



CHALMERS



Fuktanalys av KL-trä

Där luftspalter integrerats i tvärskikten

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

REBECCA NILSSON
TOVE NILSSON

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

EXAMENSARBETE ACEX20

Fuktanalys av KL-trä

Där luftspalter integrerats i tvärsnitten

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

REBECKA NILSSON

TOVE NILSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Sustainable building

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2022

Fuktanalys av KL-trä

Där luftspalter integrerats i tvärsnitten

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

REBECKA NILSSON

TOVE NILSSON

© REBECKA NILSSON, TOVE NILSSON, 2022

Examensarbete ACEx20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2022

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Sustainable building

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2022

Fuktanalys av KL-trä

Där luftspalter integrerats i tvärsikten

Examensarbete inom högscoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

REBECCA NILSSON

TOVE NILSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Sustainable building

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Bygg- och fastighetssektorn står idag för en stor del av de nationella utsläppen av växthusgaser. För att minska andelen utsläpp krävs det en omställning till att bygga i mer hållbara material. Sett till statistik från de senaste 20 åren har det skett en ökning av att bygga konstruktioner i trä. I kombination med att befolkningstillväxten ökar och den uppåtgående trenden av att bygga fler träkonstruktioner, kommer efterfrågan av råmaterial att öka. Därav kan ett behov uppstå av att optimera råvaruanvändningen för att bibehålla en välmående skog. Flera forskare letar efter nya byggnadsmaterial och lätta strukturella väggpaneler för att möjliggöra mer effektiva träbyggnader. En möjlighet att utnyttja den fulla potentialen av korslimmat trä som konstruktionsmaterial kan därför vara att införa luftspalter i panelen. Luft och trä har olika ånggenomsläpplighetsegenskaper vilket medför att den hygrotermiska prestandan kan komma att förändras genom att införa luftspalter i en konstruktion. Genom att designa och tillverka egna paneler med integrerade luftspalter med olika dimensioner och placeringar har ånggenomsläppligheten samt fuktsäkerheten analyserats. Resultatet visade att ånggenomsläppligheten för de egentillverkade panelerna med luftspalter ökade marginellt jämfört med om panelen endast var bestående av korslimmat trä. Vidare konstaterades att fuktsäkerheten för de egentillverkade panelerna inte försämrades genom att integrera luftspalter i tvärsikten. Efter att ha analyserat resultatet går det att konstatera att det finns många anledningar till att välja paneler med integrerade luftspalter istället för paneler endast bestående av korslimmat trä. Fördelarna med att välja paneler med integrerade luftspalter som presenterats i detta arbete är att det blir mer kostnadseffektivt samt att råvaruuttaget minskar vilket i slutändan kan resultera i en mer välmående skog.

Nyckelord: Korslimmat trä, byggbranschen, växthusgaser, råvaruoptimering, luftspalter, ånggenomsläpplighet, fuktsäkerhet

Moisture analysis of CLT

Where air gaps are integrated in the transverse layers

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

REBECKA NILSSON

TOVE NILSSON

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building Technology
Sustainable building
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The construction and real estate sector accounts for a large amount of the national greenhouse gas emissions. To reduce the amount of emissions, a transition to build in more sustainable materials are required. Statistic shows that in the last 20 years there has been an increase in building constructions made by wood. In combination with the increase in population and the trend of building more constructions in wood, the demand for the raw material will increase. This may result in a need to optimize the raw material extraction in order to maintain a prosperous forest. Several researchers are looking for new building materials and lightweight structural panels to enable more efficient constructions by wood. One possibility of utilizing the full potential of CLT as a construction material could therefore be to introduce air gaps in the panel. Air and wood have different vapor permeability properties, which means that the hygrothermal performance can be changed by introducing air gaps into the construction. By designing and manufacturing panels with integrated air gaps with different dimensions and locations, the vapor permeability and moisture safety have been analyzed. The results showed that the vapor permeability of the self-manufactured panels with air gaps increased marginally compared to a panel only consisting of CLT. Furthermore, it was found that the moisture safety of the self-manufactured panels was not impaired by integrating air gaps in the cross layers. After analyzing the results, it can be stated that there are many reasons to choose panels with integrated air gaps that are presented in this work instead of a panel only consisting of CLT. The advantages of choosing panels with integrated air gaps are that it becomes more cost-efficient and that raw material extraction is reduced, which can result in a more prosperous forest.

Key words: CLT, construction sector, greenhouse gas emissions, raw material optimization, air gaps, vapour permeability, moisture safety

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	3
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Mål	4
1.5 Avgränsningar	4
2 KL-TRÄ	5
2.1 Fördelar och nackdelar med KL-trä	6
2.2 Föreskrifter och rekommendationer om fuktskydd	7
3 FUKTTRANSPORT - MEKANISMER OCH DEFINITIONER	8
3.1 Fukttransportegenskaper i byggnadsmaterial	8
3.2 Fukttransportegenskaper i trä	9
3.3 Fukttransportmekanismer	10
3.4 Fuktkällor	11
3.5 Kritiska fukttillstånd	12
3.6 Mikrobiell tillväxt	13
4 METOD	14
4.1 Laborativa mätningar för olika panelkonfigurationer	14
4.2 Analytiska beräkningar	20
4.3 Indata för ånggenomsläpplighet och relativ fuktighet	24
5 RESULTAT	31
6 DISKUSSION	35
6.1 Resultatdiskussion	35
6.2 Metoddiskussion	37
7 SLUTSATS	39

8	REFERENSER	40
9	BILAGOR	43
	Bilaga A – Defekter och kvisthål	43
	Bilaga B – Dimensioner och vikt	43
	Bilaga C – Total tjocklek efter vakuumpress	48
	Bilaga D – Bilder på färdigställda paneler	48
	Bilaga E – Kontrollmätning av paneler och indelningar	49
	Bilaga F – Önskade dimensioner	58
	Bilaga G – Indata för att beräkna ekvivalent värmeledningsförmåga för luft	61
	Bilaga H – Skiktindelning för att beräkna RF	63
	Bilaga I – Indata för paneler bestående av KL-trä utan luftspalter	69

Förord

Detta examensarbete har genomförts som avslutande del av högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och har utförts för avdelningen för byggnadsteknologi samt i samarbete med forskningsgruppen Sustainable building. Vi vill visa uppskattning genom att nämna de personer som hjälpt samt försett oss med information genom vårt arbete. Först vill vi tacka vår handledare Yutaka Goto som gett oss stöd och handledning genom hela projektet. Vi vill även rikta ett stort tack till Peter Lindblom, Tabita Nilsson och Per Lundström som arbetar på Chalmers A-verkstad som bistått med hjälp under tillverkningen av panelkonfigurationerna.

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

Göteborg juni 2022
Rebecka Nilsson
Tove Nilsson

Beteckningar

A	Area, [m ²].
CLT	Cross-laminated timber.
G	Totalt fuktflöde, [kg/s].
KL-trä	Korslimmat trä.
R	Värmemotstånd, [m ² K/W].
RF, φ	Relativ fuktighet. Kvoten mellan verklig ånghalt och mättnadsånghalt, [%].
T_{mn}	Termodynamisk medeltemperatur på ytan och dess omgivning, [K].
U	Värmegenomgångskoefficient, [W/m ² K].
Z	Ånggenomgångsmotstånd. Materialets förmåga att hindra vattenånga från att transporteras, [s/m].
b	Materialets bredd, [m].
d	Materialets tjocklek, [m].
h_a	Värmeöverföringskoefficient genom ledning/konvektion, [W/m ² K].
h_r	Strålningskoefficient för en svartkroppsyta, [W/m ² K].
u	Fuktkvot. Förhållandet mellan fuktinnehåll i kg och mängden torrt material i kg, [%].
v	Aktuell ånghalt. Anger hur många kg vattenånga det finns per m ³ luft, [kg/m ³].
v_s	Mättnadsånghalt. Den maximala mängd vattenånga som luften kan innehålla vid en viss temperatur, [kg/m ³].
w	Fukthalt. Ett mått på hur mycket vatten som finns per volymenhet av materialet, [kg/m ³].
ε	Halvsfäriska emissiviteter, [-].
λ	Värmeledningsförmåga, [W/mK].
δ	Ånggenomsläpplighetskoefficient, även kallad ångpermeabilitet. Beskriver hur snabbt fuktflöde kan transporteras genom materialet, främst genom vattenångdiffusion, [m ² /s].

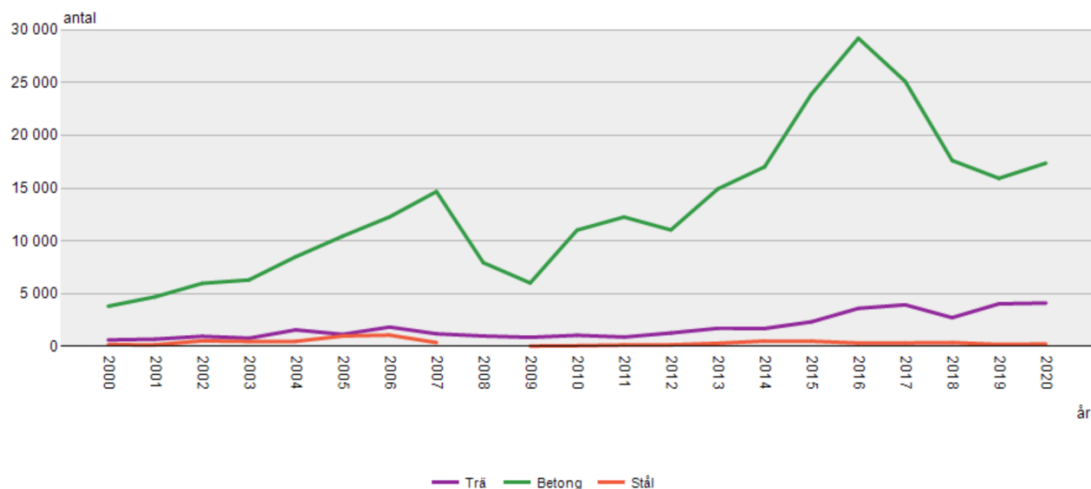
1 Inledning

1.1 Bakgrund

År 2015 antog FN:s medlemsländer Agenda 2030 vilket är ett styrdokument som innehåller 17 globala mål för att arbeta för en mer hållbar värld, där flera av målen angår byggbranschen (Globalportalen, u.å.). Bygg- och fastighetssektorn svarar för 21 % av de nationella utsläppen av växthusgaser, 34 % av landets energianvändning och 35 % av Sveriges avfall där cirka 25 % räknas som farligt avfall (Boverket, 2021). Med tanke på sektorns nationella miljöpåverkan har företag inom denna bransch stora möjligheter att påverka koldioxidutsläppen från byggnader. En åtgärd för att minska mängden utsläpp är att välja hållbara val av byggnadsmaterial (Naturvårdsverket, u.å.).

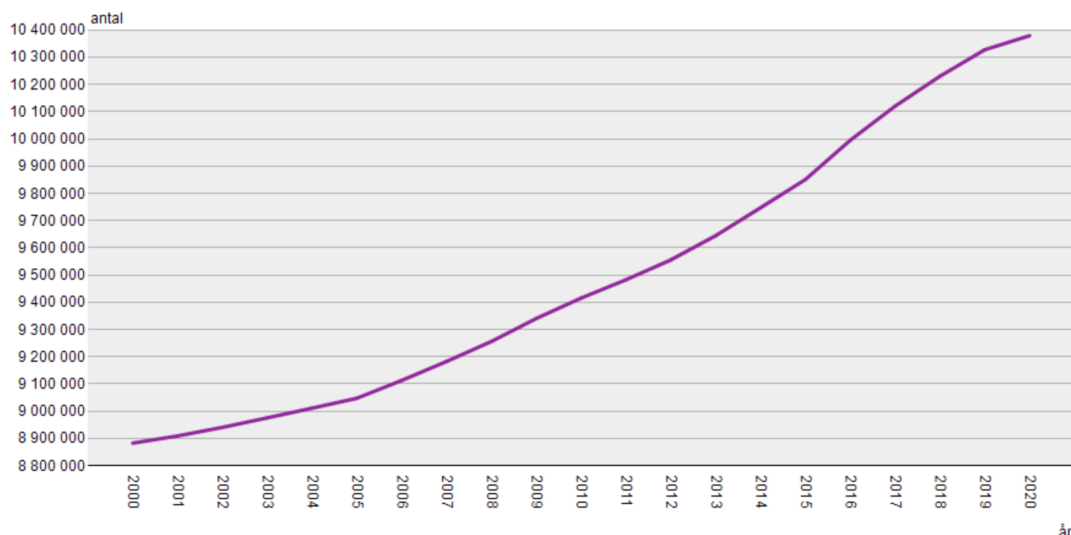
I Erlandsson et al (2018) studerades klimatpåverkan hos nyproducerade flerbostadshus i en livscykelanalys. Baserat på resultatet gick det att se att valet av byggnadsmaterial var av stor vikt när det kommer till utsläpp av koldioxid. Författarna kom fram till att ett val av massiv stomme i korslimmat trä bidrar till betydligt lägre koldioxidekvivalenter per kvadratmeter jämfört med exempelvis en betongstomme, som är ett vanligt konstruktionsmaterial.

Genom att studera flerbostadshus som har byggts under de senaste tjugo åren konstateras att antalet bostäder har ökat markant samt att andelen flerbostadshus med trästommar ökar (SCB, 2020).



Figur 1.1 *Lägenheter i nybyggda ordinära flerbostadshus, antal som prisstatistiken baseras på efter material i husens stomme och år (SCB, 2020).*

Även om det fortfarande främst byggs betongstommar går det att se en uppåtgående trend av att bygga mer i trä. Detta går i linje med den totala befolkningens mängden i landet som har ökat de senaste tjugo åren (SCB, 2021).



Figur 1.2 Folkmängd efter år, totalt (SCB, 2021).

Bostadssituationen är idag problematisk. Befolkningstillväxten i förhållande till behovet av bostäder överensstämmer inte vilket leder till bostadsbrist (Hyresgästföreningen, 2019). Om befolkningsmängden ökar i den takt den tidigare har gjort innebär det att fler bostäder krävs vilket resulterar i en högre efterfrågan av nya byggnader. Det överensstämmer med Boverkets rapport där det framgår att det behöver byggas 600 000 nya bostäder redan till år 2025 (Boverket, 2017). I kombination med ett ökat byggande samt den uppåtgående trenden av träkonstruktioner, kommer vi se en ökning av konstruktioner i korslimmat trä i närliggande framtid.

Sverige är ett land som består av mycket skog och i dagsläget avverkar vi mindre skog än tillväxten, men i samband med att efterfrågan av att bygga träkonstruktioner både nationellt och internationellt ökar kommer vi se en efterfrågan av råmaterial (Svenskt trä, u.å.a), (SLU, 2020). Det krävs stora volymer av träråvaran när träkonstruktioner byggs och för att säkerställa en välmående skog kan behovet av att optimera råvaran så att den används på ett klokare sätt uppstå (Naturskyddsföreningen, 2022).

Byggnadsmaterialens effektivitet är en fråga som bör utvärderas genom olika aspekter av dess livscykel. Materialet ska vara energi-, resurs- och arbetseffektivt i produktions-, transport- och monteringsprocesser samtidigt som det ska klara den hygrotermiska prestandan (Lejavs & Rozins, 2016). Korslimmat trä har varit en stor bidragande orsak till utbyggnaden av träets tekniska möjligheter, särskilt med avseende på strukturell kapacitet. Även om korslimmat trä har fördelar, har det påpekats att produktionen av materialet har för mycket råvaruinsats jämfört med den faktiska nödvändiga strukturella kapaciteten, vilket leder till att kostnaden för en konstruktion av korslimmat trä blir dyrare än nödvändigt. Flera forskare letar efter nya byggnadsmaterial och lätta strukturella paneler för att möjliggöra mer effektiva träbyggnader (Voth, 2009), (Skuratov, 2010). En möjlighet att utnyttja den fulla potentialen av korslimmat trä som konstruktionsmaterial skulle därför kunna vara att införa luftspalter i panelen. Luft och trä har olika fuktgenomsläpplighetsegenskaper och en tidigare studie gjord av Lejavs och Rozins (2016) som implementerade en stor andel små luftspalter i olika riktningar hos cellulärt trämaterial visade att ånggenomsläppligheten ökade avsevärt jämfört med massivt trä.

För att korrekt utveckla en väggkonstruktion är det av stor vikt att utvärdera fuktgenomsläpplighetsegenskaperna för materialet för att undvika fuktskador på strukturer samt för att undvika sjukdomar som skapas av mögel (Lejavs & Rozins, 2016). Enligt Boverket (2022a) ska byggnader utformas så att det inte uppstår problem med fukt eller mikrobiell tillväxt. Eftersom det finns en risk för fuktproblematik i träkonstruktioner är det därför nödvändigt att säkerställs att konstruktionen uppförs på ett fuktsäkert sätt och att materialet som används har ett tillräckligt högt ånggenomgångsmotstånd för att klara den hygrotermiska prestandan (Boverket, 2022c).

Luft och trä har olika fuktgenomsläpplighetsegenskaper, vilket innebär att den hygrotermiska prestandan kan komma att förändras genom att införa luftspalter i en konstruktion. Detta examensarbete kommer därför att arbeta med mätning och analys av ånggenomsläpplighet för olika panelkonfigurationer i enlighet med SS-EN 12086:2013 - *Värmeisoleringsprodukter för byggnader - Bestämning av permeabilitet för vattenånga*. Examensarbetet kommer även utvärdera om det finns någon mögelrisk i de olika panelkonfigurationerna i ett svenskt klimat samt hur luftspalternas dimensioner och placeringar påverkar ovannämnda faktorer.

1.2 Syfte

Detta examensarbete är en del av det pågående forskningsprojektet Next Generation CLT som utförs av forskningsgruppen Sustainable building.

- Det övergripande syftet med forskningsprojektet är att utveckla en ny träbaserad panel för bärande konstruktioner i byggnader. Den nya träbaserade panelen ska uppnå strukturell kapacitet och hygrotermisk prestanda samtidigt som råvaruanvändningen optimeras.
- Syftet med detta examensarbete är att analysera ånggenomsläppligheten samt fuktsäkerheten i egentillverkade panelkonfigurationer av korslimmat trä där luftspalter integrerats i tvärskikten.

1.3 Frågeställningar

- Kan ånggenomsläppligheten förutsägas för panelkonfigurationer med integrerade luftspalter med hjälp av teoretiska beräkningar?
- Spelar skillnaden mellan de olika panelkonfigurationerna någon roll gällande fuktsäkerheten i svenskt klimat?
- Vilken är den bäst lämpade designen av de egentillverkade träpanelerna med avseende på råvaruuttag och ånggenomsläpplighet?

1.4 Mål

Målet är att se om och huruvida ånggenomsläppligheten varierar beroende på utformningen av olika panelkonfigurationer av korslimmat trä där luftspalter är integrerade i tvärskikten. Vidare är målet att se hur fuktsäkerheten i de egendesignade panelkonfigurationerna varierar beroende av olika årstider och städer i Sverige.

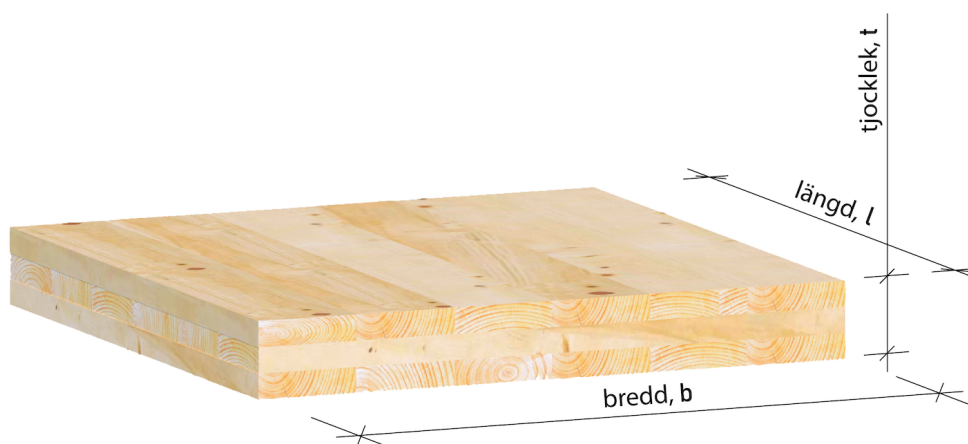
1.5 Avgränsningar

- Den geografiska platsen är begränsad till Sverige och ser till fyra städer som anses ha varierande klimat lokaliserade från norr till söder. De valda svenska städerna är Kiruna, Östersund, Göteborg och Malmö.
- När den relativa fuktigheten i skiktgränserna tas fram har en simplifierad väggkonstruktion använts som enbart består av isolering och korslimmat trä.
- I handberäkningarna har limmets inverkan i de olika skikten inte tagits hänsyn till.
- Arbetet är begränsat till träsorten gran.
- I arbetet används simplifierad data för angivet klimat vilket inte reflekterar verkligheten.

2 KL-trä

Under slutet av 1990-talet introducerades tekniken med att producera korslimmat trä, även kallat KL-trä, i Sverige (Borgström & Fröbel, 2017). Sedan dess har tillverkningen ökat drastiskt och används idag som bärande stommar i skolor, höghus, småhus samt industrilokaler. KL-trä har många användningsområden och karakteriseras av dess stora stomelement i form av väggar och bjälklag.

Korslimmat trä är en byggnadsdel som består av ett udda antal hoplimmade träplankor, även kallade lameller, som utgör massiva träskivor (Borgström & Fröbel, 2017). Träskivorna är placerade i en lagerföljd där vartannat skikt ligger vinkelrätt i förhållande till de angränsande skikten, se figur 2.1. Uppbyggnaden består av minimalt tre och maximalt nio massiva träskivor, där den totala tjockleken på KL-lamellerna varierar mellan 80–300 mm, se tabell 2.1.



Figur 2.1 KL-träskiva.

Tabell 2.1 Vanligt förekommande mått på KL-träskivor (Borgström & Fröbel, 2017).

Parameter	Vanligt förekommande	Förekommer
Tjocklek, t	80 – 300 mm	60 – 500 mm
Bredd, b	1,20 – 3,00 m	Upp till 4,80 m
Längd, l	16 m	Upp till 30 m
Antal skikt	3, 5, 7, 9 st	Upp till 25 st

I Sverige är det vanligast att skivorna består av gran eller furu men även andra träslag kan förekomma (Borgström & Fröbel, 2017). Tillverkningen bör ske utifrån de krav som finns i standarden SS-EN 16351, men varje tillverkare kan upprätthålla egna standardmått på tjockleken och hållfasthetklasser. Varje KL-trätillverkare behöver också uppfylla de produkttegenskaper som har deklarerats i sitt ETA, European Technical Approval.

Tillverkning av KL-trä i produktion

Tillverkningen av KL-trä har en liknande process oavsett tillverkare eller tillverkningsland (Borgström & Fröbel, 2017). De enskilda brädorna fingerskarvas till långa brädor. Efter härdning av fingerskarvarnas lim hyvlas långsidorna. Därefter limmas de samman omedelbart och skivor tillverkas. Skivorna läggs samman till större partier och limmas samt pressas ihop med ett erforderligt presstryck. Limmet behöver därefter härdas och är beroende av vilket lim som har använts samt

temperatur- och fuktförhållandet i limhallen. Hydraulik-eller vakuumpressning är två olika typer av pressningstekniker som brukar användas (Borgström & Fröbel, 2017).. Vakuumpressning ger ett jämnt tryck över hela konstruktionen men med ett mindre presstryck än hydraulikpressning, där varm-eller kallpressning sker. Efterbearbetningen sker genom tillsågning av kanter, utsågning av installationer samt puts av synliga sidor. Skivorna kontrolleras visuellt innan märkning och paketering för transport.

Lim i KL-trä

Lim används i tillverkningen av KL-trä när de massiva träskivorna ska pressas samman (Södra, 2021). Det finns olika typer av lim på marknaden och ett vanligt lim som används är polyuretanlim, även kallad PUR-lim. PUR-lim förekommer vanligtvis i KL-trä samt fingerskarvade produkter men kan också förekomma bland textiler, läderprodukter, skosulor och isoleringsmaterial. PUR är ett reaktivt lim som reagerar med den naturliga fukten som finns på träskivornas ytor. Reaktionen mellan träskivorna och limmet skapar starka bindningar som bidrar till att KL-träet klarar en hög belastningsgrad (Södra, 2021).. Efter reaktionen vid pressning härdar limmet och kan därefter inte reagera med några andra ämnen som komponenten blir utsatt för.

2.1 Fördelar och nackdelar med KL-trä

Eftersom KL-trä är en träbaserad produkt finns liknande för- och nackdelar som för träd. Växande träd binder koldioxid i form av kolföreningar genom fotosyntesen och när träden blivit till en produkt är koldioxiden lagrad under hela dess livslängd (Svenskt trä, u.å.b). Det är dessutom mer fördelaktigt att nyttja skogens resurser då en växande skog binder mer koldioxid än om skogen skulle vara orörd. Trä är en förnybar resurs vilket innebär att uttaget av råvaran inte förbrukar ändliga råvaror (Svenskt trä, u.å.b). Om användningen av trä som byggmaterial ökar, minimeras användningen av andra material som inte är förnybara råvaror.

Trä som byggnadsmaterial genom dess olika faser har många fördelar ur miljösynpunkt (Svenskt trä, u.å.b). Vid sågning och hyvling i produktionsfasen är energibehovet relativt lågt och restprodukterna kan användas som biobränsle till exempelvis sågverkets torkar. Eftersom trä är ett flexibelt material finns många möjligheter att återanvända materialet i användningsfasen vilket leder till att byggnader av trä uppnår en lång livstid. När träprodukten nått slutfasen kan materialet nyttjas som biobränsle och ersätta fossila bränslen (Svenskt trä, u.å.b).

KL-träskivorna ger en stor möjlighet till att formas och behandlas till önskad storlek och många bygglidare runt om i världen börjar inse KL-träets potential samt dess fördelar ur en miljösynpunkt (Borgström & Fröbel, 2017). På grund av utformningen av de korslagda träskivorna uppnås ett tåligt material i förhållande till sin låga vikt och spännvidder på 7,4 m kan uppnås. Utformningen ger dessutom snabba metoder för montage då det finns en hög grad av prefabricering. Detta leder till att byggtiderna kan minska upp till 50 % jämfört med att bygga med platsgjuten betong och därav minskar även kostnaderna (Grindal, 2017).

Ytterligare en fördel med trä är att materialet är lätt vilket är gynnsamt då grundläggning ofta är komplicerad (Martinsons, u.å.). Vid svåra markförhållanden

krävs exempelvis pålning som både är kostnad-och tidskrävande vilket kan undvikas med hjälp av att bygga i lättare stommar av trä.

En nackdel med träkonstruktioner är att det är ett hygroskopiskt byggnadsmaterial vilket innebär att fukt kan ha stor inverkan på konstruktionens egenskaper, därav ställs krav på ett fuktsäkert byggande (Burström, 2021). Den främsta anledningen till uppkomsten av byggnadsskador på trämaterial är en ökning av fukthalten. Det kan leda till att materialet spricker, sväller eller torkar vilket påverkar hållfastheten och beständigheten. Trä tar ständigt upp och avger vattenånga eftersom materialet vill hamna i fuktbalans med omgivningen (Svenskt trä, 2021). För ytskiktet sker denna växling snabbare än för fuktens transport in och ut till materialets inre delar. Därav föreligger en större risk för mikrobiell tillväxt när fuktkvoten för ytskiktet ökar. Ytterligare en nackdel med träkonstruktioner är att priset på råvaran stigit markant de senaste åren, vilket gör det dyrare att uppföra en byggnad i trä mot vad det tidigare varit (Jonsson, 2022).

2.2 Föreskrifter och rekommendationer om fuktskydd

Enligt plan- och bygglagen (2010:900) 8 kap. 4§ ska byggnader uppnå de tekniska egenskaper som är betydande för att skydda människans hygien, hälsa och miljö (Boverket, 2022b). Enligt plan- och byggförordningen (2011:338) 3 kap. 9 § ska byggnadsverk uppföras på ett sådant sätt att ingen oacceptabel risk för användarnas eller grannarnas hälsa kan förekomma, i synnerhet inte till följd av en förekomst av fukt i ett byggnadsverk eller dess ytor. I Boverkets byggregler (2011:6) -föreskrifter och allmänna råd- avsnitt 6:51 finns också krav på att byggnader och dess installationer ska utformas på ett sådant sätt att fukt inte ger upphov till skador, lukt eller mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa eller hygien negativt.

I Boverkets byggregler uppges att fukttillståndet i en byggnad inte får överskrida byggmaterialets högsta tillåtna fukttillstånd (Boverket, 2022a). Det högsta tillåtna fukttillståndet är beroende av materialets kritiska fukttillstånd samt en säkerhetsmarginal och anges som relativ fuktighet eller som fuktkvot. Det är tillåtet att överskrida det kritiska fukttillståndet ifall ingen risk för människans hygien eller hälsa föreligger.

3 Fukttransport - mekanismer och definitioner

Fuktig luft är en kombination av vattenånga och torr luft (Nevander & Elmarsson, 1994). Eftersom en byggnadskonstruktion ständigt är omgiven av luft samt att byggnadsmaterialet är poröst innebär det att luft även finns inuti materialet. Detta medför att porsystemet inuti materialet är i ständig kontakt med luften som finns utanför. Därav blir sambandet mellan luftens fukttinnehåll och temperatur av väsentlig betydelse för att studera materialets förmåga att avge och uppta fukt.

Mängden vattenånga som finns i omgivande luft beskrivs av ånghalten, v (Hagentoft & Sandin, 2017). I normal rumstemperatur innehåller luften ca 20 gram vattenånga per kubikmeter. Mättnadsånghalten, v_s , beskriver den mängd vattenånga som luften maximalt kan innehålla och är beroende av temperaturen. Luften innehåller oftast en lägre mängd vattenånga än vad som maximalt är möjligt. Vanligtvis är luftens tillstånd någonstans mellan helt torr luft och helt mättad luft. Helt torr luft förekommer inte naturligt utan måste med hjälp av specifik teknik framställas.

Den relativa fuktigheten, RF, även benämnd som relativa ånghalten, definieras som kvoten mellan luftens aktuella ånghalt och mättnadsånghalten vid en aktuell temperatur (Hagentoft & Sandin, 2017). Den relativa fuktigheten ger en indikation på var luftens tillstånd befinner sig på en skala mellan helt torr luft och helt mättad luft. När den relativa fuktigheten är 100 % innebär det att luften innehåller en maximal mängd vattenånga, det vill säga mättnadsånghalten. Är den relativa fuktigheten 0 % är luften helt torr och ingen vattenånga råder. Den relativa fuktigheten i Sverige varierar mellan 65–90 % över året och under vinterhalvåret är den som högst medan under sommarhalvåret är den som lägst (Hagentoft & Sandin, 2017). Detta kan vara lätt att förväxla med mängden ånghalt i luften då det råder högre ånghalt under sommarhalvåret och lägre under vinterhalvåret.

3.1 Fukttransportegenskaper i byggnadsmaterial

Byggnadsmaterial har olika beståndsdelar och det leder till att fukttransporten i materialen kommer att vara beroende av porositet, porstorlek i kombination med dess densitet, struktur och kemiska uppbyggnad (Nevander & Elmarsson, 1994).

Porositet och porstorlek

Porositet och porstorlek har stor betydelse för fukttransport och fuktjämvikt (Nevander & Elmarsson, 1994). Ju lägre porositet ett material har, desto lägre är densiteten och hållfastheten. Porerna i materialet är även av betydelse. Öppna porer bidrar till att vatten, ånga och luft har möjlighet att tränga sig in i materialet medan slutna porer bidrar till motsatsen. Ju mindre porstorleken är desto högre är den hygroskopiska jämviktfukthalten eftersom det möjliggör att vatten har möjlighet att bindas hårdare till materialet.

Fukthalt, fuktkvot och densitet

Olika byggnadsmaterial innehåller alltid vatten som är mer eller mindre bundet beroende på materialet (Burström, 2021). Vattnet i materialet kan grovt delas in i förångningsbart och icke förångningsbart. Kemiskt bundet vatten utgör en del av det torra materialets struktur och räknas inte som fukt vilket därav motsvarar det icke förångningsbara vattnet. Kemiskt bundet vatten finns inte i trä men existerar i

exempelvis betong och gips. Förångningsbart vatten definieras som det vatten som avgår när materialet upphettas till 105 °C.

Fukthalten, w , beskriver mängden fukt som är lagrat i ett material och anges i kg/m^3 (Hagentoft & Sandin, 2017). Fukt i ett material kan också benämnas som fuktkvot och definieras som kvoten mellan massan av det förångningsbara vattnet och materialets torra vikt.

Genom att veta densiteten hos ett material går det att karakterisera ett material samt även dra slutsatser om dess porositet (Nevander & Elmarsson, 1994). Genom att veta materialets densitet kan exempelvis omräkningen mellan fukthalt och fuktkvot göras.

Ånggenomsläpplighet

Ånggenomsläpplighet är ett mått på materialets förmåga att transportera fukt (Nevander & Elmarsson, 1994). Detta sker främst genom vattenångdiffusion och ånggenomsläpplighetskoefficienten ökar när fukthalten i materialet ökar. En mer detaljerad beskrivning avseende diffusion finns presenterat i avsnitt 3.3.

Hygroskopisk fukt

Många material är hygroskopiska vilket innebär att de kan avge och ta upp fukt från luften i omgivningen (Hagentoft & Sandin, 2017). Hur mycket vatten som kan lagras i ett material beror på den relativa fuktigheten som finns i materialets omgivning. När vatten lagras i materialet enbart genom sin kontakt med den fuktiga luften kallas det hygroskopisk fukt.

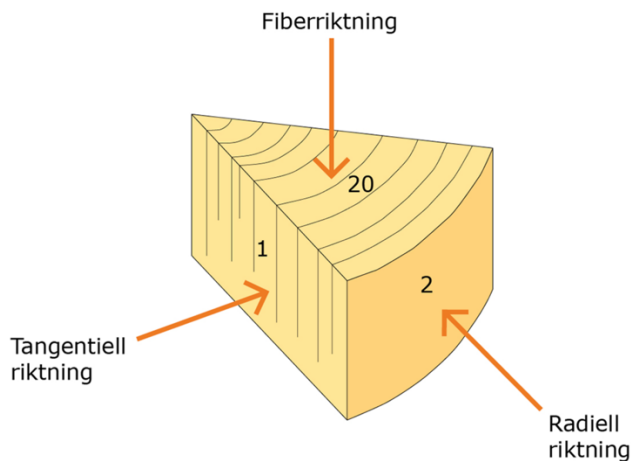
Material binder fukt till en viss volym olika effektivt och detta beror på byggnadsmaterialens egenskaper (Nevander & Elmarsson, 1994). Om man placerar ett material i en miljö med konstant relativ fuktighet kommer till slut materialet vara i jämvikt med den fuktiga luften. Vid detta stadie kommer materialet varken att ta upp mer fukt från luften och heller inte släppa ifrån sig mer fukt till omgivningen.

3.2 Fukttransportegenskaper i trä

Trä är ett hygroskopiskt material där vattenånga kan avges eller upptas till omgivningen (Borgström & Fröbel, 2017). Trämateriel påverkas väldigt snabbt av luftens fuktvariationer och ju högre temperatur, desto snabbare går uttorkningen eller uppfuktningen (Esping et al., 2005). Trä är uppbyggt av fibrer och är ett anisotropt material, vilket betyder att dess egenskaper varierar beroende på riktning, se figur 3.1 (Nevander & Elmarsson, 1994).

Fukt transporteras lättare i fiberriktningen jämfört med radiell och tangentiell riktning. Det beror på att fukt måste gå genom cellväggarna för att transporteras i tvärriktningen. För att visa på skillnaden i uttorkningshastighet mellan de olika fiberriktningarna brukar förhållandet mellan fiberriktningen, radiell riktning och tangentiell riktning uppskattas till 20:2:1. På grund av förhållandet sker ångtransport och kapillärsugning vinkelrätt träfibrerna relativt långsamt.

Vattenupptagningsförmågan är betydligt större i fiberriktningen och det är därför av stor vikt att skydda ändträet med hjälp av något slags fuktskydd (Esping et al., 2005).



Figur 3.1 Proportioner mellan vattenupptagning i olika riktningar (TräGuiden, 2017).

Trä sväller och krymper i tangentiell riktning när fukten i luften ökar respektive minskar och om träet har lägre porositet, alltså högre densitet så blir krympningen desto större (Esping et al., 2005). Trä räknas som ett fukttrögt material och det beror på kombinationen av att det har hög hygroskopisk fukt och låg ånggenomsläpplighet vinkelrätt fibrerna.

3.3 Fukttransportmekanismer

Fukt lagras i byggnadsmaterial och fukten vandrar genom materialet för att uppnå jämvikt med den omgivande miljön (Hagentoft & Sandin, 2017). Fukt kan vandra genom materialet både genom ångtransport och väsketransport. Det är alltid av stor vikt att ta reda på jämviktstillstånd och det är även intressant att ta reda på hur lång tid det kan ta innan jämviktstillstånd eller ett speciellt fuktillstånd uppnås (Nevander & Elmarsson, 1994). Detta tas reda på genom att utföra beräkningar som tar hänsyn till aktuella fuktflödet.

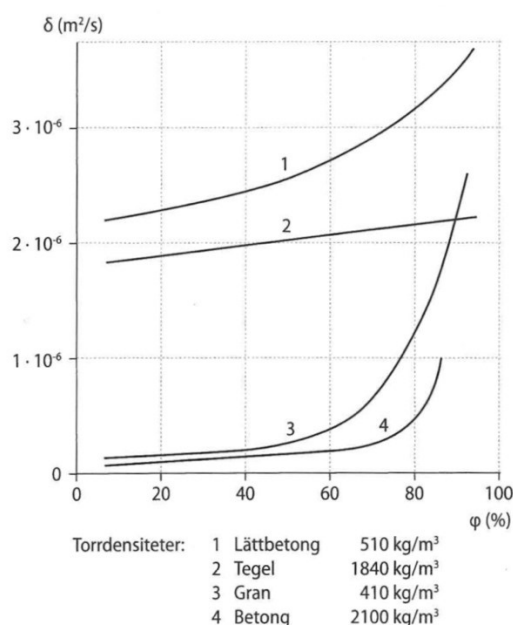
Det finns flera olika aspekter som påverkar fukttransporten i ett material, och några av dessa är materialets värme- och fukttekniska egenskaper, uppbyggnaden av konstruktionen, omgivningens värme- och fuktförhållande samt även lufttrycksförhållande (Petersson, 2013). Ett begrepp som ofta används tillsammans med fukttransport är potential (Petersson, 2013). För att fukttransport ska kunna ske krävs det en potentialskillnad. När det exempelvis sker fukttransport genom en vägg leds fukten inifrån och ut. Detta är på grund av att det som oftast är en högre ånghalt i inomhusluften än utomhusluften. På grund av skillnaden i ånghalt uppstår en potentialskillnad över väggen (Nevander & Elmarsson, 1994). Det finns med andra ord flera olika anledningar till att fukttransport kan ske och det är även möjligt att ång- och vattentransport kan ske samtidigt (Petersson, 2013). Med andra ord kan diffusion, konvektion och kapillärugning ske samtidigt och de behöver inte nödvändigtvis ske i samma riktning, vilket faktiskt kan vara fördelaktigt då motriktade fukttransporter kan minska omfattningen av nedfuktning.

Diffusion

Diffusion är en molekylär rörelse i en gas som resulterar i att det finns en strävan hos vattenmolekylerna att minska koncentrationsskillnaden (Nevander & Elmarsson, 1994). Detta innebär att fukt vill vandra från det område med en högre ånghalt till det

lägre. Ju större skillnaden i ånghalt, desto mer fukt vill vandra genom materialet (Hagentoft & Sandin, 2017).

Hur mycket fukt som vandrar genom materialet beror även på vilket ånggenomgångsmotstånd materialet eller skiktet har (Hagentoft & Sandin, 2017). Ånggenomgångsmotståndet i sin tur beror på materialets tjocklek och ånggenomsläpplighet. Ju tjockare ett material är och ju lägre ånggenomsläpplighet det har, desto högre är ånggenomgångsmotståndet för materialet. Om ett värde på ånggenomgångsmotståndet är högt betyder det att mindre vattenånga vandrar genom materialskiktet. Vattenånga har olika lätt för att passera olika material, men fukt passerar lättast om materialet består av stillastående luft.



Figur 3.2 Ånggenomsläppligheten beroende av den relativa fuktigheten i några typiska byggnadsmaterial med angivna torrdensiteter (Hagentoft & Sandin, 2017).

Eftersom trä är ett hygroskopiskt material är ånggenomsläppligheten beroende av den omgivande luftens relativa fuktighet (Hagentoft & Sandin, 2017).

Transportkoefficienten ter sig inte linjärt utan varierar också beroende på material samt dess fukthalt. Se figur 3.2.

3.4 Fuktkällor

Fukt är den vanligaste orsaken till att skador uppstår på byggnader (Burström, 2021). Fukt finns i alla porösa byggnadsmaterial och ett visst fukttinnehåll är ofrånkomligt att bortse från. För att möjliggöra en teknisk fuktdimensionering är det viktigt att veta vart fukten härstammar ifrån, det vill säga fuktkällorna (Nevander & Elmarsson, 1994). En byggnadsdel kan bli påverkad av flera olika fuktkällor samtidigt och med olika intensitet. Exempel på fuktkällor är:

- Nederbörd
- Luftfukt

- Byggfukt
- Markfukt

Vatten kan tränga in i byggnaden där otätheter eller sprickor existerar och kan spridas vidare långt in i konstruktionen. Därav kan fuktproblem uppstå på flertalet ställen, inte enbart där vattnet ursprungligen kom in (Hagentoft & Sandin, 2017).

Luftfukten som förs in i inomhusmiljöer via ventilation är en kombination av den luftfukt som finns i utomhusluften (Hagentoft & Sandin, 2017). Den luftfukt som finns i utomhusluften uppstår från avdunstning från sjöar, hav och mark. Markfukten kommer ursprungligen från nederbörd. Förutom ventilationens bidrag till fukt i inomhusmiljön finns ett fukttillskott att ta hänsyn till. Fukt produceras från utandningsluft från människor och djur samt vardagliga aktiviteter som matlagning, diskning, tork av tvätt och städning.

Om inomhusluften passerar genom otätheter i byggnadskonstruktionen kyles den ned då klimatskalet under vintertid har en lägre temperatur än inomhusluften (Hagentoft & Sandin, 2017). Den fuktiga luften klarar inte av att bära lika mycket fukt om temperaturen sjunker. Blir luften tillräckligt kall och uppnår daggpunktstemperaturen kondenseras vattenångan till vatten i vätskeform.

Byggfukt definieras som den mängd vatten som måste avges från ett material eller byggnadsdel tills jämvikt råder med dess omgivning (Nevander & Elmarsson, 1994). Den vanligaste orsaken till skador på byggnader är höga fukttillstånd vilket kan ske när byggfukten inte hunnit torka ut (Burström, 2021). Det kan uppkomma både vid nybyggnation och ombyggnationer då fukt har tillförts i materialet. Fuktkänsliga material kan därav ta skada i form av mögel vilket även kan leda till hälsorisker för människor som befinner sig i byggnaden.

3.5 Kritiska fukttillstånd

Ett materials högsta fukttillstånd innan risk för skador uppstår kallas för det kritiska fukttillståndet (Burström, 2021). Detta värde varierar beroende på material och är temperaturberoende, se tabell 3.1. Vid högre temperaturer ökar risken för mögelpåväxt, därav är risken större på sommaren för en yttervägg med högt fukttillstånd jämfört med vintern med lägre temperatur.

Tabell 3.1

Exempel på kritiska fukttillstånd för några materialgrupper (Burström, 2021).

Material, skada	RF [%]		
	Ingen risk	Måttlig risk	Stor risk
Trä, rötangrepp ¹	<75	75–95	>95
Trä, mögelangrepp	<70	70–85	>85
Oskyddat stål, rost	<60	70	
Lim för plastmattor, nedbrytning	<85	90	

¹Äkta hussvamp.

När det kritiska fukttillståndet är nått påverkas materialets egenskaper avsevärt alternativt sker en mikrobiell tillväxt på ytan (Boverket, 2022a). När flera material används i en byggnadsdel är det den mest utsatta eller känsliga byggnadsdelen som blir avgörande gällande det högsta tillåtna fukttillståndet.

3.6 Mikrobiell tillväxt

Trä kan inte brytas ned endast utav fukt, dock kan en biologisk nedbrytning i form av träförstörande svampar ske då träet under en längre period blivit utsatt för en hög fuktbelastning (Träguiden, 2019). Det är träets fuktkvot och dess omgivande relativa fuktighet som avgör om ett biologiskt angrepp kan starta och att en tillväxt sker (Nevander & Elmarsson, 1994).

De olika träslagen har ett naturligt motståndskydd mot angrepp av olika träförstörande organismer men splintved i alla dess slag är extra känsliga mot biologiska angrepp (Burström, 2021). Träförstörande svampar brukar delas in i två huvudkategorier; missfärgande svampar och rötsvampar men det finns även olika former däremellan. Blånadsvampar och mögelsvampar klassas som missfärgande svampar och lever på de lösta ämnena i vedcellerna och har inte stor påverkan på träets hållfasthet men kan underlätta för rötsvampar att växa i splintved.

4 Metod

Med avseende till kapitel 2 och 3 har empiriska metoder samt analytiska beräkningar använts. De empiriska metoderna omfattar design och tillverkning av egna panelkonfigurationer som utsätts för olika relativa fuktigheter i laboration. Analytiska beräkningar har genomförts för att beräkna fukttransport i de egentillverkade panelkonfigurationerna som utsätts för laboration. Analytiska beräkningar har även genomförts för att beräkna fukttransport om panelkonfigurationerna är i en väggkonstruktion innehållande isolering.

4.1 Laborativa mätningar för olika panelkonfigurationer

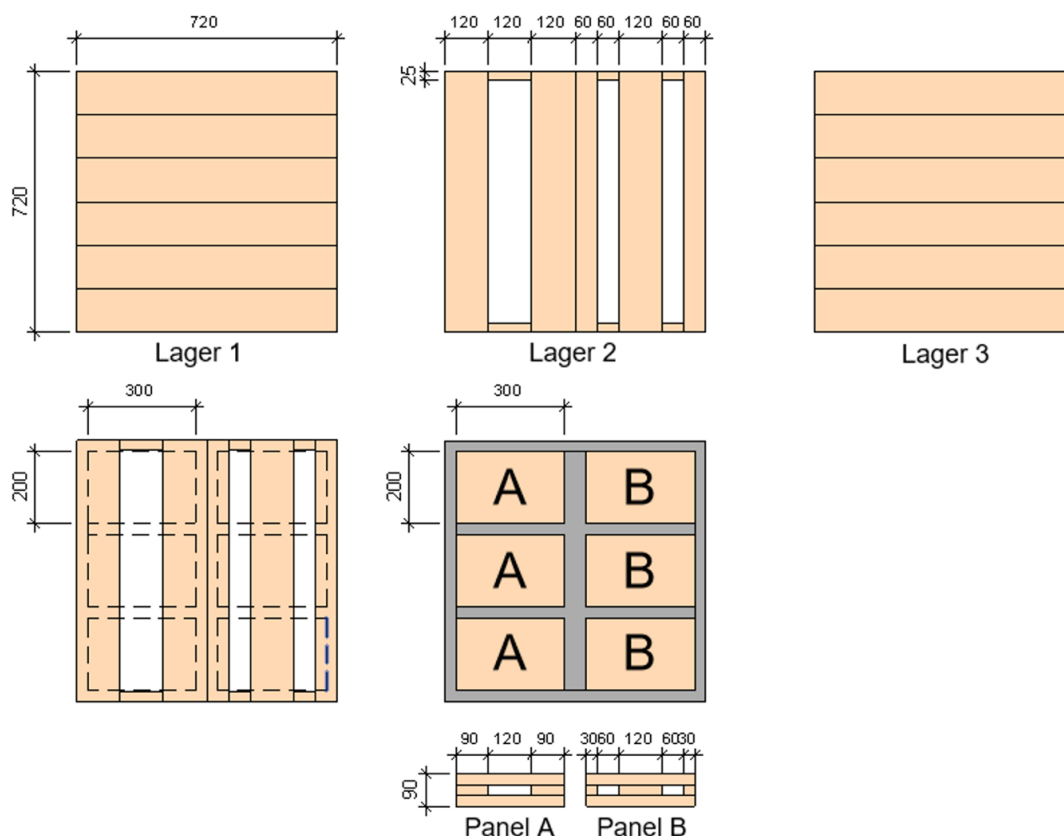
Syftet med de laborativa mätningarna är att bestämma fuktflöde och ånggenomsläpplighet för olika egentillverkade panelkonfigurationer med integrerade luftspalter. Eftersom fuktvandringar i massiva träpaneler tar lång tid kommer laborationen att pågå under flera månader och kommer att slutföras av forskningsgruppen Sustainable building.

Design för egentillverkade panelkonfigurationer

Tillsammans med handledare, Yutaka Goto, har designen på de olika panelerna tagits fram. Målet med de olika designerna var att få en variation av luftspalter i avseende till dimensioner och placering samt att minimera materialanvändning och tidseffektivisera tillverkningen av panelerna. Som tidigare nämnt i kapitel 2 varierar den totala tjockleken på KL-lamellerna mellan 80–300 mm. De läggs i lager om minst tre massiva träskivor och tillverkas vanligtvis med udda antal lager. Med anledning till det har totalt sex olika panelkonfigurationer designats där tre uppsättningar av varje panelkonfiguration ska erhållas. Designen av panelerna bestod av lameller med tjockleken 20 mm och 30 mm som lades i lager av tre respektive fem massiva träskivor. Panelerna ska erhållas ur tre omgångar vakuumpressning, där totalt sex paneler i två olika panelkonfigurationer fås vid varje vakuumpress där panelerna namnges A-F, se figur 4.1–4.3.

Vakuumpress 1

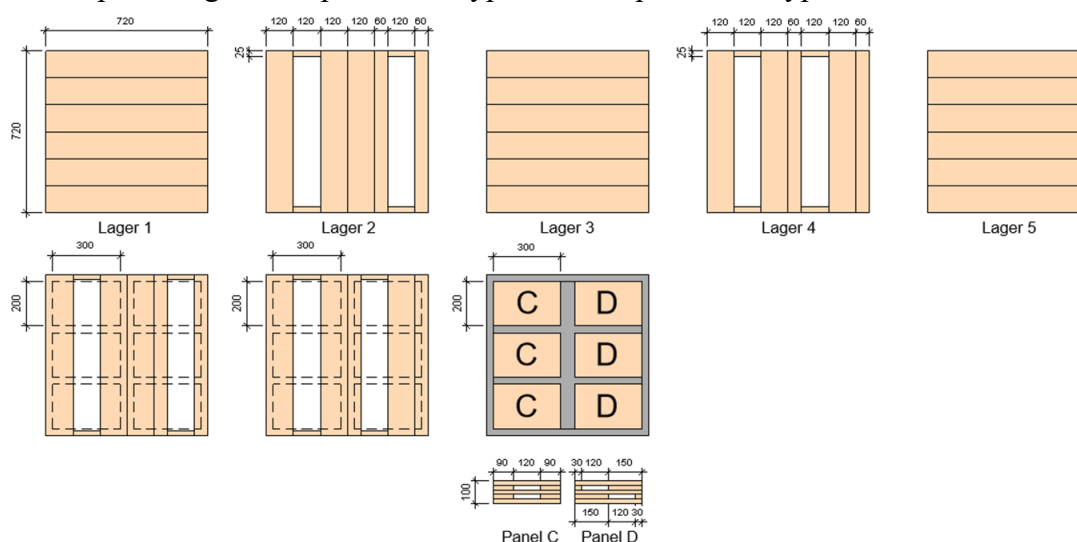
Designen inför det första vakuumpresstillfället bestod av tre lager massiva träskivor där varje träskiva hade en tjocklek på 30 mm, det vill säga 90 mm totalt. Från denna vakuumpressning ska tre paneler av typ A och tre paneler av typ B erhållas.



Figur 4.1 Design för vakuumpress 1 som innefattar panel A och panel B.

Vakuumpress 2

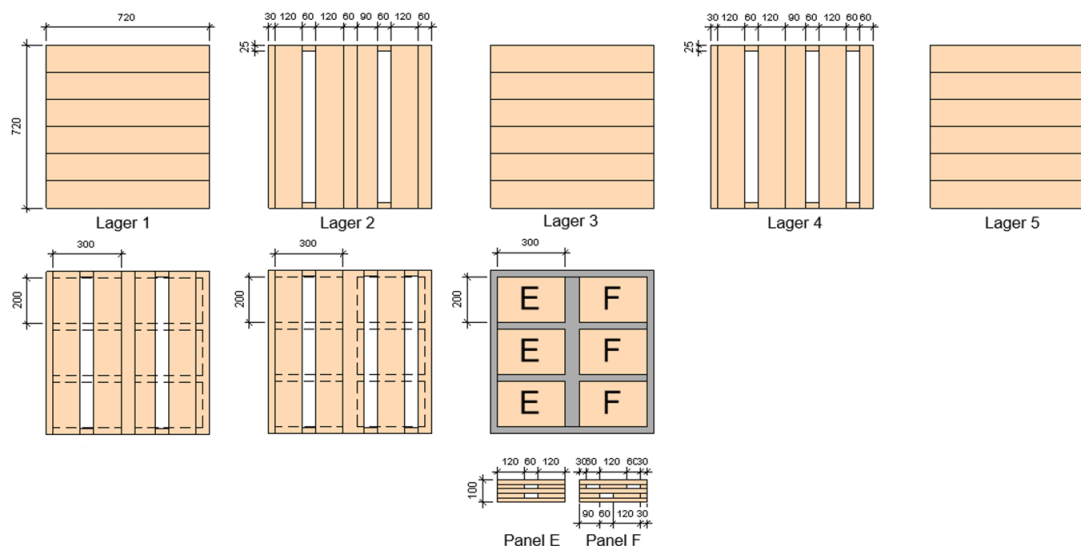
Designen inför det andra vakuumpresstillfället bestod av fem lager massiva träskivor där varje träskiva hade en tjocklek på 20 mm, det vill säga 100 mm totalt. Från denna vakuumpressning ska tre paneler av typ C och tre paneler av typ D erhållas.



Figur 4.2 Design för vakuumpress 2 som innefattar panel C och panel D.

Vakuumpress 3

Designen inför det tredje vakuumpresstillfället bestod av fem lager massiva träskivor där varje träskiva hade en tjocklek på 20 mm, det vill säga 100 mm totalt. Från denna vakuumpressning ska tre paneler av typ E och tre paneler av typ F erhållas.



Figur 4.3 Design för vakuumpress 3 som innefattar panel E och panel F.

Tabell 4.1 Tabell visar andel luft per panelkonfiguration i procent.

	A	B	C	D	E	F
Andel luft [%]	13	13	16	16	8	12

De olika panelkonfigurationerna med integrerade luftspalter består av olika andel luft, se tabell 4.1.

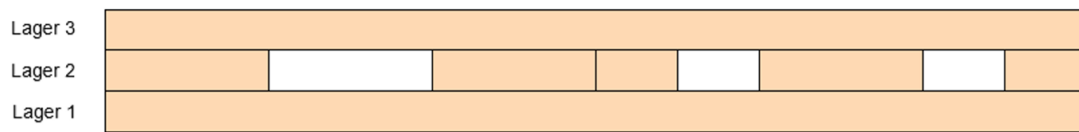
Tillverkning av panelkonfigurationer

Då materialet vid leverans hade olika dimensioner behövde lamellerna och skivorna sågas samt hyvlas till önskade dimensioner. Det gjordes genom att använda cirkelsåg, bandsåg, rikthyvel och planhyvel. Lamellerna hyvlades i anslutning till pressningsprocessen för att undvika eventuell deformation före pressningen.

När önskade dimensioner var uppnådda namngavs varje lamell och skiva samtidigt som dess defekter och kvisthål noterades, se bilaga A. Genom hela tillverkningsprocessen valdes de lameller och skivor som hade minst uppkomst av defekter som sprickor och kvisthål för att minimera dess påverkan på resultatet. För att senare kunna utvärdera samt analysera resultaten vägdes varje lamell och skiva, därefter kontrollmättes dimensionerna med hjälp av ett analogt skjutmått, se bilaga B. Skivorna och lamellerna placerades sedan i lager vinkelrätt mot efterföljande skikt där lim påfördes mellan de olika lagren.

På grund av oförutsedda händelser kunde i denna tillverkning inte polyuretanlim användas och av säkerhetsskäl användes istället polyvinylacetatlim. Limmet som användes under tillverkningen var polyvinylacetatlim och applicerades med hjälp av en limspredare i metall för att säkerställa en jämn fördelning av limmet. Vid varje utförd vakuumpressning pressades lagren i två omgångar för att säkerställa att luftspalterna höll de önskade dimensionerna samt för att pressa varje lager hårt mot varandra för att minska risken för oönskad luft mellan skikten.

Utförande av vakuumpress 1



Figur 4.4 Lagerföljd i vakuumpress 1.

När press 1 skulle utföras placerades lager 1 i vakuumpressen. Därefter påfördes lim i underkant på varje lamell i lager 2. Lamellerna i lager 2 placerades sedan en i taget med de bestämda dimensionerna ovanpå lager 1. En extra trälamell placerades ovanpå de underliggande lagren för att ge ökat tryck, se figur 4.5. Sedan förslöts vakuumpressen och de två lagren pressades under ett tidsintervall på 20 minuter. Efter genomförd press tillfördes lim på ovansidan av lamellerna på lager 2 innan lager 3 lades på. En extra trälamell placerades även här ovanpå det översta lagret för att ge ökat tryck mot de underliggande lagren. Sedan pressades panelen ytterligare en gång med ett tidsintervall på 20 minuter. Se figur 4.6 för resultat av vakuumpress 1.

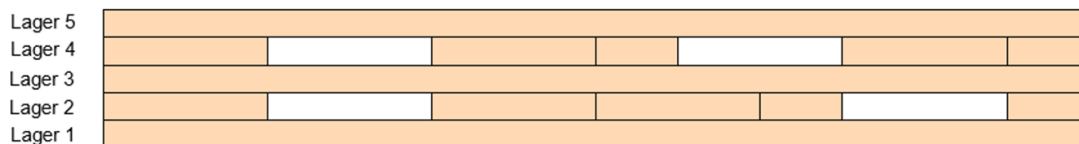


Figur 4.5 Vakuumpress 1 för lager 1 och 2.

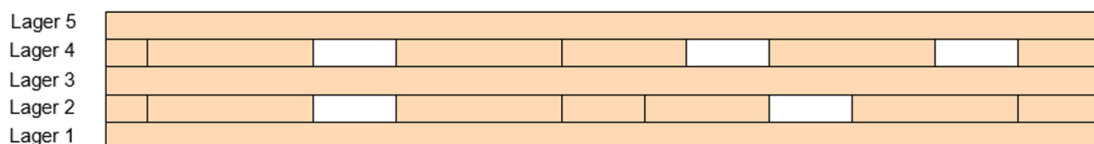


Figur 4.6 Efter vakuumpress 1.

Utförande av vakuumpress 2 och vakuumpress 3



Figur 4.7 Lagerföljd i vakuumpress 2.



Figur 4.8 Lagerföljd i vakuumpress 3

Samma tillvägagångssätt användes för press 2 och 3, fast med skillnaden att lager 1, 2 och 3 pressades samman under första vakuumpressen och sedan lades lager 4 och 5 till inför andra vakuumpressen. Ytterligare en skillnad var att två extra trälameller placerades ovanpå lagren för att ge ökat tryck. Innan lamellerna på lager 2 och 4 placerades på underliggande skivor, applicerades lim på både under- och ovkant lagren.



Figur 4.9 Placering av lager 2 för press 2.



Figur 4.10 Placering av lager 4 för press 2.



Figur 4.11 Vakuumpress med två extra trälameller för extra tryck.

Färdigställande av paneler

Efter utförda vakuumpressningar kontrollmättes tjockleken på de massiva skivorna, se bilaga C. Ur de massiva skivorna sågades de olika panelkonfigurationerna till önskade dimensioner, därav erhöles tre uppsättningar av panelerna A, B, C, D, E och F, se bilaga D för bilder på de olika panelkonfigurationerna. Både före och efter tillverkningen av panelerna förvarades de i en kontrollerad miljö, 50 % RF och 20 °C. För att säkerställa kontroll över ingående parametrar vägdes varje panel och kontrollmättes med ett digitalt skjutmått, se bilaga E.

Utförande av laborativa mätningar

Testet utförs i enlighet med SS-EN 12086:2013 - *Värmeisoleringsprodukter för byggnader - Bestämning av permeabilitet för vattenånga*.

Av de sex olika panelkonfigurationerna var det två uppsättningar av varje panel som utsattes för tester, se bilaga E för valda paneler. De två utvalda panelerna från varje konfiguration hade uppmätta värden som mest efterliknade de önskade dimensionerna samt var de som hade minst antal sprickor, kvisthål och andra defekter för att minimera dess påverkan på resultatet. De tolv utvalda panelerna utsattes för olika relativa fuktigheter under testperioden. Dessa relativa fuktigheter uppnåddes

genom att använda torkmedel i form av silica gel samt genom att blanda två olika mättade saltlösningar, magnesiumklorid och kaliumsulfat. Testerna genomfördes i ett klimatrum som höll en konstant temperatur på 20 °C och en konstant relativ fuktighet på 50 %.

På grund av fuktgradienten mellan den omgivande luften och den inuti testlådan kommer ångdiffusion att drivas genom träpanelerna. Genom att mäta provets viktförändring under en viss tidsperiod kvantifieras provets ånggenomsläpplighet. Proceduren enligt SS-EN 12086:2013 innefattar endast vägning av proverna, vilket inkluderar testlådan, substansen och träpanelen.

Testlådorna som användes var gjorda av plast och hade yttermått 300*200 mm samt innermått 268*168 mm. Mängden salt som användes beräknades enligt SS-EN 12571:2021 och med den mängd substans uppnåddes ungefär en fjärdedel av testlådornas höjd av den mättade saltlösningen. De olika substanserna och relativa fuktigheter som användes kan ses i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Värde för RF är taget från SS-EN ISO 12571:2021 - Fukt- och värmetekniska egenskaper hos byggmaterial och byggprodukter – Bestämning av hygroskopiska sorptionsegenskaper.

RF mättade lösningar i jämvikt [%]	Substans	RF medelvärde [%]
0	Silica gel	25
33	MgCl ₂ *0H ₂ O	41,5
97	K ₂ SO ₄	73,5

Lika stor mängd substans användes för samtliga testprover, se tabell 4.3. För att säkerställa en mättad saltlösning under hela provperioden tillsattes 5 % extra mängd substans.

Tabell 4.3 Mängd substans och vatten som användes i samtliga testlådor.

Substans	Vikt substans (g)	Vikt vatten (g)
Silica gel	1300,00	-
MgCl ₂ *0H ₂ O	751,90	1320,00
K ₂ SO ₄	166,30	1320,00

På första dagen av laborationen uppmättes önskad mängd silica gel som tillsattes till testlådorna. De tolv olika panelkonfigurationerna placerades ovanpå testlådorna innehållande substansen och de förslöts sedan med aluminiumtejp samt modelleras för att täta mellanrummet mellan testlådan och panelkonfigurationen, se bilaga D. Initialvikten uppmättes och noterades. Testproverna förvarades i klimatrummet under hela testperioden. Mätvärden noterades med ett intervall på minst 24 timmar.

Denna process upprepades sedan för saltlösningarna med skillnaden att saltlösningarna blandades en dag innan första mätvärdet togs för att säkerställa att en

mättad saltlösning uppnåddes till måttillfället. Under detta dygn förslöts lådorna för att motverka yttre påverkan.

4.2 Analytiska beräkningar

De analytiska beräkningarna har genomförts både för panelkonfigurationer som utsattes för laboration samt för panelkonfigurationer i en väggkonstruktion innehållande isolering.

Genom analytiska beräkningar kommer teoretiska värden på fuktflöden och ånggenomsläppligheten för de paneler som utsattes för laborationen tas fram. Efter avslutad laboration kommer resultatet från de analytiska beräkningarna att jämföras med det faktiska uppmätta värdet vilket kommer att presenteras av forskningsgruppen Sustainable building.

Ekvivalent ånggenomsläpplighetskoefficient

Den ekvivalenta ånggenomsläpplighetskoefficienten, δ_{eq} , för varje panel beräknas enligt:

$$\delta_{eq} = \frac{D}{Z_{eq}} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (4.1)$$

där

D är total tjocklek för varje panel, [m].

Z_{eq} är ekvivalent ånggenomgångsmotstånd för varje panel, [s/m].

Det ekvivalenta ånggenomgångsmotståndet för varje panel, Z_{eq} , beräknas enligt:

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \left(\frac{1}{Z_1} * \frac{B_1}{B_{tot}} \right) + \left(\frac{1}{Z_2} * \frac{B_2}{B_{tot}} \right) + \left(\frac{1}{Z_3} * \frac{B_3}{B_{tot}} \right) + \dots + \left(\frac{1}{Z_n} * \frac{B_n}{B_{tot}} \right) \quad (4.2)$$

där

B_n är bredden på varje panelkonfigurations indelning.

B_{tot} är panelens totala bredd, [m].

Z_n är det totala ånggenomgångsmotståndet för varje panelkonfigurations indelning, [s/m]

Ytmotståndet för ekvation 4.2 har en liten påverkan på resultatet och har därav försumrats.

Det totala ångmotståndet för varje panel, Z_n , beräknas enligt:

$$Z_n = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \dots + \frac{d_n}{\delta_n} \quad [\text{s/m}] \quad (4.3)$$

där

d_n är tjockleken på varje lager i panelen, [m].

δ_n är materialets ånggenomsläpplighetskoefficient för respektive lager, [m^2/s].

Fuktföde

Fuktfödet, G , för varje panel som utsätts för laboration beräknas enligt:

$$G = A * \frac{1}{Z_{eq}} * \Delta v \quad [\text{g/s}] \quad (4.4)$$

där

A är arean för innermåten för testlådan, $[\text{m}^2]$.

Δv är skillnaden i ånghalt mellan v_i och v_u , $[\text{g/m}^3]$.

Z_{eq} är ekvivalent ånggenomgångsmotstånd för varje panel, $[\text{s/m}]$.

Värmemotstånd & ekvivalent värmeledningsförmåga för luftspalter

Nedanstående ekvationer och uträkningar är baserat på SS-EN ISO 6946:2017, *Bygghkomponenter och byggnadsdelar – Värmemotstånd och värmegegnomgångskoefficient – Beräkningsmetod*. För att studera fuktsäkerheten i svenskt klimat har en fömplifierad väggkonstruktion använts som består av isolering på utsidan och de olika panelkonfigurationerna, A-F, på insidan.

Ekvivalent värmeledningsförmåga för luftspalter

På grund av variation i storlek av luftspalterna behöver en ekvivalent värmeledningsförmåga för de olika luftspalterna beräknas.

Den ekvivalenta värmeledningsförmågan för varje luftspalt, $\lambda_{luft.eq}$, beräknas enligt

$$\lambda_{luft.eq} = \frac{d}{R_a} \quad [\text{W/mK}] \quad (4.5)$$

där

d är luftspaltens tjocklek i värmeflödesriktningen, $[\text{m}]$.

R_a är luftspalternas termiska motstånd, $[\text{m}^2\text{K/W}]$.

Luftspalternas termiska motstånd, R_a , beräknas enligt:

$$R_a = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (4.6)$$

där

$$h_a = \frac{0,025}{d} \quad (4.7)$$

$$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 2 + \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2} \frac{d}{b}}}} \quad (4.8)$$

där

$$h_{r0} = 4 * \sigma * T_{mn}^3 \quad (4.9)$$

h_r är strålningskoefficienten, $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$.

h_{r0} är strålningskoefficienten för en svartkroppsyta, [W/(m²K)].

d är luftspaltens tjocklek, [m].

b är luftspalten bredd, [m].

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ är de halvsfäriska emissiviteter för ytorna på de varma och kalla ytorna i lufrummet, $\varepsilon_1, \varepsilon_2 = 0,9$ [-].

h_a Värmeöverföringskoefficient genom ledning/konvektion, [W/m²K].

$h_a=1,25$ med horisontellt värme flöde.

σ är Stefan-Boltzmanns konstant; $5,67 \cdot 10^{-8}$, [W/m²K⁴].

T_{mn} är den termodynamiska medeltemperaturen på ytan och dess omgivning, [K].

Ekvivalent värmeledningsförmåga

På grund av de integrerade luftspalterna behöver ett ekvivalent värde för hela panelen tas fram.

Ekvivalent värmeledningsförmåga för de olika panelkonfigurationerna, λ_{eq} , beräknas enligt:

$$\lambda_{eq} = \frac{D}{R_{eq}} \quad [\text{W/mK}] \quad (4.10)$$

där

D är total tjocklek för varje panel, [m].

R_{eq} är panelens ekvivalenta värmeövergångsmotstånd, [m²K/W].

Panelens ekvivalenta värmemotstånd R_{eq} beräknas enligt:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left(\frac{1}{R_1} * \frac{B_1}{B_{tot}} \right) + \left(\frac{1}{R_2} * \frac{B_2}{B_{tot}} \right) + \left(\frac{1}{R_3} * \frac{B_3}{B_{tot}} \right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n} * \frac{B_n}{B_{tot}} \right) \quad (4.11)$$

där

B_n är bredden på varje panelkonfigurations indelning

B_{tot} är panelens totala bredd, [m].

R_n är det totala värmemotståndet för varje panelkonfigurations indelning, [m²K/W].

Det totala värmemotståndet, R_n , för varje panel beräknas enligt:

$$R_n = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (4.12)$$

där

d_n är tjockleken på varje lager i panelen, [m].

λ_n är materialets värmeledningsförmåga i varje lager i panelen, [W/mK].

Isoleringstjocklek

För att beräkna vilken tjocklek av isolering som är nödvändigt har rekommenderat värde från Boverket för $U_{vägg} = 0,18 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ använts.

Tjockleken på väggisoleringen beräknas med ekvation 4.13 och 4.14:

$$U_{vägg} = \frac{1}{R_{tot}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (4.13)$$

där

$$R_{tot} = R_{si} + R_{eq} + \frac{d_{isolering}}{\lambda_{isolering}} + R_{se} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (4.14)$$

där

R_{si} är värmeövergångsmotstånd för insidan av en vägg; $R_{si} = 0,13$, $[\text{m}^2\text{K/W}]$.

R_{se} är värmeövergångsmotstånd för utsidan av en vägg; $R_{se} = 0,04$, $[\text{m}^2\text{K/W}]$.

R_{eq} är det totala värmemotståndet för varje panelkonfigurations indelning, $[\text{m}^2\text{K/W}]$.

$\lambda_{isolering}$ är isoleringens värmeledningsförmåga, $[\text{W/mK}]$.

$d_{isolering}$ är isoleringens tjocklek, $[\text{m}]$.

$U_{vägg}$ är värmegenomgångskoefficient för yttervägg, $[\text{W/m}^2\text{K}]$.

Relativ fuktighet i skiktgränserna

När den relativa fuktigheten i skiktgränserna tas fram har en simplifierad väggkonstruktion använts som enbart består av isolering och korslimmat trä. Se bilaga H för indelning av skiktgränser.

Relativ fuktighet, φ , beräknas enligt:

$$\varphi = \frac{v}{v_s} \quad [\%] \quad (4.15)$$

där

v är ånghalten i luften, $[\text{g/m}^3]$.

v_s är mättnadsånghalten i luften, $[\text{g/m}^3]$.

För att beräkna den relativa fuktigheten i skiktgränserna behövs ånghalten i skiktgränserna först beräknas. Ånghalten i skiktgränserna beräknas enligt:

$$v = \frac{v_{ute} \cdot (Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n) + v_{inne} \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n} \quad [\text{g/m}^3]. \quad (4.16)$$

där Z_n är det totala ånggenomgångsmotståndet i s/m mellan den aktuella punkten och den vänstra sidan, ånghalt v_{ute} , respektive den högra sidan, v_{inne} .

Väggpanelens totala ånggenomgångsmotstånd är summan av de olika skiktens ånggenomgångsmotstånd som beräknas enligt:

$$\Sigma Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \dots + \frac{d_n}{\delta_n} \quad [\text{s/m}] \quad (4.17)$$

där

d är tjockleken på varje lager i panelen, [m].

δ är ånggenomsläpplighetskoefficient för varje lager i panelen, [m²/s].

För att ta fram mätnadsånghalten i de olika skikten behöver temperaturen i skiktgränserna beräknas.

Temperaturen i skiktgränserna för de olika materialen beräknas enligt:

$$T = \frac{R_B * T_{ute} + R_A * T_{inne}}{R_A + R_B} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.18)$$

där R_A och R_B är det totala värmemotståndet i m²K/W mellan den aktuella punkten och den vänstra sidan, temperatur T_A i °C, respektive den högra sidan, T_B temperatur i °C.

4.3 Indata för ånggenomsläpplighet och relativ fuktighet

Nedan presenteras indata för att beräkna teoretiska värden av ånggenomsläpplighet för de panelkonfigurationer som utsattes för laboration. Vidare presenteras indata för att beräkna teoretiska värden av ånggenomsläpplighet för panelkonfigurationer i en väggkonstruktion innehållande isolering. Dessa uträkningar har även genomförts för olika städer i Sverige med olika årstider. Avslutningsvis presenteras indata för att beräkna den relativa fuktigheten i skiktgränserna i väggkonstruktionen. Se bilaga H för indelning av skiktgränserna i väggkonstruktionen.

Ånggenomsläpplighet för panelkonfigurationer i laboration

Medelvärde RF är medelvärdet mellan den relativa fuktigheten av substansen i testlådan och den relativa fuktigheten i klimatrummet. Δv avser skillnaden i ånghalt mellan klimatrummet och testlådan. Z_{eq} beräknades med ekvation (4.2) och (4.3) och data från bilaga B och E.

Tabell 4.4 Indata för att beräkna ånggenomsläpplighet för silica gel i testlåda.

Panel	Silica gel					
	Medelvärde RF [%]	Δv [g/m ³]	Area Testyta [m ²]	$\delta_{trä}^*$ [m ² /s]	δ_{luft}^* [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]
A1	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	376885
A3	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	376932
B1	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	376960
B3	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	377141
C1	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	398061
C2	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	398017
D1	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	420875
D2	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	420889
E1	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	448483
E3	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	448379
F2	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	441367
F3	25	8,64	0,045	0,20*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	441320

*(Nevander & Elmarsson, 1994)

Tabell 4.5 Indata för att beräkna ånggenomsläpplighet för MgCl₂ i testlåda.

Panel	MgCl ₂					
	Medelvärde RF [%]	Δv [g/m ³]	Area Testyta [m ²]	$\delta_{trä}^*$ [m ² /s]	δ_{luft}^* [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]
A1	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	228731
A3	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	228760
B1	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	228778
B3	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	228885
C1	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	241715
C2	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	241689
D1	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	255373
D2	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	255382
E1	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	272102
E3	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	272037
F2	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	267743
F3	41,5	2,94	0,045	0,33*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	267713

*(Nevander & Elmarsson, 1994)

Tabell 4.6 Indata för att beräkna ånggenomsläpplighet för K_2SO_4 i testlåda.

Panel	K ₂ SO ₄					
	Medelvärde RF [%]	Δv [g/m ³]	Area Testyta [m ²]	$\delta_{trä}^*$ [m ² /s]	δ_{luft}^* [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]
A1	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	74180
A3	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	74191
B1	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	74198
B3	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	74227
C1	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	78615
C2	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	78607
D1	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	82728
D2	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	82733
E1	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	88103
E3	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	88079
F2	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	86625
F3	73,5	8,12	0,045	$1,025 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	86614

*(Nevander & Elmarsson, 1994)

Ånggenomsläpplighet för panelkonfigurationer i väggkonstruktion i olika städer och årstider

I nedanstående tabeller visas indata för att beräkna ånggenomsläpplighet för de olika panelkonfigurationerna i en väggkonstruktion.

Tabell 4.7 Konstant data för inneklimat.

RF [%]	T [°C]	v_i [g/m ³]
40	22	7,76

Tabell 4.8 Klimatdata för medeltemperatur T , relativ fuktighet RF och ånghalt v för olika orter.

Stad	Sommar			Vinter		
	RF [%]	T [°C]	v_u [g/m ³]	RF [%]	T [°C]	v_u [g/m ³]
Kiruna	68	12,9	7,7	82	-12,4	1,4
Östersund	74	14,5	9,2	86	-8,5	2,1
Göteborg	73	17,3	10,8	82	-1,9	3,4
Malmö	78	17,2	11,4	86	-0,7	3,9

Z_{eq} i tabell 4.9-4.12 nedan beräknades med ekvation (4.2) och (4.3) och data från bilaga F.

Tabell 4.9 Indata för medelvärde av relativ fuktighet, ånggenomsläpplighetskoefficient för trä och luft samt det ekvivalenta ångmotståndet för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Kiruna.

Panel	Kiruna							
	Sommar				Vinter			
	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]
A	54	$0,58 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	130056	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	104911
B	54	$0,58 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	130056	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	104911
C	54	$0,58 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	137216	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	110747
D	54	$0,58 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	144372	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	116434
E	54	$0,58 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	152814	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	123232
F	54	$0,58 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	150491	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	121339

Tabell 4.10 Indata för medelvärde av relativ fuktighet, ånggenomsläpplighetskoefficient för trä och luft samt det ekvivalenta ångmotståndet för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Östersund.

Panel	Östersund							
	Sommar				Vinter			
	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]
A	57	$0,64 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	117933	63	$0,76 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	99429
B	57	$0,64 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	117933	63	$0,76 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	99429
C	57	$0,64 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	124454	63	$0,76 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	104976
D	57	$0,64 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	130902	63	$0,76 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	110343
E	57	$0,64 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	138551	63	$0,76 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	116781
F	57	$0,64 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	136435	63	$0,76 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	114982

Tabell 4.11 Indata för medelvärde av relativ fuktighet, ånggenomsläpplighetskoefficient för trä och luft samt det ekvivalenta ångmotståndet för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Göteborg.

Panel	Göteborg							
	Sommar				Vinter			
	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]
A	56,5	$0,63 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	119793	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	104911
B	56,5	$0,63 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	119793	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	104911
C	56,5	$0,63 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	126413	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	110747
D	56,5	$0,63 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	132969	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	110747
E	56,5	$0,63 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	140740	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	110747
F	56,5	$0,63 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	138592	61	$0,72 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	110747

Tabell 4.12 Indata för medelvärde av relativ fuktighet, ånggenomsläpplighetskoefficient för trä och luft samt det ekvivalenta ångmotståndet för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Malmö.

Panel	Malmö							
	Sommar				Vinter			
	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]	Medelvärde RF [%]	$\delta_{trä}$ [m ² /s]	δ_{luft} [m ² /s]	Z_{eq} [s/m]
A	59	0,68*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	111039	63	0,76*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	99429
B	59	0,68*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	111039	63	0,76*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	99429
C	59	0,68*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	117198	63	0,76*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	104976
D	59	0,68*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	123243	63	0,76*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	110343
E	59	0,68*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	130441	63	0,76*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	116781
F	59	0,68*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	128443	63	0,76*10 ⁻⁶	25*10 ⁻⁶	114982

Relativ fuktighet i skiktgränserna i väggkonstruktion i olika städer och årstider

I nedanstående tabeller visas indata för att beräkna den relativa fuktigheten i skiktgränserna i väggkonstruktion i olika städer och årstider.

Ekvivalent värmeledningsförmåga för luftspalter, $\lambda_{luft.eq}$, beräknades med ekvation (4.5) - (4.9) och data från bilaga G.

Tabell 4.13 Ekvivalent värmeledningsförmåga för luftspalter i olika städer och årstider där bokstaven står för vilken panelkonfiguration det är och siffran för vilken luftspalt, se bilaga F.

Luftspalt	Kiruna		Östersund		Göteborg		Malmö	
	$\lambda_{luft.eq}$ [W/mK]		$\lambda_{luft.eq}$ [W/mK]		$\lambda_{luft.eq}$ [W/mK]		$\lambda_{luft.eq}$ [W/mK]	
	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter
A	0,1667	0,1642	0,1668	0,1646	0,1671	0,1652	0,1671	0,1654
B1	0,1567	0,1544	0,1568	0,1548	0,1570	0,1553	0,1570	0,1555
B2	0,1567	0,1544	0,1568	0,1548	0,1570	0,1553	0,1570	0,1555
C1	0,1139	0,1126	0,1140	0,1128	0,1141	0,1132	0,1141	0,1132
C2	0,1135	0,1110	0,1136	0,1114	0,1139	0,1120	0,1139	0,1122
D1	0,1139	0,1126	0,1140	0,1128	0,1141	0,1132	0,1141	0,1132
D2	0,1135	0,1110	0,1136	0,1114	0,1139	0,1120	0,1139	0,1122
E1	0,1088	0,1076	0,1089	0,1078	0,1090	0,1081	0,1090	0,1082
E2	0,1084	0,1061	0,1085	0,1064	0,1088	0,1070	0,1088	0,1071
F1	0,1088	0,1076	0,1089	0,1078	0,1090	0,1081	0,1090	0,1082
F2	0,1084	0,1061	0,1085	0,1064	0,1088	0,1070	0,1088	0,1071
F3	0,1084	0,1061	0,1085	0,1064	0,1088	0,1070	0,1088	0,1071

Tabell 4.14 Indata för värmegenomgångskoefficient för Boverkets rekommendation, värmeledningsförmåga för isolering (mineralull) och KL-trä samt ånggenomsläpplighetskoefficient för isolering (mineralull).

$U_{vägg}$ [W/m ² K]	$\lambda_{isolering}$ [W/mK]	$\lambda_{KL-trä}$ [W/mK]	$\delta_{isolering}$ [m ² /s] ($\rho = 60 \text{ kg/m}^3$)
0,18	0,037	0,13	0,192*10 ⁻⁶

Ekvivalent ånggenomsläpplighet beräknades enligt ekvation (4.1) och data från bilaga F tillsammans med värdet för Z_{eq} från tabell 4.9 – 4.12. Ekvivalent värmeledningsförmåga beräknades enligt ekvation (4.10) tillsammans med tabell 4.13 och 4.14 samt data från bilaga F. Det totala värmemotståndet beräknades enligt ekvation (4.14) tillsammans med värden från bilaga H. Tjockleken på isoleringen beräknades enligt ekvation (4.13) och (4.14) tillsammans med värdena i tabell 4.14 och bilaga F. Det totala ångmotståndet beräknades enligt ekvation (4.3) tillsammans värden i tabell 4.14, värdet för δ_{eq} i tabell 4.15 - 4.18 samt data i bilaga H.

Tabell 4.15 Indata för ekvivalent ånggenomsläpplighetskoefficient, ekvivalent värmeledningsförmåga, tjocklek på isolering, totala värmemotstånd samt totala ångmotstånd för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Kiruna.

Kiruna										
Panel	Sommar					Vinter				
	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
A	0,692*10 ⁻⁶	0,1341	0,174	5,556	139127	0,858*10 ⁻⁶	0,1339	0,174	5,556	113980
B	0,692*10 ⁻⁶	0,1331	0,174	5,556	139117	0,858*10 ⁻⁶	0,1329	0,174	5,556	113970
C	0,729*10 ⁻⁶	0,1272	0,170	5,556	146065	0,903*10 ⁻⁶	0,1268	0,170	5,556	119592
D	0,693*10 ⁻⁶	0,1266	0,170	5,556	153214	0,859*10 ⁻⁶	0,1262	0,170	5,556	125272
E	0,654*10 ⁻⁶	0,1281	0,170	5,556	161674	0,811*10 ⁻⁶	0,1280	0,170	5,556	132090
F	0,664*10 ⁻⁶	0,1270	0,170	5,556	159338	0,824*10 ⁻⁶	0,1267	0,170	5,556	130182

Tabell 4.16 Indata för ekvivalent ånggenomsläpplighetskoefficient, ekvivalent värmeledningsförmåga, tjocklek på isolering, total värmemotstånd samt totalt ångmotstånd för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Östersund.

Östersund										
Panel	Sommar					Vinter				
	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
A	0,763*10 ⁻⁶	0,1341	0,174	5,556	127003	0,905*10 ⁻⁶	0,1339	0,174	5,556	108497
B	0,763*10 ⁻⁶	0,1331	0,174	5,556	126994	0,905*10 ⁻⁶	0,1339	0,174	5,556	108497
C	0,804*10 ⁻⁶	0,1272	0,170	5,556	133304	0,953*10 ⁻⁶	0,1269	0,170	5,556	113821
D	0,764*10 ⁻⁶	0,1271	0,170	5,556	139750	0,906*10 ⁻⁶	0,1263	0,170	5,556	119181
E	0,702*10 ⁻⁶	0,1281	0,170	5,556	147411	0,856*10 ⁻⁶	0,1279	0,170	5,556	125639
F	0,703*10 ⁻⁶	0,1271	0,170	5,556	145283	0,870*10 ⁻⁶	0,1269	0,170	5,556	123828

Tabell 4.17 Indata för ekvivalent ånggenomsläpplighetskoefficient, ekvivalent värmeledningsförmåga, tjocklek på isolering, total värmemotstånd samt totalt ångmotstånd för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Göteborg.

Panel	Göteborg									
	Sommar					Vinter				
	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
A	0,751*10 ⁻⁶	0,1342	0,174	5,556	128864	0,858*10 ⁻⁶	0,1340	0,174	5,556	113981
B	0,751*10 ⁻⁶	0,1332	0,174	5,556	128854	0,858*10 ⁻⁶	0,1330	0,174	5,556	113971
C	0,791*10 ⁻⁶	0,1272	0,170	5,556	135262	0,903*10 ⁻⁶	0,1270	0,170	5,556	119594
D	0,752*10 ⁻⁶	0,1272	0,170	5,556	141818	0,859*10 ⁻⁶	0,1269	0,170	5,556	125280
E	0,711*10 ⁻⁶	0,1281	0,170	5,556	149600	0,811*10 ⁻⁶	0,1280	0,170	5,556	132090
F	0,722*10 ⁻⁶	0,1271	0,170	5,556	147440	0,824*10 ⁻⁶	0,1268	0,170	5,556	130184

Tabell 4.18 Indata för ekvivalent ånggenomsläpplighetskoefficient, ekvivalent värmeledningsförmåga, tjocklek på isolering, total värmemotstånd samt totalt ångmotstånd för panelkonfigurationerna A-F för olika årstider i Malmö.

Panel	Malmö									
	Sommar					Vinter				
	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	λ_{eq} [W/mK]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
A	0,811*10 ⁻⁶	0,1342	0,174	5,556	120110	0,905*10 ⁻⁶	0,1340	0,174	5,556	108498
B	0,811*10 ⁻⁶	0,1332	0,174	5,556	120100	0,905*10 ⁻⁶	0,1330	0,174	5,556	108488
C	0,853*10 ⁻⁶	0,1272	0,170	5,556	126047	0,953*10 ⁻⁶	0,1270	0,170	5,556	113822
D	0,811*10 ⁻⁶	0,1266	0,170	5,556	132085	0,906*10 ⁻⁶	0,1264	0,170	5,556	119182
E	0,767*10 ⁻⁶	0,1281	0,170	5,556	139301	0,767*10 ⁻⁶	0,1264	0,170	5,556	125640
F	0,779*10 ⁻⁶	0,1271	0,170	5,556	137291	0,779*10 ⁻⁶	0,1269	0,170	5,556	123827

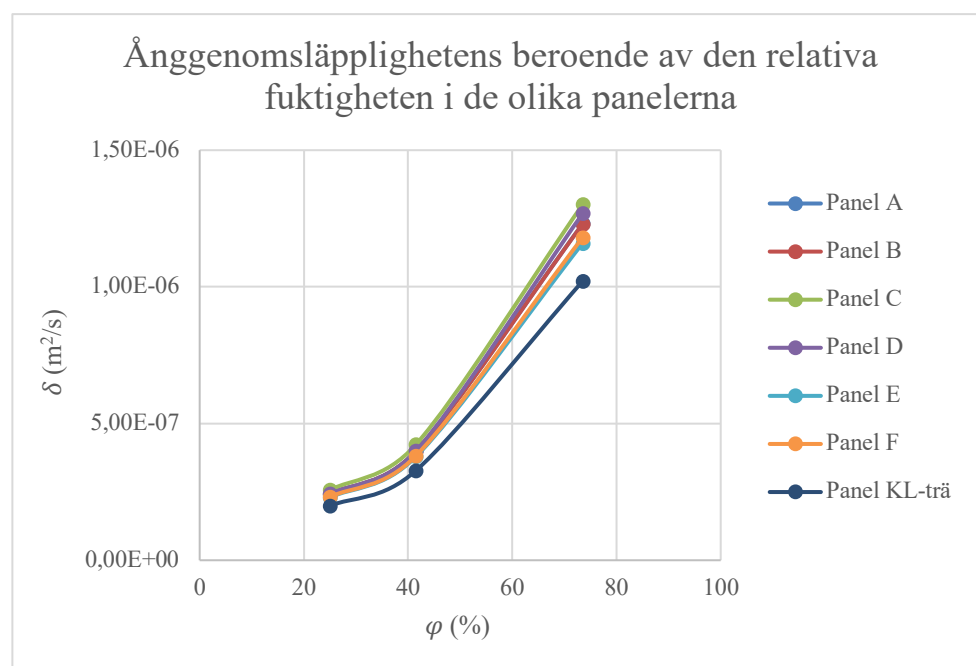
5 Resultat

Panelkonfigurationer i laboration

Fuktfördet beräknades enligt ekvation (4.4) och data från tabell 4.4 – 4.6. Ekvivalent ånggenomsläpplighet beräknades enligt ekvation (4.1) och data från tabell 4.4 – 4.6 samt bilaga E.

Tabell 5.1 Fuktförde, G , och ekvivalent ånggenomsläpplighetskoefficient, δ_{eq} , för olika panelkonfigurationer med olika substanser.

Panel	Substanser					
	Silica gel		MgCl ₂		K ₂ SO ₄	
	G [g/s]	δ_{eq} [m ² /s]	G [g/s]	δ_{eq} [m ² /s]	G [g/s]	δ_{eq} [m ² /s]
A1	1,0316*10 ⁻⁶	0,242*10 ⁻⁶	0,5784*10 ⁻⁶	0,399*10 ⁻⁶	4,9258*10 ⁻⁶	1,229*10 ⁻⁶
A3	1,0315*10 ⁻⁶	0,243*10 ⁻⁶	0,5783*10 ⁻⁶	0,340*10 ⁻⁶	4,9251*10 ⁻⁶	1,233*10 ⁻⁶
B1	1,0314*10 ⁻⁶	0,242*10 ⁻⁶	0,5783*10 ⁻⁶	0,399*10 ⁻⁶	4,9247*10 ⁻⁶	1,230*10 ⁻⁶
B3	1,0309*10 ⁻⁶	0,242*10 ⁻⁶	0,5780*10 ⁻⁶	0,399*10 ⁻⁶	4,9227*10 ⁻⁶	1,230*10 ⁻⁶
C1	0,9767*10 ⁻⁶	0,257*10 ⁻⁶	0,5473*10 ⁻⁶	0,423*10 ⁻⁶	4,6480*10 ⁻⁶	1,301*10 ⁻⁶
C2	0,9768*10 ⁻⁶	0,257*10 ⁻⁶	0,5474*10 ⁻⁶	0,423*10 ⁻⁶	4,6484*10 ⁻⁶	1,301*10 ⁻⁶
D1	0,9238*10 ⁻⁶	0,243*10 ⁻⁶	0,5181*10 ⁻⁶	0,340*10 ⁻⁶	4,4169*10 ⁻⁶	1,302*10 ⁻⁶
D2	0,9238*10 ⁻⁶	0,243*10 ⁻⁶	0,5180*10 ⁻⁶	0,400*10 ⁻⁶	4,4166*10 ⁻⁶	1,235*10 ⁻⁶
E1	0,8669*10 ⁻⁶	0,228*10 ⁻⁶	0,4862*10 ⁻⁶	0,375*10 ⁻⁶	4,1474*10 ⁻⁶	1,159*10 ⁻⁶
E3	0,8671*10 ⁻⁶	0,229*10 ⁻⁶	0,4863*10 ⁻⁶	0,376*10 ⁻⁶	4,1485*10 ⁻⁶	1,161*10 ⁻⁶
F2	0,8809*10 ⁻⁶	0,237*10 ⁻⁶	0,4941*10 ⁻⁶	0,382*10 ⁻⁶	4,2182*10 ⁻⁶	1,180*10 ⁻⁶
F3	0,8810*10 ⁻⁶	0,232*10 ⁻⁶	0,4942*10 ⁻⁶	0,382*10 ⁻⁶	4,2187*10 ⁻⁶	1,181*10 ⁻⁶



Figur 5.1 Ånggenomsläpplighetens beroende av den relativa fuktigheten i de olika panelkonfigurationerna. Indata för panel av KL-trä utan luftspalter fås ur bilaga I.

Panelkonfigurationer i väggkonstruktion i olika städer och årstider

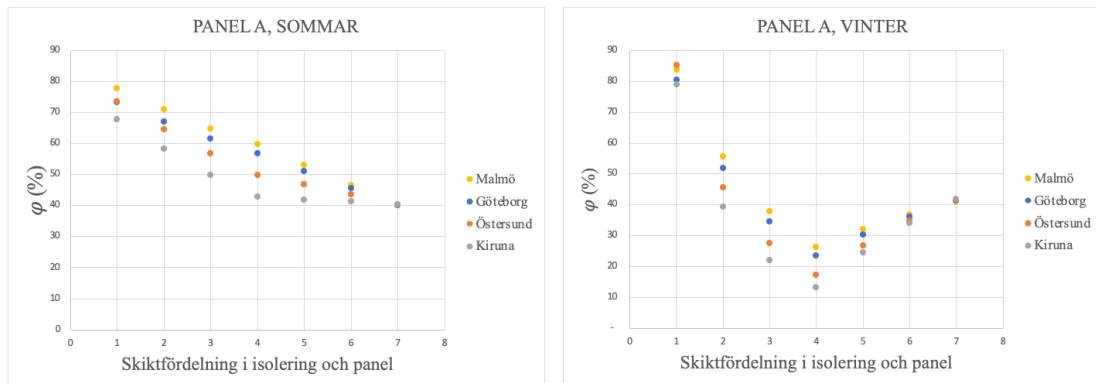
Ekvivalent ånggenomsläpplighet beräknades enligt ekvation (4.1) och data från bilaga F tillsammans med värdet för Z_{eq} från tabell 4.9 – 4.12.

Tabell 5.2 Ekvivalent ånggenomsläpplighetskoefficient, δ_{eq} , för olika panelkonfigurationer med önskade dimensioner för olika orter och årstider.

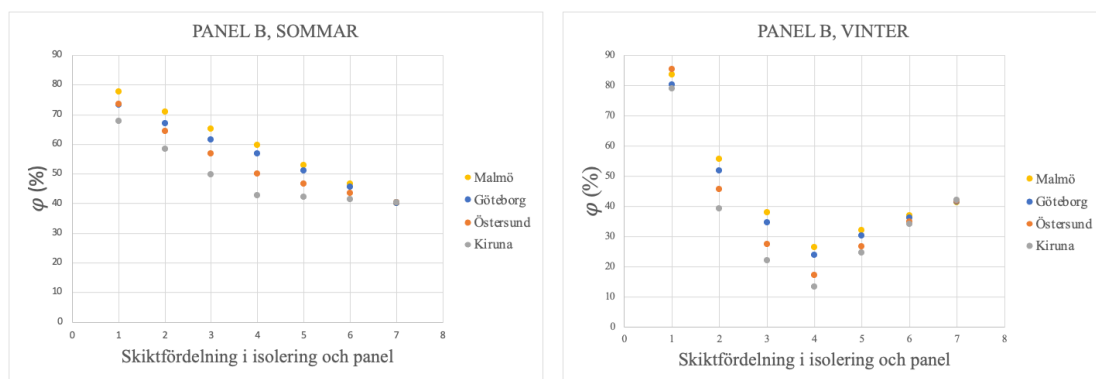
Panel	Städer							
	Kiruna		Östersund		Göteborg		Malmö	
	δ_{eq} [m ² /s]		δ_{eq} [m ² /s]		δ_{eq} [m ² /s]		δ_{eq} [m ² /s]	
	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter
A	0,692*10 ⁻⁶	0,858*10 ⁻⁶	0,763*10 ⁻⁶	0,905*10 ⁻⁶	0,751*10 ⁻⁶	0,858*10 ⁻⁶	0,811*10 ⁻⁶	0,905*10 ⁻⁶
B	0,692*10 ⁻⁶	0,858*10 ⁻⁶	0,763*10 ⁻⁶	0,905*10 ⁻⁶	0,751*10 ⁻⁶	0,858*10 ⁻⁶	0,811*10 ⁻⁶	0,905*10 ⁻⁶
C	0,729*10 ⁻⁶	0,903*10 ⁻⁶	0,804*10 ⁻⁶	0,953*10 ⁻⁶	0,791*10 ⁻⁶	0,903*10 ⁻⁶	0,853*10 ⁻⁶	0,953*10 ⁻⁶
D	0,693*10 ⁻⁶	0,859*10 ⁻⁶	0,764*10 ⁻⁶	0,906*10 ⁻⁶	0,752*10 ⁻⁶	0,859*10 ⁻⁶	0,811*10 ⁻⁶	0,906*10 ⁻⁶
E	0,654*10 ⁻⁶	0,811*10 ⁻⁶	0,702*10 ⁻⁶	0,856*10 ⁻⁶	0,711*10 ⁻⁶	0,811*10 ⁻⁶	0,767*10 ⁻⁶	0,767*10 ⁻⁶
F	0,664*10 ⁻⁶	0,824*10 ⁻⁶	0,703*10 ⁻⁶	0,870*10 ⁻⁶	0,722*10 ⁻⁶	0,824*10 ⁻⁶	0,779*10 ⁻⁶	0,779*10 ⁻⁶

Graferna nedan visar variationerna av relativ luftfuktighet för varje panel A-F i olika städer beroende av årstid. Den relativa luftfuktigheten visas på y-axeln och x-axeln representerar olika skikt i isolering och panel. Skikt 1 representerar utsidan på isoleringen, Y_{taute} , skikt 4 representerar punkten där isolering och panel möts och skikt 7 representerar insidan av panelen, Y_{tainne} . Se bilaga H för skiktindelning i de olika panelkonfigurationerna.

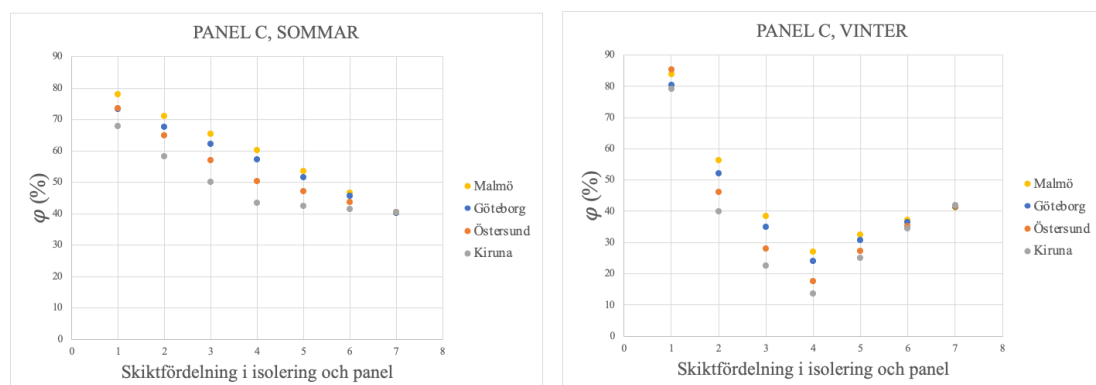
Den relativa fuktigheten i de olika skikten beräknades enligt ekvation (4.15) tillsammans med data från bilaga H.



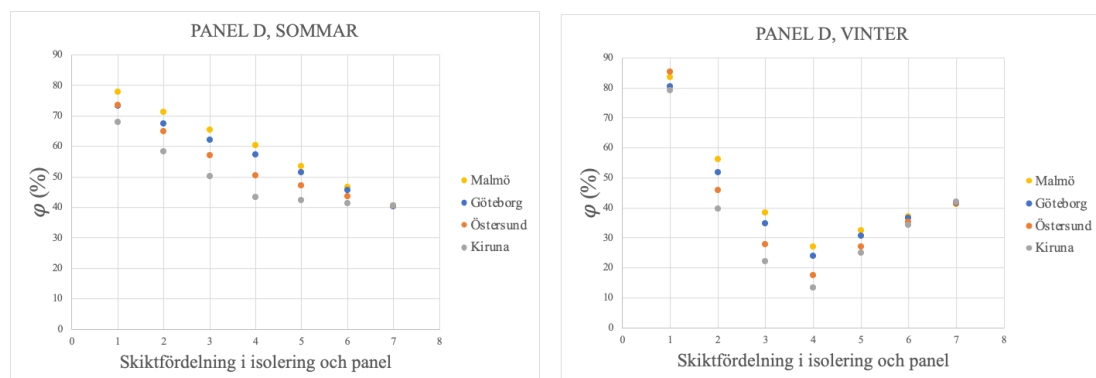
Figur 5.2 Variation av relativ fuktighet för panel A i olika städer beroende av årstid.



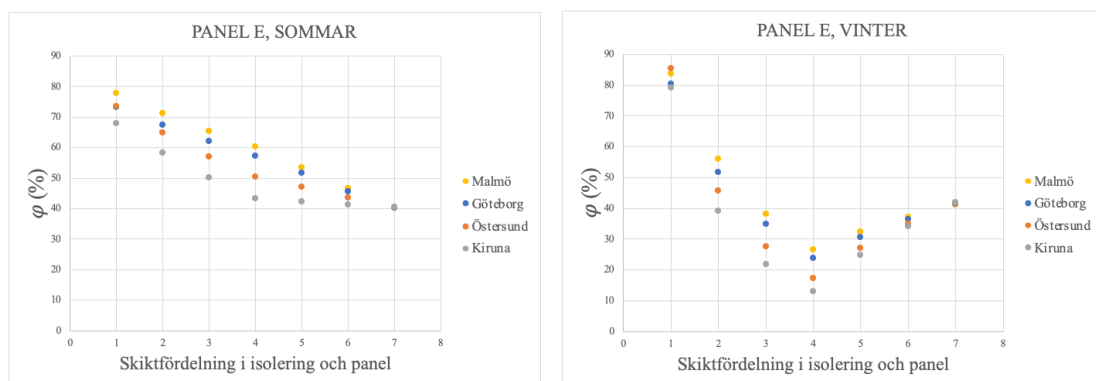
Figur 5.3 Variation av relativ fuktighet för panel B i olika städer beroende av årstid.



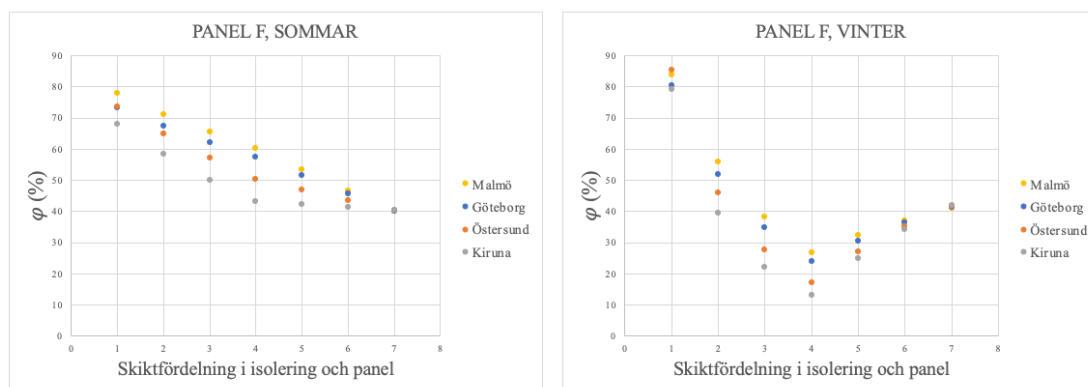
Figur 5.4 Variation av relativ fuktighet för panel C i olika städer beroende av årstid.



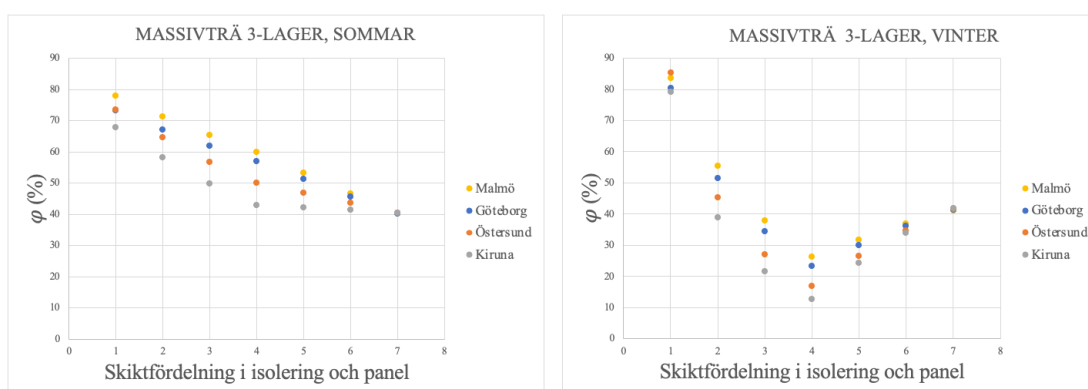
Figur 5.5 Variation av relativ fuktighet för panel D i olika städer beroende av årstid.



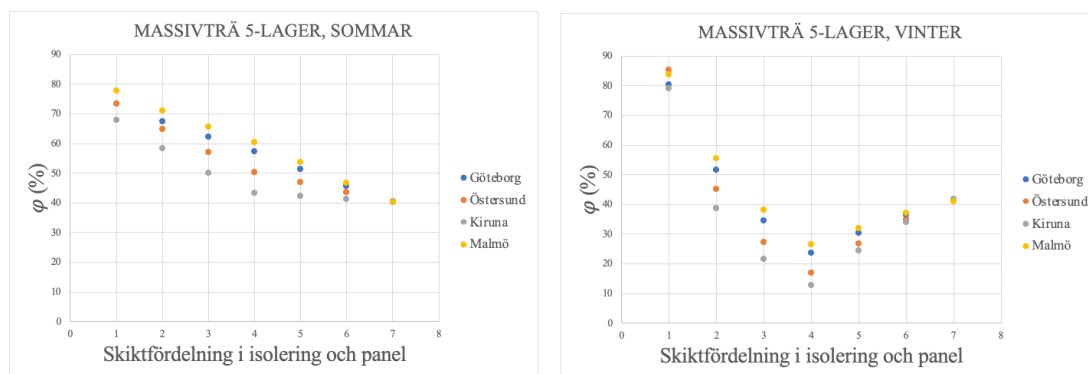
Figur 5.6 Variation av relativ fuktighet för panel E i olika städer beroende av årstid.



Figur 5.7 Variation av relativ fuktighet för panel F i olika städer beroende av årstid.



Figur 5.8 Variation av relativ fuktighet för panel massiv 3-lagerpanel av KL-trä utan luftspalter i olika städer beroende av årstid. Indata för att beräkna den relativa fuktigheten finns i bilaga I.



Figur 5.9 Variation av relativ fuktighet för panel massiv 5-lagerpanel av KL-trä utan luftspalter i olika städer beroende av årstid. Indata för att beräkna den relativa fuktigheten finns i bilaga I.

6 Diskussion

I diskussionen nedan följer först en resultatdiskussion följt av en metoddiskussion. I resultatdiskussionen kommer de handberäknade värdena för ånggenomsläppligheten för panelerna i forskningsarbetet Next Generation CLT att diskuteras följt av ånggenomsläppligheten för panelkonfiguration i en väggkonstruktion per årstid och stad. Vidare kommer risken för mögel i samtliga paneler i förhållande till årstid och stad att utvärderas. Därefter följer en diskussion gällande bäst lämpad design för de olika panelkonfigurationerna med hänsyn till råvaruuttag samt önskat U-värde för väggpanelen. Avslutningsvis följer en diskussion gällande bäst lämpad design med hänsyn till ånggenomsläpplighet.

I metoddiskussionen kommer designen och tillverkningen av panelerna samt utförandet av laborationen diskuteras. Diskussionen tar upp huruvida tillvägagångssättet i tillverkningen av panelerna kan ha påverkat det teoretiska uträknade resultatet. Avslutningsvis diskuteras genomförandet av laborationen och hur det kan ha påverkat det faktiska resultatet som kommer att presenteras av Sustainable building.

6.1 Resultatdiskussion

Nedanstående följer en diskussion gällande ånggenomsläpplighet för de panelkonfigurationer som utsattes för olika relativa fuktigheter under laborationen. Därefter följer en diskussion gällande resultatet för relativ fuktighet och mögelrisk för panelkonfigurationerna i väggkonstruktionen.

Ånggenomsläpplighet för panelkonfigurationer i laboration

Ur figur 5.1 kan ånggenomsläpplighetens beroende av den relativa fuktigheten för de olika panelerna avläsas. Resultatet visar att de sex olika panelkonfigurationerna med integrerade luftspalter har något högre ånggenomsläpplighet jämfört med om panelerna endast skulle bestå av korslimmat trä. Det går även att se att skillnaden ökar ju högre den relativa fuktigheten är. Då luft har högre ånggenomsläpplighet än trä har samtliga paneler med integrerade luftspalter ett högre värde på ånggenomsläppligheten, vilket är ett förväntat resultat.

Ånggenomsläppligheten skiljer sig något, men ändå avsevärt lite, beroende på vilken dimension samt placering som använts i respektive panel. De paneler som innehåller högst andel luft är C och D, och det är även i dessa paneler som högst värde på ånggenomsläppligheten fås. Likaså går det att se att panelerna E och F har lägst värde på ånggenomsläpplighet, vilket är ett trovärdigt resultat eftersom dessa paneler har minst andel luft och därav påminner mest om en massiv panel av korslimmat trä. I panelkonfiguration A och B går det att se en minimal skillnad i ånggenomsläpplighet. Värt att notera gällande den minimala skillnaden i resultatet är att de egentillverkade panelerna inte har de exakt önskade dimensionerna, vilket kommer att diskuteras vidare i metodresultatet.

Relativ fuktighet och mögelrisk för panelkonfigurationer i väggkonstruktion

Ur figurerna 5.2–5.9 som visar hur den relativa fuktigheten förändras för varje panel i olika städer kan ett entydigt mönster avläsas. Oavsett stad följer den relativa fuktigheten för panel A-F ett liknande mönster. Värdena på den relativa fuktigheten varierar inte märkbart för panelerna sinsemellan vilket antyder att designen av luftspalterna inte har en stor påverkan på materialets karaktär. Vidare kan detta bekräftas genom att jämföra resultaten med diagrammen där panelerna endast är bestående av massivträ, vilka också följer liknande mönster som panel A-F.

Det som kan avläsas från figur 5.2–5.9 är att det finns en skillnad i relativ fuktighet mellan sommar och vinter. Under vintern är den relativa fuktigheten som lägst i gränsen mellan isolering och panel, vilket kan förklaras av den stora temperaturskillnad som uppstår mellan ute- och inneklimat.

Som tidigare nämnt uppstår en måttlig risk för mögelangrepp runt 70–85 % relativ fuktighet samt en stor risk för mögelangrepp vid över 85 % relativ fuktighet. Ur figur 5.2–5.9 går det att avläsa att dessa risker endast sker på utsidan av isoleringen. Om den relativa fuktigheten håller sig hög under en längre tid med låg luftcirkulation ökar risken för mögelangrepp, men då isoleringen har en skyddad fasad samt att temperaturen och den relativa fuktigheten varierar i verkligheten, indikerar det på att risken för mögeltillväxt inte är stor på utvändiga ytor av byggnader. Risken för mögelangrepp ökar också vid ökande temperatur, vilket bekräftar att den största risken för mögelangrepp som uppstår vid en hög RF på vintern inte är stor. Risken för mögelangrepp på de designade panelerna A-F är mycket låg så länge det finns en tillräcklig mängd isolering. Genom att endast studera framtagna diagram som visas i resultatet för den relativa fuktigheten är det ett rimligt antagande att de designade panelerna med luftspalter inte utgör någon mögelproblematik i en befintlig väggkonstruktion.

Bäst lämpad design för råvaruuttag och ånggenomsläpplighet

Nedan följer en diskussion gällande den bäst lämpade designen för panelkonfigurationerna med avseende till råvaruuttag och ånggenomsläpplighet.

Råvaruuttag

Tabell 4.1 visar hur stor andel luft varje panelkonfiguration innehåller. Ur denna tabell fås den största andelen luft i panel C och D på 16 % och den minsta andelen luft i panel E på 8 %. Dock bör antal skikt i panelerna beaktas i hänsyn till råvaruuttag. Panel A och B innehåller tre lager massiva träskivor vilket resulterar i mindre mängd material än panel C-F innehållandes fem lager massiva träskivor. Även då panel A och B innehåller 13 % luft, vilket är en mindre andel luft än panel C och D, genererar de lägst mängd råvara. Skillnaden på mängden material mellan panel A och B samt panel C och D är 7 %.

Sett till lägst råvaruuttag är panel A och B den mest optimala designen då de kräver minst mängd material. En aspekt att ta hänsyn till är hur tjockleken på isoleringen varierar med tjockleken på panelen. Från tabell 4.15-4.18 kräver en tre-lagerpanel fyra centimeter mer isolering än en fem-lagerpanel för att uppnå ett U-värde på 0,18 W/m²K. Den extra mängd isolering som panel A och B kräver är förhållandevis liten

gentemot mängden råvara som kan bevaras. I verkligheten skulle troligtvis samma tjocklek på isoleringen använts oavsett val av panel.

Ånggenomsläpplighet

En annan aspekt att ta hänsyn till är hur luftspalternas placering påverkar variationen av ånggenomsläpplighet. Vid följande jämförelse har paneler med lika många lager samt lika stor andel luft beaktats. Luftspalterna i panelerna A och B med tre lager är belägna på det mittersta lagret. Från tabell 5.2 har panel A och B samma värde på ånggenomsläppligheten i samtliga beräkningar. Det indikerar på att ånggenomsläppligheten inte varierar för en sammansatt luftspalt på 120 mm med en uppdelad luftspalt på 60 mm vardera som är belägna i samma lager. En ytterligare aspekt att ta hänsyn till är om luftspalterna är placerade i olika lager i panelen samt om de är parallella eller förskjutna mot varandra. En sådan jämförelse kan göras i panel C och D där dimensionerna på luftspalterna är densamma, men de har olika placeringar vilket speglas i resultatet. Eftersom luftspalterna i panel D är förskjutna gentemot varandra blir det ekvivalenta ångmotståndet större i panel D, vilket resulterar i ett lägre värde på ånggenomsläppligheten.

Vid en jämförelse av alla panelkonfigurationer fås det högsta värdet på ånggenomsläppligheten i panel C för alla uträkningar med hänsyn till stad och årstid samt lägst ånggenomsläpplighet återfinns i panel E. Vilket stärks av tidigare nämnda resonemang då större andel luft samt en placering av parallella luftspalter påverkar ånggenomsläpplighetens variation.

6.2 Metoddiskussion

I metoddiskussionen diskuteras designen och tillverkning av panelkonfigurationerna följt av utförandet av laborationen.

Design av panelkonfigurationer

Syftet med att ta fram en design för olika panelkonfigurationer var att uppnå en variation av luftspalter i avseende till dimensioner och placering. Detta gjordes för att se hur fuktegenskaperna varierar i de olika konfigurationerna. Som angivet i kapitel 2 består KL-trä vanligtvis av tre till sju massiva träskivor, därav bestämdes begränsningen av antal lagerskikt till tre respektive fem massiva träskivor. Eftersom ångmotståndet varierar beroende på material valdes en variation på luftspalternas placering, både parallella och förskjutna gentemot varandra, samt en variation av luftspalternas dimensioner. Med hänsyn till detta designades totalt sex olika panelkonfigurationer.

Ur jämförelsesynpunkt för ånggenomsläppligheten hade det underlättat att jämföra de paneler som innehöll samma andel luftspalter fast med en variation av dess placering. Denna variation av placering av luftspalter är lättare att uppnå i de paneler som innehåller fem lager massiva träskivor jämfört med de som endast innehåller tre eftersom denna typ av panel endast kan ha luftspalter placerade i lager två. Däremot är det intressant att jämföra två olika tjocklekar av paneler då de två olika varianterna kräver olika isoleringstjocklekar för att uppnå Boverkets byggregler gällande värmeledningskoefficienten.

Tillverkning av panelkonfigurationer

Vid tillverkningen av panelerna fanns ett begränsat utbud av lameller att nyttja. Några av de lameller som användes hade kvisthål och defekter som inte gick att undvika. De massiva träskivorna som användes i exempelvis lager 1, 3 och 5 för femlagerpanelerna kom färdiga från fabrik, därav fanns ingen stor möjlighet att undvika vissa defekter och kvisthål. Genom att ha defekter och kvisthål ökar mängden luft i panelen vilket i sin tur ökar ånggenomsläppligheten. Dessa defekter och kvisthål har inte tagits i beaktning vid de teoretiska handberäkningarna för ånggenomsläppligheten. Däremot kommer det högst troligtvis påverka det faktiska resultatet vilket kommer att presenteras av forskningsgruppen Sustainable building. En ytterligare aspekt som inte tagits i beaktning i uträkningarna är limmets påverkan på ånggenomsläppligheten. Som nämnts i avsnitt 4.1 användes polyvinylacetatlim istället för polyuretanlim. Denna förändring under tillverkningsprocessen är därav en osäker faktor då det finns bristfällig kunskap gällande dess påverkan.

Vidare har all tillverkning skett för hand vilket leder till att mänskliga faktorer påverkar resultatet när det kommer till önskade paneldimensioner. Detta kan exempelvis ses i bilaga B och E där de faktiska uppnådda måtten av lamellerna och de färdigställda panelerna noterats. En viktig beaktning är att lamellerna inte bör förflyttas mellan olika rum med olika klimat i allt för stor utsträckning, detta för att undvika deformationer av träet.

Utförande av laboration

Nedan följer observationer som noterats och bör beaktas under fortsatt laboration av forskningsgruppen Sustainable building.

Innan laborationen påbörjas är det viktigt att säkerställa att det är tätt mellan testlådan och träpanelen för att säkerställa ett giltigt resultat. Det gjordes genom att använda både modellera och aluminiumtejp för att garantera att inga otätheter uppstår. Försiktighetsåtgärder bör tas när saltlösningarna blandas då en kemisk reaktion uppstår. Vidare ska försiktighetsåtgärder tas vid förflyttning av testlåda med panel då lösningen inte får hamna i direkt kontakt med panelen då det kan påverka resultatet. Vidare kan testordningen av de olika substanserna ha en påverkan på resultatet. Exempelvis kan silica gel torka ut panelerna vilket kan medföra att limmet släpper mellan lamellerna. Detta medför i sin tur att andelen luft ökar i panelerna vilket ökar ånggenomsläppligheten. Ytterligare en påföljd av detta är att resultatet för nästkommande substans som utsätts för tester kan komma att påverkas, eftersom andelen luft har ökat.

Enligt SS-EN 12086:2013 ska testenheten vägas med en noggrannhet på 1 mg eller bättre. Luftrörelserna i klimatrummet påverkar mätvärdena och det är därför svårt att uppnå en stabil vikt. Det är därför fördelaktigt att placera testpanelerna i en sluten miljö. Avslutningsvis baseras den relativa fuktigheten för substanserna på SS-EN ISO 12571:2021 där de konstanta förhållandena är 23 °C och 50 % relativ fuktighet. De konstanta förhållandena som används i klimatrummet som testpanelerna utsätts för är däremot 20 °C och 50 % relativ fuktighet. De relativa fuktigheterna som angetts för substanserna i beräkningarna är därför baserade på värdena från standarden vilket inte överensstämmer med verkligheten. Detta kan vara en anledning till att de uträknade värdena eventuellt skiljer sig från det faktiska framtida resultatet från laborationen.

7 Slutsats

Utifrån handberäkningar kunde ånggenomsläppligheten för panelkonfigurationerna med varierande luftspalter tas fram. Resultatet och diskussionen visar att de sex olika panelkonfigurationerna har något högre ånggenomsläpplighet, men följer samma karakteristiska kurva, jämfört med om panelerna endast skulle bestå av massivt trä utan integrerade luftspalter. En något högre ånggenomsläpplighet för de sex panelkonfigurationerna är sannolik då luft har ett lägre ångmotstånd jämfört med trä. Vid en jämförelse av panelkonfigurationerna sinsemellan har panel C och D högst ånggenomsläpplighet eftersom andelen luft är störst i dessa konfigurationer.

Gällande fuktsäkerheten i svenskt klimat kunde en viss skillnad mellan de olika årstiderna och städerna ses. Dock var denna skillnad ytterst liten och det gick att se ett entydigt mönster mellan de olika panelkonfigurationerna. Värdena på den relativa fuktigheten varierar inte märkbart för panelerna sinsemellan. Vidare visade resultatet att fuktsäkerheten mellan panelerna med luftspalter inte skiljer sig mot paneler enbart bestående av massivt trä. Detta innebär att fuktsäkerheten för de egentillverkade panelerna inte försämrades genom att integrera luftspalter med hänsyn till ett svenskt klimat.

Genom att införa luftspalter med våra valda dimensioner kan mängden råvara för en hel panel minska med 8–16% jämfört med att använda en panel enbart bestående av massivt trä. Efter att ha analyserat resultatet går det att konstatera att det finns många anledningar till att välja paneler med de integrerade luftspalterna som presenteras i detta arbete framför en panel endast bestående av korslimmat trä. Fördelarna med att välja paneler med integrerande luftspalter är att det blir mer kostnadseffektivt samt att råvaruuttaget minskar vilket resulterar i en mer välmående skog

8 Referenser

Borgström, E., & Fröbel, J. (2017). *KL-trähandbok: Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner*. Stockholm: Svenskt trä

Boverket. (2017). *Beräkning av behovet av nya bostäder till 2025*.
<https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2017/berakning-av-behovet-av-nya-bostader-till-2025/>

Boverket. (2021). *Miljöindikatorer – aktuell status*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/>

Boverket. (2022a). *Om fukt i byggnader*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/>

Boverket. (2022b). *Fuktsäkerhet*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/>

Boverket. (2022c). *Kontroll av fuktsäkerheten*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/kontroll-av-fuktsakerheten/>

Burström, P-G. (2021). *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund; Studentlitteratur AB.

Erlandsson, M., Malmqvist, T., Francart, N., Kellner, J. (2018). *Minskad klimatpåverkan från flerbostadshus*. (C344). IvL Svenska Miljöinstitutet
<https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3fa82/1591705764249/C344.pdf>

Esping, B., Salin, J., Brander, P., (2005). *Fukt i trä för byggindustrin: Fuktegenskaper, krav, hantering och mätning*. [Broschyr]. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.

Globalportalen. (u.å.). *Om globala målen*.
<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>

Grindal, H. (2017). *Världens högsta träbyggnad*.
<https://branschaktuellt.se/byggindustrin/12893-varldens-hogsta-trabyggnad/>

Hagentoft, C., & Sandin, K. (2017). *Byggnadsfysik: så fungerar hus*
Lund; Studentlitteratur AB.

Hyresgästföreningen. (2019). *Bostadsbrist och byggande*.
<https://www.hyresgastforeningen.se/var-politik/vara-viktigaste-mal/vad-vi-jobbar-for/bostadsbrist-och-byggande/>

- Jonsson, P. (2022). *Timberprices vs. Lumber prices*.
<https://www.forestry.com/editorial/timber-prices-vs-lumber-prices/?fbclid=IwAR3hii0t8KhCeG6utaSfiFYwQAcOM3rSm2-S5jN4knllbS8dNxCxaSQEEQ>
- Lejavs, J., & Rozins, R. (2016). *Water vapour permeability properties of cellular wood material and condensation risk of composite panel walls*.
https://www.researchgate.net/publication/309012648_WATER_VAPOUR_PERMEABILITY_PROPERTIES_OF_CELLULAR_WOOD_MATERIAL_AND_CONDENSATION_RISK_OF_COMPOSITE_PANEL_WALLS
- Martinsons. (2021). *Martinsons materialguide för KL-trä*. Hämtad från
<https://martinsons.se/byggnader-i-tra/limtra-och-kl-tra-for-byggnadsobjekt/kl-tra/>
- Martinsons. (u.å). *Vanliga fördomar om ekonomi och träbyggande*.
<https://martinsons.se/om-martinsons/martinsons-mythbusters/ekonomi-och-trabyggande/>
- Naturskyddsföreningen. (2022). *Sanningen om den svenska skogen*.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/sanningen-om-den-svenska-skogen/>
- Naturvårdsverket. (u.å.). *Klimatet och bygg- och fastighetssektorn*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/omraden/klimat-et-och-bygg--och-fastighetssektorn/>
- Nevander, L., & Elmarsson, B. (1994). *Fukthandbok: praktik och teori*. Stockholm; AB Svensk Byggtjänst.
- Petersson, B. (2013). *Tillämpad byggnadsfysik*. Lund; Studentlitteratur AB.
- SCB. (2020). *Lägenheter i nybyggda ordinära flerbostadshus, antal som prisstatistiken baseras på efter material i husens stomme och år*.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__BO__BO0201__BO0201M/MaterialiStommeFN/table/tableViewLayout1/
- SCB. (2021). *Folkmängd efter kön och år*.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__BE__BE0101__BE0101G/BefUtvKon1749/table/tableViewLayout1/
- Skuratov, N. (2010). *New lightweight solid wood panels for green building*.
<https://www.swst.org/wp/meetings/AM10/pdfs/IW-4%20skuratov%20paper.pdf>
- SLU. (2020). *Skogen räcker inte - hur ska vi prioritera?*
<https://www.slu.se/ew-nyheter/2020/6/skogen-racker-inte---hur-ska-vi-prioritera/>
- Svenskt trä. (2021). *Fuktsäkert KL-träbyggande utan heltäckande våderskydd*.
<https://www.svenskttra.se/publikationer-start/publikationer/fuktsakert-kl-trabyggande-utan-heltackande-vaderskydd/>

Svenskt trä. (u.å.a). *Träbyggande världen över*.
<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/olika-trakonstruktioner/smahus-och-flervaningshus/trabyggande-varlden-over/>

Svenskt trä. (u.å.b). *Bygg klimatsmart*
<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/varfor-tra/bygg-klimatsmart/>

Södra. (2021). *Lim i korslimmat trä*. [Broschyr]. Södra, kommunikationsavdelningen.

Träguiden. (2019). *Träskydds egenskaper*.
<https://www.traguiden.se/underhall/ytbehandling-och-underhall/traskydd/traskydd/traskydds-egenskaper/>

Voth, C. (2009). *Lightweight sandwich panels using small-diameter timber wood-strands and recycled new sprint cores*.
http://www.dissertations.wsu.edu/Thesis/Fall2009/c_voth_120609.pdf

9 Bilagor

Bilaga A – Defekter och kvisthåll



Bilaga B – Dimensioner och vikt

På varje skiva togs tre mätvärden på längden och på varje lamell togs två mätvärden på längden. Träskivorna från fabrik var något tjockare än önskade dimensioner. De var dock för stora till ytan för att hyvlas i planhyveln, därför är tjockleken på dessa något större än önskat.

Vakuumpress 1

AL3							
AL2.1		AL2.2	AL2.3		AL2.4		AL2.5
AL1							

	Namn	Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]
	AL1	8062,00	720,00	720,00	30,50
			720,00	720,00	30,65
			720,00	720,00	30,70
	Medelvärde		720,00	720,00	30,62
	AL2.1	976,00	720,50	120,00	30,00
			720,00	120,05	30,10
				120,05	30,20
	Medelvärde		720,25	120,03	30,10
	AL2.2	974,00	720,50	120,05	30,10
			720,00	120,00	30,15
				120,00	30,15
	Medelvärde		720,25	120,02	30,13
	AL2.3	536,00	720,00	60,05	30,10
			720,00	60,10	30,10
				60,10	30,00
	Medelvärde		720,00	60,08	30,07
	AL2.4	1059,00	720,50	119,85	30,00
			720,50	120,05	30,15
				120,00	30,05
	Medelvärde		720,50	119,97	30,07
	AL2.5	505,00	720,00	60,10	30,00
			720,00	60,15	30,15
				60,00	30,20
	Medelvärde		720,00	60,08	30,12
	AL3	8559,00	720,00	720,00	31,00
			720,00	720,00	30,70
			720,00	720,00	30,85
	Medelvärde		720,00	720,00	30,85

Vakuumpress 2

BL5						
BL4.1		BL4.2	BL4.3		BL4.4	BL4.5
BL3						
BL2.1		BL2.2	BL2.3	BL2.4		BL2.5
BL1						
	Namn	Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	
	BL1	5431,00	720,10	720,10	20,75	
			720,10	720,50	20,80	
			720,10	720,10	20,60	
Medelvärde			720,10	720,23	20,72	
	BL2.1	919,00	720,00	119,80	20,00	
			720,00	120,00	20,00	
				120,10	20,05	
Medelvärde			720,00	119,97	20,02	
	BL2.2	801,00	720,00	120,10	20,05	
			720,00	120,05	20,05	
				120,10	20,20	
Medelvärde			720,00	120,08	20,10	
	BL2.3	929,00	720,00	119,90	20,15	
			720,00	120,10	20,10	
				119,90	20,10	
Medelvärde			720,00	119,97	20,12	
	BL2.4	474,00	720,00	60,10	20,25	
			720,00	60,13	20,30	
				60,25	20,00	
Medelvärde			720,00	60,16	20,18	
	BL2.5	428,00	720,00	60,05	20,20	
			720,00	60,10	20,13	
				60,10	20,15	
Medelvärde			720,00	60,08	20,16	
	BL3	5398,00	720,00	720,10	20,70	
			720,05	720,10	20,65	
			720,10	720,05	20,80	
Medelvärde			720,05	720,08	20,72	
	BL4.1	897,00	720,00	120,10	20,10	
			720,00	120,05	20,08	
				120,15	20,03	
Medelvärde			720,00	120,10	20,07	
	BL4.2	906,00	720,00	119,80	20,00	
			720,00	120,05	20,05	
				120,00	20,03	
Medelvärde			720,00	119,95	20,03	
	BL4.3	475,00	720,00	60,00	20,10	
			720,00	60,05	20,10	

				60,05	20,13
Medelvärde			720,00	60,03	20,11
	BL4.4	834,00	720,00	120,00	20,10
			720,00	120,05	20,15
				120,03	20,10
Medelvärde			720,00	120,03	20,12
	BL4.5	436,00	720,00	60,00	20,10
			720,00	60,05	20,15
				60,00	20,03
Medelvärde			720,00	60,02	20,09
	BL5	5264,00	720,15	720,05	20,70
			720,05	720,10	20,80
			720,05	720,00	20,65
Medelvärde			720,08	720,05	20,72

Vakuumpress 3

CL5								
CL4.1	CL4.2		CL4.3	CL4.4		CL4.5		CL4.6
CL3								
CL2.1	CL2.2		CL2.3	CL2.4	CL2.5		CL2.6	CL2.7
CL1								

	Namn	Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]
	CL1	5018,00	710,00	719,50	20,65
			710,00	719,75	20,60
			710,00	719,50	20,75
Medelvärde			710,00	719,58	20,67
	CL2.1	190,00	720,25	24,85	20,20
			720,00	24,85	20,20
				25,00	20,30
Medelvärde			720,13	24,90	20,23
	CL2.2	888,00	720,00	120,20	20,05
			720,00	120,10	20,15
				120,25	20,18
Medelvärde			720,00	120,18	20,13
	CL2.3	817,00	720,00	120,08	20,10
			720,00	120,10	20,10
				120,13	20,15
Medelvärde			720,00	120,10	20,12
	CL2.4	433,00	720,25	60,08	20,03
			720,00	60,13	20,13
				60,10	20,25
Medelvärde			720,13	60,10	20,13
	CL2.5	551,00	720,00	90,15	20,15
			720,00	90,15	20,25
				90,15	20,25

Medelvärde			720,00	90,15	20,22
	CL2.6	964,00	719,75	120,10	20,15
			720,25	120,00	20,25
				120,00	20,25
Medelvärde			720,00	120,03	20,22
	CL2.7	411,00	720,00	55,20	20,20
			720,00	54,55	20,20
				55,00	20,30
Medelvärde			720,00	54,92	20,23
	CL3	5061,00	709,50	719,00	20,80
			710,00	719,00	20,85
			710,00	719,50	21,00
Medelvärde			709,83	719,17	20,88
	CL4.1	183,00	720,05	24,95	21,10
			720,05	24,95	20,15
				24,95	20,15
Medelvärde			720,05	24,95	20,13
	CL4.2	942,00	720,00	120,00	20,05
			720,00	120,20	20,10
				120,15	20,13
Medelvärde			720,00	120,12	20,09
	CL4.3	778,00	720,03	120,25	20,13
			720,05	120,13	20,15
				120,25	20,05
Medelvärde			720,04	120,21	20,11
	CL4.4.	572,00	720,08	90,03	20,25
			720,05	90,10	20,25
			720,05	90,05	20,20
Medelvärde			720,06	90,06	20,23
	CL4.5	789,00	720,05	120,40	20,15
			720,00	120,23	20,15
				120,18	20,15
Medelvärde			720,03	120,27	20,15
	CL4.6	371,00	720,05	54,93	20,00
			720,08	54,68	20,10
				54,95	20,05
Medelvärde			720,06	54,85	20,05
	CL5	5044,00	709,75	719,00	20,90
			709,75	719,00	20,70
			709,75	719,50	20,50
Medelvärde			709,75	719,17	20,70

Bilaga C – Total tjocklek efter vakuumpress

	Tjocklek [mm]		
	Press 1	Press 2	Press 3
	91,25	102,05	101,75
	91,20	102,15	101,825
	91,25	102,05	101,80
Medelvärde	91,23	102,08	101,79

Bilaga D – Bilder på färdigställda paneler



Figur 8.1 Panel A från vakuumpress 1.



Figur 8.2 Panel B från vakuumpress 1.



Figur 8.3 Panel C från vakuumpress 2.



Figur 8.4 Panel D från vakuumpress 2.



Figur 8.5 Panel E från vakuumpress 3.



Figur 8.6 Panel E från vakuumpress 3.



Figur 8.7 Samtliga testpaneler.

Bilaga E – Kontrollmätning av paneler och indelningar

Panel A

	Luftspalt	

Panel A består av tre likadana uppsättningar som namnges A1, A2 och A3.

Panel A1 och A3 utsattes för laboration.

Panel A1					
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt Bredd [mm]	Luftspalt Tjocklek [mm]
2320,20	300,00	199,00	91,17	119,25	30,16
			91,16	118,84*	30,45*
			91,12		
Medelvärde			91,15	119,05	30,31

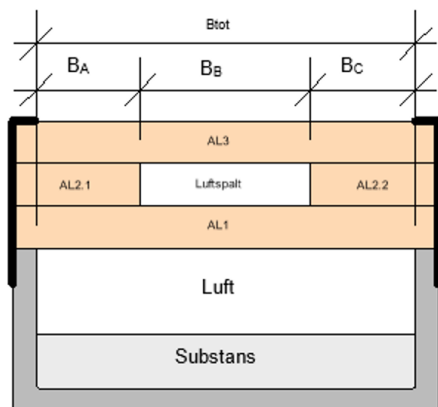
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel A2					
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt Bredd [mm]	Luftspalt Tjocklek [mm]
2385,80	300,00	199,75	91,60	118,68	30,76
			91,76	118,74*	30,41*
			91,76		
Medelvärde			91,71	118,71	30,59

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel A3					
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt Bredd [mm]	Luftspalt Tjocklek [mm]
2310,40	300,00	199,80	91,41	118,79	30,56
			91,51	119,14*	30,23*
			91,44		
Medelvärde			91,45	118,97	30,40

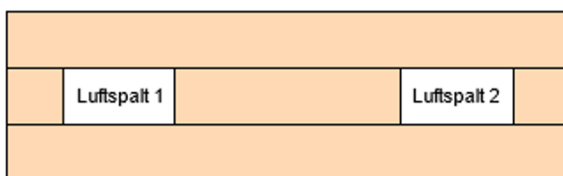
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.



Bredd indelning spalter A1 [mm]			
BA		BB	BC
74,48		119,05	74,48
B _{tot}	268		

Bredd indelning spalter A3 [mm]			
BA		BB	BC
74,51		118,97	74,51
B _{tot}	268,00		

Panel B



Panel B består av tre likadana uppsättningar som namnges B1, B2 och B3.
Panel B1 och B3 utsattes för laboration.

Panel B1							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2337,50	298,45	199,25	91,12	59,74	30,17	59,50	30,32
			91,19	59,69*	30,50*	58,63*	31,03*
			91,38				
Medelvärde			91,23	59,72	30,34	59,07	30,68

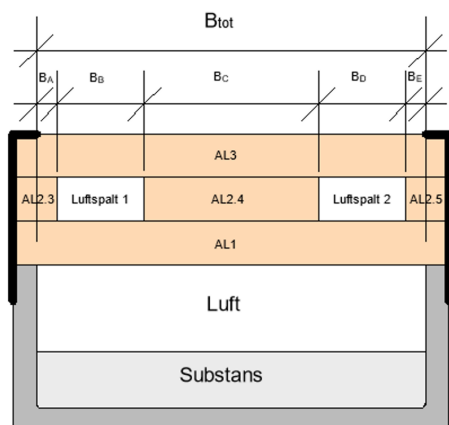
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel B2							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2370,10	299,00	200,00	91,72	59,50	30,65	58,67	30,76
			91,80	59,57*	30,30*	58,50*	30,36*
			92,04				
Medelvärde			91,85	59,54	30,48	58,59	30,56

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel B3							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2333,90	299,00	200,00	91,35	59,55	30,31	58,79	30,31
			91,37	59,68*	30,13*	59,33*	30,06*
			91,26				
Medelvärde			91,33	59,62	30,22	59,06	30,19

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.



Bredd indelning spalter B1 [mm]				
B_A	B_B	B_C	B_D	B_E
14,62	59,72	119,97	59,07	14,62
B_{tot}	268,00			

Bredd indelning spalter B3 [mm]				
B _A	B _B	B _C	B _D	B _E
14,62	59,62	119,97	59,06	14,62
B _{tot}	268,00			

Panel C

	Luftspalt 2	
	Luftspalt 1	

Panel C består av tre likadana uppsättningar som namnges C1, C2 och C3.
Panel C1 och C2 utsattes för laboration.

Panel C1							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2594,60	299,75	200,00	102,44	119,84	20,26	119,55	20,65
			102,28	120,04*	20,29*	119,74*	20,41*
			102,17				
Medelvärde			102,30	119,94	20,28	119,65	20,53

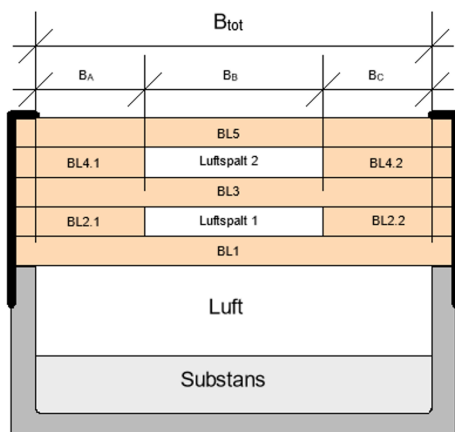
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel C2							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2575,30	300,00	200,00	102,32	119,83	20,49	119,67	20,52
			102,31	120,08*	20,20*	119,85*	20,44*
			102,31				
Medelvärde			102,31	119,96	20,35	119,76	20,48

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel C3							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2640,10	299,90	200,00	102,09	120,07	20,38	119,86	20,51
			102,21	120,41*	20,24*	119,87*	20,82*
			102,36				
Medelvärde			102,22	120,24	20,31	119,87	20,67

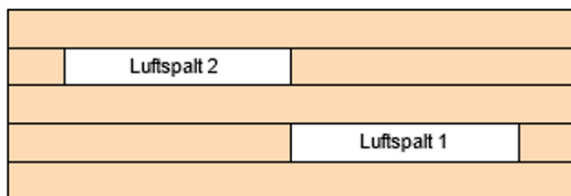
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.



Bredd indelning spalter C1 [mm]			
	B _A	B _B	B _C
	74,10	119,80	74,10
B _{tot}	268,00		

Bredd indelning spalter C2 [mm]			
	B _A	B _B	B _C
	74,07	119,86	74,07
B _{tot}	268,00		

Panel D



Panel D består av tre likadana uppsättningar som namnges D1, D2 och D3.
Panel D1 och D2 utsattes för laboration.

Panel D1							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2616,80	299,10	200,00	102,07	120,00	20,25	119,89	20,13
			102,17	119,75*	20,32*	119,86*	20,12*
			102,08				
Medelvärde			102,11		20,29	119,88	20,13

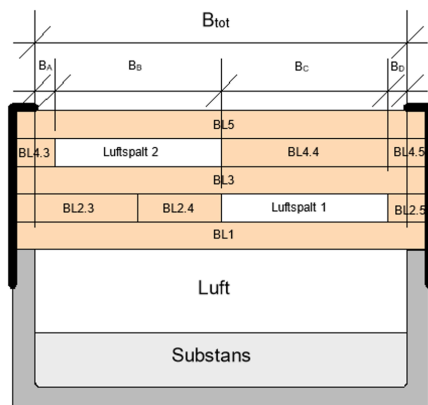
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel D2							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2538,80	299,10	200,00	102,24	119,90	20,15	119,87	20,24
			102,04	119,77*	20,35*	119,89*	20,29*
			102,25				
Medelvärde			102,18	119,84	20,25	119,88	20,27

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel D3							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2663,70	299,00	200,00	102,18	119,92	20,40	119,92	20,38
			102,13	119,92*	20,15*	120,00*	20,26*
			102,23				
Medelvärde			102,18	119,92	20,28	119,96	20,32

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.



Bredd indelning spalter D1 [mm]			
BA	BB	BC	BD
14,12	119,88	119,88	14,12
Btot	268,00		

Bredd indelning spalter D2 [mm]			
BA	BB	BC	BD
14,14	119,88	119,84	14,14
Btot	268,00		

Panel E

Luftspalt 2
Luftspalt 1

Panel E består av tre likadana uppsättningar som namnges E1, E2 och E3.

Panel E1 och E3 utsattes för laboration.

Panel E1							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2715,70	299,30	200,00	101,96	59,62	20,35	60,00	20,28
			102,00	59,86*	20,53*	60,04*	20,40*
			102,31				
Medelvärde			102,09	59,74	20,44	60,02	20,34

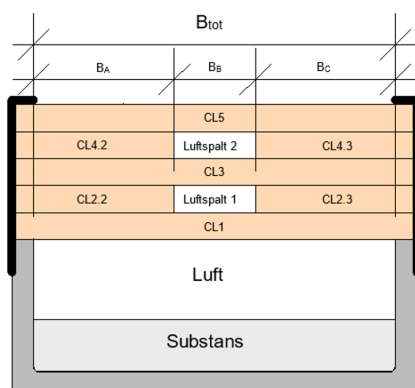
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel E2							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2756,00	299,10	200,00	101,99	59,75	20,63	60,06	20,60
			102,03	60,02*	20,39*	60,17*	20,27*
			102,22				
Medelvärde			102,08	59,89	20,51	60,12	20,44

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel E3							
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
2799,1	299,15	200,25	102,16	59,84	20,23	60,00	20,33
			102,29	59,98*	20,14*	60,11*	20,26*
			102,38				
Medelvärde			102,28	59,91	20,19	60,06	20,30

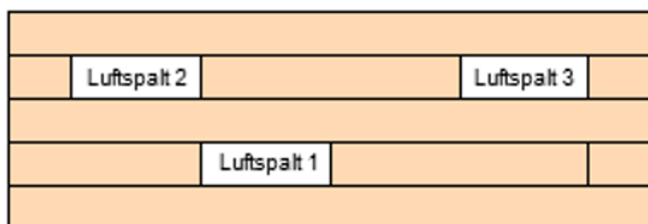
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.



Bredd indelning spalter E1 [mm]			
B _A		B _B	B _C
104,06		59,88	104,06
B _{tot}	268,00		

Bredd indelning spalter E3 [mm]			
B _A		B _B	B _C
104,01		59,98	104,01
B _{tot}	268,00		

Panel F



Panel F består av tre likadana uppsättningar som namnges F1, F2 och F3.
Panel F2 och F3 utsattes för laboration.

Panel F1									
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]	Luftspalt 3 Bredd [mm]	Luftspalt 3 Tjocklek [mm]
2570,60	200,20	200,00	102,10	59,90	20,10	59,86	20,22	59,82	20,22
			102,44	60,00*	20,40*	59,67*	20,38*	59,79*	20,65*
			102,25						
Medel- värde			102,07	59,95	20,25	59,77	20,30	59,81	20,44

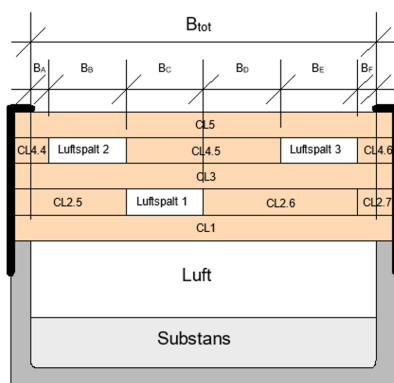
* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel F2									
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]	Luftspalt 3 Bredd [mm]	Luftspalt 3 Tjocklek [mm]
2641,00	299,29	200,00	102,10	59,96	20,49	59,85	20,59	59,96	20,84
			102,44	60,01*	20,52*	59,93*	20,09*	59,92*	20,42*
			102,25						
Medel- värde			102,26	59,99	20,51	59,89	20,34	59,94	20,63

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

Panel F3									
Vikt [g]	Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]	Luftspalt 3 Bredd [mm]	Luftspalt 3 Tjocklek [mm]
2649,9	299,00	200,10	102,54	60,00	20,38	59,99	20,16	59,78	20,18
			102,19	60,09*	20,40*	60,02*	20,67*	60,00*	20,66*
			102,15						
Medel- värde			102,20	60,05	20,39	60,01	20,42	58,89	20,42

* avser mätvärden för luftspaltens baksida.

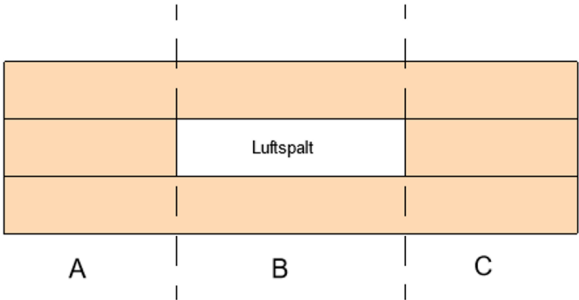


Bredd indelning spalter D2 [mm]					
B _A	B _B	B _C	B _D	B _E	B _F
13,95	59,89	59,99	60,28	59,94	13,95
B _{tot}	268,00				

Bredd indelning spalter D2 [mm]					
B _A	B _B	B _C	B _D	B _E	B _F
13,91	60,01	60,05	60,22	59,89	13,91
B _{tot}	268,00				

Bilaga F – Önskade dimensioner

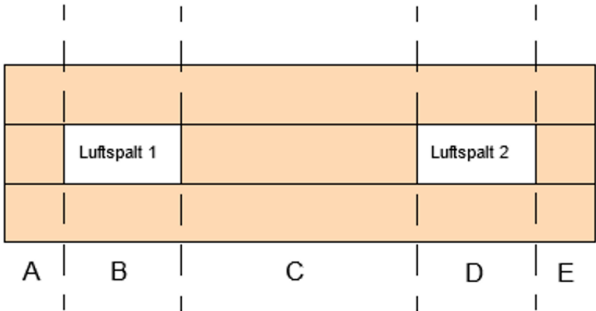
Panel A



Panel A					
Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Tjocklek lager [mm]	Luftspalt Bredd [mm]	Luftspalt Tjocklek [mm]
300,00	200,00	90,00	30,00	120,00	30,00

Bredd indelning spalter [mm]		
A	B	C
90,00	120,00	90,00

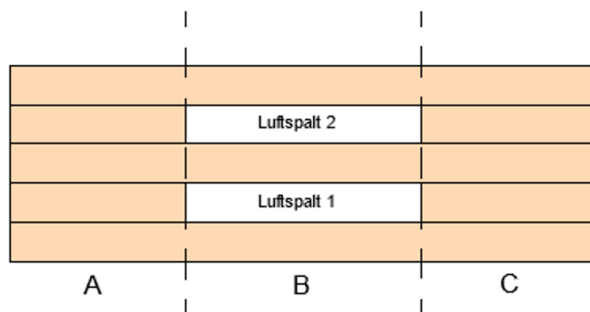
Panel B



Panel B							
Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Tjocklek lager [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
300,00	200,00	90,00	30,00	60,00	30,00	60,00	30,00

Bredd indelning spalter [mm]				
A	B	C	D	E
30,00	60,00	120,00	60,00	30,00

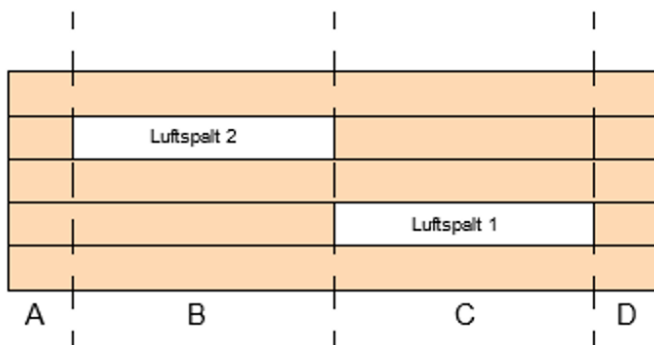
Panel C



Panel C							
Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Tjocklek lager [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
300,00	200,00	100,00	20,00	120,00	20,00	120,00	20,00

Bredd indelning spalter [mm]		
A	B	C
90,00	120,00	90,00

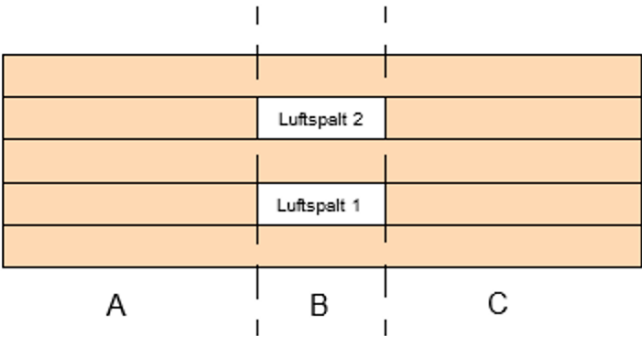
Panel D



Panel D							
Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Tjocklek lager [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
300,00	200,00	100,00	20,00	120,00	20,00	120,00	20,00

Bredd indelning spalter [mm]			
A	B	C	D
30,00	120,00	120,00	30,00

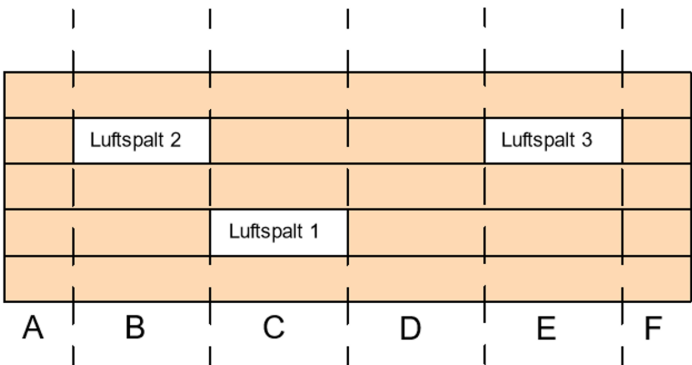
Panel E



Panel E							
Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Tjocklek lager [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]
300,00	200,00	100,00	20,00	60,00	20,00	60,00	20,00

Bredd indelning spalter [mm]		
A	B	C
120,00	60,00	120,00

Panel F



Panel F									
Längd [mm]	Bredd [mm]	Tjocklek [mm]	Tjocklek lager [mm]	Luftspalt 1 Bredd [mm]	Luftspalt 1 Tjocklek [mm]	Luftspalt 2 Bredd [mm]	Luftspalt 2 Tjocklek [mm]	Luftspalt 3 Bredd [mm]	Luftspalt 3 Tjocklek [mm]
300,00	200,00	100,00	20,00	60,00	20,00	60,00	20,00	60,00	20,00

Bredd indelning spalter [mm]					
A	B	C	D	E	F
30,00	60,00	60,00	60,00	60,00	30,00

Bilaga G – Indata för att beräkna ekvivalent värmeledningsförmåga för luft

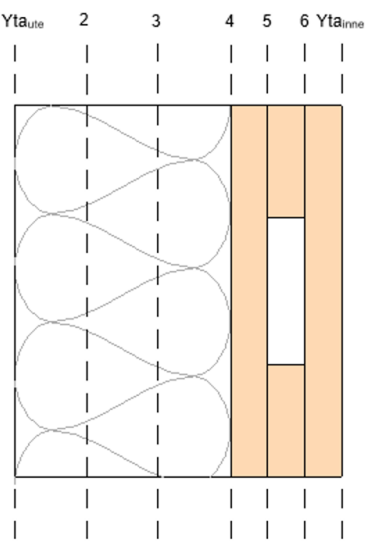
Luftspalt	Kiruna							
	Sommar				Vinter			
	T_m [°C]	H_{r0} [W/m ² K]	h_r [W/m ² K]	R_a [m ² K/W]	T_m [°C]	H_{r0} [W/m ² K]	h_r [W/m ² K]	R_a [m ² K/W]
A	21,34	5,792	4,305	0,180	19,49	5,684	4,225	0,183
B	21,34	5,792	3,972	0,192	19,49	5,684	3,897	0,194
C1	21,50	5,801	4,446	0,176	20,09	5,719	4,382	0,178
C2	21,01	5,773	4,424	0,176	18,27	5,613	4,301	0,180
D1	21,50	5,801	4,446	0,176	20,09	5,719	4,382	0,178
D2	21,01	5,773	4,424	0,176	18,27	5,613	4,301	0,180
E1	21,50	5,801	4,190	0,184	20,09	5,719	4,131	0,186
E2	21,01	5,773	4,170	0,185	18,27	5,613	4,054	0,189
F1	21,50	5,801	4,190	0,184	20,09	5,719	4,131	0,186
F2	21,01	5,773	4,170	0,185	18,27	5,613	4,054	0,189
F3	21,01	5,773	4,170	0,185	18,27	5,613	4,054	0,189

Luftspalt	Östersund							
	Sommar				Vinter			
	T_m [°C]	H_{r0} [W/m ² K]	h_r [W/m ² K]	R_a [m ² K/W]	T_m [°C]	H_{r0} [W/m ² K]	h_r [W/m ² K]	R_a [m ² K/W]
A	21,45	5,799	4,310	0,180	19,77	5,700	4,237	0,182
B	21,45	5,799	3,977	0,191	19,77	5,700	3,909	0,194
C1	21,58	5,807	4,450	0,175	20,30	5,732	4,392	0,177
C2	21,19	5,783	4,432	0,176	19,77	5,637	4,320	0,180
D1	21,58	5,807	4,450	0,175	20,31	5,732	4,392	0,177
D2	21,19	5,783	4,432	0,176	19,77	5,637	4,320	0,180
E1	21,58	5,807	4,194	0,184	20,31	5,732	4,140	0,186
E2	21,19	5,783	4,177	0,184	18,69	5,637	4,072	0,188
F1	21,58	5,807	4,194	0,184	20,31	5,732	4,140	0,186
F2	21,19	5,783	4,177	0,184	18,69	5,637	4,072	0,188
F3	21,19	5,783	4,177	0,184	18,69	5,637	4,072	0,188

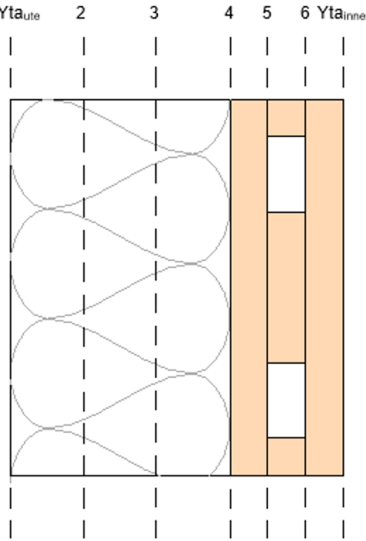
Luftspalt	Göteborg							
	Sommar				Vinter			
	T_m [°C]	H_{r0} [W/m²K]	h_r [W/m²K]	R_a [m²K/W]	T_m [°C]	H_{r0} [W/m²K]	h_r [W/m²K]	R_a [m²K/W]
A	21,66	5,811	4,319	0,180	20,25	5,728	4,258	0,182
B	21,66	5,811	3,985	0,191	20,25	5,728	3,928	0,193
C1	21,74	816	4,457	0,175	20,67	5,753	4,409	0,177
C2	21,49	5,801	4,445	0,176	19,41	5,679	4,352	0,179
D1	21,74	5,816	4,457	0,175	20,67	5,753	4,409	0,177
D2	21,49	5,801	4,445	0,176	19,41	5,679	4,352	0,179
E1	21,74	5,816	4,201	0,183	20,67	5,753	4,155	0,185
E2	21,49	5,801	4,190	0,184	19,41	5,679	4,102	0,187
F1	21,74	5,816	4,201	0,183	20,67	5,753	4,155	0,185
F2	21,49	5,801	4,190	0,184	19,41	5,679	4,102	0,187
F3	21,49	5,801	4,190	0,184	19,41	5,679	4,102	0,187

Luftspalt	Malmö							
	Sommar				Vinter			
	T_m [°C]	H_{r0} [W/m²K]	h_r [W/m²K]	R_a [m²K/W]	T_m [°C]	H_{r0} [W/m²K]	h_r [W/m²K]	R_a [m²K/W]
A	21,65	5,811	4,319	0,180	20,34	5,734	4,262	0,181
B	21,65	5,811	3,985	0,191	20,34	5,734	3,932	0,193
C1	21,73	5,816	4,456	0,175	20,74	5,757	4,412	0,177
C2	21,48	5,801	4,445	0,176	19,54	5,687	4,358	0,178
D1	21,73	5,816	4,456	0,175	20,74	5,757	4,412	0,177
D2	21,48	5,801	4,445	0,176	19,54	5,687	4,358	0,178
E1	21,73	5,816	4,201	0,183	20,74	5,757	4,158	0,185
E2	21,48	5,801	4,190	0,184	19,54	5,687	4,107	0,187
F1	21,73	5,816	4,201	0,183	20,74	5,757	4,158	0,185
F2	21,48	5,801	4,190	0,184	19,54	5,687	4,107	0,187
F3	21,48	5,801	4,190	0,184	19,54	5,687	4,107	0,187

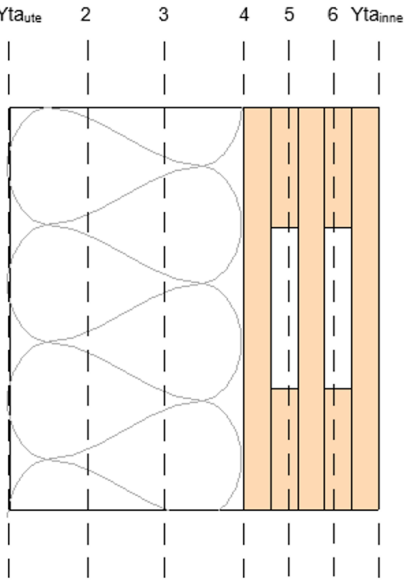
Bilaga H – Skiktindelning för att beräkna RF



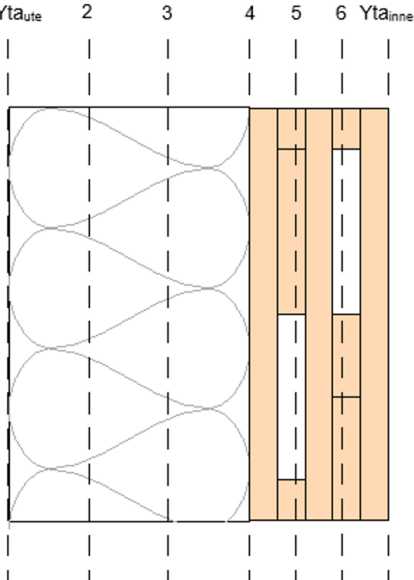
Figur 8.8 Panel A



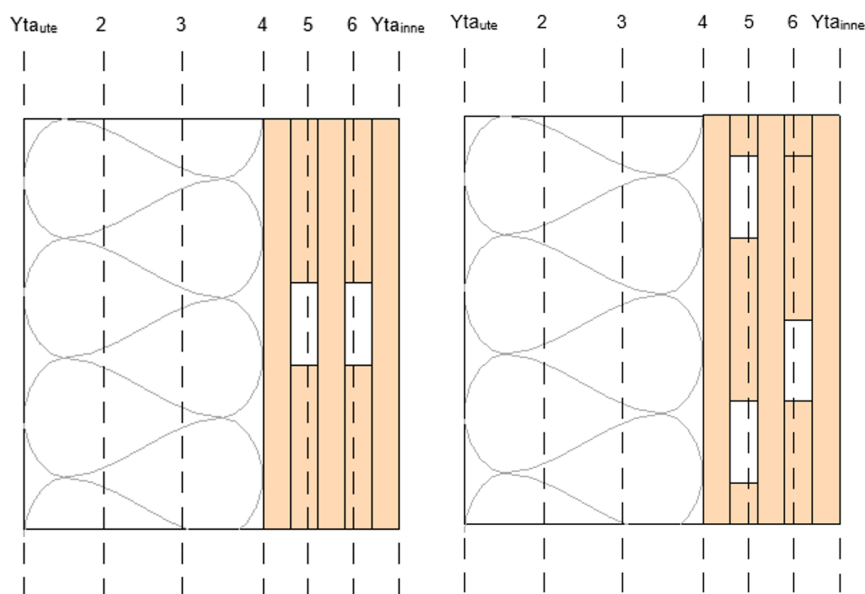
Figur 8.9 Panel B



Figur 8.10 Panel C



Figur 8.11 Panel D



Figur 8.12 Panel E

Figur 8.13 Panel F

Värmemotstånd i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

Kiruna												
R [m ² K/W]	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
R _{yta2}	1,571	1,570	1,533	1,532	1,535	1,533	1,571	1,569	1,532	1,531	1,535	1,532
R ₂₃	1,571	1,570	1,533	1,532	1,535	1,533	1,571	1,569	1,532	1,531	1,535	1,532
R ₃₄	1,571	1,570	1,533	1,532	1,535	1,533	1,571	1,569	1,532	1,531	1,535	1,532
R ₄₅	0,224	0,225	0,262	0,263	0,260	0,262	0,224	0,226	0,263	0,264	0,261	0,263
R ₅₆	0,224	0,225	0,262	0,263	0,260	0,262	0,224	0,226	0,263	0,264	0,261	0,263
R _{6yta}	0,224	0,225	0,262	0,263	0,260	0,262	0,224	0,226	0,263	0,264	0,261	0,263

Östersund												
R [m ² K/W]	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
R _{yta2}	1,572	1,570	1,533	1,533	1,535	1,533	1,571	1,571	1,532	1,531	1,535	1,533
R ₂₃	1,572	1,570	1,533	1,533	1,535	1,533	1,571	1,571	1,532	1,531	1,535	1,533
R ₃₄	1,572	1,570	1,533	1,533	1,535	1,533	1,571	1,571	1,532	1,531	1,535	1,533
R ₄₅	0,224	0,225	0,262	0,262	0,260	0,262	0,224	0,224	0,263	0,264	0,261	0,263
R ₅₆	0,224	0,225	0,262	0,262	0,260	0,262	0,224	0,224	0,263	0,264	0,261	0,263
R _{6yta}	0,224	0,225	0,262	0,262	0,260	0,262	0,224	0,224	0,263	0,264	0,261	0,263

	Göteborg											
	Sommar						Vinter					
R [m ² K/W]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
R _{yta2}	1,572	1,570	1,533	1,533	1,535	1,533	1,571	1,570	1,533	1,532	1,535	1,532
R ₂₃	1,572	1,570	1,533	1,533	1,535	1,533	1,571	1,570	1,533	1,532	1,535	1,532
R ₃₄	1,572	1,570	1,533	1,533	1,535	1,533	1,571	1,570	1,533	1,532	1,535	1,532
R ₄₅	0,224	0,225	0,262	0,262	0,260	0,262	0,224	0,226	0,263	0,263	0,260	0,263
R ₅₆	0,224	0,225	0,262	0,262	0,260	0,262	0,224	0,226	0,263	0,263	0,260	0,263
R _{6yta}	0,224	0,225	0,262	0,262	0,260	0,262	0,224	0,226	0,263	0,263	0,260	0,263

	Malmö											
	Sommar						Vinter					
R [m ² K/W]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
R _{yta2}	1,572	1,570	1,533	1,532	1,535	1,533	1,571	1,570	1,533	1,531	1,535	1,532
R ₂₃	1,572	1,570	1,533	1,532	1,535	1,533	1,571	1,570	1,533	1,531	1,535	1,532
R ₃₄	1,572	1,570	1,533	1,532	1,535	1,533	1,571	1,570	1,533	1,531	1,535	1,532
R ₄₅	0,224	0,225	0,262	0,263	0,260	0,262	0,224	0,226	0,262	0,264	0,260	0,263
R ₅₆	0,224	0,225	0,262	0,263	0,260	0,262	0,224	0,226	0,262	0,264	0,260	0,263
R _{6yta}	0,224	0,225	0,262	0,263	0,260	0,262	0,224	0,226	0,262	0,264	0,260	0,263

Ånggenomgångsmotstånd i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

	Kiruna											
	Sommar						Vinter					
Z [s/m]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Z _{yta2}	3024	3020	2950	2947	2953	2949	3023	3020	2948	2946	2953	2948
Z ₂₃	3024	3020	2950	2947	2953	2949	3023	3020	2948	2946	2953	2948
Z ₃₄	3024	3020	2950	2947	2953	2949	3023	3020	2948	2946	2953	2948
Z ₄₅	43352	43352	45739	48124	50938	50164	34970	34970	36916	38811	41077	40446
Z ₅₆	43352	43352	45739	48124	50938	50164	34970	34970	36916	38811	41077	40446
Z _{6yta}	43352	43352	45739	48124	50938	50164	34970	34970	36916	38811	41077	40446

	Östersund											
	Sommar						Vinter					
Z [s/m]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Z _{yta2}	3024	3020	2950	2949	2953	2949	3023	3023	2948	2946	2952	2949
Z ₂₃	3024	3020	2950	2949	2953	2949	3023	3023	2948	2946	2952	2949
Z ₃₄	3024	3020	2950	2949	2953	2949	3023	3023	2948	2946	2952	2949
Z ₄₅	39311	39311	41485	43634	46184	45478	33143	33143	34992	36781	38927	38327
Z ₅₆	39311	39311	41485	43634	46184	45478	33143	33143	34992	36781	38927	38327
Z _{6yta}	39311	39311	41485	43634	46184	45478	33143	33143	34992	36781	38927	38327

Z [s/m]	Göteborg											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Z _{yta2}	3024	3020	2950	2950	2953	2949	3023	3020	2949	2948	2953	2948
Z ₂₃	3024	3020	2950	2950	2953	2949	3023	3020	2949	2948	2953	2948
Z ₃₄	3024	3020	2950	2950	2953	2949	3023	3020	2949	2948	2953	2948
Z ₄₅	39931	39931	42138	44323	46913	46197	34970	34970	36916	38811	41077	40446
Z ₅₆	39931	39931	42138	44323	46913	46197	34970	34970	36916	38811	41077	40446
Z _{6yta}	39931	39931	42138	44323	46913	46197	34970	34970	36916	38811	41077	40446

Z [s/m]	Malmö											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Z _{yta2}	3024	3020	2950	2947	2953	2949	3023	3020	2949	2946	2953	2948
Z ₂₃	3024	3020	2950	2947	2953	2949	3023	3020	2949	2946	2953	2948
Z ₃₄	3024	3020	2950	2947	2953	2949	3023	3020	2949	2946	2953	2948
Z ₄₅	37013	37013	39066	41081	43480	42814	33143	33143	34992	36781	38927	38327
Z ₅₆	37013	37013	39066	41081	43480	42814	33143	33143	34992	36781	38927	38327
Z _{6yta}	37013	37013	39066	41081	43480	42814	33143	33143	34992	36781	38927	38327

Temperatur i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

T [°C]	Kiruna											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
T _{yta, ute}	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	-12,2	-12,2	-12,2	-12,2	-12,2	-12,2
T ₂	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	-2,4	-2,4	-2,7	-2,7	-2,6	-2,7
T ₃	18,1	18,1	18,0	18,0	18,0	18,0	7,3	7,3	6,8	6,8	6,9	6,8
T ₄	20,7	20,7	20,5	20,5	20,5	20,5	17,0	17,0	16,3	16,3	16,4	16,3
T ₅	21,1	21,0	20,9	20,9	20,9	20,9	18,4	18,4	17,9	17,9	18,0	17,9
T ₆	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	19,8	19,8	19,6	19,6	19,6	19,6
T _{yta,inne}	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2

T [°C]	Östersund											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
T _{yta, ute}	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3
T ₂	16,7	16,7	16,6	16,6	16,6	16,6	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
T ₃	18,8	18,8	18,7	18,7	18,7	18,7	9,0	9,0	8,5	8,5	8,6	8,5
T ₄	20,9	20,9	20,8	20,8	20,8	20,8	17,6	17,6	17,0	16,9	17,0	17,0
T ₅	21,2	21,2	21,1	21,1	21,1	21,1	18,8	18,8	18,4	18,4	18,4	18,4
T ₆	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	20,1	20,1	19,8	19,8	19,9	19,8
T _{yta,inne}	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3

Göteborg												
Sommar							Vinter					
T [°C]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
T _{yta, ute}	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
T ₂	18,7	18,7	18,6	18,6	18,6	18,6	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9
T ₃	20,0	20,0	19,9	19,9	19,9	19,9	11,8	11,8	11,5	11,5	11,5	11,5
T ₄	21,3	21,3	21,2	21,2	21,2	21,2	18,6	18,5	18,1	18,1	18,1	18,0
T ₅	21,5	21,5	21,4	21,4	21,4	21,4	19,5	19,5	19,2	19,2	19,2	19,2
T ₆	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	20,5	20,5	20,3	20,3	20,3	20,3
T _{yta, inne}	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4

Malmö												
Sommar							Vinter					
T [°C]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
T _{yta, ute}	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
T ₂	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	5,9	5,9	5,7	5,7	5,7	5,7
T ₃	20,0	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	12,3	12,3	12,0	12,0	12,0	12,0
T ₄	21,3	21,3	21,2	21,2	21,2	21,2	18,7	18,7	18,3	18,2	18,3	18,2
T ₅	21,5	21,5	21,4	21,4	21,4	21,4	19,6	19,6	19,3	19,3	19,3	19,3
T ₆	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	20,6	20,5	20,4	20,4	20,4	20,4
T _{yta, inne}	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5

Ånghalt i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

Kiruna												
Sommar							Vinter					
ν [g/m ³]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$\nu_{yta, ute}$	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
ν_2	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	1,57	1,57	1,56	1,55	1,54	1,54
ν_3	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	1,74	1,74	1,71	1,70	1,68	1,69
ν_4	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	1,91	1,91	1,87	1,85	1,83	1,83
ν_5	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72	3,86	3,86	3,83	3,82	3,80	3,81
ν_6	7,74	7,74	7,74	7,74	7,74	7,74	5,81	5,81	5,80	5,79	5,78	5,78
$\nu_{yta, inne}$	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76

Östersund												
Sommar							Vinter					
ν [g/m ³]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$\nu_{yta, ute}$	9,20	9,20	9,20	9,20	9,20	9,20	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
ν_2	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	2,26	2,26	2,25	2,24	2,23	2,23
ν_3	9,13	9,13	9,14	9,14	9,14	9,14	2,42	2,42	2,39	2,38	2,37	2,37
ν_4	9,10	9,10	9,10	9,11	9,11	9,11	2,57	2,57	2,54	2,52	2,50	2,50
ν_5	8,65	8,65	8,66	8,66	8,66	8,66	4,30	4,30	4,28	4,27	4,25	4,26
ν_6	8,21	8,21	8,21	8,21	8,21	8,21	6,03	6,03	6,02	6,01	6,01	6,01
$\nu_{yta, inne}$	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76

ν [g/m ³]	Göteborg											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$\nu_{\text{yta, ute}}$	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
ν_2	10,73	10,73	10,73	10,74	10,74	10,74	3,52	3,52	3,51	3,50	3,50	3,50
ν_3	10,66	10,66	10,67	10,67	10,68	10,68	3,63	3,63	3,62	3,61	3,59	3,60
ν_4	10,59	10,59	10,60	10,61	10,62	10,62	3,75	3,75	3,72	3,71	3,69	3,70
ν_5	9,64	9,64	9,65	9,66	9,67	9,67	5,08	5,08	5,07	5,06	5,05	5,05
ν_6	8,70	8,70	8,71	8,71	8,71	8,71	6,42	6,42	6,41	6,41	6,40	6,41
$\nu_{\text{yta, inne}}$	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76

ν [g/m ³]	Malmö											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$\nu_{\text{yta, ute}}$	11,40	11,40	11,40	11,40	11,40	11,40	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90
ν_2	11,31	11,31	11,31	11,32	11,32	11,32	4,01	4,01	4,00	4,00	3,99	3,99
ν_3	11,22	11,22	11,23	11,24	11,25	11,24	4,12	4,11	4,10	4,09	4,08	4,08
ν_4	11,13	11,13	11,14	11,16	11,17	11,17	4,22	4,22	4,20	4,19	4,17	4,18
ν_5	10,00	10,00	10,02	10,02	10,03	10,03	5,40	5,40	5,39	5,38	5,37	5,37
ν_6	8,88	8,88	8,89	8,89	8,90	8,90	6,58	6,58	6,57	6,57	6,56	6,57
$\nu_{\text{yta, inne}}$	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76

Mättnadsånghalt i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

ν_s [g/m ³]	Kiruna											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$\nu_{s,(Tyta, ute)}$	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
$\nu_{s,(T2)}$	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21	4,00	4,00	3,91	3,91	3,94	3,91
$\nu_{s,(T3)}$	15,44	15,44	15,36	15,36	15,36	15,36	7,90	7,90	7,64	7,64	7,69	7,64
$\nu_{s,(T4)}$	18,00	18,00	17,79	17,79	17,79	17,79	14,47	14,47	13,87	13,87	13,96	13,87
$\nu_{s,(T5)}$	18,42	18,32	18,22	18,22	18,22	18,22	15,73	15,73	15,27	15,27	15,36	15,27
$\nu_{s,(T6)}$	18,74	18,74	18,74	18,74	18,74	18,74	17,08	17,08	16,88	16,88	16,88	16,88
$\nu_{s,(Tyta, inne)}$	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	18,52	18,52	18,52	18,52	18,52	18,52

ν_s [g/m ³]	Östersund											
	Sommar						Vinter					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$\nu_{s,(Tyta, ute)}$	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
$\nu_{s,(T2)}$	14,21	14,21	14,13	14,13	14,13	14,13	4,94	4,94	4,87	4,87	4,87	4,87
$\nu_{s,(T3)}$	16,1	16,1	16,01	16,01	16,01	16,01	8,81	8,81	8,53	8,53	8,59	8,53
$\nu_{s,(T4)}$	18,22	18,22	18,10	18,10	18,10	18,10	14,99	14,99	14,47	14,38	14,47	14,47
$\nu_{s,(T5)}$	18,52	18,52	18,42	18,42	18,42	18,42	16,1	16,1	15,73	15,73	15,73	15,73
$\nu_{s,(T6)}$	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	17,38	17,38	17,08	17,08	17,18	17,08
$\nu_{s,(Tyta, inne)}$	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	18,63	18,63	18,63	18,63	18,63	18,63

Göteborg												
Sommar							Vinter					
v_s [g/m ³]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$v_{s,(Tyta, ute)}$	14,73	14,73	14,73	14,73	14,73	14,73	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23
$v_{s,(T2)}$	16,01	16,01	15,91	15,91	15,91	15,91	6,79	6,79	6,75	6,75	6,75	6,75
$v_{s,(T3)}$	17,28	17,28	17,18	17,18	17,18	17,18	10,52	10,52	10,33	10,33	10,33	10,33
$v_{s,(T4)}$	18,63	18,63	18,52	18,52	18,52	18,52	15,91	15,82	15,44	15,44	15,44	15,36
$v_{s,(T5)}$	18,86	18,86	18,74	18,74	18,74	18,74	16,78	16,78	16,48	16,48	16,48	16,48
$v_{s,(T6)}$	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	17,79	17,79	17,58	17,58	17,58	17,58
$v_{s,(Tyta, inne)}$	19,30	19,30	19,30	19,30	19,30	19,30	18,74	18,74	18,74	18,74	18,74	18,74

Malmö												
Sommar							Vinter					
v_s [g/m ³]	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
$v_{s,(Tyta, ute)}$	14,64	14,64	14,64	14,64	14,64	14,64	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66
$v_{s,(T2)}$	15,91	15,91	15,91	15,91	15,91	15,91	7,20	7,20	7,12	7,12	7,12	7,12
$v_{s,(T3)}$	17,28	17,18	17,18	17,18	17,18	17,18	10,86	10,86	10,66	10,66	10,66	10,66
$v_{s,(T4)}$	18,63	18,63	18,52	18,52	18,52	18,52	16,01	16,01	15,63	15,54	15,63	15,54
$v_{s,(T5)}$	18,86	18,86	18,74	18,74	18,74	18,74	16,88	16,88	16,59	16,59	16,59	16,59
$v_{s,(T6)}$	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	17,9	17,79	17,69	17,69	17,69	17,69
$v_{s,(Tyta, inne)}$	19,30	19,30	19,30	19,30	19,30	19,30	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86

Bilaga I – Indata för paneler bestående av KL-trä utan luftspalter

Fuktflöde och ånggenomsläpplighet för de olika substanserna för paneler av KL-trä utan luftspalter			
Panel	Torkmedel	MgCl ₂	K ₂ SO ₄
	δ_{eq} [m ² /s]	δ_{eq} [m ² /s]	δ_{eq} [m ² /s]
A1	0,199*10 ⁻⁶	0,328*10 ⁻⁶	1,019*10 ⁻⁶
A3	0,200*10 ⁻⁶	0,329*10 ⁻⁶	1,023*10 ⁻⁶
B1	0,199*10 ⁻⁶	0,328*10 ⁻⁶	1,019*10 ⁻⁶
B3	0,199*10 ⁻⁶	0,329*10 ⁻⁶	1,022*10 ⁻⁶
C1	0,199*10 ⁻⁶	0,321*10 ⁻⁶	1,022*10 ⁻⁶
C2	0,199*10 ⁻⁶	0,329*10 ⁻⁶	1,022*10 ⁻⁶
D1	0,199*10 ⁻⁶	0,329*10 ⁻⁶	1,021*10 ⁻⁶
D2	0,199*10 ⁻⁶	0,329*10 ⁻⁶	1,022*10 ⁻⁶
E1	0,199*10 ⁻⁶	0,328*10 ⁻⁶	1,020*10 ⁻⁶
E3	0,199*10 ⁻⁶	0,329*10 ⁻⁶	1,022*10 ⁻⁶
F2	0,199*10 ⁻⁶	0,328*10 ⁻⁶	1,019*10 ⁻⁶
F3	0,199*10 ⁻⁶	0,328*10 ⁻⁶	1,020*10 ⁻⁶

Kiruna								
Sommar					Vinter			
Panel	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
3-Lager	0,58*10 ⁻⁶	0,174	5.556	164202	0,72*10 ⁻⁶	0,174	5.556	134030
5-Lager	0,58*10 ⁻⁶	0,171	5.556	181295	0,72*10 ⁻⁶	0,171	5.556	147771

Östersund								
Sommar					Vinter			
Panel	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
3-Lager	0,64*10 ⁻⁶	0,174	5.556	149655	0,76*10 ⁻⁶	0,174	5.556	727451
5-Lager	0,64*10 ⁻⁶	0,171	5.556	165132	0,76*10 ⁻⁶	0,171	5.556	140461

Göteborg								
Sommar					Vinter			
Panel	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
3-Lager	0,63*10 ⁻⁶	0,174	5.556	151887	0,72*10 ⁻⁶	0,174	5.556	134030
5-Lager	0,63*10 ⁻⁶	0,171	5.556	167612	0,72*10 ⁻⁶	0,171	5.556	147771

Malmö								
Sommar					Vinter			
Panel	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]	δ_{eq} [m ² /s]	d_{iso} [m]	R_{tot} [m ² K/W]	Z_{tot} [s/m]
3-Lager	0,68*10 ⁻⁶	0,174	5.556	141383	0,76*10 ⁻⁶	0,174	5.556	127451
5-Lager	0,68*10 ⁻⁶	0,171	5.556	155941	0,76*10 ⁻⁶	0,171	5.556	140461

Värmemotstånd i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

Kiruna, Östersund, Göteborg, Malmö				
R [m ² K/W]	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
R _{yta2}	1,564	1,539	1,564	1,539
R ₂₃	1,564	1,539	1,564	1,539
R ₃₄	1,564	1,539	1,564	1,539
R ₄₅	0,231	0,256	0,231	0,256
R ₅₆	0,231	0,256	0,231	0,256
R _{6yta}	0,231	0,256	0,231	0,256

Ånggenomgångsmotstånd i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

Z [s/m]	Kiruna			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
Z _{yta2}	3010	2961	3010	2961
Z ₂₃	3010	2961	3010	2961
Z ₃₄	3010	2961	3010	2961
Z ₄₅	51724	57471	41667	46296
Z ₅₆	51724	57471	41667	46296
Z _{6yta}	51724	57471	41667	46296

Z [s/m]	Östersund			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
Z _{yta2}	3010	2961	3010	2961
Z ₂₃	3010	2961	3010	2961
Z ₃₄	3010	2961	3010	2961
Z ₄₅	46875	52083	39474	43860
Z ₅₆	46875	52083	39474	43860
Z _{6yta}	46875	52083	39474	43860

Göteborg				
Sommar		Vinter		
Z [s/m]	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$Z_{\text{yta}2}$	3010	2961	3010	2961
Z_{23}	3010	2961	3010	2961
Z_{34}	3010	2961	3010	2961
Z_{45}	47619	52910	41667	46296
Z_{56}	47619	52910	41667	46296
$Z_{6\text{yta}}$	47619	52910	41667	46296

Malmö				
Sommar		Vinter		
Z [s/m]	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$Z_{\text{yta}2}$	3010	2961	3010	2961
Z_{23}	3010	2961	3010	2961
Z_{34}	3010	2961	3010	2961
Z_{45}	44118	49020	39474	43860
Z_{56}	44118	49020	39474	43860
$Z_{6\text{yta}}$	44118	49020	39474	43860

Temperatur i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

T [°C]	Göteborg			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$T_{yta,ute}$	17,3	17,3	-1,7	-1,7
T_2	18,7	18,6	5,0	4,9
T_3	20,0	19,9	11,7	11,5
T_4	21,3	21,2	18,5	18,1
T_5	21,5	21,5	19,5	19,2
T_6	21,7	21,7	20,4	20,3
$T_{yta,inne}$	21,9	21,9	21,4	21,4

T [°C]	Östersund			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$T_{yta,ute}$	14,6	14,6	-8,3	-8,3
T_2	16,7	16,6	0,3	0,2
T_3	18,8	18,7	8,9	8,6
T_4	20,9	20,8	17,5	17,1
T_5	21,2	21,1	18,8	18,5
T_6	21,5	21,5	20,0	19,9
$T_{yta,inne}$	21,8	21,8	21,3	21,3

T [°C]	Kiruna			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$T_{yta,ute}$	13,0	13,0	-12,2	-12,2
T_2	15,5	15,5	-2,5	-2,6
T_3	18,1	18,0	7,2	6,9
T_4	20,7	20,5	16,9	16,4
T_5	21,0	20,9	18,3	18,0
T_6	21,4	21,4	19,8	19,6
$T_{yta,inne}$	21,8	21,8	21,2	21,2

T [°C]	Malmö			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$T_{yta,ute}$	17,2	17,2	-0,5	-0,5
T_2	18,6	18,6	5,9	5,8
T_3	19,9	19,9	12,2	12,0
T_4	21,3	21,2	18,6	18,3
T_5	21,5	21,4	19,6	19,4
T_6	21,7	21,7	20,5	20,4
$T_{yta,inne}$	21,9	21,9	21,5	21,5

Ånghalt i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

v [g/m ³]	Kiruna			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{yta, ute}$	7,70	7,70	1,40	1,40
v_2	7,70	7,70	1,54	1,53
v_3	7,70	7,70	1,69	1,65
v_4	7,70	7,70	1,83	1,78
v_5	7,72	7,72	3,81	3,77
v_6	7,74	7,74	5,78	5,77
$v_{yta, inne}$	7,76	7,76	7,76	7,76

v [g/m ³]	Östersund			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{yta, ute}$	9,20	9,20	2,10	2,10
v_2	9,17	9,17	2,23	2,22
v_3	9,14	9,15	2,37	2,34
v_4	9,11	9,12	2,50	2,46
v_5	8,66	8,67	4,25	4,23
v_6	8,21	8,21	6,01	5,99
$v_{yta, inne}$	7,76	7,76	7,76	7,76

v [g/m ³]	Göteborg			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{yta, ute}$	10,80	10,80	3,40	3,40
v_2	10,74	10,75	3,50	3,49
v_3	10,68	10,69	3,60	3,57
v_4	10,62	10,64	3,69	3,66
v_5	9,67	9,68	5,05	5,03
v_6	8,71	8,72	6,40	6,39
$v_{yta, inne}$	7,76	7,76	7,76	7,76

v [g/m ³]	Malmö			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{yta, ute}$	11,40	11,40	3,90	3,90
v_2	11,32	11,33	3,99	3,98
v_3	11,25	11,26	4,08	4,06
v_4	11,17	11,19	4,17	4,14
v_5	10,03	10,05	5,37	5,35
v_6	8,90	8,90	6,56	6,55
$v_{yta, inne}$	7,76	7,76	7,76	7,76

Mättnadsånghalt i skikten för panelkonfigurationerna för olika årstider och städer

v_s [g/m ³]	Kiruna			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{s,(Tyta, ute)}$	11,34	11,34	1,77	1,77
$v_{s,(T2)}$	13,21	13,21	3,97	3,94
$v_{s,(T3)}$	15,44	15,36	7,85	7,69
$v_{s,(T4)}$	18	17,79	14,38	13,96
$v_{s,(T5)}$	18,32	18,22	15,63	15,36
$v_{s,(T6)}$	18,74	18,74	17,08	16,88
$v_{s,(Tyta, inne)}$	19,19	19,19	18,52	18,52

v_s [g/m ³]	Östersund			
	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{s,(Tyta, ute)}$	12,51	12,51	2,46	2,46
$v_{s,(T2)}$	14,21	14,13	4,94	4,91
$v_{s,(T3)}$	16,1	16,01	8,76	8,59
$v_{s,(T4)}$	18,22	18,1	14,91	14,55
$v_{s,(T5)}$	18,52	18,42	16,1	15,82
$v_{s,(T6)}$	18,86	18,86	17,28	17,18
$v_{s,(Tyta, inne)}$	19,19	19,19	18,63	18,63

Göteborg				
v_s [g/m ³]	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{s,(Tyta, ute)}$	14,73	14,73	4,23	4,23
$v_{s,(T2)}$	16,01	15,91	6,79	6,75
$v_{s,(T3)}$	17,28	17,18	10,46	10,33
$v_{s,(T4)}$	18,63	18,52	15,82	15,44
$v_{s,(T5)}$	18,86	18,86	16,78	16,48
$v_{s,(T6)}$	19,08	19,08	17,69	17,58
$v_{s,(Tyta, inne)}$	19,3	19,3	18,74	18,74

Malmö				
v_s [g/m ³]	Sommar		Vinter	
	3-Lager	5-Lager	3-Lager	5-Lager
$v_{s,(Tyta, ute)}$	14,64	14,64	4,66	4,66
$v_{s,(T2)}$	15,91	15,91	7,2	7,16
$v_{s,(T3)}$	17,18	17,18	10,79	10,66
$v_{s,(T4)}$	18,63	18,52	15,91	15,63
$v_{s,(T5)}$	18,86	18,74	16,88	16,68
$v_{s,(T6)}$	19,08	19,08	17,79	17,69
$v_{s,(Tyta, inne)}$	19,3	19,3	18,86	18,86

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS