

# Fuktanalys av klimatvind

- Mögelproblematik på vindsutrymme.



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Bygg- och miljöteknik / Byggnadsfysik

Examensarbete:  
Marcus Ingelsson  
Marcus Olsson

©Copyright Marcus Ingelsson, Marcus Olsson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lundsuniversitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2013

## Sammanfattning

På dagens kallvindar finns det utbredda problem av mögelangrepp till följd av det fuktiga klimatet. Anledningen till mögelangreppen är den tjocka isoleringen och avsaknaden av skorstensstocken som gör att temperaturen sjunker på vinden. Mögelangreppen beror även på mindre ventilation, att vindsutrymmet används som förvaringsutrymme samt luftläckage genom vindsluckan. En lösning på detta skulle kunna vara att isolera taket utvändigt för att höja temperaturen för att sänka den relativa fuktigheten i vindsutrymmet.

Syftet med examensarbetet var att studera händelseförloppet, ur en fuktsynpunkt, efter montering av isolering utanpå taket. Vi analyserade en vald konstruktion för att se om det fanns risk för mögelpåväxt i framtiden.

Målet var att få en utvärdering av mögelrisk på denna takkonstruktion.

Tillvägagångssättet för att utvärdera konstruktionen började med tester i värme- och fuktberäkningsprogrammet WUFI. Med de valda parametrarna analyserade vi de olika testen. För att bedöma mögelrisken använde vi oss av dosmodellen och folosdiagrammet. De är hjälpmedel som gav oss en fingervisning om konstruktionen är lämplig eller ej.

Med högre luftomsättning klarar konstruktionerna sig bättre för att fukten transporteras bort. Att isolera taket sänkte mögelrisken i norra Sverige men inte i södra delen.

Resultaten visade att parametrarna som påverkade mögelrisken mest var klimatet och slagregnsläckaget som vi antog trängde in.

Vår valda takkonstruktion fungerar bra så länge man uppnår ett bra tätskikt som skyddar mot utvändigt läckage. Denna takkonstruktion lämpar sig bättre i norra Sverige där klimatet skiljer sig från den södra delen.

Nyckelord: Fuktanalys, klimatvind, mögel, kallvind, WUFI.

## Abstract

In the today's cold attics are wide problems with mould onset due to the humid climate in the attic. The reason for the mould damage are the thick insulation and absence of the chimney stock that makes the temperature drops in the attic. The mould onset is also due to less ventilation, the attic space is used as a storage room and air leakage through the attic hatch. A solution could be to isolate the outside of the roof to raise the temperature and lower the relative humidity in the attic space.

The purpose of this thesis was to study the course of events, from a moisture point of view, after laying insulation externally on the roof. We analyzed a chosen construction for the risk of future mould growth.

The goal was to reach an evaluation of mould risk on this roof construction.

The approach to evaluate the construction started with tests in the heat and moisture calculation program WUFI. We analyzed the different tests with the chosen parameters. We used Mould Resistance Design Model and Folos mould chart to evaluate the mould risk. These are tools that gave us a hint if the construction is suitable or not.

Higher air circulation was better for the construction because it carries away moisture. Insulating the roof lowered the mould risk in northern Sweden but not in the south.

The results showed that the parameters that had the largest effect on the mould risk were the climate and the leakage from driving rain that we assumed penetrated.

Our chosen roof construction works well as long as a good waterproofing, to protect against outside leakage, is achieved. This roof construction is more suitable in northern Sweden where the climate differs from the south.

Keywords: Moistureanalysis, climateattic, mould, cold attic, WUFI.

## **Förord**

Examensarbetet är den avslutande delen av högskoleingenjörsutbildningen byggt teknik med arkitektur på Lunds Tekniska Högskola. Det omfattar 22,5 högskolepoäng. Arbetet är genomfört på avdelningen för byggnadsfysik på LTH och på Skanska.

Till vår handledare på LTH, Petter Wallentén som har bidragit med många långa diskussioner och bra uppbackning, vill vi ägna ett stort tack. Vi vill även tacka våra handledare på Skanska, Urban Weidmar och Magnus Persson, för deras hjälpinsatser med arbetet.

Till vår examinator Lars-Erik Harderup, tack.

Lund, juni 2013

Marcus Olsson  
Marcus Ingelsson

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>Förord</b> .....	<b>III</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Problemformulering</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Syfte och målsättning</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Litteraturstudie</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Nulägesanalys</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Lösningar och analyser</b> .....	<b>4</b>
<b>2.3 Mögelmodell</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Teori</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1 Regler och riktlinjer</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2 Klimatvind</b> .....	<b>9</b>
<b>3.3 Mögel</b> .....	<b>10</b>
3.3.1 Kriterier.....	10
3.3.2 Kritisk nivå.....	11
3.3.3 Hälsa .....	12
3.3.4 Mögelsvampar & Blånadssvampar .....	13
3.3.5 Rötsvampar .....	13
3.3.6 Mögelbeteende.....	14
<b>3.4 WUFI</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5 Dosmodellen</b> .....	<b>16</b>
<b>3.6 Folos 2D visual mould chart</b> .....	<b>19</b>
<b>3.7 Beskrivning av vår valda takkonstruktion</b> .....	<b>21</b>
<b>4 Metod</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1 Avgränsning</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2 Randvillkor</b> .....	<b>24</b>
4.2.1 Klimatdata .....	24
4.2.2 Fuktklasser .....	24
<b>4.3 Luftomsättning</b> .....	<b>24</b>
<b>4.4 Handberäkningar</b> .....	<b>25</b>
4.4.1 Luftomsättning på vinden .....	25
4.4.2 Läckage genom ångspärr.....	26
<b>4.5 Simulering</b> .....	<b>29</b>
4.5.1 Inställningar .....	29
4.5.1.1 Uppbyggnad/Monitorposition.....	29
4.5.1.2 Orientering/Lutning/Höjd .....	30

4.5.1.3 Ytövergångskoefficient .....	30
4.5.1.4 Begynnelsevillkor.....	31
4.5.1.5 Tid/Profil .....	31
4.5.1.6 Numerik.....	31
4.5.1.7 Utomhus.....	31
4.5.1.8 Inomhus.....	32
4.5.2 Parametrar .....	32
4.5.3 Begränsningar.....	32
<b>4.6 Mögelriskanalys.....</b>	<b>33</b>
<b>5 Resultat och analys .....</b>	<b>36</b>
5.1 De viktigaste parametrarna.....	36
5.2 Fler parametrar .....	40
5.3 Resultatskarta.....	45
5.4 Analys Lund.....	45
5.5 Analys Luleå .....	46
5.6 Djupanalys av två fall i Lund.....	47
5.7 Djupanalys av två fall i Luleå .....	50
<b>6 Felanalys .....</b>	<b>54</b>
6.1 Modell och verklighet.....	54
6.2 Felkällor i simuleringar .....	55
<b>7 Diskussion.....</b>	<b>57</b>
<b>8 Slutsats.....</b>	<b>60</b>
<b>9 Förslag på fortsatta studier .....</b>	<b>61</b>
<b>10 Källförteckning.....</b>	<b>62</b>
<b>11 Bilagor .....</b>	<b>65</b>
11.1 Bilaga 1.....	65





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I dagens samhälle står miljö och resursanvändning alltid i fokus. Med bättre teknik och hårdare krav byggs husen med både lägre klimatpåverkan och lägre energianvändning. Förr läckte en större del av värmen upp på vinden än det gör idag, det var då mindre isolering och vanligare med en varm skorstensstock i fastigheten. Spillvärmen torkade ut vinden och det uppstod inte mycket fuktrelaterade problem. I en rapport från Boverket (Boverket 1) framgår det att fukt- och mögelskador på kallvindar har blivit vanligare. Trots att husen är tätare och mindre fukt tränger genom vindsbjälklaget så är det ofta fuktproblem på vinden. Fukten kommer från uteluften eller från läckage genom vindsbjälklaget och när den möter kall råsponnt blir det hög relativ fuktighet vilket kan resultera i mögel. Det är inte bara nya välisolerade hus där risken är stor för att få problem med fukt och mögel. Många av de äldre husen tilläggsisolerar men inga lufttätande åtgärder görs. Till följd av den lägre temperaturen på vinden ökar risken för mögel. Med anledning av problemen på kallvindar har man tagit fram olika lösningar. En är att isolera på utsidan av råsponnten och inte bara i vindsbjälklaget, ofta kallas detta klimatvind. Vi har använt detta ord för att beskriva konstruktionen. Med utvändig isolering på taket höjs temperaturen i råsponnten vilket gör att den relativa fuktigheten sänks. Problem med lägre temperatur i råsponnten på grund av nattutstrålningen minimeras vid användning av utvändig isolering. Med hjälp av denna metod hoppas man att många fukt- och mögelproblem kan undvikas.

Skanska finns i delar av Europa, Amerika och Latinamerika och är ett av världens största byggföretag. De arbetar med hus- och anläggningsbyggande, utveckling av bostäder, utveckling av kommersiella lokaler och utveckling av infrastruktur. Det är hus- och anläggningsbyggande som är Skanskas största verksamhet. På lämpliga husprojekt bygger Skanska klimatvindar (Skanska).

## 1.2 Problemformulering

Med detta examensarbete vill vi ta reda på följande frågor:

- Hur fungerar vår valda klimatvindslösning?
- Hur påverkar olika parametrar risken för mögel?

### **1.3 Syfte och målsättning**

Detta examensarbete görs för att kontrollera risken för fukt- och mögelproblem på klimatvindar. Takkonstruktionen på vårt valda objekt liknar andra lösningar som finns på marknaden. Personalen på Skanska tror att det är en bra och säker lösning men de vill ha mer information om hur stor påverkan cellplasten och ventilationen har.

Vi vill säkerställa kvaliteten på vår klimatvind. Vi kommer att utvärdera en av de kritiska punkterna, hur den utvändiga isoleringen på taket påverkar risken för fukt- och mögelskador. Utvärderingen av huset ska vi sammanställa till en helhetsbild av ämnet. Vi vill sprida kunskap om hur man kan bygga en klimatvind med befintliga material för att bygga bättre hus.

Arbetet genomförs som en parameterstudie. Variablerna vi kommer att använda är bland annat isolertjocklek, ventilation, läckage, klimat.

## 2 Litteraturstudie

### 2.1 Nulägesanalys

Rapporten "God bebyggd miljö – förslag till nytt delmål för fukt och mögel" (Boverket 1) är framtagen av Boverket på regeringens begäran. Precis som titeln nämner så innefattar rapporten i vilken omfattning som mögelpåväxten finns i våra hus och hur den påverkar oss. Målet med rapporten är att ge förslag om nya delmål för fukt och mögel, för att kunna jobba vidare med att få en bra inomhusmiljö i byggnadsbeståndet. Även ekonomiska konsekvensanalyser ingår i rapporten för att visa på kostnaderna som fukt och mögelskador åsamkar.

Utredningen omfattar 1800 statistiskt valda byggnader för att spegla det svenska byggnadsbeståndet. De 1800 objekten är en blandning av olika hustyper som har genomgått en teknisk besiktning.

Fukt och mögelskador anses finnas i 36 % av det svenska beståndet. Det motsvarar 751 000 byggnader. I den siffran har det inte tagits hänsyn till förskolor och skolor. Skadans storlek framkommer inte i rapporten men den är av sådan art att påverkan av inomhusmiljön sker i en tredjedel av fallen.

Var på huskroppen fuktskadorna sker finns där en framtagen fördelning på. Många av de tekniska lösningar som har varit mindre bra har använts i stor skala. Det ger stora konsekvenser på hela byggnadsbeståndet, av husgrunderna har 19 % problem med fukt. Speciellt konstruktioner som platta på mark med invändigt uppreglat golv, uteluftsventilerade krypgrunder och källare med isolering på insidan. Vindarna har 21 % skadekvot, detta på grund av regnläckage och genomträngande fuktig inomhusluft som läcker upp på kallvinden. Även ökad isoleringstjocklek i vindsbjälklaget har bidragit till högre luftfuktighet på kallvinden. I våra våtrum ligger nivån på 16 % fuktskador.

Kostnaderna för att åtgärda fuktskador uppskattas till 101,3 miljarder kronor. Majoriteten av åtgärderna, 90,1 %, gäller för småhus. Flerbostadshus står för 6,1 % och resterande 3,8 % står lokaler för.

De nya delmålen som föreslås från Boverket innefattar målsättning om mindre fukt- och mögelskador för nyproduktion. Och för det äldre beståndet föreslås obligatorisk besiktning vid fastighetsöverlåtelser.

## 2.2 Lösningar och analyser

I rapporten från SBUF (2010) tas det upp en alternativ lösning för att förbättra klimatet på vinden. Författarna till rapporten menar att styrd ventilation kan sänka relativ fuktighet och minska risken för mögelpåväxt. Den mekaniska ventilationen aktiveras då den relativa fuktigheten blir för hög på vinden, med förutsättning att den relativa fuktigheten är lägre utomhus. För att systemet ska fungera så krävs det att vinden är tät och att det inte förekommer något läckage genom springor och hål.

Nackdelen med detta system är att den mekaniska ventilationen behöver el, underhållskostnader och även en installationskostnad som för visso är en engångskostnad. Den beräknade totalkostnaden ligger på 325-725 kr/år i en vanlig villa under en brukstid på 25 år.

Deras slutsats är att risken för mögel reduceras kraftigt med styrd ventilation.

I ett examensarbete (Brar et al, 2006) förespråkas också styrd ventilation. Författarna ser fördelar med detta då det behövs ventilation på sommaren och en tät vind på vintern.

Metoden att bygga en klimatvind istället för en kallvind rekommenderas av bland annat Kurkinen & Österlund (2011) och Hansén & Strand (2009). De har gjort beräkningar samt jämfört med verkliga fall, i beräkningarna testas olika isolertjocklekar och luftomsättningar. Deras slutsatser är att en takkonstruktion med låg luftomsättning på vinden och utvändigt isolering på taket är bra. Vinden får en högre temperatur och därmed en lägre relativ fuktighet. Jämförelserna av beräkningarna och verkligheten visar att verkligheten har bättre klimat på vinden än beräkningarna förutspådde.

I tidningen Bygg och teknik (Kurkinen & Österlund, 2011) beskrivs förloppet på en klimatvind i artikeln "utvändigt isolerade kalltak". I artikeln framgår det att mögel på kallvindar är ett problem, det är insidan av takkonstruktionen som drabbas av mögelpåväxt. Kallvinden ventileras med uteluft och då följer temperaturen i konstruktionen utomhusklimatet stora delar av året. Vid klara nätter sjunker dock temperaturen och det kan bli hög relativ fuktighet på insidan. Ökar ventilationen kommer problemen att förvärras för att fuktkällan är uteluft. Man vill uppnå en varmare vind, minskade värmeförluster och ett fortsatt kallt yttertak för att undvika snösmältning. Det går att genomföra med utvändigt isolering och minskad ventilation.

Handberäkningar med varierande tjocklek på isoleringen och olika omsättningar gjordes. Med 150 mm cellplast och 0,1 oms/h höjs temperaturen 2 °C på sommaren och 8 °C på vintern på en fiktiv vind i Västra Götaland. När ventilationen ökas till 0,5 oms/h eller 2 oms/h är temperaturskillnaden inte lika stor. När temperaturen höjs medför det att den relativa fuktigheten sänks. Vid en jämförelse av tak utan isolering och 150 mm cellplast, båda med

0,1 oms/h på vinden, sänks den maximala relativa fuktigheten från 100 % till 72 % med isolering. Utan isolering är den relativa fuktigheten över 75 % nästan hela året. Medan med 150 mm cellplast ligger den relativa fuktigheten mellan 61 % och 72 %.

Från en byggnad med liknande konstruktion i Borås är temperatur och relativ fuktighet uppmätt, även fuktberäkningar har gjorts på byggnaden.

Vindsbjälklaget har 400 mm lösull, vinden är utförd som en "tät vind" och har bara lite ventilation i taknock. Den utvändiga isoleringen är en 20 mm takboard som ligger ovanpå råsponen och underlagspappen. Vid denna konstruktion blir medeltemperaturen 4 °C högre än utomhustemperaturen och medelvärde på relativ fuktighet ligger mellan 70 - 75 % i september 2009. Under vinterhalvåret mellan 2009 och 2010 är den maximala relativa fuktigheten 85 %.

Under fyra månader är relativ fuktighet över 75 % men den är lägre än relativ fuktighet utomhus under alla månader. Generellt blir uppmätta värden på temperatur och relativ fuktighet mer gynnsamma än beräkningarna. Slutsatsen är att temperaturen på vinden höjs med utvändig isolering och därmed blir det ett bättre klimat.

Det finns olika tillverkare av system för att skapa en klimatvind. En är Thermisol, de förespråkar sin isoleringsskiva Thermisol Extra som är en falsad cellplastskiva. Den läggs på den pappbeklädda råsponen. De rekommenderar tjockleken 70-100 mm på cellplastskivan (Thermisol).

Nästa leverantör är Maco-Dach. De har cellplastelement som monteras likt ett fiskfjällsmönster ovanpå de ribbade takstolarna, takpannorna läggs direkt på de profilerade cellplastskivorna. De har flera olika tjocklekar av cellplast att välja på (Maco-Dach).

Den sista är Cellplast Direkt Sverige AB. Deras koncept är att bygga med prefabricerade takelement för att minska byggtiden på plats med upp till 80 %. Elementen har en limmad sandwichkonstruktion med bandad plåt på utsidan, cellplast emellan och slät plåt på insidan (Cellplast Direkt).

## 2.3 Mögelmodell

För att bedöma risken för mögelpåväxt och omfattning måste man känna till klimat- och mögelbeteendet. Hukka & Viitanen (1999), Sedlbauer,(2001) och Thelandersson & Isaksson (2013) är exempel på några som har studerat hur mögel växer på trä, främst gran och furu, för att ta fram modeller som matematiskt beskriver mögelpåväxten. Viitanen var först med att ta fram kriterierna för att mögel ska kunna växa och en modell för hur mögel växer. Det finns flera modeller som t.ex. WUFI Bio och Dosmodellen. WUFI Bio räknar ut hur mycket möglet växer per år utifrån information om materialet, temperaturen och fukthalten i porerna.

Dosmodellen räknar ut en mögeldos från värde på temperatur och relativ fuktighet. Båda modellerna har ett eget gränsvärde och när det överstigs finns det risk för mögelproblem. Thelandersson och Isaksson är skaparna av dosmodellen, den är enkel och verifierad av SP i Borås.

## 3 Teori

### 3.1 Regler och riktlinjer

Det finns lagar och regler på hur konstruktioner får utformas, BBR är en regelsamling som styr byggandet i Sverige.

Utdrag nedan är tagna från BBR (Boverket 2) med hänsyn till fukt- och mögelproblematik på kallvindar.

"6:51 Allmänt

Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa..."

"6:52 Högsta tillåtna fukttillstånd

Vid bestämning av högsta tillåtna fukttillstånd ska kritiska fukttillstånd användas varvid hänsyn tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar (t.ex. materialdata) eller mätmetoder.

För material och materialytor, där mögel och bakterier kan växa, ska väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd användas. Vid bestämning av ett materials kritiska fukttillstånd ska hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet. Om det kritiska fukttillståndet för ett material inte är väl undersökt och dokumenterat ska en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd.

*Allmänt råd*

Vid bestämning av kritiska fukttillstånd för ett material kan hänsyn behöva tas till

- när tillväxt av mögel och bakterier börjar,
- när oacceptabla kemiska och elektrokemiska reaktioner sker,
- när oacceptabla fuktrörelser sker,
- när transportprocesser för fukt, joner och andra vattenlösliga ämnen påverkas i oacceptabel omfattning,
- förändringar av mekaniska egenskaper,
- förändringar av termiska egenskaper,
- angrepp av rötsvamp, och
- angrepp av virkesförstörande insekter.

De kritiska fukttillstånden för olika material är inte i detalj kända. Uppgifter om kritiska fukttillstånd kan normalt fås av materialtillverkare eller importör."

Vet man inte vad det kritiska fukttillståndet är, för ett material, ska man anta att det är 75 % relativ fuktighet för att ha en marginal. Är materialet undersökt och dokumenterat kan det kritiska fukttillståndet vara högre än 75 % relativ fuktighet.

Kravet på 75 % relativ fuktighet på en uteluftsventilerad vind är orimligt att uppnå då utluftens relativa fuktighet nästan kan vara 100 % (SBUF, 2010). Längre in i konstruktionen är det lättare att uppfylla kravet.

#### "6:53 Fuktsäkerhet

Byggnader ska utformas så att varken konstruktionen eller utrymmen i byggnaden kan skadas av fukt. Fukttillståndet i en byggnadsdel ska inte överskrida det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning. Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna.

#### *Allmänt råd*

Vid en fuktsäkerhetsprojektering bör hänsyn tas till de kombinationer av material som ingår i byggnadsdelen. Detta för att fukttillståndet i material och i materialgränser inte på ett oförutsägbart sätt ska kunna överskrida det kritiska fukttillståndet under så lång tid att skador kan uppstå...

...Vid bedömning av fukttillståndet, såväl under byggtiden som i den färdiga byggnaden, bör hänsyn tas till förekommande fuktkällor (fuktbelastning). Fuktbelastningens storlek, varaktighet och frekvens bestäms utifrån lokala förhållanden...."

#### "6:531 Lufttäthet

#### *Allmänt råd*

För att undvika skador på grund av fuktkonvektion bör byggnadens klimatskiljande delar ha så god lufttäthet som möjligt. I de flesta byggnader är risken för fuktkonvektion störst i byggnadens övre delar, dvs. där det kan råda invändigt övertryck.

Särskild omsorg att åstadkomma lufttäthet bör iakttas vid höga fuktbelastningar som i badhus eller vid särskilt stora temperaturskillnader. Lufttätheten kan påverka fukttillståndet, den termiska komforten, ventilationen samt byggnadens värmeförluster.

Metod för bestämning av luftläckage finns i SS-EN 13829. Vid bestämning av luftläckaget bör även undersökas om luftläckaget är koncentrerat till någon byggnadsdel. Om så är fallet kan risk finnas för fuktskador."

**BBR**



"6:5325 Yttertak och vindsutrymmen

...Vindsutrymmen över värmeisolerade vindsbjälklag bör anordnas så att fukt inte orsakar tillväxt av mögel och bakterier. Vid kalla tak och välisolerade bjälklag finns ökad risk för mikrobiell tillväxt, t.ex. på yttertaketets insida. Särskild omsorg att åstadkomma lufttäthet bör iakttas vid ökad isolering av vindsbjälklaget. Om vindsbjälklaget utgörs av material med byggfukt, t.ex. betong eller lättbetong, som kan orsaka skada på material bör fuktavgången till vindsutrymmet minimeras."

Här ovan påpekar Boverket att vindsutrymmen kan vara ett stort problem. Faktum är att det är det största problemområdet på en byggnad (Boverket 1).

"6:95 Fukt

...*Allmänt råd*

Ändringen kan behöva utformas så fuktbelastningen inte okontrollerat ökar på befintliga byggnadsdelar och med hänsyn till fuktbeständigheten i befintliga material och produkter.

Exempel på ändringar som medför förändrat fukttillstånd i befintliga byggnadskomponenter är tilläggsisolering och ändrad ventilation.

Exempel på ändringar av byggnad som kan medföra förändrat fukttillstånd i byggnadsdelarna är ändring av vind, källare och garage till bostad eller lokal..."

För att uppnå BBR's krav ska man i projekteringen göra beräkningar och analyser som visar att kraven kan uppfyllas annars ska beprövade metoder användas.

### **3.2 Klimatvind**

Klimatvinden bygger på kallvindens konstruktion. Skillnaden mellan klimatvind och kallvind är att man dessutom ökar värmemotståndet med en isolering på takets råspont på klimatvinden och inte bara i vindsbjälklaget. Det höjer temperaturen på vinden och minskar relativa fuktigheten samt risken för kondens på takets insida. Den lägre fuktnivån i klimatvinden är till för att minska risken för mögelpåväxt, en takbeläggning måste finnas utanpå isoleringen för att skydda mot exponering (Thermisol).

Klimatvinden har också ett kallt tak och hanterar snösmältning på samma vis som kallvinden. Temperaturskillnaden som den yttre isoleringen skapar gör att mindre värme transporteras genom yttertaket och det blir kallare. På vintern minskas risken att snön på taket smälter, fryser till is vid takfoten och bildar istappar (Kurkinen & Österlund, 2011).

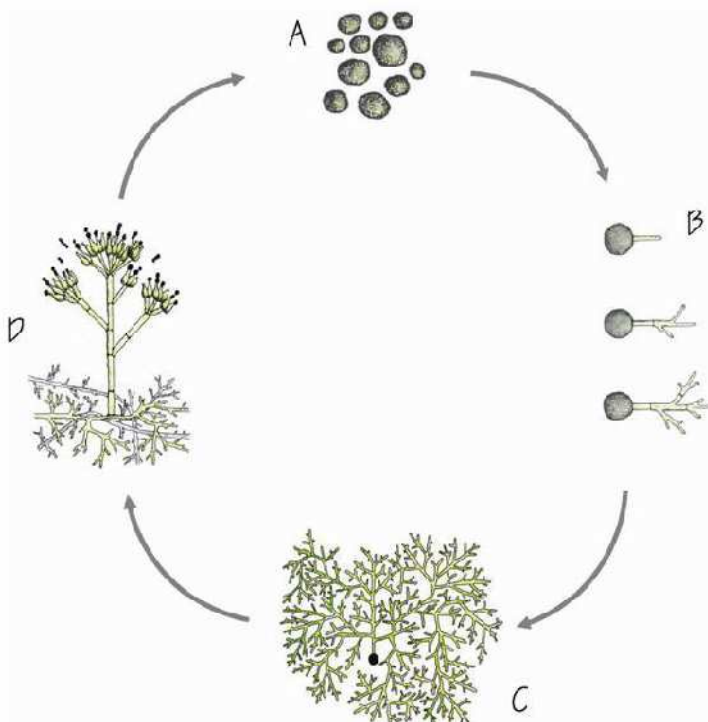
En nackdel med klimatvinden är att investeringskostnaden är högre vid byggskedet. Att cellplast är brandfarligt är en annan nackdel som man måste ta hänsyn till vid projektering. Cellplasten innehåller lika mycket energi som bensin och dessutom mycket syre. Därför är det mycket brandfarligt och sättet det brinner på (pölbränder) gör att branden lätt sprider sig i konstruktionen (Walldén, 2013).

### 3.3 Mögel

Mögel finns i många olika former som alla ingår i svampfamiljen. I det svenska byggnadsbeståndet är det vanligt att det förekommer mögel i olika byggnadsdelar. Det är dessutom skadligt för hälsan och kan framkalla astmabesvär och allergier. Fukt- och mögelskador kostar samhället ca 745,6 Mkr i sjukvårdskostnader och produktionsbortfall (Boverket 1).

#### 3.3.1 Kriterier

Mögelsporer finns överallt i vår omgivning och man får räkna med att sporerna även finns på byggnadsmaterialet. Sporerna (A) växer till hyfer (B), som producerar nya sporer för spridning. Hyferna förgrenas och blir till ett mycel (C). Vissa hyfer bildar fruktkroppar (D) som frigör sporer till luften.



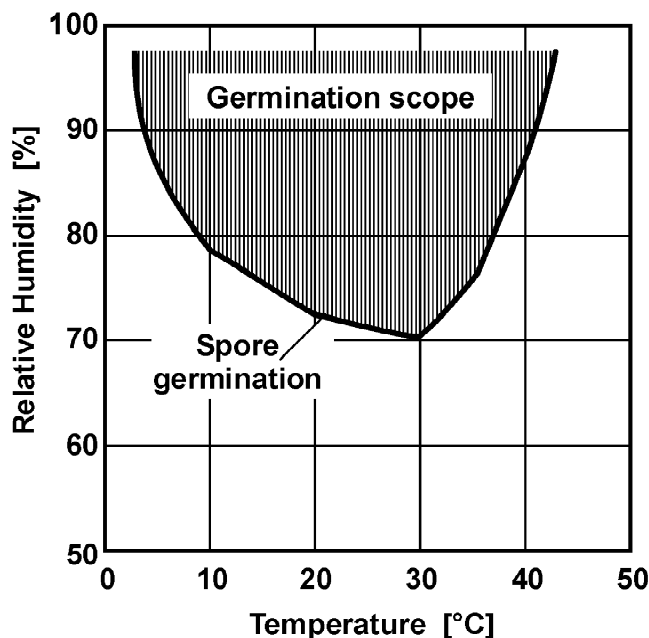
Figur 3.1 A: Sporer B: Hyfer C: Mycel D: Fruktkroppar (Johansson, 2010).

Det krävs fukt, värme, organiskt material och tid för att mögel ska växa. Möglet är beroende av att de olika parametrarna ligger på gynnsamma nivåer för att tillväxt ska ske. Tar man bort ett av kriterierna kan inte mögel växa, har mögel börjat växa och det avstannat pga. sämre förutsättningar, t.ex. låg relativ fuktighet, kan det återuppta sin tillväxt när gynnsamma förhållanden återigen råder (Johansson, 2010).

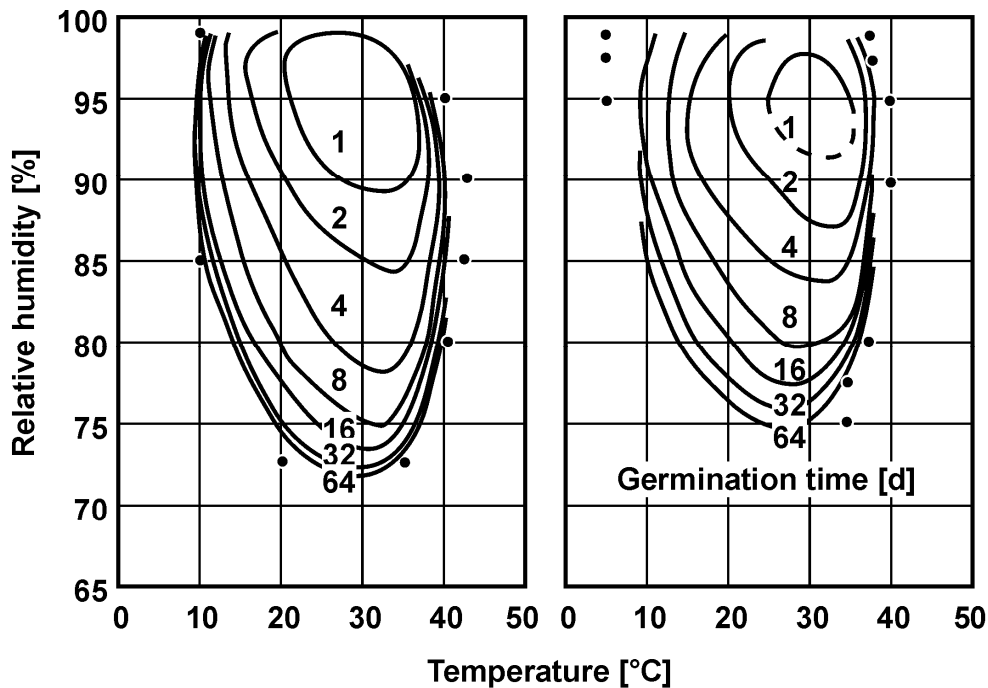
### 3.3.2 Kritisk nivå

Den kritiska nivån är den lägsta relativa fuktigheten vid en given temperatur som krävs för att mögel ska frodas på ett organiskt material efter lång tid.

Figuren nedan visar förhållande mellan relativ fuktighet och temperatur när mögel kan växa, utanför zonen kan mögel inte växa. Den kritiska relativa fuktigheten ändras vid olika temperaturer.



Figur 3.2 Det markerade området visar tillväxtzonen för sporer (Sedlbauer, 2001).

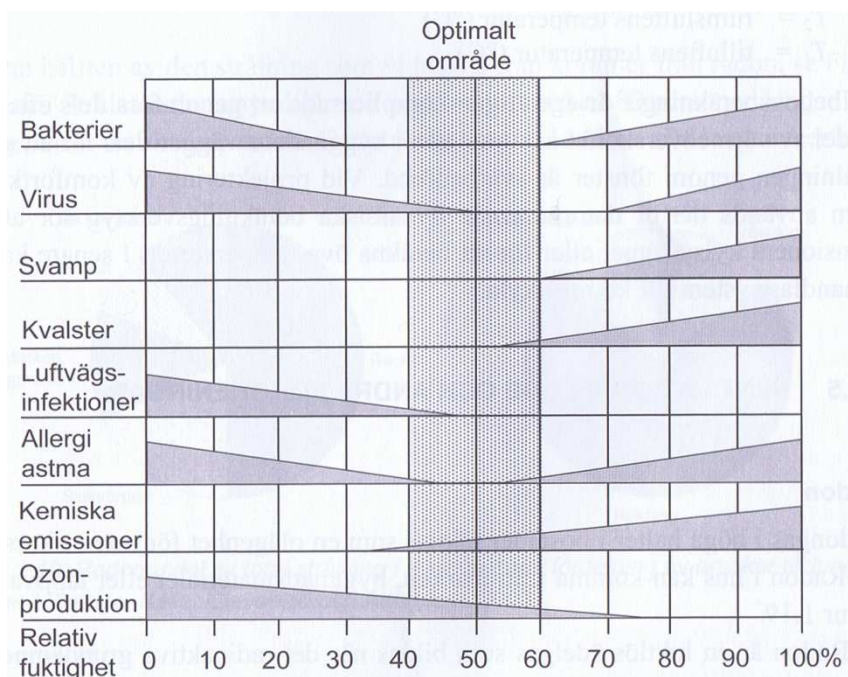


Figur 3.3 Exponeringstid (dygn) som behövs för svamparna ska växa. *Aspergillus restrictus* till vänster och *Aspergillus versicolor* till höger (Sedlbauer, 2001).

För att mögel ska växa behövs också tid, hur mycket beror både på relativ fuktighet och på temperatur. Figur 3.3 visar antal dagar som behövs för tillväxt. I intervallet 10-40 °C har mögel lättare att växa med ökande relativ fuktighet. Efter 64 dagar sker ingen större förändring, prickarna markerar gränsen för tillväxt efter 95 dagar (Sedlbauer, 2001).

### 3.3.3 Hälsa

För att vi ska påverkas så lite som möjligt av luftföroreningar bör inomhusluften ha en relativ fuktighet på 40-60 %, det är zonen då partiklarna sprids minst. För låg eller för hög relativ fuktighet ger människan besvär. När relativ fuktighet är under 20 % får vi torra slemhinnor och hud, och när relativ fuktighet är över 70 % ger det ökad risk för kvalster, svamp och även kondensrisken ökar på kalla ytor (Warfvinge & Dahlblom, 2010).



Figur 3.4 Optimal relativ fuktighet för att minska bakterier, virus, kvalster mm. är 40-60 % (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

### 3.3.4 Mögelsvampar & Blånadssvampar

Mögelsvampar växer både på och i vreden. Den får sin näring av lösliga organiska ämnen som inte påverkar strukturen och därmed inte hållfastheten i virket. Möglet kan framträda på olika vis både när det gäller färg och lukt. Vissa är varken synliga, med blotta ögat, eller ger en besvärande odör. I en studie visade det sig att i endast 18 % av fallen var mögelpåväxten synlig. För att veta om det växer mögel kan man i många fall behöva använda ett mikroskop. Svampar som växer i virket och ger missfärgningar kallas blånadssvamp. Där blånadssvampar växer skapas en större förutsättning för att rötsvampar ska angripa på grund av att den bryter ner extraktiva ämnen som skyddar. (Johansson, 2010).

### 3.3.5 Rötsvampar

För att rötsvamparna ska växa krävs det högre fuktighet än mögelsvampens kritiska gräns och en längre exponeringstid. Det krävs fritt vatten och en fuktkvot på 30-120 %. Till skillnad från mögelsvampen bryter även rötsvampen ner cellulosa, hemicellulosa och lignin. Cellerna som bryts ner är viktiga för virkets hållfasthet (Nevander & Elmarsson, 1994) (Johansson, 2010).

### 3.3.6 Mögelbeteende

På mögelangriplet material går det att döda svampen genom att torka materialet snabbt. När materialet torkas upp hinner inte svampen att anpassa sig och den dör.

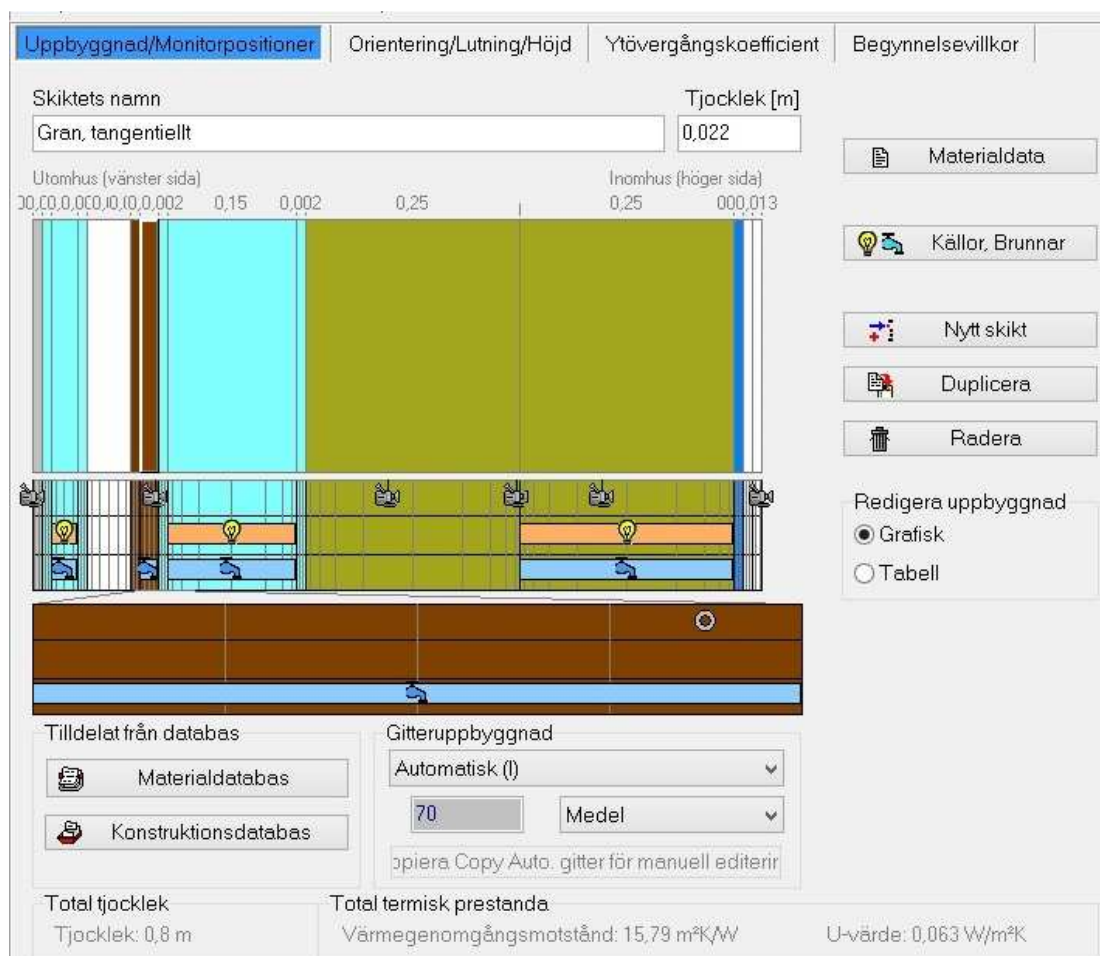
Vid uttorkning efter sågning kommer lösa sockerarter i virket att transporteras mot ytan, sockerarterna ger näring till mögelsvampen. Virke som torkas snabbt och i hög temperatur får en högre halt av socker vid ytan jämfört med långsam torkning. Den högre sockerhalten medför ökad påväxt av missfärgade svampar (Johansson, 2010).

Det är många parametrar som ska stämma överrens för att det ska växa mögelsvamp och rötsvamp. De finns många typer av svampar och de har olika lätt att växa, även om alla förutsättningar finns för att mögel ska uppstå behöver det inte ske (Nevander & Elmarsson, 1994).

## 3.4 WUFI

WUFI är ett datorprogram som beräknar fukt- och värmetransport i material. Det kan räkna ut en- och tvådimensionellt med flera materialskikt i en byggnadsdel. WUFI står för "Wärme Und Feuchte Instationär" och är en tysk programvara. Det skapades vid Fraunhofer Institut für Bauphysik och den svenska versionen är utvecklad i samarbete med Lunds tekniska högskola (WUFI 1) (WUFI 2).

En modell av konstruktionen som skall undersökas byggs upp med material från databasen. Modellen kan bestå av flera skikt som i sin tur är indelad i flera celler. Utöver påverkan från inom- och utomhusklimat lägger man in en eller flera alternativ i dessa celler. Så som fuktkälla, värmekälla, luftomsättning och även monitorer där man kan ta ut data.



Figur 3.5 Konstruktionsuppbyggnad i WUFI.

Utöver att ändra uppbyggnad och monitorpositioner i konstruktionen går det att ändra på orientering/lutning/höjd, ytövergångskoefficienter och begynnelsevillkor.

Klimatet går att välja från en sinuskurva, ort eller från externa klimatfiler. Görs beräkningarna efter en ort är klimatet uppmätt under en viss tid. Är beräkningarna längre än klimatdatafilen så börjar klimatet om från början. Det går att skapa egna klimatdatafiler för orter.

När inställningarna är klara går det att simulera modellen. WUFI ger olika typer av resultat t.ex. grafer, tabeller och film. Utdata går att exportera för att analysera i andra datorprogram.

### 3.5 Dosmodellen

Syftet med Thelanderssons och Isakssons (2013) dosmodell är att förutspå framtida mögelpåväxt. Den baserar sig på temperaturen och relativa fuktigheten för att bedöma hur gynnsamma förhållanden som råder. Värden på temperatur och relativ fuktighet är medelvärden för 12 timmar. Ifrån dessa förhållanden räknar modellen ut en mögeldos. Doserna ackumuleras och när en kritisk nivå överstigs finns mögel. Negativa doser förekommer också vilket tillåter en tillbakagång. Denna tillbakagång behövs för att modellen skall överensstämma med observationer i laboratorium. Om mögel har etablerats sker inte denna tillbakagång då mögel inte försvinner under torra eller kalla perioder och det tar tid för möglet att åter igen växa.

Komponenten för relativa fuktigheten räknas ut enligt nedan då den ligger över 75 %, som är riskgränsen för mögelpåväxt.

$$D_{\phi}(\phi_{12}) = 0,5 \exp \left[ 15,5 \cdot \ln \left( \frac{\phi_{12}}{90} \right) \right] \quad \text{för } 75 < \phi \leq 100 \%$$

Komponenten för temperaturen fås ut genom:

$$D_T(T_{12}) = \begin{cases} \exp \left[ 2,0 \cdot \ln \left( \frac{T_{12}}{20} \right) \right] & \text{om } 0,1 < T \leq 30 \text{ } ^\circ\text{C och } D_{\phi} > 0 \\ 1,0 & \text{om } D_{\phi} < 0 \end{cases}$$

Formeln nedan visar hur 12-timmarsdosen räknas ihop med hjälp av relativa fuktighetens och temperaturens komponent. Resultatet blir ett 12-timmars dosvärde.

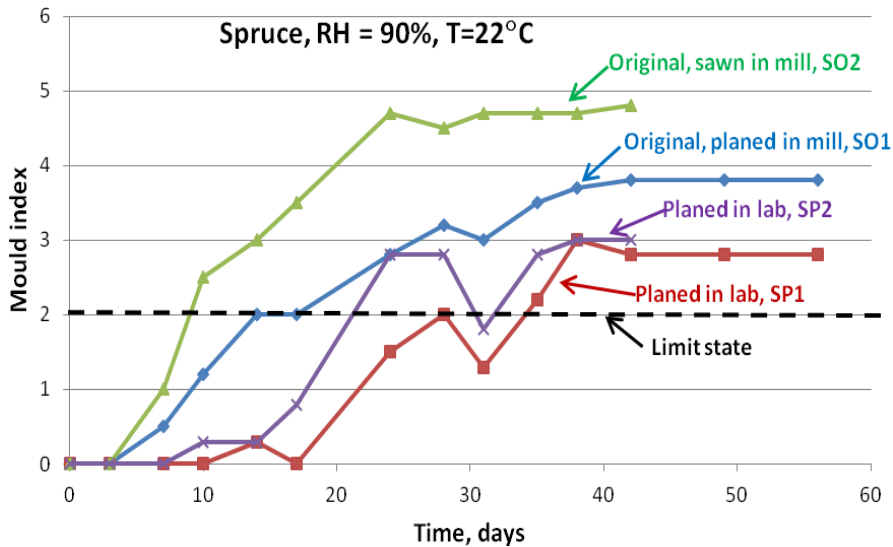
$$D_{12} = D_{\phi}(\phi_{12}) \cdot D_T(T_{12})$$

Funktionen ges när man ackumulerar alla 12-timmars dosvärde. Då får man ut en kurva  $D(t)$  där maxvärdet under en tidsperiod kan plockas ut.

$$D(t) = D(0,5 \cdot n_{12}) = \sum_1^{n_{12}} D_{12i} = \sum_1^{n_{12}} D_{\phi}(\phi_{12i}) \cdot D_T(T_{12i})$$



Hur grov ytan är på den bearbetade granen påverkar hur lång tid det tar för mögel att uppnå en kritisk nivå.  $t_{crit}$  är lika med 17 dygn för hyvlad gran. Se figur 3.6.



Figur 3.6 Diagrammet visar hur olika ytors struktur behöver olika lång exponering för att uppnå den kritiska nivån (Thelandersson & Isaksson, 2013).

$D_{crit}$  är antal dagar det tar för att komma upp till den accepterade gränsen i figur 3.6. Dosmodellen är uppbyggd av 12-timmars intervaller och den kritiska gränsen anges i dygn, därför behövs medelvärde från  $2t_{crit}$  för att representera ett dygn.

$$D_{crit} = D(t_{crit}) = \sum_1^{2t_{crit}} D_{\phi}(\phi_{ref,i}) \cdot D_T(T_{ref,i}) = t_{crit}$$

Ibland sker det en tillbakagång av tillväxten när relativ fuktighet eller temperatur är för låg. Det tar dosmodellen hänsyn till genom negativ dos på följande sätt:

$$D_{\phi}(\phi_{12}) = -2,118 + 0,0286\phi_{12} \quad \text{för } 60 < \phi_{12} < 75 \%$$

$$D_{\phi}(\phi_{12}) = -0,4 \quad \text{för } \phi_{12} < 60 \%$$

Även när temperaturen faller under noll, så sätts -0,4 in.

$$D(\phi_{12}, T_{12}) = -0,4 \quad \text{för } T_{12} < 0^{\circ}\text{C}$$

Genom observationer har det skapats en skala på hur mycket möglet har brett ut sig.

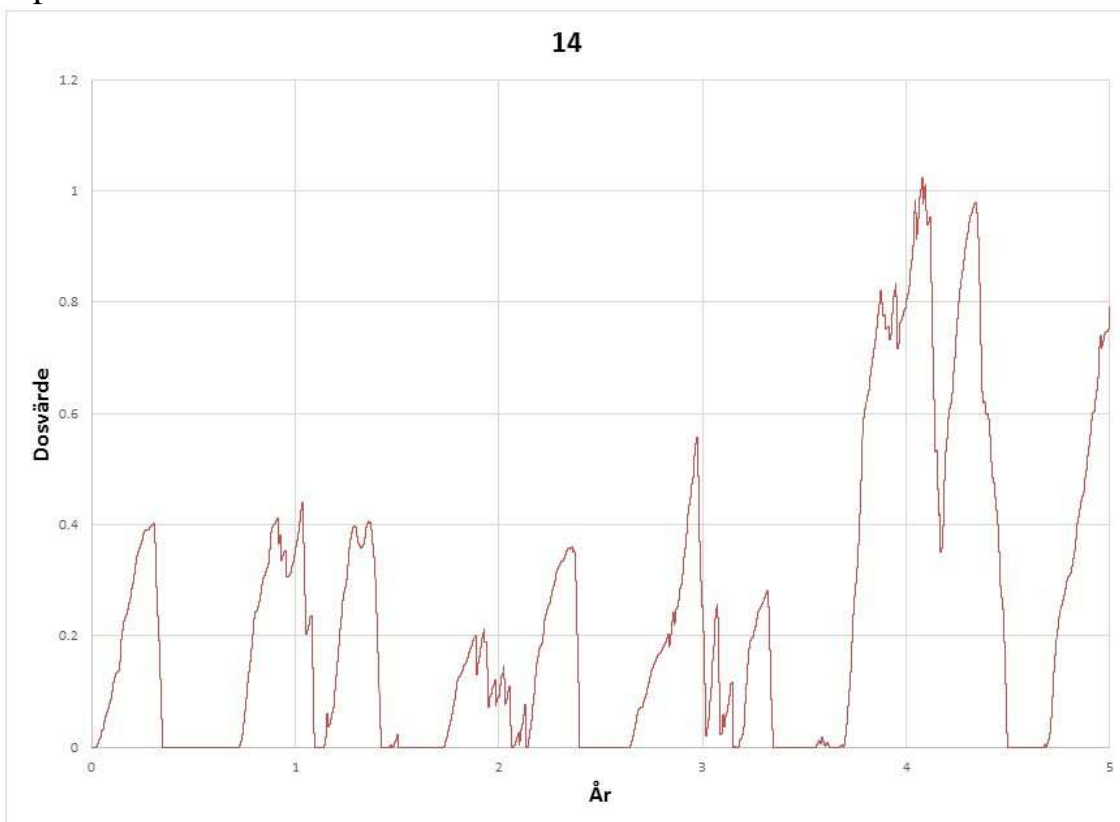
Tabell 3.1 Utvecklingsskala av mögelpåväxt.

Index	Beskrivning av utbreddhet
0	Ingen mögelpåväxt
1	Påbörjad mögelpåväxt
2	Etablerad mögelpåväxt
3	Fläckvis, rikligt med mögelpåväxt
4	Kraftig mögelpåväxt över hela ytan

Från skalan dras en gräns av hur mycket mögel som är tillåtet på materialet. Den accepterande gränsen i skalan är satt till 2. Antal dagar som krävs för att mögel ska växa till den godkända gränsen under gynnsamma förhållanden beror på materialet. Eftersom hänsyn är taget till att det tar 17 dagar för hyvlad gran att nå mögelgränsen 2 så kommer det att motsvara ett dosvärde på 1,0 i dosmodellen.

$$\text{Dosvärde} = \frac{D(t)}{17}$$

Dosvärdena skapas på ett diagram där dosvärdet är på y-axeln och timmarna är på x-axeln. Ett år är 8760 timmar.

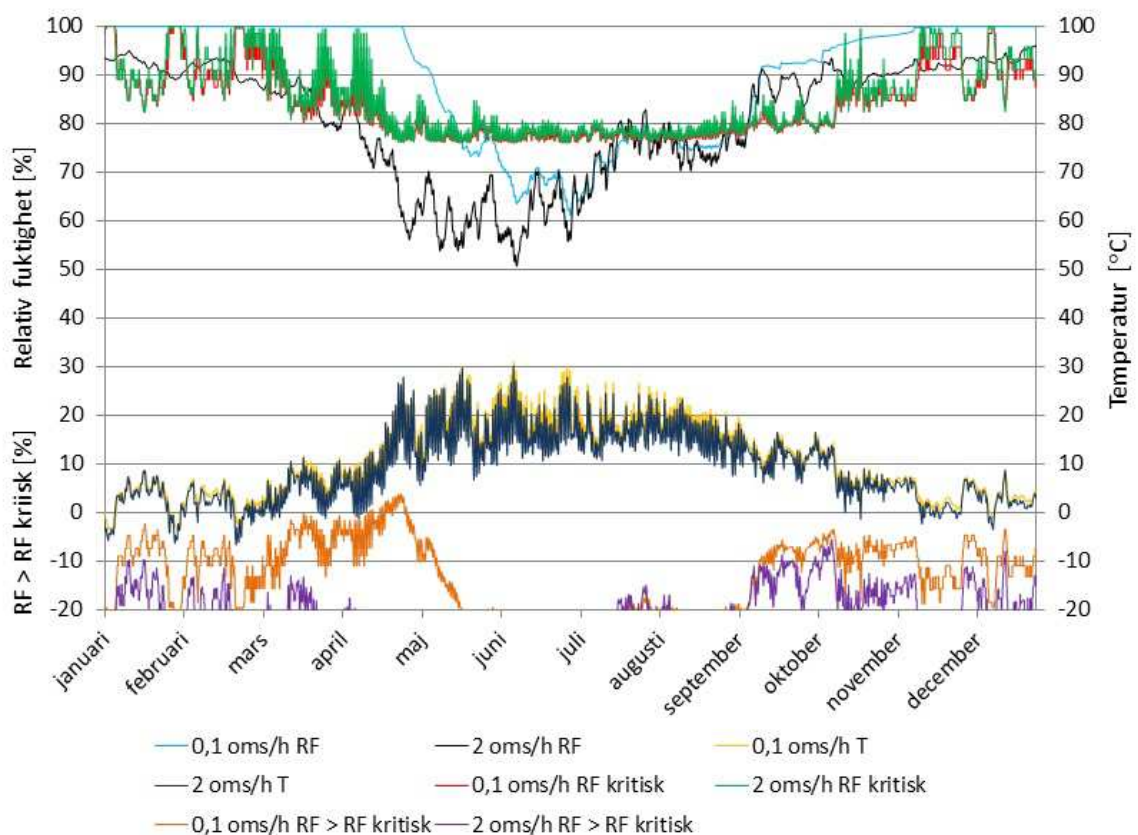


Figur 3.7 Förändring av dosvärde under en femårsperiod.

Dosmodellen är inte en biologisk modell. Dosmodellen är empirisk, den ger inga antaganden om varför mögel växer på ett visst sätt. Dosmodellens styrka är att den ger bra resultat jämfört med mätningar (Thelandersson & Isaksson, 2013).

### 3.6 Folos 2D visual mould chart

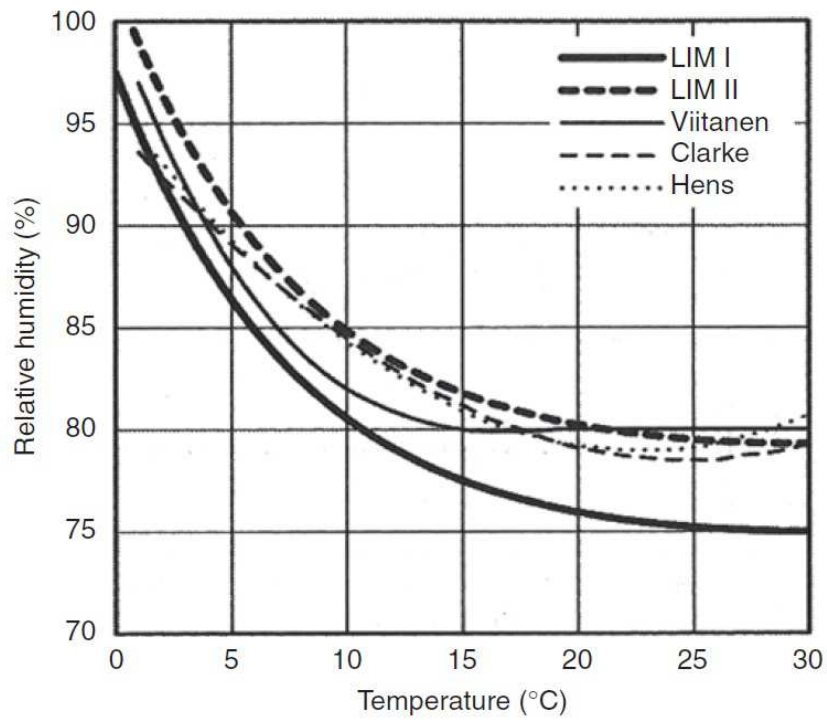
Syftet med folosdiagram är att visa de underliggande faktorerna: temperatur, relativ fuktighet och kritisk nivå på relativ fuktighet. För att utvärdera resultaten behöver man kunskap om hur mögel påverkas av de underliggande faktorerna. Med diagrammet kan man jämföra olika konstruktioner och positioner i en byggdel. Folos ger inget mögelvärde utan det är enbart ett analytiskt verktyg.



Figur 3.8 Två konstruktioner jämförs i folosdiagrammet.

Precis som WUFI visar folosdiagrammet temperatur- och relativ fuktighetskurvor men på ett mer överskådligt sätt. Ett diagram sträcker sig över en ettårsperiod. Den visar även en kurva för kritisk relativ fuktighet och en kurva när kritisk relativ fuktighet överstigs.

Kritisk relativ fuktighet är beroende av temperaturen, se figur 3.9, det är ett gränsvärde och under kurvan kan inte mögel växa.



Figur 3.9 Kurvorna visar var gränsen går för att mögel ska kunna växa i olika modeller. (Viitanen et al, 2010)

### 3.7 Beskrivning av vår valda takkonstruktion

Vi har valt att studera ett projekt som har en klimatvind. Taket är en sadeltakskonstruktion med takpannor. Under takpannorna finns det ett isolerande skikt för att skapa en klimatvind, detta för att höja temperaturen på vinden och undvika fuktproblem. Det är råspont beklädd med underlagspapp som är det bärande skiktet. Ventilationen på vinden är begränsad för att minska intaget av fuktig luft på vinterhalvåret, där finns öppningar vid takfot ochnock för att luften ska kunna cirkulera.

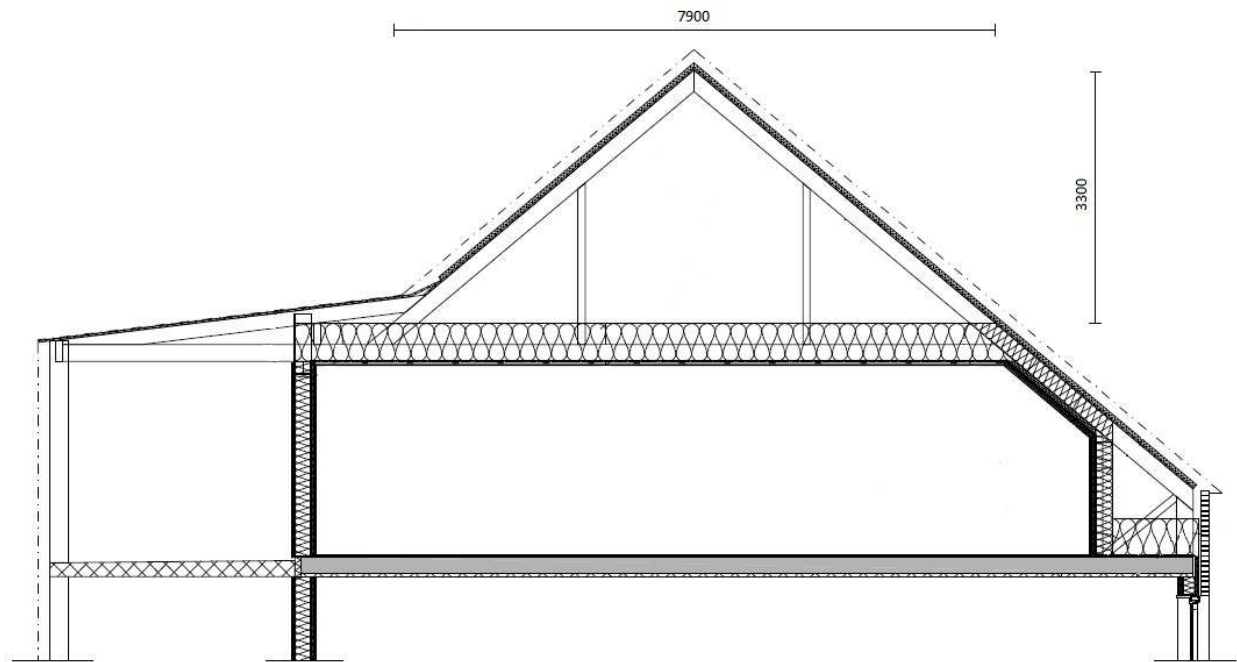
Det strävas efter så låga energiförluster som möjligt och bjälklaget är isolerat med 0,5 m lösull. Även läckage i form av konvektion läggs det ner mycket arbete på för att förhindra, bland annat genom att använda PE-folie som är noga skarvad på bjälklagets insida och tät vid alla genomföringar.



Figur 3.10 Uppbyggnad av klimatvind.

Huset i övrigt är byggt med prefabricerad betong och utfackningsväggar. Fasadväggarna är till största del av tegel och resterande är av fasadskivor och träpanel. Balkongerna är inglasade och de flesta är mot sydväst.

Här nedan illustreras vinden på flerbostadshuset med uppgifter på mått.



Figur 3.11 Sektion.

Byggnaden är ett flerbostadshus med sex våningar, vinden är den sjunde.  
Höjden från mark upp till taknocken är 20 m.

## 4 Metod

Examensarbetet inleddes med litteratursökning på klimatvindar, kallvindar och mögel för att få en bakgrund till fuktrelaterade skador. Vi gör tester i WUFI baserat på information från utformningen av vår valda klimatvind. Informationen är från Skanska, materialleverantörers hemsidor, vetenskapliga artiklar och olika examensarbeten. Beräkningarna i WUFI resulterar i diagram som vi analyserar först kvantitativt och sedan kvalitativt. Till vår hjälp att analysera och för att bedöma risken för mögelpåväxt använder vi oss av ett dosvärde från dosmodellen och av folosdiagrammet. Examensarbetet avslutas med slutsatser från analyserna och vår egen uppfattning.

### 4.1 Avgränsning

Vårt fokus i detta arbete ligger på fuktproblematiken och risken för mögel.

Det är viktigt att upplysa att detta arbete stödjer sig på teoretiska modeller och vi kan inte garantera resultatet av ett verkligt objekt då vi inte vet framtida förhållanden.

Skikten i WUFI har utgångspunkt i den valda konstruktionsuppbyggnaden. Vi kommer inte att beakta andra skiktkombinationer nämnvärt, förutom olika tjocklekar på cellplasten.

Strategiska placeringar geografiskt kommer utföras för att se hur lokaliseringen påverkar klimatvinden. Platserna är Lund och Luleå då vi har både klimatdatafiler från WUFI programmet och LTH.

Vi ska varken göra några ekonomiska analyser eller miljöanalyser i det här arbetet.

Vi gör beräkningen endimensionellt vilket är en förenkling av verklighetens tredimensionella fuktproblematik. Det lutande taket sätts parallellt med bjälklaget och vindsutrymmet görs om till en bred luftspalt.

## 4.2 Randvillkor

### 4.2.1 Klimatdata

Klimatdata vi använder är uppmätt väder i Lund och Luleå under en nio års period, kör man tester längre än nio år så återupprepar programmet datamaterialet. Klimatdata består av åtta olika parametrar och dess värden som täcker åren 1990-1998.

TA	(°C)	Temperaturen utomhus
HREL	( - )	Relativ fuktighet
ISGH	(W/m <sup>2</sup> )	Direkt och diffus solstrålning mätt på en horisontell yta.
ISD	(W/m <sup>2</sup> )	Diffus solstrålning mätt på en horisontell yta.
ILAH	(W/m <sup>2</sup> )	Långvågig atmosfärisk strålning mätt på en horisontal yta.
RN	(mm/h)	Mängden regn som träffar en horisontell yta på en timma.
WD	(°)	Vindriktning
WS	(m/s)	Vindhastigheten utan hänsyn till riktning

### 4.2.2 Fuktklasser

Fuktbelastningen inomhus bestäms av vald fuktklass i programmet WUFI, där finns fyra klasser att välja mellan. Dessa har värdena 2, 4, 6 respektive 8 g/m<sup>3</sup>. För detta fallet har vi ett flerbostadshus där fukttillskottet i byggnaden ligger mellan 1,5-4 g/m<sup>3</sup>, medelvärdet är på 2,9 g/m<sup>3</sup>. Vi använder oss av fuktklass 2 i WUFI som är 4 g/m<sup>3</sup> genom hela studien (Nevander & Elmarsson, 1994).

## 4.3 Luftomsättning

Takpannorna håller inte helt tätt så ett visst läckage från slagregnet bör man räkna med. Fukten kommer då att lägga sig på ytan av cellplasten. Luftspaltens uppgift är att möjliggöra för uttorkning och transportera bort fukten med luftflödet.

Klimatvinden ventileras sparsamt för att behålla värmen istället för att ventileras bort den, en liten omsättning eftersträvas men fukt som tränger in ska kunna torka ut. En traditionell kallvind med ventilation har ca 2 oms/h men det är väldigt beroende på hur vindutsatt spalten är. Den oventilerade kallvinden har en lägre omsättning på 0,1 oms/h. Någonstans där mitt emellan ligger vår sparsamt ventilerade takkonstruktion som endast har en 5 mm luftspaltsöppning (Sasic Kalagasidis & Mattsson, 2005).



## 4.4 Handberäkningar

### 4.4.1 Luftomsättning på vinden

Generellt har takkonstruktioner en komplicerad form med många vinklar och vrår. Vid volymbereäkningen har vi gjort en förenkling och tagit en sektionsbit på mitten av taket som är en meter bred för att få ut volymen på en lpm tak.

Antag 1m brett

$$V = 1 \cdot \frac{7,9 \cdot 3,3}{2} = 13,0 \text{ m}^3$$

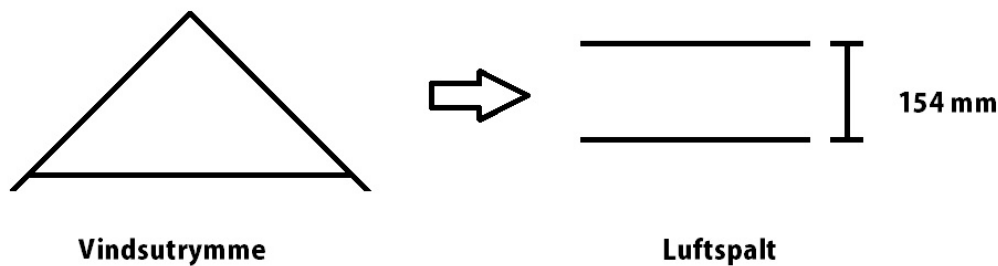
$$Q = n \cdot V$$

$$\text{oms} = 0,1 \leftrightarrow Q_1 = 13 \cdot 0,1 = 1,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{oms} = 0,5 \leftrightarrow Q_2 = 13 \cdot 0,5 = 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{oms} = 2,0 \leftrightarrow Q_3 = 13 \cdot 2,0 = 26 \text{ m}^3/\text{h}$$

Nu ändrar vi omsättningarna så det ska motsvara en 154 mm luftspalt med samma luftflöde i programmet WUFI.



$$V = 1 \cdot 0,154 \cdot 7,9 = 1,22 \text{ m}^3$$

$$n = \frac{Q}{V}$$

$$Q_1 = 1,3 \leftrightarrow n = \frac{1,3}{1,22} = 1,07 \approx 1 \text{ oms}$$

$$Q_2 = 6,5 \leftrightarrow n = \frac{6,5}{1,22} = 5,33 \approx 5 \text{ oms}$$

$$Q_3 = 26 \leftrightarrow n = \frac{26}{1,22} = 21,31 \approx 20 \text{ oms}$$

#### 4.4.2 Läckage genom ångspärr

Läckage i konstruktionen drivs av tryckskillnader och termiska krafter. Vi har valt att använda samma metod som Hansson & Lundgren (2009). Fuktläckaget i WUFI skapas med hjälp av en omsättningskälla som för ut invändig luft i konstruktionen. Vi vet läckaget och kan räkna ut den totala tryckdifferensen över vindsbjälklaget, därefter får vi ut omsättningen som verkar över skikten. Totaltrycksdifferensen består av termiskt tryck, vindtryck och mekanisk ventilation. Den mekaniska ventilationen sätter vi till noll för att det svaga undertrycket i huset som skulle skapats hindrar fukttransporten ut i konstruktionen.

Totaltrycksdifferensen blir  $\Delta p_{tot} = \Delta p_{vind} + \Delta p_{termisk}$

Vindtryck beräknas med formeln  $\Delta p_{vind} = (\mu_e - \mu_i) \frac{\rho}{2} u^2$  (Nevander & Elmarsson, 1994).

$\Delta p_{vind}$ (Pa)	Vindtrycksdifferens
$\mu_e = -0,5$ ( - )	Utvändig formfaktor
$\mu_i = -0,3$ ( - )	Invändig formfaktor
$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$	Luftens densitet (snitt värde)
$u = 5,2 \text{ m/s}$	Medianvind i Sturup, används för Lund
$u = 3,6 \text{ m/s}$	Medianvind i Luleå

Lund

$$\Delta p_{vind} = (-0,5 + 0,3) \frac{1,25}{2} 5,2^2 = -3,38 \text{ Pa}$$

Luleå

$$\Delta p_{vind} = (-0,5 + 0,3) \frac{1,25}{2} 3,6^2 = -1,62 \text{ Pa}$$

Minustecknet betyder att luften suggs upp på vinden.

Termiskt tryck beräknas med formeln  $\Delta p_{termisk} = g(\rho(T_{ute}) - \rho(T_{inne}))h$  (Nevander & Elmarsson, 1994).

$T_{ute} = 7,6 \text{ °C}$  Lund,  $1,5 \text{ °C}$  Luleå (Nevander & Elmarsson, 1994)

$T_{inne} = 20 \text{ °C}$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$h = 10 \text{ m}$  (på grund av ett jämt läckage ur byggnaden väljer vi halva byggnadens höjd)

Vid RF 50 %:

$$\rho(20\text{ °C}) = 1,1987\text{ kg/m}^3$$

Värdena på densiteten interpoleras från Fukthandboken.  
(Nevander & Elmarsson, 1994)

$$\rho(7,6) = 1,2906 + \frac{7,6}{10} \cdot (1,2436 - 1,2906) = 1,2549\text{ kg/m}^3$$

$$\rho(1,5) = 1,2906 + \frac{1,5}{10} \cdot (1,2436 - 1,2906) = 1,28355\text{ kg/m}^3$$

$$\text{Lund: } \Delta p_{termisk} = 9,81 \cdot (1,2549 - 1,1987) \cdot 10 = 5,51\text{ Pa}$$

$$\text{Luleå: } \Delta p_{termisk} = 9,81 \cdot (1,28355 - 1,1987) \cdot 10 = 8,32\text{ Pa}$$

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{vind} + \Delta p_{termisk}$$

$$\text{Lund: } \Delta p_{tot} = 3,38 + 5,51 = 8,89\text{ Pa}$$

$$\text{Luleå: } \Delta p_{tot} = 1,62 + 8,32 = 9,94\text{ Pa}$$

Totaltryckskillnaden används för att räkna ut luftflödet.

$$\text{Luftflöde beräknas med formeln } R = R_{50} \cdot \left(\frac{\Delta p_{tot}}{50}\right)^\beta$$

(Nevander & Elmarsson, 1994).

R l/(sm<sup>2</sup>)

Luftflöde

R<sub>50</sub> = 0,1 ; 0,3 eller 1 l/(sm<sup>2</sup>)

Luftflöde vid 50 Pa

β = 0,70

Reduceringsexponent

Lunds luftflöden:

$$R_{0,1} = 0,1 \cdot \left(\frac{8,89}{50}\right)^{0,7} = 0,0299\text{ l/(sm}^2\text{)}$$

$$R_{0,3} = 0,3 \cdot \left(\frac{8,89}{50}\right)^{0,7} = 0,0896\text{ l/(sm}^2\text{)}$$

$$R_1 = 1 \cdot \left(\frac{8,89}{50}\right)^{0,7} = 0,2985\text{ l/(sm}^2\text{)}$$

Genom formeln  $n = \frac{R}{d} \cdot \frac{3600}{1000}$  får vi ut luftomsättningen per timme.

$d = 0,25$  m                      Luftomsättningens djup in i konstruktionen,  
se figur 4.1.

$$n_{0,1} = \frac{0,0299}{0,25} \cdot \frac{3600}{1000} = 0,431 \text{ oms/h}$$

$$n_{0,3} = \frac{0,0896}{0,25} \cdot \frac{3600}{1000} = 1,290 \text{ oms/h}$$

$$n_1 = \frac{0,2985}{0,25} \cdot \frac{3600}{1000} = 4,298 \text{ oms/h}$$

Luleås Luftflöde

$$R_{0,1} = 0,1 \cdot \left(\frac{9,94}{50}\right)^{0,7} = 0,0323 \text{ l/(sm}^2\text{)}$$

$$R_{0,3} = 0,3 \cdot \left(\frac{9,94}{50}\right)^{0,7} = 0,0968 \text{ l/(sm}^2\text{)}$$

$$R_1 = 1 \cdot \left(\frac{9,94}{50}\right)^{0,7} = 0,3228 \text{ l/(sm}^2\text{)}$$

Luftomsättning per timme.

$$n_{0,1} = \frac{0,0323}{0,25} \cdot \frac{3600}{1000} = 0,465 \text{ oms/h}$$

$$n_{0,3} = \frac{0,0968}{0,25} \cdot \frac{3600}{1000} = 1,394 \text{ oms/h}$$

$$n_1 = \frac{0,3228}{0,25} \cdot \frac{3600}{1000} = 4,648 \text{ oms/h}$$

Vi räknar med att allt läckage från ovanvåningen går upp på vinden, i och med att det är en takvåning så hamnar luften som tränger ut genom snedtaket i luftspalten och in på vinden. Omsättningstalen sätts in som en luftomsättning i WUFI simuleringarna för att spegla verkligheten.

## 4.5 Simulering

Vi kommer att utföra en parameterstudie i WUFI 5.2.

Beräkningen sker i tak och vindsbjälklag genom lösullen mellan två takstolar, ej i hanbjälken, för att värmen från köldbryggan vore gynnsamt. Andra delar av taket som är komplicerat sammanfogat beaktar vi inte då dessa är mycket svåra att simulera, som t.ex. i ränn dalen mellan två takvinklar.

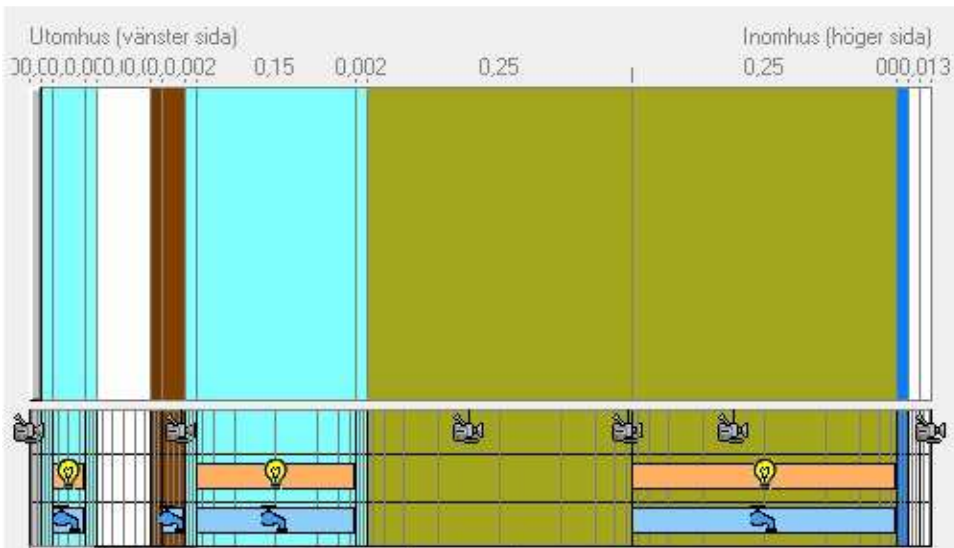
### 4.5.1 Inställningar

#### 4.5.1.1 Uppbyggnad/Monitorposition

Modellen är uppbyggd enligt materialtabellen nedan.

Tabell 4.1

Material	Material i WUFI	Tjocklek / mm
Betongpannor	Betong VCT 0,5 välhydratiserad	11
Ströläkt och bärläkt	Air Layer 30 mm	2
	Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity	30
	Air Layer 30 mm	2
Cellplast	Cellplast expanderad	0-150
Underlagspapp	Asphalt Impregnated Paper (10 min paper)	2,5
Råspont	Gran tangentiellt	22
Vindsutrymme	Air Layer 150 mm	2
	Air Layer 160 mm;(without additional moisture capacity)	150
	Air Layer 150 mm	2
Mineralull	Roxull Plus	250+250
Plastfolie	PE-Folie 0,2 mm (sd = 87 m)	1
Luftspalt	-	-
Protect F	Gipsskiva invändig	13
Gipsskiva	Gipsskiva invändig	13



Figur 4.1 Konstruktionsuppbyggnad i WUFI 5.2.

Monitorerna hjälper oss att analysera en vissa punkter i konstruktionen. Vi har strategiskt placerat ut fyra monitorer där mögelpåväxt kan ske. Dessutom är det en monitor utanför och innanför konstruktionen. Råsponten och hanbjälken anser vi är riskzoner för mikrobiologisk påväxt då dessa består av organiskt material. På bilden ovan ser man även en fuktkälla och tre luftomsättningar. Fuktkällan är satt i råsponten och anger hur mycket av slagregnet som tränger in utifrån, enligt TenWolde (2008) uppskattas det till 1 % genomslag. Luftomsättningen under takpannorna är satt till 30 oms/h. Vi varierar luftomsättningen under takpannorna och på vinden för att se hur den påverkar förhållandet. Den tredje luftomsättningen kommer inifrån, genom läckage i ångspärren.

#### 4.5.1.2 Orientering/Lutning/Höjd

Lutning 0°

Slagregnskoefficient:

R1 [0,3]

R2 [0,2 s/m]

#### 4.5.1.3 Ytövergångskoefficient

Yttre yta:

Värmemotstånd [Tak]

Vindberoende [Avböckad]

Sd-värde [Ingen ytbehandling]

Absorptionstal för kortvågig strålning [Takpannor, betong, ofärgade]

Explicit strålningsbalans [Förböckad]

Terräng, kortvågig reflexionsförmåga [Standardvalue]

Absorptionstal för regnvatten [Användardefinierat 0,5]

Inre yta:  
Värmemotstånd [Tak]  
Sd-värde [Ingen ytbehandling]

#### *4.5.1.4 Begynnelsevillkor*

Begynnelsefuktighet [Medelvärde för byggnadsdel] och [RF 80 %]  
Begynnelsetemp [Medelvärde över byggnadsdel] och [5 °C]

#### *4.5.1.5 Tid/Profil*

Start [01-jan-2014]  
Slut [01-jan-2019]  
Tidssteg [0,25 h]

#### *4.5.1.6 Numerik*

Beräkningstyp:  
Värmetransportberäkning [Förbockad]  
Fukttransportberäkning [Förbockad]  
För värmeledning [Använd temperatur- och fuktberoende]

Hygrotermiska specialinställningar:  
Utan kapillärtransport [Avbockad]  
Utan latent värme ånga-vätska [Avbockad]  
Utan latent värme vätska-fast [Avbockad]

Numeriska parametrar:  
Ökad noggrannhet [Förbockad]  
Konvergensförbättring [Förbockad]

Adaptiv tidsstegskontroll:  
Sätt på [Förbockad]  
Steg [3]  
Max. steg [5]

Geometri:  
Kartesiska [Förbockad]

#### *4.5.1.7 Utomhus*

Karta/Fil:  
Klimatdatafil [Lund och Luleå 1990-1998]

#### 4.5.1.8 Inomhus

EN13788:

Använd vänster klimat [Förbockad]

Inomhustemperatur [21 °C]

Relativ fuktighet [Fuktklass 2]

#### 4.5.2 Parametrar

Parametrarna vi varierar är läckage, tjocklek på cellplasten och luftomsättning på vinden.

Tre storlekar på läckaget ska testas. 0,1 l/(sm<sup>2</sup>) för att det motsvarar att bygga en tät vind, 0,3 l/(sm<sup>2</sup>) som är kravet för passivhus och 1 l/(sm<sup>2</sup>) för att det är vanligt i dagens byggnader.

Tjockleken på cellplasten testas med 0, 50, 100 och 150 mm. 0 mm är intressant eftersom utan isolering på taket är det en kallvind, 50 mm används på vår valda klimatvind, 100 mm rekommenderas av tillverkare och 150 mm är det största som används i produktion.

Vi testar tre luftomsättningar. 0,1 oms/h som är den lägsta på en oventilerad vind, 0,5 oms/h som ska motsvara vår klimatvind och 2 oms/h för att representera en väl ventilerad vind. Värden för luftomsättning är starkt beroende av vindhastigheten och luftomsättningen ändras ständigt i verkligheten.

#### 4.5.3 Begränsningar

Materialdatabasen i WUFI har inte alla material, de väljs från listor från bland annat Tyskland, Japan, Sverige (Lunds Universitet), Amerika, Norge och Österrike. Störst utbud är det i den tyska databasen. För att få ett tillförlitligt resultat ska material som överensstämmer med verkligheten väljas, finns inte materialet i databasen väljs ett material med liknande egenskaper.

Luftspalten byggs upp av ströläkt och bärläkt, i modellen sätts skiktet till att vara luft. Det går att välja mellan två sorters luft. En som kan lagra fukt upp till ca 50 kg/m<sup>3</sup> och en som kan lagra upp till ca 0,017 kg/m<sup>3</sup>. Det mest realistiska är att välja luftspalten med låg lagringskapacitet. Beräkningarna i WUFI blir numeriskt svårt att räkna ut när ett material med hög fuktlagringskapacitet ligger intill luft med låg fuktlagringskapacitet, det blir för stor kontrast. För att göra de numeriska beräkningarna smidigare använder vi luft med hög lagringskapacitet närmst kommande material. Totalt kommer luftspalten byggas upp av tre luftskikt.



Vi har två luftspalter i vår modell, en under takpannorna och en som representerar vindsutrymmet. I luftspalterna är första och sista skiktet 2 mm med fuktlagringsförmåga. Mittskiktet är 30 mm under takpannorna respektive 150 mm för vinden, båda utan fuktlagringsförmåga.

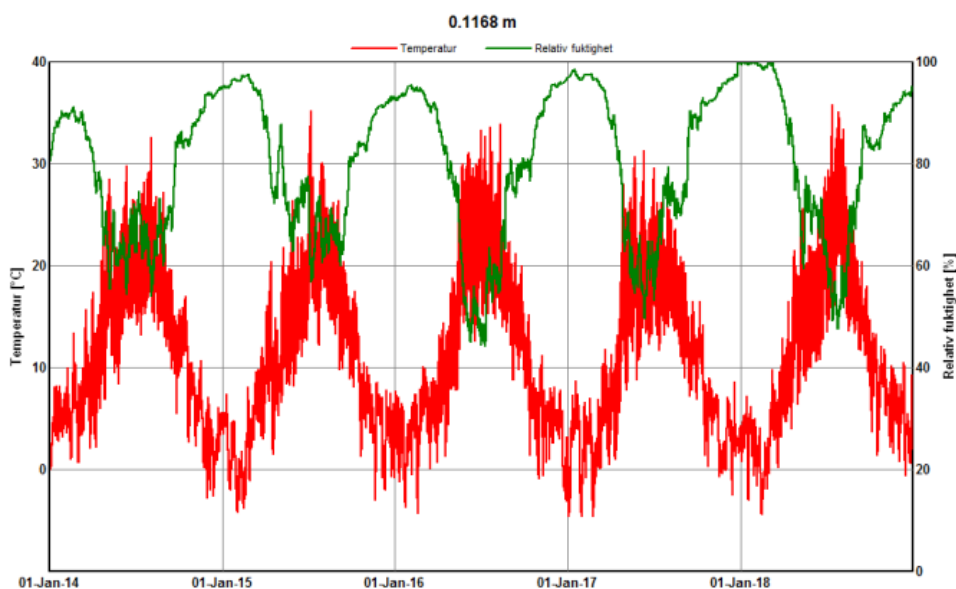
WUFI's egna klimatfiler skiljer sig rätt mycket jämfört med LTH's klimatfiler som är uppmätta under 1990-98. WUFI's filer sträcker sig bara ett år för att sedan återupprepas om igen. Värdena i denna klimatfil är konstruerade till rimliga värden från flera år och extremvärdena är bortkapade.

Vi kör de fem första åren av klimatfilen som är en rimlig simuleringstid, fler år gör att datortiden blir längre. Simuleringstiden för en femårig fil tar 20-30 min att köra i WUFI.

## 4.6 Mögelriskanalys

Analysen bygger på data från WUFI.

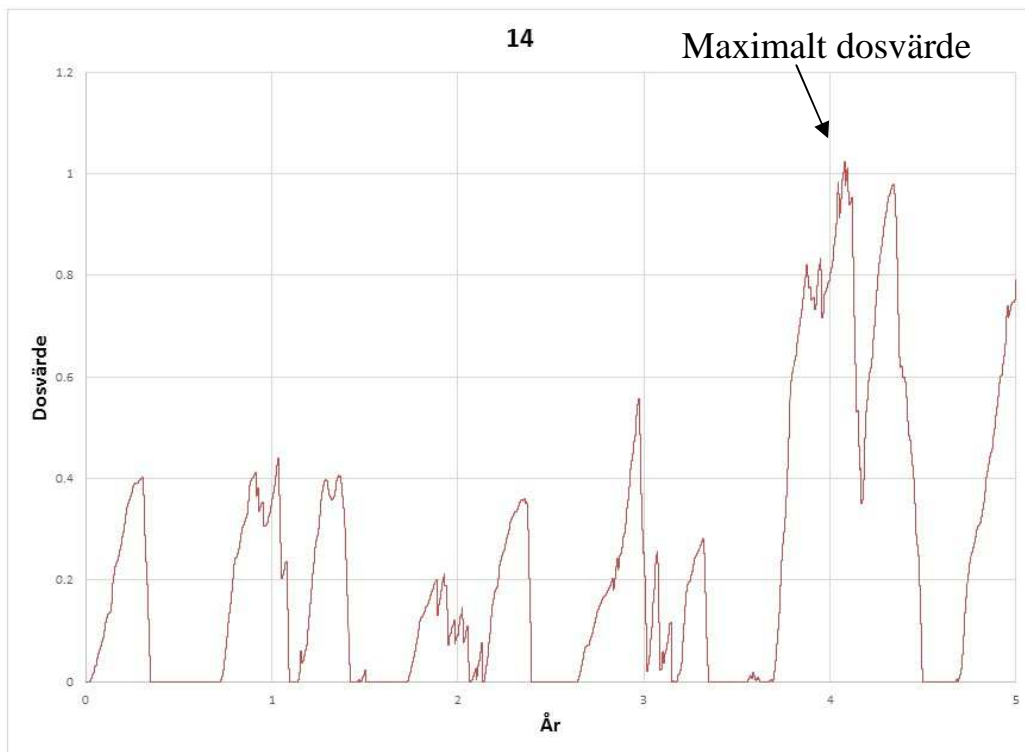
I WUFI skapas diagram och vi studerar diagrammen med temperatur och relativ fuktighet. Det ger en snabb överblick och man ser hur ofta relativ fuktighet ligger i intervallet för gynnsam tillväxt av mögel. Diagrammen visar en femårsperiod, det går att urskilja om fukten i konstruktionen byggs upp, sjunker eller hamnar i balans med omgivningen.



Figur 4.2 Beräkning från WUFI presenterad i ett diagram.

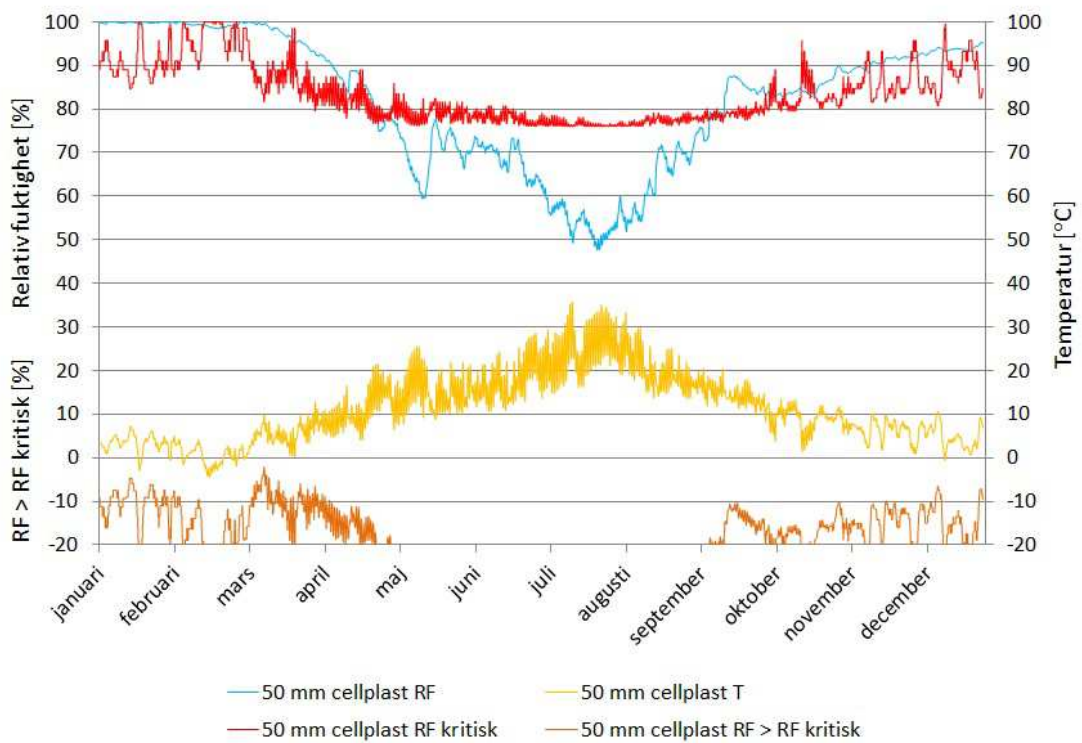
För en noggrannare analys exporterar vi data till dosmodellen. Den tar hänsyn till temperatur, relativ fuktighet och hur mögel växer. Dosmodellen ger ett siffervärde som är lätt att tolka. Dosmodellen ger också diagram som visar

möglets tillväxt och tillbakagång över en femårsperiod. De maximala dosvärdena är sedan placerade i tabeller för att man ska kunna se trendlinjer i studien.



Figur 4.3 Dosmodellen är ett verktyg för att bedöma mögelrisken.

Data från WUFI använder vi även till folosdiagram där vi analyserar maxpunkten ifrån dosmodellen för att se vad som händer, det ger oss ett kvalitativt svar. En stor fördel är att två olika konstruktioner kan analyseras samtidigt i diagrammet.



Figur 4.4 Folosdiagrammet visar förhållandet mellan olika kurvor.

Testerna från WUFI numrerar vi från 1 till 72. Dosvärdet från dem ska presenteras i tabell liknande den nedanför.

Tabell 4.2

Lund										
Läckage l/(sm <sup>2</sup> )	0,1			0,3			1			
Omsättningar på vinden /h	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	
Tjocklek/mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	50	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	100	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	150	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Luleå										
Läckage l/(sm <sup>2</sup> )	0,1			0,3			1			
Omsättningar på vinden /h	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	
Tjocklek/mm	0	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	50	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	100	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	150	64	65	66	67	68	69	70	71	72

Fler parametrar kommer även att testas och presenteras i separata tabeller i kapitlet Resultat och analys.

## 5 Resultat och analys

### 5.1 De viktigaste parametrarna

WUFI's tester nedan har en och samma grundfil som är nr 14. Ursprungsfilen modifierar vi sen med enstaka parametrar efter önskemål. Fall 14 är placerad i Lund och har ett läckage inifrån på 0,3 l/(sm<sup>2</sup>). Omsättningen på vinden är 0,5 oms/h och cellplasttjockleken på taket är 50 mm. Tidsperioden är fem år och vi analyserar dosvärdet i råsponten på taket. Monitorn i WUFI är placerad i den yttersta cellen av råsponten mot vindsutrymmet.

Tabell 5.1

Lutning och riktning av tak	Plant tak	45° mot norr	45° mot söder
Maximalt dosvärde	1,024	1,365	1,356

Norrsidan är värst utsatt med hänsyn till fukt tack vare lite sol. Södra sidan kan tros vara mer gynnsam men även där är dosvärdet högt tack vare slagregnet i Lund som kommer från en sydlig riktning. Det plana taket var gynnsammast med några decimaler av dosvärdet. Anledningen till att det plana takets reducerade värde kan bero på att slagregnets inverkan blir annorlunda.

Tabell 5.2

Slagregnsläckage	1,0 %	0,5 %	0,1 %	0,0 %
Maximalt dosvärde	1,024	0,342	0,252	0,241

Slagregnsläckaget har stor betydelse mellan 1-0,5 % för att sedan plana ut till 0 %.

Tabell 5.3

Läckage från insida	1,0 l/(sm <sup>2</sup> )	0,3 l/(sm <sup>2</sup> )	0,1 l/(sm <sup>2</sup> )	0,0 l/(sm <sup>2</sup> )
Maximalt dosvärde	1,454	1,024	0,761	0,632

Läckaget beter sig som väntat, dosvärdet går successivt ner när läckaget går från 1-0 l/(sm<sup>2</sup>). Där läckage är finns det en liten risk för uttorkning av konstruktionen vilket är ogynnsamt för mögel.

Tabell 5.4

Tjocklek på cellplast	0 mm	50 mm	100 mm	150 mm
Maximalt dosvärde	0,760	1,024	1,470	1,534

Här har vi ett oväntat resultat då testet visar att cellplasten försämrar fuktsituationen på vinden. Ur energisynpunkt kan det tvärtom vara en besparande effekt.

Tabell 5.5

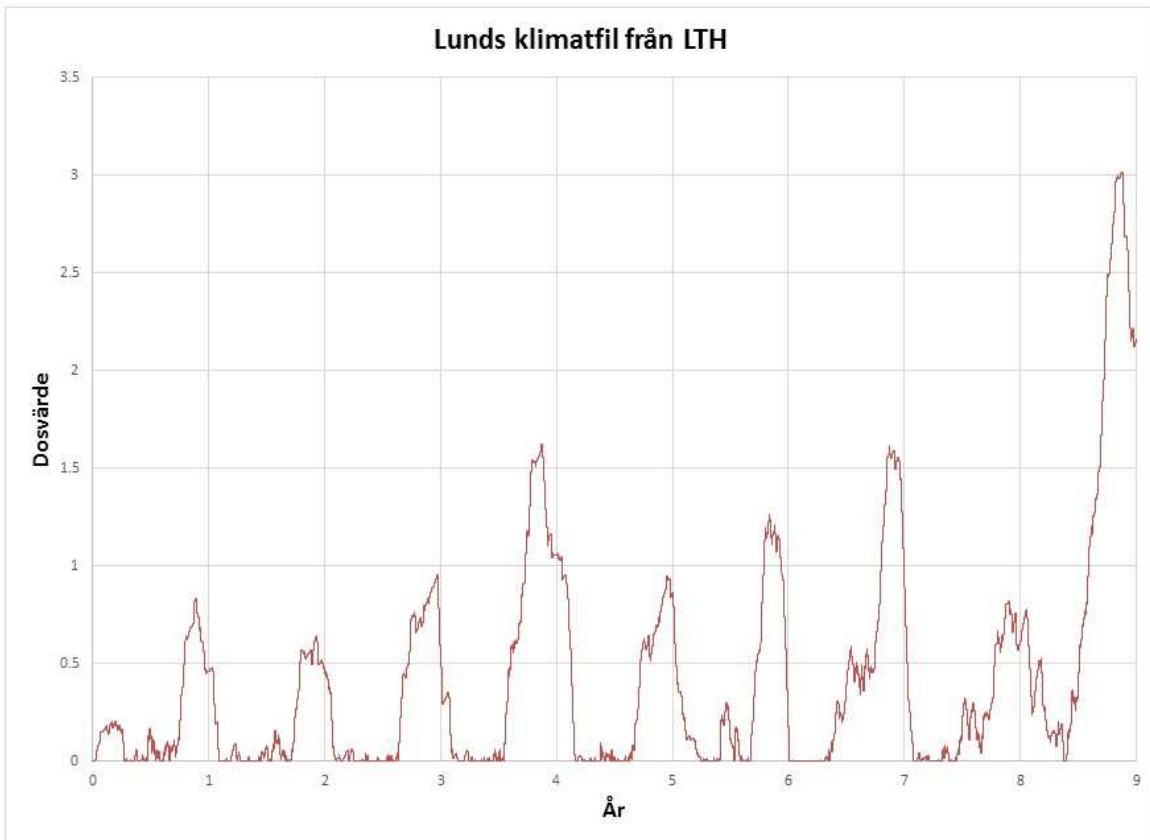
Klimatfiler 9 år	WUFI	LTH
Maximalt dosvärde i råspont	0,957	2,043
Maximalt dosvärde utomhus	0,682	3,017

WUFI's klimatfil är ett konstruerat år med rimliga värden tagna från många år. Det är ett år som återupprepas vid mångåriga tester medan LTH's nioåriga klimatfil, som är uppmätt mellan 1990-98, har en variation på väder under de olika åren. LTH's klimatfil är mer ogynnsam än WUFI's, topparna och dalarna på temperaturen och relativ fuktighet är inte utjämnade i LTH's klimatfil.

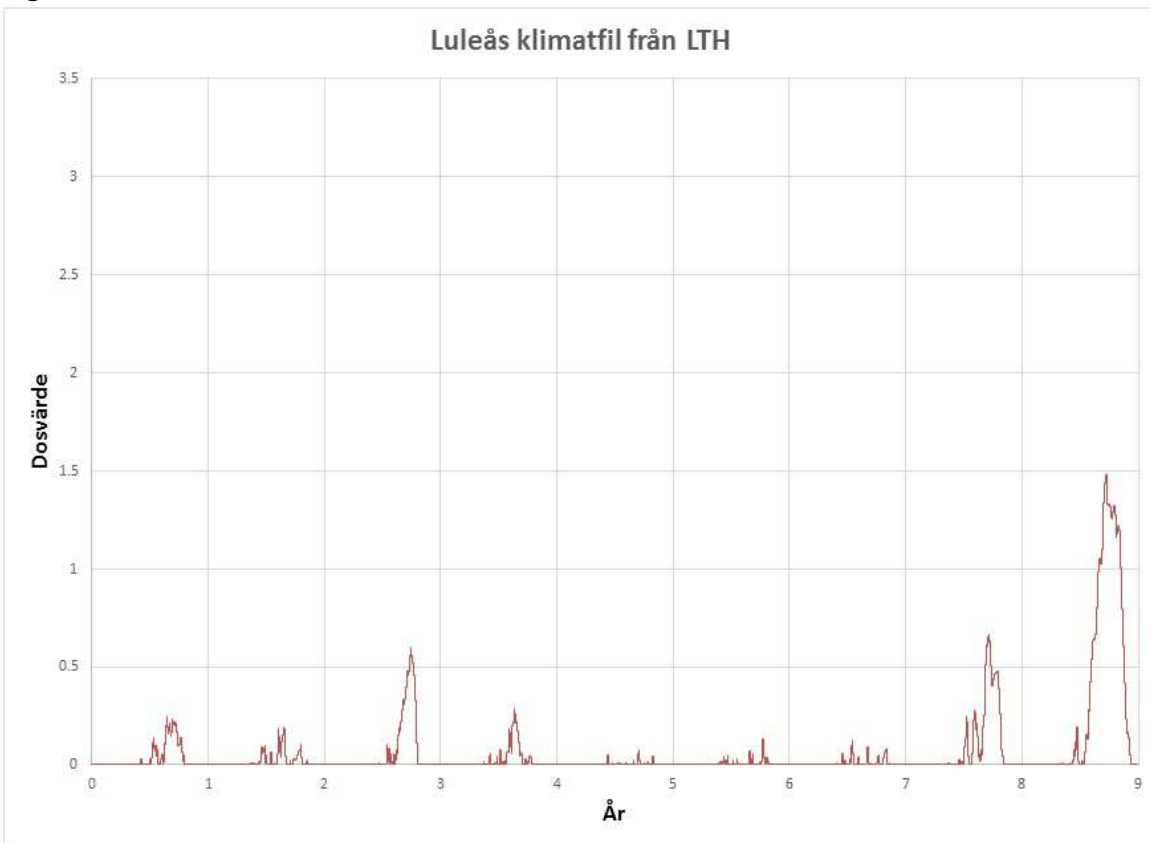
Förutom ett dosvärde på råsponten jämförs dosvärdet från utomhusklimaten i diagram över nio år.

Diagrammen på nästa sida visar hur doskurvorna reagerar på utomhusklimatet som simuleras.

Ren doskörning på relativ fuktighet och temperatur med LTH's klimatfiler för Lund och Luleå.

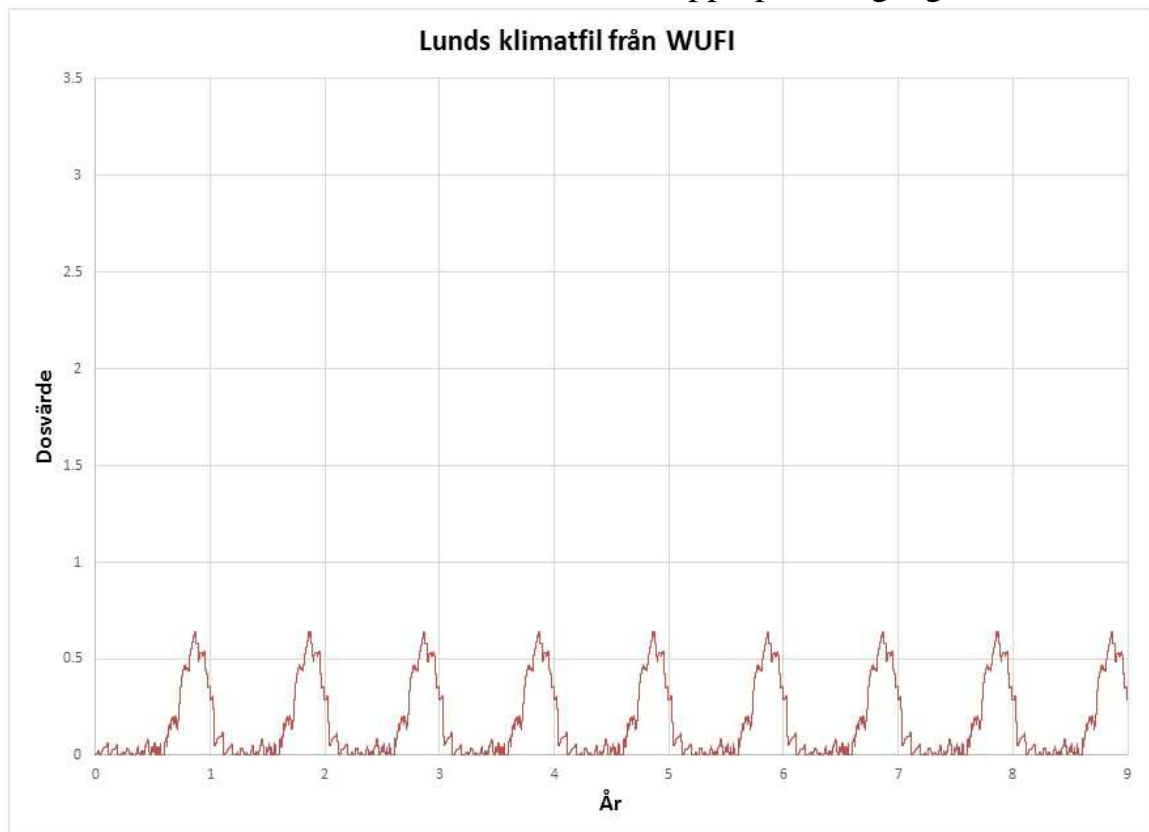


Figur 5.1

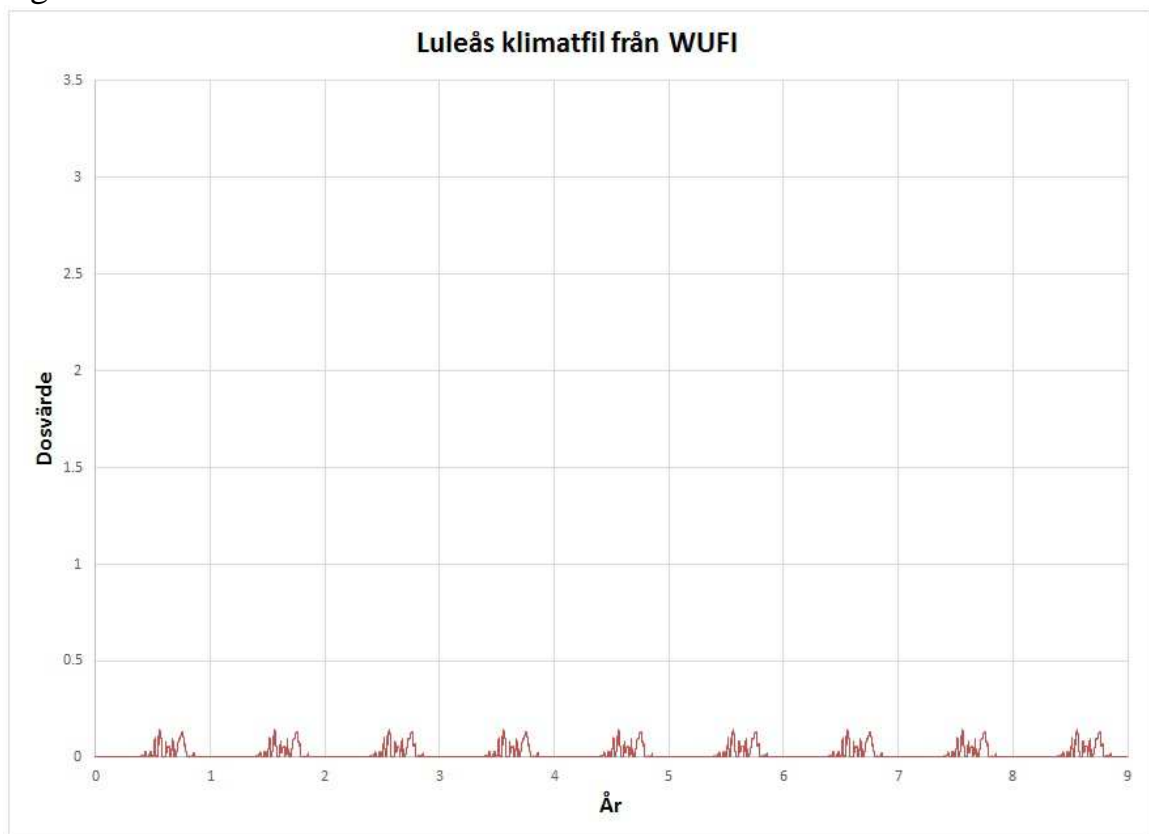


Figur 5.2

Ren doskörning på relativ fuktighet och temperatur med WUFI's klimatfiler för Lund och Luleå. Det är endast ett år som upprepas nio gånger.



Figur 5.3



Figur 5.4

Vid en jämförelse av dosvärdet från enbart utomhusklimatet syns det att LTH's klimatdatafil har gynnsammare förhållanden för mögelpåväxt än WUFI's. Luleås klimat har lägre dosvärde än Lunds i båda fallen.

## 5.2 Fler parametrar

Tabell 5.6

Analyspunkt	Råspont	Hanbjälke
Maximalt dosvärde	1,024	0,001

Hanbjälkens monitor i WUFI är den femte monitorn från vänster.

Se Figur 4.1

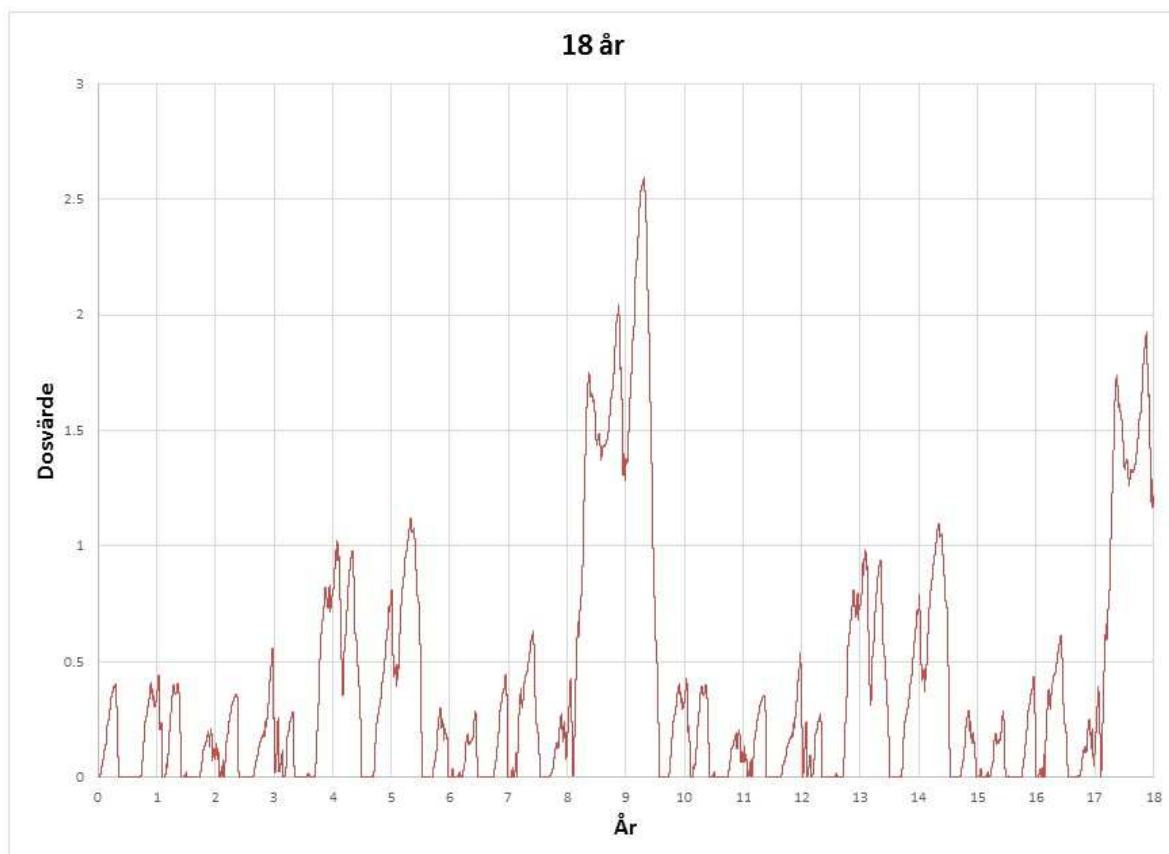
Med detta test vill vi visa på var i konstruktionen som det är störst risk för mögelpåväxt. Råsponten är ett klart sämre ställe än i hanbjälken som nästan fick en obefintlig mögeldos.

Tabell 5.7

Tjocklek på råspont	12 mm	22 mm	32 mm	45 mm
Maximalt dosvärde	0,478	1,024	2,988	20,573

Anledningen till att vi tog med detta test var för att se om en ökad råsponts tjocklek kunde plana ut dygnets olika fuktvariationer på ett bättre sätt, då den kan magasinera ett större fuktinnehåll. Resultatet blev dock det motsatta då dosvärdet blev högre med tjockare råspont. Skillnaden var markant, 32 mm råspont fick mer än den dubbla dosen jämfört med 22 mm råspont. 12 och 45 mm råspont är ytterlighetstester för att se om trenden följs.





Figur 5.5 Två cykler av den nioåriga klimatfilen.

Tabell 5.8

Tidsperiod	5 år	9 år	18 år
Maximalt dosvärde	1,024	2,043	2,596

5, 9 och 18 år testades. I den femåriga perioden sticker det femte året ut då klimatet var extra hårt, men resultatet från det nioåriga klimattestet var ännu värre då det nionde året var allra hårdast. Det artonåriga testet blev högre för att när klimatet återupprepar sig börjar det med en stigning i dosvärde på ett redan högt ingångsvärde.

Tabell 5.9

Byggfukt i hela konstruktionen	60 %	80 %	95 %	100 %
Maximalt dosvärde	1,024	1,024	1,024	1,987

Den varierande byggfukten påverkade inte mögelrisken då den snabbt ställde in sig i balans med fukthalten i omgivningen. Kan tyckas konstigt att den inte påverkade något.

Tabell 5.10

Tjocklek på cellplast i plåttaks konstruktion	0 mm	50 mm	100 mm	150 mm
Maximalt dosvärde	0,168	0,225	0,214	0,212

Här provar vi ett bandat plåttak med plåten direkt på cellplasten utan luftspalt direkt under. Vi ansåg att den bandade plåttaket var så tät att vi kunde ta bort slagregnsläckaget på 1 %. Resterande konstruktion från pappen och nedåt är densamma som fil 14. Resultatet visar inte en stor skillnad, men det är ett litet optimum utan cellplast.

Tabell 5.11 Omsättning i luftspalt under takpannor.

Oms/h	0mm cellplast.	50mm cellplast.
	Utgått från nr 5.	Utgått från nr 14.
30	0,760	1,024
20	0,764	0,990
10	0,769	1,009
5	0,772	1,092
1	0,798	1,152

Det blir lite värre med låg luftomsättning direkt under takpannorna men det är en marginell skillnad, har man 50 mm cellplast förvärras situationen ytterligare.

Tabell 5.12

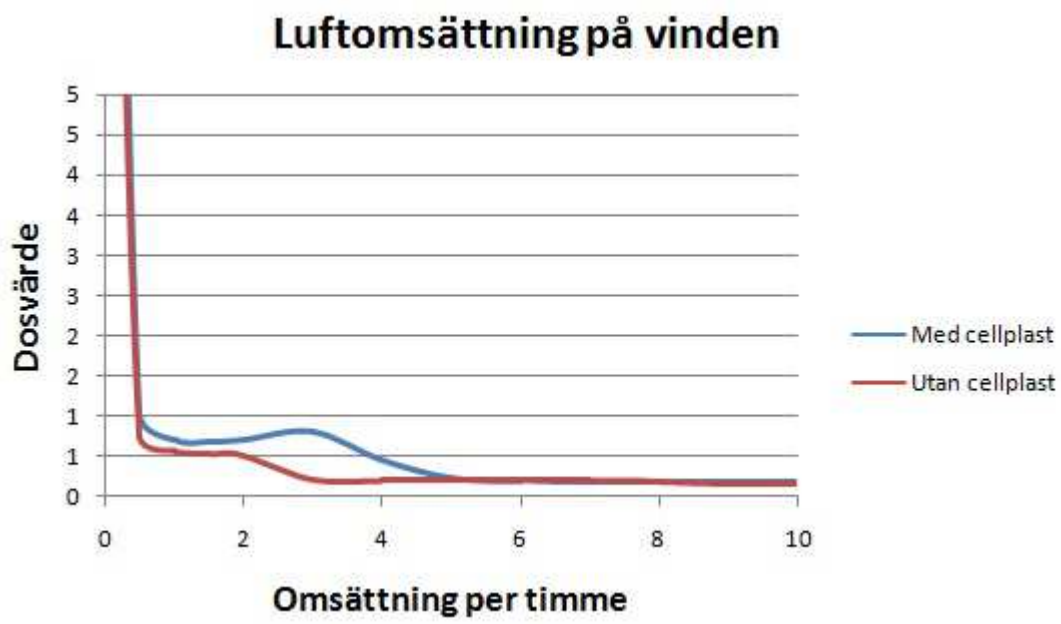
Lund 0,5 % Slagregnsläckage				
Läckage l/(sm <sup>2</sup> )	0,3			
Omsättningar på vinden /h	0,1	0,5	2	
Tjocklek / mm	0	5,723	0,530	0,314
	50	5,057	0,342	0,445
	100	4,537	0,497	0,503
	150	4,018	0,527	0,575

Anledningen till att testa minskat slagregnsläckage är delvis för att testa nattutstrålningen. Ökad ventilation kan förvärra situationen om taket är kallare än utomhustemperaturen. Det är en stor fuktkälla med 1 % slagregnsläckage och det kan hindra att nattutstrålningen märks av, men dosvärdet blir lägre med ökad ventilation och nattutstrålningen påverkar inte nämnvärt. Dosvärdena blir lägre med cellplast vid omsättning  $\leq 0,5$ . Den största förbättringen sker vid 0,5 oms/h om man lägger på 50 mm cellplast jämfört med utan.

Tabell 5.13

Luftomsättning /h	Maximalt dosvärde	
	50 mm cellplast	Utan cellplast
0	91,806	61,939
0,05	37,051	31,079
0,1	15,887	13,007
0,5	1,024	0,760
1	0,695	0,567
1,5	0,680	0,536
2	0,709	0,520
3	0,804	0,219
4	0,457	0,205
5	0,234	0,204
6	0,198	0,200
7	0,191	0,197
8	0,192	0,193
9	0,192	0,167
10	0,192	0,165

Här provar vi med och utan cellplast på råsponten. Resultatet visar hur luftomsättningen på vinden påverkar dosvärdet. En omsättning lägre än 0,5 oms/h rekommenderas inte då mögelrisken ökar drastiskt. Över 4 oms/h planar det ut och ökad ventilation förbättrar endast situationen marginellt.



Figur 5.6 Omsättningskurvor med eller utan cellplast.

### 5.3 Resultatskarta

Tabell 5.14

Maximalt dosvärde	Färg
$0 < - < 1,0$	
$1,0 \leq - \leq 1,5$	
$1,5 <$	

Upp till dosvärde 1,0 är den accepterade nivån. Dosvärde från 1,0 till och med 1,5 är gränsfall och över 1,5 är för högt värde.

Tabell 5.15 Noggrannare decimaltal presenteras i bilaga 1.

Lund										
Läckage l/(sm <sup>2</sup> )	0,1			0,3			1			
Omsättningar på vinden /h	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	
Tjocklek /mm	0	4,8	0,6	0,5	13,0	0,8	0,5	22,0	1,2	0,5
	50	10,5	0,8	0,7	15,9	1,0	0,7	21,2	1,5	0,7
	100	11,8	1,0	0,9	16,3	1,5	0,9	19,1	1,8	0,9
	150	11,5	1,0	0,9	15,6	1,5	1,0	17,8	1,8	0,9

Luleå										
Läckage l/(sm <sup>2</sup> )	0,1			0,3			1			
Omsättningar på vinden /h	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	0,1	0,5	2	
Tjocklek /mm	0	4,8	0,4	0,3	10,6	1,0	0,3	15,5	1,6	0,3
	50	5,3	0,5	0,4	6,9	0,9	0,4	12,5	0,9	0,4
	100	3,4	0,5	0,4	5,1	0,5	0,4	5,8	0,5	0,4
	150	3,5	0,4	0,5	3,8	0,5	0,5	6,3	0,5	0,5

### 5.4 Analys Lund

Läckagets inverkan spelar en stor roll vid små luftomsättningar för att sedan mattas av successivt då luftomsättningen ökar upp till 2 oms/h.

Luftomsättningen på vinden följer en trend, desto mer du ventilerar desto mer fukt torkas ut ur konstruktionen. Förhållandet på vinden ur fuktsynpunkt blir alltså bättre och möjligheten för mikrobiologisk påväxt minskar.

Att öka cellplastens tjocklek visar på en försämring ur fuktsynpunkt nästan genomgående av Lunds tester. Det finns dock en ljusglimt för cellplasten om luftomsättningen är riktigt låg (0,1 oms/h) och läckaget är högt. Då förbättras situationen något men i dessa fall är dosvärdena ändå på tok för höga.

Generellt vad som gäller för denna typ av konstruktion som är placerad i Lund, södra Sverige, så verkar cellplasten göra mer skada än nytta ur fuktsynpunkt. Ur ett energibesparande syfte höjs U-värdet på konstruktionen något.

Resultatet blir bättre när slagregnsläckaget minskar till 0,5 % enligt tabell 5.12 och cellplast utanpå taket kan minska risken för mögel i Lund.

## **5.5 Analys Luleå**

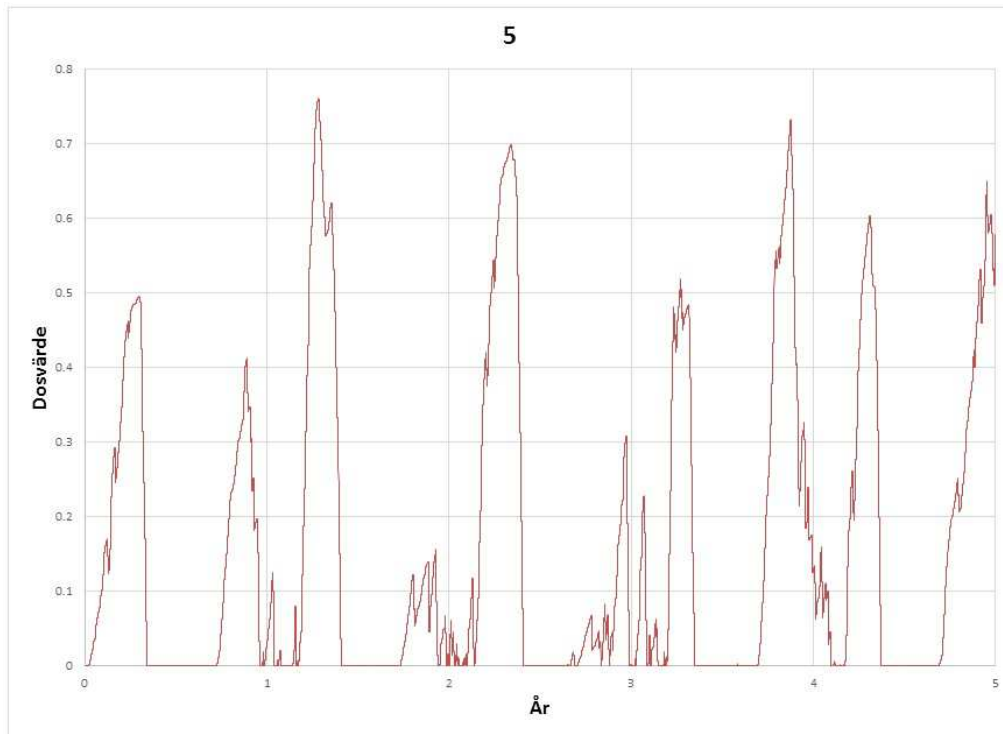
Läckaget visar på väntat resultat, problemen med fukt blir mer omfattande desto större läckaget är. Vid 2 oms/h eller mer så spelar läckaget ut sin roll. Luftomsättningar har stor påverkan i Luleå. I tabellen framgår det desto större luftomsättning desto bättre.

Cellplast förbättrar situationen då omsättningen på luft är relativt liten ( $\leq 0,5$  oms/h).

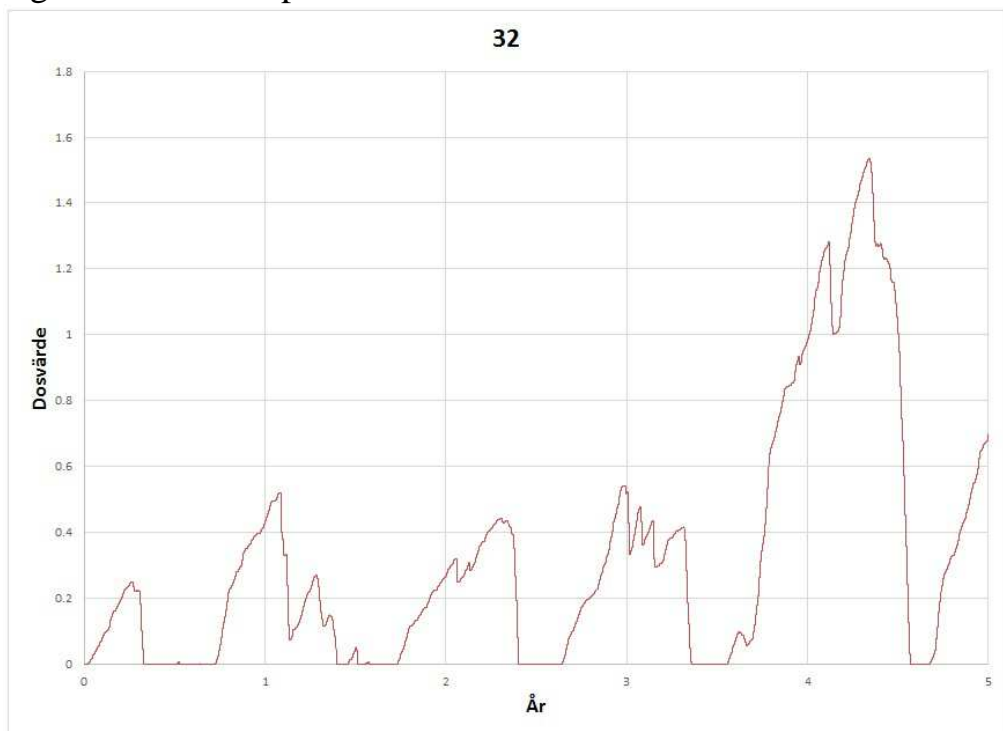
Konstruktionen som är placerad i Luleå klarar sig generellt bättre än i Lund. Antagligen på grund av det kallare klimatet.

## 5.6 Djupanalys av två fall i Lund

Med ökad cellplast ändras dosvärdet så att konstruktionen kan gå ifrån bra förhållande till sämre. För att se närmre på vad som orsakar det så analyseras nr 5 och 32 djupgående. De representerar ett utfall i mitten av läckaget och omsättningarna. Vi gör en djupare analys med hänsyn till cellplastens inverkan.

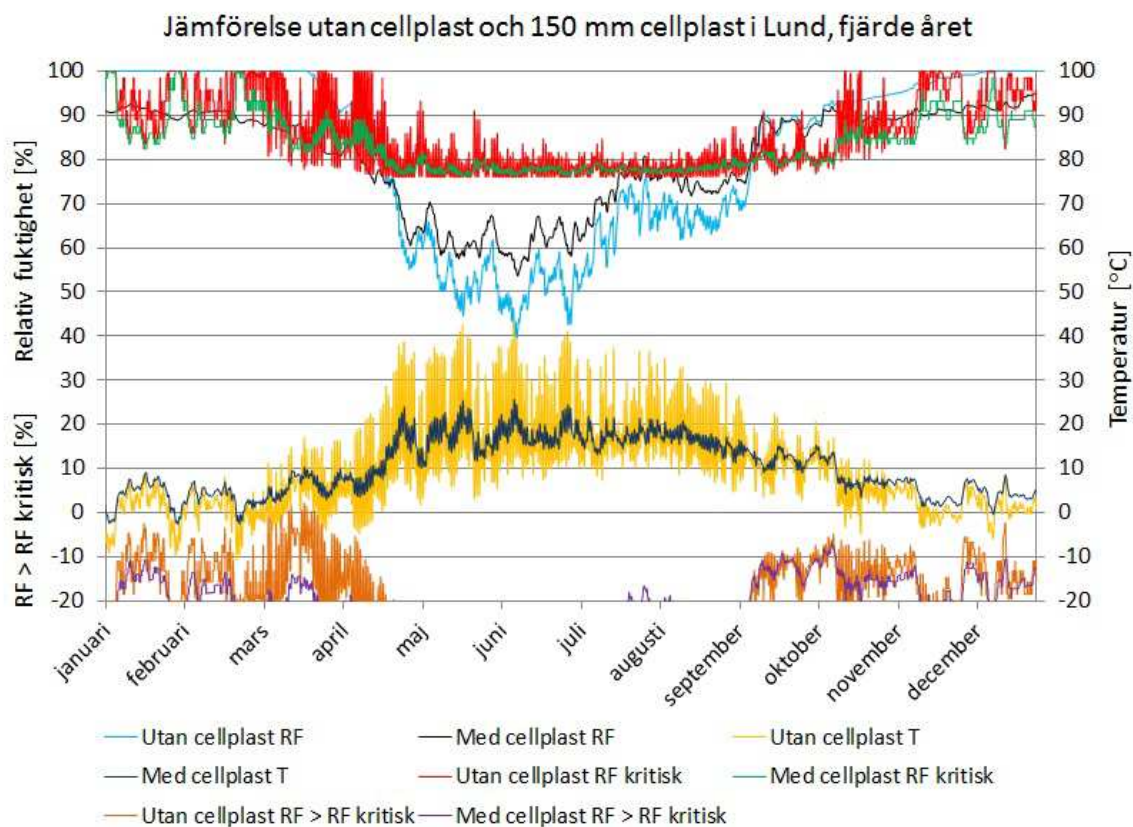


Figur 5.7 Utan cellplast.



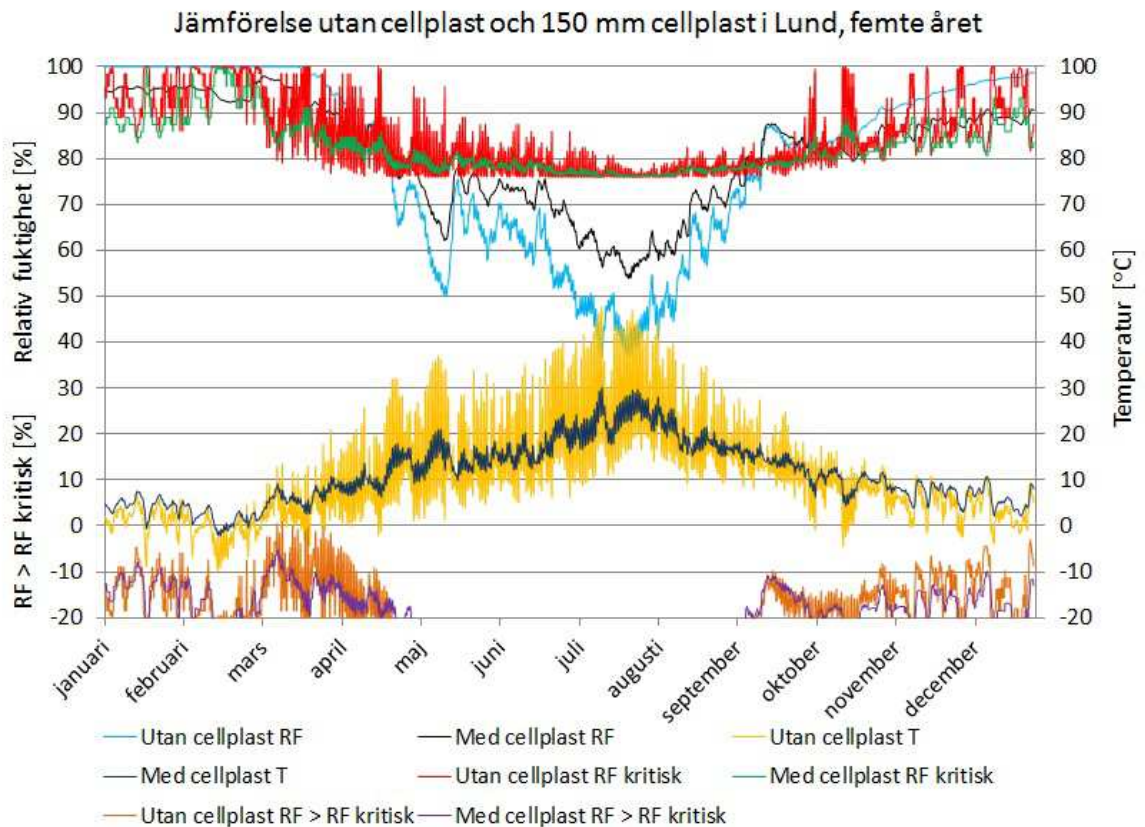
Figur 5.8 Med 150 mm cellplast.

I nr 5, när taket inte har cellplast, ligger dosvärdet nära risk för mögel i fyra av fem år. Nr 32 med 150 mm cellplast har fyra bra år och ett dåligt. Femte året är dosvärdet 1,5 och övriga år är bättre än nr 5. Den höga toppen börjar i september under det fjärde året och sjunker i april under det femte året. Jämförs dosvärdena vid alla årsskiften framgår det att dosvärdet är rekordhög mellan fjärde och femte året, det mesta av stigningen har skett innan nyår.



Figur 5.9 Mögelrisk under fjärde året.



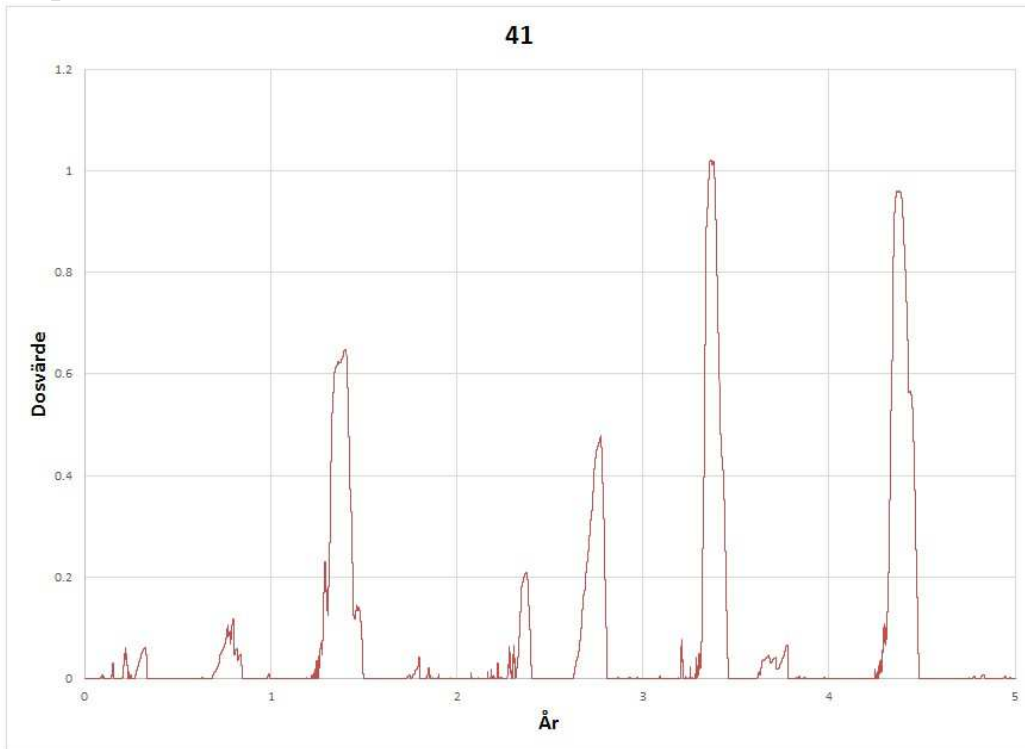


Figur 5.10 Mögelrisk under femte året.

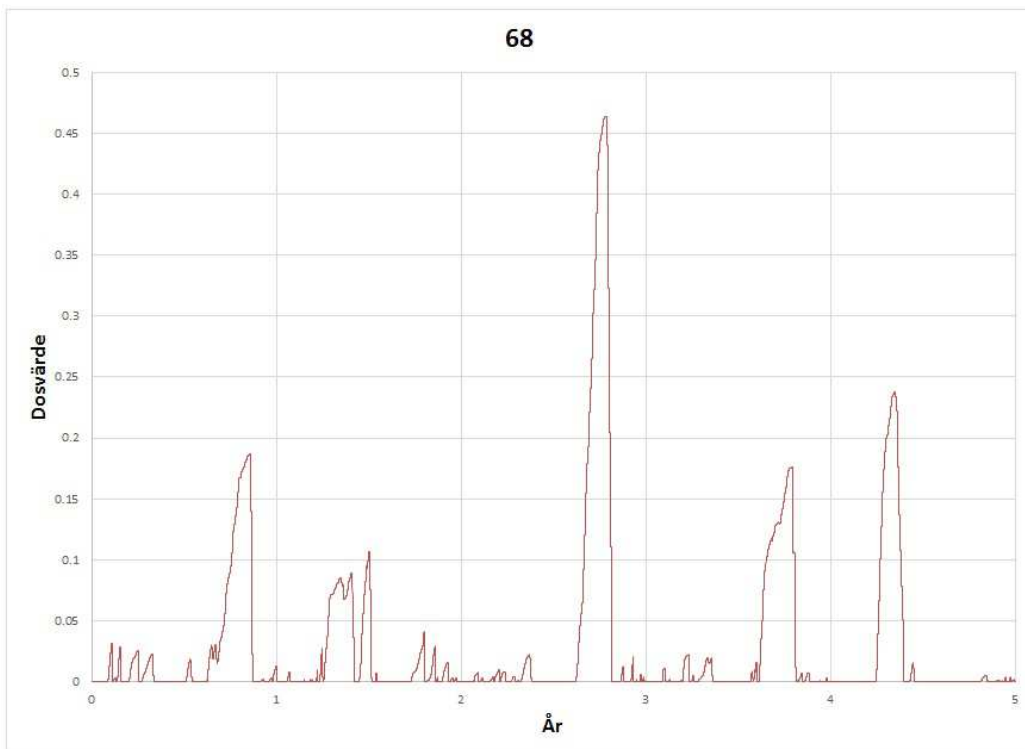
Konstruktionen med cellplast har lite jämnare kurvor. Relativ fuktighet är lägre under vintern och högre under sommaren. Relativ fuktighet är över RF kritisk under samma period som konstruktionen utan cellplast. Utan cellplast så stiger den relativa fuktigheten över RF kritisk mer än konstruktionen med cellplast. Att relativ fuktighet sänks och att RF kritisk inte överstigs lika mycket betyder att konstruktionen har lägre risk för mögelangrepp. Folosdiagrammet och dosmodellen säger emot varandra i detta fallet. Anledningen till att dosvärdet är högre i nr 32 är att med cellplast är temperaturen lite högre under vinterhalvåret vilket är gynnsamt för mögel.

## 5.7 Djupanalys av två fall i Luleå

I tabell 5.15 kan man avläsa att cellplasten ger en positiv effekt desto mer cellplasttjockleken ökar. För att se cellplastens inverkan i Luleå analyseras nr 41 och 68 då dessa har samma läckage och omsättningar men olika tjocklek på cellplasten.



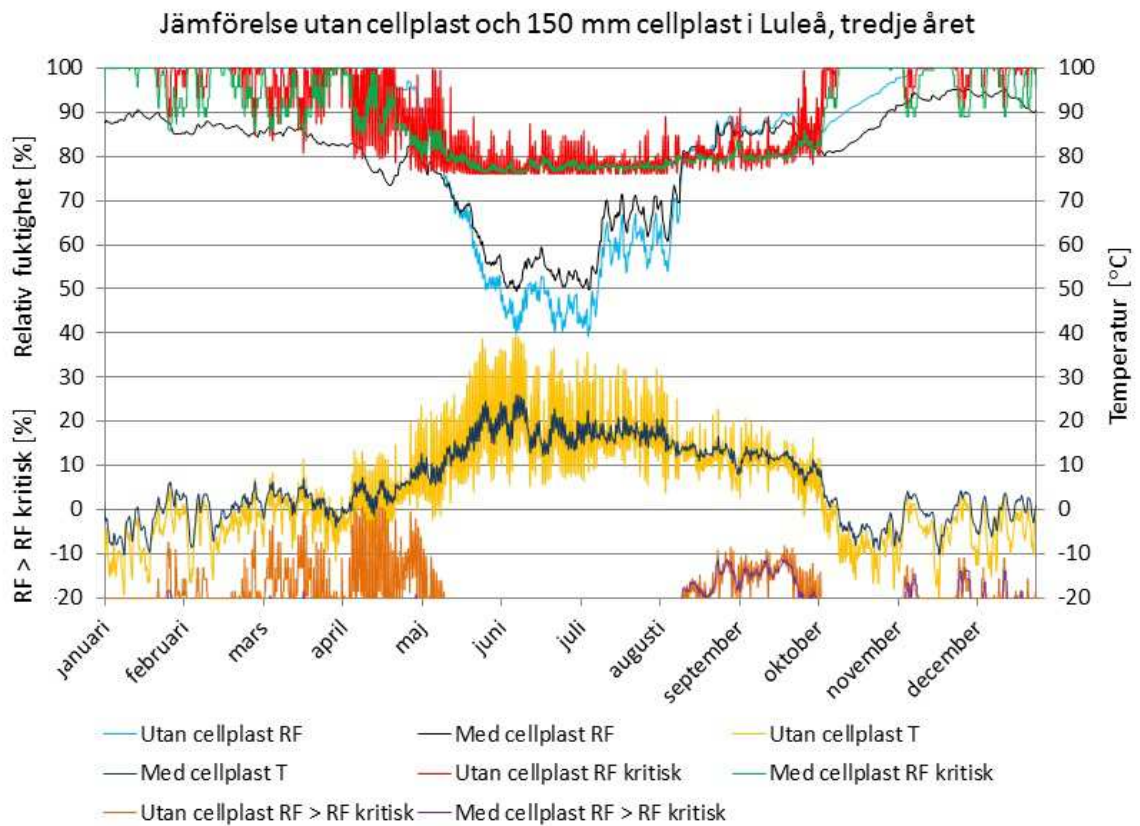
Figur 5.11 Utan cellplast



Figur 5.12 Med cellplast

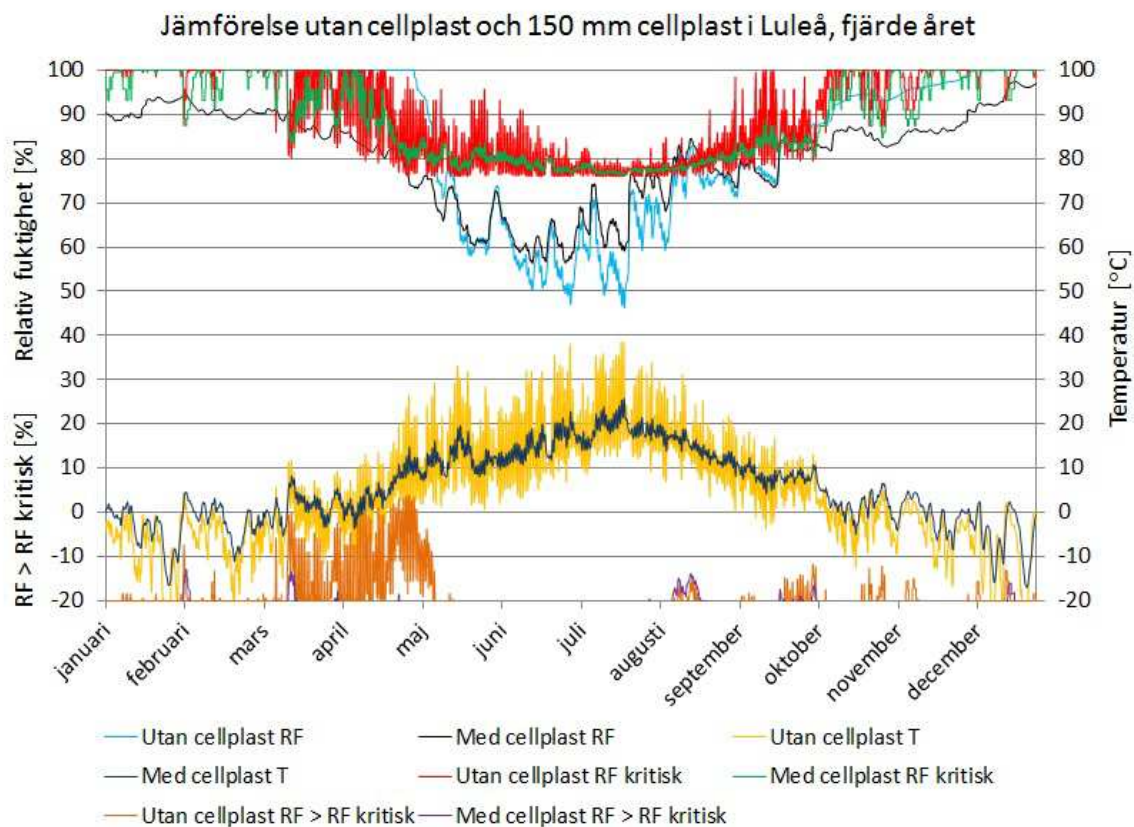
Taket utan cellplast har dosvärde över risk för mögel fjärde och femte året. I fallet med cellplast är högsta värdet tredje året men utan risk för mögelpåväxt.

Mögelrisken när de högsta dosvärdena inträffar analyseras i folosdiagram.



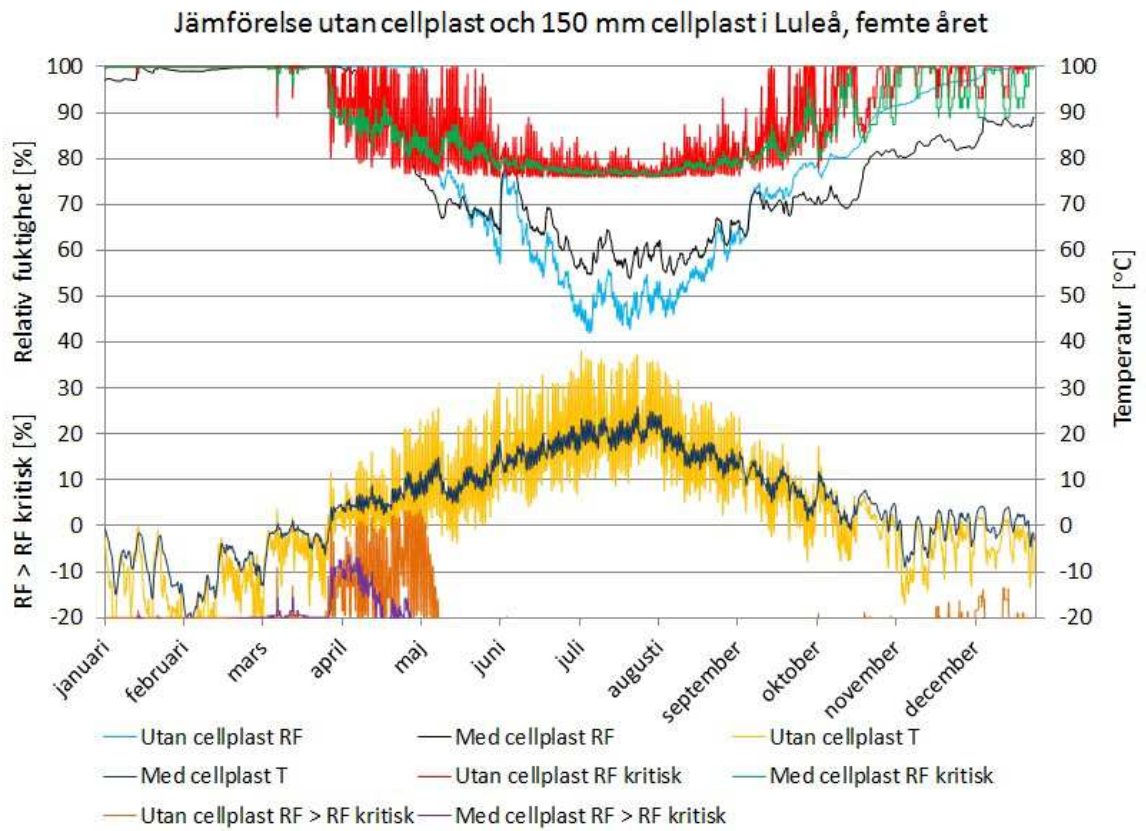
Figur 5.13

Högsta dosvärdet i nr 68 sker tredje året och folosdiagrammet visas i figur 5.13. I konstruktionen med cellplast är det inte förrän i augusti som relativ fuktighet är över RF kritisk. Utan cellplast överstigs RF kritisk oftare, ca halva året. Cellplasten har bidragit till att höja temperaturen något.



Figur 5.14

Första gången det är risk för mögel i nr 41 är under fjärde året. Under våren ökar dosvärdet drastiskt och i figur 5.14 syns det att relativ fuktighet är över RF kritisk i mars.



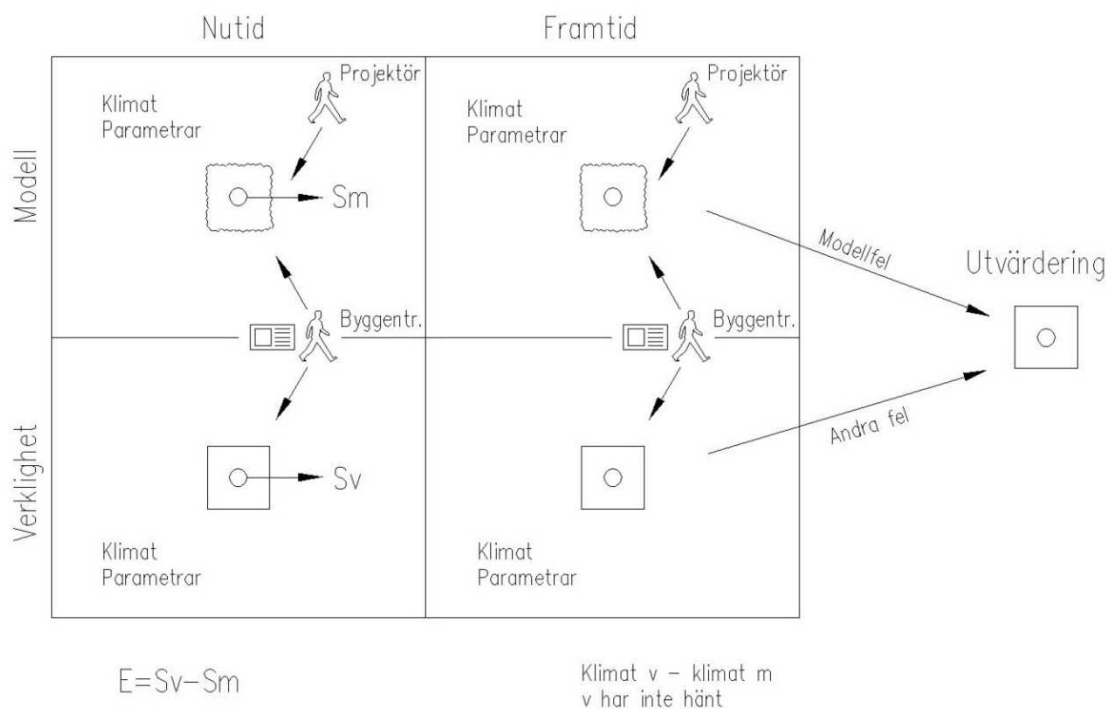
Figur 5.15

Femte året visar samma beteende som fjärde året.

## 6 Felanalys

### 6.1 Modell och verklighet

Vår analys är en teoretisk modell av verkligheten, vi försöker få modellen att överensstämja med verkligheten så väl som möjligt för att öka tillförlitligheten på arbetet. Från den slutliga utvärderingen och vår modell blir det skillnad på grund av många felkällor längs med hela vägen. Klimat och parametrar är faktorer som påverkar mögelrisken i alla skeden. Vid modellering är det en svår uppgift att uppskatta klimatet både i nutid och i framtiden.



Figur 6.1 Felkällor

#### Modell/Nutid:

Rutan visar bygghandlingarna över projektet med projektören som har skapat en modell. Modellen kan inte vara som verkligheten men den uppskattar mögelrisken. Det finns olika felkällor i projektörens modell på grund av diverse antaganden och hur modellen är uppbyggd. Modellen är baserad på ritningar som redan har mer eller mindre felaktigheter och ofullständigheter jämfört med verkligheten.

#### Verklighet/Nutid:

Projektet är byggt efter bygghandlingarna. Ritningarna reviderades successivt under byggtiden vilket gav en skillnad mot modellen. Det blev även avvikelser när hantverkarna uppförde byggnaden. Den färdiga byggnaden ger ett svar på

mögelrisken. Vid en jämförelse är det en skillnad mellan modellens svar ( $S_m$ ) och verklighetens svar ( $S_v$ ) som är avvikelserna ( $E$ ).

Framtid:

I framtiden är det samma felkällor men klimatets noggrannhet minskar avsevärt. Det går inte att mäta avvikelserna, istället uppskattas felen. Klimatet är den största felkällan men det finns andra fel som påverkar om byggnaden klarar sig som t.ex. vattenläckage och förändrade materialegenskaper.

## 6.2 Felkällor i simuleringar

I verkligheten är problemet tredimensionellt men vi väljer att hantera det endimensionellt på grund av att komplexiteten hade blivit för stor. WUFI kan endast göra en- eller tvådimensionella beräkningar. Att vi hanterar detta endimensionellt tror vi inte gör någon större skillnad på slutresultatet.

Vår modell är ett plant tak och är oberoende av väderstrecket som påverkar slagregnets inträngning och solstrålarnas infallsvinkel. Slagregnet i Lund kommer ifrån sydväst och solstrålningen ifrån syd, medan norrsidan får både mindre slagregn och mindre solstrålning. Med detta resonemang anser vi att utförda simuleringar med plant tak ger ett rättvist resultat i Lund.

Vi anser att fem år är en tillräcklig tidsperiod för att modellen ska hamna i balans med omgivningen. Simuleringen sker med de fem första åren av klimatdatafilen, de sista fyra åren uteblir varav de sista året har hårdast klimat. Därför är det bättre med långa tidsserier.

Luftomsättningen på vinden är svår att uppskatta. Den är antagen på befintlig data och inte uppmätt i verkligheten. Här finns en osäkerhet som vi har valt att hantera med tre olika luftomsättningar i simuleringarna. Beräkningarna i WUFI är gjorda med konstant luftomsättning.

Inomhusläckaget i WUFI är en omsättning som går ut i konstruktionen för att sedan gå tillbaka till inomhusluften. Detta scenario är inte troligt då luften kommer vandra ut efter att den har passerat ångspärren. Sättet läckaget är uppbyggt på transporterar ut fukt i konstruktionen vilket är troligt, men läckaget kan även torka ut konstruktionen då ånghalten inomhus är lägre än ånghalten utomhus. Detta tillvägagångssätt att bygga upp fuktkällan ger en minskad fuktbelastning jämfört med verkligheten. Men den uttorkande effekten som sällan sker är inte av någon större betydelse i vårt fall.

Storleken på inomhusläckaget räknades ut i kapitlet 4.4 Handberäkningar.  $\Delta p_{\text{tot}}$  driver läckaget genom bjälklaget och påverkas av vinden och termiska krafter. Vårt antagande är ett konstant flöde men det sker inte i verkligheten för att trycket varierar över tiden.

Regnläckaget har en stor inverkan på utfallet, det är svårt att säga hur stor del av regnet som läcker in och var det tränger in i konstruktionen. Vi har valt att hantera läckaget som ett jämnt utspritt lager i råsponten för att illustrera verkliga läckage.

Luftspalterna är uppbyggda av tre skikt för att hantera de numeriska beräkningarna bättre. WUFI är inte konstruerat för att bygga upp luftspalter som vi gör. Trots att vi gjort de numeriska beräkningarna smidigare för WUFI uppstår det ibland problem med att luften bär för mycket fukt. Fukthalten blev förhöjd under flera månaders tid, i vissa fall, och höjde mögeldosen.

Tabell 6.1

Tidssteg	1 h	0,5 h	0,25 h
Maximalt dosvärde	1,059	1,024	1,024

Skillnaden på de olika tidsstegen 1 h och 0,25 h i beräkningarna var ytterst små. Dock spelar det en stor roll när uträkningarna i WUFI hänger upp sig och vattenmängden i luftspalten blir orimligt högt. Ett minskat tidssteg ger en mer exakt vattenmängd.

Tabell 6.2

Gitter	Medel	Fint
Maximalt dosvärde	1,024	0,969

Antalet celler som ett material är uppbyggt av har inställningsmöjligheten satts till medel eller fint. Detta ger en liten skillnad på mögeldosen.



## 7 Diskussion

Diskussionen består av många lösa trådar som har hittats under resans gång. Vi belyser dem med olika djup i respektive ämne och ännu fler trådar dyker hela tiden upp. Meningen med diskussionen är att lyfta upp olika problemställningar för att sedan resonera kring dessa.

Allmän uppfattning är att mögelrisken ska minska med utvändig isolering och minskad ventilation. Våra tester går emot uppfattningen och tyder på att det är bättre med mycket ventilation och i Lund är det dessutom bättre att inte montera utvändig isolering på taket.

Testerna med olika tjocklekar på råsponten gick helt emot redan kända fakta. Tjockare råspont har större fuktkapacitet och borde klara sig bättre. Kvalitet på virket och tätare årsringar påverkar också mögelpåväxt. Våra resultat från WUFI visar på motstridiga uppgifter. I verkligheten blir det oftast mögel på råsponten och inte på takstolarna som är av grövre dimension. Vår teori är att mögelrisken ökar med allt tjockare råspont för att det är en ensidig uttorkning av råsponten. Vattnet från slagregnsläckaget magasineras i råsponten och uttorkningsförloppet blir längre för större dimensioner.

I kapitlet 5.6 Djupanalys av två fall i Lund, har nr 32 högre dosvärde än nr 5 trots att nr 32 har 150 mm cellplast. Man får göra en bedömning om det är värst med en topp under en femårsperiod eller fem år nära gränsen för mögelproblem. Folosdiagrammet figur 5.9 visar att temperaturen i nr 5 understiger 0 °C. Då ger dosmodellen en dos på -0,4 var 12:e timme vilket kan förklara att nr 5 tillåts att sjunka mer än nr 32 i dosvärde och att det blir en stor skillnad. Dosmodellens sätt att räkna ut dosen kring 0°C ger en stor effekt på dosvärdet, oavsett om dosen är för låg eller för hög så kommer nr 32 att ha ett högre dosvärde än nr 5.

Folosdiagrammen i figur 5.9 och 5.10 visar att nr 32 har lägre relativ fuktighet under vintern än nr 5 vilket antyder att nr 32 skulle vara bättre och det går emot dosmodellens resultat.

Samma konstruktioner men med 0,5 % slagregn istället för 1 % ger ett annat resultat. Dosvärdet blir lite bättre med 150 mm cellplast än det utan cellplast. Belastningen har minskat och omsättningen klarar av att hantera fukten. Mängden fukt i råsponten påverkar direkt dosvärdet men även förloppet, från att cellplasten gav en negativ effekt ger det en positiv effekt som avtar med ökad tjocklek på cellplasten. Ett slagregnsläckage på 1 % kan tyckas vara lite väl hårt att placera i råsponten. Vi har valt 1 % slagregnsläckage för att göra

konstruktionen robust och ge den en marginal för olika framtida scenarier. Så som byggfel, div. vattenläckage eller hårdare klimat.

Luftomsättningens påverkan är betydande som tabell 5.15 visar. Vid 0,1 oms/h är det en extremt liten luftomsättning som innebär att vinden måste i princip vara helt tät. Anledningen till att dosvärdet skjuter i topp är att fukt som kommer in i konstruktionen har små möjligheter att få torka ut. Utfallet med 0,1 oms/h blir en hög mögeldos som inte är trolig att inträffa på kallvindar och klimatvindar som har en normal luftspalt.

Att minska luftomsättningen ska hindra fuktig uteluft att träffa råsponen som är kallare på grund av nattutstrålning. Med cellplast borde nattutstrålningen inte minska temperaturen på råsponen och att ha en hög luftomsättning borde inte längre vara ett problem.

I vår modell kan vi inte se någon påverkan av nattutstrålning. Under natten kan yttertakets bli kallare utan att det påverkar råsponen. Takpannorna och luftspalten under takpannorna kan vara ett naturligt skydd.

Med cellplast höjer man temperaturen på råsponen under vintertid. Inte alltid lyckat då relativa fuktigheten sjunkit för lite, då förvärras istället situationen om cellplast används. Speciellt när temperaturen i modellerna är nära 0°C och höjs med några få grader till tillväxtmiljö.

Dosmodellen och folosdiagrammet är två olika analytiska verktyg för att se om förhållandena är gynnsamma för mögelpåväxt. Resultaten är väldigt beroende på temperatur- och relativ fuktighetsgränserna som programmen bygger på, det kan vara svårt att jämföra modellerna mot varandra. Vem ligger närmst verkligheten? Folosdiagrammet kan vara för enkelt att se mögelrisk på och dosmodellen kanske inte fungerar så bra vid 0 °C.

Beräkningarna sker på en yta som ska motsvara hela huset. Det finns sämre delar av konstruktionen t.ex. takfönster, takluckor, kupor, balkonger, skuggpartier och skarvar. Med hänsyn till dessa så är konstruktionen i verkligheten sämre än vad WUFI-modellen visar. Robusta räkningar bör göras för att huset ska klara av risken för biologisk påväxt med marginal.

För att förbättra konstruktionen kanske cellplast ska förses med spår på undersidan för att möjliggöra dränering och uttorkning. Traditionell plan cellplast direkt på underlagspappen är kanske inte optimalt då uttorkning ej kan ske. Med längsgående spår på cellplastens undersida som följer lutningen på taket skapas en luftspalt där uttorkningen underlättas. På detta sätt kan man stoppa vattnet från att lägga sig mellan materialen och undvika att vatten letar sig igenom underlagspappen.

Vid montering av cellplast på underlagspappen blir det många skruvhål jämfört med ett traditionellt tak utan cellplast. Alla genomföringar ökar risken för läckage av regnvatten som tränger genom takpannorna.

Framtiden ligger kanske i att bygga tak med oorganiskt material för att undvika mögelproblematiken. Dagens vindsutrymme får sämre fuktförhållande med tanke på att isoleringstjockleken i bjälklaget ökar successivt.

Brandsäkerheten på taket med cellplast måste beaktas då cellplasten reagerar häftigt vid brand. Pölbränder som uppstår när cellplast brinner är svåra att förutse då det kan sprida sig till oväntade ställen. Stenull är ett alternativt material istället för cellplast ur brandhänsyn vid kritiska punkter på konstruktionen. Att använda stenull närmst takfot och brandvägg ger ett ökat brandskydd.

Klimatvindar går även att skapa med yttertak av papp eller plåt. Att använda cellplast under plåttak kanske inte är en så bra idé då skivan ej får utsättas för högre temperatur än 80 °C. Under sommarhalvåret kan ett mörkt plåttak uppnå höga temperaturer när solen står på, det sätter cellplasten i riskzonen.

Hur står den extra kostnaden som uppstår för att skapa en klimatvind i proportion till andra alternativ som t.ex. styrd ventilation av vindsutrymmet? Materialkostnaden för cellplast och montagekostnad per kvadratmeter tak uppgår till 120-190 kr, till exempel ett villatak som är 100 m<sup>2</sup>. Med 50 mm cellplast och en livslängd på 25 år kostar det 480-760 kr/år jämfört med styrd ventilation som kostar 325-725 kr/år. Kostnaderna för båda metoderna är snarlika. Så val av metod faller nog på andra parametrar som t.ex. funktion.

Framtida renoveringar av klimatvindar blir mer komplexa då cellplasten måste monteras om när underlagspappen skall bytas. Går cellplasten då att återanvända eller är den uttjänad? Minskas intervallerna på takrenoveringar med en klimatvind? Är det lönsamt att investera i en klimatvind på en befintlig fastighet med kallvind som står inför en takrenovering?

## 8 Slutsats

Klimatvindar lämpar sig bättre i den norra delen av landet men det är tveksamt om metoden fungerar i södra delen på grund av klimatvariationerna.

Vi får delvis motsatta resultat av effekterna från tilläggsisoleringen. Det finns inga enkla svar om man ska använda cellplast oavsett tjocklek eller inte. Varje fall måste testas och analyseras för att de lokala förutsättningarna är en avgörande faktor.

Så länge man lyckas att hålla nere regnläckaget till 0,5 % i Lund så ger cellplasten en viss förbättring av klimatet på vinden. Men inte i proportion till Luleå där cellplasten gör större nytta.

Parametrarna har olika stor effekt på beräkningarna. Störst påverkan har klimatet till följd av slagregnläckaget.

Med cellplast höjer man temperaturen på råsponten under vintertid. Inte alltid så lyckat då relativa fuktigheten sjunker för lite och är fortfarande över RF kritisk. Relativ fuktighet och temperatur befinner sig i zonen där tillväxt av mögel kan ske, då förvärras situationen om cellplast används i södra Sverige.

Dosmodell och folosdiagram har gett delvis samma resultat. Man bör använda båda metoderna när man undersöker en konstruktion.

## 9 Förslag på fortsatta studier

Lönar det sig att investera i en klimatvind? Då det finns andra alternativ som t.ex. styrd ventilation som har rätt låg driftkostnad per år. Den ekonomiska aspekten angående extra monterings-tid för att få cellplasten på plats och inköpskostnad av cellplast kanske överstiger kostnaden för styrd ventilation.

Det skulle vara intressant att ta reda på miljöbelastningen som cellplasten orsakar. Även miljöbelastningen för el till styrd ventilation är intressant, den kan komma från t.ex. brunkol eller solceller på taket som är vitt skilda energikällor.

Andra material kanske ska användas i framtidens takkonstruktioner. Det är kanske dags att fasa ut de organiska materialen som finns i våra tak, i och med den ökande exponeringen av fukt på kallvindarna, tack vare den tjocka isoleringen som monteras idag. Kanske råsponten byts ut mot en oorganisk skiva, och trätakstolen byts ut mot en plåttakstol. Detta för att motverka framtida mögelangrepp.

## 10 Källförteckning

Boverket 1. (2010). *God bebyggd miljö – förslag till nytt delmål för fukt och mögel Resultat om byggnaders fuktskador från projektet BETSI.*(Elektronisk).

Tillgänglig:

<<http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2011/BETSI-Fukt-och-mogel.pdf>> (2012-03-12).

Boverket 2 (2011). *Regelsamling för byggande, BBR 2012.* (Elektronisk).

Tillgänglig:

<<http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2011/Regelsamling-for-byggande-BBR.pdf> > (2013-03-12).

Brar, H., Hjalmarsson, Å & Holmgren, J. (2006). *Tätning eller ventilering mot fukt på kalla vindsutrymmen.* Jönköping: Högskolan i Jönköping.

Cellplast Direkt. *Plustak.*(Elektronisk). Tillgänglig:

<[http://www.cellplastdirekt.se/filer/Nyhetsbrev\\_Cellplast\\_Direkt.pdf](http://www.cellplastdirekt.se/filer/Nyhetsbrev_Cellplast_Direkt.pdf)> (2013-03-06).

Hansén, M. & Strand, P. (2009). *Kallvindskonstruktioner – Hänsyn tagen till fukt- och brandkrav för kvarteret Tuppen i Borås.* Borås: Högskolan i Borås.

Hansson, D. & Lundgren, N. (2009) *Problematiken isolering vindsbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar.* Stockholm: KTH.

Hukka, A. & Viitanen, H.A. (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology* nr 33, ss. 475-485.

Johansson, P. (2010). *Mögel på trä och träbaserade material.* (Elektronisk).

Tillgänglig:

<<http://www.sp.se/sv/index/research/woodbuild/publications/Documents/M%C3%B6gel%20p%C3%A5%20tr%C3%A4%20och%20tr%C3%A4baserade%20material.pdf>> (2013-03-13).

Kurkinen, K. & Österlund, J. (2011). Utvändigt isolerade kalltak.

*Bygg och Teknik* nr 4, ss. 31-35

Maco-Dach. *Isolera smart.*(Elektronisk) Tillgänglig: <[www.Macotakisolering.com/flyer.pdf](http://www.Macotakisolering.com/flyer.pdf) > (2013-03-06).

Mundt-Petersen, S.O., Wallentén, P., Toratti, T. & Heikkinen, J. (2012). Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart. *Thermophysics 2012 - Conference proceedings, 17th International Meeting of Thermophysical Society*.

Nevander, L.E. & Elmarsson, B. (1994) *Fukthandbok - Praktik och teori*. Stockholm: AB Svensk byggtjänst.

Sasic Kalagasidis, A. & Mattson, B. (2005). *Modeling of moisture conditions in a cold attic space*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.kuleuven.ac.be/bwf/projects/annex41/protected/data/CTH%20Oct%202005%20BGinf%20A41-T1-S-05-3.pdf>> (2013-03-27).

SBUF. (2010). *Effekter på funktion och kostnad av styrd ventilation av kallvindar. SBUF-projekt 11871, 11955*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.sbuf.se/ProjectArea/Documents/ProjectDocuments/9902CCAA-602D-4F8B-B137-FAB36A2F3A07/FinalReport/SBUF%2011955%20Slutrapport%20Kalla%20Vindar%20EtappI%20II.pdf>> (2013-03-09).

Sedlbauer, K.(2001). *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*. Diss. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/ks\\_dissertation\\_etcml021-30729.pdf](http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/ks_dissertation_etcml021-30729.pdf)> (2013-03-12).

Skanska. *Bygg- och anläggningsverksamhet*.(Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.skanska.se/sv/Om-Skanska/Verksamheten-i-Sverige/Bygg--och-anlaggningsverksamhet/>> (2013-04-19).

TenWolde, A. (2008). *ASHRAE Standard 160P - Criteria for Moisture Control Design Analysis in Buildings*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2008/fpl\\_2008\\_tenwolde001.pdf](http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2008/fpl_2008_tenwolde001.pdf)> (2013-03-20)

Thelandersson, S & Isaksson T. (2013). Mould resistance design (MRD) model for evaluation of risk for microbial growth under varying climate conditions. *Building and Environment* nr 65, ss. 18-25.

Thermisol. *Bästa taket för just ditt hus*.(Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.thermisol.se/assets/files/sverige/Tak/basta\\_taket2.pdf](http://www.thermisol.se/assets/files/sverige/Tak/basta_taket2.pdf)> (2012-12-30).

Viitanen, H., Vinha, J., Salminen, K., Ojanen, T., Peuhkuri, R., Paajanen, L. & Lähdesmäki, K. (2010) Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures. *Journal of Building Physics* nr 33, ss. 201-224.

Walldén, M. (2013). Cellplast kräver kunskap. *Husbyggaren* nr 2, ss. 10-13.

Warfvinge C. & Dahlblom, M. (2010) *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.

WUFI 1. *WUFI.se*. (Elektronisk). Tillgäng: < <http://wufi.se/Valkommen.html>> (2013-03-11).

WUFI 2. *WUFI PRO, 2D, Plus*.(Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.wufi.de/index\\_e.html](http://www.wufi.de/index_e.html)> (2013-03-11).



# 11 Bilagor

## 11.1 Bilaga 1

Skarpa tester 1-72 med 1% slagregn

NR	Maximalt dosvärde	NR	Maximalt dosvärde	NR	Maximalt dosvärde	NR	Maximalt dosvärde
1	4,837	19	11,782	37	4,839	55	3,373
2	0,630	20	0,995	38	0,437	56	0,458
3	0,496	21	0,878	39	0,345	57	0,447
4	13,007	22	16,345	40	10,579	58	5,075
5	0,760	23	1,470	41	1,020	59	0,479
6	0,520	24	0,891	42	0,334	60	0,448
7	22,020	25	19,102	43	15,455	61	5,844
8	1,182	26	1,758	44	1,560	62	0,475
9	0,538	27	0,884	45	0,338	63	0,441
10	10,529	28	11,480	46	5,313	64	3,548
11	0,761	29	1,039	47	0,515	65	0,448
12	0,691	30	0,946	48	0,421	66	0,460
13	15,887	31	15,628	49	6,908	67	3,784
14	1,024	32	1,534	50	0,914	68	0,464
15	0,709	33	0,957	51	0,427	69	0,460
16	21,231	34	17,800	52	12,479	70	6,302
17	1,454	35	1,840	53	0,878	71	0,456
18	0,733	36	0,946	54	0,421	72	0,465