

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Examensarbete TVBH—21/5115  
Lund 2021

---

# Fuktanalys i en kontorsbyggnad

En studie om hur befuktning av inomhusluften  
påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen

Hasan Al-Sultani  
Kresimir Kljucevic



**LUNDS**  
UNIVERSITET



# Fuktanalys i en kontorsbyggnad

En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen

Hasan Al-Sultani  
Kresimir Kljucevic

Examensarbete

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi  
Lunds Universitet  
Box 118  
221 00 Lund

© Hasan Al-Sultani och Kresimir Kljucovic

ISRN LUTVDG/TVBH—21/5115—SE(84)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

# Sammanfattning

- Titel:** Fuktanalys i en kontorsbyggnad  
En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.
- Författare:** Hasan Al-Sultani  
Kresimir Kljucevic
- Handledare:** Petter Wallentén. Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola  
  
Elvis Kokot & Timo Schreck. Swegon
- Examinator:** Lars-Erik Harderup. Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola
- Bakgrund:** Låga relativa fuktigheter inomhus orsakar negativa hälsoeffekter på människor. Vanligast uppkommer torrhetssymptom i ögon, näsa, hals och hud. Aktiv befuktning genom ventilationen i torra klimat kan vara en åtgärd, dock måste det analyseras ifall den extra fuktproduktionen kan orsaka fuktskador.
- Syfte:** Syftet med examensarbetet är att studera hur ytterväggen i ett kontor påverkas av en förhöjd relativ fuktighet inomhus. Går det att öka RF utan att riskera fuktskador, hur mycket fuktproduktion kan tillåtas, samt hur fuktbuffring hos material påverkar förloppet är frågor som har studerats.
- Metod:** Examensarbetet är baserad på simulering i datorprogram WUFI+ där en beräkningsmodell byggts upp efter en kontorsbyggnad i Umeå.
- Slutsatser:** Med hänsyn till fuktsäkerheten är det acceptabelt att öka relativ fuktighet inomhus så länge summan av fuktproduktion och fukttillförsel inte överstiger 1100 g/h mellan 08.00 och 16.00 under en vinterperiod för den analyserande kontorsbyggnaden. Köldbryggor är försummade i denna beräkning, vilka hade behövt studeras.
- Nyckelord:** Relativ fuktighet, fuktproduktion, fuktskador, fukttillskott, fuktbuffring.



# Abstract

- Title:** Moisture analysis - Humidification of indoor office environment
- Author:** Hasan Al-Sultani  
Kresimir Kljucovic
- Supervisor:** Petter Wallentén. Department of building physics, Lunds University  
  
Elvis Kokot. Swegon  
Timo Schreck. Swegon
- Examiner:** Lars-Erik Harderup. Department of building physics, Lunds University
- Issue:** Low levels of relative humidity indoor has a negative effect on the health of people. Most commonly appears dryness symptoms in eyes, nose, throat, and skin. Humidification of the air through ventilation in dry environments could be a solution, though it must be analyzed if the extra moisture can cause any problems.
- Purpose:** The purpose is to study how the outer wall in the building will react to the elevated relative humidity inside. Is it possible to increase the relative humidity, how much extra moisture can be accepted, and how do moisture buffering in the materials affect the process is questions that will be studied.
- Method:** The thesis is based on calculations done in WUFI+. The modeled building is an office located in Umeå, Sweden.
- Conclusion:** Humidification of the indoor environment can be accepted if the total moisture supply is below 1100 g/h between 08.00 and 16.00 during a winter period for the analyzed office building. Cold bridges are neglected in this study, which should also be taken into consideration.
- Keyword:** Humidification, relative humidity, moisture supply, moisture problem, moisture buffering.





## Förord

Examensarbete utgör den slutliga delen av Civilingenjörsutbildningen i väg- och vattenbyggnad vid Lunds tekniska högskola. Arbetet motsvarar 30 högskolepoäng och har utförts i samarbete med Swegon under våren 2021.

Vi vill framföra ett stort tack till vår handledare Petter Wallentén som har bidragit med kunskap och stöttning genom hela arbetet. Dessutom vill vi tacka Elvis Kokot och Timo Schreck på Swegon, vilka har bidragit med sitt intresse, engagemang och värdefulla idéer.

*Lund, 5 Maj 2022*

*Hasan Al-Sultani*

*Kresimir Kljucovic*



# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract .....	iii
Förord .....	v
Innehållsförteckning .....	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	2
1.2 Syfte och mål .....	2
1.3 Problemformulering .....	3
1.4 Avgränsningar .....	3
1.5 Metod för arbetet .....	4
2 Teori och litteraturstudie .....	5
2.1 Inomhusmiljön.....	5
2.2 Fuktskador .....	6
2.3 Förutsättningar för mögeltillväxt.....	7
2.4 Hälsorisker.....	8
2.5 Relativa fuktighetens påverkan på flyktiga organiska föreningar inomhus ....	9
2.6 Olika faktorerers inverkan på mögeltillväxt .....	9
2.6.1 Fuktproduktion inomhus.....	10
2.6.2 Ventilation .....	11
2.6.3 Fukt utomhus .....	12
2.7 Fuktbuffring.....	13
2.8 Stationära/icke-stationära beräkningar .....	16
2.9 Icke-stationära beräkningar i Wufi+.....	17
3 Metod.....	19
3.1 Genomgång av Wufi.....	19
3.2 Uppbyggnad beräkningsmodell .....	21
3.3 Justering av indata .....	30
3.4 Uppställning av olika fall samt simuleringar.....	31
3.5 Bedömning av resultat .....	32
4 Resultat.....	33
4.1 Jämförelse slutlig beräkningsmodell med mätning .....	33
4.2 Simulerade fall.....	38
4.2.1 Fall 1 - normalfall Umeå .....	39
4.2.2 Fall 2a - luftläckage 0 oms/h .....	41
4.2.3 Fall 2b - luftläckage 0,1 oms/h .....	42
4.2.4 Fall 2c - luftläckage 0,5 oms/h .....	43
4.2.5 Sammanställning av relativa fuktigheter .....	44
4.2.6 Fall 3 - Varierande fuktkapacitet.....	45
4.2.7 Fall 4 – Tillsatt ventilation utan fuktåtervinning på natten.....	47
4.2.8 Fall 5a - Ändrad klimatdata till Kiruna.....	50
4.2.9 Fall 5 b - Ändrad klimatfil till Stockholm .....	51
4.2.10 Fall 5 c – Ändrad klimatfil till Malmö.....	52
4.2.11 Sammanställning av simulering från olika städer.....	53
4.3 Sammanställning av resultat.....	54
5 Diskussion och slutsats.....	57

Referenser.....	61
Bilagor .....	65





## 1 Inledning

Tidigare undersökningar har uppmärksammat att spridning samt överlevnad av smittämnen påverkas av relativa luftfuktigheten (Arbetsmiljöverket, 2020a). Hur den relativa luftfuktigheten sedan påverkar människors hälsa har varit ett växande forskningsområde (Svennberg, 2006).

En för hög eller för låg relativ fuktighet inomhus påverkar människohälsan negativt då det utgör en avgörande faktor för virus och bakteriers överlevnad samt spridning i innemiljö. Beroende på värdet för relativa fuktigheten inomhus kan flera bakterier-, mögel- och virusarter föröka sig, vilka kan leda till bland annat lunginflammation, allergier och infektioner som vattkoppor samt svinkoppor (Anthony et al. 1986). Boverket och arbetsmiljöverket ställer krav på inomhusklimat och har många rekommendationer för hur det bör vara för mest gynnsam miljö. Kravet för högst tillåtna RF i byggmaterial enligt Boverket ligger på 75%, om det inte sker noggrannare beräkningar (Boverket, 2017). Däremot saknas kravet för lägsta RF i BBR och därför bortser projektörer från det i projekteringsskede. Låg RF-inomhus leder i sin tur till negativa hälsoeffekter som trötthet, torrhet i ögonen och slemhinnor (Folkhälsomyndigheten, 2005).

Människors oro över luftfuktigheter inomhus är oftast förknippad med förhållandet mellan höga luftfuktigheter och fuktskador i form av mögel. Oro för torra miljöer är däremot mycket mindre än fuktiga miljöer. Enligt rekommendationer från tidigare undersökningar bör relativa fuktigheten, RF, inomhus på vintern ligga mellan 40–60% (Anthony et al. 1986). Intervallet tar endast hänsyn till vad som är mest gynnsamt för människohälsan. För att nå detta intervall finns olika metoder. Att sänka lufttemperaturen inomhus kan vara en lösning då det leder till ökad RF, men då riskeras att inte uppfylla Boverkets krav för komfort inomhus. Dessutom leder allt för låga temperaturer till negativa hälsoeffekter som hjärt- och kärlsjukdomar (Folkhälsomyndigheten, 2005).

En metod för att uppnå högre relativ fuktighet inomhus är befuktning via ventilationen. Dock riskeras då högre fuktnivåer i byggnadskonstruktionen vilket kan leda till fuktproblem. Konsekvenserna måste tas hänsyn till och analyseras noga för att ge svar på ifall de förhöjda värdena ligger under kritiska nivåer för fuktskador.

## 1.1 Bakgrund

Fuktsäkerhet är ett viktigt begrepp inom byggbranschen. Fuktens påverkan på byggnader studeras hela tiden och den totala kunskapen ökar med åren. Mer tid och resurser sätts in för att byggnationer ska bli fuktsäkrare. Samtidigt har undersökningar utförts med fokus på hur inomhusklimatet kan förbättras. Under en längre period har man på grund av byggtekniska skäl strävat efter låga fukthalter inomhus. Dock har under senare tid diskussioner som handlar om hur mycket låga relativa fuktighetsnivåer inomhus påverkar människohälsan, blivit aktuella (Salonen, Reijula, Riala, Lappalainen & Tuomi, 2002).

Företaget Swegon har i samarbete med ett par studenter vid LTH undersökt denna fråga närmare genom en litteraturstudie. Resultatet visar att en mycket hög eller låg RF-nivå inomhus har negativ inverkan på människors hälsa (Han & Popova 2020). En optimal nivå skulle kunna vara mellan 40 och 60 procent (Anthony et al. 1986). Swegon vill nu prova i sina kontor med låga RF-nivåer en åtgärd som innebär att man aktivt befuktar tilluften för att RF-nivåer ska hamna närmre den optimala nivån. Tanken med befuktningen är att se hur det nya inomhusklimatet upplevs av personalen. Ifall önskat positivt resultat uppnås kommer åtgärden fortsätta att tillämpas i framtiden. Swegon har valt att utföra denna åtgärd på sin kontorsbyggnad i Umeå. Kontoret består av 6 kontorsrum, ett badrum, ett förråd och en matsal/konferensrum i mitten. Byggnaden har en byggnadsarea på 180 m<sup>2</sup>.

En nackdel med denna befuktning av inomhusluften är att konstruktionen i byggnaden utsätts för högre fuktbelastning. RF-nivån i och på ytan av materialen kommer att vara högre vilket kan leda till allvarliga konsekvenser med fuktskador. Därför måste åtgärden studeras noggrant innan den börjar tillämpas i större skala.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att undersöka genom simuleringar i datorprogram hur RF-nivån i ytterväggen i kontoret påverkas av den aktiva befuktningen inomhus. Samtidigt ska studien ge en bättre förståelse på hur material och möblering genom fuktbuffering i en byggnad påverkar fuktnivåerna.

Examensarbetet förväntas ge svar på ifall det sett ur fuktsäkerhetssynpunkt går att höja RF genom fuktillförsel utan att riskera fuktsäkerheten i byggnaden samt hur stor fuktproduktion som kan accepteras.



### 1.3 Problemformulering

För det analyserade kontoret i Umeå:

- Hur överensstämmer mätningar av RF med beräkningar för en viss period?
- Vid vilka fukttillskott finns det risk för ytligt mögel på kalla ytor? Vilken är maximal mängd fukt som kan tillföras i byggnaden per dag under en vinterperiod för ett normalår?
- Vid vilket fukttillskott finns det risk för fuktproblem inuti en vägg med luftläckage? Vilken är maximal mängd fukt som kan tillföras i byggnaden per dag under en vinterperiod för ett normalår?
- Hur påverkar möbleringen i byggnaden fuktkapaciteten/fuktbuffringen?
- Hur påverkar byggnadens fuktkapacitet förloppet och RF-nivåer?

### 1.4 Avgränsningar

- Ingen hänsyn tas till energiförbrukning.
- En konstant inomhustemperatur på 21 används i simuleringen på grund av att det är det lägsta acceptabla temperaturen (Boverket, 2021). En högre inomhustemperatur skulle innebära lägre RF och därmed mindre risk för fuktskador.
- Swegon har befuktat kontorsbyggnaden från ett rum där fukten senare sprider sig till övriga rum. I simuleringen har hela kontoret betraktats som en zon där fuktproduktionen tillsatts jämnt fördelat i hela zonen.
- Köldbryggor har inte tagits hänsyn till. Beräkningar har inte utförts i eventuella köldbryggor där en lägre temperatur råder.
- Slagregn har försumrats.

## 1.5 Metod för arbetet

Studien inleddes med ett gemensamt möte mellan studenterna, handledare på LTH och projektansvariga från Swegon. Syftet var att studenterna och handledaren skulle få en bild av hur befuktningen kommer att utföras samt vilka mätdata som kommer att finnas tillgängligt.

Under perioden 2021-01-11 och 2021-02-13 provades olika nivå på relativ fuktighet i kontoret veckovis. Mätdata finns för dessa 5 veckorna. I en central enhet där luft från samtliga rum passerar samlades datan, vilket innebär att den representerar genomsnittliga värden för hela byggnaden.

Efter genomgången av mätdata påbörjades litteraturstudien. Frågor som undersöktes handlade om fukt i byggnader med syfte att utöka förståelsen om fukt och fuktrelaterade skador i byggnader. Andra frågor som undersöktes är vilka fuktkällor som finns och i vilka fall det kan vara ogynnsamt för byggnaden. Vidare har frågor om olika faktorer påverkan på fuktnivåerna inomhus samt olika materials förmåga att uppta fukt studerats. Med hjälp av framtagna fakta i litteraturstudien kan beräkningsmodellen kompletteras i WUFI+.

Med hjälp av A-ritningar och väggsektioner byggdes en 3D-modell upp. Inställningar kring ventilation, temperatur, befuktning och arbetstider justerades enligt mätdata från kontoret. Inställningar för fuktillskott från personal, materialdata för fuktbuffring samt invändig möblering bestämdes enligt litteraturstudie och egna uppskattningar.

När modellen var färdigbyggd simulerades samma 5 veckor då befuktning har utförts på kontoret. De uppmätta värdena för relativ fuktighet inomhus jämfördes med de beräknade värdena. Ju bättre dessa stämde överens desto trovärdigare var beräkningsmodellen.

Slutligen simulerades ett antal olika fall för att få svar på frågeställningarna i avsnitt 1.3.

## 2 Teori och litteraturstudie

### 2.1 Inomhusmiljön

Komforten i inomhusmiljön påverkas av termiska parametrar och andra parametrar för visuell och auditiv komfort. Termisk komfort består av faktorer som relativ fuktighet, luftflödes hastighet och strålningstemperatur. Visuella komfortförhållanden består bland annat av dagsljus, belysning samt vy och hörselkomfortförhållandena består främst av ljud (Öxdamar & Umarogullari 2018).

#### Termisk komfort

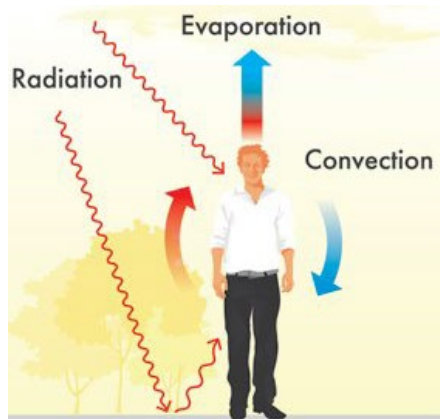
Faktorerna som ingår i termisk komfort har stor påverkan på miljöförhållanden inomhus. För att en person ska uppleva termisk komfort krävs det en värmebalans mellan personen och omgivningen. Detta sker med hjälp av hudens värmeavgivningsförmåga via strålning, konvektion och avdunstning i kontakt med omgivningen (Öxdamar & Umarogullari 2018). Figur 1 redovisar hudens värmeavgivning (Ecophon, 2020). Den termiska komforten från en människa till en annan skiljer sig eftersom termen är kopplad till många parametrar såsom mänskliga dimensioner, aktivitet och klädsel men kraven på termisk komfort avser majoriteten (Öxdamar & Umarogullari 2018).

Man kan uttrycka luftfuktigheten på tre sätt: relativ fuktighet (RF), absolut fuktighet och specifik luftfuktighet. den här studien läggs mest fokus på relativa luftfuktighet på grund av att det används som mått för fuktskador (Öxdamar & Umarogullari 2018). Den relativa fuktigheten är förhållandet mellan aktuell ånghalt samt den mättnads ånghalt vid en viss temperatur och uttrycks i procent, se ekvation (1) (Nevander & Elmarsson, 2006). Det finns en omvänd relation mellan temperatur och relativa luftfuktigheten, när temperaturen ökar så minskar den relativa luftfuktigheten och det framgår i ekvation 1 (Öxdamar & Umarogullari 2018).

$$RF = \frac{v}{v_s(T)} \quad (1)$$

$v = \text{ånghalt, } kg/m^3$

$v_s = \text{mättnadsånghalt, } kg/m^3$



Figur 1 Visar värmeavgivning hos en människokropp. (Ecophon 2020).

I Skandinavien ligger relativa fuktigheten inomhus i välventilerade byggnader mellan 10–35% på vintern. Det finns motstridig information i vetenskapliga litteraturen om vad den optimala RF-inomhus ska vara (Reinikainen, Tapola, Jaakkola 1996). I den här

studien följs Anthony et al (1986) rekommendationer för RF-inomhus på 40–60%. Ett sätt för att höja RF-inomhus är genom befuktning som innebär att tilluften befuktas med vattenmolekyler (Al Ashry & Modrykamien, 2014).

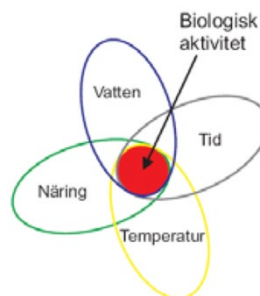
## 2.2 Fuktskador

En viss mängd fukt finns alltid i husets konstruktion och i inomhusluften. Fukten är inte skadlig så länge inte mängden överstiger kritiska fukthalten hos materialen. Det finns alltid en risk att alla skikt i konstruktioner kan nås av fuktläckage och en väl projekterad konstruktion tar hänsyn till detta så att systemet kan torka ut. Det vill säga att fukt ska kunna transporteras ut från konstruktionen (Nevander & Elmarsson, 2006).

Fukt kan starta biologiska, kemiska och fysikaliska processer i konstruktioner. Exempel på fysikaliska nedbrytningsprocesser är frost- och saltsprängning som är vanligt förekommande i klimat med stor variation mellan dag och natt. En långsam variation kan däremot medföra en gynnsam uttorkning. En förutsättning för att frostsprängning skall kunna uppstå är att materialet har en ånghalt som är ganska nära mätnadsånghalten och att utetemperaturen ligger under noll grader C. Frostsprängning är när fukt i ångfas eller flytande fas kommer in i porerna i spröda material för att sedan frysa till is som har större volym (Nevander & Elmarsson, 2006).

Kemisk nedbrytning som korrosion och förtvålning av lim sker när kritiska fukthalter överstigs. Ökat energibehov för uppvärmning är en annan konsekvens av ökad fukthalt i material. Detta på grund av att fukt har högre värmeledningsförmåga än luft, vilket innebär att värmetransporten via porerna sker med mindre motstånd (Nevander & Elmarsson, 2006).

Fukt kan starta flera biologiska processer i material såsom mögelpåväxt och rötsvampar som orsakar nedsatt hållfasthet, försämrad beständighet och deformation. Rötsvampar kräver temperaturer mellan 0–40 °C, syre och fritt vatten samt fuktkvot på 30–120% för organiska material (Nevander & Elmarsson, 2006). Figur 2 visar förutsättningar för biologisk aktivitet (Mattsson, 2004).



Figur 2 Förutsättningar för biologisk aktivitet (Mattsson, 2004).

Det som skiljer röta och mögel är att röta orsakar nedsatt hållfasthet men är mindre förekommande i våra byggnader på grund av att det kräver ett högre fukttillstånd för tillväxt. För mögeltillväxten krävs också fritt vatten i början men sedan kan det leva vid låg fuktkvot. Det är svårt att ange ett gränsvärde för tillväxt av mögel eller röta eftersom det finns många arter och tillväxten beror på flera faktorer såsom relativ fuktighet, fuktkvot i materialet, temperatur, lufthastighet, varaktighet och materialet som får påväxten. Samspelet mellan dessa faktorer är avgörande för vilken art det bildas. Tabell 1 presenterar de ungefärliga gränsvärden som man brukar räkna med (Nevander & Elmarsson, 2006).

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

Tabell 1 Visar ungefärliga gränsvärden för röta- och mögelsvampar (Nevander & Elmarsson, 2006).

		Risk		
		Ingen	Måttlig	Stor
Röta	Fuktkvot (%)	<16	16–25	>25
	RF (%)	<75	75–95	>95
Mögel	Fuktkvot (%)	<15	15–20	>20
	RF (%)	<70	70–85	>85

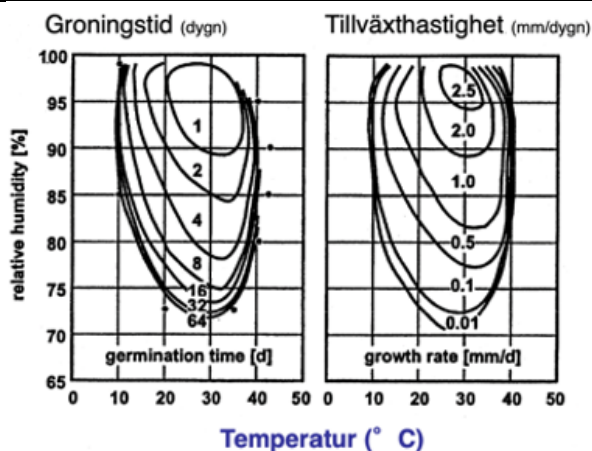
### 2.3 Förutsättningar för mögeltillväxt

För mögel delas tillväxten upp i två faser där den första fasen är när sporer (en del av ett mögel med hög förekomst i naturen) gror. Den andra fasen är när mycel (nätverk mellan sporer) tillväxer. De olika faserna ställer olika krav på omgivande miljö och därför är det viktigt att dela upp undersökningen till två delar för att kunna bedöma risken för mögeltillväxten. Vissa faktorer har samma inverkan i båda faserna (Kellner & Ström, 2001).

Temperaturen och RF har samma inverkan på båda faserna. Man kan grovt säga att tillväxten hos många svampar sker i intervallet 0–50 °C och är optimalt vid 30 °C. För vissa svampar kan minitemperaturen vara lägre än 0 °C, exempelvis kan tillväxten hos *Cladosporium* ske vid -5 °C. Däremot ligger minimala fuktighetsgränsen vid RF=70% för groningen och tillväxt med optimal RF mellan 95–98%. Ifall RF överstiger 98% räknas det som fritt vatten och då finns inga levnadsbetingelser för mögelsvampar, men däremot för rötsvampar (Kellner & Ström, 2001).

Varaktighet för fuktillståndet är en annan viktig faktor för svamppåväxten. För många svampar brukar första fasen kräva längre varaktighet jämfört med andra fasen. Ibland kan kritiska fukthalter överskridas utan att orsaka fuktskador (Al Ashry & Modrykamien, 2014). Figur 3 redovisar hur varaktigheten påverkar mögeltillväxt (Nevander & Elmarsson, 2006).

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 3 Visar samspelet mellan RF, temperatur samt varaktigheten för mögelpåväxt. (Nevander & Elmarsson, 2006)

## 2.4 Hälsorisker

Mikroorganismer kan delas upp till två olika grupper. Första gruppen är mikroorganismer som inte smittar mellan människor men kan ge sjukdomar, exempelvis mögel och legionellabakterier. Andra gruppen smittar mellan människor där virus och bakterier ingår. Människor som utsätts för mikroorganismer och deras emissioner kan få många olika hälsobesvär. Symptomen varierar mycket, beroende på hur känslig man är men också hur mycket man exponeras. Det kan även bero på om man utsätts för olika mögelarter i ett och samma arbetsplats (Arbetsmiljöverket, 2020b).

Mögelsvampar kan ge upphov till överkänslighetsreaktioner, till exempel allergier. De kan även ge akuta lungproblem ifall man andas in delar av mögelsvampar och mögelsporer vid arbeten där det bildas luftburet mögeldamm. Mögeldamm är damm som innehåller stora mängder mögel (Arbetsmiljöverket, 2020b).

Virus och bakterier på arbetsplatser kan orsaka olika hälsoproblem som till exempel infektionssjukdomar, infekterade sår men också vanliga sjukdomar. På alla arbetsplatser finns det risk att bli smittad av vanliga smittämnen som till exempel olika förkylningsvirus (Arbetsmiljöverket, 2020c). För låg RF inomhus kan leda till ökad smittspridning då bakterier och virus förs vidare till omgivningen via luften. Det inträffar när en smittad person hostar, pratar eller nyser då skapas vattendroppar (Fletcher, 2004). Beroende på storleken av dropparna kan dessa antingen avdunsta till droppkärnor eller flytande partiklar i luften, droppkärnorna och flytande partiklar kallas för aerosoler (Lindgren, 2018). Hur snabbt dropparna avdunstar beror bland annat på RF inomhus och ventilationen. Vid låga RF sker avdunstning snabbare (Anthony et al. 1986). Dessutom orsakar låga fuktighetsvärden torrhet i andningsorganen, hud och ögon hos människan (Jabbar et al. 2019).

## 2.5 Relativa fuktighetens påverkan på flyktiga organiska föreningar inomhus

Flyktiga organiska ämnen, NMVOC, är ett samlingsnamn för föroreningar som tillsammans med kväveoxider och i närvaro av solljus bildar marknära ozon. NMVOC bildas vid ofullständiga förbränningar. En del av flyktiga organiska ämnen används i industriella processer som lösningsmedel, färg och lack. Den totala utsläppen av flyktiga organiska ämnen i Sverige var cirka 130 ton år 2019 där cirka 40% av totala utsläppen kommer från avdunstning av lösningsmedel från olika produkter (Naturvårdsverket, 2020). En annan utsläppskälla till NMVOC är nedbrytning av färg och lack som uppstår i exempelvis sorptionsprocessen. Effekten är uppenbar vid låga ventilationshastigheter (Wolkoff, 1999).

Det är välkänt hur den relativa fuktigheten påverkar utsläppshastigheten för exempelvis VOC från ytor (Andersen et al. 1975). Höga VOC-halter kan orsaka bland annat irritation i ögon och andningsvägar (Arbetshälsoinstitutet, 2021). I ett experiment utförd av Markowicz och Larsson år 2014 har de undersökt relativa fuktighetens påverkan på VOC-koncentrationer inomhus. Man kom fram till att den totala VOC-koncentrationer, TVOC, ökar med ökad RF men efter en viss gräns, RF 60%, bromsas tillväxttakten, se tabell 2. (Markowicz & Larsson, 2014)

Tabell 2 Visar VOC-koncentrationen i luften för olika RF.

Compound	Range of RH			
	34–35%	35–58%	58–68%	68–95%
<i>n</i> -Decane	1	1	1	0
<i>n</i> -Hexanal	5	5	6	7
TVOC	61	67	64	50

I en labbmätning i ett testrum av Andersen et al. (1975) konstaterades att utsläppshastigheten för formaldehyd vid rumstemperatur fördubblades när RH ökade från 30% till 70%. Formaldehyd bildas vid förbränning men kan framställas industriellt och användas som substans vid tillverkning av bland annat spånskivor och plywood. Formaldehyd kan leda till irritation i ögonen samt slemhinnor och i höga halter anses ämnet vara cancerframkallande (Naturvårdsverket, 2004).

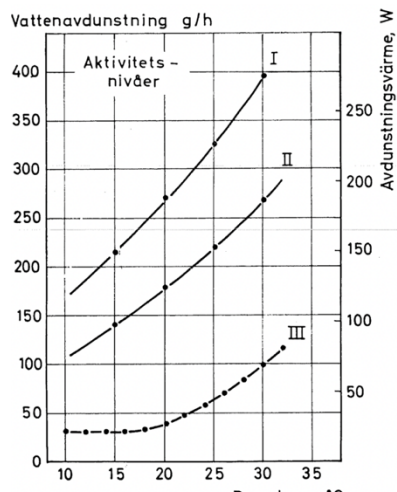
## 2.6 Olika faktorerers inverkan på mögeltillväxt

Man uttrycker fukten inomhus som ånghalt,  $v$ , i g/h och storleken på det styrs främst av tre faktorer (Nevander & Elmarsson, 2006).

- Fuktproduktion inomhus
- Ventilation
- Fukt utomhus

## 2.6.1 Fuktproduktion inomhus

Fuktproduktionen kommer från avdunstning från människor samt växter, rengöring och befuktning. Avdunstning från en människa vid normala rumstemperatur är ungefär 40–50 g/h (Nevander & Elmarsson, 2006). Värmen som produceras av människokroppen avlägsnas genom konvektion (30%), strålning (40%), avdunstning via huden (20%) och andning (10%) (Özdamar & Umarogullari, 2018). Hur mycket vätska våra kroppar tappar via utandningen beror delvis på relativa fuktigheten i luften som vi andas in vilket innebär att vi tappar mindre vätska via utandningen ifall luften innehåller högre ånghalt. Avdunstning via huden beror till stor del på människans aktivitetsnivå och upplevd inomhustemperatur. Figur 4 visar förhållandet mellan aktivitetsnivå och fuktproduktion. I kontor är avdunstningen något högre jämfört med i bostäder på grund av att klädselnivån och aktivitetsnivån är högre (Nevander & Elmarsson, 2006).



Figur 4 Vattenavdunstning från en vuxen person i en bostad. (Nevander & Elmarsson, 2006)

Förutsättningar för svamp tillväxt, kan uppnås med hjälp av fuktproduktionen som kan leda till ökad RF inomhus. RF inomhus kan beräknas med ekvation (2) om det är konstant fuktproduktion som leder till ett konstant fuktillskott. Fuktillskott är skillnaden mellan ånghalten inomhus och ånghalten utomhus. (Nevander & Elmarsson, 2006).

$$RF = \frac{v_e + v_{FT}}{v_{mättnads}(T_i)} \cdot 100\% \quad (2)$$

$v_e = \text{ånghalt utom, g/m}^3$

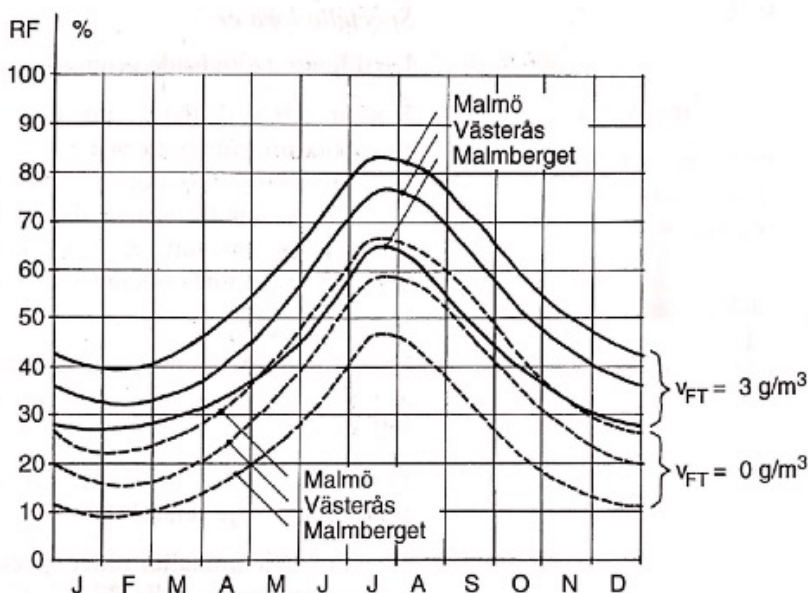
$v_{FT} = \text{fuktillskott, g/m}^3$

$v_{mättnads} = \text{mättnadsånghalt för innetemperatur, g/m}^3$

Man har kommit fram till att 3 g/m<sup>3</sup> i fuktillskott kan öka RF-nivån med cirka 20% vilket kan öka risken för mögeltillväxt (Nevander & Elmarsson, 2006).



## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 5 Visar relativa fuktighet inomhus för olika fuktillskott och orter med inomhustemperatur 20C. Fuktillskott 3 g/m<sup>3</sup> (hållbar linje) och 0 g/m<sup>3</sup> (streckad). (Nevander & Elmarsson, 2006).

### 2.6.2 Ventilation

Syftet med ventilationen är att förse byggnaden med frisk luft samt transportera bort utsläppet från aktiviteter inomhus som partiklar, fukt och andra gaser. Inomhusklimatet indikeras ofta av tre inomhusluftkvalitetsparametrar, CO<sub>2</sub>-koncentration, temperatur och relativ fuktighet (RF). Arbetsmiljöverket i föreskrifterna om arbetsplatsens utformning (AFS 2020:1) paragraf 112§ rekommenderar att ventilationssystemet ska kunna tillföra ett uteluftsflöde på minst 7 l/s och person för stillasittande arbete i lokaler där personer vistas mer än tillfälligt. Flödet innebär att 80% av en normalbefolkning upplever luftkvaliteten som acceptabel när det gäller lukter från människor. Ett uteluftsflöde på 0,35 l/s m<sup>2</sup> golvarea måste tilläggas för att uppnå lika stor acceptans för lukter från byggnadsmaterial och inredningar (Arbetsmiljöverket, 2020).

Enligt europeiska kommissionen förbrukas mer än 2% av energin i bostäder av ventilationsaggregat vilket utgör den tredje största elförbrukning i en byggnad efter uppvärmning, kylning och belysning (Europiska kommissionen, 2019). I kontorsbyggnader förbrukas ungefär 12% av totala energin av ventilationsaggregatet (Drovtar, 2012). Dessutom har fokus inom vetenskap under de senaste åren varit att effektivisera och minimera energianvändningen av luftaggregaten men mindre uppmärksamhet åt ventilation och dess påverkan på hälsan (Pérez, Ortiz & Pout 2008)

Ventilationen har en avgörande roll för fuktnivåer inomhus där effekten av ventilationen beror på ventilationens hastighet samt ånghalt i till- och inneluften. Om ventilationshastigheten är tillräcklig kommer fuktillskottet från fuktproduktionen inomhus till stor del att föras bort. Om ventilationshastigheten är låg är effekten av

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

fuktbufferingen i ytmaterial större. Därmed kan minskning av ventilationshastigheten inte vara lösningen för att höja RF-nivåer då det finns ett samband mellan ventilationshastighet och absolut luftfuktighetsnivå samt CO<sub>2</sub>-koncentrationer inomhus (Christoffersen, 1996).

### 2.6.3 Fukt utomhus

Ånghalten inomhus kan beräknas med hjälp av ekvation (3) där förändringen är momentan och ingen hänsyn tas till fuktbuffering (Nevander & Elmarsson, 2006). Ifall fuktproduktionen är lika med 0 kommer ånghalten inomhus vara lika stor som utomhus enligt ekvationen. I beräkning brukar ånghalten utomhus styra vart den initiala ånghalten inomhus startar på.

$$v_i = v_e + \frac{G}{nV}(1 - e^{-nt}) \quad (3)$$

$v_i$  = ånghalt inomhus,  $g/m^3$

$v_e$  = ånghalt utomhus,  $g/m^3$

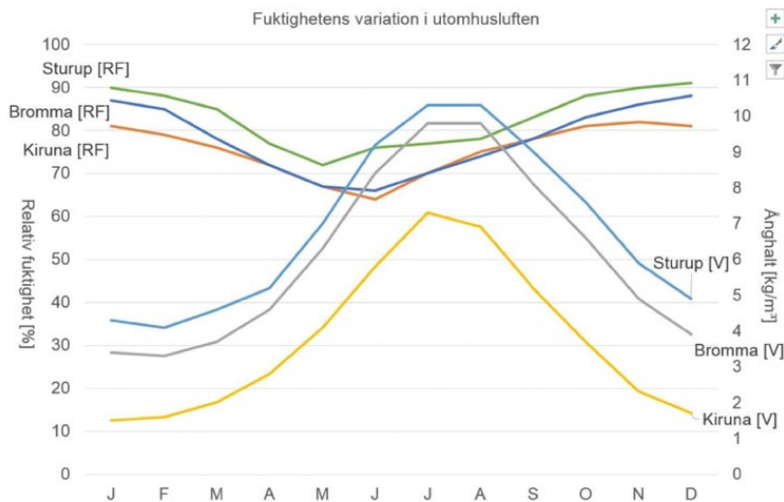
$G$  = fuktproduktion,  $g/s$

$n$  = luftomsättningar per tidsenhet,  $s^{-1}$

$V$  = ventilerad rumsvolym,  $m^3$

$t$  = tiden,  $s$

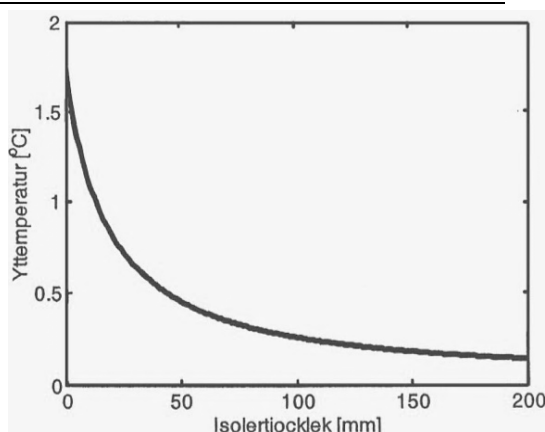
I simuleringsdelen kommer flera orter att studeras. Orterna ligger i olika delar av landet och deras relativa fuktigheter framgår av figur 6 (Sidenqvist & Ternstedt, 2014).



Figur 6 Visar RF- och ånghaltsvariationer under ett normalår (Sidenqvist, Ternstedt 2014).

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

Risken för mikroorganismers tillväxt är stor även på utsidan av väggen. I en studie utförd av Kellner, J. & Ström, B. (2001) har yttemperaturen på fasaden mätts i en tegelvägg som bestod av 100 mm betong, varierande isolering samt tegelfasad. I undersökningen har man ställt in så att inomhus temperaturen är lika med 22 °C och har mätts då utomhustemperaturen var lika med 0 °C. Resultatet av mätningarna redovisas i figur 7 och visar att värmegenomsläpplighet minskar med ökad isoleringstjocklek vilket kan öka risken för tillväxt ifall fasaden innehåller organiskt material (Kellner & Ström, 2001).



Figur 7 Visar yttertemperatur som funktion av isolertjockleken (Kellner & Ström 2001).

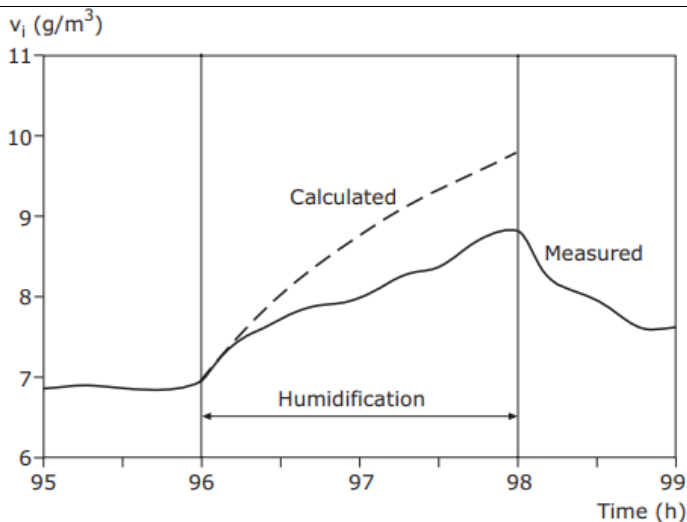
En annan faktor som påverkar tillväxt på utsidan av väggen är värmekapacitet hos de olika skikten i väggen. I en tung stomme som betong, med utvändig isolering, hinner inte yttemperaturen att följa med utomhustemperaturen vid snabb förändring på natten. Det innebär att yttemperaturen är högre under natten jämfört med en lätt stomme och därmed ger lägre RF. Om däremot väggen har lägre värmekapacitet kommer yttemperaturen att vara lägre än utomhustemperatur vilket innebär högre RF samt större risk för tillväxt (Kellner & Ström, 2001).

## 2.7 Fuktbuffering

Materialens fuktbuffering dämpar fuktvariationen i luften vid korta tidsskalor (timmar och dagar). Fuktbufferings delprocesser kallas för absorption och desorption. Absorption är upptagnings process medan desorption är motsatsen. Bufferingen sker i alla omgivande ytor som tak, golv, väggar och även i alla möbler och inredning. Hur mycket fukt som kan tas upp beror på ytmaterialet, materialen upptagnings- och avgivningsförmåga vid en given tidpunkt (Svennberg, 2006).

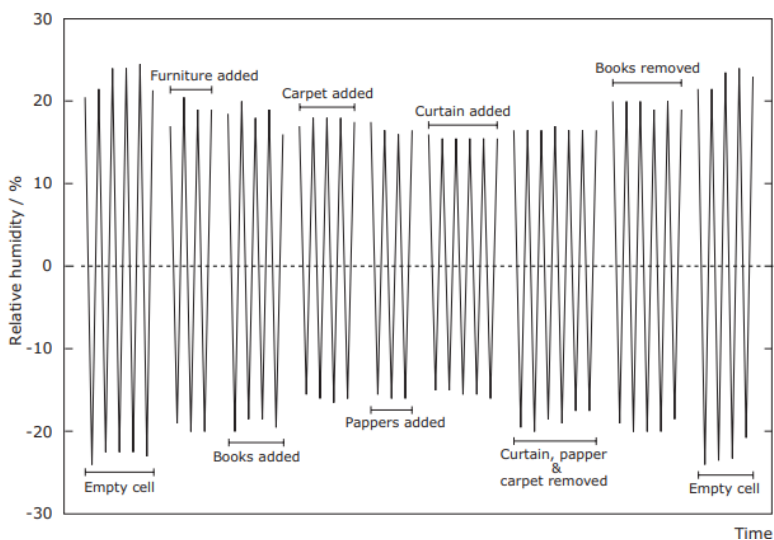
Hur fuktbufferingen påverkar fuktnivåerna har undersökts tidigare av Svennberg (2006) genom laboratorium och testmetoder. Svennberg (2006) kom fram till att den beräknade fuktnivån i inomhusmiljön översteg ofta den verkliga mätta nivån. Figur 8 redovisar skillnaden mellan den beräknade samt mätta fukthalten. Skillnaden anses bero på att man bortser i många fall av fuktbufferingen vid beräkningar. Ekvation 3 är en metod som vanligtvis används vid beräkning av fukt och som inte tar hänsyn till fuktbuffering (Svennberg, 2006).

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 8 Beräknade fuktnivå (streckad linje), och uppmätt fuktnivå. (Svennberg, 2006).

I en doktorsavhandling har Svennberg (2006) utfört olika experiment för fuktvariationer inomhus med olika möblering och inredning. Resultaten visar att det finns stor skillnad i fuktbufferingen mellan det fullt möblerade och det tomma testrummet. Man har konstaterat att med minskad möblering får man högre amplitud och därmed mindre fuktbufferingskapacitet, se figur 9.



Figur 9 Uppmätt relativ fuktighet i ett testrum med olika möblering (Svennberg, 2006).

För att kunna veta ungefärliga siffror av hur mycket fukt ett material buffrar bör mikroskopiska egenskaperna undersökas. Trä har en heterogen struktur och fuktupptagningshastigheten bestäms av hur fibrerna är orientering i förhållande till fuktkällan. Fuktupptagningshastighet är exempelvis 20 gånger snabbare parallellt med fibrernas riktning jämfört med tangentiell riktning. Dessutom delas trä in i barrträd och

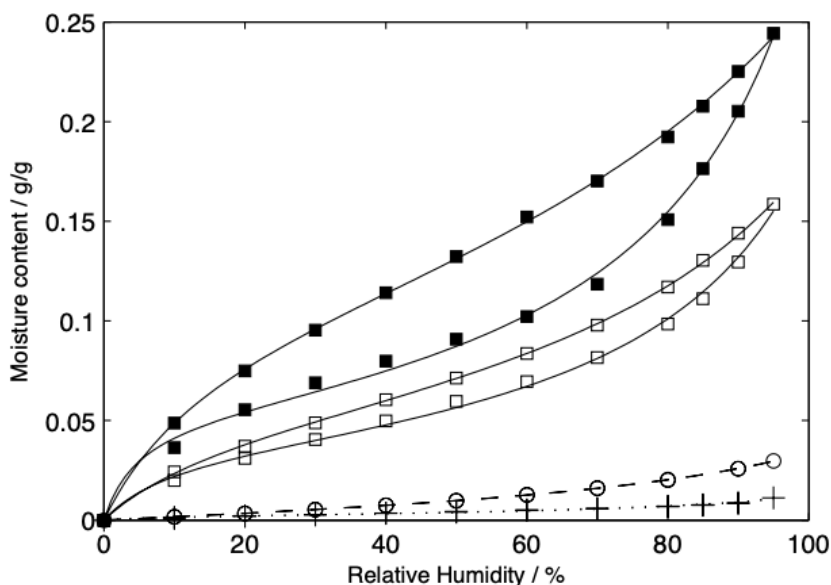
## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

lövträd som ofta har lägre fuktgenomsläpplighet än barrträd. Även ytbeläggning av träprodukter och andra material påverkar fuktbuffring och upptagningshastighet. Ytbeläggningar inomhus kan variera från glesa och diffusionsöppna till tjocka och diffusionstäta behandlingar, där diffusionsöppna material buffrar mer fukt (Svennberg, 2006).

Textiler har en struktur som ger materialen lägre densitet och vikt samt en högre fuktbuffrande förmåga än till exempel trä. På grund av det har textiler större påverkan på fuktbuffringen inomhus än motsvarande volym med träbaserade produkter. Dessutom utgör textilmattorna på golvet en av de viktigaste livsmiljöer för dammkvalster som orsakar flera allergier (Svennberg, 2006).

Slutsatsen är att materialens fukttegenskaper och påverkan av exempelvis ytbeläggningar måste studeras för att få en bra beskrivning av fuktbuffringsförmågan på insidan av klimatskalet (Svennberg, 2006).

Svennberg (2006) undersökte sorptionsisotermerna för vanliga möbler i skandinaviska inomhusmiljöer och tog fram data på hur mycket olika material buffrar i förhållande till klimatet. Resultat av experimenten redovisas i figur 10 och kommer att användas senare för simulering i WUFI.



Figur 10 Sorptionsisotermerna för 100% ulltyg (■), 100% bomullssängkläder (□), 100% polyestertyg (○) och vanlig polyeterskum (+) (Svennberg, 2006).

## 2.8 Stationära/icke-stationära beräkningar

I stationära beräkningar tas inte hänsyn till variationen i värme- och fuktförhållande över tid. Vid enklare beräkningar av inomhusånghalt används ekvation (3). Ekvationen är icke-stationär trots att fuktproduktionen är konstant över tiden  $t$  men det är en förenkling av verkligheten då den inte tar hänsyn till att fuktproduktionen kan variera under beräkningsperioden. Ekvationen kan användas när fuktproduktions variationen är liten och försumbar under beräkningsperioden. Samma resonemang gäller för avdunstning av växter och odlingar då de beror på hur mycket vi vattnar. Ifall vi vattnar mer kommer avdunstning av odlingar att vara mer. Fuktproduktionen kan därmed variera beroende på platsen, i till exempel våtrum är det större fuktproduktion jämfört med kontorsrum. Men rumsvariation spelar mindre roll ifall man studerar en större lokal på grund av att det alltid sker luftombyte mellan rummen och ånghalten jämnas ut i luften (Nevander & Elmarsson, 2006)

Parametrarna som påverkar fuktnivåer inomhus som har beskrivits tidigare, måste inkluderas vid beräkning av fuktnivåer. Det innebär att simuleringen av fuktförhållanden i byggnader måste baseras på en fuktbalans. Svennberg (2006) har tagit fram ett uttryck för ändring i fuktinnehåll som kan ställas upp enligt ekvation (4), luftens temperaturberoende volymändring försummas.

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{\sum G_{ms} - \sum g_{mbj} A_{sj} - q(v_i - v_e) - \beta_v(v_i - v_{ss}) A_c}{V} \quad (4)$$

$$\frac{dv_i}{dt} = kg/(m^3 s)$$

$G_{ms}$  = fukttillskott, kg/s

$g_{mb}$  = fuktbuffring i material  $j$ , kg/( $m^2 s$ )

$A_{sj}$  = area för material  $j$ ,  $m^2$

$q$  = ventilationsflöde,  $m^3/s$

$v_i$  = ånghalt inomhus,  $g/m^3$

$v_e$  = ånghalt utomhus,  $g/m^3$

$\beta_v$  = fuktöverföringskoefficient, m/s

$v_{ss}$  = mättnadsånghalt vid ytan,  $kg/m^3$

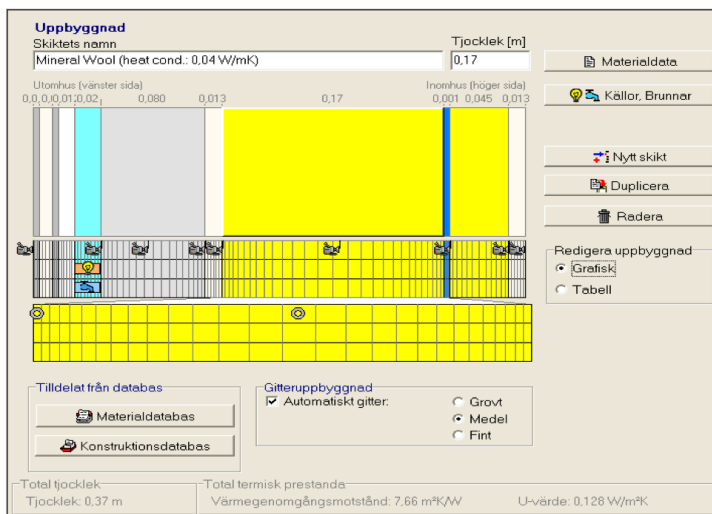
$A_c$  = kondensarea,  $m^2$

Fukttillskottet,  $G_{ms}$ , antas bestå av två delar. Den ena är från konstant tillförsel som kommer exempelvis från växter, människor, husdjur och temporära kan vara matlagning, tvätt och bad.  $g_{mb}$  är däremot termen som tar hänsyn till fuktbuffring i studerat område. Resterande termer tar hänsyn till luftflödet och skillnaden mellan fukt i till- och frånluften (Svennberg, 2006).

## 2.9 Icke-stationära beräkningar i Wufi+

Fuktnivån i ett rum beror på en kombination av en mängd olika faktorer och hur dessa parametrar ändras med tiden. Därför bör en icke-stationär beräkning tillämpas. Icke-stationära beräkningar innebär att värme- och fuktförhållande varierar över tid. Wufi+ är ett datorprogram som är framtaget av Fraunhofer IBP, Institute for building physics, och som utför icke-stationära endimensionella beräkningar för värme och fukt i konstruktioner (Lengsfeld & Holm, 2020).

Vid beräkning av fukthalten i WUFI+ konstrueras varje konstruktion i klimatskalet var för sig för att i slutändan bilda en hel byggnad. Programmet tar hänsyn till variationen av flera parametrar i uteklimatet såsom fukt och värme, samt fuktproduktion (av människor) inomhus, ventilationsluften, läckage och eventuell fuktåtervinning i systemet kan modelleras. Fördelen med programmet är att man kan lägga till en observationspunkt (kamera) i varje skikt för att kontrollera temperaturen och fuktigheten i konstruktionen med inmatade indata, se figur 11 (Fredriksson & Svensson 2009).



Figur 11 Konstruerad yttervägg med olika placering av kameror (Fredriksson & Svensson 2009).

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

Den svenska versionen av Wufi+ har utvecklats i samarbete med Lunds tekniska högskola och innehåller materialdatabas från flera källor. I vissa fall saknas material i databasen och då kan man bygga upp egna material. Indata för fuktegenskaper för materialen kan hämtas från tidigare experiment och sedan tar Wufi fram funktioner. I simuleringen har materialdata för fuktbuffring tagits ur Svenbergs doktorsavhandling (Svennberg 2006), se figur 10. Fuktegenskaper som ingår i Wufi är fuktbuffringsfunktion, vätsketransportkoefficient, fuktberoende värmeledningsförmåga och diffusionsmotstånd, se figur 12 (Fredriksson & Svensson 2009).

Skikt/ Materialdata

Skikt/Materialnamn Skikt1

Materialdata Info-text

**Basvärde**

Skrymdensitet [kg/m <sup>3</sup> ]	
Porositet [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	
Specifik värmekapacitet torr [J/kgK]	
Värmeledningsförmåga torr [W/mK]	
Diffusionsmotstånd för vattenånga [-]	

**Approximationsparameter**

Referens-vatteninnehåll [kg/m <sup>3</sup> ]	
Fri vattenmättnad [kg/m <sup>3</sup> ]	
Vattenabsorptionskoefficient [kg/m <sup>3</sup> *0.5]	
Fuktberoende värmeledn. Tillägg [%/M.-%]	

Typisk byggfukt [kg/m<sup>3</sup>]

Färg Skikt-tjocklek [m]

**Fuktekniska egenskaper**

Fuktlagrningsfunktion

- Vätsketransportkoefficient Suction
- Vätsketransportkoefficient Omfördelning inte definierat
- Värmeledningsförmåga, fuktberoende
- Diffusionsmotstånd för vattenånga, fuktberoende

Grafisk: Redigera tabell från fil ...

Approximativ

Nr.	RF [-]	Vatteninnehåll [kg/m <sup>3</sup> ]
1	0	0

Ny

Ta bort

Kopiera

Infoga

Copy

Överför till databas

OK

Avbryt

Hjälp

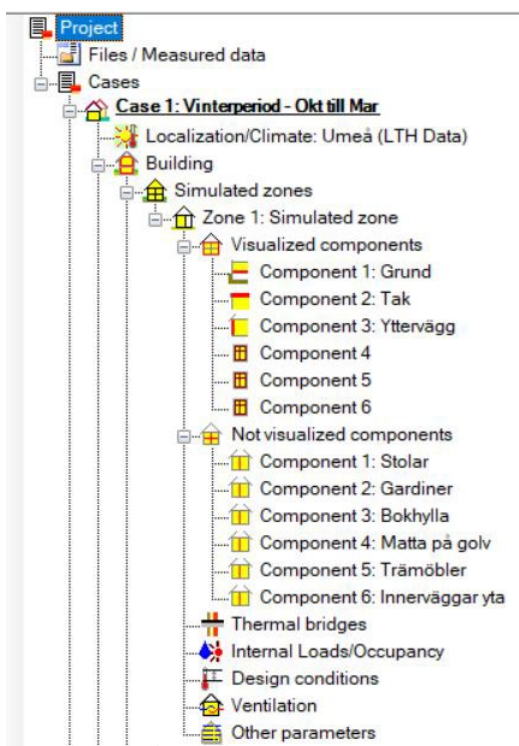
Figur 12 Materialdata för gardiner. (Fredriksson & Svensson 2009).



## 3 Metod

### 3.1 Genomgång av Wufi

Datorprogrammet, WUFI+, användes på grund av att den kan utföra icke-stationära beräkningar för en hel byggnad. I programmet finns det även möjlighet att ställa in inomhusklimatet och andra byggnadsrelaterade parametrar. Parametrar som kan justeras är inomhustemperatur, ventilation, fuktproduktion, fuktåtervinning, luftläckage med mera. Dessutom kan byggnadens orientering och ort väljas för att få rätt utomhusklimat. Programmet bedömdes vara ett lämpligt verktyg för ändamålet. Figur 13 är ett utdrag ur Wufi:s meny där inställningar görs, vilka förklaras nedan. Endast funktioner som har använts kommer att nämnas, dock finns det många fler.



Figur 13 Uppställning av indatafunktioner. (WUFI+)

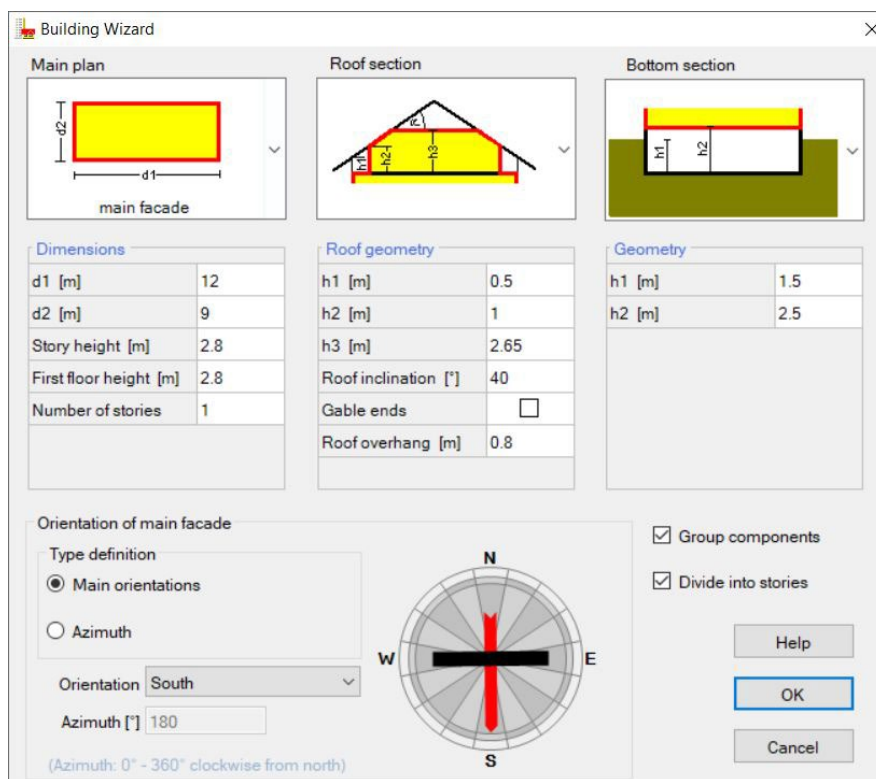
#### - Localization/Climate

I funktionen väljs var i världen byggnaden ska vara placerad och vilken klimatfil som ska användas. I Wufi finns orter för Sverige med förinställda klimatfiler där data är framtagen vid LTH, Lunds universitet. Klimatfilen är konstruerad som typvärden under perioden 1995 – 2005, dock har inga extrema väderperioder tagits med.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

### - Building

I denna flik sätts byggnads yttermått samt geometri. Orientering kan bestämmas, se figur 15.



Figur 14 Inställningar som kan göras för byggnadens geometri. (WUFI+)

### - Simulated zone

Simulerad zon ställer in hur många zoner som byggnaden ska delas in i där simulering ska ske.

### - Visualized components

Här bestäms alla synliga komponenter – väggar, grund, tak, fönster och dörrar.

### - Not visualized components

Funktionen kan användas för att konstruera exempelvis mellanväggar eller möbler som finns i byggnaden. Som namnet tyder syns inte dessa men de kommer att vara med och påverka simuleringen.

### - Thermal bridges

Aktuella köldbryggor tas med här.

- **Internal loads**

Inre laster i byggnaden som exempelvis fuktproduktion, värmelaster, koldioxidproduktion, aktivitetsnivå hos människor.

- **Design conditions**

Här ställs villkoren in för temperatur och relativ fuktighet.

- **Ventilation**

Flödet på ventilationen och under vilka tider samt dagar den ska vara aktiv.

- **Other parameters**

Här ställs ett startvärde in på temperatur och relativ fuktighet.

## 3.2 Uppbyggnad beräkningsmodell

- **Localization/Climate**

En aktuell klimatfil för år 2021 hämtades från SMHI:s databas i Umeå för att få en korrekt beräkningsmodell för jämförelse. Klimatfil från WUFI+ användes senare i studien när olika fall studeras.

- **Building**

Byggnadens geometri och mått hämtades från befintliga A-ritningar, vilka är beskrivna i bilaga A och B.

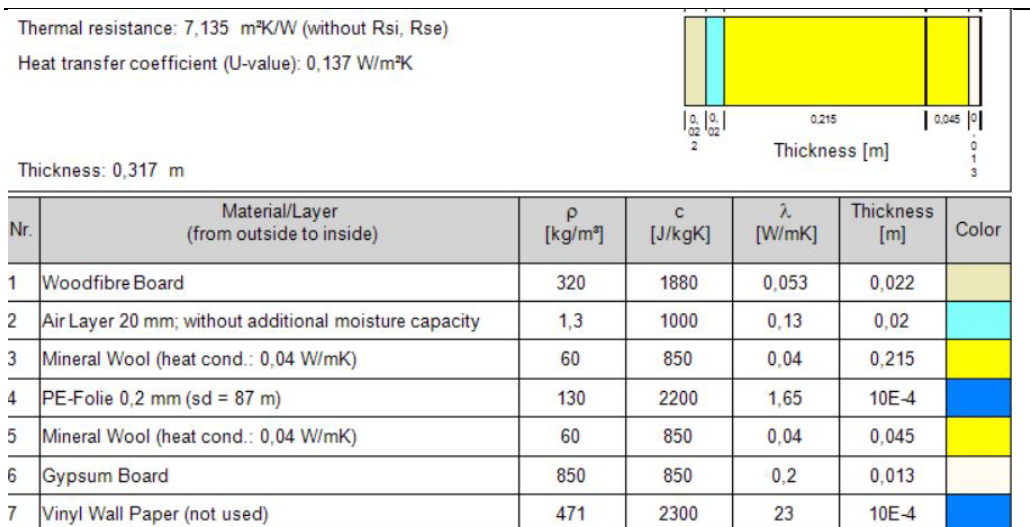
- **Simulated zone**

Eftersom mätningar utfördes i huvudaggregatet i byggnaden valdes hela kontoret som en zon, där hela den invändiga arean ingick.

- **Visualized components**

Konstruktionen byggdes upp med hjälp av K-ritningar över byggnaden. Ingående material och tjocklekar från ytterväggar, tak, samt grund hämtades in till Wufi. I figur 15 redovisas hur ytterväggen ser ut färdigmodellerad i Wufi. Konstruktioner för grund och tak är beskrivna i bilaga C.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 15 Uppbyggnad av yttervägg. (WUFI+)

Efter att alla byggnadens olika konstruktionsdelar konstruerats samt dörrar och fönster ritats in bildas en sammansatt byggnadsmodell i 3D, se figur 17. Ingen detaljerad information lämnades kring dörrarna eller fönster, varför en standard 3-glasfönstermodell har valts.



Figur 16 3D-Skiss över beräkningsmodell (WUFI+)

### Not visualized components

Innerväggarnas konstruktion har byggts upp enligt K-ritningar som icke visuella komponenter likt ytterväggarna. Innerväggar består antingen av stål- eller träreglar med gipsskivor på båda sidor samt mineralull emellan. Total väggarea hämtades från planritningen. Vidare modellerades möbleringen med hjälp av inskickade bilder från kontorets personal, se figur 18 till 20.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

---



*Figur 17 Fotografi från ett kontorsrum. Bild tagen av personal.*

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



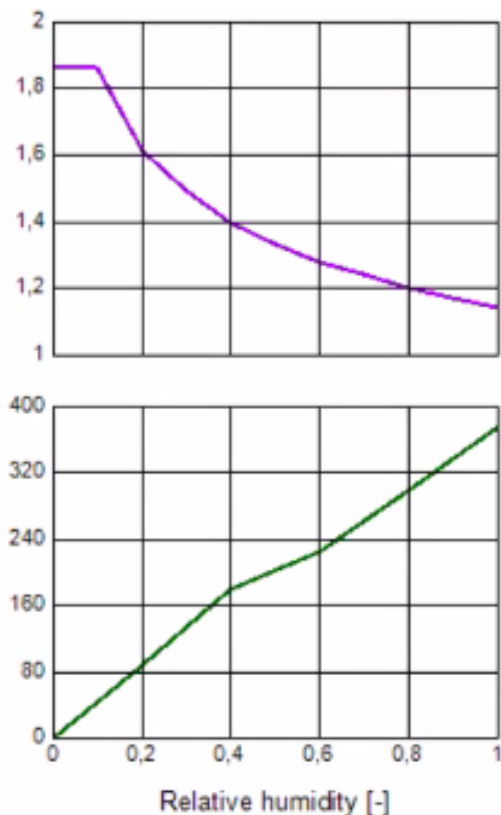
*Figur 18 Fotografi från konferensrummet. Bild tagen av personal.*



*Figur 19 Fotografi från ett kontorsrum. Bild tagen av personal.*

Från bilderna observerades möbler och ytskikt. Särskild iakttagelse gjordes på möbler som bedömdes ha en fuktbuffrande förmåga, och dessa delades upp i 5 komponentgrupper: stolar, gardiner, matta på golv, trämöbler och pappersbuntar.

Varje komponent konstruerades för sig där material och tjocklek valdes. Egenskaper för många material finns tillgängliga i Wufi:s materialdatabas. Materialen som saknades i materialdatabasen ställdes in manuellt vilket gjordes med hjälp av information från litteraturstudien. Alla komponenter har byggts upp på samma sätt fast med olika valda material. I detta fall redovisas endast hur komponenten stolar byggdes upp. Från bilderna på kontoret antogs stolarna bestå av ylletyg (sorptionskurva enligt figur 10 i avsnitt 2.7). Relevanta materialegenskaper för studien är fuktmotstånd och fuktkapacitet som för ulltyg redovisas i figur 20. Värden för fuktmotståndet har använts från ett liknande material som bedömts vara Cellulosa-isolering.



Figur 20 Uppbyggda materialdata för ulltyg/stolar.

Storleken på en stol har uppskattats till 50x50 cm för sitsdelen och ryggdelen och tjocklek uppskattas till 3 cm. Antalet antogs vara 3 stolar i kontorsrummen och 12 i konferensrummet. Total area för alla stolar blev 15 kvm. Med dessa värden byggdes

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

komponenten upp. Resterande komponenter uppskattades på liknande sätt och redovisas i tabell 3. Mer detaljerad beskrivning samt figurer för sorptionskurva och fuktmotstånd finns i bilaga D. Areaberäkning för innerväggar finns i bilaga F.

Tabell 3 Redovisar uppskattade areor för möblering/inredning.

	Area [m <sup>2</sup> ]	Antal [st]	Total area [m <sup>2</sup> ]	Tjocklek [cm]
Innerväggar	120	2	240	12,2
Stolar	0,5	30	15	3
Gardiner	6	10	60	1
Trämöbler	7	7	50	3
Matta på golv	170	1	170	1
Pappersbuntar	0,063	210	14	5

### - Thermal bridges

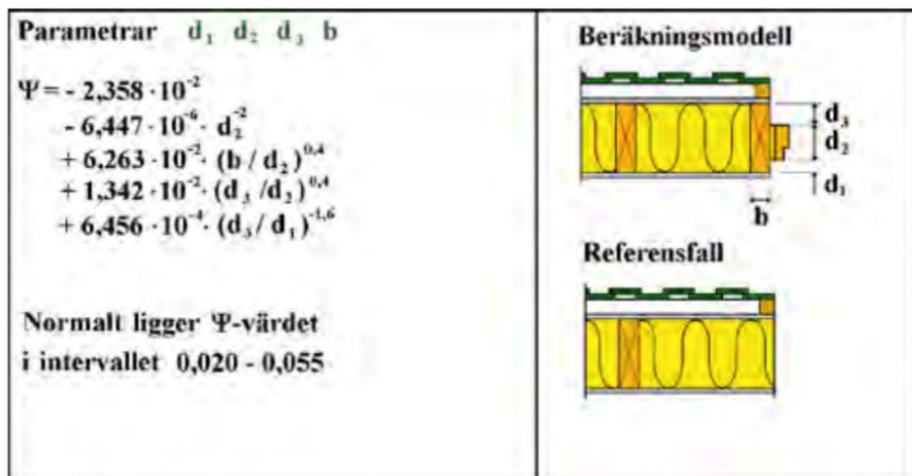
För köldbryggorna har måtten uppskattats med hjälp av inskickade bilder från Swegon. I köldbryggorna ingår alla inredningar och konstruktionsdelar som anses läcka extra värme exempelvis dörr- och fönsterkarm, hörn vid takfot och ytterväggshörn. Dessutom har  $\Psi$ -värden för köldbryggorna antagits enligt normalvärden från Swedisol, se figur 21–23 eller sammanställning i tabell 4.

Tabell 4 Uppskattade längder för köldbryggor samt  $\Psi$ -värden.

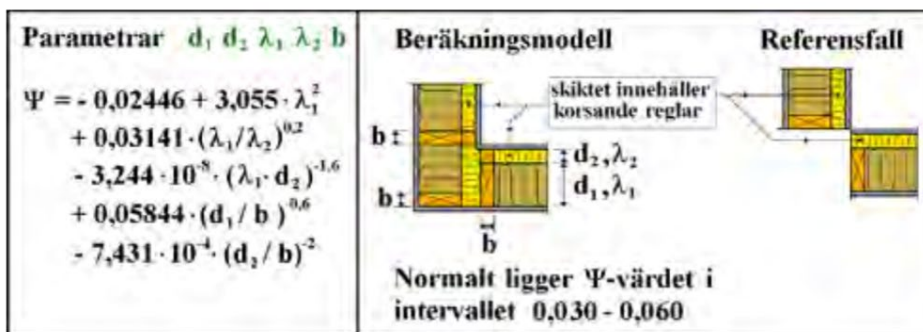
Konstruktion/inredning	$\Psi$ -värden [W/mK]	Längd [m]
Runt fönster och dörrar	0,037	64
Hörn vid takfot	0,022	54
Ytterväggshörn	0,045	10



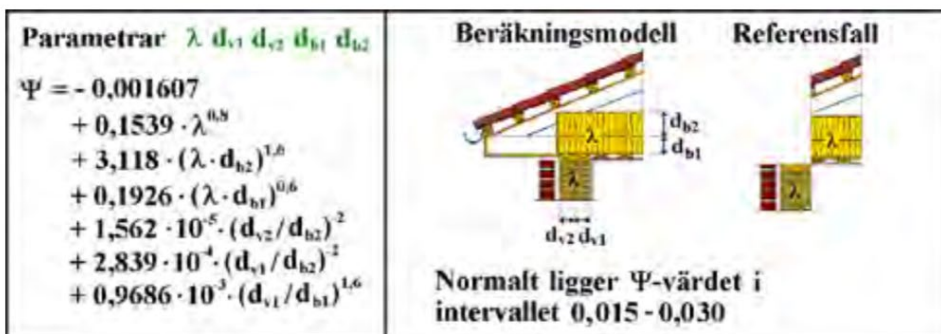
Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 21 Träregelvägg med träfasad. Köldbrygga vid fönster eller dörr. (Swedisol)



Figur 22 Vertikalt ytterväggshörn. Träregelvägg med bärande regler på utsidan. (Swedisol)



Figur 23 Yttervägg i trä/bjälklag i trä. (Swedisol)

#### - **Internal loads**

Aktuella inre laster för studien är laster som tillför fukt i byggnaden. Fuktproduktion från personal samt den aktiva tillförseln av fukt genom ventilationen är poster som ställdes in. I detta fall antogs normala arbetstider ligga mellan klockan 08.00-16.00 på vardagar. Under denna tid valdes en fuktproduktion per timme som motsvarar 8 kontorsarbetande personer.

Den aktiva befuktningen befuktar tilluften med hjälp av en vattentank. Volymen i tanken avlästes varje dag på morgonen samt fylldes på av Swegons personal. Hur mycket vatten som minskat i tanken är den totala mängden som tillförts under gårdagen. I Wufi ställdes detta värde in jämnt fördelat under dagen som en fuktproduktion per timme mellan 08.00 och 16.00. Varje dag ställdes in för sig.

Värmelaster bortses helt ifrån, förklaring finns nedan under ”Design conditions”.

#### - **Design conditions**

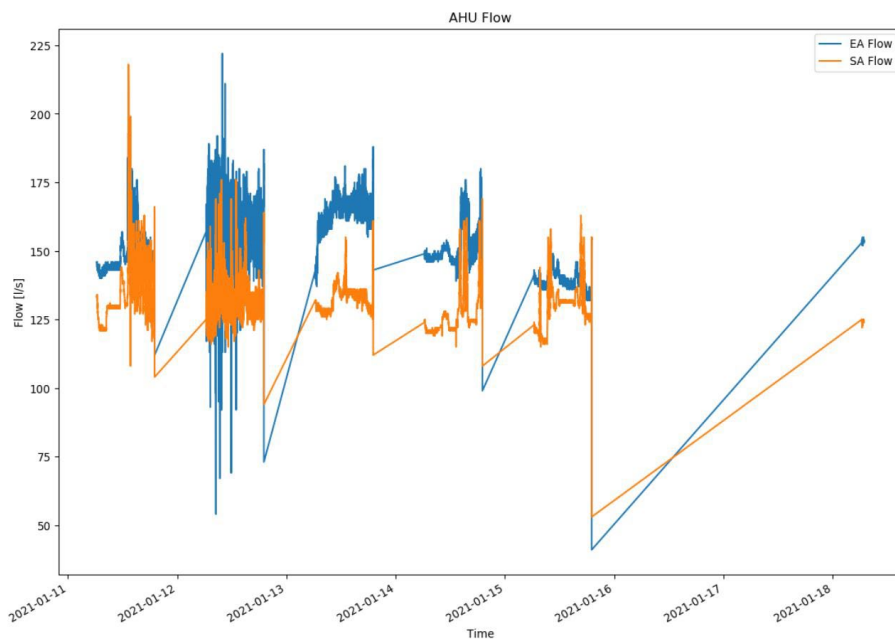
Temperaturen inomhus varierade mellan 21 och 24 grader enligt uppmätt data. Eftersom det var komplicerat att ställa denna för att exakt efterlikna uppmätta värden valdes en konstant temperatur på 21 grader. Beräkningar ansågs ligga på den säkra sidan därför att en lägre temperatur ger högre värden på relativ fuktighet. Eventuella värmelaster kan inte påverka denna inställning.

Inställningar för den relativa fuktigheten lämnas orörd och det är det värdet som ska beräknas genom simuleringen. Dessutom är koldioxidhalten irrelevant för studien och inga inställningar görs för den.

#### - **Ventilation**

Flödet på ventilationen ställdes in enligt uppmätta värden från kontorets huvudaggregat. Det flödet anger det totala flödet för hela byggnaden och redovisar värden endast då aggregatet är i gång, vilket är mellan 06.00 och 19.00 vardagar. Möjlighet finns i Wufi att ställa in vilka dagar samt tider som ventilationen ska vara i gång.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

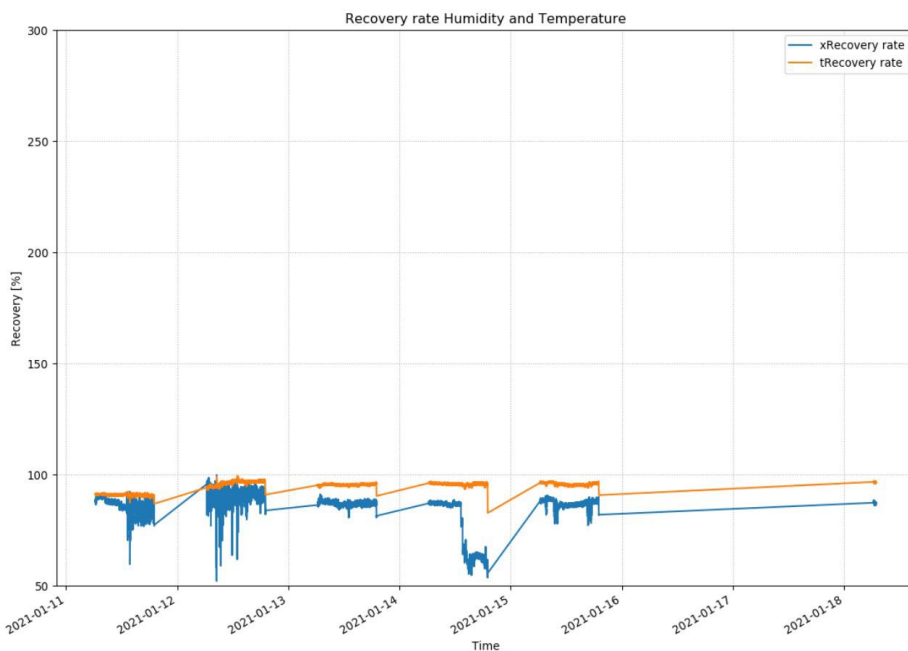


Figur 24 Ventilationsflöde för första veckan, där EA är (frånluft) Extract Air och SA är tilluft (Supply Air).

Ett genomsnittligt värde på flödet uppskattades för att förenkla uppställningen, vilket för den första veckan blev 135 l/s, se figur 24. Ett nytt genomsnittsvärde användes för varje vecka. Flödet under resterande veckor låg omkring 135-145 l/s.

Aggregatet som används i byggnaden återvinner fukt, vilket innebär att fukt i frånluften växlas till tilluften. Värdet på fuktåtervinning mäts kontinuerligt. Ett genomsnittsvärde uppskattades från grafen och ställdes in, vilket för den första veckan sattes till 87 %. De resterande veckorna var nivån ungefär densamma. Figur 25 visar hur mätdata ser ut för en vecka.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 25 Uppmätta värden på återvinning. *xRecovery rate* är fuktåtervinning och *tRecovery rate* är värmeåtervinning

### - Other parameters

Starttemperatur inomhus valdes till 21 grader. Startvärde på relativ fuktighet inomhus valdes till 23 %.

## 3.3 Justering av indata

I indatan ingår mätdata för inneklimatet under perioden då aktiva uppfuktningen görs. Mätvärden som är relevant för jämförelse är den relativa fuktigheten inomhus. Denna jämfördes med beräknade värden från beräkningsmodellen. Resultatet av den relativa fuktigheten inomhus i modellen skulle stämma överens med den uppmätta för att få en pålitlig grundmodell som vidare beräkningar och analyser kan utföras på. Jämförelsen redovisas i avsnitt 4.1.

I praktiken har olika tester i grundmodellen utförts med syfte att förstå förhållande mellan olika parametrar och vilken inverka de har på fuktnivån. När exempelvis amplituden på RF-nivåerna inte stämde överens med mätresultat justerades den totala mängden fuktkapacitet. Kapaciteten var för hög i modellen. Succesivt provades olika värden och slutlig ändring blev att komponenten Matta på golv ändrades från 170 kvm till 10 kvm. Den stora ändringen i fuktkapaciteten ledde till en skillnad på endast 2–3% i RF-inomhus. Dessutom har många andra försök/ändringar gjorts i hopp för bättre resultat, men ingen märkbar ändring förutom ovannämnda angående fuktkapaciteten gjordes.

Beräkningsmodellen bedömdes stämma tillräckligt bra med uppmätta verkliga värden, samt ansågs inga fler justeringar rimliga att göra. Modellen kunde börja användas för vidare analys och simuleringar.

### **3.4 Uppställning av olika fall samt simuleringar**

För att få svar på frågeställningarna utfördes olika fall av simuleringar i strukturerad ordning. Det första namngavs till ”normalfall”, och är en simulering i Umeå där klimatfilen är ändrad till en innehållande typvärden för väderdata under perioden 1995 till 2005. I samtliga nya fall/simuleringar görs önskade ändringar med utgångspunkt från normalfallet.

Simuleringsperioden valdes att vara under vinterhalvåret, från första oktober till sista mars. Det är under den perioden som ånghalten utomhus är låg och en aktiv befuktning inomhus kan vara aktuell. En längre period kommer ge ett svar som ligger på den säkra sidan ifall befuktningen utföres en kortare period.

Vidare provades 3 nya fall med ett tillsatt luftläckage i ytterväggen. Detta skulle efterlikna ett läckage genom fuktspärren vilket ökar fukttransporten genom väggen. Tre olika storlekar på luftläckaget testades: 0, 0.1, samt 0.5 oms/h mellan rumsluften och luften i väggen.

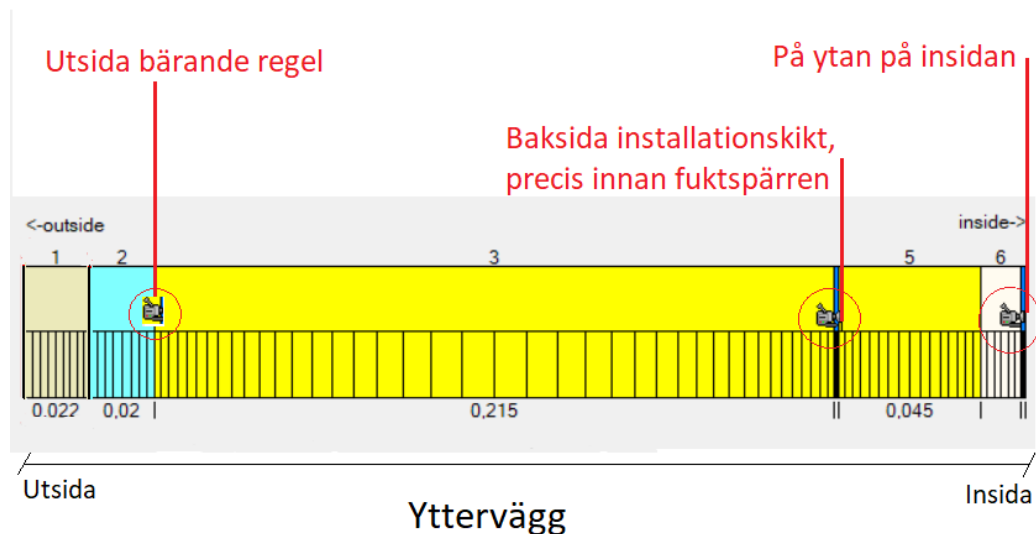
För att studera hur fuktkapaciteten/fuktbufferingen påverkar förloppet justerades den totala arean hos alla inomhus komponenter. Två fall testades: en med halverad fuktkapacitet i byggnaden samt en med alla komponenter borttagna.

I nästkommande 3 fall ändrades klimatfilen till Kiruna, Stockholm respektive Malmö för att ge förståelse för hur olika platser påverkade resultatet. Kiruna är ett nordligare ställe än normalfallet (Umeå), och Stockholm samt Malmö är två sydligare platser.

I ett sista fall provades hur resultatet skulle bli om ventilationen är i drift efter klockan 19.00 (normal avstängningstid) men till ett reducerat flöde som motsvarar 10% av det dagliga genomsnittet. Fuktåtervinningen stängdes av helt.

I Wufi finns möjlighet att sätta en kontrollpunkt på en plats i någon konstruktion för att studera temperatur och luftfuktighet precis i den punkten. Placeringen av kontrollpunkten har valts beroende på vart risken för fuktproblem förmodas vara störst. Förutom i läckagefallen har alltid samma två positioner analyserats, på ytan på insidan av ytterväggen och precis innan fuktspärren/plastfolien sett inifrån. När läckage har tillagts har inställd kontrollpunkt varit på utsidan av den bärande regeln, eftersom denna punkt istället antogs bli den mest utsatta. Se figur 26 som visar punkterna. Den mest kallaste ytterväggen, väggen mot nordväst, har studerats.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 26 Placering av kontrollpunkter.

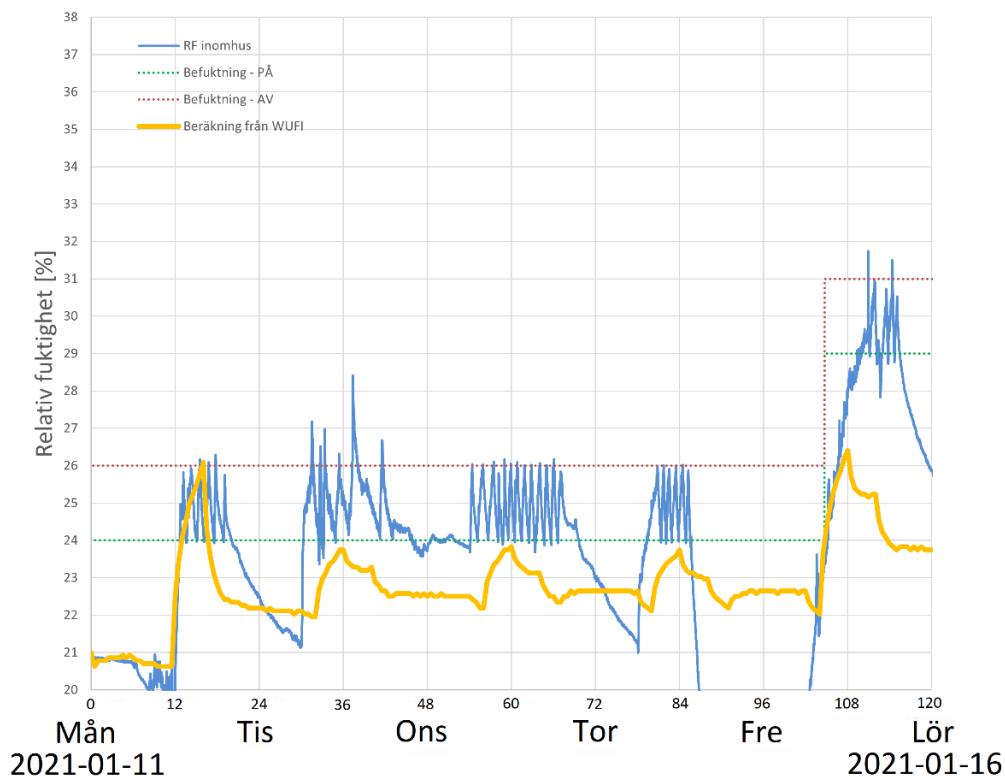
### 3.5 Bedömning av resultat

RF-nivåer i de valda kontrollpunkterna kontrollerades utifrån resultat av simuleringen. Resultatet visar i en graf hur RF nivån varierar under hela beräkningsperioden. Om RF-nivån aldrig översteg 70% bedömdes ingen fuktrisk vara aktuell. När RF-nivån passerade 70% kompletterades analysen med hjälp av Folos-diagram. Ett Folos-diagram visar om och när RF är högre än den kritiska nivån, vilken är då fukttillväxt är möjligt. Nivån beror på rådande RF och temperatur i varje tidpunkt. Vidare kontrolleras groningstid med hjälp av figur 3. Exempelvis vid 80% RF och 20 grader är groningstiden 8 dagar.

## 4 Resultat

Resultaten nedan presenteras med grafer vilka förutom verkliga mätvärden har beräknats fram i Wufi. Veckovis redovisas kontorets uppmätta RF-nivåer ihop med beräkningsmodellens simulerade RF-nivåer. Målet är att de simulerade veckorna i beräkningsmodellen ska efterlikna verkligheten för att få en trovärdig modell. Därefter redovisas resultaten från de olika simuleringsfallen.

### Jämförelse slutlig beräkningsmodell med mätning

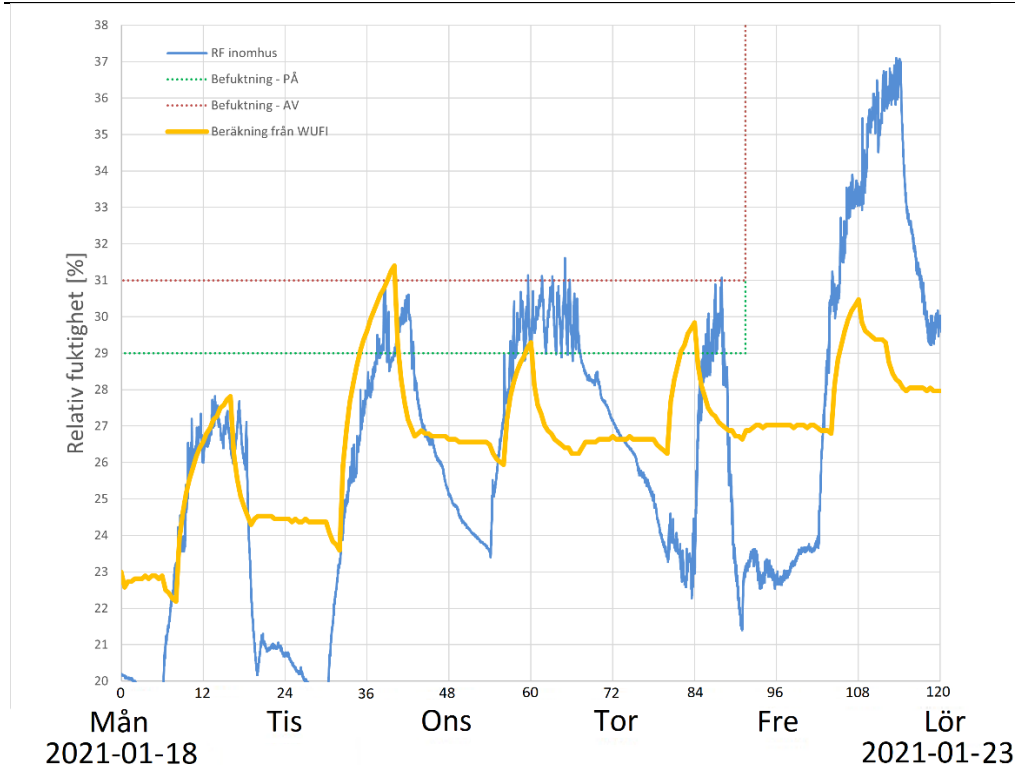


Figur 27 Jämförelse vecka 1. (blå linje) uppmätt RF av rumsluften i kontoret, (röd streckad linje) övre gräns för stopp av befuktningssystemet i kontoret, (grön streckad linje) nedre gräns för start av befuktningssystemet i kontoret och (orange linje) beräkning av RF från WUFI.

#### Observationer:

- Tisdag, onsdag och torsdag cirka 1 procentenhet lägre modell än verklighet.
- Svagt stigande trend.
- Stor uttorkning torsdag eftermiddag, kan bero på att någon öppnat ett fönster och vädrat.
- Fredag cirka 4 procentenheter högre, kan ha varit ett konferensmöte den dagen där fler personer vistades i kontoret än vanligt.
- I verkligheten håller kurvan en jämnare nivå under dagen.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



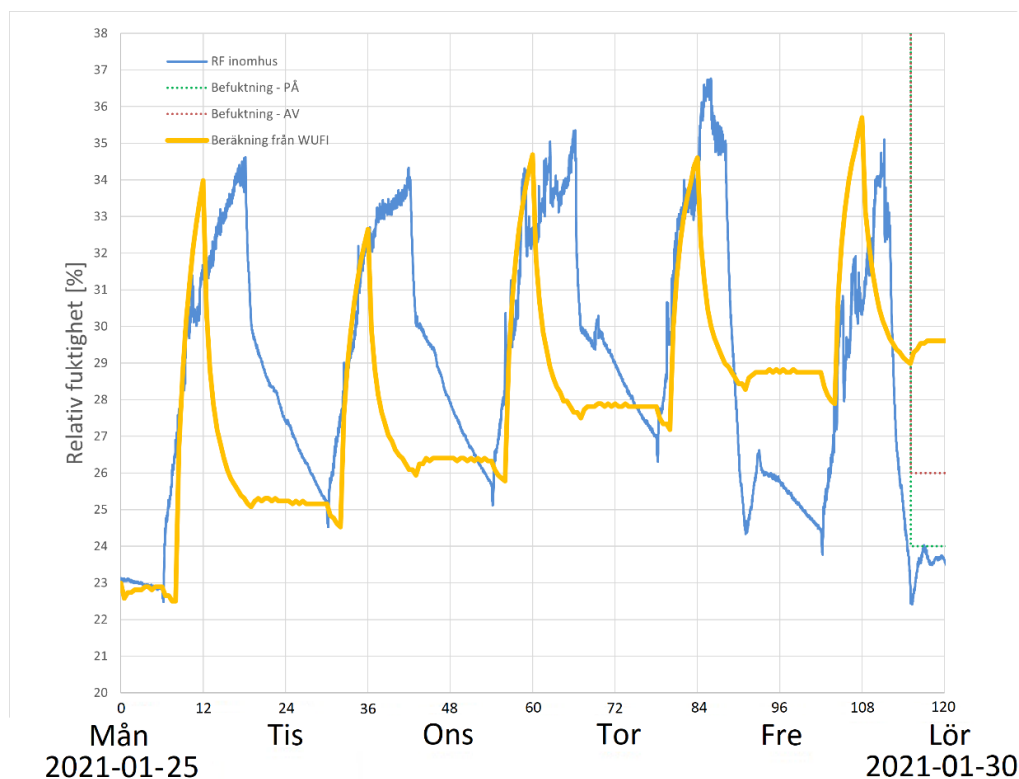
Figur 28 Jämförelse vecka 2: (blå linje) uppmätt RF av rumsluften i kontoret, (röd streckad linje) övre gräns för stopp av befuktningssystemet i kontoret (grön streckad linje) nedre gräns för start av befuktningssystemet i kontoret och (orange linje) beräkning av RF från WUFI.

### Observationer:

- Startvärdet på måndag är lägre än slutvärdet på fredag kväll tidigare vecka. Under lördagen och söndagen sker en uttorkning.
- Lägre startnivå varje dag i verkligheten.
- Fredag skiljer det maximala värdet med 6 procentenheter.
- Stigande trend.



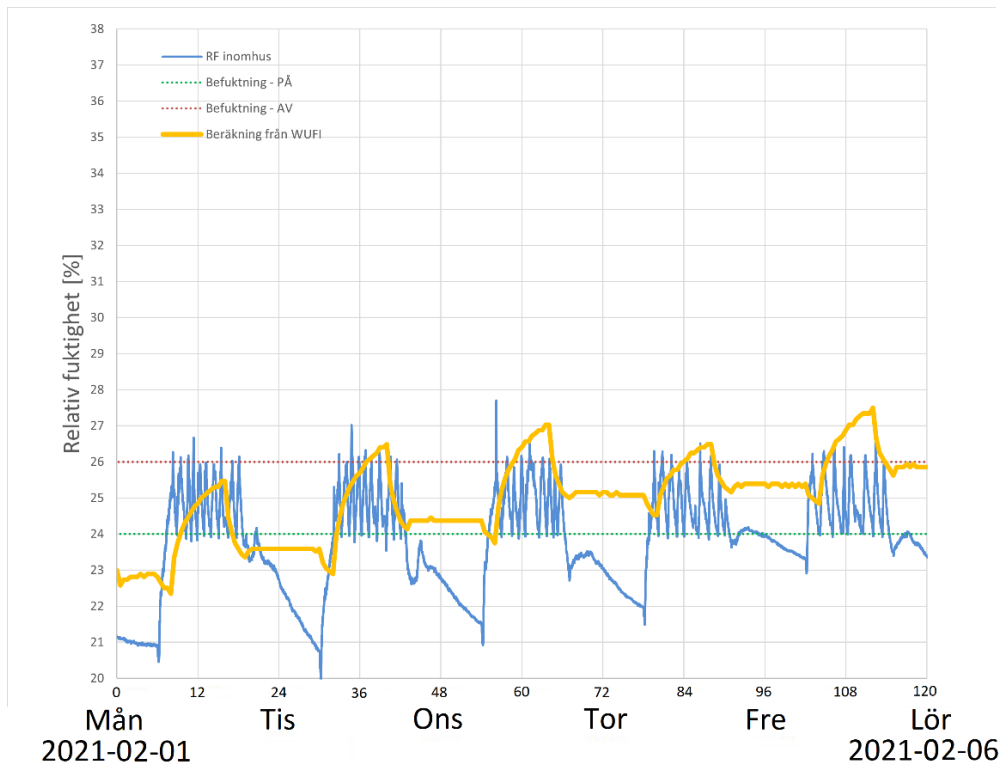
## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



### Observationer:

- Gränserna för start och stopp av befuktningsaggregatet ligger utanför diagram, 39 respektive 41.
- Uppåtgående trend av RF kan observeras i både mätning och simulering.
- Torsdag samt fredag eftermiddag sker en mycket högre torkning än vanligt. Enligt uppgifter från Swegon gjordes då ett test där fuktåtervinningen stängdes av efter 14.00, vilket förklarar resultatet.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

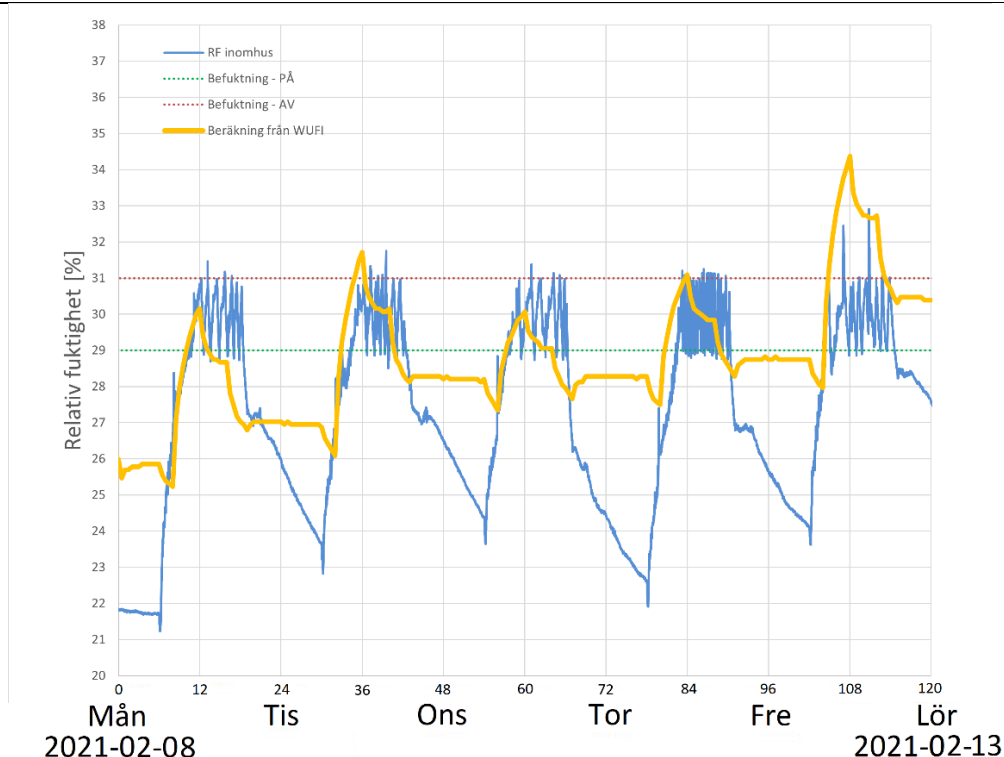


Figur 30 Jämförelse vecka 4: (blå linje) uppmätt RF av rumsluften i kontoret, (röd streckad linje) övre gräns för stopp av befuktningssystemet i kontoret, (grön streckad linje) nedre gräns för start av befuktningssystemet i kontoret och (orange linje) beräkning av RF från WUFI.

### Observationer:

- Svag uppåtgående trend.
- Lägre startnivå varje dag i verkligheten.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



Figur 31 Jämförelse vecka 5: (blå linje) uppmätt RF av rumsluften i kontoret, (röd streckad linje) övre gräns för stopp av befuktningssystemet i kontoret, (grön streckad linje) nedre gräns för start av befuktningssystemet i kontoret och (orange linje) beräkning av RF i WUFI.

### Observationer:

- Lägre startnivå varje dag i verkligheten.
- Uppåtgående trend.

Generellt över veckorna är dagarnas startvärde nästan alltid lägre i verkligheten än Wufi:s beräknade värde. Det beror mycket sannolikt på att den verkliga byggnaden har en ventilation (läckage) som ventilerar inomhusluften även då luftaggregatet är avstängt (under natten), medan beräkningsmodellen inte har detta.

Dock stämmer det maximala dagliga värdet bra överens alla dagar förutom två fredagar då det skiljde 4-6 procentenheter. Vidare simuleringar när kritiska nivåer eftersöks kan därför sägas vara trovärdiga.

## 4.1 Simulerade fall

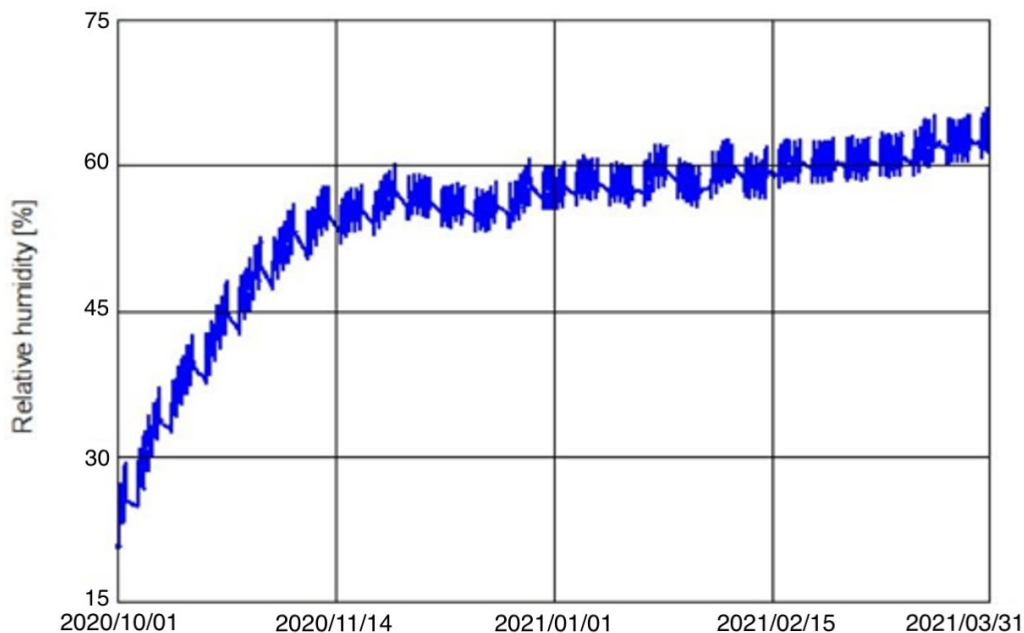
Uppställda fall redovisas i nedanstående ordning och en sammanställning av resultaten och övriga information om simuleringar redovisas i tabell 5–6 i kapitel 4.3.

Normalfallet är en simulering i Umeå med klimatfil innehållande typvärden för väderdata under perioden 1995 till 2005. Inget luftläckage finns och full möblering är satt. I övriga fall/simuleringar görs önskade ändringar med utgångspunkt från normalfallet. I avsnitt 3.4 förklaras vald uppställning mer ingående.

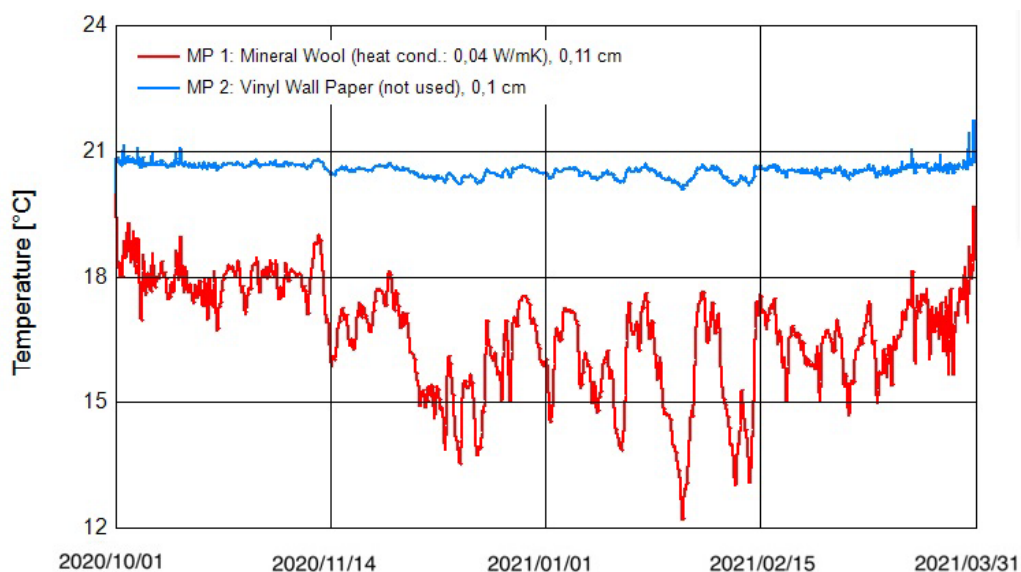
- 1. Normalfall Umeå
- 2 a. Luftläckage tillsatt med 0 oms. (Beräkningspunkt utsida bärande regel)
- 2 b. Luftläckage tillsatt med 0,1 oms. (Beräkningspunkt utsida bärande regel)
- 2 c. Luftläckage tillsatt med 0,5 oms. (Beräkningspunkt utsida bärande regel)
- 3. Minskad fuktkapacitet/möblering till 50 % respektive 0 %.
- 4. Tillsatt ventilation på övrig tid till 10 % av dagliga flödet. Ingen fuktåtervinning.
- 5 a. Ändrad klimatdata till Kiruna
- 5 b. Ändrad klimatdata till Stockholm
- 5 c. Ändrad klimatdata till Malmö

# Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

## 4.1.1 Fall 1 - normalfall Umeå

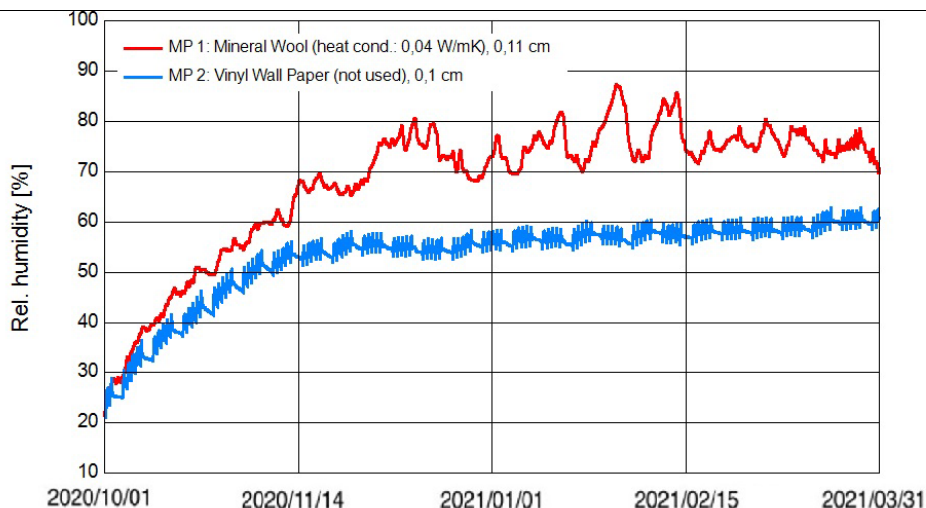


Figur 32 Relativa fuktigheten i kontoret när fuktproduktionen är 1100 g/h. Fuktproduktionen startar från och med 2020-10-01.

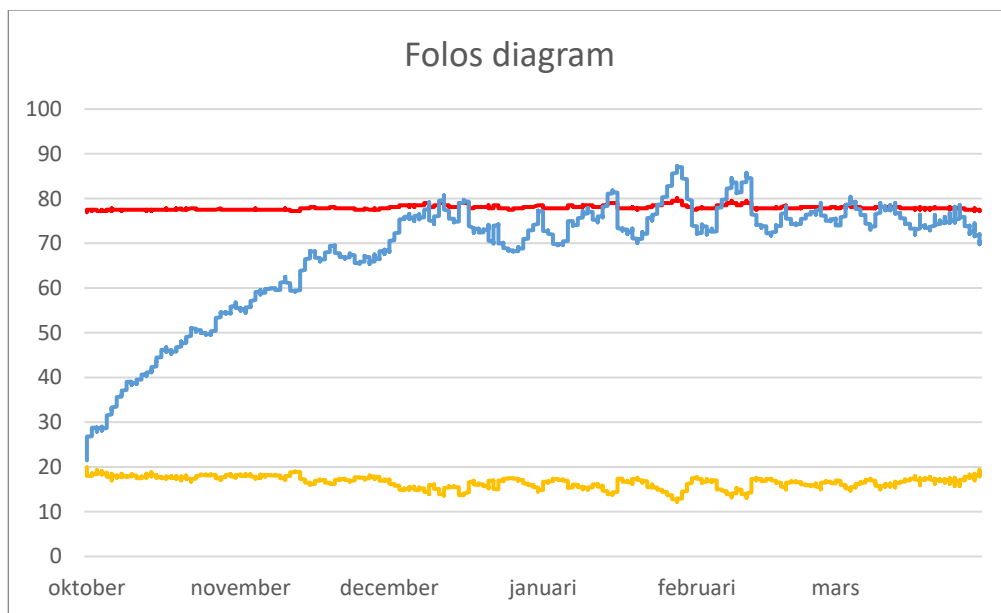


Figur 33 Temperaturvariationen i ytterväggen vid fuktproduktion 1100 g/h. MP 1 (röd) redovisar värden precis innan plastfolien. MP 2 (blå) redovisar värden på ytskiktet invändigt, för placering av mätpunkter se figur 26.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



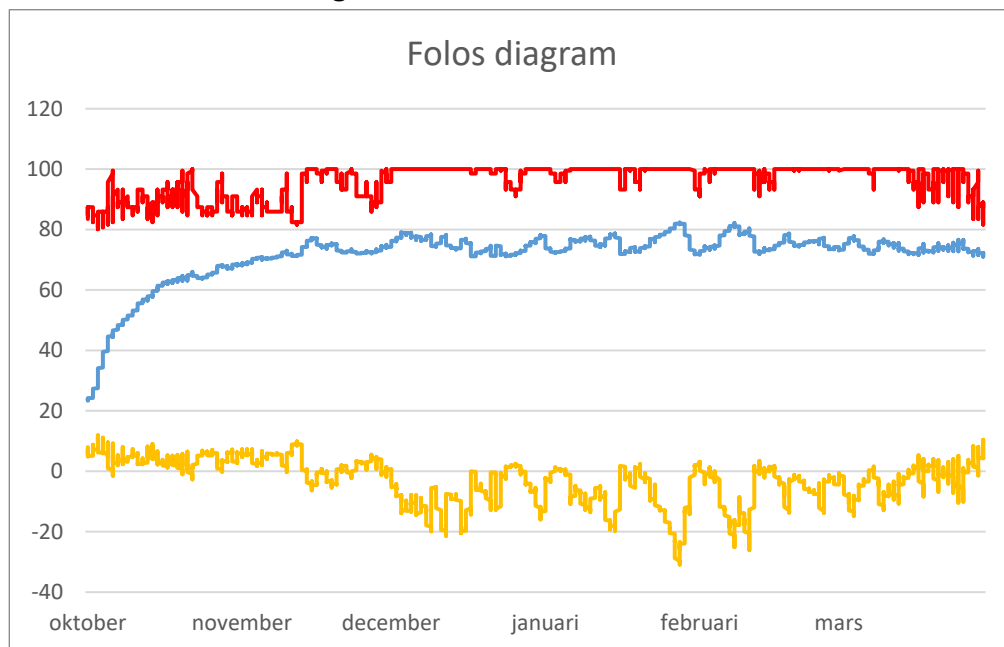
Figur 34 Relativa fuktigheten i ytterväggen vid fuktproduktion 1100 g/h. MP 1 (röd) redovisar värden precis innan plastfolien. MP 2 (blå) redovisar värden på ytskiktet invändigt, för placering av mätpunkter se figur 26.



Figur 35 Folos diagram visar RF i % (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt i % (röd) och inomhustemperatur i °C (gul). Fuktproduktionen är 1100 g/h med tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31.

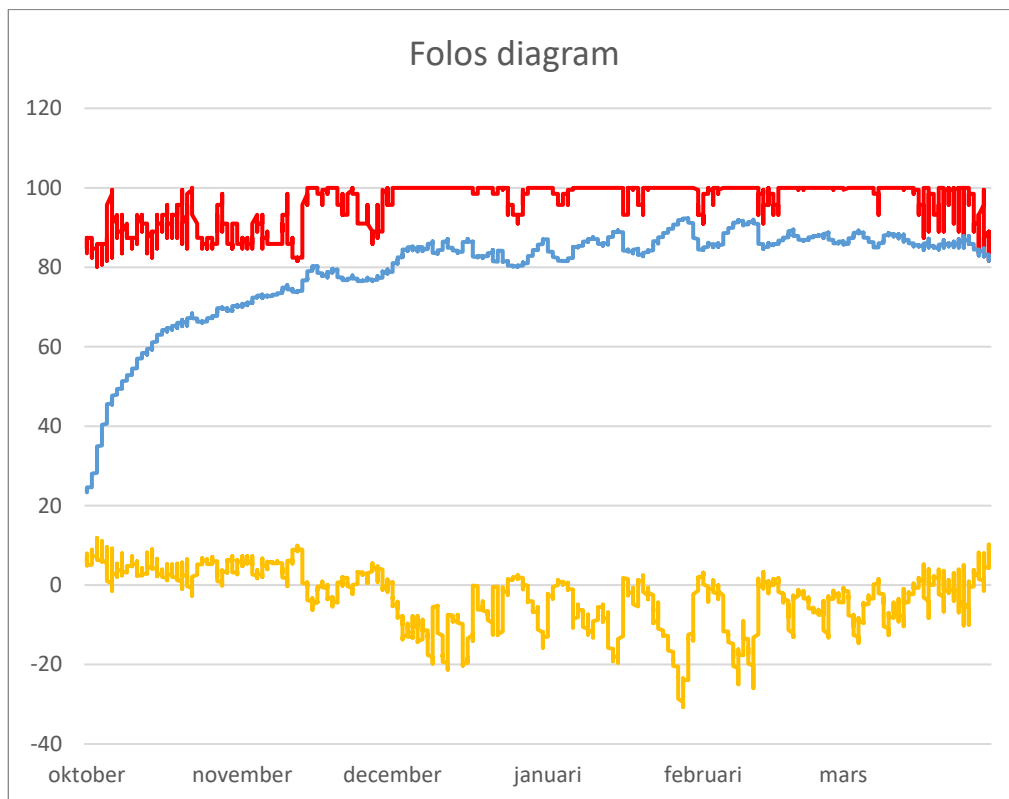
Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

4.1.2 Fall 2a - luftläckage 0 oms/h



Figur 36 Folos diagram visar RF i % (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt i % (röd) och inomhustemperatur i °C (gul). Fuktproduktionen är 1100 g/h med tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31.

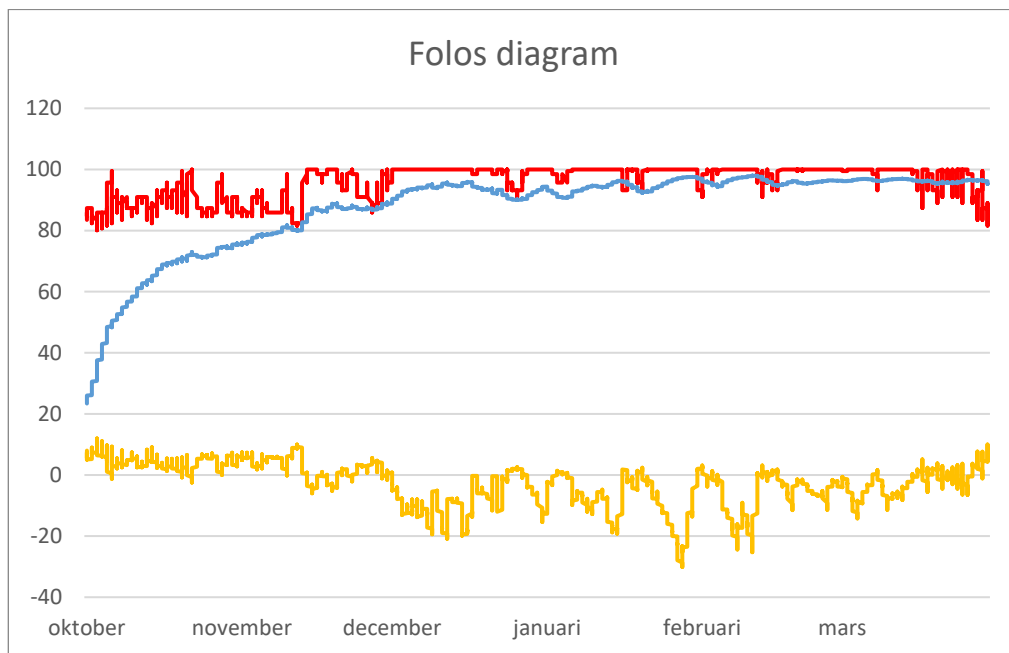
#### 4.1.3 Fall 2b - luftläckage 0,1 oms/h



Figur 37 Folos diagram visar RF i % (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt i % (röd) och inomhustemperatur i °C (gul). Fuktproduktionen är 1100 g/h med tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31.



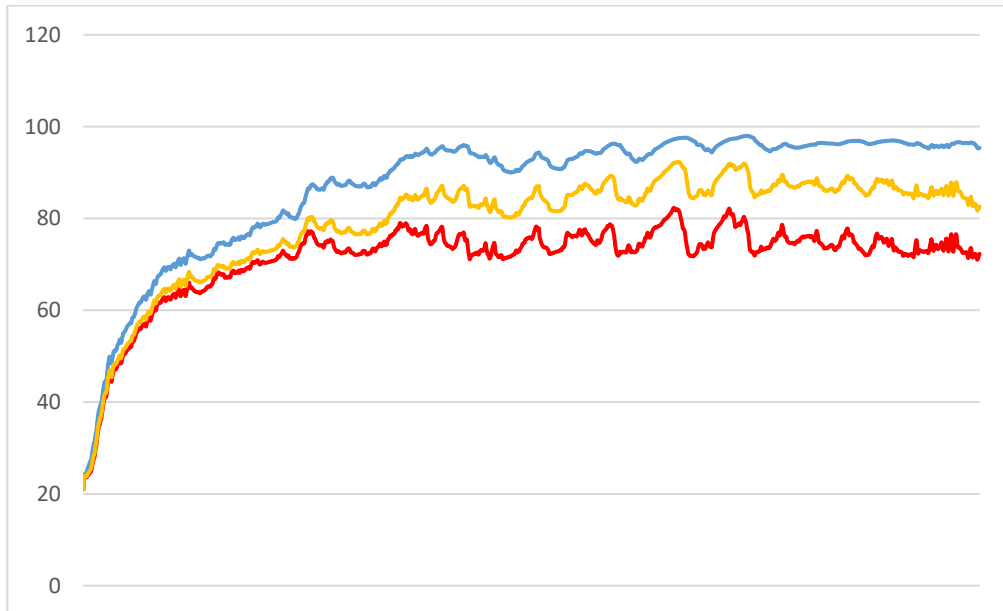
#### 4.1.4 Fall 2c - luftläckage 0,5 oms/h



Figur 38 Folos diagram visar RF i % (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt i % (röd) och inomhustemperatur i °C (gul). Fuktproduktionen är 1100 g/h med tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

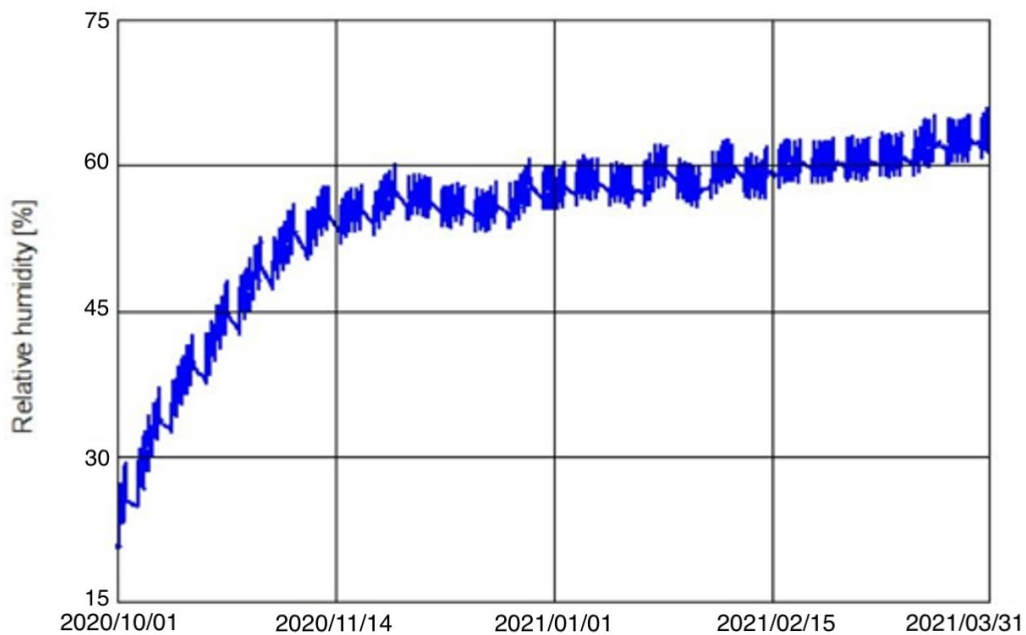
#### 4.1.5 Sammanställning av relativa fuktigheter



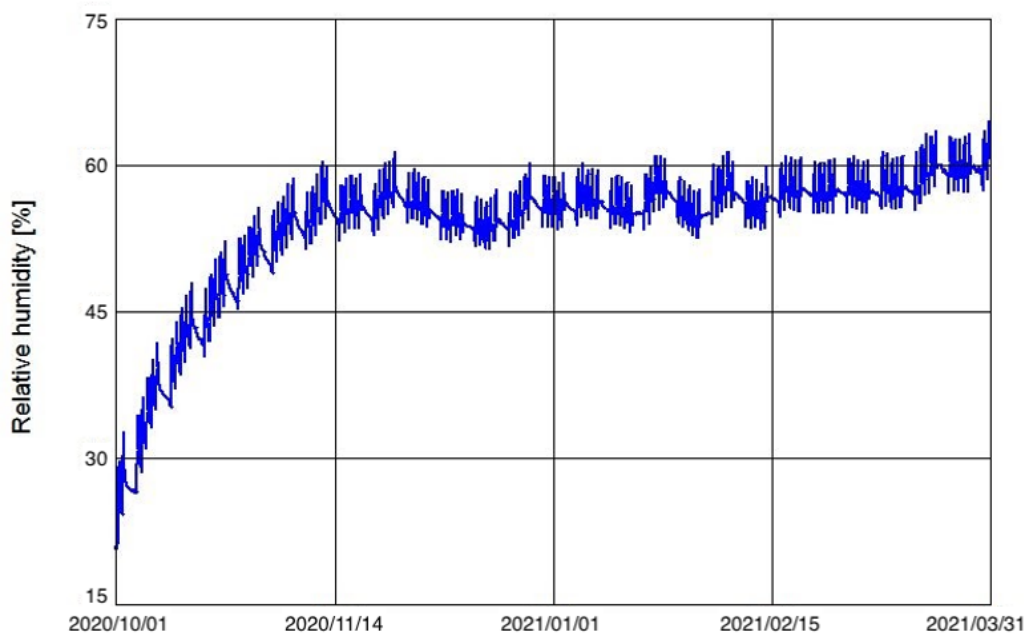
Figur 39 Skillnad i RF vid olika lufiläckage. Lufiläckage är 0 l/s (röd), 0,1 l/s (gul) och 0,5 l/s (blå).

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

#### 4.1.6 Fall 3 - Varierande fuktkapacitet

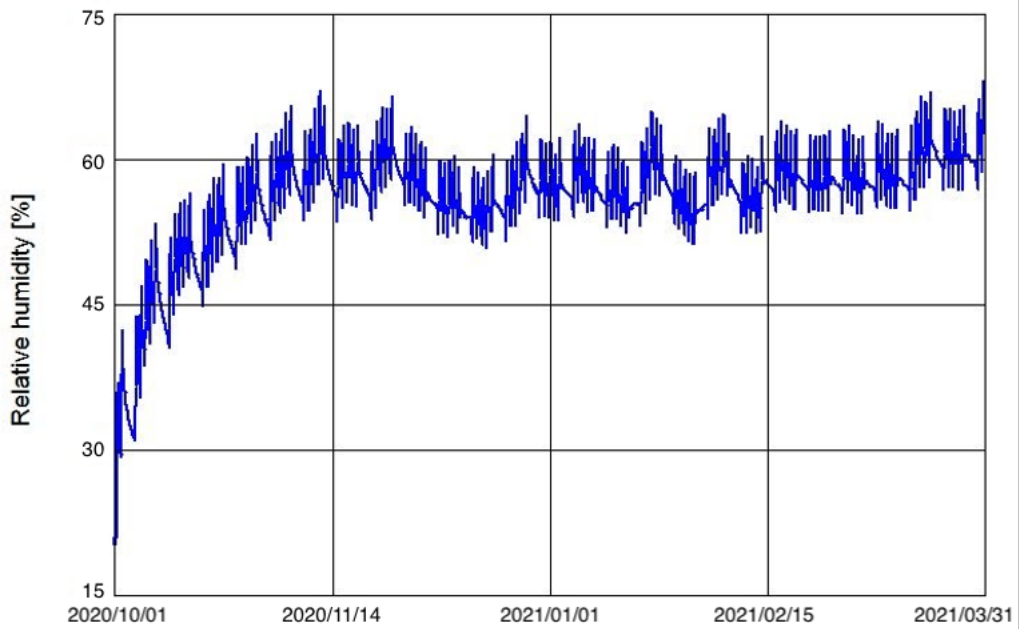


Figur 40 RF-inomhus när det finns möbler, dvs 100 % fuktkapacitet.



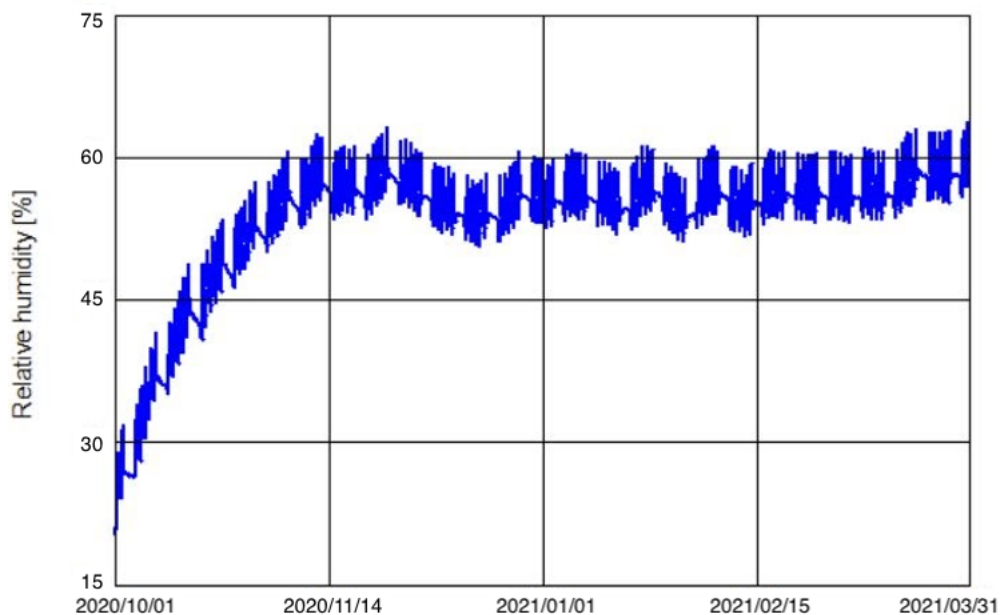
Figur 41 RF-inomhus när areor av möblering halveras, dvs 50 % fuktkapacitet.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



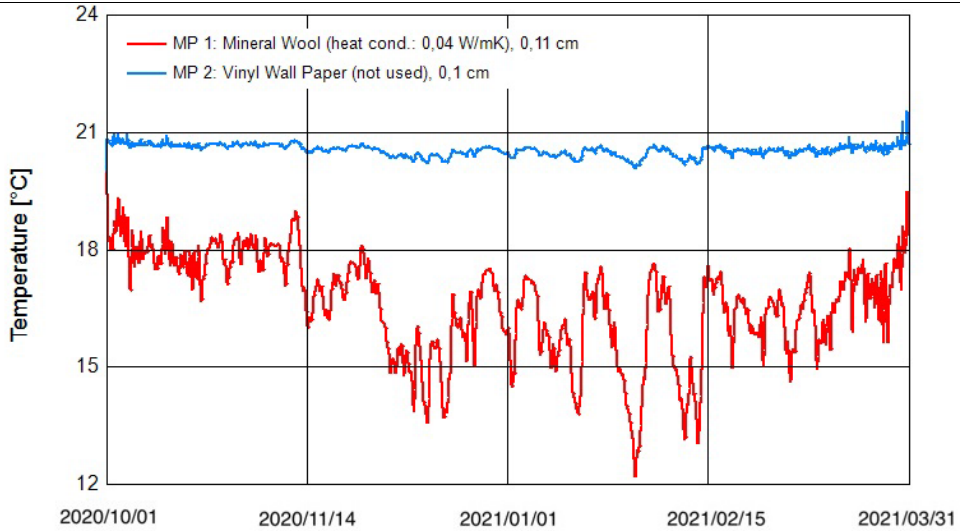
Figur 42 RF-inomhus när det inte finns möbler, dvs 0 % fuktkapacitet.

#### 4.1.7 Fall 4 – Tillsatt ventilation utan fuktåtervinning på natten

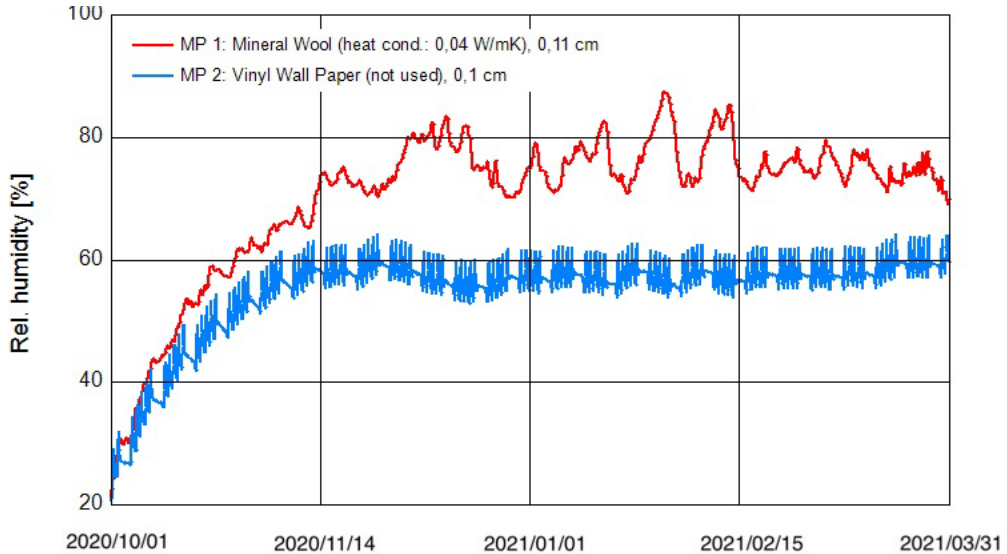


Figur 43 RF-inomhus då 10% ventilation av dagens flöde är kvar under natten.

## Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

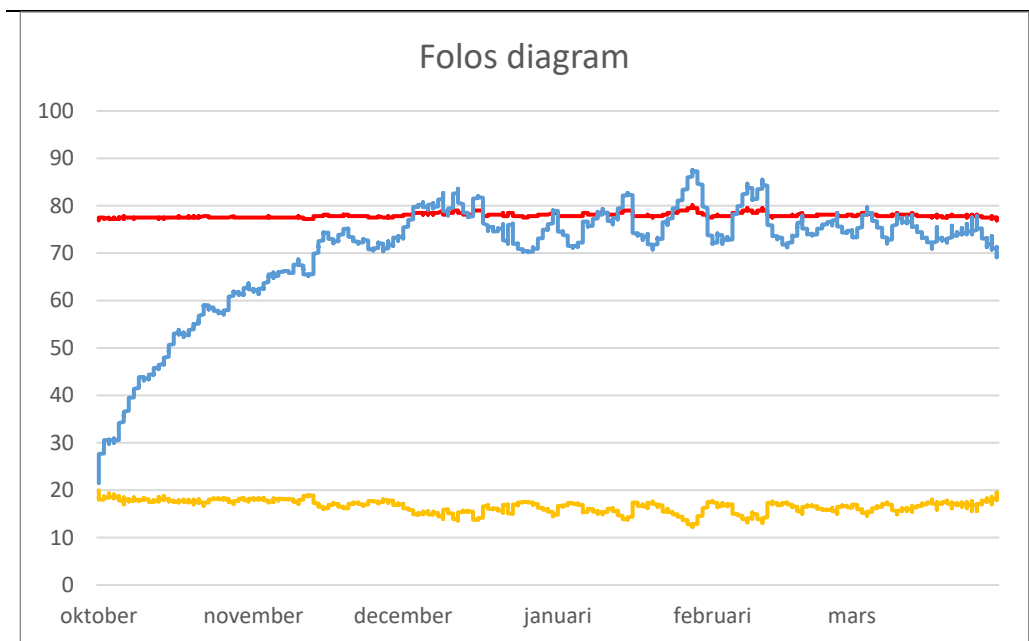


Figur 44 Visar temperaturvariationen i ytterväggen vid fuktproduktion 1600 g/h. MP 1 (röd) redovisar värden precis innan plastfolien. MP 2 (blå) redovisar värden på ytskiktet invändigt, för placering av mätpunkter se figur 26.



Figur 45 Visar relativa fuktigheten i ytterväggen vid fuktproduktion 1600 g/h. MP 1 (röd) redovisar värden precis innan plastfolien. MP 2 (blå) redovisar värden på ytskiktet invändigt, för placering av mätpunkter se figur 26.

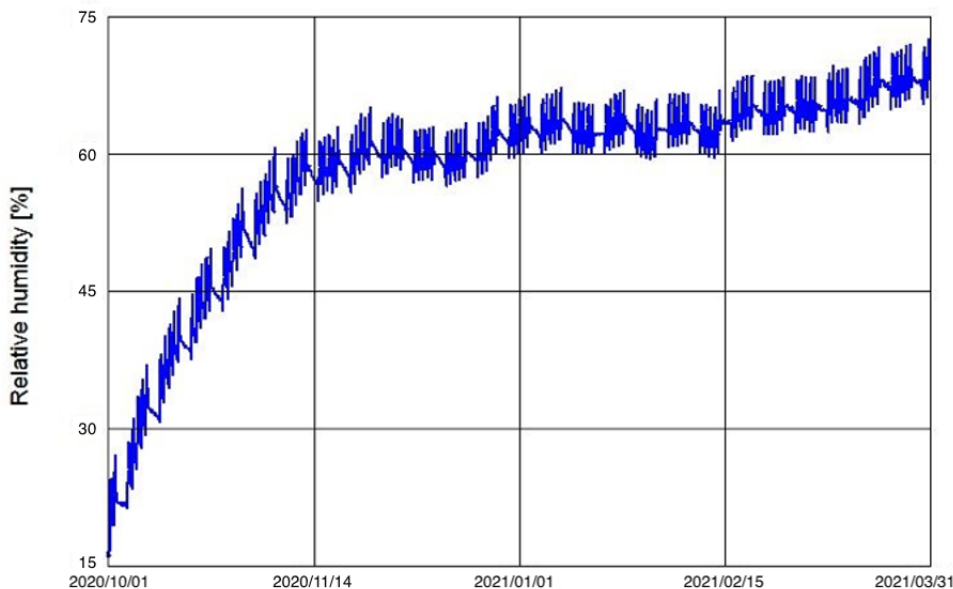
Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.



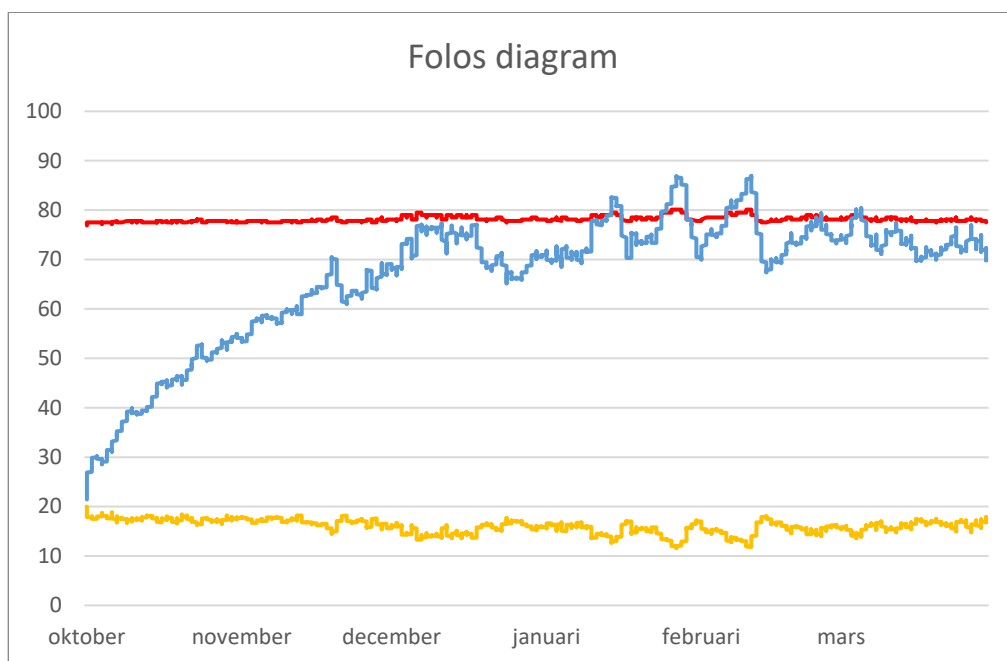
Figur 46 Folos diagram visar RF (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt (röd) och temperatur (gul). Fuktproduktionen är 1600 g/h med tidsperiod från oktober 2020 – mars 2021.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

#### 4.1.8 Fall 5a - Ändrad klimatdata till Kiruna



Figur 47 Visar relativa fuktigheten i kontoret då fuktproduktionen är 1100 g/h.

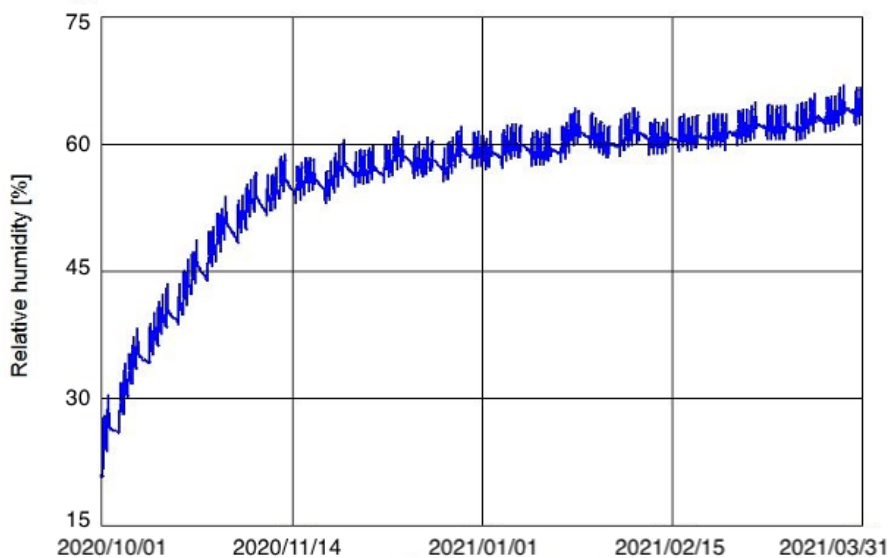


Figur 48 Folos diagram visar RF i % (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt i % (röd) och inomhustemperatur i °C (gul). Fuktproduktionen är 1100 g/h med tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31.

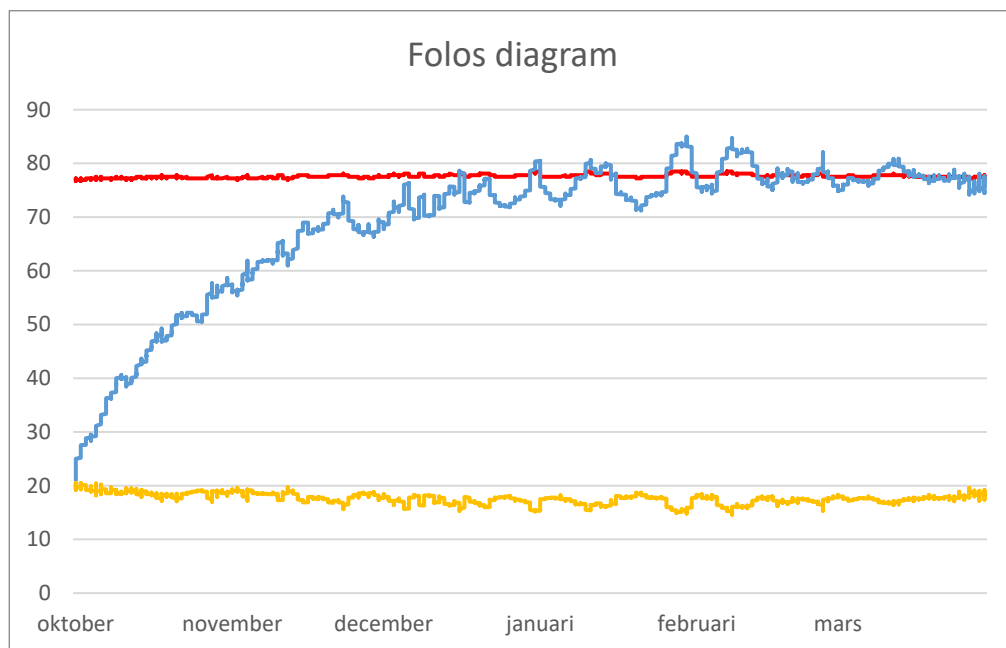


Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

#### 4.1.9 Fall 5 b - Ändrad klimatfil till Stockholm

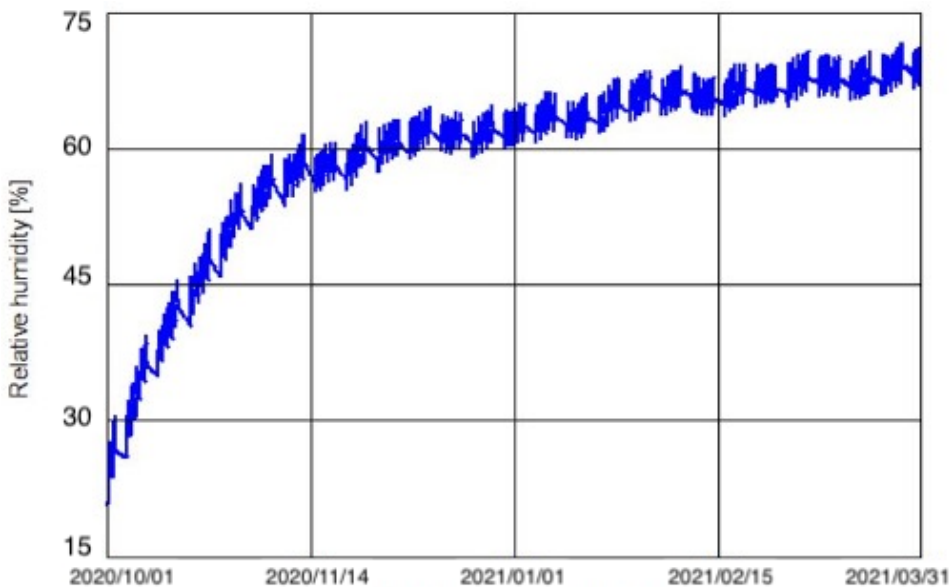


Figur 49 Visar relativa fuktigheten i kontoret då fuktproduktionen är 1100 g/h.

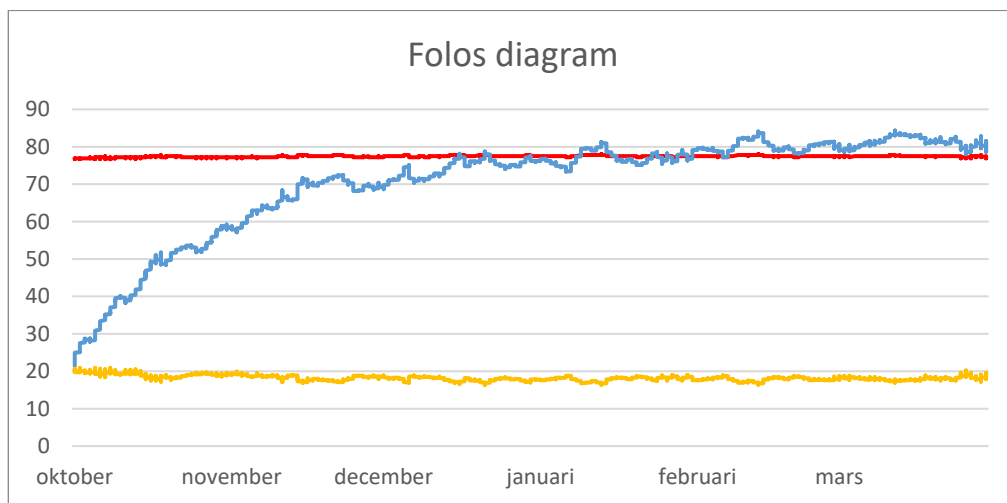


Figur 50 Folos diagram visar RF i % (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt i % (röd) och inomhustemperatur i °C (gul). Fuktproduktionen är 1100 g/h med tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31.

#### 4.1.10 Fall 5 c – Ändrad klimatfil till Malmö

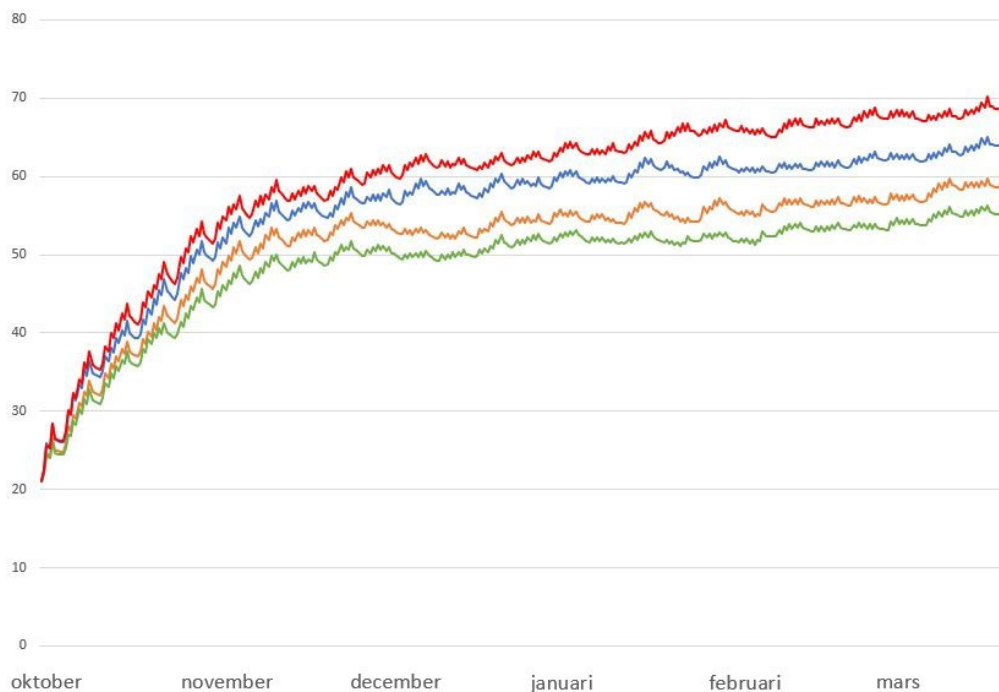


Figur 51 Visar relativa fuktigheten i kontoret då fuktproduktionen är 1100 g/h.



Figur 52 Folos diagram visar RF i % (blå) på utsida av bärande konstruktion, se figur 26. RF-kritiskt i % (röd) och inomhustemperatur i °C (gul). Fuktproduktionen är 1100 g/h med tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31.

#### 4.1.11 Sammanställning av simulering från olika städer



Figur 53 Relativa fuktigheten i kontoret då fuktproduktionen är 1100 g/h. Tidsperiod från 2020/10/01 – 2021/03/31. Röd färg Malmö, Blå färg Stockholm, Orange färg Kiruna, Grön färg Umeå.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

## 4.2 Sammanställning av resultat

Tabell 5 Presenterar informationen om olika simuleringsfall.

Fall	Stad	Dimensionerande kontrollpunkt i ytterväggen, se figur 26	Syfte	Resultat
1	Umeå	Inside fuktspärr	Beräkna maximal fuktproduktion.	Fuktproduktionen får maximalt vara 1100 g/h.
2a	Umeå	Utsida bärande regel	Beräkna maximal fuktproduktion.	Får maximalt vara 1100 g/h med hänsyn till fall 1. Dock hade ett högre värde kunnat accepteras.
2b	Umeå	Utsida bärande regel	Beräkna maximal fuktproduktion när luftläckaget är 0 oms/h.	Får maximalt vara 1100 g/h med hänsyn till fall 1. Dock hade ett högre värde kunnat accepteras.
2c	Umeå	Utsida bärande regel	Beräkna maximal fuktproduktion när luftläckaget är 0,5 oms/h.	Maximala fuktillförsel får inte överskrida 800 g/h, vilket innebär en minskning med 27 % jämfört mot normalfallet
3	Umeå	Inside fuktspärr	Undersöka hur möbleringen påverkar RF-inomhus. Möbleringsgraden som prövas är 0 respektive 50 % av normalfall. Maximal tillåten fuktproduktion studeras ej.	Den relativa fuktigheten ökar snabbare och dagsvariationerna är större vid en mindre möbleringsgrad. Maximalt tillåtna fuktproduktionen ökar.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

Tabell 6 Presenterar informationen om olika simuleringsfall.

Fall	Stad	Kontrollpunkt	Syfte	Resultat
4	Umeå	Insida fuktspärr	Undersöka hur värdet för maximala fukttillförsel förändras ifall ventilation utan fuktåtervinning är igång på kvällen och natten. Flödet sätts till 10 procent av den dagliga.	Maximala fukttillförsel är 1600 g/h, vilket innebär en ökning med 45 % jämfört mot normalfallet.
5	Kiruna Stockholm Malmö	Insida fuktspärr	Undersöka hur utomhusklimatet påverkar relativa fuktigheten inomhus genom att ändra klimatfilen.	Kiruna som har torras uteklimat visar också lägst nivåer på RF inomhus. Jämfört mot sydligaste platsen Malmö skiljer det cirka 10 procentenheter.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

---

## 5 Diskussion och slutsats

### Jämförelse mellan Swegons uppmätta värden för RF med beräkningsmodellens resultat

De första simuleringarna är till för att kunna jämföra modellen med det verkliga kontoret. Målet var att bygga en pålitlig grundmodell som kan användas för vidare beräkningar.

För första veckan ligger modellen cirka 1–2% lägre i RF under tisdag till fredag. Ventilationsflödet och fuktåtervinningen har antagits vara konstanta i programmet medan dem i verkligheten har varierat, är en orsak till detta.

I andra veckan observeras en skillnad att uppmätta värdet för torsdagen har ett lägre startvärde än beräkningsmodellen. En förklaring kan vara att fönster och dörrar har öppnats vilket har vädrat inneluften med torr luft utifrån. Vidare uppgår uppmätta RF-nivåer till 36% på fredag samma vecka men drygt 30% i beräkningsmodellen. Anledningen bakom det är att fukthalten utomhus har varit runt  $3 \text{ g/m}^3$ , vilket motsvarar 3 gånger högre värde än måndagen. Klimatfilen i programmet hade inte samma ökning den dagen. En högre fuktproduktion kan också ha varit aktuell i form av att fler personer har vistats i byggnaden. Sammanvägt med övriga dagar anses modellen stämma bra överens med verkliga förhållanden och observerade skillnader kan bero på lokala förändringar.

Tredje veckan visar modellen mycket lika nivåer med mätningarna. Start samt slutnivåer stämmer. Fredag däremot uppmärksammas en lägre startnivå i mätningarna, vilket beror på att under torsdagseftermiddagen sänktes fuktåtervinningsgraden.

Under fjärde veckan syns det tydligt hur fuktproduktionens tillförsel gör en skillnad mellan verklighet och modell. Ventilationsaggregaten i byggnaden har möjlighet att starta/stoppa den aktiva fuktillförseln ett flertal gånger per dag. Inställningarna för start och stopp den veckan, vilka har ändrats från vecka till vecka, var att RF skulle hålla sig mellan 24 och 26 procent. I modellen däremot sätts den totala tillförda fukten jämnt fördelat under dagen. Om man endast jämför minimala och maximala värdet så är modellen inte långt ifrån verkligheten ( $\pm 1\%$ ).

Vecka 5 stämmer över lag bra överens. Skillnad kan observeras i startvärdet på dagarna. Som nämnt tidigare är dock maxvärdet under dagen det viktigaste att stämma överens för att beräkningarna ska gå att lita på. Försök till förbättrade värde har gjorts där parametrar har justerats, dock utan speciell framgång.

En felkälla i simuleringarna är klimatdatan som hämtades från SMHI då jämförelsen gjordes, eftersom RF-nivån inomhus är beroende av fukthalten utomhus så måste denna stämma överens med den verkliga för att ge korrekta beräkningar.

En annan felkälla är att enligt personalen på Swegon har befuktningen skett i ett kontorsrum, vilket innebär att det uppstår zonfördelning i kontoret. I några rum kommer

det att vara högre fukthalter än andra. I programmet antas befuktningen ske i hela kontoret jämnt fördelat i en zon. Vidare är mätningarna utförda i rummet där det har befuktats. Det betyder att simuleringsresultat från grundmodellen har möjligtvis hamnat på lägre nivåer än vad de egentligen bör vara.

### **Simulering med normalfall**

I normalfallet får den totala fuktproduktionen inte överskrida 1100 g/h i Umeå under 8 timmar per dag. Det framtagna värdet har kontrollerats i Folos diagram och resultatet visade att två mindre överskridelser på den kritiska RF nivån sker under februari månad. Fuktproblem uppstår inte direkt då den kritiska nivån passeras, varför kortvariga överskridelser har accepterats. Observera att den framtagna fuktproduktionen inkluderar all fuktproduktion.

Det intressanta som beräkningarna visar är att det går att ha 50 till 60% RF inomhus under en vinterperiod innan fuktproblem riskeras.

### **Simulering med luftläckage**

Två olika storlekar på luftläckage prövats, 0,1 oms/h och 0,5 oms/h. När läckaget var 0,5 oms överskreds den kritiska nivån för fuktskador under en större del av Mars månad. Fuktproduktionen hade behövt minskas ner till 800 g/h jämfört mot normalfallet.

### **Ändring av fuktkapacitet**

Syftet med simuleringen av fall 3 var att undersöka möbleringens påverkan på RF-nivåer inomhus. När fuktkapaciteten/möbleringsgraden minskas konstateras att relativa fuktigheten stiger snabbare samt att dygnsvariationen blir större mellan min- och maxnivå.

Simuleringsresultatet för det tomma rummet visar en variation mellan 53 och 67% RF-inomhus, medan för fullt möblerade rummet varierar mellan 55 och 63% RF.

En felkälla är osäkerheten i materialegenskaper, vilka användes som indata till beräkningsmodellen. Materialen bestämdes utifrån inskickade foton. Felbedömning kan ha gjorts, samt så kan sorptionskurvorna skilja sig från verkligheten.

### **Tillägg ventilation på övrig tid**

En extra ventilation på 10% av dagens flöde under kvällen och natten möjliggjorde en ökning med cirka 45% fuktproduktion jämfört mot normalfallet. Fuktåtervinningen måste vara avstängd denna tid.

### **Ändring av stad**

Ett nordligare klimat har torrare luft. Sambandet syns tydligt att ju längre norr upp i landet som simuleringar görs desto mer fuktproduktion kan tillåtas i vissa perioder.



Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

---

Mellan Malmö och Kiruna skiljer det 10 procentenheter på RF-nivån inomhus med samma storlek på fuktproduktionen.

### **Slutsats och framtida utvecklingsmöjligheter**

Enligt resultatet går det att hålla 50 till 60 % RF inomhus under en vinterperiod. Fuktproduktionen får maximalt vara 1100 g/h under 8 timmar per dag på vardagarna.

Dock innan det går med säkerhet säga till vilken nivå RF kan ökas utan risk för fuktproblem måste ett par till parametrar vara kända. Fall 2 visar att med ett eventuellt stort luftläckage genom väggen är inte lika stor fuktproduktion acceptabel. Om luftläckage finns är något som behöver kontrolleras. En annan sak som behöver tas hänsyn till är RF-nivåer i köldbryggor, vilket i den här rapporten har försumrats. I en köldbrygga råder en lägre temperatur vilken i sin tur leder till högre RF. Beräkningar i dessa punkter måste utföras för att komplettera studiens resultat och ge möjlighet till en säkrare slutsats.

Från fall 4 kan det konstateras att genom en extra ventilation (10% av dagsventilationsflödet under natten utan fuktåtervinning) ökar möjlig fuktproduktion med 45%. En grundventilation utanför arbetstid anses vara en klok strategi för att kontrollera RF-nivåerna. Alternativt skapa extra ventilation/torkning på annat sätt, exempelvis genom en sänkt fuktåtervinningsgrad under en viss tid.

Sammanfattningsvis visar rapporten att det är möjligt genom aktiv befuktning att höja RF-nivån inomhus utan fuktrisker för den studerade konstruktionen. För att ge svar på exakt till vilken nivå måste ytterligare utredning ske enligt ovan.

Vidare möjlig studie är att utföra beräkningarna i andra programvaror för att få något resultat att jämföra mot. Materialdatan för de fuktbuffrande materialen i Wufi+ bör kontrolleras med experiment. Vidare bör kontoret undersökas av fuktexperter som kan utföra lokala mätningar under befuktningssperioden.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

---

## Referenser

Al Ashry, H. S., & Modrykamien, A. M. (2014). *Humidification during mechanical ventilation in the adult patient*. BioMed Research International, 2014 doi:10.1155/2014/715434

Anthony, V. A., Elia M. S., Judith H. B. & Theodor D. S. (1986). *Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments*. National Institute of Environmental Health Sciences. National Institutes of Health. Department of Health, Education and Welfare.

Andersen I, Lundqvist GR, Mølhav L (1975) Indoor air-pollution due to chipboard used as a construction material. Atmos Environ 9:1121–1127

Arbetsmiljöverket, 2020a. *Riskklasser och klassificering av smittämnen*. Senast uppdaterad (2020-05-19).

<https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/sjukdomar-smitta-och-mikrobiologiska-risker/anvandning-av-mikroorganismer/forebygg-riskerna-med-mikroorganismer/riskklasser-och-klassificering-av-smittamnen/> [hämtad 2021-01-20].

Arbetsmiljöverket, 2020b. *Huvudsakliga risker med mögel, organiskt damm, toxiner*. Senast uppdaterad (15-09-2020)

<https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/sjukdomar-smitta-och-mikrobiologiska-risker/mogel-organiskt-damm-toxiner-och-andra-mikrobiologiska-arbetsmiljorisker/huvudsakliga-risker-med-mogel-organiskt-damm-toxiner/> [hämtad 2021-01-24].

Arbetsmiljöverket, 2020c. *Smittrisker i arbetsmiljön*. Senast uppdaterad (19-05-2020)

<https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/sjukdomar-smitta-och-mikrobiologiska-risker/smittrisker-i-arbetsmiljon/> [hämtad 2021-01-25]

Arbetsmiljöverket, 2020c. *Arbetsplatsens utformning*.

<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-afs2020-1.pdf> [hämtad 2021-06-02]

Arbetsmiljöverket, 2021. *Allmänventilation*.

<https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/allmanventilation/> [hämtad 2021-02-02]

Arbetshälsoinstitutet, 2021. *Halterna av lättflyktiga organiska föroreningar*. Senast uppdaterad (2021-01-02)

<https://www.ttl.fi/sv/halterna-av-lattflyktiga-organiska-foreningar-voc-i-kontorens-inneluft/> [Hämtad 2021-01-26]

Boverket, 2017. *Högsta tillåtna fuktillstånd*. Senast uppdaterad (24-04-2017)

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

---

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/hogsta-tillatna-fukttillstand/> [hämtad 2021-01-22]

Boverket, 2021. *Vilken innetemperatur ska användas vid energiberäkning?*

<https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/fragor--svar/bbr-boverkets-byggregler/avsnitt-9-energi-hushallning/berakning/vilken-inomhustemperatur-ska-anvandas-vid-energi-berakning/> [hämtad 2021-02-15]

Christoffersen, L. D. (1996). ZEPHYR Passive Climate Controlled Repositories. Building Physics. Lund, Lund University, Sweden. TVBH-3028.

Ecophon, 2020. *Termiska komfort*.

<https://www.ecophon.com/sv/about-ecophon/functional-demands/thermal-comfort/> [hämtad 2021-01-26]

European Commission. *Ventilation units*.

[https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/ventilation-units\\_en](https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/ventilation-units_en) [Hämtad 2021-02-02]

Fletcher, L. (2004). *The influence of relative humidity on the UV susceptibility of airborne gram negative bacteria*. Aerobiology Research Group, School of Civil Engineering, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK.

Folkhälsomyndigheten, 2005. *Temperatur inomhus*. Senast uppdaterad (15-09-2005)

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/a22abd3cdc1042e195d50fe4484a7fb9/temperatur-inomhus.pdf> [hämtad 2021-02-22]

Fredriksson, E; Svensson, M (2009). *Fuktsäkerhetsbedömning med Wufi*.

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:231784/FULLTEXT01> [hämtad 2021-02-23]

I. Drovtar, J. Niitsoo, A. Rosin, J. Kilter and I. Palu, "Electricity Consumption Analysis and Power Quality Monitoring in Commercial Buildings," 2012 Electric Power Quality and Supply Reliability, p. 6, 2012.

J, Kellner. B, Ström. *Mögelpåväxt på mineraliska fasader*.

[https://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/Publikationer/Bygg-Teknik/8\\_02\\_12.pdf](https://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/Publikationer/Bygg-Teknik/8_02_12.pdf) [hämtad 2021-02-01]

L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, Energy Build. 40 (2008) 394–398.

Lengsfeld, K; Holm, A (2020). *Development and validation of the hygrothermal indoor climate simulation software WUFI+*.

[http://resolver.ebscohost.com.ludwig.lub.lu.se/openurl?sid=EBSCO%3aedswsc&genre=article&issn=01715445&isbn=&volume=29&issue=3&date=20070601&spage=178&pages=178-186&title=BAUPHYSIK&atitle=Development+and+validation+of+the+hygrothermal+indoor+climate+simulation+software+WUFI+\(R\)-Plus&bttitle=BAUPHYSIK&jtitle=BAUPHYSIK&series=&aulast=Lengsfeld%2c+Kristin&id=DOI%3a10.1002%2fbapi.200710025&site=ftf-live](http://resolver.ebscohost.com.ludwig.lub.lu.se/openurl?sid=EBSCO%3aedswsc&genre=article&issn=01715445&isbn=&volume=29&issue=3&date=20070601&spage=178&pages=178-186&title=BAUPHYSIK&atitle=Development+and+validation+of+the+hygrothermal+indoor+climate+simulation+software+WUFI+(R)-Plus&bttitle=BAUPHYSIK&jtitle=BAUPHYSIK&series=&aulast=Lengsfeld%2c+Kristin&id=DOI%3a10.1002%2fbapi.200710025&site=ftf-live) [hämtad 2021-02-18]

Markowicz, P; Larsson, L. 2015. *Influence of relative humidity on VOC concentrations in indoor air*.

<https://link-springer-com.ludwig.lub.lu.se/content/pdf/10.1007/s11356-014-3678-x.pdf> [2021-02-17].

Nationalencyklopedin, 2020. Aerosol.

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/aerosol> [hämtad 2021-02-01]

Naturvårdsverket, 2020. *Utsläpp av flyktiga organiska ämnen till luft*. Senast uppdaterad (2020-12-10).

<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Flyktiga-organiska-amnen-utslapp-till-luft/> [hämtad 2021-03-10]

Naturvårdsverket, 2004. *Formelhyd*.

<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5399-X.pdf> [hämtad 2021-03-01]

Nevander, L; Elmarsson, B. (2006). *Fukthandboken, Luftfukt*. Lund, Lund Universitet, Sverige.

Salonen, H; Reijula, K; Riala, R; Lappalainen, S; Tuomi T. (2002). *INDOOR AIR QUALITY OF OFFICE BUILDINGS IN THE HELSINKI AREA*.

<https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7459.pdf> [hämtad 2021-02-11]

Svennberg, K (2006). *Moisture Buffering in the Indoor Environment*. Building Physics. Lund, Lund University, Sweden. TVBH 1016.

Sidenqvist, D; Ternstedt, V. 2014. *Torkklimat under byggproduktion*.

<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:738928/FULLTEXT01.pdf> [hämtad 2021-05-31]

Swedisol, 2006. *Isolerguiden Bygg 06*.

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

---

<https://docplayer.se/368283-Isolerguiden-bygg-06.html> [hämtad 2021-03-15]

Wolkoff P (1999) How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective. *Sci Total Environ* 227:197–213

W. A. Jabbar, H. K. Shang, S. N. I. S. Hamid, A. A. Almohammedi, R. M. Ramli and M. A. H. Ali, "IoT-BBMS: Internet of Things-Based Baby Monitoring System for Smart Cradle," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 93791-93805, 2019.

Özdamar, M; UMAROĞULLARI, F. 2018.

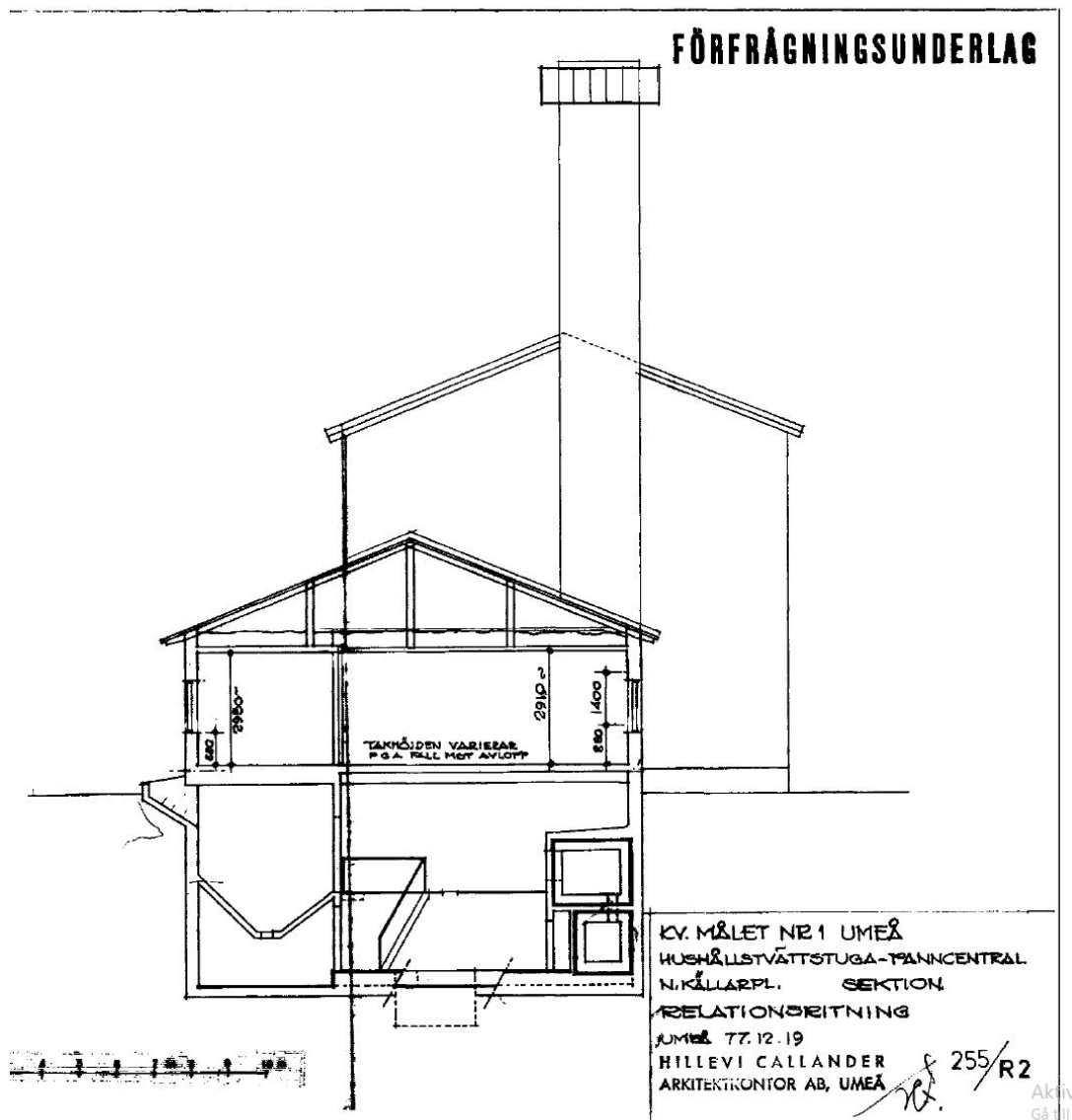
[https://www.researchgate.net/publication/326324068\\_THERMAL\\_COMFORT\\_AND\\_INDOOR\\_AIR\\_QUALITY](https://www.researchgate.net/publication/326324068_THERMAL_COMFORT_AND_INDOOR_AIR_QUALITY) [hämtad 2021-01-25]



Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

## Bilaga B

Sektionsritning på byggnaden

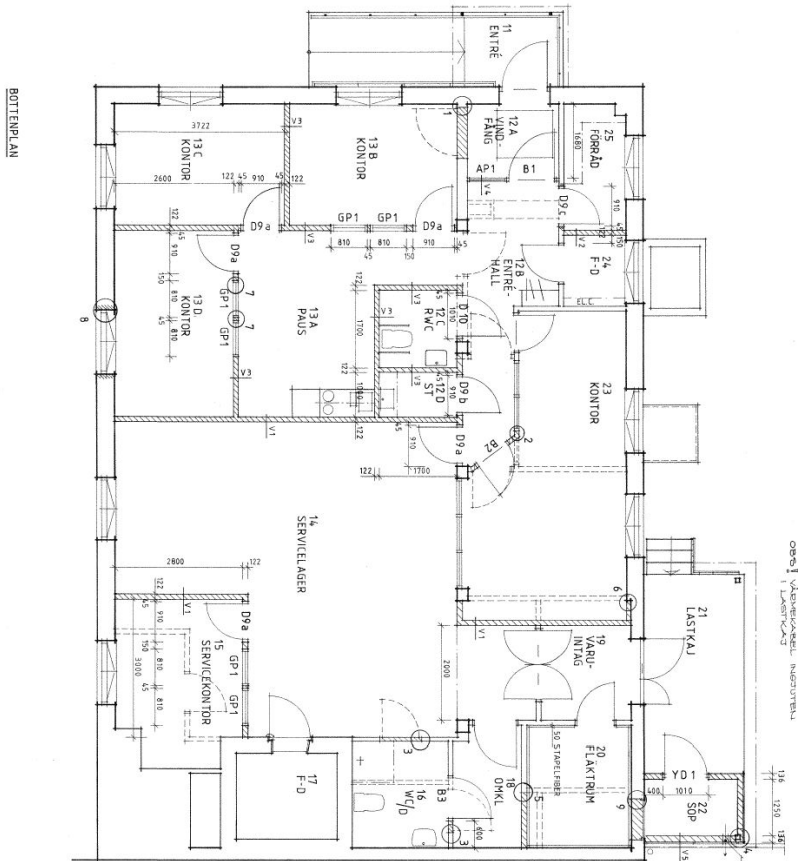




# Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

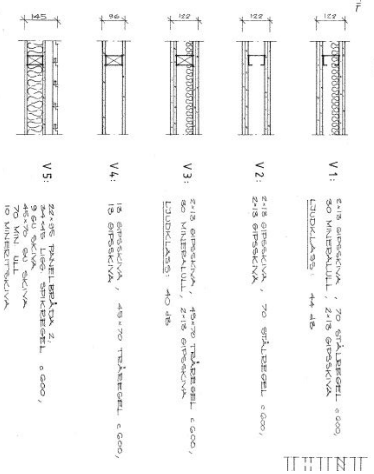
## Bilaga C

### Planritning med väggsektioner

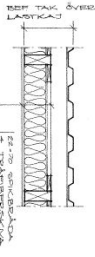


0001 | VÄGGSEKTION I LÅNDRUM

VÄGGTYPER  
—110—



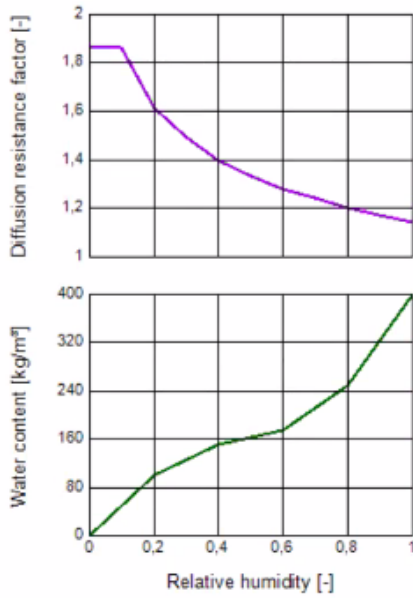
**TAKHÖJDER**  
EPLAN: 2,25  
12 C: 2,25  
12 A: 2,25  
13 C: 2,25  
13 B: 2,25  
13 A: 2,25  
14: 2,25  
15: 2,25  
16: 2,25  
17: 2,25  
18: 2,25  
19: 2,25  
20: 2,25  
21: 2,25  
22: 2,25



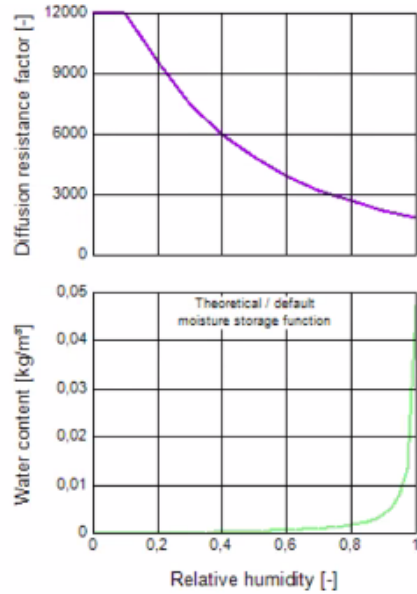
PRINCIPTEJAL UNDER TAK  
SOPRUM 22  
BRÄNSSELKÄLLA  
R-500

1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17

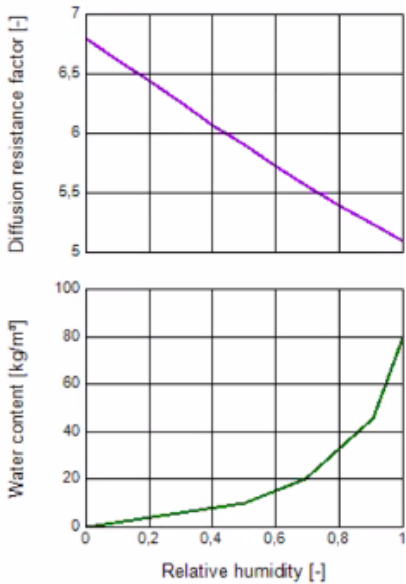
Materialdata komponenter



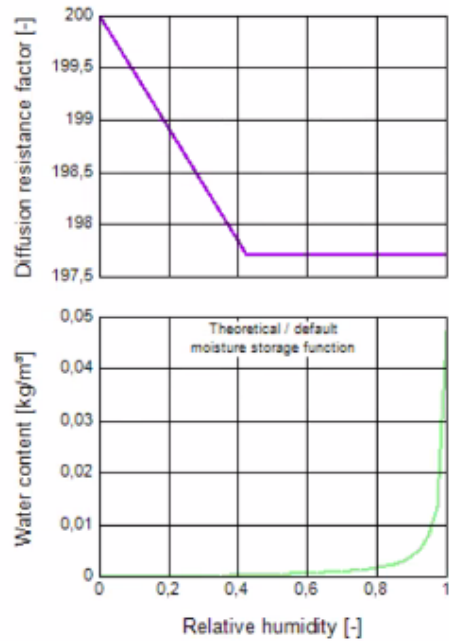
Figur 55 Gardiner



Figur 54 Tapet tät tänkt på insida på väggar.



Figur 57 Trä



Figur 56 Papper i bokhylla eller liggandes på bord

Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

*Bilaga*

*E*

*Mängdberäkning invändiga komponenter*

<b>Innervägg</b>	<b>Area</b>
13c	15,8
13d	17
18	16,6
15	13,3
17	10,7
Dusch	11,3
30	21,3
el	6,5
25	10,3
12A	9,5
13b	15,3

# Fuktanalys i en kontorsbyggnad. En studie om hur befuktning av inomhusluften påverkar den relativa fuktigheten i ytterväggen.

