

Utvärdering av m-modellen

i jämförelse med andra mögelriskmodeller

Carolina Flink

ISRN: LUTVDG/TVBM--12/5089--SE (1-55)
ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118 221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427

www.byggnadsmaterial.lth.se

Abstract

Title:	Evaluation of the m-model – in comparison with other mould risk models
Author:	Carolina Flink
Examiner:	Peter Johansson, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology
Supervisors:	Sanne Johansson, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology Peter Brander, Building Physics Skanska Teknik

Mould risk models have become a more common tool for assessing the probability of mould growth in buildings and building components. Skanska has developed the so called m-model that can be used for predicting mould growth with fluctuating temperature and humidity and for different building materials. The aim with this report is to evaluate if the m-model is a suitable tool to evaluate buildings and building components from a mould risk aspect.

The m-model is compared with three other mould risk models that also considers the time aspect and fluctuating climate factors. Validation of the m-model is made by comparing the results from the model with data from field measurements and with results from microscopy of wood from the same locations. Six cases with simplified climate data is made to compare with results from tests in climate chambers under the same climate conditions.

Evaluation of results from the field measurements showed good conformity with the results from the m-model. The four cases that were compared to the tests from the climate chambers did not show good conformity. The model showed risk for mould growth before the results from the climate chambers only in one of the four cases. This can be an indication that the model is based on data from too few investigations.

The conclusion is that the m-model is a suitable tool to compare different building constructions but it needs further evaluation and possibly adjustments to be used for evaluation of buildings and building components. To become more reliable, the m-model should be calibrated against more results from other investigations. To be useful for more materials, the m-model should also be compared to more results for other materials.

Key words: mould, mould risk model, m-model

Sammanfattning

Titel:	Utvärdering av m-modellen – i jämförelse med andra mögelriskmodeller
Författare:	Carolina Flink
Examinator:	Peter Johansson, Avdelningen för Byggnadsmaterial Lunds Tekniska Högskola
Handledare:	Sanne Johansson, Avdelningen för Byggnadsmaterial Lunds Tekniska Högskola Peter Brander, Byggefysikgruppen Skanska Teknik
Problemställning:	Är m-modellen ett lämpligt verktyg för att utvärdera byggnader och byggnadsdelar ur ett mögelriskperspektiv?

För att undvika problem med mögel i byggnader har mögelriskmodeller blivit ett allt vanligare verktyg för att bedöma sannolikheten för mögelpåväxt på ett byggnadsmaterial eller en byggnadsdel. En av de mögelriskmodeller som finns är Skanskas m-modell som ska kunna användas för fluktuerande klimat samt olika material. Syftet med detta arbete är att utvärdera m-modellen för att kunna bedöma om den är ett lämpligt verktyg för att utvärdera om det föreligger risk för mögel på byggnadsdelar.

m-modellen jämförs med tre andra mögelriskmodeller som också tar hänsyn till tidsaspekten och fluktuerande klimat. Validering av m-modellen sker också genom att jämföra m-modellens resultat med data från fältmätningar med resultat från mikroskopering av träprover. Sex kraftigt förenklade klimatfall konstrueras där modellernas resultat kan jämföras med resultat från klimatkammartester under samma klimatförhållanden.

Utvärdering av resultaten från fältmätningarna visade på god överensstämmelse med resultaten från m-modellen. För de fyra fall med förenklade klimatdata som kunde jämföras med resultat från klimatkammartester visade m-modellen på dålig överensstämmelse. Endast i ett av dessa fyra fall visade den på risk för mögelpåväxt tidigare än resultaten från klimatkammartesterna. Detta kan tyda på att de data modellen är baserad på inte är tillräcklig för att få en tillförlitlig modell.

Slutsatsen blev att m-modellen är ett lämpligt verktyg för att jämföra olika konstruktioner med varandra men att fortsatt utvärdering och eventuella justeringar behövs för att m-modellen ska kunna användas för att utvärdera byggnader och byggnadsdelar ur ett mögelriskperspektiv. För att bli mer tillförlitlig bör m-modellen kalibreras mot fler resultat från fler undersökningar. För att kunna användas för fler material bör den också jämföras med resultat för olika material.

Nyckelord: mögel, mögelriskmodell, m-modellen

Förord

Denna rapport är en del i ett examensarbete som avslutar studierna vid Väg-och Vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet utfördes vid avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Skanska Teknik.

Från LTH skulle jag vilja tacka min handledare, Sanne Johansson, för hennes hjälp, stöd och värdefulla kommentarer. Jag skulle också vilja tacka min examinator, Peter Johansson, som visade intresse vid utformningen av arbetet. Från Skanska skulle jag vilja tacka min handledare, Peter Brander, som var med och utformade arbetet och som hjälpt mig framåt när jag har behövt det.

Malmö, september 2012
Carolina Flink

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Förord.....	5
1 Inledning.....	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Problemformulering.....	9
1.3 Uppdragets omfattning.....	9
1.4 Metod.....	9
2 Bakgrund.....	10
2.1 Teori.....	10
Fukt.....	10
Mögelsvampar.....	11
Inneklimat.....	13
Boverkets Byggregler.....	14
2.2 Tidigare undersökningar.....	14
WHO – Riktlinjer för inneklimat.....	14
BETSI – Så mår våra hus.....	15
Viitanens undersökningar.....	16
WoodBuild.....	17
Wall and Roof-Investigation.....	17
3 Modeller.....	19
3.1 VTT.....	19
3.2 WUFI® - Biohygrothermal model.....	20
3.3 Dos-respons.....	22
3.4 m-modellen.....	23
3.5 Jämförelse modeller.....	25
4 Utvärdering beräkningsresultat.....	28
4.1 Tidigare resultat.....	28
4.2 Resultat samtliga modeller.....	28
4.3 Mikroskopering.....	30

4.4	Utvärdering resultat.....	31
5	Förenklade klimatfall	32
5.1	Klimatfall	32
5.2	Resultat modeller.....	32
5.3	Jämförelse resultat.....	33
6	Känslighetsanalys	34
6.1	Tidssteg.....	34
	Resultat vind 2.....	34
	Resultat carport.....	35
	Utvärdering tidssteg.....	35
6.2	Material.....	36
	Resultat furu	36
	Resultat betong.....	37
	Utvärdering material.....	38
7	Diskussion och slutsatser.....	39
7.1	Diskussion.....	39
	Modeller	39
	Utvärdering beräkningsresultat	39
	Förenklade klimatfall	40
	Känslighetsanalys	40
7.2	Slutsatser	40
7.3	Rekommendationer	41
8	Litteraturförteckning.....	42
Bilagor		
	Bilaga A - Resultat från samtliga modeller för vindar och carport	
	Bilaga B - Resultat från fall 1-6 med förenklade klimatfall	

1 Inledning

1.1 Bakgrund

En god inomhusmiljö är viktig för hälsan. Byggnadens utformning, installationer, materialval samt användning påverkar alla inomhusmiljön. Att vistas i en miljö med fuktproblem kan orsaka hälsoproblem som hosta, luftvägsinfektioner, irritation i ögon och luftvägar samt trötthet och hosta (Socialstyrelsen, 2006).

I konstruktioner med fuktproblem finns det risk för att mögel börjar växa. Mögel i en konstruktion kan leda till exponering i inomhusluften och i sin tur hälsoproblem hos människor som vistas i inomhusmiljön. Inga tydliga samband mellan hälsoproblem och mögel inom klimatskalet har kunnat visas vetenskapligt, men av försiktighetsskäl bör det ändå undvikas (Nilsson, 2009).

I Boverkets byggregler kan man läsa att:

Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa (BBR 19, 2011).

Detta regleras genom det högsta tillåtna fukttillståndet. Det högsta tillåtna fukttillståndet är då ett materials avsedda egenskaper och funktioner inte längre uppfylls, vilket exempelvis omfattar mikrobiell påväxt. Om inte ett högre fukttillstånd kan tillstyrkas ska 75% användas (BBR 19, 2011).

Eftersom ett högsta tillåtna fukttillstånd på 75% relativ fuktighet kan vara svårt att uppfylla i alla delar av en konstruktion har mögelriskmodeller blivit ett vanligare sätt att bedöma om en konstruktion klarar kraven vad gäller fukt. En mögelriskmodell är en modell som förutsäger hur stor sannolikheten är för mögelpåväxt på ett byggnadsmaterial eller en byggnadsdel.

En av de mögelriskmodeller som finns är Skanskas m-modell. Modellen ska kunna användas för fluktuerande klimat samt olika material men är i dagsläget endast delvis utvärderad.

1.2 Problemformulering

Syftet med projektet är att utvärdera m-modellen för att kunna bedöma om den är ett lämpligt verktyg för att utvärdera byggnadsdelar ur ett mögelriskperspektiv. m-modellen jämförs med andra liknande verktyg samt med resultat från fältmätningar. Även en känslighetsanalys utförs.

- Är m-modellen ett lämpligt verktyg för att utvärdera byggnadsdelar och konstruktioner ur ett mögelriskperspektiv?

1.3 Uppdragets omfattning

m-modellen jämförs med tre andra liknande mögelriskmodeller. Dessa är utvalda eftersom de alla tar hänsyn till tidsaspekten samt att möglets tillväxt sker långsammare under sämre tillväxtförhållanden. Endast risken för sporgroning är intressant eftersom det är den högsta accepterade nivån av mögelpåväxt i byggnadsdelar enligt m-modellen, därför kommer möglets utveckling efter detta stadium inte behandlas för de modeller som kan beräkna detta.

Validering av m-modellen med data från fältmätningar görs genom att studera träprover från olika platser och jämföra mögelindex med modellens resultat. En känslighetsanalys på ett antal utvalda parametrar genomförs. Slutligen konstrueras sex fall med kraftigt förenklade klimatdata som ska kunna användas för att jämföra olika modeller och kunna se hur väl de stämmer.

1.4 Metod

Jämförelsen mellan de olika mögelriskmodellerna sker först genom en litteraturstudie. Därefter utvärderas dess överensstämmelse med verkligheten. Detta sker genom att mikroskopera mögelpåväxt på ett antal träprover från fem vindar samt en carport. Värden på temperatur och relativ fuktighet har uppmätts på de sex platserna och använts som indata till de olika modellerna för att kunna jämföra med resultaten från mikroskoperingen.

Sex fall med förenklade klimatdata konstrueras för att se hur de olika modellerna beter sig vid olika typer av klimat. I känslighetsanalysen studeras inverkan av olika tidssteg samt olika material i aktuella modeller. De data som används till känslighetsanalysen härstammar endast från en av vindarna för undersökningen av material samt från en av vindarna och carporten för undersökningen av tidssteg.

2 Bakgrund

2.1 Teori

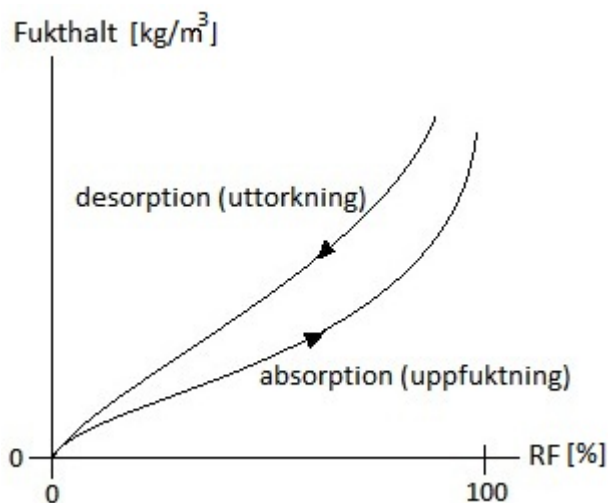
I detta kapitel beskrivs bakomliggande mekanismer för hur mögel uppstår samt varför det är viktigt att undvika förekomst av mögelpåväxt i byggnader.

Fukt

Fukt är vatten i de olika faserna; vattenånga, vätska och is. Ånghalten, v (kg/m^3), beskriver vattenångans densitet i fuktig luft (Nevander & Elmarsson, 1994). Mättnadsånghalten, v_s (kg/m^3), är den ånghalt luften maximalt kan innehålla vid en viss temperatur och ett visst tryck innan vätska fälls ut som kondens. Den relativa fuktigheten är förhållandet mellan ånghalten och mättnadsånghalten, $\phi = \frac{v}{v_s(T)}$.

Fukthalten, w (kg/m^3), är ett mått på hur mycket vatten per volymenhet som finns i materialet. Fukthalten kan aldrig överskrida densiteten för vatten, $1\ 000\ kg/m^3$. Däremot kan fuktkvoten, u (kg/kg), överskrida 1. Fuktkvoten är förhållandet mellan mängden förångningsbart vatten och mängden torrt material. Begreppet fuktkvot används främst som ett mått på fukttinnehåll i trä.

Byggnadsmaterial har en viss porositet och innehåller luft i porsystemet som alltid står i kontakt med luften utanför materialet. Det råder alltid en balans mellan fukttillståndet i materialets porsystem och tillståndet i omgivningen. Materialet kan ta upp fukt från omgivningen, vilket kallas uppfuktning eller absorption, eller avge fukt, vilket benämns uttorkning eller desorption. Materialet kan också befinna sig i jämvikt med omgivningen, vilket innebär att lika mycket vatten upptas som avges per tidsenhet.



Figur 1. Principskiss av sorptionskurva.

Om ett material förvaras i en omgivning med konstant temperatur och relativ fuktighet kommer det så småningom uppnå jämvikt med omgivningen. Beroende på om materialet

upptar eller avger fukt från omgivningen kommer dess fukthalt vid jämvikt se olika ut. Varje material har en sorptionskurva för desorption samt en sorptionskurva för absorption. Utseendet på kurvorna är likartat för olika material men fukthalten kan vara mycket högre för ett material än ett annat beroende på materialets fysikaliska egenskaper.

Byggmaterial kan tillföras fukt från olika fuktkällor. Dels från fuktighet i utomhusluften samt fuktproduktionen inomhus. Fukttillskottet, som är skillnaden mellan ånghalten utomhus och inomhus, kommer från avdunstning från personer, matlagning, tvätt och så vidare. Även eventuella läckor från installationer kan bidra till en förhöjd fukthalt. Fukt kan också tillföras utifrån genom regn, där särskilt slagregn är betydande, samt genom markfukt och byggfukt. Byggfukt är den fukt som efter en byggnadsdels färdigställande måste avges till sin omgivning för att materialet ska komma i jämvikt.

Höga fukthalter ger en ökad risk för skador på materialet, exempelvis sänkt hållfasthet, ruttnande, svällande eller sprickande trä, mögel, emissioner som kan orsaka hälsoproblem och lukt, att utvändiga material fryser sönder samt korrosion på metaller (Burström, 2007). Det aktuella fukttillståndet för ett material bestäms av egenskaper hos materialet samt av den omgivande miljön. Fukttillståndet kan anges antingen genom relativ fuktighet eller genom fukthalten för materialet. Det kritiska fukttillståndet för ett material är gränsen för att materialet ska bibehålla sin funktion under hela tiden materialet utsätts för det fukttillståndet (Nevander & Elmarsson, 1994).

Mögelsvampar

Mögelsvampar är en bred och inte särskilt väldefinierad grupp av mikrosvampar. Eftersom mögel avger sporer som en naturlig del i deras livscykel finns sporer naturligt i luften i vår omgivning. Vid rätt förhållanden kan sporer börja gro på ytor och bilda hyfer som förgrenar sig och bildar ett mycel. Så småningom kan nya sporer bildas och avges till luften så att möglet kan spridas vidare (Johansson, 2012). För att bedöma omfattningen av en mögelpåväxt kan man använda sig av olika index. Tabell 1 och Tabell 2 visar exempel på hur mögelpåväxtens omfattning kan bedömmas.

Tabell 1. Index för mögeltillväxt enligt Lähdesmäki, et al. (2011).

Index	Klassificeringsprinciper
0	Ingen tillväxt
1	Mikroskopiskt detekterad tillväxt, begynnande tillväxt, ett fåtal hyfer
2	Mikroskopisk tillväxt urskiljbar, flera kolonier av hyfer formade
3	Tillväxt märkbar för ögat, mycelium täcker <10% av ytan eller mikroskopiskt urskiljbar tillväxt täcker <50%
4	Tillväxt märkbar för ögat, mycelium täcker runt 10-50% av ytan eller mikroskopiskt urskiljbar tillväxt täcker >50%
5	Tillväxt märkbar för ögat, bitvis kraftig eller mycelium täcker >50%
6	Mycket stark tillväxt, mycelium täcker nästan 100%

Tabell 2. Index för mögeltillväxt enligt Johansson (2012).

Index	Klassificeringsprinciper
0	Ingen tillväxt
1	Initierad tillväxt, en eller ett fåtal hyfer, inga konidioforer
2	Sparsam men tydligt etablerad påväxt, konidioforer börjar ofta utvecklas
3	Fläckvis, kraftig påväxt med många väl utvecklade konidioforer
4	Kraftig påväxt över nästan hela ytan

För att mögel ska tillväxa krävs näring, rätt temperaturintervall, rätt pH-värde och vatten. Tillgång till vatten är ofta den kritiska faktorn för att tillväxt ska kunna ske (Johansson, 2012). Förenklat finns ett förhållande mellan svampens tillväxthastighet och rådande klimatförhållanden i form av temperatur och fukt som är möjligt att modellera. För varje art och temperatur finns en minsta nivå tillgängligt vatten för att svampen ska kunna växa samt en optimal temperatur för arten där kravet på tillgängligt vatten är som lägst.

För mikroorganismer anges ofta mängden tillgängligt vatten som vattenaktivitet, a_w . Vattenaktiviteten anges som förhållandet mellan ångtrycket i materialet och rent vatten vid samma temperatur och tryck (Ayerst, 1969). Detta kan beskrivas i isoplestsystem, under den lägsta linjen i sådana diagram upphör all aktivitet för den undersökta mögelarten. Systemen bestäms vid laborietester för stationära tillstånd, det vill säga under vilka förhållanden möglet kan börja växa vid konstant temperatur och relativ luftfuktighet (Krus, et al., 2001).

Tiden är en kritisk faktor, ofta finns en latensperiod innan tillväxten kommer igång. Om ett uppfuktat material torkar ut långsamt är det större risk att möglet hinner börja växa än om materialet torkar ut snabbt. Ett material som tidigare varit uppfuktat och där tillväxt påbörjats har också större risk för att bli mer känsligt för angrepp senare. Även om perioderna inte är sammanhängande ger återkommande perioder med gynnsamma klimatförhållanden en ökad risk för tillväxt av mögel (Johansson, et al., 2005).

Ett stort antal mögelarter kan hittas i fuktiga byggnader och flera arter kan växa tillsammans på ett byggnadsmaterial (Andersen, et al., 2011). Mögelsvampar kan utnyttja nästan vilket organiskt material som helst för att kunna växa, men behöver ständig tillgång till vatten (Storey, et al., 2004).

Om ett material blir nedsmutsat med organiskt damm kan det angripas av mögel även om mögel inte skulle kunna växa på materialet i sig (Johansson, et al., 2005). Mögel som växer inomhus kan påverka inomhusmiljön genom att de avger biprodukter som kan vara giftiga, allergiframkallande eller ha immunologiska effekter (Storey, et al., 2004).

Ett förslag till kritiskt fukttillstånd för ett antal vanliga byggmaterial kan läsas i Tabell 3, som är baserat på risken för mikrobiell tillväxt, där risken ligger i storleksordningen några procent.

Tabell 3. Förslag till nivåer för kritiska fukttillstånd (Johansson, et al., 2005).

Materialgrupp	Kritiskt fukttillstånd [% RF]
Smutsade material	75-80
Trä och träbaserade material	75-80
Gipsskivor med papp	80-85
Mineralullsisolering	90-95
Cellplastisolering (EPS)	90-95
Betong	90-95

Olika materials känslighet för mögelpåväxt beror främst på vattenaktiviteten i materialets yta. Vattenaktiviteten på trätytor påverkas bland annat av ytbehandling och täthet (Viitanen, 1994).

Inneklimat

En stor del av tiden tillbringas idag inomhus, därför är inomhusmiljön viktig för hälsan och välbefinnandet. Inomhusmiljön påverkas av byggnadens utformning, installationer samt material men även av hur byggnaden används, underhålls och sköts (Socialstyrelsen, 2009).

Att vistas i byggnader med fuktproblem regelbundet kan ge hälsoproblem i form av exempelvis luftvägsinfektioner, irritation i ögon och luftvägar, trötthet samt hosta. De som är allergiska eller överkänsliga får oftare problem på grund av brister i innemiljön än andra. Det är svårt att veta exakt vad det är som gör att vissa får symptom eller besvär, men det är tydligt att fuktproblem är en hälsorisk (Socialstyrelsen, 2006).

En välfungerande ventilation är viktig för välbefinnandet samt för att hålla fuktinnehållet i luften på en bra nivå. Besvär är vanligare i mekaniskt ventilerade fastigheter än fastigheter med självdragsventilation (Socialstyrelsen, 2009). Detta kan bero på dåligt underhåll av de mekaniska ventilationsanläggningarna som medför smutsig luft och försämrad kapacitet. Även för stora flöden kan ge negativa effekter, drag kan kyla ned kroppen och påverkar även människor med sjukdomar.

Enligt en undersökning gjord 2007 upplever 18% av den vuxna befolkningen besvär på grund av inomhusmiljön i bostaden, i skolan eller på arbetet. Besvären kan innebära trötthet, huvudvärk, klåda i ögonen eller täppt näsa. Särskilt känsliga är personer som lider av allergier (Socialstyrelsen, 2009).

Det är fortfarande osäkert hur sambanden ser ut mellan förekomsten av mögel inne i en konstruktion och exponering i inomhusluften. Även om inget samband kunnat påvisas bör påväxt av mögel inom klimatskalet undvikas av försiktighetsskäl (Nilsson, 2009).

Boverkets Byggregler

Boverkets byggregler är en författning som innehåller föreskrifter och råd till plan- och bygglagen (PBL) samt plan- och byggförordningen (PBF). Föreskrifterna gäller vid uppförande av ny byggnad, för tillbyggda delar vid ombyggnad samt vid mark- och rivningsarbeten. De allmänna råden innehåller generella rekommendationer för hur någon kan handla för att uppfylla föreskrifterna.

I BBR 19 (2011) kapitel 6:5, som handlar om fukt, kan man läsa att:

Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa (BBR 19, 2011).

Vidare står det att högsta tillåtna fukttillstånd för byggmaterial är det kritiska fukttillståndet för materialet. Det kritiska fukttillståndet är vid den fuktnivå ett materials avsedda egenskaper och funktioner inte längre uppfylls. Vid bestämmande av ett materials kritiska fukttillstånd ska exempelvis hänsyn tas till när tillväxt av mögel och bakterier börjar. Beräkningen ska utgå från de mest ogynnsamma förutsättningarna. Om ett material inte kan bevisas ha ett högre kritiskt fukttillstånd än 75% ska denna gräns användas. Det högsta tillåtna fukttillståndet får inte överskridas om det inte anses orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning.

I BBR 19 (2011) har det förtydligats vad som gäller vid ombyggnad. Ändringar får inte medföra en ökad fuktbelastning på befintliga byggnadsdelar och samma krav ställs på ändringen som vid nybyggnad. Däremot får fuktskadade byggnadsdelar som är viktiga för byggnadens karaktär behållas, om åtgärder vidtas för att skydda inomhusmiljön från emissioner och mikroorganismer.

2.2 Tidigare undersökningar

I detta kapitel beskrivs först undersökningar som ligger bakom behovet av att använda mögelriskmodeller i Sverige. Därefter beskrivs den undersökning som ligger till grund för de modeller som presenteras i detta arbete. Slutligen beskrivs de undersökningar som lett fram till arbetet med Skanskas mögelriskmodell, m-modellen.

WHO – Riktlinjer för innekvalitet

World Health Organization (2009) har gett ut riktlinjer för innekvalitet speciellt gällande fukt och mögel. Riktlinjerna är tänkta att användas över hela världen för att stödja insatser för att uppnå optimal innekvalitet. De är utformade på ett sätt så att varje land kan använda dem utefter sina egna miljömässiga och ekonomiska förutsättningar. Detta bör ske genom att varje regering utformar egna politiska mål.

Riktlinjerna innebär att ihållande fuktighet och mikrobiell tillväxt i byggnadsstrukturer samt på ytor interiört bör undvikas eller minimeras eftersom det kan leda till negativa

hälsoeffekter. Grunden är att byggnader utformas och sköts på ett sådant sätt att fuktrelaterade problem inte uppstår. Vid utformningen av byggnader är det därför viktigt att undvika köldbryggor och läckage. Ventilationen bör distribueras till alla delar av byggnaden utan stagnationspunkter för att kunna föra ut överskottsfukt.

Ett enda gränsvärde för kritisk fuktnivå är otillräckligt för utformning av byggnadsstrukturer. För att kunna beskriva mögeltillväxt behövs modeller som tar hänsyn till fluktuationer i relativ luftfuktighet och temperatur för varje byggnadsmaterial (World Health Organization, 2009).

BETSI – Så mår våra hus

Boverket fick i uppdrag från regeringen att undersöka hur det svenska byggnadsbeståndet mår samt att bedöma åtgärder för skador och brister. Arbetet är kopplat till det nationella miljö kvalitetsmålet för "God bebyggd miljö", där Boverkets del bestod i att formulera delmål för att undvika fukt, mögel och buller i bebyggelse (Boverket, 2009).

En enkätundersökning gällande fukt och mögel genomfördes inom ramarna för BETSI. Resultaten visade på att 9% av lägenheterna i flerbostadshusen samt 15% av småhusen hade haft en fukt- eller vattenskada. Den visade också på att vissa hälsobesvär var vanligare i bostäder med fukt- eller mögelskador. Mögelpåväxt och lukt observerades främst i byggnader byggda före 1976, där det är vanligt med mögel i krypgrunder och på vindar. Bland byggnader med mögel på vinden hade 84% självdragsventilation, vilket tyder på problem med luftläckage genom vindsbjälklaget. En annan problemkonstruktion som observerades var de odränerade, putsade träregelväggarna, som varit vanliga på senare år (Boverket, 2009).

Totalt beräknas 36% av bostadsbeståndet, 751 000 byggnader, ha fukt- och mögelskador som har möjlighet att påverka inomhusklimatet. Mest drabbade av fuktskador är småhusen, men resultaten visar inte hur omfattande skadorna är. En bidragande faktor till de många fuktskadorna är att nya konstruktionslösningar satts i storskalig produktion innan de varit tillräckligt utprovade (Boverket, 2010).

Det nya målet som sattes upp, med BETSI som grund, innebär att andelen byggnader med fuktskador av betydelse för inomhusmiljön ska minska till under 5% innan år 2020 (Boverket, 2009).

Viitanens undersökningar

I mitten av 90-talet genomförde Hannu Viitanen vid Technical Research Center (VTT) ett stort antal experiment på, i huvudsak, splintved av gran och furu. Experimenten genomfördes i laboratorium eftersom det är svårt att göra en exakt analys av samverkan mellan fukttinhåll, temperatur, tid och biologisk nedbrytning i byggnader (Viitanen, 1994).

Viitanen genomförde experiment på trä under konstanta förhållanden respektive fluktuerande klimat. Experimenten under konstant luftfuktighet och temperatur genomfördes i klimatkammare med relativ luftfuktighet 75-100% och temperatur 0-50°C. De experiment som utfördes under varierande luftfuktighet genomfördes antingen i plastkammare där träproverna analyserades i mikroskop och fördes mellan kammare med olika luftfuktighet manuellt eller i en Weather-o-meter där temperatur och luftfuktighet varierar automatiskt. Därefter analyserades proverna i stereoljuskopier efter förbestämda intervall.

Efter utvärdering av mögelpåväxt under olika klimatförhållanden och för olika varaktigheter kunde Viitanen skapa diagram som visar när mögeltillväxt kan ske. De flesta svampar visades växa bäst i klimat med temperaturer mellan 20°C och 35°C och relativ fuktighet 73-100%. Furu visade en tendens till att mögla mer än gran, men variationerna inom en art kan spela större roll än skillnaderna mellan olika arter av trä. Den största variationen fås vid varierande ytkvalitet (Viitanen, 1996).

Tillväxten upphör under korta perioder med ogynnsamt klimat, men så fort klimatet blir gynnsamt igen fortsätter tillväxten. Längre perioder med ogynnsamt klimat kan vara skadligt för groende sporer och mycelium, men sporer som inte ännu grott kan falla i dvala för att sedan aktiveras igen när klimatet blir gynnsamt (Viitanen, 1994). När tillväxten börjar igen efter en längre period med ogynnsamt klimat sker tillväxten långsammare och den slutliga påväxten är mindre än vid en lika lång men sammanhängande period med gynnsamt klimat.

Vid klimatvariationer varierar fuktförhållandena på materialets yta. Vid korta cykler nås inte fuktjämvikt (Viitanen & Bjurman, 1994). För de svamparter som testats i Viitanen (1994) visade sig temperatur och relativ fuktighet som varierar oftare är mindre skadligt för svampen än temperatur och relativ fuktighet med mindre variationer under längre perioder. Genom att summera aktiva perioder ackumulativt går det att förutspå mögelsvamps tillväxt under varierande klimatförhållanden (Viitanen, 1994).

WoodBuild

WoodBuild är ett samarbetsprojekt mellan i huvudsak SP och Lunds Tekniska Högskola. Syftet är att öka kunskapen och kompetensen angående träbyggande ur fuktsäkerhets- och beständighetssynpunkt. WoodBuilds forskningsprogram fokuserar främst på fem delområden; metodik för livslängdsdimensionering, exponering av trä i klimatskärmen, exponering av trä utomhus ovan mark, resistens hos träprodukter mot biologiska angrepp samt kunskapsöverföring/exploatering av resultat.

Ett delprojekt inom delområdet för ”Resistans hos träprodukter mot biologiska angrepp” väntas leda till en fördjupad förståelse för under vilka förutsättningar mikrobiell påväxt på trä initieras. Projektet går ut på att prova ett stort antal prover i en kammare. Proverna genomförs dels med kontrollerad temperatur och luftfuktighet som är gynnsam för mikroorganismer och dels studeras fluktuerande klimat. Även litteratur med erfarenheter från mikrobiell påväxt på andra byggmaterial studeras. En provning av olika material som genomförts visar på skillnader i mögelresistans mellan olika träbaserade material (SP, u.d.).

Inom ett annat delprojekt ges råd för hur projekteringen ska hanteras avseende tillämpning av BBRs fuktkrav. Kravet i BBR för kritiska fukttillstånd är hårt och tar inte hänsyn till temperatur, varaktighet och variationer i fuktbelastning. Med bättre verktyg för att förutsäga risk för mögeltillväxt kan dessa aspekter också vägas in och högre fukttillstånd än det kritiska kan accepteras under kortare perioder. Det är därför också av största vikt att ha en tydlig gräns för vad som anses vara acceptabel förekomst av mögel. Vid mikrobiologiska analyser klassificeras angreppens omfattning, en sparsam mögelpåväxt, index 1 enligt SP, inom klimatskalet bör kunna accepteras då detta motsvarar en normal frekvens för opåverkat material (Nilsson, 2009).

Inom WoodBuild har en modell för kritiska tillstånd för mögelpåväxt i olika klimat tagits fram. Detta är dos-responsmodellen som utvecklats av LTH och SP (Isaksson, et al., 2010). Slutsatsen är att det går att förutsäga påväxt av mögel för ett godtyckligt klimat med rimlig säkerhet samt att modellen kan användas för olika material efter att det aktuella materialet kvantifierats (SP, u.d.).

Wall and Roof-Investigation

Som ett led i arbetet med att möta de nya tuffa kraven i svensk lagstiftning startade Skanska 2008 WaR, Wall and Roof-Investigation, för att kunna kvalitetssäkra vägg- och takkonstruktioner ur ett fuktsäkerhetsperspektiv. Skanska har valt att tolka BBRs krav som att mögeltillväxten ska hållas under mögelindex 1 enligt Viitanen (1996), det vill säga initierad tillväxt med få hyfer. Detta är det värde som använts vid undersökningen, medan mögel normalt sett oftast upptäcks först efter klagomål från de boende.

Klimatbelastningen på ett antal olika vägg- och takkonstruktioner beräknades i WUFI®. För att få med förhållanden från de olika säsongerna användes klimatdata från minst ett fullt år. En byggnadskomponent som precis klarar kraven i södra Sverige kan få stor säkerhetsmarginal i norra Sverige, där klimatet är mer fördelaktigt ur fuktsynpunkt.

Övervakning över en längre tid har utförts i ett antal nybyggda hus, främst i de tre storstadsregionerna; runt Stockholm, Göteborg och Malmö. Efter mätningar på plats jämfördes dessa resultat med resultaten från WUFI®, vilket visade på en god överensstämmelse. Vid en jämförelse med klimatfiler för Lund och Stockholm åren 1990-1998 från SMHI kan det konstateras att de klimatfiler som används i WUFI® generellt ger ett mildare klimat än det faktiska klimatet i Sverige för vissa år.

I samband med WaR utvecklades m-modellen. m-modellen är ett verktyg som förutsäger risken för mögelnitiering på ytor givet temperatur, relativ fuktighet och tid. Den är baserad på kritiska fuktnivåer som följer direktiven i WoodBuild och kan använda klimatdata från olika källor.

3 Modeller

Enligt BBR (BBR 19, 2011) ska en kritisk relativ fuktighet på 75% användas för ett material som inte har ett dokumenterat kritiskt fukttillstånd. Detta är ett hårt krav som ej är praktiskt tillämpbart i vissa konstruktioner eller delar av konstruktioner. Därför finns ett behov att, ur ett fuktsäkerhetsperspektiv, kunna bedöma situationen för konstruktioner över 75% relativ fuktighet för att se om de kan klara kraven ändå.

En mögelriskmodell är en modell som förutsäger risken för mögelpåväxt på ett byggnadsmaterial eller en byggnadsdel. De modeller som tas upp i denna rapport är samtliga baserade på samma grunddata; Viitanens undersökningar av mögelpåväxt på furu och gran under fluktuerande klimat för olika varaktigheter (Viitanen, 1996).

3.1 VTT

VTT är en mögelriskmodell som utvecklats som ett samarbete mellan Technical Research Center (VTT) och Tampere University of Technology i Finland (Viitanen, et al., 2008). Den första versionen av modellen utvecklades redan under 1990-talet och var då en av de första modellerna som tog hänsyn till fluktuerande klimat. Särskilt torrperioder var tidigare ett problem, eftersom kunskapen om detta var väldigt begränsad.

Förutom det kritiska fukttillståndet som funktionen av temperatur tar Viitanens modell även hänsyn till att det kritiska fukttillståndet varierar beroende på i vilket tillväxtstadium möglet befinner sig, det vill säga mögelindexet. Mögelindex uttrycks i modellen genom parametern M, där mögelindex 1 på skalan från 0-6 ofta anges som designkriterium, den högsta tillåtna nivån (Hukka & Viitanen, 1999).

Möglets tillväxthastighet är i modellen baserad på följande ekvation:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{7 \cdot e^{-0,68 \ln T - 13,9 \ln RH + 0,14 W - 0,33 SQ + 66,02}} \cdot k_1 k_2$$

Där:

W	träslag; furu=0, gran=1
SQ	ytkvalitet; sågad yta=0, ugnstorkad=1
t	tid [h]
k_1, k_2	tillväxtkoefficienter

Även om mögelpåväxtens storlek kan se likadan ut under torra perioder minskar möglets aktivitet och det sker en fördröjning i möglets tillväxt efter en torrperiod. Denna fördröjning uppstår redan efter 6 timmar med torrt klimat. Viitanen använder särskilda ekvationer för fördröjning beroende på om det torra klimatet varat längre än 6 timmar och mer eller mindre än 24 timmar. För längre torrperioder är vetskapen dålig och därför används ekvationen för torra i mer än 24 timmar även om det gått betydligt längre tid än så.

Fördröjningen kan beskrivas matematiskt enligt följande ekvation:

$$\frac{dM}{dT} = \begin{cases} -0,032 & \text{för } t-t_1 \leq 6 \text{ h} \\ 0 & \text{för } 6 \text{ h} \leq t-t_1 \leq 24 \text{ h} \\ -0,016 & \text{för } t-t_1 > 24 \text{ h} \end{cases}$$

Där $t-t_1$ är tiden från början av torrperioden (Hukka & Viitanen, 1999).

I den ursprungliga modellen togs endast hänsyn till trä, men har sedan dess uppdaterats för att även kunna användas för andra material samt en större bredd av klimat (Viitanen, et al., 2008). De material som ingår i den utvecklade modellen är furuspånplatta, betong, lättbetong, polyuretanisolering med papper och polerad yta, glasull, mineralull och EPS (Ojanen, et al., 2011). En annan skillnad är att fördröjning av mögeltillväxt sker även vid låga temperaturer, istället för bara vid låg luftfuktighet. I den nya modellen fördröjs mögeltillväxten om den relativa fuktigheten är under 80% eller om temperaturen ligger under 0°C.

Modellen förutsäger endast risken för mögelpåväxt, den säger inget om tillväxthastigheten. Inverkan av osäkerheter kommer, förutom från modellen i sig, även från osäkerheter i klimatdatan (Viitanen, et al., 2008).

3.2 WUFI® - Biohygrothermal model

Klaus Sedlbauer vid Fraunhofer Institute for Building Physics har varit ledande vid utvecklingen av ett program för att kunna förutsäga mögeltillväxt på byggnadsmaterial. Programmet kan användas som ett tilläggsprogram till WUFI® och består av två olika modeller; en isoplet-modell samt en biohygrotermisk modell.

Vid utvecklingen av isopletsystemen har mögelsvamp som är farlig för hälsan samt förekommer i byggnader betraktats och delats in i kategorier efter hälsorisken. Även en uppdelning av byggnadsmaterial har gjorts genom att dela in i olika substratkategorier (Sedlbauer, 2002).

Tabell 4. Klassning av byggnadsmaterial i substratkategorier (Sedlbauer, et al., 2003).

Substratkategori	Materialtyper
0	Optimalt odlingsmedium
I	Biologiskt återvinningsbara byggmaterial
II	Byggmaterial som är svåra att återvinna biologiskt
III	Byggmaterial som varken bryts ned eller innehåller näringsämnen

Eftersom villkoren för tillväxt skiljer sig i svampens olika tillväxtfaser skiljer Sedlbauer mellan sporgroning och myceliumbildning i sina isopletsystem. Fyra isopletsystem vardera för sporgroning samt myceliumbildning har utvecklats för olika grupper av svampar samt odlingsmedium.

De fyra isopletsystemen har använts för att utveckla LIM-kurvor. LIM står för Lowest Isopleth for Mould och är den lägsta isopleten för groning för svampar inom en grupp. Två av isopletsystemen gäller för optimalt odlingsmedium men olika riskklasser av svampar. De övriga två gäller svampar ur den lägre riskklassen, men för substratkategori I respektive II.

Bedömning av sporgroning med hjälp av isoplet-modellen har som nackdel att hänsyn till periodvis uttorkning av sporena inte kan tas. Vid transienta randvillkor kommer därför isoplet-modellen förutsäga sporgroning oftare än en biohygrotermisk modell.

Den biohygrotermiska modellen beräknar fukttinnehållet i en spor och tar hänsyn till transienta randvillkor. Därefter jämförs sporens fukttinnehåll med det kritiska fukttillståndet, vilket är det fukttillstånd då sporen börjar gro. Det kritiska fukttillståndet fås ur LIM-kurvorna och hänsyn tas till sporens fuktlagringskapacitet.

I den första tillväxtfasen absorberar sporen fukt. Först i den andra fasen, när metabolismen startat, har odlingsmediet betydelse för sporens fortsatta utveckling. När metabolismen börjat är sporen inte lika beroende av omgivningen och det krävs inte längre lika stort fukttinnehåll för att den ska kunna fortsätta växa. Därför är det viktigt att detta stadiet i sporens utveckling aldrig uppnås.

Eftersom en spor är så liten påverkar den inte byggnadsdelens randvillkor, och antas därför vara oberoende av väggen. För beräkningen behövs information om sporens dimensioner, permeabilitet, kritiskt fukttinnehåll samt fuktlagringsförmågan. De nödvändiga randvillkoren för mikro-klimatet kan beräknas i WUFI® med hjälp av vetenskap om klimatet och konstruktionens uppbyggnad.

Randvillkoren och vald substratkategori kan därefter användas i programmet för att ge en bedömning om risk för sporgroning föreligger enligt isopletmodellen. Om risk ej föreligger bedöms konstruktionen vara okej ur en mögelriskaspekt. Annars görs en ny beräkning, denna gång med den biohygrotermiska modellen. I den biohygrotermiska modellen tas även hänsyn

till eventuella torrperioder. Om även denna modell bedömer risk för sporgroning behöver konstruktionen ändras.

Om risk för sporgroning finns kan programmet även användas för att bedöma hur snabbt myceliumet växer. Detta gör det även möjligt att jämföra olika konstruktioner med varandra. Resultaten visas i programmet i grafer, antingen som mögeltillväxt i mm/dygn eller som mögelindex på en skala 0-6. Riskbedömningen visas som grönt ljus om konstruktionen är bra, som gult om det finns viss risk för mögelpåväxt och som rött ljus om konstruktionen är riskfylld.

Det är viktigt att inte använda allt för långa tidssteg eftersom inverkan av en tillfällig höga relativ luftfuktighet då kan gå förlorad. Medelvärdet över en timme är oftast tillräckligt.

Verifiering av modellen har skett bland annat genom beräkningar och mätningar på ett antal bebodda hus. Dessa utfördes för ett år och visade på god överensstämmelse. Beräkningen baserades på materialdata från WUFI® för uteklimat från ett referensår.

Faktorer som modellen inte tar hänsyn till är faktorer så som pH-värde, saltinnehåll, ljus, syreinnehåll och ytans kvalitet. Eftersom de flesta av dessa faktorer i modellen är till fördel för mögeltillväxt innebär detta troligen att det i verkligheten skulle ske en fördröjning i sporgroningen vilket innebär att modellen ligger på den säkra sidan vid verkliga förhållanden.

Värden på sporens fuktlagringskapacitet härstammar från mätdata för bakterier som sedan modifierats för att stämma med isopletsystemen. Genom att dela in material i substratkategorier påverkas modellens noggrannhet och vidare kvantitativa undersökningar angående nedsmutsning av material behövs (Sedlbauer, 2002).

3.3 Dos-respons

Dos-responsmodellen har utvecklats inom programmet WoodBuild och kan användas för att förutsäga tid innan sporgroning sker under skyddat men naturligt utomhusklimat. Då byggnadskomponenter designas är det viktigt att de uppfyller de krav som ställs under hela byggnadens tänkta livslängd. I det här fallet är kravet att påväxt av mögel inte förekommer under byggnadens livslängd (Isaksson, et al., 2010).

Dos-responsmetoden är baserad på att mögel kan börja växa om byggnadsdelen utsätts för en tillräckligt stor dos av, för möglet gynnsamt, klimat. Den dagliga dosen, D , är produkten av komponenten D_{ϕ} , som beror på dygnsmedelvärdet av relativ luftfuktighet, och komponenten D_T , som beror på dygnsmedeltemperaturen. Den totala dosen under ett visst antal dagar ges som summan av de dagliga doserna enligt följande ekvation:

$$D(n) = \sum_1^n D_i = \sum_1^n D_{\phi}(\phi_i) \cdot D_T(T_i)$$

Dosen kan uttryckas i relation till ett referensklimat, N_{ref} , som är antalet dagar tills mögeltillväxt initieras för ett visst klimat. Detta kan sedan uttryckas som en relativ dos som är jämförbar med experimentella resultat, där en relativ dos = 1 innebär mögelpåväxt. Modellen är endast avsedd att användas upp till relativ dos = 1, inte för vidare tillväxt.

$$\text{Relativ dos} = \frac{D}{N_{ref}}$$

Vid låga temperaturer och ett torrt klimat fördröjs sporgroningen, hänsyn till detta tas genom en daglig negativ dos. Även om de dagliga doserna kan vara negativa kan aldrig den ackumulerade dosen bli mindre än noll. Som mest kan en daglig negativ dos ge -0,5, vilket innebär att en total återhämtning sker efter en dubbel referensperiod med ogynnsamt klimat.

Metoden är, precis som övriga nämnda mögelmodeller, kalibrerad mot experimentella data från Viitanen (1996).

3.4 m-modellen

m-modellen är en modell för bedömning av risk för mögelpåväxt under varierande klimatförhållanden som utvecklats av Skanska. Med hjälp av modellen kan olika konstruktionslösningar utvärderas och jämföras ur ett mögelriskperspektiv. Skanska har valt att tolka de svenska kraven från BBR som att mögelindex på över 1 enligt skalan av Viitanen & Ritschkoff (1991) ej bör förekomma i byggnader (Togerö, et al., 2011).

Indata är värden på relativ fuktighet och temperatur i material. Den kan komma antingen från uppmätta data eller från beräkningar med klimatdata i till exempel WUFI®. Medelvärden för veckor och månader rekommenderas inte, utan tidssteg om 1-3 timmar är att föredra (Tengberg & Togerö, 2009).

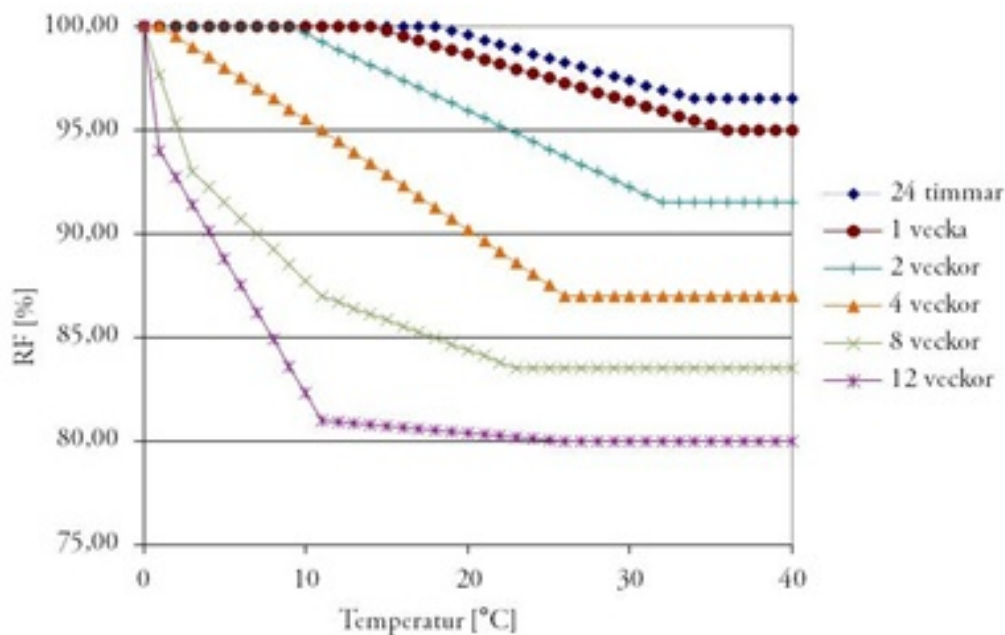
De tre parametrarna relativ fuktighet, temperatur samt varaktighet reduceras till två i modellen genom att införa en ny parameter, m.

$$m = \frac{RF_{act}(t)}{RF_{crit}(T(t)) \cdot \gamma}$$

Där:

$RF_{act}(t)$	Aktuell relativ fuktighet i ett material vid tiden t [h]
$RF_{crit}(T(t))$	Kritisk relativ fuktighet vid temperaturen T och tiden t [h]
γ	Säkerhetsfaktor, normalt satt till 0,98

De kritiska fuktnivåerna baseras på data från Viitanen (1996) och finns för sex olika varaktigheter. De varaktigheter som används är 1 dygn, 1 vecka, 2 veckor, 4 veckor, 8 veckor samt 12 veckor.



Figur 2. Kritiska fuktnivåer för sex olika varaktigheter från m-modellen version 5, baserade på data från Viitanen (1996).

Sex olika beräkningar av m utförs parallellt för varje av de sex varaktigheterna. Om $m \geq 1$ för någon beräkning betyder det att den kritiska fuktnivån har överskridits för det tidssteget. Varje tidssteg där m överskrider 1 summeras, detta är den ackumulerade risktiden.

Modellen tar även hänsyn till perioder med ogynnsamt klimat. Om en sådan period är kortare än 6 timmar för varaktigheten ett dygn eller kortare än en vecka för de övriga varaktigheterna påverkas inte den ackumulerade risktiden. Om perioden med ogynnsamt klimat är längre används en reduktionsfaktor som motsvarar laboratorieresultaten från Viitanen & Bjurman (1995). Reduktionsfaktorn varierar för de olika varaktigheterna och är utformad så att mycket ogynnsamma klimat ger en större reduktionsfaktor än de klimat som endast är något ogynnsamma (Togerö, et al., 2011).

Reduktionsfaktorn, β , multipliceras med den ackumulerade risktiden med torrt klimat för att beräkna hur stor reduktionen av den totala ackumulerade risktiden blir.

$$\beta = \left(\frac{RF_{act}}{RF_{crit}} \right)^\theta = m^\theta$$

Storleken på θ varierar beroende på vilken kritisk varaktighet beräkningen utförs för.

För 1, 2 respektive 4 veckor: $\theta_1 = 1,7$

För 8 respektive 12 veckor: $\theta_2 = 1,2$

För 24 timmar: $\theta_3 = 4,5$

Om tiden med ogynnsamt klimat varar längre än tre veckor återställs den ackumulerade risktiden till noll, baserat på slutsatser dragna av Viitanen & Bjurman (1995). Denna tid gäller för samtliga sex beräkningar. Detta hindrar att den ackumulerade risktiden överskrider den kritiska bara för att en lång beräkningsperiod används (Tengberg & Togerö, 2009).

Resultaten från m-modellen kan visas antingen som den ackumulerade risktiden eller som kvoten mellan den ackumulerade risktiden och den kritiska risktiden. Om kvoten överskrider 1 för någon av varaktigheterna innebär det i teorin att mögeltillväxten initieras. På grund av osäkerheter i modellen, materialet och klimatet kan kvoter på över 0,7 anses vara en risk (Togerö, et al., 2011). För att utvärdera resultaten kan dessa visas i en graf så att det blir lättare att visualisera hur hög risken är och hur den varierar över året.

Vid utformningen av modellen har värden för hyvlad gran använts. För att kunna använda modellen för andra material införs en faktor ω . Med hjälp av denna kan tillväxthastigheten för risktiden regleras beroende på om mögel börjar växa snabbare eller långsammare på det aktuella materialet.

Tabell 5. Värden på ω för olika typer av material (Tengberg & Togerö, 2009).

Känslighetsklass	Material	ω
Mycket känslig	Furusplintved	1,730
Känslig	Hyvlad gran, limmade träskivor	1,000
Medelkänslig	Betong, glasull	0,125
Resistant		0,058

m-modellens syfte är inte att ge en exakt tid innan mögelinitiering eller visa hur möglet växer, syftet är att kunna jämföra olika konstruktioner och bedöma hur lämpliga de är ur ett mögelriskperspektiv (Tengberg & Togerö, 2009).

3.5 Jämförelse modeller

Gemensamt för de beskrivna modellerna är att de kan användas för fluktuerande klimat. Medan mögelindex i WUFI®-Bio förblir konstant under perioder med ogynnsamt klimat tar de övriga hänsyn till ett minskande mögelindex under torrperioder. Detta görs på olika sätt och i olika utsträckning för de olika modellerna.

Samtliga modeller är kalibrerade mot data från Viitanens experimentella undersökningar men WUFI®-Bio är baserat på en fysikalisk modell till skillnad från de övriga som är baserade på en approximerad formel anpassad till mätvärden.

I figur 3 på sidan 26 finns en jämförelse mellan modellerna och hur de tar hänsyn till ett antal olika parametrar som påverkar möglets tillväxt på materialytor. En av dessa parametrar är material. Dos-responsmetoden är endast kalibrerad mot furu medan de övriga modellerna

delar in byggmaterial i fyra olika kategorier beroende på hur känsliga de är för mögelpåväxt. Eftersom furu är känsligt för mögelpåväxt medför det högre krav på kritiska fukttillstånd. Kalibrering efter andra materialtyper kan medföra en möjlighet att använda konstruktioner med ett högre fukttillstånd som ändå uppfyller kraven.

Även när det gäller tidsstegets storlek är det dos-responsmetoden som skiljer sig mot de övriga. Dos-responsmetoden använder dygnsmedelvärden för temperatur och relativ fuktighet, VTT använder timvärden och i WUFI®-Bio samt m-modellen går det att välja storlek på tidssteget. Med tidsmedelvärden över längre tid finns en risk att tillfälliga toppar med hög temperatur eller hög relativ luftfuktighet inte syns i modellen, eftersom dessa kan påverka möglets tillväxt, ger det en extra osäkerhet i modellen som inte är önskvärd.

I m-modellen och dos-responsmodellen visas resultaten på liknande sätt, som en kvot som inte får överstiga 1. Även VTT visar ett resultat som inte får överstiga 1, men skillnaden är att den även för resultat över 1 fortsätter visa mögelindex på skalan som går till 6. I WUFI®-Bio kan resultaten visas antingen som mögelindex eller som tillväxthastighet i mm/dygn.

Jämförelse modeller

	RF	Temperatur	Varaktrighet	Tidssteg	Låga temperaturer	Material	Ljus/pH/ sportillgång
m-modell	JA. Isopletsystem.	JA. Isopletsystem.	JA. Både gynnsamt och ogynnsamt klimat. Varierande reducering beroende på hur ogynnsamt klimat. Negativ dos möjlig.	Kan varieras. Normalt 1 timme.	Dvala vid T ~ -5°C. Hur djup dvala kan varieras.	4 olika känslighetsklasser.	Indirekt. Viitanens data. Kan ej varieras.
VTT	JA. Isopletsystem.	JA. Isopletsystem.	JA. Både gynnsamt och ogynnsamt klimat. Fördrojning olika beroende på hur lång torrperiod.	Timvärden.	Fördrojning av tillväxt vid T ~ 0°C.	4 olika känslighetsklasser.	Indirekt. Viitanens data. Kan ej varieras.
WUFI®-Bio	JA. Beräknar sporens fuktinnehåll. Fuktlagringskapacitet härstammar från mätdata för bakterier, modifierad enligt isopletsystem.	JA.	JA. Både gynnsamt och ogynnsamt klimat. Fördrojning vid ogynnsamt.	Kan varieras.		4 olika substratkategorier.	Optimal tillgång förmodad.
Dos-respons	JA. Isopletsystem.	JA. Isopletsystem.	JA. Både gynnsamt och ogynnsamt klimat. Negativ dos vid torrt klimat. Som mest -0,5 negativ dos per dygn.	Dygnsmedel.	Fördrojning vid låg temperatur.	Endast hyvlad furu.	Indirekt. Viitanens data. Kan ej varieras.

Figur 3. Jämförelse modeller.

4 Utvärdering beräkningsresultat

För att kunna jämföra m-modellens resultat med verkligheten utvärderades mögelindex på ett antal träprover av SP. Träproverna av hyvlad furu placerades ut i olika hus i Malmöregionen i Mars 2010 och temperatur och relativ fuktighet loggades varje timme på vardera plats med hjälp av loggrar av typ Testo 175-H1. De loggade klimatfilerna användes därefter som indata till m-modellen för att kunna jämföra med resultatet från mikroskoperingen.

4.1 Tidigare resultat

Vid tidigare utvärdering visade ingen av träproverna från de åtta kallvindarna på mögelpåväxt. Även m-modellen visade på låg risk för mögelpåväxt.

I carporten fick två av tre bitar mögelindex 1 av SP, det vill säga ett medelvärde på cirka 0,7. Det högsta resultatet från m-modellen för carporten gavs för 12 veckor, med en kritisk varaktighetskvot på 0,8, vilket innebär viss risk för mögelpåväxt (Togerö, et al., 2011).

4.2 Resultat samtliga modeller

Klimatfiler för fem kallvindar samt en carport har utvärderats i m-modellen. Då m-modellen i detta fall används för validering sätts säkerhetsfaktorn till 1,0, istället för 0,98 som är standard då en konstruktion ska utvärderas ur fuktsäkerhetssynpunkt med hjälp av modellen. Eftersom det undersökta materialet är hyvlad furu anges ω till 1,73.

De versioner av VTT och dos-respons som används ligger tillsammans med m-modellen i Microsoft® Excel och är baserade på den information om modellerna som finns tillgänglig i litteratur.

I VTT har resultaten för furu avlästs och i WUFI® har softwood använts som material. Softwood i WUFI® har densitet 400 kg/m³, porositet 0,73, specifik värmekapacitet 1500 J/kgK, värmeledningsförmåga vid 10°C är 0,09 W/mK och diffusionsmotståndet för vattenånga är 200 s/m. I WUFI-Bio anges substratkategori I. Hjälps med att använda WUFI® går att finna i manualen (Zirkelbach, et al., u.d.).

Resultatsammanfattningen i Tabell 6 visar de högsta värdena för samtliga modeller. Riskbedömningen för m-modellen är gjord så att risken är låg för resultat under 0,7 och hög för resultat över 1,0. Riskbedömningen för WUFI-Bio bedöms med rött, gult eller grönt ljus, här översatt som låg risk, risk respektive hög risk. För VTT samt Dos-respons anges resultat över 1,0 som hög risk och resultat under 1,0 som låg risk. Fullständiga resultat för samtliga modeller finns redovisade i bilaga A.

Tabell 6. Sammanfattning av resultat för de olika modellerna.

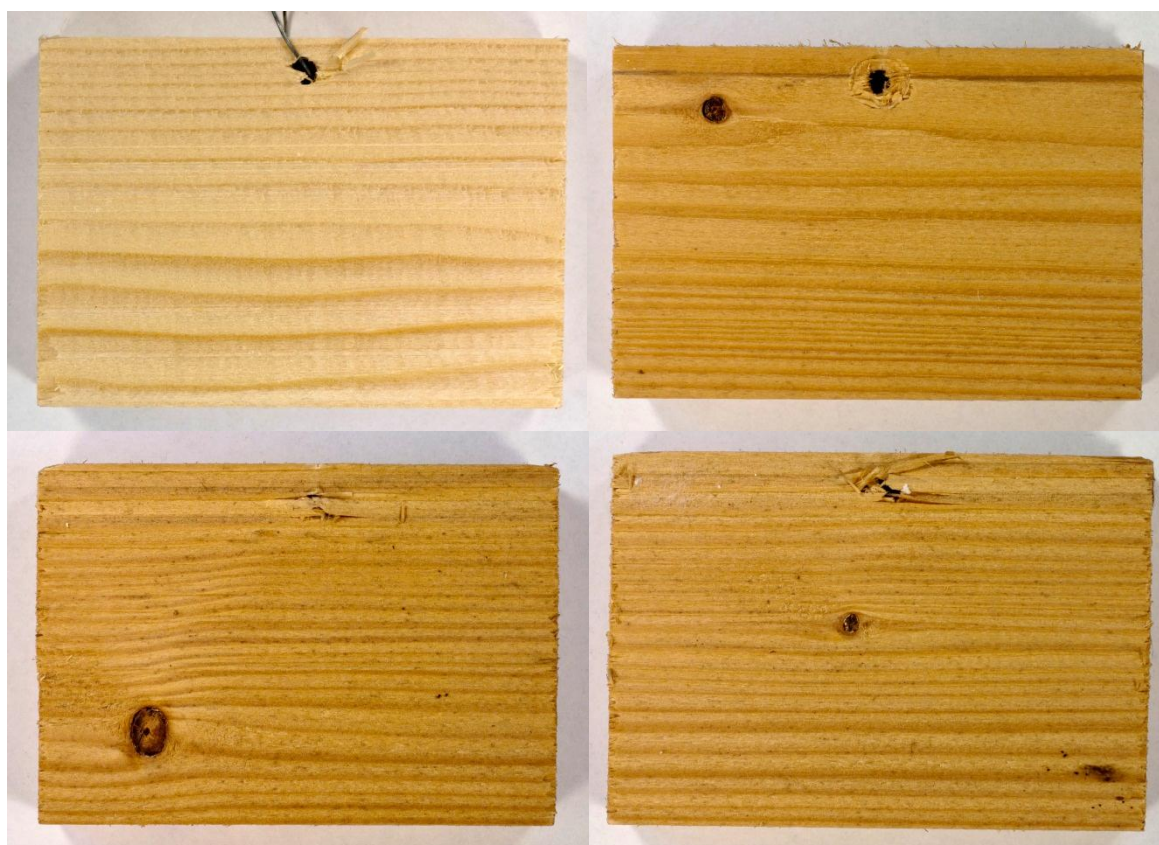
	m-modell	VTT	WUFI^o-Bio	Dos-respons
Vind 1	Risk	Hög risk	Hög risk	Låg risk
Vind 2	Låg risk	Låg risk	Låg risk	Låg risk
Vind 3	Låg risk	Låg risk	Låg risk	Låg risk
Vind 4	Låg risk	Låg risk	Låg risk	Låg risk
Vind 5	Låg risk	Låg risk	Låg risk	Låg risk
Carport	Hög risk	Hög risk	Hög risk	Hög risk

Samtliga modeller visade på hög risk för mögelpåväxt för carporten. Alla utom dos-responsmetoden visade på risk för vind 1, men även om dos-respons inte visade värden över 1 kom den upp i värdet 0,84. Övriga vindar visade på låga risker i samtliga modeller.

4.3 Mikroskopering

Tre träprover från vardera mätplats har plockats ner för mikroskopering. De har först kontrollerats för mögel synligt för ögat och därefter undersökts i mikroskop. Från vissa träprover har prover tagits och placerats på agarplattor för att komplettera bedömningen. Mögelindex bedöms enligt SPs skala.

Samtliga träprover från vindarna fick mögelindex 0. På träbproverna från carporten upptäcktes spår av mögelpåväxt, dessa gavs mögelindex 2, det vill säga gles men tydlig påväxt (Johansson, 2012).



Figur 3. Överst till vänster frisk träbit från en av vindarna. Övriga träprover från carporten.

På bilderna kan man se att träproverna från carporten är missfärgade i jämförelse med träbiten från vinden som suttit mer skyddad och där det inte förekommer mögelpåväxt.

4.4 Utvärdering resultat

Att träproverna från carporten visade på mögelpåväxt stämmer bra med samtliga modellers resultat. Även resultaten för vind 2-5 var väntade. För vind 1 visade samtliga modeller utom dos-respons på risk för viss mögelpåväxt. Mikroskoperingen visade däremot inte någon mögelpåväxt.

Kurvornas utseende följer varandra väl för VTT och dos-respons men dos-responsmetoden visar generellt sett högre värden än VTT, detta gäller i alla fall utom för vind 1. WUFI®-Bio visar antingen väldigt låga värden eller väldigt höga värden på mögelindex. m-modellen är den modell där värdena varierar minst, men där finns också en något annorlunda bedömningsgrund, där redan värden över 0,7 bedöms som en risk.

5 Förenklade klimatfall

Sex olika fall med kraftigt förenklad klimatdata genereras för att lättare kunna jämföra modellerna med varandra. Precis som tidigare är det värden för furu som använts för modellerna. Till skillnad från när m-modellen kördes för validering av beräkningsresultat har säkerhetsfaktorn i detta fall satts till det förvalda värdet 0,98.

5.1 Klimatfall

De fyra första fallen har kombinationer av temperatur och relativ fuktighet som undersökts av Johansson (2012). Detta för att kunna jämföra modellernas resultat med verkliga resultat. De två sista fallen är kombinationer av låg och hög relativ fuktighet och av låg och hög temperatur för att kunna jämföra modellernas reaktioner vid ändring av en av dessa faktorer. Samtliga fall sträcker sig över 12 veckor. Kombinationerna av klimatdata visas i Tabell 7 nedan.

Tabell 7. Sex klimatfall med generiska data.

	Period 1			Period 2		
	Temperatur [°C]	Relativ fuktighet [%]	Tid [veckor]	Temperatur [°C]	Relativ fuktighet [%]	Tid [veckor]
Fall 1	10	85	12	-	-	-
Fall 2	22	85	12	-	-	-
Fall 3	10	95	12	-	-	-
Fall 4	22	95	12	-	-	-
Fall 5	10	85	6	22	85	6
Fall 6	10	85	6	10	95	6

5.2 Resultat modeller

För fall 1-4 kan modellernas resultat jämföras med resultaten från Johansson (2012). Hänsyn bör tas till att mögelpåväxt i studien ansågs finnas först då mögelindex 2 enligt SPs skala uppnåtts, medan modellerna räknar mögelindex 1 på Viitanens skala (Lähdesmäki, et al., 2011) som den högsta tillåtna nivån. Mögelindex 1 och 2 bedöms på liknande sätt enligt de olika skalorna, därför bör modellerna visa på mögelpåväxt tidigare än resultaten från Johansson (2012) uppnår index 2 enligt SPs skala. En sammanfattning över när modellerna för första gången visade på mögelpåväxt finns i Tabell 8.

Diagram över resultaten från m-modellen, dos-responsmetoden samt VTT redovisas i bilaga B. I WUFI®-Bio uppnåddes aldrig det kritiska vatteninnehållet i sporen för något av fallen och därför visade modellen på mögelindex 0.

Tabell 8. Sammanfattning över när de olika modellerna visade på mögelpåväxt för första gången att jämföra med resultaten från Johansson (2012). *) Mögelpåväxt uppnåddes aldrig inom tidsperioden. **) Fallet ej undersökt.

	Dos-respons	VTT	m-modellen	WUFI®-Bio	Johansson (2012)
Fall 1	12	8	5	-*	12
Fall 2	7	5	4	-*	3
Fall 3	4	3	3	-*	2
Fall 4	2	2	2	-*	1
Fall 5	10	7	5	-*	-**
Fall 6	8	7	8	-*	-**

5.3 Jämförelse resultat

Fall 1-4 stämmer förvånansvärt dåligt överens med resultaten från Johansson (2012). Endast i fall 1 visar modellerna på mögelpåväxt tidigare än resultaten från klimatkamartesterna. WUFI®-Bio visar inte på mögelpåväxt för ett enda av fallen, trots att fallen där kördes för ett helt år istället för endast 12 veckor.

Resultaten är väldigt spridda mellan de olika modellerna. Fall 4 är det fall där spridningen i modellerna är som minst, kurvorna är väldigt lika fram till den tidpunkt då mögelinitiering förväntas ske. Eftersom m-modellen har en annan bedömningsgrund kan den inte jämföras med de andra modellerna för resultat efter den tidpunkten.

För fall 5 är spridningen stor tidigt, det går heller inte att hitta någon tydlig brytpunkt där temperaturen ökar. För fall 6 ser man däremot tydligt vid vilken tid den relativa fuktigheten ökar.

6 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomförs för att bedöma ett antal parametrars variationers inverkan på modellernas resultat. De parametrar som undersöks här är tidsstegens längd samt inverkan av olika materialtyper. Detta är parametrar där behandlingen i de olika modellerna skiljer sig åt men som är viktiga för modellernas noggrannhet och användbarhet.

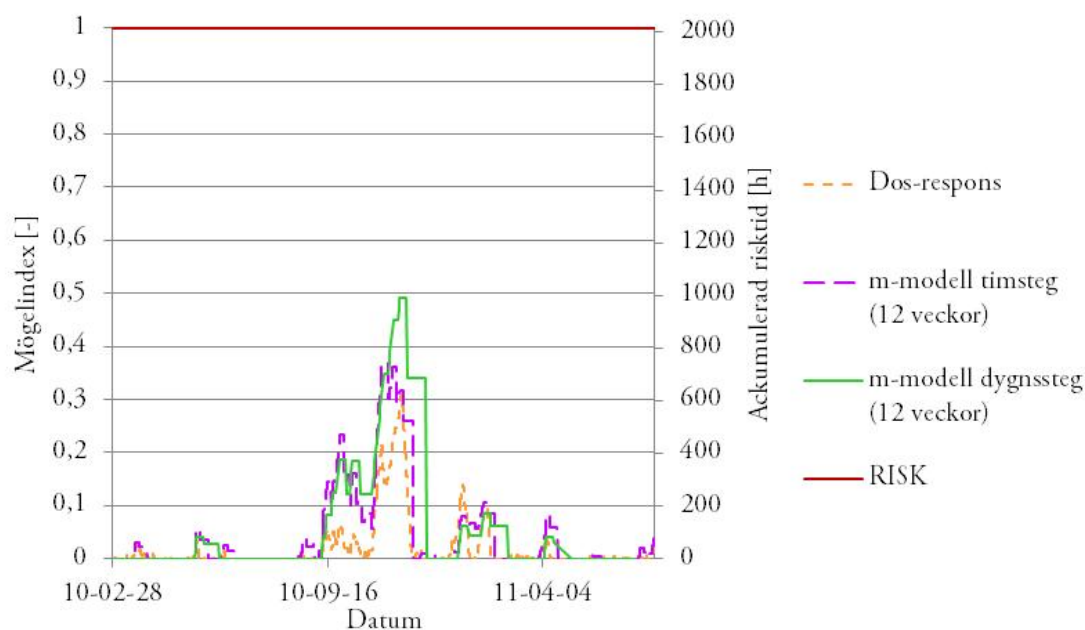
6.1 Tidssteg

Ju mindre tidssteg som används, desto noggrannare blir modellen. Då medelvärden för längre perioder används finns risk att stora variationer i klimat som varar en kort tid går förlorade och jämnas ut till ett lägre medelvärde. I känslighetsanalysen för olika tidssteg bedöms om dygnsmedelvärden ger en betydande osäkerhet jämfört med timvärden.

Tidsstegets inverkan bedöms genom att jämföra resultat från dos-responsmodellen med resultat från m-modellen. De kombinationer som testas är dos-responsmetoden med dygnsmedelvärden, m-modellen med timvärden samt m-modellen med dygnsmedelvärden.

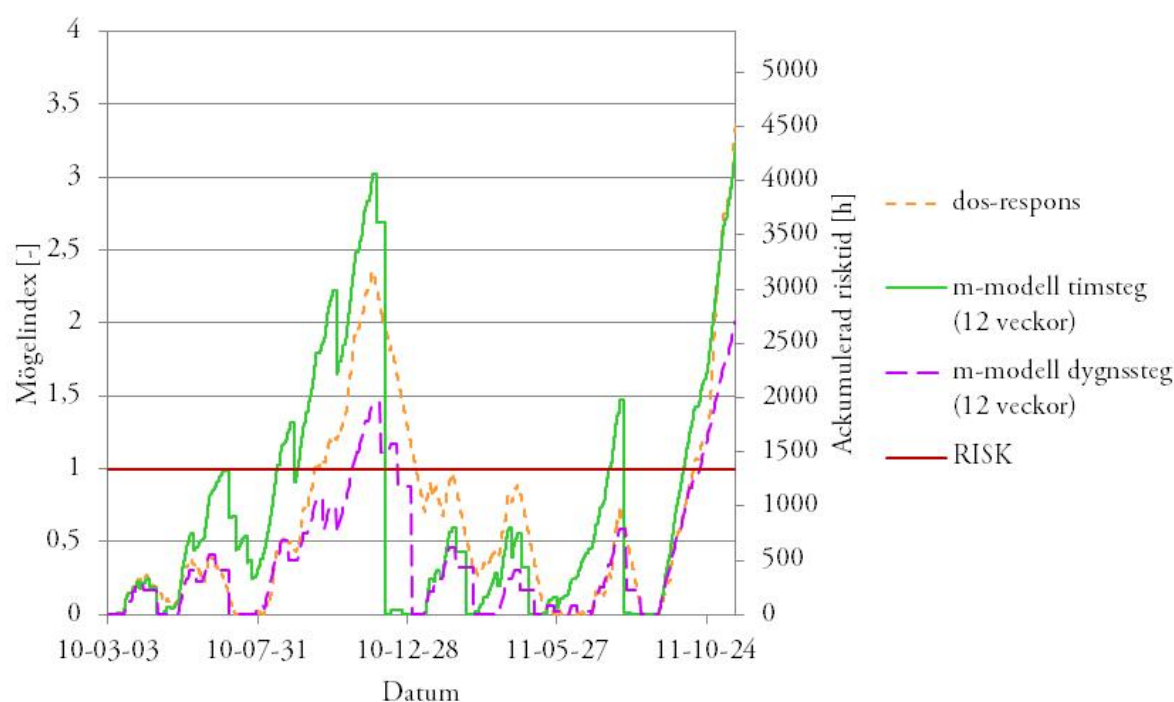
De klimatdata som används är för vind 2 respektive carporten från kapitel 4.

Resultat vind 2



Figur 4. Resultat tidssteg vind 2 från dos-respons samt från m-modellen för dygnsmedelvärde samt timvärden. Resultat i mögelindex för dos-responsmetoden och i ackumulerad risktid för m-modellen.

Resultat carport



Figur 5. Resultat tidssteg carporten från dos-respons samt från m-modellen för dygnsmedelvärde samt timvärden. Resultat i mögelindex för dos-responsmetoden och i ackumulerad risktid för m-modellen.

Utvärdering tidssteg

En sammanfattning av resultaten för de olika modellerna visas i tabell 9 nedan. Siffrorna anger de högsta förekommande värdena av mögelindex för dos-respons respektive kvoten mellan den ackumulerade risktiden och den kritiska risktiden för m-modellen.

Tabell 9. Sammanfattning av resultat för tidssteg.

	m-modell (timsteg)	m-modell (dygnssteg)	Dos-respons
Vind 2	0,37	0,49	0,31
Carport	2,19	1,34	3,38

För vind 2 visar m-modellen med dygnssteg högst värden medan dos-responsmetoden visar lägst värden. För carporten är det tvärtom, dos-responsmetoden visar höga värden medan m-modellen med dygnssteg visar lägre värden. m-modellen med dygnsmedelvärden kan visa både högre och lägre värden än m-modellen med timsteg beroende på vilket klimatfall som används.

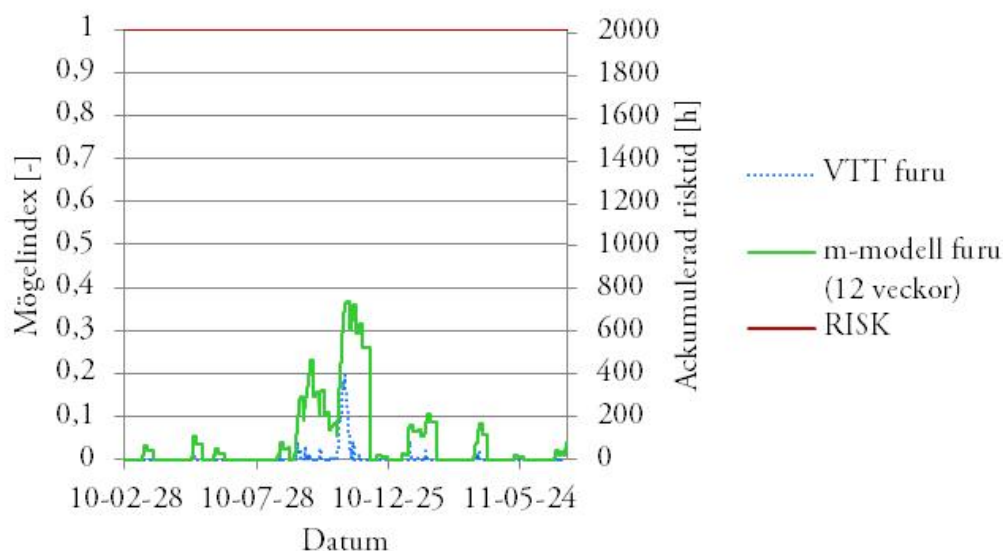
6.2 Material

Ojanen, et al. (2011) har gjort en del undersökningar av mögelpåväxt på olika materialslag, men underlaget för andra material är inte lika omfattande som underlaget för mögelpåväxt på furu. Detta gör att osäkerheten i modellerna blir större för andra materialslag, men eftersom det finns ett behov av att kunna fuktsäkerhetsprojektera på många materialslag är det ändå en viktig faktor att undersöka.

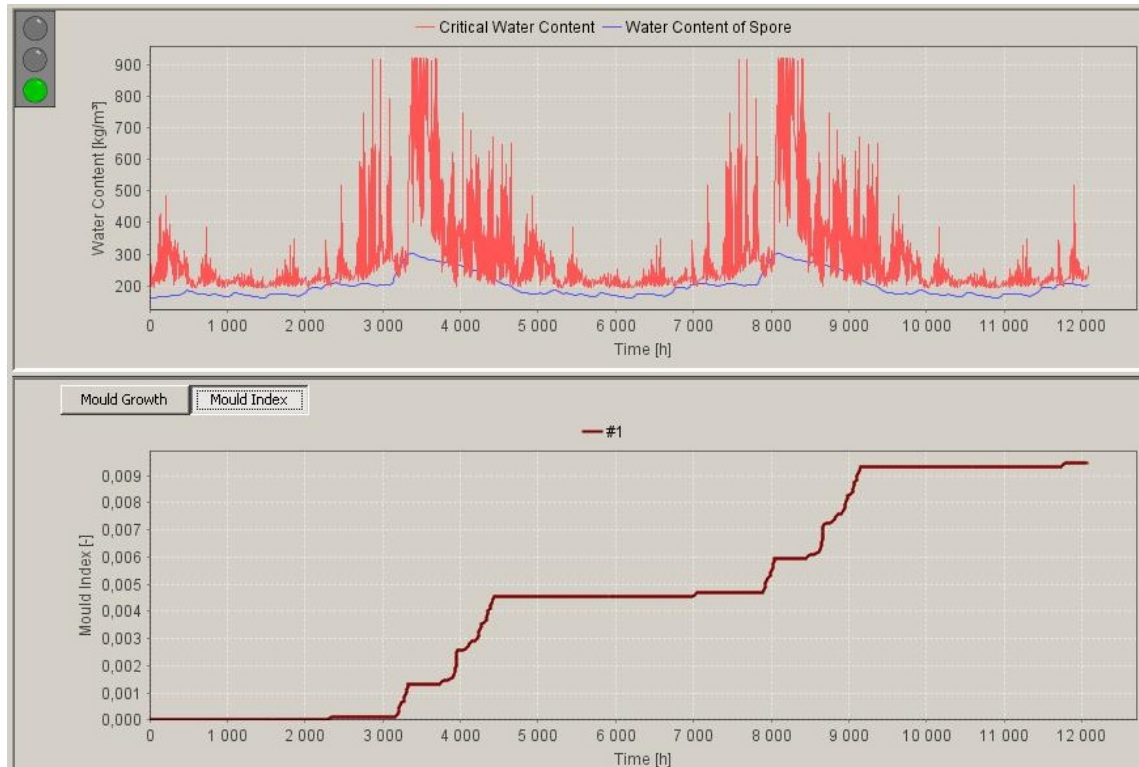
Eftersom dos-responsmetoden inte är utvecklad för olika typer av material jämförs här endast m-modellen med VTT samt WUFI-Bio. Först görs en modellering med ett känsligt material, furu, därefter görs en modellering med ett mindre känsligt material, betong. För furu används samma materialparametrar som tidigare. För betongen används faktorn $\omega=0,125$ i m-modellen. I WUFI® väljs material betong C35/45 och i WUFI-Bio anges substratkategori II.

De klimatdata som används för materialanalysen kommer från vind 2 i kapitel 4.

Resultat furu

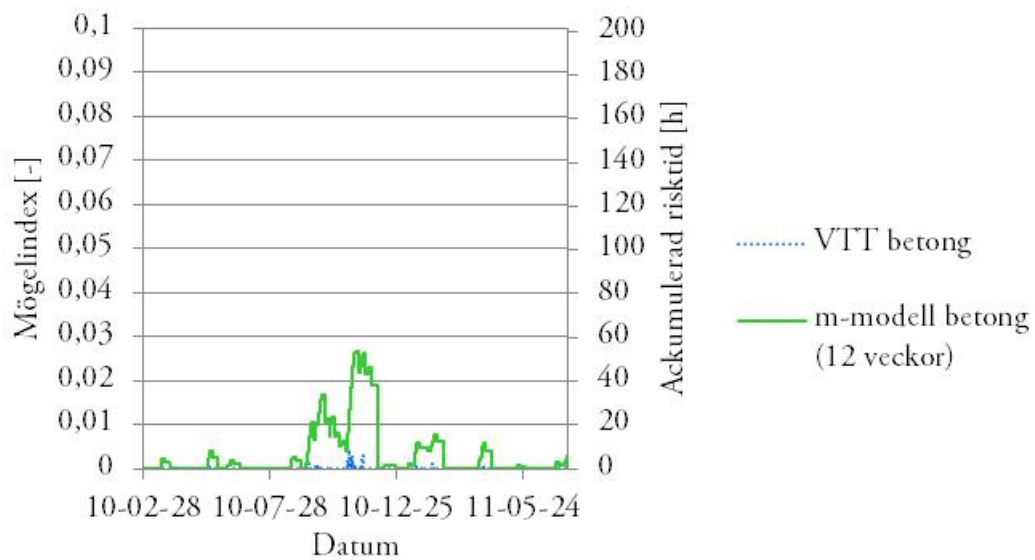


Figur 6. Resultat för furu i VTT samt m-modellen.

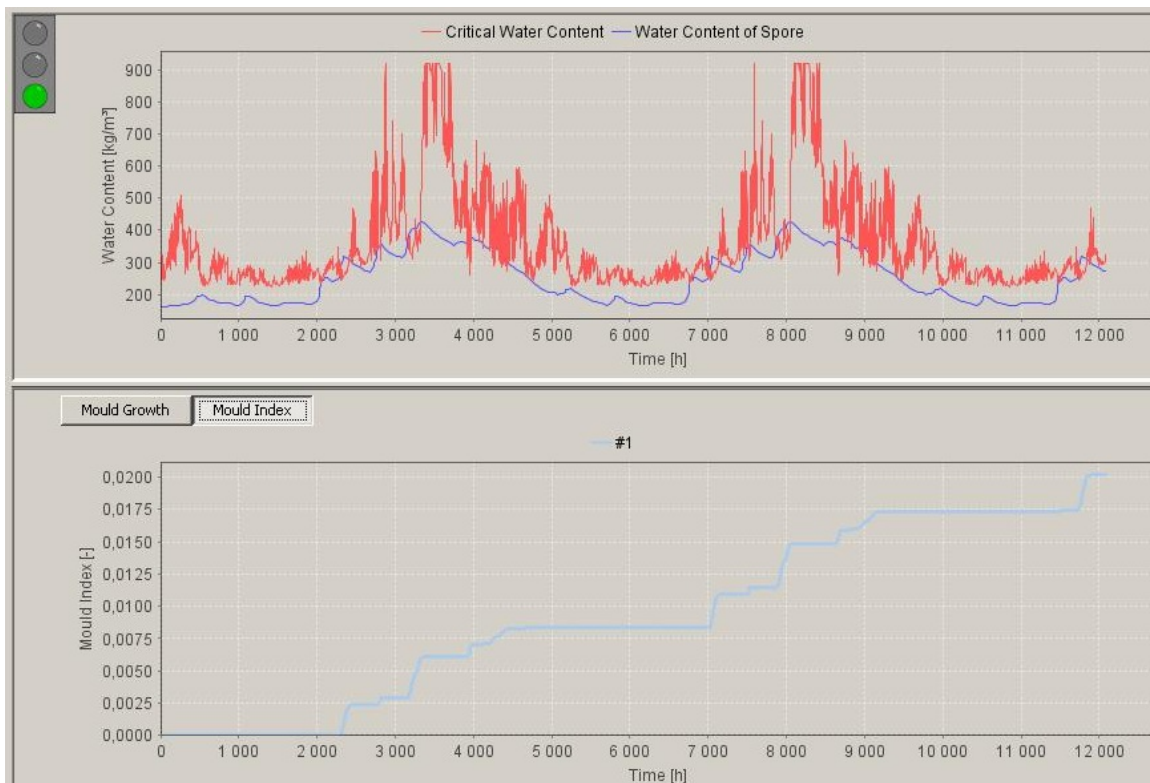


Figur 7. Resultat för furu i WUFI-Bio.

Resultat betong



Figur 8. Resultat för betong i VTT samt m-modellen.



Figur 9. Resultat för betong i WUFI-Bio.

Utvärdering material

En sammanfattning av resultaten för de olika modellerna visas i tabell 10 nedan. Siffrorna anger de högsta förekommande värdena av mögelindex för VTT samt WUFI-Bio respektive kvoten mellan den ackumulerade risktiden och den kritiska risktiden för m-modellen.

Tabell 10. Sammanfattning av resultat för material

	m-modell	VTT	WUFI-Bio
Betong	0,03	0,00	0,02
Furu	0,37	0,20	0,01

m-modellen samt VTT visar som väntat större risker för furu än betong, men WUFI-Bio visar en något större, men fortfarande mycket låg, risk för betong än furu. Detta kan bero på att WUFI-Bio räknar på ett annat sätt än de andra modellerna med materialparametrar i WUFI® som gör att vatteninnehållet i sporen för betong blir högre än för furu.

För m-modellen kan man se att kurvorna har samma form för betong respektive furu, med skalan som enda skillnaden. Även VTT har liknande form för de olika materialen.

7 Diskussion och slutsatser

7.1 Diskussion

Modeller

VTT och dos-responsmetoden har liknande utseende på kurvorna och fungerar på liknande sätt. VTT visar dock ofta lägre resultat än dos-respons, vilket antingen är ett tecken på att VTT ligger närmre verkligheten eller att dos-responsmetoden har en högre säkerhetsmarginal.

WUFI®-Bio är den enda av de undersökta modellerna där värdet inte minskar vid perioder med ogynnsamt klimat, vilket innebär att kurvan endast växer och troligen hamnar över det tillåtna värdet oavsett konstruktionslösning om beräkningen utförs över tillräckligt lång tid. Det gör också att det blir svårt att gå tillbaka till beräkningarna för att se vad en tillfällig uppgång kan bero på, om det är byggfukt eller om klimatet varit ovanligt hårt en period. Om WUFI® används för att bestämma klimatet inuti en konstruktion är det enkelt att komplettera med att använda WUFI®-Bio.

m-modellen är enkel att använda och har en lättförståelig riskutvärdering. Att den i dagsläget ligger i Microsoft® Excel kan ses som både positivt och negativt. Excel är ett program som många har tillgång till, vilket gör programmet lättåtkomligt, men det gör också att det är tungrott och att beräkningarna tar längre tid än nödvändigt. Det är viktigt att det framgår av manualen till m-modellen hur verktyget ska användas men framförallt hur utvärderingen sker.

Utvärdering beräkningsresultat

Vid utvärdering av resultaten från vindarna och carporten visade samtliga modeller på god överensstämmelse med mikroskoperingen. För vind 1 visade alla modeller utom dos-responsmetoden på risk men mikroskoperingen visade ingen mögelpåväxt. Detta kan vara ett tecken på att en viss säkerhetsmarginal finns inbyggd i modellerna, men det kan också finnas mätfel på givarna för klimatet som kan ha visat för hög relativ fuktighet. Att m-modellen visade resultat på den säkra sidan kan också bero på att den har en extra säkerhetsmarginal i och med att den bedömer alla resultat över 0,7 som riskfyllda.

Förenklade klimatfall

Eftersom samtliga modeller är kalibrerade mot data från Viitanen (1996) och det inte funnits andra undersökningar att utgå från är det svårt att säga någonting mer om hur väl modellerna stämmer med verkligheten. Fall 1-4 med generiska data gav en möjlighet att istället jämföra modellerna med data från Johansson (2012).

Av dessa fyra fall är fall 1 det enda där modellerna visar på risk för mögelpåväxt tidigare än resultaten från klimatkamartesterna. Detta kan tyda på att modellerna är baserade på data från för få undersökningar. Det kan också finnas skillnader mellan mögelpåväxt på material i naturligt klimat och mögelpåväxt på material i klimatkamartester, eftersom möglets tillväxt inte endast beror på de mätta parametrarna temperatur och relativ fuktighet.

I fall 6 är det tydligare när den relativa fuktigheten ökar än vad det är när temperaturen ökar i fall 5. En ökning av relativ fuktighet från 85% till 95% har alltså större betydelse än en ökning av temperatur från 10°C till 22°C.

Känslighetsanalys

Om modeller som använder dygnsmedelvärden ger högre eller lägre resultat, avseende mögelindex respektive ackumulerad risktid, än då timvärden används går inte att säga. Detta kan variera från fall till fall beroende på hur temperatur och relativ fuktighet varierar. Det har alltså betydelse för modellernas säkerhet hur långa tidsstegen är och det kan inte förutsättas att resultatet alltid ligger på den säkra sidan. Timsteg ger en noggrannare beräkning som ligger närmre verkligheten och ger därför, förutsatt att använda klimatdata är korrekta, alltid ett säkrare resultat.

Vid analys av olika material märks det skillnad i alla tre modeller beroende på vilket material som används. De olika modellerna behandlar detta på olika sätt och det går inte att dra några slutsatser om vilken modell som hanterar olika material på ett sätt som bäst efterliknar verkligheten.

7.2 Slutsatser

Arbetets huvudfrågeställning var att ta reda på om m-modellen är ett lämpligt verktyg för att utvärdera byggnader och byggnadsdelar ur ett mögelriskperspektiv. Slutsatsen är att m-modellen efter fortsatt utvärdering och eventuella justeringar kan användas för att utvärdera byggnader och byggnadsdelar ur ett mögelriskperspektiv. Den ger en god fingervisning av hur stor sannolikheten för mögel i byggnadsdelar eller konstruktioner är och den är ett lämpligt verktyg för att jämföra olika konstruktioner med varandra.

7.3 Rekommendationer

m-modellen är kalibrerad mot resultat från Viitanen (1996). Vid en jämförelse med laborietester från Johansson (2012) visar sig m-modellen för mild vid sin bedömning. Eftersom det inte går att dra någon tydlig slutsats måste m-modellen kalibreras mot fler resultat från fler undersökningar. Väldigt få fältundersökningar är genomförda och det är möjligt att m-modellen stämmer väl överens med verkligheten, men detta är något som behöver undersökas vidare.

Det samma gäller användandet av m-modellen för olika typer av material. Till att börja med kan m-modellen jämföras med resultat för olika material från Johansson (2012), för att kunna utvärdera hur väl m-modellen fungerar för olika byggnadsmaterial.

8 Litteraturförteckning

Andersen, B., Frisvad, J. C., Söndergaard, I., Rasmussen, I. S. & Larsen, L. D. (2011). Associations between fungal species and water-damaged building materials. *Applied and Environmental Microbiology*, Volym 77, pp. 4180-4188.

Ayerst, G. (1969). The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. *Journal of Stored Products Research*, Volym 5, pp. 127-141.

BBR 19 (2011). *Boverkets Byggregler, BFS 2011:26*. Karlskrona, BBR, Boverket.

Boverket (2009). *Så mår våra hus - Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.*, Karlskrona, Boverket.

Boverket (2010). *God bebyggd miljö - förslag till nytt delmål för fukt och mögel*, Karlskrona, Boverket.

Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2 red. Lund, Studentlitteratur.

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

Isaksson, T., Thelandersson, S., Ekstrand-Tobin, A. & Johansson, P. (2010). Critical conditions for onset of mould growth under varying climate conditions. *Building and Environment*, Volym 45, pp. 1712-1721.

Johansson, P. (2012). *Critical moisture conditions for mould growth on building materials*. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lund, Lunds Universitet.

Johansson, P., Samuelsson I., Ekstrand-Tobin, A., Mjörnell, K., Sandberg, P. I. & Sikander, E. (2005). *Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial - kunskapssammanfattning*, Borås, SP Energiteknik, rapport 2005:11.

Krus, M., Sedlbauer, K., Zillig, W. & Künzle, H. M. (2001). *A New Model for Mould Prediction and its Application on a Test Roof*. Cracow, II International Scientific Conference.

Lähdesmäki, K., Salminen, K., Vinha, J., Viitanen, H., Ojanen, T. & Peuhkuri, R. (2011). *Mould growth on building materials in laboratory and field experiments*. Tampere, 9th Nordic Symposium on Building Physics.

Nevander, L. E. & Elmarsson, B. (1994). *Fukthandbok - Praktik och teori*. 3 red. Mölnlycke, AB Svensk Byggtjänst.

Nilsson, L.-O. (2009). *Kunskapsläge och råd kring fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner*, Lund, WoodBuild.

Ojanen, T., Peuhkuri, R., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Vinha, J. & Salminen, K. (2011). *Classification of material sensitivity - New approach for mould growth modeling*. Tampere, 9th Nordic Symposium on Building Physics.

Sedlbauer, K. (2002). *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*, Fraunhofer Institute for Building Physics.

Sedlbauer, K., Krus, M. & Breuer, K. (2003). *Mould growth prediction with a new biogrothermal method and its application in practice*. Lodz, Materials Conference.

Socialstyrelsen (2006). *Meddelandeblad - Hälsorisker vid fuktproblem i byggnader*. [Online] Available at: www.socialstyrelsen.se/Lists/Artikelkatalog/Attachments/9372/2006-1-18_2006118.pdf [Använd 4 Juni 2012].

Socialstyrelsen (2009). *Miljöhälsorapport 2009*, Västerås, Socialstyrelsen.

SP, *Om WoodBuild*. [Online] Available at: <http://www.sp.se/sv/index/research/woodbuild/about/sidor/default.aspx> [Använd 30 Mars 2012].

Storey, E., Dangman, K. H., Schenck, P., DeBernardo, R. L., Yang, C. S., Bracker, A. & Hodgson, M. J. (2004). *Guidance for Clinicians on the Recognition and Management of Health Effects related to Mold Exposure and Moisture Indoors*. University of Connecticut Health Center.

Tengberg, C. & Togerö, Å. (2009). *The m-model: a method to evaluate the risk for mould growth on materials Version 5.0*, Malmö: Skanska Teknik.

Thelandersson, S. (2011). *Fuktsäkerhet - hur kan man bedöma risken för mögelpåväxt?*. *Bygg & Teknik*, Volym 5.

Togerö, Å., Svensson Tengberg, C. & Bengtsson, B. (2011). *m-model: a method to assess the risk for mould growth in wood structures with fluctuating hygrothermal conditions*. Tampere, 9th Nordic Symposium on Building Physics.

Viitanen, H. (1994). Factors affecting the development of biodeterioration in wooden constructions. *Materials and Structures*, Volym 27, pp. 483-493.

Viitanen, H. (1996). *Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures*, PhD Thesis, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Viitanen, H. (1997). *Modelling the Time Factor in the Development of Mould Fungi - the Effect of Critical Humidity and Temperature Conditions on Pine and Spruce Sapwood*, Volym 51, pp. 6-14, *Holzforschung*.

Viitanen, H. & Bjurman, J. (1994). Mould growth on wood under fluctuating conditions. *Material und Organismen*, Volym 29, pp. 27-46.

Viitanen, H. & Ritschkoff, A. (1991). *Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Viitanen, H., Vinha, J., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Lähdesmäki, K. & Salminen, K. (2008). *Development of an improved model for mould growth: Modelling*. Copenhagen, 8th Nordic Symposium on Building Physics.

World Health Organization (2009). *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*, Copenhagen, World Health Organization.

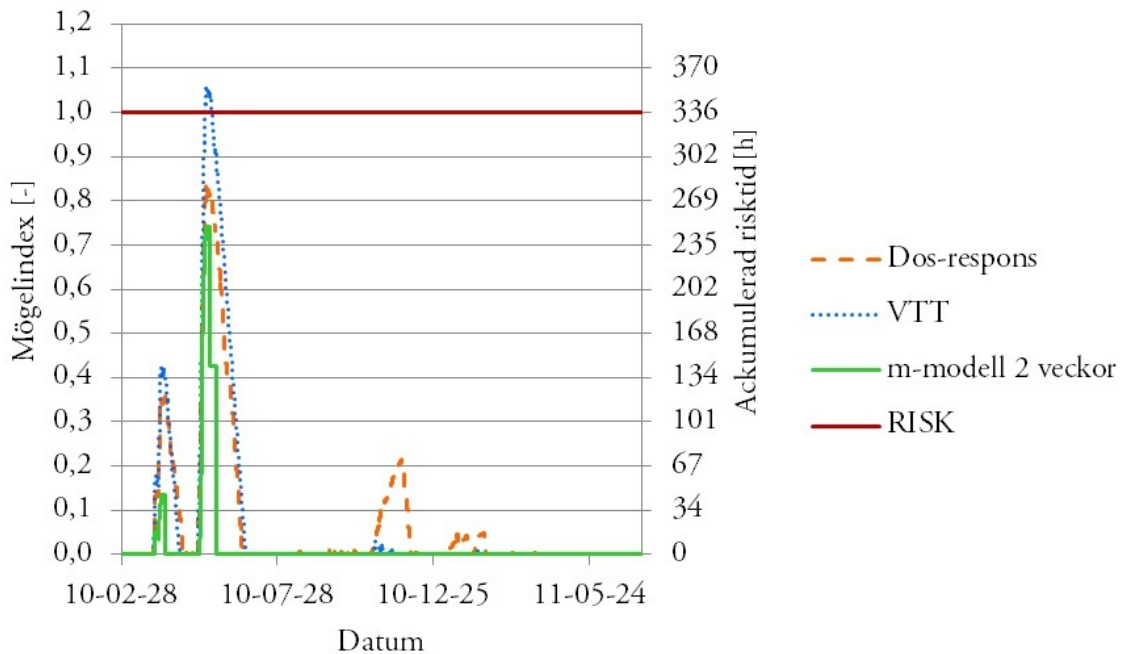
Zirkelbach, D., Schmidt, T., Kehrer, M. & Künzel, H. M. *WUFI Pro 5 Manual*. [Online] Available at: <http://www.wufi-pro.com/> [Använd 11 September 2012].

Bilaga A

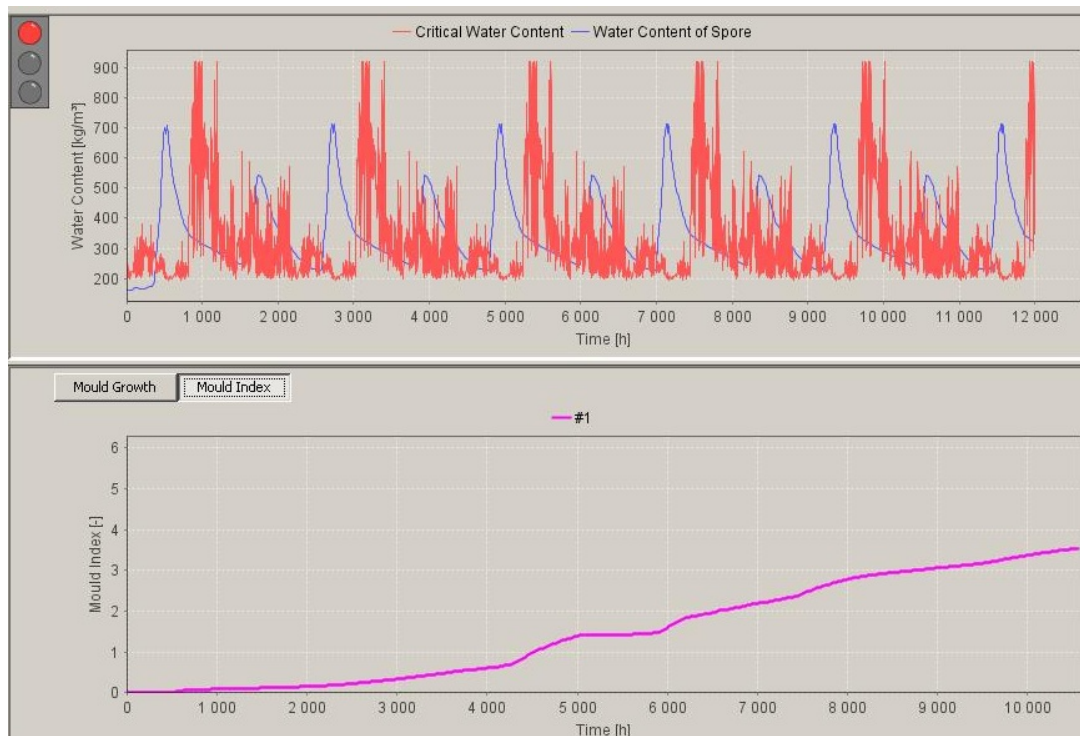
Resultat från samtliga modeller för vindar och carport

Resultat vind 1

Den ackumulerade risktid som visas för m-modellen för vind 1 är för varaktigheten 2 veckor. Detta eftersom det är den tid som vid riskutvärderingen i m-modellen ger högsta kritiska varaktighetskvot. Resultaten från dos-responsmetoden samt VTT visas i mögelindex, detta gäller även resultaten från WUFI®-Bio.



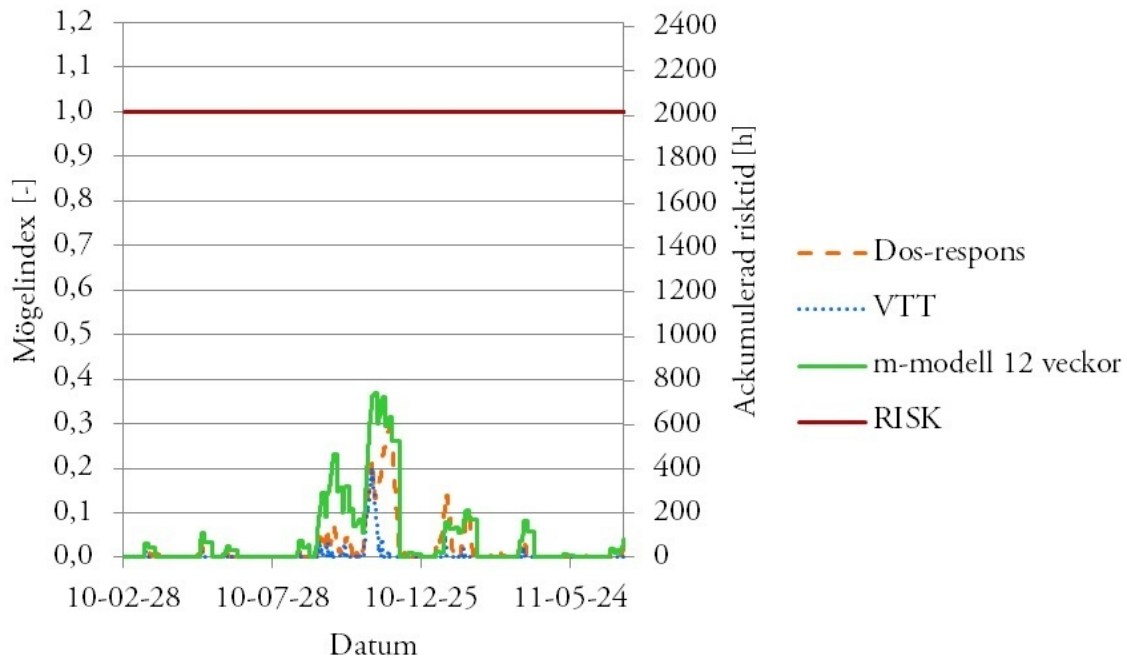
Figur 1. Resultat för vind 1 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.



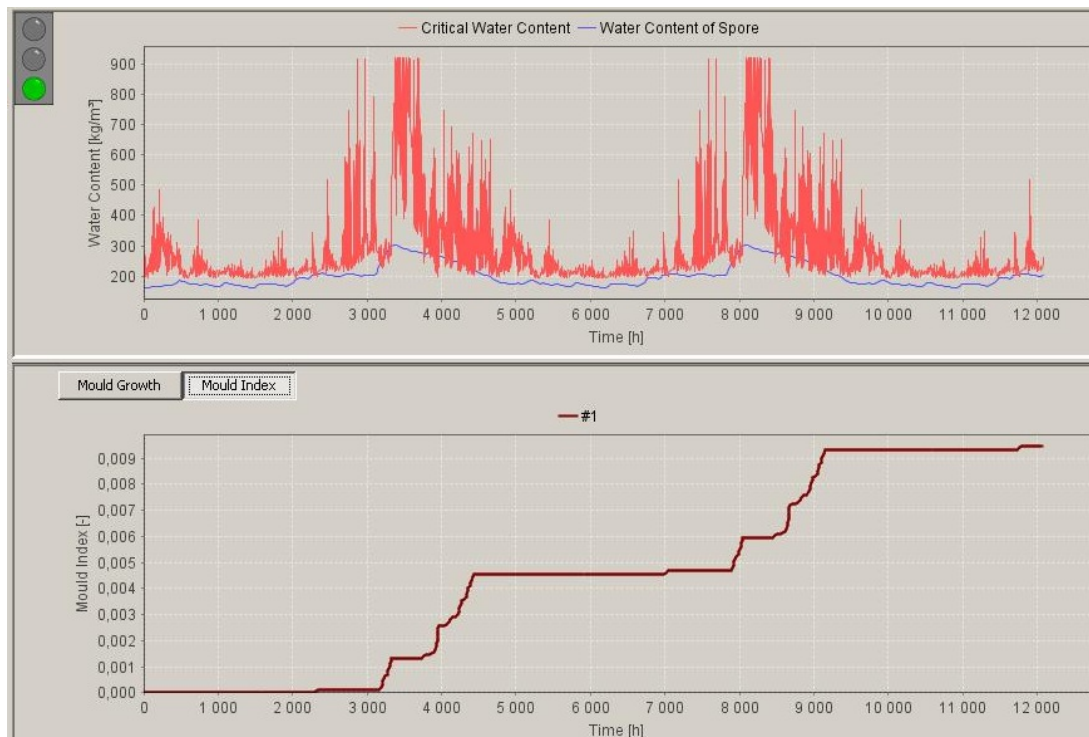
Figur 2. Resultat för vind 1 från WUFI®-Bio.

Resultat vind 2

Den ackumulerade risktid som visas för m-modellen för vind 2 är för varaktigheten 12 veckor. Detta eftersom det är den tid som vid riskutvärderingen i m-modellen ger högsta kritiska varaktighetskvot. Resultaten från dos-responsmetoden samt VTT visas i mögelindex, detta gäller även resultaten från WUFI®-Bio.



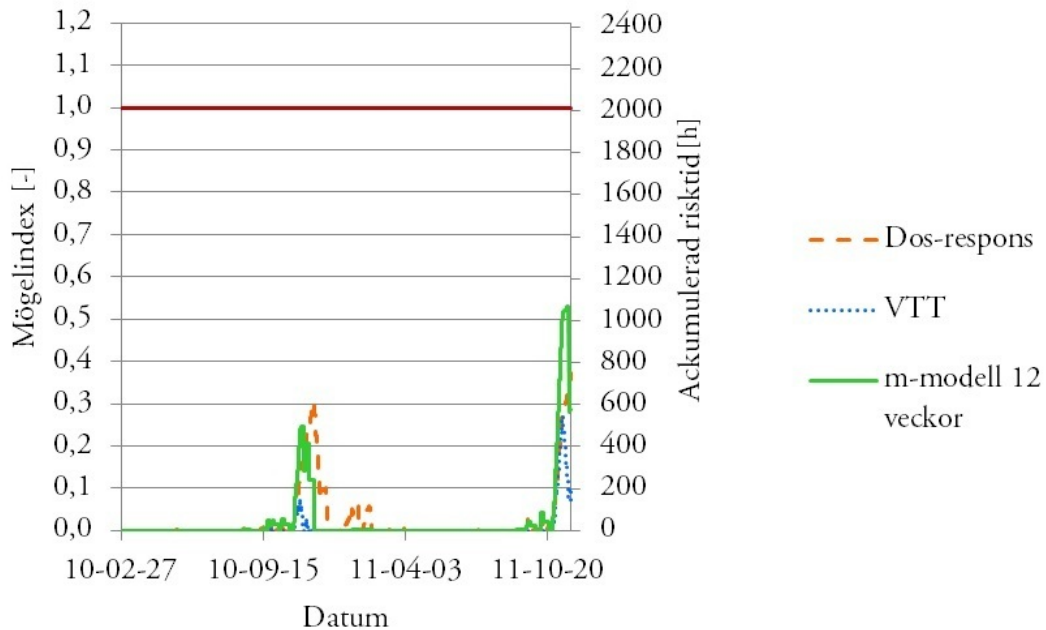
Figur 3. Resultat för vind 2 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.



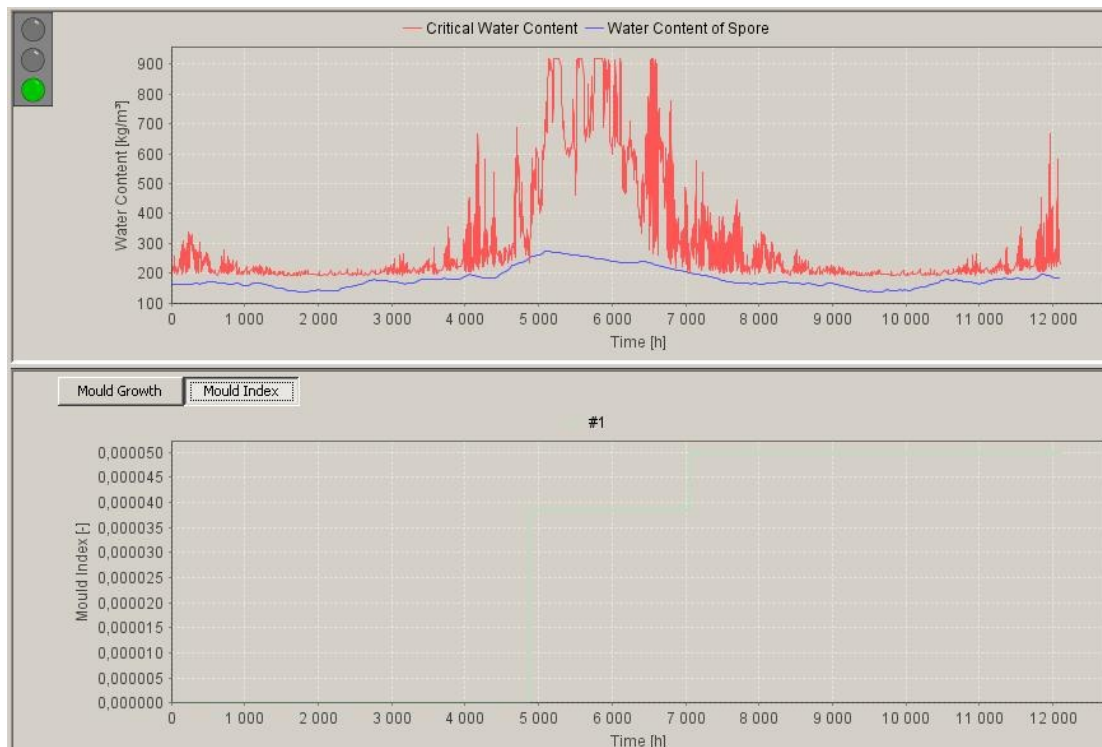
Figur 4. Resultat för vind 2 från WUFI®-Bio.

Resultat vind 3

Den ackumulerade risktid som visas för m-modellen för vind 3 är för varaktigheten 12 veckor. Detta eftersom det är den tid som vid riskutvärderingen i m-modellen ger högsta kritiska varaktighetskvot. Resultaten från dos-responsmetoden samt VTT visas i mögelindex, detta gäller även resultaten från WUFI®-Bio.



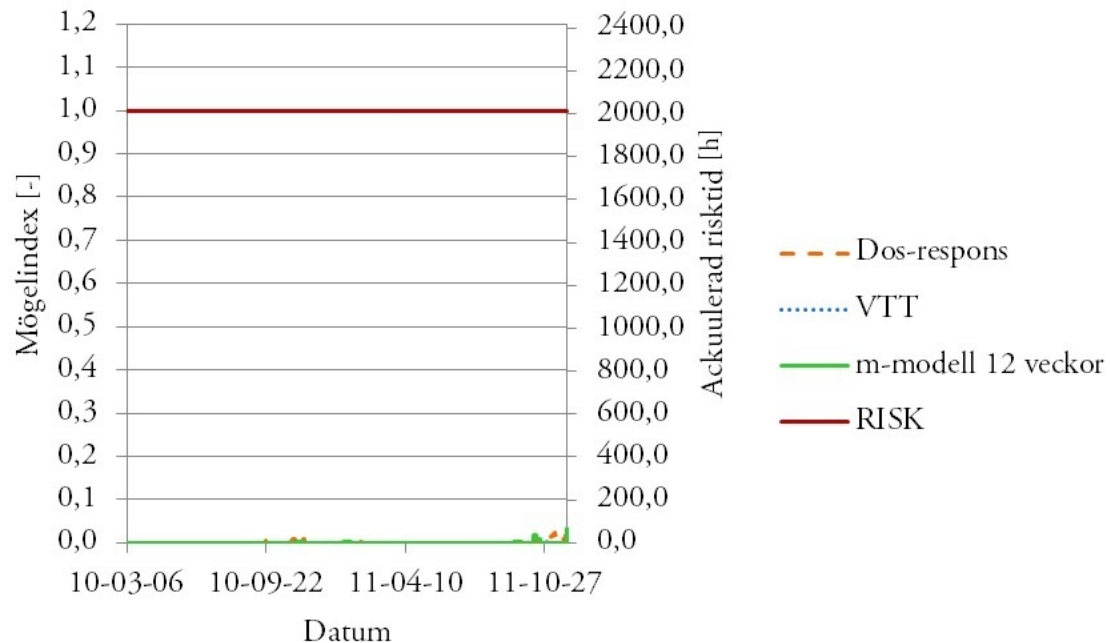
Figur 5. Resultat för vind 3 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.



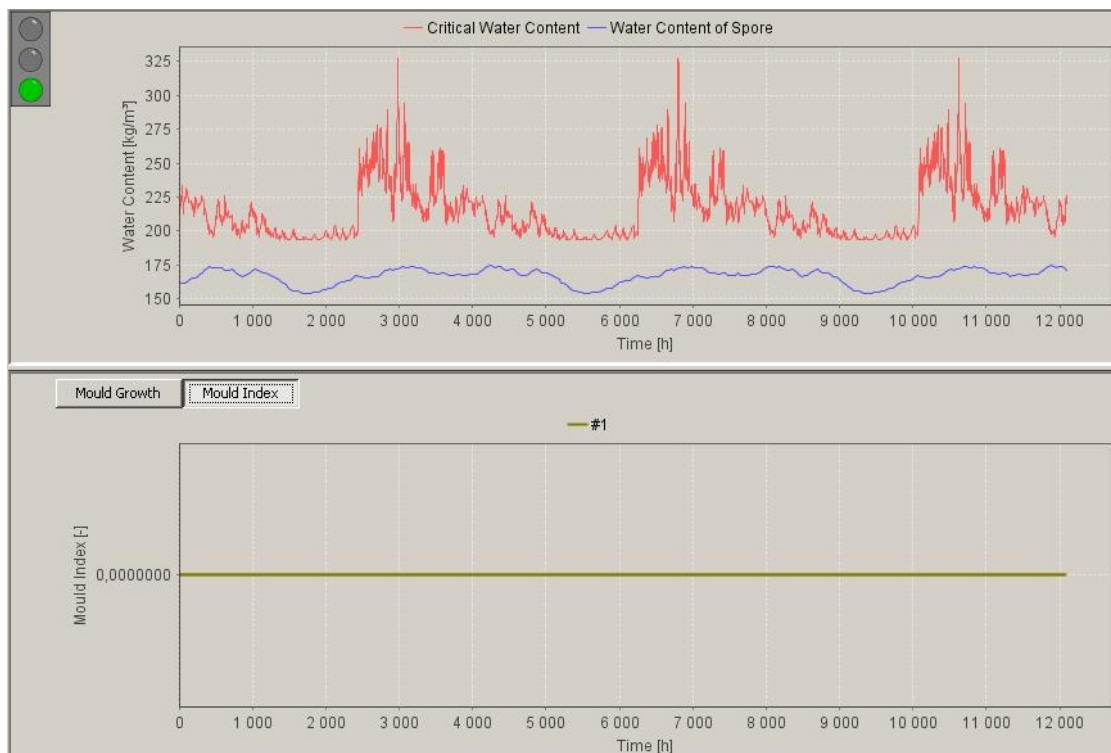
Figur 6. Resultat för vind 3 från WUFI®-Bio.

Resultat vind 4

Den ackumulerade risktid som visas för m-modellen för vind 4 är för varaktigheten 12 veckor. Detta eftersom det är den tid som vid riskutvärderingen i m-modellen ger högsta kritiska varaktighetskvot. Resultaten från dos-responsmetoden samt VTT visas i mögelindex, detta gäller även resultaten från WUFI®-Bio.



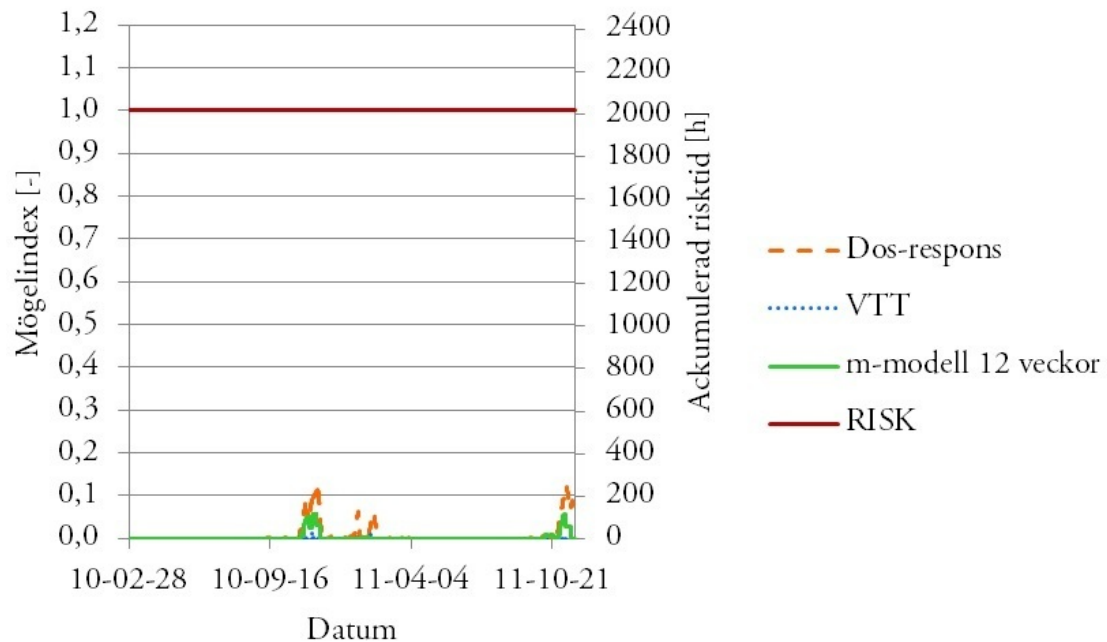
Figur 7. Resultat för vind 4 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.



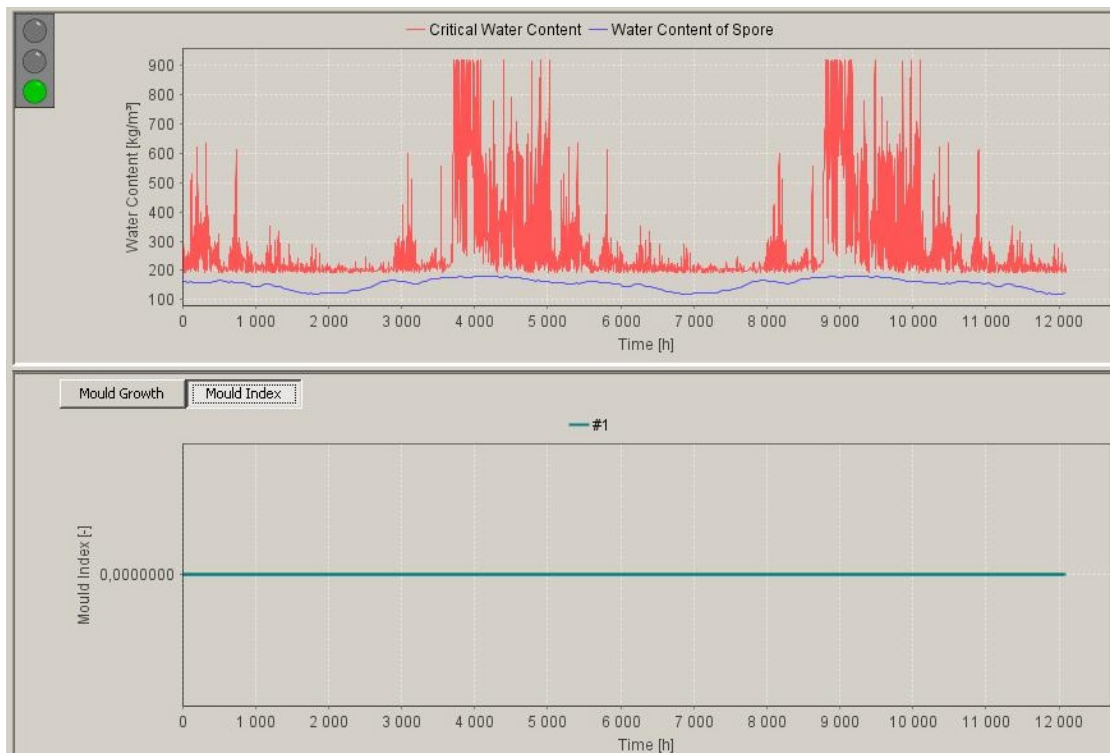
Figur 8. Resultat för vind 4 från WUFI®-Bio.

Resultat vind 5

Den ackumulerade risktid som visas för m-modellen för vind 5 är för varaktigheten 12 veckor. Detta eftersom det är den tid som vid riskutvärderingen i m-modellen ger högsta kritiska varaktighetskvot. Resultaten från dos-responsmetoden samt VTT visas i mögelindex, detta gäller även resultaten från WUFI®-Bio.



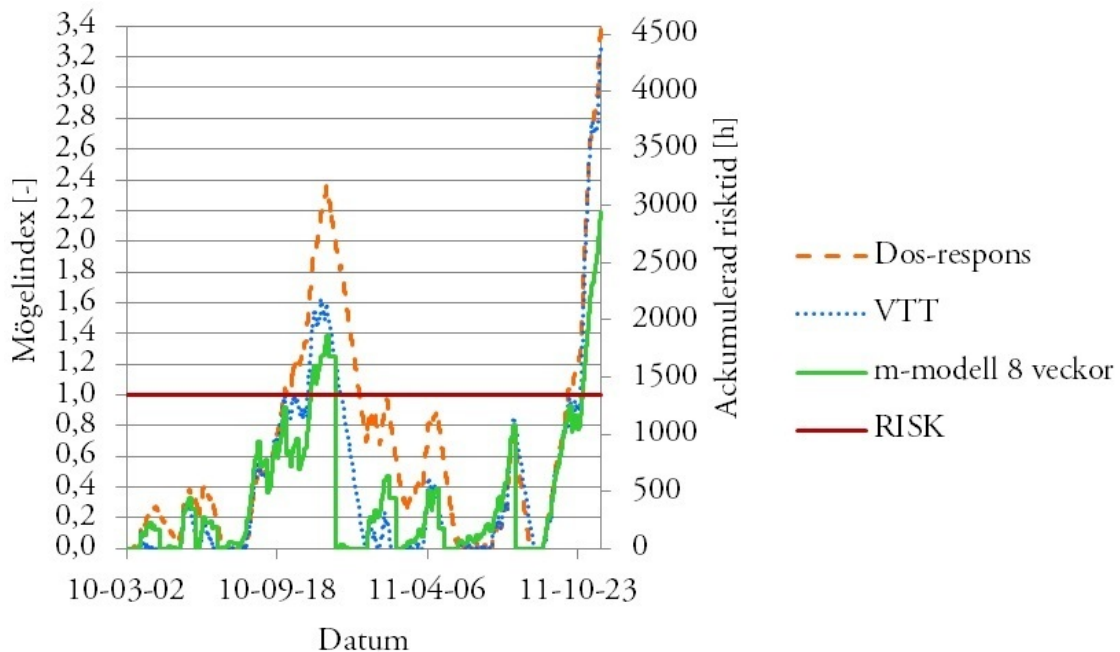
Figur 9. Resultat för vind 5 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.



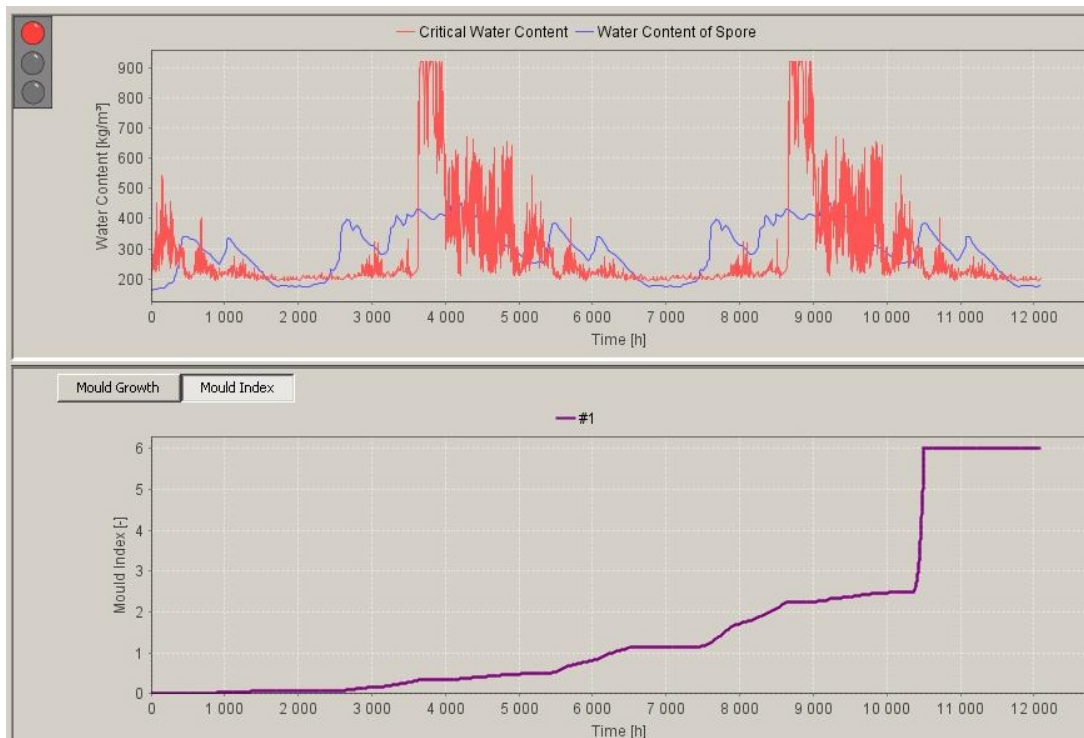
Figur 10. Resultat för vind 5 från WUFI®-Bio.

Resultat carport

Den ackumulerade risktid som visas för m-modellen för carporten är för varaktigheten 8 veckor. Detta eftersom det är den tid som vid riskutvärderingen i m-modellen ger högsta kritiska varaktighetskvot. Resultaten från dos-responsmetoden samt VTT visas i mögelindex, detta gäller även resultaten från WUFI®-Bio.



Figur 11. Resultat för carporten från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.

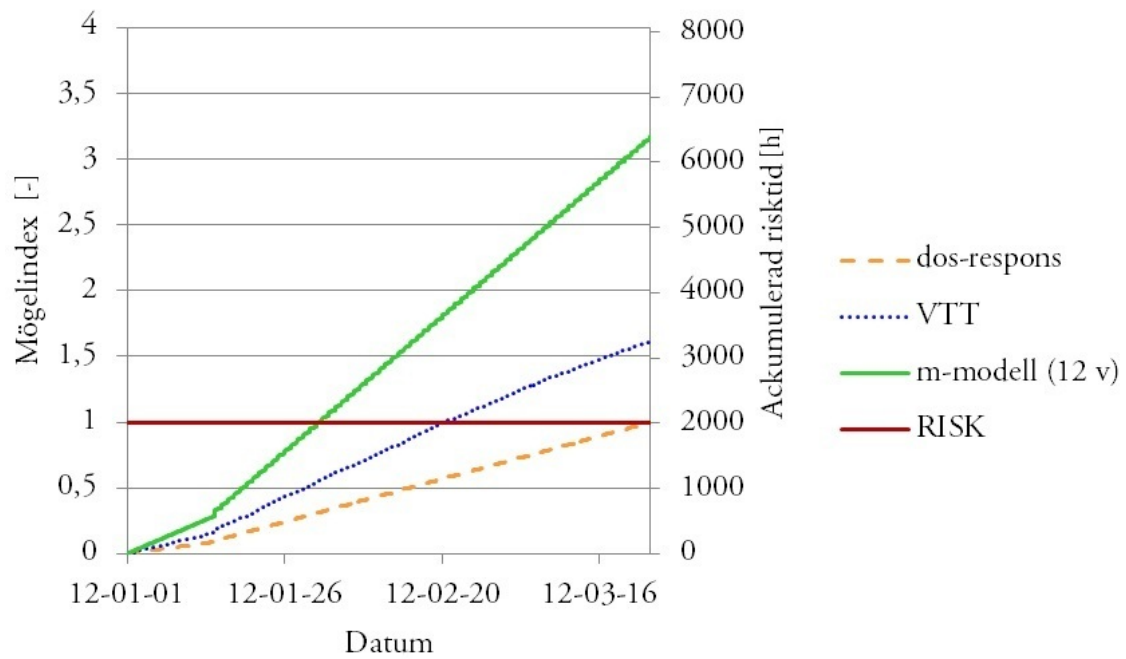


Figur 12. Resultat för carporten från WUFI®-Bio.

Bilaga B

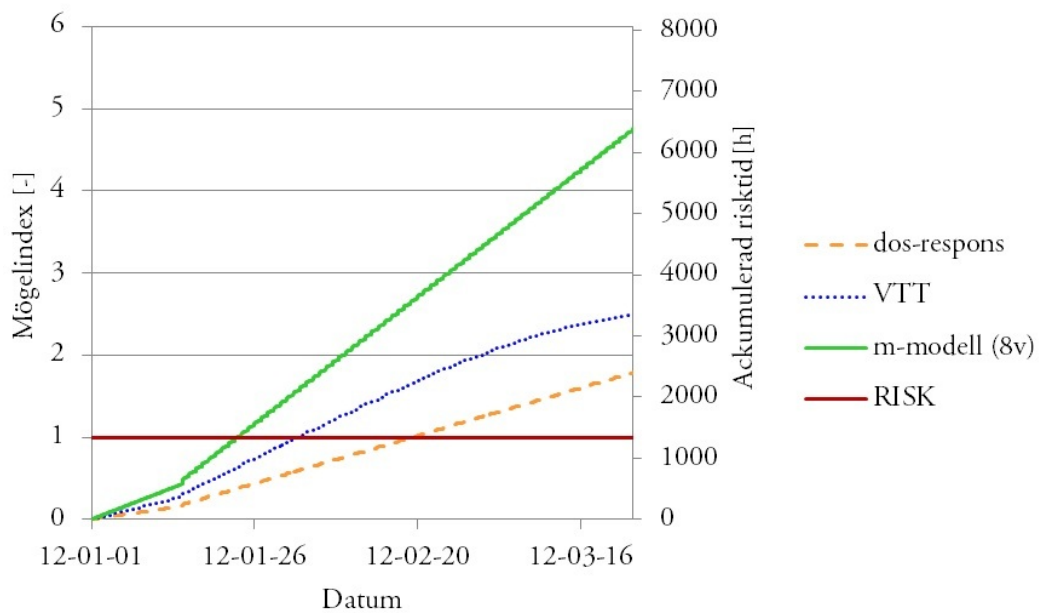
Resultat från fall 1-6 med förenklade klimatfall

Resultat fall 1



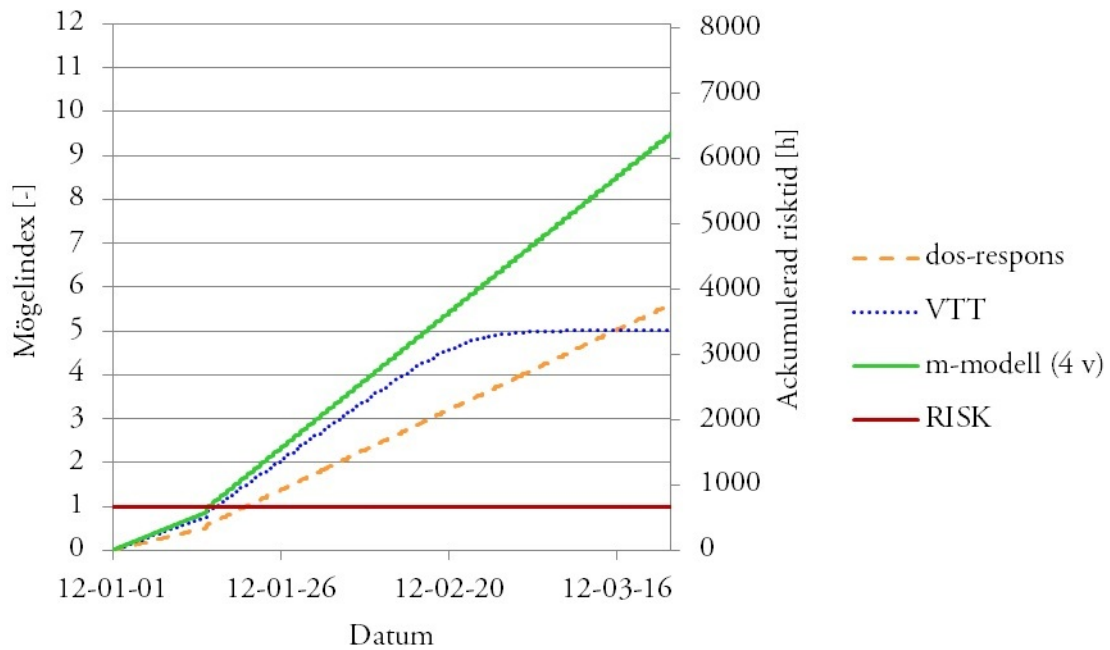
Figur 1. Resultat för fall 1 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i akkumulerad risktid för m-modellen.

Resultat fall 2



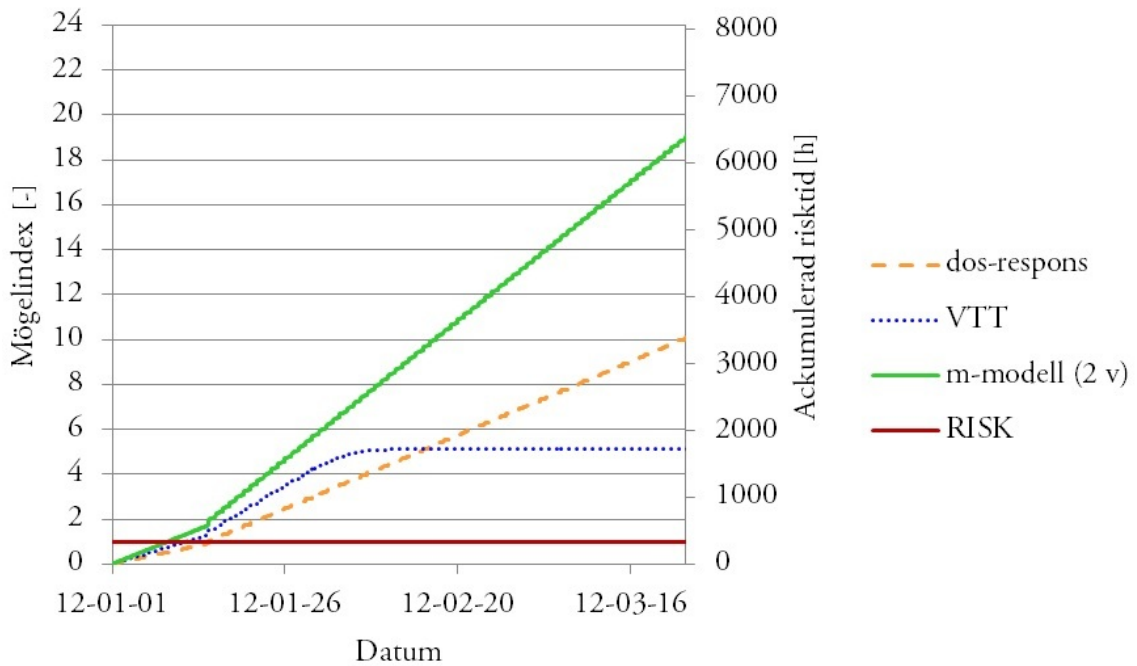
Figur 2. Resultat för fall 2 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i akkumulerad risktid för m-modellen.

Resultat fall 3



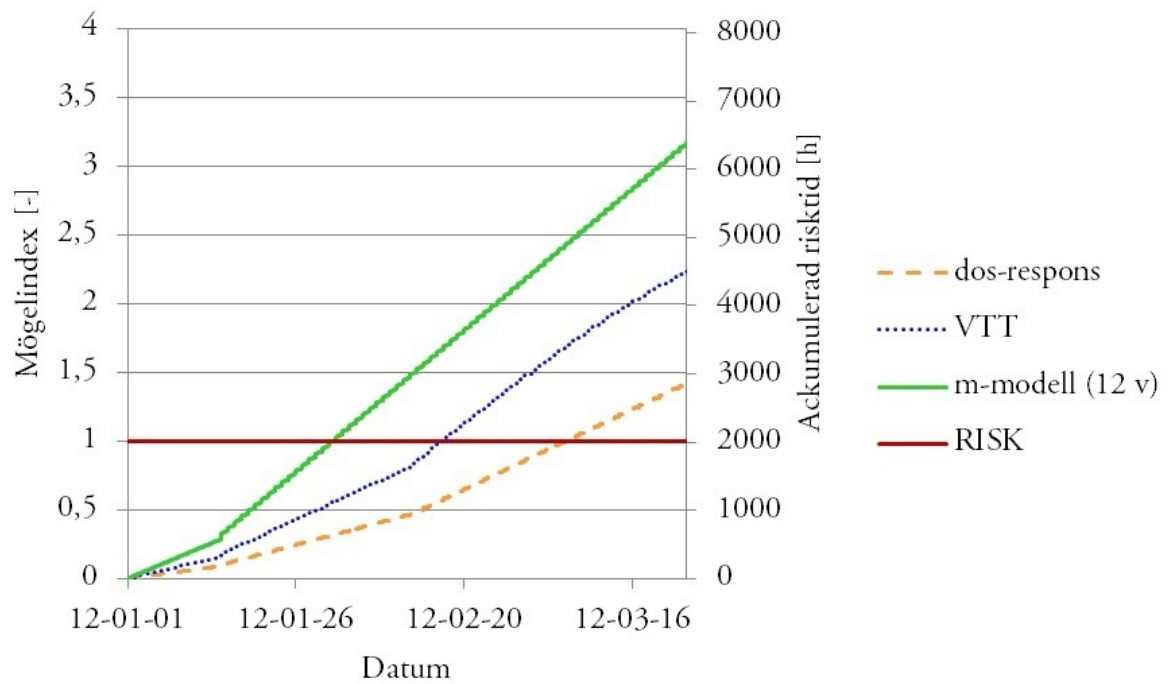
Figur 3. Resultat för fall 3 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.

Resultat fall 4



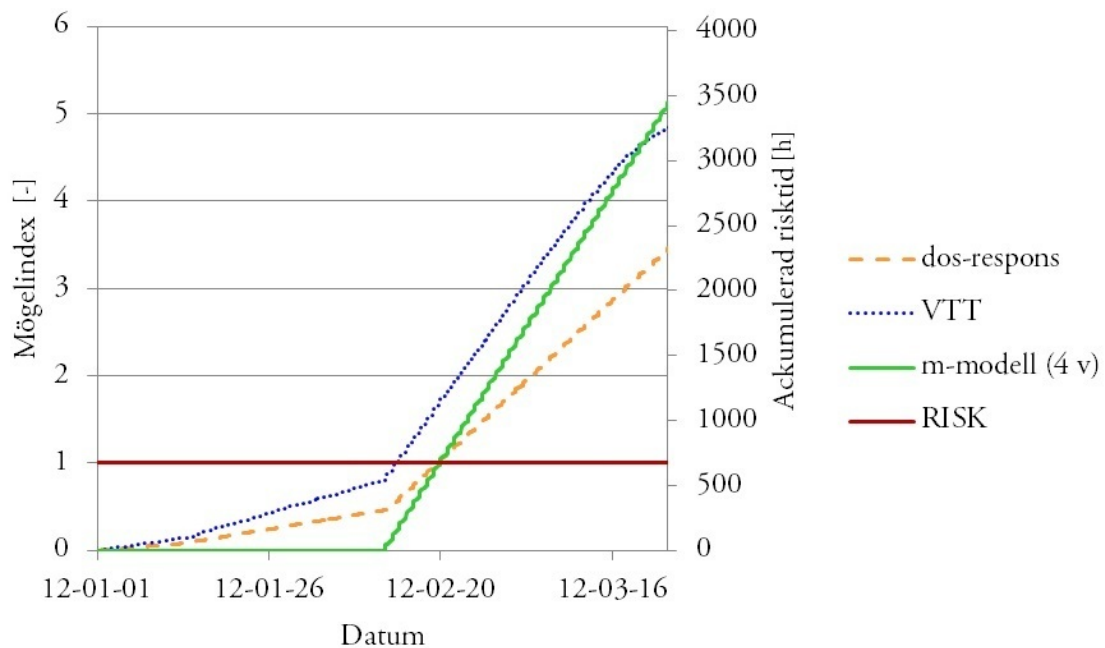
Figur 4. Resultat för fall 4 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i ackumulerad risktid för m-modellen.

Resultat fall 5



Figur 5. Resultat för fall 5 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i akkumulerad risktid för m-modellen.

Resultat fall 6



Figur 6. Resultat för fall 6 från m-modellen, dos-respons samt VTT. Resultat i mögelindex för dos-respons samt VTT. Resultat i akkumulerad risktid för m-modellen.