



CHALMERS

Renovering av balkongdörrar i 50-talshus

Jämförelse mellan olika isoleringsmaterial

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Jack Lahti
Alexander Svensson

**INSTITUTIONEN ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSTEKNOLOGI**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Renovering av balkongdörrar i 50-talshus

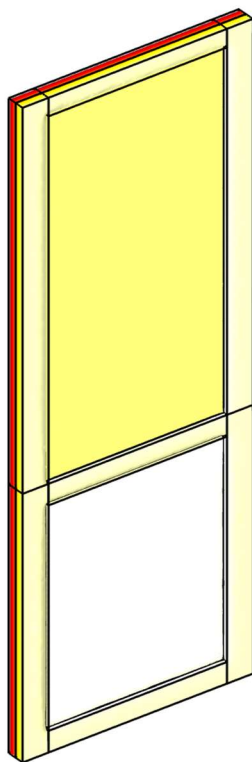
Jämförelse mellan olika isoleringsmaterial

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Jack Lahti

Alexander Svensson



Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Byggnadsfysikalisk modellering

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2021

Renovering av balkongdörrar i 50-talshus
Jämförelse mellan olika isoleringsmaterial
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik
Jack Lahti
Alexander Svensson

© JACK LAHTI, ALEXANDER SVENSSON, 2021

Examensarbete ACEX20
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2021

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysikalisk modellering
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Modell av dörrens värmetransport i COMSOL med VIP-isolering

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2021

Renovering av balkongdörrar i 50-talshus

Jämförelse mellan olika isoleringsmaterial

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Jack Lahti

Alexander Svensson

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Att renovera äldre byggnader i syfte att förbättra energiprestandan är tekniskt möjligt men kan vara förenat med stora kostnader. BRF Delsjövägen som är medlem i HSB äger 196 lägenheter i lamellhus på Delsjövägen i Göteborg som byggdes på 1950-talet. Området är upptaget i Göteborgs bevarandeprojekt vilket hindrar utvändiga estetiska förändringar. Lägenheterna har sammanlagt ungefär 220 balkongdörrar. Dörrarna har en glasad övre del och en tät nedre del bestående av en 12 mm tjock isolerande skiva av porös masonit. Syftet med arbetet är att undersöka ifall det är möjligt att lönsamt och utan större påverkan på miljön förbättra isoleringsförmågan hos skivan, samtidigt som dess utseende bevaras.

I denna studie har effekten av att byta ut den porösa masoniten mot en annan isolering med en på marknaden mer tillgänglig tjocklek på 10 mm undersökts. Detta har utförts utifrån termisk-, fukt-, ekonomi- och miljösynpunkt. Isoleringstyperna som använts i studien har begränsats till tre olika, glasull, expanderad polystyrencellplast (EPS) och vakuumisoleringspanel (VIP).

Både glasullen och EPS:en har mycket liknande termiska egenskaper men skiljer i fuktrelaterade egenskaper, där EPS:en presterar bättre i att hindra fukttransport genom materialet. VIP:en presterar bäst, termiskt såväl som fuktrelaterat. Värmeledningsförmågan är $8 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$, nästan en femtedel av de övriga isoleringsmaterialen och eftersom materialet är helt luft- och fukttätt är fukttransporten genom materialet icke existerande.

VIP:en har en total investeringskostnad på 170 000 kr vilket är 30 000 kr mer än glasullen och EPS:en i detta fall. VIP:ens prestanda ger däremot en mycket kortare återbetalningstid på nästan 17 år vilket är mer än 40 år kortare än de andra. VIP:en bidrar till en större miljöpåverkan från vaggla till grav än glasullen och EPS:en men sparar samtidigt mycket mer energi som annars hade använts vid uppvärmning.

Trots det höga priset på VIP, är det i detta fall ändå en bra investering tack vare den korta återbetalningstiden som den goda prestandan bidrar till.

Renovation of balcony doors in 50's houses

With a focus on replacing the insulation

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

Jack Lahti

Alexander Svensson

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of building technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

To renovate older buildings to improve energy performance is technically possible but can result in high costs. A housing cooperative, BRF Delsjövägen which is a member of HSB owns 196 apartments in lamella housing on Delsjövägen in Gothenburg which was built during the 1950's. The area is part of Gothenburg's conservation project which hinders changes in the external design. The apartments have a total amount of about 220 balcony doors. The doors consist of an upper part made of glass and a lower part containing a 12 mm thick sheet of porous masonite for insulation. The aim of the study is to evaluate if the thermal performance of the lower part can be improved without changing the aesthetics. The improvement should be profitable and have a low environmental impact.

In this study the effect of replacing the porous masonite with a different insulation material which has a thickness of 10 mm that is more obtainable on the market was explored. It was done with a thermal-, moisture-, economical and environmental point of view. The insulations used in this study have been limited to three different types, glass wool, expanded polystyrene insulation (EPS) and vacuum insulation panel (VIP).

Both the glass wool and the EPS have a very similar thermal performance but differ in moisture related properties, where the EPS performs much better in impeding the transport of moisture through the material. The VIP performs much better in both regards, with a thermal conductivity of $8 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$, which is almost a fifth of the other materials. Because the panel needs to be completely air- and moisture tight, the transport of moisture through the material is non-existent.

The performance of a VIP comes at a higher total investment cost of SEK 170 000 which is SEK 30 000 more than that of the glass wool and EPS in this case. But on the other hand, the performance contributes to a much shorter payback time of 17 years which is more than 40 years shorter than the others. The VIP contributes to a higher environmental impact from cradle to grave than both the glass wool and EPS but saves a lot more energy which otherwise would have been used for heating.

Despite the high costs of the VIP, in this case it is still a worthy investment because of the much shorter repayment period due to the great performance.

Innehåll

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Metod	2
1.5	Forskningsfrågor	2
2	Grundläggande teori	3
2.1	Värmeteorin	3
2.2	Fuktteori	4
2.3	Mineralull	5
2.4	Cellplast.....	7
2.5	Vakuumisoleringspanel (VIP).....	9
2.6	Materialens miljöpåverkan.....	11
2.7	Dörrbladets uppbyggnad.....	12
2.8	Klimatdata.....	14
3	Energi- och kostnadsberäkningar	16
3.1	Energiförbrukning och besparing.....	16
3.2	Kostnader och återbetalningstid.....	17
4	Fuktberäkningar	18
4.1	Temperatur- och fuktgenomgång	18
4.2	Fuktspärr	20
5	Comsol	21
6	Andra åtgärder	23
6.1	Ny glasruta	23
6.2	Ny dörr.....	23
7	Diskussion och slutsatser.....	25
	Referenser.....	27
	Bilagor	30

Förord

Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg, samhällsbyggnadsteknik 180 hp.

Vi vill ge ett stort tack till vår handledare Pär Johansson på Chalmers, som har hjälpt oss komma förbi många hinder och hjälpt oss med mycket värdefull information. Vi vill även tacka Alexander Sehlström som representerar bostadsrättsföreningen och har tilldelat oss detta uppdrag och viktigt underlag. Slutligen vill vi tacka Bijan Adl-Zarrabi som har varit till hjälp vid sökandet av information.

Beteckningar

Latinska versaler

- A Area [m^2]
R Värmeegenomgångsmotstånd [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]
U Värmeegenomgångskoefficient [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
Z Ånggenomgångsmotstånd [s/m]
Q Energi [Wh]
T Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
V Fukthalt [g/m^3]

Latinska gemena

- d Tjocklek [m]
v Ånghalt [g/m^3]
 v_s Mättnadsånghalt [g/m^3]

Grekiska gemena

- λ Värmeledning, lambda [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]
 δ Ångpermeabilitet, delta [m^2/s]

1 Inledning

Dagens fokus på energisnålare byggnader är en viktig del för en grönare framtid. Med en växande population och ett ökande intresse av att elektrifiera bland annat transport blir efterfrågan på elektricitet allt högre. BBR har krav på att nybyggda byggnader ska ha en låg energiförbrukning. Kraven är samma vid en renovation av en äldre byggnad men kan anpassas beroende på ändringens omfattning, byggnadens förutsättningar, varsamhetskravet eller förvanskingsförbud. Åtgärder för äldre bostäder som både medför en minskad energiförbrukning och är lönsam i längden skulle både vara attraktivt för miljön såväl som fastighetsägaren (Boverket, 2020).

1.1 Bakgrund

HSB Brf Delsjövägen i Göteborg byggdes mellan 1948 och 1950. Bostadsrättsföreningen består av lamellhus på tre våningar och totalt 196 lägenheter. Dessa har ungefär sammanlagt 220 balkongdörrar.

En tidigare utförd termografering visar att byggnaden har ett antal köldbryggor. Bostadsrättsföreningen har dessutom upptäckt att en av dessa uppstår i den nedre halvan av balkongdörrarna som blir mycket kalla på insidan. De överväger om det finns något som kan göras för att minska energiförlusterna och öka komforten vid dörren. Eftersom området är upptaget i Göteborgs kommuns bevarandeprogram finns det ett begränsat antal åtgärder som är möjliga.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka ifall det är lönsamt att renovera äldre balkongdörrar från 50-talet. Arbetet är genomfört som en fallstudie av dörrar i HSB Brf Delsjövägen. Det finns troligtvis många liknande dörrar över hela landet från samma tidsperiod för vilka resultaten kan var applicerbara.

1.3 Avgränsningar

För att underlätta arbetet krävdes vissa avgränsningar.

De nuvarande dörrarnas dimensioner skulle vara för svåra att mäta utan att plocka isär en av dem helt och hållet och de uppskattades därför till rimliga mått utifrån den informationen som gick att få av dörren i sin helhet.

Det finns många olika typer av isolering som hade kunnat användas, men i detta arbete valdes att endast fokusera på följande: vakuumisoleringspanel (VIP), mineralull (glasull) och expanderad polystyrencellplast (EPS). Detta eftersom både stenullen och EPS:en är vanliga isoleringsmaterial och för att VIP är en modern högeffektiv isoleringspanel med mycket bra isoleringsförmåga. För att arbetet inte skulle bli för omfattande valdes det att fokusera på dörrens täta nedre del. Glasrutan och karmen kommer däremot att diskuteras men någon större utredning kommer inte att ske. Alla dörrens komponenter kommer inkluderas vid modellering i COMSOL.

1.4 Metod

Under arbetsprocessen genomfördes en litteraturstudie av materialens egenskaper gällande värme, fukt, miljö och brandklass. Information om dessa egenskaper hämtades från olika tillverkares produktblad. Information som inte fanns i dessa kompletterades med information från olika forskningsartiklar från Scopus databas samt från kurslitteratur.

För balkongdörrar med respektive tre isoleringsmaterial, glasull, EPS och VIP, skedde olika beräkningar med hänsyn till värme och fukt. Formler för dessa beräkningar hämtades från kurslitteratur. En simulering av dörren i programmet COMSOL genomfördes för att kontrollera resultaten från handberäkningarna och visuellt kunna se hur värmen sprids genom olika delar av dörren. Resultaten användes vid beräkningarna om det var lönsamt att byta ut isoleringen i dörrarna.

1.5 Forskningsfrågor

Arbetets litteraturstudier och beräkningar grundar sig i följande frågeställningar:

- Hur skiljer sig energibesparingen för glasull, EPS och VIP?
- Hur stor är investeringskostnaden och hur lång är återbetalningstiden?
- Kommer fuktproblem uppstå vid byte av isolering i dörrarna?
- Hur skiljer sig miljöpåverkan?
- Vilken isolering lämpar sig bäst i denna fallstudie?

2 Grundläggande teori

2.1 Värmeteori

Om inget annat anges har underlag för värmeteori hämtats ur Burström och Nivér (2018)

Värmekonduktivitet, λ

Värmekonduktivitet betecknas med den grekiska bokstaven lambda och har enheten $W/(m \cdot K)$. Lambda-värdet för ett material beskriver dess förmåga att leda värme oberoende på materialets tjocklek och temperaturdifferens på vardera sida.

Värmegenomgångsmotstånd, R

Värmegenomgångsmotståndet har beteckningen R och enheten $(m^2 \cdot K)/W$. Det beskriver materialets isoleringsförmåga. R-värdet beräknas med ekvation 1 där d är tjockleken på materialet och λ värmekonduktiviteten. Ett högt värmegenomgångsmotstånd innebär att isoleringsförmågan är bra.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1)$$

Övergångsmotstånd, Rsi & Rse

Övergångsmotstånd är ett värde som vid beräkning oftast antas vara konstant och beskriver motståndet som uppstår när värme ska övergå från luften på utsidan till ytan av exempelvis en yttervägg. Det finns ett värde för övergång på insidan och ett för utsidan, de kallas Rsi respektive Rse och har antagits vara 0,13 respektive 0,04 $(m^2 \cdot K)/W$. Detta adderas på resterande komponenters värmegenomgångsmotstånd för att få det totala motståndet (Petersson, 2018).

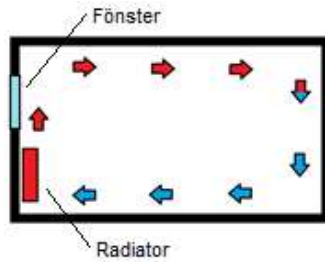
Värmegenomgångskoefficient, U-värde

U-värdet beskriver mängden värme som leds genom en kvadratmeters material per sekund med 1 grads temperaturskillnad mellan materialets ytor. Ekvation 2 används för att beräkna värmegenomgångskoefficienten där R är värmegenomgångsmotståndet. Det skrivs som $W/(m^2 \cdot K)$.

$$U = \frac{1}{R} \quad (2)$$

Konvektion

Konvektion är ett fenomen där bland annat luft rör sig på grund av temperaturskillnad. Den kan vara antingen naturlig eller påtvingad. Naturlig konvektion sker på grund av skillnaden i densitet hos luft av olika temperaturer och vid påtvingad konvektion på grund av skillnad i lufttryck. Varm luft har lägre densitet än kall luft och transporteras därför uppåt medan den kalla luften färdas nedåt. Detta kan ske om luften värms upp av exempelvis en radiator och färdas uppåt medan luften som tidigare har värmts upp sjunker i temperatur och i sin tur färdas nedåt för att återigen värmas upp och skapar en luftcirkulation. Alltså genom naturlig konvektion. Detta illustreras i Figur 1. Något som skulle kunna skapa påtvingad konvektion skulle exempelvis kunna vara en fläkt eller vind.



Figur 1: Illustration av hur naturlig konvektion fungerar.

2.2 Fuktteori

Om inget annat anges har underlag för fuktteori hämtats ur Burström och Nivér (2018).

Ångpermeabilitet, δ

Ångpermeabilitet är ett mått på hur väl ett material släpper igenom vattenånga. Det skrivs i form av hur många kvadratmeter vattenånga kan färdas per sekund i ett material med en meters tjocklek om differensen i ånghalt över materialet är 1 kg/m^3 . Till exempel kan det skrivas som $24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket är ångpermeabiliteten för glasull. Ett högre värde betyder att fukt lättare kan transporteras genom materialet och skulle anses som en dålig egenskap för en fuktspärr att ha.

Ånggenomgångsmotstånd, Z

Ånggenomgångsmotståndet är ett mått på ett materials förmåga att förhindra transport av vattenånga genom materialet. Det beräknas genom att dividera ett materials tjocklek med dess ångpermeabilitet, δ enligt ekvation 3. Resultatet skrivs som [s/m]. Till skillnad från ångpermeabiliteten betyder högre värde att materialet motstår fukt bättre och det är vad som söks hos exempelvis en fuktspärr (Svenskt trä, 2017).

$$Z = \frac{d}{\delta} \quad (3)$$

Relativ fuktighet

Relativ fuktighet (RF) är ett mått på relationen fukt i luften kontra den maximala mängden fukt luften kan bära. Luftens maximala förmåga att bära fukt kallas för mättnadsånghalt (v_s) och skiljer sig beroende på luftens temperatur. Varmare luft kan bära större mängd fukt. Mängden fukt i luften kallas för fukthalt (v) och skrivs i g/m^3 liksom mättnadsånghalten. Ekvation 4 används för att beräkna den relativa fuktigheten.

$$\text{RF} = \frac{v}{v_s} \quad (4)$$

Det finns inga gränsvärden för relativ fuktighet i bostäder men för komfort bör den ligga mellan 30–60%. För låga värden kan uppfattas som torrt medan för höga värden kan upplevas klubbigt. Det finns även risk för kvalster under vintertid ifall RF är högre än 45%. Vid en luftfuktighet lägre än 40% kan däremot statisk elektricitet bli ett problem (intab, u.d.).

2.3 Mineralull

Följande kapitel beskriver mineralullens olika materialegenskaper som är relevanta för beräkningarna i aktuellt fall. Framtagna priser inkluderar moms.



Figur 2: Foto av glasull (Radomil, 2004)

Bakgrund

Mineralull är ett samlingsnamn för glasull och stenull. Glasull är den mest använda isoleringen då den har en väldigt låg densitet och bra värmekonduktivitet. Glasullen kan delas utan att förlora några tekniska egenskaper vilket kombinerat med den låga densitet gör den lätt att använda i byggnation. Stenull har en bättre bärande förmåga vilket gör den attraktiv för vind- och markisolering där isoleringen kan bära en del av lasten (Isover, u.d.).

Tillverkningsprocessen av sten- och glasull skiljer sig inte mycket åt. Den största skillnaden är att glasull tillverkas från glas och stenull från stenarten diabas. Diabasen behöver utsättas för en högre temperatur på cirka 1500°C för att smälta medan glaset endast behöver 1400°C. De smälta massorna förs vidare till en typ av spinnare som formar glas/stenfibrer i form av långa smala trådar. Fenolharts och 0,5% mineralolja tillsätts till glasfibret innan den formas till isoleringsskivor. I Figur 2 visas ett foto på isoleringsskivor av glasull.

Innan härdningen av stenullen sker tillsätts ett bindemedel som omvandlas till bakelit efter härdningsprocessen. Vid behov av en mer beständig isolering kan stenfibrernas yta behandlas med en vattenavvisande film (Knauf Insulations, u.d.).

Värmeegenskaper

Både glasull och stenull har en värmekonduktivitet mellan 0,03 – 0,04

W/(m · K). Glasullens värmekonduktivitet blir däremot sämre när den utsätts för fukt. Därför är det viktigt att glasullen har möjlighet att luftas ifall den har blivit utsatt för fukt.

Fuktegenskaper

Stenullen har en ångpermeabilitet mellan $8 - 12 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ medan glasullen ligger mellan $15 - 24 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$. Det innebär att stenullen har ett högre ånggenomgångsmotstånd.

Brandegenskaper

Stenull är den isolering på marknaden som har bäst brandskydd då den behåller sina brandskyddande egenskaper upp till 1000°C (Isover, 2015). Därmed är den Euroklass A1 som innebär att den är obrännbart. Glasull har också Euroklass A1 som brandklass men tål inte riktigt 1000°C då tillverkningstemperaturen är aningen lägre än stenull. Båda fungerar som ett brandskydd upp till 60 minuter ifall de inte är direkt exponerade för branden (Boverket, 2019).

Kostnader

En viktig aspekt vid byggnation är priset. Enligt Beijer bygg är stenull 3 gånger dyrare än glasull. En 100 mm tjock stenullsskiva kostar cirka $320 \text{ SEK}/\text{m}^2$ (Beijer bygg, u.d.a), medan en 95 mm glasullsskiva endast kostar cirka $90 \text{ SEK}/\text{m}^2$ (Beijer bygg, u.d.d). Till skillnad från andra typer av isoleringsmaterial har mineralull inte någon livslängd då den inte förlorar sina egenskaper med tiden ifall den hålls skyddad. Däremot brukar det sägas att livslängden är runt 100 år men det beror inte på mineralullen utan på att byggnadens livstid oftast dimensioneras för 100 år. För en 30 mm tjock glasullsskiva är priset $33,9 \text{ SEK}/\text{m}^2$ (Beijer bygg, u.d.d). Då denna glasull kan skäras utan att förlora sina egenskaper har priset för en 10 mm skiva antagits ligga runt $11,3 \text{ SEK}/\text{m}^2$. Detta antagande var nödvändigt på grund av marknadsens brist på den önskade tjockleken.

2.4 Cellplast

Följande kapitel beskriver cellplastens olika materialegenskaper som är relevanta för beräkningarna i aktuellt fall. Framtagna priser inkluderar moms.



Figur 3: Foto av EPS (Ellgard, 2008)

Bakgrund

Cellplast består av polystyren och det finns olika typer som exempelvis EPS och XPS. Skivor av EPS (Expanderad Polystyren) tillverkas genom att kulor av polystyrenen expanderar vid kontakt av pentan under värme från vattenånga. Dessa kulor smälts sedan ihop och formas till skivor med delvis öppna porer där luft ryms. Detta bidrar till en god värmeisolerande förmåga. Ett foto på en skiva av EPS syns i Figur 3.

Samma kulor av polystyren används även vid tillverkning av XPS (Extruderad Polystyren). I stället för att expanderas så extruderas de smälta kulorna från en behållare med hjälp av en gas som exempelvis CO₂. De extruderas som löpande skivor som blir skurna till de längder som önskas. Tjockleken på skivorna bestäms av storleken på mynningen som materialet extruderas från. Till skillnad från EPS har XPS stängda porer (Jelle, 2011).

Skillnaden mellan de två typerna är att XPS oftast har en högre tryckhållfasthet än EPS, densiteten på EPS hade behövt öka för att få samma hållfasthet och det hade resulterat i en större tjocklek. EPS är även lättare att bearbeta och går bra att återvinna (Soprema, u.d.).

Värmeegenskaper

EPS och XPS har i näst intill samma värmekonduktivitet, λ på ungefär 30 – 40 mW/(m · K). EPS påverkas mer negativt av fukt, dess värmekonduktivitet kan öka ungefär dubbelt så mycket som XPS:ens. Exempelvis kan en EPS med 36 mW/(m · K) öka till 54 mW/(m · K) vid en ökning av fuktinnehåll från 0 vol% till 10 vol% medan en XPS med ett lambdavärde på 34 mW/(m · K) kan öka till 44 mW/(m · K) vid samma fuktökning (Jelle, 2011).

Fuktegenskaper

Vid skydd mot fukt har XPS avsevärt mycket lägre ångpermeabilitet än EPS. EPS har en ångpermeabilitet mellan $0,9 - 1,3 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ medan XPS endast har $0,17 - 0,23 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ (Burstrom & Nivér, 2018).

Brandegenskaper

En stor nackdel med cellplaster är att det är väldigt brandfarligt. En brandklass på F enligt EN 13163 gör att den inte är passande vid användning där risk för brand är stor och borde därför inte användas tätt inpå någon bärande byggdel (BEWI, 2017).

EPS smälter redan vid 150°C och ökar risken för att branden sprider sig eftersom den skapar pölar som leder till så kallade pölbränder. Det skapas även tre gånger så mycket rök av cellplasten som det gör av trä, detta försvårar utrymning. Det kan vid brand ge ifrån sig koldioxid och vid dålig tillgång till syre även större halter kolmonoxid (Brandskyddsföreningen, u.d.).

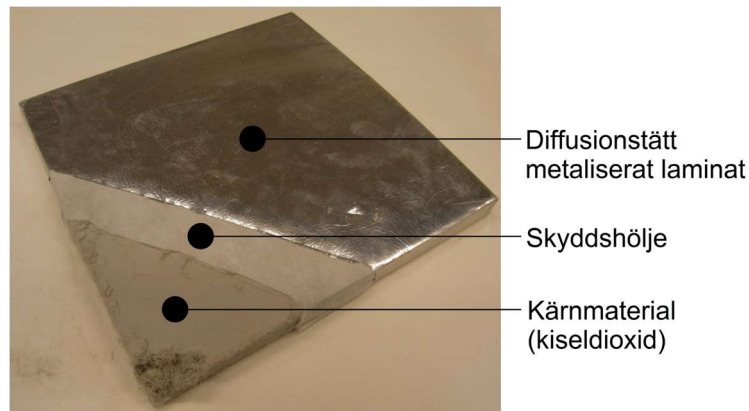
I fallet som detta arbete behandlar är faran inte lika stor som om cellplasten hade varit i något bärande som en yttervägg. Balkongdörrens isolering motsvarar så pass liten yta av den totala lägenheten.

Kostnader

I många aspekter verkar XPS vara mycket bättre än EPS förutom när det gäller priset. På Beijer bygg kostar en 70 mm skiva av EPS ungefär 196 SEK/m² (Beijer bygg, u.d.b). Motsvarande XPS från samma byggvaruhandel kostar i stället ungefär 280 SEK/m² (Beijer bygg, u.d.c), det är strax över 43% mer än priset för EPS. Däremot är dessa två av olika fabrikat och kan därför vara i olika prisklasser. Den valda 10 mm tjocka EPS-skivan har ett pris på 19,5 SEK/m² (Beijer bygg, u.d.e).

2.5 Vakuumisoleringspanel (VIP)

Följande kapitel beskriver vakuumisoleringspanelens olika materialegenskaper som är relevanta för beräkningarna i aktuellt fall. Framtagna priser inkluderar moms.



Figur 4: Bild på VIP:ens uppbyggnad (Foto av Axel Berge).

Bakgrund

En vakuumisoleringspanel (VIP) är en avancerad typ av isolering med mycket goda termiska egenskaper i ett litet och tunt format. De består ofta av en mikroporös kärna av pyrogen kiseldioxid. Detta är inneslutet i ett gastätt hölje av exempelvis metalliserat polymerlaminat, detta visas i Figur 4. Typen av hölje kan påverka hur utsatt panelen är för att åldras och sjunka i effektivitet. På grund av detta hölje tolererar VIP-paneler inte samma tryck som exempelvis mineralull och cellplast utan att förlora sin goda isoleringsförmåga som de får av att hållas helt täta. Det är därför nödvändigt att vara försiktig om det exempelvis skulle behöva spikas eller skruvas i en vägg där VIP är installerad (Jelle, 2011).

Värmeegenskaper

Olika tillverkare har olika värden på värmekonduktivitet för sina produkter. Några listar värden som de har direkt ur fabriken och andra vad de kan förväntas ha efter många år av användning och hur formen av panelen påverkar värdet. Tjockare paneler har lägre konduktivitet än tunna eftersom höljet runt om har högre konduktivitet än kärnan. Det utgör mindre andel av den totala volymen än vad det gör hos tunna.

För fabriksnya paneler brukar värmekonduktiviteten variera mellan 3–4,5 mW/(m·K). Efter ungefär 25 år av användning kan den öka till runt 8 mW/(m·K), detta kan variera mycket beroende på vilket typ av hölje som används. Detta är däremot fortfarande mycket lägre än många andra isoleringsmaterial som mineralull och cellplast även i de mer extrema fallen. (Jelle, 2011)

Fuktegenskaper

Höljet som ska hålla kärnan gastät medför även att panelen är fukttät och fungerar som en fuktspärr. Detta är däremot bara sant för fabriksnya paneler eftersom vattenånga tränger sig in med tiden och försämrar de termiska egenskaperna. Detta är inräknat i långtidsvärdet på $8 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ (Jelle, 2011).

Brandegenskaper

VIP-paneler har en brandklass på E enligt EN 13501-1. Detta betyder att panelen är svårantändlig men övertändning med en 100 kW tändkälla sker fortfarande inom 2 minuter. Detta är samma klass som brandhämmade cellplaster har men sämre än obehandlat trä, ett exempel är XPS. Precis som med cellplasten är faran inte lika stor om den som i studiens fall bara ska användas i en liten del av några balkongdörrar och inte i någon bärande komponent. Kärnan i sig är inte brännbart men höljet som består av polymer är mycket brandfarlig och kan efter att det antänds vid 350°C ge ifrån sig bland annat kolmonoxid och branden utvecklas snabbt. Panelerna förses däremot med en brandsäker beläggning som försvårar antändning (Johansson, 2012).

Kostnader

Det är inte möjligt att vid installation ändra måtten som panelerna redan tillverkats enligt eftersom de ska hållas täta och inte får skäras i. Vissa tillverkare erbjuder paneler som kan kopplas ihop med varandra för att täcka större ytor utan att det bildas köldbryggor mellan dem.

VIP-paneler har en förväntad livstid på upp till 60 år. Däremot har panelen efter dessa år en mycket högre värmekonduktivitet än vad den hade när den var ny

(va-Q-tec). Eftersom VIP-paneler är en mycket ny produkt och inte har funnits i 60 år finns det inte mycket erfarenhet och livstiden är endast beräknad och inte testad i hela 60 år. Enligt B. Adl-Zarrabi (personlig kommunikation, 13 mars 2021) fanns 10 dagar gamla prisuppgifter för en cylindrisk panel på $35\text{--}40 \text{ €/m}^2$ och att ett rimligt antagande var 300 SEK/m^2 för en 10 mm tjock kvadratisk panel.

2.6 Materialens miljöpåverkan

Miljöpåverkan är en aspekt som är viktig att ha i åtanke vid val av material. Antalet kilogram koldioxidekvivalenter ($\text{kgCO}_2 - \text{ekv}$) beskriver materialets uppvärmningspotential som bidrar till den globala uppvärmningen från dess vagga till grav. Koldioxid (CO_2) kan direkt översättas till koldioxidekvivalenter ($\text{CO}_2 - \text{ekv}$) medan exempelvis metan (CH_4) har en 25 gånger högre uppvärmningspotential. Alltså motsvarar 1 kg metan 25 $\text{kgCO}_2 - \text{ekv}$. (Naturvårdsverket, u.d.)

Isoleringsmaterialens uppvärmningspotential per kvadratmeter har antagits med korrigeringen att alla isoleringsmaterialens värmeledningsförmåga ska vara samma. Denna metod ger en verkligare bild av isoleringsmaterialens uppvärmningspotential då VIP:en medför en större besparing av energi som krävs för uppvärmning av byggnaden gentemot EPS:en och glasullen. En minskning av VIP:ens tjocklek med 80% medförde att alla isoleringsmaterial hade samma U-värde, $3,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Tabell 2.1: Miljöpåverkan för glasull (Isover, 2020), EPS (EPS industry alliance, 2017) och VIP (Karami, Al-Ayish, & Gudmundsson, 2015).

Isolering	Miljöpåverkan
	$(\text{kgCO}_2 - \text{ekv})/\text{m}^2$
Glasull	0,17
EPS-cellplast	1,11
VIP	3,03

2.7 Dörrbladets uppbyggnad



Figur 5: Illustration av dörrbladets komponenter (Foto av Alexander Sehlström).

Information om dörrens nuvarande uppbyggnad grundar sig i personlig kommunikation, A. Sehlström (personlig kommunikation, 15 januari 2021).

Dörrbågen

Dörrbladet består av en kopplad båge av kärnvirke av okänd trätyp som sträcker sig runt fönstret och den delen som ska isoleras. Bågen har möjlighet att tas isär vid behov. Till skillnad från den nedre isolerade delen med en tjocklek på 36 mm har bågen en tjocklek på cirka 65 mm. Då trätypen är okänd har dess lambdavärde antagits vara $0,14 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ vilket är samma som för generell trä (Burström & Nivér, 2018).

Glasruta

Glasrutan är i form av ett klart 2-glas fönster. U-värdet för hela glasrutan har antagits av bostadsrättsföreningen ligga mellan $2,5$ till $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Byte av glasrutorna skulle minska energiförlusterna och eventuellt minska kalldrag vilket tas upp i nästa avsnitt.

Dörrlist

Runt dörren finns det gummilister som ska stoppa konvektion mellan den varma inneluften och kalla uteluften. Dessa lister har förmodligen inte bytts ut på ett antal år och kan därför vara slitna och uttorkade vilket försämrar dess funktion. Listernas betydelse för dörren är stor då konvektion kan medföra stora energiförluster och kalldrag. För att underlätta beräkningarna har listerna antagits stoppa all konvektion vilket inte är sant i verkligheten. Det innebär att energibesparingen av ett listbyte inte går att beräkna och att argumentet för listerna inte kan stärkas.

Isolerad skiva

Den nuvarande skivan är isolerad med någon form av porös masonitskiva. Renoveringen går ut på att byta ut den 12 mm tjocka porösa masonitskivan och i stället sätta in en 10 mm tjock isolering av antingen glasull, EPS eller VIP. Åtgärden medför att luftspalten som från början antagits vara 1 mm blir 3 mm. Varför den nya isoleringen inte är 12 mm beror enbart på att den tjockleken inte finns på marknaden i samma utsträckning.

Plattans uppbyggnad inifrån-ut (vänster-höger):

3 mm masonitskiva

12 mm porös masonitskiva

1 mm luftspalt

10 mm pärlspont

10 mm pärlspont

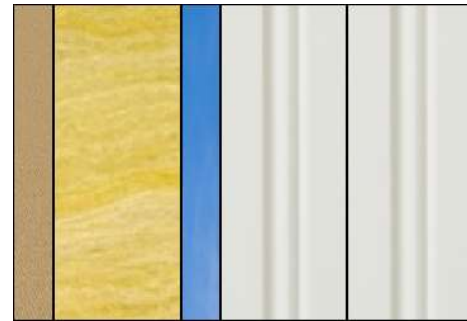
3 mm masonitskiva

10 mm isolering

3 mm luftspalt

10 mm pärlspont

10 mm pärlspont



Figur 6: Illustration av den isolerade skivans uppbyggd före och efter ny isolering.

Tabell 2.2: Valda värden för värmeledningsförmåga och ångpermeabilitet (Burström & Nivér, 2018), (Isover, u.d.), (Beijer bygg, u.d.e), (va-Q-tec).

Material	Värmeledningsförmåga	Ångpermeabilitet
Dörrens komponenter	λ [W/(m·K)]	δ [10^{-6} m ² /s]
Fast masonitskiva	0,18	0,15
Luftspalt	0,026	25
Pärlspont	0,14	0,9
Isoleringsmaterial		
Porös masonitskiva	0,05	4
Glasull	0,36	24
EPS-cellplast	0,36	0,6
VIP	0,008	0,005

2.8 Klimatdata

För en mer korrekt bild av verkligheten behövs klimatdata för det geografiska läget där konstruktionen befinner sig. Klimatdatan som användes i denna studie var luftens temperatur och fuktighet, den var inte samma år efter år och behövde därmed approximeras utifrån tidigare års uppmätta värden. En större insamling av data medför en bättre approximation av luftens temperatur och fuktighet.

Temperatur

Utomhustemperaturen påverkar både värmeförluster och luftens mättnadsånghalt genom balkongdörren. Ett kallare geografiskt läge medför större värmeförluster då temperaturdifferensen pådriver konvektionen och konduktionen genom dörren. Göteborgs medeltemperatur för respektive månad under perioden 1961–1990 hämtades från SMHI och sammanställdes sedan i Tabell 2.3 med antal dagar som förekommer i respektive månad. Medelvärdet för varje årstid sammanställdes i Tabell 2.4.

Tabell 2.3: Medeltemperatur för varje månad i Göteborg 1961–1990 (SMHI, u.d.).

Medeltemperaturer	Dagar	Temperatur
Månad	[st]	[°C]
Januari	31	-2,5
Februari	28	-2
Mars	31	0
April	30	4
Maj	31	10
Juni	30	15
Juli	31	15
Augusti	31	15
September	30	11
Oktober	31	7
November	30	3
December	31	-1

Tabell 2.4: Medeltemperaturer för varje årstid.

	Medeltemperatur
Årstid	[°C]
Vinter	-1,83
Vår	4,67
Sommar	15
Höst	7

Fukt

För att beräkna risken för eventuella fuktproblem i en konstruktion behövs fuktigheten för utomhusluften för den angivna platsen. Fuktigheten för uteluften avlästes ur Tabell 2.5 skapad av Miljöförvaltningen i Göteborg. I tabellen användes kolumnen där medelvärdet för den relativa fuktigheten för varje månad var listade. Utifrån värdena beräknades ett medelvärde för de fyra olika årstiderna som sedan användes i beräkningarna för dörrens genomgående fukthalter.

Tabell 2.5: Medelfuktighet för varje månad i Göteborg 2013
(Miljöförvaltningen Göteborg, u.d.).

Väderlek och miljö:

**Nederbörd, nederbördsdagar och luftfuktighet 1931-2010
resp 2011-2013**

Månad	Nederbörd, mm			Nederbördsdagar ¹			Luftfuktighet 2013, %					
	Medel			2011	2012	2013	2011	2012	2013	Medel- värde	Dygnsvärde	
	1931- 1960	1961- 1990	1991- 2010								Max	Min
Januari	57	62	84	61	78	36	13	14	14	86	97	72
Februari	35	41	48	57	45	12	10	11	8	83	97	71
Mars	29	50	60	34	8	2	9	6	3	60	82	43
April	40	42	53	36	68	40	12	15	15	66	92	43
Maj	35	51	60	66	68	67	16	12	13	67	89	51
Juni	57	61	76	56	87	127	11	11	17	72	87	45
Juli	78	68	87	112	86	59	17	16	8	70	88	45
Augusti	85	77	103	148	81	45	21	19	13	73	87	61
September	78	81	79	119	127	55	22	22	13	77	91	60
Oktober	69	84	112	94	135	100	19	19	19	83	93	61
November	66	84	87	26	93	72	14	23	19	83	93	57
December	63	75	86	129	62	111	25	14	22	82	93	46
Hela året	692	776	935	937	940	726	189	182	164	75	97	43

Källa: Miljöförvaltningen

Anm Observationer t o m 1991 gjorda vid Säve flygplats och fr o m 1992 vid Skansen Lejonet.

1 Som nederbördsdag räknas dag med minst 0,1 mm nederbörd.

2 Några dagar i juni och oktober ersattes mätningarna vid Skansen Lejonet med värden från framförallt mätstationen på Femmanhuset. Detta avser väderdata, i synnerhet vindriktningen 25 juni - 5 juli, fel på luftfuktighetsmätning.

3 Energi- och kostnadsberäkningar

Energi och kostnadsberäkningar genomförs för att kunna jämföra de olika isoleringsmaterialens förmåga att minska värmeförluster i förhållande till deras totalkostnad.

3.1 Energiförbrukning och besparing

Energiberäkningarna genomfördes för 4 olika dörrar med respektive isoleringsmaterial. Dörrarnas totala värmegenomgångsmotstånd beräknades genom att addera respektive materials värmegenomgångsmotstånd beräknat med ekvation 1, samt övergångsmotstånden R_{si} och R_{se} . Dörrarnas energiförluster under den rådande utomhustemperaturen, T_{ute} , beräknades för varje dörr och respektive månads medeltemperatur med ekvation 5 (Hagentoft & Sandin, 2017). T_{inne} som motsvarar inomhustemperaturen har valts till 20°C under alla årstider.

$$Q = A \cdot \frac{T_{inne} - T_{ute}}{R_{tot}} \quad (5)$$

Den totala energiförlusten under ett år togs därefter fram i antal kilowattimmar utifrån antalet dagar i varje månad. Uppvärmningskostnaderna är inte direkt jämförelsebar med värmeförlusterna då byggnaden inte behöver värmas upp när utetemperaturen överstiger 11°C. Det innebär att månaderna juni, juli, augusti och septembers energiförluster inte inkluderas i den totala uppvärmda energin. Därefter beräknades den totala årskostnaden genom att multiplicera den uppvärmda energin med ett fjärrvärmepris som för den aktuella byggnaden var 0,85 SEK/kWh, A. Sehlström (personlig kommunikation, 15 januari 2021).

Tabell 3.1: *Energiförlust för uppvärmning per dörr med olika isoleringsmaterial.*

	Lambda	Värmegenomgångsmotstånd	Energiförlust	Energi uppvärmd	Pris
	λ [W/(m·K)]	R [W/(m·K)]	[kW·h]	[kW·h]	[SEK]
Glasull	0,037	0,715	87,30	72,50	61,63
EPS-Cellplast	0,037	0,715	87,30	72,50	61,63
VIP	0,008	1,695	36,83	30,59	26,00
Porös träfiberskiva	0,050	0,608	102,69	85,28	72,49

Besparingen beräknas genom att subtrahera uppvärmningskostnaden för respektive isoleringstyp från kostnaden med den nuvarande isoleringen. Den årliga besparingen för respektive åtgärd är beräknade för en enskild dörr samt för bostadsrättsföreningens alla 220 dörrar.

Tabell 3.2: *Energibesparing per år med olika isoleringsmaterial.*

Besparing/år	1 Dörr	220 Dörrar
Isolering	[SEK]	[SEK]
Glasull	10,87	2390
EPS-Cellplast	10,87	2390
VIP	46,49	10227

3.2 Kostnader och återbetalningstid

Totala kostnaden för bytet beror på materialet och hantverkarens pris. En högre kostnad kräver en större investering från bostadsrättsföreningen och behövs därför även tas i åtanke i diskussionen. Framtagna priser inkluderar moms.

Tabell 3.3: Isoleringskostnader per kvadratmeter.

Isolering	Kostnad (SEK/m ²)
Glasull	11,3
EPS	19,5
Vakuumisoleringspanel	300

Ett vanligt timpris för en hantverkare i Göteborg ligger på runt 630 SEK/h (Byggahus, 2021). För beräkningarna har arbetstiden för att byta ut en balkongdörrs isolering valts till 1 timma. Priset kan därefter enkelt justeras om tidsåtgången skulle skilja från den valda. Den verkliga tiden kan både vara kortare och längre vilket i så fall kommer påverka investeringskostnaden. För att få fram den verkliga tiden skulle ett fältförsök behövas utföras för en av dörrarna. Mängden isolering som kommer behövas för en dörr är ungefär 0,45 m² vilket totalt blir 99,5 m² för alla 220 dörrar.

Tabell 3.4: Kostnad och återbetalningstid för alla dörrar med olika isoleringsmaterial.

Isolering	Materialkostnad [SEK]	Hantverkarkostnad [SEK]	Totalkostnad [SEK]	Återbetalningstid [ÅR]
Glasull	1125	138600	139725	58,5
EPS-Cellplast	1942	138600	140542	58,8
VIP	29872	138600	168472	16,5

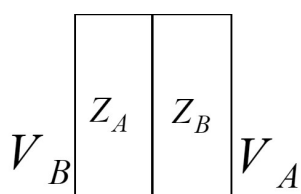
Återbetalningstiden beräknas utifrån respektive materials totalkostnad genom att dividera den med besparingen per år för respektive material. I praktiken är tidsåtgången inte samma för vardera isoleringsmaterial och kan därför som tidigare nämnt justeras med den verkliga tiden.

4 Fuktberäkningar

Fuktberäkningar genomfördes för ett typiskt vinter-, vår-, sommar- och höstscenario. Målet är att undersöka ifall den nya isoleringen utsätts för en relativ fuktighet som kan medföra fuktproblem i balkongdörren.

4.1 Temperatur- och fuktgenomgång

Temperaturförändringen i dörren beräknades med vikttningsregeln där ekvation 6 användes (Hagentoft & Sandin, 2017). Beräkningarna gjordes stegvis från insidan fram till pärlsponten där den ny temperaturen användes för att räkna fram den nästkommande. Fukthalten beräknades med samma metod som temperaturen fast med annan indata i ekvation 7. Till sist avlästes mätnadsånghalten fram för respektive temperatur ur en tabell i Burström & Nivér (2018) innan den relativa fuktigheten beräknades.



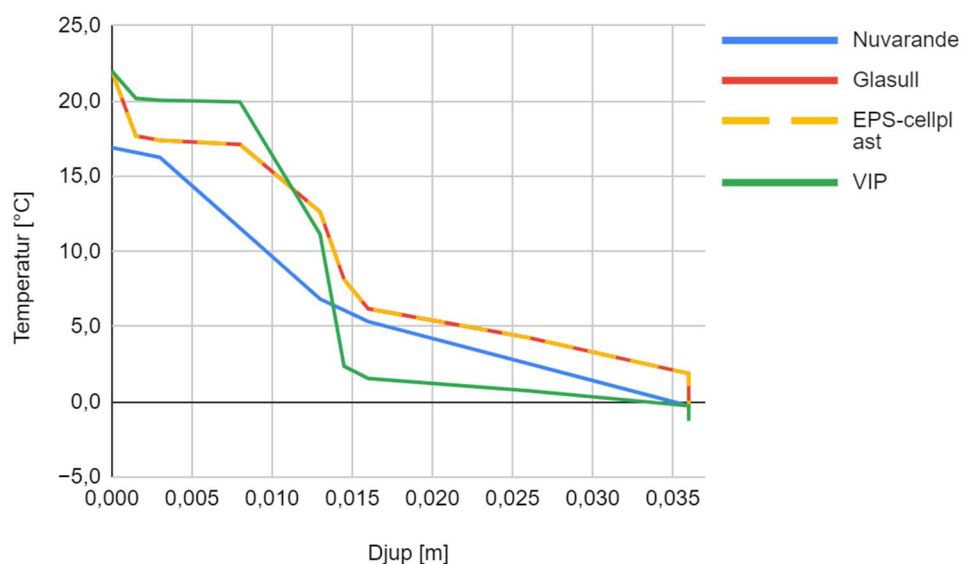
$$T = T_A + \frac{R_A}{R_A + R_B} \cdot (T_B - T_A) \quad (6)$$

$$V = V_A + \frac{Z_A}{Z_A + Z_B} \cdot (V_B - V_A) \quad (7)$$

Figur 7: Illustration av storheter i formler

En bättre isolering medförde en större skillnad mellan temperaturen på vardera sida av isoleringen. Det medför att inomhusluften bättre behåller sin temperatur och minskar därav dörrens värmeförluster. Glasullen och EPS:en medförde båda samma temperaturer genom dörren då deras värmeledningsförmåga är samma. VIP medförde den största temperaturskillnaden vilket kan ses på den branta lutningen från 8 mm till 14 mm.

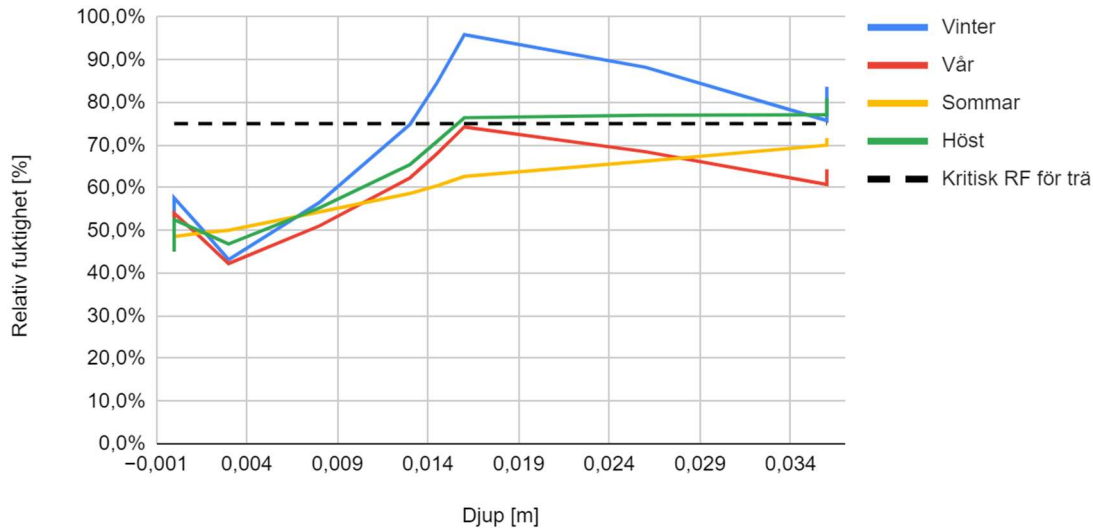
Skillnad i isoleringsprestanda för olika isoleringar vid vinter



Figur 8: Skillnad i isoleringsprestanda för olika isoleringsmaterial vid vinter. Värden ur bilaga 1-4

Vinterförhållandet visade sig vara mest kritiskt för balkongdörren oberoende av isoleringsmaterialet. Detta beror dels på den stora temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften, dels den stora skillnaden i fukthalter.

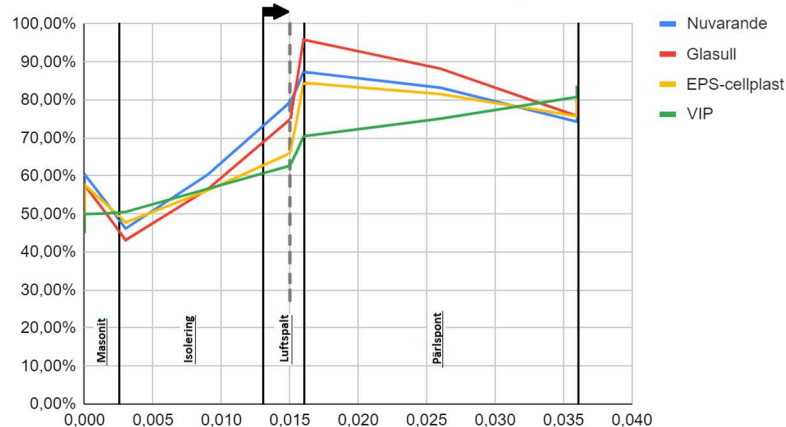
Skillnad i relativ fuktighet för olika årstider (Glasull)



Figur 9: Skillnad i relativ fuktighet vid olika årstider för glasull. Resterande isoleringsmaterial hittas i bilaga 5–7 och tillhörande värden i bilaga 1–4.

Glasullen medförde en ökning av luftens relativa fuktighet gentemot den gamla dörren från 15 mm fram till 36 mm in från dörrens insida. Högsta uppmätta punkten var 96% vid 16 mm, vilket vid samma punkt i den gamla dörren var 8,5 procentenheter lägre.

Skillnad i relativ fuktighet för olika isoleringar



Figur 10: Skillnad i relativ fuktighet för olika isoleringsmaterial vid vinter. Värden för samtliga årstider hittas i bilaga 1–4.

Zonerna i grafen talar om vilket material som förekommer inom det området. Den streckade linjen är var isoleringen slutar för den nuvarande dörren. Detta eftersom dess isolering är 12 mm till skillnad från de andra fallens 10 mm.

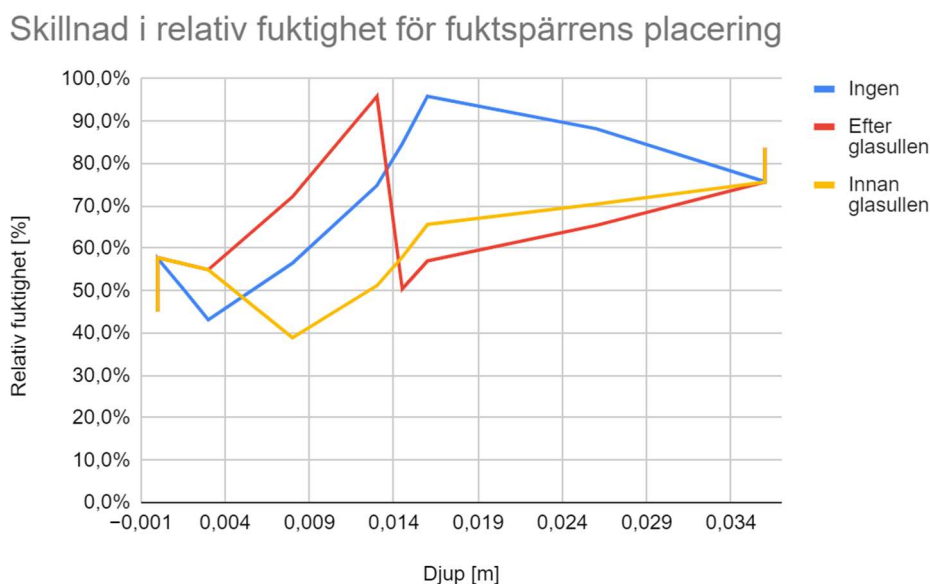
Tabell 4.1: Gränser för fuktproblem för olika isoleringsmaterial (Burström & Nivér, 2018), (va-Q-tec).

	Gränser för fuktproblem
Material	RF [%]
Masonit	75-80
Glasull	90-95
EPS-Cellplast	95
VIP	70
Pärilsfont	75-80

Utifrån zonerna kan den beräknade relativa fuktigheten jämföras med de rekommenderade gränsvärdena för respektive material från Tabell 4.1. Beräkningarna visar att det kan finnas risk för att pärlsponten utsätts för mögel eller missfärgningar med samtliga isoleringsmaterial. Glasullen var den enda som medför risk för fuktproblem i isoleringen.

4.2 Fuktspärr

En installation av en fuktspärr mellan masoniten och glasullen medför en noterbar skillnad. Den punkten som tidigare upplevde högst relativ fuktighet minskade med cirka 32%. Denna placering skulle inte vara applicerbar i exempelvis en vägg då eventuella spikar och skruvar skulle penetrera fuktspärren och försämra dess funktion.



Figur 11: Skillnad i relativ fuktighet med fuktspärr.

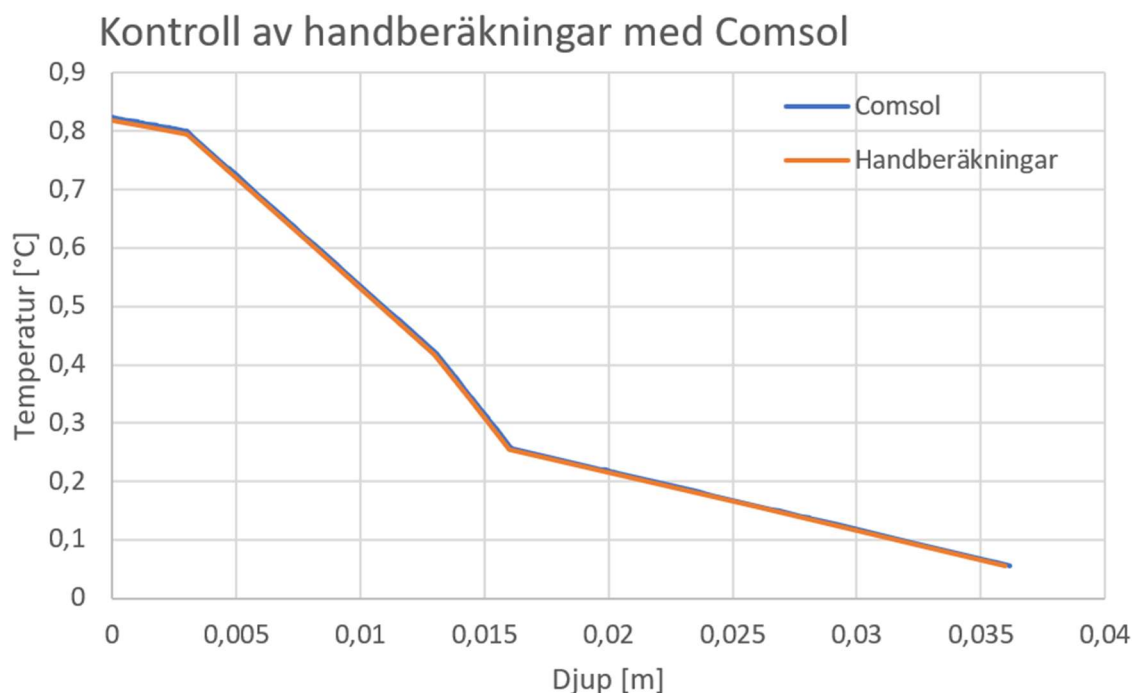
En placering av fuktspärren mellan glasullen och luftspalten likt en vägg medförde också en minskning av den relativa fuktigheten mellan fuktspärren och pärlsponten. Däremot skedde en ökning upp till 96% mellan isoleringen och fuktspärren.

5 Cmsol

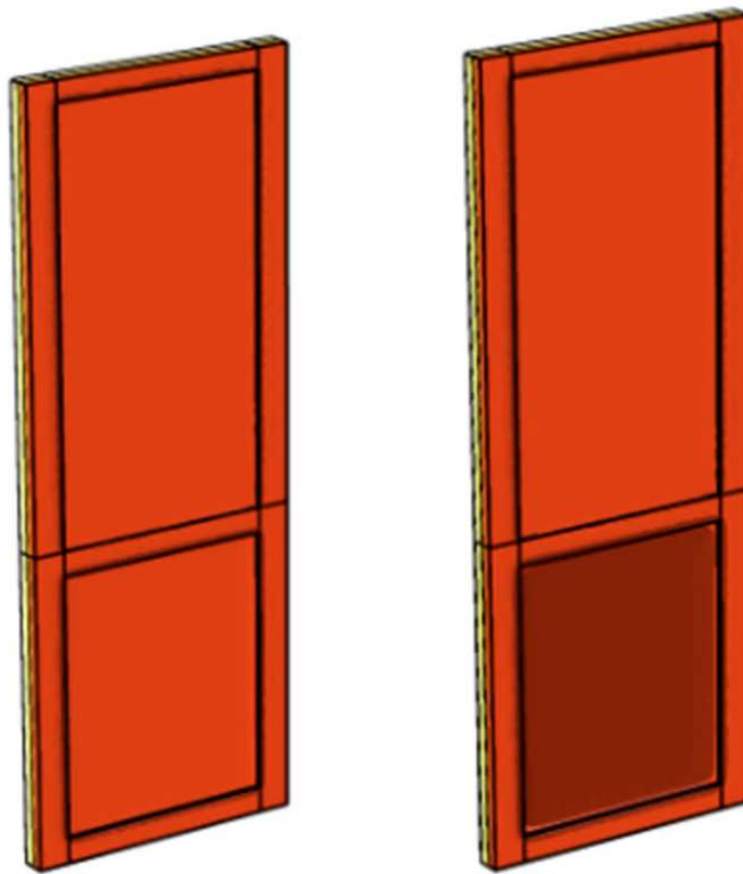
Cmsol användes för att studera fallet med en mer verklig simulering av hur varje komponent i dörren påverkar den totala värmetransporten. Syftet var även att jämföra resultaten av beräkningarna som gjordes för hand med de som gjordes med ett avancerat program.

En kontroll av handberäkningarna gjordes i Cmsol genom att återskapa dörrens olika komponenter och tilldela dem dess termiska egenskaper som behövdes vid beräkning, värmeledningsförmåga och tjocklek. Dessa sattes sedan ihop till den kompletta dörrkonstruktionen och en värmetransportsimulering genomfördes. En punkt i mitten av den isolerade delen valdes för att undersöka hur temperaturen ändras i punkten genom hela dörrens konstruktion. En temperaturskillnad på endast 1°C valdes för att få en generell bild av materialens effekter. Utifrån datan kunde en graf plottas för att sedan användas för att jämföra med grafen som skapades utifrån resultaten av handberäkningarna.

Resultaten som simuleringarna gav var som väntat mycket lika de handberäkningarna gav. Liknelsen syns tydligt i Figur 12. Den blå linjen motsvarar resultaten från Cmsol och den orangea från handberäkningarna.



Figur 12: Jämförelse mellan resultat från Cmsol och handberäkningar.



Glasull

VIP

Figur 13: Jämförelse mellan utsidan av dörr med glasull och med VIP som isolering.

6 Andra åtgärder

Utöver att byta isolering i dörrarna finns även andra åtgärder som kan förbättra dörrens isoleringsförmåga. Detta kapitel avser endast att ge en uppfattning av vilka effekter som kan förväntas av dessa åtgärder. Framtagna priser inkluderar moms.

6.1 Ny glasruta

Glasrutan utgör cirka 42% av dörrens totala area, vilket är mer än den isolerade skivan. I nuläget består glasrutan av 2 klarglas och har dessutom möjligheten att öppnas på mitten. I beräkningarna har 4 andra typer av glas valts med olika värmemotstånd. Beteckningen LE innebär att glaset har behandlats med ett lågmissionsskikt. Dess funktion är att minska mängden överföring av långvågig värmestrålning vilket minskar värmeförlusterna men minskar även mängden solinstrålning. Alla glasrutor har luft mellan glasen förutom ett som i stället har gasen krypton.

Tabell 6.1: Energibesparing vid byte till olika typer av glas. Data från (Hagentoft & Sandin, 2017)

	2 Klarglas	2 Glas med LE	3 Klarglas	3 Glas 2 med LE	3 Glas 2 med LE Krypton
Egenskaper	U [W/(m ² ·K)]	U [W/(m ² ·K)]	U [W/(m ² ·K)]	U [W/(m ² ·K)]	U [W/(m ² ·K)]
U värde	2,9	1,8	1,9	1,1	0,8
Energiberäkning	[kWh/år]	[kWh/år]	[kWh/år]	[kWh/år]	[kWh/år]
Total uppvärmd energi per år	245,1	152,1	160,6	93,0	67,6
Besparing per år		93,0	84,5	152,1	177,5

Den största besparingen sker ifall 2 klarglas byts ut mot ett 3 glas med kryptongas och 2 lågmissionsskikt. Kryptongasen medför en besparing på enbart cirka 25 kWh/år vilket är den minsta besparingen för en enskild åtgärd. Den bästa enskilda åtgärden är insättningen av lågmissionsskikt då besparingen uppgick till 93 kWh/år. Tätt bakom med en besparing på 84,5 kWh/år var glasrutan med ett tredje klarglas.

6.2 Ny dörr

Byte av dörr är inget alternativ för denna bostadsrättsförening då den ingår i ett bevaringsprogram men alternativet bör ändå undersökas. Den nuvarande dörrens totala U-värde beräknades utifrån dörrens olika komponenters U-värden. Komponenternas andel av dörrens totala area bestämde dess påverkan på dörrens slutliga U-värde.

Tabell 6.2: U-värden för dörrens olika komponenter.

Komponent	Andel av dörrarea [%]	Värmegenomgångskoefficient U [W/(m ² ·K)]
Isolerad skiva	26	1,64
Glas	42	2,90
Karm	32	1,58

Det totala U-värdet för dörren beräknades till 2,15 W/(m² · K). I beräkningarna användes den nuvarande dörrens uppbyggnad eftersom ett utbyte av den porösa masonitskivan skulle vara meningslöst vid byte av hela dörren. U-värdet för en ny balkongdörr med liknande andel fönsterarea hittades hos Hemfint (u.d.) vars värde är 0,96 W/(m² · K).

Tabell 6.3: *Energibesparing vid byte till ny dörr.*

	Nuvarande dörr	Ny dörr
Egenskaper	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]
U-värde	2,15	0,96
Energiberäkning	[kWh/år]	[kWh/år]
Total uppvärmd energi per år	433,3	193,6
Besparing per år		239,7

Besparingen för en dörr uppgick till cirka 240 kWh per år. Med bostadsrättsföreningens fjärrvärmepris på 0,85 SEK/kWh och 220 dörrar blir den totala besparingen per år cirka 45 000 SEK. Just den här balkongdörren kostar 4795 SEK vilket innebär att investeringskostnaden uppgår till cirka en miljon kronor och får en återbetalningstid på cirka 23,4 år exklusive installationskostnaden.

7 Diskussion och slutsatser

Diskussion

Vi trodde i början av arbetet att priset på VIP-paneler skulle vara alldeles för högt i dagsläget för att det skulle vara ekonomiskt försvarbart. Då exempelvis glasull redan har god isoleringsförmåga till en fraktion av priset. Problemet med vår teori var att materialkostnaden inte var den enda kostnaden. Den antagna hantverkarkostnaden visade sig vara mycket dyrare än förväntat. Om det endast skulle funnits en materialkostnad skulle vår teori stämma då VIP:en sparade över 4 gånger så mycket energi som glasullen och EPS:en men kostade 11–20 gånger så mycket. Det skulle innebära att återbetalningstiden för både glasull och EPS skulle varit lägre än VIP:en. När en fast kostnad för hantverkare tillkom oberoende på materialens kostnad visade det sig att glasullens och EPS:ens besparing per år var alldeles för låg för att jämföra sig med VIP:en. Även om återbetalningstiden är mycket kortare för VIP så är fortfarande investeringskostnaden högre vilket kan bli en avgörande faktor. Glasullen och EPS:en förbättrar däremot fortfarande dörrens isolerande förmåga och kanske räcker för att stoppa kalldrag som ur ett komfortperspektiv är det stora problemet. Värmeledningsförmågan som har använts för VIP:en i beräkningarna var dubbelt så hög som en oanvänd panel. Återbetalningstiden kommer därför i verkligheten vara lägre än vad som är beräknat.

De andra förslagen på åtgärder visade sig kunna medföra stora besparingar men kommer förmodligen inte bli aktuellt då det skulle ändra utseendet på dörren. Dessutom blev investeringskostnaden för nya dörrar i vårt fall alldeles för stor för att bli ett attraktivt alternativ. Ett byte av glasrutan skulle kunna vara en bra investering beroende på kostnaden då den utgör en stor del av balkongdörren.

Ur ett brandskyddsperspektiv är glasullen den isolering som är bäst lämpad. Den har både lägst risk för antändning samt längst spridningstid. Dock utgör isoleringen inte mycket av den totala dörrvolymen vilket troligtvis kommer innebära att valet av isolering inte kommer påverka varken dörrens eller hela byggnadens brandegenskaper speciellt mycket. Därför anser vi inte att isoleringsmaterialens brandegenskaper ska vara en av huvudfaktorerna i det slutgiltiga valet av isolering.

Utifrån isoleringsmaterialens miljöpåverkan var VIP:en den isolering som hade störst påverkan. Värdena kan däremot vara lite missvisande då vi inte vet ifall den energin som VIP:en skulle ha en större miljöpåverkan. Isoleringsmaterialens uppvärmningspotentialen tar i beaktning varifrån elektriciteten är producerad vilket kan vara missvisande ifall isolering i sig har en lägre miljöpåverkan. Tyskland är exempelvis en stor tillverkare av VIP och förlitar sig mycket på kolkraft. Det leder till att just denna VIP:en påverkar miljön mer än vad en som tillverkas med förnybara energikällor hade gjort. Den enda isoleringen vars elektricitet vid tillverkning som var helt förnybar var glasullen vilket kan vara en av anledningarna till att den var överlägset lägst. Eftersom de framtagna värdena är en form av uppskattningar och ingen garanti, bör de därför kompletteras med värden från leverantör vid ett eventuellt arbete.

Enligt våra beräkningar skulle den nuvarande dörren redan ha stött på problem med antingen missfärgningar eller mögel. Eftersom den i vår vetenskap inte stött på några av dessa problem så bör dörren ha en egenskap som vi inte tagit med i beräkningarna. Det kan exempelvis vara att den porösa masonitskivan eller pärlsponten inte har de egenskaper vi antagit. Både EPS:en och VIP:en hade lägre relativ fuktighet genom hela dörren än den nuvarande vilket borde innebära att de inte heller riskerar fuktproblem. Däremot visade sig glasullen medföra en högre relativ fuktighet än den

nuvarande dörren vilket kan innebära att en fuktspärr kan behöva installeras. För att bestämma ifall glasullen skulle behöva kompletteras med en fuktspärr skulle ytterligare beräkningar behövas genomföras med tillkommande fältförsök. Detta var inte möjligt inom den tidsram vi hade för arbetet men åtgärden kommer inte förändra värmeförlusterna eller ändra kostnader väsentligt.

Slutsats

Utifrån resultaten och diskussionen anser vi att återbetalningstiden är den största faktorn till varför VIP:en blir det mest attraktiva alternativet i detta fall. Övrigt visade den lägst risk gällande fuktrelaterade problem och kommer inte behöva ytterligare åtgärder.

Referenser

- Beijer bygg. (u.d.a). Hämtat från STENULLSSKIVA THERM 321 SERPOROC:
<https://www.beijerbygg.se/privat/sv/produkter/byggmaterial/isolering/stenull/stenullsskiva-therm-321-serporoc>
- Beijer bygg. (u.d.b). Hämtat från CELLPLAST THERM 399 EPS:
<https://www.beijerbygg.se/privat/sv/produkter/byggmaterial/isolering/cellplast-eps/therm-399-eps-skiva-070mm-ef-900145005>
- Beijer bygg. (u.d.c). Hämtat från ECOPRIM:
<https://www.beijerbygg.se/privat/sv/produkter/byggmaterial/isolering/cellplast-xps/markiso-ecoprim-xes-200j-70mm-006579182>
- Beijer bygg. (u.d.d). Hämtat från Ljudskiva piano stål:
<https://www.beijerbygg.se/privat/sv/produkter/byggmaterial/isolering/glasull/ljudskiva-piano-613-095-450-cc-006605343>
- Beijer bygg. (u.d.e). Hämtat från CELLPLAST EPS 100 KPA 1200MM:
<https://www.beijerbygg.se/privat/sv/produkter/byggmaterial/isolering/cellplast-eps/cellplast-eps-100-10x600x1200-900212896>
- BEWI. (den 29 juli 2017). Hämtat från SÄKERHETS DATABLAD BEWi EPS-cellplast:
<https://bewisynbra.com/wp-content/uploads/2019/10/S%C3%A4kerhetsdatablad-BEWi-EPS-cellplast-20170729.pdf>
- Boverket. (den 15 februari 2019). Hämtat från Brandklasser för golv, väggar tak, rörisolering och kablar: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandklasserd-for-ytskikt/>
- Boverket. (den 10 juni 2020). Hämtat från Krav vid ändring av byggnader:
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-konstruktionsregler/overgripande-bestammelser/krav-vid-andring/>
- Brandskyddsföreningen. (u.d.). Hämtat från Cellplast:
<https://www.brandskyddsforeningen.se/brandsakerhet/byggsektorn/cellplast/>
- Burström, P., & Nivér, K. (2018). *Byggnadsmaterial*. Lund & Stockholm: Studentlitteratur.
- Byggahus. (den 03 maj 2021). Hämtat från Priser på snickare, målare, elektriker, rörmokare och plattsättare: <https://www.byggahus.se/priser-pa-snickare-malare-elektriker-rormokare>
- Ellgard, H. (den 22 april 2008). Wikipedia. Hämtat från File:Frigolit 2008.jpg:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frigolit_2008.jpg
- EPS industry alliance. (den 08 oktober 2017). Hämtat från Expanded polystyrene insulation:
https://www.epsindustry.org/sites/default/files/EPS%20Insulation%20EPD_2.pdf

- Hagentoft, C.-E., & Sandin, K. (2017). *Byggnadsfysik - Så fungerar hus*. Lund: Studenlitteratur.
- Hemfint. (u.d.). Hämtat från Dörr med fönster 3-glas - Inåtgående med tilt - PVC - U-värde 0,96: https://www.hemfint.se/fonsterdorr-3-glas-inatgaende-med-tilt-pvc-u-varde-0-96-p-37916?aref=ref-adwords_agid-59931787139_cid-1578590110_mt-_ntw-g_crid-296499711972_kw-_pl-_prm1-_prm2-_ai-_ap-_dv-c_dvm-_fid-_aud-1186052275090%3Apla-297220756681&gclid=Cj0KC
- intab. (u.d.). Hämtat från Inomhusklimat: <https://intab.se/radgivning/inomhusklimat>
- Isover. (u.d.). Hämtat från Vad är mineralull?: <https://www.isover.se/vad-ar-mineralull>
- Isover. (den 20 november 2015). *Beijer bygg*. Hämtat från Ljudskiva piano stål: https://www.beijerbygg.se/wcsstore/BeijerCAS/HPMAAssets/d120001/medias/docus/172/004119148_7877462_3562704503_CE1.pdf
- Isover. (den 28 februari 2020). *Beijer bygg*. Hämtat från Environmental product declaration: https://www.beijerbygg.se/wcsstore/BeijerCAS/HPMAAssets/d120001/medias/docus/193/nepd-2077-937_piano-ljudskiva.pdf
- Jelle, B. P. (2011). *Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities*. Trondheim: Elsevier BV.
- Johansson, P. (2012). *Vacuum Insulation Panels in Buildings*. Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Karami, P., Al-Ayish, N., & Gudmundsson, K. (2015). *A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Knauf insulations. (u.d.). Hämtat från Tillverkning av mineralull: <https://www.knaufinsulation-ts.com/sv/kompetenser/produktion>
- Miljöförvaltningen Göteborg. (u.d.). Hämtat från Nederbörd, nederbördsdagar och luftfuktighet 1931-2010 resp 2011-2013: <http://www4.goteborg.se/prod/sk/statistik/statistikr5.nsf/webSenaste/0f6bbd57aee2ad55c1256d3b003a1f71!OpenDocument&Click=>
- Naturvårdsverket. (u.d.). Hämtat från Koldioxidekvivalenter: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/>
- Petersson, B.-Å. (2018). *Tillämpad byggnadsfysik*. Göteborg: Studenlitteratur.
- Radomil. (den 01 februari 2004). Wikipedia. Hämtat från File:Glass wool insulation.jpg: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Glass_wool_insulation.jpg
- SMHI. (u.d.). Hämtat från Temperatur: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/temperatur>

Soprema. (u.d.). Hämtat från XPS and EPS insulation: The difference is in the details: <https://www.soprema.se/en/article/sopravoice-en/xps-and-eps-insulation-the-difference-is-in-the-details>

Svenskt trä. (den 08 december 2017). *Träguiden*. Hämtat från Ånggenomsläpplighet: <https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/fukt/fukt/anggenomslapplighet/>

va-Q-tec. (u.d.). Hämtat från Technical Data Sheet va-Q-vip F: https://va-q-tec.com/wp-content/uploads/pimcore/va_Q_vip_F_Varianten_Englisch.pdf

Bilagor

Bilaga 1

Vinter	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Glasull	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	17,7	17,4	17,1	12,6	8,1	6,2	4,3	1,9	-0,5	-1,8
Fukthalt	8,7	8,7	7,5	6,3	6,3	6,2	6,2	6,2	4,9	3,5	3,5
RF [%]	45,0	57,6	50,5	43,1	56,5	74,8	84,6	95,9	88,2	75,7	83,7
Vår	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Glasull	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	18,8	18,6	18,4	15,2	11,9	10,5	9,1	7,4	5,6	4,7
Fukthalt	8,7	8,7	7,7	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	5,4	4,3	4,3
RF [%]	45,0	54,0	48,2	42,2	51,0	62,3	68,0	74,2	68,4	60,8	64,3
Sommar	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Glasull	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	20,7	20,6	20,6	19,2	17,9	17,4	16,8	16,1	15,4	15,0
Fukthalt	8,7	8,7	8,8	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2
RF [%]	45,0	48,5	49,4	50,0	54,3	58,6	60,4	62,6	66,2	70,0	71,7
Höst	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Glasull	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	19,3	19,1	18,9	16,1	13,3	12,0	10,8	9,3	7,8	7,0
Fukthalt	8,7	8,7	8,1	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	6,9	6,3	6,3
RF [%]	45,0	52,5	49,7	46,8	55,2	65,4	70,9	76,4	77,0	77,1	81,0

Bilaga 2

Vinter	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	EPS-cellplast	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,012	-	0,001	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	17,7	17,4	17,1	12,6	8,1	6,2	4,3	1,9	-0,5	-1,8
Fukthalt	8,7	8,7	7,8	6,9	6,2	5,5	5,5	5,5	4,5	3,5	3,5
RF [%]	45,0	57,7	52,8	47,8	56,2	66,0	74,6	84,5	81,6	75,7	83,7
Vår	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	EPS-cellplast	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	18,8	18,6	18,4	15,2	11,9	10,5	9,1	7,4	5,6	4,7
Fukthalt	8,7	8,7	8,0	7,2	6,6	6,0	6,0	6,0	5,1	4,3	4,3
RF [%]	45,0	54,1	50,0	45,9	50,8	56,3	61,5	67,2	64,5	60,8	64,3
Sommar	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	EPS-cellplast	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	20,7	20,6	20,6	19,2	17,9	17,4	16,8	16,1	15,4	15,0
Fukthalt	8,7	8,7	8,8	8,9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2
RF [%]	45,0	48,5	49,2	49,7	54,4	59,1	60,9	63,1	66,5	70,0	71,7
Höst	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	EPS-cellplast	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	19,3	19,1	18,9	16,1	13,3	12,0	10,8	9,3	7,8	7,0
Fukthalt	8,7	8,7	8,3	7,9	7,6	7,2	7,2	7,2	6,7	6,3	6,3
RF [%]	45	52,56	50,69	48,77	55,12	62,41	67,6	72,91	75,04	77,06	81

Bilaga 3

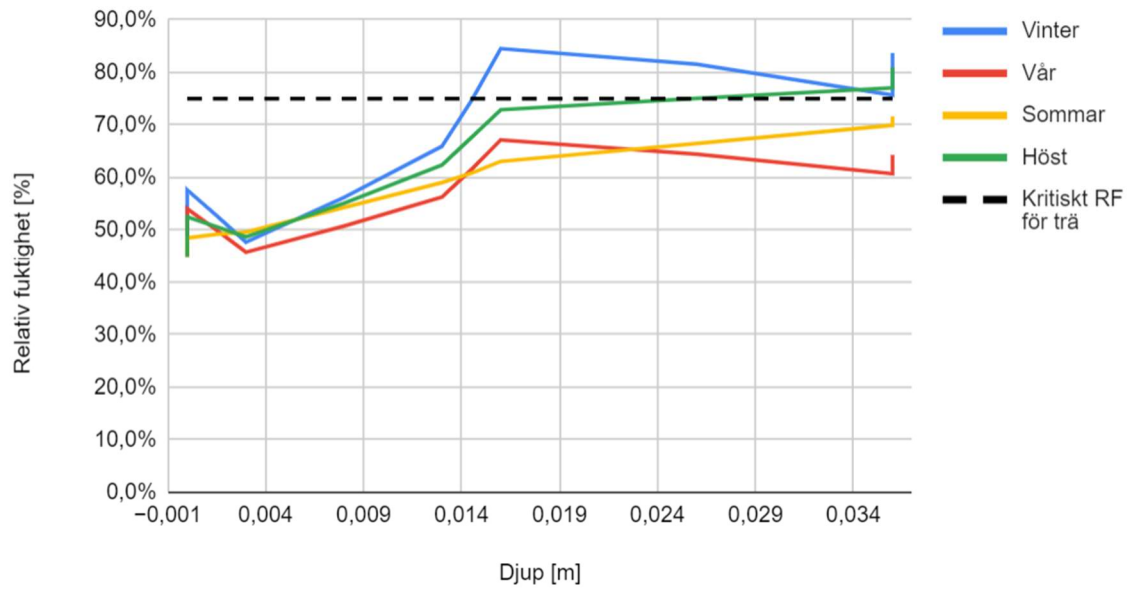
Vinter	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	VIP	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,012	-	0,001	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	20,2	20,1	19,9	11,2	2,4	1,6	0,7	-0,3	-1,3	-1,8
Fukthalt	8,7	8,7	8,7	8,7		3,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5
RF [%]	45,0	50,0	50,1	50,5		62,7	66,3	70,5	75,1	80,8	83,7
Vår	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	VIP	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	20,7	20,6	20,5	14,1	7,7	7,1	6,5	5,8	5,1	4,7
Fukthalt	8,7	8,7	8,7	8,7		4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
RF [%]	45	48,52	48,67	48,85		53,57	55,78	57,86	60,27	62,73	64,33
Sommar	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	VIP	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	21,5	21,4	21,4	18,8	16,2	16,0	15,8	15,5	15,2	15,0
Fukthalt	8,7	8,7	8,7	8,7		9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
RF [%]	45,0	46,3	46,6	46,6		66,6	67,5	68,3	69,6	70,9	71,7
Höst	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	VIP	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilsfont	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,010	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	20,8	20,8	20,7	15,2	9,6	9,1	8,6	8,0	7,4	7,0
Fukthalt	8,7	8,7	8,7	8,7		6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
RF [%]	45	48,25	48,19	48,39		68,99	71,17	73,48	76,26	79,07	81

Bilaga 4

Vinter	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Porös Träfiberskiva	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspond	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,012	-	0,001	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	16,9	16,6	16,3	11,5	6,8	6,1	5,3	2,5	-0,3	-1,8
Fukthalt	8,7	8,7	7,5	6,4	6,2	6,1	6,1	6,1	4,8	3,5	3,5
RF [%]	45,0	60,5	53,4	46,2	60,3	79,3	83,0	87,4	83,2	74,3	83,7
Vår	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Porös Träfiberskiva	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspond	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,012	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	18,3	18,1	17,8	14,4	11,0	10,4	9,9	7,8	5,8	4,7
Fukthalt	8,7	8,7	8,0	7,3	7,2	7,1	7,1	7,1	6,4	5,6	5,6
RF [%]	45,0	55,7	51,9	48,3	58,5	71,2	73,9	76,2	77,8	78,0	83,7
Sommar	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Porös Träfiberskiva	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspond	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,012	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	20,5	20,4	20,3	18,9	17,5	17,3	17,1	16,3	15,5	15,0
Fukthalt	8,7	8,8	9,2	9,6	9,7	9,8	9,8	9,8	10,2	10,7	10,7
RF [%]	45,0	49,2	51,9	54,8	59,9	65,4	66,2	67,1	73,9	81,2	83,7
Höst	Inne	Yta inne	Masonit	Mellan	Porös Träfiberskiva	Mellan	Luftspalt	Mellan	Pärilspond	Yta ute	Ute
Tjocklek [m]	-	-	0,003	-	0,012	-	0,003	-	0,020	-	-
Temperatur [°C]	22,0	18,8	18,6	18,4	15,4	12,5	12,0	11,5	9,7	8,0	7,0
Fukthalt	8,7	8,7	8,2	7,7	7,7	7,6	7,6	7,6	7,0	6,5	6,5
RF [%]	45,0	54,1	51,7	49,2	58,3	69,0	71,2	73,4	76,4	78,6	83,7

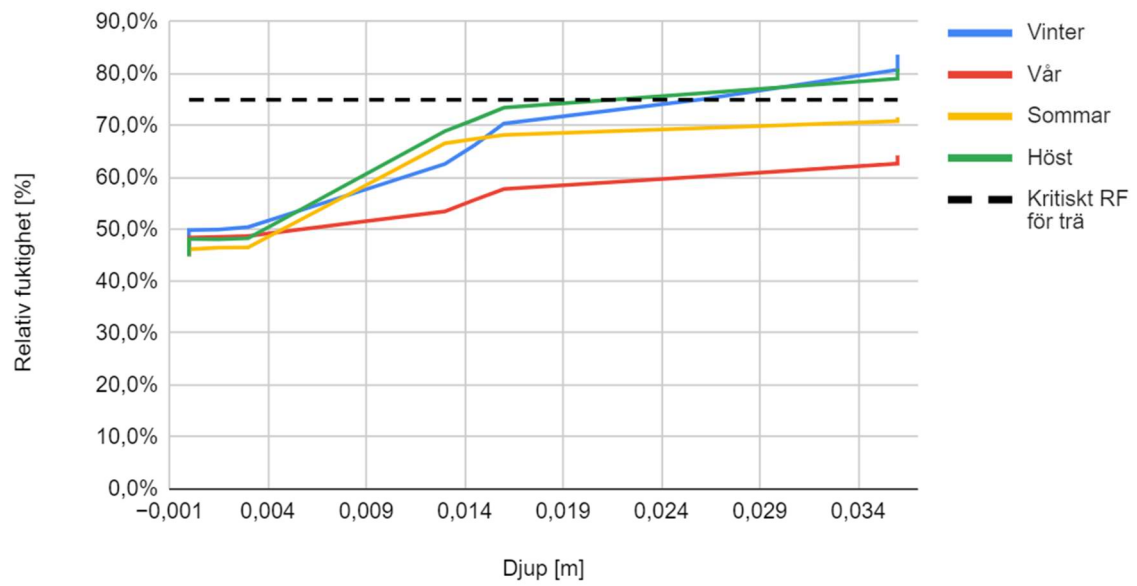
Bilaga 5

Skillnad i relativ fuktighet för olika årstider (EPS-Cellplast)



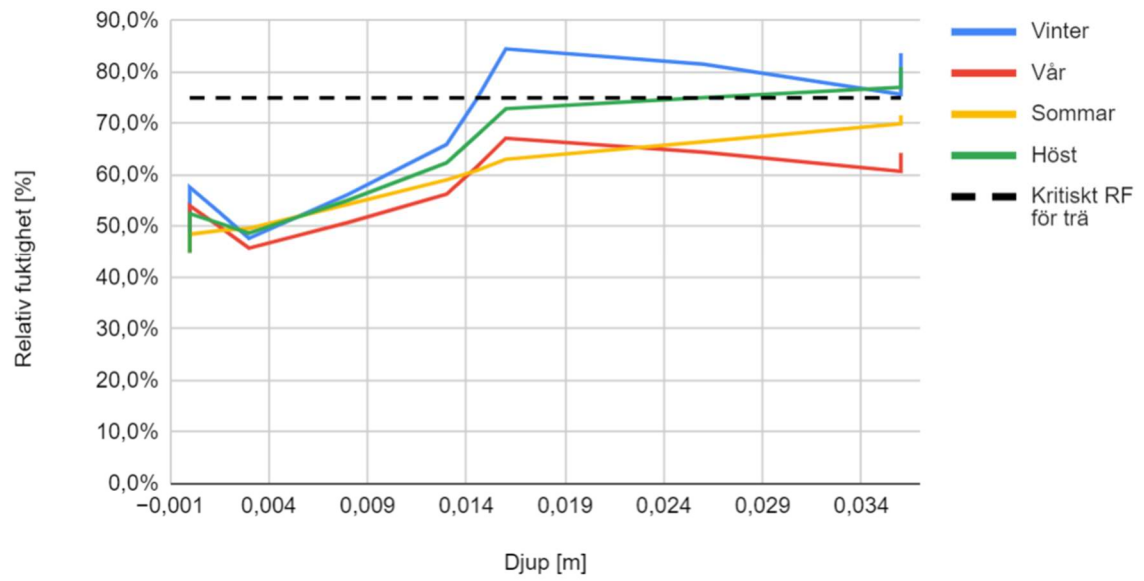
Bilaga 6

Skillnad i relativ fuktighet för olika årstider (VIP)



Bilaga 7

Skillnad i relativ fuktighet för olika årstider (Porös träfiberskiva)



INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSTEKNOLOGI
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS