

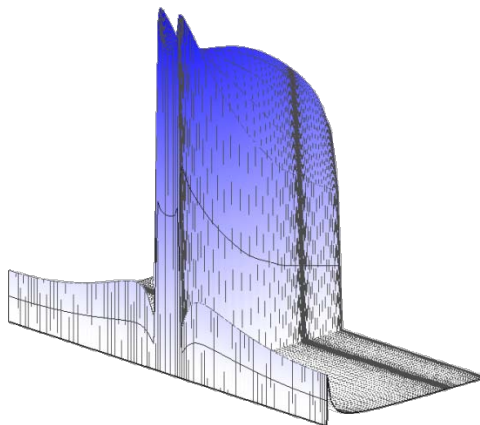


KTH Arkitektur  
och samhällsbyggnad

# Fuktomlagringar i välisolerade ytterväggar

En undersökning för att fastställa en rimlig inbyggnadsfuktkvot  
i träreglar med fuktsimuleringsprogrammet Wufi 2D.

## Moisture rearrangements in exterior walls



|                        |                                                                     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Författare:</b>     | Tomas Forsberg                                                      |
| <b>Uppdragsgivare:</b> | AK- Konsult Indoor Air AB                                           |
| <b>Handledare:</b>     | Anders Kumlin, AK-Konsult Indoor Air AB<br>Jenny Andersson, KTH ABE |
| <b>Examinator:</b>     | Per Roald, KTH ABE                                                  |
| <b>Examensarbete:</b>  | 15 högskolepoäng inom Programmet Byggteknik och Design              |
| <b>Godkänd:</b>        | 2011 06 22                                                          |
| <b>Serienummer:</b>    | 2011:14                                                             |



## Sammanfattning

Idag byggs det allt fler välisolerade hus för att spara energi. I sådana hus har den yttre delen av klimatskärmen en lägre temperatur vilket medför en högre relativ fuktighet. Dessutom används mer material, som exempelvis träreglar, vilket innebär att det är mer byggfukt som ska torka. Mer byggfukt i kombination med en högre relativ fuktighet kan innebära större risk för mikrobiell tillväxt. Syftet med denna studie var att undersöka vad som är en rimlig inbyggnadsfuktkvot och att studera fuktomlagringar i fyra olika välisolerade ytterväggar. För att samla in data har fuktsimuleringar gjorts i dataprogrammet Wufi2D och resultaten har analyserats i Wufi Bio. Resultatet visar att inbyggnadsfuktkvoten bör ligga någonstans mellan 12,5–18,5 % beroende på hur väggen är uppbyggd. Slutsatserna är att vindskyddens ångmotstånd är avgörande för vad som är en rimlig inbyggnadsfuktkvot för träreglarna och att det är viktigt att beakta hur mycket byggfukt som väggen innehåller beroende på vilka material som används.

**Nyckelord:** cellulosafibrer, fuktomlagringar, inbyggnadsfuktkvot, mineralull, träreglar, vindskydd, välisolerade ytterväggar, Wufi2D, Wufi Bio.



## Abstract

To save energy it's popular to build houses with low energy loss. In these houses the walls are keeping a lower temperature in the external side which leads to a higher relative humidity. In addition more material, such as wood studs, are used which means that there is more moisture to dry. More moisture in combination with higher relative humidity may pose a higher risk of microbial growth. The purpose of this study was to investigate what is a reasonable moisture content in wood studs in four different well-insulated exterior walls. It has also been investigated how moisture rearrangements effect the exterior walls. The software Wufi2D, which does moisture-simulations, was used to collect data. The results have been analyzed in Wufi Bio which showed that the moisture content should be somewhere between 12.5 to 18.5%, depending on how the wall is built. The conclusions are that windbreaks vapor resistivity is essential for what is a reasonable built in moisture content in the wood studs. Depending on the materials that are used, it's important to consider how much moisture the wall construction contains.

**Keyword:** cellulose fibers, moisture rearrangements, built-in moisture, mineral wool, wood studs, windbreaks, well insulated exterior walls, Wufi2D, Wufi Bio.



## Förord

Detta examensarbete är en del av utbildningen i Byggteknik och Design 180hp vid Kungliga tekniska högskolan. Idén till detta examensarbete kom från Anders Kumlin på AK-Konsult Indoor Air AB.

Jag vill tacka mina handledare Jenny Andersson och Anders Kumlin för bra handledande, Mathias Lindskog för att han lärde mig Wufi-programmen och för all uppbackning som han gett mig. Vill även tacka Lars Olsson på SP Sveriges tekniska forskningsinstitut för idén till att i detta examensarbete använda samma väggar som de gör i sin laborationsundersökning i projektet Wood Build. Tack till de anställda på AK Konsult för bra support.



# Definitioner

## *Absorption*

En bindning mellan två material där det ena materialet, oftast är en vätska eller gas, upptas och fördelas tämligen jämt inuti det andra. [2]

## *Densitet*

Man skiljer på skrymdensitet och kompaktdensitet. Skrymdensitet är förhållandet mellan materialets torra vikt och materialets totala volym. Vanligtvis torkar man materialet till 105°C innan vikten fastställs. Kompaktdensitet är förhållandet mellan materialets kompakta massa och den kompakta massans volym. [1]

## *Byggfukt*

Byggfukt är den mängd vatten som måste torkas för att materialet ska komma i fuktjämvikt med sin omgivning. [2]

## *Diffusion*

Diffusion är vattenmolekyler som rör sig från områden med hög ånghalt till områden med lägre ånghalt. [1]

## *Diffusionsmotstånd*

Diffusionsmotstånd anger ett materials motstånd mot diffusion till och från materialet. [7]

## *Fuktkvot*

Med fuktkvot menar man förhållandet mellan vattnets förångningsbara vikt och materialets torra vikt. Fuktkvoten anges ofta i procent men kan anges i [kg/kg]. [1]

## *Fukthalt*

Med fukthalt menas förhållandet mellan vattnets förångningsbara vikt och materialets volym. Fukthalt anges i [kg/m<sup>3</sup>]. [1]

## *Kritiska inbyggnadsfuktkvoten*

Med den kritiska inbyggnadsfuktkvoten menas (i den här rapporten) att det finns en förhöjd risk för att mikrobiell tillväxt ska ske på någon av de undersökta ytorna.

## *Mättnadsånghalt*

Mättnadsånghalten är den mängd vatten som luft kan innehålla vid en viss temperatur. [2]

## *Porositet*

Porositet anger förhållandet mellan porvolymen och den totala volymen. Porositet anges vanligen i %. [1]

### *Relativa fuktigheten*

Relativa fuktigheten är kvoten mellan luftens aktuella fuktinnehåll och mättnadsvärde vid aktuell temperatur. [1]

### *Specifik värmekapacitet*

Med specifika värmekapaciteten menas dess värmekapacitet per kg av materialet och anges i enheten [J/kgK]. [1]

### *Sd- värde*

Sd-värdet anger ett materials ångtäthet i ekvivalent skiktjocklek luft. Exempelvis motsvarar ett Sd-värde på 70, motsvarande 70 m luft. [4]

### *Värmeledningsförmåga*

Värmeledningsförmåga eller värmekonduktivitet, anger ett materials förmåga att leda värme, SI-enheten [W/mK]. [7]

### *Ångtryck*

Ångtryck är det tryck som (kraft per ytenhet) som utövas av enbart vattenmolekylerna. Ångtrycket kan beskriva luftens fuktighet genom att jämföra luftens kapacitet att ytterligare ta upp vattenånga genom att jämföra skillnaden mellan ångtryck och mättnadsångtrycket. Med mättnadsångtrycket menas att luften är mättad. [7]

### *Kapillär transport*

Kapillärtransport innebär att fukten transporteras i vätskeform i ett materials kapillärer vilket kan liknas med sammankopplade kanaler (porer). [1]

# Innehållsförteckning

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Inledning.....                                         | 1  |
| 1.1 Bakgrund .....                                        | 1  |
| 1.2 Målformulering .....                                  | 2  |
| 1.3 Avgränsningar .....                                   | 2  |
| 1.4 Lösningsmetoder .....                                 | 3  |
| 1.4.2 Diskussion - datasimuleringar Wufi2D.....           | 3  |
| 1.4.3 Den valda metoden - tillvägagångssätt.....          | 3  |
| 2. Nulägesbeskrivning.....                                | 5  |
| 3. Teoretisk referensram.....                             | 7  |
| 3.1 Tidigare utförda studier .....                        | 7  |
| 4. Faktainsamling .....                                   | 9  |
| 5. Genomförandet.....                                     | 11 |
| 5.1 Teori – Fuktmekanik .....                             | 11 |
| 5.1.1 Olika typer av fukttransport .....                  | 11 |
| 5.1.2 Kritiska fuktillstånd.....                          | 12 |
| 5.2 Wufi fukt- och värmeberäkningar .....                 | 13 |
| 5.2.1 Wufi2D - uppbyggnad.....                            | 14 |
| 5.2.2 Wufi2D - beräkningsgång .....                       | 17 |
| 5.2.3 Mögeltillväxt enligt Wufi Bio 3.0 .....             | 18 |
| 5.3 Väggupbyggnad .....                                   | 19 |
| 5.3.1 Vägg 6.2 .....                                      | 19 |
| 5.3.2 Vägg 7 .....                                        | 20 |
| 5.3.3 Vägg 8 .....                                        | 20 |
| 5.3.4 Vägg 10 .....                                       | 21 |
| 5.4 Genomförande .....                                    | 21 |
| 6. Resultat/Analys .....                                  | 27 |
| 6.1 Vägg 6.2 .....                                        | 28 |
| 6.1.1 Vägg 6.2 med vindskydd (Sd 10).....                 | 29 |
| 6.1.2 Vägg 6.2 med dubbla träreglar .....                 | 29 |
| 6.2 Vägg 7 .....                                          | 30 |
| 6.3 Vägg 8 .....                                          | 31 |
| 6.4 Vägg 10 .....                                         | 32 |
| 6.5. Sammanställning resultat .....                       | 33 |
| 6.6 Omfördelning av fukt under ett år för vägg 6.2 .....  | 33 |
| 7. Slutsatser .....                                       | 35 |
| 7.1 Kritiska inbyggnadsfuktkvoten för mögeltillväxt ..... | 35 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 7.2 Rimlig fuktkvot .....   | 36 |
| 8. Rekommendationer .....   | 39 |
| 9. Framtida forskning ..... | 41 |
| Referenser.....             | 43 |

# 1. Inledning

För att spara energi byggs hus mer välisolerade idag jämfört med förr, vilket kan leda till att husen blir mer fuktkänsliga. I detta examensarbete undersöks fuktomlagringar i träreglar som används i fyra olika välisolerade ytterväggar. Frågeställningar som kommer att tas upp är bland annat: vad som är den kritiska inbyggnadsfuktkvoten i träreglarna i dessa väggar och hur påverkar olika parametrar (exempelvis olika typer av vindskydd och träreglar) fuktomlagringar i väggkonstruktionen? För att svara på frågorna kommer simuleringar att ske med hjälp av dataprogrammet Wufi2D.

Under förstudien kontaktades SP Sveriges tekniska forskningsinstitut, för att se vad som har gjorts inom ämnet. Det visade sig då att det pågår en laboratoriestudie om fukt i lättviktsväggar som ingår i projektet Wood Build. Lars Olsson, som arbetar med projektet, tyckte att det skulle vara intressant om jag kunde simulera deras ytterväggar i Wufi2D. Därav kommer fyra av deras väggar att användas i studien.

Mitt personliga intresse för fukt väcktes när jag läste kursen 'Skademekanismer av fukt' och min erfarenhet som snickare har gjort att jag verkligen förstått att det är extra viktigt med byggfysik och fuktmekanik i välisolerade hus.

## 1.1 Bakgrund

Efterfrågan av bostadshus med låg energiförbrukning har ökat vilket har lett till att det byggs mer passiv- och lågenergihus. Energiförbrukningen i dessa hus ligger under de krav som Boverkets Byggregler, BBR, ställer på nybyggda hus [6]. Att bygga hus med låg energiförbrukning har både fördelar och nackdelar. Det är positivt för miljön då det går åt mindre energi och innebär lägre driftkostnad, men ur fuktsynpunkt finns det även nackdelar med välisolerade hus.

Det som är positivt, ur fuktsynpunkt, är att tätare hus minskar luftläckage genom konvektion vilket minskar fuktkonvektion inifrån och ut genom klimatskärmen. När det gäller negativa konsekvenser finns det två olika: Den ena negativa faktorn är att välisolerade hus har en lägre temperatur i de yttre delarna av klimatskärmen jämfört med konventionella hus. Den lägre temperaturen innebär att den relativa fukthalten, RF, blir högre vilket kan innebära en större risk för mikrobiella angrepp. Förutsättningar för att mikrobiella angrepp ska ske är att förhållanden på temperatur, RF och tid är de "rätta". Den andra negativa faktorn är att det i lågenergihus används mer volym träreglar och isolering i klimatskärmarna. Mer volym betyder att större mängder byggfukt ska torka vilket innebär längre uttorkningstid och större risk för mikrobiella angrepp.

BBR ställer dock krav på att fukt beaktas när man bygger bostäder: "Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa" [5]. Anders Kumlin, som är VD på AK konsult (som är inriktat på fukt och skadeutredningar i Sverige), kan dock se en trend i att fuktrisken i välisolerade hus ökar.

Enligt HusAMA ska virke vid inbyggnad ha en fuktkvot som högst motsvarar målfuktkvoten 15 procent. Med en målfuktkvot på 15 % menas att medelfuktkvoten för trävirke ska ligga mellan 13 % och 16,5 % samt att 93,5 % av virket inte får vara fuktigare än 19,5 % eller torrare än 10,5 % [9]. Målfuktkvoten har sänkts från tidigare år men planeras att höjas till 16 procent år 2012 [10]. Det är därför intressant att utvärdera vad som är en rimlig nivå för fuktkvoten i träreglar som byggs in i välisolerade ytterväggar.

## 1.2 Målformulering

Syftet med denna studie är att undersöka vad som är en rimlig nivå för fuktkvoten hos träreglar som byggs in i fyra olika välisolerade ytterväggar. Samt undersöka hur fuktomlagringar i dessa ytterväggar sker under första året då byggfukten ska torka ut och hur det påverkar väggkonstruktionerna.

De fyra olika väggtyper som kommer att användas skiljer sig åt när det gäller träreglar (lätregel och massivregel), vindskydd (mineralull, cellplast och vindduk) och värmeisoleringar (mineralull och cellulosafibrer).

## 1.3 Avgränsningar

Studien kommer att använda sig av fyra ytterväggstyper som SP Sveriges tekniska forskningsinstitut använder sig av i sina laboratoriestudier, i projektet Wood Build. Väggarna kommer analyseras genom fukt och värme programmet Wufi2D.

Olika inbyggnadsfuktkvoter hos träreglarna kommer anges i de olika beräkningarna för att hitta den kritiska inbyggnadsfuktkvoten för de olika väggarna. Om tid finns kommer även ytterhörn eller en vindskiva med högre ångmotstånd studeras för de olika väggtyperna. Ytterhörn är intressant eftersom det innehåller fler träreglar på en liten yta och därmed mer byggfukt som ska torkas ut. En ångtätare vindskiva är intressant eftersom det innebär att det tar längre tid att torka byggfukt. Följande avgränsningar kommer gälla:

- Undersökning kommer endast att ske med datasimuleringar i Wufi2D.
- En jämförelse av resultaten från SP Sveriges tekniska forskningsinstitut och denna studie kommer ske beroende på när SP rapport kommer att publiceras.
- Beräkningarna kommer att fokuseras på Stockholms klimat och normalklimat. I Wufi programmen finns det klimatdata över Sverige där klimatet för ett år representerar ett medelvärde över en tioårsperiod och representerar ett normalår. Toppar för klimaten är borttagna för att det skall kunna användas till så många olika fall som möjligt.
- Utgångsdatum för datasimuleringarna är den 1 oktober och simuleringarna kommer att göras för två år framåt. 1 oktober har valts som startdatum därför för att det är den tid på året som det bedöms vara ogynnsammast att torka byggfukt. I simuleringarna har inomhusklimatet en temperatur på 20°C.
- Väggarna som kommer att simuleras är orienterade mot norr och beräknas utan fasadbeklädnad. Uteklimat antas råda mot vindduk eller vindskiva. Eventuell vattenabsorption mot vindduk eller vindskiva kommer inte beaktats utan nederbörd bedöms tas om hand av fasadbeklädnad.

## 1.4 Lösningsmetoder

### 1.4.2 Diskussion - datasimuleringar Wufi2D

För att kunna genomföra den här undersökningen görs fuktsimuleringar med Wufi2D. Wufi2D är ett användarvänligt program som ger realistiska värden och har validerats genom detaljerade jämförelser i laboratorier och mätningar vid Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland. Med datasimuleringar har man möjlighet att beräkna fukt och värmetransporter med ett valt klimat i en byggnadsdel över en längre tid.

Ett alternativ till datasimuleringar är fältmätningar. Praktiska mätningar tar längre tid att genomföra och därför var det inte ett möjligt alternativ. En annan fördel med datasimuleringar är att det går att modellera olika byggnadskonstruktioner med olika geometri och materialskikt.

Väggarna som används i simuleringarna kommer från en undersökning som görs på SP Sveriges tekniska forskningsinstitut, där undersöks väggarna ur fuktsynpunkt i laboratorier. Lars Olsson, som är en av de som ansvarar för det projektet, tyckte dessutom att det var ett bra komplement att utföra datasimuleringar med Wufi2D.

Redovisade resultat skall inte ses som absolut sanna med anledning av begränsningar och osäkerheter i material, klimatdata samt beräkningsmodeller. Resultaten kan dock användas i syfte att teoretiskt utvärdera fuktfunktionen för väggarna och är ett bra komplement till de laborationer som utförs på SP.

### 1.4.3 Den valda metoden - tillvägagångssätt

I första hand kommer studien att utgå ifrån fyra välisolerade ytterväggar. Dessa väggar används även vid de laborationer som görs på SP i projektet Wood Build.

I dataprogrammet Wufi2D kommer fuktsimuleringar att göras för de olika väggtyperna. För att hitta den kritiska fuktkvotnivån kommer inbyggnadsfuktkvoten i träreglarna att varieras. Resultatet från Wufi2D kommer att studeras i 'Wufi2D Motion' och analyseras i 'Wufi Bio'.

'Wufi2D Motion' visar hur relativ fukthalt, temperatur och fukthalt varierar över simulerad tid. Där bland annat fuktomlagringarna i ytterväggarna kommer att studeras.

För att analysera risken för mögelangrepp exporteras resultatet (RF och temperatur) från Wufi2D till Wufi Bio. Olika markeringar (ytor) på träreglarna analyseras för att bedöma risken för mikrobiell tillväxt. Resultaten från Wufi Bio sammanställs över första året i en tabell för respektive vägg. Första året är mest intressant eftersom det är då byggfukten ska torka ut. Resultatet analyseras med Wufi Bios gränsvärden som visar om det finns risk för mögeltillväxt. Värdena som framkommer skall ses som riktlinjer.



## **2. Nulägesbeskrivning**

Examensarbetet har genomförts på AK-Konsult Indoor Air AB kontor i Stockholm. AK-Konsult är ett av Sveriges ledande konsultföretag inom fukt och innemiljö och är specialiserade på skadeutredningar, projektering och mätuppdrag. AK konsults affärsidé är att använda erfarenhet med den senaste kunskapen på området för att skapa en god inomhusmiljö. Företaget samarbetar med Fuktcentrum vid Lunds Tekniska Högskola där de bidrar med praktiska erfarenheter till olika forskningsprojekt samtidigt som AK konsult har tillgång till de nya forskningsrönen inom fukt och inomhusmiljö.



### 3. Teoretisk referensram

Kurserna 'Byggfysik med byggmateriallära' och 'Skademekanismer av fukt' ligger till grund för detta examensarbete. 'Byggfysik med byggmateriallära' behandlade grunderna i byggfysik och fuktmekanik där målen var att:

- Skissa upp byggtekniska detaljer med hänsyn till funktion och hur man bygger.
- Ge exempel på byggfysiska egenskaper och redogöra för sambandet mellan materialets struktur och byggfysiska egenskaper samt hur de förändras av yttre påverkan (t.ex. fukt).
- Med hjälp av figur förklara värmetransport i luft, vatten och materia.
- Beräkna värmetransport för enskilda material med bestämd tjocklek samt för en konstruktion uppbyggd av flera skikt av olika material.
- Lokalisera köldbryggor och hur de kan åtgärdas.
- Redogöra var det finns risk för kondens i en konstruktion.
- Beräkna fukt i luft och material samt fukttransport.

I kursen 'Fukt och skademekanismer' var några av målen att lära sig att:

- Göra enklare fuktberäkningar för olika konstruktionsdelar
- Känna till fuktens påverkan på inomhusklimatet och "sjuka hus"
- Känna till riskerna med fukt i trä samt veta hur man bör lagra virke på arbetsplatsen

För att kunna genomföra denna undersökning var kursen 'Skademekanismer av fukt' den som var mest betydande eftersom den gav ökad förståelse för fuktmekaniken samt att den visade på den praktiska tillämpningen.

#### 3.1 Tidigare utförda studier

Geving och Holme (2010) har forskat om fuktproblematiken i välisolerade hus i Norge. De undersökte bland annat ytterväggar som var 400 mm. Deras slutsatser var:

- 1) Att den lägre temperaturen i de yttre delarna av klimatskärmen inte har så stor betydelse ur fuktsynpunkt. De kallare delarna medför dock högre RF men på grund av att lägre temperaturer är ogynnsamt för mikrobiell tillväxt bedöms det inte vara någon större risk. Förutsättningarna var att normala rekommendationer följdes med bland annat tät ångspärr på insidan och ett litet ångmotstånd hos vindspärren samt god lufttäthet i konstruktionen.
- 2) Att fuktkvoten hos de träreglar som byggs in, inte får vara för hög samt att träreglarna inte får fuktas upp under produktionen av bostadshus.

Geving och Holmes forskning visar alltså att de kallare delarna i väggen inte är av någon större betydelse utan det som speciellt behöver beaktas är inbyggnadsfuktkvoten i träreglarna.[3]



## 4. Faktainsamling

Den här undersökningen grundar sig på fyra välisolerade ytterväggar från SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut. Skisser och materialuppgifter har skickats via mejl men även mottagits muntligt av Lars Olsson, som arbetar på SP i Borås. Materialdata för fuktsimuleringarna har hämtats från Wufi2D materialdatabas som motsvarar materialuppgifterna från Lars.



## 5. Genomförandet

### 5.1 Teori – Fuktmekanik

Ur byggnadsteknisk synpunkt kan vatten förekomma kemiskt eller fysikaliskt bundet i material. Det som normalt betecknas fukt i material är det fysikaliskt bundna vattnet. Det kemiskt bundna vattnet är fast fixerat i materialen och ingår i dess egenskaper. Fukt i material mäts som fukthalt,  $w(\text{kg/m}^3)$ , eller fuktkvot  $u(\%)$ . [2]

Byggnadsmaterial innehåller fukt, ett visst fukttinnehåll är ingen fara men vid högre fukthalter finns risk för skador. Det kritiska fukttillståndet anger gränsen för när materialet bibehåller godtagbar funktion under den tid som det är utsatt för exponeringen. Man kan jämföra aktuell fukthalt med kritisk fukthalt men det som behöver beaktas är även temperaturen. [1]

Fukt i luft anges i ånghalt  $v (\text{kg/m}^3)$  och dess maximala fukttinnehåll vid en given temperatur kallas för mättnadsånghalt  $v_s (\text{kg/m}^3)$ . För att beskriva hur mycket fukt luft innehåller används den relativa fukthalten som anger förhållandet mellan ånghalt och mättnadsånghalt vid en given temperatur. [1][2]

#### Sorptionskurva

När material lagras i klimat med konstant relativ fuktighet uppstår med tiden en jämvikt mellan materialets fukthalt och omgivningens relativa fuktighet. Det innebär att materialet tar upp lika mycket fukt som det avger per tidsenhet. Sorptionskurva för ett specifikt material beskriver vilken fukthalt materialet kommer ha när det är i jämvikt med omgivningens relativa fuktighet. Det finns olika kurvor beroende på om materialet fuktas upp, absorptionskurva, eller torkar ut, desorptionskurva. Skillnaden mellan kurvorna kallas för hysteres. [1]

#### 5.1.1 Olika typer av fukttransport

Fuktflöde beskrivs oftast matematiskt som produkten mellan en transportkoefficient och en potentialändring per längdenhet i flödets riktning, se formel 5:1. Exempel på potential är ångtryck, ånghalt, fukthalt, temperatur. För att det ska ske någon transport krävs det en potentialskillnad. En potentialskillnad kan uppstå exempelvis om ånghalten är högre på insidan än på utsidan av ytterväggen. Det leder till en fukttransport inifrån och ut som kallas för diffusion. [1]

$$g = -k \cdot \frac{d\psi}{dx} \quad [5:1]$$

$g$  = fuktflöde i en viss riktning.

$\psi$  = potential som kan vara ångtryck, ånghalt, fukthalt, temperatur.

$k$  = transportkoefficient vilken är kopplad till den potential som valts.

#### Fukttransport i ångfas

Fukttransport i ångfas kan ske med diffusion, fuktkonvektion, effusion och termodiffusion. Effusion och termodiffusion är en slags diffusion som i byggnadstekniska sammanhang har liten inverkan. Med diffusion menas att vattenånga och andra gaser strävar efter att jämna ut koncentrationsskillnader från högre till lägre halt. Exempel på diffusion är:

- Ånghaltsskillnad över en byggnadsdel leder till att fukttransport sker via diffusion.
- Uttorkning av byggfukt sker till stor del genom diffusion. Dels transporteras fukt från materialets inre till ytan till stor del genom diffusion. Från ytan till omgivande luft kan fukten endast transporteras genom diffusion.

Fuktkonvektion innebär att vattenånga följer med en luftström. För att luftflöde ska uppstå krävs totaltrycksdifferenser som kan bildas av temperaturskillnader, vindtryck eller ventilation. [1] [2]

### **Fukttransport i vätskefas**

Fukttransport i vätskefas kan ske genom tyngdkraft, vattenövertryck, vindtryck och kapillära krafter. Där vattenövertryck och kapillärsugning är de viktigaste drivkrafterna. Då transport av vatten sker genom vattenövertryck blir porsystemet fyllt med vatten och vattnet söker sig i första hand fram genom de största porerna. Vid kapillärsugning är den kapillära sugkraften störst i de minsta porerna, där en förutsättning är att vattnet i porerna bildar ett sammanhängande system. För att det ska fungera måste fukthalten i materialet överstiga ett gränsvärde, den kritiska fukthalten,  $w_k$ . [2]

Transport i vätskefas då  $w > w_k$  har i regel stor kapacitet jämfört med diffusion. Exempel på det är en murverksfasad som blir utsatt för slagregn då vattentransport sker från ytan till väggens inre. Skillnad är det vid uttorkning som sker genom ett kombinerat förlopp där transporten i vätskefas avtar med tiden samtidigt som diffusionen alltmer blir avgörande för uttorkningshastigheten. [1]

### **Kapillärkondensation**

Byggnadsmaterial har oregelbundna kapillärer men de fungerar i princip på samma sätt som ett smalt glaströr. När vatten stiger i ett kapillärtrör bildas en konkav minisk vilken gör att vattenmolekyler som närmar sig ytan attraheras starkare än om den skulle närma sig en plan vattenyta. Resultatet är att vattenmolekyler kan fångas in av en konkav vattenyta vid en lägre relativ fuktighet än om vattenytan skulle vara plan. Fenomenet kallas för kapillärkondensation och innebär att vattenmolekyler kan kondensera vid meniskerna vid en relativ fuktighet som kan vara avsevärt mindre än 100 %. [1]

### **5.1.2 Kritiska fukttillstånd**

För att mikrobiell tillväxt ska ske måste näring och ett gynnsamt klimat finnas. Ett gynnsamt klimat beror på RF och temperaturen, men även tiden påverkar. Desto längre tid gynnsamma förhållanden råder desto mer tillväxt sker.

I diagram 1 bedöms när mikrobiell tillväxt sker vilket görs genom två begränsningskurvor (så kallade 'limiting isopleths for mould growth') LIM B1 och LIM B2. Under dessa kurvor anses normalt ingen tillväxt kunna ske. I diagrammet beaktas alltså både RF och temperatur för bedömning av mikrobiell tillväxt [4]. Men för att mikroorganismer skall kunna växa behöver även tiden beaktas vilket görs av dataprogrammet Wufi Bio. Wufi Bio används för underlätta bedömning och utvärdering av konstruktioner. Wufi Bio kommer beskrivas mer ingående under kapitel '5.2.3 mögeltillväxt enligt Wufi Bio 3.0'.

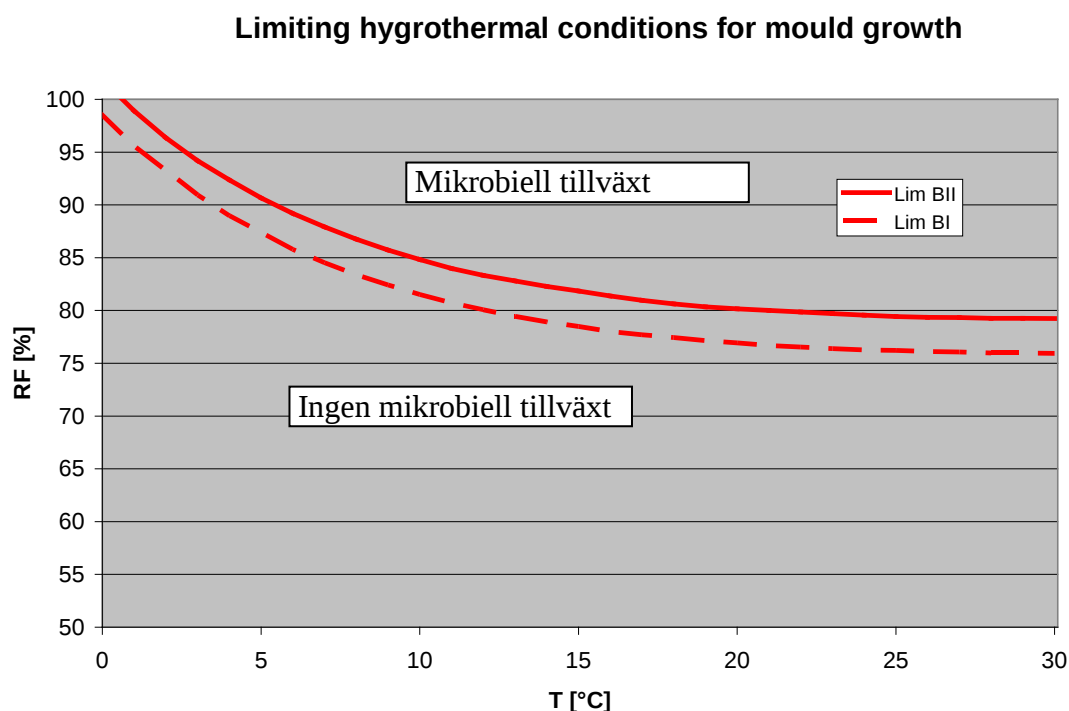


Diagram 1, bedömning när mikrobiell tillväxt sker.

För bedömning om mikrobiell tillväxt kommer ske gäller följande:

#### LIM B1

Material som är nedbrytbara; trä, tapeter, gipsskivor, övriga lätt nedbrytbara material och starkt nedsmutsade ytor etc.

#### LIM B2

Material med porös struktur; puts, mineralbaserade byggnadsmaterial, vissa trämaterial, isolermaterial som inte tillhör LIM B1 etc. Material från denna grupp som är nedsmutsade tillhör LIM B1.

## 5.2 Wufi fukt- och värmeberäkningar

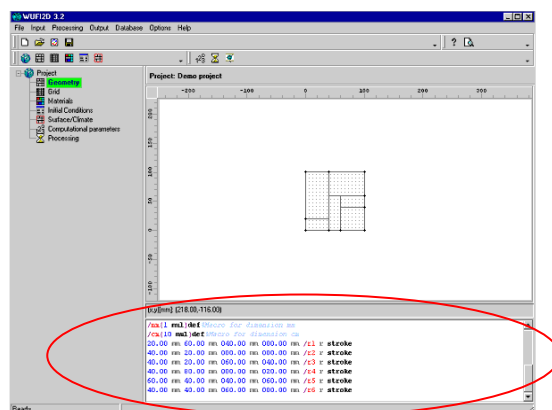
Wufi är ett dataprogram som är utvecklat och framtaget i Tyskland vid Fraunhofer IBF (Institute for Building Physics). Programmet är designat för att göra simuleringar av fukt- och värmetransporter i byggnader. Det sker genom att programmet utför värme- och fuktberäkningar med transienta förhållanden i byggnadskonstruktioner. Med transienta förhållanden menas att värme och fuktförhållandena varierar med tiden. [8]

Wufi har simuleringsprogram som räknar både i en dimension och i två dimensioner. Wufi1D kan användas för att simulera hygrotermiska förhållanden i endimensionella byggnadskomponenter med varierande klimatbelastningar. Wufi2D använder samma beräkningsmodell som Wufi1D men räknar på två dimensionella modeller. Wufi2D ger på så vis möjlighet att simulera fukt- och värmetransporter i byggnadskomponenter med mer komplicerad utformning. Till exempel kan simuleringarna inkludera effekter av köldbryggor eller fuktinträngning i vägg- och takövergångar. [8] [11]

### 5.2.1 Wufi2D - uppbyggnad

Utifrån specificerade förhållanden beräknar Wufi2D den tidsmässiga utvecklingen av temperatur och fukt i byggnadsmaterial. Utvecklingen påverkas av värme- och fuktutbyte med omgivningen. Riktningen och storleken på värme- och fuktflödena genom ytorna beror på förhållandena i materialet och dess omgivning. Resultaten av beräkningarna kan sedan visas i två olika visualiseringsverktyg. Nedan kommer en mer utförlig beskrivning av hur en värme- och fuktsimulering i Wufi2D byggs upp: [11]

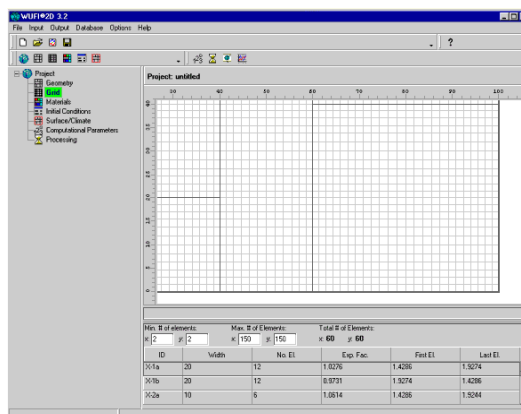
1. **Geometri** I den här dialogrutan anger man den tvådimensionella konstruktionens geometri. Det görs genom att de individuella materialens geometri anges i form av rektanglar i ett x och y koordinatsystem. Det går dels att rita samt att ange geometrin genom koordinater i fältet längst ner, se figur 1.



Figur 1, röd ring anger vart koordinater kan skrivas.

2. **Gitter(rutmönster)**

Beräkningarna i Wufi kan inte lösas analytiskt utan måste lösas numeriskt. För att dataprogrammet ska kunna beräkna numeriskt delas byggnadens komponenter upp i anpassade gitterelement, se figur 2. Wufi kan automatiskt bilda gitterelement för normala ändamål vilket räcker för de flesta fall. För att ange noggrannheten i beräkningarna finns det tre olika nivåer; fint, medium och grovt. I speciella fall kan gittret behöva anpassas manuellt.



Figur 2, gitter (rutmönster) anger noggrannheten.

Värdet av beräknad temperatur och relativa fuktighet antas vara konstant i varje enskilt element. (Element är lika med en cell). Därför måste storleken på varje element väljas så att felet i antagandet inte blir för stort. Generellt förväntas större förändringar ske i gränsskiktet mellan olika material och mindre variation förväntas att inträffa i mitten av varje materialskikt, därför anpassar Wufi automatiskt var finare och grövre element ska användas. Dock kan de fördefinierade nivåerna (fint, medium och grovt) väljas separat för gittrets x och y riktning.

3. **Material**

När geometri och gitter har valts behöver man ange lämpliga material för de olika byggkomponenterna. Ett material kan ha olika egenskaper i x och y riktning, till exempel har trä olika egenskaper i fiberriktningen och i den radiella riktningen. Wufi 2D möjliggör (att ange) olika egenskaper i två riktningar.

Material hämtar man i de inbyggda materialdatabaserna, där det finns olika materialbaser för olika länder att välja bland.

#### 4. Inledande villkor

Här anges temperatur och fuktinnehåll i de olika materialskikten. Fuktinnehållet och temperaturen kan variera för olika materialskikt. Dessutom väljer man om man vill ange fuktinnehållet i fukthalt ( $\text{kg/m}^3$ ) eller i relativ fuktighet (%).

#### 5. Yta/Klimat

Nu är det dags att tilldela ytorna det klimat som de ska ha och sätta systemgränser om så önskas. Systemgräns är en avgränsning i kontinuerliga konstruktioner och används för att förenkla beräkningarna. Inget utbyte sker över systemgränsen. De olika valen för klimat är inneklimat och uteklimat men det går också att skapa egna klimat.

Det går även att ange olika klimatdata för varje tidssteg, till exempel:

- Den vertikala regnbelastningen på utsida vägg i [ $\text{liter/m}^2\text{h}$ ] vilken tar hänsyn till byggnadsdelens lutning.
- Den vertikala solinstrålningen på utsida vägg i [ $\text{W/m}^2$ ]. För att bestämma mängden strålning på byggnadsdelen tar programmet hänsyn till lutning och orientering av byggnadsdelen.
- Temperatur i omgivande luft.
- Relativa fuktigheten i omgivande luft.
- Barometertrycket räcker att anges som ett medelvärde eftersom det har liten betydelse för beräkningarna.
- Nattstrålning.

#### 6. Källor

Här kan man lägga till värme-, fukt- och luftutbyteskällor. Värmekälla skulle kunna vara en del av den infallande solinstrålningen som når ett visst materialskikt. Fuktkällor kan vara en uppskattning av hur mycket slagregn som når ett visst materialskikt. Luftspalter kan simuleras genom att ange ett värde för luftomsättningar under funktionen luftutbyteskällor.

#### 7. Beräknings parametrar

Här anger man startdatum och tid för beräkningen. Wufi2D söker upp klimatförhållandena för det klimat man valt att simulera. De flesta klimatfilerna representerar ett normal år och därför spelar det inte någon roll vilket år beräkningen startar ifrån. Om beräkningarna pågår mer än ett år, startar Wufi beräkningen på nytt med samma klimatdata.

Här anges också vilket tidssteg Wufi skall räkna med, standard är en timme. Det finns också möjlighet att ange om programmet ska räkna med fukt och värmetransporter, generellt så har man bägge aktiverade. Det finns olika hygrotermiska möjligheter som kan anges till exempel vilka fukttransporter som ska medräknas av kapillärtransport och diffusion.

Genom att ange vilka resultat man vill analysera av fukthalt, RF, temperatur, ångtryck, kapillär transport, diffusionstransport och värme flöde har man möjlighet att reducera storleken på resultat filerna.

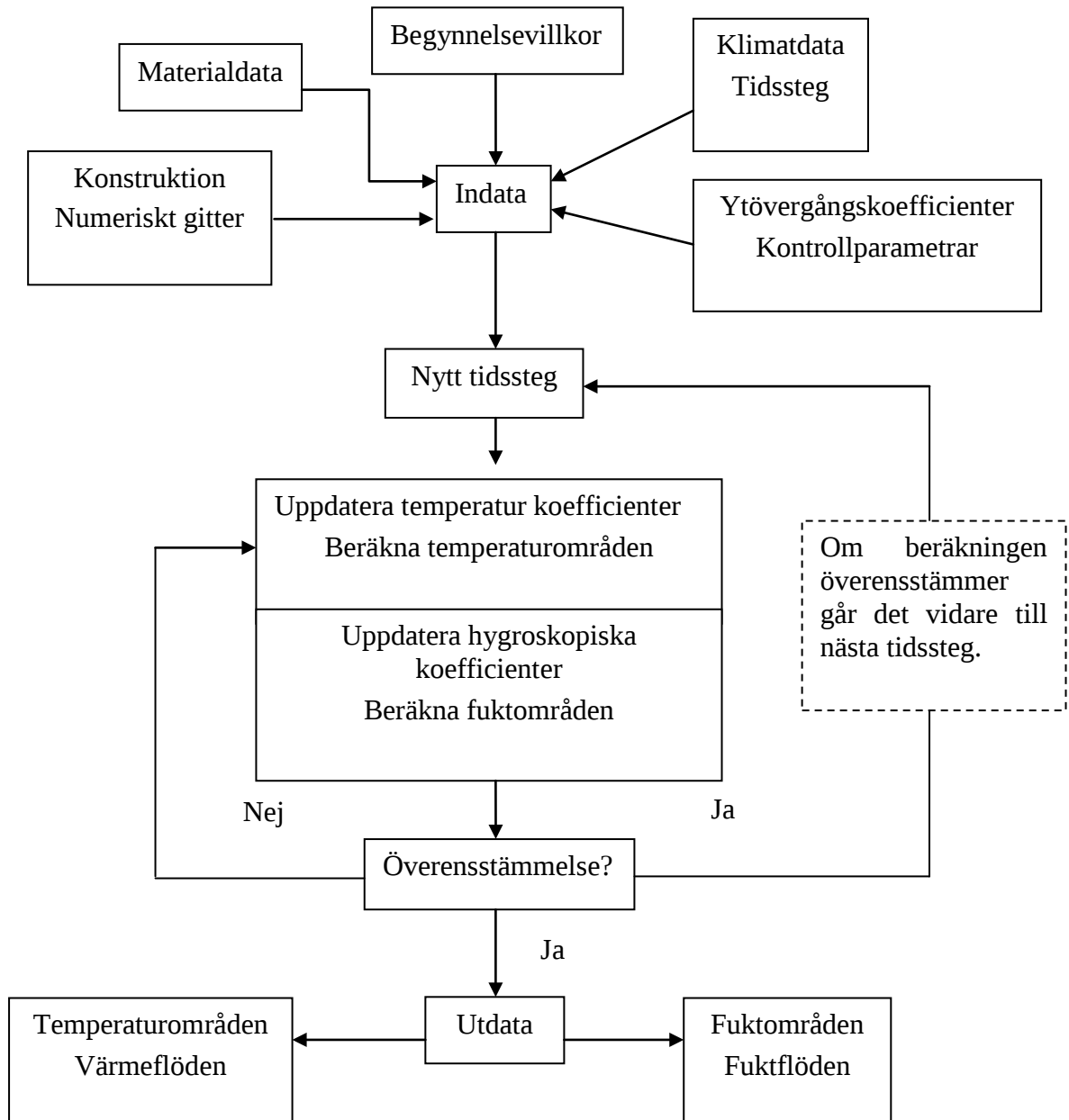
## 8. Visualiseringsverktyg

Det finns två visualiseringsverktyg i Wufi2D, där det ena är Wufi2D Motion som visar resultatet från Wufi2D som animerade 3D grafer. Resultatet av temperatur, fukthalt, relativa fuktigheten, ångtryck, kapillärt fuktflöde, diffusion och värme flöde kan visas beroende på vad som angivits under beräkningsparametrar. Med Wufi2D Motion har man möjlighet att studera hur exempelvis temperatur och fukthalt ändras över tid genom att visa resultatet som en film. Det är också möjlighet att studera filmen ifrån olika vinklar eller zooma in regioner som är av intresse.

Ett annat visualiseringsverktyg som heter Wufi Graph möjliggör att välja regioner i konstruktionen som man är intresserad av att analysera. Resultaten för den valda regionen kan redovisas i ett diagram med isoplether (RF och temperatur för varje tidssteg). I diagrammet finns gränskurvor för kritiskt klimat för olika material. För noggrannare analys exporteras isopletherna till mögelsimuleringsprogrammet Wufi Bio som ger en riskbedömning för mögeltillväxt. Med Wufi Graph går det även att studera fukthalt, fuktkvot, temperatur och relativa fuktigheten över tiden för valda regioner i byggnadsdelen som simulerats.

### 5.2.2 Wufi2D - beräkningsgång

När man definierat indata i Wufi2D som konstruktion, material uppgifter, begynnelsevillkor, klimatdata och övergångskoefficienter kan beräkningen starta. Wufi 2D programmet räknar ett tidssteg åt gången och om beräkningen för aktuellt tidssteg stämmer beräknas nästa, se figur 3. Om beräkningen inte överensstämmer beräknas aktuellt tidssteg på nytt. [11]



Figur 3, beräkningsgång för Wufi2D.

### 5.2.3 Mögeltillväxt enligt Wufi Bio 3.0

För att bedöma risken för mikrobiell tillväxt kan man använda sig av dataprogrammet Wufi Bio utvecklat av K. Sedlbauer. För att Wufi Bio ska kunna bedöma den mikrobiella tillväxten krävs indata av RF och temperatur som funktion av tiden, det vill säga isoplether men hänsyn till tiden. Indata kan hämtas från beräkningar i Wufi2D. [12]

Programmet fungerar så att det jämför simulerade eller uppmätta värden av RF och temperatur som funktion av tiden med de tillväxtbetingelser som behövs för att svamp och mögeltillväxt som normalt påträffas i byggnader ska ske. Wufi Bio simulerar vatteninnehållet i mögelsporen och jämför med det kritiska vatteninnehåll som krävs för att initiera en spor att gro. Desto längre tid lämpliga tillväxtbetingelser råder ju större tillväxt. Programmet gör dessa simuleringar genom matematiska modeller som är verifierade genom mikrobiologiska försök. Simuleringarna är en modell och är tänkt att tjäna som ett hjälpmedel vid bedömning av risken för mögeltillväxt. [12]

När tillväxten startats kan man med tillgängliga klimat- och substratberoende tillväxtkurvor uppskatta den följade utbredningen av mycettillväxten. Det finns fyra substratklasser, att tillgå[12]:

#### **Substratklass 0**

Optimala medium för mögeltillväxt. Det här isopleth systemet motsvarar maximal möjlig tillväxt av mögeltyper som är normalt förekommande i byggnader.

#### **Substratklass 1**

Nedbrytbart material, exempelvis trä, tapeter, gipsskivor, övriga lätt nedbrytbara material, elastiskt fogmaterial, starkt nedsmutsade ytor.

#### **Substratklass 2**

Nedbrytbart material med porös struktur, ex. puts, mineralbaserade byggnadsmaterial, vissa trämaterial, isolermaterial som inte tillhör substrat klass 1, etc. Om material från denna grupp är nedsmutsade, tillhör de substrat klass 1.

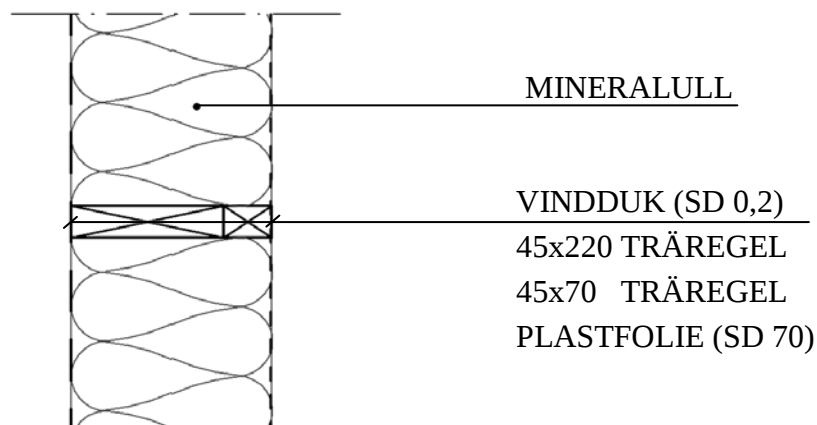
#### **Substratklass K**

Denna klass utgör ett specialfall av substrat klass 0 och tillsammans med organismer som är kända för att kunna orsaka hälsoproblem hos människor vid exponering. Denna klass utgörs av mögelsvampar som exempelvis *Aspergillus flavus*, *Stachybotrys chartarum* m.fl.

## 5.3 Vägguppbbyggnad

Nedan presenteras vägguppbbyggnad och materialuppgifter för ytterväggarna 6.2, 7, 8 och 10. Det görs genom ritningar som redovisar ett horisontalsnitt över varje vägg och tabeller med materialegenskaper.

### 5.3.1 Vägg 6.2

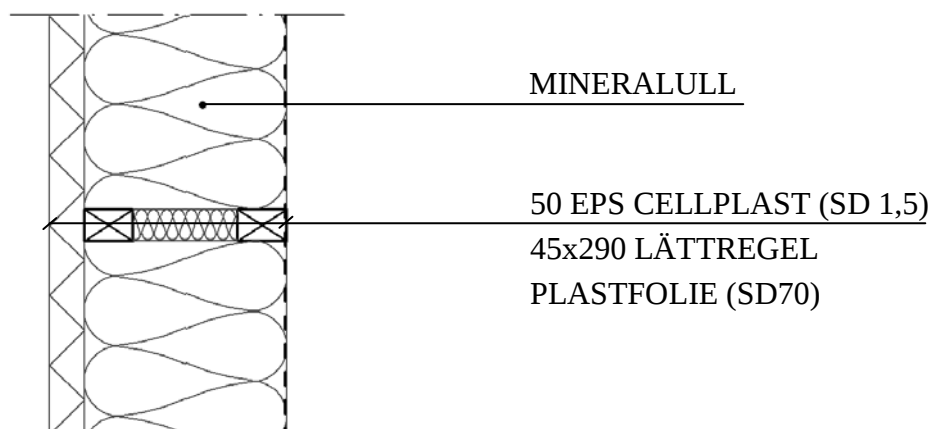


| Materialdata                                 | Vindduk Sd0.2 | Träregel <sup>1</sup> | Mu   | PE folie Sd70 |
|----------------------------------------------|---------------|-----------------------|------|---------------|
| Skrymdensitet [kg/m <sup>3</sup> ]           | 130           | 455                   | 60   | 130           |
| Porositet [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]  | 0.001         | 0.73                  | 0.95 | 0.001         |
| Specifik värmekapacitet, torr [J/kgK]        | 2300          | 1500                  | 850  | 2200          |
| Värmeledningsförmåga, torr [W/mK]            | 2.3           | 0.09                  | 0.04 | 2.2           |
| Diffusionsmotstånd för vattenånga, $\mu$ [-] | 200           | 130                   | 1.3  | 70000         |

Tabell 1, materialdata vägg 6.2.

<sup>1</sup> Materialuppgifter för träregel är i den radiella riktningen.

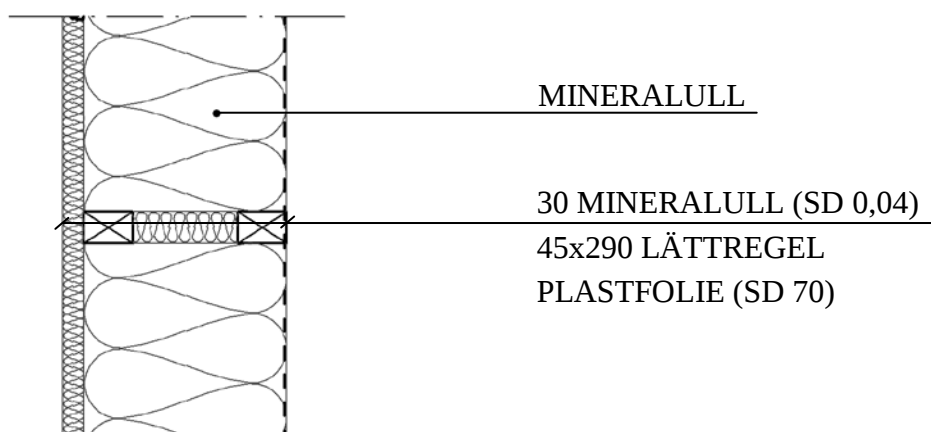
### 5.3.2 Vegg 7



| Materialdata                                 | EPS cellplast | Träfläns | Mu   | PE folie Sd70 |
|----------------------------------------------|---------------|----------|------|---------------|
| Skrymdensitet [kg/m <sup>3</sup> ]           | 15            | 455      | 60   | 130           |
| Porositet [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]  | 0.95          | 0.73     | 0.95 | 0.001         |
| Specifik värmekapacitet, torr [J/kgK]        | 1500          | 1500     | 850  | 2200          |
| Värmeledningsförmåga, torr [W/mK]            | 0.04          | 0.09     | 0.04 | 2.2           |
| Diffusionsmotstånd för vattenånga, $\mu$ [-] | 30            | 130      | 1.3  | 70000         |

Tabell 2, materialdata vägg 7.

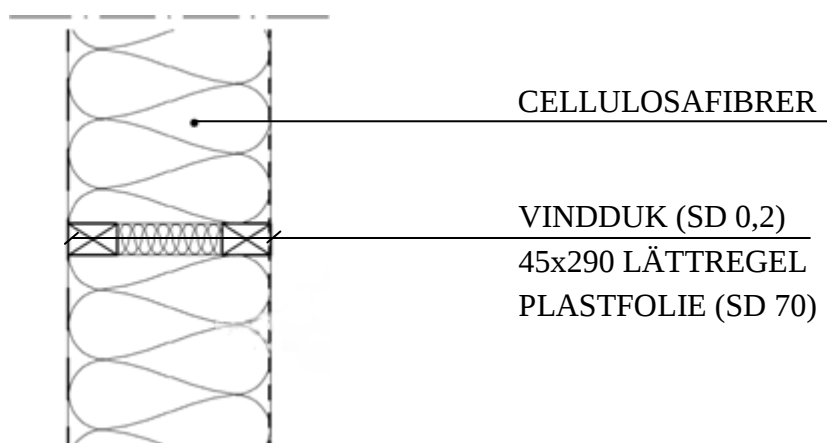
### 5.3.3 Vegg 8



| Materialdata                                 | Mu vindskydd | Träfläns | Mu   | PE folie Sd70 |
|----------------------------------------------|--------------|----------|------|---------------|
| Skrymdensitet [kg/m <sup>3</sup> ]           | 60           | 455      | 60   | 130           |
| Porositet [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]  | 0.95         | 0.73     | 0.95 | 0.001         |
| Specifik värmekapacitet, torr [J/kgK]        | 850          | 1500     | 850  | 2200          |
| Värmeledningsförmåga, torr [W/mK]            | 0.04         | 0.09     | 0.04 | 2.2           |
| Diffusionsmotstånd för vattenånga, $\mu$ [-] | 1.3          | 130      | 1.3  | 70000         |

Tabell 3, materialdata vägg 8.

### 5.3.4 Vägg 10



| Materialdata                                 | Vindduk Sd0.2 | Träfläns | Cellulosa | PE folie Sd70 |
|----------------------------------------------|---------------|----------|-----------|---------------|
| Skrymdensitet [kg/m <sup>3</sup> ]           | 130           | 455      | 70        | 130           |
| Porositet [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]  | 0.001         | 0.73     | 0.95      | 0.001         |
| Specifik värmekapacitet, torr [J/kgK]        | 2300          | 1500     | 2500      | 2200          |
| Värmeledningsförmåga, torr [W/mK]            | 2.3           | 0.09     | 0.04      | 2.2           |
| Diffusionsmotstånd för vattenånga, $\mu$ [-] | 200           | 130      | 1.5       | 70000         |

Tabell 4, materialdata vägg 10.

## 5.4 Genomförande

För att förstå hur genomförandet har gått till kommer det här att redovisas stegvis:

1. Först ritades geometrin för de olika väggtyperna i programmet Wufi2D.
2. Därefter bestämdes vilket av de fördefinierade gitterelementen<sup>2</sup> (fint, medium eller grovt) som skulle användas i simuleringarna. För att få fram vilket av gitterelementen som skulle användas beräknades vägg 6.2 med samtliga. Resultaten av beräkningarna visade att skillnaden var liten mellan de olika gitterelementen och därför valdes medium, se diagram 2.

---

<sup>2</sup> Gitterelement är rutmönster.

## Jämförelse gitterelement

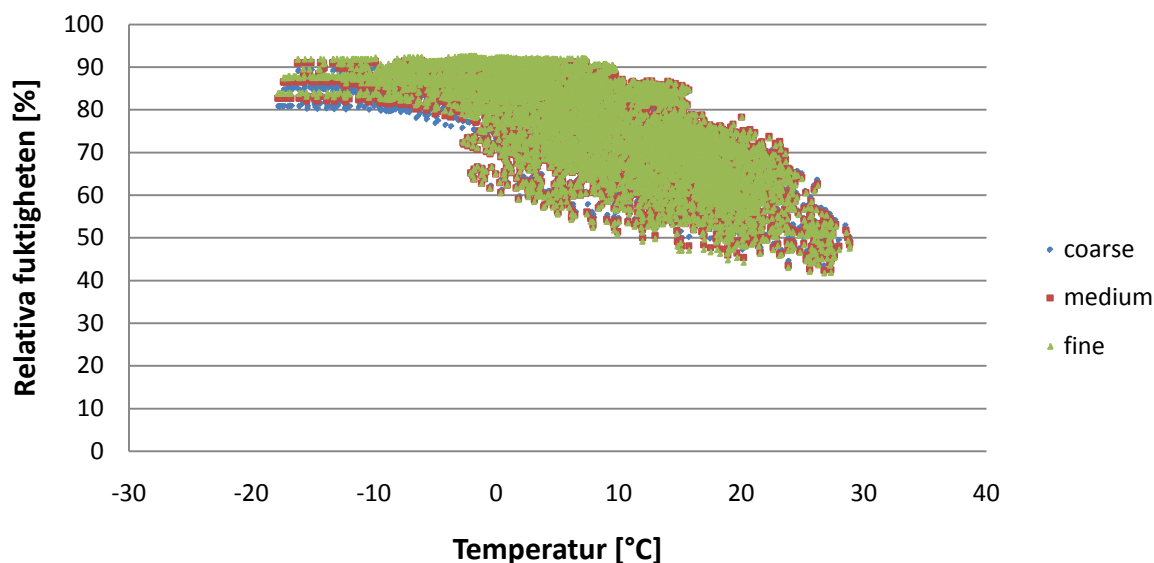


Diagram 2, jämförelse gitterelement för vägg6.2 med en inbyggnadsfuktkvot på 17 %.

3. Sedan bestämdes vilka materialdata som skulle användas. Wufi2D har en databas med materialdata och utifrån den gjordes valen. (Se vägguppbyggnad avsnitt 5.3 för materialuppgifter).
4. Efter det bestämdes den relativa fukthalten i träreglarna för respektive väggtyp. (Se bilaga 1 för omräkning av fuktkvot till RF). Den framräknade RF har angivit fukttinnehållet i samtliga material. Då beräkningarna är väldigt tidskrävande valdes det att testa olika inbyggnadsfuktkvoter med två procentenheters skillnad.
5. Därefter valdes, utifrån Wufi2d:s databas, vilket ute- och inneklimat som skulle användas i beräkningarna. Stockholms uteklimat valdes att användas i samtliga beräkningar (se diagram 3). Ytterväggarna som studeras i den här undersökningen valdes att modelleras utan fasadbeklädnad och att uteklimatet simuleras direkt mot vindduk/vindskiva. Det är rimligt eftersom väggarna är vända mot norr och därmed är fasaden inte utsatt för solstrålning. Fasadmaterialet förväntas också ta hand om allt vatten från regn och eventuellt kondensvatten i luftspalt antas inte påverka vinddukar/vindskivor. Därför har det angivits i Wufi2D att ingen vattenabsorption sker av vinddukar/vindskivor.

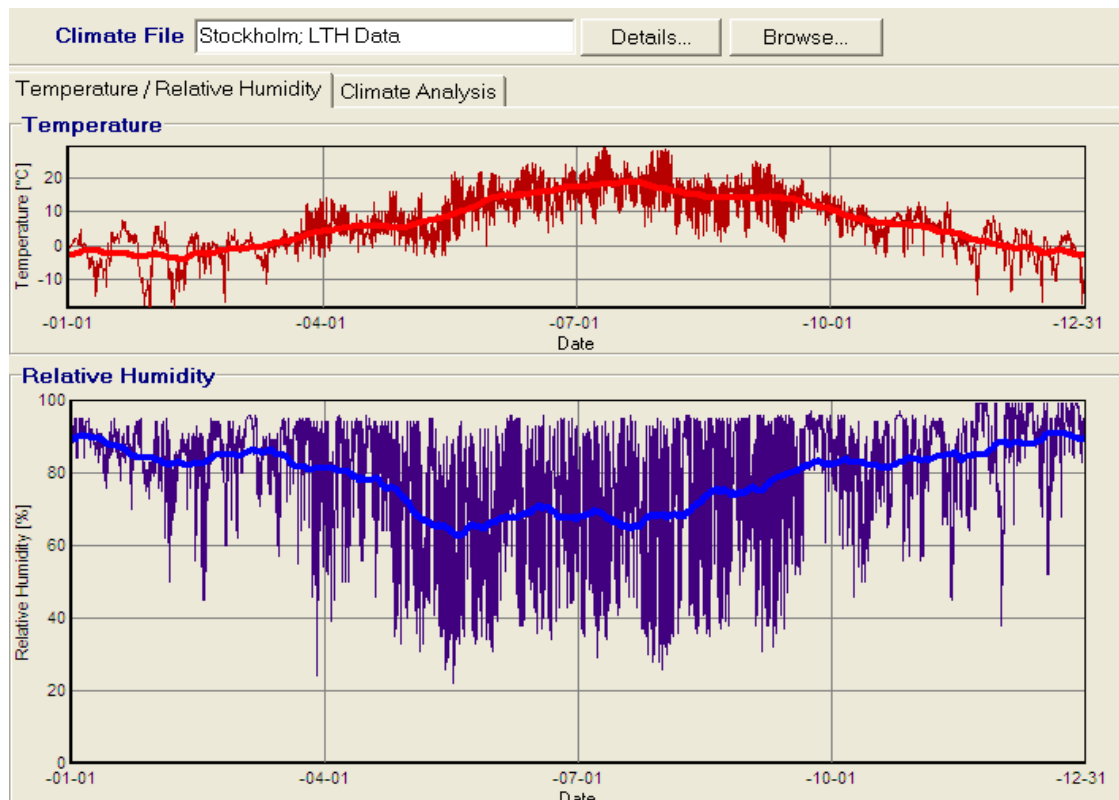


Diagram 3, Stockholms uteklimat med temperatur och relativa fuktigheten.

När det gäller inneklimat har standarden SS-EN13788 använts, den finns att välja i Wufi2D (se diagram 4). Standarden beräknar den relativa fuktigheten i inomhusklimatet utifrån den relativa fuktigheten i utomhusklimatet och beroende på vilken fuktklass som valts. Här valdes fuktklass 2 som motsvarar ett fukttillskott på  $4 \text{ g/m}^3$  när temperaturen är under  $0^\circ\text{C}$ . (Fukttillskottet minskar vid högre temperaturer än  $0$  grader Celsius, anledningen är att det förväntas vädras mer när utetemperaturen är högre). Inomhustemperaturen valdes till  $20^\circ\text{C}$ .

Ytkoefficienterna som användes i beräkningarna var de som rekommenderades i Wufi2D. (Innsida övergångskoefficient  $8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ , Utsida: övergångskoefficient  $17 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ ).

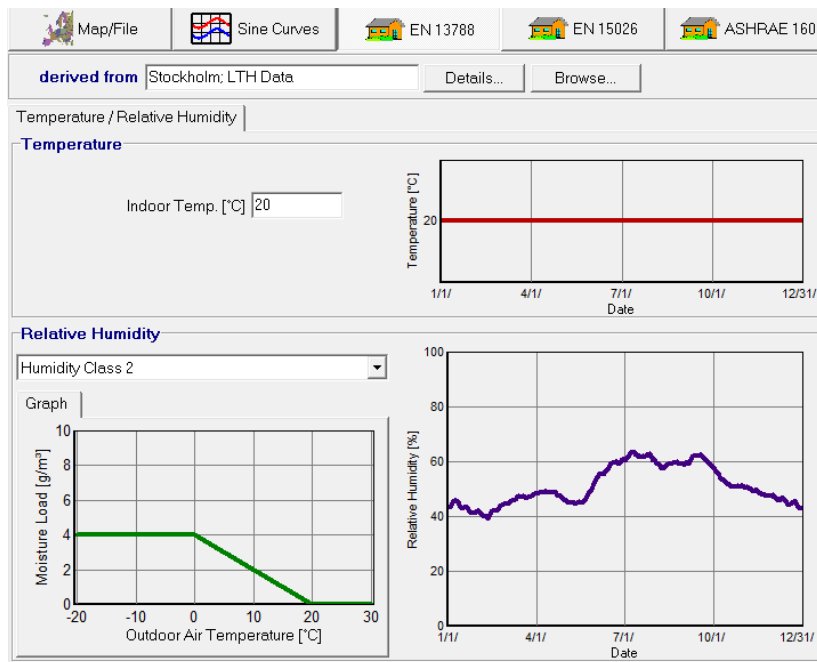


Diagram 4, inneklimatet beskrivet för Stockholm med standarden SS-EN13788.

6. Efter att ovanstående val hade gjorts kunde beräkningarna utföras. Beräkningarna startades den 1 oktober vilket valdes för att det förväntas vara en ogynnsam tid på året att torka byggfukt. Simuleringarna valdes att göras över en tvåårsperiod med ett tidssteg på en timme. Två år valdes för att kunna studera hur fuktkvoten varierar efter att byggfukten har torkat ut.

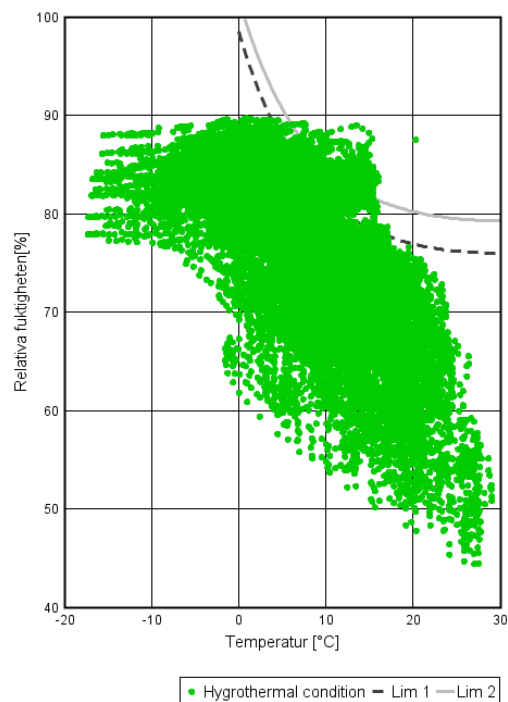
För varje väggtyp utfördes flera beräkningar med varierande inbyggnadsfuktkvoter i träreglarna. Det gjordes för att hitta var den kritiska inbyggnadsfuktkvoten är.

7. När beräkningarna var klara studerades resultatet med verktyget 'Wufi2D Motion' som visade hur RF, temperaturen och fukthalten varierade med tiden. Det gav indikationer på vad som skulle studeras mer ingående och hur fuktomlagringarna skedde.

Med hjälp av verktyget Wufi Graph hämtades isoplether (RF och temperatur) från träreglarnas yta (se diagram 5). Att det är ytan på träreglarna som är intressant beror på att det är där som mikrobiell tillväxt kan ske. I denna studie valdes det att studera sex olika ytor, på träreglarna, i varje vägg. Sex ytor valdes för att täcka in så stor del av träregeln som möjligt.

Isopletherna från Wufi Graph analyserades sedan i Wufi Bio. Där framkom det om det fanns någon risk för mögeltillväxt. I Wufi Bio visades resultaten i diagram över mögeltillväxten för den simulerade tiden (se exempel diagram 6). Exemplet med vägg 6.2 visar att mögeltillväxten sker under de första 2000 h då RF är hög, se diagram 7. Värdet för mögeltillväxten för de olika ytorna och väggarna lästes av, efter ett år, och sammanställdes i tabeller.

Vägg6.2u21 yta 2



Här visas isoplether över yta 2 för vägg 6.2. Varje grön prick representerar RF och temperatur för en timme. Om isoplether ligger under gränskurvorna (lim. 1 och lim. 2) anses det inte vara någon risk för mikrobiell tillväxt [11]. I detta fall ser det ut att finnas risk för mögeltillväxt men det är först när resultatet analyseras i Wufi Bio som man får reda på om det verkligen finns risk en för mögeltillväxt.

Diagram 5, isoplether från utsida träregel (yta 2) för vägg 6.2.

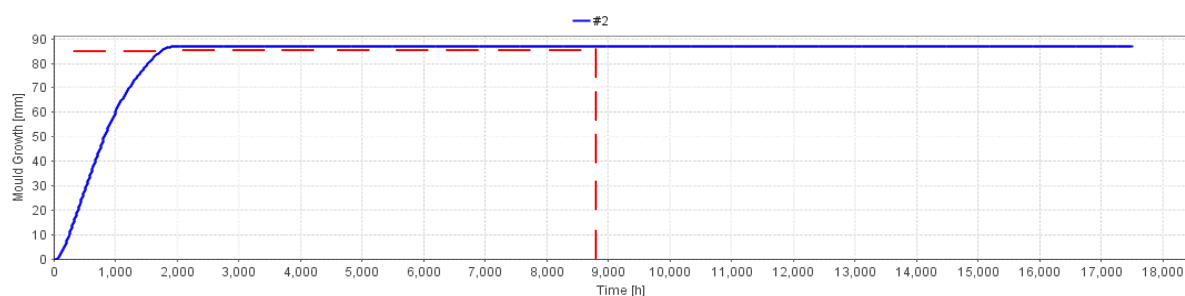


Diagram 6, mögeltillväxt för vägg 6.2 för insida träregel (yta 6) med en inbyggnadsfuktkvot på 21 %, risk för mikrobiell tillväxt är förhöjd. Den röda markeringen visar mögeltillväxten efter ett år.

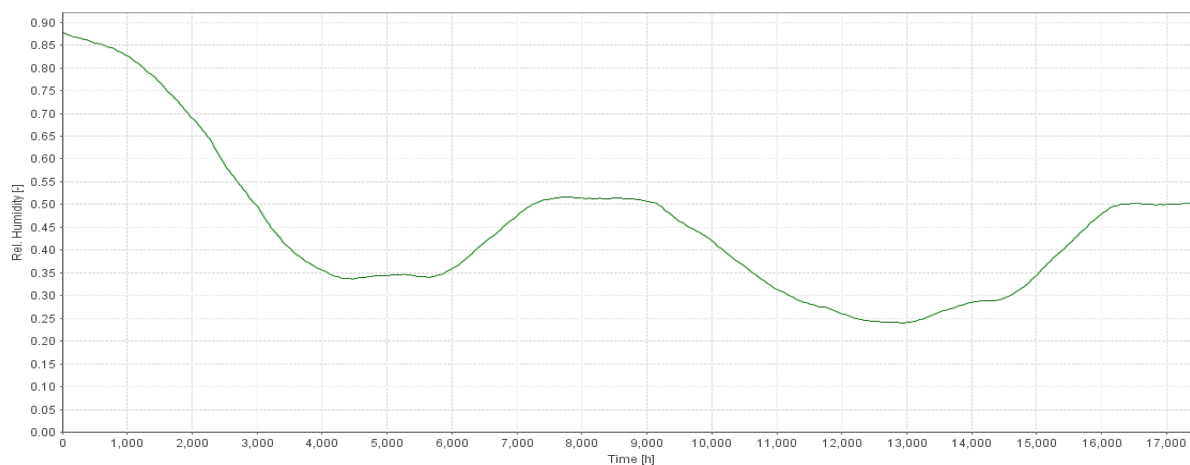


Diagram 7, RF för yta 6 och vägg 6.2.



## 6. Resultat/Analys

Här visas resultaten från Wufi Bio för väggarna, i ordningen 6.2, 7, 8 och 10. I samtliga väggar har sex ytor på träreglarna analyserats. I vägg 10 har dock ytterligare två ytor analyserats i isoleringen av cellulosafibrer. Vägg 6.2 har också beräknats med ett vindskydd med högre ångmotstånd (Sd 10) och med dubbla träreglar.

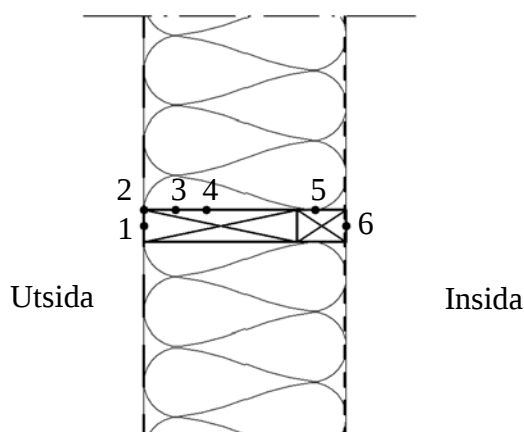
För att visa på om det är risk för mögeltillväxt, används tre olika markeringar. De tre olika markeringarna är: vit (låg risk), gul (förhöjd risk) och röd (hög risk), se tabell 5. Det är den yta på träregeln som har högst mögeltillväxt som avgör risknivån för den aktuella inbyggnadsfuktkvoten. Mögeltillväxt (mm/år) ska ses som ett index och inte ett visuellt mått på tillväxt. Resultaten är sammanställda i tabell och när någon av ytorna visar förhöjd nivå, är det förhöjd risk för den inbyggnadsfuktkvoten. Den nivån kallas för den kritiska inbyggnadsfuktkvoten vilket innebär att Wufi Bio varnar för risk för mögeltillväxt.

| Risk    | Markering | Mögeltillväxt $x$<br>[mm/år] |
|---------|-----------|------------------------------|
| Låg     | Vit       | $x < 50$                     |
| Förhöjd | Gul       | $50 \leq x < 200$            |
| Hög     | Röd       | $x > 200$                    |

Tabell 5, bedömning av risknivåer efter ett år.

## 6.1 Vägg 6.2

För vägg 6.2 är den kritiska inbyggnadsfuktkvoten 20 % och det är insida träregel som är mest kritisk för mikrobiell tillväxt, se figur 4 och tabell 6. Att det är insida träregel som är kritisk beror på att träregeln har en hög inbyggnadsfuktkvot och att det råder en temperatur på cirka 20 grader. En hög fuktkvot och en hög temperatur är gynnsamt för mikrobiell tillväxt. Att utsida träregel inte är kritisk tyder på att fukten lätt kan diffundera igenom vindduken och därför blir det inte någon kraftig ökning av fuktkvoten där. Det i kombination med att temperaturen är relativt låg på utsida träregel under den tid då byggfukten torkar ut (simuleringen startar den 1 oktober). För att få ett mer exakt värde för den kritiska inbyggnadsfuktkvoten har interpolering skett av de närliggande beräknade värden, se bilaga 2.



Figur 4, ytor som analyserats för vägg 6.2 (vindduk Sd 0,2).

| Inbyggnadsfuktkvot [%] | Yta 1 | Yta 2 | Yta 3 | Yta 4 | Yta 5 | Yta 6 | Riskenivå |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 15                     | 3     | 9     | 0     | 0     | 0     | 0     | Låg       |
| 17                     | 4     | 14    | 0     | 0     | 0     | 0     | Låg       |
| 19                     | 6     | 22    | 12    | 2     | 0     | 24    | Låg       |
| 21                     | 9     | 33    | 49    | 35    | 19    | 86    | Förhöjd   |
| 23                     | 14    | 48    | 113   | 87    | 46    | 169   | Förhöjd   |
| 25                     | 25    | 60    | 200   | 135   | 75    | 250   | Hög       |

Tabell 6, mögeltillväxt (mm/år) vid olika inbyggnadsfuktkvoter.

### 6.1.1 Vägg 6.2 med vindskydd (Sd 10)

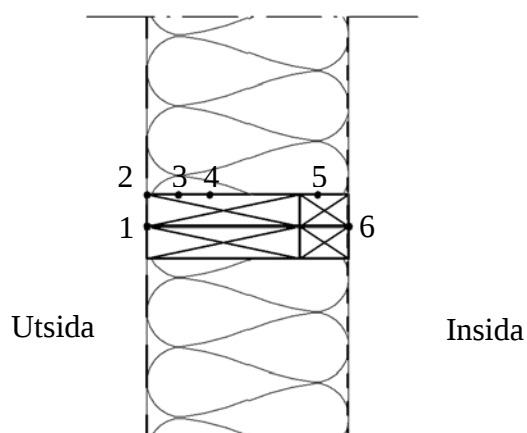
Vägg 6.2 beräknades även med ett vindskydd med högre ångmotstånd för att se hur det påverkar den kritiska inbyggnadsfuktkvoten. Det visade sig att när vägg 6.2 har ett vindskydd med högre ångmotstånd (Sd 10) hamnar den kritiska inbyggnadsfuktkvoten på 12 % istället för 20 % (se tabell 7). Mest kritisk för mikrobiell tillväxt är utsida träregel vilket beror på det täta vindskyddet. För att få ett bättre värde för den kritiska inbyggnadsfuktkvoten har interpolation gjorts för yta 2 där det är störst risk för mikrobiell tillväxt (se figur 4 och bilaga 2).

| Inbyggnadsfuktkvot [%] | Yta 1 | Yta 2 | Yta 3 | Yta 4 | Yta 5 | Yta 6 | Riskenivå |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 11                     | 0     | 30    | 0     | 0     | 0     | 0     | Låg       |
| 13                     | 10    | 142   | 2     | 0     | 0     | 0     | Förhöjd   |
| 15                     | 70    | 275   | 55    | 0     | 0     | 0     | Hög       |
| 17                     | 155   | 455   | 200   | 55    | 0     | 0     | Hög       |

Tabell 7, mögeltillväxt (mm/år) vid olika inbyggnadsfuktkvoter för vägg 6.2 med ett tätare vindskydd (Sd 10).

### 6.1.2 Vägg 6.2 med dubbla träreglar

Vägg 6.2 har beräknats med dubbla träreglar för att undersöka hur stora effekterna blir när extra träreglar används (se figur 5). (Extra träreglar kan exempelvis vara syll och kortlingar). Den kritiska inbyggnadsfuktkvoten, för vägg 6.2 med dubbla träreglar, är 19 % (se tabell 8). Det innebär att skillnaden för den kritiska inbyggnadsfuktkvoten för dubbla träreglar och en träregel är en procentenhet för den här väggen.



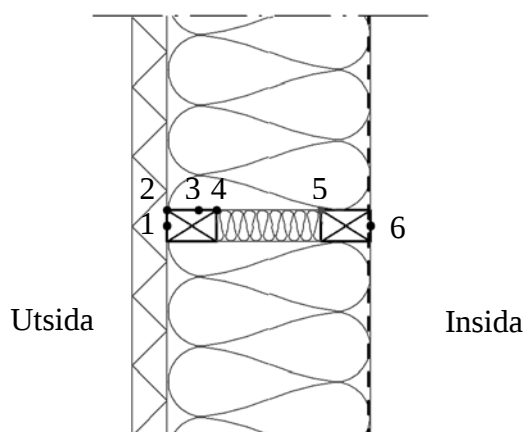
Figur 5, ytor som analyserats för vägg 6.2 (vindduk Sd-värde 0,2).

| Inbyggnadsfuktkvot [%] | Yta 1 | Yta 2 | Yta 3 | Yta 4 | Yta 5 | Yta 6 | Riskenivå |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 17                     | 3.5   | 15    | 0     | 0     | 0     | 0     | Låg       |
| 19                     | 5     | 22.5  | 9     | 1     | 0     | 54    | Förhöjd   |
| 21                     | 8     | 35    | 50    | 35    | 17    | 187   | Förhöjd   |

Tabell 8, mögeltillväxt (mm/år) vid olika inbyggnadsfuktkvoter för vägg 6.2 med dubbla träreglar.

## 6.2 Vägg 7

Den kritiska inbyggnadsfuktkvoten för vägg 7 är 18 % och det är utsida träregel som är mest kritisk (se figur 6 och tabell 9). Att det är utsida träregel som har förhöjd risk beror på att vindskyddet (Sd 1,5) är relativt ångtätt. (Jämför med vägg 8, som har likadan uppbyggnad förutom vindskyddet, där det var insida träregel som det var kritiskt för mikrobiell tillväxt). För att få ett mer exakt värde för den kritiska inbyggnadsfuktkvoten har interpolation gjorts för yta 2, där det är störst risk för mikrobiell tillväxt (se bilaga 2).



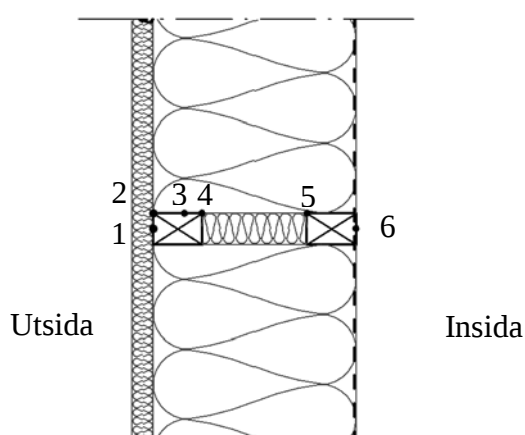
Figur 6, beskrivning av ytor för vägg 7 (vindskydd EPS cellplast Sd 1.5).

| Inbyggnadsfuktkvot [%] | Yta 1 | Yta 2 | Yta 3 | Yta 4 | Yta 5 | Yta 6 | Riskenivå |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 17                     | 0     | 28    | 3     | 7     | 0     | 0     | Låg       |
| 19                     | 25    | 125   | 80    | 52    | 0     | 31    | Förhöjd   |
| 21                     | 87    | 280   | 250   | 160   | 0     | 100   | Hög       |

Tabell 9, mögeltillväxt (mm/år) vid olika inbyggnadsfuktkvoter.

### 6.3 Vägg 8

Den kritiska inbyggnadsfuktkvoten för vägg 8 är 20 % och det är insida träregel som är den kritiska ytan (se figur 7 och tabell 10). Insida träregel är kritisk eftersom det är en hög inbyggnadsfuktkvot och att det råder en temperatur på cirka 20 grader vilket är gynnsamt för mikrobiell tillväxt. Att utsida träregel inte är kritisk beror på att fukten lätt kan diffundera igenom den yttersta mineralullen med lågt ångmotstånd och att det därför inte blir den kraftiga ökningen av fuktkvoten. Det i kombination med att temperaturen är relativt låg på utsida träregel under den tid då byggfukten torkar ut (simuleringen startar den 1 oktober). För att få ett bättre värde för den kritiska inbyggnadsfuktkvoten har interpolation gjorts för yta 6, som har störst risk för mikrobiell tillväxt (se bilaga 2).



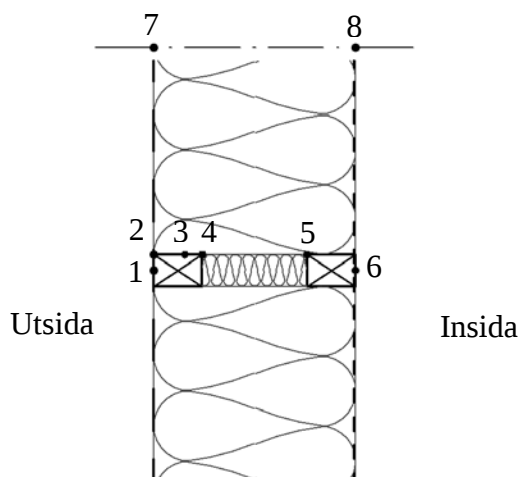
Figur 7, beskrivning av ytor för vägg 8, (vindskydd mu Sd-värde 0,04).

| Inbyggnadsfuktkvot [%] | Yta 1 | Yta 2 | Yta 3 | Yta 4 | Yta 5 | Yta 6 | Riskenivå |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 17                     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | Låg       |
| 19                     | 0     | 0     | 0     | 7     | 0     | 26    | Låg       |
| 21                     | 0     | 0     | 16    | 40    | 0     | 90    | Förhöjd   |
| 23                     | 0     | 0     | 50    | 88    | 16    | 175   | Förhöjd   |

Tabell 10, mögeltillväxt (mm/år) vid olika inbyggnadsfuktkvoter.

## 6.4 Vägg 10

Här har väggens träregel och cellulosaisoleringen analyserats. När det gäller träregeln är den kritiska inbyggnadsfuktkvoten 18 % och det är utsida träregel (se figur 8 och tabell 11) som är mest kritisk. Om hänsyn tas till cellulosafibren (behandlade i substratklass 2 i Wufi Bio) blir den kritiska inbyggnadsfuktkvoten 16 % för träregeln och den mest kritiska ytan blir 7 (se figur 8). Då har motsvarande RF för inbyggnadsfuktkvoten för träregeln angivits som fukttinnehåll för cellulosafibren. De kritiska inbyggnadsfuktkvoterna har interpolerats fram från de kritiska ytorna i tabell 11, se bilaga 2.



Figur 8, beskrivning av ytor för vägg 10 (vindduk Sd 0,2).

| Inbyggnadsfuktkvot [%] | Yta 1 | Yta 2 | Yta 3 | Yta 4 | Yta 5 | Yta 6 | Yta 7 | Yta 8 | Riskenivå |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 15                     | 3.5   | 17    | 1     | 1     | 0     | 0     | 38    | 0     | Låg       |
| 17                     | 5     | 24    | 15    | 34    | 0     | 0     | 75    | 0     | Förhöjd   |
| 19                     | 6     | 31    | 75    | 119   | 0     | 2     | 125   | 0     | Förhöjd   |
| 21                     | 10    | 40    | 190   | 212   | 10    | 102   | 165   | 0     | Hög       |

Tabell 11, mögeltillväxt (mm/år) vid olika inbyggnadsfuktkvoter.

## 6.5. Sammanställning resultat

Tabell 12 visar en sammanställning av resultatet för väggarna 6.2, 7, 8 och 10. Resultaten visar att den kritiska inbyggnadsfuktkvoten är lägre när ett vindskydd med högre ångmotstånd används, högre Sd-värde.

| Vägg | Vindskydd             | Ångbroms<br>(insida vägg) | Träregel           | Isolering  | Kritisk inbyggnads<br>fuktkvot [%] |
|------|-----------------------|---------------------------|--------------------|------------|------------------------------------|
| 6.2  | Vindduk (Sd0,2)       | Pe (Sd70)                 | Massiv regel       | Mineralull | 20                                 |
| 6.2  | Vindduk (Sd0,2)       | Pe (Sd70)                 | Massiv regel (2st) | Mineralull | 19                                 |
| 6.2  | Vindduk (Sd10)        | Pe (Sd70)                 | Massiv regel       | Mineralull | 12                                 |
| 7    | Cellplast EPS (Sd1,5) | Pe (Sd70)                 | Lättregel          | Mineralull | 18                                 |
| 8    | Mineralull (Sd0,04)   | Pe (Sd70)                 | Lättregel          | Mineralull | 20                                 |
| 10   | Vindduk (Sd0,2)       | Pe (Sd70)                 | Lättregel          | Cellulosa  | 18 (16 <sup>3</sup> )              |

Tabell 12, kritisk inbyggnadsfuktkvot för väggarna 6.2, 7, 8 och 10.

## 6.6 Omfördelning av fukt under ett år för vägg 6.2

Här visas ett exempel på hur fuktomlagringar sker i en vägg. Exemplet visar hur fukten omfördelas i vägg 6.2 med en inbyggnadsfuktkvot på 19 %, se figur 7-12. Diagrammen visar fukthalten i väggen, där fukthalten är proportionell mot fuktkvoten, se formel 6:1. Beräkningen startades den 1/10 (figur 9) och den 23/12 (figur 10) har en omfördelning av fukt skett till utsida träregel. Det är intressant att en lokal höjning av fukthalten sker eftersom det innebär större risk för mikrobiell tillväxt. Det innebär alltså att fuktkvoten på utsida träregel har ökat från en inbyggnadsfuktkvot på 19 %. Den 15/3 (figur 11) har fukthalten minskat något på utsida träregel men det är fortfarande en förhöjning mot den fukthalt som byggdes in.

Mellan mitten av maj och mitten av augusti sker en höjning av fukthalten på insida träregel, se figur 12 och 13. Höjningen av fukthalten i väggen beror på att ånghalten på sommaren är högre än på vintern. Denna höjning i vägg 6.2 bedöms inte göra någon skada eftersom det är långt ifrån de kritiska fukthalter som måste uppnås för att mikrobiell tillväxt ska ske.

Det viktiga är alltså att fuktomlagringar sker i väggarna och att en förhöjning av fukthalten (fuktkvoten) sker på utsida träregel vid uttorkning av byggfukt. Hur stor förhöjningen blir beror bland annat på hur tät vindduken/vindskivan är.

$$w = \rho \cdot u \quad [6:1]$$

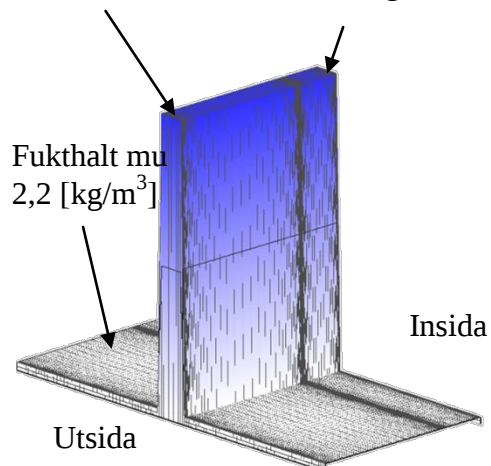
w = fukthalt [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho$  = densitet [kg/m<sup>3</sup>]

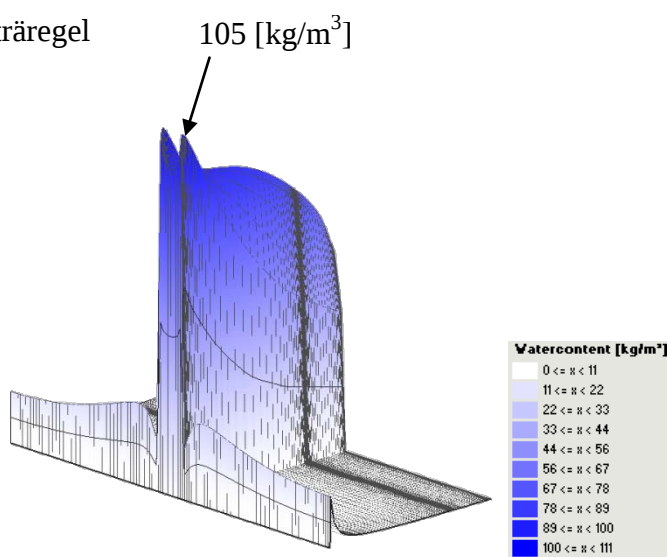
u = fuktkvot [%]

<sup>3</sup> Kritisk inbyggnadsfuktkvot blir 16 % när motsvarande RF har angivits som fukttinnehåll i cellulosaisoleringen. Kritiska ytan i väggen för mikrobiell tillväxt är då utsida cellulosaisolering.

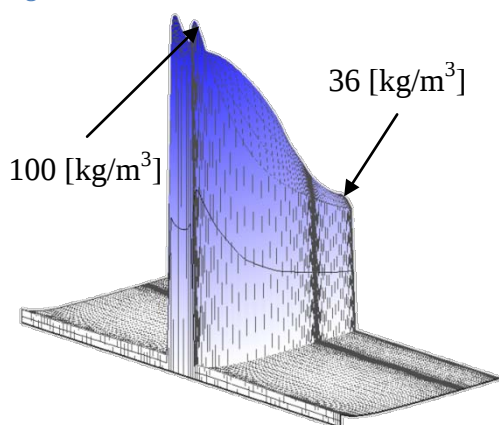
Fukthalt utsida träreger 86,5 [kg/m<sup>3</sup>]      Fukthalt insida träreger 86,5 [kg/m<sup>3</sup>]



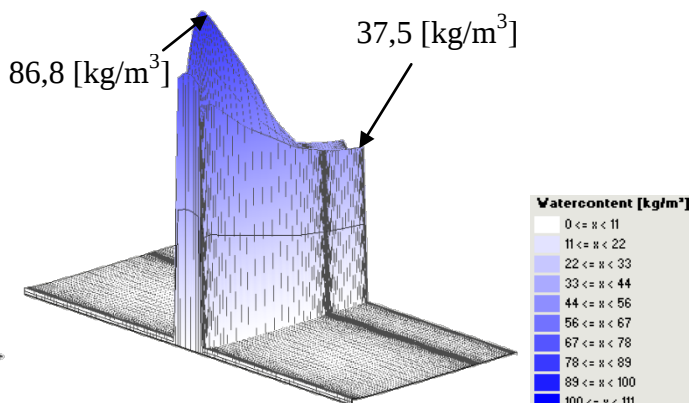
Figur 9, fukthalt vid 0h, 1/10.



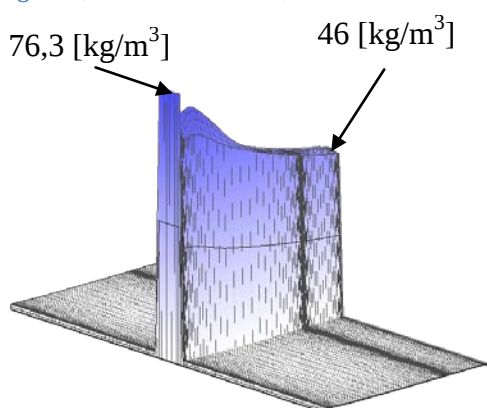
Figur 10, fukthalt vid 2000h, 23/12.



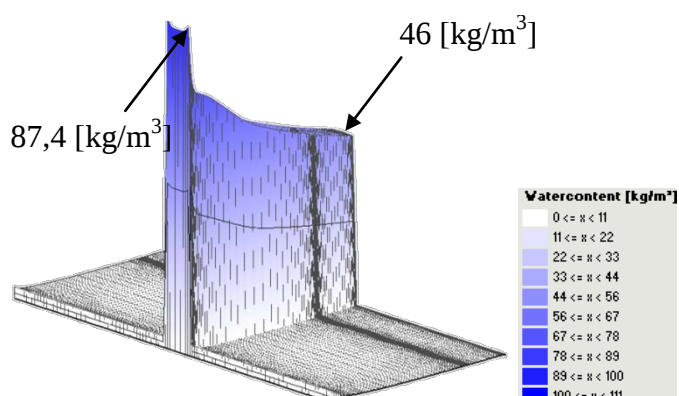
Figur 11, fukthalt vid 4000h, 15/3.



Figur 12, fukthalt 6000h, 7/6.



Figur 13, fukthalt vid 8000h, 29/8.



Figur 14, fukthalt vid 8760h, 30/9.

## 7. Slutsatser

Syftet med denna studie var att undersöka vad som är en rimlig nivå för fuktkvoten hos träreglar som byggs in i fyra olika välisolerade ytterväggar. Samt undersöka hur fuktomlagringar i dessa ytterväggar sker under första året då byggfukten ska torka ut och hur det påverkar väggkonstruktionerna. Därför kommer det här att redogöras för den kritiska inbyggnadsfuktkvoten och vad som är en rimlig inbyggnadsfuktkvot i träreglarna som används i de fyra olika väggarna.

### 7.1 Kritiska inbyggnadsfuktkvoten för mögeltillväxt

Vid analys av fuktomlagringar i väggarna kan man se att uttorkningen och fuktomlagringarna i träreglarna börjar direkt. Det som sker är att en del av fukten i träreglarna omfördelas till utsida träregel och därför får man en ökning av fuktkvoten där. Hur stor ökningen blir påverkas av vilket ångmotstånd som vindskyddet i väggen har. Desto tätare vindskydd desto högre blir fuktkvoten på utsida träregel. Ett tydligt exempel på det är vägg '6.2 med högre ångmotstånd' (som är ett extremt exempel men som använts för att påvisa effekten av en mycket ångtät vindskiva). Denna vägg har ett vindskydd med högt ångmotstånd ( $S_d 10$ ) vilket gör att fukten har svårare för att diffundera ut och därför blir den kritiska inbyggnadsfuktkvoten väldigt låg, 12 %. Det visar att även en låg inbyggnadsfuktkvot kan leda till mikrobiell tillväxt om vindskyddet är för ångtätt. Diagram 8 visar hur fuktkvoten varierar på utsida och insida träregel med en inbyggnadsfuktkvot på 13 %.

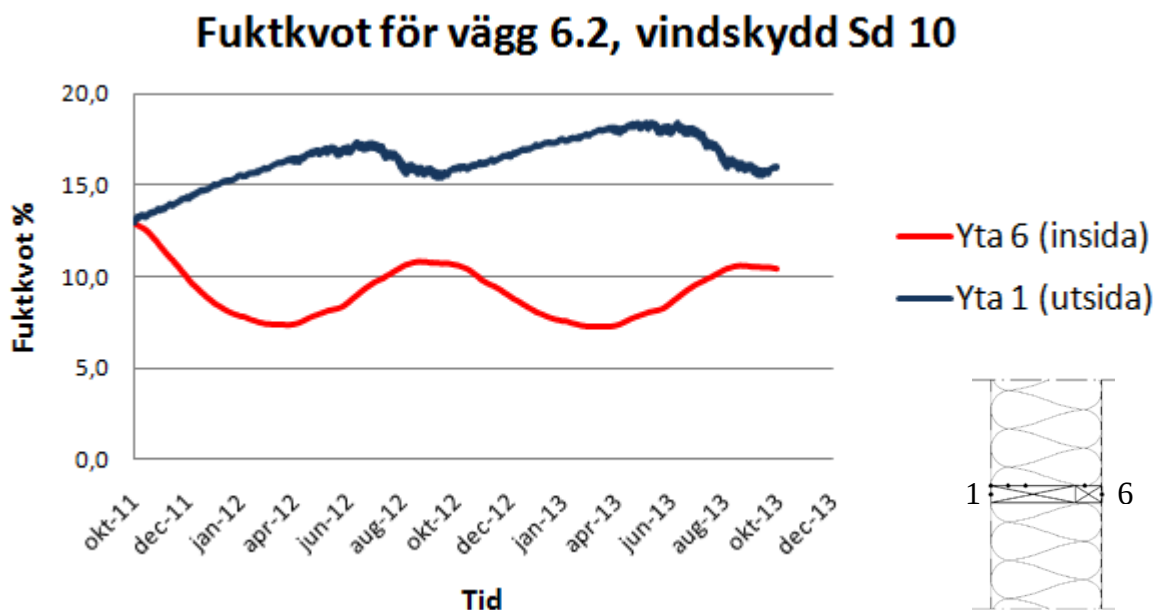


Diagram 8, fuktomlagringar i vägg 6.2, fiktivt vindskydd ( $S_d 10$ ).

Även vägg 7 påvisar att en ångtätare vindskiva har betydelse. Jämför man vägg 7 och vägg 8 som har likadan uppbyggnad förutom vindskydden, där vägg 7 har cellplast ( $S_d 1.5$ ) och vägg 8 har mineralull ( $S_d 0.04$ ). Resultaten visar att det skiljer två procentenheter på den kritiska inbyggnadsfuktkvoten för vägg 7 (18 %) och vägg 8 (20 %) vilket beror på hur ångtätt vindskyddet är.

Väggarna 6.2 och 8 har vindsydd med lågt ångmotstånd (Sd 0,2 och Sd 0,04). Även i dessa väggar omfördelas fukten i träreglarna till utsida träregel men på grund av att vindsydderna har ett lägre ångmotstånd kan fukten diffundera ut fortare än när ångtätare vindsydd används. Det är anledningen till att fuktkvoten inte ökar så kraftigt på utsida träregel och att väggarna tål en högre inbyggnadsfuktkvot än väggarna med högre ångmotstånd för vindsyddet.

Ett lågt ångmotstånd för vindduk/vindskiva behöver dock inte betyda att byggfukten i träregeln torkar ut fortare än ett högre motstånd. Vilken isolering som används påverkar nämligen också denna process vilket vägg 10 visar. Vegg 10 har isolerats med cellulosa istället för mineralull. Cellulosafibrer är ett starkare hygroskopiskt material än mineralull vilket innebär att det innehåller mer fukt vid samma relativa fuktighet. Det har gjort att det tagit längre tid för byggfukten att torka ut i träregeln även om en vindduk med lågt ångmotstånd (Sd 0,2) har använts.

Studiens resultat visar därmed att det är stor skillnad på den kritiska inbyggnadsfuktkvoten beroende på hur ytterväggarna är uppbyggda. I tabell 13 framkommer vilken som är den kritiska inbyggnadsfuktkvoten för träregeln i de olika väggarna. En rimlig nivå för inbyggnadsfuktkvoten ligger således under den kritiska inbyggnadsfuktkvoten, vilket kommer diskuteras mer under rubrik '7.2 Rimlig fuktkvot'.

| Vägg | Vindsydd              | Ångbroms<br>(insida vägg) | Träregel           | Isolering  | Kritisk inbyggnads<br>fuktkvot [%] |
|------|-----------------------|---------------------------|--------------------|------------|------------------------------------|
| 6.2  | Vindduk (Sd0,2)       | Pe (Sd70)                 | Massiv regel       | Mineralull | 20                                 |
| 6.2  | Vindduk (Sd0,2)       | Pe (Sd70)                 | Massiv regel (2st) | Mineralull | 19                                 |
| 6.2  | Vindduk (Sd10)        | Pe (Sd70)                 | Massiv regel       | Mineralull | 12                                 |
| 7    | Cellplast EPS (Sd1,5) | Pe (Sd70)                 | Lättregel          | Mineralull | 18                                 |
| 8    | Mineralull (Sd0,04)   | Pe (Sd70)                 | Lättregel          | Mineralull | 20                                 |
| 10   | Vindduk (Sd0,2)       | Pe (Sd70)                 | Lättregel          | Cellulosa  | 18 (16 <sup>4</sup> )              |

Tabell 13, kritisk inbyggnadsfuktkvot för väggarna 6.2, 7, 8 och 10.

## 7.2 Rimlig fuktkvot

För att kunna avgöra en rimlig inbyggnadsfuktkvot för de olika träreglarna i de olika väggarna är det intressant att veta den lägre och den högre nivån för inbyggnadsfuktkvoten. Den lägre nivån motsvarar den fuktkvot träreglarna kommer att hålla när byggfukten har torkat ut. I diagram 9 visas hur fuktkvoten för träreglarna, med en inbyggnadsfuktkvot på 19 %, varierar i de fyra väggarna under två år. Efter drygt ett år har byggfukten torkat ut och under det andra året varierar fuktkvoten mellan cirka 9,5 och 12,5 % i träreglarna. Det innebär att det inte är intressant att torka reglarna mer än 12,5 % eftersom det skulle innebära att träreglarnas fuktkvot skulle höjas under vissa tider av året. Därför sätts en nedre gräns för fuktkvoten på 12,5 %, vilket får ses som en grov uppskattning som representerar alla de fyra väggarna.

<sup>4</sup> Kritisk inbyggnadsfuktkvot blir 16 % när motsvarande RF har angivits som fukttinnehåll i cellulosaisoleringen. Kritiska ytan i väggen för mikrobiell tillväxt är då utsida cellulosaisolering.

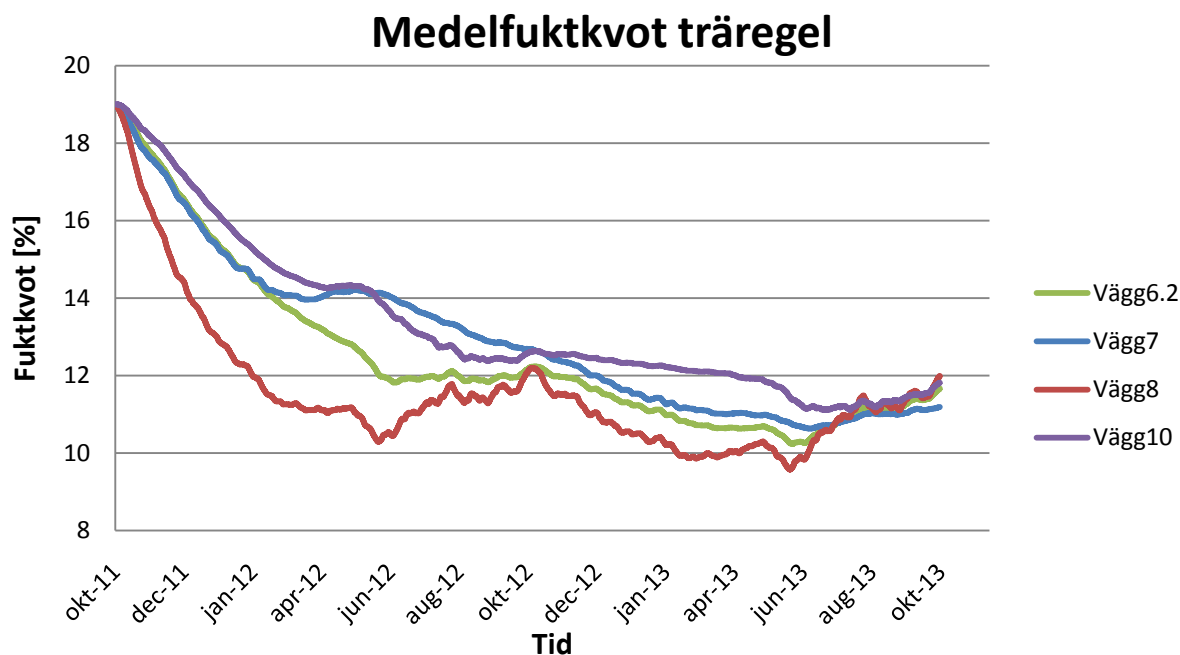


Diagram 9, medelfuktkvoten i träreglarna för väggarna 6.2, 7, 8 och 10.

För att fastställa den övre gränsen för inbyggnadsfuktkvoten ligger följande 2 argument till grund:

- 1) Den del av väggarna som har simulerats har representerat ett snitt i en vägg där det inte finns några extra träreglar som exempelvis syllar och kortlingar. En vägg bör dock klara dubbla regler och därför gjordes en beräkning av vägg 6.2 med dubbla massiva träreglar. Det ledde till att den kritiska inbyggnadsfuktkvoten sänktes med en procentenhet, från 20 till 19 %. När vägg 6.2:s rimliga inbyggnadsfuktkvot skulle bestämmas togs det resultatet i beaktning. De andra väggarna, som har lättreglar istället för massivreglar, har dock inte beräknats med dubbla lättreglar. Dock har bedömning gjorts att den rimliga inbyggnadsfuktkvoten borde sänkas med en halv procentenhet från de resultat som visas för en lättregel. Anledningen till att lättregeln sänks med en halv procentenhet (istället för en hel) beror på att de innehåller ungefär hälften så mycket trävirke som en massiv träregel.
- 2) Efter att den kritiska inbyggnadsfuktkvoten av dubbla träreglar har beräknats för väggarna dras en procentenhet bort. Det är för att ha marginal till den kritiska inbyggnadsfuktkvoten som innebär förhöjd risk för mögeltillväxt.

Det som behöver beaktas är att om man överskrider den övre gränsen för en rimlig inbyggnadsfuktkvot så ökar risken för mögeltillväxt kraftigt. I diagram 10 beskrivs mögeltillväxten som funktion av inbyggnadsfuktkvoten för vägg 6.2 (med en träregel). Den väggen accepterar nämligen en inbyggnadsfuktkvot på 19 % utan risk för mikrobiell tillväxt men om den höjs till 20 % finns det en förhöjd risk för mögeltillväxt på insida träregel, se yta 6.

Utifrån ovanstående resonemang har följande uppskattning gjorts för vad som kan vara en rimlig inbyggnadsfuktkvot för väggarna 6.2, 7, 8 och 10:

- För **vägg 6.2** uppskattas en rimlig inbyggnadsfuktkvot vara mellan **12,5-18 %**.
- För **vägg 7** uppskattas en rimlig inbyggnadsfuktkvot vara mellan **12,5-16,5 %**.
- För **vägg 8** uppskattas en rimlig inbyggnadsfuktkvot vara mellan **12,5-18,5 %**.
- För **vägg 10** uppskattas en rimlig inbyggnadsfuktkvot vara mellan **12,5-16,5(14,5<sup>5</sup>) %**

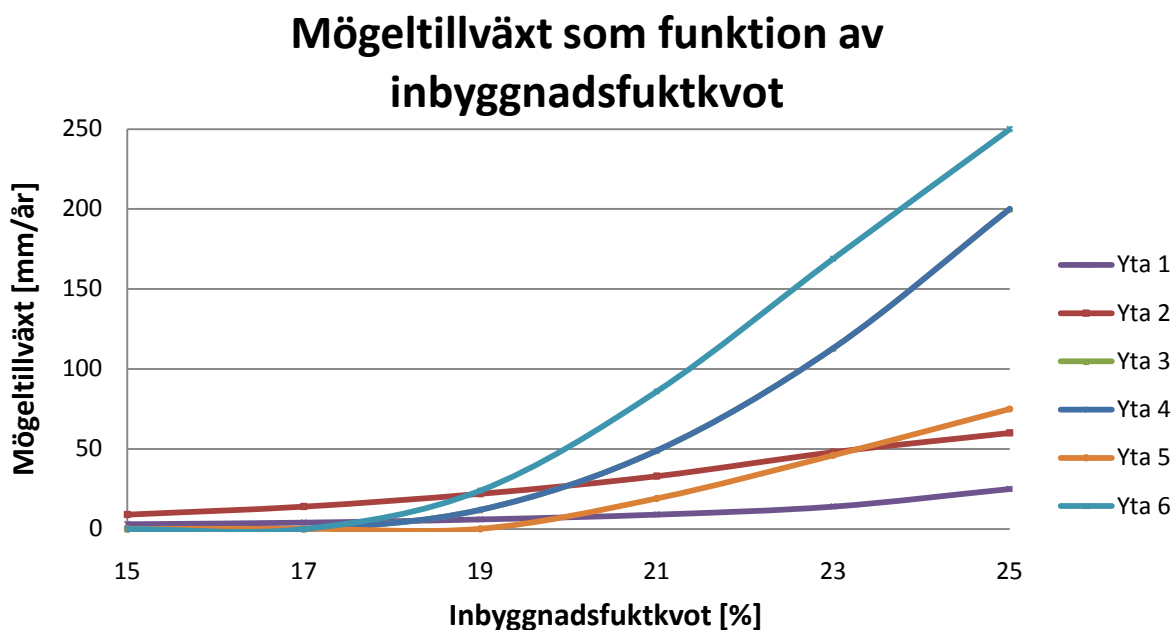


Diagram 10, mögeltillväxten som funktion av fuktkvoten för vägg 6.2 (en träregel), över 50mm/år innebär förhöjd risk för mikrobiell tillväxt.

---

<sup>5</sup> Kritisk inbyggnadsfuktkvot blir 14,5 % när motsvarande RF har angivits som fukttinnehåll i cellulosaisoleringen. Kritiska ytan i väggen för mikrobiell tillväxt är då utsida cellulosaisolering

## 8. Rekommendationer

Denna studie visar alltså att inbyggnadsfuktkvoten bör ligga mellan 12,5-18,5 %. HusAMA rekommenderar en högsta målfuktkvot på 15 procent i inbyggt trävirke vilket betyder att medelfuktkvoten för trävirke ska ligga mellan 13 % och 16,5 % samt att 93,5 % av virket inte får vara fuktigare än 19,5% eller torrare än 10,5 % [9]. Denna studie visar dock att om träreglar med en fuktkvot på 19,5 % används i välisolerade väggar finns det förhöjd risk för mikrobiell tillväxt, vilket kan antyda att HusAMAs målfuktkvot borde sänkas. Att HusAMA dessutom tillåter att några procent av virket har en högre fuktkvot än 19,5 % innebär en högre risk, enligt denna undersökning, för mögeltillväxt i välisolerade hus. Det finns planer på att höja målfuktkvoten [10], vilket inte verkar rimligt. Denna undersökning pekar istället på att målfuktkvoten borde sänkas för att kunna följa BBR:s krav; ”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa.” [5]

Denna studie har också visat att det är skillnad på hur mycket byggfukt en väggkonstruktion kan klara av utan att det finns risk för mögeltillväxt. Följande punkter är därför viktiga att beakta:

1. Beakta diffusionsmotstånd för vindsydd vilka har stor påverkan vid uttorkning av byggfukt.
  - En yttervägg med en vindduk/vindskiva med ett lågt ångmotstånd klarar en högre inbyggnadsfuktkvot i träreglarna utan risk för mikrobiell tillväxt.
  - En yttervägg med en vindduk/vindskiva med ett högre ångmotstånd klarar en lägre inbyggnadsfuktkvot i träreglarna utan risk för mikrobiell tillväxt.
2. Undersök vilken inbyggnadsfuktkvot som byggs in (fuktkvotsmätning) i förhållande till vad konstruktionen klarar (fuktprojektering):
  - För att få en uppskattning av hur mycket byggfukt en konstruktion klarar är det bra att göra en fuktsimulering med det tänkta klimatet



## 9. Framtida forskning

I denna studie simulerades väggarna vända mot norr men det skulle även vara intressant att undersöka väggarna vända mot de övriga väderstrecken, skulle resultaten då bli annorlunda? Det vore också intressant att utreda om det finns behov för att ha olika målfuktkvoter för olika väggkonstruktioner då HusAMAs högsta tillåtna målfuktkvot verkar vara för hög för välisolerade väggar.

Ytterligare en idé till forskning vore att utreda vad en rimlig inbyggnadsfuktkvot är för träreglar i takkonstruktioner, tänker speciellt på parallelltak som är utsatta för uteklimat (solstrålning, nattstrålning) och inneklimat (med fuktbelastning).



# Referenser

## Tryckta källor

- [1] Nevander, L E. & Elmarsson, B., *Fukthandbok Praktik och teori*, Stockholm: AB Svensk Byggtjänst, 1994
- [2] Burström, P-G. *Byggnadsmaterial*, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper, Lund: Studentlitteratur, 2001
- [3] Geving, S. & Holme, J., *Høyisolerte konstruksjoner og fukt*, Analyse av fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse i yttervegger, tak, kryperom og kalde loft Oslo: Sintef Byggforsk, 2011

## Webbaserade källor

- [4] Sedlbauer K., *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*, 2011-05-15, [http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/ks\\_dissertation\\_e.pdf](http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/ks_dissertation_e.pdf)
- [5] Boverkets byggregler, 6 *Hygien, hälsa och miljö*, 2011-04-01, <http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2011/BBR%2018/6%20Hygien%20halsa%20miljo%20-%20BBR%2018.pdf>
- [6] Paroc, *Energikloka konstruktioner*, 2011- 05-01 [http://www.stenull.paroc.se/produktdat/pdf\\_down/Energikloka\\_konstruktioner.pdf](http://www.stenull.paroc.se/produktdat/pdf_down/Energikloka_konstruktioner.pdf)
- [7] Nationalencyklopedin, 2011-05-10, <http://www.ne.se/>
- [8] Wufi, 2011-04-15, <http://www.wufi.de>
- [9] HusAMA, 2011-04-25, <http://ama.byggtjanst.se/Sok.aspx?q=m%c3%a5lfuktkvot>

## Muntliga källor

- [10] Samuelsson Bo, kundsupport Hus AMA, Svensk Byggtjänst

## Datorprogram

- [11] Wufi2D 3.3, hjälpfunktion
- [12] Wufi Bio 3.0, hjälpfunktion



## **Bilagor**

Bilaga 1 Fuktkvot, Fukthalt och RF för träregel.

sid b

Bilaga 2 Kritiska inbyggnadsfuktkvoten.

sid c-d

## Bilaga 1

Beräkning av fukthalt genom formel [1] och RF beräknades av Wufi2D.

$$w = \rho \cdot u \quad [1]$$

w = fukthalt [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho$  = densitet [kg/m<sup>3</sup>]

u = fuktkvot [%]

Densitet gran:

455[kg/m<sup>3</sup>]

| Fuktkvot<br>[%] | Fukthalt<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | RF<br>[%] |
|-----------------|----------------------------------|-----------|
| 11              | 50.1                             | 56.3      |
| 13              | 59.2                             | 66.4      |
| 15              | 68.3                             | 72.3      |
| 17              | 77.4                             | 78.3      |
| 19              | 86.5                             | 83.2      |
| 21              | 95.6                             | 87.8      |
| 23              | 104.7                            | 91.1      |
| 25              | 113.8                            | 93.3      |

## Bilaga 2

### Kritiska inbyggnadsfuktkvoten

Här har mögeltillväxten beräknats för inbyggnadsfuktkvoter som ligger mellan två beräknade värden. Det har gjorts genom att ta medelvärdet för mögeltillväxten för redan beräknade inbyggnadsfuktkvoter.

### Vägg 6.2

Mögeltillväxt för inbyggnadsfuktkvoten 20 % och yta 6:

$$\frac{(24+86)}{2} = 55 \text{ [mm/år]}$$

Förhöjd risk för mikrobiell tillväxt.

### Vägg 6.2 med vindskydd (Sd 10)

Mögeltillväxt för inbyggnadsfuktkvoten 12 % och yta 2:

$$\frac{(30+142)}{2} = 86 \text{ [mm/år]}$$

Förhöjd risk för mikrobiell tillväxt.

### Vägg 6.2 med dubbla träreglar

Mögeltillväxt för inbyggnadsfuktkvoten 18 % och yta 6:

$$\frac{(0+54)}{2} = 27 \text{ [mm/år]}$$

Låg risk för mikrobiell tillväxt.

### Vägg 7

Mögeltillväxt för inbyggnadsfuktkvoten 18 % och yta 2:

$$\frac{(125+28)}{2} = 76,5 \text{ [mm/år]}$$

Förhöjd risk för mikrobiell tillväxt.

### Vägg 8

Mögeltillväxt för inbyggnadsfuktkvoten 20 % och yta 6:

$$\frac{(26+90)}{2} = 58 \text{ [mm/år]}$$

Förhöjd risk för mikrobiell tillväxt.

### **Vägg 10**

Mögeltillväxt för inbyggnadsfuktkvoten 16 % och yta 7:

$$\frac{(38+75)}{2} = 56,5 \text{ [mm/år]}$$

Förhöjd risk för mikrobiell tillväxt.

Mögeltillväxt för inbyggnadsfuktkvoten 18 % och yta 4:

$$\frac{(34+119)}{2} = 76,5 \text{ [mm/år]}$$

Förhöjd risk för mikrobiell tillväxt.