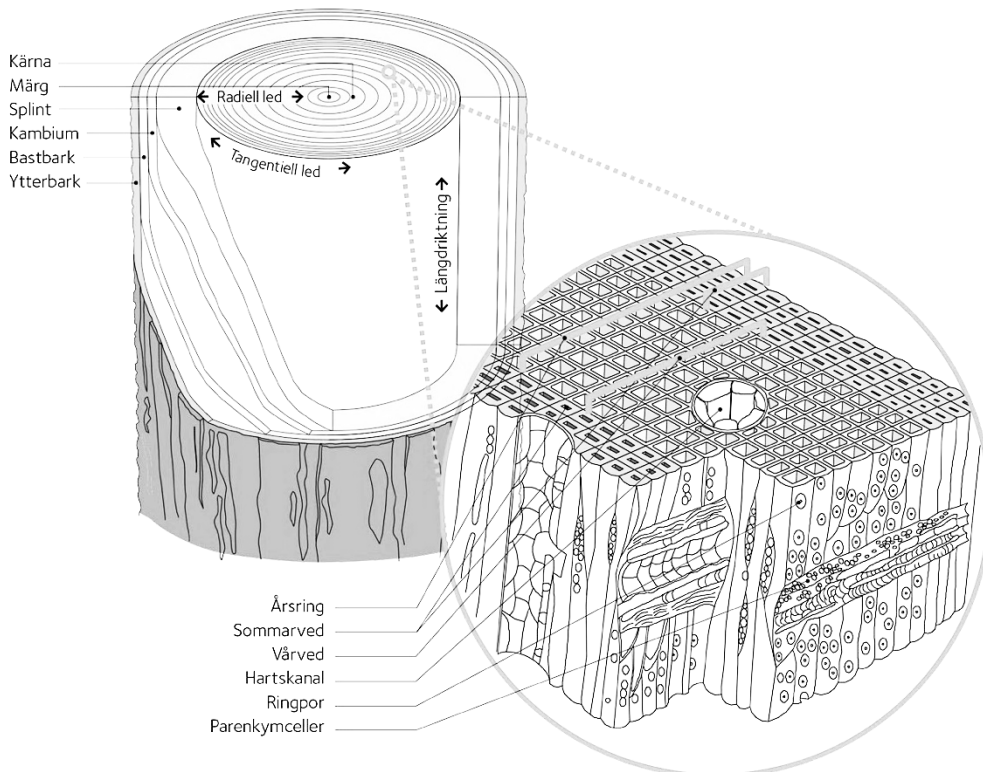
- Kontrollerade fukttillstånd ska inte överstiga högsta tillåtna fukttillstånd.
- Högsta tillåtna fukttillstånd får inte överstiga kritiskt fukttillstånd.

Enligt Boverket (2014c) ska material och produkter som förväntas drabbas av mögeltillväxt kontrolleras i enlighet med det kritiska fukttillståndet. Om materialet saknar värden för kritisk fukttillstånd kan en relativ fuktighet, RF på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd (Boverket 2017c).

## 2.2 Allmänt om trä

Användningen av trä som stommaterial har en lång tradition i Sverige. Att trä är ett av de dominerande byggnadsmaterialen beror på den goda tillgången till skogar samt på träets goda egenskaper, bland annat en låg densitet och att det är enkelt att bearbeta (Sandin 2007). Trä är uppbyggt av fibrer som kan liknas vid en bunt rör med en längd motsvarande cirka 3 mm och diametern 0.1 mm för varje rördel, enligt figur 2.1. Ringporer som förbinder rören tillsammans med märe och hartskanaler bidrar till att fukttransporten sker på ett enklare sätt

i fiberriktningen, även kallad längdriktning i figur 2.1. Fukttransporten i radiell riktning är långsammare eftersom fukten måste ta sig igenom cellväggarna eller ringporerna. I tangentiell riktning är fukttransporten som lägst (Arfvidsson, Harderup & Samuelson 2017).



Figur 2.1 Principiell uppbyggnad av trädstam (TräGuiden 2018a).

## 2.2.1 Träets egenskaper

Träets mekaniska egenskaper har en betydande inverkan på materialets användbarhet och de utgörs av bland annat, densitet, styvhet, beständighet, fuktupptagningsförmåga och värmeledningsförmåga. Dessutom är många av egenskaperna direkt kopplade till varandra (TräGuiden 2017a).

### 2.2.1.1 Fysikaliska egenskaper

Nyavverkat rundvirke har en fuktkvot som är mellan 30% och 40% i kärnan samt mellan 130% och 160% i splinten. Uttorkning av virket pågår tills fuktkvoten uppnår fibermåtnadspunkten som är mellan 25% och 30%, beroende på träslag. Om torkning pågår under fibermåtnadspunkten börjar virket krympa (TräGuiden 2016). Gran är det träslag som vanligen används som konstruktionsvirke. Furu används i större utsträckning till snickerier, lister och invändiga paneler. Normala variationer för densitet inom samma träslag i ostörd fiberstruktur kan beräknas vara 20%. Fysikaliska egenskaper som kan vara av betydelse att känna till för gran respektive furu anges i tabell 2.1. Värdena är angivna för virke med 12%

fuktkvot och medeltemperatur 20 °C. Gran och furu beaktas som lika trots skillnaderna (Svenskt trä u.å).

Tabell 2.1 Fysikaliska värden för gran respektive furu. (/) = egenskaper vinkelrätt fiberriktningen. (//)= egenskaper parallellt med fiberriktning (Svensk Trä u.å).

Fysikaliska egenskaper hos gran och furu			
Egenskaper	// //	Gran	Furu
Fuktkvot (%)	//	12	12
Torr-rådensitet (kg/m <sup>3</sup> )	//	380	420
Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	//	440	470
Värmeledningsförmågan (W/mC)	// /	0,24 0,11	0,26 0,12
Värmekapacitet (J/kgC)	//	1 650	1 650
Värmevärde (MJ/kg)	//	16,9	16,9

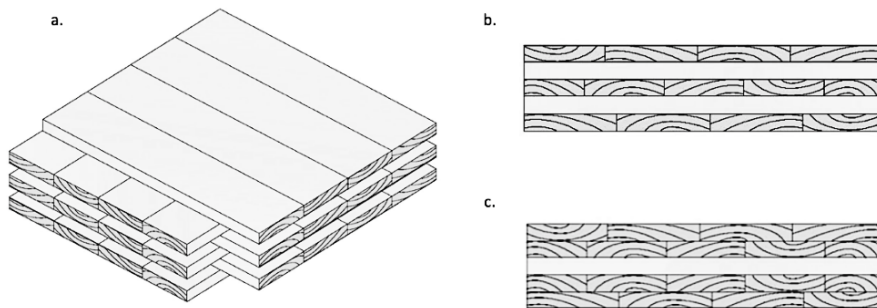
### 2.2.1.2 Sortering av virke

Förutom de mekaniska egenskaperna, varierar träets visuella egenskaper genom förekomst av särdrag i form av kvistar, deformationer och vedförändringar. Andelen förekomst av särdragen bestämmer virkets kvalitet. Trävirke delas in i olika kvalitetsklasser enligt standarden för utseendesortering, SS-EN 1611-1 (TräGuiden 2017a). Konstruktionsvirke kan även sorteras enligt hållfasthetssortering beroende på vilka materialegenskaper som önskas. Båda visuella och maskinella sorteringar enligt SS 230 120 är möjligt. Visuellt sorterat virke kan förekomma i hållfasthetsklasserna C14, C18, C24 och C30. Maskinellt sorterat virke kan förekomma i bland annat hållfasthetsklass C16, C20, C24, C30 och C35. Ju lägre hållfasthetsklass desto större dimension måste konstruktionsvirket ha. Konstruktionsvirket ska vara CE-märkt för att kunna påvisa att de grundläggande krav som finns i EU- direktiv har följts under tillverkningen (TräGuiden 2017b).

## 2.3 KL-trä som konstruktionsmaterial

Korslimmat trä är en ingenjörsmässig produkt som huvudsakligen används som konstruktionsmaterial i bärande stommar. KL-trä kan även ha andra användningsområden som bjälklag och avskiljande väggar. Användningen av korslimmat trä har ökat de senaste åren just på grund av de hållbarhetsaspekter som materialet innehåller (Brandner 2013). Ur KL-trähandbok av Borgström och Fröbel (2017), framgår det att KL-trä kan användas som bärande stomme i olika typer av projekt, exempelvis till skolor, flervåningshus, industrilokaler, småhus men även specialprojekt.

KL-trä består av flera lager trälameller som är staplade med 90 gradig vinkel i förhållande till varandra, se figur 2.2.a. Lamellerna limmas ihop på sina breda sidor. Varje lamellskikt placeras ortogonalt i förhållande till efterföljande skikt för att kunna uppnå en starkare strukturell styvhet i olika riktningar. Detta eftersom trä är ett anisotropiskt material vilket innebär att egenskaperna ändras i olika riktningar, beroende på vilka krafter som appliceras. KL-träkonstruktioner utnyttjar träets strukturella egenskaper hos fiberriktningarna, vilket resulterar i ett mer homogent skikt. KL-träprodukter tillverkas vanligtvis med udda antal lager, vanligen 3, 5 och 7 men även fler, se figur 2.2.b. I specialfall kan två lamellager vara limmade i samma riktning, vilket ger ett dubbelskikt, se figur 2.2.c. Detta för att kunna uppnå en särskild kapacitet som efterfrågas i konstruktionen. Lamellerna är fingerskarvade och limmade med konstruktionslim. Storleken på KL-träkonstruktionerna varierar beroende på tillverkare (Brandner 2013; FPIInnovations and Binational Softwood Lumber Council 2013). Tillverkningsvolymen av KL-trä uppskattas till 15 000 kubikmeter per år i Sverige (Borgström & Fröbel 2017).



Figur 2.2 a. lamellernas förhållande till varandra i en KL-träkonstruktion. b. Ett KL-trätvårsnitt med 5 lameller limmade tvärs varandra. c. Specialfall med två yttre lameller limmade i samma riktning i vardera sida med en mittlamell i tvärriktning, en s.k dubbelskiktssktion (FPIInnovations and Binational Softwood Lumber Council 2013).

Hållfasthetsklasser på lameller som används vid tillverkning av KL-trä kan variera mellan C14 och C30. Antal skikt och mått på KL-träskivor kan variera, vilka anges under tabell 2.2 (Borgström & Fröbel 2017).

Tabell 2.2 Mått och antal skikt på KL-träskivor (Borgström & Fröbel 2017).

Parameter	Vanligt förekommande	Kan förekomma
Längd [m]	16	upp till 30
Bredd [m]	1.2 - 3.00	upp till 4.80
Tjocklek [mm]	80 - 300	60 - 500
Antal skikt [st]	3, 5, 7, 9	upp till 25 st

### 2.3.1 Tillverkningsprocess av KL-trä

Tillverkningen av KL-trä beskrivs i KL-trähandboken av Borgström och Fröbel (2017), där det framgår att tillverkningsprocessen ser ungefär likadan ut oberoende av tillverkare. KL-träskivorna tillverkas enligt de krav som ställs i standarden SS-EN 16351 och ska uppfylla de produkttegenskaper som tillverkaren har deklarerat i European Technical Approval, ETA. Tillverkarna har definierat sina KL-träprodukter i ETA för att produkterna ska kunna CE-märkas och därmed uppfylla EU:s byggproduktdirektiv. Standarden SS-EN 16351 publicerades under 2015 med syftet att harmonisera trä som produkt. Virket som används i KL-träkonstruktionerna levereras normalt torrt och hållfasthetssorterat redan från sågverket. (Borgström & Fröbel 2017).

Tillverkningsprocessen av KL-träkonstruktioner kan förenklat delas in i angivna stegen nedan (Borgström & Fröbel 2017; FPInnovations & Binational Softwood Lumber Council 2013):

- Mätningar och kontroller. Fukthalts mätningar och kvalitetskontroller utförs på det hållfasthetssorterade virket. Torkning till lämplig fuktkvot kan även utföras.
- Bearbetning och hyvling. Trälamellerna sorteras och grupperas utifrån önskad funktion. Lameller med estetiska egenskaper placeras på de yttre lagren och paneler med mer strukturella egenskaper placeras där KL-träkonstruktionen utsätts för mest spänning. Lamellernas längd justeras genom fingerskarvning för att sedan hyvlas på flatsidan och förberedas inför limning.
- Applicering av lim. Limmet appliceras på lamellernas plana sidor. Lamellerna placeras vinkelrätt mot intilliggande skikt och pressas ihop genom antingen vakuumpressning eller hydraulpressning.
- Bearbetning i CNC-maskin. Efter limning sker efterbearbetning av KL-träskivorna i CNC-maskin, Computer Numerical Control. Bearbetningen kan vara sågning av kanter, borrning av hål för fönster och dörrar eller sågning av kanter. De synliga skivorna putsas och komponenterna kontrolleras visuellt innan de slutligen paketeras och lagras eller transporteras till en byggarbetsplats.

### 2.3.2 Lim i KL-trä

För att kunna binda samman de ingående skikten i KL-träkonstruktioner appliceras bindemedel mellan varje lager. Egenskaper som är viktiga i limmet för tillverkare av KL-trä är bland annat bindningsstyrkan mellan lamellskikten, produktionsrelaterade egenskaper såsom härdningstider, spridningshastighet, fuktmotstånd, värmemotstånd och miljömässiga hållbarhetsaspekter (Johansson & Svenningsson 2018).

För häftning av KL-träskikten används oftast ett enkomponents polyuretanlim, PU-lim varav en variant är Purbond-lim. Limmet utnyttjar träets naturliga fuktighet för att binda de ingående skikten tillsammans utan att behöva använda lösningsmedel eller formaldehyd. Limmet appliceras längs hela lamellens längd med en ungefärlig mängd som är 200 g/m<sup>2</sup>.



Den perfekta vidhäftningen uppnås därefter genom pressning av de olika skikten. Då formaldehyd inte används i limmet, kan limmets struktur och egenskaper jämföras med naturligt massivt trä (CBD 2015). PU-lim är populär för den snabba härdningsprocessen vid omgivande temperaturer, 1–3 timmar. (Johansson & Svenningsson 2018). Purbond-lim, PUR-lim är internationellt certifierat lim och är godkänt enligt DIN 1052 och Eurokod 5. Limmer riktar sig även på miljövänlig produktion och hälsosamma livsmiljöer (PALMATIN u.å).

En annan typ av lim som även är vanligt förekommande i KL-träkonstruktioner är, Melaminformaldehydlim, MF-lim. MF-lim har egenskaper som högt fuktmotstånd och korta härdningstider. Eftersom Melaminen är dyr tillsätts Urea för att få en billigare produkt. Detta resulterar i en produkt som kallas MUF-lim (Johansson & Svenningsson 2018). Melamin-urea-formaldehyd ger starka och hållbara limfogar som kan användas i alla klimatklasser (TräGuiden 2017c). Normalt används limmet vid fingerskarvning. MF/Formaldehyde- komponenten i MUF-limmet kan vara skadlig för både människor och miljön vilket kommer att göra denna limtyp betydligt mindre attraktiv i framtiden (Johansson & Svenningsson 2018).

Förkolningshastigheter är något som beaktas vid val av lim för KL-träkonstruktioner. Om ett lim utan delaminering, som till exempel MUF väljs förekommer förkolning med en hastighet som motsvarar 0,65 mm/min. När ett lim med delaminering istället används, som till exempel polyuretanlim (PUR), dubblas förkolningshastigheten för de första 25 millimetrarna av varje skikt (Borgström & Fröbel 2017). Fördelarna med PUR-lim är att den har god elasticitet, hög kohesiv- och adhesionsförmåga samt har kort härdningstid utan behov av värmeförsel. Däremot krävs värmeförsel vid användningen av MUF-lim och härdningsförloppet är längre (Gustafsson & Joacsson 2002). Vid limningen av fingerskarvarna och ytlimningen i KL-träskivan kan polyuretanlim med fördel användas medan för limningen av smalsidorna utnyttjas ett Emulsionspolymeriserad isocyanat (EPI)-lim. Dessa limtyper betraktas som hälsosamma eftersom de inte innehåller formaldehyd men även på grund av att mängden lim som används i KL-träprodukterna utgör endast 1% av produkten (Stora Enso 2013).

Enligt Borgström och Fröbel (2017) ska fuktkvoten i lamellerna vara mellan 8 och 15%, beroende på vilket lim som ska användas samt användningsområde för produkten. Fuktkvoten ska inte skilja mer än cirka 5% mellan de intilliggande lamellerna för att godtagbart resultat ska uppnås. Fuktkvoten ska vara nära jämviktsvärdet för den färdiga konstruktionen för att kunna uppnå den bästa hållfastheten i limfogen. Genom en bättre hållfasthet i limfogen minimeras sprickbildning i träet.

### **2.3.3 KL-trä som stomelement**

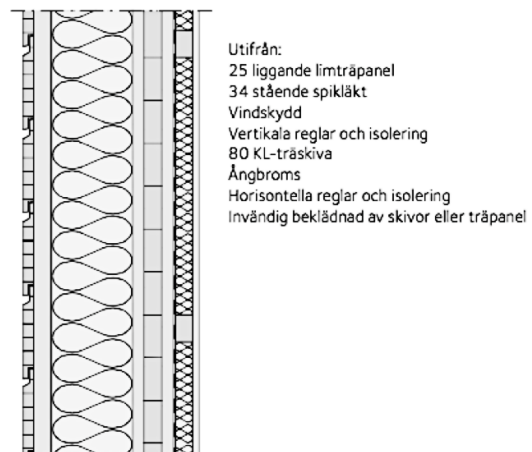
KL-träkonstruktioner är lämpliga att använda som bärande element tack vare den höga bärförmågan och styvhet som elementen kan dimensioneras för. Detta gör KL-träelementen även lämpliga för stabilisering av byggnaden. Fördelarna med KL-träkonstruktioner är den låga egenvikten som ger transport-, grundläggnings- och montage fördelar tillsammans med en hög prefabriceringsgrad. KL-träkonstruktioner kan förtillverkas till plan- eller volyelement vilket medför ett snabbt och enkelt montage (Borgström & Fröbel 2017).

Enligt Borgström & Fröbel (2017) framgår det att traditionella metoder såsom skruvning och spikning kan användas för att sammanfoga de förtillverkade KL-träelementen. Enligt GS Facket (u.å) framgår det även att industriellt träbyggnande innebär att bostadsproduktionen sker till stor del inne i en industri. Denna process bidrar till att byggtiden minskar med minst 50 procent jämfört med hus som byggs på plats. En effektiviserad byggtid bidrar till en minskning av produktionskostnader på sikt. Med kortare byggtider och sjunkande kostnader ökar möjligheterna för produktion av flera bostäder på kortare sikt vilket bidrar till att kunna avhjälpa den rådande bostadsbristen. KL-träets egenskaper kan summeras till följande (Borgström & Fröbel 2017):

- En hög hållfasthet till sin egen vikt
- God formstabilitet och små tillverknings toleranser
- Bra värmeisoleringsförmåga och bra bärförmåga vid brand
- Låg egen vikt som medför lägre transport- och montagekostnader
- Tål kemiskt aggressiva miljöer på ett bra sätt
- Flexibel produktion som även möjliggör tillverkning av krökta ytor

### Ytterväggskonstruktioner av KL-trä

I KL-trähandboken av Borgström & Fröbel (2017) beskrivs ytterväggskonstruktioner av KL-trä. En bärande yttervägg ingår i klimatskalet och har som huvuduppgift att bära upp vertikala laster från ovanför liggande bjälklag samt att överföra vindlast till stabiliserande byggdelar. KL-träkonstruktioner har både en bärande funktion och är samtidigt avskiljande. En KL-trävägg kan utföras av ett enda stort panelement eller av sammansatta enheter av flera mindre panelement. För en ytterväggskonstruktion med KL-trä kan brandkravet vara dimensionerande. KL-träskivornas tjocklek ska därför vara större än 70 mm. Exempel på en bärande yttervägg med en KL-trästomme redovisas i figur 2.3 och figur 2.4 (Borgström & Fröbel 2017).



Figur 2.3 Exempel på en ytterväggskonstruktion av KL-trä (Borgström & Fröbel 2017).



Figur 2.4 Exempel på en ytterväggskonstruktion av KL-trä (Borgström & Fröbel 2017).

Ytterväggar av KL-trä utförs vanligen av KL-träkonstruktioner med tjocklekar från 60 mm till 300 mm. Höjden på KL-träskivorna ska understiga 4 meter för att kunna transporteras utan specialtransport. KL-träväggarna levereras normalt med förmonterade lyftstroppar eller andra lösningar förberett inför lyft. KL-träelementen kan kompletteras med isolering, fasadbeklädnad, fönster och dörrar antingen i fabrik eller på plats. KL-träskivorna tillverkas vanligen i dimensioner och skikt enligt tabell 2.3. KL-träskivorna kan kompletteras med vindtätt skikt, värmeisolering och diffusionsspärr. En invändig gipsskiva kan läggas på insidan eller med ytterligare isolering. Utvändigt vindskydd ska distanseras från KL-träskivan med hjälp av läkt eller reglar. För dimensionering av tryckta massiva träkonstruktioner som KL-trä gäller krav enligt Eurokod 5. Lastkombinationer kan beräknas enligt Eurokod 0 och gällande EKS (Borgström & Fröbel 2017).

Tabell 2.3 Vanligt förekommande dimensioner för KL-träskivor i ytterväggar.

Tjocklek [mm]	Antal skikt [st]	Egenvikt [kg/m <sup>2</sup> ]
80	3	40
100	5	50
120	5	60

### 2.3.4 Fuktförhållanden i KL-trä

Vid ändring av fuktkvot ändras även trädets volym, så kallade fuktbetingade rörelser som ger upphov till svällning eller krympning. Hur stora volymändringar som råder beror på trädets olika riktningar. I fiberriktningen är dimensionsförändringar obetydliga. Förändringarna är större i radiell riktning och störst i tangentiell riktning. Fuktbetingade rörelser beror till större del på hur stor andel av fibrerna som är orienterade i respektive riktning. Tabell 2.4 redovisar dimensionsändring i trä, som kan liknas den för KL-trä vid 1% ändring av fuktkvoten. Dimensionsändring i KL-trä på gran av fuktvariationer kan likställas med trä (Borgström & Fröbel 2017).

Tabell 2.4 Fuktbetingade dimensionsändring hos trä (Borgström & Fröbel 2017).

Gran och furu	Procent dimensionsändring vid 1% ändring av fuktkvoten [%]
Parallellt fibrerna	0.01 - 0.02
Radiell riktning	0.19
Tangentiell riktning	0.36

Svällning eller krympning i KL-träskivan kan variera mellan 0,016 och 0,023 procent per procent ändring av fuktkvot. Mer om fukt presenteras under avsnitt 2.4. Det praktiska värdet för värmeledningsförmågan kan vara mellan 0,12 och 0,13 (W/mC), för KL-träskivor. Den specifika värmekapaciteten kan beräknas till cirka 1300 (J/kgC). KL-träet anses ha en densitet motsvarande 420 kg/m<sup>3</sup> (Borgström & Fröbel 2017).

### 2.3.5 Brand

Brandteknisk dimensionering av byggnadskonstruktioner ska beaktas för varje producerat element. För KL-träkonstruktioner är skivans uppbyggnad med avseende på tvärgående skikt helt avgörande för bärförmågan vid brand. KL-träkonstruktioner är täta och inbränningen kan beaktas som endimensionell. Inbränningshastighet för barrträ kan beräknas till 0,65 och 0,80 mm/minut enligt Eurokod 5. Exempel på väggar av KL-trä som uppfyller krav på integritet och isolering vid brand efter olika tidsperioder visas i tabell 2.5 (Borgström & Fröbel 2017).

KL-träkonstruktionernas brandbeständighet är bättre än vanligt förekommande träkonstruktioner. Träets förmåga att leda värme är mycket lågt, 300–400 gånger långsammare än den för stål. Den långsamma förbränningsprocessen förhindrar att syret kommer åt timret då träet förkolnar och kollagret bildar ett isolerande lager. Med den låga förbränningshastigheten, har olika mätningmetoder visat att en KL-träkonstruktion med 3-skiktsslameller har en förbränningstid på 30 minuter och att en 5-skiktsskonstruktion har en förbränningstid som normalt är 60 minuter. Genom användning av lameller med större tjocklek, fasadbeklädnad och flerskiktsväggar kan brandbeständigheten uppgå i 90 minuter eller mer (CBD 2015).

Tabell 2.5 Väggar som uppfyller krav på avskiljande bärförmåga vid brand, EI (Borgström & Fröbel 2017).

Brandklass	Skivtjocklek [mm]
EI60	80 (3-skikt)
EI90	120 (5-skikt)

### 2.3.6 Ljud

Väggar med KL-trä kan beaktas i likhet med träregelkonstruktioner som lätta väggar. Detta innebär att antalet kompletterande skikt har avgörande betydelse för ljudisolering. Genom att utföra dubbelkonstruktioner kan en god ljudisolerande förmåga uppnås. Dubbelkonstruktioner byggs upp av dubbla KL-träskivor med ett hålrum delvis fyllt med isolering. Hålrummet bör vara minst 100 mm. Ju större avstånd mellan skivorna desto bättre ljudisolerande egenskaper uppnås. Dubbelväggkonstruktioner är mest lämpliga som lägenhetsavskiljande väggar. För ytterväggar är det tillräckligt med en 200 mm tjockt isoleringsskikt (TräGuiden 2017d).

## 2.4 Fuktegenskaper i trä

Trä är ett hygroskopiskt material som har förmåga att ställa in sig efter luftens fuktillstånd genom att ta upp eller avge vattenånga från och till omgivningen. Uppfuktnings- och uttorkningsförmågan är proportionell mot omgivningens temperatur om transporten inte förhindras av ett fuktätt skikt eller av orörlig luft. Dessutom har trä och träbaserade material en stor förmåga att ta upp vatten kapillärt och avge den i ångfas (Esping et al. 2005).

På grund av träets anisotropa struktur transporteras fukt snabbare i fiberriktningen än i radiell och tangentiell riktning. Detta beror på att i de tvärgående fibrerna måste fukten gå igenom ett antal cellväggar. Uttorkningen i fiberriktningen är tio gånger större än i den radiella riktningen (Arfvidsson et al. 2017). Uppfuktningen är däremot tjugo gånger större i fiberriktningen än i den radiella riktningen. Det är därför väsentligt att skydda ändträet, med hjälp av något fuktskydd eller fuktavvisande behandling. Vattenupptagningsförmågan varierar också mellan olika träslag. För furusplint sker upptagningen snabbare än för furukärna och gran (Esping et al. 2005).

Fuktbedingade rörelse hos trä uppstår i form av krympning eller svällning vid ändring av fukttillståndet, vilket vanligtvis anges som fuktkvot. Denna deformationändring sker inom det hygroskopiska området med relativ fuktighet mindre än 98%. De största fuktrörelserna inträffar i tangentiell riktning medan de är minst i fiberriktningen. Krympningens storlek hos furu och gran visas av tabell 2.6 som anger approximativ krympning från fuktmättat till helt uttorkat läge (Burström 2007). Över fibermättnadspunkten, som är ungefär 28–30 %, ändras inte träets hållfasthet, egenskaper eller fuktrörelse (Arfvidsson et al. 2017). För att undvika de stora formförändringarna i virket samt mikrobiell tillväxt bör en adekvat fuktkvot anpassas samtidigt som virket inte bör ha för liten fuktkvot, eftersom det då blir lätt att få stora deformationer (Esping et al. 2005).

Tabell 2.6 Ungefärlig krympning hos furu och gran från fuktmättat till helt uttorkat tillstånd anges i procent (Burström 2007).

Träslag	Tangentiellt	Radiellt	Fiberriktning	Volymändring
Furu [%]	7.7	4.0	0.4	12.4
Gran [%]	8.3	3.9	0.3	12.0

## 2.4.1 Fukttransport i ångfas

Fukttransport som sker i materialets porer kan ske i ångfas eller i vätskefas (Arfvidsson et al. 2017). Transporten av vatten i ångfas kan huvudsakligen ske genom diffusion eller konvektion (Arfvidsson et al. 2017).

### 2.4.1.1 Fuktdiffusion

Diffusion anger strävan hos gaser och vattenånga att minska koncentrationsskillnader. Inom fuktområdet innebär diffusionen att fukt transporteras från ett område med hög ånghalt till ett område med låg ånghalt. Vid bestämning av fukttransport genom diffusion används gradienten som beskriver ändringen i ånghalt per längdenhet i flödets riktning. Gradienten kan även vara ändringen i ångtryck, temperatur, porvattentryck etcetera per längdenhet i flödets riktning (Arfvidsson et al. 2017).

Ånggenomgångsmotstånd  $Z_v$  kan även användas för att ange fuktflödet vid denna typ av transport som i sin tur också kan uttryckas med hjälp av ett  $S_d$ -värde, vilket visas i ekvation (2.2). Värdet anger ett materials ånggenomgångsmotstånd med hjälp av ett motsvarande värde som beskriver tjockleken i meter för stillastående luftskikt och som har samma diffusionsmotstånd som materialet. Ekvationer (2.1) och (2.2) visar relationen mellan tjocklek för material  $d$ , ånggenomgångsmotstånd  $Z_v$ , ångpermeabilitet för material  $\delta$ , ångpermeabilitet för luft  $\delta_{luft}$  och  $S_d$ -värde (Arfvidsson et al. 2017).

$$Z_v = \frac{d}{\delta} \quad (\text{s/m}) \quad (2.1)$$

$Z_v$             ånggenomgångsmotstånd,(s/m)  
 $d$             tjocklek för material,(m)  
 $\delta$             ångpermeabilitet för material,(m<sup>2</sup>/s)

$$S_d = Z_v \cdot \delta_{luft} \quad (\text{m}) \quad (2.2)$$

$\delta_{luft}$         ångpermeabilitet för luft vid 20°C, (25x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s)

Ångpermeabilitet kan också beskrivas med en diffusionsmotståndsfaktor som anger förhållandet mellan ångpermeabilitet hos ett material i förhållande till ångpermeabilitet hos luften (Arfvidsson et al. 2017). I ekvationen (2.3) beskrivs sambandet (Wallentén 2018).

$$\mu = \frac{\delta_{luft}}{\delta_{material}} \quad (2.3)$$

### 2.4.1.2 Fuktkonvektion

Fukttransport som uppstår på grund av konvektion innebär att fukt i ångfas strömmar med ett luftflöde genom konstruktionen. Det förutsätter att totaltryckdifferenser över konstruktionen inträffar vilket i sin tur uppkommer genom inverkan av vindtryck, temperaturskillnader över byggnaden och/eller ventilationssystem. I kallt klimat är temperaturskillnaden som drivkraft mer relevant än vinden, detta beror bland annat på att en

låg temperatur är omedelbart kopplad till hög tryckdifferens medan en kraftig vind inte behöver ha samband med låg temperatur (Arfvidsson et al. 2017).

Fuktkonvektion kan uppstå genom porösa material, hål och spalter i byggnaden. För trä som betraktas som ett lufttätt material kommer fuktkonvektion att uppstå genom befintliga hål samt springor (Arfvidsson et al. 2017). Fuktkonvektionen i en träväggskonstruktion anses vara mer skadlig än fuktdiffusion eftersom genom konvektion kan stora mängder vattenånga transporteras på kort period (TräGuiden 2017e).

### 2.4.2 Fuktttransport i vätskefas

De drivkrafter som styr transporten i vätskefas är tyngdkraft, vattenövertryck, vindtryck eller kapillärsugning. Vid transport genom kapillärsugning söker vattnet sig framför allt genom de fina porerna medan de största porerna bli överksamma. Förutsättningen för att denna transport ska kunna uppkomma är att fukttillstånd i materialet ska överstiga den kritiska fukthalten  $w_{krit}$ . Temperaturvariationer är något som bör tas hänsyn till eftersom den har stor påverkan på vattnets viskositet samt flödesmotstånd (Arfvidsson et al. 2017). Ju finare porer som finns i materialet, desto större blir kapillärsugning. De flesta naturliga byggmaterial är hydrofila, vilket betyder att materialets förmåga att dra till sig fritt vatten när det sätts i kontakt är stort. Den attraktionen kan minskas genom impregnering eller tillsatser (Burström 2007). Trä har olika sugegenskaper beroende på i vilken riktning sugningen sker. När den inträffar parallellt med fiberriktningen fylls de större kapillärerna snabbt och därefter medverkar de finare. Transporten vinkelrätt fibrerna är varken diffusion eller kapillärsugning utan kallas i stället lösningsdiffusion eftersom vattenmolekylerna kan lösas i cellulosan först och därefter transporteras i det kemiska skelett som cellväggarna skapar (Arfvidsson et al. 2017).

Kapillärsugning sker även mellan två material av vilket ena eller bägge är fuktiga. Vid kontakt kommer vatten att transporteras från ett grovporöst material till ett finporöst material. Anledningen till detta är att ett finporigt material har ett högre provattenundertryck än det grovporiga. Ett praktiskt exempel kan vara om det regnar på en putsad tegelvägg kommer putsskiktet att behålla fukten kvar i sig, vilket också kan leda till att uttorkningen sker snabbt utåt (Arfvidsson et al. 2017).

### 2.4.3 Temperaturberoende

Material med en viss fukthalt kommer att sträva efter jämvikt med omgivningens relativa fuktighet. Relationen brukar beskrivs med en kurva som kallas sorptionskurvan vilken omfattar både desorption och absorption och som fastställs vid konstant temperatur. Om temperaturberoende ska beaktas innebär det att en bestämning av sorptionskurva vid olika temperatur. Temperaturberoende för byggnadsmaterial är ofta obetydligt då det som brukar användas är jämviktskurvor som är fastställda vid 20°C. Mättnadsånghalten, ångpermeabiliteten och sorptionskurvan är enheter som anses vara temperaturberoende. Vid fuktberäkningar kan temperaturberoendet förorsaka förvecklingar istället kan stationära förhållanden antas. Det stationära förhållandet innebär att temperaturen är konstant (Arfvidsson et al. 2017).

## 2.4.4 Fuktkällor

Den fukt som inverkar skadligt på konstruktioner har i alla händelser en källa. För att kunna åtgärda fukt samt bygga fuktsäkert bör fuktkällorna definieras (Samuelson et al. 2007).

### 2.4.4.1 Nederbörd

Att snö och regn träffar de horisontella byggnadsytorna är tydligt för alla och har medfört att krav ställs på vattentäta tak med mera. Det regn som träffar vertikala delar och är en kombination av regn och blåst kallas slagregn. Slagregnmängderna är olika över Sverige beroende på geografisk placering samt väderstreck. De högsta värdena påträffas på syd- och västkusten och då är sydvästfasader mest drabbade (Byggeforskningsrådet 2000). På västkusten har mängden slagregn uppmätts till 70 kg regn per kvadratmeterfasadyta och dag (Hagentoft 2002).

### 2.4.4.2 Luftfukt

Luften som omger konstruktioner innehåller naturligt en bestämd mängd vattenånga. Mängden anges som ånghalt eller ångtryck. Luftens förmåga att innehålla fukt är beroende av temperaturen och förhållandet är proportionellt. Den maximala mängd som luft kan bära kallas mättnadsånghalten eller mättnadsångtryck. Luftfukt kan också beskrivas med den relativa fuktigheten som är ett resultat av division mellan aktuell ånghalt och mättnadsånghalt vid en bestämd temperatur (Arfvidsson et al. 2017). Den relativa fuktigheten varierar inomhus och utomhus under året, vilket kommer att påverka träets jämviktsfuktkvot på samma nivå (Esping et al. 2005).

#### *Utomhusluft*

Den relativa fuktigheten i uteluften skiljer sig över året från 65% sommartid till 90% vintertid. Dessutom varierar ånghalten utomhus med årstid och ort, den är högre på sommaren cirka 12 g/m<sup>3</sup> och lägre på vintern cirka 3 g/m<sup>3</sup>. Relativa fuktigheten och jämviktsfuktkvoten är störst under vintern, vilket verkar vara en risk för mögeltillväxt, men eftersom temperaturen i sin tur är låg kommer mögel inte att kunna växa (Esping et al. 2005). Med hjälp av programmet "Klimatdata för fuktberäkning", som ligger på Fuktcentrums hemsida, bestäms bland annat den relativa fuktigheten, ånghalten samt jämviktskvoten som varierar under året för olika orter i Sverige (Esping et al. 2005). Träkonstruktioner anpassar sig till en jämviktsfuktkvot som bestäms av omgivningens relativa luftfuktighet och temperatur. Inverkan av temperaturen är inte så mycket som den relativa fuktigheten. När temperaturen ändrar sig från 17°C till 21°C förändras inte jämviktsfuktkvoten mer än 1 fuktkvotsprocent (Esping et al., 2005).

#### *Inomhusluft*

Klimatet inne i en byggnad avgörs bland annat av uteklimat, fuktproduktion och ventilation. Ånghalten inomhus bestäms av ånghalten utomhus med tillägg av fukttillskottet (Arfvidsson et al. 2017). Den relativa fuktigheten inomhus är högst sommartid och lägst på vintern. Till följd av detta lagras fukt in i konstruktionen på sommaren medan fukt lagras ur på vintern. För trämaterial blir följderna att materialet krymper respektive sväller. Fuktproduktionen, som sker inomhus från bland annat städning, diskning, matlagning, utandningsluft etc, resulterar i ett fukttillskott med storleksordningen 1–4 gram per kubikmeter. Genom att öka



ventilationen kan den mängden av fukt minimeras, vilket också medför reducering av risken för att fuktig luft tränger in genom otätheter och orsakar fuktproblem i konstruktionens klimatskal (Hagentoft 2002).

#### 2.4.4.3 Byggfukt

Med byggfukt avses distinktionen mellan fukthalt efter att konstruktionen är färdigställd och fukthalt som ska finnas vid jämvikt med omgivningen. Vid leverans till arbetsplatsen kan många byggmaterial få högre fuktkvot än vad som stämmer med jämviktsfuktkvoten. Ytterligare fukt kan också fås om byggmaterial inte skyddas mot nederbörd under transport, förvaring och lagring. För trämaterial som inte exponeras för extra fuktillskott i form av regn, snö eller dylikt är byggfukt ungefär lika med  $40 \text{ kg/m}^3$  (Sandin 2010).

Den tid som behövs för byggfukten att torka ut kan vara betydande. Om en byggnadsdel är i ogynnsam kontakt med omgivande luft, som till exempel genom att ångtäta material läggs över den, och ånghaltsskillnader mellan inomhus och utomhus är små kan uttorkningen ta längre tid innan byggnadsdelen har torkat färdigt och kommit i fuktjämvikt med sin miljö. Under den här tiden har byggmaterialen en hög fukthalt och det är då viktigt att inga fuktskador uppkommer under denna tidrymd (Hagentoft 2002). De faktorer som styr uttorkningshastighet hos träet enligt Esping et al. (2005) kan vara klimatet, densiteten för trä, träets struktur med olika riktningar och olika dimensioner, start- och slutfuktkvot, avspärrning av trätor samt lufthastighet (Esping et al. 2005).

För att undvika att byggfukten ökas är det väsentligt att byggnader samt byggnadsmaterial skyddas från nederbörd under produktionsfasen (Arfvidsson et al. 2017). Vid skyddande av KL-trämaterial under byggskedet rekommenderas att presenningar samt plastfolie inte ska läggas direkt ut på KL-trä eftersom det avstyr att fukten, som kan lagras in i materialet inte kan torka bort. Det förordas istället utnyttjande av väderskydd som uppförs med minst en meter ovanför träkonstruktionernas ytor, vilket samtidigt medger vädning så att materialet kan torkas noggrant (Karnehed 2017).

#### 2.4.4.4 Fuktläckage

Konvektion som sker genom sprickor och otätheter genom konstruktioner kan var gynnsam då undertryck råder i byggnaden. Detta innebär ett luftflöde genom klimatskärmen från kallt till varmt eller utifrån och in vilket medför uttorkande (Arfvidsson et al. 2017). Om det i stället föreligger övertryck inomhus kan kondensation uppstå i konstruktionen vilket kan orsaka risk för mögelpåväxt. Det sker genom att den varma och fuktiga luften strömmar ut genom klimatskalet, därefter kyls den vilket gör att relativa fuktigheten inuti byggnadsdelar blir större och till följd av detta förekommer kondensation (Sandin 2010).

Diffusion inträffar när ånghalten inomhus är högre än utomhus vilket medför att fukt kan diffundera ut genom konstruktionen. Diffusionen kan leda till att relativa fuktigheten i klimatskalet blir högre och kondens inträffar inne i byggnadsdelen vilket medför ogynnsamma effekter (Sandin 2010). Fuktkonvektion och fuktdiffusion får inte föreligga med hänsyn till risken för mögelpåväxt. Det är viktigt att väggkonstruktionen görs lufttät för att förhindra fuktkonvektion. Genom användning av en plastfilm, putsskikt eller andra

metoder kan tillräcklig lufttäthet uppnås i väggkonstruktionen. En diffusionsspärr monterad på den varma sidan av värmeisoleringen i väggkonstruktionen kan göra att diffusionen reduceras väsentligt (Arfvidsson et al. 2017).

### 2.4.5 Kritiska Fukttillstånd

Detta fukttillstånd för många byggmaterial som trä är bundet till tiden, vilket betyder att det kritiska fukttillståndet kan anses vara acceptabelt om det uppkommer under korta tidsperioder (Sandin 2010). Tabell 2.7 visar kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på olika byggmaterial baserade på laboratoriestudier (Arfvidsson et al. 2017).

Tabell 2.7 Kritiska fuktnivåer för några material (Arfvidsson et al. 2017, s. 422).

Byggnadsmaterial	Bedömd kritisk fuktnivå
Gipsskiva	80-85%
Träbaserade skivor	75-80%
Betong	90-95%
Trä	75-80%
Mineralull och andra isoleringsmaterial	90-95%

### 2.4.6 Fuktegenskaper hos KL-trä

Hållfastheten för KL-träkonstruktioner varierar med fukttillståndet vilket gör att KL-trä inte används i nuläget i omgivningar med högre fukttillstånd, som är större än klimatklass 1 och 2. KL-träets uppbyggnad med korsvis lagda skikt gör att fuktbedingade rörelser över fiberriktningen blir mindre än i normalt massivt trä men att de blir ungefär samma som plywoodskivor. Krympningen eller svällningen i KL-träskiktets plan kommer att vara av storleken 0,016–0,023 procent per procent ändring av fuktkvoten. Storleken på dimensionsförändringen är beroende av hur stor mängd fibrer som är inplacerade i varje riktning (Borgström & Fröbel 2017).

Vid tillverkning av KL-trä används vanligtvis barrträdens virke, som produceras med en fuktkvot som motsvarar 12%. Med den här fuktkvoten kan fuktskador undvikas. När materialet utsätts för höga fukthalter kan risken för mögelpåväxt uppstå, särskilt när temperaturen och syrehalten är lämpliga för tillväxten. Av denna anledning bör KL-trä utformas och behandlas så att mängden fukt som tillförs eller blir instängt i materialet reduceras så mycket så möjligt (Waugh Thistleton Architects 2018).

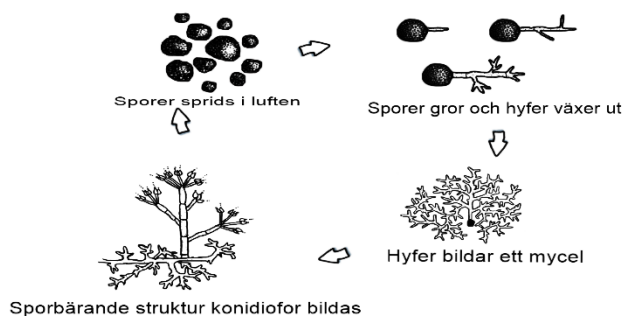
## 2.5 Mikrobielltillväxt

Byggnadsmaterial och byggnader kan skadas med tiden. Detta kan variera och ske på diverse sätt med olika hastighet. Den viktigaste anledningen till dessa skador är fukt. Nedbrytningsprocesserna kan vara av olika slag; biologisk, kemisk och fysikalisk nedbrytning (Samuelson et al. 2007). Till den biologiska nedbrytningen hör bakterier och mögelsvampar som står för de organismer som kallas mikroorganismer. Svampar kan utbreda sig på trä och andra byggnadsmaterial i omgivande fuktiga förhållanden och orsakar nedbrytning av materialet. Svampar trivs främst vid temperatur mellan 20 och 30°C och de fordrar möjlighet att utnyttja fukt inte endast i luft utan även i det material som de växer på och i. Tillgång till syre, näringsämnen och surhetsgrad, pH är ytterligare samverkande faktorer för att svampar kan utvecklas (Samuelson et al. 2007).

Svamparna som förekommer i träkonstruktioner är av tre arter, rötsvampar, blånadssvampar och mögelsvampar. Det finns olika förutsättningar för att tillväxten sker för varje sort. Rötsvampar kräver tillgång till fritt vatten för att gro, vilket kan fås om träets fuktinnehåll är högre än fibermättnadspunkten 28% (Esping et al. 2005). Rötsvamparna kan försvaga hållfasthet och beständighet hos träbaserade material (Sandin 2010). Hussvampen, som är en särskild rötsvamp, kan sprida sig långt från sitt angreppsställe och även genom springor i stenvägg. Tillgång till kalk är en förutsättning för tillväxt av hussvamp (Samuelson et al. 2007).

Blånadssvampar har ungefär samma krav på temperatur och fukt som rötsvamparna men upphör med långfristig torkning (Esping et al. 2005). Blånadssvampar förekommer oftare i furu- än i granvirke och kan missfärga virket men påverkar inte hållfastheten på sikt (Mögel i byggnader 1984).

Mögelsvampar kan uppkomma vid lägre fuktkvot än rötsvampar. Tillväxten av mögel börjar med att sporer breder ut sig i luften och när de hamnar i en adekvat miljö med passande fukt- och temperaturkrav kan de börja gro. Figur 2.5 visar mögelsvamparnas livscykel (Samuelson et al. 2007).



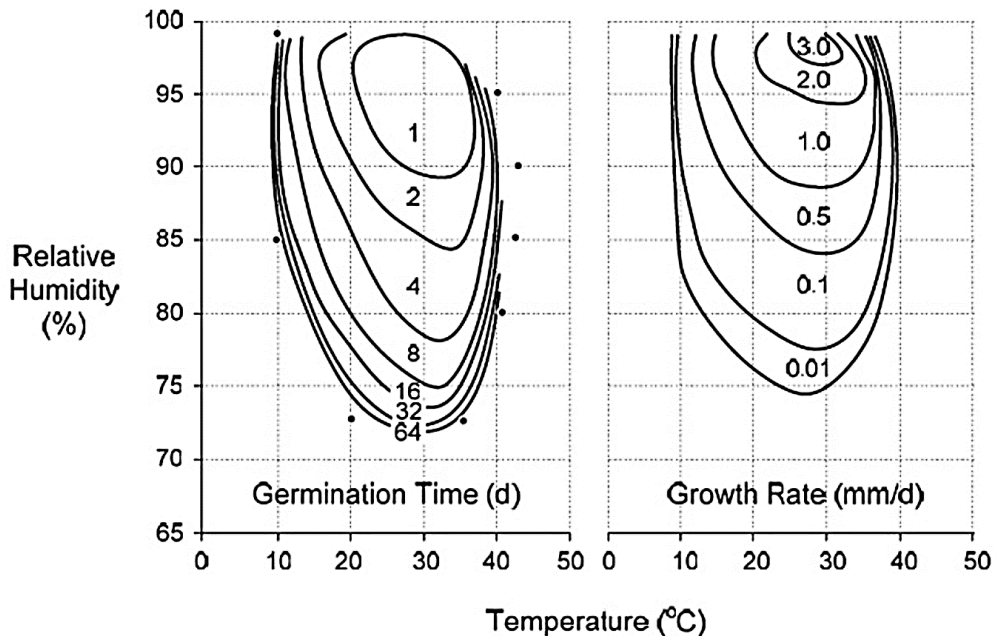
Figur 2.5 Mögelsvamparnas tillväxtcykel (efter Samuelson et al.2007).

Mögelsvamp är tåligare mot uttorkning än de andra svampsorterna. Några slag av mögel tål långvarig torra medan andra gror i temperaturer upp till 53°C (Esping et al. 2005). För att

mögelpåväxt i trä ska föreligga krävs det att fuktkvot för materialet ligger mellan 15 och 20 % för liten risk. Risken är också kopplad till den kringliggande luftens relativa fuktighet samt varaktighet av exponering av det nuvarande fuktillståndet (Samuelson et al. 2007).

Exponering för mikrosvampar kan vara ohälsosam och orsaka bland annat allergier, infektioner och irritationer. Mikroorganismer kan även under vissa förutsättningar skapa ämnen som ger ifrån sig mycket stark lukt. Den har förmåga att kvarstå i textilier, plast samt i människans hud och hår vilket kan alstra psykosociala problem (Mögel i byggnader 1984).

Fuktproblematik i träkonstruktioner bidrar till röt- och mögelskador. För trä råder det kritiska fuktillståndet då mögeltillväxt sker. Hur snabbt en mögelskada kan uppstå beror på förutom den relativa fuktigheten också på temperatur och tiden som konstruktionen utsätts för fuktbelastningen (Träguiden 2018b). I figur 2.6 redovisas samband mellan relativ fuktighet, temperatur, tid samt tillväxthastigheten av mögel (Lepage 2012).



Figur 2.6 Relationen mellan Relativ fuktighet, temperatur, tid och tillväxthastighet av mögel (Lepage 2012).

För trävirke anges fukttinnehållet i materialet med hjälp av fuktkvot. Mögeltillväxt uppkommer vanligen på virkets yta, därför är det ytfuktkvoten som kontrolleras vid olika mätningar. För att risk för mikrobiell tillväxt inte ska uppkomma bör fuktkvoten i materialets yta inte vara högre än 18% (Borgström & Fröbel 2017). Beskrivningar i AMA anger att, ytfuktkvoten inte ska överstiga 18 % vid inbyggnad och 16 % vid ytbehandling för att förhindra risken för mikrobiell påväxt (Svensk byggtjänst u.å).

## 2.6 Hygrotermiska egenskaper hos KL-trä

### 2.6.1 Densitet

Densitet eller specifik gravitation hos trämaterial anses vara en av de viktigaste egenskaperna vid dimensioneringen av en konstruktion. Densiteten anger förhållandet mellan massan och volymen hos trä vid en bestämd fukthalt. Den specifika gravitationen är ett kvotsamband mellan densiteten hos ett material och densiteten hos vatten vid angiven temperatur som oftast motsvarar 4°C (Glass et al. 2013). Den minsta tillåtna specifika gravitationen hos trä som används vid tillverkning av KL-trä ska vara 0.35 och samma kombination av träslag eller arter ska utnyttjas inom samma skikt av KL-trä (APA 2012). Limmets som finns mellan lamellerna i en KL-träskiva anses vara en försumbar inverkan på densiteten av KL-träet. Detta på grund av limmets obetydliga mängd i jämförelse med mängden trä som ingår i konstruktionen (Glass et al. 2013).

### 2.6.2 Värmeledningsförmåga

Värmeledningsförmåga är det värmefflöde som transporteras genom en meter av ett material då temperaturskillnaden är en grad Celsius. Förmågan är beroende av materialets egenskaper såsom densitet, temperatur och vatteninnehåll (Arfvidsson et al. 2017). För korslimmat trä är värmeledningsförmågan lika med 0.13 W/m°C (Borgström & Fröbel 2017).

### 2.6.3 Värmekapacitet, värmediffusivitet

Värmekapacitet hos ett material definieras som den mängd av värme som åtgår eller avges för att höja materialets temperatur respektive minska materialets temperatur en grad (Sandin 2010). Enligt Borgström & Fröbel (2017) är den specifika värmekapaciteten för KL-trä 1600 J/kgK och värmediffusiviteten är lika med  $0,1910 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (Borgström & Fröbel 2017).

### 2.6.4 Jämviktsfuktkurva

Trä är ett hygroskopiskt material, vilket innebär att träets fukttinnehåll beror på den omgivande luftens fuktillstånd och temperatur. Förhållande mellan luftens relativa fuktighet och träets fukthalt vid en konstant temperatur beskrivs med kurvan som kallas hygroskopisk sorptionskurva (Burstrom 2007). I en träkonstruktion varierar fukthalten inom ett intervall till följd av den lång- och kortsiktiga ändringen i temperatur och relativ fuktighet. Ändringens inverkan på trä beror bland annat på materialets storlek, ånggenomsläpplighet, beläggningar samt miljöförhållanden. Vid förändringar i miljöförhållanden omkring en KL-träkonstruktion förändras fukthalten i mitten av träkonstruktionen långsamt medan ytans fukthalt reagerar snabbare (Glass et al. 2013). KL-trä ska vid inbyggnad ha en fuktkvot 12% (APA 2012).

### 2.6.5 Kapillärsugningsförmåga

Kapillärsugningsförmåga ( $A$ ) beskriver förmågan hos ett material att ta upp vatten kapillärt. Värdet för trä vinkelrätt mot fibrer är lika med  $0.004 \text{ kg/m}^2\text{s}^{1/2}$  (Arfvidsson et al. 2017).

## 2.6.6 Fukttransportkoefficienter

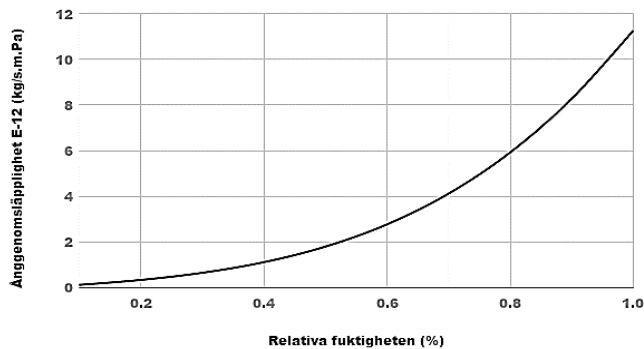
De egenskaper hos ett material som är fuktberoende och som anger hur fukttransporten genom materialet reagerar med fuktinnehållet beskrivs med begreppet fukttransportkoefficienten. Denna kan redovisas med diverse potentialer såsom relativ fuktighet, ånghalt, ångtryck etc (Arfvidsson et al. 2017). Ånggenomsläpplighet eller ångpermeabilitet är en viktig egenskap vid dimensionering av en byggnad eftersom den kan bidra med både uttorkning och uppfuktning. Detta betyder att dessa processer kan försämrå konstruktionen om de inte samordnas och anpassas till varandra på ett bra sätt. I KL-trä transporteras fuktflödet i radiell riktning (vinkelrätt mot fiberriktning). Fuktdiffusion i fiberriktning anses vara gynnsam eftersom fukten, när den uppkommer på ett ställe, kan den omfördelas snabbt genom skiktsskivan av KL-trä vilket i sin tur kan möjliggöra snabb uttorkning (Glass et al. 2013).

En rapport av National research council Kanada (Mukhopadhyaya et al. 2014) dokumenterar resultatet av olika laboratoriestudier, vars syfte bland annat är att bestämma hygrotermiska egenskaper hos ett antal byggmaterial, bland dem KL-trä. Rapporten redovisar hygrotermiska egenskaper hos KL-trä som erhålls av ett forskningsprojekt utförd under år 2012 av FPInnovations och NCR. Under forskningen har olika typer av korslimmat trä med olika träslag samt olika limtyper undersökts. Dessutom tillverkas KL-träprov i olika länder, nämligen tre i Kanada med EPI-lim och ett i Österrike som görs av europeisk gran med PUR-lim. Trots dessa skillnader i egenskaper mellan de olika KL-träprov, som undersökningen har upptäckt gällande träslag och tillverkningsprocess, har skillnaderna inte varit så stora för att åstadkomma distinktion i hygrotermiska egenskaper eller ge upphov till skillnader i resultat från hygrotermiska simuleringar. En del av de rekommenderade värdena vid hydrotermisk simulation som rapporten har redovisat redovisas i tabell 2.8 (Mukhopadhyaya et al. 2014).

Tabell 2.8 Rekommenderade värdena för KL-trä vid hygrotermiska simulationen (Mukhopadhyaya et al. 2014).

Egenskaper	Rekommenderad värde
Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	420
Värmekonduktivitet (W/(m·K))	0.1114
Kapillaritetskoefficient A (kg/m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> )	0.00195

Ånggenomsläppligheten hos gran ökar med den relativa fuktigheten (Sandin 2010). Resultat av mätningar, som genomförts för två olika typer av KL-trä med tjocklek 19 mm och ett skikt av lim emellan, visar att ånggenomsläppligheten ökar med den relativa fuktigheten. Förhållandet mellan ånggenomsläpplighet och relativ fuktighet för KL-trä som används i undersökningen illustreras i figur 2.7 (Glass et al. 2013). Diffusionsmotståndsfaktorn för KL-trä varierar inom intervallet 30–80 beroende på fukthalt och antalet skikt i konstruktionen (Binderholz u.å).



Figur 2.7 Förhållandet mellan ånggenomsläppligheten i kg/m-s-Pa och den relativa fuktigheten för ett 19 mm KL-trä (Glass et al. 2013).

## 2.6.7 Lufttätet

En laboratoriestudie av Skogstad et. al (2011) har undersökt lufttätet i KL-träkonstruktioner. Studien har kommit fram till att det är nödvändigt att skarvar och genomföringar i KL-trä i ytterväggkonstruktioner tätas för att undvika problem med fuktkonvektion (Skogstad et. al 2011). Att använda en plastfolie i en KL-träväggkonstruktion anses vara en olämplig lösning. Istället kan lufttäteten åstadkommas med utnyttjande av en tejp. Skarvar och andra otätheter i en väggkonstruktion kan tejpas. Till skillnad från när man använder en plastfolie eller en annan ångbroms möjliggör en lösning med tejp, KL-träkonstruktionen kan kunna torka både utåt och inåt (Karnehed 2017).

Av stor betydelse vid utförande av lufttäta KL-träkonstruktioner är att låta dem andas och inte förhindra uttorkningsprocess av fukt som kan transporteras till konstruktioner vid fuktighetsvariationer, läckage eller under byggandet i form av nederbörd (Waugh Thistleton Architects 2018).

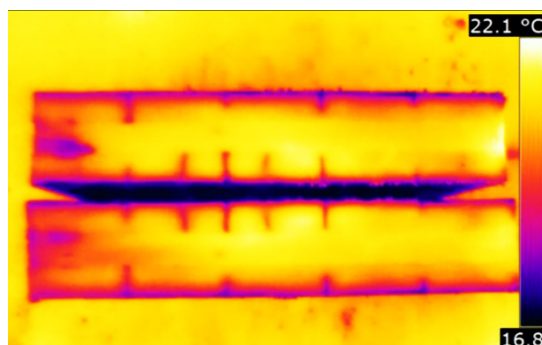
Borgström & Fröbel (2017) påpekar att för en ytterväggkonstruktion med en KL-träskiva med tjocklek större än 70 mm som består av fler än fem lameller, fungerar konstruktionen ofta som konstruktionen som ångbroms. Detta medför att ytterligare skikt inte behövs för att kunna förhindra fuktdiffusionen genom väggen. Men det finns också andra faktorer som bör beaktas för att bygga fuktsäkert, nämligen hur korslimmat trä tillverkas och hur otätheter genomförs för att åstadkomma lufttätet i konstruktionen.

## 2.6.8 Fler studier om KL-trä

En laboratoriestudie samt fuktberäkningar med hjälp av WUFI-programmet utfördes för korslimmat trä av Lepage (2012). Studiens syfte var bland annat att få fram de hygrotermiska egenskaperna hos KL-trä samt att bedöma risk för fukt hos KL-trä som utsätts för olika klimat i olika städer i Kanada. Lepage (2012) upptäckte vid korrigeringen av WUFI-materialdatabasen att de parametrar som har stor betydelse på resultatet var användandet av

ett lämpligt värde för densitet samt justering av sorptionsisoterm. Variationer i kapillaritetskoefficient (*A-värde*), ånggenomgångsmotstånd, fuktdiffusivitet  $D_w$  och porositet hade inte visat sig ha stor inverkan på resultatet. Gällande KL-träväggskonstruktioner och hur de bör utformas så att risken för fuktskador minimeras, konstaterade Lepage att montering av ångtäta membran på insidan eller på utsidan av en blöt KL-trä ökar risken för mögelpåväxt. För att bygga fuktsäkert rekommenderas användande av ett ånggenomträngligt skikt samt att KL-trä skyddas från nederbörd under produktionskedjet. Av studien framgår också att korslimmat trä fungerar som ångbroms och att fuktinnehållet på yttre skivans skikt inte påverkar fuktinnehållet i de inre skikten (Lepage 2012).

Nore et al. (2014) har utfört en laboratoriestudie med två experiment, vars avsikt var att studera uttorkning i KL-träväggskonstruktioner samt undersöka risk för mögelpåväxt i KL-trä. För att utforska uttorkningen i KL-träväggskonstruktioner krävs det i början en uppfuktningssprocess. Uppfuktningen genomförs genom nedsänkning av två skivor av KL-trä i en vattentank under 48 timmar. Figur 2.8 visar ett termiskt fotografi av de två skivorna efter nedsänkningen. Det visar sig att KL-träskivorna har absorberat vatten utmed kanterna medan de inre skikten kvarstår torra. Studiens utfall pekar på att både vattenuptagning- och uttorkningsprocess hos KL-trä sker långsamt. Dessutom är risken för mögelpåväxt i korslimmat trä mindre än i vanlig träkonstruktion (Nore et al. 2014).



Figur 2.8 Ett termiskt fotografi av två skivor av KL-trä efter nedsänkning i en vattentank i 48 timmar. Vatteninnehållet i de kalla områdena (blå) är högre än i de varma (gula) områdena (Nore et al. 2014).

En laboratoriestudie av Reid (2012) genomfördes för att undersöka mögelrisk hos tre olika träväggar. KL-trä var en av de tre väggarna som studerades. Alla tre väggarna utsattes för fuktigluft med lämpliga förutsättningar för biologiska angrepp. Experimentets resultat var att KL-träväggen visar tillväxt av mögel inom de första tre veckorna av testningen. Detta förklaras med att limhalten i KL-trä kan hindra den hygroskopiska funktionen hos trä vilket gör att fukten blir instängd i konstruktionen och inte kan torka ut. Det förordas därför att ångbroms i en KL-träväggskonstruktion inte ska användas Reid (2012).

Utifrån en studie utförd av Öberg och Wiege (2018) framgår det att någon typ väderskydd bör finnas året runt för KL-träkonstruktioner. Samtidigt som det framgår att fördelarna med prefabricering och de korta byggtiderna med KL-trä bör utnyttjas. Om det förväntas en



regnbelastning över 40 mm eller om byggtiden överstiger två veckor, är regnskydd ett krav. Vid relativ fuktighet motsvarande 80% och årligt regn motsvarande 1200 mm, rekommenderas att ett heltäckande väderskydd används.



## 3 Analyismetoder

För att kunna analysera risken för mögel användes simuleringsprogrammet WUFI för fukt- och värmeberäkningar samt en MRD-modell för beräkning av mögelrisken. Introduktion till WUFI tillhandahölls från Petter Wallentén, därefter utgick tillvägagångssättet från RäknaF av Wallentén (2018) och från WUFI online help. Programmet har studerats djupare där stickprover genomfördes inför uppbyggnad av insamlade ytterväggar. Intervjuer, studiebesök och diskussioner genomfördes även för att kunna göra relevanta val och antaganden.

### 3.1 Tillvägagångssätt

Under detta avsnitt presenteras de olika metodvalen, det vill säga intervjuer, studiebesök och diskussioner, programvaror, beskrivning av WUFI samt MRD-modellen.

#### 3.1.1 Intervjuer, studiebesök och diskussioner

För att kunna relatera till verkligheten och till hur KL-träkonstruktionen fungerar i praktiken har intervjuer, studiebesök och diskussioner genomförts. Intervjuerna inleddes med ett besök hos Wingårdhs arkitekter som är verksamma under planeringsskedet, detta för att skapa en övergripande bild över intresset för KL-trä från arkitekt- och beställarsidan. Därefter intervjuades konsulter och forskare som är verksamma under projekteringskedet och som har en gedigen kunskap inom ämnet. Ett studiebesök har även genomförts till KL-trästomleverantören Martinson för att få en övergripande inblick i KL-trä som produkt samt hur KL-träelementen produceras. Studiebesöket har kompletterats med en intervju där fuktrelaterade frågor diskuterades med Peter Jacobsson<sup>2</sup> som är utvecklingschef på Martinsons. En intervju med Nock Massiva trähus som producerar prefabricerade KL-trämoduler har även genomförts. För att kunna få insikt i hur redan byggda KL-träkonstruktioner har fungerat har det även varit aktuellt att intervjua Liljewall arkitekter som har ritat Sveriges första skola med KL-trästomme, Herrestadsskolan. Resultatet från intervjuer, studiebesök och diskussioner redovisas under kapitel 5.

Mer ingående information redovisas nedan:

- Arkitektkontor: intervju med Wingårdhs arkitekter, där arkitekten Joakim Lyth<sup>3</sup> intervjuades eftersom kontoret har arbetat med KL-trä i tidigare projekt. Diskussion om bland annat KL-trä som konstruktionsmaterial fördes, vilka svårigheter som kan uppstå och fördelarna med att använda KL-trä. Ett skolprojekt, kallat Herrestadsskolan följdes även djupare genom samtal med Lars Olausson<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Peter Jacobsson, utvecklingschef på Martinsons, telefonsamtal den 15 mars 2019.

<sup>3</sup> Joakim Lyth, arkitekt, Wingårdhs Malmö, Intervju den 14 december 2018.

<sup>4</sup> Lars Olausson, arkitekt på Liljewall arkitekter, telefonsamtal den 15 april 2019.

- Konsultföretag: Per Karnehed<sup>5</sup> från Karnehed Design & Construction kontaktades eftersom Karnehed är fukt- och energiexpert. Karnehed deltog i ett seminarium för ingenjörsmässigt byggande i trä 2017. Han anses besitta stor kunskap inom ämnet KL-trä. Även svenska KL-träleverantörer, Martinsons<sup>6</sup> hänvisade till Karnehed.
- Forskare: telefonintervju genomfördes med Lars Olsson<sup>7</sup> som är tekn. dr. forskare på RISE, Research Institute of Sweden.
- Leverantörer/Entreprenörer: Studiebesök och intervju med Martinsons i Bygdsiljum som är bland de största leverantörerna av KL-trä i Sverige. Besöket samordnades av Sveriges Bygguniversitet, SBU där Chalmers, KTH, LTU samt LTH samverkar. Björn Visell<sup>8</sup> i Nock Massiva trähus intervjuades också eftersom Nock är en fabrik som tillverkar prefabricerade flerbostadshus.

Inför arbetet med programvaran WUFI och MRD-modellen har det även varit aktuellt att diskutera programmet respektive mögelmodellen med bland annat Stephen Burke och Oskar Ranefjärd men även med handledaren Petter Wallentén.

### 3.1.2 Programvara

För att kunna besvara frågeställningarna uppstod behovet av att använda olika programvaror som är tillämpbara vid fukt- och värmeberäkningar samt vid analys av risken för mögel. Programmet WUFI Pro 6.2 är ett fuktsimuleringsprogram som utvecklats hos Faunhofer Institut für Bauphysik i Holzkiichen, Tyskland och används av många fuktsakkunniga och forskare i Sverige. För analys av mögelrisken har MRD-modellen, Moisture Resistance Model valts. MRD-modellen har utvecklats vid LTH och används för att bedöma risken för mögeltillväxt på material som utsätts för fukt. Den valda MRD-modellen rekommenderades av handledaren, Petter Wallentén.

### 3.1.3 Ytterväggskonstruktioner

Uppbyggnad av ytterväggarna som studerades under studien tillhandahölls genom mejlkontakt med olika ansvariga för projekt genomförda med KL-trä. Ytterväggarna är hämtade från projekt genomförda i Sverige och är därför relevanta att analysera. Källorna för projekten förblir anonyma inom denna studie. Ytterväggarna presenteras under avsnitt 3.4.

## 3.2 WUFI

WUFI (2019) är ett simuleringsverktyg som redovisar fuktförhållanden och effekterna av fukten i en angiven konstruktion. Värme- och fuktförhållanden samt transporten i byggnadsdelar är sammankopplade. Det hygrotermiska programmet analyserar kopplingen

---

<sup>5</sup> Per Karnehed, VD Karnehed Design & Construction AB, mejlkontakt den 29 april 2019.

<sup>6</sup> Martinsons, studiebesök den 27 februari 2019.

<sup>7</sup> Lars Olsson, forskare och teknisk handläggare på RISE, telefonsamtal den 2 april 2019.

<sup>8</sup> Björn Visell, försäljningschef på Nock Massiva Trähus, telefonsamtal den 27 mars 2019.

mellan värme och fukt. Höga fuktnivåer resulterar i högre värmeförluster och temperaturförhållandena i byggnadsdelar påverkar i sin tur fukttransporten. Långvarig exponering av höga fukthalter kan bidra till att byggnadsdelar skadas. Mögelpåväxt kan uppkomma på ytor som utsätts för höga fuktförhållanden vilket i sin tur kan leda till olika hälsoproblem.

I denna rapport används WUFI Pro 6.2 som är ett standardprogram för analys av fuktförhållanden i byggnadsdelar och konstruktioner, ytterväggskonstruktion i detta fall. Programmet utför endimensionella hygrottermiska beräkningar enligt angivet byggnadsdelstvärnsnitt. Inbyggd byggfukt, regn, solstrålning, långvarig strålning, kapillärtransport och sommarkondensation kan tas hänsyn till vid beräkningen. Byggnadens hygrottermiska prestanda bestäms under verkliga klimatförhållanden (WUFI 2018). Den endimensionella versionen anses vara tillräcklig att använda och kan ge tillfredsställande resultat i jämförelse med mer komplicerade två- och tredimensionerberäkningar (Wallentén 2018).

De olika delar som WUFI-programmet består av beskrivs nedan. Beskrivningen nedan hämtas från WUFI Pro 6.2 (online help) om inget annat anges. Det redovisas också vilka val som är möjliga att gjordes vid olika delar.

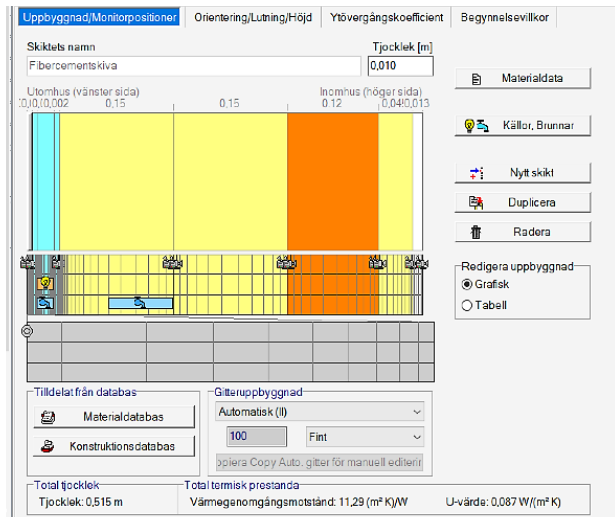
### **3.2.1 Konstruktion**

För att kunna utföra fukt- och värmeberäkningar för en konstruktion i WUFI krävs det att konstruktionen byggs upp i programmet. Detta görs genom val av olika inställningar inom olika flikar, vilka redovisas nedan.

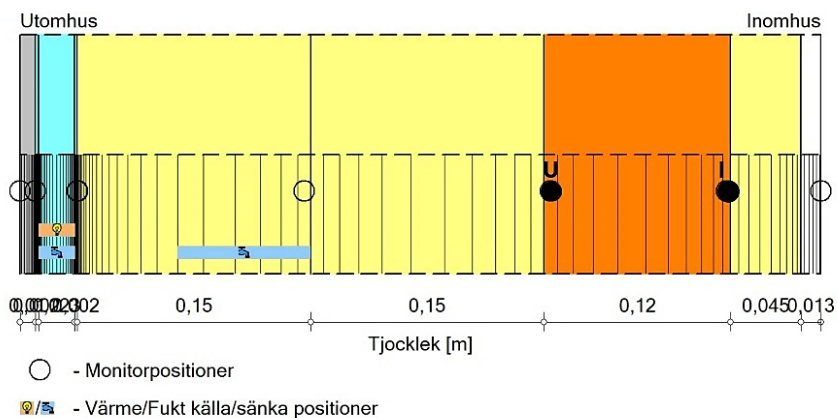
#### **Uppbyggnad/Monitorpositioner**

Under den här fliken kan olika byggnadsdelar, som en konstruktion innehåller, byggas upp. Programmet innehåller en materialdatabas som alstras av olika tillverkare och institutioner från olika länder bland annat Svenska materialdatabasen. Materialdatafliken innehåller information om de hygrottermiska egenskaper som ett material har och som bland annat är skrymdensitet, porositet, specifik värmekapacitet, värmeledningsförmåga, ångdiffusionsmotstånd och kapillaritetskoefficient.

Varje byggnadsdel i konstruktionen kan delas upp i celler med olika storlekar nämligen grov, medel och fin. En monitor kan placeras i varje cell för att få en tydlig bild av hur temperatur och relativ fuktighet ändras i önskad avdelning. Dessutom finns det möjlighet till att placera en fuktkälla i form av slagregn, värmekälla i form av solstrålning och luftomsättning i varje skikt i konstruktionen. Figur 3.1 visar uppbyggnad av en yttervägg i WUFI. Monitorpositioner som studerades för KL-träkonstruktionen under den här studien redovisas i figur 3.2 som U för utvändigt mätupunkt och I för invändigt mätupunkt.



Figur 3.1 visar uppbyggnad av en yttervägg i WUFI.



Figur 3.2 Principuppbyggnad av en ytterväggskonstruktion i WUFI. Prickarna U och I motsvarar mätpunkter över studerad KL-träkonstruktion. Monitorposition U motsvarar utvärdig mätpunkt och monitorposition I motsvarar invärdig mätpunkt.

## Orientering/Lutning/Höjd

Under den här fliken kan orientering, lutning, höjd och slagregnskoefficient av en konstruktion justeras. Med slagregnskoefficient anges regnbelastning som en konstruktion kommer att exponeras för och den har ett värde som ligger i intervallet 0.07-0.2 s/m. Endast ytterväggar kommer att studeras under den här rapporten vilket gör att lutning 90 grader ska användas under alla beräkningar. Alla väggssystem som ska studeras hämtas från byggnader, vars maximala höjd motsvarar 10 m. Figur 3.3 visar hur den här fliken ser ut i WUFI.

Uppbyggnad/Monitorpositioner | **Orientering/Lutning/Höjd** | Ytövergångskoefficient | Begynnelsevillkor

**Orientering/Lutning/Höjd**

N  
W                      Ö  
S

Norr

**Lutning**

Lutning [°] 90

**Byggnadens höjd/Slagregnskoefficient**

Regnbelastning efter ASHRAE Standard 160

R1 [-] 0

R2 [s/m] 0.07

Förklaring:  
Regnbelastning  
Regn\*(R1+R2\*Vindhastighet)

Låg byggnad, höjd upp till 10 m

Figur 3.3 Orientering/Lutning/Höjd val i WUFI.

### Ytövergångskoefficient

Under den här fliken kan olika värden av de parameter som påverkar fukt- och värmeberäkningar väljas. Värdet av värmeövergångsmotstånd på insidan och utsidan kan anges. Under beräkningar kommer värden av värmemotstånd att vara konstanta då de är mer avgörande vid värmeberäkningar. Med tanke på att studien är begränsade till Sverige kommer europastandard enligt Sandin (2010) att tillämpas med ett värde för insidan  $R_{si}=0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$  och ett värde för utsidan  $R_{se}=0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Då värmemotståndet har valts att vara verksamt i beräkningarna gör det att val vindberoende kommer att vara överksamt. Sd-värde, absorptionstal för kortvågig strålning, terräng, kortvågig reflektionsförmåga och absorptionstalet för regnvatten är andra faktorer som kan ändras vid beräkningarna. Enligt ett samtal med handledaren Petter Wallentén anser han att emissionstal för långvågig strålning ska vara inaktiv då beräkningar avser väggkonstruktioner och inte ett tak. Figur 3.4 visar fliken ytövergångskoefficient i WUFI.

Jppbyggnad/Monitorpositioner | Orientering/Lutning/Höjd | **Ytövergångskoefficient** | Begynnelsevillkor

**Yttre yta (vänster sida)**

Värmemotstånd [(m<sup>2</sup> K)/W]  Yttervägg

inkluderas långvägigt strålningsbidrag [W/(m<sup>2</sup> K)]

Vindberoende

Sd-värde [m]  Ingen ytbehandling

Förklaring: Denna inställning påverkar inte regnabsorption

Absorptionstal för kortvägig strålning [-]  Ingen absorption/emission

Emissionstal för långvägig strålning [-]

Explicit strålningsbalans  Måsk: Detta alternativ tar hänsyn till kylning o.g.a. långvägig strålning. Känsliga fall kan behöva noggrann data för motstrålning i filen för väderdata.

Terräng, kortvägig reflexionsförmåga [-]  Standardvärde

Absorptionstal för regnvatten [-]  Beroende på komponentens lutning

**Inre yta (hoger sida)**

Värmemotstånd [(m<sup>2</sup> K)/W]  (Yttervägg)

Sd-värde [m]  Ingen ytbehandling

Figur 3.4 Ytövergångskoefficients dialogrutan i WUFI.

### Begynnelsevillkor

Begynnelsefuktighet och begynnelsestemperatur i byggnadsdel kan ändras under den här fliken. Begynnelsestemperaturen väljs att vara konstant över hela ytterväggen med ett medelvärde över byggnadsdel som motsvara 20°C. Värdet för begynnelsefuktighet kan fastställas på tre olika sätt:

- ett medelvärde av den relativa fuktigheten över byggnadsdel. Den initiala byggfukten som programmet WUFI anger motsvarar 80%.
- en fukthalt för varje byggnadsdel i konstruktionen.
- som en fil. Figur 3.5 redovisar begynnelsevillkor enligt WUFI.

Projekt:/Fall: Parameterstudie\_Basfall/#10

Uppbyggnad/Monitorpositioner | Orientering/Lutning/Höjd | Ytövergångskoefficient | **Begynnelsevillkor**

Begynnelsefuktighet i byggnadsdel

Medelvärde över byggnadsdel

I varje skikt

Läs från fil

Begynnelsetemp. i byggnadsdel

Medelvärde över byggnadsdel

Läs från fil

Relativ fuktighet vid start (-)  Begynnelsetemp. i byggnadsdel [°C]

Begynnelsefukthalt i olika skikt

Nr.	Material Skikt	Tjocklek [m]	Vatten innehåll [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Fiberementskiva	0.013	95.0
2	Air Layer 50 mm	0.002	1.88
3	Air Layer 50 mm, without additional moisture capacity	0.046	0.01
4	Air Layer 50 mm	0.002	1.88
5	ISOVER GW Integra ZKF - 035	0.15	0.7
6	Spruce, radial	0.1	80.0

Figur 3.5 Begynnelsevillkor dialogrutan i WUFI.



### 3.2.2 Inställningar

#### Beräkningsperiod/profiler

Här bestäms vilken period under vilka beräkningar ska ske. Det finns möjlighet att ange vilken dag, månad och vilket år fuktberäkningarna starta med samt vilken dag, månad och år som beräkningarna slutar på. Under den här studien utförs beräkningar under nio år enligt hämtade klimatdatafiler. Tidsstegen som beräkningarna planeras att ske med kan även bestäms under den här fliken. Under studien genomförs beräkningar med ett tidssteg som motsvarar en timme.

#### Numerik

Under den här dialogrutan fastställs vilka beräkningar som ska utföras samt med vilken noggrannhet. Figur 3.6 visar de olika parameter som rutan innehåller. Under beräkningar bestäms det att både värmetransport- och fukttransportberäkningar ska markeras med ökad noggrannhet samt konvergensförbättring. Ingen av de hygrottermiska specialinställningarna markeras då de beräkningarna inte är av intresse att utföras. Valet adaptiva tidsstegkontrollen gör att WUFI räknar till mindre tidssteg när ett problem upptäcks vid beräkningar. Med den här parametern kan beräkningar som ger många konvergensfel undvikas.

The image shows a software dialog box titled 'Projekt:/Fall: Parameterstudie\_Basfall/#10'. It has a tab labeled 'Numerik'. The dialog is organized into several sections:

- Beräkningstyp:** Contains two checked checkboxes: 'Värmetransportberäkning' and 'Fukttransportberäkning'.
- Hygrottermiska specialinställningar:** Contains five unchecked checkboxes: 'Utan kapillärtransport', 'Utan latent värme ånga-vätska', 'Exkluderar temperaturberoende p.g.a. fasomvandling', 'Utan latent värme vätska-fast', and 'Exkluderar värmeledningsförmågens temperatur- och fuktberoende'.
- Numeriska parametrar:** Contains two checked checkboxes: 'Ökad noggrannhet' and 'Konvergensförbättring'.
- Adaptiv tidsstegskontroll:** Contains one checked checkbox 'Sätt på'. To its right are two dropdown menus: 'Steg' set to '3' and 'Max. steg' set to '5'.
- Geometri:** Contains two radio buttons: 'Kartesiska' (which is selected) and 'Cylindersymmetrisk'.

Figur 3.6 Numerisks dialogrutan i WUFI med olika parametrar.

### 3.2.3 Klimat

Städerna Lund, Stockholm, Borlänge och Luleå kommer att analyseras i rapporten. Klimatdatafiler hämtas från Fuktcentrum (2018) och är baserade på data från SMHI. De

utvalda städerna sträcker sig över landet och anses därför ge en klar bild för hur fuktförhållanden kan ändras i de rådande konstruktionerna och därmed kan godtyckliga slutsatser dras. Under bilaga A redovisas olika egenskaper likt temperatur, relativ fuktighet, vind och regnmängd för de valda städerna under 9 år.

- Utomhusklimat: Den fliken som valts under utomhusklimat är EN 15026 .
- Inomhusklimat: Standard ISO 13788 används för inomhusklimat, vilket betyder att inomhusklimatet beror på utomhusklimatet. Temperaturen i inneklimatet väljs vara konstant med 20°C. Fuktighetsklass kan även väljas från klass 1 till 5 samt som varje klass motsvarar en mängd fuktillskott. Tabell 3.1 definierar de olika fuktklasser med fuktillskott inomhus vid 20°C enligt WUFI.

Tabell 3.1 Fuktillskott vid olika fuktklasser vid 20°C enligt WUFI.

Fuktklass	Fuktillskott g/m <sup>3</sup>
Klass 1	2
Klass 2	4
Klass 3	6
Klass 4	8
Klass 5	10

### 3.2.4 Förutsättningar för simulering i WUFI

- Simuleringarna för värme- och fukt är 1-dimensionella.
- Klimatdatafiler för Lund, Stockholm, Borlänge och Luleå hämtade från Fuktcentrum (2018). Klimatdata är tagen från mätdata utförd på nio efterföljande år mellan 1990–1998. Vald beräkningsperiod för simuleringar i WUFI sattes till start i 2019-10-01 och slut i 2029-01-01 för att kunna illustrera möjliga fuktförhållande i konstruktioner byggda med KL-trä idag.
- Simuleringen inkluderar inte vattenupptagning i ändträet, läckage genom öppningar som dörrar och fönster, hörn eller kopplingar.
- Adaptiv tidsstegskontroll påslagen för större noggrannhet, steg 3 till max 5 steg.
- Tidssteg 1 h.
- Gitteruppbyggnad sätts till fint.
- Gran (spruce radial enligt beteckning i WUFI) väljs för att utgöra KL-träkonstruktionen vid simuleringar i WUFI.
- Ingen hänsyn till lim i KL-träkonstruktionen beaktas vid simuleringarna i WUFI om inget annat anges vid specifika beräkningsfall.

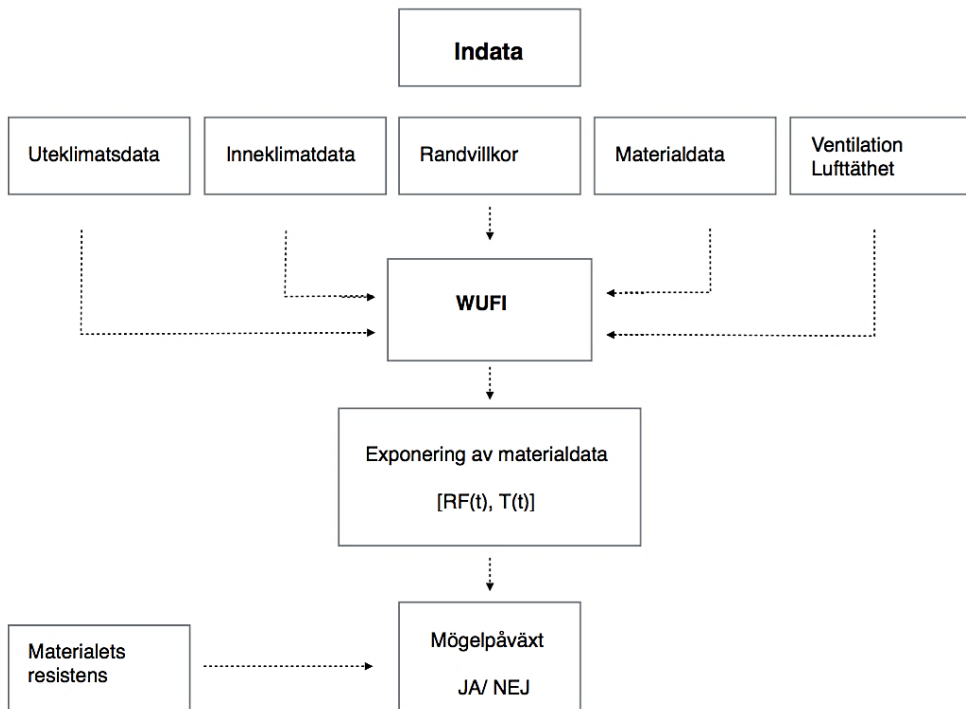
### 3.3 MRD- modell

MRD-modell, Mögel Resistens Dimensionering anger kopplingen mellan en generell tidsberoende exponering och materialresistens. Genom inmatning av en given tidsvariation av relativ fuktighet och temperatur samt givet material ger MRD-modellen ett MRD-index som resultat. Med hjälp av MRD-index kan risken för mögelpåväxt studeras. Modellen baserar på medelvärden för relativ luftfuktighet och temperatur på 12-timmar och kan användas under lång tid. Indata för modellen kan simuleras i analyser med hygrotermiska datorprogram, som exempelvis WUFI, se figur 3.7. MRD-modellen förutsätter att referensvärden för relativ fuktighet,  $RF_{ref}$  och temperatur  $T_{ref}$  har definierats. Respektive värde kan sättas till;  $\varphi_{ref} = 90\%$  respektive  $T_{ref} = 20\text{ °C}$  i denna studie. Mer om MRD-modellen kan läsas i *Fuktsäker utformning av klimatavskiljande byggnadsdelar med fukt känsliga material, vägledning för projektering och riskvärdering* (Thelandersson & Isakson 2013).

MRD-index kan beräknas som funktion av tiden  $t$ , se ekvation (3.1) för en exponeringssituation. Om det beräknade MRD-indexvärdet överstiger 1,0 innebär det att grundtillståndet har överskridits och därmed finns risk för mögelpåväxt (Thelandersson & Isakson 2013).

$$I_{MRD}(t) = D(t) / D_{crit} < 1 \quad (3.1)$$

Där  $D(t)$  är en dos som beräknas för given klimatexponering som funktion av tiden.  $D_{crit}$  är kritisk dos för initiering av mögelpåväxt som beror på materialet där mögelpåväxt tänks ske. För varje  $t$  inom betraktad tidsperiod krävs det att  $D(t) < D_{crit}$  för att gränstillståndet inte ska överstigas. Ju högre  $D_{crit}$  ett material har, desto större är sannolikheten att materialet klarar en tillfällig exponering av hög luftfuktighet och temperatur, utan att risk för mikrobiellt angrepp uppstår. För gran används  $D_{crit} = 17$  dagar, vilket även avgör att  $I_{MRD} = 1$  för gran (Thelandersson & Isakson 2013).



Figur 3.7 Princip för analys av mögelpåväxt på KL-trä i ytterväggskonstruktioner. Data matas in i WUFI:s inställningar som exporterar datan till en textfil med RF, temperatur och tid. Den exporterade datan matas sedan in i Excelarket för att få fram MRD-index (efter Thelandersson 2013).

Thelandersson, Isaksson och Niklewski (2013) beskriver att vid bedömning av uppkomst av mögelpåväxt är materialets resistens mot påväxt avgörande. Osäkerheter i den indata som matas inför analys i WUFI, resulterar även i motsvarande grad av osäkerhet i resultatet. Mögelpåväxt anses uppkomma när mögelindex 1, se tabell 3.2 för gradering av mögeltillväxt.

Tabell 3.2 Mögelpåväxt utifrån mögelindex enligt RäknaF, (Wallentén 2018).

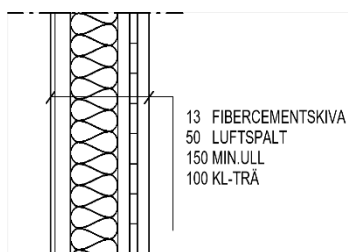
Mögelindex	mögelpåväxt
0	Ingen mikrobiell tillväxt
1	Spår av tillväxt, kan upptäckas i mikroskop
2	Medeltillväxt, kan endast upptäckas i mikroskop
3	Synlig tillväxt som kan upptäckas med ögat, täcker <10% av ytan.
4	Synlig tillväxt som kan upptäckas med ögat, täcker <50 %.
5	Synlig tillväxt, täcker över 50 %
6	Mycket stor tillväxt, täcker 100 %

### 3.4 Ytterväggskonstruktioner

Fyra ytterväggar med KL-trästomme har inhämtats från projekt genomförda i Sverige. Ytterväggarna tillhandhölls genom kontakt med olika ansvariga som har varit verksamma i projekten. Ytterväggarna ges beteckningarna A, B, C och D vilka presenteras under detta avsnitt.

#### 3.4.1 Yttervägg A

Konstruktionen är en ventilerad yttervägg som består av en 13 mm ytterbeklädnad fibercementskiva med en 50 mm luftspalt mellan skivan och stående träreglar med 150 mm värmeisolering av mineralull emellan. Vid insidan av väggen monteras en synlig 100 mm KL-träskiva med 3 lamellskikt. Yttervägg A illustreras i figur 3.8.

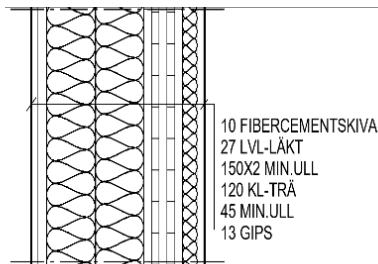


Figur 3.8 Uppbyggnad av väggkonstruktion A.

#### 3.4.2 Yttervägg B

Konstruktionen är en ventilerad yttervägg vars ytterbeklädnad består av en 10 mm fibercementskiva med en 27 mm luftspalt, därefter tillkommer dubbelskikt av 150 mm mineralull med stående träreglar. En 120 mm KL-träkonstruktion bestående av 5 lamellskikt

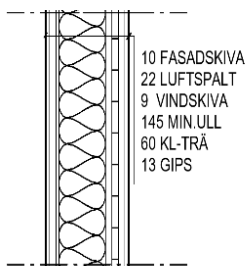
tillkommer som bärande element med ytterligare ett 45 mm isoleringsskikt av mineralull och en 13 mm invändig gipsskiva mot inomhus. Yttervägg B illustreras i figur 3.9.



Figur 3.9 Uppbyggnad av väggkonstruktion B.

### 3.4.3 Yttervägg C

Konstruktionen är en ventilerad yttervägg vars ytterbeklädnad består av en 10 mm fibercementskiva med en 22 mm luftspalt som ligger mellan fibercementskivan och en vindskyddskiva. Vindskivan är en 9 mm gipsskiva som monteras på stående träreglar med 145 mm värmeisolering av mineralull emellan. Därefter kommer en 60 mm KL-träkonstruktion som består av 3 lamellskikt och en 13 mm gipsskiva som fungerar som en invändig beklädnad. Yttervägg C illustreras i figur 3.10.



Figur 3.10 Uppbyggnad av väggkonstruktion C.

### 3.4.4 Yttervägg D

Konstruktionen är en ventilerad yttervägg med 22x2 mm stående träpanel med en 20 mm luftspalt som ligger mellan ytbeklädnaden och en 100 mm cellplastskiva. Skivan följs av stående regler med 120 mm mineralull emellan. En 120 mm KL-träkonstruktion bestående av 5 lamellskikt monteras synligt mot inomhussidan. Yttervägg D illustreras i figur 3.11.







## 4 Genomförande

I detta kapitel beskrivs genomförandefasen inför val av typiska KL-träkonstruktioner, simuleringar i WUFI samt analys av MRD-index. Resultatet av genomförandedelen redovisas under kapitel 5. Genomförande påbörjas med att analysera KL-träkonstruktionen i ytterväggarna A, B, C och D, vilket redovisas under avsnitt 4.1. Två ytterväggskonstruktioner, så kallade typiska ytterväggar väljs därefter för att studeras vidare med en parameterstudie, vilket beskrivs under avsnitt 4.2.

### 4.1 Val av typiska ytterväggskonstruktioner

För att kunna välja en typisk ytterväggskonstruktion kommer de insamlade ytterväggskonstruktionerna att simuleras i WUFI för vidare analys av mögelrisken med MRD-modellen. Utgångspunkten för analys av KL-träkonstruktionerna i respektive yttervägg utgörs av ett basfall där väggarna ges likvärdiga förutsättningar, givna under tabell 4.1 samt avsnitt 4.1.2 som redovisar uppbyggnad av respektive väggkonstruktion i WUFI. De ytterväggskonstruktioner som väljs för att studeras vidare utifrån basfallet, utgör så kallade, typiska ytterväggar. Resultatet för valda typiska ytterväggar redovisas under avsnitt 5.2.

#### 4.1.1 Basfall

Eftersom en viss avvikelse råder i uppbyggnad av yttervägg A, B och C respektive yttervägg D kommer därför förstnämnda väggar att studeras för sig och yttervägg D för sig. Utifrån yttervägg A, B och C kommer den ytterväggskonstruktion som ger högst MRD-index att studeras vidare tillsammans med yttervägg D under avsnitt 5.2. Utifrån diskussioner med handledaren framkom det att slagregninträngning och byggfukt är de parametrar som kan ha störst betydelse för analysen. Därför har just nämnda parametrar valts till att utgöra det extrema basfallet. Övriga parametrar sätts som konstanta för alla ytterväggar för att kunna göra en likvärdig bedömning.

KL-träet ges begynnelsefuktighet motsvarande RF 85% vilket är 20% i fuktkvot, vilket beskriver byggfukten vid inbyggnad. I RäknaF av Wallentén (2018) framgår det att i den amerikanska ingenjörorganisationen ASHRAE att 1% av slagregnet anses tränga in i ytterväggen genom fasadskiktet. Placering av slagregninträngningen samt uppbyggnad av respektive yttervägg i WUFI redovisas under avsnitt 4.1.2. Inför jämförelsen av ytterväggarna utifrån basfallet är två alternativ möjliga att undersöka, vilka är följande:

- **Alternativ 1** Anta att endast KL-träkonstruktionen innehåller begynnelsefuktighet motsvarande 85% vid start. Andra ingående material i ytterväggskonstruktionen antas ha en relativ fuktighet motsvarande 65% vid start.
- **Alternativ 2** Anta att alla ingående skikt i ytterväggskonstruktionen innehåller begynnelsefuktighet motsvarande 85% i relativ fuktighet vid start.

Tabell 4.1 Parametrar som sätts in i WUFI för basfallet för ytterväggskonstruktion, A, B, C och D.

Parametrar	Yttervägg A, B och C	Yttervägg D
1. Orientering	Norr	Norr
2. Klimat	Lund	Lund
3. Fasadfärg	Enligt väggupbyggnad	Enligt väggupbyggnad
4. Andel inträngt slagregn [%]	1	1
5. Luftomsättning i luftspalt [oms/h]	30	30
6. Trätyp	Gran radiellt	Gran radiellt
7. Relativ luftfuktighet	85%	85%

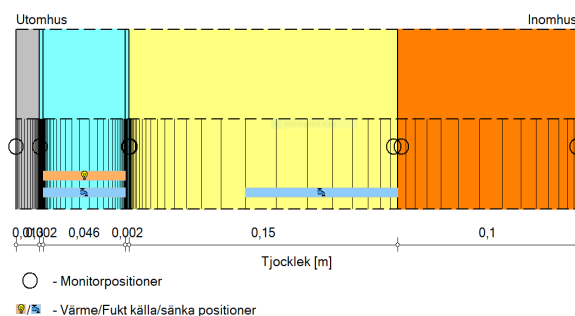
Både alternativ 1 och alternativ 2 har undersökts för respektive yttervägg, yttervägg A-D. Resultatet redovisas under avsnitt 5.2 där diagram ur MRD-modellen med antagandet för alternativ 2 redogörs samt de typiska ytterväggarna väljs.

#### 4.1.2 Uppbyggnad av ytterväggskonstruktioner i WUFI

Under detta avsnitt presenteras de ingående materialskikten i respektive ytterväggskonstruktion enligt uppbyggnad i WUFI. Materialdatabas som används för de olika ytterväggarna, positioner av fukt- och värmekällor samt monitorer redovisas. Eftersom det som ska studeras är KL-träkonstruktionen, placeras monitorerna enligt utvändig och invändig mätpunkt, som redovisat i figur 1.1. Val av byggnadsmaterial utifrån WUFI:s databas grundar sig på vilka materialegenskaper respektive komponent har. Valda material har materialegenskaper som är lämpliga i jämförelse med verkliga värden från olika handböcker och tillverkare. Respektive materialegenskap för de olika väggarna redovisas under bilaga B.

#### Yttervägg A

Figur 4.1 visar hur väggkonstruktion A är uppbyggd i WUFI, där framgår det även placeringen av fukt- och värmekällor i konstruktionen. Materialdata som användas från WUFI-databas presenteras i tabell 4.2.



Figur 4.1 Uppbyggnad av ytterväggskonstruktion A i WUFI med en adderad fuktkälla med andel inträngd slagregn 1% i 50% av det första isoleringsskiktet sett utifrån.

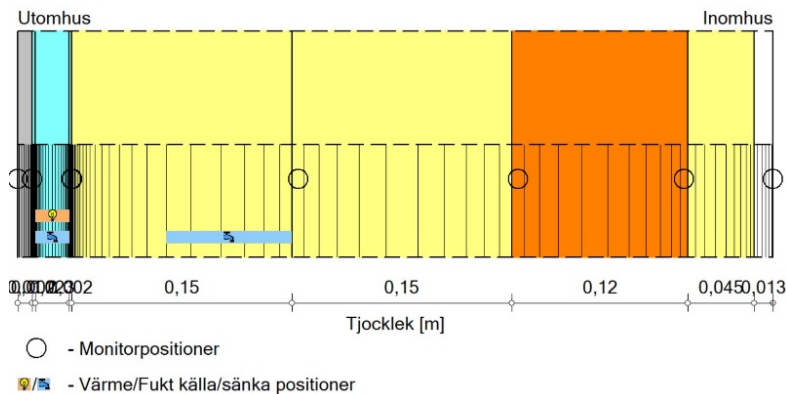
Tabell 4.2 Ingående material i väggkonstruktion A.

Byggnadsdel	Tjocklek (mm)	Benämning av Material i WUFI
Fibercementskiva	0.013	Fibercementskiva
Luftspalt 1	0.002	Air Layer 50 mm
Luftspalt 2	0.046	Air Layer 50 mm, without additional moisture capacity
Luftspalt 3	0.002	Air Layer 50 mm
Mineralull	0.150	Isover GW ZKF- 35
Gran radiellt	0.100	Spruce, radial

Enligt RäknaF ska luftspalten byggas upp av olika skikt enligt WUFI:s materialdatabas. Det ena skiktet ger utökad fuktkapacitet och används i kontakt med ytor. Detta skikt kan ges tjockleken 2 mm av den totala tjockleken för luftspalten, se exempelvis luftspalt 1 och luftspalt 3 under tabell 4.2. Om luftspalten är ventilerad ska mittskiktet, exempelvis luftspalt 2 i tabell 4.2 vara utan adderad fuktkapacitet. Sammanlagt ska skikten representera den verkliga tjockleken för luftspalt. Benämningen av tjockleken i WUFI har ingen betydelse för den verkliga tjockleken av luftspalten.

### Yttervägg B

Figur 4.2 visar hur väggkonstruktion B är uppbyggd i WUFI, där framgår det även placeringen av fukt- och värmekällor i konstruktionen. Materialdata som användas från WUFI-databas presenteras i tabell 4.3.



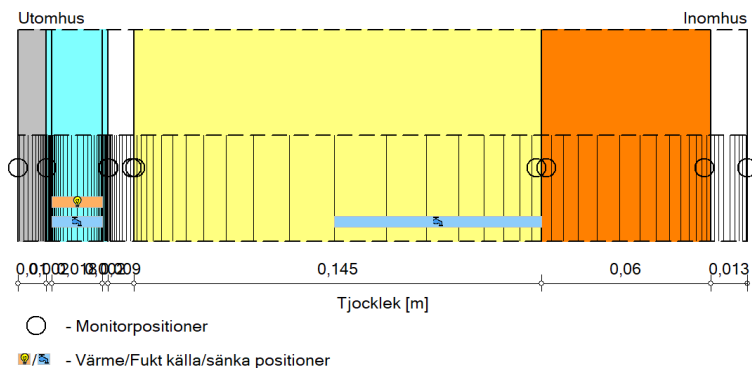
Figur 4.2 Uppbyggnad av ytterväggskonstruktion B i WUFI med en adderad fuktkälla med andel inträngd slagregn 1% i 50% av det första isoleringssiktet sett utifrån.

Tabell 4.3 Ingående material i väggkonstruktion B.

Byggnadsdel	Tjocklek (mm)	Benämning av Material i WUFI
Fibercementskiva	0.010	Fibercementskiva
Luftspalt 1	0.002	Air Layer 30 mm
Luftspalt 2	0.023	Air Layer 30 mm, without additional moisture capacity
Luftspalt 3	0.002	Air Layer 30 mm
Mineralull	0.150	ISOVER GW Integra ZKF- 035
Mineralull	0.150	ISOVER GW Integra ZKF- 035
Gran radiellt	0.120	Spruce, radial
Mineralull	0.045	ISOVER GW Integra ZKF- 035
Gipsskiva	0.013	Gipsskiva invändig (utan ytbehandling)

### Yttervägg C

Figur 4.3 visar hur väggkonstruktion C är uppbyggd i WUFI, där framgår det även placeringen av fukt- och värmekällor i konstruktionen. Materialdata som användas från WUFI- databas presenteras i tabell 4.4.



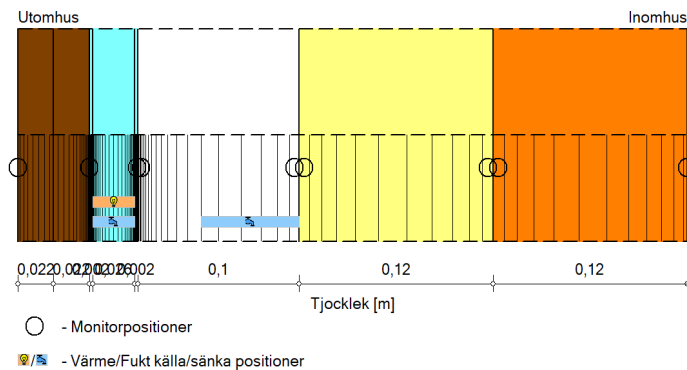
Figur 4.3 Uppbyggnad av ytterväggskonstruktion C i WUFI med en adderad fuktkälla med andel inträngd slagregn 1% i 50% av det första isoleringskiktet sett utifrån.

Tabell 4.4 Ingående material i väggkonstruktion C.

Byggnadsdel	Tjocklek (mm)	Benämning av Material i WUFI
Fasadskiva	0.010	Fibercementskiva
Luftspalt 1	0.002	Air Layer 20 mm
Luftspalt 2	0.018	Air Layer 20 mm, without additional moisture capacity
Luftspalt 3	0.002	Air Layer 20 mm
Mineralull	0.145	ISOVER GW Integra ZKF- 035
Gran radiellt	0.060	Spruce, radial
Gips	0.013	Gips invändigt (utan ytbehandling)

### Yttervägg D

Figur 4.4 visar hur väggkonstruktion D är uppbyggd i WUFI, där framgår det även placeringen av fukt- och värmekällor i konstruktionen. Materialdata som användas från WUFI- databas presenteras i tabell 4.5.



Figur 4.4 Uppbyggnad av ytterväggskonstruktion D i WUFI med en adderad fuktkälla med andel inträngd slagregn 1% i 50% av cellplasten.

Tabell 4.5 Ingående material i väggkonstruktion D.

Byggnadsdel	Tjocklek (mm)	Benämning av Material i WUFI
Stående träpanel x2	0.022	Gran tangentiell
Luftspalt 1	0.002	Air Layer 30 mm
Luftspalt 2	0.026	Air Layer 30 mm, without additional moisture capacity
Luftspalt 3	0.002	Air Layer 30 mm
Cellplast	0.100	Cellplast Expanderad
Mineralull	0.150	ISOVER GW Integra ZKF- 035
Gran radiellt	0.120	Spruce, radial

## 4.2 Parameterstudie

Enligt RäknaF (2018) framgår det att de viktigaste parametrarna måste identifieras för varje konstruktion, vilka kan kallas för nyckelparametrar. Det framgår även att om en parameter påverkar resultatet endast ringa så är det inte en nyckelparameter. Parameterstudien utförs för att kunna få en ökad förståelse för vilka parametrar och övriga faktorer som har störst inverkan på KL-träkonstruktionen genom analys av MRD-index. Tillvägagångssättet beskrivs enligt RäknaF av Wallentén (2018). För att kunna följa beskrivningen för genomförandet av parameterstudien rekommenderas först att resultat för valda typiska ytterväggar utifrån basfallet, redovisade under avsnitt 5.2 har medtagits.

För att kunna genomföra parameterstudien behandlas de ingående parametrarna som oberoende och linjära. Varje parameter varieras var för sig för att kunna dra en slutsats om vilken vikt just vald parameter har för KL-träkonstruktionen. De olika parametrarna för respektive yttervägg redovisas under tabell 4.6. Utifrån avsnitt 5.2 framgick det att KL-träkonstruktioner i yttervägg B respektive D löper störst risk för mögelpåväxt då högst MRD-värde uppnås i respektive yttervägg.

Tabell 4.6 Parametrar som undersöks för mögelrisk i KL-träkonstruktion för yttervägg B och D.

Parameter	Yttervägg B	Yttervägg D
1. Orientering	Norr, Söder, Öster, Väster och Sydväst	Norr, Söder, Öster, Väster och Sydväst
2. Klimat	Lund, Borlänge, Stockholm, Luleå	Lund, Borlänge, Stockholm, Luleå
3. Fasadfärg	Utan fasadfärg, ljus, grå, mörk	Utan fasadfärg, ljus, grå, mörk
4. Andel inträngt slagregn [%]	0, 1, 2, 3	0, 1, 2, 3
5. Luftomsättning i luftspalt [oms/h]	10, 30, 75, 100	10, 30, 75, 100
6. Utan väderskydd	RF 100%	RF 100%
7. RF (Byggfukt) [%]	65, 75, 85, 90, 95	65, 75, 85, 90, 95
8. Temperatur [°C]	10, 20, 30	10, 20, 30
9. Fuktklass	1,2,3,4, 5	1,2,3,4, 5
10. Trätyp	Gran radiellt, CLT, KLH, KL-trä, Trä⊥fibrer, Korslimmat trä	Gran radiellt, CLT, KLH, KL-trä, Trä⊥fibrer, Korslimmat trä
11. Gran med lim	0.1 mm lim 0.3 mm lim	0.1 mm lim 0.3 mm lim
12. Plastfolie	1 mm Vapour barrier (sd=1500m)	1 mm Vapour barrier (sd=1500m)

Resultatet av parameterstudien för KL-träkonstruktion i ytterväggarna redovisas under avsnitt 5.3.1 för yttervägg B och avsnitt 5.3.2 för yttervägg D.

## 4.2.1 Beskrivning av parametrar

### Orientering

För att kunna undersöka inverkan som orienteringen har på mögelrisk i KL-träkonstruktioner för yttervägg B samt D, placeras ytterväggarna mot huvudriktningarna norr, öster, söder, väster. Ytterligare en riktning analyseras, vilken är sydväst. Sydväst har valts eftersom det enligt klimatanalys för Lund i WUFI framgår det att mängden slagregn är som störst i denna riktning. Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.3 och för yttervägg D i tabell 5.13.

### Klimat

De valde KL-träkonstruktionerna B och D studeras i fyra olika orter i Sverige nämligen Lund, Luleå, Borlänge och Stockholm där verkliga klimatdata används för hela tidsperioden. Klimatdatafiler hämtade från Fuktcentrum (2018). Syftet med denna studie är att kunna få en uppfattning om hur olika klimat kommer att påverka KL-träkonstruktioner i de valda ytterväggarna med hänsyn till mögelpåväxt. Detta görs genom att studera MRD-index på

KL-träkonstruktionerna både på ut- och insidan i de fyra klimaten och jämföra dem med varandra. Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.4 och för yttervägg D i tabell 5.14.

### **Fasadfärg**

Olika fasadfärger analyseras för att kunna få inblick i vilken inverkan absorptionsfaktorn har på mögelrisk för KL-träkonstruktionerna. Absorptionsfaktorna för de olika fasadfärgerna studeras enligt WUFIs:databas. Det som studeras är också absorptionsfaktor för mörk enligt Arfvidsson et al. (2017). Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.5 och för yttervägg D i tabell 5.15.

### **Andel inträngtt slagregn**

Enligt RäknaF tränger 1% av slagregn in i konstruktionen genom fasaden. Denna inträngning har simulerats i WUFI med hjälp av en adderad fuktkälla enligt avsnitt 4.1.2. Parameterstudien utförs för att kunna säkerställa huruvida respektive konstruktion är fungerande vid antagande om läckage från slagregn. En ökning på andelen slagregn mellan 1–3% kommer därför att utföras. Syftet med denna ökning är att ge en indikation på hur KL-träkonstruktionen kan påverkas om fasadlösningen inte är korrekt utförd. Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.6 och för yttervägg D i tabell 5.16.

### **Luftomsättning**

Basfallet för studien har en luftomsättning på 30 oms/h för yttervägg B och yttervägg D. Enligt RäknaF (2018) av Wallentén kan luftomsättningar i en ventilerad luftspalt vara en nyckelparameter, därför kommer denna att studeras enligt variationer angivna under tabell 4.6. Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.7 och för yttervägg D i tabell 5.17.

### **Konstruktion utan väderskydd**

När KL-träkonstruktioner exponeras för exempelvis nederbörd, kan den relativa luftfuktigheten förutsättas vara, RF 100%, förutsatt att KL-träkonstruktionen är utan väderskydd. I WUFI råder problematik vid beräkningar med RF 100%, därför måste den relativa luftfuktigheten under begynnelsevillkor sättas till RF 99% för att ett godtagbart resultat ska uppnås. Syftet med denna studie är att undersöka hur KL-träkonstruktionen reagerar då extrema väderförhållanden råder under produktionsskedet. När KL-trä exponeras för en stor mängd fukt under produktionsskedet kan den relativa fuktigheten i WUFI revideras till 95–100% hävdar Lars Olsson<sup>9</sup>. Vid relativ fuktighet 99% fås en byggfukt motsvarande 330 kg/m<sup>3</sup>. Resultat för yttervägg B redovisas i figur 5.13 samt 5.14 och för yttervägg D i figur 5.28 samt 5.29.

### **RF/ Byggfukt**

Trä påverkas av mikrobiell påväxt vid olika stadier av det kritiska fukttillstånd som varierar mellan RF 75–80% enligt Wallentén, Burke, Eklund och Wennerkvist (2018). Tidigare studier har visat att mögelpåväxt kan uppkomma redan vid relativ fuktighet 75%, vilket även utgör det kritiska fukttillståndet enligt BBR. Syftet med denna parameterstudie har varit att undersöka hur KL-träkonstruktionen reagerar med varierande vatteninnehåll och huruvida

---

<sup>9</sup> Lars Olsson, Forskare och teknisk handläggare på RISE, telefonsamtal den 2 april 2019.



denna parameter utgör en nyckelparameter eller inte en nyckelparameter. Syftet är även att analysera risken för mögel vid förekomst av byggfukt. Byggfukt i hygrotermiska analyser kan analyseras genom att trämaterial sätts i jämvikt med en viss relativ fuktighet på 80–90%. Genom att analysera byggfukten kan även en indikation om hur torkningsprocessen för aktuellt material ser ut. Mängden byggfukt som KL-trä innehåller enligt WUFI:s-databas vid olika relativ fuktighet redovisas under tabell 4.7. Resultat för yttervägg B redovisas under tabell 5.8 och för yttervägg D under tabell 5.18. Undersökningarna av torkningsprocessen redovisas under avsnitt 5.4.

Tabell 4.7 Fukthalt i gran utifrån angivet RF i WUFI med en medeltemperatur på 20 °C. Densitet för gran radiell är 455 kg/m<sup>3</sup>. Fuktkvoten är tagen från sorptionskurva enligt WUFI.

Relativ fuktighet (%)	Fukthalt (kg/m <sup>3</sup> )	Fuktkvot (%)
50	45	10
65	57	12.5
75	72.33	16
80	80	17.5
85	90	20
90	100	22
95	120.83	26.5
99	330	>32

### Temperatur över byggnadsdel

Som framgått tidigare är temperatur en viktig parameter vid mögelangrepp. Mögel kan anses växa då temperaturen är över 5 °C, om andra gynnsamma tillväxtförhållanden råder, hävdar Lars Olsson<sup>10</sup>. Denna del av studien har som syfte att lyfta fram hur variationer av temperatur över väggkonstruktionen påverkar mögelpåväxt enligt MRD-modellen. Resultat för yttervägg B redovisas under tabell 5.9 och för yttervägg D under tabell 5.19.

### Fuktklass

Under denna del av parameterstudien studeras påverkan av inneklimat på mögelpåväxt i KL-trä, väggkonstruktionerna B och D, genom att variera fuktklassen i programmet WUFI. Fuktklassen som rekommenderas enligt Arfvidsson et al. (2017) för standard EN-ISO 13788:2012 är 1–3 då rimliga värden uppnås. Fuktklass 1–5 kommer att studeras i den här studien för att kunna avgöra huruvida fuktklass är en nyckelparameter eller inte. Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.10 och för yttervägg D i tabell 5.20.

<sup>10</sup> Lars Olsson, Forskare och teknisk handläggare på RISE, telefonsamtal den 2 april 2019.

## Träslag

Under det här avsnittet studeras hur olika materialval av KL-trä kan påverka risken för mögel. Detta genom att materialdata utifrån WUFI såsom gran radiellt, CLT och KLH används. Dessutom justeras materialegenskaper enligt egenskaper som hämtas från Fukthandbok (2017), KL-trähandbok av Borgström & Fröbel (2017) och från rekommendationer enligt Mukhopadhyaya et al. (2014) gällande trä radiellt respektive KL-trä. De hygrottermiska egenskaper som justeras i WUFI för att få ett material som liknar material i Fukthandbok (2017), KL-trähandbok av Borgström & Fröbel (2017) och Mukhopadhyaya et al. (2014) är densitet, porositet, värmeledningsförmåga, diffusionsmotstånd för vattenånga och kapillaritetskoefficient, vilket redovisas i bilaga B. De materialegenskaper som hittas i olika källor redovisas i tabell 4.8. I tabell 4.8 redovisas olika beteckningar och egenskaper som KL-trä kan anta vid simuleringar i WUFI. Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.11 och för yttervägg D i tabell 5.21.

Tabell 4.8 Fysikaliska värden för olika träslag som undersöktes i WUFI. Värdena 1, 2 och 3 är tagna från WUFI. Värdena i rad 4 är tagna från (Mukhopadhyaya et al. 2014) och värdena i rad 5 är tagna från (Arfvidsson et al. 2017) samt i rad 6 (Borgström & Fröbel 2017).

Källa	KL-trä	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$p$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	$\delta_v$ [m <sup>2</sup> /s]	A-värde [kg/ m <sup>2</sup> · √s]
1	Gran radiellt	455	0.73	0.09	130	$1,923 \cdot 10^{-7}$	0.0015
2	CLT	410	0.74	0,098	500	-	0.0024
3	KLH	423	0.7	0.12	300	-	-
4	KL-trä	420	-	0.1114	-	-	0.00195
5	Träfiber	450	0.65	0.14	125	$0.2 \cdot 10^{-6}$	0.004
6	Korslimmat trä	420	-	0.13	131.57	$0.19 \cdot 10^{-6}$	-

## Gran med lim

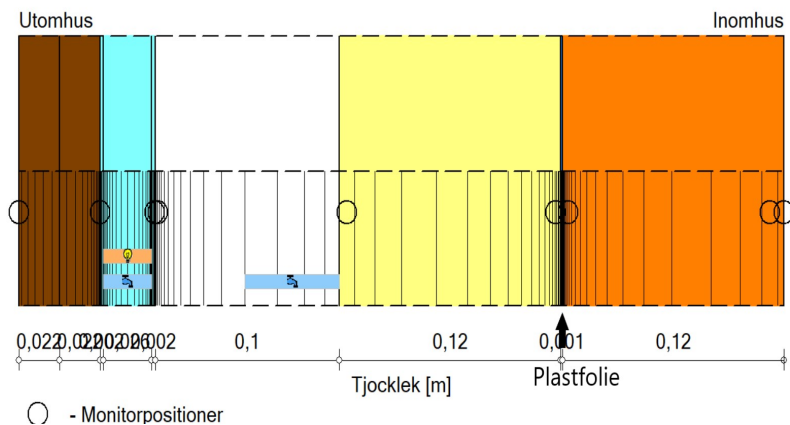
Lim som material finns inte i WUFI:s materialdatabas. För att kunna skapa limmet modifieras en plastfolie som finns i WUFI. Det som justeras är plastfoliens densitet samt diffusionsmotståndsfaktor efter data som hittats under litteraturstudien för 1C PUR. Densiteten sätts till 1172 kg/m<sup>3</sup> medan diffusionsmotståndsfaktor  $\mu$  vid ett vått förhållande sätts till 3331. Limhalten tillåts variera mellan 0,1 mm och 0,3 mm. Resultat för yttervägg B redovisas i tabell 5.12 och för yttervägg D i tabell 5.22. I tabell 4.9 redovisas diffusionsmotstånd, densitet,  $S_d$ -värde och  $\mu$ -värde av 1C PUR (Gereke, Niemz & Sonderegger 2010).

Tabell 4.9 Redovisar limmets egenskaper, bland annat densitet, ånggenomsläpplighet och ångmotstånd (ETH).

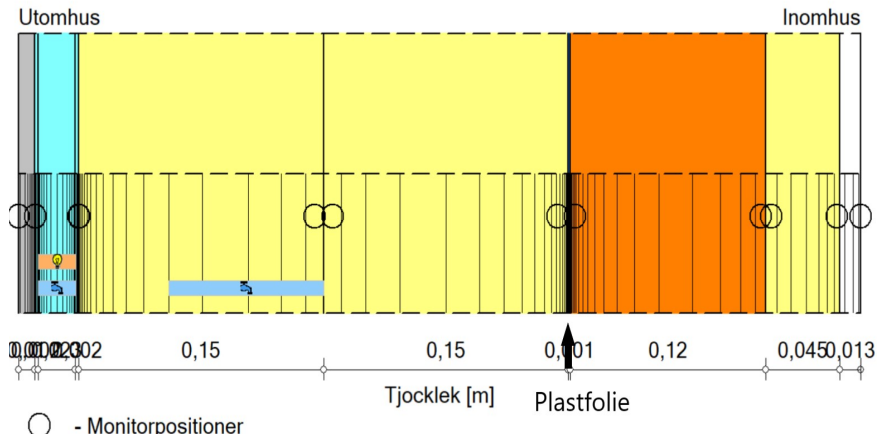
1C PUR	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Ånggenomsläpplighet $\delta_v$ [m <sup>2</sup> /s]	Ångmotstånd $\mu$ [-]	$S_d$ -Värde [m]	
				0.1mm	0.3mm
Vått förhållande	1172	$7.51 \cdot 10^{-9}$	3331	0.333	1
Torr förhållande	1172	$4.03 \cdot 10^{-9}$	6208	0.621	1.862

### Plastfolie

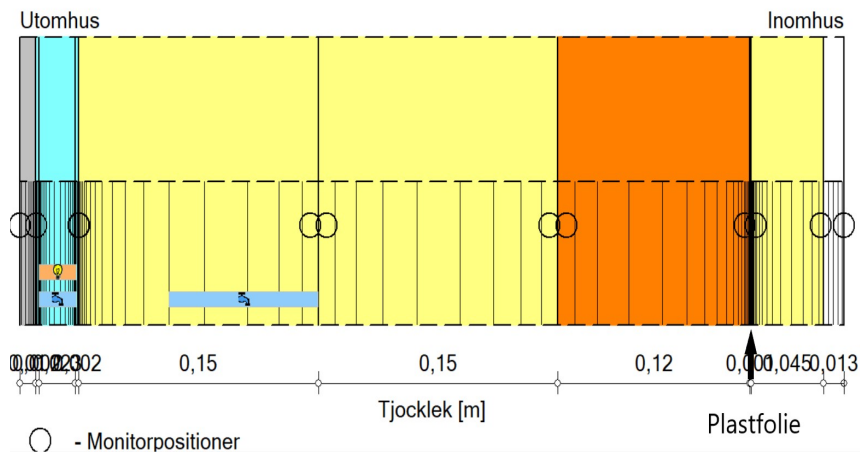
Syftet med denna studie är att undersöka inverkan på MRD-index då plastfolie monteras i ytterväggskonstruktion B och D. Enligt avsnitt 2.3.3 redovisades två alternativ på placeringar av ångbroms i en yttervägg med KL-trästomme enligt Borgström & Förbel (2017). I liknelse med exemplen har plastfolie placerats enligt figur 4.5 för yttervägg D samt figur 4.6 och figur 4.7 för yttervägg B. Den första placeringen, placering 1 utgör fallet då plastfolien monteras längs KL-träkonstruktionen mot uteklimatet medan den andra placeringen, placering 2 utgör fallet då plastfolien monteras längs KL-träkonstruktionen mot inomhusklimatet.



Figur 4.5 Montering av plastfolie i yttervägg D enligt placering 1.



Figur 4.6 Montering av plastfolie i yttervägg B med placering av plastfolie enligt placeringstyp 1.



Figur 4.7 Placering av plastfolie i yttervägg B med placering av plastfolie enligt placeringstyp 2.

### 4.3 Uttorkning av KL-träkonstruktion

För att kunna studera uttorkningen av byggfukt i KL-träkonstruktionen varierades fuktigheten över ytterväggen med RF 75%, 80%, 85% och 90% utifrån basfallet. Ur WUFI kan diagram som beskriver vatteninnehållet i förhållande till tiden fås. Med hjälp av diagrammen kan uttorkningsprocessen följas tills jämviktsnivån uppnås. Enligt avsnitt 2.4.5 har ämnet uttorkning av byggfukt hos trä samt KL-trä behandlats. Esping et al. (2005), anser att uttorkningshastighet hos träet beror bland annat på dess start- och slutfuktkvot. Denna teoretiska information har undersökts under avsnitt 5.4.

## 5 Analys och resultat

Under detta kapitel redovisas resultat från intervjuer, samtal och studiebesök, val av typiska KL-träkonstruktioner samt parameterstudie för de valda konstruktionerna.

### 5.1 Intervjuer, diskussioner och studiebesök

Under detta avsnitt presenteras insamlad information från intervjuer, studiebesök och diskussioner genomförda under studien. Informationen resulterade i värdefull bakgrundskunskap inför fuktsimuleringarna och analyserna men gav även en inblick i hur KL-trä fungerar vid praktiska tillämpningar. Denna del av kapitel 5 utgör även bakgrund för vidare analyser, antaganden och diskussioner.

#### 5.1.1 Fuktförhållanden under tillverkning

Utifrån studiebesöket hos Martinsons<sup>11</sup> framgick det att lamellerna som KL-träskivorna tillverkas av är nedtorkade till en fuktkvot motsvarande 12%. Eftersom all produktion sker inomhus, som visat enligt figur 5.1 förutsätts även att de färdigproducerade KL-träkonstruktionerna ha en fuktkvot motsvarande 12%. Samma fuktkvot kan även förutsättas för industriellt byggda ytterväggskonstruktioner av KL-trä, enligt Björn Visell<sup>12</sup>. Fuktkvoten kan uppnå ännu lägre värden än 12% när KL-träskivorna har ställts i jämvikt med inomhusklimatet konstaterar Visell också. För att försäkra sig om att KL-träskivorna har en korrekt fuktighetsgrad kan en fuktmätare användas, en HPM 300 B, säger också Visell.



Figur 5.1. Tillverkning av KL-träskivor i fabrik KL-träskiva rullande på en "CLT turning device", efter att limmet mellan lamellagren har applicerats och pressats. (Författarna 2019).

Efter att produktionsprocessen av KL-trästommen är färdig emballeras produkterna och lagras inför leverans, som visas i figur 5.2. Detta görs för att kunna säkerställa att KL-

---

<sup>11</sup> Martinsons, studiebesök den 27 februari 2019.

<sup>12</sup> Björn Visell, försäljningschef på Nock Massiva Trähus, telefonsamtal den 27 mars 2019.

träskivorna behåller en garanterad fuktkvot på 12% innan de lämnar fabrik<sup>13</sup>. I figur 5.2 visas KL-träskivor som är inplastade och lagrade i väntan på leverans hos Martinsons. Vid leverans till byggarbetsplatsen kan fukthalten i KL-trästommar kontrolleras med en så kallad, resistiv fuktkvotsmätning med hammarelektrod, föreslår Peter Jacobsson<sup>14</sup>. Vid leverans till byggarbetsplatsen brukar KL-träet ha en fuktkvot på mellan 10 och 12%. Några enstaka element kan även ha en fuktkvot motsvarande 15%, dock är det sällsynt hävdar Per Karnehed<sup>15</sup>.



Figur 5.2 KL-träskivor inplastade och lagrade inför leverans (Författarna 2019).

### 5.1.2 Byggfukt

Den byggfukt som ett material innehåller varierar beroende på leveransmetoder, klimatförhållanden under byggtiden som till exempel regn och snö samt på hur materialet har skyddats under byggtiden. När KL-trä är inbyggt i en ytterväggskonstruktion tillsammans med andra materialskikt, rekommenderar Olsson<sup>16</sup> och Karnehed att fuktkvoten inte ska överstiga 15%. Fuktkvoten 15% är den förväntade jämnfuktkvot som KL-träskivan får när den byggs in tillsammans med andra material, längre ut mot utsidan. Om KL-träskivan däremot befinner sig närmast innemiljön med isoleringen utanför kan jämnfuktkvoten vara ungefär 10%. Olsson fortsätter med att KL-trä vanligen inte innehåller någon byggfukt, eftersom fukthalten som KL-träskivorna har motsvarar 12% fuktkvot, motsvarande cirka 50% RF. Karnehed hävdar att KL-träet vanligtvis har en fuktkvot under 15% på djupet, trots långvarig exponering för utomhusklimatet. För att inte riskera fuktproblem, rekommenderar Karnehed att KL-träet ska kunna torka både inåt och utåt. Karnehed förutsätter att det tar ungefär två år för byggfukten i KL-träkonstruktionerna att torka ut.

---

<sup>13</sup> Martinsons, studiebesök den 27 februari 2019.

<sup>14</sup> Peter Jacobsson, utvecklingschef på Martinsons, telefonsamtal den 15 mars 2019.

<sup>15</sup> Per Karnehed, VD Karnehed Design & Construction AB, mejlkontakt den 29 april 2019.

<sup>16</sup> Lars Olsson, forskare och teknisk handläggare på RISE, telefonsamtal den 2 april 2019.

Med hjälp av WUFI kan uppkomst av byggfukt undersökas, hävdar Olsson. Byggfukten kan varieras genom att ändra den relativa fuktigheten för konstruktionen. Om ingen extra byggfukt tillförs till konstruktionen kan 80% relativ fuktighet vara ett lämpligt värde att utföra fuktberäkningarna med. Om förutsättningar finns för att KL-trä väderskyddas och byggs in inom några veckor kan RF 65% vara representativt. Vid extrema väderförhållanden eller om materialet utsätts för stora mängder fukt under byggskedet kan den relativa fuktigheten ändras upp 95% till 100% i KL-träet.

### 5.1.3 Fuktupptagning och fukttorkning

Olsson<sup>17</sup> hävdar att byggfukt vanligtvis samlas i KL-träkonstruktionernas första lamellskiktet, förutsatt att vattnet kommer uppifrån. Om vattnet sugs in i ändträet finns däremot risk att vatteninträning även sker i mittskiktet. Karnehed<sup>18</sup> hävdar att det tar ungefär två vintrar för KL-trä att torka från 15% fuktkvot till 8%. Det är alltså den tid som träbyggnader kräver innan allt hinner sätta sig. Sättningsarna beror på att virket krymper när fukten torkar.

På frågan om hur limmet kan påverka KL-träkonstruktionens uppfuktnings- och uttorkningsförmågan, svarar Olsson att limmet mellan KL-trälamellerna kan ha stor betydelse för den kapillära transporten i konstruktionen. Limmet har en förmåga att bromsa vattnet från att ta sig vidare till underliggande skikt, särskilt för horisontella konstruktioner. Olsson anser att uppförandet kan vara positivt då inte alla KL-trälameller skadas av det fria vattnet. Gällande torkningsprocessen har inga slutsatser kunnat dras för hur limmet beter sig. Per Karnehed har även liknande åsikter för limmet mellan lamellerna. Karnehed påpekar att limmet har en förmåga att minska fuktupptagningen, men tränger det in fukt vid ändträet försvåras även uttorkningen genom limmet något. Om virket blir helt uppfuktat ska dock uttorkningen inte påverkas av limmet. Dock ska detta inte påverka uttorkningen avsevärt, enligt Karnehed.

Numera används ingen plastfolie i KL-träytterväggskonstruktioner hävdar Olsson, vilket även bekräftas av Karnehed. Detta för att en plastfolie anses spärra in fukten i KL-träet, vilket kan orsaka fuktskador, säger Karnehed. Lösningar med plastfolie kan utnyttjas vid genomförande av KL-träbjälklag, i syfte att avstyra KL-trä från att fuktas upp från pågjutna betongplatta, säger Olsson.

### 5.1.4 Mögelpåväxt

På frågan om vilka faktorer som kan leda till mögelpåväxt svarar Olsson att, mögelpåväxt kan bli aktuell då KL-trä lagras utan skydd eller utsätts för fuktkälla under byggskedet, särskilt när byggnationen pågår utan väderskydd. Karnehed tar fram intressanta aspekter som kan bidra till mögelpåväxt. Presenningar eller plastfolie som läggs på ytor under byggtiden, eller när virket torkar ut under produktion men även efteråt, kan orsaka mögelskador. Mögelpåväxt kan uppstå om följande faktorer uppkommer, enligt Olsson:

---

<sup>17</sup> Lars Olsson, forskare och teknisk handläggare på RISE, telefonsamtal den 2 april 2019.

<sup>18</sup> Per Karnehed, VD Karnehed Design & Construction AB, mejlkontakt den 29 april 2019.

- Temperaturen i materialet ligger över 5 °C
- Relativ fuktighet i materialet är över 75% RF
- Under en bestämd tid, kan vara några dagar till flera månader beroende på övriga faktorer.

Som åtgärd mot mögelangrepp på de skadade ytorna kan materialet saneras och möglet på de skadade ytorna slipas bort, enligt Olsson<sup>19</sup>. Även springor ska behandlas för att säkerställa att all påväxt tas bort. Olsson hävdar även att vattnet som tränger in mellan KL-träskikten dock kan försvåra saneringen. Jacobsson<sup>20</sup> påpekar att mögelpåväxt som uppkommer på stommen tas normalt bort mekaniskt, genom slipning eller kolsyreblästring men att det även finns dukar som spärrar emissioner samt att saneringsmedel möjligen också kan vara ett alternativ.

### 5.1.5 Väderskydd

På frågan om att utförandet av väderskydd under byggskedet är ett viktigt moment vid byggande med KL-trä, svarar Olsson att om KL-trä inte väderskyddas under byggtiden kan risken för mikrobiell påväxt vara stor. Om väderskydd inte är möjligt att använda måste andra insatser göras. Björn Visell<sup>21</sup> anser att, eftersom monteringen av KL-trästommen pågår under en kort tid anses heltäckande väderskydd vara onödigt. Per Karnehed anser istället att KL-träkonstruktioner tål fukt och att konstruktionerna kan byggas utan väderskydd, om avrinning från ytor ordnas på ett verksamt sätt.

### 5.1.6 Fuktskyddande åtgärder

I det fall där väderskydd inte används bör andra åtgärder vidtas, säger Olsson. Gemensamt för alla kontaktpersoner är att, prefabriceringen utnyttjas och stommen monteras snabbt. Ju kortare byggtid desto mindre risk för exponering för nederbörd, säger Olsson. Nedan anges en sammanställning av möjliga skyddsåtgärder som kan vidtas under olika skeden utifrån information från kontaktpersonerna.

### Rekommendationer vid utformning

KL-träkonstruktioner ska utformas så att de kan vara diffusionsöppa det vill säga, utan användning av täta skikt som till exempel vindduk eller kooltherm. Undantag kan göras för byggande av KL-trä i taket, då kan en lösning med helklistrat bitumentätskikt typ YEP 2500 på KL-träet vara effektiv, anser Karnehed. Karnehed rekommenderar även att isoleringen bör läggas på utsidan av KL-träytterväggkonstruktionen. Isoleringen ska vara diffusionsöppen av typen träull, hampa, stenuull, glasull etc. Samtliga kontaktpersoner har även påpekat att skarvar, genomföringar och andra otätheter i en KL-träväggkonstruktion kan tejpas.

---

<sup>19</sup> Lars Olsson, forskare och teknisk handläggare på RISE, telefonsamtal den 2 april 2019.

<sup>20</sup> Peter Jacobsson, utvecklingschef på Martinsons, telefonsamtal den 15 mars 2019

<sup>21</sup> Björn Visell, försäljningschef på Nock Massiva Trähus, telefonsamtal den 27 mars 2019.



### **Rekommendationer innan byggnation**

Det som kan göras innan inbyggnad av KL-trä är bland annat mätning av fuktkvot vid leverans till arbetsplatsen samt innan montering av KL-trästommen, rekommenderar Jacobsson. Ytfuktkvoten ska inte överstiga 18% enligt AMA.

### **Rekommendationer under byggnation**

Ytterväggar kan vid montering sättas upp på plastbrickor som bildar en luftspalt mellan väggen och betongen. Detta för att träet inte ska fuktas upp kapillärt av betonggolvet. En duk finns även klistrad på undersidan av KL-träskivan som diffusionsspärr mot den undergjutning som sen görs, förklarar Jacobsson. Skarvarna kan tejpas under byggskedet för att leda bort nederbörd, hävdar Jacobsson medan det under bruksskedet fungerar som lufttätning. Karnehed och Olsson rekommenderar att KL-träet inte ska ha en fuktkvot högre än 15% vid inbyggnad i väggkonstruktionen. En annan viktig faktor att ta hänsyn till ur fuktsynpunkt är, byggtiden. Ett snabbt montage av KL-trästommen kan minska fuktskador under byggskedet anser Olsson och Jacobsson. Det är även viktigt att vid uppkomst av fritt vatten ska denna ledas bort från konstruktionen, direkt när det upptäcks föreslår Jacobsson. Jacobsson hävdar även att KL-träkonstruktioner inte ska utsättas för klimatklass 3 under bruksskedet.

## **5.1.7 Herrestadsskolan - Liljewall arkitekter**

Herrestadsskolan är Sveriges första skola byggt med KL-trä. Stommen består av KL-träskivor och balkar av korslimmat trä vilket tillsammans bidrog till att 3100 m<sup>3</sup> virke användes. Skolans trästomme förväntas lagra 2500 ton koldioxidekvivalenter, tagit från en artikel tillhandahållen av Lars Olausson<sup>22</sup>, ansvarig arkitekt. Skolan är cirka 8500 kvadratmeter och ligger i Barkarbystaden strax norr om Stockholm, ritad av Liljewall arkitekter. Projektet färdigställdes under 2016 och har klassats till Miljöbyggnad GULD. Figur 5.3 visar Herrestadsskolan under produktionsskyddet.

Olausson anser att KL-trä är framtidens byggmaterial, om klimatmålen ska klaras av och utsläppen minskas inom byggsektorn. Stora volymer av KL-trä förädlas i Sverige och inom några år förväntas tillverkningen bli fem gånger större. Även kommunerna har börjat efterfråga KL-trästommar, tillägger Olausson. Om priset på KL-träskivorna blir lägre är det ytterligare ett argument som gör KL-trä mer attraktivt. Den snabba monteringshastigheten är även en fördel med KL-trä.

---

<sup>22</sup> Lars Olausson, Arkitekt och MO-ansvarig på Liljewall, telefonsamtal den 15 april 2019.



Figur 5.3 Herrestadsskolan under produktion. Montering av KL-trästomme (Olausson 2019).

Under projektets gång har konstruktörer och en fuktsakkunnig varit delaktiga, redan under de tidiga skedena. Detta för att kunna lösa akustiska- brandtekniska- och fuktrelaterade utmaningar under processens gång. Utmaningarna med KL-trä har varit att det är ett relativt nytt material och en viss oro fanns från konsultsidan, säger Olausson. Bland utredningarna i projektet har varit användningen av heltäckande väderskydd. Användningen av heltäckande väderskydd har inte varit möjlig att utföra med hänsyn till projektets storlek, trots att önskan fanns. Eftersom det fanns en oro för fuktproblem har undersökningar och fuktsimuleringar genomförts för ytterväggarna, vilka sedan modifierades för att vara välfungerande ur fuktsynpunkt.

På frågan om plastfolie har varit aktuell att använda i ytterväggarna eller inte, svarar Olausson att, KL-träkonstruktioner anses vara lufttäta, därför har inget behov av att använda plastfolie uppkommit. KL-träelementen tejpades även i skarvarna, detta för att uppnå en större säkerhet. Väl på byggarbetsplatsen förvarades KL-träkonstruktionerna inplastade i väntan på montage, leveranserna till byggarbetsplatsen skedde i etapper. KL-träskivorna levereras med en fuktkvot motsvarande 12%. Under vissa perioder lagrades KL-träkonstruktionerna på plats under lång tid, vilket gjorde att konstruktionerna utsattes för väder och vind. Mögelpåväxt har då uppkommit på de konstruktioner som stod oskyddade. Detta åtgärdades genom att ytorna slipades innan de kläddes in. När skivorna monterades påbörjades arbetet direkt utan att invänta uttorkning, säger Olausson. För att kunna säkerställa fuktsäkerheten under projektets olika skeden har prover tagits i efterhand och en fuktmätare monterades in i huset, detta för att kunna mäta fukten över tid. Projektets fuktsakkunnig har även varit med i alla skeden och godkänt lösningarna.

## 5.2 Val av typiska ytterväggar

Under detta avsnitt redovisas resultat från analyser genomförda i WUFI och MRD-modell inför val av typiska KL-träkonstruktioner. KL-träkonstruktioner som medger högst MRD-index väljs för att studeras vidare under kapitel 5.3, både för utvändiga och invändiga

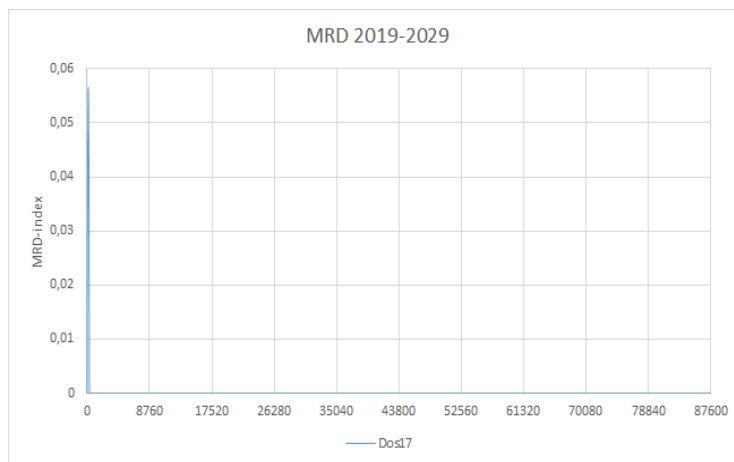
mät punkt. MRD-diagrammen redovisar MRD-index i y-axel i förhållande till tiden i timmar (h), i x-axel.

### 5.2.1 MRD-diagram

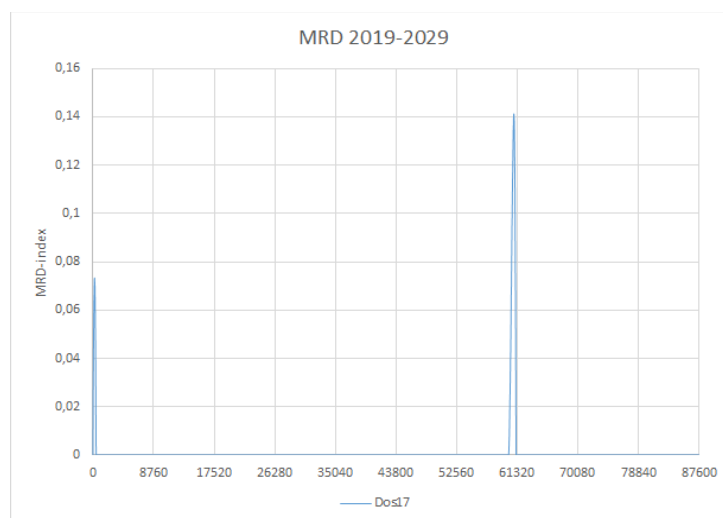
Varje yttervägg presenteras nedan utifrån alternativ 2, med byggfukt motsvarande RF 85% förutsätts råda över alla skikt i respektive ytterväggskonstruktion. Dock är det endast KL-träkonstruktionen som analyseras, ingen hänsyn tas till omgivande skikt.

#### Yttervägg A

Ur figur 5.4 framgår det att MRD-index  $< 0.1$  när utvändig mät punkt studeras. MRD-index för invändig mät punkt visas i figur 5.5.



Figur 5.4 KL-träkonstruktion av yttervägg A, utvändig mät punkt.

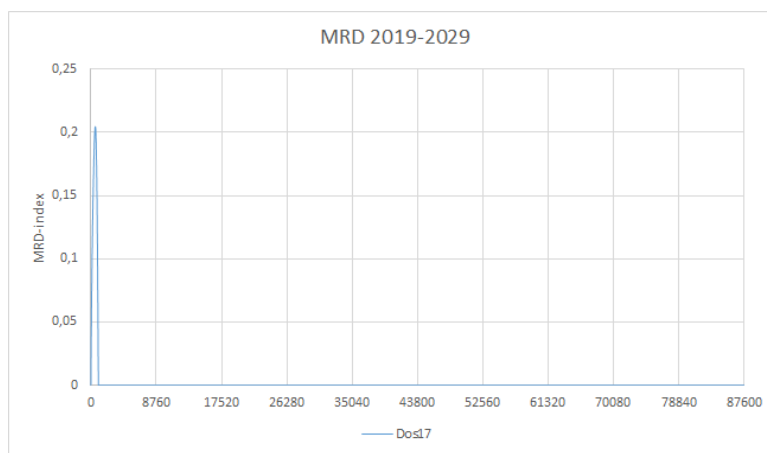


Figur 5.5 KL-träkonstruktion av yttervägg A, invändig mät punkt.

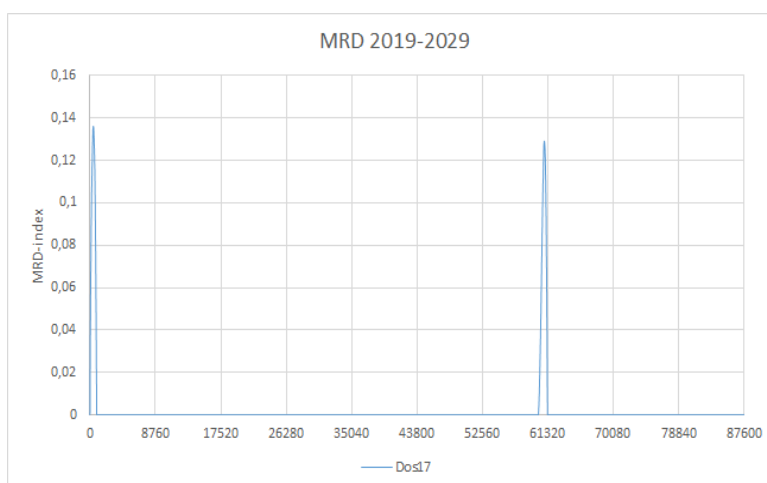
Utifrån figur 5.5 framgår det att under det sjunde året så uppnås ett förhöjt MRD-indexvärde. Denna förhöjning anses uppstå vintertid då under denna vinter uppnås höst relativfuktighet utomhus, enligt klimatfil ur WUFI redovisat under bilaga A. Den relativa fuktigheten inomhus är däremot som lägst under vintern, vilket bidrar till att fuktlasten från inomhusklimatet blir som högst, motsvarande  $4 \text{ g/m}^3$  enligt ISO 13788 i WUFI. Dessa faktorer i kombination kan anses bidra till denna ökning i MRD-index som uppstår under det sjunde året.

### Yttervägg B

Ur figur 5.6 framgår det att MRD-index  $< 0.25$  när utvändig mätpunkt studeras. MRD-index invändig mätpunkt är lägre än 0.2 även för KL-träkonstruktion i yttervägg B, se figur 5.7.



Figur 5.6 KL-träkonstruktion av yttervägg B, utvändig mätpunkt.

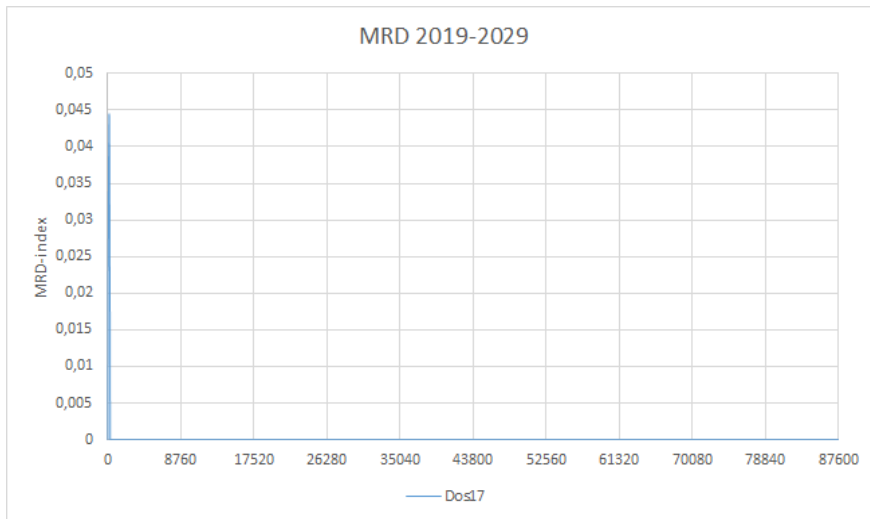


Figur 5.7 KL-träkonstruktion av yttervägg B, invändig mätpunkt.

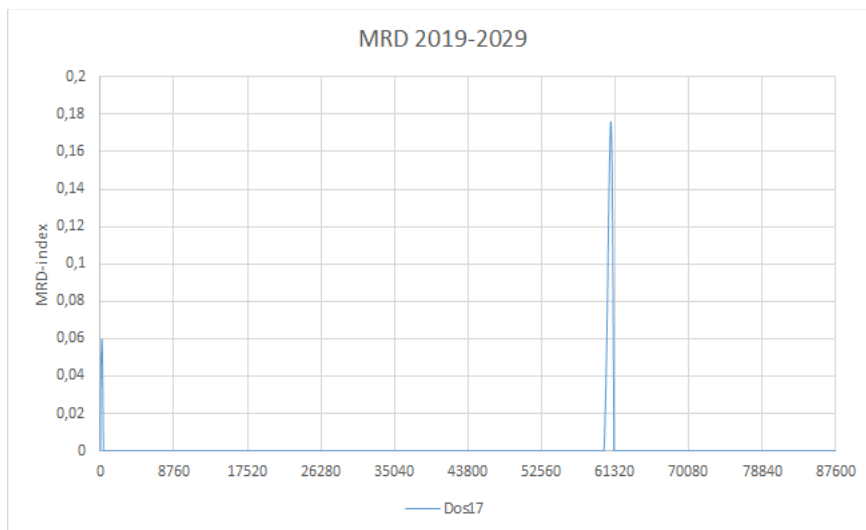
Utifrån figur 5.7 uppstår ett liknande beteende likt den som beskrevs för figur 5.5. Under det sjunde året så uppnås ett förhöjt MRD-indexvärde på grund av besvärliga klimatförhållanden, båda i utomhusklimatet men även i inomhusklimatet vilka kan påverka MRD-index drastiskt.

### Yttervägg C

Ur figur 5.8 framgår det att MRD-index  $< 0.05$  när utvändig mätpunkt studeras. Enligt figur 5.9 är MRD-index  $< 0.2$  för invändig mätpunkt i yttervägg C.



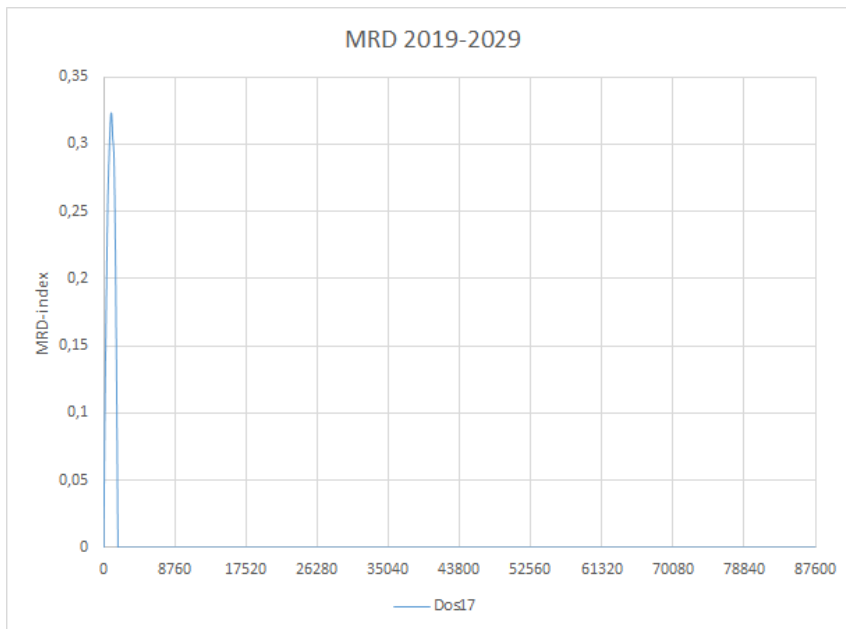
Figur 5.8 KL-träkonstruktion av yttervägg B, utvändig mätpunkt.



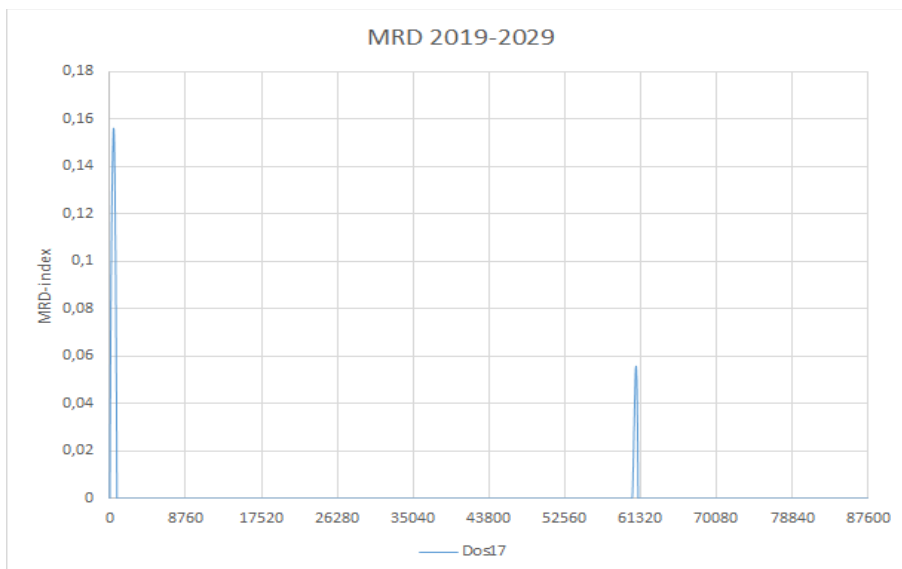
Figur 5.9 KL-träkonstruktion av yttervägg B, invändig mätpunkt.

## Yttervägg D

Ur figur 5.10 framgår det att MRD-index  $< 0.35$  när utvändig mätpunkt studeras. Enligt figur 5.11 är MRD-index  $< 0.2$  för invändig mätpunkt i yttervägg D.



Figur 5.10 KL-träkonstruktion av yttervägg D, utvändig mätpunkt.



Figur 5.11 KL-träkonstruktion av yttervägg D, invändig mätpunkt.

Gemensamt för yttervägg A, B, och D vid analys av den invändiga mätpunkten framgår det att under det sjunde året inträffar ett förhöjt MRD-index vintertid. Under vintern uppnås den högsta relativa fuktighetsvärdet utomhus, enligt klimatfiler från WUFI redovisat under bilaga A. Den relativ fuktigheten inomhus är däremot som lägst under vintern, detta i kombination med att fuktlasten från inomhusklimatet blir som högst, motsvarande  $4 \text{ g/m}^3$  enligt ISO 13788 i WUFI. Dessa faktorer i kombination kan anses bidra till denna höjning i MRD-index under det sjunde året.

## 5.2.2 Val av typisk ytterväggskonstruktion

Under detta avsnitt redovisas en sammanställning av resultat utifrån alternativ 1 och alternativ 2 som studerades enligt basfallet. Jämförelsen utgår från basfallet presenterat under tabell 4.1 samt analys av ytterväggarna under avsnitt 5.2.1. Tabell 5.1 anger högsta MRD-index för respektive yttervägg med utgångspunkt från alternativ 1 medan tabell 5.2 anger MRD-index för alternativ 2. Den ytterväggskonstruktion som löper störst risk för mögelpåväxt, det vill säga har högst MRD-index, av ytterväggskonstruktion A, B och C kommer att studeras vidare tillsammans med ytterväggskonstruktion D.

Tabell 5.1 Högsta värde på MRD-index i respektive yttervägg utifrån alternativ 1, med begynnelsefuktighet motsvarande 85% över KL-träkonstruktionen och begynnelsefuktighet 65% över andra byggnadsdelar i ytterväggen. U=utvändig mätpunkt och I=invändig mätpunkt.

KL-träkonstruktion	Yttervägg A		Yttervägg B		Yttervägg C		Yttervägg D	
	U	I	U	I	U	I	U	I
<b>MRD-index</b>	0.0413	0.141	0.161	0.130	0.0257	0.175	0.259	0.156

Ur tabell 5.1 framgår det att yttervägg B är den vägg som har högst MRD-index tillsammans med yttervägg D.

Tabell 5.2 Högsta värde på MRD-index i respektive yttervägg utifrån alternativ 2, med begynnelsefuktighet motsvarande 85% över hela ytterväggen, inklusive KL-träkonstruktionen. U=utvändig mätpunkt och I=invändig mätpunkt.

KL-träkonstruktion	Yttervägg A		Yttervägg B		Yttervägg C		Yttervägg D	
	U	I	U	I	U	I	U	I
<b>MRD-index</b>	0.056	0.141	0.204	0.136	0.044	0.176	0.323	0.156

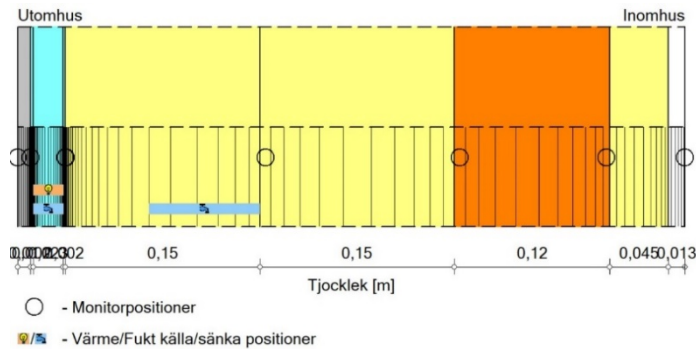
Utifrån tabell 5.2 framgår det att KL-träkonstruktionen i yttervägg B har högst MRD-index tillsammans med den i yttervägg D. Dock redovisar MRD-index högre värden för alternativ 2 än för alternativ 1, därför kommer parameterstudien att utgå från alternativ 2 under avsnitt 5.3.

## 5.3 Parameterstudie

Under detta avsnitt redovisas resultat från genomförd parameterstudie för KL-träkonstruktion i yttervägg B och yttervägg D. MRD-diagrammen redovisar MRD-index i y-axel i förhållande till tiden i timmar (h), i x-axel.

### 5.3.1 KL-träkonstruktion i yttervägg B

Uppbyggnad av yttervägg B enligt WUFI redovisas i figur 5.12



Figur 5.12 Uppbyggnad av ytterväggskonstruktion B i WUFI med en adderad fuktkälla med andel inträngd slagregn 1% i 50% av första isoleringsskiktet sett utifrån.

#### 5.3.1.1 Orientering

Placeringen av ytterväggen mot olika orienteringar redovisas i tabell 5.3, där framgår det att variationer i orientering inte har större inverkan på MRD-index vid den invändiga mätpunkten. De olika orienteringarna har en viss inverkan på MRD-index vid den utvändiga mätpunkten av KL-träkonstruktionen. Störst MRD-index uppnås då ytterväggen placeras mot sydväst, vilket ger MRD-index motsvarande cirka 0,22. Lägst MRD-Index uppnås då ytterväggen ställs mot öster, med ett indexvärde som motsvara 0,20. MRD-Index är för alla studerade fall lägre än 1, vilket indikerar att ingen risk för mögelpåväxt kan uppkomma.



Tabell 5.3 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B när den placeras mot olika väderstreck.

Orientering	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Norr	0.204	0.136
Söder	0.214	0.134
Öster	0.202	0.134
Väster	0.218	0.134
Sydväst	0.221	0.136

### 5.3.1.2 Klimat

Placeringen av konstruktionen i Lund, Luleå, Borlänge och Stockholm med MRD-index visas i tabell 5.4. Ur tabellen framgår det att klimatet har en inverkan på MRD-index på både insidan och utsidan av KL-träkonstruktionen. Det största MRD-indexvärdet uppnås då ytterväggen placeras i Lund, motsvarande cirka 0,2 medan det lägsta värdet uppnås då väggen placeras i Luleå med ett indexvärde motsvarande 0,11. MRD-Index är för alla studerade fall, lägre än 1 vilket indikerar att ingen risk för mögelpåväxt kan uppkomma.

Tabell 5.4 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B när den placeras i fyra orter i Sverige.

Klimat	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Lund	0.204	0.136
Luleå	0.114	0.061
Borlänge	0.128	0.062
Stockholm	0.151	0.0853

### 5.3.1.3 Fasadfärg

Ändringar av fasadfärg, vars absorptionstal är olika, visar en viss inverkan på MRD-index mot invändig respektive utvändig mätpunkt av KL-träkonstruktionen, enligt tabell 5.5. Vid den utvändiga sidan ökar MRD-index ju högre absorptionstalet är medan vid den invändiga sidan minskar MRD-index obetydligt ju högre absorptionstalet är. Det största MRD-indexvärdet vid utvändig mätpunkt uppnås då fasadfärgen är mörk, vilket ger MRD-index motsvarande cirka 0,21. Högsta MRD-index uppnås vid invändig mätpunkt då ingen

fasadfärg används, vilket ger MRD-index som är ungefär 0,14. MRD-Index är för alla studerade fall, lägre än 1 vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt kan uppkomma.

Tabell 5.5 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B när olika fasadfärger används.

Fasadfärg	Absorptionstal	MRD-Index	
		Utvändig	Invändig
Inget	0	0.204	0.136
Ljus	0.20	0.206	0.135
Grå	0.65	0.211	0.133
Mörk	0.80	0.212	0.132
Mörk enligt Arfvidsson et al. (2017)	0.90	0.213	0.132

#### 5.3.1.4 Andel inträngt slagregn

Variationer i andelen slagregn redovisas i tabell 5.6. Där framgår det att inträngd mängd slagregn inte har större inverkan på MRD-index vid invändig mätpunkt. Mängden slagregn har en viss inverkan på MRD-index vid den utvändiga mätpunkten av KL-träkonstruktionen. Lägst MRD-Index uppnås då det inte uppkommer inträngt slagregn i konstruktionen, det vill säga vid slagregn 0%. Ju större mängd slagregn som beräknas tränga in i konstruktionen desto större MRD-index uppnås. Störst MRD-index uppnås då slagregnet är 3%, vilket ger MRD-index som är cirka 0,21. MRD-Index är för alla studerade fall, lägre än 1 vilket indikerar att risk för mögelpåväxt inte uppkommer.

Tabell 5.6 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B vid variation i andel inträngt slagregn.

Slagregn [%]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
0	0.202	0.135
1	0.204	0.136
2	0.206	0.136
3	0.208	0.136

#### 5.3.1.5 Luftomsättning i luftspalt

Minskning respektive ökning av luftomsättningen i luftspalt enligt tabell 5.7 verkar inte ha någon inverkan på MRD-index vid invändig mätpunkt. MRD-index ökar däremot ju mindre luftomsättningen är när det gäller den utvändiga mätpunkten. Lägre MRD-Index uppnås när omsättningen ökar. Vid 100 oms/h är MRD-index som lägst och vid 10 oms/h är MRD-index

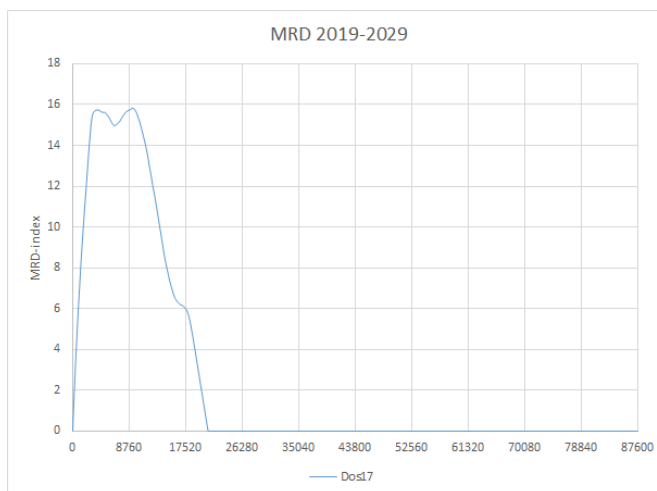
som högst. MRD-Index är för alla studerade fall, lägre än 1 vilket indikerar att risk för mögelpåväxt inte uppkommer.

Tabell 5.7 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B vid variation i luftomsättning i luftspalt.

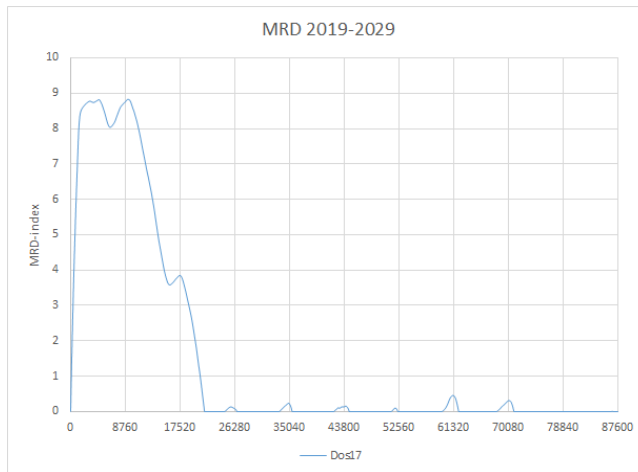
Luftomsättning [%]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
10	0.211	0.136
30	0.204	0.136
75	0.196	0.136
100	0.195	0.136

### 5.3.1.6 KL-träkonstruktion utan väderskydd

Undersökning av KL-träkonstruktionen vid relativ fuktighet 99% redovisas i figur 5.13 och 5.14. Diagrammen visar att MRD-index > 6, både på utvändig respektive invändig mätpunkt av KL-träkonstruktionen. Mögelpåväxt kan konstateras, gränsvärdet 1 överskrids.



Figur 5.13 KL-trä vid RF 99% utvändig mätpunkt.



Figur 5.14 KL-trä vid RF 99% invändig mätpunkt.

### 5.3.1.7 RF/ Byggfukt

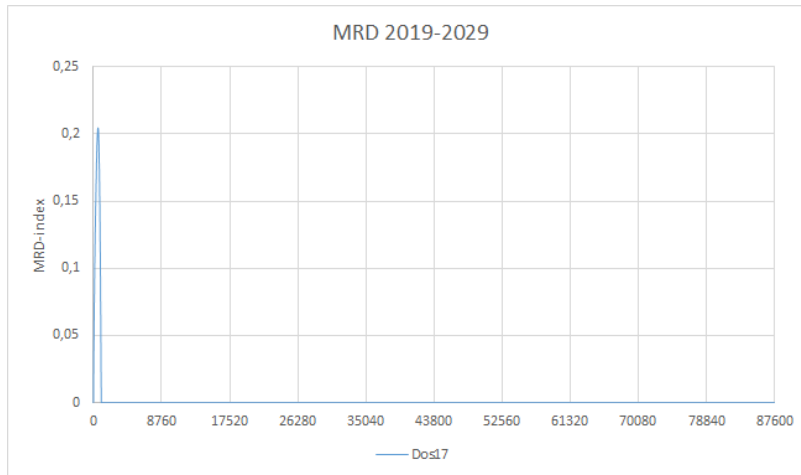
Utifrån tabell 5.8 framgår det för utvändiga mätpunkt att, MRD-index är beroende av angiven relativ fuktighet. Vid RF 75% är MRD-index cirka noll, alltså uppkommer ingen risk för mögeltillväxt. Vid RF 85% har MRD-index ett värde, motsvarande 0,20 medan värdet ökar till cirka 0,53 vid RF 90%. Vid RF 95% uppstår mögelpåväxt eftersom MRD-Index är större än 2, enligt tabell 3.2.

Vid den invändiga mätpunkten fortgår en ökning i MRD-index med ökad relativ fuktighet. Vid RF 75% är MRD-värdet cirka 0,13 medan det vid RF 85% är cirka 0,14. Upp till RF 90% är MRD-Index lägre än gränsvärdet 1, vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt uppkommer. Vid RF 95% är MRD-Index cirka 1 vilket innebär att mögelpåväxt har inträffat.

Tabell 5.8 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B vid olika värden på den relativa fuktigheten, RF.

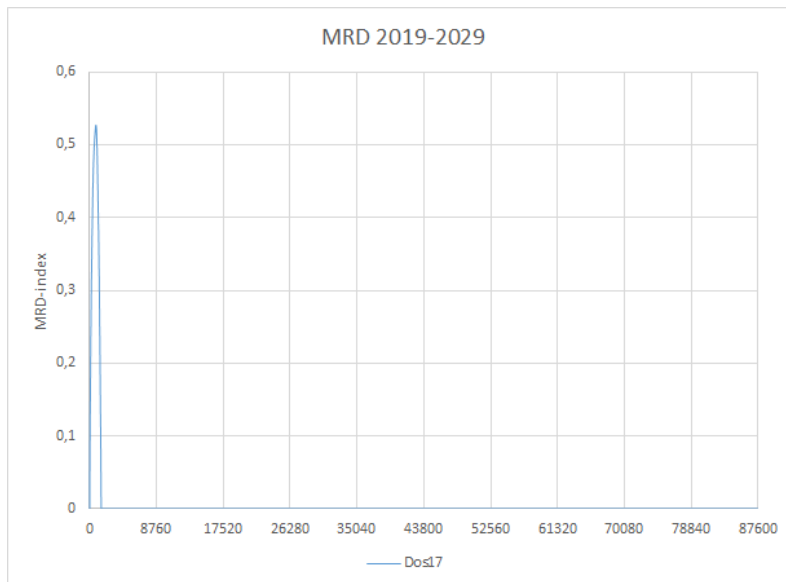
RF [%]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
65	0	0.126
75	0.003	0.127
85	0.204	0.136
90	0.527	0.319
95	>2	0.998

Figur 5.15 redovisar MRD-index vid RF 85%. Indexvärdet är cirka 0,2 vilket är mycket lägre än gränsvärdet motsvarande 1. Detta indikerar att risk för mögeltillväxt inte uppkommer.



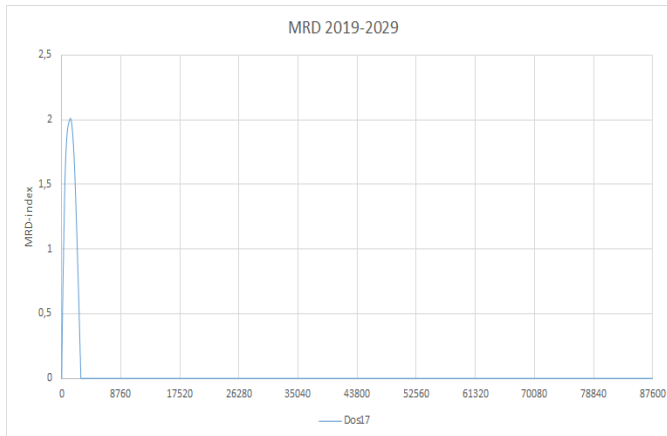
Figur 5.15 Utvändig mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=85%.

Figur 5.16 redovisar MRD-index vid RF 90%. Ur figuren framgår det att MRD-Index är över 0,5 under det första kvartalet, därefter sker en minskning tills MRD-Index är noll. MRD-Index är vid RF 90% lägre än 1, vilket indikerar att risk för mögeltillväxt inte uppkommer.

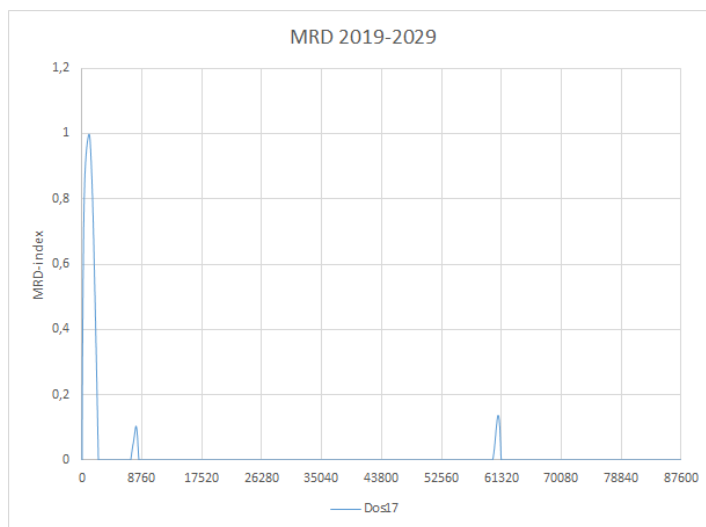


Figur 5.16 Utvändig mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=90%.

Utifrån figur 5.17 framgår det att MRD-index vid utvändiga mätpunkt överstiger värdet 2 då RF är 95% i början av första byggåret. Vid den invändiga mätpunkten, som redovisas under figur 5.18, överstiger MRD-indexvärdet 1 vilket tyder på att mögeltillväxt uppkommer. Mögeltillväxt uppstår vid båda sidorna.



Figur 5.17 Utvändiga mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=95%.



Figur 5.18 Invändiga mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=95%.

### 5.3.1.8 Temperatur över byggnadsdel

Av tabell 5.9 som beskriver temperaturvariationer i förhållande till MRD-index, framgår det att, MRD-index minskar ju högre temperaturen är. Störst MRD-index uppnås då medeltemperaturen är 10°C och lägst MRD-Index uppnås då temperaturen är 30°C.

Tabell 5.9 Högsta MRD-index för yttervägg B vid varierande begynnelsestemperatur över byggnadsdel.

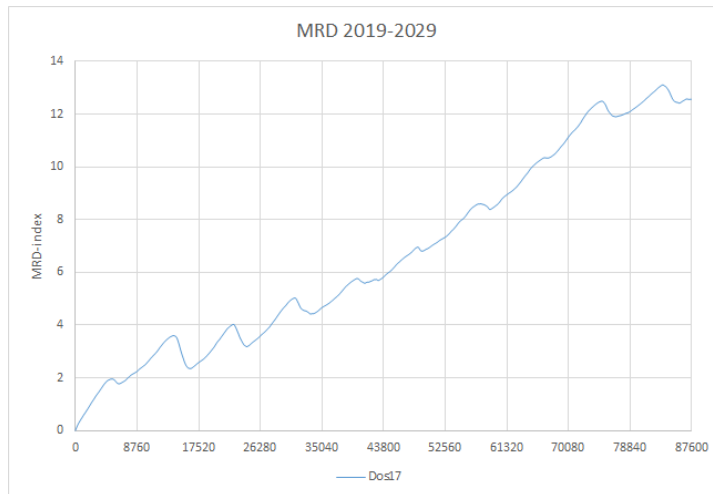
Temperatur [°C]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
10	0.225	0.198
20	0.204	0.136
30	0.181	0.129

### 5.3.1.9 Fuktklass

Utifrån data i tabell 5.10, som redovisar MRD-index vid variationer av fuktklasser, verkar fuktklassen ha en större inverkan på MRD-index vid invändig mätpunkt än utvändig mätpunkt. MRD-index vid den utvändiga mätpunkten är ungefär den samma för studerade fuktklasser. Ju högre fuktklass som ytterväggen exponeras för desto större MRD-index uppnås för invändig mätpunkt. Vid fuktklass 3 har den invändiga mätpunkten av KL-träkonstruktionen ett MRD-index som motsvarar 0.33. Vid fuktklass 4 redovisar den invändiga mätpunkten av KL-träkonstruktionen att MRD-index är större än 6, enligt figur 5.19. Detta innebär att mögelpåväxt uppkommer då KL-träkonstruktionen utsätts för fuktklass 4. Ur figur 5.19 framgår det även att MRD-index ökar för varje studerat år.

Tabell 5.10 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B med variation av fuktklass.

Fuktklass	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Klass 1	0.205	0.088
Klass 2	0.204	0.136
Klass 3	0.203	0.333
Klass 4	0.202	>6
Klass 5	0.201	>6



Figur 5.19 Invändig mätpunkt av KL-träkonstruktion vid fuktclass 4.

### 5.3.1.10 Träslag

Variationer i materialdata, enligt tabell 4.8 redovisas i tabell 5.11. I tabell 5.11 framgår det att träslag/ KL-träkonstruktion med varierande data har en inverkan på MRD-index, både vid invändig och utvändig mätpunkt. Störst MRD-Index vid insidan respektive utsidan uppnås då KL-träkonstruktionen konstrueras enligt Mukhopadhyaya et al. (2014). Lägst MRD-index vid insidan uppnås då gran radiellt används medan vid utsidan uppnås det lägsta värdet av MRD-index när CLT enligt WUFI-materialdatabas används. MRD-Index är för alla studerade fall, lägre än 1 vilket indikerar att risk för mögeltillväxt inte uppkommer för aktuell ytterväggskonstruktion.

Tabell 5.11 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B med olika träslag som representerar KL-trä. Gran radiellt är det som utgör KL-träkonstruktionen i denna studie enligt basfallet.

KL-träkonstruktion	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
<b>Gran radiellt</b>	0.204	0.136
<b>CLT</b>	0.107	0.159
<b>KLH</b>	0.156	0.153
<b>KL-trä</b>	0.414	0.299
<b>Träfiber</b>	0.195	0.137
<b>Korslimmat trä</b>	0.201	0.139



### 5.3.1.11 Gran med lim

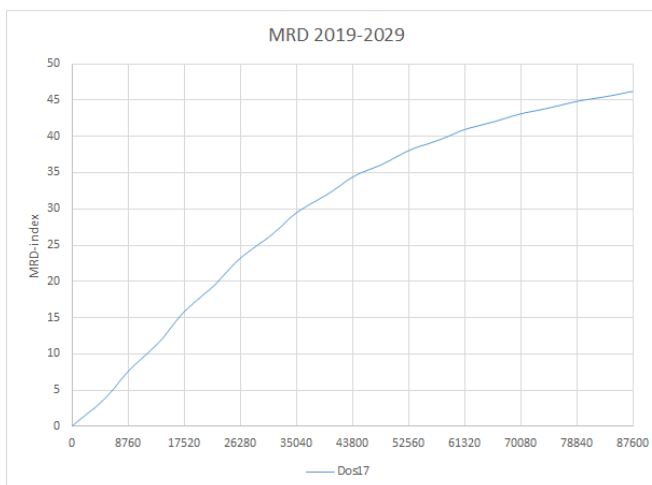
Enligt tabell 5.12 framgår det att limmet har betydelse för MRD-index både vid utvändig mätpunkt och invändig mätpunkt. Störst MRD-index vid utsidan samt insidan uppnås då limhalten i materialet motsvara 0,1 mm. MRD-Index är för alla studerade fall, lägre än 1 vilket indikerar att risk för mögeltillväxt inte uppkommer enligt aktuell konstruktion. Uppbyggnad av KL-träkonstruktion med limskikten redovisas under bilaga C.

Tabell 5.12 Högsta värde på MRD-index i yttervägg B för gran med och utan lim.

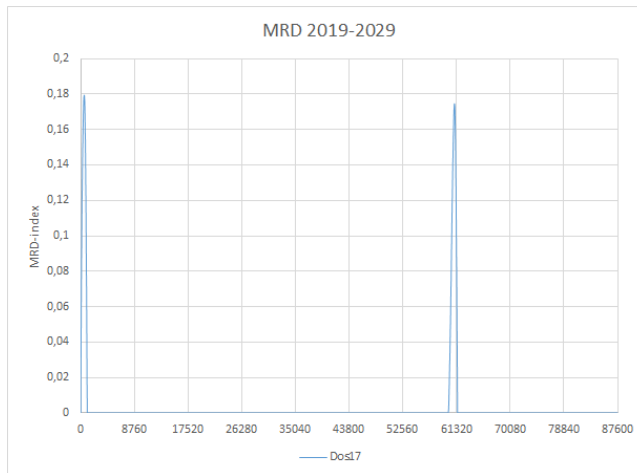
KL-träkonstruktion	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Gran radial utan lim	0.204	0.136
Lim 0.1 mm	0.366	0.440
Lim 0.3 mm	0.325	0.390

### 5.3.1.12 Plastfolie

Ur figur 5.20 framgår det att placering av plastfolie enligt figur 4.6, där plastfolien placeras mot utsidan ger ett MRD-indexvärde högre än 6 vilket innebär att mögelpåväxt inträffar i KL-träkonstruktionen. Det kan även noteras att MRD-index fortsätter att öka med åren. Figur 5.21 redovisar MRD-index för invändig mätpunkt. Högst MRD-index uppnås vid utvändig mätpunkt.

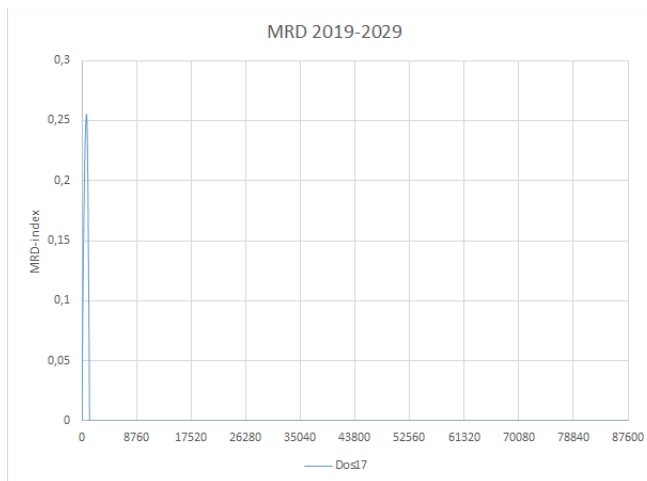


Figur 5.20 KL-trä med plastfolie enligt placering 1, utvändig mätpunkt.

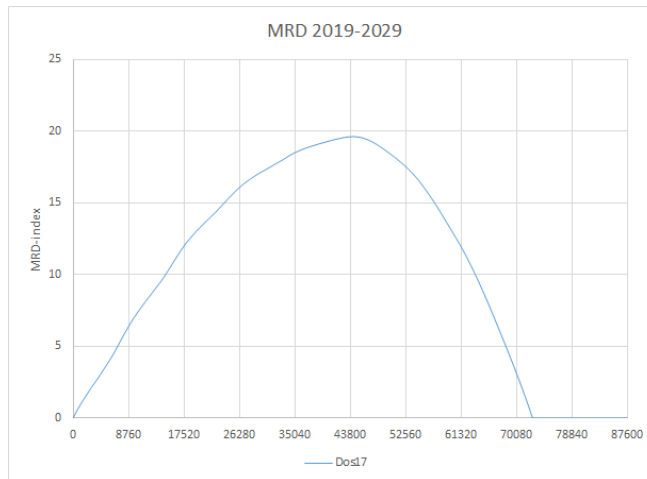


Figur 5.21 KL-trä med plastfolie enligt placering 1, invändig mätpunkt.

Figur 5.22 redovisar MRD-index vid utvändig mätpunkt. Högst MRD-index uppnås vid invändig mätpunkt. Utifrån figur 5.23 framgår det att MRD-index överstiger värdet 6, då plastfolien placeras enligt figur 4.7 vilket innebär att mögelpåväxt inträffar i KL-träkonstruktionen.



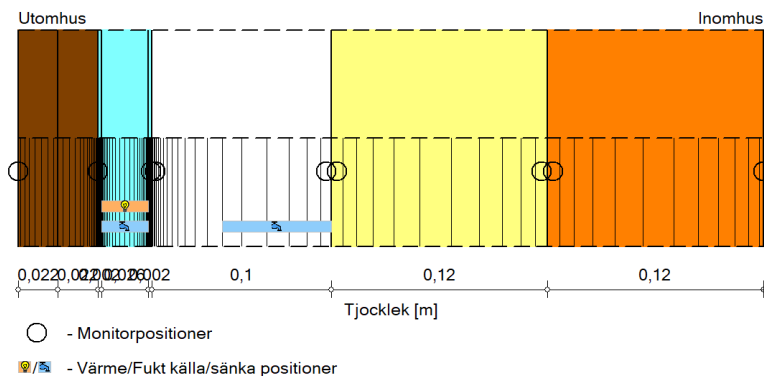
Figur 5.22 KL-trä med plastfolie enligt placering 2, utvändig mätpunkt.



Figur 5.23 KL-trä med plastfolie enligt placering 2, invändig mät punkt.

### 5.3.2 KL-träkonstruktion i yttervägg D

Uppbyggnad av yttervägg D enligt WUFI redovisas i figur 5.24



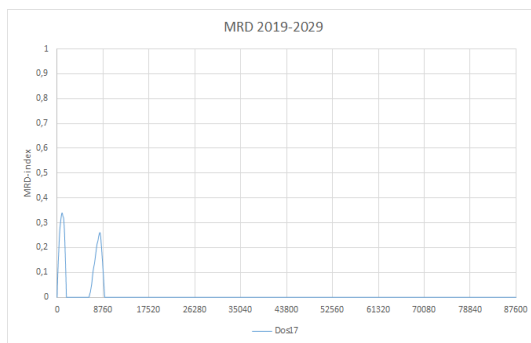
Figur 5.24 Uppbyggnad av ytterväggskonstruktion D i WUFI med en adderad fuktkälla med andel inträngd slagregn 1% i 50% av första isoleringsskiktet sett utifrån.

#### 5.3.2.1 Orientering

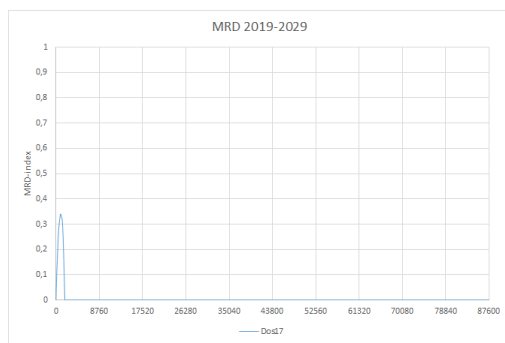
Placeringen av ytterväggen mot olika orienteringar redovisas i tabell 5.13 där det framgår att variation i orientering inte har någon inverkan på MRD-index vid invändig mät punkt. De olika orienteringarna har däremot en viss inverkan på MRD-index på den utvändiga mät punkten av KL-träkonstruktionen. Störst MRD-index uppnås då ytterväggen placeras mot väster, 0,34 och sydväst, vilka ger MRD-index motsvarande cirka 0,34. Trots att MRD-index är detsamma för väster som sydväst vid insidan respektive utsidan, medger resultatet olika beteenden, vilka redovisas enligt figur 5.25 respektive 5.26. Lägst MRD-Index uppnås då ytterväggskonstruktionen placeras mot öster, med ett indexvärde som motsvarar cirka 0,32. MRD-Index är i alla studerade fall lägre än 1 vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt kan uppkomma.

Tabell 5.13 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D när den placeras mot olika väderstreck.

Orientering	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Norr	0.323	0.156
Söder	0.333	0.156
Öster	0.316	0.156
Väster	0.338	0.156
Sydväst	0.338	0.156



Figur 5.25 MRD-index för yttervägg D, väster.



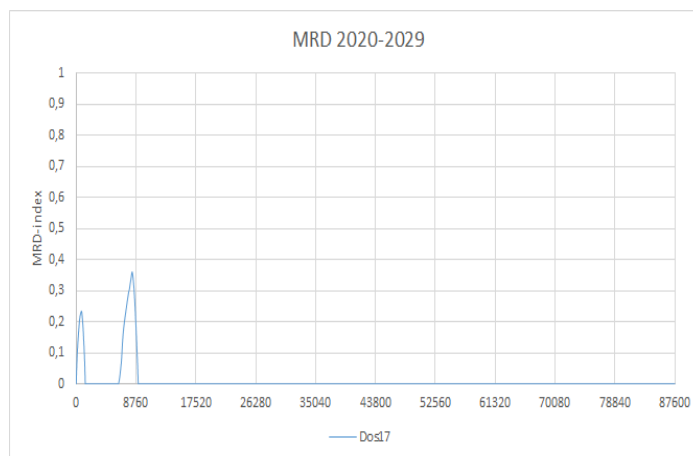
Figur 5.26 MRD-index för yttervägg D, sydväst.

### 5.3.2.2 Klimat

Placeringen av konstruktionen i Lund, Luleå, Borlänge och Stockholm med MRD-index visas i tabell 5.14. Utifrån tabellen framgår det att klimatet har en inverkan på MRD-index vid både insidan och utsidan av KL-träkonstruktionen. Det största MRD-indexet vid utvändig mätpunkt uppnås då ytterväggen placeras i Stockholm, medan vid invändig sida uppnås det största värdet då ytterväggen placeras i Lund. Figur 5.27 redovisar MRD-diagram för den utvändiga mätpunkten av KL-träkonstruktionen som placeras i Stockholm. Med tabellens värden kan det också konstateras att i Luleå samt Borlänge är MRD-indexen som lägst, både vid utvändig mätpunkt och invändig mätpunkt av KL-träkonstruktionen. MRD-Index är för alla studerade fall lägre än 1 vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt kan uppkomma.

Tabell 5.14 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D när den placeras i fyra orter i Sverige.

Klimat	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Lund	0.323	0.156
Luleå	0.153	0.083
Borlänge	0.189	0.085
Stockholm	0.359	0.107



Figur 5.27 MRD-index för yttervägg D vid utvändig mät punkt av KL-trä för Stockholms klimat.

### 5.3.2.3 Fasadfärg

Enligt tabell 5.15 som visar värden på MRD-index vid ändringen av fasadfärg, framgår det att MRD-index vid den utvändiga mät punkten ökar ju mörkare fasadfärgen är. Vid den invändiga mät punkten minskar MRD-index något ju mörkare färgen på fasaden är. Det största MRD-indexvärdet uppnås för den utvändiga mät punkten då fasadfärgen är mörk, vilket ger ett MRD-index som är cirka 0,34. Det störst MRD-index vid den invändiga mät punkten uppnås då absorptionstalet för fasadfärgen är 0,9, vilket ger MRD-index som är ungefär 0,34. MRD-Index är för alla studerade fall lägre än 1 vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt kan uppkomma.

Tabell 5.15 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D när olika fasadfärger används.

Fasadfärg	Absorptionstal	MRD-Index	
		Utvändig	Invändig
Inget	0	0.323	0.156
Ljus	0.20	0.321	0.156
Grå	0.65	0.339	0.155
Mörk	0.80	0.342	0.155
Mörk enligt Arfvidsson et al. (2017)	0.90	0.343	0.155

#### 5.3.2.4 Andel inträngt slagregn

I tabell 5.16 framgår det att inträngd mängd slagregn har en viss betydelse för MRD-index, utvändigt. Det kan konstateras att ju större regninträngningen är, desto större MRD-värde kan uppnås. Dock är resultatet detsamma då andelen slagregn är 1 % respektive 2 %. Vid andel inträngd slagregn 0% är MRD-Index cirka 0,315, då andel slagregn ökar till 3% är MRD-Index som störst, motsvarande 0,324. Dock är variationerna marginella. Det som även kan noteras i tabell 5.16 är att regninträngningen inte har någon inverkan på invändig mätpunkt. MRD-Index är för alla studerade fall lägre än 1 vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt kan uppkomma.

Tabell 5.16 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D vid variation i andel inträngt slagregn.

Slagregn [%]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
0	0.315	0.156
1	0.323	0.156
2	0.323	0.156
3	0.324	0.156

#### 5.3.2.5 Luftomsättning i luftspalt

Ur tabell 5.17 framgår det att luftomsättningen har betydelse för MRD-index på utvändigt mätpunkt. Ju högre luftomsättningen är, desto lägre MRD-Index. Ur tabell 5.17 framgår det

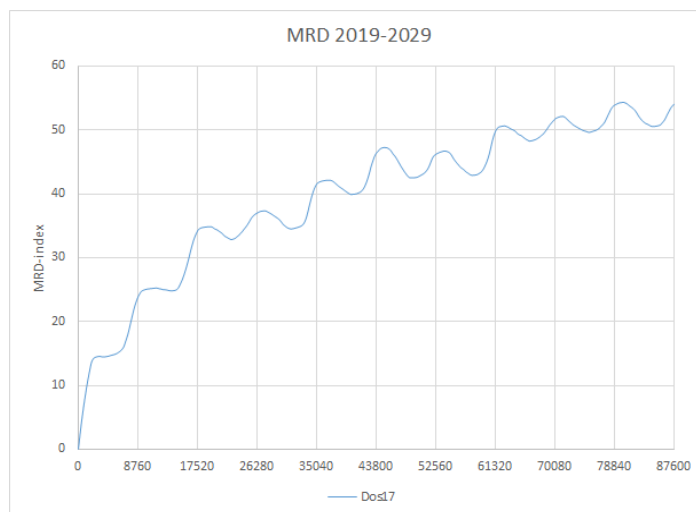
även att omsättningen inte har någon inverkan på MRD-index invändigt. Då luftomsättningen är som lägst, 10 oms/h är MRD-Index som störst, motsvarande 0,326. MRD-Index är för alla studerade fall lägre än 1, vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt kan uppkomma.

Tabell 5.17 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D vid variation i luftomsättning i luftspalt.

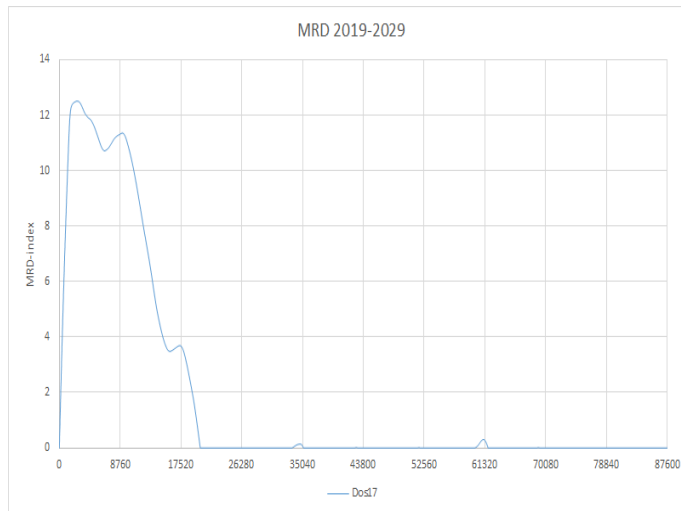
Luftomsättning [oms/h]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
10	0.326	0.156
30	0.323	0.156
75	0.320	0.156
100	0.318	0.156

### 5.3.2.6 Konstruktion utan väderskydd

Ur figur 5.28 och 5.29 framgår det att MRD-Index överstiger värdet 6 då RF 99%, motsvarande RF 100% i verkligt fall, för både utvändig och invändig mätpunkt av KL-träkonstruktionen. Detta tyder på att mycket stor tillväxt som täcker 100% av konstruktionen ska ha uppkommit på konstruktionsdelar som utsätts för RF 100%, enligt beräkningarna.



Figur 5.28 KL-trä vid RF 99%, utvändig mätpunkt.



Figur 5.29 KL-trä vid RF 99%, invändig mätpunkt.

### 5.3.2.7 RF/ Byggfukt

Ur tabell 5.18 framgår det för utvändiga mätpunkt att, MRD-index är beroende av angiven relativ fuktighet. Vid RF 75% är MRD-index cirka noll, alltså uppkommer ingen risk för mögeltillväxt. Vid RF 85% har MRD-index ett värde, motsvarande 0,32 medan värdet ökar till cirka 0,73 vid RF 90%. När RF är 95% uppkommer tydliga spår av synlig påväxt eftersom MRD-Indexvärdet är större än 4, enligt tabell 3.2.

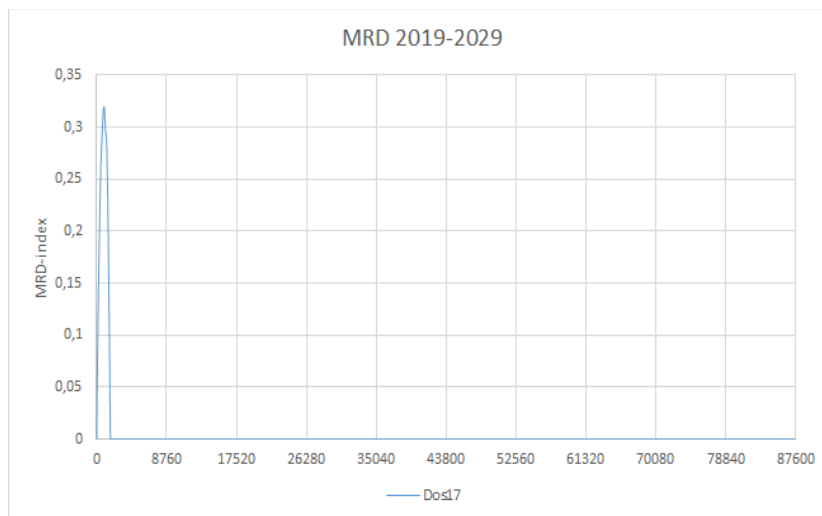
Vid den invändiga mätpunkten fortgår en ökning i MRD-index med ökad relativ fuktighet. Vid RF 75% är MRD-värdet cirka 0,05 medan det vid RF 85% är cirka 0,16. Upp till RF 90% är MRD-Index lägre än gränsvärdet 1, vilket indikerar att ingen risk för mögeltillväxt uppkommer. Vid RF 95% överstiger MRD-Indexvärdet 1 vilket innebär att spår av tillväxt kan uppkomma.



Tabell 5.18 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D vid olika värden på den relativa fuktigheten, RF.

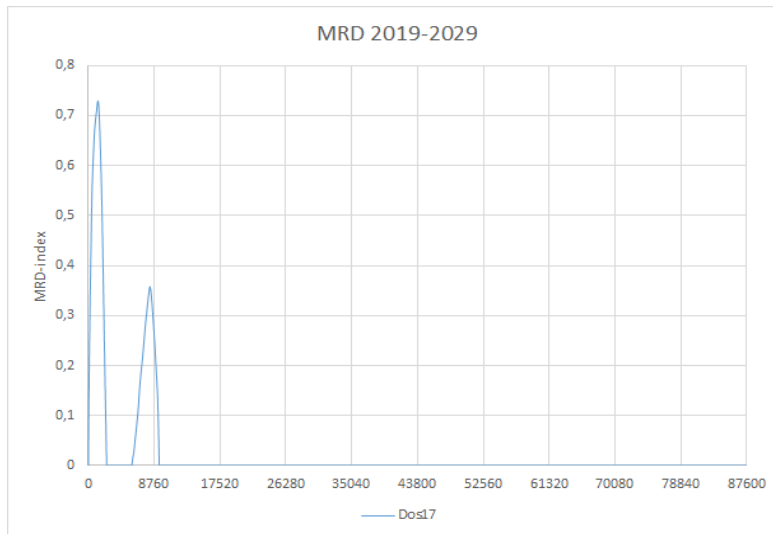
RF [%]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
65	0	0.051
75	0.003	0.053
80	0.098	0.054
85	0.323	0.156
90	0.729	0.371
95	>4	1.170 >1

Figur 5.30 redovisar MRD-index vid RF 85%. MRD-indexvärde motsvarande cirka 0,32. MRD-Index är vid RF 85% lägre än 1, vilket indikerar att risk för mögeltillväxt inte uppkommer.



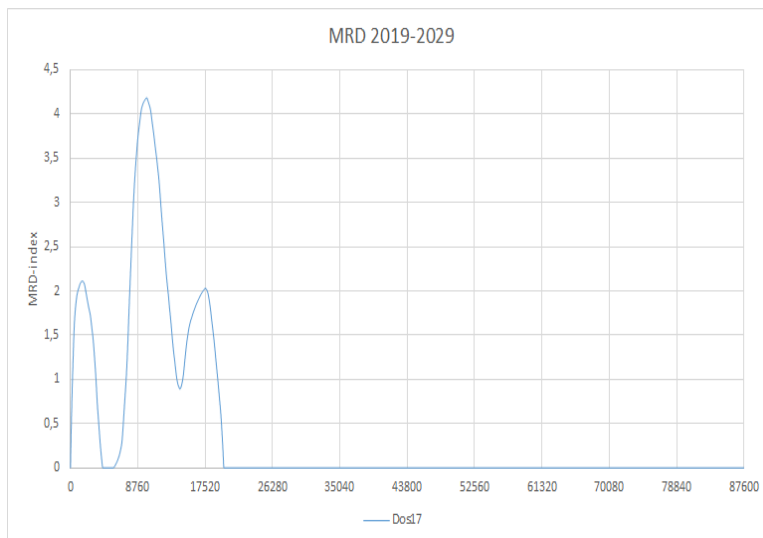
Figur 5.30 MRD-index vid utvändig mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=85%.

Figur 5.31 redovisar MRD-index vid RF 90%. Det framgår att MRD-Index är 0,73 under början av det första halvåret, sedan sker uttorkning tills MRD-Index är noll. Efter första halvåret uppstår gynnsamma förhållanden för mögeltillväxt på nytt vilket gör att MRD-Index ökas till cirka 0,35. MRD-Index är vid RF 90% lägre än 1, vilket indikerar att risk för mögelpåväxt inte uppkommer.



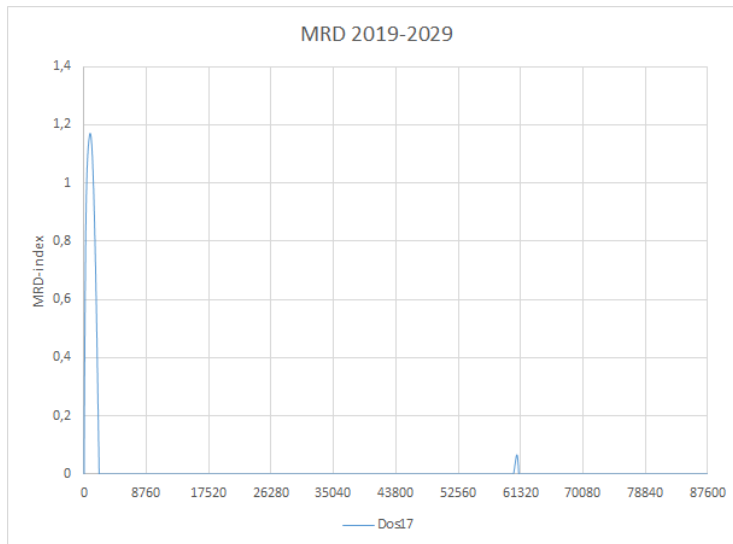
Figur 5.31 MRD-index vid utvändigt mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=90%.

Ur figur 5.32 framgår det att MRD-index överstiger gränsvärdet 1 under längre perioder då RF är 95%. Detta påvisar att mögel har uppkommit, enligt tabell 3.2. Under det första halvåret överstiger MRD-indexvärdet 2, vilket tyder på att mögelpåväxt uppkommer.



Figur 5.32 MRD-index vid utvändigt mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=95%.

Ur figur 5.33 framgår det att MRD-index överstiger värdet 1 under det första kvartalet av året, där även uttorkningsprocessen startar. Dock ska spår av påväxt ha uppkommit eftersom MRD-index överstiger gränsvärdet 1.



Figur 5.33 MRD-index vid invändig mätpunkt av KL-träkonstruktion vid RF=95%.

### 5.3.2.8 Temperatur över byggnadsdel

Ur tabell 5.19 framgår det att variationer i medeltemperaturen inte har någon större betydelse för MRD-Index utvändigt, cirka 0,32. Endast marginella avvikelser uppnås. Invändigt kan ett fenomen följas, ju lägre temperaturen är, desto högra MRD-indexvärde uppnås. Det högsta MRD-värdet är 0,16 vilket uppnås då temperaturen är 10 °C. MRD-Index är för alla studerade fall lägre än 1, vilket indikerar att ingen risk för mögelpåväxt kan uppkomma.

Tabell 5.19 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D vid varierande temperatur.

Temperatur [°C]	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
10	0.319	0.160
20	0.323	0.156
30	0.318	0.152

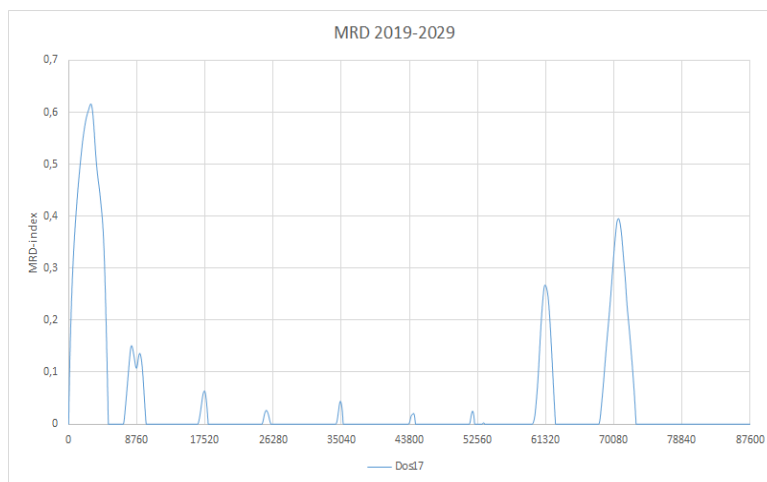
### 5.3.2.9 Fuktklass

Utifrån tabell 5.20, som redovisar MRD-index vid variationer av fuktklasser, verkar fuktklassen ha en inverkan på MRD-index mot invändig mätpunkt och obetydlig inverkan mot den utvändiga mätpunkten. Ju större fuktklass som ytterväggen exponeras för, desto högre MRD-indexvärde kan uppnås på invändig mätpunkt. Figur 5.34 redovisar MRD-

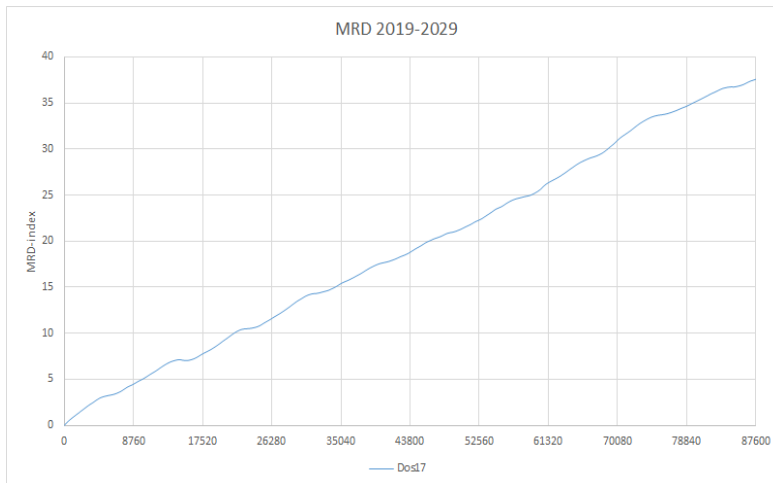
diagram för fuktklass 4 medan figur 5.35 redovisar MRD-diagram för fuktklass 5. Vid fuktklass 4 har konstruktionen ett MRD-värde som är cirka 0.6. Ingen risk för mögelpåväxt anses uppkomma vid fuktklass 4 eftersom MRD-index är lägre än gränsvärdet 1.

Tabell 5.20 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D med variation av fuktklass.

Fuktklass	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Klass 1	0.323	0.114
Klass 2	0.323	0.156
Klass 3	0.323	0.238
Klass 4	0.323	0.608
Klass 5	0.323	>6



Figur 5.34 Invändig mät punkt av KL-träkonstruktion vid fuktklass 4.



Figur 5.35 Invändig mätpunkt av KL-träkonstruktion vid fuktclass 5. MRD-index fortsätter vara påstigande.

### 5.3.2.10 Träslag

Enligt tabell 5.21 framgår det att typ av KL-träkonstruktion som KL-träskivan kan anta har en inverkan på MRD-index, båda vid invändig och utvändig mätpunkt. Störst MRD-Index vid utsidan uppnås då KLH enligt WUFI-materialdatabasen används. Lägst MRD-index vid utsidan uppnås då CLT enligt WUFI-materialdatabasen används. Både gran radial och KL-trä har lika stort MRD-indexvärde vid invändig mätpunkt.

Tabell 5.21 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D med olika träslag som representerar KL-trä.

KL-träkonstruktion	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
<b>Gran radiellt</b>	0.323	0.156
<b>CLT</b>	0.213	0.242
<b>KLH</b>	0.489	0.185
<b>KL-trä</b>	0.314	0.156
<b>Träfiber</b>	0.307	0.151
<b>Korslimmat trä</b>	0.311	0.159

### 5.3.2.11 Gran med lim

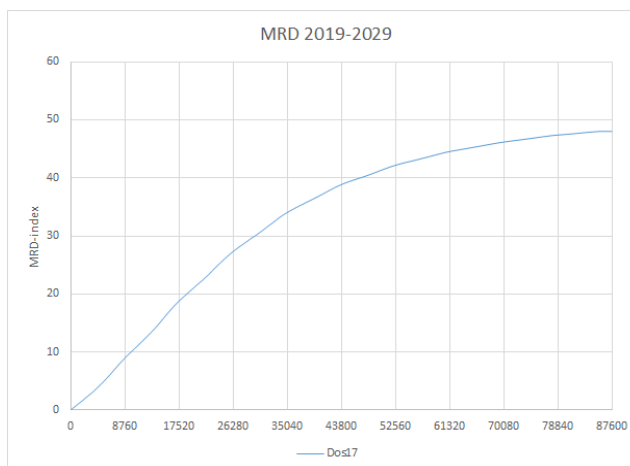
Ur tabell 5.22 framgår det att lim har mer betydelse för MRD-index vid utvändig mätpunkt än vid invändig mätpunkt. Störst MRD-index vid utsidan uppnås då halten av lim som används i materialet motsvarar 0.1 mm, medan vid insidan uppnås det största värdet av MRD-index då lim som används i materialet är lika med 0.3 mm. Resultatet av MRD-index vid olika limhalter redovisas i tabell 5.22. Uppbyggnad av KL-träkonstruktion med limskikten redovisas under bilaga C.

Tabell 5.22 Högsta värde på MRD-index i yttervägg D för gran radiellt med och utan lim.

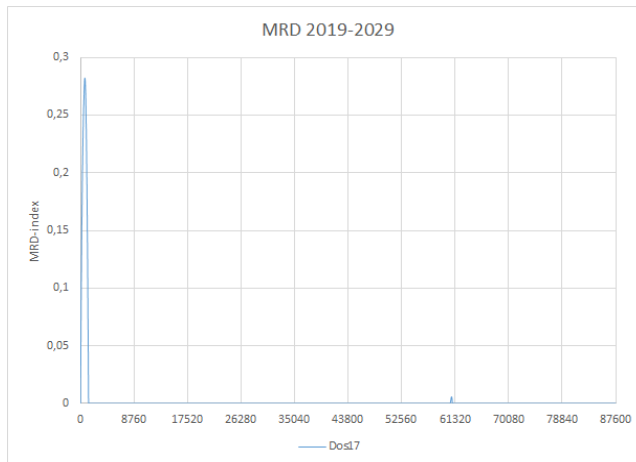
KL-träkonstruktion	MRD-Index	
	Utvändig	Invändig
Gran radiellt utan lim	0.323	0.156
Lim 0.1 mm	0.490	0.540
Lim 0.3 mm	0.450	0.549

### 5.3.2.12 Plastfolie

Ur figur 5.36 framgår det att placering av plastfolie enligt figur 4.5 ger ett MRD-indexvärde högre än 6 vilket innebär att mögelpåväxt inträffar i KL-träkonstruktionen. Figur 5.37 redovisar MRD-index för invändig mätpunkt.



Figur 5.36 KL-trä med plastfolie enligt placering 1, utvändig mätpunkt.



Figur 5.37 KL-trä med plastfolie enligt placering 1, invändig mät punkt.

### 5.3.3 Sammanställning av resultat

I detta avsnitt redovisas en sammanställning av resultat från parameterstudien för både ytterväggar B och yttervägg D. I tabell 5.23 respektive 5.24 visar en förenklad sammanställning av resultat för KL-träkonstruktion i yttervägg B respektive D.

#### 5.3.3.1 Orientering

Variationerna i ytterväggarnas väderstreck visar en liten skillnad i MRD-index. För yttervägg B har sydväst det största värdet medan för yttervägg D har både väster och sydväst det största. Det lägsta MRD-indexvärdet uppnås då båda ytterväggarna är riktade mot öster. Eftersom MRD-index understiger gränsvärdet 1 i båda fallen anses denna parameter inte ha en större inverkan på mögelrisken i KL-träkonstruktioner.

#### 5.3.3.2 Klimat

Enligt beräkningar under parameterstudien i föregående avsnitt verkar klimatet, som KL-träkonstruktionen placeras i, ha en ganska stor inverkan på MRD-index. Det bör nämnas att för KL-trä i yttervägg B är Lunds klimatet dimensionerande medan för KL-trä i yttervägg D är klimatet av Stockholm mer gynnsamt.

#### 5.3.3.3 Fasadfärg

Skillnader i fasadfärg konstateras inte ha stor inverkan på MRD-index då variationerna av indexvärden är marginella. Det som påvisas också är att, ju mörkare fasadfärgen är desto större blir värdet av MRD-index. Detta kan bero på att de mörka ytorna absorberar mer värmestrålning än de ljusa ytorna, vilket i sin tur kan orsaka att mer gynnsamma tillväxtförhållanden råder vid mörka ytor, särskilt när fukthalten i ett material innehåller är högt. När ingen fasadfärg används på ytterväggarna B och D visades ett MRD-index som var lägst.

#### **5.3.3.4 Luftomsättning**

Ändringen av luftomsättningen i luftspalten verkar ha stor inverkan på MRD-index. Ju mindre luftomsättning är i en luftspalt desto mer ökar MRD-index i KL-träkonstruktionen. Vid variationer av luftomsättning från 10 till 100 oms/h visar det sig att ingen risk för mikrobiell påväxt inträffar, detta eftersom MRD-index för KL-konstruktionen i båda ytterväggarna är mindre än gränsvärdet 1.

#### **5.3.3.5 Andel inträngt slagregn**

Ändringen av andel inträngt slagregn i ytterväggarna visar en viss skillnad i MRD-index mellan de olika väggarna. Resultatet visar att ju högre mängd inträngt slagregn är, desto högre MRD-värde kan uppnås. Ingen risk för mögelpåväxt inträffar eftersom MRD-index är lägre än 1.

#### **5.3.3.6 Utan väderskydd**

Resultaten visar att mögeltillväxt uppkommer då väderskydd inte används, det vill säga vid RF 100% för båda ytterväggarna.

#### **5.3.3.7 Byggfukt**

Denna parameter påvisar en stor inverkan på risken för mögel i KL-träkonstruktioner. Ju större den relativa fuktigheten är desto högre blir MRD-index. KL-träkonstruktioner som monteras i ytterväggar B och D är välfungerande även vid RF 90%. Vid RF 95% överskrids dock gränsvärdet 1 och mögel anses inträffa.

#### **5.3.3.8 Temperatur över byggnadsdel**

Vid variation av temperatur framgår det för KL-träkonstruktion i yttervägg B, att MRD-index ökar ju lägre temperaturen är, medan för yttervägg D är inverkan av variationer i temperatur av mindre betydelse för MRD-index. Ingen risk för mögel uppkommer i de studerade fallen eftersom MRD-index understiger gränsvärdet 1.

#### **5.3.3.9 Fuktklass**

Under parameterstudier av olika fuktklasser framgår det att variationer i fuktklasser har en marginell inverkan vid utvändiga mätning, medan det för invändiga mätning uppkommer större variationer i MRD-index. KL-träkonstruktionen i yttervägg B brister, det vill säga mögelpåväxt uppkommer vid fuktklass 4 medan det för yttervägg D uppkommer vid fuktklass 5. Fuktklass 3 är dimensionerande för yttervägg B medan det för yttervägg D, är fuktklass 4.



### **5.3.3.10 Träslag**

Användningen av olika träslag som en KL-träkonstruktion kan anta har en inverkan på MRD-index, både för yttervägg B och yttervägg D. För yttervägg B uppnås det högsta MRD-indexvärdet vid användning av data enligt Mukhopadhyaya et al. (2014), både vid utvändig och invändig mät punkt. För KL-träkonstruktion i yttervägg D uppnås det högsta MRD-värdet för utvändig mät punkt då KLH används medan det för invändig mät punkt uppnås det högsta MRD-index då CLT används. Ingen risk för mögel anses uppkomma eftersom MRD-index understiger gränsvärdet 1.

### **5.3.3.11 Gran med lim**

MRD-indexvärdet ökar vid användande av lim mellan lamellskikten i KL-träkonstruktionen. För KL-träkonstruktion i yttervägg B, uppstår en ökning i MRD-index från 0.136, utan lim till MRD-index 0.440 för KL-trä med 0.1mm lim, vilket innebär en ökning som är större än 200% i MRD-index, närmast inneklimatet. För KL-träkonstruktion i yttervägg D, framstår även ett liknande resultat som för yttervägg B. Ingen risk för mögel uppkommer i de studerade fallen enligt givna förutsättningar, detta eftersom MRD-index understiger gränsvärdet 1.

### **5.3.3.12 Plastfolie**

Under parameterstudien av montering av plastfolie i KL-träkonstruktioner framgår det att en plastfolie i form av ångbroms har stor inverkan på MRD-indexvärde. KL-träkonstruktionen i yttervägg B typ 1, typ 2 och i yttervägg D visar att mögelpåväxt inträffar med ett MRD-indexvärde som är större än 6.

Tabell 5.23 Sammanställning av inverkan av varje parameter på MRD-index i KL-träkonstruktion för yttervägg B. Stor betydelsedifferens lika med eller större än 50%. Liten betydelse= differens mellan 20–50%. Ingen betydelse= differens lägre än 20%. X= anger resultatet som stämmer bäst för respektive parameter.

Inverkan	Stor betydelse		Liten betydelse		Ingen betydelse	
	Utvändigt	Invändigt	Utvändigt	Invändigt	Utvändigt	Invändigt
Parameter	Utvändigt	Invändigt	Utvändigt	Invändigt	Utvändigt	Invändigt
Orientering					X	X
Klimat		X	X			
Fasadfärg					X	X
Slagregn					X	X
Luftomsättning					X	X
Utan väderskydd	X	X				
RF/ Byggfukt	X	X				
Temperatur			X	X		
Fuktklass		X			X	
Träslag	X	X				
Lim		X	X			
Plastfolie /typ 1	X					
Plastfolie/ typ 2		X				

Tabell 5.24 Sammanställning av inverkan av varje parameter på MRD-index i KL-träkonstruktion för yttervägg D. Stor betydelsedifferens lika med eller större än 50%. Liten betydelse= differens mellan 20–50%. Ingen betydelse= lägre än 20%. X= anger resultatet som stämmer bäst för respektive parameter. U= utvändigt mät punkt och I= invändigt mät punkt.

Inverkan	Stor betydelse		Liten betydelse		Ingen betydelse	
	Utvändigt	Invändigt	Utvändigt	Invändigt	Utvändigt	Invändigt
Orientering					X	X
Klimat	X			X		
Fasadfärg					X	X
Slagregn					X	X
Luftomsättning					X	X
Utan väderskydd	X	X				
RF/ Byggfukt	X	X				
Temperatur					X	X
Fuktklass		X			X	
Träslag	X			X		
Lim		X	X			
Plastfolie/ typ 1	X					

## 5.4 Vatteninnehåll/ Byggfukt/ uttorkning

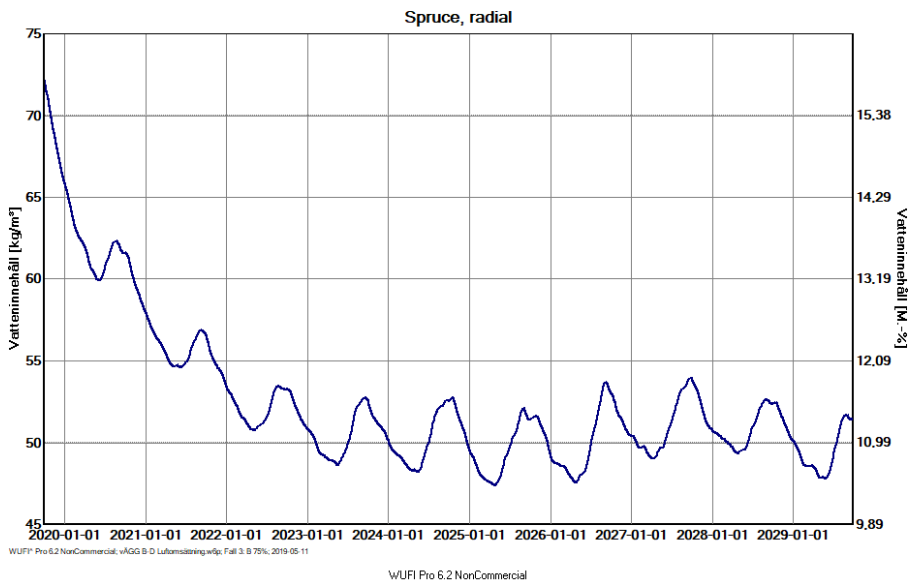
I detta avsnitt presenteras analyser och resultat för uttorkningen av byggfukt i KL-träkonstruktionen. Byggfukt som studeras är RF 75%, 80%, 85% och 90% utifrån basfallet. För att kunna studera uttorkningen av KL-träkonstruktionerna i yttervägg B respektive D har det varit av intresse att studera fallen innan mögelpåväxt uppstår. Det framgår under avsnitt 4.2.1 att mögel angriper vid RF 95%, därför är byggfukthalter högre än RF 90% inte av intresse att studera. Redan vid avsnitt 4.3 har det framgått att vid RF som är mindre eller lika med 90% uppkommer ingen risk för mögel då MRD-index är lägre än 1. Under det här avsnittet undersöks hur snabbt uttorkningen sker i materialet och hur lång tid det tar innan jämviktsfuktkvot råder över KL-träkonstruktionen.

### 5.4.1 KL-träkonstruktion i yttervägg B

Av de studerade fallen, där RF är 75%, 80%, 85% respektive 90% framgår det att jämviktsfuktkvoten är cirka 11% vilket motsvarar 50 kg/m<sup>3</sup> vid 50% relativ fuktighet. Lägre och högre halter kan förekomma på grund av årstidsvariationerna.

#### Uttorkning vid RF 75%

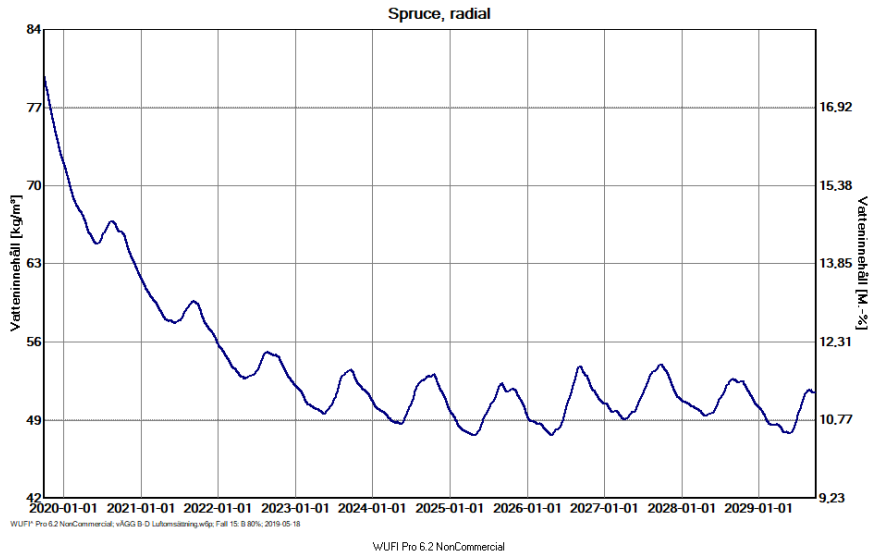
I figur 5.38 konstateras att vid RF 75% har KL-trä som monteras i ytterväggen B en startfuktkvot som är lika med 16% och som i sin tur motsvara en fukthalt på 72 kg/m<sup>3</sup>. Uttorkningen börjar ske från slutet av 2019 fram till mitten av 2020 med en fuktkvot som motsvarar 13%. Fukten fortsätter torka ut fram till mitten av 2021 till ett värde som motsvarar 12%. Jämviktsfuktkvoten inträffar i mitten av 2023 då fukthalten sjunker till 48 kg/m<sup>3</sup> med en fuktkvot som motsvarar 10.5%. Enligt figur 5.38 framgår det att den totala byggfukten som har torkat ut är cirka 20 kg/m<sup>3</sup>, under studerad tidsperiod. Det lägsta värdet av fukthalt som KL-trä kan uppnå under den här perioden är 47 kg/m<sup>3</sup> vilket motsvarar en 10% i fuktkvot.



Figur 5.38 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 75%.

#### Uttorkning vid RF 80 %

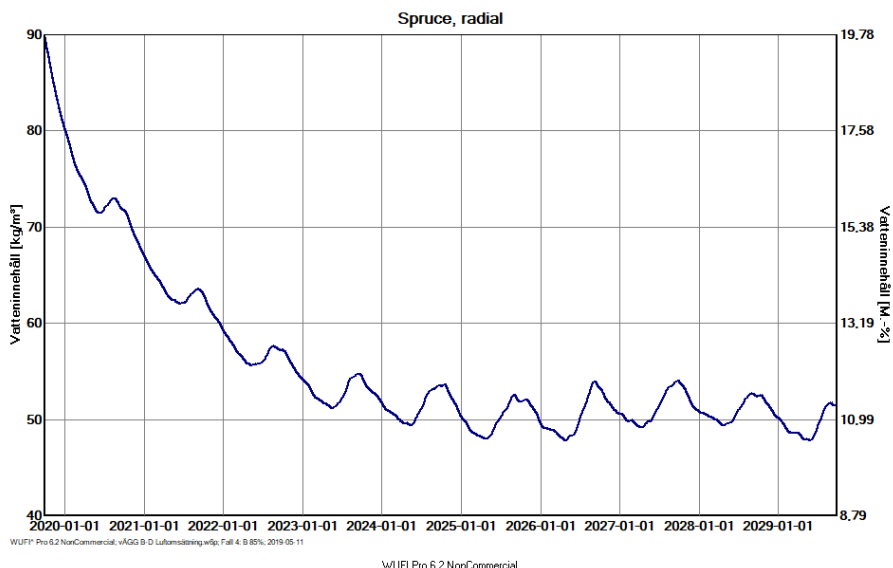
Enligt figur 5.39 framgår det att vid RF 80% är startfuktkvoten i KL-träkonstruktionen cirka 18%, vilket alltså motsvarar det högsta tillåtna värdet på ytfuktkvot. Vatteninnehållet i KL-träkonstruktionen vid RF 80% är 80 kg/m<sup>3</sup>. Från slutet av 2019 till början av 2022 sjunker fuktkvoten från 18% till cirka 12.3 %. Därefter planas uttorkningsprocessen ut tills jämviktsfuktkvoten uppnås. Uttorkning till fuktkvot 11%, som är jämviktsfuktkvot inträffar mellan 2024 och 2025, alltså efter cirka 4 år. Den totala byggfukten som torkas ut under studerad tidsperiod, är cirka 32.5 kg/m<sup>3</sup>.



Figur 5.39 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 80%.

### Uttorkning vid RF 85%

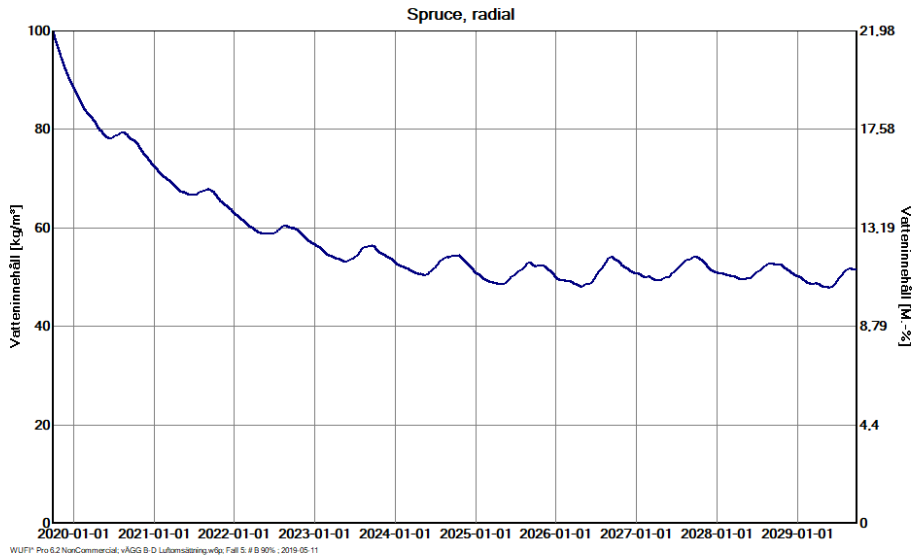
Ur figur 5.40 framgår det att vid RF 85% har KL-träkonstruktionen en startfuktkvot som motsvarar 20% och som motsvarar 90 kg/m<sup>3</sup>. Uttorkningen börjar ske från slutet av 2019 fram till mitten av 2020 med en fuktkvot som motsvara 16%. Fukten fortsätter torka ut fram till mitten av 2021 till ett värde som motsvarar 14%. Jämviktsfuktkvot inträffar i mitten av 2024 då fukthalten sjunker till 50 kg/m<sup>3</sup> med en fuktkvot som motsvarar 11%. Enligt figur 5.40 framgår det att den totala byggfukten som har torkat ut är cirka 39 kg/m<sup>3</sup>, under studerad tidsperiod. Det minsta värdet av fukthalt som KL-trä kan uppnå under den här perioden är 48 kg/m<sup>3</sup> vilket motsvarar en 10.5% fuktkvot.



Figur 5.40 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 85%.

### Uttorkning vid RF 90%

Enligt figur 5.41 framgår det att vid RF 90 % har KL-träkonstruktionen en startfuktkvot som motsvarar 22% och som motsvarar 100 kg/m<sup>3</sup>. Uttorkningen sker från slutet av 2019 fram till mitten av 2020 med en fuktkvot som motsvara 17%. Fukten fortsätter torkas ut fram till mitten av 2021 till ett värde som motsvarar 15%. Jämviktsfuktkvot inträffar i mitten av 2024 då fukthalten sjunker till 50 kg/m<sup>3</sup> med en fuktkvot som motsvarar 11%. Enligt figur 5.40 framgår det att den totala byggfukten som har torkat ut är cirka 48 kg/m<sup>3</sup>, under studerad tidsperiod. Det minsta värdet av fukthalt som KL-trä kan uppnå under den här perioden är 48 kg/m<sup>3</sup> vilket motsvarar en 10,5% fuktkvot.



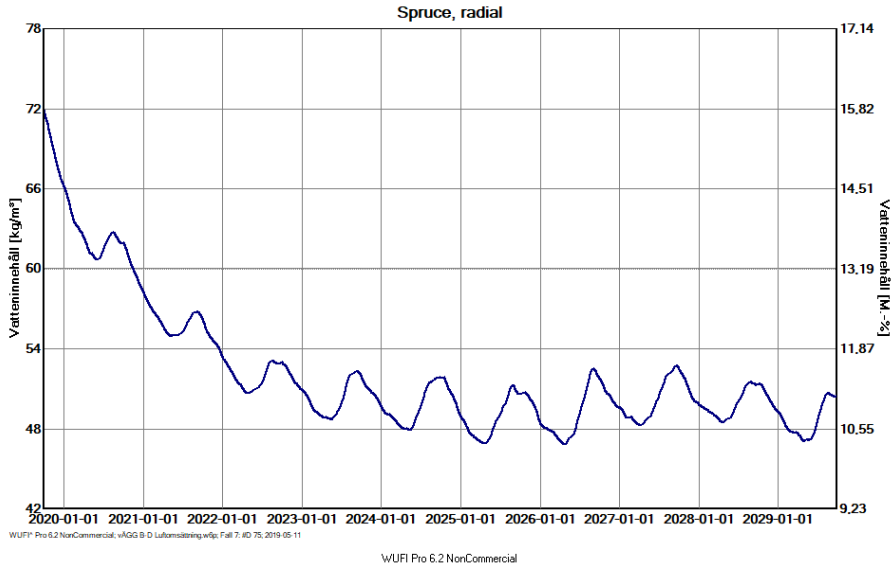
Figur 5.41 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 90%.

### 5.4.2 KL-träkonstruktion i yttervägg D

Utifrån de studerade fallen, där RF är 75%, 80%, 85% respektive 90% framgår det att jämvikts fuktkvoten är cirka 11% vilket motsvarar 50 kg/m<sup>3</sup>. Lägre och högre halter kan förekomma på grund av årstidsvariationerna.

### Uttorkning vid RF 75%

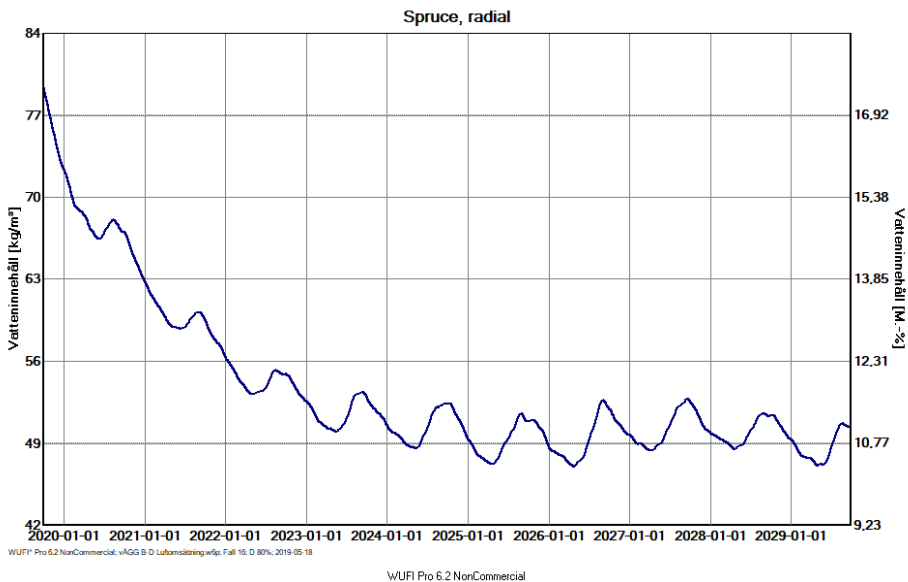
I figur 5.42 framgår det att vid RF 75% är startfuktkvoten i KL-träkonstruktionen 16%, vilket motsvarar 72 kg/m<sup>3</sup>. Från slutet av 2019 till början av 2022 sjunker fuktkvoten från 16% till cirka 12%. Därefter planar uttorkningsprocessen ut tills jämviktsfuktkvoten uppnås. Uttorkning till fuktkvot 11%, som är jämviktsfuktkvot inträffar mellan 2023 och 2024, alltså efter cirka 3 år. Den totala byggfukten som torkar ut under studerad tidsperiod, är cirka 22 kg/m<sup>3</sup>.



Figur 5.42 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 75%.

### Uttorkning vid RF 80%

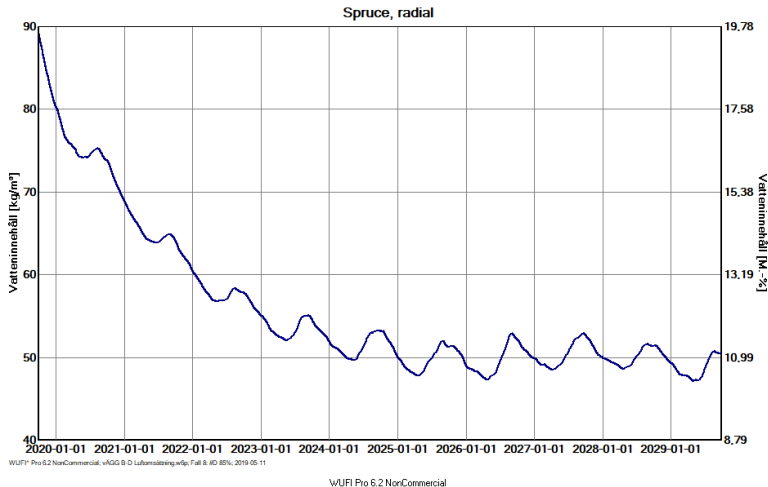
I figur 5.43 framgår det att vid RF 80% är startfuktkvoten i KL-träkonstruktionen cirka 18%, vilket alltså motsvarar det högsta tillåtna värdet för yfuktkvot. Vatteninnehållet i KL-träkonstruktionen vid RF 80% är 80 kg/m<sup>3</sup>. Från slutet av 2019 till början av 2022 sjunker fuktkvoten från 18% till cirka 12.5 %. Därefter planar uttorkningsprocessen ut tills jämviktsfuktkvoten uppnås. Uttorkning till fuktkvot 11%, som är jämviktsfuktkvot inträffar mellan 2024 och 2025, alltså efter cirka 4 år. Den totala byggfukten som torkar ut under studerad tidsperiod, är cirka 33 kg/m<sup>3</sup>.



Figur 5.43 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 80 %.

### Uttorkning vid RF 85%

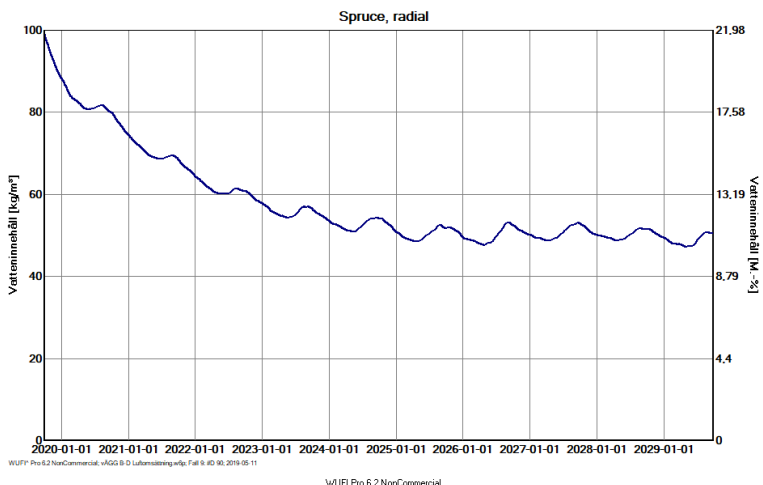
Ur figur 5.44 framgår det att vid RF 85% är startfuktkvoten i KL-träkonstruktionen 20%, vilket motsvarar 90 kg/m<sup>3</sup>. Från slutet av 2019 till början av 2022 sjunker fuktkvoten från 20% till cirka 14%. Därefter planar uttorkningsprocessen ut tills jämviktsfuktkvoten uppnås. Uttorkning till fuktkvot 11%, som är jämviktsfuktkvot inträffar mellan 2024 och 2025, alltså efter cirka 4 år. Den totala byggfukten som torkas ut under studerad tidsperiod, är cirka 40 kg/m<sup>3</sup>.



Figur 5.44 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 85%.

### Uttorkning vid RF 90%

Ur figur 5.45 framgår det att vid RF 90% är startfuktkvoten i KL-träkonstruktionen 22%, vilket motsvarar 100 kg/m<sup>3</sup>. Från slutet av 2019 till början av 2022 sjunker fuktkvoten från 22% till cirka 15%. Därefter planar uttorkningsprocessen ut tills jämviktsfuktkvoten uppnås. Uttorkning till fuktkvot 11%, som är jämviktsfuktkvot inträffar mellan 2025 och 2026, alltså efter cirka 5 år. Den totala byggfukten som torkar ut under studerad tidsperiod, är cirka 50 kg/m<sup>3</sup>.



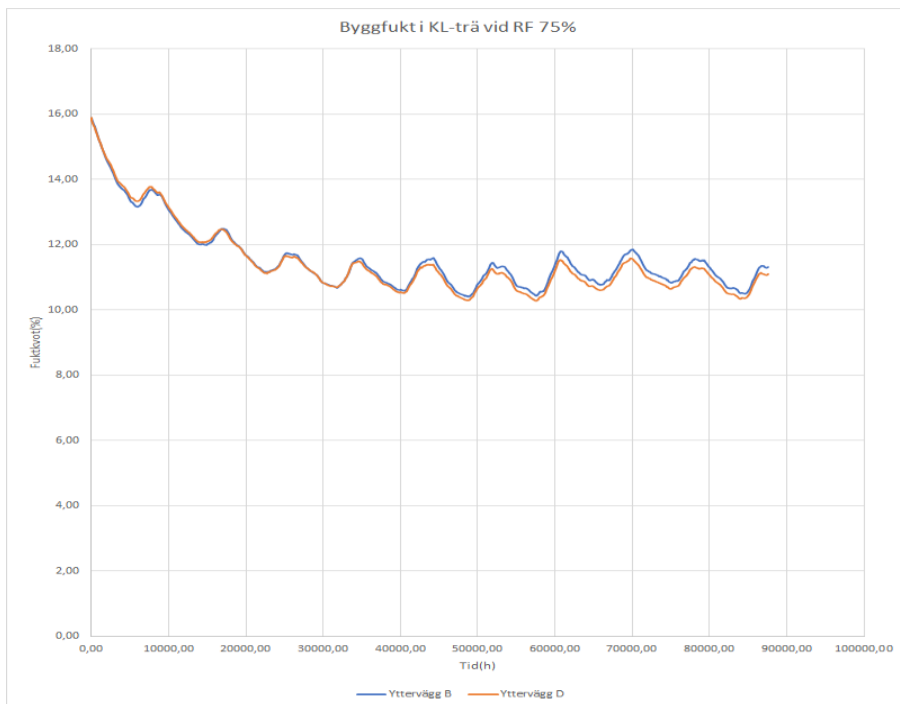
Figur 5.45 Uttorkning av byggfukt i KL-träkonstruktion vid RF 90%.



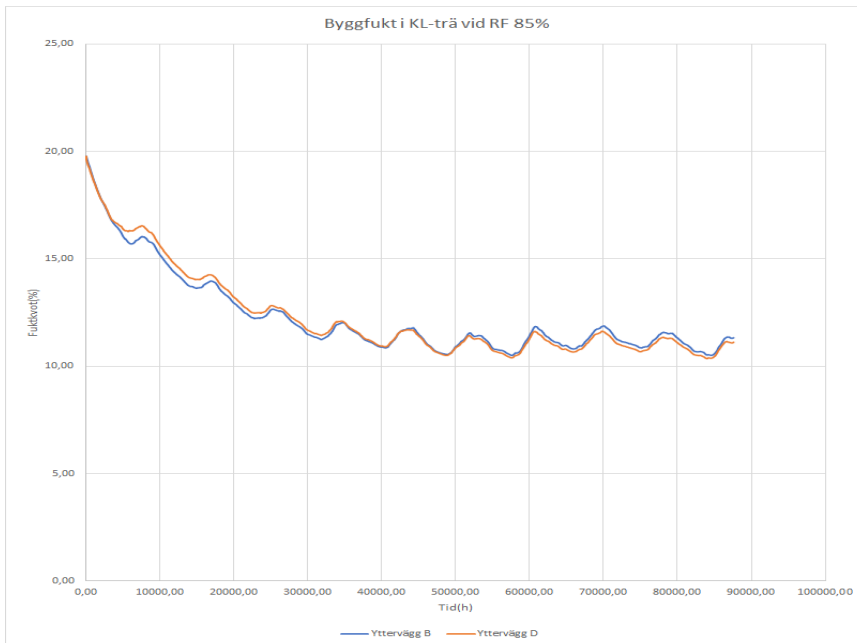
### 5.4.3 Sammanställning av resultat

I undersökningen av den totala byggfukten som har hunnit torka ut under de studerade åren framgår det att mängden byggfukt har fördubblats då relativ luftfuktighet har ökat från 75% till 85%. Från RF 85% till RF 90% sker en ökning i uttorkad fuktmängd med 10 kg/m<sup>3</sup>. Uttorkning av byggfukt till ett jämnt beteende kan betraktas öka med ökad byggfukt. För de studerade fallen uppnås en försening med ytterligare ett år för varje sänkning av RF, från det att byggfukten är 75% RF, 85% RF till 90% RF.

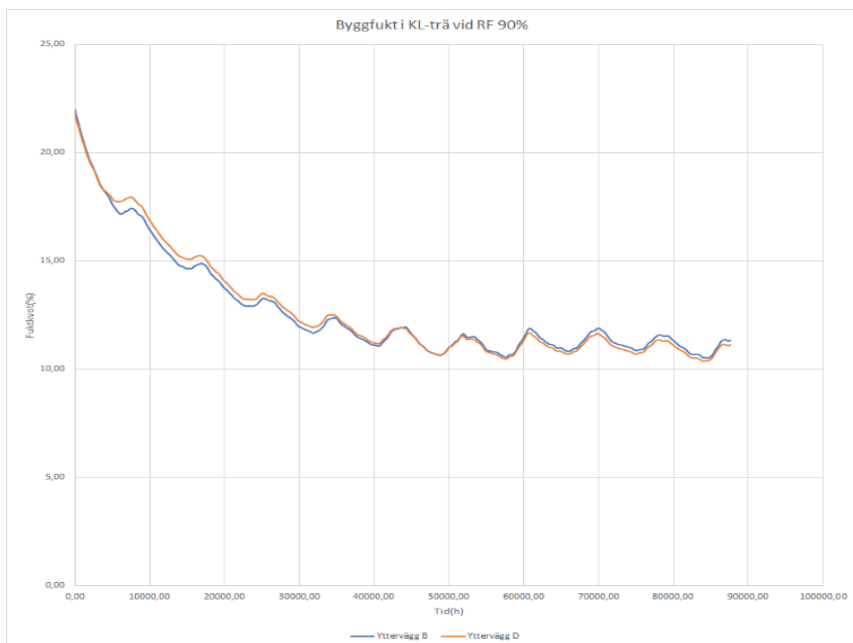
Det som konstateras är att ju större RF är, desto längre tid tar det innan jämviktsfuktkvot uppnås. I figur 5.46, 5.47 och 5.48 konstateras att KL-träkonstruktionen i yttervägg B torkar ut till en lägre fuktkvot än i yttervägg D under de första åren därefter ändras uppförandet, då KL-träkonstruktionen i yttervägg D torkar ut till en lägre fuktkvot än i yttervägg B under de sista fyra åren. Det framgår också att den uttorkade byggfukten under de studerade åren, var cirka 1 kg/m<sup>3</sup> större i yttervägg D än i yttervägg B.



5.46 Byggfukt i KL-träkonstruktionen när det placeras i yttervägg B respektive D under nio år vid RF 75%.



5.47 Byggfukt i KL-träkonstruktionen när det placeras i yttervägg B respektive D under nio år vid RF 85%.



5.48 Byggfukt i KL-träkonstruktionen när det placeras i yttervägg B respektive D under nio år vid RF 90%.

## 6 Diskussion

Studiens syfte har varit att undersöka hur KL-träkonstruktioner fungerar med avseende på risken för mögel. Särskilda frågeställningar som har besvarats i studien är om de valda KL-träkonstruktionerna fungerar i alla delar av Sverige eller om konstruktionerna förblir bristfälliga i ett visst klimat samt vilka parametrar som kan ha störst inverkan på mögelpåväxt. En annan aspekt som skulle undersökas har varit att ta reda på hur stor den normala byggfukten är i KL-trä samt om denna byggfukt hinner torka ut med de vanligaste byggmetoder som används idag. För att göra studien komplett har även olika parametrar som kan vara betydande för ytterväggarna studerats. Diskussionen förhåller sig till yttervägg B och yttervägg D.

### 6.1 Resultatdiskussion

Efter genomförd parameterstudie kunde slutsatser för KL-träkonstruktion i yttervägg B och yttervägg D dras, detta med hjälp av MRD-index. Gemensamt för båda väggarna har varit att orientering, fasadfärg, andel inträngt slagregn och luftomsättning i spalt är de faktorer som ger minst MRD-index för KL-träkonstruktionerna. Faktorer som däremot har störst betydelse för ytterväggarna har varit, att utsätta KL-träkonstruktionen för RF motsvarande 100%, alltså utan väderskydd samt uppkomsten av byggfukt i KL-träkonstruktionen. En annan faktor som visade sig ha likvärdig betydelse för båda konstruktionerna är, när limskikt inkluderas i den studerade KL-träskivan. Limmet har en stor inverkan på MRD-index invändigt, medan det har mindre betydelse för utvändigt mätuppsättning av KL-träskivan. Eftersom ytterväggskonstruktionerna har vissa skillnader i uppbyggnad, har det även visat sig att olika parametrar/ faktorer fungerar olika, liksom klimat, temperatur och träslag.

Resultatet för mängden inträngt slagregn har avvikit från förväntningarna. Detta eftersom denna parameter ansågs vara avgörande vid diskussion med olika aktörer som har kunskap inom ämnet. Det avvikande resultatet kan delvis förklaras med att KL-träkonstruktionen för båda väggarna är placerad närmast inomhusklimatet medan det inträngda regnet är placerat på yttersta isoleringsskiktet. Därför har regninträngningen inte uppfattats som avgörande enligt WUFI. Den aktuella placeringen av slagregninträngningen enligt parameterstudie anses medföra låg mögelrisk för de studerade KL-träkonstruktionerna. Därför har låg inverkan på MRD-index uppkommit. För att kunna uppnå ett mer ogynnsamt fall hade det inträngda slagregnet kunnat placeras i isoleringsskiktet som ligger närmast KL-träkonstruktionen. Särskilt med hänsyn till den täta cellplasten som finns i yttervägg D vilken kan medföra att det möjligen inträngda slagregnet kan passera igenom sprickor till resterande skikt på insidan samtidigt som uttorkningen mot utsidan försvåras.

Det som kunde konstateras genom studien, och som även styrker resultatet som Öberg och Wiege har kommit fram till, presenterade under avsnitt 2.5.8, är att KL-träkonstruktioner måste väderskyddas. KL-träkonstruktioner, eller delar av konstruktioner som exponeras för regn och oväder, det vill säga att den relativa fuktigheten förblir 100% får med stor säkerhet mögelpåväxt. Genom studien har det även framgått att mögelpåväxt uppstår i båda konstruktionerna redan vid relativ fuktighet 95%. Detta har även varit fallet för projektet redovisat under avsnitt 5.1.7. Där framgick det att de KL-träkonstruktioner som inte har varit

väderskyddade och som exponeras för uteklimatet under en längre period fick tillväxt och missfärgningar. Enligt diskussioner redovisade under avsnitt 5.1, framgår det att ett heltäckande väderskydd inte nödvändigtvis behöver användas alltid, utan att det är tillräckligt med att KL-träkonstruktionerna väderskyddas inplastade under lagring. En annan faktor som även togs upp är att nyttja prefabriceringen av KL-trästommar och hålla en snabb monteringshastighet.

KL-träkonstruktioner i både yttervägg B och D klarar sig väl med en byggfukt motsvarande upp till 90 % relativ fuktighet, motsvarande en fuktkvot som är cirka 22%. Dock ska träprodukter inte överstiga den yfuktkvot som rekommenderas av AMA. Den högsta tillåtna yfuktkvoten enligt AMA är 18%, vilken motsvarar en relativ fuktighet på 80%. Vid jämförelse med BBR:s krav på det kritiska fukttillståndet för byggnadsmaterial, redovisade under avsnitt 2.2.2 klarar sig KL-träkonstruktionerna väl vid relativ fuktighet 75%. Med hänsyn till rekommendationerna från de yrkesverksamma personerna, presenterade under avsnitt 5.1 framgår det att fuktkvoten i KL-träkonstruktionen inte ska överstiga 15% för att nå ett bra resultat.

Genom undersökningar av olika fuktklasser för KL-träkonstruktioner i yttervägg B och D framgick det att, denna parameter har nästan ingen betydelse för den utvändiga mätpunkten, däremot en stor betydelse för den invändiga. Upp till fuktklass 3 klarar sig båda konstruktionerna galant. När väl fuktklassen höjs upp till fuktklass 4 brister yttervägg B och mögelpåväxt uppstår, medan yttervägg D fortsätter vara fungerande och har ett MRD-index lägre än 1. Vid fuktklass 5 uppkommer mögelpåväxt i båda konstruktionerna. Dock ska det noteras att KL-träkonstruktioner inte är avsedda att exponeras för klimatklass 3, vilket framgått i avsnitt 2.4.8 och 5.1. En slutsats som kan dras är, att de studerade konstruktionerna håller ett MRD-index lägre än 1 vid ett fukttillskott motsvarande 1–6 g/m<sup>3</sup>, det vill säga fuktklass 1–3.

Att undersöka limmet i KL-träkonstruktionerna har varit en osäker faktor. Dels för att det har varit svårt att hitta materialdata dels på grund av svårigheter med uppbyggnaden av limskikten i WUFI. Ur avsnitt 5.3.3.11 framgår det att limmet ger störst inverkan vid den invändiga skiktet, alltså på den lamell som är närmast inneklimatet. Detta kan innebära att trälamell längs inneklimatet fångar upp fukten från luften samtidigt som transporten mot den utvändiga mätpunkten försvåras. Genom diskussioner i avsnitt 5.1.3 framkom även liknande resultat, nämligen att limmet kan fungera som en diffusionsspärr. Fukten samlas upp vid det första limskiktet och förhindras från att föras vidare till de andra lamellerna. Att limmet förhindrar fukttransport till andra lamellager kan alltså vara gynnsamt, en fråga är dock att notera, hur konstruktionerna fungerar om fukten sugts upp via ändträet och vilka effekter som kan uppnås. Detta kan alltså medföra både positiva och negativa effekter för KL-träkonstruktioner. Däremot har en studie, redovisade under avsnitt 2.5.8 visat att inträngd fukt på limskiktet faktiskt kan orsaka risk för mögel efter en bestämd tid. Denna parameter innehåller som sagt en stor osäkerhet, och behöver därför studeras vidare.

För yttervägg B har klimatet störst inverkan på MRD-index mot den invändiga mätpunkten medan det för yttervägg D, är MRD-index som störst mot den utvändiga mätpunkten. Detta kan förklaras med att yttervägg B har ytterligare ett isoleringsskikt av mineralull samt en invändig gipsskiva mot inneklimatet som försvårar uttorkningen medan yttervägg D endast har KL-träkonstruktionen mot insidan av huset, vilket medger att KL-konstruktionen

ventileras bättre. Däremot kan den högre inverkan på yttervägg D mot utvändig mät punkt förklaras med att det finns ett isolerande skikt av cellplast som har högre ånggenomgångsmotstånd än den som finns hos mineralull i yttervägg B. Enligt avsnitt 2.6.7 framgår det även att KL-träkonstruktioner är lufttäta och bör därför kunna ventileras för att torkningsprocessen inte ska förhindras. Från en annan synvinkel, har KL-trä påvisat goda egenskaper mot brand, även om det lämnas exponerat utan skyddande gips eller målning, vilket framgått genom diskussion med Per Karnehed<sup>23</sup>. Slutsatser som kan dras är således, att det är mer gynnsamt för KL-träkonstruktioner att kunna ventileras mot inomhusklimatet samt att isoleringar som har lägre ånggenomgångsmotstånd är att föredra.

Parameterstudie av klimat visade att både yttervägg B och D är välfungerande i de studerade städerna, ingen risk för mögelpåväxt kunde konstateras. Det är dock intressant att notera att KL-träkonstruktion i yttervägg B redovisar det högsta MRD-Indexvärdet i Lund, medan den i yttervägg D är som högst i Stockholm. Högsta MRD-indexvärden råder alltså i Lund och Stockholm, därefter Borlänge och sedan Luleå. En slutsats som kan dras är således att ytterväggskonstruktioner som konstrueras i Lund eller Stockholm kan vara mer kritiska än KL-träkonstruktioner som byggs i Borlänge eller Luleå. Den mest kritiska orienteringen för yttervägg B är då ytterväggen placeras mot sydväst medan det för yttervägg D är båda sydväst och väster som ger lika höga MRD-index.

Inverkan av variationer i temperatur över byggnadsdel hade en obetydlig inverkan på yttervägg D, medan den för yttervägg B var något större, både utvändigt och invändigt. Detta kan bero på att yttervägg B har isolerande lager på vardera sida som försvårar att KL-träkonstruktionen ställs i jämvikt med inomhusklimatet.

Enligt tidigare redovisad studie av Lepage (2012) under avsnitt 2.5.8, framgår det att korrigeringar i WUFI:s materialdatabas, liksom densitet och justering av sorptionsisoterm kan påverka resultatet beräkningar i WUFI-programmet. Detta kan förklara resultatet för parameterstudien, träslag. Analysen av olika träslag/ KL-trätyper, som KL-träkonstruktionen kunde utgöras av, visade att valet av träslag/ KL-trätyp har stor betydelse för den uppmätta punkten mot utvändig sida. För invändig mät punkt har träslag mindre betydelse för yttervägg D medan det för KL-träkonstruktion i yttervägg B har en större betydelse, vilket återigen kan förklaras med materialegenskaper som de omgivande isoleringsskikten har.

Enligt avsnitt 2.4.6 anses placering av plastfolie i ytterväggskonstruktioner vara en godtagbar lösning. Detta för att bygga lufttätt och för att förhindra den fuktiga luften inomhus från att tränga ut till väggens övriga materialskikt och på så sätt minska risken för fuktskador. Enligt parameterstudien vid införande plastfolie i ytterväggarna, redovisat under avsnitt 5.3.1 för yttervägg B och avsnitt 5.3.2 för yttervägg D har det framkommit att plastfolien har en stor inverkan på MRD-index. Genom att montera en plastfolie i ytterväggarna har ett MRD-index överstigande värdet 6 uppnåtts i KL-träkonstruktionerna. Resultat från fuktsimuleringsprogrammet WUFI och MRD-modellen stämmer bra överens

---

<sup>23</sup> Per Karnehed, VD Karnehed Design & Construction AB, mejlkontakt den 29 april 2019.

med det som har framgått under avsnitt 5.1. Lösningar med plastfolie anses vara olämpliga för ytterväggar med KL-trä. Detta eftersom KL-träskivor betraktas som ett lufttätt material enligt Olsson<sup>24</sup> och Karnehed, därför är användningen av plastfolie inte nödvändig. Men även, för att plastfolien kan medföra fuktskador. Fukten kan ansamlas in i konstruktionen och torkningsprocess förhindras, anser Karnehed. Enligt Lepage (2012) under avsnitt 2.6.8 bör ångogenomträngliga membran inte monteras på fuktiga KL-träkonstruktioner, varken på insidan eller utsidan av konstruktionen. Detta för att undvika risken för mögelpåväxt. Lepegs framförande förklarar resultatet som uppnått genom parameterstudien, där KL-träkonstruktionerna simulerats med en byggfukt motsvarande 85% i relativ fuktighet.

För lösningar med plastfolie enligt typ 1 redovisat under figur 4.5 och 4.6, har plastfolien störst inverkan mot den utvändiga mätpunkten medan det för yttervägg B typ 2, redovisat under figur 4.7 är MRD-index som störst mot den invändiga mätpunkten. Detta kan förklaras med att lösningar enligt typ 1 där plastfolien är monterad direkt på KL-träkonstruktionen mot uteklimatet, gör att uttorkningen av byggfukten i KL-träskivan samt fukten från inomhus förhindras mot uteklimatet. Fukten samlas således upp vid den utvändiga mätpunkten, närmast plastfolien vilket leder till att mögelpåväxt uppstår. Däremot är uttorkningen mot insidan oförhindrad. Montering av plastfolie mot inomhusklimatet, typ 2 möjliggör uttorkning mot utsidan av KL-träkonstruktionen. Uttorkningen av eventuell byggfukt mot inomhusklimatet försvåras på grund av plastfolien, vilket även leder till uppkomst av mögelpåväxt.

Som framgått tidigare ger olika träslag avvikande resultat. Byggfukt för gran radiellt har studerats under avsnitt 5.3. Enligt WUFI varierar byggfukten som KL-trä innehåller mellan 45 kg/m<sup>3</sup> och 330 kg/m<sup>3</sup> vid RF 50% respektive RF 99%. Enligt avsnitt 2.4.8 framgår det att, för att fuktskador ska undvikas levereras KL-träet till byggarbetsplatsen med en fuktkvot som motsvarar 12 %, vilket även styrks av de intervjuade personerna under avsnitt 5.1. Detta teoretiska resultat studeras under avsnitt 5.3.1.7 respektive 5.3.2.7, genom att sätta RF till 65% vilket i sin tur motsvarar 12.5% i fuktkvot. MRD-index som fås under de här förutsättningarna var noll vilket stämmer överens med det teoretiska resultatet.

Vidare studerades uttorkningen av byggfukten med varierande relativ fuktighet, från 75% till 90 %. Detta eftersom studien visade att byggfukt har en stor inverkan på mögelpåväxt i KL-trä. Om KL-träkonstruktionen byggs in i yttervägg B och D med en fuktkvot som motsvarar 16% kan byggfukten torka ut till fuktkvot 11 % under de första fyra åren i båda väggarna, under samma förutsättningar. Efter de första fyra åren uppnår KL-träkonstruktionen i yttervägg D lägre fuktkvot än det som uppnås i yttervägg B, för RF 75%, 85% och 90% som kan ses i figur 5.46, 5.47 respektive 5.48. Beräkningar i WUFI har också påvisat att även när KL-träkonstruktionen är inbyggd med en högre fuktkvot, motsvarande 22% hinner denna torka ut ner till cirka 15% under de första två åren, utan att risk för mögel uppstår. Detta resultat stämmer ganska väl överens med det som Per Karnehed hävdade under avsnitt 5.1, nämligen att under regniga dagar kan KL-trä få en fuktkvot som motsvarar 22% i ytfuktkvot. Byggfukten kan torka ut till fuktkvot 15 % på ytan respektive 12% några centimeter ner i KL-träet om KL-träkonstruktionen byggs tätt.

---

<sup>24</sup> Lars Olsson, forskare och teknisk handläggare på RISE, telefonsamtal den 2 april 2019.

De andra faktorer som anses vara avgörande vid uttorkningshastighet enligt Lars Olsson är placeringen av KL-trä i ytterväggen. För att studera detta antagande närmare jämförs de två ytterväggarna B och D med avseende på hur KL-träkonstruktionen torkar ut under de studerade åren i avsnitt 5.4. Uppbyggnad av yttervägg B respektive yttervägg D redovisas i figur 3.9 respektive 3.11. Placering av KL-träkonstruktionen skiljer sig i båda ytterväggarna. KL-träet i yttervägg D placeras vid inneklimatet, utan något ytterligare skikt i form av isolering eller gipsskiva. I yttervägg B monteras däremot isolering samt en invändig gipsskiva på KL-träet. Vid uteklimat, närmaste luftspalten, används olika material i de två typiska väggarna när det gäller isoleringen. I yttervägg B monteras mineralull medan ett skikt av cellplast monteras i yttervägg D. Det framgick också att KL-träkonstruktionen i yttervägg B torkar ut till en lägre fuktkvot än i yttervägg D under de fyra första åren därefter ändras uppförandet, då KL-träkonstruktionen i yttervägg D torkar ut till en lägre fuktkvot än i yttervägg B under resterande år. Detta uppförande kan tänkas fortgå, som nämnt tidigare, på grund av skillnaderna i uppbbyggnaden av respektive yttervägg. Det framgår också att den uttorkade byggfukten under de studerade åren, var cirka  $1 \text{ kg/m}^3$  högre i yttervägg D än i yttervägg B.

## 6.2 Metoddiskussion och felanalys

I detta avsnitt redogörs för fel i uppbbyggnad av konstruktion, fel vid simuleringar och andra svårigheter under arbetsprocessens gång.

### 6.2.1 Uppbyggnad av konstruktion

- För ytterväggar innehållande invändig gipsskiva, liksom yttervägg B har ingen ytbehandling i form av exempelvis målarfärg adderats. Med adderad ytbehandling fås ett mer ångtätt ytskikt vilket kan ge ett högre MRD-indexvärde.
- Vissa handlingar som tillhandahållits har inte varit helt kompletta, exempelvis har vissa mått och materialbeskrivningar varit bristfälliga. Därför kan vissa avvikelser uppkomma i jämförelse med den byggda konstruktionen. Rimliga värden har definierats inför uppbbyggnad i WUFI.
- Materialdata i simuleringssprogrammet WUFI har antagits för ytterväggarna. För att ge likvärdiga förutsättningar till respektive ytterväggskonstruktion, redovisade under avsnitt 3.4 har genomsamma material medgetts samma materialegenskaper och förutsättningar, liksom isolering och fibercementskiva. Detta kan ha avvikit från materialegenskaper byggda i verkligheten.
- Gemensamt för alla väggar är, att ingen plastfolie används för lufttätning, KL-träkonstruktionerna tejpas istället i skarvarna. Tejpen har inte kunnat tas hänsyn till vid beräkningarna.
- De hygrotermiska materialegenskaper som ett material har, i det fallet en 100 mm gran radiellt (Spruce radial enligt WUFI:s databas) har studerats. De termer som ingick i analysen var densitet, porositet, specifika värmekapacitet, värmeledningsförmåga, ångdiffusionsmotstånd, kapillärkoefficient, där varje parameter ändrades var för sig med de värden som presenterades i tabell 4.8 under

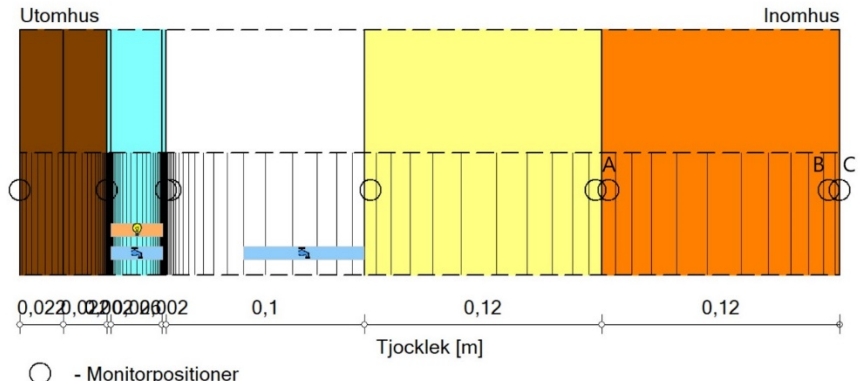
avsnitt 4.2. Endast värmeledningsförmåga, ångdiffusionsmotstånd och kapillärkoefficient visade skillnad på vatteninnehållet i det studerade provet.

- Vid val av KL-träkonstruktion har flera alternativ varit möjliga. Gran radiellt valdes eftersom materialdatan uppvisade rimliga värden för teoretiska tillämpningar i jämförelse med andra alternativ enligt WUFI:s databas. Val av annat träslag som KL-träkonstruktion kan ge annat resultat, detta eftersom denna parameter har en inverkan på MRD-index.

### 6.2.2 Simuleringar i WUFI

- Val av gitteruppbbyggnad, fint, medel och grovt har testats i WUFI. Högre precision uppnås när valet fint genomförs. Dock ökar tiden för simuleringarna ju högre precision som önskas.
- Enligt RäknaF av Wallentén (2018) kan kontrollberäkningar genomföras genom att studera annat tidssteg, exempelvis 0,5 h. Val av tidssteg under inställningar har testats i WUFI, endast en liten skillnad i MRD-index visades vid simuleringar med tidssteg 1h respektive 0.5h. Vid simuleringar med 0.5h i WUFI krävs det mer beräkningstid därför har simuleringar med tidssteg 1h ansetts vara tillräckliga.
- Placering av limskikten i WUFI har varit en osäker faktor under räkneprocessen. Detta eftersom WUFI inte uppfattar KL-träskivan som ett sammanhängande material, utan som olika skikt, vilket kan tros ge avvikande resultat från verkligheten.
- Antal konvergensfel enligt WUFI:s beräkningar uppvisade som högst värdet 1.
- Placering av monitorer för undersökning av KL-träkonstruktionen har visat svårigheter och ett orimligt resultat uppnåddes när en monitor placerades närmast inomhusklimat, som visas i figur 6.1, vid monitorposition C. Utifrån olika testberäkningar visade det sig att ett mer representativt resultat uppnås om mätdata från monitorposition B analyseras istället. Detta upptäcktes genom att yttervägg A och yttervägg D visade samma MRD-resultat vid den invändiga mätpunkten, monitorposition C i aktuellt fall.





Figur 6.1 Placering av olika monitorpositioner i programmet WUFI.



## 7 Slutsats

Efter genomförd studie kunde det konstateras att de faktorer som har störst betydelse för KL-träkonstruktioner med avseende på risken för mögelpåväxt är klimat, att exponera KL-trä för RF 100%, andelen byggfukt i ytterväggskonstruktioner samt inomhusklimatet. En annan faktor som har en stor inverkan på uppkomsten av mögel är användningen av plastfolie i ytterväggarna. Bland de slutsatser som kunde dras genom studien är att uppbyggnaden av ytterväggarna har en avgörande betydelse för KL-träkonstruktionerna. Klimatet kan för vissa KL-träkonstruktioner vara avgörande i den sida av konstruktionen som vetter mot inomhusklimatet medan för andra parametrar kan KL-träskivans utsida vara mer kritisk. För att undvika mögelpåväxt bör KL-träkonstruktioner väderskyddas innan inbyggnad, annars är risken stor att mögelpåväxt uppstår. Plastfolie eller annan typ av ångbroms bör inte konstrueras i ytterväggar med KL-trästomme. De studerade KL-träkonstruktionerna klarar en byggfukthalt motsvarande 90% i relativ fuktighet. Båda konstruktionerna är även fungerande med fuktklass 3 inomhus. Träslag kan för KL-träkonstruktioner som är helt inbyggda i en yttervägg, det vill säga där omgivande skikt i form av isolering finns vara mer avgörande än KL-träkonstruktioner som kan ventileras mot inomhusklimatet. En slutsats som kan dras är därför, att det är mer gynnsamt för KL-träkonstruktioner att kunna ventileras mot inomhusklimatet samt att isoleringar som har lägre ånggenomgångsmotstånd är att föredra. Studiens resultat kan sammanfattas i följande punkter:

- KL-träkonstruktioner fungerar i olika klimat, representerande hela Sverige. Däremot kan olika ytterväggar ge varierande förutsättningar med hänsyn till risken för mögelpåväxt.
- KL-träkonstruktioner bör inte utsättas för direkt exponering för uteklimatet och bör alltid väderskyddas under transport och lagring. Konstruktionerna ska heller inte utsättas för relativ fuktighet högre än 90% samt att fuktklass 3 inte får överstigas. Den geografiska placeringen av ytterväggarna utgör även en avgörande faktor för risken för mögelpåväxt tillsammans med de materialegenskaper som KL-träkonstruktionen innehåller. För att försäkra att ingen mögelpåväxt uppkommer ska ytterväggarna inte innehålla plastfolie eller annan typ av ångbroms. Att tejpa skarvarna och andra otätheter anses därför vara tillräckligt för att uppnå god lufttäthet.
- Den normala byggfukten i KL-träkonstruktioner vid relativ fuktighet 80% är 80 kg/m<sup>3</sup>, motsvarande cirka 18 % i fuktkvot. Denna byggfukt hinner efter två år torka ner till en fukthalt som är 56 kg/m<sup>3</sup>, motsvarande cirka 12% i fuktkvot. Uttorkning till jämviktsfuktkvot är även möjlig att uppnå med de vanligaste byggmetoderna.



## 8 Vidare studier

Efter avslutad studie kunde det konstateras att det finns bristfällig kunskap angående limmet som används mellan lamellerna i KL-träkonstruktioner. Även begränsningar vid simuleringar av limskikten i WUFI har varit oundvikliga under processens gång, vilket redovisas under avsnitt 6.3 liksom bristfälliga data i WUFI:s materialdatabas. Som en fortsättning på denna studie, kan praktiska tester göras för att styrka de teoretiska beräkningarna. En annan faktor som även kan vara intressant att studera djupare, är just de möjliga alternativen för KL-träkonstruktion. Sammanfattningsvis kan följande ämnen studeras:

- Analys av limmet mellan lammellagren i KL-trä ur fuktsynpunkt och med risken för mögel
- Analys av mögelrisken när KL-trä används i klimatskalet, en praktisk jämförelse
- En laboratoriestudie om hur limmet och olika typer av lim som finns mellan lammellagren i KL-träet inverkar på uttorknings- och uppfuktningprocessen
- Undersökning av betydelsen av slagregnsinträningen i ytterväggskonstruktionen och dess inverkan på KL-träet med avseende på mögelpåväxt
- Hur lång tid det tar innan KL-träet har uppfuktats
- Betydelsen av invändiga ytskikt
- Att undersöka vilka materialegenskaper som har störst inverka för uppkomsten av mögelpåväxt på KL-träet



## Referenser

- APA. (2012). *Standard for performance-rated cross-laminated timber*. Tacoma: APA - The Engineered Wood Association.  
[https://oregonclt.com/wpcontent/uploads/2015/09/ansi\\_apa\\_standard\\_for\\_perf Rated\\_CLT\\_Oct2012.pdf](https://oregonclt.com/wpcontent/uploads/2015/09/ansi_apa_standard_for_perf Rated_CLT_Oct2012.pdf)
- Arfvidsson, J., Harderup, L-E. & Samuelson, I. (2017). *Fukthandboken: Praktik och teori*. 4. uppl. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Binderholz. (u.å.). *Binderholz CLT BBS* [broschyr]. [2019-04-11].  
[https://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services\\_Kontakt/Videos\\_Download/Prospekte/BBS\\_SV\\_WEB.pdf](https://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/BBS_SV_WEB.pdf)
- Borgström, E. & Fröbel, J. (red.) (2017). *KL-trähandbok: Fakta och projektering av KL träkonstruktioner*. Stockholm: Svenskt Trä.
- Boverket. (2014). Boverkets byggregler, BBR. BFS 2011:6 ändrad t.o.m. BFS 2015:3. Avsnitt 6 Hygien, hälsa och miljö. [2019-02-19].  
<https://www.boverket.se/globalassets/vagledning/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avsnitt-6>
- Boverket. (2014a). Om fukt i byggnader. [2019-02-19].  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/>
- Boverket. (2014 b). Högsta tillåtna fukttillstånd BBR 6:52 och 6:53. [2019-03-13].  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/nyproduktion--fuktsakerhetsprojektering/hogsta-tillatna-fukttillstand-bbr-652-och-653/>
- Boverket. (2014c). Kritiskt fukttillstånd. [2019-03-13].  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/nyproduktion--fuktsakerhetsprojektering/kritiskt-fukttillstand/>
- Boverket. (2015). *EKS Boverkets konstruktionsregler* (webbutbildningen). Växjö: Boverket.  
<http://boverket.onlineacademy.se/external/play/2693> [2019-03-25]
- Boverket. (2017). Beräkning av behovet av nya bostäder till 2025. [2019-01-20].  
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2017/berakning-av-behovet-av-nya-bostader-till-2025.pdf>
- Boverket. (2017a). *Fuktsäkerhet*. [2019-03-14].  
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/>
- Boverket. (2017b). *Fuktsäkerhetsprojektering*. [2019-03-14].  
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/fuktsakerhetsprojektering/>

- Boverket. (2017c). Högsta tillåtna fukttillstånd. [2019-03-20].  
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/hogsta-tillatna-fukttillstand/>
- Boverket. (2018). *Om Boverkets byggregler, BBR*. [2019-03-14].  
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/om-bbr/>
- Boverket. (2019). Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn. [2019-02-01].  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer--aktuell-status/vaxthusgaser/>
- Brandner, R. (2013). Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. Focus Solid Timber Solutions- *European Conference on Cross Laminated Timber (CLT)*. Graz, Austria [2019-03-24]
- Brege, S. Nord, T. Stehn, L. (2017). *Industriellt byggande i trä-nuläge och prognos mot 2025*. Forskningsrapport. Linköpings Universitet. Linköping. DNR LIU-IEI-RR-17/00263-SE
- Burström, P-G. (2007). *Byggnadsmaterial: uppbyggnads, tillverkning och egenskaper*. 2. uppl. Lund: Studentlitteratur AB.
- Byggbeskrivningar. (2017). *Bra att veta om trä*. [2019-03-20]  
<https://www.byggbeskrivningar.se/allmant/bra-att-veta-om-tra/?cid=689>
- CBD, Contemporary Building Design. (2015). *Cross laminated timber- XLAM*. [2019-03-25]. <http://www.cbd.si/en/timber-structures/cross-laminated-timber-xlam>
- Esping, B., Salin, J-C. & Brander, P. (2005). *Fukt i trä för byggindustrin: fuktegenskaper, krav, hantering och mätning*. Stockholm: Sveriges provnings- och forskningsinstitut (SP).
- FPIinnovations & Binational Softwood Lumber Council. (2013). CLT Handbook: Cross-Laminated Timber. Pointe-Claire, Canada: FPIinnovations
- Fuktcentrum. (2018). Klimatdatafiler för fyra svenska städer. [2019-02-20]  
<http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg-och-hjaelpmedel/publikationer/informationsskrifter/klimatdata-foer-fuktberaekningar/>
- Glass, V.S., Wang, J., Easley, S. & Finch, G. (2013). Enclosure: building enclosure design for cross-laminated timber construction. I Karacabeyli, E., Douglas, B. & FPIinnovations. *CLT handbook: Cross-laminated timber*. America: U.S. Edition.  
[https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2017/12/CLT\\_USA-Complete-document-Think\\_Wood.pdf](https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2017/12/CLT_USA-Complete-document-Think_Wood.pdf)
- Gereke, T., Niemz, P. & Sonderegger, W. (2010). Study on the Influence of the Bond Line Diffusivity on Moisture-Related Stresses and Deformations of Three-Layered Spruce



Cross-Laminates: *11th International IUFRO Wood Drying Conference*; Skellefteå, Sweden 18-20 januari 2010.

Gross, H. & Hansson, T. (red.) (1991). *Träbyggnadshandbok. 9, Material*. Stockholm: Träinformation.

Hagentoft, C-E. (2002). *Vandrande fukt strålände värme:så fungerar hus*. uppl. Denmark: Studentlitteratur.

*Hus & hälsa. 2, Fukt*. [Ny utg.] (2000). Stockholm: Byggnadsrådet.

Jacob, M., Harrington, J. & Robinson, B. (2018). *The Structural Use of Timber: Handbook for Eurocode 5: Part 1-1*. Ireland: COFORD.

Johansson, E. & Svenningsson, A. (2018). *Delamination of Cross-laminated timber and its impact on fire development. Focusing on different types of adhesives*. Lund: Examensarbete.

Karnehed, P. (2017). Fuktsäkerhet byggande: Vid byggande i massivträ. *Husbyggaren*, 52(3), ss. 31-34. [https://issuu.com/husbyggaren/docs/hb\\_2017-3\\_170526low](https://issuu.com/husbyggaren/docs/hb_2017-3_170526low)

Lepage, R. T. M. (2012). *Moisture Response of Wall Assemblies of Cross-Laminated Timber Construction in Cold Canadian Climates*. Master thesis, Canada: University of Waterloo.  
<https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/6569/>

Mukhopadhyaya, P., Bundalo-Perc, S., van Reenen, D. & Wang, J. (2014). *Mid-rise wood: characterization of hygrothermal properties (Report to research consortium for wood and wood-hybrid mid-rise buildings)*. Kanada: National Research Council Canada.  
doi:<https://doi.org/10.4224/21274573>

*Mögel i byggnader: en kunskapsöversikt*. (1984). Stockholm: Liber distribution.

Nore, K., Mattsson, J., et al. (2014). Cross Laminated Timber vs. timber frame walls in water damage: comparing drying and mould growth. I *NSB 2014* (Full paper no: 157).  
[https://www.nsb2014.se/wordpress/wp-content/uploads/2014/07/Retrofitting\\_of\\_Buildings.pdf](https://www.nsb2014.se/wordpress/wp-content/uploads/2014/07/Retrofitting_of_Buildings.pdf)

PALMATIN u.å. *Teknologi. Internationellt certifierat lim*.  
<http://www.palmatin.com/sv/teknologi/>

Reid, S. (2012). *Breathing Room: Solutions for Attawapiskat*. Kandidatexamen, Architectural and Engineering Technology. Kamloops: Thompson Rivers University in Canada.  
[https://www.researchgate.net/publication/284550457\\_Breathing\\_Room\\_Solutions\\_for\\_Attawapiskat](https://www.researchgate.net/publication/284550457_Breathing_Room_Solutions_for_Attawapiskat)

Samuelson, I., Arfvidsson, J. & Hagentoft, C-E. (2007). *Få bukt med fukt*. Stockholm: Forskningsrådet.

Sandin, K. (2007). *Praktisk Husbyggnadsteknik*. 2:7. uppl. Lund: Studentlitteratur.

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur.

Skogstad, H.B., L. Gullbrekken, & K. Nore. (2011). Air leakages through cross laminated timber (CLT) constructions. Norway: SINTEF Building and Infrastructure & Moelven MassivTre AS.

[http://www.treteknisk.no/resources/filer/publications/Air\\_leakages\\_in\\_cross\\_laminated\\_timber\\_constructions\\_28022011\\_docx\\_xy7tg.pdf](http://www.treteknisk.no/resources/filer/publications/Air_leakages_in_cross_laminated_timber_constructions_28022011_docx_xy7tg.pdf)

Stora Enso. (2013). *Frågor och svar*. [2019-04-3].

<https://www.clt.info/se/produkter/vanliga-fragor/>

Stora Enso. (2017). *CLT Technical brochure* [broschyr]. <https://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/Technical-brochure-CLT-EN.pdf>

Svensk byggtjänst. (u.å). AMA [2019-03-26]

<https://ama.byggtjanst.se/visa-kod/hus-11/hsd/konstruktioner-av-langdformvaror-av-tra-i-hus>

Svenskt Trä. (u.å). Egenskaper hos barrträ. [2019-02-23].

<https://www.svensktra.se/om-tra/att-valja-tra/fran-timmer-till-planka/egenskaper-hos-barrtr/>

Sveriges Riksdag. (2018). Plan- och bygglagen (2010:900). [2019-02-20].

[https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-bygglag-2010900\\_sfs-2010-900](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-bygglag-2010900_sfs-2010-900)

Sveriges Riksdag. (2019). Plan och byggförordning (2011:338). [2019-02-20].

[https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-byggforordning-2011338\\_sfs-2011-338](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338)

Thelandersson, S, Isaksson, T & Niklewski, J. (2013). *Fuktsäker utformning av klimatskiljande byggnadsdelar med fuktkänsliga material*. Lund: forskningsprojekt WoodBuild.

TräGuiden. (2016). *Fuktkvot och mätning*. [2019-03-10].

<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/>

TräGuiden. (2017a). *Träets egenskaper och kvalitet*. [2019-02-21].

<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/>

TräGuiden. (2017b). *Sortering*. [2019-02-21].

<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/sortering/>

TräGuiden. (2017c). *Limträkonstruktioner*. [2019-03-14].

<https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/>

TräGuiden. (2017d). *KL-trä och Ljud*. [2019-03-28].

<https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/kl-tra-och-ljud/8.4-vaggar/>

TräGuiden. (2017e). *Fukttransport och fuktupptagning*. [2019-03-16].

<https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/fukt/fukt/fukttransport-och-fuktupptagning/>

TräGuiden. (2017f). *Väggar*. [2019-03-22].

<https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/kl-tra-och-ljud/8.4-vaggar/vaggar/>

TräGuiden. (2018a). *Barrträdetts uppbyggnad*. [2019-02-27].

<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/>

TräGuiden. (2018b). Mikroorganismer. [2019-03-15].

<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/bestandighet1/mikroorganismer1/>

Wallentén, P Burke, S, Ekelund, S & Wennerkvist, W. (2018). *Klimatförändringars inverkan på moderna träregekonstruktioner*. Lund: Lund Universitet.

Waugh Thistleton Architects. (2018). *100 Projects UK CLT*. Canada: Softwood Lumber Board & Forestry Innovation Investment.

WUFI. (2016). Moisture Resistance Design (MRD) model. [2019-03-08].

<https://wufi.de/de/wp-content/uploads/sites/9/2016/04/Lund-MRD-model.pdf>

WUFI. (2018). *WUFI® Pro*. [2019-03-08].

<https://wufi.de/en/software/wufi-pro/>

WUFI. (2019). What is *WUFI®*? [2019-03-08].

<https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>

Öberg, J och Wiege, E. (2018). *Moisture risks with CLT-panels subjected to outdoor climate during construction*. Högscoleingenjörsexamen. Byggt teknik och design. Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.

<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1222631/FULLTEXT01.pdf>

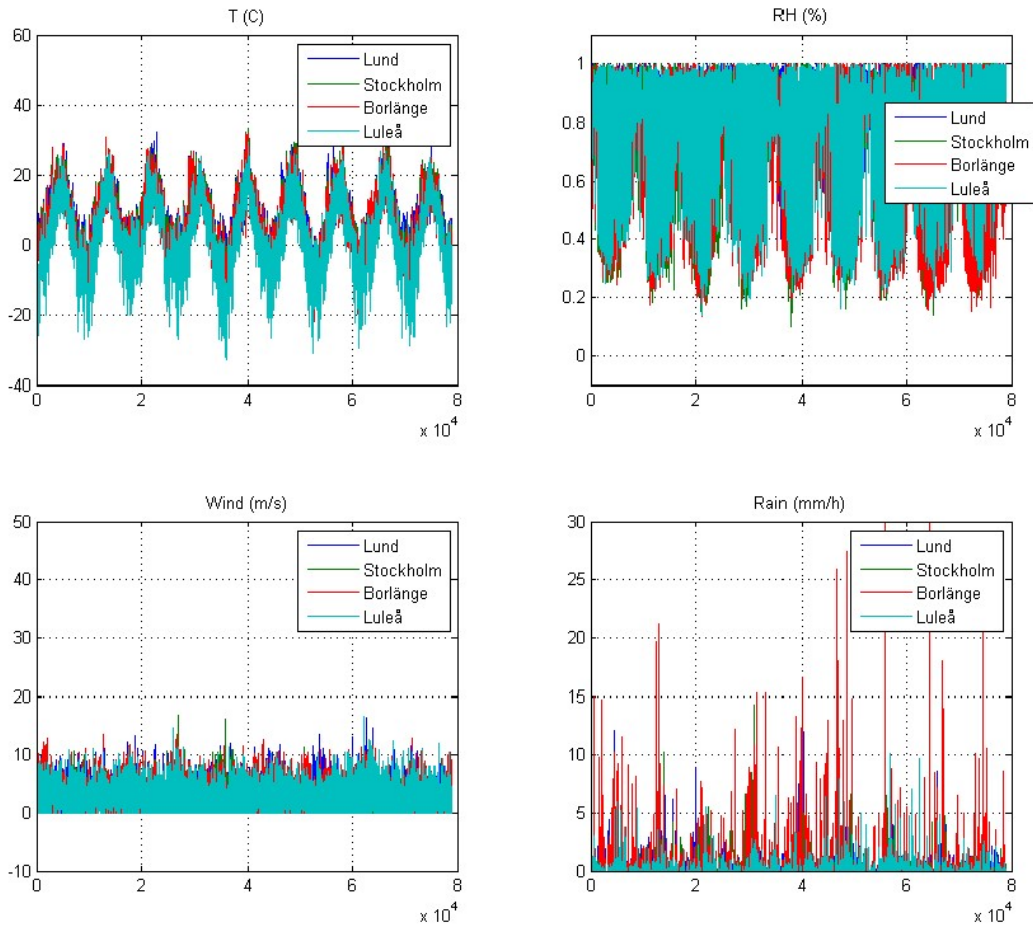


# Bilagor

## Bilaga A- Klimat

### A1 Klimat för alla år och alla städer

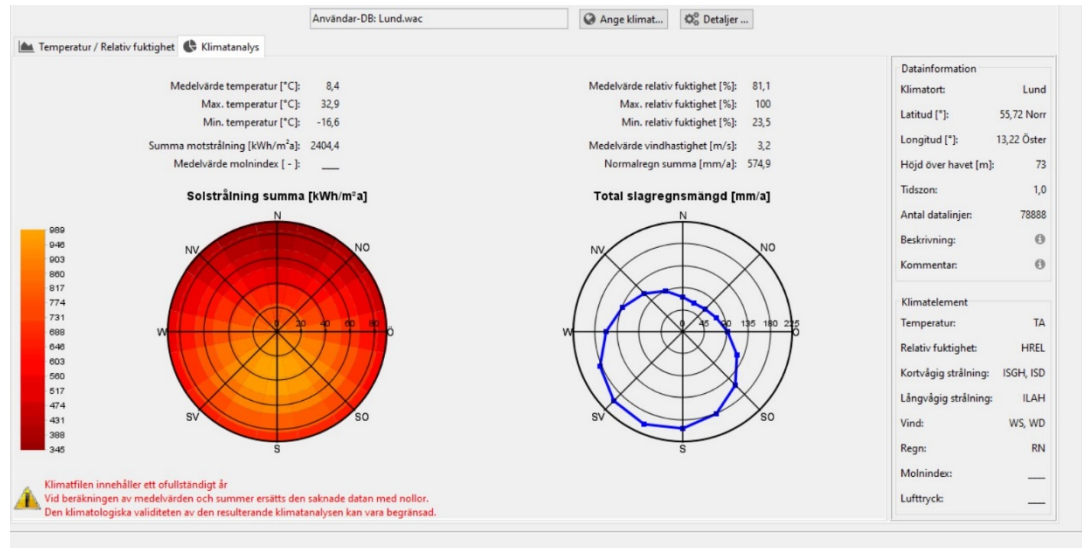
Klimat för Lund, Stockholm, Borlänge och Luleå.



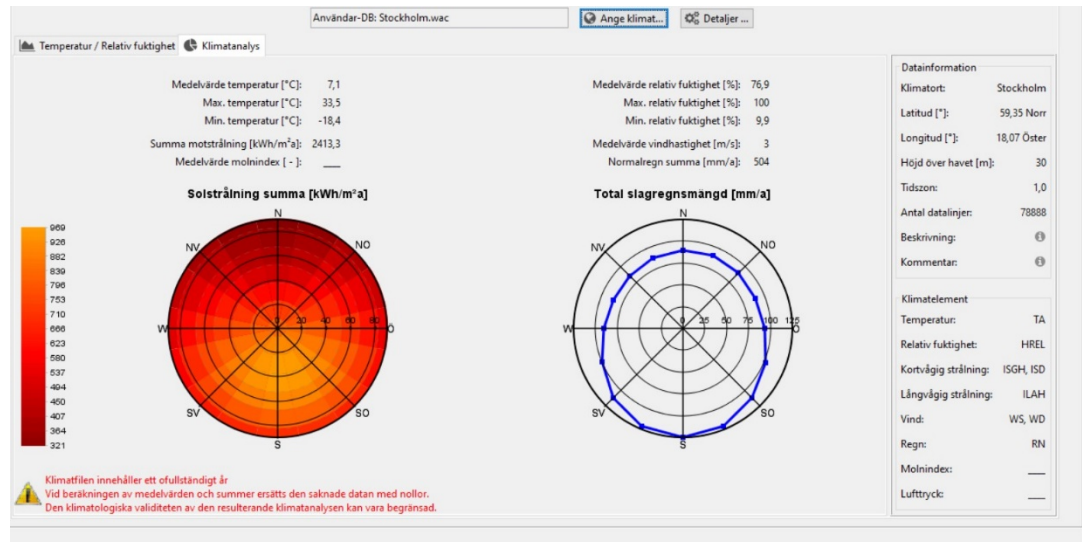
Källa: Fuktcentrum. (2018). Description of data for Heat and Moisture Simulation in Sweden. Lund: Lund University, Building physics.

## A2 Klimatanalyser tagit ur fuktsimuleringsprogrammet WUFI

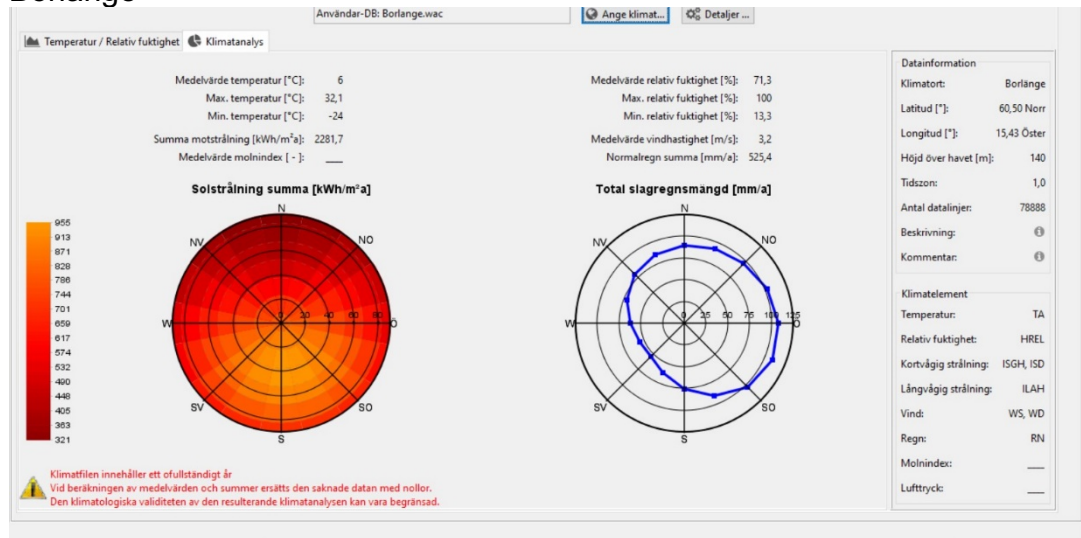
### Lund



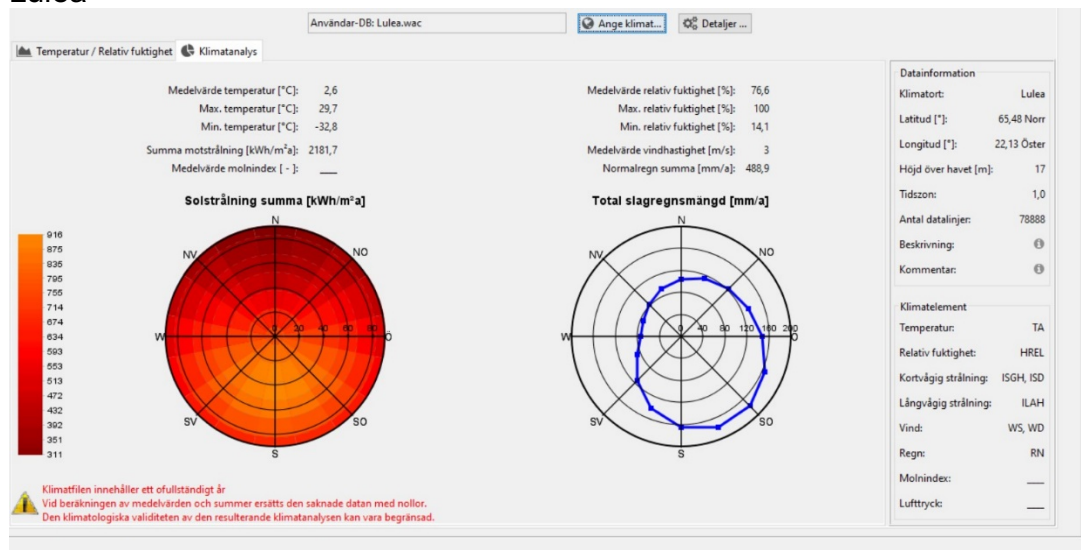
### Stockholm



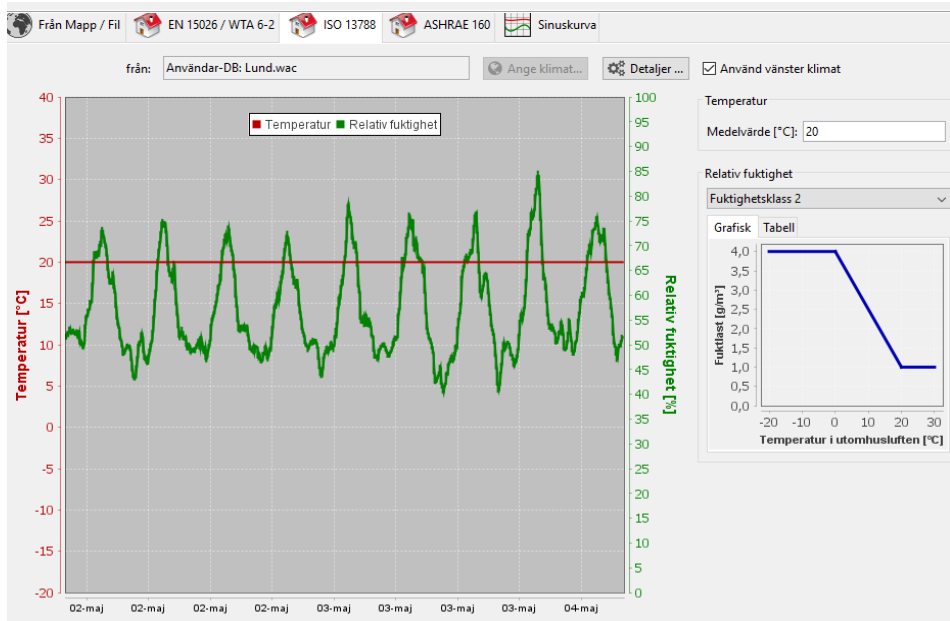
## Borlänge



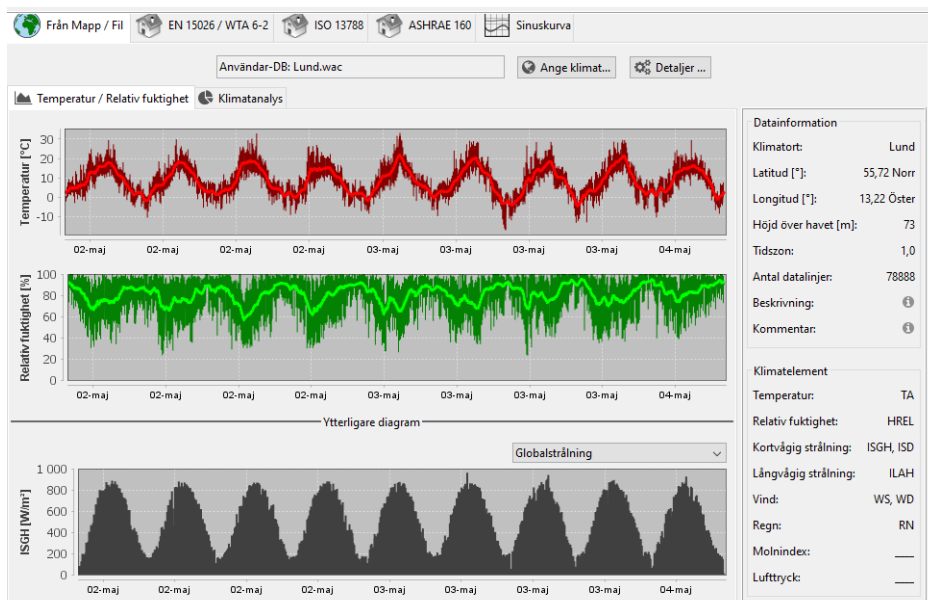
## Luleå



## Lund, inomhus klimatfil.



## Lund, utomhus klimatfil.





## Bilaga B - Materialdata

Denna bilaga innehåller materialdata tagit ur fuktsimuleringsprogrammet WUFI.

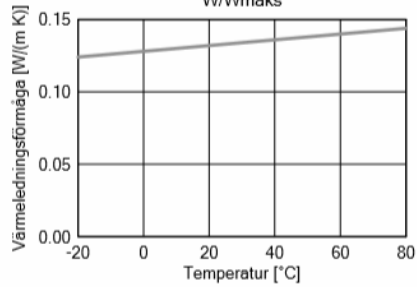
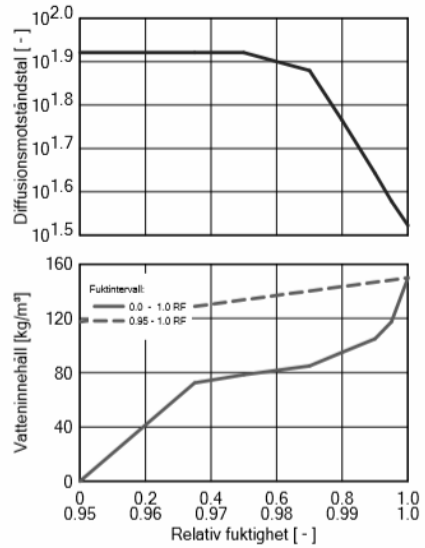
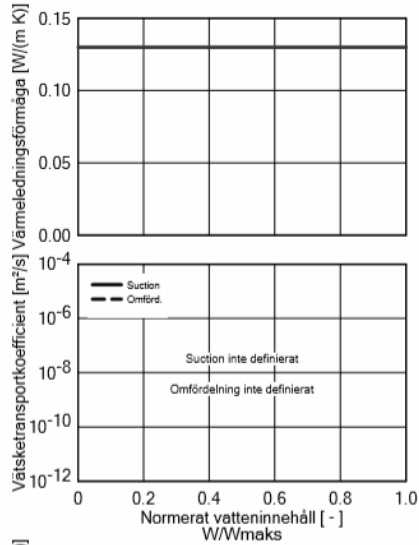
Ingående material i respektive ytterväggskonstruktion.

Material	Yttervägg A	Yttervägg B	Yttervägg C	Yttervägg D
1. Fibercementskiva	x	x	x	-
2. Fasadträpanel	-	-	-	x
3. Luftspalt	x	x	x	x
4. Utvändig gipsskiva	-	-	x	-
5. Mineralull	x	x	x	x
6. Cellplast	-	-	-	x
7. KL-trä	x	x	x	x
8. Invändig gipsskiva	-	x	x	-

WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: Fibercementskiva

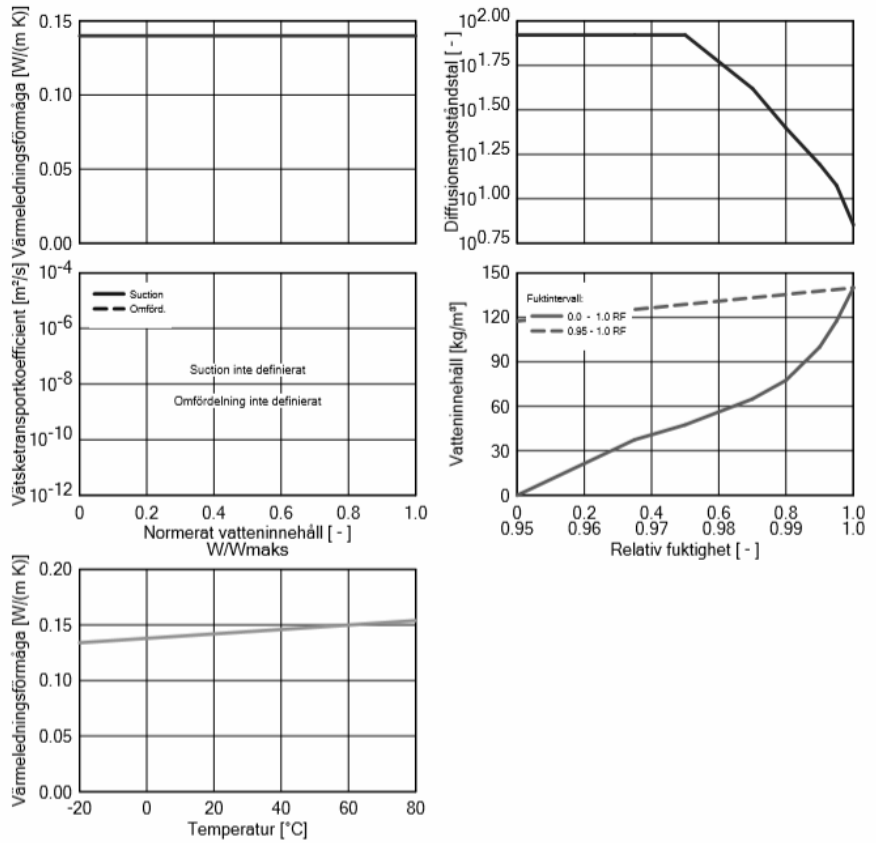
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	1610
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.16
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	850
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	83.3
Temp-ber. Värmeledning, Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: Gran, tangentiellt

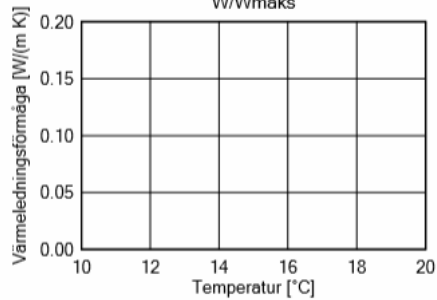
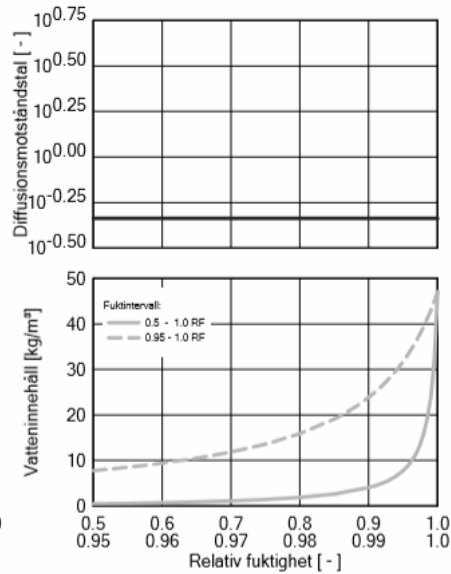
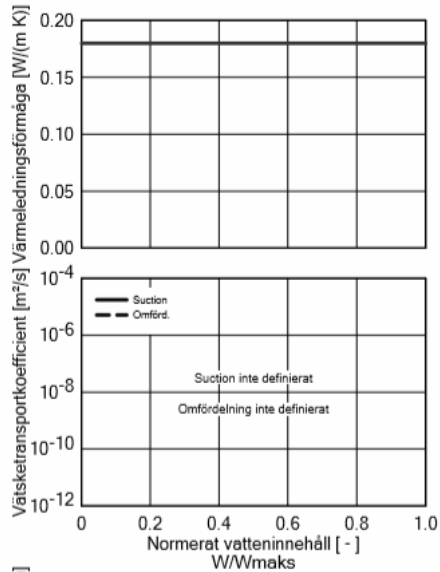
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	430
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.73
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1600
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.14
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	83.3
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: Air Layer 30 mm

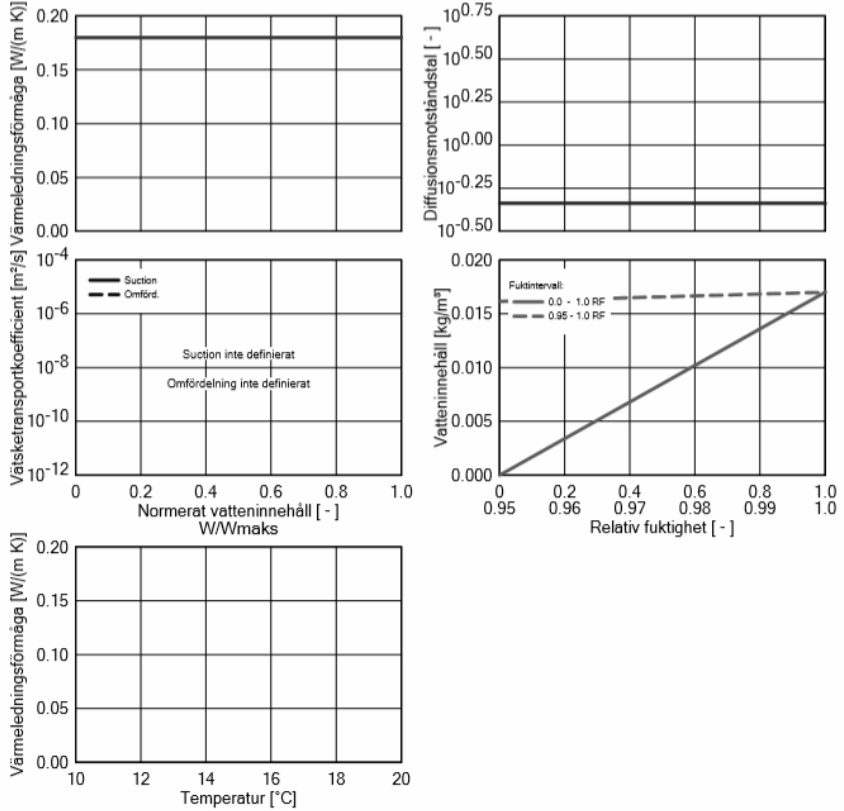
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	1.3
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.999
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1000
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.18
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	0.46



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity

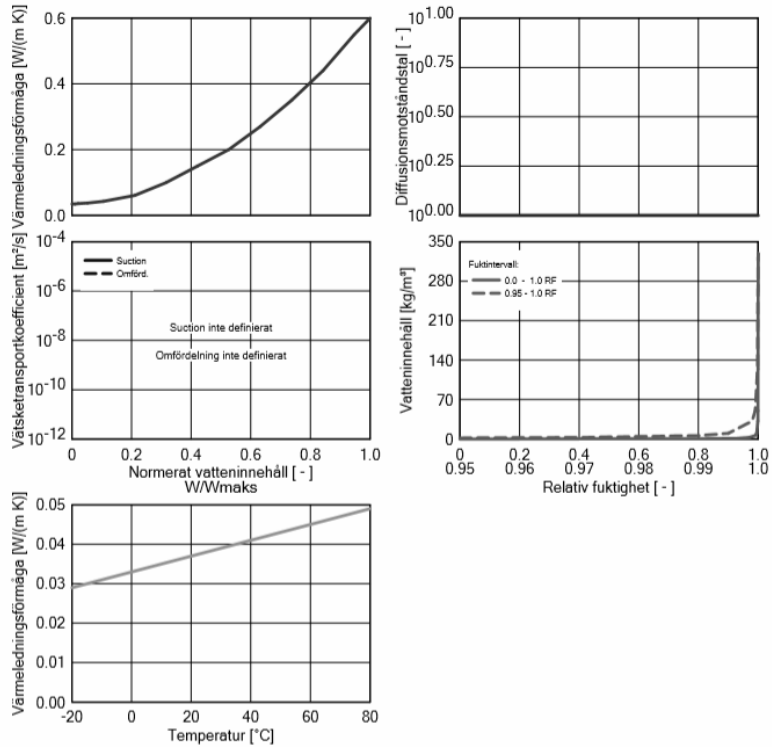
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	1.3
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.999
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1000
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.18
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	0.46



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: ISOVER GW Integra ZKF - 035

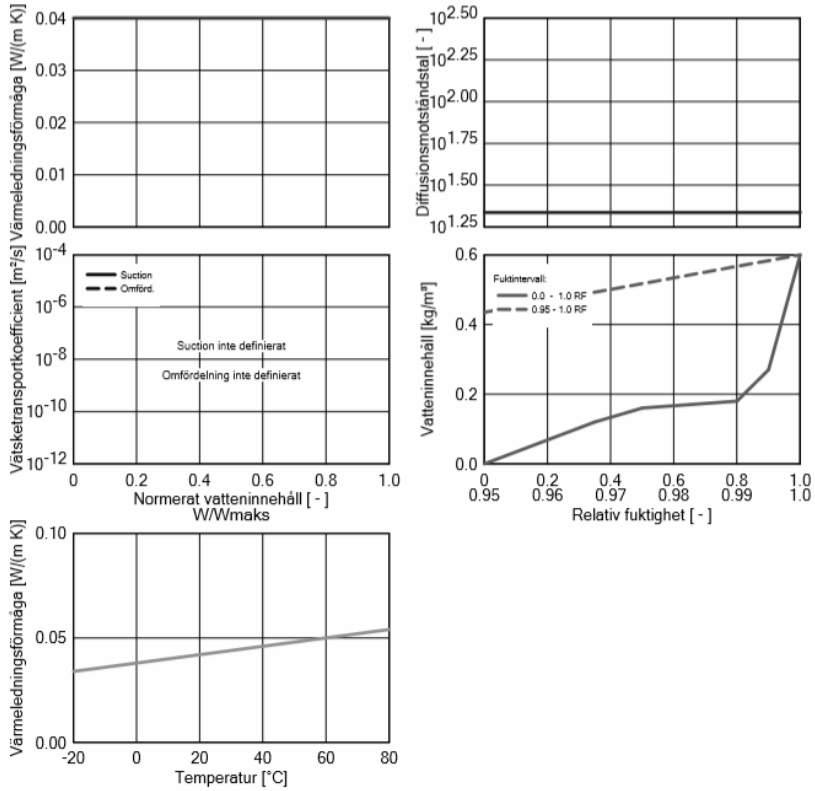
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	21
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.95
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	840
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.035
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	1
Temp-ber. Värmeledning, Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: Cellplast expanderad

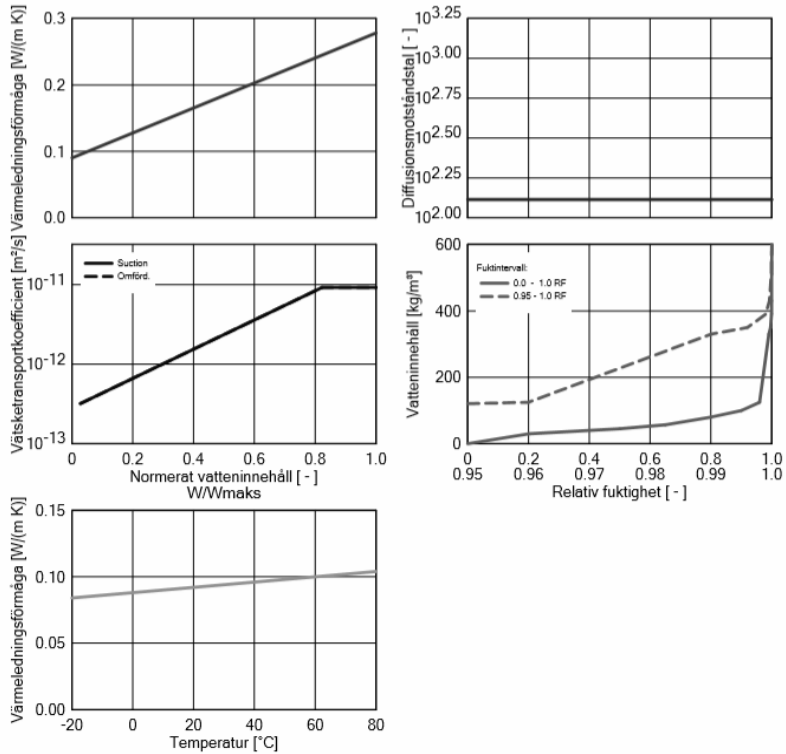
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	20
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.98
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1500
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.04
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	21.7
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: Spruce, radial

Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	455
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.73
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1400
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.09
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	130
Fuktberoende värmeledn. Tillägg	[%/M.-%]	1.3
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002

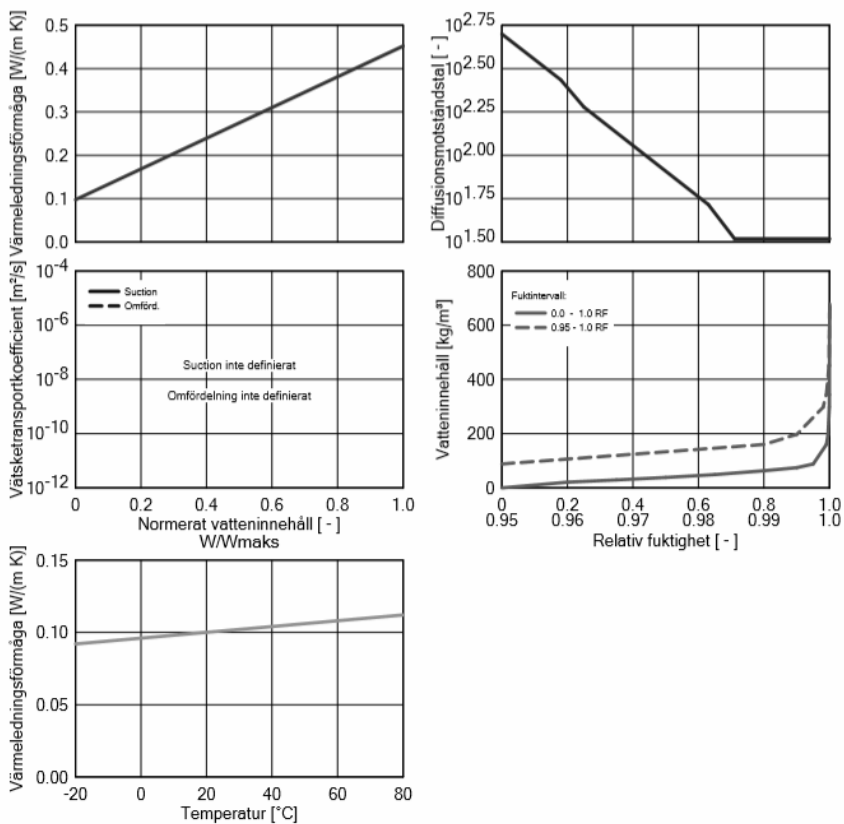




WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: Stora Enso CLT

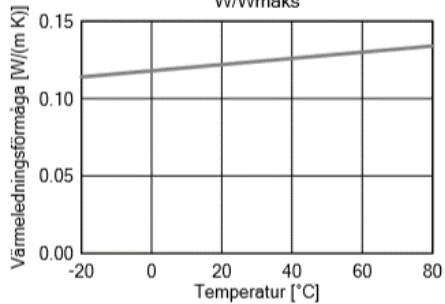
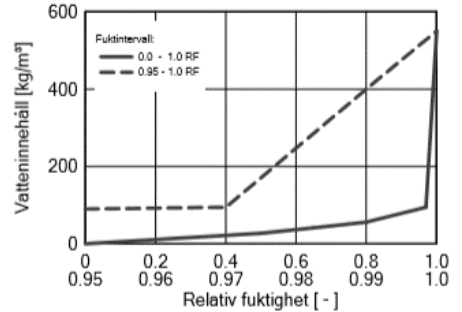
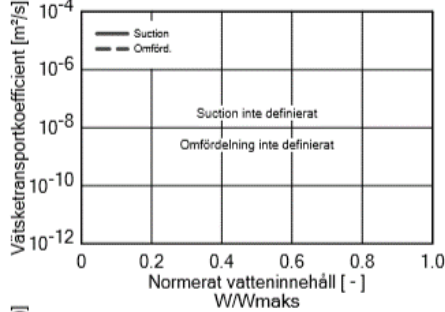
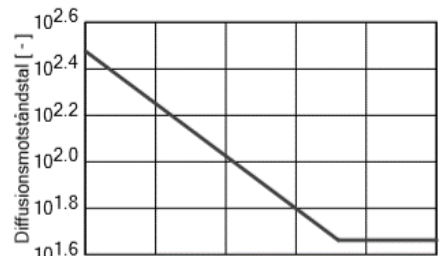
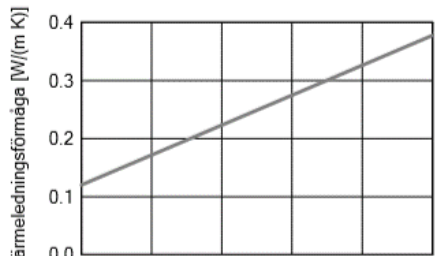
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	410
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.74
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1300
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.098
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	500
Fuktberoende värmeledn. Tillägg	[%/M.-.%]	2
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002
Värmeledning, Dimensionerande värde	[W/(m K)]	0.13



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: KLH Massivholz

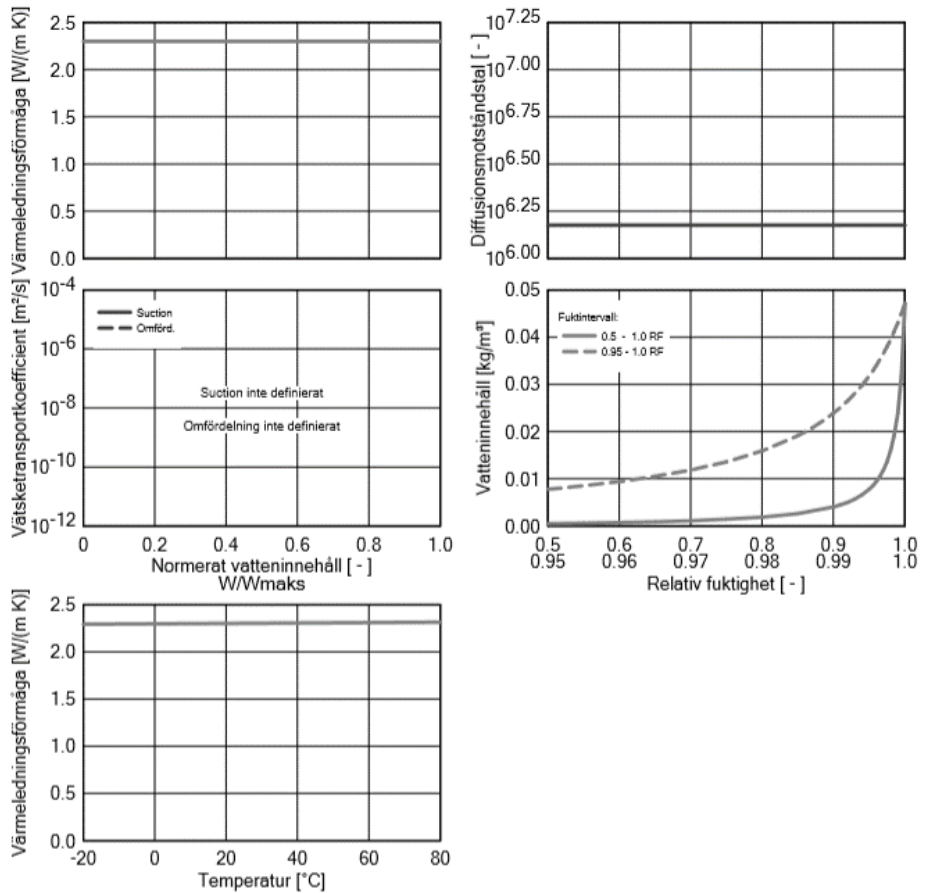
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	423
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.7
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1500
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.12
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	300
Fuktberoende värmeledn. Tillägg	[%/M.-%]	1.3
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: vapour barrier (sd=1500m)

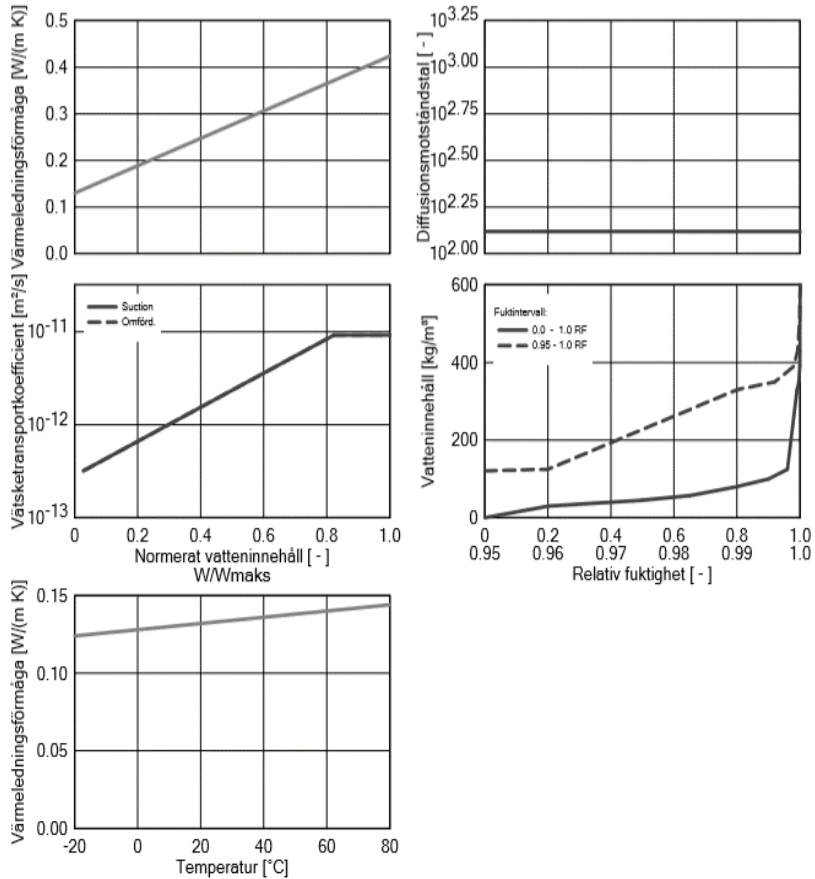
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	130
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.001
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	2300
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	2.3
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[ - ]	1500000
Temp-ber. Värmeledning, Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: \*korslimmat trä (Borgström & Fröbel 2017).

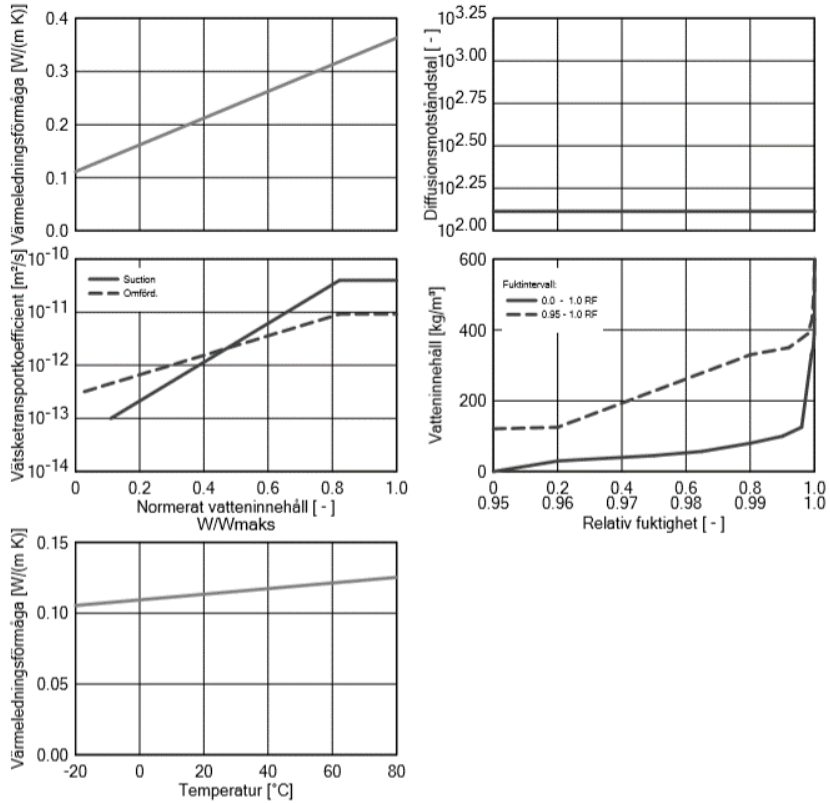
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	420
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.73
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1400
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	131.57
Fuktberoende värmeledn. Tillägg	[%/M.-%]	1.3
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: \*KL-trä (Mukhopadhyaya et al. 2014)

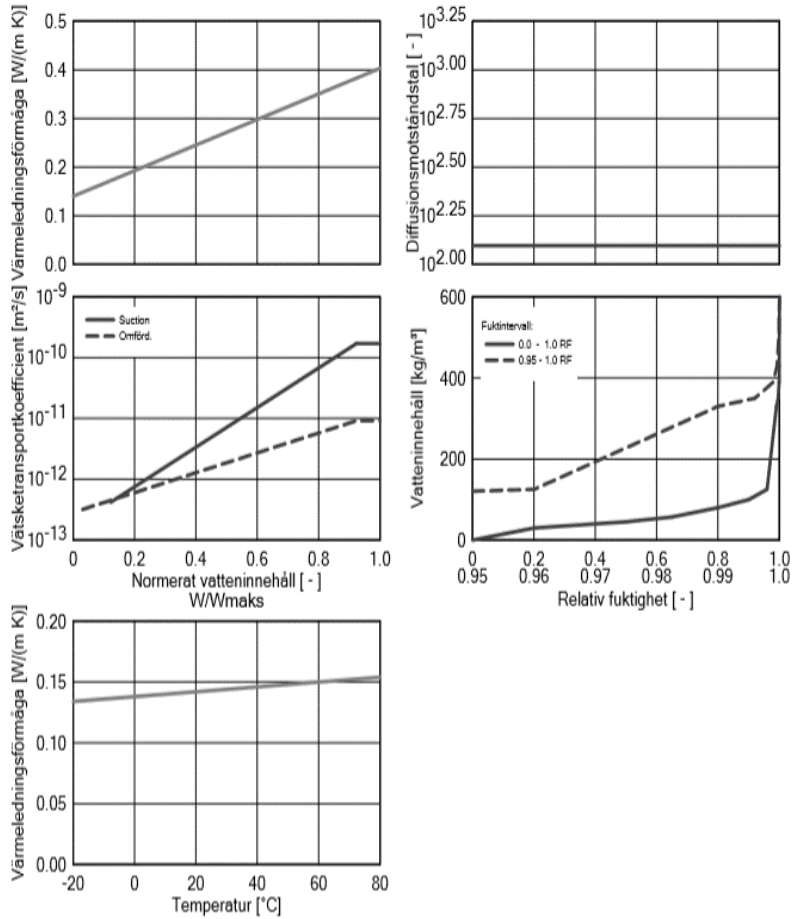
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	420
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.73
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1400
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.1114
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	130
Referens-vatteninnehåll	[kg/m <sup>3</sup> ]	80
Fri vattenmättnad	[kg/m <sup>3</sup> ]	600
Vattenabsorptionskoefficient	[kg/(m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> )]	0,00195
Fuktberoende värmeledn. Tillägg	[%/M.-%]	1.3
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: \*Trä radiellt (Arfvidsson et al. 2017)

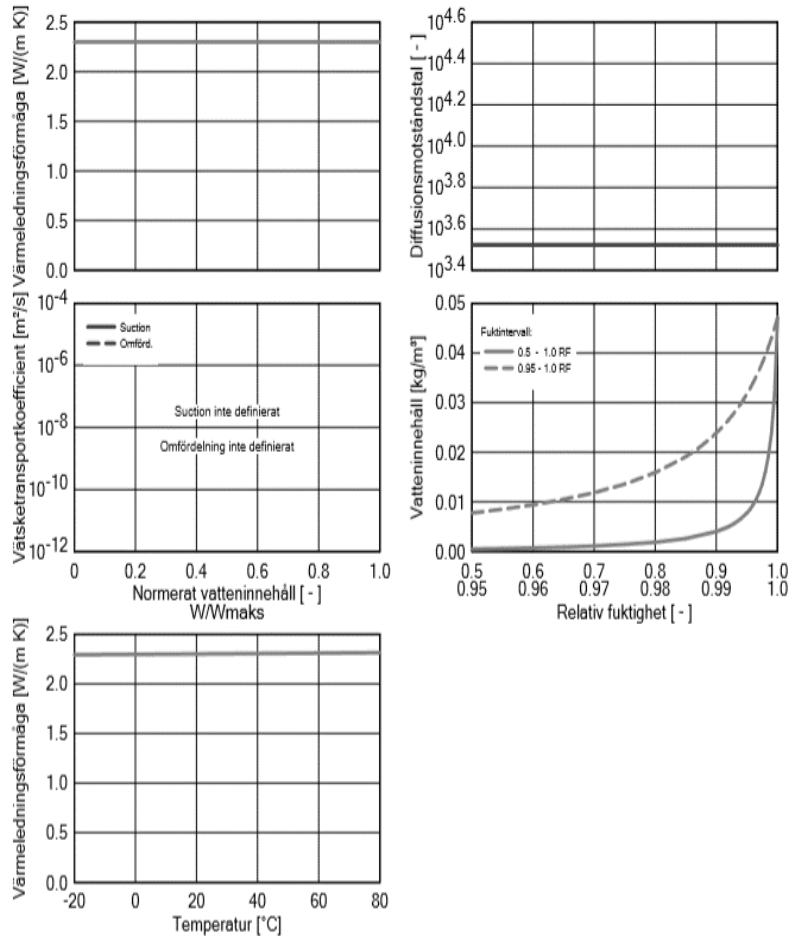
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	450
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.65
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	1400
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	0.14
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	125
Referens-vatteninnehåll	[kg/m <sup>3</sup> ]	80
Fri vattenmättnad	[kg/m <sup>3</sup> ]	600
Vattenabsorptionskoefficient	[kg/(m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> )]	0,004
Fuktberoende värmeledn. Tillägg	[%/M.-%]	1.3
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



WUFI Pro 6.2 NonCommercial

Material: \*vapour retarder (sd=1m) modifierat till lim

Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m <sup>3</sup> ]	1172
Porositet	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.001
Specifik värmekapacitet, torr	[J/(kg K)]	2300
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/(m K)]	2.3
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	3331
Temp-ber. Värmeledning. Tillägg	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0.0002



## Bilaga C- Uppbyggnad av yttervägg B och D med lim

Denna bilaga innehåller uppbyggnad av yttervägg B respektive yttervägg D när lim används i fuktsimuleringsprogrammet WUFI.

Uppbyggnad av yttervägg B

Uppbyggnad/Monitorpositioner | Orientering/Lutning/Höjd | Ytövergångskoefficient

Skiktets namn: Spruce, radial | Tjocklek [m]: 0.040

Utomhus (vänster sida): 0.10, 0.002, 0.15 | Inomhus (höger sida): 0.15, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.04, 0.04, 0.013

Tilldelat från databas: Materialdatabas, Konstruktionsdatabas

Gitteruppbyggnad: Automatisk (II), 100, Fint

Kopiera Copy Auto. gitter för manuell editering



Uppbyggnad av yttervägg D

Uppbyggnad/Monitorpositioner | Orientering/Lutning/Höjd | Ytövergångskoefficient

Skiktets namn: Gran, tangentiellt | Tjocklek [m]: 0,022

Utomhus (vänster sida): 0,020,0,00,0,00,0,002 | 0,1 | 0,12 | Inomhus (höger sida): 0,040,0,00,0,040,0,00,0,040

Tilldelat från databas

Materialdatabas

Konstruktionsdatabas

Gitteruppbyggnad

Automatisk (II)

100

Fint

ppiera Copy Auto. gitter för manuell editerr

## Bilaga D- Intervjuer, studiebesök och diskussioner

### D1 Intervju med Joakim Lyth

<b>Företag/ kontaktperson</b> Wingårdhs Malmö - Joakim Lyth	<b>Datum</b> 2019-12-14
<b>Projekt</b> -	
<b>Intervju gällande examensarbetet:</b> Analys av mögelrisk när korslimmat trä används i klimatskalet - Fokus på ytterväggskonstruktioner	
<b>Fråga 1. Varför har man valt att använda KL-trä som stommaterial? Vilka fördelar ser ni med KL-trä?</b> <i>Fördelar:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Ett sätt att försöka arbeta med fossilfria material och inte använda mycket ändliga resurser.</li><li>- Öka industrialisering och prefabricering för att kunna bygga bättre och billigare bostäder. Därför är KL-trä ett intressant material då det går att förtillverka och inte mycket behöver göras på plats.</li><li>- Med trä uppnås högre grad med precision.</li><li>- Träet kan sågas till exakta former till skillnad från betong som kan vara lite slarvigare. Dessutom kräver betong mer fogmassa för tätning medan trä är redan tätt.</li><li>- Tyst arbetsplats vid montage av KL-träkonstruktioner. Fönster samt dörrar kan monteras snabbt och till exakta mått.</li><li>- Att bygga med KL-trä ger högre kvalitet och kortare tid.</li><li>- Begravnings paviljongen i Stockholm, tog 21 dagar att montera till ett färdigt hus.</li><li>- KL-träkonstruktion är lättare som komplementbyggnad ovanför byggnader.</li></ul>	
<b>Fråga 2. Vilka problem kan tänkas uppkomma med KL-trä?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Akustik, hur stoppar man transmission.</li><li>- Brand</li><li>- Fukt</li></ul>	
<b>Fråga 3. Vilka begränsningar finns med KL-trä?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Transporter bestämmer hur stora elementen kan vara och vad som är rimligt.</li><li>- KL-trä kan komma som platta kompakta paket till skillnad från moduler där mycket luft kan transporteras.</li></ul>	

**Fråga 4. Finns en stor förfrågan av KL-trä från beställare?**

- Det finns en nyfikenhet men det fortfarande dyrare att bygga med KL-trästomme än andra traditionella material, ex betongstomme. Frågan är vem som skall ta den extra kostnaden; är det byggherrar, de som köper lägenhet ska betala mer eller samhället så som staten eller kommunerna. På lång sikt kommer det bli billigare. Det finns en ljus framtid med KL-trä, absolut.

**Fråga 5. Hur öka intresset för KL-trä?**

- Informera mera! Det är som med fordon, elbilar för 10 år sen var det helt ofattbart men förra veckan så invigdes de första elbussarna i Malmö och om några år så kommer det inte vara några bussar som drivs på el. Det är en självklar utveckling mot KL-trä.

**Fråga 6. Hur ser ni på utvecklingen av KL-trä Skåne?**

- I Skåne har man generell motvilja mot trä, man murar helst med tegel ur tradition medan i Småland är det helt naturligt att bygga med trä.

## D2 Intervju med Peter Jacobsson

<b>Företag/ kontaktperson</b> Martinsons - Peter Jacobsson	<b>Datum</b> 2019-03-15
<b>Projekt</b> -	
<b>Intervju gällande examensarbete:</b> Analys av mögelrisk när korslimmat trä används i klimatskalet - Fokus på ytterväggskonstruktioner	
Del 1 Allmänt om KL-trä	
<b>Fråga 1. Hur ser ni på utvecklingen av KL-trä?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Goda framtidsmöjligheter, ger byggnader en god funktion och stora miljöfördelar gentemot traditionella tekniker. Svenska skogen är en fantastisk förnybar resurs som förtjänar att bli nyttjad på ett sätt som matchar träets goda egenskaper. För industrin så finns intresse att kunna nyttja olika utfall av timmerråvaran på ett bra sätt vilket KL trä passar bra till. Med vidareförädlingen ökar vi värdet inom landets gränser, skapar arbetstillfällen och skapar samhällsnytta.</i></li></ul>	
<b>Fråga 2. Vilka utmaningar/ begränsningar anser ni finnas med att välja en KL-träkonstruktion i jämförelse med andra konstruktionstyper?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Största utmaningen utgörs av att det är ett relativt nytt byggmaterial med olika frågor och osäkerheter hos beställare gällande exempelvis brand, ljud och fukt. Avsaknaden av kunskap och erfarenheter hos beställare och förvaltare om kostnadsbild, detaljutformning m.m. skapar osäkerhet som gör att man väljer gå på traditionella material och tekniker.</i></li><li>- <i>Martinsons ansvarar för att producera stommen, men många osäkerheter kan uppkomma vid kompletteringar till stommen. För att bygga förtroende och trygghet för systemen hos beställare och förvaltare sker ett ständigt arbete med att ta fram råd och stöd på utförande av olika lösningar. Anvisningarna kan gälla ljudtekniska lösningar, brandtekniska lösningar och fuktsäkerhetsåtgärder. Branschgemensamma stöd och anvisningar är något som finns idag men som kan och bör utvecklas ytterligare och som Martinsons försöker driva fram med andra KL-trätillverkare.</i></li><li>- <i>Hur en KL-träbyggnad kan uppföras utan användning av heltäckande våderskydd är ett exempel på område som det jobbas med i ett forskningsprojekt och där vi jobbar för ytterligare projekt på detta tema.</i></li></ul>	
<b>Fråga 3. Vilka träslag använder ni i era KL-träkonstruktioner?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>All trä som används kommer från närområden med normalt 10 mils radie. Mestadels används gran men även furu kan förekomma beroende på efterfrågan på ytkvaliteten. Virket som används har hållfasthetsklass C14 och C24.</i></li></ul>	

**Fråga 4. Vilka för-och nackdelar ser ni med KL-trä?**

*Fördelar:*

- *Minskad miljöpåverkan enligt LCA- analyser i jämförelse med betong. Ju längre livslängd en träbyggnad har, desto mer koldioxid som lagras.*
- *Ett förnybart material och inte en ändlig resurs.*
- *Sund inomhusklimat uppnås under bruksskedet.*
- *God arbetsmiljö då en tyst arbetsplats kan uppnås under byggskedet.*
- *Snabbt uppförande.*
- *Estetiska fördelar, utseendemässigt. Möjligheter till synligt KL-trä inomhus.*
- *Kostnadseffektiv lösning*

*Nackdelar:*

- *Organiskt material vilket innebär att fukt kan ställa till bekymmer varför det är viktigt att jobba med fuktsäkerheten tidigt i projektet.*
- *Fuktrörelser i trä, dock har fuktrörelserna låsts till större del i KL-trä då lamellerna är korslagda.*
- *Lätt och styvt, slutlig akustikprestanda kräver kunskap om byggnader med trästomme.*
- *Trä är ett brännbart material och kräver kunskap om trä och brand för byggnader med trästomme.*

Del 2 KL-trä som konstruktionsmaterial

**Fråga 1. Vilka utmaningar anser ni finnas med KL-trä när det gäller fuktsäkerhet?**

- *Inga långa exponeringar för oväder, KL-trä bör inte utsättas för klimatklass 3 i bruksfas.*
- *Få entreprenören att förstå vikten av fuktfrågor, ta frågorna seriöst och avsätta resurser för undersökningar och lösningar.*
- *Bättre tidsplanering för att kunna uppnå ett fungerande fuktskyddsarbete. KL-trä ska behandlas som en trästomme, därför är det viktigt att få täta celler allt eftersom för att kunna påbörja uttorkningsprocessen.*
- *Lagrat material ska skyddas på plats. Inträngtt vatten ska ledas bort och inte bli stående i konstruktionen.*
- *Välplanerat och tydliga ansvarsroller i fuktskyddsarbetet är en mycket viktig del.*
- *Mögelpåväxt som uppkommer på stommen tas normalt bort mekaniskt, genom slipning eller t.ex. kolsyreblästring. Finns även dukar som spärrar emissioner, saneringsmedel kan möjligen också vara ett alternativ.*

**Fråga 2. Hur säkerställer ni fuktsäkerheten under produktionen av KL-trä?**

- *All produktion sker inomhus. Lamellerna som används i KL-trästommen är nedtorkat till 12% i fuktkvot. Lamellerna hyvlas och limmas sedan ihop. Då denna process är färdig emballeras KL-träskivorna och produkterna mellanlagras normalt på industriområdet en period innan leverans.*

**Fråga 3. Vilka utmaningar anser ni finnas med KL-trä genom hela byggprocessen?**

- *KL-träskivorna paketeras och emballeras innan leverans till byggarbetsplatsen. KL-träkonstruktionerna har under produktionen en fuktkvot på 12%. Väl på arbetsplatsen är det entreprenörens ansvar att kontrollera så att KL-träkonstruktionerna har rätt fuktkvot innan inbyggnad.*
- *När Martinsons även håller i montage av KL-trästommen så kontrolleras fuktkvoten i produkten efter leverans. Mätningarna sker med en s.k. Resistiv fuktkvotsmätning med hammarelektrod. Detta för att säkerställa att uppfuktning inte har skett under transporten. Då stommarna har ställts upp överförs ansvaret vidare till entreprenören att hålla koll på fuktkvoten innan inbyggnad. Detta då materialet kan ha utsatts för nederbörd under tiden då stommen restes upp och då påklädningen av de övriga skikten ska genomföras.*
- *Ytfuktkvoten får inte överstiga 18 % enligt AMA.*

**Fråga 4. Vilken typ av lim använder ni i era KL-träkonstruktioner?**

- *I fingerskarvarna av lamellerna används melaminlim. Mellan skikten/ lamellerna används polyuretanlim. Limmet anses inte vara helt vattentät, viss genomsläpplighet anses finnas.*

**Fråga 5. Används samma sort och tjocklek på de inre lagren av KL-träskivan som för de yttre lagren?**

- *Det kan variera, tjocklekar som 20,30,40,45 mm används mer frekvent än andra. Även hållfasthetsklassen kan skilja sig mellan lamellerna i samma KL-träkonstruktion. Detta för att kunna uppnå en viss total tjocklek på väggen, en viss bärighet men även med hänsyn till brand.*

**Fråga 6. Brukar ni ge särskilda anvisningar eller rekommendationer för hur KL-trästommen bör hanteras?**

- *Vissa konkreta rekommendationer finns då heltäckande väderskydd inte används. Den ena gäller arbete med grund. Det rekommenderas att ytterväggen sätts upp på plastbrickor som bildar en luftspalt mellan väggen och betongen. Detta för träet inte ska fuktas upp av betonggolvet. En duk finns även klistrad på undersidan av KL-träskivan som diffspärr mot den undergjutning som sen görs.*
- *När stommen uppförs ska skarvarna tejpas så att fukt inte ska läcka igenom. Denna lösning visade sig vara välfungerande, vissa utmaningar finns dock vid frost och regn.*
- *Fritt vatten ska inte bli stående på KL-träskivorna och ska aktivt ledas bort från konstruktionen.*

- *KL-träskivor i väggar, särskilt dubbelväggar är det viktigt att ha en kappa som täcker över.*
- *När Martinsons ansvarar för montage är det just dessa åtgärder som brukar vidtas, sen är det upp till entreprenören att bättra på redan befintliga fuksskyddslösningar, se till att täta underliggande våningar innan de stiger uppåt etc..*
- *Det krävs väldefinierade roller och ansvarsfördelning mellan leverantören och beställaren. Det ska framgå tydligt vilka som ansvarar för exempelvis att täcka över skarvarna, schakta ut snön, styra bort vattnet från konstruktionen etc. detta enligt avtal vid montage.*

**Fråga 7. Vilka kunskaper har ni haft med er från tidigare projekt?**

- *Just anslutningen mot grund har förändrats från hur den tidigare såg ut. Att lägga in plastbrickor mellan vägg och grund är en mer passande lösning. Utveckling av andra förbandslösningar som har varit mindre montageeffektiva eller samlat fukt etc.*
- *Montageordningens betydelse, montageplaneringens betydelse och hur det fungerar fuktmässigt.*
- *Det som pågår i nuläget är att utveckla metoder för att fuktsäkra, se vad som fungerar och inte fungerar. Tejpa när det är kallt och fuktigt är exempelvis en utmaning. Att hitta passande metod och utrustning är det som utforskas, ex hur tejpningsen säkras när det är blött ute.*
- *Det är viktigt att följa konceptet "snabbt montage", bygget ska inte bli stillastående. Att få upp stommen relativt fort är också ett sätt att skydda den mot fukt. Därför är det viktigt att metoder finns för att kunna jobba med hög monteringshastighet. Ett bra tempo är att få upp en våning per vecka.*

**Fråga 8. Förväntas uttorkning av uppflyttade KL-träkonstruktioner efter montering ske mot inomhusklimat eller utomhusklimat?**

- *Uttorkningen förväntas ske mot inomhusklimatet.*

**Fråga 9. Hur ska uppkomst av flytande vatten hanteras?**

- *Hur snabbt vattenskada i bruksfas upptäcks är en viktig faktor. Även vilka kompletterande material som har adderats till KL-trästommen har en viss påverkan. Just vattenläckage ska kunna upptäckas relativt fort och förväntas ingen djupare inträngning av fukt till KL-trästommen. Efter uppkomst av sådan skada är det dock viktigt att en torkningsprocess påbörjas.*

### D3 Intervju med Björn Visell

<b>Företag/ kontaktperson</b> Nock Massiva Trähus - Björn Visell	<b>Datum</b> 2019-03-27
<b>Projekt</b> Prefabricerade flerbostadshus	
<b>Intervju gällande examensarbete:</b> Analys av mögelrisk när korslimmat trä används i klimatskalet - Fokus på yttervägskonstruktioner	
Del 1 Allmänt om KL-trä	
<b>Fråga 1. Hur ser ni på utvecklingen av KL-trä?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Trä är ett material som kan användas på flera olika sätt, går att återanvända och återvinna. Trä är även estetiskt tilltalande och skapar ett sunt inomhusklimat och känsla som är svår att uppnå med andra material. Utvecklingen ser därför mycket positiv ut.</i></li><li>- Produktionshastigheten är i nuläget 2 moduler per dag beroende på modulens storlek. En modul kan vara en hel lägenhet, en 1:a eller två delar av en större lägenhet som sedan sätts ihop. Produktionskapaciteten kan fördubblas om större efterfrågan råder och på så sätt kan flera moduler byggas varje dag.</li></ul>	
<b>Fråga 2. Hur länge har ni producerat de prefabricerade KL-träelementen och vilka är era främsta beställare?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Fabriken som producerar färdiga moduler öppnades under mars, 2019. Främsta beställarna är fastighetsägare både privata och kommunala. Första projektet som produceras just nu är beställt från Alingsåshem, kvarteret Pumpan som består av tvåvåningshus med hyreslägenheter.</i></li></ul>	
<b>Fråga 3. Vilken/ vilka träslag använder ni i era KL-träkonstruktioner?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Virket som används i konstruktionerna är av gran. KL-träkonstruktionerna kommer från Österrike där leverantörerna är Stora Enso. En ny fabrik kommer att öppnas inom kort i Grums Kommun där Stora Enso kommer att leverera KL-träkonstruktioner.</i></li></ul>	
<b>Fråga 4. Vilka utmaningar/ begränsningar anser ni finnas med KL-träkonstruktioner marknadsmässigt?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Största utmaningen utgörs av att det är brist på kunskap. Att bygga massiva trähus industriellt uppfattas av många som att bygga fyrkantiga containers, utan det är i själva verket är fina lägenheter som produceras enligt kundens önskemål och beställning.</i></li><li>- <i>Tekniska utmaningar som kan mötas är att det är få som vågar rita och konstruera i trä, särskilt inte för industriell produktion i trä.</i></li></ul>	



- *Vissa utmaningar kan möta arkitekten under de tidiga skeden. Det är särskilt viktigt att de tidiga skedena utförs korrekt så att både ekonomiskt och utseendemässigt godtyckliga resultat kan uppnås.*
- *Eftersom produkterna är helt kundanpassade så krävs det en verifiering av en konstruktör för att kunna påvisa att krav gällande bärlighet och hållfasthet på materialet uppfylls.*

**Fråga 5. Vilka för-och nackdelar ser ni med KL-trä?**

- *Fördelarna med KL-trä är väldigt många, särskilt när det gäller den miljömässiga aspekten. Trä binder koldioxid i större omfattning än andra byggnadsmaterial. En annan fördel är att installationer kan vara förinstallerade i KL-träelementen.*
- *Nackdelarna kan vara ljudkravet för golvbjälklag. För att ljudkravet ska kunna uppnås i golvbjälklaget måste vanligtvis större dimensioner på konstruktionen användas. Begränsningar i utformning av byggnaderna. Rundformade byggnader är svårare att bygga i fabrik och särskilt med KL-trä.*

**Fråga 6. Tror ni att KL-trä är bättre än vanligt trävirke ur fuktsynpunkt?**

- *KL-trä är bättre på att jämna ut fuktrörelserna och behålla samma materialegenskaper. Fukt som tas upp av KL-trä kan avges vid senare tillfälle då fuktinnehållet i rummet är lägre. På så sätt kan KL-trä fungera som fuktutjämnare för inomhusklimatet.*

---

Del 2 KL-trä som konstruktionsmaterial

**Fråga 1. Vilka utmaningar/ begränsningar ser ni med KL-trä?**

- *Inga större utmaningar i samband med fukt. De fabriksproducerade modulerna förses liksom andra typer av byggnader, med en plastmatta i kök och plattor i badrum. Andra åtgärder som krävs för konstruktionen kan vidtas redan i fabrik.*

**Fråga 2. Finns det några fuktrelaterade utmaningar under produktionen av KL-träelementen?**

- *All produktion sker inomhus, därför finns inga utmaningar gällande fukt under produktionen. Modulerna plastas in efter produktion och ställs för lagring eller leverans utomhus. Om inplastningen inte sker på korrekt sätt kan det medföra ett ökat fuktinnehåll i elementen.*

**Fråga 5. Hur har fuktsäkerheten säkerställts under de olika projekten, vilka åtgärder har vidtagits?**

- *All produktion sker inomhus och KL-träelementen är på så sätt väderskyddade. Alla element som produceras plastas sedan in.*
- *Plasten som används är miljövänlig och omvandlas till ånga vid förbränning.*
- *Monteringen på byggarbetsplatsen tar vanligtvis 0.25 arbetsdagar per modul, vilket innebär att 4 moduler monteras per dag. Väl på plats monteras elementen upp så fort för att undvika inträngning av fukt och vatten. Vid besvärliga väderförhållanden, exempelvis slagregn kan monteringen ske vid ett senare tillfälle som inte innebär större risker för konstruktionen.*

- Genom att sätta upp bjälklagen skyddas lägenheterna från inträngning av vatten uppifrån, exempelvis via regn. Takpapp kan även användas för skydda konstruktionen uppifrån, öka tätheten och få på så sätt en säkrare byggnad.

**Fråga 6. Har ni särskilda rekommendationer för åtgärder som kan vidtas på byggarbetsplatsen för att få utökad fuktsäkerhet under produktionsskedet?**

- Heltäckande väderskydd behöver nödvändigtvis inte användas då monteringen av KL-trämodulerna sker fort. Materialet har på så sätt inte hunnit exponeras för fukt under en längre period och därför förekommer heller inga risker.

**Fråga 7. Kan KL-träkonstruktioner fuktskadas vid uppkomst av fritt vatten genom exempelvis målning, val av brandsystem etc.**

- *Skadorna uppstår inte av målning eller brandskyddsmålning. Byggfukten kommer att torkas ut. Det inträngande vattnet från systemet för brandsläckning kommer att rinna ut genom badrummet eller andra ställen för spillvatten. Vid sådana fall där större mängd vatten befinner sig i kontakt med KL-träkonstruktionerna under en längre period kan uttorkning genom fläkt vara ett alternativ. Sprinklersystem är väldigt bra att använda då byggnader över 4 våningar ska byggas för att kunna uppfylla brandkraven. Väggarna behöver således inte öka i dimension.*

**Fråga 8. Vilket vatteninnehåll har KL-trämodulerna efter produktionen?**

- *Vi tar emot CLT-skivor från Stora Enso som är torkade till 12% fuktighetsgrad, efter 2 veckors produktion i inomhusklimat håller de en fuktighetsgrad <12% = ger ej utslag på fuktmätaren som används (= en HPM 3000 B).*

**Fråga 9. Gör ni några fuktberäkningar för de producerade KL-träkonstruktionerna?**

- *Vi följer en fuktsäkerhetsplan vid mottagande, där vi kontrollerar att skivorna håller utlovad fuktighetskvot, vidare torkar skivorna ytterligare under de 2 veckor de är under produktion i inomhusklimat, varefter de väderskyddas med ett helt tätt material som bibehåller fuktighetsgraden de hade när de lämnade inomhusklimatet ( $\leq 12\%$ ).*

**Fråga 10. Hur går uttorkningsprocessen av KL-träskivorna till?**

- *Vi bygger i inomhusklimat enligt ovan, modulerna anpassar sig sedan till relativ fuktighetskvot vid monteringsplatsen vid montage = det inomhusklimat som råder där. Modulerna är skyddade hela vägen fram till montage.*

## D4 Intervju med Lars Olsson

<b>Företag/ kontaktperson</b> RISE - Lars Olsson	<b>Datum</b> 2019-04-02
<b>Projekt</b> -	
<b>Intervju gällande examensarbete:</b> Analys av mögelrisk när korslimmat trä används i klimatskalet - Fokus på ytterväggskonstruktioner	
Del 1 Allmänt om KL-trä	
<b>Fråga 1. Hur ser ni på utvecklingen av KL-trä?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Bra att det finns fler alternativ att bygga på vilket ger fler möjligheter både avseende resursanvändning och tekniska lösningar och funktion mm. Det är viktigt att ta reda på egenskaper och funktion innan man börja bygga med nya material och metoder etc. Det vill säga att byggandet är baserat på tekniskt underlag framför antaganden. Det är för mycket antaganden i branschen vilket gör att dåligt rykte kan uppstå etc.</li></ul>	
<b>Fråga 2. Vilka utmaningar/ begränsningar anser ni finnas med KL-träkonstruktioner i jämförelse med andra konstruktionsmaterial?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Det finns både för och nackdelar med alla material därför är det viktigt att ta reda på dess egenskaper etc. först. KL-trä är ett relativt snabbt sätt att bygga på, utan torktider etc, om det byggs under väderskydd. Materialet har en skaplig värmeisolerande effekt i jämförelse med flesta andra stommaterial. Utmaningar är bland annat att ta fram egenskaper och funktion hos KL-trä.</li></ul>	
<b>Fråga 3. Vilka för- och nackdelar ser ni med KL-trä?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Fördelar: Starkt i förhållande till densitet, liten värmeledning, trevligt material, bearbetbarvänligt och snabbt byggsätt.</i></li><li>- <i>Nackdelar: Ljud-, brand- och fuktkänsligt.</i></li></ul>	
Del 2 KL-trä som konstruktionsmaterial	
<b>Fråga 1. Vilka begränsningar och möjligheter finns med värme- och fuktberäkningsprogramet WUFI 1D när en KL-träkonstruktion ska studeras?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- KL-trä är en homogen skiktad konstruktion vilket betyder att endimensionella beräkningar kan vara lämpliga att utföra.</li><li>- När en KL-träväggkonstruktion innehåller en träregelstomme blir tvådimensionella beräkningar (WUFI 2D) mer passande eftersom en träregelkonstruktion har olika riktningar med olika egenskaper, alltså en inhomogen struktur.</li></ul>	

**Fråga 2. Hur kan limmet som finns mellan KL-trälamellerna påverka uppfuktnings- och uttorkningsprocessen när konstruktioner utsätts för fritt vatten?**

- *Limmet verkar ha stor betydelse genom att bryta den kapillära transporten i konstruktionen. För horisontella KL-konstruktioner, exempelvis ett bjälklag som utsätts för vertikalt fritt vatten, förhindrar limmet i KL-trä fukten från att ta sig vidare ner till andra underliggande lameller, vatten stannar i den första lamellen (detta är ett antagande utifrån iakttagelser).*
- *Uppförandet kan anses vara positivt då inte alla KL-trälameller skadas av det fria vattnet.*
- *Hittills har inga slutsatser kunnat dras gällande torkningsprocessen och hur limmet beter sig.*

**Fråga 3. Ska plastfolie användas i KL-träkonstruktioner?**

- *Nuförtiden är det ovanligt med en plastfolie i KL-träytterväggskonstruktioner, varken på utsidan eller insidan. Speciellt när KL-trä ställs mot den varma sidan.*
- *Ett 7-våningshus byggdes med plastfolie för 10 år sedan.*
- *Vid utförande av ett bjälklag kan förbättringen av ljudegenskaper görs genom att gjuta ytterligare en golvyta ovanpå KL-trä. I syfte att förhindra KL-trä från att ta upp fukt från den pågjutna betongplattan kan plastfolie användas.*

**Fråga 4. Vilka faktorer kan leda till mögelpåväxt under byggskedet och vilka åtgärder kan vidtas för att förhindra tillväxten?**

- *Under byggskedet kan mögelpåväxt komma upp då KL-trämaterialet till exempel läggs utan skydd eller utsätts för fuktkälla, särskilt när byggande sker utan väderskydd.*
- *Åtgärd efter mögelangrepp kan vara bland annat att materialet saneras och att slipa bort alla skadade ytor, även springor för att säkerställa att allt påväxt tas bort. Därefter kan KL-trämaterialet byggas in som vanligt i konstruktionen.*

**Fråga 5. Hur vet man att materialet i byggarbetsplatsen börjat mögla, finns det speciella ställen där mögelpåväxt kan uppkomma?**

- *Det finns inte något speciellt ställe som skadas av mögel, utan om materialet fuktas upp då kan mögelrisken bli stor.*
- *Mögel är mikroorganismer som kan vara svåra att upptäcka med blotta ögat, särskilt på en byggarbetsplats då det krävs mätningar för bland annat fuktillstånd som råder i materialet och att mögelanalyser utförs.*

**6. Vad är gränsen tills KL-trä börja mögla?**

- När följande faktorer föreligger samtidigt kan risken för mögelpåväxt vara så stor att materialet börjar mögla.
  - temperaturen i materialet ligger över ca 5 °C
  - relativ fuktighet i materialet är över 75 % RF
  - under en bestämd tid (ex. några dagar till flera månader beroende på de övriga faktorerna)

**7. Vilka skillnader finns det mellan massivt trä och KL-trä när det gäller mögelpåväxt och sina förutsättningar?**

- *Det är samma material, alltså trä.*
- *Om man jämför träreglar och KL-trä, som oftast byggs med gran, så ses det egentligen ingen skillnad så länge man användes samma träslag.*
- *Vatten kan tränga in mellan skikten i KL-trä vilket försvårar sanering.*

**8. Vid byggande av KL-trä är det viktigt med utförande av väderskydd under byggskedet? Spelar byggtiden någon roll?**

- Risken är stor för mögelpåväxt om man inte skyddar trä från olika fuktkällor under byggtiden.
- I det fall där det inte används väderskydd bör andra åtgärder vidtas.
- Ju kortare byggtid desto mindre risk för exponering för nederbörd.

**9. Vad brukar användas för att skydda ändträ under byggskedet?**

- Det hörs att olika metoder kan utnyttjas, det kan vara genom till exempel att tejpa ändträet, beställa material redan med vax i sina ändar eller genom att täcka ändträ för stående träreglar med en speciell duk som är en vattentät. Men ingen slutsats kan dras om de här metoderna är definitiva lösningar för att skydda ändträet.

**10. Vilken fuktkvot rekommenderas när KL-trä är inbyggt i väggkonstruktionen tillsammans med andra skikt?**

- En fuktkvot som inte överstiger 15%.

**11. Hur lång tid tar det för att byggfukten i KL-träyttervägg torkas ut och vad beror uttorkningen på ?**

- Uttorkningstider beror på var KL-trä befinner sig i väggen. Om det ligger längst ut i väggen så kan det förväntas en jämnfuktkvot som är cirka 15%. När KL-trä befinner sig närmast innemiljö med isolering utanför kan jämviktkvot vara ungefär 10 %.

**12. Är KL-trä bättre än vanligt massivt trä ur fuktsynpunkt?**

- Det är en bred fråga, i första läget så skiljer sig ingenting om det är samma träslag som används.
- Om det jämföras två ytterväggar med KL-trä (5 skikt) och den andra med träreglar (med isolering och gips utan plastfolie) så anses KL-trä vara mer lufttätt.
- Men det som skiljer sig är om vatten kommer in i materialet och suggs upp av KL-trä så vatten rinner inte ut utan samlas i det första skiktet medan i vanligt massivt trä rinner vatten genom hela materialet. Det är inte tydligt om den process hos KL-trä ska betraktas som positiv/negativ ur fuktsynpunkt då andra aspekter bör övervägas som t.ex. hur fort torkningen går till, om vatten samlas i den första skivan, hur kommer den att gå ut.

**13. Vilken fuktkvot brukar KLT levereras med till arbetsplatsen?**

- En fuktkvot som ungefär motsvarar 12%.

**14. Hur stor är den normala byggfukten i KL-träkonstruktioner jämfört med vanligt trä som vanligtvis innehåller 40 kg/m<sup>3</sup>?**

- Byggfukt som ett material innehåller varierade mycket beroende på leveransmetoder, klimatförhållanden under byggtiden som till exempel regn och snö samt hur väl materialet har skyddats under byggtiden.
- Fukten som KL-trä har finns endast i det första skiktet (om det utsätts för vatten som kommer uppifrån). Däremot kan vatten sugas in i ändträ vilket innebär att vatten kan tränga in till mitten.
- KL-trä innehåller knappt någon byggfukt, vanligt med 12% fuktkvot vilket motsvarar ungefär 50% RF (vanligt inomhusklimat).

**15. Hur säkerställs att den byggfukt som en KL-träkonstruktion innehåller kommer hinna torka ut innan mögelrisk eller andra olägenheter uppstår i konstruktionen?**

- Med hjälp av WUFI-programmet kan byggfukt i materialet varieras p.g.a. den varierande relativa fuktigheten som kan läggas in i material i konstruktionen. Om ingen extra byggfukt tillförs till konstruktionen kan 80% relativ fuktighet vara ett godtyckligt värde att utföra fuktberäkningar med. Om KL-trä väderskyddas och byggs in inom några veckor kan exempelvis 65% RF användas.
- Vid extrema förhållanden eller om materialet utsätts för en stor mängd fukt under byggskedet kan den relativa fuktigheten i programmet justeras och ändras till 95% eller upp till 100%.
- I praktiken brukar man mäta fuktkvoten istället för att bestämma den byggfukt som behöver torkas från materialet.

## D5 Intervju med Lars Olausson

<b>Företag/ kontaktperson</b> Liljewall arkitekter - Lars Olausson	<b>Datum</b> 2019-04-15
<b>Projekt</b> Herrestaskolan	
<b>Intervju gällande examensarbete:</b> Analys av mögelrisk när korslimmat trä används i klimatskalet - Fokus på ytterväggskonstruktioner	
Del 1 Allmänt om KL-trä	
<b>Fråga 1. Hur ser ni på utvecklingen av KL-trä?</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- <i>KL-trä är framtidens byggmaterial, om klimatmålen ska klaras av och minska utsläppen inom byggsektorn. Stora volymer förädlas i Sverige och inom några år har man femdubblat tillverkningen. Kommunerna har börjat efterfråga trästommar och då framförallt KL-trä. Trä som material är billigare i jämförelse med andra byggnadsmaterial. Om priset på KL-träskivorna blir lägre så är det ytterligare ett argument som gör KL-trä mer attraktivt.</i></li></ul>	
<b>Fråga 2. Vilka kunskaper har ni haft med er från tidigare projekt med KL-trä?</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Innan Herrestaskolan hade vi inte använt KL-trä i något projekt, inte i någon stor utsträckning i alla fall. Detta var 2012 så det är nu ganska länge sedan vi började kika på det. Men vi hade andra erfarenheter av träbyggande. Jag har en bakgrund som möbelkonservator och har alltid arbetat med trä. På vårt kontor var man ganska nervös och försökte avråda oss från att använda massivträ, men vi stod på oss.</i></li><li>- <i>Konstruktörer och fuktsakkunnig har varit delaktiga i projektet redan i tidigt skede. Miljöanalyser har utförts för alla material i huset och skolan har klassats till Miljöbyggnad GULD.</i></li><li>- <i>För att kunna bidra till utökad kunskap inför kommande projekt har deltagande på olika forskningsprojekt om fukt och trä varit aktuellt samt genom att samarbeta med andra sakkunniga.</i></li></ul>	
<b>Fråga 3. Vilka utmaningar/ begränsningar anser ni finns med KL-träkonstruktioner i jämförelse med andra konstruktionsmaterial?</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Jämfört med betong är KL-trä lätt och miljövänligt -och billigare att framställa på sikt. Jag tror att en kombination mellan KL-trä och limträ är en bra lösning. Även kombinationer mellan trä och betong. KL-trä kan bli klumpigt och mindre flexibelt om det används på fel ställen. Det går åt mycket trä. Där blir konstruktören viktig då hen kan vrida och vända elementen på rätt sätt för att optimera användandet av trä.</i></li><li>- <i>För att lösa olika svårigheter som kan mötas med massiva träkonstruktioner krävs det intresserade konstruktörer. Konstruktörer som är experter på massiva träkonstruktioner kan rita detaljlösningar, lösa akustiska, brandtekniska och fuktrelaterade utmaningar.</i></li></ul>	

- Det har varit viktigt att arbetsplatsen ska hållas torr och ren. Leveranser och logistik är även en viktig parameter att beakta.

**Fråga 4. Vilka för-och nackdelar ser ni med KL-trä?**

- *Nackdelar: Flexibilitet vid exempelvis ombyggnad, där kan limträ i rumsavdelande väggar vara ett bra alternativ. Eller att man har större spännvidder med förstärkta KL-träbjälklag. Mycket material i elementen. Fortfarande ganska dyrt.*
- *Fördelar: Lätt material som kan grundläggas enklare, går fortare att montera och med mindre kranar, Kräver mindre transporter och med de nya fabrikena i södra Sverige blir transporterna korta. Kan återanvändas i nya projekt och bli till andra material och klarar hela livscykeln tillbaka till att bli jord och nya träd. Helt ekologiskt.*

Del 2 KL-trä som konstruktionsmaterial

**Fråga 1. Vilka utmaningar har ni mött i projektet, Herrestaskolan med hänsyn till fukt?**

- *Svårt att beräkna då det är ett nytt material. Rädsla från konsultsidan. Man säkrar upp vilket gör det dyrare.*
- *KL-träkonstruktioner anses vara täta och därför har ingen plastfolie använts. KL-träskivorna tejpades i skarvarna. En fuktsakkunnig har undersökt väggarna och utfört fuktsimuleringar. Till att börja med fanns det en oro för fuktproblem, väggarna modifierades för att till slut godkännas.*

**Fråga 2. Hur förvarades KL-träkonstruktionerna på byggarbetsplatsen?**

- *Inplastade i väntan på montage. KL-träskivorna levereras inplastade till byggarbetsplatsen. Vi önskade att arbetsplatsen skulle tältas in men denna lösning var svår eftersom huset är för stort.*

**Fråga 3. Byggsdes KL-träskivorna in direkt efter leverans?**

- *Ibland ganska lång tid. Vi hade skrivit in att byggplatsen skulle täckas över, vilket inte skedde, så konstruktionen blev utsatt för väder och vind. Leveranserna skedde i etapper.*

**Fråga 4. Vilken fuktkvot hade KL-träskivorna vid leverans respektive inbyggnation?**

- *Vanligtvis levereras KL-träskivorna med en fuktkvot som är 12%. När skivorna byggdes in kunde man börja arbeta direkt utan att invänta uttorkning.*

**Fråga 5. Hur har fuktsäkerheten säkerställts under projektets olika skeden, vilka åtgärder har vidtagits?**

- *Prover har tagits efterhand och fuktmätare monterades in i huset så att man kan mäta fukten över tid. Projektets fuktsakkunnig var med i alla skeden och delar av projektet och godkände lösningarna.*

**Fråga 6. Har det varit nödvändigt att använda plastfolie i era ytterväggskonstruktioner, varför/ varför inte?**

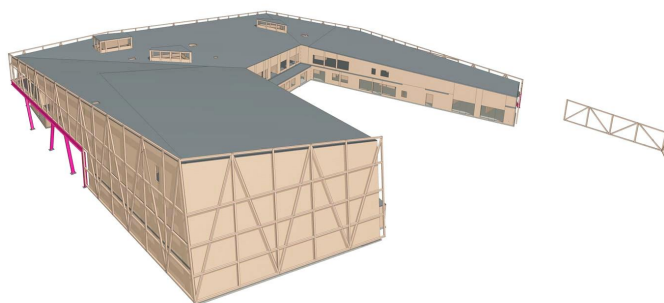
- *Nej, KL-skivorna är täta och skarvarna tejpade och spontade.*



**Fråga 7. Har ni haft problem med mögelpåväxt under projektet?**

- *Påväxt då konstruktionen stod oskyddad. Detta åtgärdades genom att ytorna slipades innan de kläddes in.*

Nedan bifogas figurer och annan information tillhandahållen från Lars Olausson.





## Sweden's very first school completely built with cross-laminated timber

Herrestaskolan in Barkarbystaden, just north of Stockholm, was designed to be at the frontier of sustainable construction through innovative wood construction techniques and a solar power system making the building energy self-sufficient.

Herrestaskolan was completed in 2016, and from the beginning of design phase the ambition was to become a gold-standard example of a low carbon building. The 8,200m<sup>2</sup> school has been built completely in wood using 3,100m<sup>3</sup> of solid timber. Both CLT and glulam have been used to construct everything from the sports hall to the library and canteen.

The school has become a fully integrated part of Barkaby, as its facilities including its outdoor activity park are open for the whole town to use outside of school hours. It has now become a beacon for wooden schools, with Herrestaskolan a centre point for architect lectures; even the school's pupils are even doing work on wood construction.

Herrestaskolan demonstrates how public procurement can drive sustainable change, as the municipality requested that the architects come up with a design purely from wood. To meet the challenge, the architects collaborated with experienced engineers in the UK and local consultants to design a building fit for the 21st century.

The timber construction creates a positive learning environment for Barkaby's junior citizens, and protects their future by storing 2,500 tons of CO<sub>2</sub>eq, with the building certified to the highest Swedish Miljöbyggnad certification standard. With glulam beams over 30 meters long and CLT boards at 16 meters high, Herrestaskolan has pushed boundaries and pioneered public-driven wood construction in Sweden.

### INNOVATION



To create wooden elements to the large dimensions that Herrestaskolan required, the factory had to expand with a new room, and installations were put on large springs to avoid the vibrations from transporting through the wooden slabs.

### ENVIRONMENT



Custom-produced wooden elements results resulted in greatly reduced waste streams and transport requirements during the construction process.

### PARTNERSHIPS



To alleviate concerns on sound, fire and moisture, the project brought together universities with both local and international consultants and engineers, developing new knowledge for use in future projects.

Public buildings

## D6 Kontakt med Per Karnehed

<b>Företag/ kontaktperson</b> Design & Construction AB - Per Karnehed	<b>Datum</b> 2019-04-29
<b>Projekt</b> -	
<b>Intervju gällande examensarbete:</b> Analys av mögelrisk när korslimmat trä används i klimatskalet - Fokus på ytterväggskonstruktioner	
Del 1 Allmänt om KL-trä	
<b>Fråga 1. Hur ser ni på utvecklingen av KL-trä?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Utvecklingen går framåt och det finns ett stort intresse för konceptet och byggsystemet.</i></li></ul>	
<b>Fråga 2. Vilka utmaningar/ begränsningar anser ni finnas med att välja en KL-träkonstruktion i jämförelse med andra konstruktionstyper?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Tyvärr är det många som tvekar eftersom små missar kan ge negativa bakslag i form av minskade vinster för de inblandade aktörerna. Med "traditionella" byggmetoder är kostnaden och vinsten för byggaren och byggherren enklare att kalkylera. Det är ofta inte tekniska brister utan ekonomi i det korta perspektivet som är avgörande. Ser någon en risk väljer man hellre ett ekonomiskt säkrare alternativ.</i></li><li>- <i>Fuktfrågor, brand, ljud och liknande tekniska utmaningar finns det lösningar för om man bara kopplar in rätt kompetens.</i></li></ul>	
<b>Fråga 3. Vilka träslag föredras att användas i en KL-träkonstruktion?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Jag har inga indikationer på att något träslag är bättre eller sämre än det andra. Både gran och furu kan användas så vitt jag vet.</i></li></ul>	
<b>Fråga 4. Vilka för-och nackdelar ser ni med KL-trä?</b> <p><i>Fördelar:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>ett återväxande material</i></li><li>- <i>Väldigt trevligt att jobba med. Inhemsk råvara där det åtgår små resurser för att ta fram ett bra konstruktionsmaterial.</i></li><li>- <i>Den homogena ytan gör det enkelt att få lufttätt, bra konstruktioner med små köldbryggor.</i></li><li>- <i>Det går snabbt att montera.</i></li><li>- <i>Mycket exakta mått med god passform.</i></li><li>- <i>Lätt att bearbeta.</i></li></ul>	

- *Fukttrögt material där det är relativt enkelt att kontrollera eventuella skador och vidta åtgärder för uttorkning eller liknande om så behövs.*

### *Nackdelar:*

- *Det finns inte så många som har byggt hus med KL-trä. Det leder till skepsis eftersom många vill prova själv innan de kan acceptera nya material eller arbetssätt. Där är byggbranschen konservativ eller enkelspårig.*
- *PU-lim som används idag kan ge fortskridande brand i ett KL-element. Andra limmer finns och borde nog användas för att ge säkrare byggnader. Brandtester i andra länder visar att KL-trä kan lämnas exponerat utan skyddande gips eller målning. Det skulle vara av stort värde i Sverige att kunna lämna träet exponerat för att visa på träets goda egenskaper och närmast läkande effekt för psyket, man mår bra av trä.*
- *BBR borde nyansera fuktkraven att virke inte får utsättas för över 75%RF under produktionen. Det går alldeles utmärkt att bygga fuktsäkra hus med KL-trä som det regnar på under byggtid. Träet behöver inte bytas ut eller saneras. Här blir det väldigt konstigt om man är bokstavstrogen mot BBR. Så ser inte verkligheten ut och det kan inte vara BBR:s intention.*
- *Fuktcentrum motarbetar KL-trä och ser inte det positiva med att använda miljöriktigt material. De stirrar sig blinda på risker istället för att diskutera möjligheter. Det är en tråkig situation.*

### Del 2 KL-trä som konstruktionsmaterial

#### **Fråga 1. Hur påverkar limmet som finns mellan KL-träskivor uppfuktnings- och uttorkningsprocess när konstruktionen utsätts för fukt (vätskefas/ ångfas)?**

- *Limmet minskar fuktupptagningen men tränger det in fukt vid ändträ minskar även uttorkningen genom limmet något. Att virket blir helt uppfuktat och att uttorkningen försvåras av limmet i riktiga projekt har jag inte noterat. Virket torkar ut relativt snabbt och limmet tycks inte påverka uttorkningen negativt. KL-träet ligger vanligtvis under 15 vikt-% på djupet trots långvarig exponering för utomhusklimat.*

#### **Fråga 2. Vilka skillnader finns det mellan massivträ, det vill säga massiva träkonstruktioner som inte är limmade och KL-trä ur fuktsynpunkt samt med hänsyn till mögelpåväxt ?**

- *Ingen större skillnad. På äldre timmerstommar som består av staplade stockar utan lim, sväller träet när det blir fuktigt och den kapillära transporten avstannar. Virket fuktas upp långsamt och avger även fukten till omgivande luft snabbt. Obehandlade timmerstockar och byggnader med timmer står emot fukt bra. Det är efter långvarig fuktbelastning från mark eller från läckande tak som nedbrytningen accelererar. Äldre limträkonstruktioner såsom perronger som kan vara 100 år har även de klarat utomhusklimat mycket bra. Vattenavledning från tak och mark verkar vara det kritiska. Ytmögel växer på allt om det finns fukt så det kan inte anses vara något som drabbar varken timmer eller limträ hårdare än andra ytskikt eller material.*

**Fråga 3. Är det nödvändigt att använda plastfolie i en KL-träväggkonstruktion, varför/ varför inte? Om plastfolie används, var i KL-träväggen ska denna befinna sig, närmast insidan eller utsidan av KL-träskivan?**

- *Plastfolie i KL-konstruktioner får inte användas. Det stänger bara inne fukt och riskerar att orsaka skador. KL-trä är i sig tillräckligt lufttätt. Tejpa skarvarna istället eller täta dem på annat sätt så det blir lufttätt.*

**Fråga 4. Vilka är de största/ vanligaste fuktkällorna som kan bidra till mögelskador i KL-träkonstruktioner i praktiken?**

- *Presenningar eller plastfolie som läggs på ytor under byggtid eller när virket håller på att torka under produktionen och tiden efter. Normalt ska virket ner till ca 8 vikt-% under vinterperioden och då måste fukten kunna gå både inåt och utåt för att inte riskera fuktproblem. Enda läget som kan diskuteras att täta utsidan är tak med KL-element. Där rekommenderar jag en helklistrad bitumentätning i form av en helklistrad YEP 2500. Då får KL-träet bara torka neråt. Men tak är alltid lite svårt så här är det viktigare att snabbt få tätt under byggtid samtidigt som taket alltid är diffusionstätt på ovansidan i och med att det är en regnkappa som sällan kan luftas på ett bra sätt.*

**Fråga 5. Är det viktigt att använda väderskydd under byggskedet då KL-trä används i klimatskalet, varför/ varför inte?**

- *Nej. Det skapar mest en falsk trygghet. KL-trä tål fukt och planeras avrinning från ytor på ett bra sätt kan man bygga effektivt utan väderskydd. Men vill man ha väderskydd är det naturligtvis bra oavsett materialval.*

**Fråga 6. Vilken vikt har byggtiden för fuktförhållanden/ risk för mögel i KL-träkonstruktioner?**

- *Att bygga snabbt och få tätt tak är viktigt. Stående vatten som leds neråt under lång tid ger ökade risker för påväxt och missfärgning på KL-träet.*

**Fråga 7. Vad brukar användas för att skydda ändträ i KL-träkonstruktioner under byggskedet?**

- *Inget. Socklar i betong så att det lyfts upp 50 mm från betongytor.*

**Fråga 8. Vilken fuktkvot rekommenderas då KL-träskivor används ytterväggskonstruktioner tillsammans med andra materialskikt?**

- *15 vikt-%. Men aldrig plastfolie eller någon typ av vindduk. Det ger inga bra konstruktionslösningar där fukten snabbt kan torka. Diffusionsöppna material som vindduk, kooltherm eller likvärdigt ska inte användas på KL-trä. Det är bara risker. Det kommer att rinna in vatten under byggtid och det kan man inte skydda sig ifrån. Byggnaden är inte vattentät. Det måste man respektera som konstruktör och materialleverantör. På KL-trä ska bara helt diffusionsöppna isoleringar typ träull, stenull, glasull, hampa etc. användas. När solen lyser ska fukt kunna torka från virket utan att behöva gå genom en "ångöppen" duk eller isolering. Under byggtid kommer KL-träet att fuktas upp. Den fukten måste kunna torka bort utan minsta motstånd. Teoretiska beräkningar duger inte utan vi pratar vattenfickor som oundvikligen byggs in trots alla försiktighetsåtgärder.*

**Fråga 9. Hur lång tid tar det för att byggfukten i en KL-träyttervägg att torka ut och vad beror uttorkningen på? Vilka förhållanden skall råda för att få den ultimata uttorkningen?**

- *Två år ungefär. Från 15 vikt-% ner till 8 tar det två vintrar. Ibland snabbare, men i genomsnitt bör man räkna med den tiden innan allt har satt sig i en ny träbyggnad. Sättningar orsakas av att virket krymper när fukten torkar. Därför har man tvåårsbesiktning inom byggbranschen.*

**Fråga 10. Vilken fuktkvot brukar KL-trä ha vid leverans till byggarbetsplatsen?**

- *10-12 vikt-%. Några element 15, men det är sällsynt.*

**Fråga 11. Hur fungerar KL-trä när den utsätts för inomhusklimat?**

- *Ja. Virket anpassar sig till inomhusmiljön. Se bara till att isolera på utsidan så blir det inga större överraskningar när man bygger bostäder eller lokaler där man har varmt inomhus.*

**Fråga 12. Hur fungerar KL-träkonstruktioner med hänsyn till byggfukt?**

- *KL-träet kan fuktas upp till 22 vikt-% på ytan under regniga perioder. Några centimeter ner är det 10, 15-vikt-%. Får man bara bygget tätt så torkar ytan snabbt ner under 15 vikt-% och en bit ner ligger man då på kanske 12-vikt-%. Undviker man plastfolie eller täta dukar eller isoleringar på utsidan av stommen torkar sedan KL-träet ner till 8 eller 10-vikt% på en vinter. Det är byggfukten som avgår. Beroende på årstid och geografiskt läge anpassas sedan fuktkvoten invändigt till luftens RF. Det är dessa 8 till 10-vikt% som då kan anses vara torrt virke.*
- *Bara i taket är det ok att lägga ett ångtätt, helklistrat bitumentätskikt typ YEP 2500 på KL-träet. I övrigt ska det vara diffusionsöppet.*