



Dat 2018-03-15, Rev 2018-04-05

Gustav Bergstedt

1. Inledning

Bakgrund

Fastighets- och Servicenämnden har ålagt Skanska att ta fram denna rapport mot bakgrund av uppkomna frågeställningar kring fasadisoleringens utseende och funktion. Rapporten är framtagen av Skanska tillsammans med isoleringsleverantören Kingspan och i dialog med projektets fuktsakkunnige Dry-IT.

Bakgrunden till frågeställningen är att fasadelementen under montaget har fått mekaniska skador i den ingjutna isoleringen, skadorna har exponerat isolermaterialet för UV-strålning som leder till missfärgningar av materialet.

Missfärgningen ligger endast på isoleringens yta och har ingen påverkan på isoleringens prestanda.



Bild 1. Missfärgad isolering



Bild 2 Tvärsnitt på isolering med missfärgad yta

Åtgärder och kontroller

Skanska utför kontinuerligt egenkontroller enligt kontrollprogram framtaget av fuksakkunnige från Dry-IT. Kontrollprogrammet följer branschstandarden för fuksäkert byggande ByggaF.

Som en del av kontrollprogrammet ingår att alla fasadytor grundligt avsynas innan arbetet med tilläggsisolering och fasadmurning påbörjas.

Vid denna syn noteras avvikelser och ytor fotodokumenteras.

På de ytor där delar av isoleringen brutits loss eller där isolerskivorna har stora mekaniska skador ersätts isoleringen med nya skivor. I samband med detta arbete borstas isoleringen av och därefter tätas isolerskarvar och mindre defekter med ett miljögodkänt fogskum.

Beställarens fuksakkunnige genomför även återkommande fukskyddsronder tillsammans med Skanska, vid dessa ronder kontrolleras bland annat att kontrollprogrammet följs.

Inom ramen för slutprovningen av byggnaden utförs även täthetsprover av husets klimatskal.



Bild 3. Åtgärdad isoleringsyta

2. Väggens tekniska egenskaper

Ytterväggen består av prefabricerade betongelement med en fabriksmonterad isolering. På byggarbetsplatsen monteras sedan ytterligare ett isoleringsskikt och en beklädnad av fasadtegel.

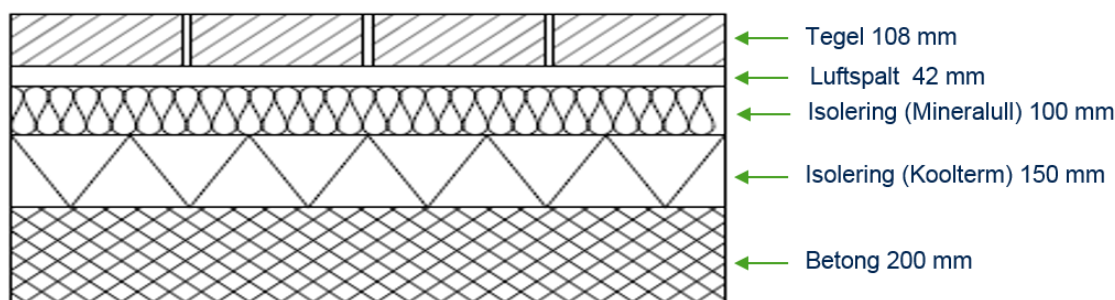


Bild 4. Väggupbyggnad

Konstruktionen är vald med utgångspunkt i fuktsäkerhet, energiprestanda och ekonomi och är en vanligt förekommande konstruktion som har lång livslängd och god funktion över tid.

Metoden att montera isolering från fabrik är vald för att under byggtiden minimera energiåtgången och säkerställa god inomhusmiljö, men också ur ett arbetsmiljöperspektiv, då det är både säkrare och enklare att montera skivor på fabrik än från ställningar på byggarbetsplats.

Ytterväggen är välisolerad med små värmeförluster. Detta innebär att byggnaden är energieffektiv. Konstruktionen innehåller heller inga organiska material varför det inte föreligger förutsättningar för fortgående mikrobiell tillväxt (bakterier, mögel, röta, alger och svamp).

Isoleringsmaterialet har efter montaget varit exponerat för väder och vind och man kan förvänta sig att isoleringen periodvis varit uppfuktad och att i naturen normalt förekommande mikrobiella organismer finns på isoleringens yta.

I bifogad rapport från Tekn Dr Peter Roots redovisas beräkningar och simuleringar som visar att isoleringen snabbt avger fukt och att den under första året når under kritisk RF-nivå. När kritisk RF-nivå underskrids kan inte mikrobiell påväxt fortgå och med tiden dör ev organismer ut.

Enligt Tekn Dr Peter Roots är vald konstruktion säker ur ett fuktperspektiv och förhindrar dessutom luftrörelser utifrån och in, vilket säkerställer ett gott inomhusklimat.

3. Produkten Kooltherm

Kooltherm är en högvärdig isolering av materialet Fenolskum. Fenolskum och PIR är jämförbara isolermaterial som används i liknande konstruktioner.

Kingspan, som är tillverkare av isoleringen marknadsför produkter av både PIR och Fenolskum.

Enligt Kingspan är produkten Kooltherm prestandamässigt likvärdig eller bättre än jämförbar PIR-produkt. Den är dessutom godkänd i Sunda Hus och valet av Kooltherm i projektet är gjort utifrån prestanda, ekonomi, miljö och beständighet.

Isoleringen kan ta upp fukt, men avger fukten mycket snabbt och isoleringens prestanda påverkas inte nämnvärt av detta, vilket redovisas i bifogad rapport från Skanska Teknik.

I laboratoriemiljö har Kingspan testat åldringsbeständigheten hos Kooltherm och verifierat att isolerförmågan bibehålls även vid flera års simulerad exponering i klimatkammare.

Enligt experter på Skanska och Kingspan tål isoleringsskivan att utsättas för väder och vind under den period som är aktuell på J-huset utan att de tekniska egenskaperna försämras.

4. Kontroller och Garantier

Skanska är upphandlade som utförandeentreprenör på projektet och har utfört arbetet enligt bygghandlingar framtagna av Region Uppsala.

Under arbetet har Skanska löpande utfört egenkontroller på fasaderna. Dessa egenkontroller har granskats av Dry-IT och Region Uppsala och finns dokumenterade på platskontoret. Kontrollerna omfattar även uttagna prover för mätning av fuktinnehåll i isoleringen.

Skanska tar fullt ansvar för vårt åtagande och lämnar 5 års garanti på arbete och material i enlighet med kontraktet.

Under garantitiden kommer Skanska i samarbete med Dry-IT att mäta fukthalten i isoleringsmaterialet och därigenom verifiera de teoretiska beräkningarna i bilagd utredning. Skanska kommer även att bereda besiktningsgruppen möjlighet att inspektera isoleringen på en punkt i samband med garantibesiktning.

5. Bilagor

- Utredning kring prestanda i en yttervägg i J-huset, Skanska Teknik
- Rapport Accelererad åldring, Kingspan
- Jämförelse PIR och Fenolskum, Kingspan

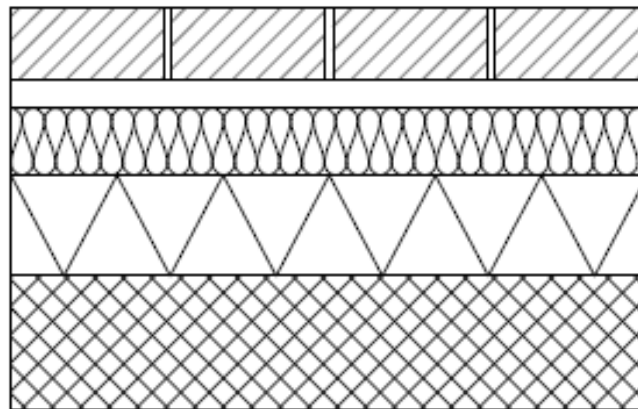
Vår kontakt:

Peter Roots
Telefon +46 10 44 93 181
Peter.roots@skanska.se
Skanska Teknik, Stockholm
Klicka här och skriv ditt avdelningsnamn

Dokumentnamn

Version Klicka här och skriv versionsnummer

Utredning kring prestanda i en yttervägg i jhuset



108 TEGEL DANSKT NORMALFORMAT, VILT FÖRBAND
42 LUFTSPALT
100 ISOLERING ENL K
150 ISOLERING ENL
200 BETONG ENL K
600 mm

Peter Roots, Tekn.Dr.
Skanska teknik, Stockholm
2018-03-03. Stockholm

Förord

Skanska uppför en byggnad kallad J-huset i Uppsala. Byggnaden är en del av sjukhuset i Uppsala men har uppmärksammast i media. Värmeisoleringen har förändrat färg och frågan har ställts om dess prestanda förändrats negativt och om det föreligger risk för mikrobiell tillväxt i värmeisoleringen.

Denna studie har initierats av Skanska Sverige AB med syfte att undersöka hur väggens prestanda är och om det föreligger risk för mikrobiell tillväxt som påverkar inomhusmiljön negativt.

Undersökningen har initierats av Gustav Bergstedt, distriktschef vid Skanska Sverige AB, för att säkerställa att byggnaden uppfyller kraven på prestanda ur både fukt och energisynpunkt

Undersökningen har genomförts av Tekn.Dr. Peter Roots i samarbete med Kingspan genom Magnus Wallin och Gustav Bergstedt vid Skanska Sverige AB.

Innehållsförteckning

Utredning kring prestanda i en yttervägg i jhuset	1
Förord	2
Symboler	4
Sammanfattning	5
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	6
1.3 Avgränsning	6
1.4 Metodik	6
2 Teori kring fukttransport i ett material	7
2.1 Fukttransport vid en yta	7
2.2 Ångdiffusion i ett poröst material	7
2.3 Fukthalt och fuktkapacitet	8
2.4 Fuktegenskaper Kooltherm	9
2.5 Värmetransport	12
3 Ytterväggens uppbyggnad i Jhuset,	13
4 Teoretisk simulering av fukttillståndet	15
5 Resultat och analys	19
6 Uppföljning	21
7 Slutsats	22
Referenser	23

Symboler

β är lika med fuktövergångskoefficient ($\text{kg/m}^2 \text{ s Pa}$)

p_u är lika med omgivande lufts ångtryck (Pa)

p_o är lika med ångtrycket på materialets yta (Pa)

α är lika med konvektiv värmeövergångskoefficient ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)

p är lika med luftens ångtryck (Pa)

δ_a är lika med ånggenomsläpplighetskoefficient för luft (kg/m s Pa)

μ är lika med motståndsfaktor (-)

λ är lika med värmekonduktivitet (W/mK)

T är lika med temperatur (C)

x är lika med längdkoordinator (m)

Sammanfattning

J-huset i Uppsala har figurerat i media vilket medfört att frågor kring klimatskalet prestanda ifrågasatts. Flera frågor har funnits på agendan som hur fukt påverkar ytterväggarnas värmeisolerande förmåga, särskilt för värmeisoleringen som kallas Kooltherm, och om det finns förutsättningar för mikrobiell tillväxt i ytterväggen som kan påverka inomhusmiljön.

Teoretiska simuleringar har genomförts för att undersöka hur relativa fuktigheten varierar i ytterväggen. Programmet wufi 2D har använts i simuleringarna.

Av simuleringsresultaten framgår att relativa fuktigheten sjunker snabbt i Koolthermen. Den relativa fuktigheten är lägre än 75 % efter ett år varför risken för bestående mikrobiell tillväxt inte föreligger i fortvarighet. Det inre betongskiktet är 200 mm tjockt och förutsätts att vara lufttät, vilket även fogarna mellan elementen antas vara. Därför bedöms det att om eventuella ohälsosamma organismer från ytterväggen som finns inte kommer tillföras till inomhusmiljön. Simuleringarna har utgått från sämsta klimat förhållanden och högsta tillåtna kraven för mikrobiell tillväxt. Emellertid, väggen har synats okulärt för att kontrollera om det finns organiskt material i värmeisoleringen. Det har inte rapporterats att det funnits organiskt material i isoleringen eller springorna mellan isolerskivorna.

Den relativa fuktigheten i Koolthermen är kring 55 % i fortvarighet vilket har liten inverkan på värmekonduktiviteten d v s värmeisolerförmågan bibehålls. Det är en liten skillnad mellan PIR och Kooltherm, där Kooltherm är den bättre produkten då den är mindre tät.

Slutsatsen är att väggen bedöms uppfylla kraven på fuktsäkerhet, värmeisolerande förmåga och att risken för mikrobiell tillväxt bedöms vara liten och kan endast förekomma under första året.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Idag uppförs byggnader enligt en process som kallas ByggaF. Syftet med att följa processen är att minimera risken för att fuktskador uppträder som kan påverka inomhusmiljön och att byggnadsdelarna bibehåller sin prestanda och egenskaper. I J-huset i Uppsala har värmeisoleringen missfärgats och lagrats utomhus under lång tid vilket medfört en debatt i media kring hur dess prestanda påverkats och senare om det är föreligger risk för mikrobiell påväxt i ytterväggen som påverkar inomhusmiljön.

1.2 Syfte

Denna undersökning syftar till att studera om byggnadens värmeisolerande förmåga påverkats av fukttinnehållet och om det föreligger förutsättningar för mikrobiell påväxt som kan påverka inomhusmiljön negativt.

1.3 Avgränsning

Teoretiska simuleringar av fukt och värmeförhållandet har genomförts på basis av mätningar genomförda på plats. Proven har tagits stickprovsmässigt och kan därför variera och de teoretiska simuleringarna av fukt i klimatskalet baseras på sämsta uppmätta värdet. Emellertid, förutsättningarna antas vara representativa för klimatskärmen.

1.4 Metodik

Teoretiska simuleringar har vidtagits som baseras på uppmätta data från byggnaden. Genom resultaten bedöms om klimatskalets prestanda uppfylls enligt föreskrifterna.

2 Teori kring fukttransport i ett material

Fukt som diskuteras i detta avsnitt avser belysa de grundläggande teorierna för att förstå de grundläggande sambanden. Emellertid, det är inte fullständig genomgång kring hur fukttransport sker i ett material.

Fukttransporten i ett poröst material kan indelas olika transportsätt beroende bl a på materialets porstorleksfördelning. Som exempel sker fukttransporten på olika sätt i olika faser i en betong jämfört med stenull p g a att de har olika porstorleksfördelningar.

I analysen av fukttillståndet i ytterväggen i jhuset används ett program som heter wufi2d. Teorin baseras på idag vedertagen teori kring fukttransport för vilken huvuddragen redovisas i efterföljande avsnitt.

2.1 Fukttransport vid en yta

Om ett material betraktas där det finns en ånghaltsdifferens mellan materialets yta och omgivande luft sker ett fuktutbyte genom en så kallad ångtransportkoefficient vid ytan. Fuktflödet g_v till eller ifrån materialet till omgivande luft kan då beskrivas med ekvationen:

$$g_v = \beta \cdot (p_u - p_o) \quad (\text{kg/m}^2\text{s})$$

Där

β är lika med fuktövergångskoefficient $(\text{kg/m}^2 \text{ s Pa})$

p_u är lika med omgivande lufts ångtryck (Pa)

p_o är lika med ångtrycket på materialets yta (Pa)

Fuktövergångskoefficienten kan beskrivas enligt följande uttryck (i wufi 2D:

$$\beta = 7 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \quad (\text{kg/m}^2\text{s})$$

Där

α är lika med konvektiv värmeövergångskoefficient $(\text{W/m}^2 \text{ K})$

Vid slagregn mot en yta kommer vatten att absorberas in i ett material, i detta fall tegel, vilket hanteras av programvaran som använts i denna studie.

2.2 Ångdiffusion i ett poröst material

Vi en differens i ånghaltdifferens mellan ytorna på ett material sker det en fukttransport mellan ytorna. Hur stor denna transport blir beror på materialets egenskaper och hur stor ånghaltsdifferensen mellan ytorna är.

Ångdiffusion, g_v , i luft kan beräknas ur följande uttryck:

$$g_v = -\delta a \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{kg/m}^2\text{s})$$

Där

β är lika med fuktövergångskoefficient ($\text{kg/m}^2 \text{ s Pa}$)

p är lika med luftens ångtryck (Pa)

δ_a är lika med ånggenomsläpplighetskoefficient för luft (kg/m s Pa)

Ångdiffusionskoefficienten uppmäts och går att finna i litteratur.

I ett poröst material uppstår ångdiffusion i luftporerna men hindras av materialet som separerar luftporerna. För material införs därför en motståndsfaktor μ som beskriver hur stort ångmotståndet är i materialet jämfört med luft. Om μ -värdet är 30 innebär det att ångdiffusionen är 30 gånger lägre i materialet än luft, eller att ånggenomgångsmotståndet är 30 gånger högre jämfört med luft.

Ekvationen ovan blir då med hänsyn till materialet:

$$g_v = -\delta_a/\mu \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{kg/m}^2\text{s})$$

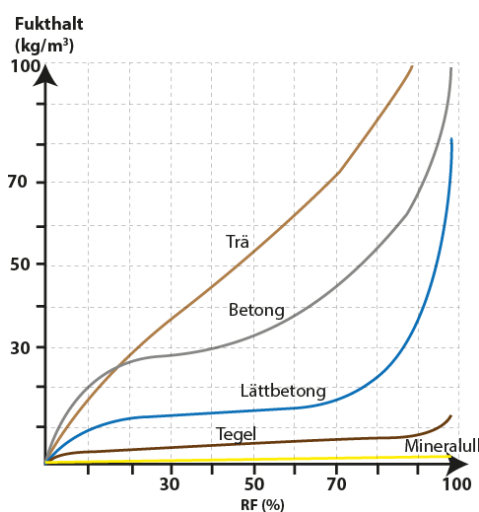
Där

μ är lika med motståndsfaktor (-)

Faktorn varierar med relativa fuktigheten i ett material och mäts samt oftast går att finna i litteratur.

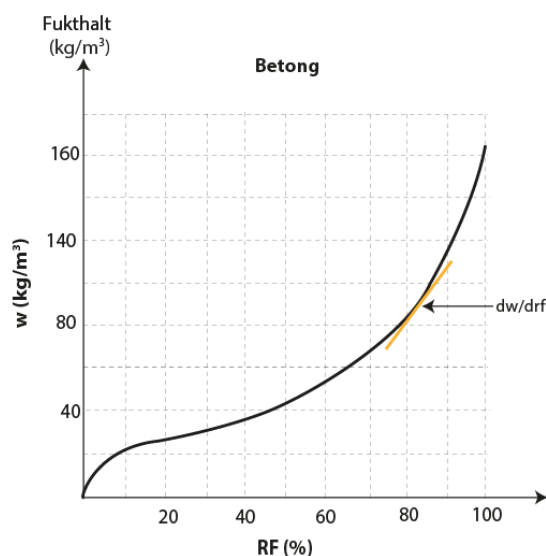
2.3 Fukthalt och fuktkapacitet

Fukt i byggnadsmaterial kan definieras som den fukt som kan torkas ut vid 105 °C. Då vägs materialet och definieras som torrt. I figuren nedan illustreras sorptionskurvan vilken visar hur mycket fukt ett vanligt byggnadsmaterial kan innehålla vid olika relativa fuktigheter. Av figuren framgår att fukttinnehållet varierar med relativa fuktigheten och att fukt kan innehålla olika mängd fukt. Emellertid, fukttinnehållet varierar lite med temperaturen och försummas normalt.



Figur 1 Olika materials fukttinnehåll vid varierande relativ fuktighet.

En viktig faktor i fuktsammanhang är ett materials fuktkapacitet vilket anger hur mycket fukt materialet kan lagra vid en förändring av relativa fuktigheten eller hur mycket fukt som det krävs för att höja eller sänka relativa fuktigheten d v s hur väl den kan utjämna fuktvariationer. Vi stor fuktgradient innebär det att det krävs mycket fukt att höja r_f eller att mycket fukt måste torka ut för att minska r_f . Definitionen av fuktkapaciteten anges av gradienten på sorptionskurvan, vilket illustreras i figuren nedan. Av den framgår att fuktkapaciteten varierar med relativa fuktigheten.

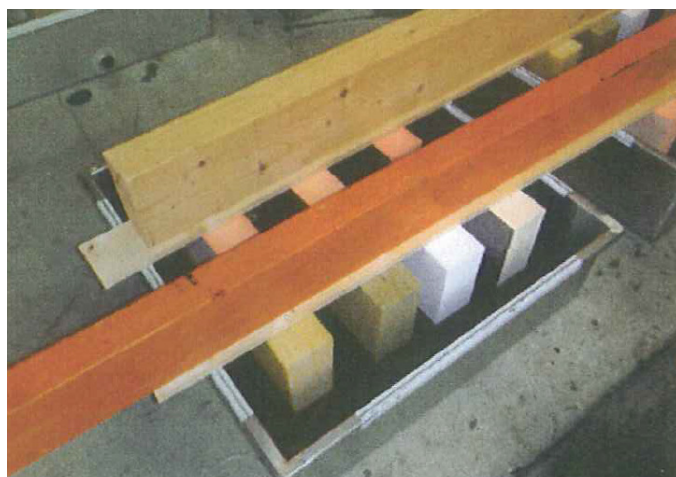


Figur 2 Gradienten dw/dr_f på sorptionskurvan är lika med materialets fuktkapacitet som varierar med relativa fuktigheten.

Ett material som diskuterats är värmeisoleringen Kooltherm och dess fukttekniska egenskaper fokuseras på i denna rapport.

2.4 Fuktegenskaper Kooltherm

Denna undersökning har tillkommit efter en diskussion kring fukt i ytterväggen och särskilt hur Koolthermen torkar ut. Det beror bl a på isoleringens ånggenomgångsmotstånd, vilken kan karakteriseras av μ -värdet, se tidigare avsnitt. Vid BDA Keuringer intsiitut har mätningar genomförts för studera hur mycket vatten som absorberas och sedan hur lång tid det ta att torka ut. Provbitar av Kooltherm sänktes ner i vatten, se i figuren nedan. Emellertid, det bör beaktas att provbitarna inte konditionerades innan utan studien syftade till att se hur mycket som absorberats och hur lång tid det tog för att torka mängden vatten som absorberats. Därför blir det negativa värden i tabellen.



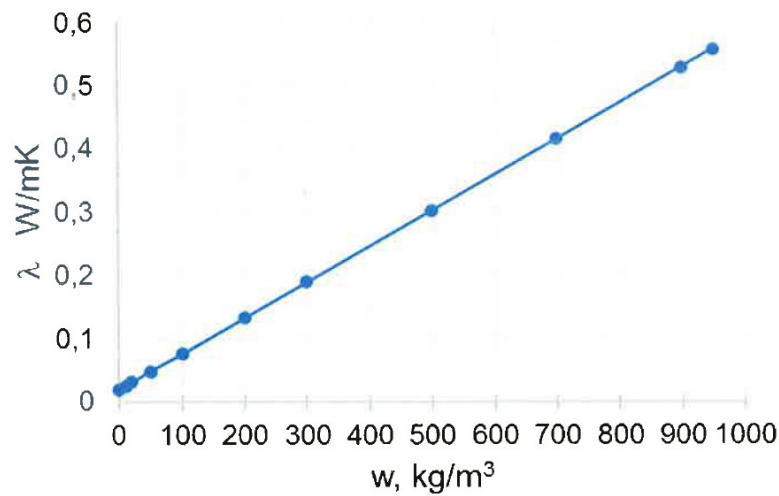
Figur 3 Provbitar sänks ner i vatten för att se hur mycket som de absorberar.

Därefter fick provbitarna torka ut. I tabellen nedan redovisas resultaten och där framgår att uttorkningstiden varierar beroende på hur lång tid provbiten varit nedsänkt i vatten. I tabellen framgår att vid längre tider torkar Kooltherm ut lika lång tid som den uppsugen vattenmängd.

Tabell 1 Provbitar sänks ner i vatten för att se hur mycket som de absorberar. Resultaten från mätningar visar hur lång tid det tar att torka ut uppsugen vattenmängd.

Absorption duration [h]	Mass (original) [g]	Water absorption [% (m/m)]	Remaining absorption [% (m/m)] after			
			24 h	48 h	96 h	168 h
1	212,38	7,0	1,3	0,4	-0,2	-0,4
8	215,28	10,7	2,2	0,6	-0,4	-0,9
24	215,05	14,9	3,4	1,7	0,5	-0,6
48	210,76	23,8	6,1	2,9	1,2	-0,4
96	214,20	29,4	11,5	5,3	2,7	-0,6
168	212,03	31,7	16,7	11,4	6,5	0,4

I en annan studie undersöktes hur värmekonduktiviteten påverkades av fukttinnehållet. Mätningar genomfördes av vtt Finland, 2018 (konfidentiell dock med tillåtelse att redovisa diagrammet). I figuren nedan redovisas hur värmekonduktiviteten varierar med fuktkvoten.



Figur 4 I figuren redovisas hur värmekonduktiviteten påverkas av fuktinnehållet i Kooltherm.

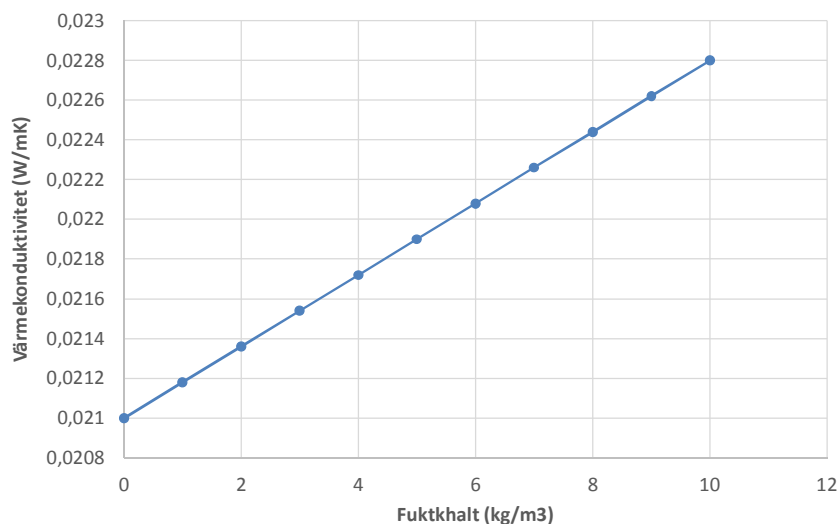
Värmekonduktiviteten kan beskrivas enligt följande samband:

$$\lambda = 0.00019 \cdot w + 0.021 \quad (\text{W/mK})$$

Där

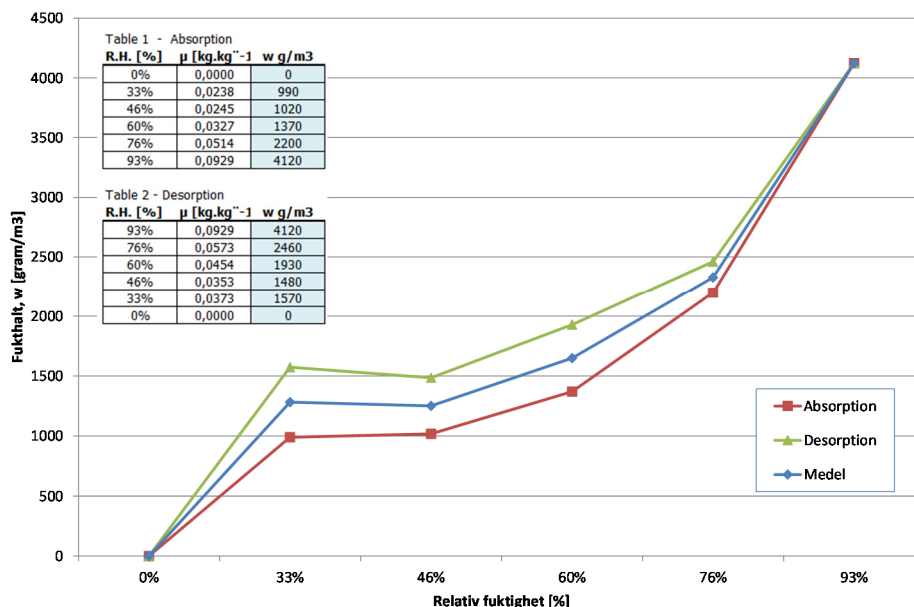
w är lika med fukthalt (kg/m³)

Med ekvationen beräknas värmekonduktiviteten för låga fukthalter, se i figuren nedan. Där framgår att låga fukthalter har liten inverkan på värmekonduktiviteten.



Figur 5 Värmekonduktiviteten för Kooltherm som funktion av fukthalten vid låga värden.

I figuren nedan illustreras hur fukthalten varierar i Koolthermen vid varierande relativ fuktighet.



Figur 6 Fukthalt som funktion av relativ fuktighet för Kooltherm.

2.5 Värmetransport

Fukttransporten påverkas även av temperaturen och värmetransporten i materialet. Värmetransporten q genom i ett material kan beräknas enligt Fouriers lag:

$$q = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{W/m}^2)$$

Där

λ är lika med värmekonduktivitet (W/mK)

T är lika med temperatur (K)

x är lika med längdkoordinat (m)

Emellertid, värmeledningsförmåga påverkas av fukt, dock behandlas inte detta här.

Värmeövergången, q_y , vid en yta beskrivs på samma sätt som vi fuktövergång vid en yta:

$$q_y = \alpha \cdot (T_l - T_y) \quad (\text{W/m}^2)$$

Där

α är lika med värmeövergångskoefficient (W/m² K)

T_l är lika med omgivande lufts temperatur (K)

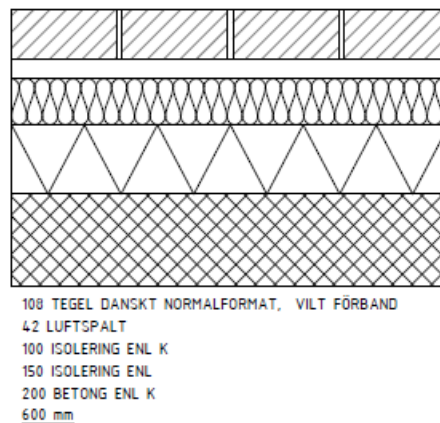
T_y är lika med temperatur på materialets yta (K)

Värmeövergångskoefficienten är summan av strålning konvektion och ledning vid ytan, vilket inte redovisas här. I programvaran som används i denna studie tas hänsyn till många fler faktorer, dock dessa behandlas inte i denna rapport.

3 Ytterväggens uppbyggnad i Jhuset,

En byggnads klimatskal och dess funktion är att avskilja inomhusklimatet från utomhusklimatet och skapa en god inomhusmiljö att vistas i. Emellertid, klimatskalet utsätts för påfrestningar av omgivande klimat både invändigt och utvändigt, t ex regn, snö solinstrålning etc., och bör utformas så att den inte skadas av belastningarna. Därutöver har byggnadsmaterialen olika egenskaper som skall tas hänsyn till som t ex byggfukt, vilken måste hanteras så att fuktskador inte uppstår.

Ytterväggen i jhuset är en vanligt förekommande yttervägg som har använts ofta tidigare och har visat god funktion. I figuren nedan framgår dess uppbyggnad av olika material, dvs utifrån sett skalmur (108 mm), luftspalt, stenull (100 mm), kooltherm k3 (150 mm) och 200 mm betong.



Figur 7 Uppbyggnad av ytterväggen i jhuset som studeras.

Ytterväggen är välisolerad med 250 mm värmeisolering, särskilt med 150 mm Kooltherm k3 som har mycket låg värmekonduktivitet (0.021 W/mK). Värmeförlusterna kommer därför vara små och byggnaden kommer att vara energieffektiv.

De olika materialen innehåller olika mycket fukt, se avsnittet kring fukthalt. I detta fall dominerar betongen som är 200 mm tjock och har mycket fukt som skall torka ut jämfört med de andra materialen. Uttorkningen av betongen kommer att ske i båda riktningar, in mot inomhusluften och ut mot utomhusluften. Värmeisoleringen i ytterväggen och dess ånggenomgångsmotstånd kommer att ha mindre inverkan på betongens uttorkning eftersom de har ett litet ånggenomgångsmotstånd jämfört med betongen. Då betongens temperatur är i det närmaste densamma som inomhustemperatur kommer den drivande kraften för uttorkning vara stor mot utomhusluften när det är en stor temperaturskillnad mellan inomhus- och utomhusluften. Fukt kommer att kondenseras i ytterväggen när daggpunkten underskrids, troligtvis på skalmuren eller i stenullen kring utsidan. Dock kommer kondensatet att torka ut utan att problem skapas.

När betongen torkat ut och anpassats till omgivande klimat är den tät och lite fukt kommer att diffundera genom betongen och därför behövs ingen ångspärr insidan. Betong är lufttät varför ingen fuktkonvektion kommer att ske genom väggen. Emellertid, fogarna mellan betongelementen måste utföras med stor omsorg så att de är lufttäta.

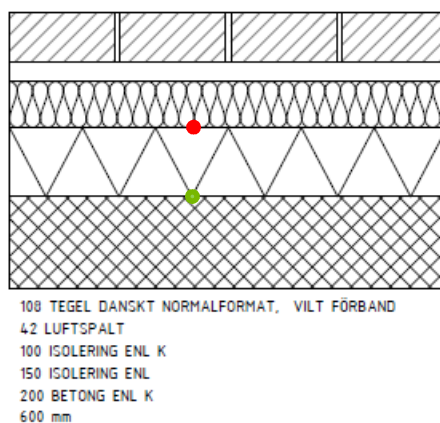
Ytterväggen består av oorganiska material varför det inte föreligger risk för mikrobiell tillväxt (i mikroorganismer eller mikrober ingår bakterier, mögel, röta, alger och andra mycket små organismer. Ibland räknas även virus till mikroorganismer). Emellertid, smuts eller annat organiskt material kan ha tillförts ytterväggen vid lagring, transport och montage. Enligt BBR skall då kritisk relativ fuktighet sättas till 75 %. En tumregel är att om temperaturen är lägre kring -2 C sker ingen mikrobiell tillväxt. Vilka kriterier, temperatur och relativ fuktighet, som gäller för att organismerna dör, förutom när näringen tagit slut, varierar sannolikt mellan olika arter av organismer. I denna underökning använts 75 % som kriterie.

Isolplättar visar hur relativ fuktighet och temperatur varierar i ett och samma diagram. Genom att studera isolplättarna går det att bedöma om det föreligger risk för mikrobiell tillväxt.

4 Teoretisk simulering av fukttillståndet

Att simulera hur fukten varierar i en yttervägg är komplicerad eftersom flera faktorer påverkar samt att flera variabler är icke linjära. Ett program som idag använts ofta för att uppskatta hur fukttillståndet varierar i tiden heter wufi, i denna undersökning använts wufi2D. I programmet tas det hänsyn till det som beskrivits i teorikapitlet dock **det bör understrykas att fukttillståndet uppskattas** eftersom det är en teoretisk modell av verkligheten och det är i praktiken omöjligt att alla parametrars variation ingår. Emellertid, tendensen som erhålls från simuleringarna speglar hur fukttillståndet kommer att variera i ytterväggen men de absoluta talen kan skilja sig från vad det blir i verkligheten. Undersökningen syftar till att bedöma om det föreligger risk för mikrobiell tillväxt i värmeisoleringen som heter Kooltherm.

Två punkter på koolthermen studeras, den varma och den kalla sidan, se röd och grön punkt i figuren nedan. Medel relativa fuktigheten i hela koolthermen är ett värde mellan punkterna.



Figur 8 Röd punkt är den sämsta punkten för kooltherm ur fuktsynpunkt. Grön punkt är den bästa vid fortvarighet.

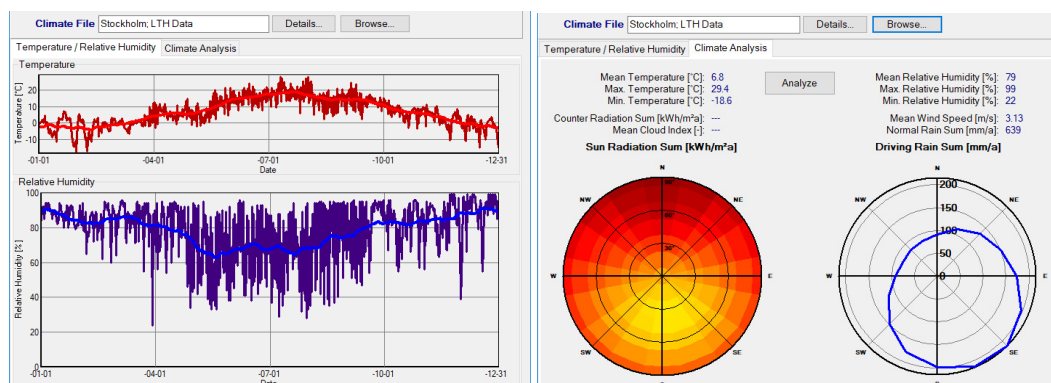
Wufi 2D använder ett medelårsklimat för fukt, nederbörd, temperatur, vind etc. I denna undersökning exponeras mot den riktning som har den största fuktbelastningen för att simulera det sämsta fallet. För andra delar av väggen blir fukttillståndet sannolikt lägre.

Materialindata m a p fukttinnehåll är svår att förutsäga, särskilt för Kooltherm. Dry-It har därför tagit ut prover av värmeisoleringen Kooltherm på 4 olika ställen, Dry-It 2017. I tabellen nedan framgår av mätresultaten att högsta värdet på relativ fuktighet är cirka 87 %, I simuleringarna har därför relativa fuktigheten ansatts till 90 % i alla material för att vara på den säkra sidan.

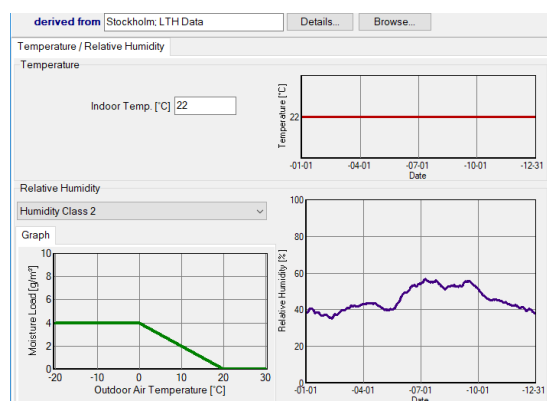
Tabell 3 Uppmätt relativ fuktighet i Kooltherm av Dry-It, mätning av fuktinnehåll, 2017.

Plats	RF-Slutvärde	Viktprocent	Fuktkvot	Vikt innan tork	Vikt efter tork
Pl.6 Norra fasaden, Hus 1	87,3	16%	18,8%	15,8g	13,3g
Pl.7 Östra fasaden, Hus 2	74,3	11%	12,0%	15,8g	14,1g
Pl.10 Östra fasaden, Hus 2	63,6	10,9%	10,9%	15,2g	13,7g
Pl.10 Södra fasaden, Hus 2	68,4	13,8%	13,8%	16,4g	14,4g

Då uppsalaklimat inte finns tillgängligt i programmet har Stockholmsklimat används. Utomhusklimatet varierar enligt figuren nedan. Det kan skilja sig från Uppsalaklimatet, men bedöms visa hur det fungerar ur fuktsynpunkt i studerad yttervägg. I figurerna nedan visas hur klimatet varierar. Simuleringarna genomför för 5 år. Alla material antas ha 90 % relativ fuktighet vid start. Dock dessa indata är tveksamma förutom Koolthermen eftersom ytterväggen lagrats under lång tid ute som påverkat uttorkningen eller uppfuktning av betongen. Dessa indata bedöms utgöra sämsta scenariot.

**Figur 9** Utomhusklimatets variation

Inomhusklimatet är svårare att förutsäga eftersom det är ett sjukhus. Dock har antagits att inomhusklimatet varierar enligt figuren nedan.

**Figur 10** Inomhusklimatets variation

Materialens egenskaper redovisas nedan.

Betong

Layer/Material Name: Betong VCT 0.5, välhydratserad

Material Data | Info

Basic Values

Bulk density [kg/m³]	2308.0
Porosity [m³/m³]	0.15
Specific Heat Capacity, Dry [J/kgK]	850.0
Thermal Conductivity, Dry, 10°C [W/mK]	1.7
Water Vapour Diffusion Resistance Factor [-]	179.0

Approximation Parameter

Temp-dep. Thermal Cond. Supplement [W/mK²]	0.0002
--	--------

Typical Built-In Moisture [kg/m³]: 100.0

Color: [Grey]

Hygrothermal Functions

Moisture Storage Function

Liquid Transport Coefficient, Suction

Liquid Transport Coefficient, Redistribution

Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Thermal Conductivity, moisture-dependent

Thermal Conductivity, temperature-dependent

Enthalpy, temperature-dependent

Graph | Edit Table | from File...

Approximate

No.	RH [-]	Water Content [kg/m³]
1	0.0	0.0
2	0.35	33.5
3	0.5	40.5
4	0.7	55.0
5	0.8	67.5
6	0.9	85.0
7	0.95	110.0

New

Delete

Copy

Insert

Copy

Kooltherm

Layer/Material Name: *kooltherm k17

Material Data | Info

Basic Values

Bulk density [kg/m³]	35.5
Porosity [m³/m³]	0.99
Specific Heat Capacity, Dry [J/kgK]	1470.0
Thermal Conductivity, Dry, 10°C [W/mK]	0.021
Water Vapour Diffusion Resistance Factor [-]	30

Approximation Parameter

Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement [%/M.-%]	0.93
---	------

Typical Built-In Moisture [kg/m³]: 1.251

Color: [Pink]

Hygrothermal Functions

Moisture Storage Function

Liquid Transport Coefficient, Suction

Liquid Transport Coefficient, Redistribution

Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Thermal Conductivity, moisture-dependent

Thermal Conductivity, temperature-dependent

Enthalpy, temperature-dependent

Graph | Edit Table | from File...

Approximate

No.	RH [-]	Water Content [kg/m³]
1	0.0	0.0
2	0.33	1.281
3	0.46	1.282
4	0.6	1.649
5	0.76	2.329
6	0.93	4.124
7	1	25

New

Delete

Copy

Insert

Copy

Stenull

Layer/Material Name: ISOVER GW Integra ZSF - 032

Material Data | Info

Basic Values

Bulk density [kg/m³]	30.0
Porosity [m³/m³]	0.95
Specific Heat Capacity, Dry [J/kgK]	840.0
Thermal Conductivity, Dry, 10°C [W/mK]	0.032
Water Vapour Diffusion Resistance Factor [-]	1.0

Approximation Parameter

Temp-dep. Thermal Cond. Supplement [W/mK²]	0.0002
--	--------

Typical Built-In Moisture [kg/m³]:

Color: [Yellow]

Hygrothermal Functions

Moisture Storage Function

Liquid Transport Coefficient, Suction

Liquid Transport Coefficient, Redistribution

Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Thermal Conductivity, moisture-dependent

Thermal Conductivity, temperature-dependent

Enthalpy, temperature-dependent

Graph | Edit Table | from File...

Approximate

No.	RH [-]	Water Content [kg/m³]
1	0.0	0.0
2	0.33	0.1
3	0.5	0.2
4	0.8	0.4
5	0.93	0.7
6	0.95	1.67
7	0.97	2.9

New

Delete

Copy

Insert

Copy

Tegel

Layer/Material Name Solid Brick, extruded

Material Data | Info

Basic Values

Bulk density [kg/m³]	1650.0
Porosity [m³/m³]	0.41
Specific Heat Capacity, Dry [J/kgK]	850.0
Thermal Conductivity, Dry, 10°C [W/mK]	0.6
Water Vapour Diffusion Resistance Factor [-]	9.5

Approximation Parameter

Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement [%/M.-%]	15.0
Temp-dep. Thermal Cond. Supplement [W/mK²]	0.0002

Typical Built-In Moisture [kg/m³] 100.0

Color 

Hygrothermal Functions

Moisture Storage Function

Liquid Transport Coefficient, Suction
Liquid Transport Coefficient, Redistribution
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Thermal Conductivity, temperature-dependent
Enthalpy, temperature-dependent

Graph Edit Table from File...

Approximate

No.	RH [-]	Water Content [kg/m³]
1	0.0	0.0
2	0.5	4.4
3	0.65	5.7
4	0.8	9.2
5	0.93	18.5
6	0.99	74.0
7	0.997	240.0

New
Delete
Copy
Insert

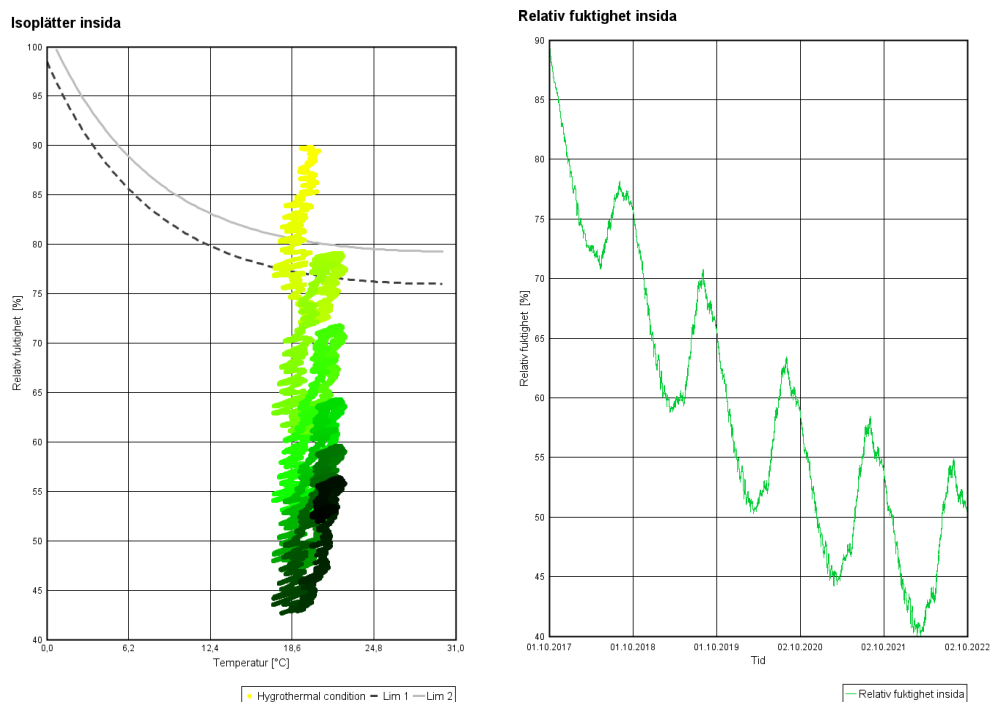
Copy

5 Resultat och analys

För att bedöma om värmeisolerande förmåga påverkas av fukttillståndet och om det finns risk för mikrobiell tillväxt studeras isoplätter och relativ fuktighet i punkterna i Koolthermen som beskrivits i föregående avsnitt. Simuleringarna har genomförts för 5 år.

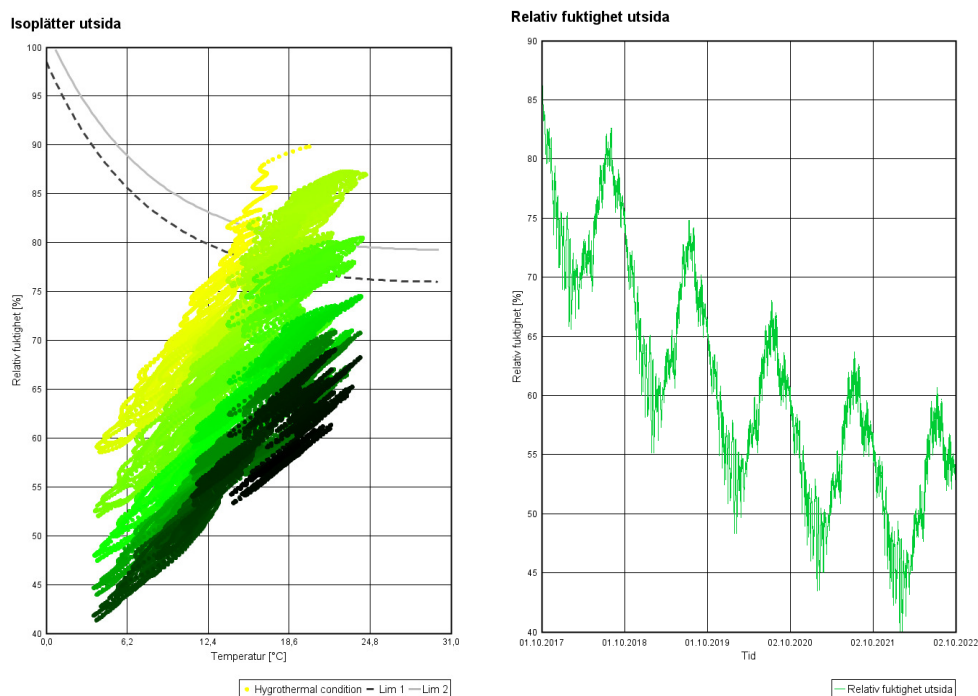
I vänstra figuren nedan framgår av isoplätterna att överstiger kritisk nivå m a p temperatur och relativ fuktighet under första året varför det kan vara risk för mikrobiell tillväxt. Därefter är relativ fuktighet lägre än 75 %, vilket framgår av högra figuren varför det inte föreligger förutsättningar för mikrobiell tillväxt efter ett år. Av figuren framgår även att relativa fuktigheten når ett värde kring 50 % vid fortvarighet.

Enligt mätningar av Kingsspan, BDA 2016, kommer inte Koolthermens värmeisolerande förmåga påverkas i någon större utsträckning varför klimatskärmens värmeisolerande förmåga inte påverkas.



Figur 11 I vänstra figuren visas isoplätterna och den högra figuren hur relativ fuktighet varierar under 5 år på varma sidan för Kooltherm.

Samma tendens som på varma sidan erhålls på den kalla sidan, se figurerna nedan. Relativa fuktigheten kommer vara kring 55 % vid fortvarighet. Risk för mikrobiell tillväxt föreligger enbart under första året.



Figur 12 I vänstra figuren visas isoplätterna och den högra figuren hur relativ fuktighet varierar under 5 år på kalla sidan för Kooltherm.

Av simuleringsresultaten framgår att relativa fuktigheten sjunker snabbt i koolthermen. Den relativa fuktigheten är lägre än 75 % efter ett år varför risken för bestående mikrobiell tillväxt inte föreligger i fortvarighet. Det inre betongskiktet är 200 mm tjockt och förutsätts att vara lufttät, vilket även fogarna mellan elementen antas vara. Därför bedöms det att om eventuella ohälsosamma organismer från ytterväggen finns i väggen, kommer de inte att tillföras till inomhusmiljön. Simuleringarna har utgått från de sämsta klimat förhållanden och högsta kraven för mikrobiell tillväxt. Hur det är i praktiken är svårt att säga. Emellertid, har väggen synats okulärt för att kontrollera om det finns organiskt material i värmeisoleringen. Det har inte rapporterats att det funnits organiskt material i isoleringen eller springorna mellan isolerskivorna.

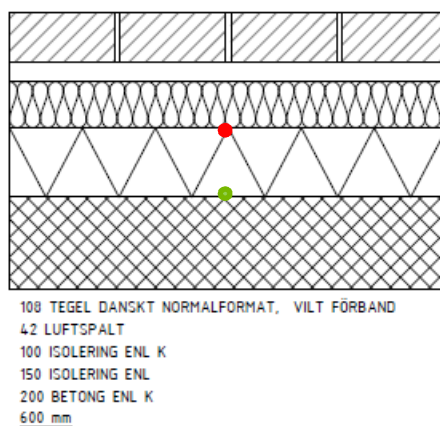
Den relativa fuktigheten i Koolthermen är kring 55 % i fortvarighet. I kapitel 2 framgår att fukthalten vid 55 % i Koolthermen är cirka 1,5 kg/m³ vilket har liten inverkan på värmekonduktiviteten.

Ytterväggen bedöms uppfylla prestandakraven på fuktsäkerhet och värmeisolerande förmåga och liten risk för mikrobiell tillväxt.

6 Uppföljning

Teoretiska simuleringar har vidtagits för att prediktera hur fukttillståndet kan komma att variera i framtiden och om det föreligger risk för fuktskador eller om den termiska prestanda påverkas. Emellertid, simuleringarna är en uppskattning genomförda under givna förutsättningar och resultaten visar att väggen bedöms uppfylla kraven på fuktsäkerhet och termisk prestanda. För att kontrollera att väggen har erforderlig prestanda i praktiken går det att följa upp de teoretiska simuleringarna genom att genomföra mätningar av temperatur och relativ fuktighet i ytterväggen.

Mätgivare föreslås att monteras i ytterväggen i olika väderstreck på samma punkter som simuleringarna genomförts d v s i skiktet mellan betong och Kooltherm och på Koolthermens kalla sida, se figuren nedan.



Figur 13 Förslag till placering av mätpunkter för relativ fuktighet och temperatur. De placeras på Koolthermens sidor.

Mätningarna bör inledas snarast.

7 Slutsats

Ytterväggen i jhuset i Uppsala har lagrats i utomhusmiljö under en lång tid innan montage. Därför har frågor uppkommit kring hur väggens prestanda påverkas ur fukt och värmeisolerande synpunkt. En annan fråga är om det föreligger risk för mikrobiell tillväxt i Koolthermen som kan påverka inomhusmiljön negativt.

Teoretiska simuleringar har genomförts för att undersöka hur relativa fuktigheten varierar i ytterväggen. Resultaten visar att det föreligger förutsättningar för mikrobiell tillväxt under första året, dock inte efter ett år. Resultaten visar också att fukttinnehållet i Koolthermen inte kommer påverka väggens värmeisolerande förmåga. Då ytterväggen antas vara lufttät tillförs inga ohälsosamma organismer till inomhusmiljön.

Slutsatsen är att väggen bedöms uppfylla kraven på fuktsäkerhet, värmeisolerande förmåga och att risken för mikrobiell tillväxt bedöms vara liten och kan endast förekomma under första året.

Referenser

Ojanen Tuomo, Drying studies of concrete elements with Kooltherm insulation, VTT Finland, 2018.

Dry-It, mätning av fuktinnehåll, Stockholm 2017.

Note: Thermal performance over time – Kooltherm

Background

The question sometime arises how well Kooltherm / phenolic foams perform over time during the lifespan of a building. This is typically set to 75 years.

Framework

Concerning the aging of Kooltherm the thermal properties play a crucial role. In the harmonised product standard of PF-foam, which is the basis of Kooltherm, it is stated in which way the aging of the product can be achieved. This happens under aggravated conditions as further described below. The core of Kooltherm products are identical. The results therefore apply for all products.

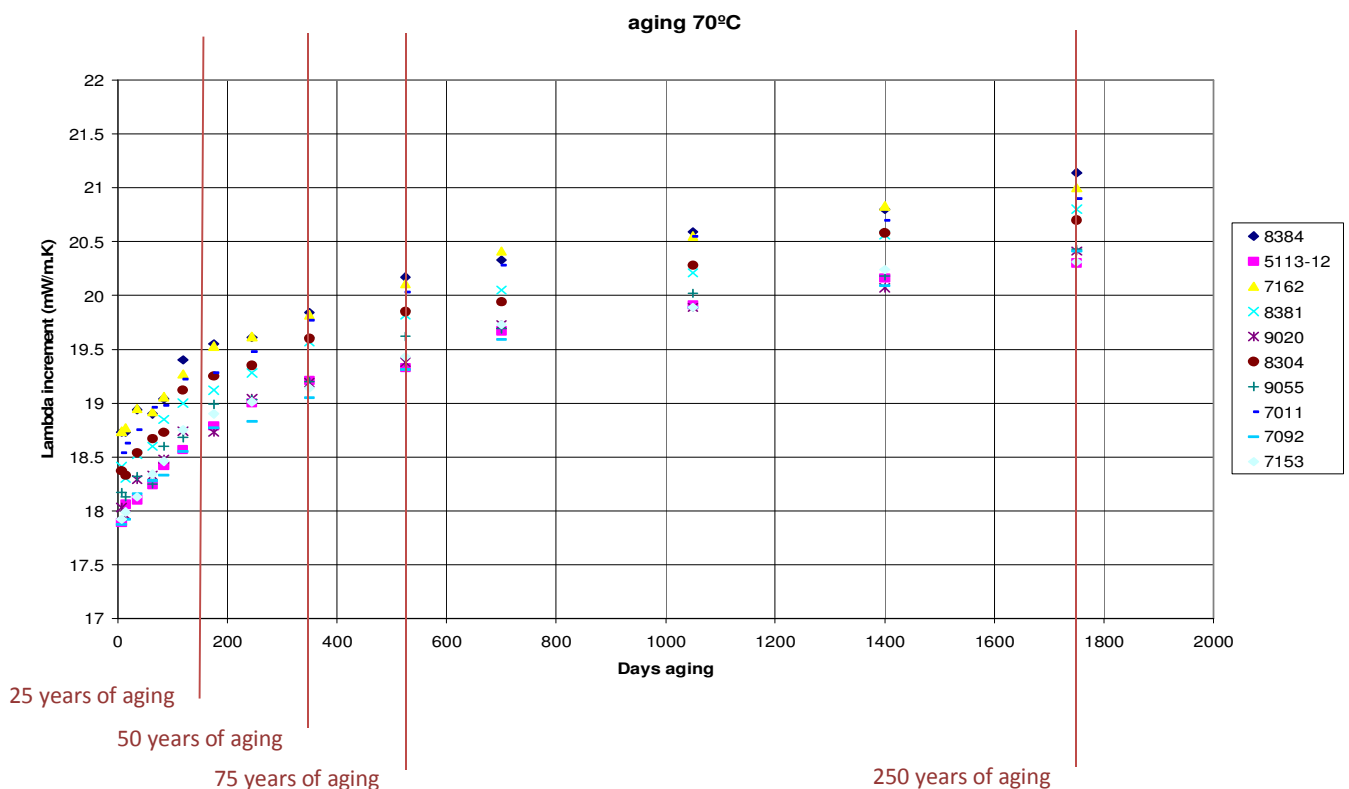
Standardization

Annex C of the European harmonized product standard for PF foam: "EN 13166, Thermal insulation products for buildings — factory made products of phenol formaldehyde foam (PF) - Specifications" describes the determination of the aged values of thermal resistance and thermal conductivity.

This is done in accordance with method 2 (aging by means of heat) from Annex C (C. 4.2). (European Committee for Standardization, 2015) This method requires a minimum product density of 35 kg/m³. All Kooltherm products meet this condition.

Artificial ageing at 70°C

The purpose of the artificial ageing at high temperatures is to reach the value over 25 years within an acceptable period. The European standard for PF-foam writes 25 weeks ageing at 70°C for the simulation of a 25-year period aging under ambient conditions (23°C at 50% RH). On the then measured lambda value after 25 years of artificially aging a surcharge is added of 0.001 W/(m·K) as a safety margin. The increase in lambda value is turned off in the function of aging time in the below graph. Lambda was measured from the initial value (0 days) up to 10 times the prescribed term (end of test with 1750 days).



Determining the declared lambda value

Thermal resistance and thermal conduction is based on measurements conducted as previously described. The thermal conduction is determined in accordance with annexes A and C and declared by the manufacturer on the following basis:

- the reference average temperature is 10°C;
- the measured value is expressed with three significant digits;
- for products of uniform thickness, the declared thermal resistance, R_D , will always be declared. The thermal conductivity λ_D , where possible, be declared.
- Declared thermal conductivity λ_D , is expressed as limit values, containing at least 90% of production determined with a confidence level of 90%;
- The statistical value of the thermal conductivity, $\lambda_{90/90}$, is rounded up to 0,001 W/(m·K) and declared as λ_D in levels with steps of 0,001 W/(m·K);

The graph showed statistical data of the lambda value of PF-foam for samples with a lambda value declared at 0,021 W/(m·K).

Conclusion

The data shows that the lambda value of PF-foam, as simulated by means of artificial aging, only after a term far above the 75 year exceeds the declared value.

The basis for this lies in the safety margin of 1 W/(m·K) (ca. 25 years of aging) and the curve that the lambda-value follows. The available data shows that it is extremely likely that the Kooltherm products will continue to perform (better) than declared over the lifetime of a building (75 years).

Bibliography

European Committee for Standardization. (2015). *EN 13166:2012+A1:2015 Thermal insulation products for buildings - Factory made*. Brussel: European Committee for Standardization.

Jämförelse PIR och Kooltherm

- PIR introducerades i Sverige brett 2009, Kooltherm 2014. De är båda högeffektiva isoleringar
- Kooltherm är en produkt baserad på materialet fenolskum som definieras i standarden SS-EN 13166
- PIR är en vidareutveckling av PUR som tillverkas av polyuretan. PUR definieras i standarden SS-EN 13165
- PIR är en väldigt generell benämning
 - ”150 PIR av typ Cellplast” säger väldigt lite om egenskaper för tillexempel isolering och brand.
 - Det finns ingen entydig definition av PIR, utan PIR är definierat av samma standard som PUR
- Kingspan anser att Kooltherm i detta projekt är ett bättre val
- Kooltherm har genomgående bättre egenskaper än ”PIR” - Kooltherm är normalt även dyrare
- Lambda, brand, miljö och uttorkningsegenskaper är till Kooltherms fördel

Egenskap	Kooltherm K3	PIR gasöppen	PIR gastät	PUR generellt
Lambda declared:	0,021 W/mK	0,025 W/mK	0,022-0,023W/mK	0,022-0,028W/mK
<i>värmeledningsförmåga</i>	(150mm)	(150mm)	(150mm)	
<i>ju lägre desto bättre</i>				
Tryckhållfasthet	100kPa	120kPa	120kPa	>= 100kPa
<i>Kooltherm lite sprödare</i>				
Brandklass	C-s1,d0	E eller F	D eller E	D, E eller F
C bättre än D,E och F				
<i>Övrigt om brand</i>	SPFire105 oklädd			
μ-värde	~35	~60	>1000	60-1000
<i>Mått på uttorkningsförmåga</i>				
<i>ju lägre desto bättre</i>				