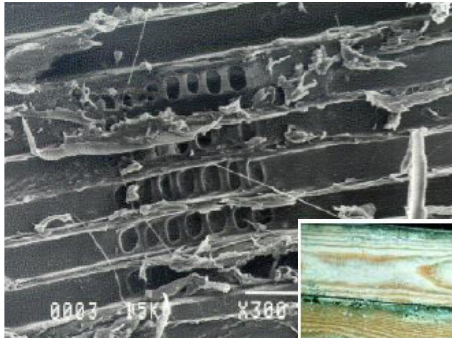


# Mögelriskanalys av ytterväggar

Undersökning av beräknings-  
metoder och kritiska parametrar



Mögelindex 1



Mögelindex 6

**Niclas Kjellberg**

---

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet, 2011

Rapport TVBK-5200  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 LUND

Department of Structural Engineering  
Lund Institute of Technology  
Box 118  
S-221 00 LUND  
Sweden

## Mögelriskanalys av ytterväggar

Undersökning av beräkningsmetoder och kritiska parametrar

Niclas Kjellberg  
2011

Rapport TVBK-5200

ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK-11/5200-SE(57)

Examensarbete  
November

2011



## Abstract

- Title:** Mould risk analysis of exterior walls  
*A survey of modeling techniques and critical parameters*
- Author:** Niclas Kjellberg
- Supervisor:** Petter Wallentén, Assistant professor, the Department of Building Physics, Lunds Tekniska Högskola  
Tord Isaksson, Assistant professor, the Division of Structural Engineering, Lunds Tekniska Högskola
- Examiner:** Sven Thelandersson, Professor, Head of Division, the Division of Structural Engineering, Lunds Tekniska Högskola
- Problem:** In the building regulations established by the Swedish National Board of Housing, there are mainly general rules. For design of the risk for mould onset, there is a need for further methods that take into account the essential parameters.
- Purpose:** The purpose of this master thesis is to investigate two different mathematical models for calculating the risk of mould onset. These models will then be compared to each other. Furthermore a study will be made on which parameters are most critical for mould initiation
- Method:** A case study on heat and moisture in different wall types is formed using the calculation program WUFI. The cases are two different wall types, located in Lund and in Luleå. The parameter study is performed by comparing results from different simulations where one parameter at a time changes
- Conclutions:** The calculation models serve as an effective tool to determine which of several alternative designs that best resists mould.
- Keywords:** Isopleth, relative mould dose, WUFI, critical time, mould index, heat transfer, moisture transfer



## Sammanfattning

- Titel:** Mögelriskanalys av ytterväggar  
*Undersökning av beräkningsmetoder och kritiska parametrar*
- Författare:** Niclas Kjellberg
- Handledare:** Petter Wallentén, Universitetslektor på avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola  
Tord Isaksson, Universitetslektor på avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola
- Examinator:** Sven Thelandersson
- Problemställning:** I Boverkets byggregler finns gällande fukt i huvudsak allmänna föreskrifter. För att dimensionera byggnader med hänsyn till risk för mögel, behövs vidare metoder i form av beräkningsmodeller som tar hänsyn till alla väsentliga parametrar.
- Syfte:** Rapporten syftar till att undersöka två olika beräkningsmodeller och jämföra dessa med varandra. Det skall även göras en studie av inparametrar för att uppnå djupare insikt i vilka som har störst inverkan på mögelbenägenheten
- Metod:** En fallstudie av fuktförhållanden i olika väggtyper utförs med hjälp av simuleringsprogrammet WUFI. Dessa jämförs för orterna Lund och Luleå. Parameterstudien utförs som en jämförelse mellan resultaten från olika simuleringar där en parameter i taget förändras.
- Slutsatser:** Beräkningsmodellerna fungerar som ett effektivt verktyg för att bestämma vilken av flera alternativa utformningar som bäst står emot mögelangrepp.
- Nyckelord:** Isoplet, mögeldos, WUFI, kritisk tid, mögelindex, värmetransport, fuktransport



## Förord

Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och är genomfört vid avdelningen för konstruktionsteknik samt avdelningen för byggnadsfysik vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Skanskas avdelning för byggnadsfysik.

Jag vill rikta ett varmt tack till min handledare Petter Wallentén på avdelningen för byggnadsfysik för all hjälp jag har fått med att sätta mig in i ämnet och programvaran som har använts. Jag vill också tacka Sven Thelandersson, Åse Togerö, Martin Häglund och Tord Isaksson som vid möten har varit med och diskuterat hur arbetet skulle genomföras samt för att ni har delat med er av era kunskaper inom ämnet.

Malmö 2010-11-26

Niclas Kjellberg



## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.1.1	Beräkningsmodeller .....	2
1.1.2	WUFI .....	3
1.2	Problemställning.....	4
1.3	Syfte.....	4
1.4	Metodik.....	4
1.5	Avgränsningar .....	5
2	Fallstudie .....	7
3	Byggnadsfysikalisk simulering.....	9
3.1	Indata .....	9
3.2	Utdata.....	16
3.3	Simulering.....	17
4	Teori.....	19
4.1	Mögelriskmodeller.....	19
4.1.1	k-modellen.....	19
4.1.2	m-modellen.....	20
4.2	Matlab-algoritm.....	21
4.3	Materialkonstanter.....	21
5	Resultat och analys.....	23
5.1	Parameterstudie .....	23
5.1.1	Referenssimulering .....	23
5.1.2	Undersökning av gitterstorlekens effekt.....	24
5.1.3	Undersökning av omsättningens effekt .....	25
5.1.4	Undersökning av tidsstegets effekt .....	27
5.1.5	Undersökning av orienteringens effekt .....	28
5.2	Jämförelse mellan modeller för mögelpåväxt .....	30
5.2.1	Lund, trä .....	30

## Mögelriskanalys av ytterväggar

---

5.2.2	Lund, tegel.....	32
5.2.3	Luleå trä.....	34
5.2.4	Luleå tegel.....	36
5.3	Klimatutvärdering.....	38
6	Diskussion .....	41
7	Slutsatser.....	43
8	Referenser.....	45
Appendix	.....	47
	Matlabalgoritm.....	47

## Mögelriskanalys av ytterväggar

---

# 1 Inledning

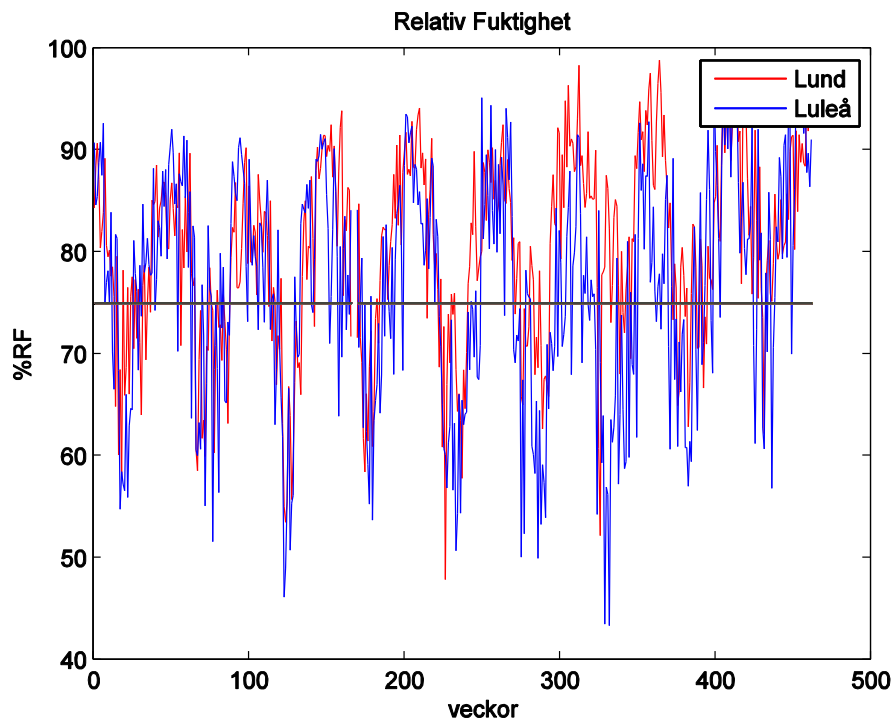
## 1.1 Bakgrund

Fukt är benämningen på vatten i sina olika aggregationstillstånd och förekommer som bl.a. regn, snö, vattenånga i luften, byggfukt, markfukt och läckage. Om fukten tar sig in i konstruktionsdelarna av en byggnad kan detta innebära problem som bl.a. mögel och röta.<sup>[15]</sup> Detta examensarbete inriktas mot mögel. Mögelsporer finns i flera olika former och är ett förstadium till mögelsvamp. Sporerna är synnerligen tåliga och finns därför i princip överallt. För att de ska kunna utvecklas till mögelsvamp krävs ett klimat med hög luftfuktighet samt temperaturer mellan 0-50 °C<sup>[1]</sup>. Då material i byggnader utsätts för mögelangrepp bildas missfärgningar och byggnadens brukare tar skada genom dålig lukt och emissioner från byggnadsdelarna. Kraven från Boverket är utformade så att dessa problem ska förebyggas: ”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa.”<sup>[2]</sup> Vidare säger allmänna råd i samma kapitel att kraven ska verifieras med hjälp av fuktsäkerhetsprojektering<sup>1</sup>.

När man projekterar för fuktsäkert byggande används ett kritiskt fuktillstånd som definierar gränsen då ett materials önskvärda funktion inte längre uppfylls<sup>[3]</sup>. Det kritiska fuktillståndet ska kunna tillhandahållas av materialleverantör eller tillverkare. Kritiska fuktigheten ska också vara ”väl undersökt och dokumenterad”<sup>[3]</sup>, annars får RF inte överstiga 75% vilket är ett relativt lågt fuktillstånd som kommer att överskridas i vårt utomhusklimat under stora delar av året. I figur 1 nedan visas veckomedelvärden för relativ fuktighet över de nio år som undersöks i examensarbetet.<sup>[13]</sup>

---

<sup>1</sup> ”Systematiska åtgärder i projekteringskedet som syftar till att säkerställa att en byggnad inte får skador som direkt eller indirekt orsakas av fukt. I detta skede anges även de förutsättningar som gäller i produktions- och förvaltningsskedet för att säkerställa byggnadens fuktsäkerhet.” (BBR 2008, 6.511)



Figur 1. Relativ fuktighet i %, som funktion av tiden i veckor

För att kunna uppfylla tidigare nämnda krav har Skanska och Avdelningen Konstruktionsteknik vid Lunds tekniska högskola, utvecklat beräkningsmodeller som har till uppgift att utvärdera fuktillstånd och mögelbenägenhet hos olika typer av konstruktioner. Här följer en kort beskrivning av dessa modeller.

### 1.1.1 Beräkningsmodeller

Båda modellerna baseras på en mögelindexskala som anger hur mycket synligt mögel som förekommer på materialet. Skalan är 7-gradig och har utvecklats av Hannu Viitanen<sup>[4]</sup> i samband med hans forskning om hur mögel påverkar trä. Skalan ser ut enligt följande:

- 0 ingen påväxt
- 1 viss påväxt upptäckt i mikroskop
- 2 måttlig påväxt upptäckt i mikroskop (>10% täckning)
- 3 viss påväxt upptäckt med blotta ögat
- 4 visuellt upptäckt påväxt (>10% täckning)
- 5 visuellt upptäckt påväxt (>50% täckning)
- 6 visuellt upptäckt påväxt (>100% täckning)

Denna skala ligger till grund för beräkningsmodellernas gränsvärden för tillåten mögelväxt.

### **Skanskas modell (m-modellen)**

Skanskas modell kallas m-modellen och beräknar risken att nå mögelindex 1 som kvoten  $m$ , mellan aktuell relativ fuktighet och kritisk relativ fuktighet vid varje tidssteg. De tidssteg då  $m > 1$  summeras till en riskvaraktighet som inte får överstiga den kritiska riskvaraktigheten för när mögel initieras. Om den överskrids uppnås mögelindex 1 enligt Viitanens mögelindexskala.<sup>[17]</sup>

### **Avd. konstruktionstekniks modell (k-modellen)**

Denna modell kommer fortsättningsvis i rapporten kallas ”k-modellen” för att skilja modellerna åt. Liksom m-modellen definieras ett gränstillstånd där materialets förmåga att motstå mögelangrepp måste vara större än klimatets påverkan vid varje given tidpunkt för att mögel inte ska börja växa. På grund av osäkerheter hos vissa faktorer som har inverkan på mögelrisken introduceras även en säkerhetsfaktor i modellen.<sup>[16]</sup> Modellen är kalibrerad mot experimentella data framtagna av Hannu Viitanen.<sup>[4]</sup>

#### **1.1.2 WUFI**

”WUFI är ett PC-program för beräkning av kopplad värme- och fukttransport i byggnadsdelar och konstruktioner. Med programmet kan realistiska beräkningar av icke-stationära värme och fuktförhållanden i byggnadsdelar och konstruktioner, bestående av flera skikt, med olika klimatbelastningar genomföras.”<sup>[5]</sup> Programmet har enligt dokumentation i WUFIs hjälpavsnitt upprepade gånger validerats via jämförelse med laboratedata. I denna studie används WUFI för att beskriva endimensionellt fukt- och värmeflöde genom väggar med indata i form av timvis uppmätta värden som tillhandahålls av SMHI. I programmet finns en inbyggd modell för att beräkna risk för mögelväxt.

#### **Brister i programmet**

Då simuleringarna är endimensionella innebär det i de studerade fallen att lager med regler och mellanliggande isolermaterial betraktas som ett material med något modifierade materialvärden. Alltså kan inte köldbryggorna som reglarna orsakar beaktas<sup>[8]</sup>. De modifierade materialvärdena genererar därför en osäkerhet. Mögelriskmodellen i WUFIBio säger att det finns risk för mögelväxt då mätpunkter ligger över isopleten<sup>2</sup> för en viss varaktighet. Varje gång detta sker ackumuleras risken. Problemet med modellen är att den inte tar hänsyn till att möglet i viss mån

---

<sup>2</sup> Isoplet är en linje eller kurva som i ett diagram visar för vilka kopplade x- och y-värden en tredje parameter är konstant. Här står x för temperatur, y för relativ fuktighet och den tredje parametern för varaktighet.

drar sig tillbaka vilket skulle innebära ett minskat mögelindex<sup>[14]</sup>. Detta innebär att simuleringar över lång tid torde resultera i höga risker även i inomhusklimat.<sup>[6]</sup>

Denna modell kommer inte att undersökas närmare och alltså inte användas till några beräkningar i detta examensarbete.

### 1.2 Problemställning

Kraven från BBR är otillräckliga då de inte tar hänsyn till vissa parametrar t.ex. ”temperaturnivån eller fuktbelastningens varaktighet och variation på det kritiska eller det högsta tillåtna fukttillståndet”<sup>[7]</sup>. Inte heller finns några detaljerade krav på konstruktioner eller material i BBR.<sup>[15]</sup>

Därför finns svårigheter att fuktsäkerhetsprojektera på ett sätt där man verkligen kan vara säker på att dimensioneringen speglar verkligheten. Det finns inte heller något gränstillstånd liknande de som förekommer inom konstruktionstekniken där man måste hamna på rätt sida en gräns för att konstruktionen ska hålla. Därför behövs ett kvantitativt sätt att bedöma dessa risker.

#### *Hypotes*

K-modellen är ett effektivt verktyg för att jämföra olika väggtyper ur mögelsynpunkt.

### 1.3 Syfte

Rapporten syftar till att undersöka om den använda modellen är ett fungerande beräkningsverktyg för att jämföra olika vägglösningar i olika miljöer ur ett mögelriskperspektiv. Ett annat syfte är att jämföra utfallet från de båda modellerna. För att kunna göra en bedömning av resultatets relevans måste även en noggrann studie göras av inparametrarna som ligger till grund för att kunna bestämma hur stor mögelrisken är. Studenten har som målsättning med detta examensarbete att utveckla sina kunskaper inom byggnadsfysik, lära sig arbeta i beräkningsprogrammet WUFI, bättra på sin förmåga att arbeta i projektform samt att knyta ihop och fullständiggöra sin utbildning på väg och vatten- programmet vid Lunds tekniska högskola.

### 1.4 Metodik

Examensarbetet genomförs som en teoretisk fallstudie över hur olika väggtyper skiljer sig från varandra med avseende på temperatur och fuktinnehåll på träytorna i väggen.

Skanska Byggefysik har utarbetat några olika typfall, med olika typer av konstruktion och dessa studeras sedan parallellt på olika geografiska platser för att få en bild av hur klimatet påverkar fuktinnehållet i konstruktionen över en viss tid. Indata i WUFI är temperatur, relativ fuktighet, regnintensitet, kortvågig solstrålning, tryck och atmosfärisk solstrålning. Dessa data tillhandahålls av SMHI och har anpassats, på LTH's avdelning för byggnadsfysik, för att kunna användas i programmets tidsintervaller. De olika fallen simuleras i programmet varpå utdata i form av tidsserier för temperatur och relativ fuktighet erhålls. Dessa används som indata i m-

modellen och i k-modellen där en algoritm utarbetad i MATLAB beräknar en ackumulerad mögeldos och visar denna i grafer i resultatkapitlet. Även den kritiska tid då mögelpåväxten uppnår index 1 på Viitanens skala presenteras här. Resultaten i de olika modellerna analyseras och jämförs. Vidare görs en parameterstudie över indata till WUFI. Denna studie syftar till att undersöka hur stor inverkan olika parametrar har, genom att förändra en parameter i taget och jämföra resultaten med en referenskurva. För att kunna styrka vissa resultat görs en utvärdering av klimatet i de städer som har undersökts. Utvärderingen innebär att klimatdata innehållande temperatur och relativ fuktighet räknas om till halvårsmedelvärden och ritas ut i diagram. Dessa visas i resultatkapitlet.

### 1.5 Avgränsningar

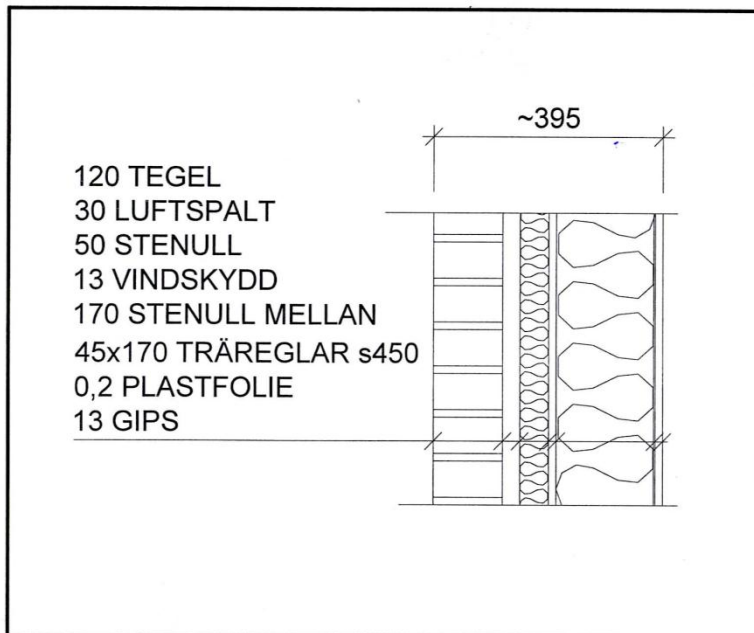
Examensarbetet behandlar endast ytterväggar. Kallvindar och krypgrunder beaktas inte p.g.a. bristande data gällande dessa typer av konstruktioner<sup>[11]</sup>. Ett exakt mått på risken för mögelangrepp kommer inte att framgå, utan jämförelsen mellan olika lösningar och modeller är examensarbetets huvudsyfte. Omfattningen av fallstudien kommer att begränsas till två olika väggtyper och två olika geografiska platser. Det finns endast timvis klimatdata att få tag på mellan 1990 och 1998 varför enbart denna period studeras. WUFI är det enda beräkningsprogrammet för fuktflöde som används. Arbetet innefattar teoretiska fallstudier, inga mätningar utförs.



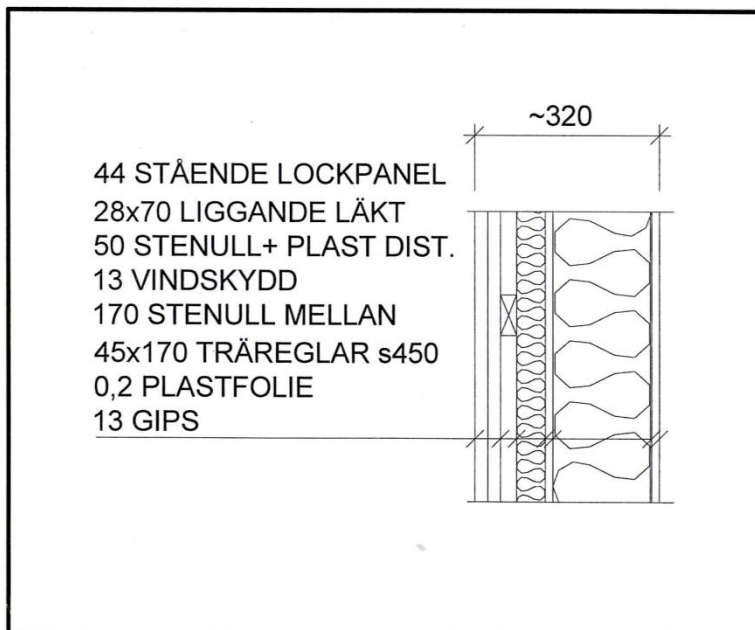


## 2 Fallstudie

Two different wall types are investigated in the towns of Lund and Luleå. One wall has a timber facade and the other a brick facade. Below are shown principle sketches of the walls with dimensions and included materials.



Figur 2. Principskiss över vägg med tegelfasad, mått i mm.



Figur 3. Principskiss över vägg med träfasad, mått i mm.

Dessa tvådimensionella problem beräknas endimensionellt i beräkningsprogrammet vilket innebär att skiktet med stenull och träreglar måste behandlas som ett ekvivalent homogent material.

### 3 Byggnadsfysikalisk simulering

I programmet WUFI finns en mängd parametrar som ska definieras för att kunna få fram en bra modell. Nedan presenteras använda indata med förklaringar till varför ett visst värde ska väljas. Även numeriska värden som har valts i dessa undersökningar presenteras. Senare i rapporten undersöks hur stor inverkan val av indata har på mögelrisken.

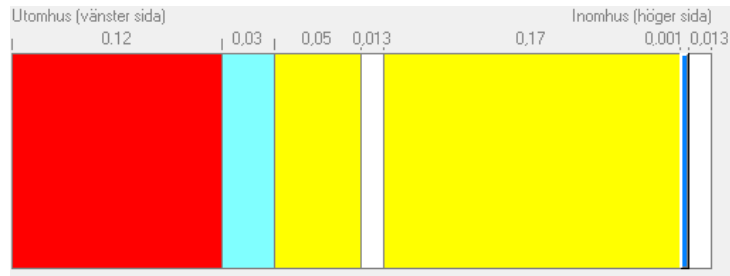
#### 3.1 Indata

- Konstruktion
  - Uppbyggnad/monitorpositioner
    - Uppbyggnad
 

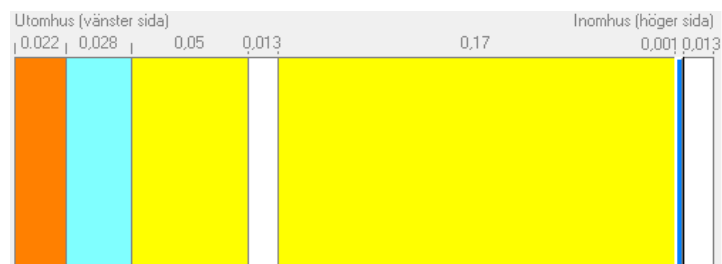
Två väggtypen enligt figur 2 och 3 har analyserats och båda innehåller lager med träreglar och mellanliggande isolering. De fördefinierade materialen i WUFI har valts för att i största möjliga mån representera materialen i figurerna 2 och 3. Nedan följer tabeller och figurer som visar material och väggarnas uppbyggnad.

**Tabell 1. Material**

Vägg med tegelfasad	Vägg med träfasad
Solid Brick, extruded	Furu, densitet 510
Air Layer 30 mm	Air Layer 30 mm
Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Gipsskiva utvändig	Gipsskiva utvändig
Mineral wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	Mineral wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
PE-Folie 0,2 mm (Sd = 87 m)	PE-Folie 0,2 mm (Sd = 87 m)
Gipsskiva invändig	Gipsskiva invändig



**Figur 4. Uppbyggnad av vägg med tegelfasad i WUFI**



**Figur 5. Uppbyggnad av vägg med träfasad i WUFI**

Vidare undersöks väggen med träfasad, med och utan ett extra, tunt lager utanför lagret längst till vänster i bild, för att modellera ett färgskikt på utsidan. Skiktet är kapillärbrytande, har Sd-värde för färg och minskad fuktlagringsförmåga, för att få skiktet att så mycket som möjligt representera ett skikt av färg. <sup>[11]</sup>

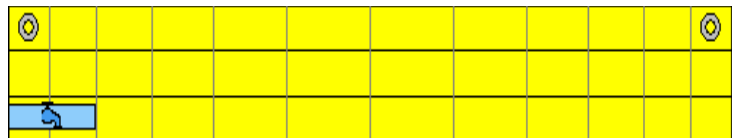
- Källor, Sänkor  
Här anges om det finns några extra fukt-, eller värmekällor i konstruktionen. Även luftomsättningen i ett visst skikt kan föreskrivas. I luftspalten antas en viss mängd regnvatten komma in på grund av otätheter i fasaden m.m. Denna mängd sätts till 1% enligt ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

Luftomsättningens inverkan undersöks närmare i kapitel 5.

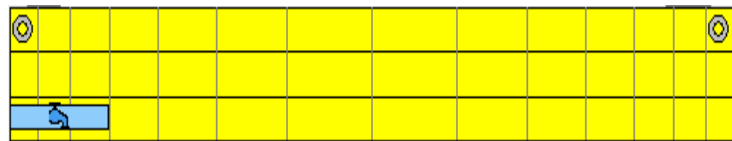
- Gitterstorlek

Storleken på gittret styr hur noggranna beräkningar som görs, d.v.s. ju mindre celler, desto högre noggrannhet. Här har medel och fint gitter undersökts och skillnaderna är enligt bilderna nedan relativt små. Ett fint gitter ger inte bara mindre celler, det skapar också tätare celler vid gränserna mellan olika materialskikt.

Val av gitter utreds närmare i kapitel 5  
Bilderna nedan visar olika gitterstorlek för skiktet med mineralull och träreglar. Notera att det finare gittret har mindre celler i ändarna.



**Figur 6. Medelgitter**



**Figur 7. Fint gitter**

- Monitorpositioner  
Här kan man välja vilka olika positioner i väggen som ska utvärderas genom att placera ut virtuella monitorer i olika element i lagren. De placeringar som valts är på trälagrens ytor eftersom det är där möglet kommer vara mest benäget att växa.
- Orientering/lutning/höjd
  - Orientering  
Inställningar för vilket väderstreck väggen är vänd mot anges. I Lund väljs att undersöka sydväst då störst mängd slagregn träffar denna vägg enligt en klimatanalysfunktion i WUFI. Även norr undersöks där solinstrålningen är minst.

I Luleå undersöks av samma anledningar sydost- och norrfasad.

Även denna parameter undersöks längre fram genom jämförelse med en referenssimulering.

- Lutning

Då väggen lutar kommer solstrålningen få en annan infallsvinkel mot väggen än om den hade stått upprätt. Detta har inverkan på temperaturen på, och därigenom också uttorkningen av fasaden. Om infallsvinkeln mot horisontalplanet exempelvis är  $45^\circ$ , kommer en lutning på  $45^\circ$  absorbera mest solljus. Denna parameter är bl.a. användbar då takberäkningar utförs.

Här sätts lutningen till  $90^\circ$  från horisontalplanet då det är väggar som undersöks.

- Höjd

Byggnadens höjd bestäms för att programmet ska kunna beräkna regnbelastningen på väggen. Vindlasten skiljer sig beroende på hur hög byggnaden är och därigenom också regnintensiteten.

- Ytövergångskoefficient

- Utsida

- Värmemotstånd

- Motsvarar värmeövergångskoefficienten på väggens utsida och behandlar konvektion och långvågigt radiativt värmeutbyte.

- Här väljs standardvärde för yttervägg till  $0,0588 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

- Sd-värde

- Parametern anger hur väl materialet motstår diffusion, och kan ses som en omräkning av

diffusionstalet. Denna kommer att användas då simulering med färgskikt på träfasaden utförs.

Parametern föreskrivs till 0,524 m för träfasaden. <sup>[11]</sup>  
På tegelfasaden väljs ”ingen ytbehandling”

- Absorptionstal för kortvågig strålning  
Andelen av solinstrålning som absorberas av väggytan. Ytmaterialets ytegenskaper anger hur stor andelen är.

I simuleringarna har värden för rött tegel valts i båda väggtyperna. D.v.s. röd träfasad motsvarande röd tegelfasad.

- Emissionstal för långvågig strålning  
Fungerar som förra parametern men styr istället hur mycket strålning som reflekteras av ytan, eg. hur stor andel som emitteras.

Emissionstalet beräknas av WUFIs strålningsmodell till 0,9 för rött tegel.

- Absorptionstal för regnvatten  
Denna parameter styrs av konstruktionstyp och lutning och reglerar hur mycket regnvatten som absorberas vid ytan. Den tar hänsyn till bl.a. hur mycket regn som studsar av väggen.

I detta fall används schablonvärdet 0,7, d.v.s. 70% absorption.

- Insida

- Värmemotstånd  
Motsvarar värmeövergångskoefficienten på väggens insida och behandlar konvektion och långvårigt radiativt värmeutbyte.



## Mögelriskanalys av ytterväggar

---

Här väljs standardvärde  $0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  för invändig konvektion.

- Sd-värde  
Denna parameter föreskrivs då man har någon form av ytbehandling på insidan.

Simuleringen utförs utan ytbehandling på insidan i båda fallen.

- Begynnelsevillkor

- Begynnelsefuktighet i byggnadsdel  
Väggens beståndsdelar innehåller inga material med hög byggfukt som t.ex. betong.

Därför sätts begynnelsevärdena till standard, 80% RF.

- Begynnelsestemperatur i byggnadsdel

Temperaturen sätts till  $20^\circ\text{C}$ .

- Inställningar

- Tid/profil

Beräkningsperioden är mellan 1990-01-01 och 1998-12-31 och sträcker sig alltså över nio år. Tidssteget som används är en timme. Tester görs även med mindre tidssteg för att undersöka hur stor inverkan tidssteget har.

- Numerik

- Beräkningstyp  
Det är här möjligt att undersöka fall med enbart fukttransport eller värmetransport.

I detta fall beaktas båda typerna av transport eftersom det är det modellerna bygger på.

- Hygrotermiska specialinställningar  
Här kan man välja bort t.ex. kapillärtransport eller ångbildningsvärme om man endast vill undersöka fukttransporten i ångfas respektive bortse från ångbildningsvärmerna.

I detta fall tillåts alla typer av transport.

- Numeriska parametrar  
Det finns här möjlighet att använda WUFI's inbyggda funktioner för att motverka konvergens- och beräkningsfel. Det blir en viss ökning i exekveringstiden men man minskar risken för fel.

Dessa funktioner används i alla simuleringar som görs i detta examensarbete.

- Adaptiv tidsstegskontroll  
Då det sker stora förändringar i klimatet finns risk för konvergensfel. Denna funktion minskar tidssteget då denna risk föreligger och skapar på så vis en noggrannare beräkning.

Simulering med denna funktion genomförs för att undersöka dess inverkan. Resultatet visas i kapitel 5

- Geometri  
Reglerar om assembleringen ska ske kartesiskt eller cylindersymmetriskt. Exempelvis vägg eller rör respektive.

Här används kartesisk assemblering.

- Klimat
  - Utomhus  
Utomhusklimatdata är hämtade från SMHI och är modifierade för att fungera som inparametrar i WUFI, i en .wac-fil. I filen finns olika kolumner för olika väderelement:  
TA – Utomhustemperatur [°C]

HREL – Relativ fuktighet [%]

ISDH – Instrålningstäthet från direkt solstrålning [ $W/m^2$ ]

ISD – Instrålningstäthet från diffus solstrålning<sup>3</sup> [ $W/m^2$ ]

ISGH – Instrålningstäthet från global solstrålning, d.v.s. direkt + diffus solstrålning. Denna parameter har inte använts då den beräknas av programmet genom att addera ISDH och ISD. [ $W/m^2$ ]

ILAH – Instrålningstäthet från långvågig motriktad strålning som avges från atmosfären. [ $W/m^2$ ]

RN – Mängden regn som träffar en horisontell yta på en timme.

[ $mm/h$ ]

WD – Vindriktning [ $^\circ$ ] räknat från norr

WS – Vindhastighet [ $m/s$ ]

- Inomhus

Valt klimat: EN13788 med modifierad fuktlast enligt:

**Tabell 2. Utomhustemperatur föreskrivs som funktion av fuktlast.**

Funktion för fuktlast	
Temp. [ $^\circ C$ ]	Fuktlast [ $g/m^3$ ]
-10	4
10	4
20	2

Vid höga temperaturer (10-20  $^\circ C$ ) blir fuktlasten lägre på grund av ökad ventilation under dessa varma perioder.

På sommaren är det mindre skillnad mellan inomhus och utomhustemperatur. Därför är inte strävan efter termisk jämvikt lika stor varpå minskad fuktlast.

### 3.2 Utdata

Vid monitorpositionerna kan för varje tidssteg temperatur och relativ fuktighet utläsas. De monitorpositioner som har undersökts är ytelement på trälagren. Utdatan används som indata i k-modellen och m-modellen. En matlabalgoritm som beräknar mögelindex över tiden enligt k-modellen har upprättats. Funktionen finns i sin helhet i appendix.

---

<sup>3</sup> Diffus solstrålning alstras av stoft och partiklar genom att de träffas av den direkta solstrålningen. Vid mulet väder är all strålning diffus.<sup>[9]</sup>

### 3.3 Simulering

Simuleringar utförs med olika indata i form av gitterstorlek, luftomsättning i luftspalten, med och utan adaptivt tidssteg, med olika tidssteg och med olika orientering av väggarna. Simuleringsresultaten jämförs med en referens vars inparametrar redovisas nedan. Resultaten av parameterstudien visas i kapitel 5.

#### 3.3.1 Referenssimulering

Denna simulering används som referens för jämförelse med övriga simuleringar.

gitter = medel  
omsättning i luftspalt= 0.2 oms/h  
tidssteg = 1 h  
orientering = sydväst

#### 3.3.2 Undersökning av gitterstorlekens effekt

Här ändras den undersökta parametern enligt följande:

gitter = fint  
omsättning = 0.2 oms/h  
tidssteg = 1 h  
orientering=sydväst

#### 3.3.3 Undersökning av luftomsättningens effekt

Omsättningar som undersöks är 3, 10 och 25 omsättningar per timme.

#### 3.3.4 Undersökning av tidsstegets effekt

I denna simulering testas tre olika tidssteg: 0,5 h; 0,25 h och 0,125 h  
Även en simulering med adaptivt tidssteg görs.

#### 3.3.5 Undersökning av orienteringens effekt

Här undersöks för Lund, väderstrecken sydväst och norr. I Luleå är de kritiska väderstrecken sydost och norr varför dessa jämförs för denna ort.



## 4 Teori

### 4.1 Mögelriskmodeller

De mögelmodeller som tillämpas i detta examensarbete är de här kallade k-modellen och m-modellen. Beräkningsmodellerna jämförs med varandra för att undersöka robustheten i dessa typer av beräkningar. Nedan följer en mer utförlig beskrivning av modellerna.

#### 4.1.1 k-modellen

Den studie som har gjorts på LTHs avdelning för konstruktionsteknik går ut på att definiera ett gränstillstånd för initiering av mögelpåväxt. En dose/response-analys<sup>4</sup> av kombinerad påverkan av temperatur och relativ fuktighet utförs där resultatet visar hur lång tid det tar för mögelpåväxten att uppnå ett visst index på mögelindexskalan enligt kapitel 1.1.1.

Här definieras ett tydligt gränstillstånd liknande brott-, och bruksgränstillstånden där mögelindex 1 är gräns för tillåten mögelpåverkan. Modellen är kalibrerad mot Viitanens testdata från experiment där det har undersökts huruvida mögel uppstår på olika träslag under olika klimatförhållanden<sup>[16]</sup>. Modellens inparametrar är temperaturen [T] och relativ fuktighet [ $\varphi$ ] på materialets yta. Dessa kan erhållas genom mätning av en befintlig struktur eller som i detta fall, från ett simuleringsprogram för värme och fukttransport.

Modellen definierar en s.k. relativ dos som beskriver den dos av mögel som kan uppnås vid aktuella klimatförhållanden motsvarande ett referensförhållande. Den totala dosen [D] som påverkar materialet antas vara produkten av dosen för temperaturpåverkan [ $D_T$ ] och dosen för påverkan av den relativa fuktigheten [ $D_\varphi$ ] enligt  $D = D_T \cdot D_\varphi$ . Dessa doser räknas ut med hjälp av sambanden:

$$D_\varphi(\varphi) = \begin{cases} e^{(15,53 \cdot \ln(\frac{\varphi}{90}))}; & 75 < \varphi \leq 100 \% & (1) \\ (-2,7 + 1,1 \frac{\varphi}{30}); & 60 < \varphi < 75 \% & (2) \\ -0,5; & \varphi < 60 \% & (3) \end{cases}$$

$$D_T(T) = e^{(0,74 \cdot \ln(\frac{T}{20}))}; & 0,1 < T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C} & (4)$$

$$D(T, \varphi) = -0,5; & T < 0,1 \text{ }^\circ\text{C} & (5)$$

Dygnsmedelvärdet av T och RF i mätserien ger respektive dos enligt ovan varpå totala dosen ackumuleras varje dygn och sedan divideras med ett referensvärde som är materialspecifikt. Referensvärdet kan ses som tiden det tar för materialet att uppnå mögelindex 1 vid konstanta värden på T och  $\varphi$  och beräknas enligt:

<sup>4</sup> Dose/response = Hur ett material reagerar på en viss dos av ett ämne

$$t_{gran} = e^{-0,74\ln(T)-15,53\ln(\varphi)+75,736} \quad (6)$$

$$t_{tall} = e^{-0,67\ln(T)-13,15\ln(\varphi)+64,546} \quad (7)$$

Dessa ekvationer är upprättade utifrån testdata från Viitanens studier och ger en kritisk tid på 38dygn för gran och 29dygn för tall vid referensförhållandena  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  och  $\varphi = 90 \text{ } \%$  RF. Resultatet utvärderas genom:

$$M(t) = \sum \frac{D(t)}{t_{[tr\ddot{a}slag]}} \quad (8)$$

Här visar variabeln M vilket mögelindex som har uppnåtts vid en viss tidpunkt. Vid vissa tillfällen kommer dosen vara negativ (ekvation(5)), detta beror på ogynnsamma förhållanden för mögelväxt och man kan se det som att möglet vissnar. Däremot kan den ackumulerade dosen aldrig understiga index 0 då det skulle innebära mindre än ingen påväxt. Istället ligger M-ackumulerad kvar på noll tills mögelfördelaktiga klimatförhållanden återigen uppnås och mögelindex stiger då ifrån noll.

#### 4.1.2 m-modellen

Skanska föreslår att klimatdata innehållande ett realistiskt normalår eller en följd av uppmätta klimatdata under en rad av år, med entimmesvärden, används som indata. Även andra tidsintervall kan användas, men med sämre noggrannhet som följd. Modellen räknar ut parametern m, för varje tidssteg på följande sätt:

$$m = \frac{RH_{act}(t)}{RH_{crit}(T(t))}$$

$RH_{crit}$  är det kritiska fuktillståndet, eller gränstillståndet och är beroende av temperaturen och vilken varaktighetskurva som används. Dessa  $RH_{crit}$  har bland annat hämtats från Woodbuilds rapport om tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner<sup>[7]</sup>. För varje tidssteg och dess temperatur erhålls således sex olika  $RH_{crit}$  och då också sex olika m-värden.

Modellen säger att om  $m > 1$  finns en viss risk för mögel. Antal tidssteg då gränsen överskrids ( $m > 1$ ) adderas och summan kallas riskvaraktighet. Sex olika riskvaraktigheter beräknas parallellt, eftersom modellen har sex olika m-värden. Om denna varaktighet överstiger den kritiska varaktigheten är den teoretiska mögelrisken 100%. Genom att jämföra riskvaraktigheten med den kritiska varaktigheten bestäms dels om mögelinitiering uppnåtts, hur långt ifrån mögelinitiering man är, samt vilken av de sex beräkningarna som har gett mögeltillväxt snabbast. De ackumulerade riskvaraktigheterna visas även som kurvor där potentialen för mögelinitiering visas över tiden. Då rådande klimatförhållanden är ofördelaktiga för mögelväxt stagnerar först ackumuleringen för att till slut avta beroende på hur länge den ofördelaktiga varaktigheten råder. Avtagandet sker här med hjälp av en faktor  $[\beta]$ , som varierar

beroende på hur ofördelaktiga rådande förhållanden är. Här används inga intervaller utan en steglös tillbakagång av mögelväxt erhålls.

#### 4.2 Matlab-algoritm

Denna algoritm är en funktion som i Matlab räknar ut den ackumulerade relativa dosen i k-modellen. Den ligger till grund för graferna i resultatkapitlet och presenteras i appendix.

#### 4.3 Materialkonstanter

För de olika materialen man väljer att använda i sin konstruktion finns olika egenskaper som bör redovisas för att kunna diskutera skillnaderna i fukt- och värmetransport. De parametrar som har valts är termisk tröghet (värmeupptagningsförmåga), och ånggenomsläpplighet då dessa egenskaper bedöms vara mest avgörande för transporterna. Med en hög termisk tröghet menas att det tar lång tid att värma upp materialet och därför också längre tid att kyla av materialet. Nedan presenteras materialvärden för de olika fasadmaterialen:

**Tabell 3. Materialvärden för termisk tröghet <sup>[18]</sup> och Ånggenomsläpplighet <sup>[15]</sup>**

	Trä	Tegel
Termisk tröghet	320 $Ws^{0.5}/m^2K$	900 $Ws^{0.5}/m^2K$
Ånggenomsläpplighet	$1 \cdot 10^{-6} m^2/s$	$5 \cdot 10^{-6} m^2/s$





## 5 Resultat och analys

Här följer en presentation av resultaten från parameterstudien. Vidare presenteras resultaten från respektive modell för de olika fallen. Dessa tolkas och jämförs i diskussions- och slutsatskapitlen. Slutligen i detta kapitel visas utvärderingen av klimatet i de olika städerna. Samtliga diagram i kapitlena 5.1 och 5.2 visar mögelindex på den vertikala axeln och tid i dygn på den horisontella.

### 5.1 Parameterstudie

Parameterstudien är genomförd som en jämförelse mellan vilket mögelindex som uppnåtts efter en viss tid hos en vägg med referensparametrar och en vägg med de undersökta parametrarna. Mögelindex har beräknats i k-modellen. Det är i följande figurer skillnaden mellan kurvorna som ska beaktas då olika parametrar jämförs. Kurvorna visar ett mycket stort index men detta kan man bortse ifrån i kapitel 5.1.

#### 5.1.1 Referenssimulering

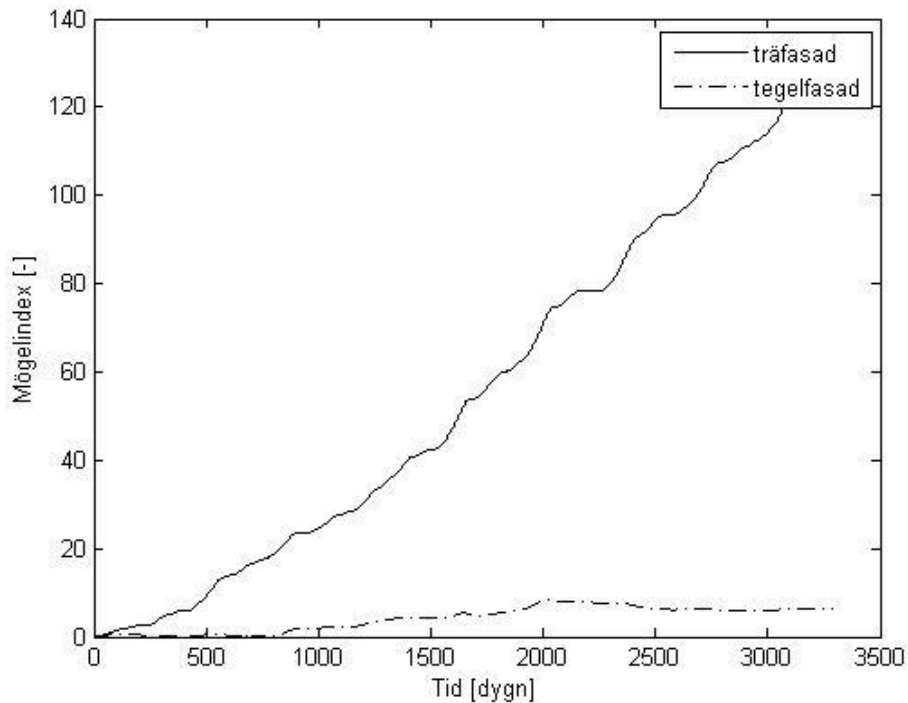
Referenssimuleringen utförs för orten Lund och har följande inparametrar:

Gitter = medel

Omsättning = 0.2oms/h

Tidssteg = 1h

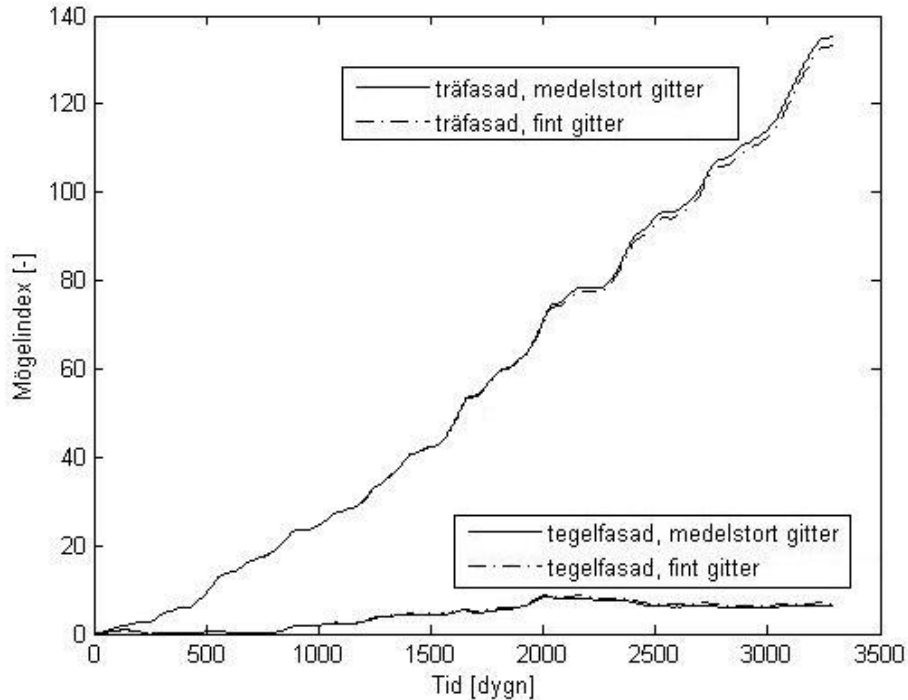
Orientering = Sydväst



Figur 8. Referenssimulering. Mögelindex som funktion av tiden enligt k-modellen.

### 5.1.2 Undersökning av gitterstorlekens effekt

Skillnaden på mögelindex beroende av beräkningsgittret undersöks. Då simulering sker med fint gitter istället för medel blir resultaten mer noggranna och i detta fall nås index 1 snabbare än vid medelstort gitter. De två övre kurvorna visar index för träfasaden och de två undre, index för tegelfasaden.

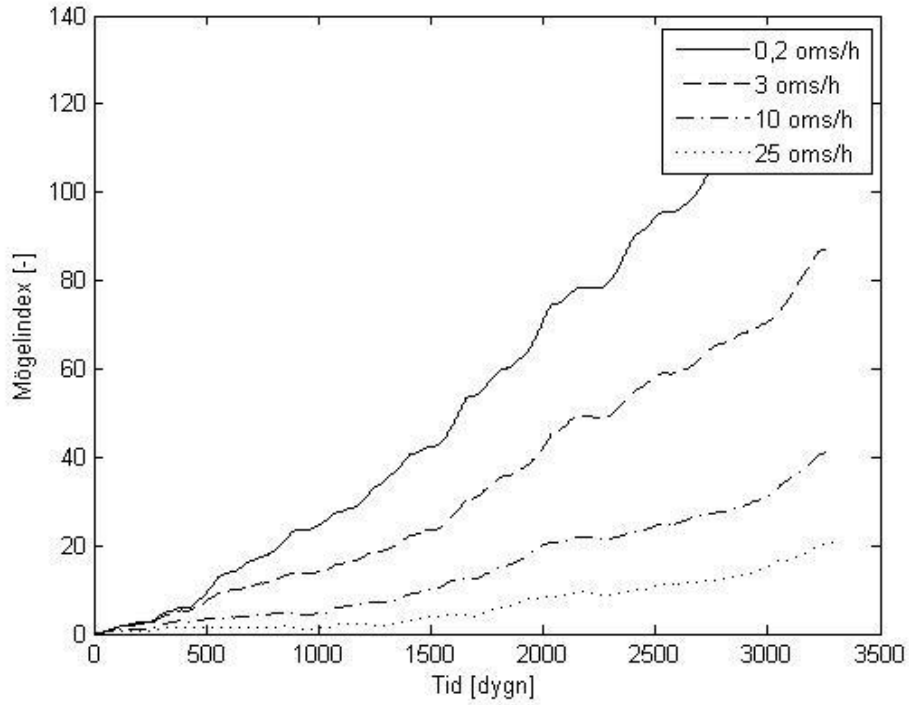


**Figur 9. Jämförelse mellan olika gitter.**

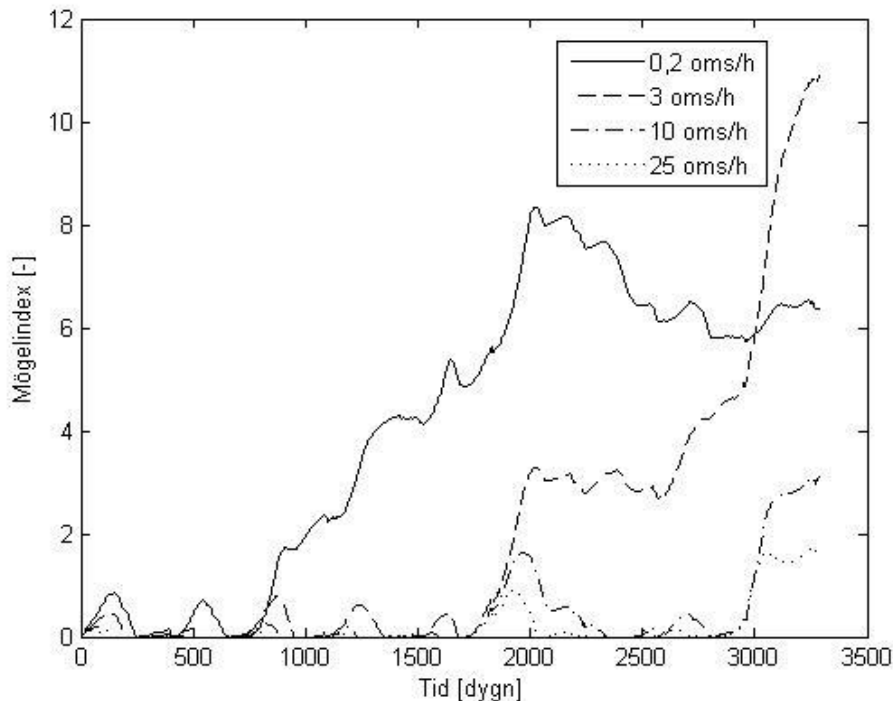
Effekten är förhållandevis liten så i den slutgiltiga simuleringen används medelstort gitter eftersom simuleringen går snabbare.

### 5.1.3 Undersökning av omsättningens effekt

I följande simulering ändras omsättningen. Luftomsättningen i spalten sätts till 3, 10 och 25 oms/h i tre olika simuleringar för att få en bild av hur resultatet varierar då omsättningen ändras. Här är översta kurvan referenskurvan med omsättning 0,2 oms/h.



Figur 10. Jämförelse mellan olika omsättningar i en vägg med träfasad



Figur 11. Jämförelse mellan olika omsättningar i en vägg med tegelfasad

Simuleringarna visar att omsättningen spelar mycket stor roll. Ju högre omsättning som föreligger i luftspalten, ju mer chans har skiktet innanför spalten att torka ut och risken för mögelfördelaktiga förhållanden minskar. Efter konsultation med Åse Togerö, Skanska, väljs olika värden på luftomsättning för de respektive väggtyperna. 60oms/h för trä och 30oms/h för tegel. Samma omsättningar används i deras beräkningar och har utretts av fuktsakkunnig på Skanska <sup>[11]</sup>.

Regnvattenandelen har modellerats som en fuktkälla i yttersta 5mm av isoleringsskiktet innanför luftspalten.

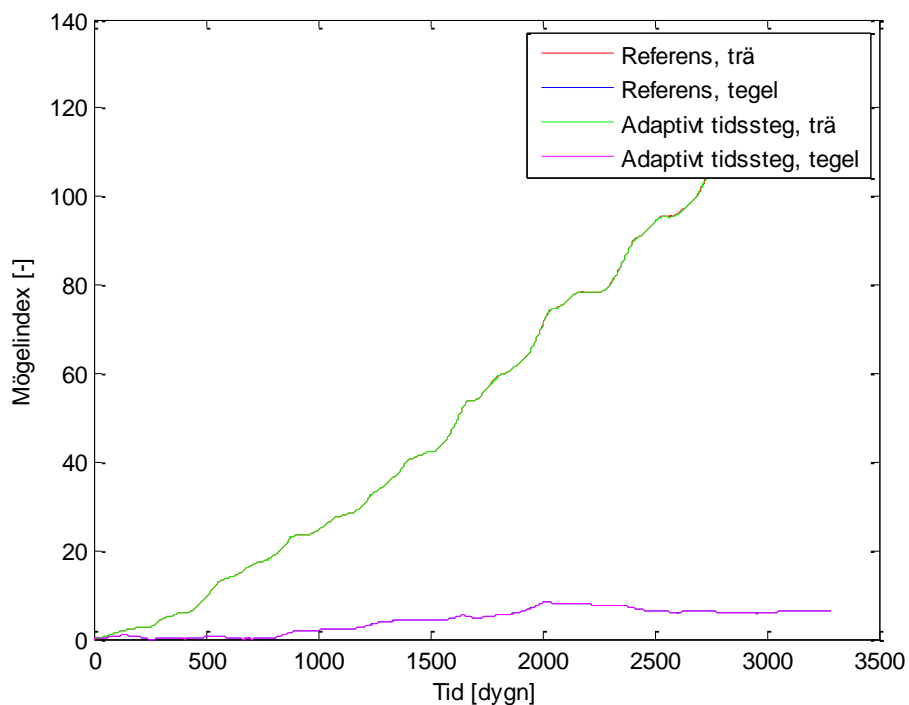
En av anledningarna till att omsättningen har så stor inverkan är troligtvis att 1%-andelen av slagregnet antas ta sig in genom hela lagret innehållande trä/mineralull. Ju högre omsättning man har i luftspalten, desto större chans har detta lager att torka ut. I den slutliga simuleringen antas att endast den yttre delen av lagret angrips av slagregnsandelen då det knappast är rimligt att det tar sig längre in i väggen än så med den nya omsättningen.

#### 5.1.4 Undersökning av tidsstegets effekt

Då tidssteget minskas ökar den beräkningsmässiga noggrannheten. Ju mindre tidssteget blir, desto närmare kommer kurvorna att ligga varandra och till slut blir de i princip lika. Då har man kommit så nära sanningen som är möjligt. Tidsstegen 1 h;

0,5 h; 0,25 h och 0,125 h undersöks och kurvorna sammanfaller vilket innebär att tidssteget en timme är tillräckligt litet.

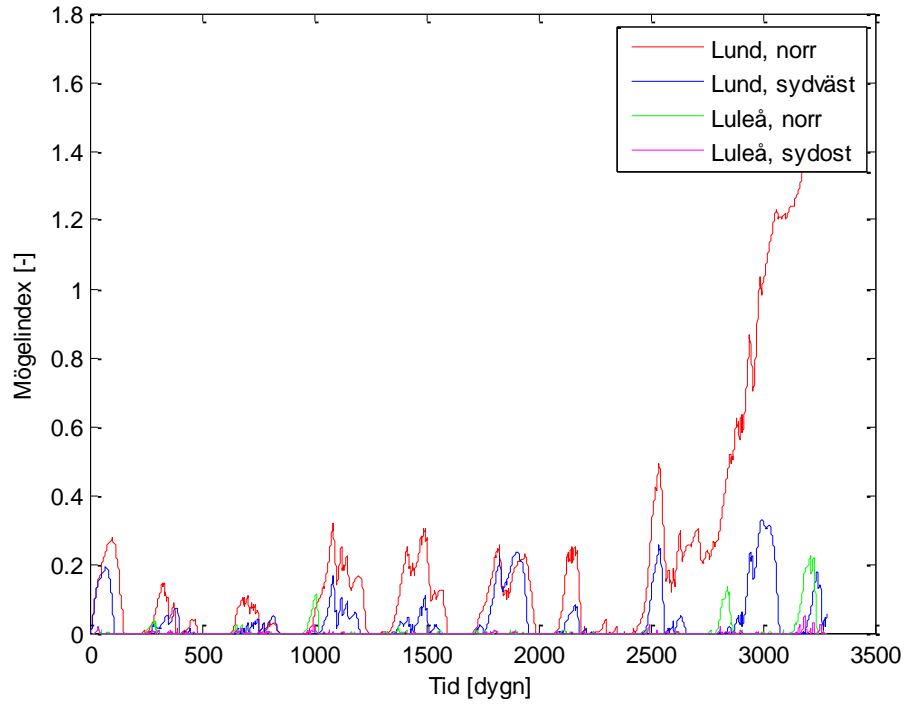
Följande diagram visar effekten då simulering görs med adaptivt tidssteg vilket innebär att programmet delar upp vissa tidssteg i mindre tidssteg för att undvika konvergensfel och diskontinuiteter. Kurvorna skiljer sig nästan ingenting och bekräftar att inga konvergensfel föreligger.



Figur 122. Jämförelse mellan ursprunglig referenssimulering och simulering med adaptivt tidssteg

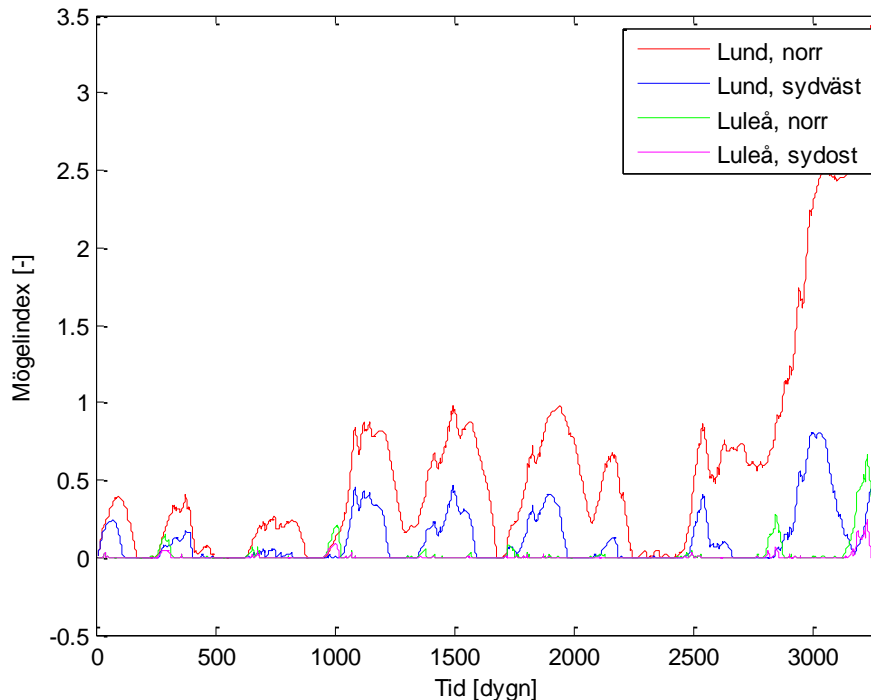
### 5.1.5 Undersökning av orienteringens effekt

Simuleringen görs med de nya omsättningarna 60 respektive 30 oms/h och här jämförs olika väderstreck för att utreda vilket som är värsta fallet.



Figur 133. Jämförelse mellan olika väderstreck i en vägg med träfasad





Figur 144. Jämförelse mellan olika väderstreck i en vägg med tegelfasad

Efter att ha simulerat båda väderstrecken i Lund i k-modellen dras slutsatsen att norr är värsta fallet. Tegelfasaden visar mycket stor skillnad gällande mögelrisken beroende på vilket väderstreck väggen är riktad mot.

I Luleå blir på samma sätt norrfasaden värsta fallet då norrkurvan ligger högre upp än sydostfasadens kurva. Alltså är det norr som väljs att kontrollera i den slutliga simuleringen.

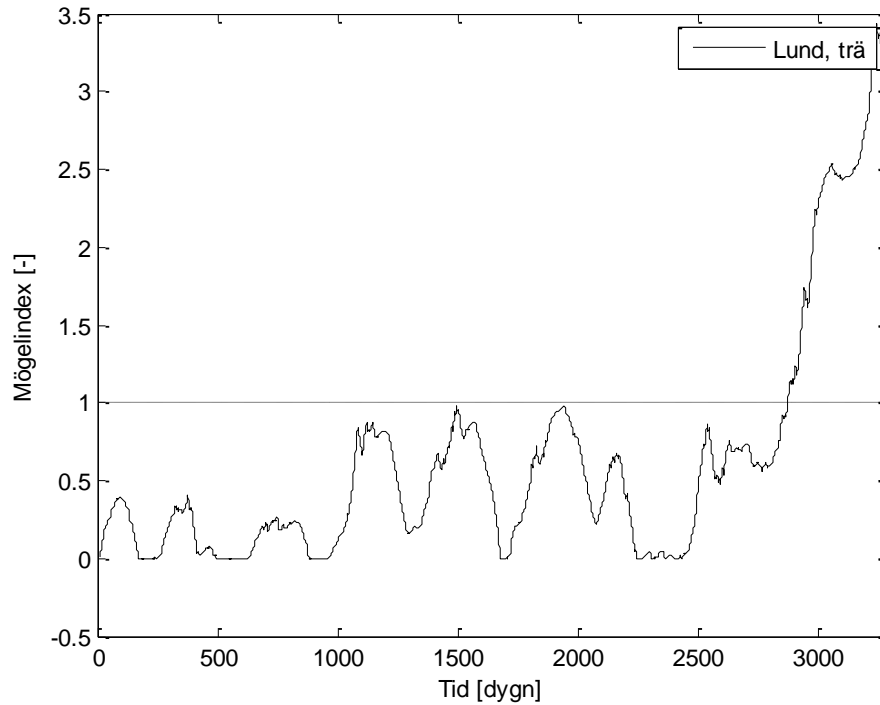
## 5.2 Jämförelse mellan modeller för mögelpåväxt

Med hjälp av resultaten från parameterstudien har den slutliga simuleringen utförts. Simuleringens resultat har implementerats i k-modellen och m-modellen vars resultat visas nedan. I båda modellerna är index 1 kritisk punkt och utläses i m-modellen på den högra y-axeln.

### 5.2.1 Lund, trä

Här undersöks en träfasad i Lund med hjälp av de två modellerna, kurvorna och kritiska tiden jämförs sedan och tolkas.

#### *k-modellen*

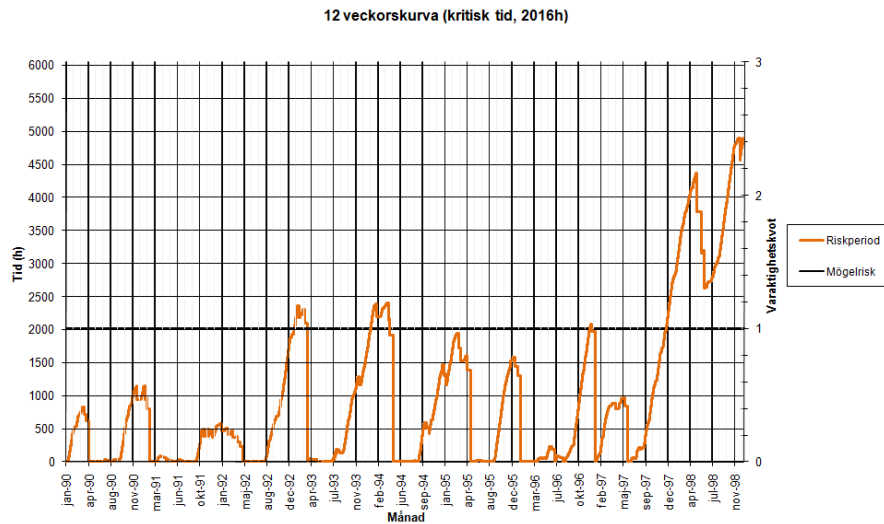


**Figur 155. Mögelindex som funktion av tiden för en vägg med träfasad i Lund**

Beräknad första tidpunkt för mögelindex=1: 1997-11-13, efter 2873 dagar.

Kurvtopparna i figuren uppstår under sommaren då ett varmare och fuktigare klimat råder och index ökar.

***m-modellen***



**Figur 166.** Mögelindex som funktion av tiden där varaktighetskvot på den högra y-axeln motsvarar mögelindex och x-axeln visar tiden

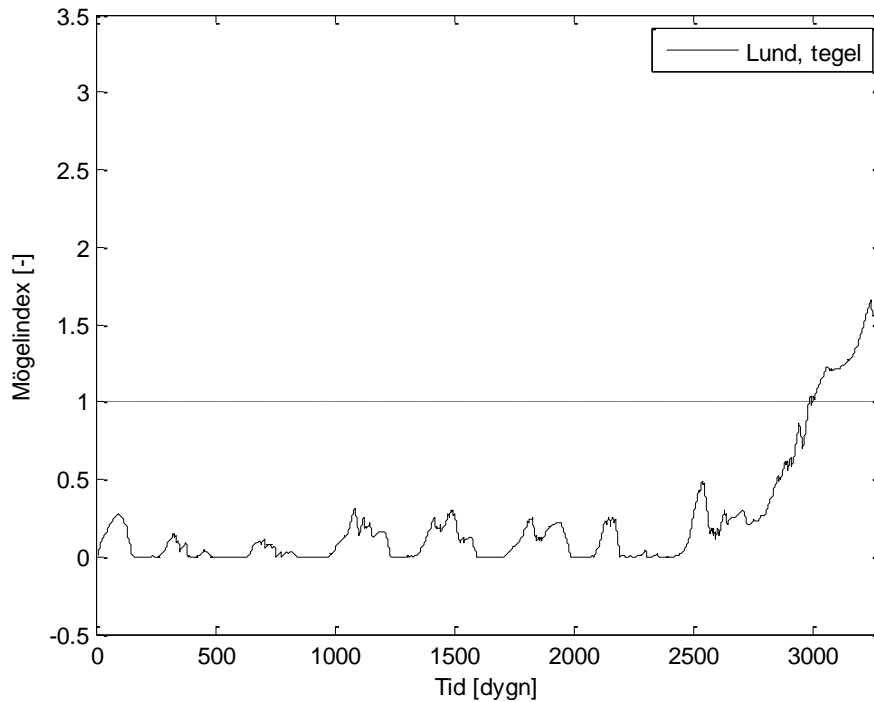
Beräknad första tidpunkt för mögelindex = 1: 1993-01-06, efter 1101 dagar.

Figur 16 visar index för m-modellen, vid jämförelse med k-modellens kurva i figur 15 ser man dess likheter.

**5.2.2 Lund, tegel**

Här undersöks en tegelfasad i Lund med hjälp av de två modellerna, kurvorna och kritiska tiden jämförs sedan och tolkas.

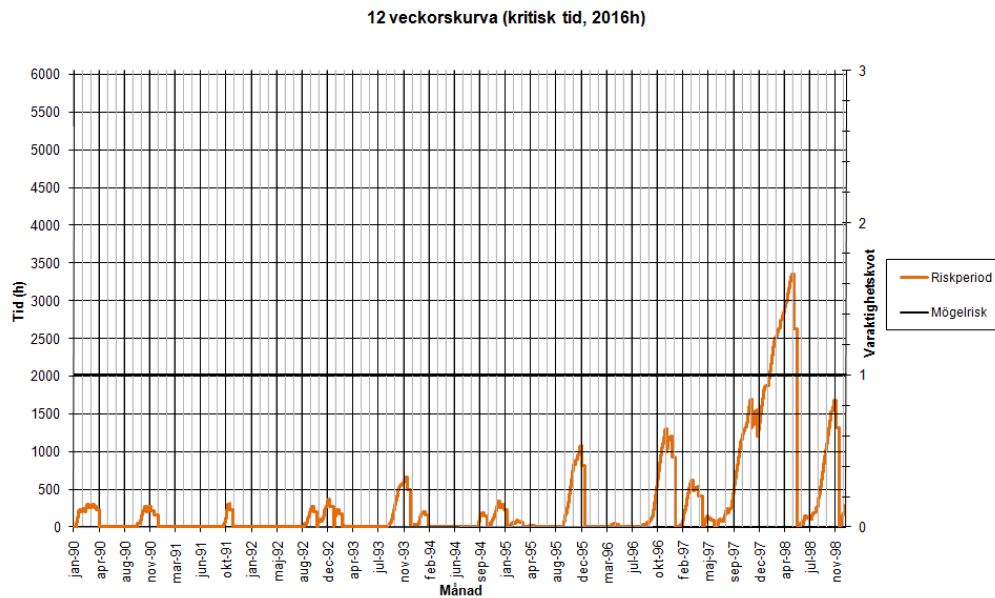
***k-modellen***



**Figur 177. Mögelindex som funktion av tiden för en vägg med tegelfasad i Lund**

Beräknad första tidpunkt för mögelindex=1: 1998-03-04, efter 2984 dagar.  
Då tegelväggen undersöks uppnås index 1 senare än väggen med träfasad. Samma slutsats kan även dras från kurvorna i m-modellen.

***m*-modellen**



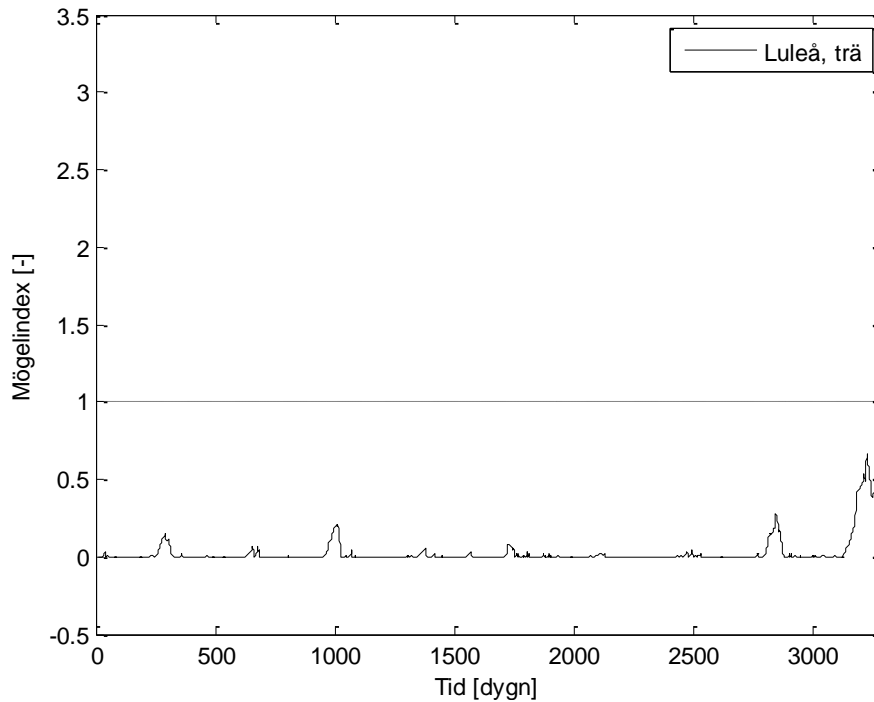
**Figur 18. Mögelindex som funktion av tiden där varaktighetskvot på den högra y-axeln motsvarar mögelindex och x-axeln visar tiden**

Beräknad första tidpunkt för mögelindex = 1: 1997-04-26, efter 2672 dagar.

**5.2.3 Luleå trä**

Här undersöks en träfasad i Luleå med hjälp av de två modellerna, kurvorna och kritiska tiden jämförs sedan och tolkas.

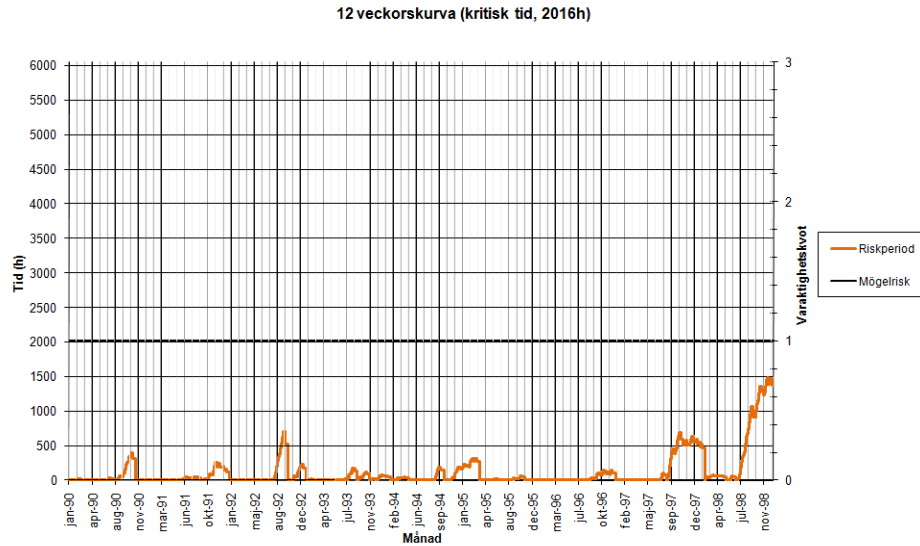
***k-modellen***



**Figur 19. Mögelindex som funktion av tiden för en vägg med träfasad i Luleå**

Kurvan kommer inte upp i index ett på hela den simulerade tiden. Därför finns ingen kritisk tid. Störst risk för synlig mögelväxt föreligger dock i slutet av 1998 precis som resultaten från m-modellen nedan visar.

**m-modellen**



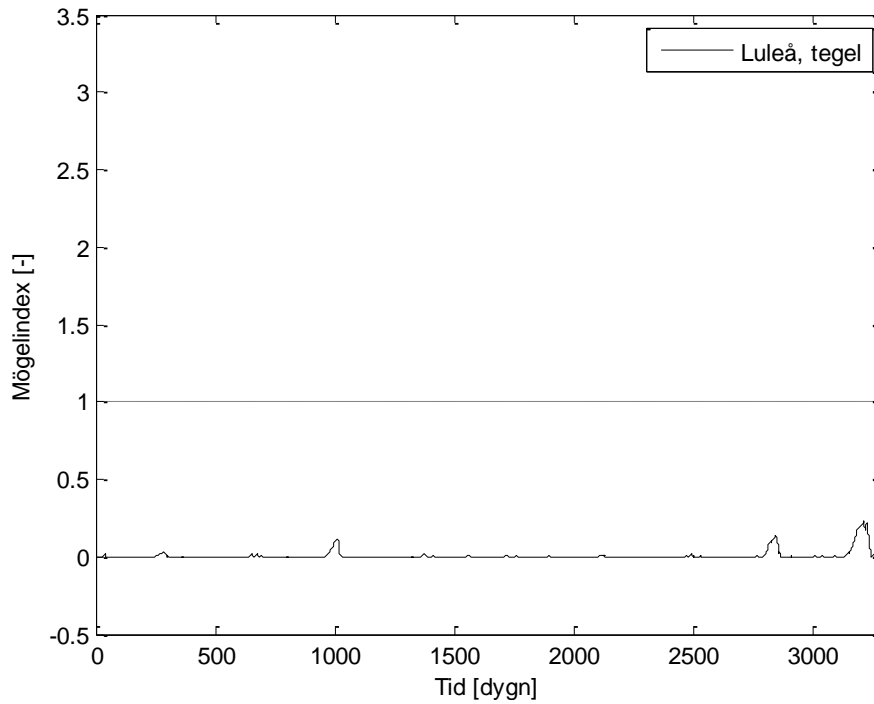
Figur 20. Mögelindex som funktion av tiden där varaktighetskvot på den högra y-axeln motsvarar mögelindex och x-axeln visar tiden

Beräknad tidpunkt för mögelindex = 1: Uppnås ej men störst risk i december 1998.

**5.2.4 Luleå tegel**

Här undersöks en träfasad i Luleå med hjälp av de två modellerna, kurvorna och kritiska tiden jämförs sedan och tolkas.

***k*-modellen**

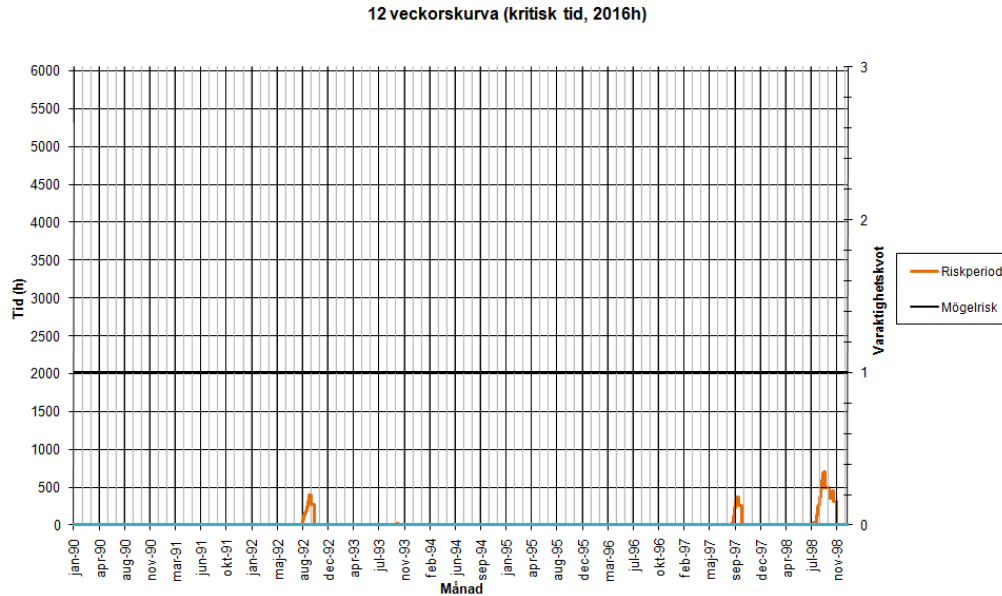


**Figur 21. Mögelindex som funktion av tiden för en vägg med träfasad i Luleå**

Inte heller i denna simulering finns någon kritisk tid då index 1 aldrig uppnås. Mögelrisken är mycket låg under hela den undersökta perioden.



***m-modellen***

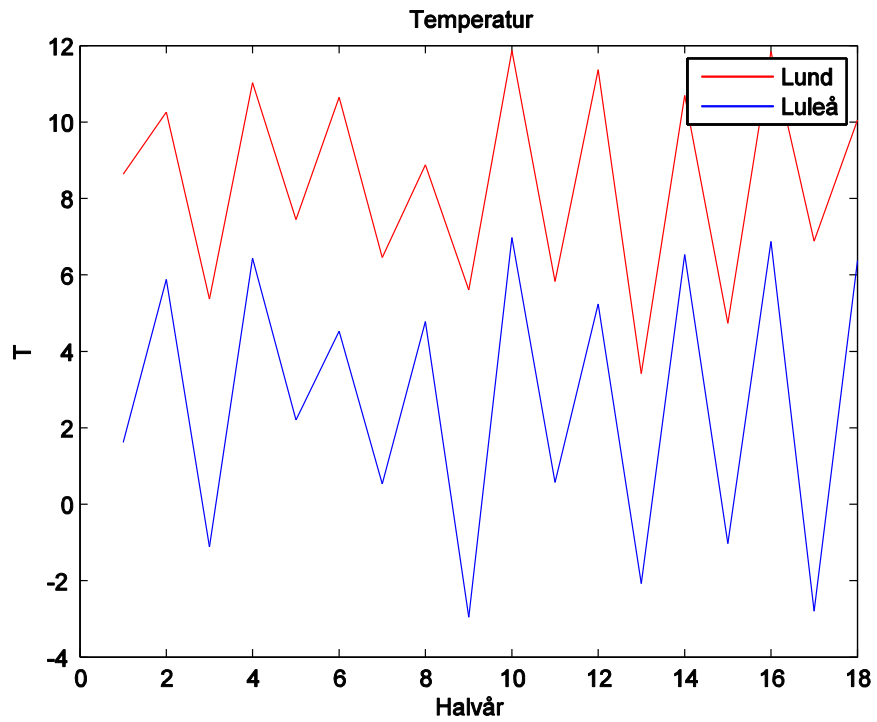


**Figur 22. Mögelindex som funktion av tiden där varaktighetskvot på den högra y-axeln motsvarar mögelindex och x-axeln visar tiden**

Beräknad tidpunkt för mögelindex= 1: Uppnås ej

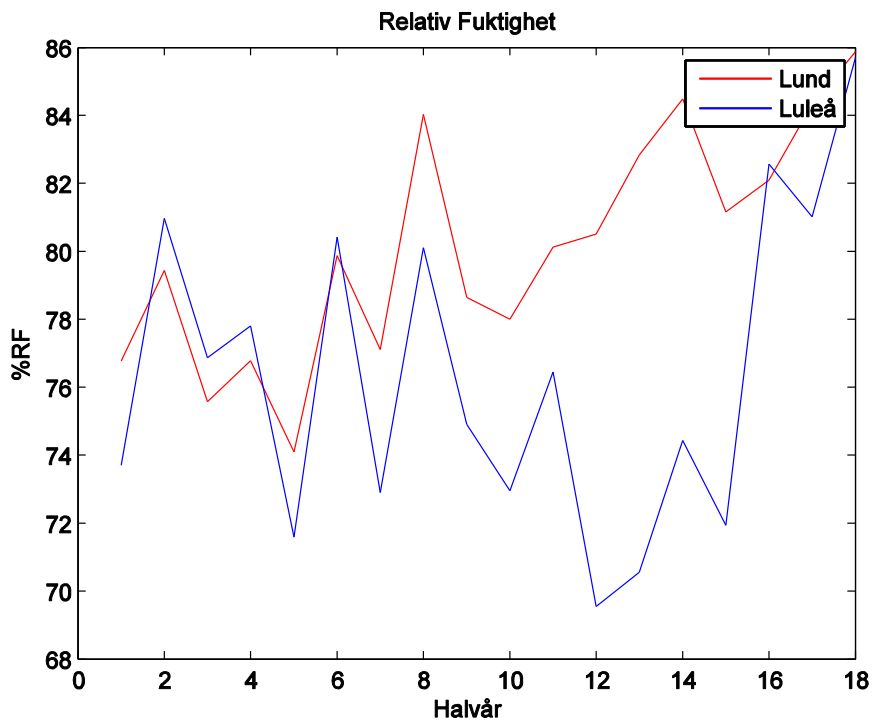
**5.3 Klimatutvärdering**

För att kunna verifiera att resultaten är realistiska har medelvärden av temperatur och relativ fuktighet beräknats. I figur 23 och 24 visas halvårsmedelvärden för Lund och Luleå. Totala medelvärdet av temperatur och relativ fuktighet över de nio undersökta åren visas också nedan. Anledningen till att halvårsmedelvärden har valts är för att det tydligast visar skillnaden mellan orterna.



Figur 183. Temperaturskillnad mellan orterna Lund och Luleå som funktion av tid [halvår]

Mögelriskanalys av yttreväggar



Figur 194. Temperaturskillnad mellan orterna Lund och Luleå som funktion av tid [halvår]

	T-medel	RF-medel
Lund	8,4	80,1%
Luleå	2,7	76,4%

## 6 Diskussion

Studien visar svårigheterna med att bygga fuktsäkert i vårt klimat. Höga fuktförhållanden råder i utomhusluften under stora delar av året och för att dessa inte ska påverka material inuti våra ytterväggar till den grad att det börjar mögla krävs en väl fungerande luftspalt med tillräckligt hög omsättning. Denna omsättning är den mest kritiska parametern vid fuktdimensionering av ytterväggskonstruktioner. Ju högre omsättning i spalten, desto snabbare kan fukten transporteras därifrån och innanföriggande material hinner inte ta lika mycket skada. Enligt nya studier gjorda vid LTH's avdelning för byggnadsmaterial <sup>[12]</sup>, kan flera gånger högre omsättningar förväntas i luftspalter vilket skulle skapa ännu bättre förhållanden i väggen. Andelen av slagregn som tar sig innanför luftspalten antogs endast nå till yttersta delen av isoleringsskiktet i flytande form <sup>[11]</sup> vilket också visade sig avgörande för resultatet. En annan parameter som undersökts är tidssteget, vilket visade sig inte ge några betydande skillnader i resultatet. Detta tyder på att det valda tidssteget, en timme, är tillräckligt lågt för att få noggranna beräkningar.

I den första jämförelsen mellan modellerna undersöks en vägg med träfasad i Lund. K-modellen uppvisar spår av mögel i mikroskop efter ungefär åtta år, medan m-modellen överstiger index 1 redan efter tre år. Kurvorna i modellerna skiljer sig dock inte speciellt mycket och även om m-modellen visar på högre index tidigare, sjunker index snabbt under ett igen. Kurvorna för tegelväggen visar på liknande kurvkaraktäristik men här skiljer det inte alls så mycket mellan modellernas kritiska tid. M-modellen förefaller vara mer känslig än k-modellen då dess kurvor visar högre toppar och lägre dalar.

Beräkningen av parametern  $m$  i m-modellen är till skillnad från k-modellen inte steglös vilket torde ge något sämre noggrannhet, dock ligger den på säkra sidan då varaktigheten alltid avrundas uppåt.

M-modellen beräknar en retardationsfaktor som är steglöst beroende av RH och  $RH_{crit}$ , till skillnad från k-modellen där dosen blir -0,5 oavsett hur de ofördelaktiga förhållandena ser ut. En annan skillnad är att k-modellen har räknat med 24-timmars medelvärden för klimat medan m-modellen räknar med timvärden för samma klimat.

De olikheter som har behandlats här tros vara anledningar till de små skillnaderna i resultatet från de olika modellerna.

Simuleringsresultaten visar att väggarna med tegelfasad löper mindre risk att angripas av mögel. Att tegel har högre värmetröghet och högre ånggenomsläpplighet är faktorer som bör peka på motsatsen då det finns högre potential för ett varmare, fuktigare klimat i luftspalten i väggen med tegelfasad än i väggen med träfasad. Antagligen är det återigen skillnaden i omsättning i väggarna som ligger till grund för detta resultat.



## 7 Slutsatser

Kontroll av hypotesen:

*Hypotes*

*Man kan använda WUFI tillsammans med k-modellen som ett effektivt verktyg för att jämföra olika väggtyper ur mögelsynpunkt.*

Jämförelsen av modellerna visar att de fungerar ungefär lika bra och visar i det närmaste identiska resultat. Att de två olika modellerna ger så lika resultat torde tyda på att beräkningsmodellerna är någorlunda matematiskt robusta även om de är svåra att kalibrera mot verkligheten då bristfälliga eller inga mätdata finns för de undersökta typfallen. Klimatanalysen i kapitel 5.3 visar att det råder högre temperaturer och högre relativ fuktighet i Lund än i Luleå vilket betyder att klimatet i Lund är en trivsammare miljö för möglet att växa på. Denna skillnad syns också tydligt då orterna jämförs med hjälp av de olika beräkningsmodellerna. Detta är en indikation på att modellerna är realistiska. Olika väggutföranden i olika klimat är på dessa grunder jämförbara med hjälp av k-modellen.



## 8 Referenser

- [1] Hukka A, Viitanen H.A. (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material: Wood Science and Technology 33 (1999), 475-485 © Springer-Verlag 1999
- [2] Boverket. (2008). 6:5 Fukt; 6:51 Allmänt. *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. Boverket, Publikationsservice, Box 534, 371 23 Karlskrona. ISBN 978-91-86045-02-9
- [3] Boverket. (2008). 6:5 Fukt; 6:52 Högsta tillåtna fukttillstånd. *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. Boverket, Publikationsservice, Box 534, 371 23 Karlskrona. ISBN 978-91-86045-02-9
- [4] Viitanen H, Ritschkoff A-C. Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products; 1991. Report No. 221, 49p
- [5] [www.wufi.se](http://www.wufi.se) (2011-01-28)
- [6] Muntlig källa: Sven Thelandersson, Professor, Avdelningen för konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola
- [7] L-O Nilsson. (2009). *Guide för fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner, Utkast 3 till utredningsrapport, WoodbuildE1*.  
[http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/Education/pdf\\_doc/WoodBuild\\_E1-Rapport\\_TVBM-3151.pdf](http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/Education/pdf_doc/WoodBuild_E1-Rapport_TVBM-3151.pdf)
- [8] WUFI Pro 5.0 online help, hjälpfil i programmet WUFI
- [9] [http://www.ssolar.com/Solenergi2010/EnergifaktaDEL1brSole\\_nFramtidensbasenergi/Solinstr%C3%A5lning/tabid/608/Default.aspx](http://www.ssolar.com/Solenergi2010/EnergifaktaDEL1brSole_nFramtidensbasenergi/Solinstr%C3%A5lning/tabid/608/Default.aspx) (2010-11-04)
- [10] <http://www.betongvaruindustrin.se/BookPDFs/BookChapter22.pdf> (2011-01-28)
- [11] Muntlig källa: Åse Togerö, Skanska Byggnadsfysik
- [12] Falk J. (2010) *Ventilerad luftspalt i yttervägg, Luftomsättningar och konvektiv fukttransport*. Rapport TVBM-3155. ISSN 0348-7911 TVBM. Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola 2010.



- [13] Klimatdata behandlade av SMHI och Petter Wallentén, universitetslektor, Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola.
- [14] Mailkontakt: Manfred Kehler, Fraunhofer institute (2010-11-26)
- [15] Nevander L.E., Elmarsson B. (2006). *FUKT handbok*. AB Svensk Byggtjänst 2006. ISBN 978-91-73333-156-2
- [16] Isaksson T. Thelandersson S. Ekstrand-Tobin A. Johansson P. (2006) Critical conditions for onset of mould growth under varying climate conditions. *Building and environment*, 45(7), 1712 - 1721
- [17] Togerö Å. (2009). *The m-model: a method to evaluate the risk for mould growth on materials*. Skanska, byggnadsfysik.
- [18] Claesson C., Nevander L.E., Sandin K. Värme. *Kompendium i Byggnadsfysik, Husbyggnadsteknik*. Institutionen för Byggnadsteknik, Lunds Universitet, Lund 1984

## Appendix

### Matlabalgoritm

```
function reldos=dosres(T,RF)

in=zeros(3284,2);

for i=1:3284
    in(i,1)=mean(T(i*24-23:i*24));
    in(i,2)=mean(RF(i*24-23:i*24));
end

RF=in(:,2);
T=in(:,1);
DRF=zeros(3284,1);
DT=zeros(3284,1);

for i=1:3284
    if RF(i)<60
        DRF(i)=-0.5;
    else if RF(i)>75
        DRF(i)=exp(15.53*log(RF(i)/90));
    else DRF(i)=(-2.7+1.1*RF(i))/30;
    end
    end
    if T(i)<0.1
        D(i)=-0.5;
    else
        DT(i)=exp(0.74*log(T(i)/20));
        D(i)=DRF(i)*DT(i);
    end
end
Dacc=zeros(3284,1);
Dacc=D(1);

for i=2:3284
    Dacc(i)=D(i)+Dacc(i-1);
    if Dacc(i)<0
        Dacc(i)=0;
    end
end
reldos=Dacc;
```