

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Examensarbete TVBH—24/5138  
Lund 2024

---

# Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk

- Parameterstudie

Knut Torstenius



**LUNDS**  
UNIVERSITET



# Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk

## Parameterstudie

Knut Torstenius

Examensarbete

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

© Knut Torstenius

ISRN LUTVDG/TVBH—24/5138—SE(86)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

## Sammanfattning

- Titel:** Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk  
- Parameterstudie
- Författare:** Knut Torstenius
- Handledare:** Akram Abdul Hamid  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Avdelningen för Byggnadsfysik
- Examinator:** Dennis Johansson  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära
- Bakgrund:** Fukt kan orsaka en mängd olika problem i byggnader. Fukt härstammar från de boende och deras aktiviteter. Lägenheter följer vissa krav när de byggs, dessa krav har anpassats till en viss mängd brukare. Om en bostad är trångbodd kan det bli att ventilationen inte räcker till för att hålla inneklimatet på en godtagbar kvalitet. Tidigare studier inom området har använt sig av uppskalade lastprofiler för att simulera trångbodda lägenheter, men då dessa ansetts missvisande har ett tidigare arbete tagit fram nya lastprofiler för familjer bestående av 5–7 personer för att ge mer realistiska resultat. Dessa profiler används i detta arbete.
- Syfte:** Syftet med studien är att studera risker med hög boendetäthet genom att använda de framtagna lastprofilerna, med särskilt fokus på inomhusmiljöns temperatur, relativ fuktighet, luftkvalitet och mögelrisk. Studien avser också att undersöka effekten av olika parametrar såsom ort, väderriktning, solskydd och naturlig ventilation för att få en bild av vilka lägenhetstyper som är mer utsatta för risker för hög temperatur och relativ fuktighet, och följaktligen mikrobiell påväxt.
- Metod:** Genom att modellera och simulera i WUFI Plus undersöks iterativt parametrar baserat på ett grundfall. Lastprofilerna jämförs för sig, sedan undersöks parametrar för att ta reda på vilken kombination som resulterar i högst relativ fuktighet. Den kombinationen av parametrar används sedan i mögelriskanalysen där VTT-modellen appliceras med hygrotermiska data från en yta inomhus. Slutligen undersöks den avlastande inverkan av ökad naturlig ventilation och vädring.

**Slutsatser:** De framtagna lastprofilerna resulterar i betydande högre relativ fuktighet än de uppskalade, lägre temperaturer och något lägre koldioxidnivåer. De undersökta parametrarna spelar stor roll för hur resulterande inneklimat blir, vilken slags lägenhet en familj bor trångbott i kan alltså ge väldigt olika resultat. De byggnadsfysiskt negativa effekterna av trångboddhet kan motverkas av godtycklig ventilation och vädring.

**Nyckelord:** Boendetäthet, trångbott, inneklimat, mögelrisk, miljonprogrammet, ventilation, simuleringar

## **Abstract**

This study investigates the impact of overcrowding on indoor climate quality, thermal comfort, and mould risk in typical Swedish Million Homes Program apartments. This research focuses on the specific challenges posed by overcrowded living conditions in Million Program apartments, which often suffer from high occupant density.

Utilizing WUFI Plus a 70 m<sup>2</sup> apartment typical of the 60s & 70s Million Homes Program was modelled. The report compares newly developed occupant profiles for families with five to seven members with scaled-up profiles that have been used in previous studies but are suspected of giving misleading results. The simulations assessed the influence of various factors including geography, building direction, solar protection, ventilation, and apartment position on indoor climate and mould risk.

The findings indicate that the newly developed occupant profiles as compared to the scaled-up profiles significantly increase the resulting indoor relative humidity while resulting in lower CO<sub>2</sub>-levels and indoor air temperature. Enhanced natural ventilation was evaluated as a mitigation measure for mould risk, demonstrating its potential effectiveness. The study underscores the importance of accurate occupant profiles and realistic ventilation to achieve realistic results on the adverse effects of overcrowding in these apartments.

## Förord

Detta arbete utfördes av mig år 2024 mellan februari och juni. Under arbetets gång har jag fått hjälp av min handledare Akram Abdul Hamid. Tack för ditt ovärderliga stöd under processen, din hjälp var väsentlig för arbetets påbörjande och dess fullföljande med den kvalitet jag nu med belåtenhet kan lämna in.

*Lund i juni 2024*

*Knut Torstenius*



## **Innehållsförteckning**

Sammanfattning.....	i
Abstract .....	iii
Förord.....	iv
1.1    Bakgrund.....	1
1.2    Syfte .....	3
1.3    Avgränsningar .....	3
2    Metod.....	5
2.1    Programvara .....	7
2.2    Uppbyggnad av WUFI-modell.....	8
2.3    Jämförelse av framtagna och uppskalade brukarprofiler .....	10
2.4    Parameterstudie.....	13
2.4.1    Ort.....	13
2.4.2    Väderriktning .....	13
2.4.3    Solskydd .....	14
2.4.4    Lägenhetsposition .....	14
2.5    Undersökning av mögelrisk .....	18
2.5.1    VTT-modell .....	19
2.5.2    Luftomsättning.....	21
2.6    Vädning.....	21
3    Resultat.....	23
3.1    Jämförelse av framtagna och uppskalade profiler.....	23
3.1.1    Temperatur.....	23
3.1.2    Relativ fuktighet .....	24
3.1.3    Luftkvalitet .....	26
3.2    Parameterstudie.....	28
3.2.1    Ort.....	28
3.2.2    Väderriktning .....	31
3.2.3    Solskydd .....	32
3.2.4    Position .....	35
3.3    Undersökning av mögelrisk .....	38
3.3.1    Jämförelse av hygrotermiskt förhållande på ytan och i luften .....	38
3.3.2    VTT-grundfall.....	41
3.3.3    Ökad naturlig ventilation .....	41
3.3.4    Vädning .....	42
3.3.5    Fem brukare .....	44
3.4    Vädrings inverkan på inneklimat .....	45
3.4.1    Temperatur.....	46
3.4.2    Relativ fuktighet .....	48
3.4.3    Koldioxid .....	48
4    Diskussion .....	51
4.1    Om resultat.....	51
4.1.1    Uppskalade och framtagna profiler.....	51
4.1.2    Parameterstudie.....	52

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.

---

4.1.3	Luftomsättning, inverkan på mögelrisk och inneklimat .....	54
4.2	Övrigt .....	57
4.2.1	Osäkerheter och precision.....	57
5	Slutsats.....	59
	Källor.....	61
	Bilagor .....	65
	Bilaga A: Riktning lägenheter miljonprogram .....	65
	Bilaga B: Tabeller och grafer för framtagna och uppskalade brukarprofiler. ....	67
	Värme från strålning .....	71
	Värme från konvektion.....	72
	Fukt.....	74
	Koldioxid.....	75

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Ett av de mest aktuella problem vi har i världen är en uppsnabbad klimatförändring som är ett resultat av människans levnadssätt (IPCC, 2023). Som svar på detta har Sverige satt klimat- och energimål som måste uppnås (Energimyndigheten, 2023). För att uppnå målen måste varje industri förbättra sina processer genom att effektivisera energianvändningen och minska utsläpp. Bygg- och fastighetssektorn stod 2021 för ungefär en femtedel av Sveriges utsläpp av växthusgaser (Boverket, 2024), det finns stora förbättringar kvar att göra.

Byggbranschens utsläpp kommer inte endast från nyproduktion, vilket står för ungefär hälften av dess utsläpp, det kommer även från renovering och ombyggnad som står för en ungefär fjärdedel (Offentliga fastigheter, 2022). Vilken del av detta som i sin tur är orsakat av onödig renovering och ombyggnation är svårt att fastställa. Viss renovering är oundvikligt att behöva utföra då tiden bryter ner byggnader även om de behandlas väl, men med dagens kunskaper kan behovet för reparerande renovering minska genom att applicera exempelvis vår förståelse av fuktrelaterade problem på ett bättre sätt.

Fukt kan orsaka en mängd olika byggnadstekniska problem. Dels hälsorisker som mögel, eller konstruktionstekniska risker som röta, även komfortproblem som dålig lukt (Arfvidsson, et al., 2017). Att behöva ersätta en skadad vägg är en onödig belastning på klimatet, i första hand bör fuktproblem förebyggas. Det är dessutom en ekonomisk angelägenhet för fastighetsägare att förebygga fuktproblem. Även för samhället kan det vara en ekonomisk fråga, detta eftersom mögel kan orsaka exempelvis astma (Boverket, 2021) vilket kräver resurser av sjukvården att behandla. Exakt hur mycket astma kostar samhället årligen har Jansson et al. (2007) noterat som svårberäknligt, men konstaterar att det handlar om mångmiljardbelopp. Slutligen har brukarna ett högt intresse för att minska risken för fuktproblem för att undvika komfortproblem och att få astma.

Byggnader utsätts för fukt från olika källor, däribland från brukare och deras beteende. Detta fukt kallas för fuktillskott. Fler människor under samma tak innebär ett ökat fuktillskott eftersom det är fler som ska duscha, laga mat, andas, svettas, tvätta och så vidare. Motverkandet av detta sker främst genom ventilation som ersätter ineluften med uteluft. Bostäders ventilation dimensioneras enligt Boverkets byggregler (Boverket, 2023a) som säger att ventilationssystem ska utformas så att lägsta uteluftsflöde motsvarar 0,35 l/s per kvadratmeter golvyta, vilket motsvarar ungefär 0,5 omsättningar per timme. I lägenheter byggda under miljonprogrammet, vilket är de lägenheter detta arbete fokuserar på, är runt 0,5 oms/h vanligt (Boverket, 2010). I dessa lägenheter är dock boendetätheten högre än i många andra områden (von Platten, 2020). Tanken är att byggnader ska klara av en viss mängd boende utan att problem med inneklimat och fukt ska uppstå. Om en lägenhet är trångbodd, om fler personer bor i en bostad än tanken var när den byggdes, kan produktionen inomhus bli för stor för ventilationen att klara av.

Trångboddhet har haft flera olika definitioner. Boverkets senaste definition kallas trångboddhetsnorm 3, från 1986; *Samtliga hushållsmedlemmar (inklusive barn) ska ha eget sovrum, förutom makar och partners som ska dela. Dessutom ska det finnas ett kök och ett vardagsrum* (Boverket, 2016). Uppfylls inte de riktlinjerna är alltså bostaden trångbodd. Sverige har störst andel trångboddhet i Norden (Statistikmyndigheten SCB, 2021), fenomenet är vanligast i våra storstäder Stockholm, Göteborg och Malmö (Statistikmyndigheten SCB, 2023). Boverket beräknar att det behöver byggas 67 300 nya bostäder årligen fram till 2030, men endast 20 000 bedöms påbörjas under 2024. En stor orsak till produktionsbristen är den ekonomiska turbulens som rått under 20-talets början (Boverket, 2023b).

Trångboddhet kan medföra flera problem. Lorentzen et al. (2022) har genomfört en stor litteratursökning och sammanställt informationen de hittat, rörande bland annat trångboddhetens effekt på hälsan. De kommer fram till att trångboddhet kan bidra med flera olika hälsoproblem. Lorentzen et al. (2023) har även utfört en studie specifikt på vilken effekt trångboddhet har på barn och kommit fram till att deras kvalitativa bevis pekar på att trångboddhet har en negativ effekt på barns hälsa, miljö och skolgång. Även World Health Organization (2018) har släppt en rapport som beskriver en rad problem som kopplas till trångboddhet. Genom randomiserade kontrollerade studier kan de bland annat konstatera ett starkt samband mellan trångboddhet och luftvägssjukdomar. Richter et al. (2018) har genom att kontakta invandrarfamiljer med barn som står med i hälsoregistret på grund av atopiska sjukdomar undersökt en länk mellan boendestandard och sjukdomarna. De finner dock inte någon tillräckligt statistiskt signifikant länk för att dra slutsatser. Detta arbete väljer att fokusera på de byggnadstekniska risker som trångboddhet medför, främst fokus på fukt.

Mjörnell, et al. (2019) har studerat vilken effekt boendetäthet har på inneluftskvalité, fuktillstånd och energianvändning. De kommer fram till att det är väldigt brukarrelaterat. Rapporten fokuserar på ventilationsåtgärder mot de negativa effekterna av trångboddhet. De baserar sin undersökning på ekvationer som baseras på koldioxidnivåer. Arbetet baserar ekvationerna på generella värden för en hel byggnad och saknar mer detaljerat fall med familjer som bor i en bostad och med sina brukarvanor orsakar fuktproduktion. Abdul Hamid, et al., (2021) har undersökt inverkan av trångboddhet i miljöprogramslägenheter genom att modellera en typisk sådan i WUFI Plus, ett program som kan simulera zoner i avseende på bland annat fukt-, värme- och koldioxidproduktion. Samtliga av dessa kan bidra med risker för hälsa eller komfort. Resultaten visar på tydliga risker, men i programmet är den största tillgängliga brukarprofilen en profil som baseras på en familj bestående av fyra personer. För att simulera större familjer har författarna skalat upp befintliga profiler linjärt, ett antagande som karakteriseras av dem som eventuellt orealistisk. Linderholt & Persson (2023) har i ett tidigare examensarbete genom litteraturstudier tagit fram profiler för familjer med fem till sju medlemmar i en trångbodd situation. Deras framtagna profiler skiljer sig från de uppskalade profilerna, störst skillnad syns i fuktproduktionen som ökat med cirka 40% totalt under en vanlig dag. Värmeproduktionen, som i WUFI delas upp i strålning och konvektion, är omfördelad så att mer värme avges i strålning på konvektionens

bekostnad. Koldioxidproduktionen är någorlunda lik, om än lite lägre per dag i de framtagna profilerna.

Eftersom naturlig ventilation ersätter inneluft med uteluft, och koldioxid produceras inomhus, kommer inomhusluftens koldioxidhalt inte att sjunka under utomhusluftens koldioxidhalt. Utomhus är koldioxidhalten cirka 400 ppm, riktlinjen inomhus är enligt folkhälsomyndigheten högst 1000 ppm (Folkhälsomyndigheten, 2014). Koldioxiden i sig är inte farlig förrän mycket högre nivåer än så, men eftersom koldioxid produceras av människor är den en god indikator på inomhusluftens halt av samtliga ämnen som produceras av människor.

### 1.2 Syfte

I detta arbete ämnas att implementera framtagna profiler för familjer i trångbodda lägenheter i Sverige i en modell som efterliknar den modell som används av Abdul Hamid et al. (2021) och utföra simuleringar i syfte att utreda hur risker med boendetäthet kan se ut baserat på de framtagna profilerna. Arbetet ska beakta följande risker i typiska miljonprogramslägenheter:

- 1) försämrad inneluftskvalité
- 2) försämrad värmekomfort
- 3) förhöjda fuktnivåer och därmed mögelpåväxt

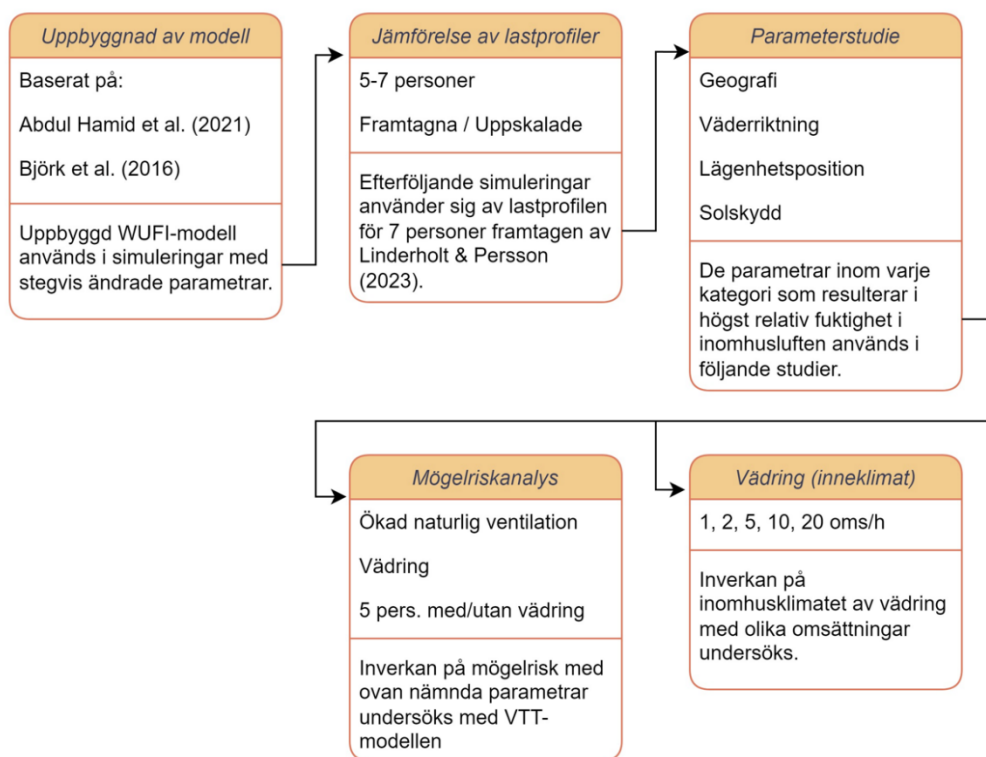
Arbetet ska ta hänsyn till inverkan av faktorer som ort, väderriktning, solskydd, vädning, boendeantal och lägenhetsposition på dessa risker. Arbetet ska även utreda hur ventilation kan påverka riskerna för mögel i de utsatta lägenheterna.

### 1.3 Avgränsningar

- Arbetet håller sig till att undersöka lägenheter typiska för Sveriges miljonprogram. Således är det endast svenska orter och parametrar typiska för Sverige som används i arbetet.
- I WUFI Plus modelleras lägenheten som ett rum. Eftersom vi saknar profiler för beteende i särskilda rum och detaljerad variation i brukarbeteende (vi har endast en genomsnittlig dag, inte helger eller variation i dagar) anses det inte vara intressant att fördjupa undersökningen med zonindelning för ett mer realistiskt resultat.
- Arbetet utreder endast mögelrisken som baseras på hygrotermiska data på den inre ytan av den norra väggen.



## 2 Metod



Figur 1: Flowchart av de fem övergripande stegen som var metoden.

Arbetet har bestått av flera steg. Dessa beskrivs grundligare i egna avsnitt. Stegen syns i Figur 1 och är listade nedan:

- 1) Först modellerades en typisk 70 m<sup>2</sup> lägenhet från miljonprogrammet i WUFI Plus. Modellen baserades på Björk et al. (2016), Abdul Hamid et al. (2021) och Linderholt & Persson (2023). Se avsnitt 2.2.
- 2) Framtagna och uppskalade profiler jämfördes med hjälp av simulering. Se avsnitt 2.3.
- 3) Olika parametrar undersöktes för att reda ut vilken typ av lägenhet som bör vara mest utsatt för mögelrisk på inre ytor. I detta steg användes endast en lastprofil, den som är framtagen av Linderholt & Persson (2023) för sju personer. Se avsnitt 2.4.
- 4) Det värsta fallet undersöktes i hänsyn till mögelrisk och den naturliga ventilationen ändrades för att se dess bidrag till att motverka mögelrisken. Se avsnitt 2.5.
- 5) Vädring undersöktes för att se hur det påverkade inneklimat och mögelrisk. Se avsnitt 2.6.

För en enklare förståelse av vilka parametrar som används i de olika fallen i jämförelsen mellan de framtagna och uppskalade lastprofilerna (steg 2 ovan) presenteras i Tabell 1

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.

en sammanfattning. Utöver parametrarna som nämns i tabellen är samtliga modeller likadana, se indata i avsnitt 2.2. Efter detta steg används endast den framtagna lastprofilen för sju personer, utom i en del av mögelriskanalysen där framtagna profilen för fem personer används.

Tabell 1: Simuleringsfall i jämförelse av framtagna och uppskalade lastprofiler.

Fall	Antal boende	Lastprofil: Uppskalad (WUFI) / Framtagen (Linderholt & Persson, 2023)
5 pers, framtagen	5	Framtagen
5 pers, uppskalad	5	Uppskalad
6 pers, framtagen	6	Framtagen
6 pers, uppskalad	6	Uppskalad
7 pers, framtagen	7	Framtagen
7 pers, uppskalad	7	Uppskalad

För en enklare förståelse av vilka parametrar som används i de olika fallen i parameterstudien (steg 3 ovan) presenteras i Tabell 2 en sammanfattning. Utöver parametrarna som nämns i tabellen är samtliga modeller likadana, se indata i avsnitt 2.2. Även lastprofilen är oförändrad i detta steg, här användes genomgående den framtagna profilen för sju personer.

Tabell 2: Simuleringsfall i parameterstudie.

Fall	Ort	Väder- riktning	Persienner g-värde	Överhängande solskydd	Våning	Center-/ ytterlägenhet
Grundfall	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Nej	Mitt	Center
Göteborg	Göteborg	Syd/Norr	0,5	Nej	Mitt	Center
Malmö	Malmö	Syd/Norr	0,5	Nej	Mitt	Center
Öst/Väst	Stockholm	Öst/Väst	0,5	Nej	Mitt	Center
Överhäng	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Ja	Mitt	Center
Överhäng, g=0,25	Stockholm	Syd/Norr	0,25	Ja	Mitt	Center
Överhäng, g=0,5	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Ja	Mitt	Center
Överhäng, g=0,75	Stockholm	Syd/Norr	0,75	Ja	Mitt	Center
Ej överhäng, g=0,25	Stockholm	Syd/Norr	0,25	Nej	Mitt	Center
Ej överhäng, g=0,75	Stockholm	Syd/Norr	0,75	Nej	Mitt	Center
Mitt_Ytter	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Nej	Mitt	Ytter
Topp_Center	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Nej	Topp	Center
Topp_Ytter	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Nej	Topp	Ytter
Bott_Center	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Nej	Bott	Center
Bott_Ytter	Stockholm	Syd/Norr	0,5	Nej	Bott	Ytter

För en enklare förståelse av vilka parametrar som användes i de olika fallen i mögelriskanalysen (steg 4 ovan) presenteras i Tabell 3 en sammanfattning. Utöver parametrarna som nämns i tabellen är samtliga modeller likadana. De använda parametrarna togs fram genom parameterstudien, de presenteras i Tabell 4. Övriga parametrar är enligt indata i avsnitt 2.2. Denna modell användes även till vädringsstudien



(steg 5 ovan). Samtliga fall använder sig av framtagna lastprofilen för sju personer, utom de sista två fallen i mögelriskanalysen som använder sig av framtagna profilen för fem personer.

Tabell 3: Simuleringsfall i mögelriskanalysen.

Fall	Naturlig ventilation	Vädning	Antal boende
VTT-Grundfall	0,5 oms/h	Nej	7
Naturlig ventilation 0,75 oms/h	0,75 oms/h	Nej	7
Naturlig ventilation 1 oms/h	1 oms/h	Nej	7
Vädning 5 oms/h	0,5 oms/h	5 oms/h	7
Vädning 20 oms/h	0,5 oms/h	20 oms/h	7
5 boende, ej vädning	0,5 oms/h	Nej	5
5 boende, vädning 20 oms/h	0,5 oms/h	20 oms/h	5

Tabell 4: Parametrar som används i modellen vid mögelriskanalysen. De som valts har baserats på vilka parametrar som resulterade i högst relativ fuktighet i parameterstudien.

Ort	Malmö
Väderriktning	Syd/Norr
Solskydd	Överhäng och solskydd med $g=0,25$
Position	Yttre bottenlägenhet

## 2.1 Programvara

### WUFI Plus

För arbetet användes programmet WUFI Plus (Fraunhofer IBP, n.d.) till simuleringar av de undersökta fallen. Programmet tillåter 3D-modellering av en byggnad och tar i simulering hänsyn till parametrar som klimatdata, interna laster, klimatskal, HVAC (heating, ventilation and air conditioning) och byggnadens dimensioner. Programmet utför simuleringar med fokus på det hygrotermiska förhållandet i byggnaden under en bestämd tidsperiod. För detta arbete var de studerade resultaten inomhusmiljöns temperatur, koldioxidhalt och relativa fuktighet.

Klimatdata för Stockholm, Göteborg och Malmö hämtades från Meteonorm (Meteotest AG, n.d.). Meteonorm erbjuder klimatdata för strålning, temperatur, relativ fuktighet, regnfall och vind på timbasis. I arbetet användes data för perioden 2024/01/01 till 2025/01/01.

### HEAT2

För framtagande av temperaturprofil i jorden under huset användes HEAT2. Programmet är validerat av ISO (Blocon AB, n.d.). HEAT beräknar temperaturförhållanden i material baserat på deras värmekonduktivitet och värmekapacitet. Användaren bygger upp en tvådimensionell geometrisk modell och definierar samtliga material och randvillkor, programmet beräknar sedan tidsberoende förändring av temperaturförhållanden i modellen.

## 2.2 Uppbyggnad av WUFI-modell

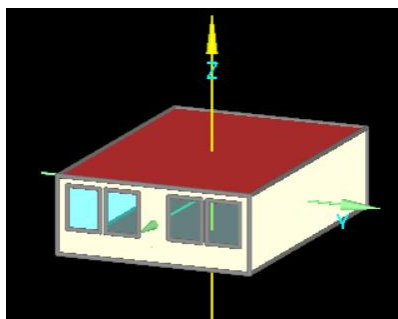
Klimatskalets uppbyggnad har baserats på tidigare arbete av Abdul Hamid et al. (2021) samt på relevanta hustyper som redovisas i boken “Så byggdes husen 1880~2000” av Björk et al. (2016). Yttervägg, tak och fönster är tagna från det förstnämnda. Lägenhetsskiljande vägg, mellanbjälklag och grund är taget från det sistnämnda, specifikt från lamell-, punkt- och skivhus byggda på 60- och 70-tal som presenteras i sidor 90–117 i boken. Klimatskalet presenteras i Tabell 5. Förekomsten av ett jordlager i grunden är på grund av att detta tillåter mer realistiska temperaturförhållanden i marken, detta redovisas tydligare i avsnitt 2.4.4.2.

Tabell 5: Uppbyggnad av komponenter i WUFI Plus, inifrån ut.

<b>Yttervägg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 13 mm Gipsskiva</li> <li>● Plastfolie</li> <li>● 100 mm Mineralull</li> <li>● 3 mm Träfiberskiva (vindskydd)</li> <li>● 20 mm Ventilerad Luftspalt</li> <li>● 10 mm Kalksten</li> <li>● Färg</li> </ul>
<b>Lägenhetsskiljande vägg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Färg</li> <li>● 150 mm Betong</li> <li>● Färg</li> </ul>
<b>Mellanbjälklag</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Färg</li> <li>● 200 mm Betong</li> <li>● Färg</li> </ul>
<b>Tak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Färg</li> <li>● 160 mm Betong</li> <li>● 130 mm Mineralull</li> <li>● 120 mm Ventilerad Luftspalt</li> <li>● 22 mm Träskiva</li> <li>● Asfaltsimpregnerat Papper</li> </ul>
<b>Grund</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plastmatta</li> <li>● 200 mm Betong</li> <li>● 200 mm LECA-tegel</li> <li>● 150 mm Makadam</li> <li>● 2000 mm Jord</li> </ul>
<b>Fönster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2-glas med träram, <math>U_w = 2,87 \frac{W}{m^2K}</math></li> </ul>

De framtagna profilerna är anpassade till en 70 m<sup>2</sup> lägenhet då Linderholt & Persson (2023) har kommit fram till att det är en vanlig storlek för lägenheter som är trångbodda

i Sverige, således är modellen i WUFI  $7 \times 10 \text{ m}^2$ . Långsidorna är lägenhetsskiljande väggar och kortsidorna är ytterväggar, på ytterväggarna finns det fyra fönster á  $1,2 \times 1,5 \text{ m}^2$  var. Modellen syns i 3D i Figur 2. I modellen användes naturlig ventilation på konstant 0,5 omsättningar per timme, vilket är vanligt för byggnader byggda under denna tidsperiod (Jönsson, 2013). I WUFI Plus kan man sätta en initiationsperiod som simulerar modellen en tid i förväg så att komponenter hinner nå en jämvikt innan den riktiga simuleringen inleds. Initiationsperioden sattes på högsta tillåtna vilket är 365 dagar. För uppvärmning användes i modellen radiatorer som höll inomhustemperaturen över ett angivet värde, i detta arbete sattes minsta innetemperatur som  $21^\circ\text{C}$ . Vid simuleringens inledning hade luften inomhus en temperatur på  $21^\circ\text{C}$ , relativ fuktighet på 50% och koldioxidhalt på 400 ppm.



Figur 2: 3D-modell av grundlägenheten i WUFI Plus

Samtliga komponenter i WUFI-modellen fungerar som rektangulära block som värme kan färdas genom. Dessa block har övergångskoefficienter för termisk resistans. För samtliga väggar och fönster är dessa värden lika. Takblocket och golvblocket har egna värden. Samtliga värden för termisk resistans presenteras i Tabell 6.

Tabell 6: Värden på termisk resistans för väggar, fönster, tak och golv i WUFI-modellen.

		Värmeövergångskoefficient/(W/(m <sup>2</sup> K))		Värmeövergångsmotstånd Rs/(m <sup>2</sup> K/W)
		Konvektion	Strålning	
Väggar och fönster	Yttre yta	18,5	6,5	0,04
	Inre yta	3,19231	4,5	0,13
Tak	Yttre yta	18,5	6,5	0,04
	Inre yta	5,5	4,5	0,1
Golv	Yttre yta	18,5	6,5	0,04
	Inre yta	2,5	3,38235	0,17

## 2.3 Jämförelse av framtagna och uppskalade brukarprofiler

Uppskalade profiler jämfördes med framtagna genom att simulera alla i samma lägenhetsmodell. Jämförelsens fokus låg på den temperatur, koldioxidhalt och relativa fuktighet som uppnåddes i lägenheten. Temperatur relaterar till hushållets värmeavgivning. Koldioxidhalt relaterar till hushållets koldioxidproduktion. Relativ fuktighet relaterar till hushållets fuktproduktion samt, då relativ fuktighet är beroende av temperaturen, hushållets värmeavgivning.

Linderholt & Persson (2023) har kommit fram till att deras framtagna lastprofiler för trångbodda hushåll inte har en lika hög koldioxidproduktion och total värmeproduktion som de uppskalade. Fuktproduktionen är däremot cirka 40% högre i de framtagna än de uppskalade profilerna. Vidare noterar de att deras framtagna profiler har jämnare nivåer under dagen än de uppskalade som har fler toppar och dalar.

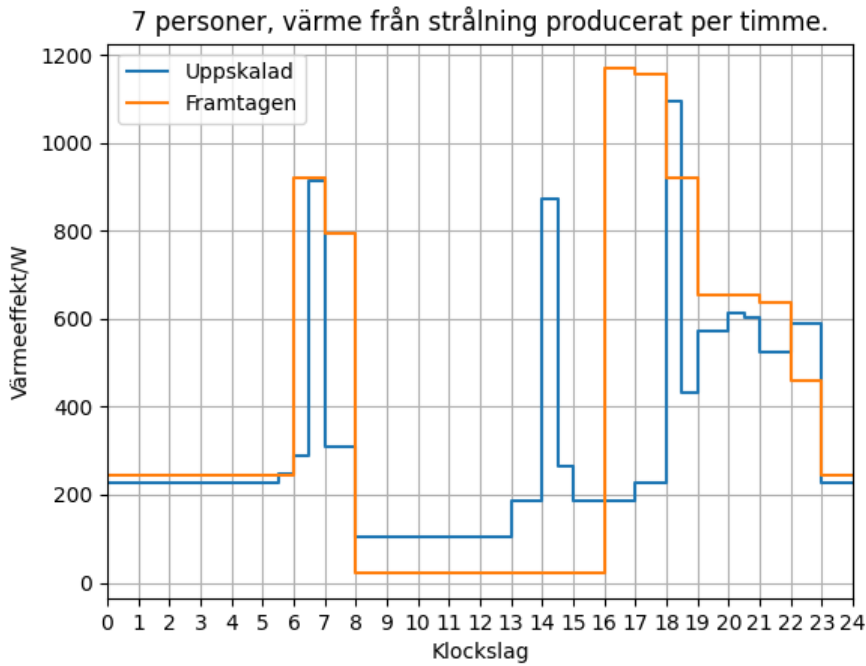
Den lägenhetsmodell som användes i detta stadiet är, för att någorlunda efterlikna modellen som användes av Abdul Hamid et al. (2021), placerad på högsta våningen. På var långsida ligger andra lägenheter, likaså under. De riktningarna är alltså adiabatiska.

Figur 3 - Figur 6 visar grafiskt skillnaden mellan de framtagna och de uppskalade profilerna för hushåll på sju personer. Grafer för resterande profiler (5 och 6 personer) och tillhörande tabeller finns bifogade i bilaga B. I diskussionen under 4.1.1 jämförs profilerna.

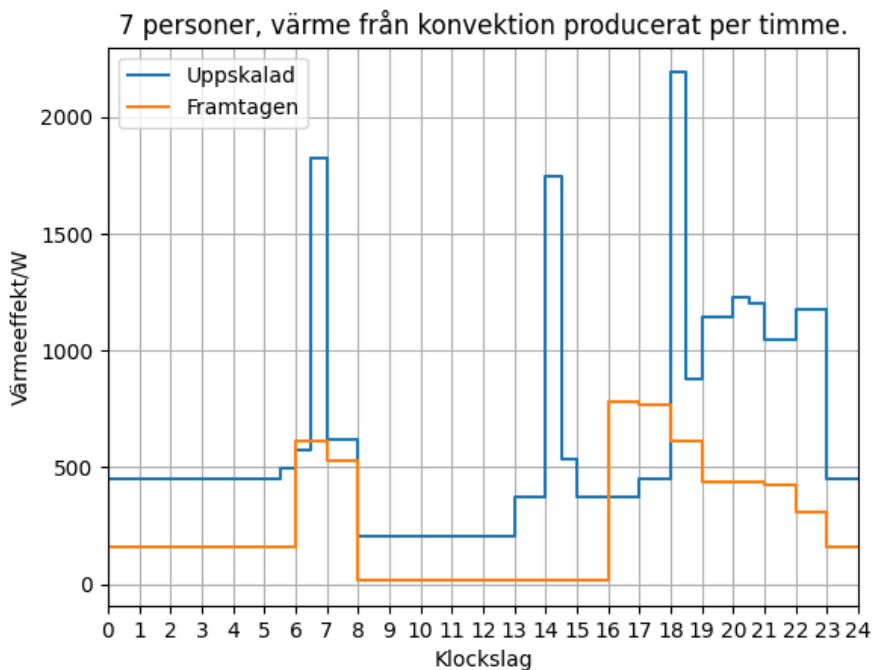
Modellen i detta steg har samma förutsättningar som beskrivs i avsnitt 2.2 om uppbyggnaden av WUFI-modellen. Efter detta avsnitt (2.3) som jämför de framtagna och uppskalade profilerna kommer ett avsnitt (2.4) som jämför olika parametrar. De parametrar som stegvis varieras i det avsnittet är i detta avsnitt konstant samma för samtliga fall. Dessa parametrar är som följer:

- **Ort:** Stockholm.
- **Väderriktning:** Syd/Norr.
- **Solskydd:** Ej överhäng, ingen skuggningsanordning.
- **Lägenhetsposition:** Översta våningen, center.

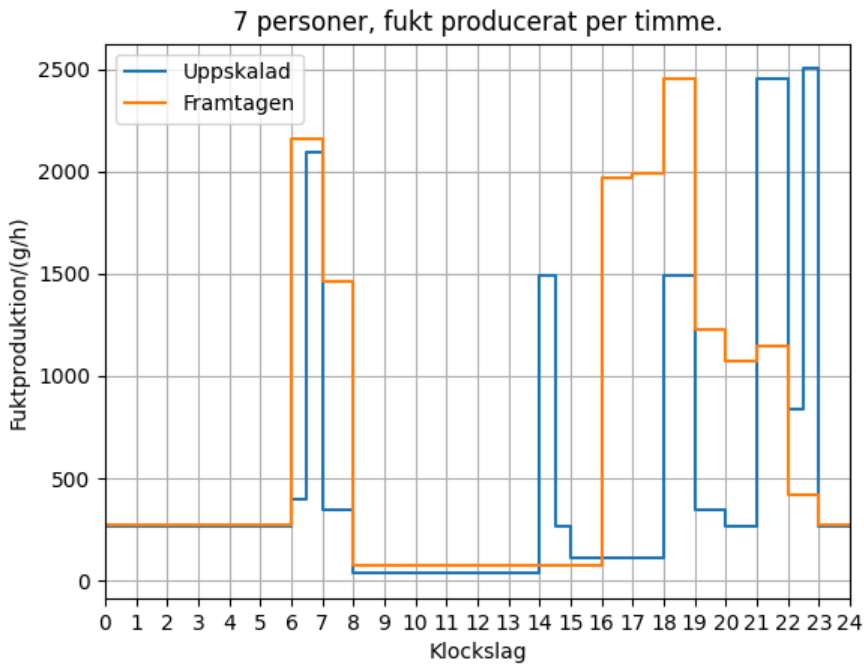
Parametrarnas innebörd förklaras i avsnitt 2.4.



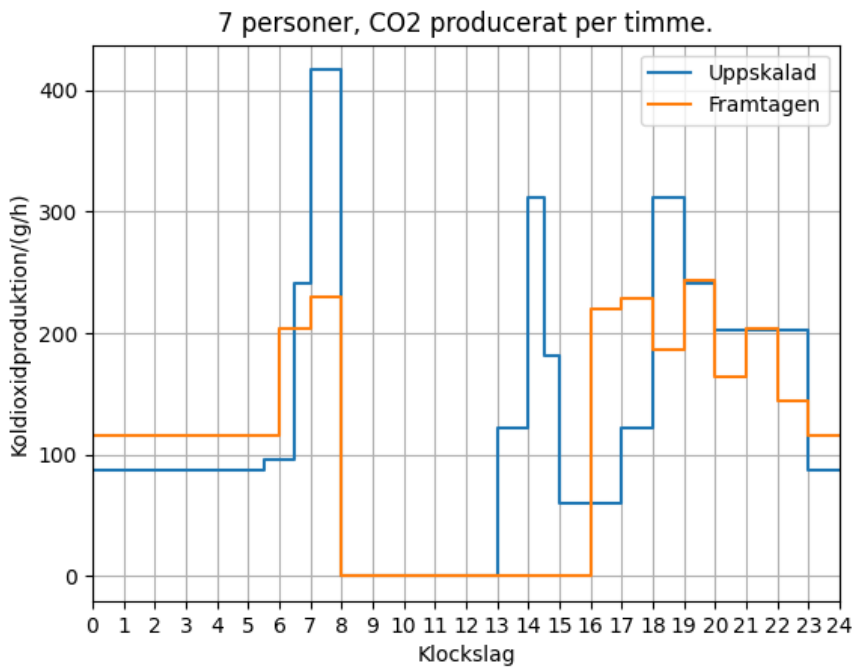
Figur 3: Strålningsvärme som avges i ett hushåll med sju personer, jämförelse mellan uppskalad och framtagen brukarprofil enligt Linderholt & Persson (2023).



Figur 4: Konvektionsvärme som avges i ett hushåll med sju personer, jämförelse mellan uppskalad och framtagen brukarprofil enligt Linderholt & Persson (2023).



Figur 5: Fukt som produceras i ett hushåll med sju personer, jämförelse mellan uppskalad och framtagen brukarprofil enligt Linderholt & Persson (2023).



Figur 6: Koldioxid som produceras i ett hushåll med sju personer, jämförelse mellan uppskalad och framtagen brukarprofil enligt Linderholt & Persson (2023).

## 2.4 Parameterstudie

Eftersom detta arbete delvis vill utreda vilka lägenhetstyper som kan vara mest utsatta för fuktproblem genomfördes en parameterstudie. I parameterstudien användes endast den framtagna profilen för sju personer, detta i en 70 kvadratmeters lägenhet (som i hela arbetet). För att undersöka hur olika parametrar påverkar temperatur och relativ fuktighet skapades en modell på ett grundfall för att kunna ändra på en parameter i taget och få god insikt i hur just den parametern påverkar resultatet. De parametrar som undersökts är:

- **Ort:** Grundfallet placerades i Stockholm. Utöver det undersöktes även Göteborg och Malmö.
- **Väderriktning:** Grundfallet har fönster i nordlig och sydlig riktning. Ytterligare ett fall med fönster i västlig/östlig riktning undersöktes också.
- **Solskydd:** Grundfallet saknar överhängande solskydd men tilldelas persiennliknande funktion i syfte att hindra övertemperaturer. I andra modeller undersöktes effekten av överhängande loftgång och starkare/svagare skuggningsanordning.
- **Lägenhetsposition:** Lägenheten i grundfallet har lägenheter ovanför, nedanför samt på båda sidor. Arbetet undersökte även lägenheter med ventilerad vind ovanför, platta på mark under, samt lägenheter på husets gavlar.

### 2.4.1 Ort

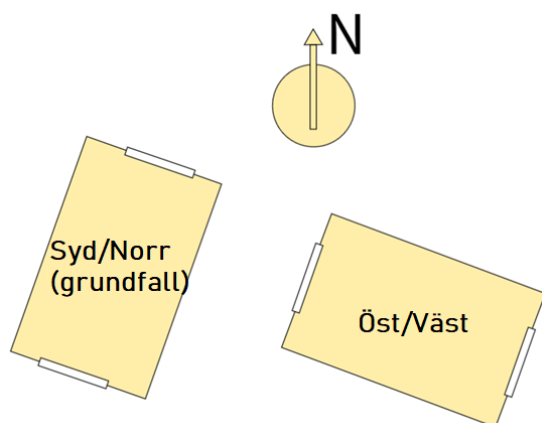
Trångboddhet är med god marginal vanligast i Sveriges tre största städer, Stockholm, Göteborg och Malmö (Statistikmyndigheten SCB, 2023) sett till antal personer som lever trångbott. Eftersom klimatet varierar något mellan dessa platser har ort inkluderats som undersökt parameter. Då Stockholm har flest trångbodda användes det som plats för grundfallet. Årsmedeltemperatur för de tre orterna presenteras i Tabell 7.

Tabell 7: Årsmedeltemperatur år 2023 i de tre undersökta orterna (SMHI, n.d.).

Ort	Årsmedeltemperatur/°C
Stockholm	8,0
Göteborg	9,5
Malmö	9,9

### 2.4.2 Väderriktning

Flygbilder på fyra orter med miljonprogramslägenheter från Google Earth visar på att det är vanligt i de undersökta orterna att ha byggnader riktade några tiotal grader från nordriktning, se bilaga A. För att efterlikna verkligheten har lägenheten i grundfallet i WUFI vinklats så att den sydliga ytterväggen är riktad med en azimut på 200 grader från norr. Den alternativa modellen har i stället samma fasad riktad mer åt öster, riktad 110 grader från norr. Figur 7 förtydligar modellernas riktningar.



Figur 7: Förtydligande av riktningar, grundfall till vänster och Öst/Väst-alternativ till höger (sett ovanifrån)

### 2.4.3 Solskydd

#### *Skuggningsanordning*

De flesta har någon form av solskydd, exempelvis persienner eller gardiner. Förmågan att hindra värmeinträngning från solstrålning varierar och beror av många faktorer. Persiennernas färg och vinkel spelar roll, likaså för gardiner. I en rapport från Lunds Universitet (Wall & Bülow-Hübe, 2003) jämförs inverkan av olika solskydd. Även på Mälardalens Högskola har en liknande utredning genomförts (Anzelius, et al., 2016). Från dessa rapporter hämtas ett rimligt intervall för solskydd att bidra med g-värden som ligger mellan 0,25 och 0,75. G-värdet beskriver med vilken faktor solens strålning hindras genom ett fönster. Ett g-värde på 0 innebär att ingen strålning kommer igenom, ett g-värde på 1 innebär att all strålning kommer igenom.

I modellen är grundfallet utrustat med behovsstyrd solskyddsfunktion i de sydliga fönsterna, vid  $T > 27^{\circ}\text{C}$  grader aktiveras solskyddet som i grundfallet är  $g=0,5$ , baserat på Lunds Universitets rapport som anger det g-värdet för persienner sittande mellan fönsterglas. I alternativa modeller varierades detta värde mellan 0,25, 0,5 och 0,75 med och utan överhängande solskydd.

#### *Överhängande solskydd*

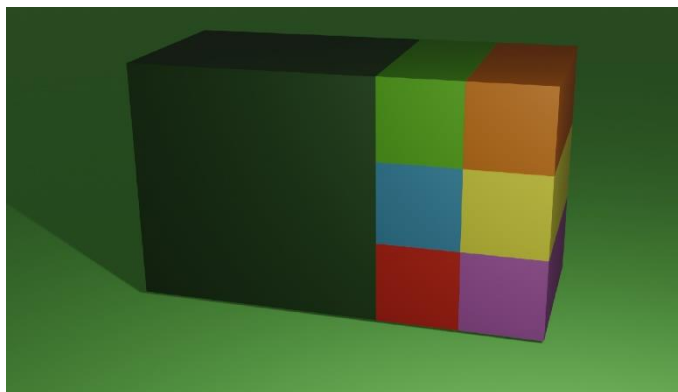
I ”Så byggdes husen 1880~2000” av Björk et al. (2016) anges att flera hustyper har former av överhängande solskydd, exempelvis loftgång eller balkong ovanför fönster. Eftersom detta under sommarmånader väldigt effektivt hindrar den högt liggande solen inkluderades loftgång/balkong i undersökningen. Det överhängande solskyddet placerades 10 centimeter ovanför fönstren och sticker ut 1,3 meter.

### 2.4.4 Lägenhetsposition

Då värmeförluster från en byggnad sker genom klimatskalet kan lägenhetens placering i byggnaden påverka resultatet. Med fler adiabatiska riktningar minskar möjligheten för lägenheten att släppa ut värme. Således bör rimligtvis en centralt positionerad lägenhet bli varmare än de lägenheter som har fler riktningar som tillåter värmetransport. För att



undersöka denna parameter har sex olika positioner valts ut, se Figur 8. Lägenheten i grundfallet är centralt positionerad mellan lägenheter i fyra riktningar.



Figur 8: Illustration av lägenhetspositioner, sett från sydlig riktning. Beteckningar: **Grön=Topp\_Center**, **Orange=Topp\_Ytter**, **Blå=Mitt\_Center (grundfall)**, **Gul=Mitt\_Ytter**, **Röd=Bott\_Center**, **Lila=Bott\_Ytter**. Det mörka till vänster är andra lägenheter i huset.

### 2.4.4.1 Övre lägenheter

De övre lägenheterna har över sig ett ventilerat vindsutrymme med ett klimat som förenklat satts till uteklimat. Vindsutrymmets geometri har i WUFI Plus, enligt beteckningar i Figur 9, satts med höjd  $h_1=0,5$  meter och vinkeln  $\alpha=15^\circ$ . Takets överhäng sattes till 0,1 meter.



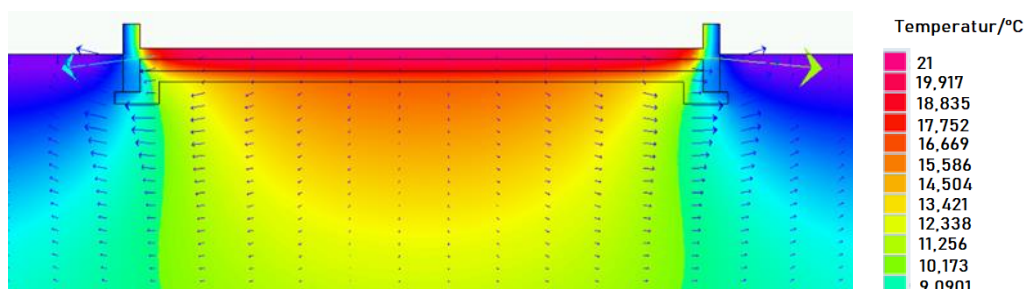
Figur 9: Beteckningar och illustration av geometri för de övre lägenheternas vindsutrymme i WUFI Plus.

### 2.4.4.2 Nedre lägenheter

Till lägenheterna på bottenplan användes i modellen en platta på mark. Grunden är uppbyggd enligt Tabell 5. Grundläggningen baseras på "Så byggdes husen 1880~2000" av Björk et al. (2016). Jordlagrets förekomst i beskrivning av grunden förklaras nedan.

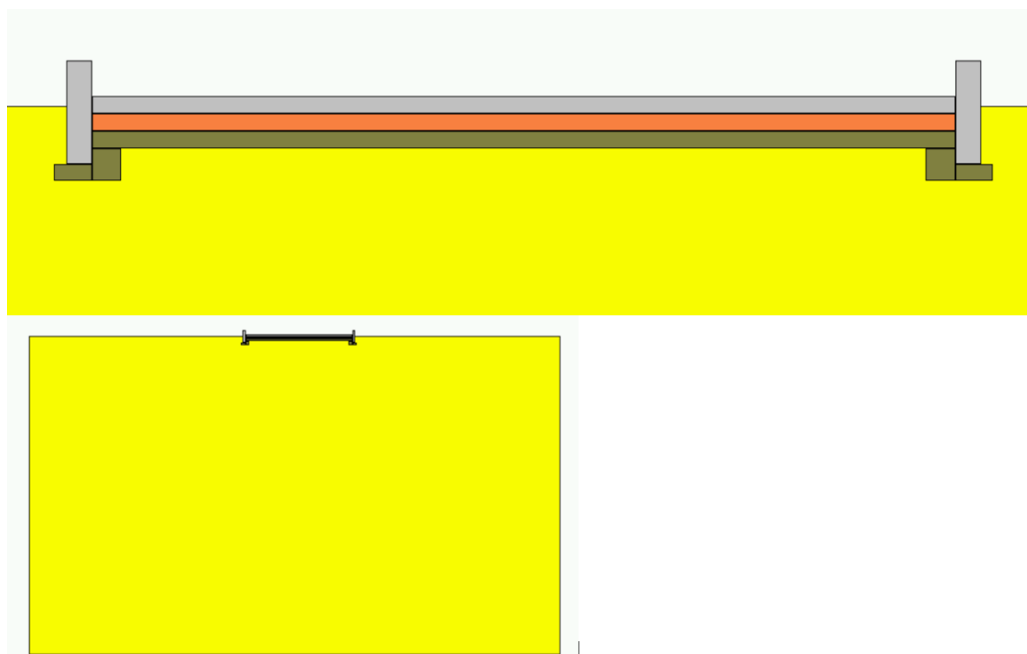
#### **Marktemperatur**

I de fall där lägenheter på bottenvåningen undersökts behövdes ett klimat för marken under byggnaden som indata. Relativa fuktigheten i marken brukar antas vara 99,9% året om, så även här. Temperaturen är varmare än jorden hade varit om huset inte funnits eftersom marken värms upp av huset liksom Figur 10 och når en någorlunda stabil temperatur året om.



Figur 10: Marken värms upp av byggnaden. Från simulering i HEAT2, tagen vintertid. Till höger visas temperaturskala.

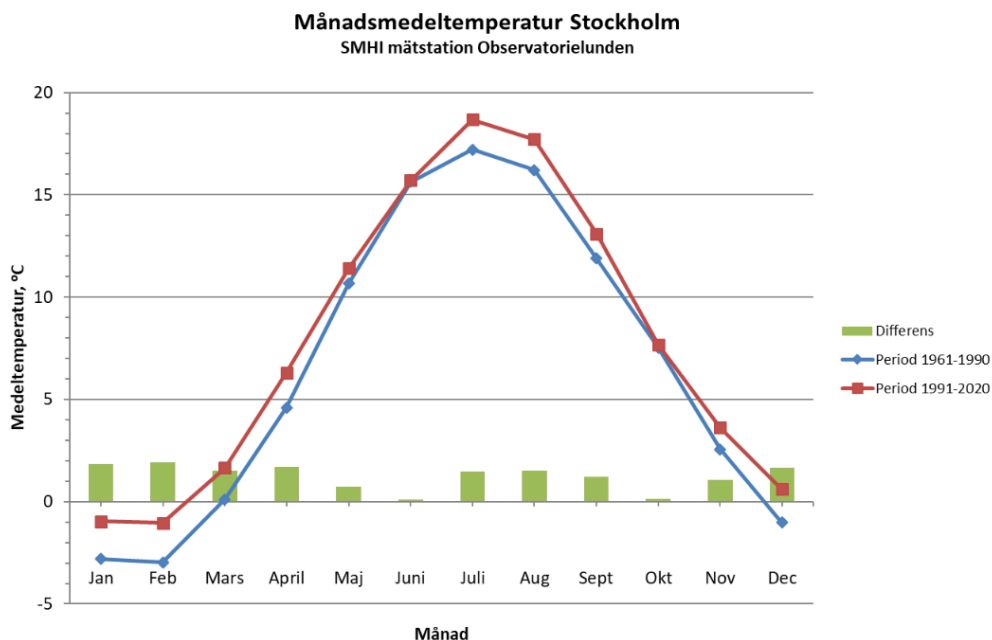
Till modellen i WUFI användes en sinuskurva som beskriver jordtemperaturen två meter under makadamen. Sinuskurvan skapades med hjälp av simuleringar i HEAT2. Grundläggningen modellerades upp likt Figur 11.



Figur 11: (närbild och distans) Modell platta på mark i HEAT2. Grå=Betong, Orange=Lättklinker, Brun=Makadam, Gul=Jord.

Utomhustemperaturen sattes som en sinuskurva med medelvärde 8°C och amplitud 10°C. Sinuskurvan baserades på data från Miljöförvaltningen och SMHI, se Figur 12. Att utetemperaturen i HEAT-modellen inte varierar på dagsbasis kommer inte påverka precisionen i jordtemperaturen nämnvärt, två meter under marken är utelufts temperaturpåverkan flera månader fördröjd och det är således endast medeltemperaturen som spelar roll. Inomhustemperaturen var i HEAT2 konstant 21°C. Det är en lägre temperatur än vad som uppnås i WUFI-simuleringar, men då både marktemperatur och

inomhustemperatur är okända parametrar som påverkar varandra måste en antas, detta antagande är en förenkling som krävdes och som inte väntas ge alltför avvikande data.



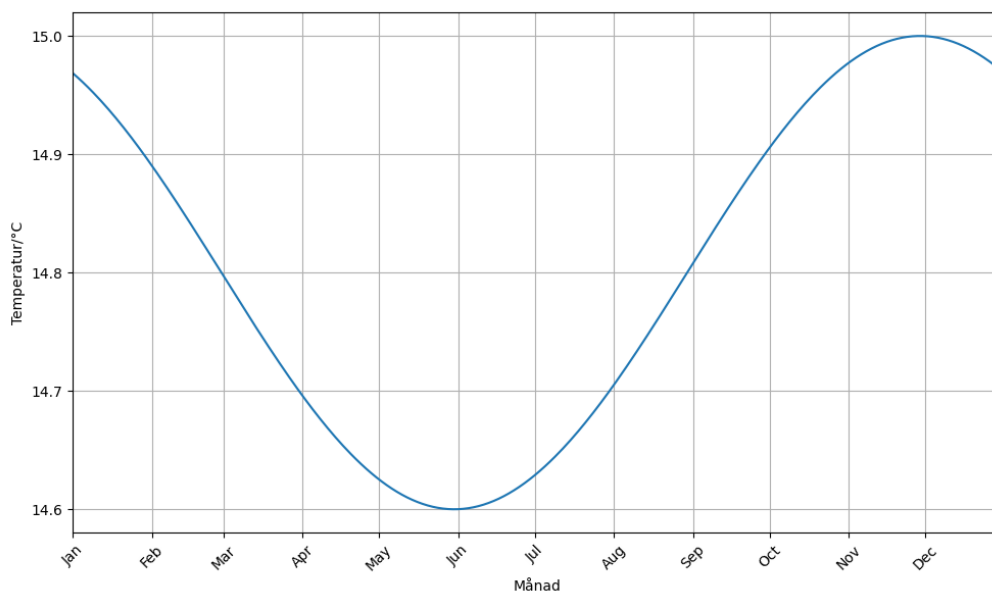
Figur 12: Månadsmedeltemperatur utomhus i Stockholm (Miljöförvaltningen, 2024).

Simuleringar i HEAT2 gjordes för att ta fram jordtemperaturen på vinter, vår, sommar och höst. Mätningar gjordes vid fyra tidpunkter, slutet av månaderna februari, maj, augusti och november. Anledningen till att tidpunkterna för mätning är i slutet av varje period i stället för mitten är att ändringar i lufttemperatur fördröjs med några månader ner i marken. Temperaturmätningarna presenteras i Tabell 8.

Tabell 8: Temperatur två meter under makadamen.

Tid	Temperatur/°C
Vinter	14,9
Vår	14,6
Sommar	14,7
Höst	15,0

Värdena visar på en variation som inte är helt jämnt fördelad under året. Förenklat användes i WUFI den sinuskurva som visas i Figur 13 med medelvärde 14,8°C och amplitud 0,2°C som har sitt maximum i slutet av november.



Figur 13: Sinuskurva som beskriver temperaturen två meter under grunden i WUFI Plus.

### 2.4.4.3 Yttre lägenheter

De yttre lägenheterna har en extra vägg (väggen mot öster) som tillåter värmeöverföring till uteluften. Den väggen är i modellen en yttervägg av samma uppbyggnad som de övriga ytterväggarna, men utan fönster.

## 2.5 Undersökning av mögelrisk

Eftersom arbetet vill belysa vilka problem som kan uppstå för de som bor i de för mögel mest gynnsamma förhållanden så har den kombination av parametrar som utgör det värsta fallet med hänsyn till mögelrisk i konstruktionen undersökts. Mögel växer snabbare ju fuktigare det känsliga materialet är, således valdes de fall där den relativa fuktigheten är högst.

Till undersökningen användes den finska VTT-modellen (Viitanen, et al., 2011) som beskrivs nedan. Med hjälp av denna kan mögelpåväxt beräknas på inre ytor i hemmet. På inre ytor är det mycket vanligt att en mängd organiska material fäst sig vilka gör ytorna perfekta för mögel att livnäras på. Beroende på hur mycket organiska material som fäst sig, det vill säga beroende på hur smutsig väggen är, kan dess mögelkänslighet variera. I Tabell 10 definieras fyra olika känsligheter av material. I detta arbete undersöks de två känsligaste, ”very sensitive” och ”sensitive”, vilka representerar mycket smutsiga väggar, obehandlat trä eller pappmaterial. I arbetet undersöks mögelrisk på den inre ytan av den norra ytterväggen. Viitanen et al. (2011) poängterar att resultaten av mögelberäkningar inte ska ses som absoluta värden utan bör användas för att jämföra olika fall mot varandra. Främst bör man ta med sig om möglet verkar öka år till år eller hålls på en stabil godtagbar nivå.

Eftersom en dåligt isolerad yttervägg kan medföra höga transmissionsförluster genom sig och därmed får en mycket lägre temperatur än inomhusluften eller övriga ytor i hemmet inkluderas en analys av vilken hygrotermisk skillnad det är mellan väggytan och inomhusluften. Vore skillnaden låg borde det räcka med att inkludera hygrotermisk data för insidan av den norra ytterväggen, men om skillnaden vore väldigt stor borde fler ytor undersökas.

### 2.5.1 VTT-modell

Mögelrisk har beräknats med den så kallade VTT-modellen, en modell framtagen av forskare på Teknologiska forskningscentralen VTT i Esbo, Finland. Genom grundliga laboratorieundersökningar har de publicerat en process för att beräkna den tidsberoende utvecklingen av mögel baserat på inparametrar som materialtyp, temperatur och relativ fuktighet. Modellen kartlägger sju (0–6) olika nivåer av mögelpåväxt, kallade Mould Index. Nivåerna baseras på den visuella uppfattningen av mängd mögel. Nivåerna presenteras i Tabell 9.

Tabell 9: Mould Index definitioner (Viitanen, et al., 2011).

Index	Beskrivning av tillväxt
0	Ingen tillväxt
1	Små mängder mögel på ytan (mikroskop), initiala stadier av lokal tillväxt
2	Flera lokala mögelkolonier på ytan (mikroskop)
3	Visuella fynd av mögel på ytan, < 10 % täckning, eller, < 50 % täckning av mögel (mikroskop)
4	Visuella fynd av mögel på ytan, 10 - 50 % täckning, eller, > 50 % täckning av mögel (mikroskop)
5	Mycket tillväxt på ytan, > 50 % täckning (visuellt)
6	Tung och tät tillväxt, täckning cirka 100 %

I modellen kan mögel växa om den relativa fuktigheten ligger över en kritisk relativ fuktighet, alltså att miljön är fördelaktig för möglet. Den kritiska relativa fuktigheten är beroende av temperaturen och kan beskrivas av ekvation 1.

$$RH_{crit} = \begin{cases} -0,00267T^3 + 0,16T^2 - 3,13T + 100 & \text{när } T \leq 20 \\ RH_{min} & \text{när } T > 20 \end{cases} \quad (1)$$

$RH_{min}$  har för trä och annat känsligt material fastställts till 80% medan det för mer resistent material fastställts till 85%, se tabell X. När den relativa fuktigheten ligger över den kritiska relativa fuktigheten kan möglet växa, detta sker i modellen med hastigheten som beskrivs av ekvation 2.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{k_1 \cdot k_2}{7 \cdot \exp(-0,68 \cdot \ln(T) - 13,9 \cdot \ln(RH) + 0,14 \cdot W - 0,33 \cdot SQ + 66,02)} \quad (2)$$

W och SQ är materialberoende parametrar som i detta arbete sätts till 0, W ska för allt annat än granträ sättas till 0 och likaså SQ för allt annat än ugnstorkat trä.  $k_1$  och  $k_2$  är koefficienter för tillväxten.  $k_1$  har bestämts genom experiment och finns att se i tabell X.  $k_2$  anpassar tillväxten när Mould Index närmar sig sin maximala nivå,  $k_2$  beskrivs i ekvation 3.

$$k_2 = \max [1 - \exp (2,3 \cdot (M - M_{max})); 0] \quad (3)$$

M är den nuvarande nivån av mögel,  $M_{max}$  är den maximala nivån som kan uppnås under rådande tillstånd, beskrivs av ekvation 4.

$$M_{max} = A + B \cdot \frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} - C \cdot \left( \frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} \right)^2 \quad (4)$$

Parametrarna A, B och C är även dessa framtagna genom experiment, de presenteras i Tabell 10.

Tabell 10: Parametrar framtagna av VTT i laboratorium (Viitanen, et al., 2011).

Sensitivity class	$k_1$		$k_1 (M_{max})$			RH <sub>min</sub>
	$M < 1$	$M \geq 1$	A	B	C	
Very sensitive	1	2	1	7	2	80 %
Sensitive	0,578	0,386	0,3	6	1	80 %
Medium Resistant	0,072	0,097	0	5	1,5	85 %
Resistant	0,033	0,014	0	3	1	85 %

Slutligen kan mängden mögel även avta om tillståndet inte längre är fördelaktigt för tillväxt. Hastigheten som mögelkolonier minskar med beskrivs av ekvation 5.

$$\frac{dM}{dt} = \begin{cases} -0,00133 & \text{när } t - t_1 \leq 6h \\ 0 & \text{när } 6h < t - t_1 \leq 24h \\ -0,000667 & \text{när } t - t_1 > 24h \end{cases} \quad (5)$$

Tiden  $t_1$  är när den relativa fuktigheten senast sjunkit under den kritiska relativa fuktigheten,  $t - t_1$  är alltså hur många timmar i sträck som förhållandet varit ogynnsamt för mögel. Denna nedgångstakt kan multipliceras med en faktor  $C_{mat}$  som beror av material. Författarna rekommenderar 0,25 men poängterar hur osäker modellen för möglets avtagande är. En kort känslighetsanalys presenteras nedan.

Från WUFI kan data hämtas på temperatur- och fuktighetsförhållandet på specifika ställen i konstruktionen. Med denna data kan risken för utveckling av mögel som når de tidigare nämnda nivåerna (Mould Indexes) beräknas timvis. Ekvationerna har sammanställts som kod i Python.

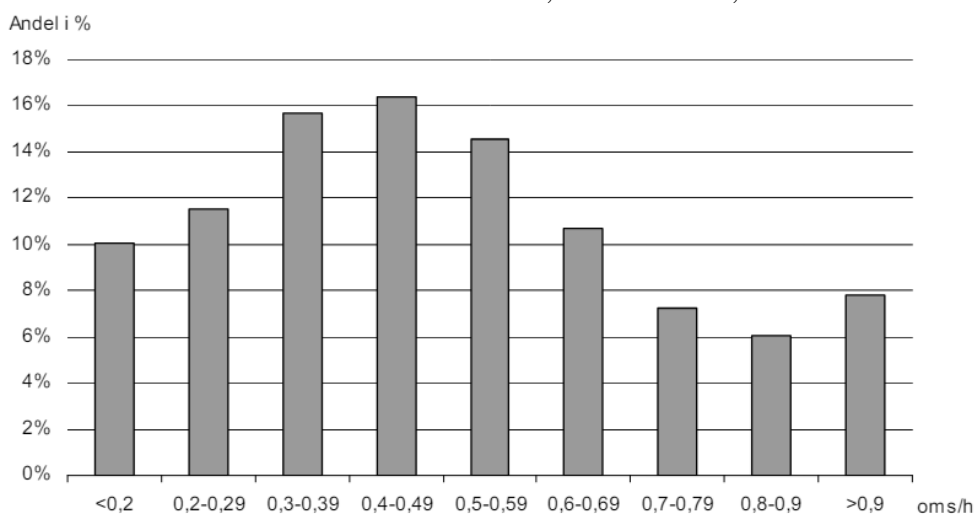
### 2.5.1.1 Decline factor $C_{mat}$

VTT-modellens författare noterar osäkerheterna som finns i beräkning av mögels minskning under ogynnsamma förhållanden. Avtagandet av Mould Index formas av faktorn  $C_{mat}$  som de i rapporten rekommenderar att sätta som 0,25, men att även 0,5 är rimligt. Av denna anledning presenteras resultaten med både  $C_{mat} = 0,25$  och  $C_{mat} = 0,5$ .

### 2.5.2 Luftomsättning

En ökad luftomsättning ska teoretiskt innebära en lägre risk för mögel. I arbetet undersöks en ökad naturlig ventilation samt schemalagd vädring, vädringen presenteras i 2.6.

I arbetets grundmodell användes en konstant naturlig luftomsättning på 0,5 oms/h eftersom det är en god uppskattning på genomsnittlig beskrivning av verkligheten (Jönsson, 2013). Boverket (2010) har genomfört mätningar på luftomsättning i flerfamiljshus vilka visar att luftomsättning skiljer sig mycket mellan olika lägenheter, se Figur 14. Många har lägre än 0,5 oms/h vilket innebär en ännu högre risk för mögel än i den använda modellen. Då flera har högre luftomsättning, vilket kan leda till lindrande resultat i hänsyn till mögel, undersöktes vilken inverkan den naturliga ventilationen har. I arbetet undersöktes utöver 0,5 oms/h även 0,75 och 1 oms/h.



Figur 14: Andel lägenheter i flerbostadshus med viss luftomsättning per timme (Boverket, 2010).

## 2.6 Vädring

Modellen som används i WUFI förlitar sin luftomsättning på endast naturlig ventilation som har ett konstant flöde året om. I verkligheten hade boende troligtvis försökt vädra sin lägenhet för att minska temperaturen och ersätta inomhusluft som har dålig kvalitet. Eftersom det vädringslösa beteendet anses orealistiskt så undersöktes inverkan av olika nivåer av vädring med hänsyn av både hur inneklimatet ändras och hur mögelpåväxten påverkas.

Detta tillhör inte den övriga parameterstudien. Parameterstudien vill hitta vilken lägenhetstyp som är mycket utsatt. Vädringen undersöker vilken inverkan vädring har på resultaten, alltså för att ge en idé om felmarginal i den vädringslösa varianten och att visa hur trångbudda lägenheter med god naturlig ventilation eventuellt inte är så utsatta som de övriga resultaten pekar på.

Beroende på lägenhetsutformning kan vädring ha olika effektivitet. En lägenhet som har fönster riktade åt fler väderstreck har större möjlighet till korsdrag än en lägenhet som har färre väderstreck att öppna fönster åt. Howard-Reed et al. (2011) i USA och Qiu & Liang (2023) i Kina nämner att inverkan av öppna fönster på luftombytet är oberäkneligt varierat. Intervallet anges vara upp till 15 omsättningar per timme i studentrum i Kina. I USA där de har öppnat fönster i hus och mätt luftombytet uppnår det endast till 2,8 oms/h extra. Variationer beror på hur mycket fönster öppnas och lägenhetens position, miljö och geometri. I verkligheten är inte luftombytet vid vädring konstant, tryckförhållanden utanför lägenheter fluktuerar ständigt vilket innebär att vädring inte resulterar i en stadig extra luftomsättning. En noggrannare undersökning av vädringens inverkan hade krävt en hänsyn till detta, men detta arbete använder sig av en förenklad version av vädring som medför en konstant luftomsättning.

I arbetet undersöktes vädring som sker i två olika mönster under sommartid och resten av året. Under sommartid, 15 juni till 15 september, vädrar de boende alla timmar av dygnet som de är hemma (alltså 00–08, sedan 16–24). Under resten av året vädrar de en timme på morgonen och en timme på kvällen (06–07, sedan 18–19). Med hänvisning till ovan nämnda studier användes omsättningar på 1, 2, 5, 10 och 20 oms/h. 1–20 oms/h användes endast i undersökning av vädringens inverkan på *inneklimatet*, till undersökningen av vädringens inverkan på *mögelrisk* användes endast 5 och 20 oms/h, det antas ge en tillräckligt god uppfattning.

Lägenheten som användes i samtliga vädringssimuleringar är samma som användes i mögelriskanalysen.



## 3 Resultat

Under denna rubrik presenteras endast resultaten. Analys och diskussion av resultaten presenteras under rubrik 4.1.

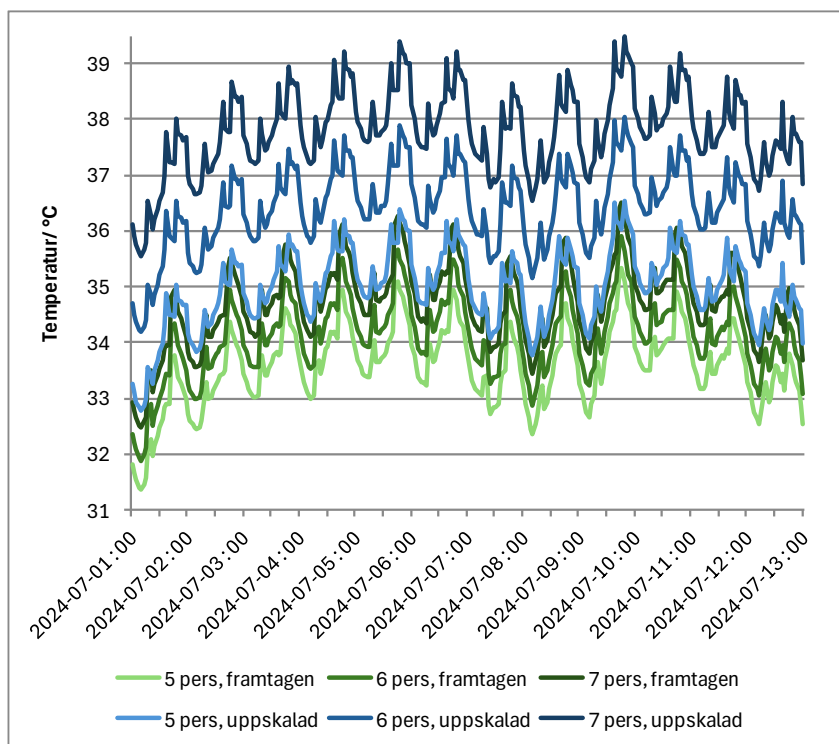
### 3.1 Jämförelse av framtagna och uppskalade profiler

De framtagna profilerna resulterar i lägre temperaturer, till och med den framtagna profilen för sju personer resulterar i en något lägre inomhustemperatur än den uppskalade för fem personer. Temperaturskillnaden sinsemellan de uppskalade profilerna är också högre än för de framtagna. De framtagna profilerna resulterar i en betydligt högre relativ fuktighet än de uppskalade. De framtagna profilerna resulterar i lägre problem med luftkvalitet.

#### 3.1.1 Temperatur

Figur 15 visar innetemperaturens utveckling under första delen av juli. I grafen syns att de uppskalade lastprofilerna resulterar i högre temperaturer. Till och med den uppskalade profilen för fem personer resulterar i några tiondelars grader högre temperaturkurva än den framtagna profilen för sju personer. Skillnaden sinsemellan de uppskalade profilerna är dessutom större än för de framtagna profilerna, kurvan för ”7 pers, uppskalad” ligger 3°C över kurvan för ”5 pers, uppskalad” men kurvan för ”7 pers, framtagen” ligger endast 1°C över kurvan för ”5 pers, framtagen”. Högst temperatur inomhus nås på kvällen innan midnatt för samtliga profiler, lägst är på morgonen.

Tabell 11 visar årliga data för övertemperaturer med de olika profilerna. De framtagna profilerna kan i både figuren och i tabellen avläsas ha en tydligt lägre tendens att nå övertemperaturer än de uppskalade profilerna. 26°C, som ofta används som indikator på obekvämt hög temperatur, uppnås med framtagna profiler för sju personer  $\frac{3}{4}$  av timmarna det uppnås med de uppskalade. Det bör dock påpekas att dessa modeller ej inkluderar inverkan av vädring. Trots detta når de fortfarande övertemperaturer en betydande stor del av året. Under vintermånader håller inomhustemperaturen stadigt 21°C vilket är varför de graferna inte är relevanta att jämföra.



Figur 15: Temperatur under 12 dygn i juli, jämförelse framtagna och uppskalade profiler.

Tabell 11: Antal timmar under året med övertemperatur.

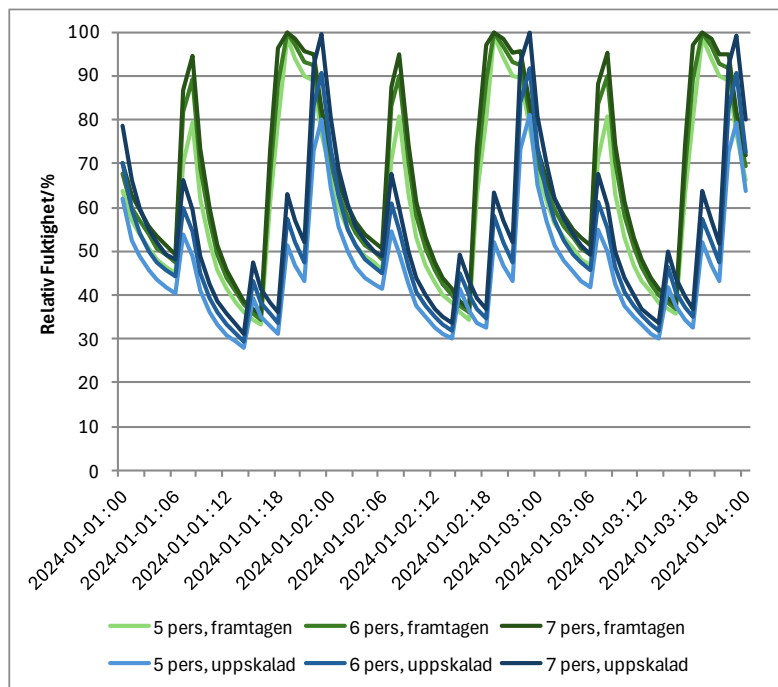
	5 fram.	5 upps.	6 fram.	6 upps.	7 fram.	7 upps.
<b>T &gt; 23 °C</b>	3153	3564	3312	3915	3503	4115
<b>T &gt; 24 °C</b>	2826	3228	2969	3665	3165	3960
<b>T &gt; 25 °C</b>	2530	2899	2681	3360	2827	3738
<b>T &gt; 26 °C</b>	2281	2612	2398	3028	2544	3454

### 3.1.2 Relativ fuktighet

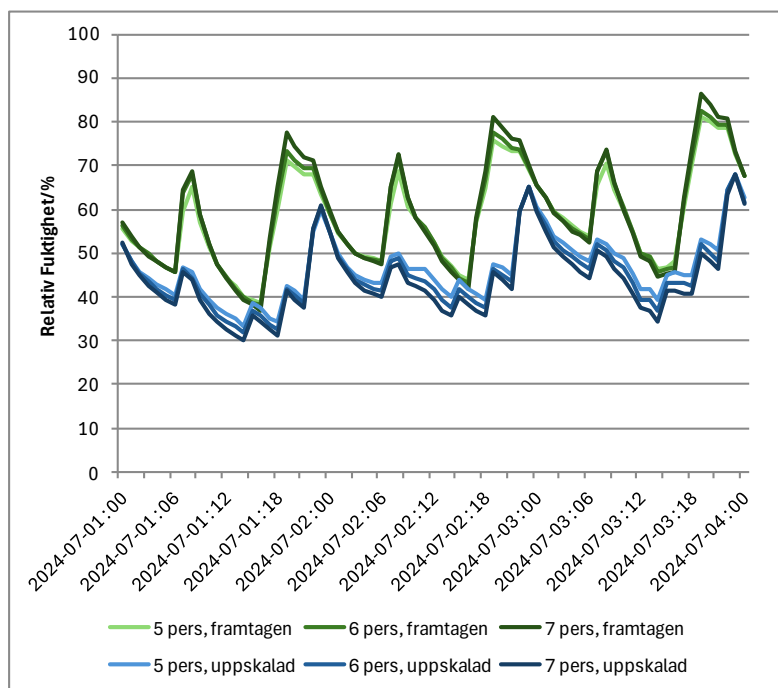
Figur 16 och Figur 17 visar den relativa fuktigheten som följd av de olika profilerna. I figuren syns det att det förekommer betydligt högre relativ fuktighet oftare med de framtagna profilerna än med de uppskalade. De uppskalade lastprofilerna resulterar i  $RF > 70\%$  några timmar om dagen, runt midnatt, medan de framtagna lastprofilernas kurvor ligger i den zonen både på morgonen och hela eftermiddag/kväll. I Tabell 12 och Figur 18, som visar årliga data, kan man se de avsevärt stora skillnaderna mellan resultatet. För sju personer når den relativa fuktigheten upp i sådant värde att kondens uppstår på ytor under en tjugondel av årets timmar. Relativa fuktigheten överstiger 75% åtminstone under en tredjedel av årets timmar, vilket är ett gränsvärde för mikrobiell påväxt vid rumstemperatur (Johansson, 2008). Låddiagrammet visar att medelvärdet för relativ fuktighet inomhus skiljer med 15 procentenheter för samma brukarantal mellan framtagna och uppskalade profiler. Figuren visar även större variationer i årliga värden mellan framtagna och uppskalade profiler, de framtagna har skillnad i 25-percentilen

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.

och 75-percentilen på ungefär 30 procentenheter. För de uppskalade profilerna är däremot samma skillnad endast 15–20 procentenheter.



Figur 16: Relativ fuktighet under 3 dygn i januari, jämförelse framtagna och uppskalade profiler.

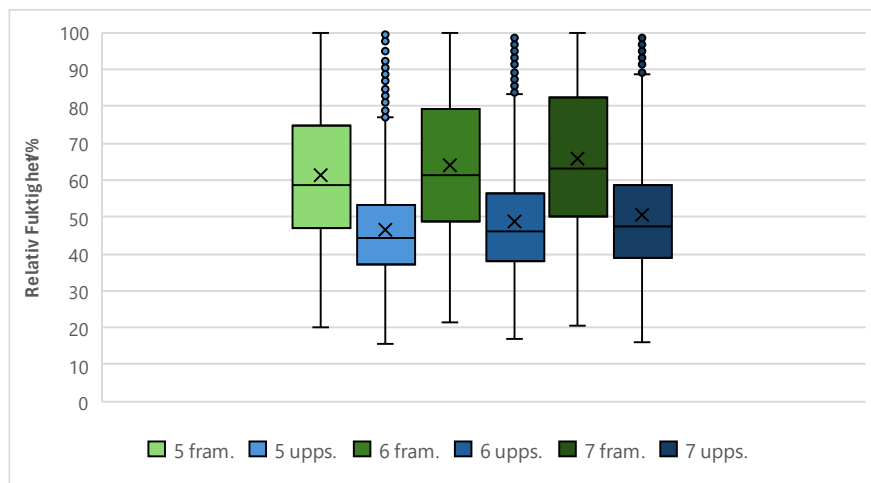


Figur 17: Relativ fuktighet under 3 dygn i juli, jämförelse framtagna och uppskalade profiler.

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.

Tabell 12: Antal timmar under året då relativa fuktigheten inomhus över-/understiger angivna värden.

	5 fram.	5 upps.	6 fram.	6 upps.	7 fram.	7 upps.
<b>RF &lt; 30%</b>	127	622	85	507	75	476
<b>RF &gt; 75%</b>	2120	341	2603	561	2879	728
<b>RF &gt; 99,9%</b>	122	0	277	1	446	23



Figur 18: Relativ fuktighet, jämförelse framtagna och uppskalade profiler, låddiagram.

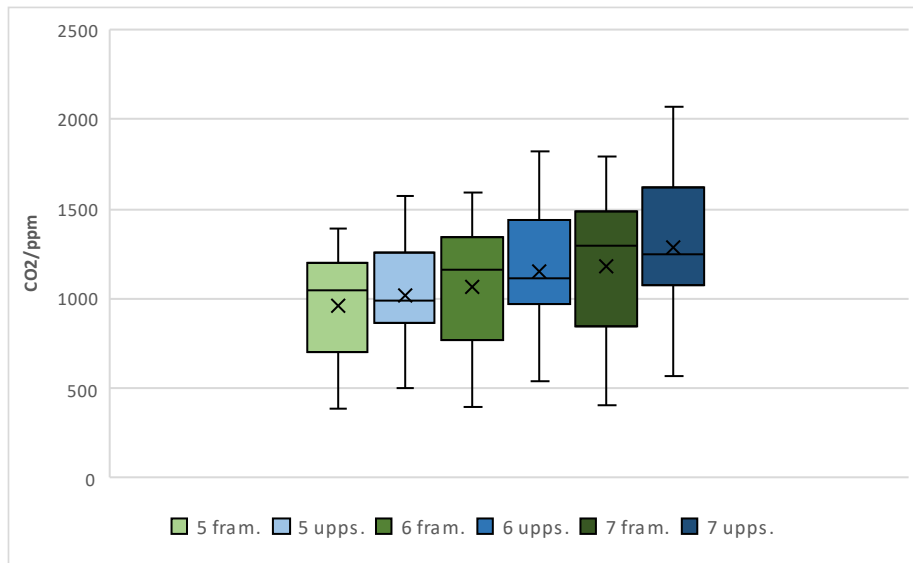
### 3.1.3 Luftkvalitet

Tabell 13 visar årliga data på koldioxidhalt inomhus. En korrelation blir tydlig där de framtagna profilerna generellt resulterar i lägre koldioxidnivåer än de uppskalade. Resultaten är dock inte helt konsekventa, för fem personer resulterar den uppskalade profilen i fler timmar med höga värden *förutom* i intervallet 1000–1250 ppm CO<sub>2</sub>, där är det fler timmar för den framtagna profilen. Samma trend syns för sex personer i intervallet 1000–1500 ppm och för sju personer i intervallet 1250–1500 ppm.

Tabell 13: Antal timmar under året som ppm koldioxid överstiger angivna värden.

	5 fram.	5 upps.	6 fram.	6 upps.	7 fram.	7 upps.
<b>CO<sub>2</sub> &gt; 800</b>	5874	7301	6571	7301	6571	7840
<b>CO<sub>2</sub> &gt; 1000</b>	5673	3879	5841	5410	5841	7301
<b>CO<sub>2</sub> &gt; 1250</b>	1825	2211	3293	3015	5050	4160
<b>CO<sub>2</sub> &gt; 1500</b>	0	365	759	1825	1960	2556
<b>CO<sub>2</sub> &gt; 2000</b>	0	0	0	0	0	158

Även denna data presenteras i enklare form som ett låddiagram i Figur 19. De framtagna profilerna har lägre medelvärde ppm CO<sub>2</sub> och mycket lägre 25-percentil nivå än de uppskalade. För sex personer är skillnaden i 25-percentil ungefär 250 ppm, den fjärdedel av årets timmar som har lägst ppm CO<sub>2</sub> har alltså ¼ lägre hos den framtagna än den uppskalade profilen.



Figur 19: CO2, jämförelse framtagna och uppskalade profiler, låddiagram.

## 3.2 Parameterstudie

Parameterstudien undersöker en parameter i taget, som beskrivet i avsnitt 2.4. Genomgående i parameterstudien används endast den framtagna lastprofilen för sju personer. Tabell 14 och Tabell 15 visar de parametrar inom varje kategori som medför högst resulterande temperatur respektive relativ fuktighet i inomhusluften. Varje avsnitt 3.2.x inleds med en kort sammanfattning av avsnittets resultat.

Tabell 14: Resulterande fall i parameterstudie med högst temperatur.

<b>Ort</b>	Malmö
<b>Väderriktning</b>	Öst/Väst
<b>Solskydd</b>	Ej överhäng, solskydd med $g=0,75$
<b>Position</b>	Centrerad mittenlägenhet

Tabell 15: Resulterande fall i parameterstudie med högst relativa fuktighet.

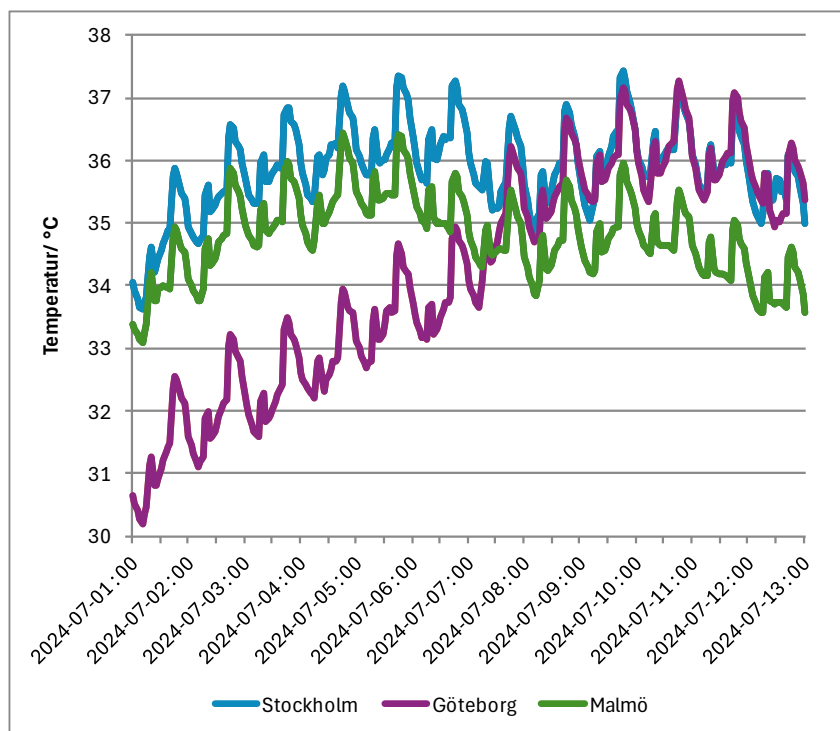
<b>Ort</b>	Malmö
<b>Väderriktning</b>	Syd/Norr
<b>Solskydd</b>	Överhäng och solskydd med $g=0,25$
<b>Position</b>	Yttre bottenlägenhet

### 3.2.1 Ort

Här undersöks vilken inverkan geografi har på temperatur och relativ fuktighet inomhus. Av Stockholm, Göteborg och Malmö är det Malmö som medför både högre temperatur och relativ fuktighet på årlig timbasis. Lägst temperatur och relativ fuktighet på årlig timbasis förekommer i Stockholm.

#### 3.2.1.1 Temperatur

Figur 20 visar temperaturförhållandena för lägenhet i Stockholm, Göteborg och Malmö. Dagligen går temperaturen upp och ned ungefär  $1-2^{\circ}\text{C}$ . Temperaturen i lägenheten i Göteborg stiger under nio dagar från ett medelvärde på  $\sim 31^{\circ}$  till  $\sim 36^{\circ}\text{C}$  medan både Stockholm och Malmö ligger mer stabilt. Detta visar på hur beroende inomhustemperaturen är av utomhustemperaturen. Inget självklart samband kan dras från grafen om hur städerna skiljer från varandra på konsekvent basis. Tabell 16 visar årliga timmar med övertemperatur. I tabellen syns ett förväntat samband med fler timmar övertemperatur ju längre söderut lägenheten ligger. Skillnaden mellan Malmö och Göteborg är för  $T > 26^{\circ}\text{C}$  150 timmar men städerna resulterar i exakt lika många timmar  $T > 30^{\circ}$ . Malmö har nästan 400 fler timmar med  $T > 26^{\circ}\text{C}$  och 150 fler timmar med  $T > 30^{\circ}\text{C}$  än Stockholm.



Figur 20: Temperatur under 12 dygn i juli, jämförelse av olika orter. 7 pers framtagen profil, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.

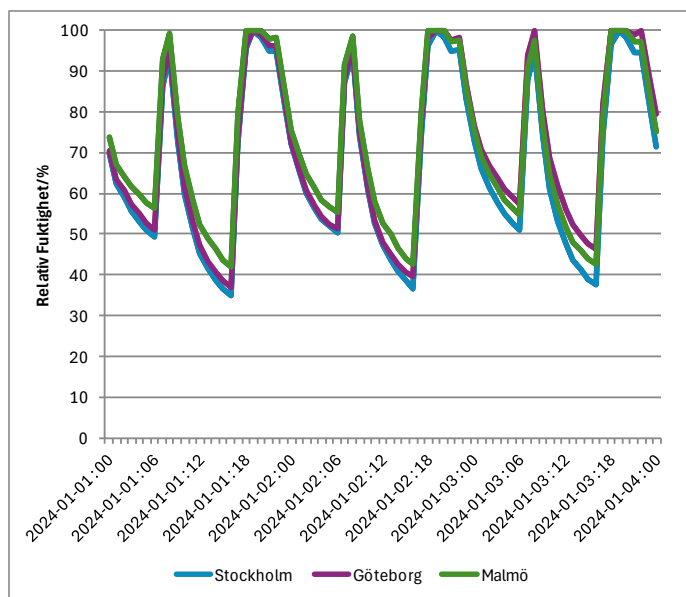
Tabell 16: Antal timmar under året med övertemperatur baserat på ort. 7 pers framtagen profil, Stockholm, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.

	Stockholm (grundfall)	Göteborg	Malmö
<b>T &gt; 26°C</b>	3280	3504	3653
<b>T &gt; 30°C</b>	1826	1973	1973

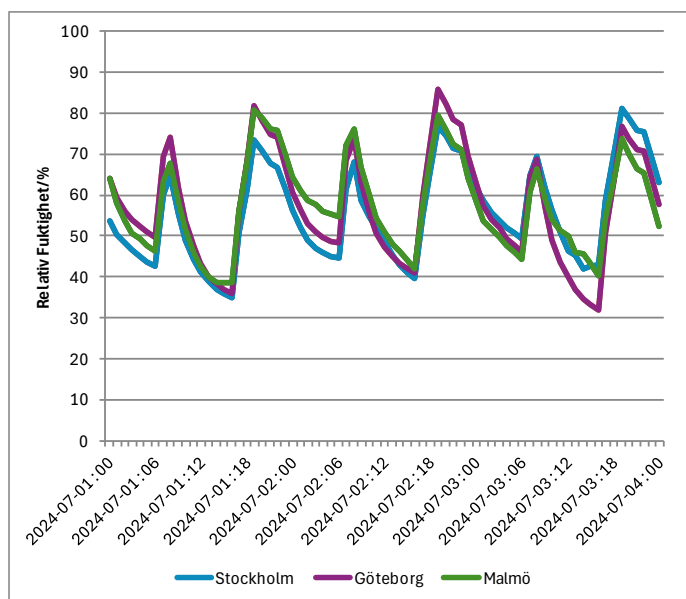
### 3.2.1.2 Relativ fuktighet

Figur 21 och Figur 22 visar den relativa fuktigheten vintertid respektive sommartid baserat på ort. Under vintertid uppstår det kondens både morgon och kväll, det är en stor variation under dagen, för samtliga städer pendlar relativa fuktigheten mellan 40% och 100%. Många timmar av dygnet överskrider den relativa fuktigheten 75% vilket vid normal inomhustemperatur innebär att klimatet är gynnsamt för mögel (Johansson, 2008). Sommartid är variationerna inte lika stora som under vintertid men även då stiger den relativa fuktigheten inomhus stundvis över 75%, speciellt på kvällarna. Men för det mesta ligger den relativa fuktigheten ej i farozonen under sommartid. Konsekventa variationer mellan de olika städerna är svårsläst ur graferna, då de inte anses ge tillräckligt tydligt svar på i vilken stad en lägenhet hade haft störst risk för mögel presenteras årliga data i Tabell 17. Där syns att Malmö är den stad som ligger i riskzonen en större del av året än de andra städerna.

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.



Figur 21: Relativ fuktighet under 3 dygn i januari, jämförelse av olika orter. 7 pers framtagen profil, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.



Figur 22: Relativ fuktighet under 3 dygn i juli, jämförelse av olika orter. 7 pers framtagen profil, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.

Tabell 17: Antal timmar under året som den relativa fuktigheten inomhus överstiger angivna värden. 7 pers framtagen profil, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.

	Stockholm (grundfall)	Göteborg	Malmö
<b>RF &gt; 80%</b>	2064	2229	2270
<b>RF &gt; 99,9%</b>	386	424	482

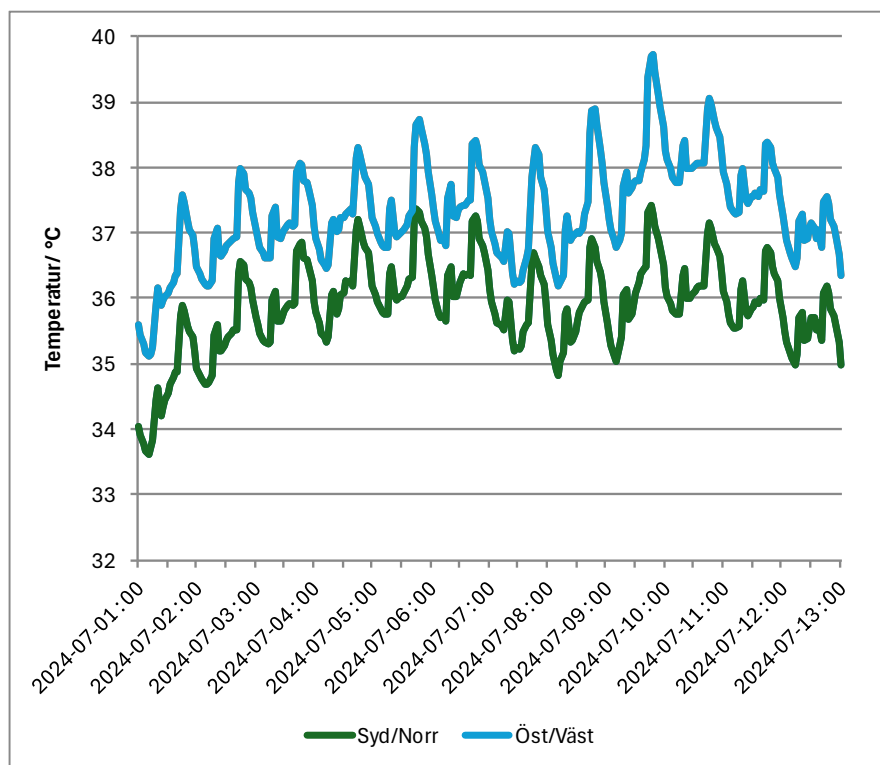


## 3.2.2 Väderriktning

Här undersöks vilken inverkan riktningen av fönsterfasader har på temperatur och relativ fuktighet inomhus. Modellen med fönster riktade mer syd/norr resulterar i en 1–2°C lägre temperatur och således en några procentenheter högre relativ fuktighet under sommartid än den öst-/västligt riktade varianten.

### 3.2.2.1 Temperatur

Figur 23 visar temperatur inomhus givet lägenhetens två riktningar 110° (beteckning Öst/Väst) och 200° (beteckning Syd/Norr) medurs från nordriktning (se Figur 7 för förtydligande). Lägenheten med ytterytor riktade mer åt väst/öst ger en 1–2°C högre temperaturkurva än den med fasad riktad mer åt syd/norr.

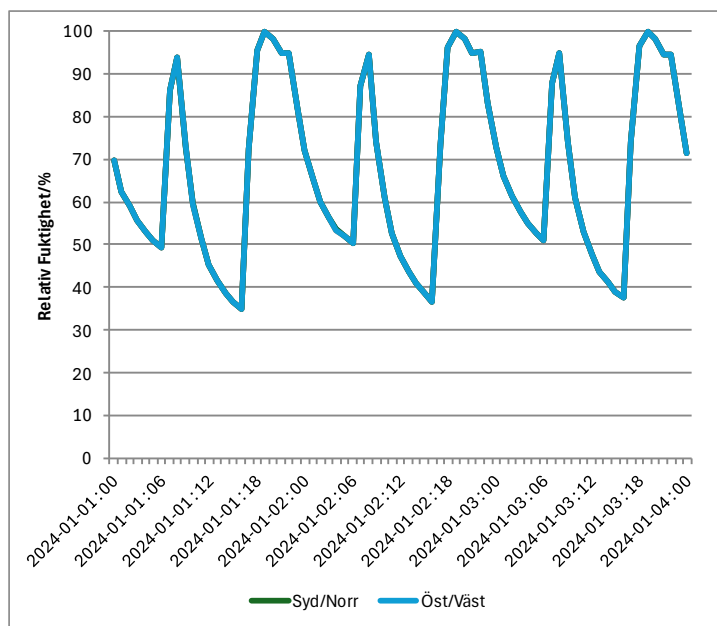


Figur 23: Temperatur under 12 dygn i juli, jämförelse av olika riktning. 7 pers framtagna profil, Stockholm, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.

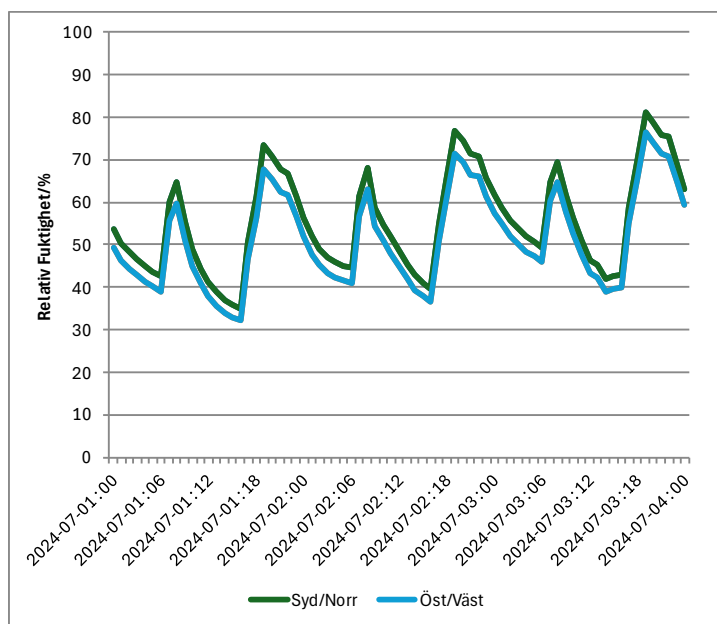
### 3.2.2.2 Relativ fuktighet

Figur 24 och Figur 25 visar den relativa fuktigheten vintertid respektive sommartid baserat på väderriktning. Förstnämnda figur visar att inneluftens relativa fuktighet inte påverkas av väderriktning, vilket inte heller förväntas då lägenheten håller en temperatur på 21°C under den delen av året. Sommartid syns sambandet att högre temperatur leder till lägre relativ fuktighet. Som tidigare är det större variationer under vintertid då den relativa fuktigheten svänger mellan 40% och 100%, medan det på sommaren är mindre variation och inneklimatet för det mesta ligger under den kritiska nivån på 75%.

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.



Figur 24: Relativ fuktighet under 3 dygn i januari, jämförelse av olika riktning. 7 pers framtagen profil, Stockholm, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.



Figur 25: Relativ fuktighet under 3 dygn i juli, jämförelse av olika riktning. 7 pers framtagen profil, Stockholm, ej överhäng,  $g=0,5$ , Mitt\_Center.

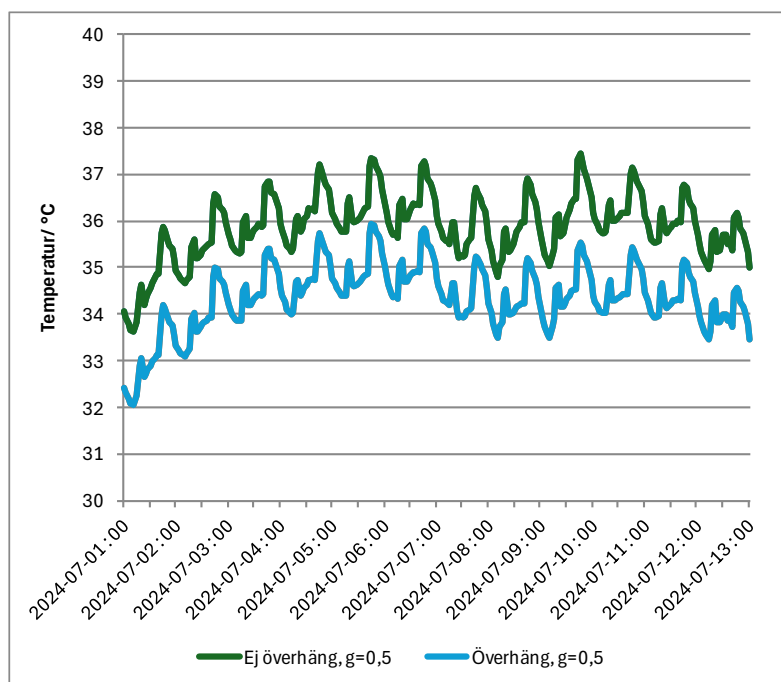
### 3.2.3 Solskydd

Här undersöks vilken inverkan solskydd, både överhäng och persiennliknande anordning, har på temperaturen inomhus. I tidigare avsnitt kan man se att den relativa fuktigheten hänger ihop med temperaturen, därmed visas i detta avsnitt endast grafer på

temperatur så kan man ta med sig att lägre temperatur betyder högre relativ fuktighet. Först undersöks effekten av överhäng. Sedan undersöks effekten av persienner/gardiner med och utan överhäng. Med överhäng minskar temperaturen någon grad. Med skuggningsanordning utan överhäng medför varje uppgradering på g-värdet med 0,25 att temperaturen inomhus minskar med ungefär en och en halv grad. Med överhäng blir inverkan av skuggningsanordning som väntat inte lika stor, men fortfarande aktuell.

### 3.2.3.1 Överhäng mot grundfall

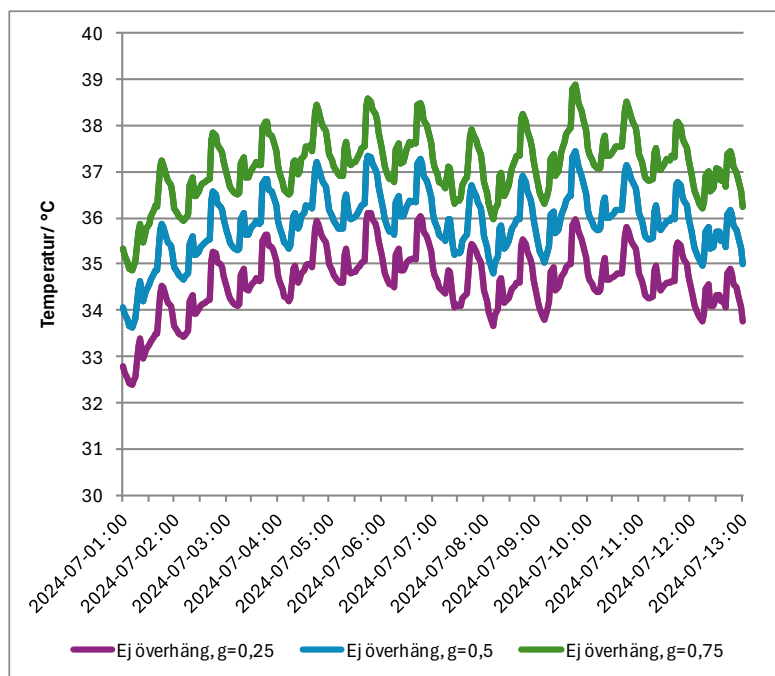
Figur 26 visar temperaturförhållanden sommartid med och utan överhäng ovanför fönster på den sydliga fasaden. Skydd mot solinstrålning innebär en lägre temperatur, kurvorna i figuren skiljer med ungefär 1–2°C.



Figur 26: Temperatur under 12 dygn i juli, överhäng mot grundfall. 7 pers framtagen profil, Stockholm, riktning S/N, Mitt\_Center.

### 3.2.3.2 Skuggningsanordning utan överhäng

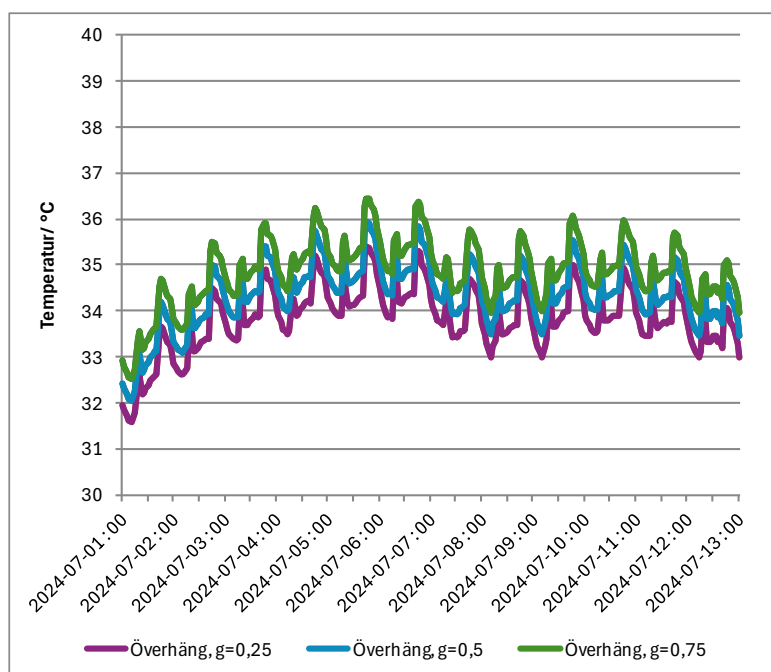
Samtliga modeller har ett persiennliknande solskydd som vid övertemperatur aktiverar ett skydd i fönstret som minskar hur mycket av solens strålning som kommer in i lägenheten via fönstren. Figur 27 visar g-värdets inverkan på inomhustemperatur. Här syns att för varje sänkning av g-värdet med 0,25 minskar temperaturen inomhus med ungefär 1,5°C. Med hänsyn till temperaturkomfort kan det alltså vara att föredra lägre g-värde men som tidigare avsnitt visat kommer det leda till högre relativ fuktighet vilket inte är komfortabelt och som för med sig risker för andra problem.



Figur 27: Temperatur under 12 dygn i juli, utan överhäng, med olika g-värden. 7 pers framtagna profil, Stockholm, riktning S/N, Mitt\_Center.

### 3.2.3.3 Skuggningsanordning med överhäng

Figur 28 visar den resulterande temperaturen under sommartid med kombination av de två undersökta solskydden. Används en kombination av överhäng och skuggningsanordning hjälper den sistnämnda fortfarande med att sänka temperaturen, men skillnaden mellan temperaturkurvorna är mycket mindre än tidigare. Med en kombination av solskydd innebär en minskning av g-värde med 0,25 nu en temperatursänkning på ungefär 0,5°C, jämfört med den tidigare sänkningen på 1,5°C.



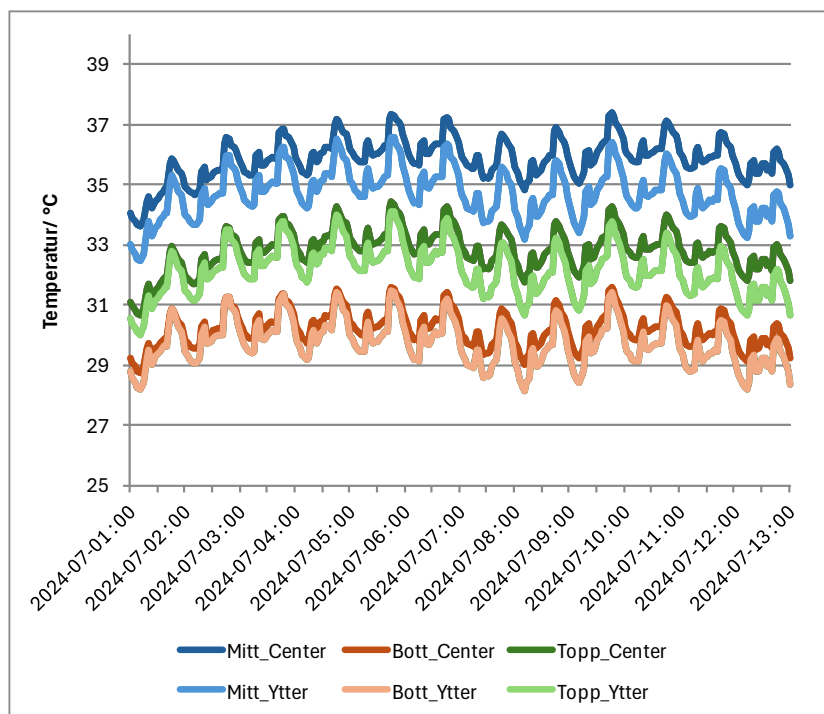
Figur 28: Temperatur under 12 dygn i juli, med överhäng samt olika g-värden. 7 pers framtagen profil, Stockholm, riktning S/N, Mitt\_Center.

### 3.2.4 Position

Här undersöks vilken inverkan lägenhetens position i byggnaden har på temperaturen och den relativa fuktigheten inomhus. Ett större förhållande mellan ytor som tillåter värmetransmission och de som inte gör det resulterar i lägre inomhustemperaturer, det vill säga ju större förhållandet  $\frac{A_{transmission}}{A_{adiabatiskt}}$  är desto lägre inomhustemperatur förväntas. Resultaten visar på att i den använda modellen är det grunden som transmitterar mest värme, följt av taket och därefter ytterväggarna, utan att beakta ytornas area. Kombinationen med störst transmissionsförluster blir således en ytterlägenhet på bottenplan, denna bör också leda till högst relativ fuktighet då den relativa fuktigheten är temperaturberoende.

#### 3.2.4.1 Temperatur

Figur 29 visar temperaturen under tolv dygn i juli beroende på lägenhetens position. Av figuren framgår att när lägenheten placeras längst ut i byggnaden, alltså att en adiabatisk vägg ersätts med en yttervägg, minskar temperaturen med ungefär 1°C. Kurvorna indikerar att lägenhetens vertikala position påverkar temperaturen mer än dess horisontella position. En lägenhet på övre våningen, då adiabatiskt tak ersätts med ett som har utomhustemperatur utanför, har ungefär 2°C lägre temperatur än de i mitten. Lägenhet på bottenvåningen resulterar i ytterligare ungefär 2°C temperatursänkning jämfört med de med tak.

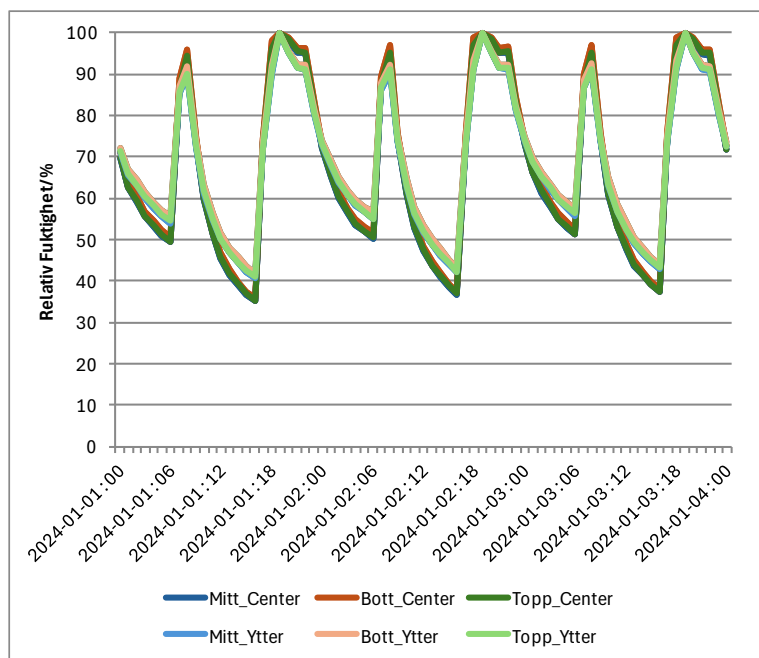


Figur 29: Temperatur under 12 dygn i juli, jämförelse av olika lägenhetspositioner. 7 pers framtagen profil, Stockholm, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ .

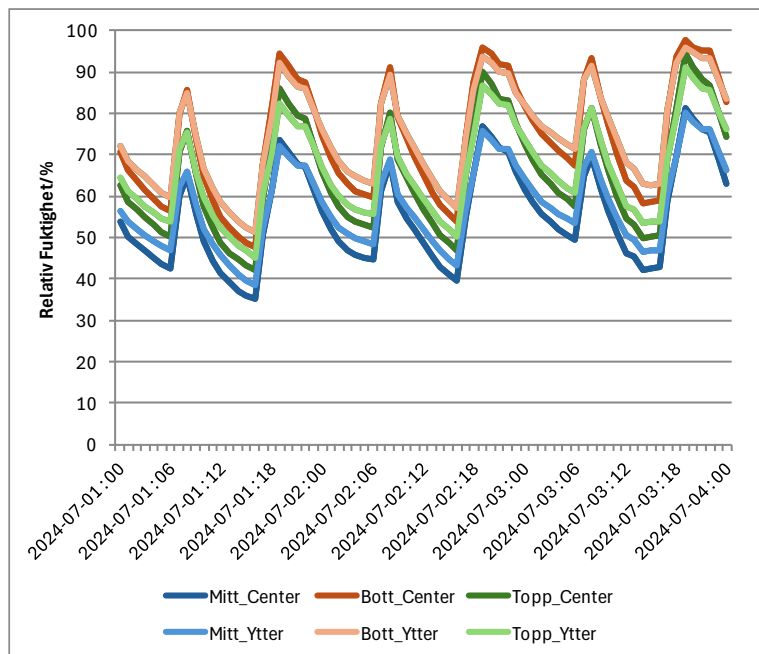
### 3.2.4.2 Relativ fuktighet

Figur 30 och Figur 31 visar den relativa fuktigheten inomhus under tre dygn i början av januari och juli. Även vintertid, då temperaturen inomhus stadigt håller 21°C, är det små variationer som resulterar av positioner, vilket indikerar att detta kan vara en av de viktigaste faktorerna för hur en lägenhets inneklimat och mögelrisk är. Graferna ger inte en helt klar bild av *vilken* bottenlägenhet som medför störst risk för mögelproblem. Temperaturen skiljer märkbart konsekvent men den relativa fuktigheten är svårare att avgöra. På det totala anses den yttre bottenlägenheten medföra en årlig lägre medeltemperatur med högre relativ fuktighet och således används den i VTT-modellen.

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.



Figur 30: Relativ fuktighet under 3 dygn i januari, jämförelse av olika lägenhetspositioner. 7 pers framtagen profil, Stockholm, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ .



Figur 31: Relativ fuktighet under 3 dygn i juli, jämförelse av olika lägenhetspositioner. 7 pers framtagen profil, Stockholm, riktning S/N, ej överhäng,  $g=0,5$ .

### 3.3 Undersökning av mögelrisk

De parametrarna som resulterat i högst relativ fuktighet, och därmed används i VTT-modellen, är följande fall presenterat i Tabell 18. Detta kallas för VTT-grundfall.

Tabell 18: Fall som används i VTT-modell. De som valts har baserats på vilka parametrar som resulterade i högst relativ fuktighet i parameterstudien.

<b>Ort</b>	Malmö
<b>Väderriktning</b>	Syd/Norr
<b>Solskydd</b>	Överhäng och solskydd med $g=0,25$
<b>Position</b>	Yttre bottenlägenhet

Den data på temperatur och relativ fuktighet som används i mögelriskanalysen hämtas från den inre ytan av den norra ytterväggen då denna förväntas vara kallast av de tre ytterväggarna. Först presenteras resultat som jämför temperatur- och relativ fuktighetsförhållande mellan den undersökta ytan och inomhusluften för att se skillnaden och kunna jämföra mellan datan. Om förhållandena är snarlika, vilket de nedan visar sig vara, kan man anta att mögelriskanalysen ungefärligt omfattar övriga ytor i lägenheten också.

Sedan presenteras resultaten för parameterstudien tillhörande VTT-modellen. Resultaten för de två materialkänsligheterna ”sensitive” och ”very sensitive” samt de två avtagningsfaktorerna  $C_m = 0,25$  och  $C_m = 0,5$  inkluderas i samma graf. Samtliga VTT-resultat presenteras som grafer som visar Mould Index utveckling under året.

Utöver sju personer undersöks också hur det är i en utsatt lägenhet med fem personer för att få en uppfattning om vad den minsta tillgängliga trångbodda profilen kan resultera i. Detta görs även med vädring för att se om det hjälper, vilket alltså bättre hade reflekterat verkligheten.

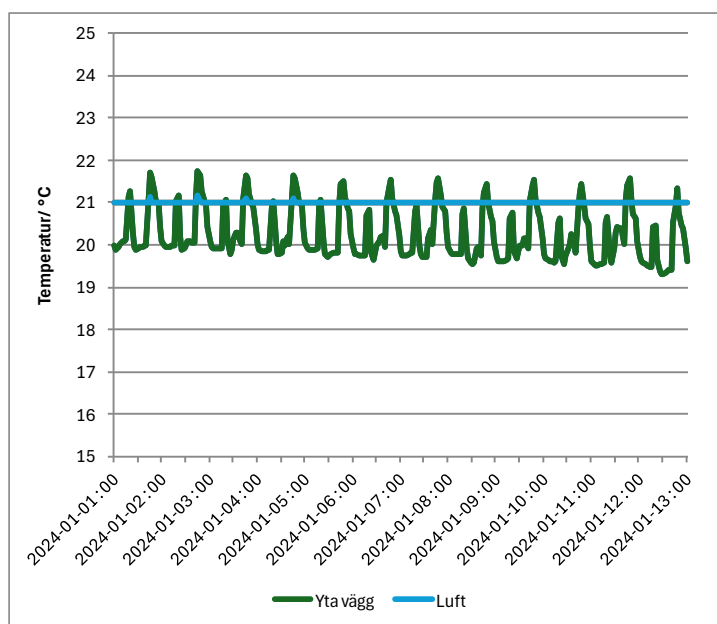
#### 3.3.1 Jämförelse av hygrotermiskt förhållande på ytan och i luften

Väggytans temperatur skiftar mer än luftens under både de inkluderade vinter- och somrardagarna. Under vintern ligger temperaturen för väggytan i snitt lägre än luften men på sommaren går variationen likartat både upp och ned. Den relativa fuktigheten på väggytan är under de inkluderade vinterdagarna något högre i snitt utan att nå lika högt som luften, medan positionerna byts på sommaren. Resultaten pekar på att skillnader finns mellan ytan och luften men att de inte är så stora att väggytans data ger utstickande och oanvändbart VTT-resultat.

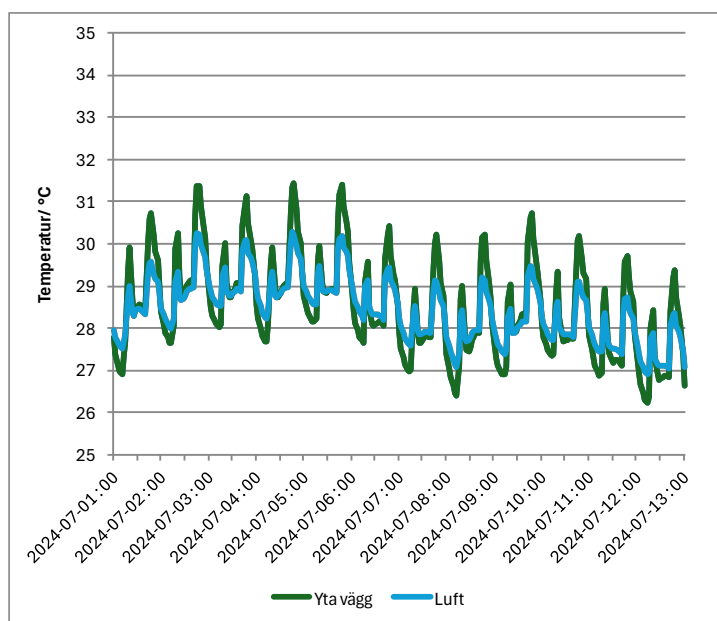
##### 3.3.1.1 Temperatur

Figur 32 och Figur 33 visar temperaturen under 12 dagar i januari respektive juli för väggytan och inomhusluften. På vintern håller inomhusluften konsekvent  $21^{\circ}$  eftersom modellen använder radiatorer som hindrar luften att sjunka under den temperaturen. Ytan däremot varierar ungefär  $1-2^{\circ}\text{C}$  dagligen. Samma trend syns i grafen för sommaren, väggytans temperaturkurva har en nästan  $2^{\circ}\text{C}$  högre amplitud än inomhusluftens.





Figur 32: Temperatur under 12 dagar i januari, jämförelse mellan väggyta och inomhusluft. 7 pers framtagna profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.



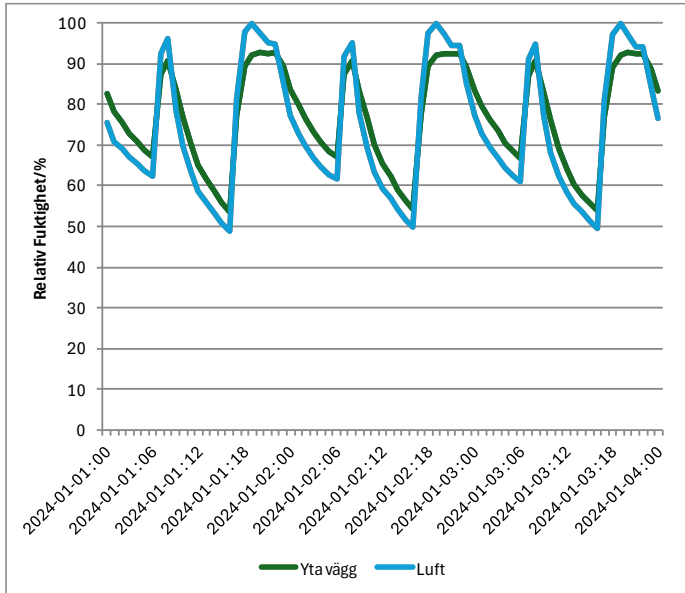
Figur 33: Temperatur under 12 dagar i juli, jämförelse mellan väggyta och inomhusluft. 7 pers framtagna profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

### 3.3.1.2 Relativ fuktighet

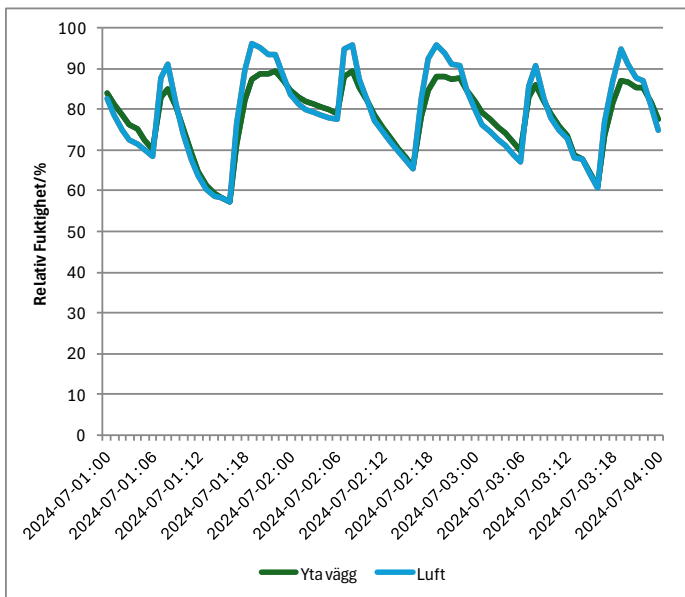
Figur 34 och Figur 35 visar den relativa fuktigheten under 3 dagar i januari respektive juli för väggytan och inomhusluften. Under vintern går väggytan och luften om lott över och under varandra, väggytan når inte lika hög relativ fuktighet som luften men håller

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.

övrig tid ungefär fem procentenheter högre relativ fuktighet. På sommaren är också resultaten för ytan och luften likartade, men då verkar luften ha en något högre relativ fuktighet sett på det hela. Speciellt på kvällen då luftens relativa fuktighet sjunker ungefär 5% medan den för väggytan fortfarande stiger eller håller sig stadigt runt 90%.



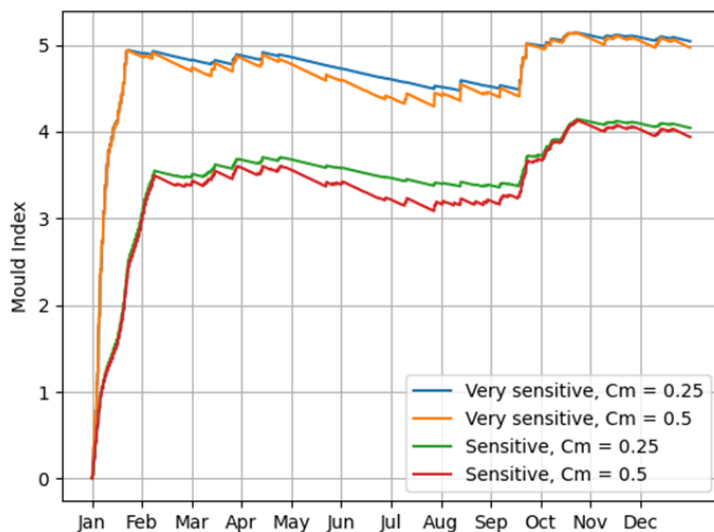
Figur 34: Relativ fuktighet under 3 dagar i januari, jämförelse mellan väggyta och inomhusluft. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.



Figur 35: Relativ fuktighet under 3 dagar i juli, jämförelse mellan väggyta och inomhusluft. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

### 3.3.2 VTT-grundfall

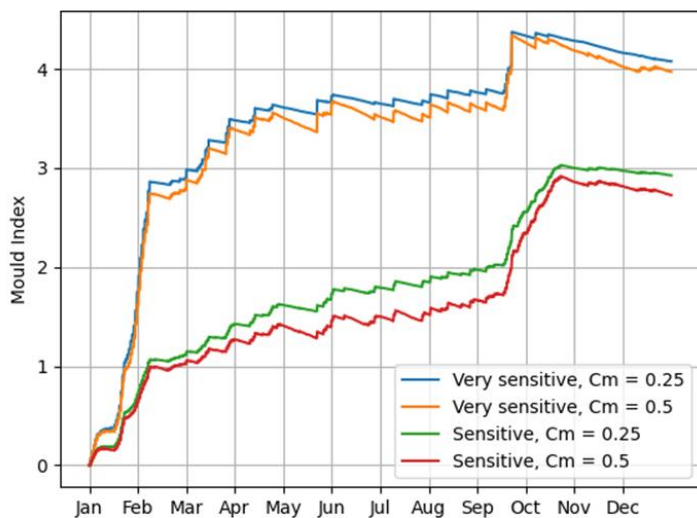
Figur 36 visar Mould Index för VTT-grundfallet. Här syns att det på den inre ytan av den norra väggen föreligger en väldigt hög risk för mögelproblem i VTT-grundfallet. Mycket känsliga material stiger snabbt och lägger sig runt Mould Index 5. Känsliga material stiger också fort men lägger sig i stället runt Mould Index 4 mot slutet av simuleringsperioden.



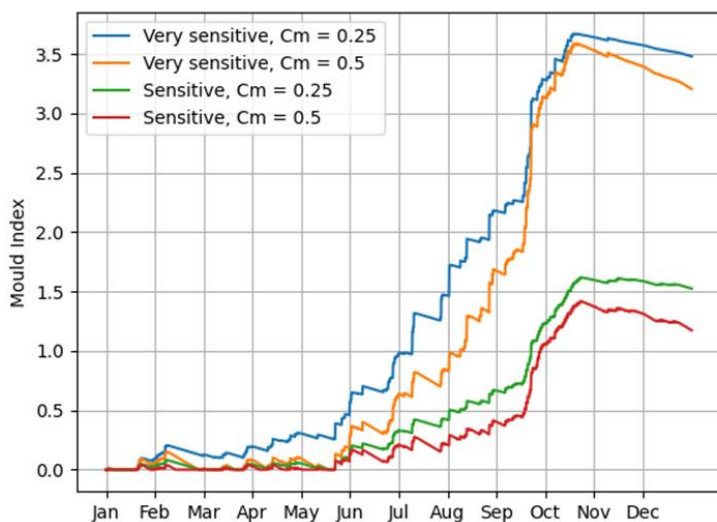
Figur 36: Mould index för VTT-grundfallet under ett år. 7 pers framtagna profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

### 3.3.3 Ökad naturlig ventilation

Figur 37 och Figur 38 visar Mould Index under året med ökad ventilation. VTT-grundfallet har en naturlig ventilation på 0,5 oms/h. Med en ökad naturlig ventilation minskar som väntat Mould Index ungefär en enhet för båda materialkänsligheter. Graferna visar främst att det tar längre tid för möglet att växa till sig. Skillnaden mellan materialen är vid 0,75 oms/h ungefär ett steg av Mould Index, medan skillnaden vid 1 oms/h är ungefär två steg.



Figur 37: Mould Index under ett år med 0.75 oms/h naturlig ventilation. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

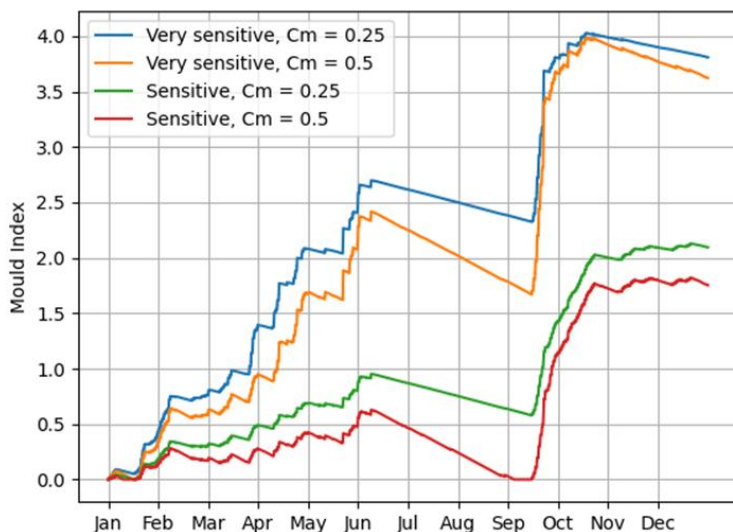


Figur 38: Mould Index under ett år med 1 oms/h naturlig ventilation. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

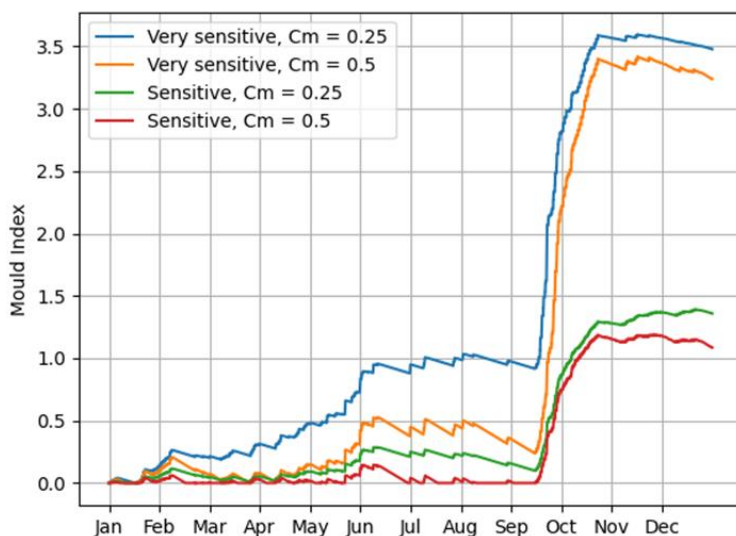
### 3.3.4 Vädring

Figur 39 och Figur 40 visar på inverkan av vädring med 5 respektive 20 oms/h. Under vädringsperioden 15 juni till 15 september, då lägenheten vädras alla timmar som de boende är hemma, sker ett stadigt avtagande av Mould Index. Men så fort vädringen i

mitten av september återgår till två gånger per dag á en timme stiger Mould Index hastigt upp till betydande värden för samtliga kurvor. Den röda kurvan i Figur 39 som visar "sensitive" material med mögelavtagningsfaktor på 0,5 når i slutet av sommaren ner till index 0, men efter en månad är den uppe i 1,75. Under samma period stiger mögelindex för "very sensitive" material från 1,75 ( $C_m=0,5$ ) och 2,4 ( $C_m=0,25$ ) till att lägga sig på 4. Skillnaden mellan materialen är påtaglig och trots att olika avtagningsfaktorer resulterar i att möglet avtar med olika hastighet under ogynnsamma förhållanden är det främst materialets känslighet som avgör var mögelindex hamnar mot slutet av året.



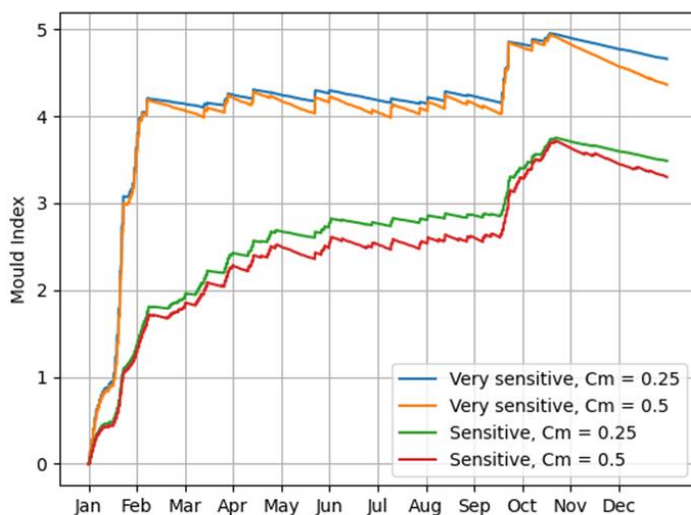
Figur 39: Mould Index under ett år med vädring på 5 oms/h. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.



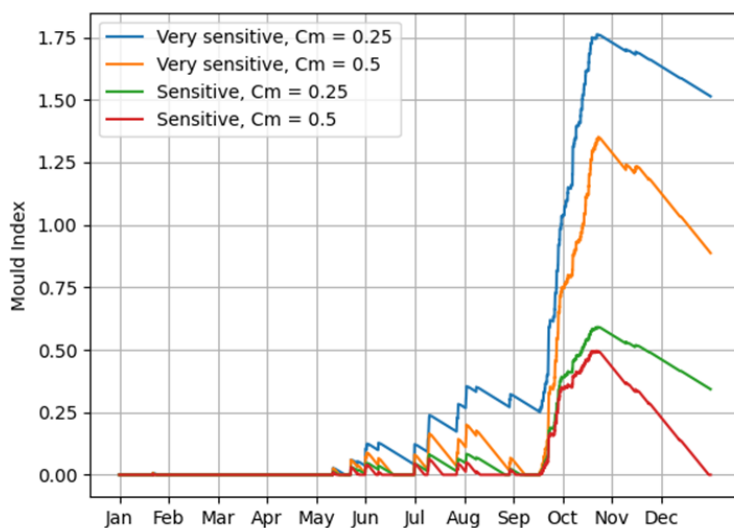
Figur 40: Mould Index under ett år med vädring på 20 oms/h. 7 pers framtagna profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

### 3.3.5 Fem brukare

Figur 41 och Figur 42 visar Mould Index under året för fem brukare, utan respektive med vädring. Även med endast fem boende syns att Mould Index utan vädring stiger till höga värden, redan i början av februari har index stigit till knappt 2 för "sensitive" material och drygt 4 för "very sensitive". Med 20 oms/h vädring syns det att förhållandena på inre ytor är mycket säkrare, de hygrotermiska förhållandena är ogynnsamma för mögel ända fram till maj, men även då ligger Mould Index på låga värden fram till dess att sommarens vädringsschema upphör. Vintertid går indexet återigen neråt vilket tyder på att en familj på fem som vädrar även i denna värsta-fallet modell eventuellt kan undgå mögelproblem, givet att året därpå också medför ogynnsamma förhållanden fram till maj.



Figur 41: Mould Index under ett år för 5 boende utan vädring. 5 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.



Figur 42: Mould Index under ett år för 5 boende med 20 oms/h vädring. 5 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

### 3.4 Vädrings inverkan på inneklimat

I följande avsnitt presenteras resultat på vädringens effekt på inomhusluftens temperatur, relativa fuktighet och koldioxidhalt. Resultaten visar att vädring medför en tydlig

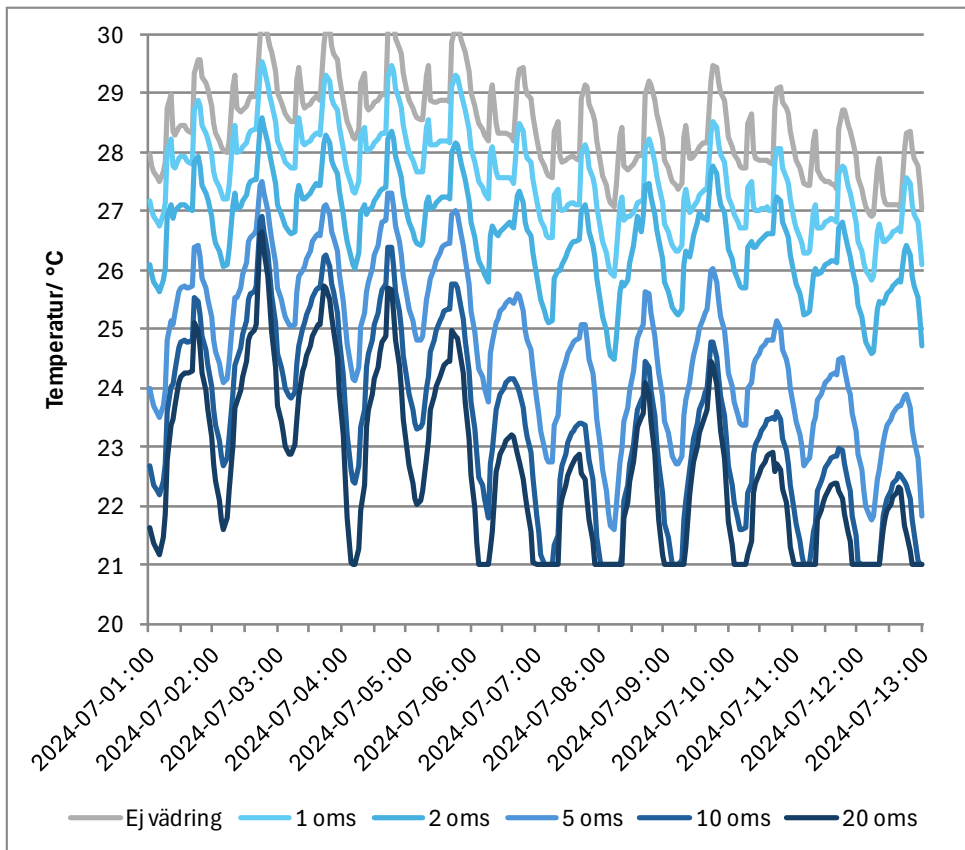
minskning av samtliga. Temperaturen presenteras i en vanlig graf likt tidigare resultat med tolv dagar i juli, samt med årliga data i ett låddiagram. Syftet med linjegrafer är att tydligt se den stegvisa minskningen av temperatur för de olika omsättningarna. Låddiagram visar tydligare en översiktlig årlig skillnad mellan omsättningarna. Relativ fuktighet och koldioxid anses för rörliga för att presenteras som linjegrafer, låddiagrammen ger en tillräckligt god uppfattning om skillnader.

### 3.4.1 Temperatur

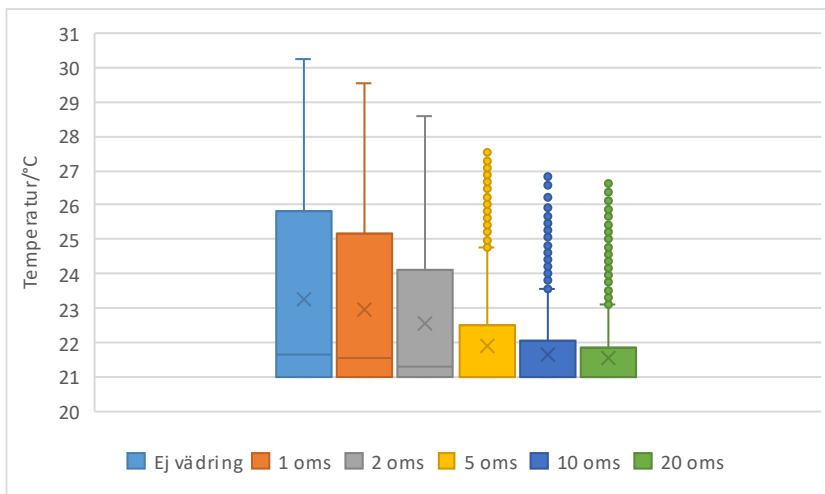
Figur 43 och Figur 44 visar hur temperaturen påverkas av olika nivåer av vädring. Under sommaren blir inneklimatet svalare med vädring, ungefär 1–2°C för varje steg av undersökt omsättning. De första dagarna varierar temperaturen i simuleringen utan vädring ungefär 2°C medan temperaturen i simuleringen med 20 oms/h vädring varierar ungefär 5°C. Temperaturkurvorna för 1, 2, 5 och 10 oms/h visar på en stegvis ökning av den dagliga variationen. På kvällen är det högst temperatur och sedan när vädring skett hela natten är temperaturen lägst på morgonen. I låddiagrammet blir medelvärdet mycket påverkat av att temperaturen den större delen av året ligger på 21°C, men mer kan läsas från 75-percentilen som visar att den årliga övertemperaturen minskar märkbart med vädring. Temperaturens maximumvärde utan vädring ligger på 30°C och även för 1 och 2 oms/h når detta värde 29,5°C respektive 28,5°C. Men vid 5 och högre oms/h räknas de högsta värdena som utliggare, det vill säga att de bara uppnås några få gånger per år, där är temperaturens maximum i stället under 25°C för samtliga simuleringar.



## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.



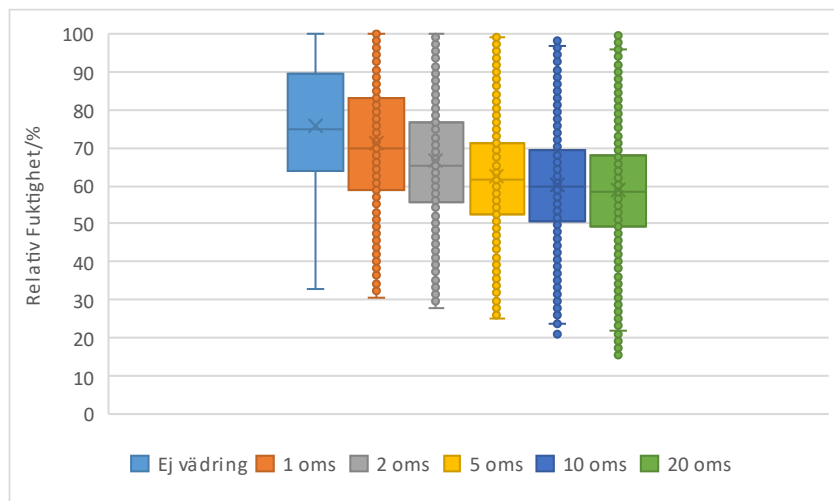
Figur 43: Inverkan av vädring på lufttemperatur inomhus under tolv dygn i början av juli. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.



Figur 44: Inverkan av vädring på lufttemperatur inomhus, årliga data i låddiagram. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

### 3.4.2 Relativ fuktighet

Figur 45 visar ett låddiagram på den årliga relativa fuktigheten inomhus med vädring av olika storlek. Här syns att vädring tydligt minskar den relativa fuktigheten. Effekten av den tillförda ökningen av luftomsättning från vädring är starkast hos de lägre omsättningarna än vid de högre. Från att 75-percentilen ligger på 90% utan vädring är den vid 5, 10 och 20 oms/h ungefär 70%.

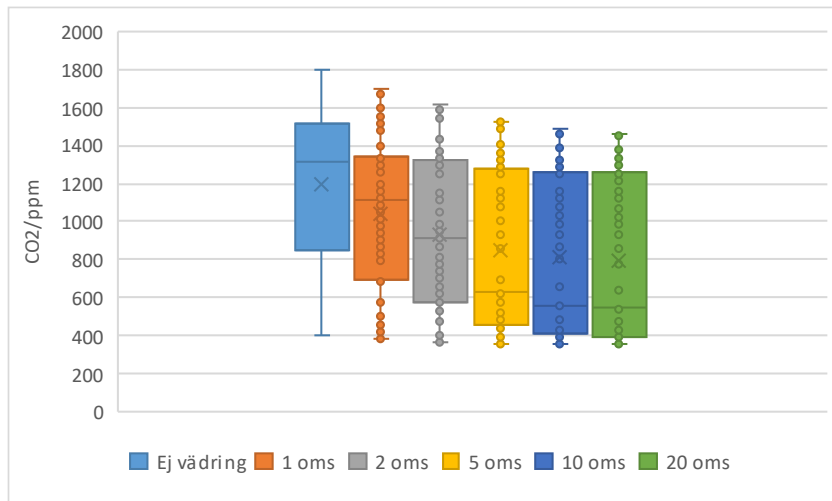


Figur 45: Inverkan av vädring på relativa fuktigheten inomhus, årliga data i låddiagram. 7 pers framtagen profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.

### 3.4.3 Koldioxid

Figur 46 visar ett låddiagram på koldioxidhalten inomhus med vädring av olika storlek. Medelvärde visar en tydlig skillnad med ökad luftomsättning från vädring, det går från 1300 ppm utan vädring till att med vädring med 5 oms/h ligga på 600 ppm. Även 25-percentilen som visar hur vilken koldioxidhalt som uppnås 25% av året ändras hundratals ppm för varje steg av omsättning, speciellt vid de lägre omsättningarna.

## Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.



Figur 46: Inverkan av vädring på koldioxid, låddiagram. 7 pers framtagna profil, Malmö, riktning S/N, överhäng,  $g=0,25$ , Bott\_Ytter.



## 4 Diskussion

Syftet med att jämföra uppskalade och framtagna lastprofiler var att utvärdera metoden att skala upp de profiler som finns i WUFI, att se om detta ger otrovärdiga resultat jämfört med att använda specifikt framtagna profiler för ett visst brukarantal i en viss lägenhetsstorlek. Detta diskuteras i 4.1.1. Syftet med parameterstudien var att jämföra parametrar som kan påverka resultatet på temperatur och relativ fuktighet i lägenheter med hög boendetäthet. Detta diskuteras i 4.1.2. Syftet med mögelriskanalysen var att undersöka hur en ökad luftomsättning och vädring kan reducera risken för mögelpåväxt på känsliga ytor i lägenheter som har en kombination av parametrar som medför högre risk för mögel än för andra lägenheter. Detta diskuteras i 4.1.3.

### 4.1 Om resultat

Med tanke på att modellen är begränsad – exempelvis att brukarprofilerna inte är rumsindelade och att vädring är ett svårt fenomen att beakta – bör resultaten främst studeras med *jämförande* i åtanke. Exakt vilken temperatur ett visst fall innebär är kanske inte lika intressant som skillnaden mellan två fall, exempelvis att se med hur många grader en förbättrad skuggningsanordning sänker temperaturen.

#### 4.1.1 Uppskalade och framtagna profiler

I denna studie jämfördes två typer av profiler: framtagna och uppskalade. De framtagna profilerna utvecklades specifikt för att återspegla en mer realistisk daglig användning och beteende i trångbodda lägenheter med fem till sju personer. De uppskalade profilerna å andra sidan, baserades på att multiplicera de värden som används för en familj på fyra personer.

De lastprofiler som har tagits fram av Linderholt & Persson (2023) använder sig av medelvärden mellan olika källor, de som finns tillgängliga i WUFI har använt sig av enskilda källor. De framtagna profilerna har en jämnare utbredd produktion under dagen medan de uppskalade får högre toppar och dalar, något som Linderholt & Persson (2023) menar kan förklaras av skillnaden i hur de nämnda framtagningsmetoderna utförts. Att skala upp WUFIs profiler innebär att de höga topparna accentueras och utsätter modellen för en överkligt hög belastning under kortare intervall.

De uppskalade profilerna genererar mer värme än de framtagna, se Tabell 19, vilket innebär att om man i sin WUFI-modell endast skalar upp brukarprofiler kan inomhustemperaturen bli missvisande hög och den relativa fuktigheten följaktligen vara missvisande låg. Att notera i resultaten i avsnitt 3.1.1 är att till och med den framtagna profilen för sju personer resulterar i en lägre inomhustemperatur i simuleringen än den uppskalade profilen för fem personer, att använda WUFIs och de nyframtagna profilerna kommer alltså ge väsentligt olika resultat.

Tabell 19: Jämförelse mellan framtagen och uppskalad lastprofil för daglig värmeproduktion tillhörande 7 personer.

	Värme (konvektion)/(Wh)	Värme (strålning)/(Wh)	Total värme/(Wh)
7 pers, framtagen	6 153	9 231	15 384
7 pers, uppskalad	14 849	7 420	22 269

Eftersom temperaturen är så pass mycket lägre för de framtagna lastprofilerna än för de uppskalade blir den relativa fuktigheten högre, detta tillsammans med att de framtagna profilerna genererar mer fukt på dagsbasis resulterar i avsevärt stora skillnader i relativ fuktighet inomhus. Detta var väntat då de framtagna brukarprofilerna innehåller både mycket större fuktproduktion än de uppskalade och dessutom resulterade i lägre lufttemperaturer vilket sänker luftens kapacitet för vattenånga.

Koldioxidproduktionen är den som skiljer minst mellan de framtagna och uppskalade profilerna. I lastprofiler som finns i WUFI inleds koldioxidproduktion (och övrig produktion) vid 13.00 medan produktion i profiler framtagna av Linderholt & Persson (2023) inleds vid 16.00. Eftersom WUFIs profiler skalas upp utökas de toppar som kanske är rimliga vid 4 personer till toppar som kan anses extrema vid uppskalning, jämförelsevis i Figur 6 medför den uppskalade profilen för sju personer en dubbelt så hög koldioxidproduktion mellan 07-08 jämfört med den framtagna. Om man skalar upp ska man vara medveten om att det kan leda till för höga värden koldioxid, jämfört med om man använder sig av de framtagna profilerna. Som nämns i slutet av avsnitt 1.1 är koldioxid i sig inte ett problem vid dessa värden, men höga koldioxidnivåer är att likställa med dålig luft eftersom koldioxidproduktion är indikativt för produktion av andra luftföroreningar.

#### 4.1.2 Parameterstudie

Parameterstudien undersöker effekten av olika parametrar på temperatur och relativ fuktighet inomhus i trångbodda lägenheter. De undersökta parametrarna inkluderar ort, väderriktning, solskydd och lägenhetsposition.

Resultaten visar att **ort** har en betydande inverkan på både temperatur och relativ fuktighet. Malmö uppvisar högre temperaturer och relativ fuktighet jämfört med Stockholm och Göteborg, speciellt mycket högre sådana än Stockholm. Resultatet är intressant genom att *både* temperatur och relativ fuktighet är högre, eftersom luft med högre temperatur kan hålla mer vattenånga hade man kunnat vänta sig en lägre relativ fuktighet. Ju längre söderut de trångbodda lägenheterna finns kan man förvänta sig högre risk för problem med inomhusmiljö.

**Väderriktningen** påverkar också inomhusklimatet. Lägenheter med fönster som vetter mot öst och väst resulterar i högre temperaturer jämfört med lägenheter med fönster som vetter mot syd och norr. Detta lär bero på att de förstnämnda lägenheterna får mer solenergi under dagen då solen ligger lågt länge på sommarhalvårets morgon och kväll och fönstren därmed utsätts för fler soltimmar. Värt att notera är att de modeller som användes i simuleringarna inte har omkringliggande bebyggelse som kan blockera lågt

liggande sol från inträngning, utöver solskyddsstudien som tar loftgång i hänsyn undersöktes inte detta fenomen trots att det hade varit intressant att beakta.

Implikationerna av resultaten från undersökning av väderriktningens inverkan på inomhusklimatet är att trångbodda lägenheter, som redan har hög värmeproduktion, har en högre risk att nå övertemperaturer oftare med fler soltimmar. Å andra sidan hjälper uppvärmningen med att minska den relativa fuktigheten vilket i sin tur kan minska risken för mögel. Mögelriskanalysen visade hur lägenheter med låg luftomsättning är benägna att ha hög mögelrisk, en minskad relativ fuktighet är alltså betydande för de som bor trångbott i sådana situationer.

Inverkan av **solskydd** är tydlig. Resultaten av solskydd med lägre g-värden reducerar inomhustemperaturen effektivt genom att blockera en större del av solinstrålningen. Detta resulterar i lägre temperaturer och därmed högre relativ fuktighet eftersom kallare luft kan hålla mindre vattenånga. Även överhäng gav som väntat en tydlig temperaturminskning. Att minska inomhustemperaturen är eftertraktat ur komfortsynpunkt men det medför en högre relativ fuktighet vilket i sig inte heller är komfortabelt och dessutom långsiktigt kan resultera i byggnadstekniska problem och hälsorisker. Trångbodda lägenheter som motarbetar fuktproblem med exempelvis vädring kan använda solskydd för att uppnå en temperatursänkning i lägenheten, men värt att ha i åtanke är att trångbodda lägenheter som har en hög fuktproduktion utan avfuktande åtgärder kan bli negativt påverkade av den temperaturminskning som uppnås med solskydd.

**Lägenhetspositionen** är en annan kritisk parameter. Centrala lägenheter tenderar att ha högre temperaturer på grund av minskade värmeförluster jämfört med ytterlägenheter. Särskilt lägenheter på bottenvåningen uppvisar en högre relativ fuktighet som följd av temperaturminskningen som följer av att värme transmitteras genom grunden. Fungerande ventilation i dessa lägenheter är alltså av högst vikt. Sättet naturligt självdrag fungerar i byggnader är att högst höjdskillnad finns mellan frånluftsutlopp (taket) och tilluftsintag (fönster), detta innebär alltså att lägenheter på bottenvåning har bäst förhållanden för stark naturlig ventilation. Lägenheter högst upp däremot har inte samma goda förutsättningar. Resultaten visade att lägenheter på högsta våningen förlorar mycket energi genom taket och därmed får en högre relativ fuktighet inomhus än lägre liggande lägenheter, om dessa lägenheter inte får en tillräckligt god nivå ventilation kan risken för fuktproblem nå en hög nivå. I detta arbete beaktades inte strikt skillnad i ventilation som följd av lägenhetsposition, av denna anledning höll sig mögelriskanalysen i att använda bottenlägenhet som lägenhetsposition eftersom den gav högst relativ fuktighet.

Att bo trångbott är, speciellt som de framtagna profilerna visar, att utsätta inneklimatet för ett rejält fuktillskott. Den märkbara temperaturskillnad som lägenhetspositionen medför visar hur vissa hushåll kan påverkas starkt av sin trångbodda situation medan andra hushåll kan klara sig bra. 4°C temperaturskillnad i sommarens temperaturresultat mellan en central mittenlägenhet och en yttre bottenlägenhet är en betydande skillnad för de boende. Om andra parametrar också tas i hänsyn samtidigt bör en rejäl temperaturskillnad kunna uppnås. Att rakt ut säga att en trångbodd situation automatiskt

innebär komfortproblem eller hälsoproblem är således felaktigt, de parametrar som skiljer enskilda lägenheter är av betydande grad för hur inneklimatet kommer att se ut.

#### 4.1.3 Luftomsättning, inverkan på mögelrisk och inneklimat

Ökad boendetäthet innebär fler människor i samma bostad, vilket leder till högre fuktproduktion genom aktiviteter som andning, matlagning, duschning och tvättning. Detta ökade fukttillskott skapar en miljö som är gynnsam för mögeltillväxt. Vädring minskar onekligen risken för mögelpåväxt, detta genom att byta ut den fuktiga inomhusluften som är gynnsam för mögel mot torrare uteluft som inte är lika gynnsam för mögel. Samma princip stämmer för ökad naturlig ventilation. Figur 14 från Boverket (2010) visar att det är vanligt med en lägre naturlig ventilation än den lägsta som inkluderades i detta arbete, 0,5 oms/h. En lägre luftomsättning innebär att en trångbodd lägenhets höga fukttillskott resulterar i hög risk för fuktrelaterade problem. I dessa lägenheter är det ett måste att vädra för att undvika den ökade risken.

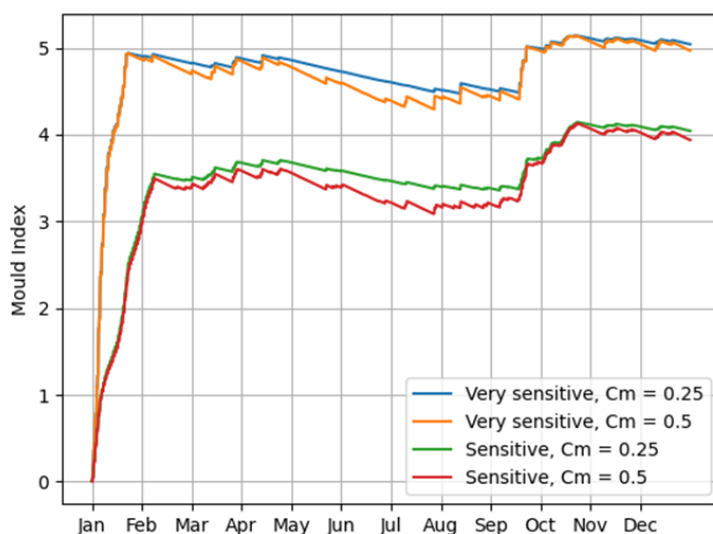
Resultatavsnitt 3.3.3 om inverkan av ökad naturlig ventilation på mögelrisken visar hur lägenheter med högre naturlig ventilation än BBR:s krav kan undgå risker för mögel. De *väldigt känsliga* ytor ser i resultatet ut att alltid ha en hög risk för mögel i trångbodda lägenheter utan vädring, men ytor som endast räknas som *känsliga* eller ännu mer resistent kan även utan vädringsschema undgå risk för mögel om den naturliga ventilationen överstiger kraven godtyckligt. Ventilationsförmågan är alltså en mycket viktig parameter att inkludera för att kunna avgöra inneklimat och mögelrisk i trångbodda lägenheter.

Samtliga resultat i mögelriskanalysen visade hur mögelindex ökar extra mellan mitten av september till mitten av oktober, alltså även för de modeller som inte har ett vädringsschema som ändras i mitten av september. Just detta gör det lite svårt att se exakt vilken effekt vädringsschemats ändring har på mögelindex jämfört med denna naturliga ökning som sker samma tid. Med sommarschemats vädring är det hygrottermiska förhållandet på den undersökta ytan inte gynnsamt för mögel, men så fort vädringen återgår till två gånger om dagen á en timme stiger index fort. Ett mindre abrupt slut på vädringsbeteendet i modellen hade möjligtvis resulterat i en stadig problemfri miljö. Resultaten visar på vikten av att använda realistiska brukarbeteenden för att uppnå tillfredställande resultat.

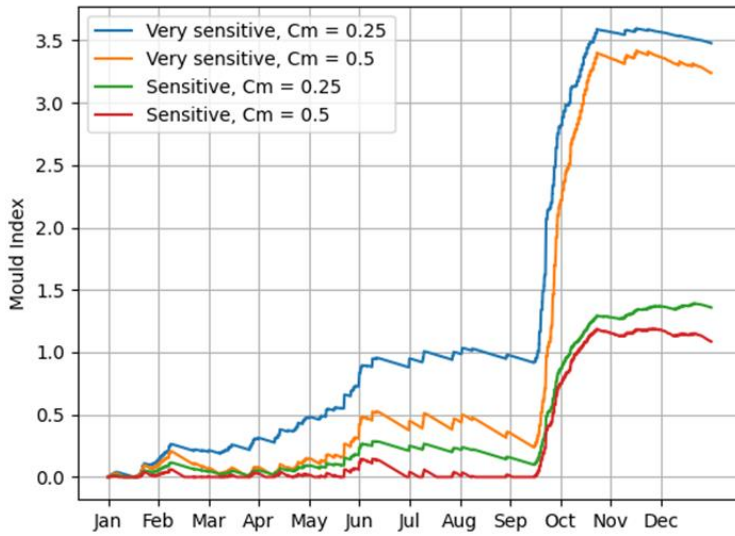
Lägenhetsmodellen som används i detta arbete valdes för att den väl stämmer överens med hur en vanlig utformning av lägenhet ser ut given i ”Så byggdes husen 1880~2000” (Björk, et al., 2016). Fönster på var kortsida av lägenheten kan möjliggöra en effektiv naturlig ventilation genom korsdrag. Men det finns lägenheter som endast har fönster åt ett håll, i sådana lägenheter är vädring inte en lika effektiv lösning. I sådana lägenheter är det rimligt att anta en av de lägre vädringsvarianterna som undersöks i arbetet, de fallen är alltså inte orealistiska. Med ovannämnda resonemang om hur flera lägenheter som byggdes under miljonprogrammet i Boverkets undersökning hade väldigt låg naturlig ventilation kan det anses att trångbodda lägenheter med låg vädringspotential och låg naturlig ventilation är utsatta för en hög risk för både komfortproblem och fuktproblem.



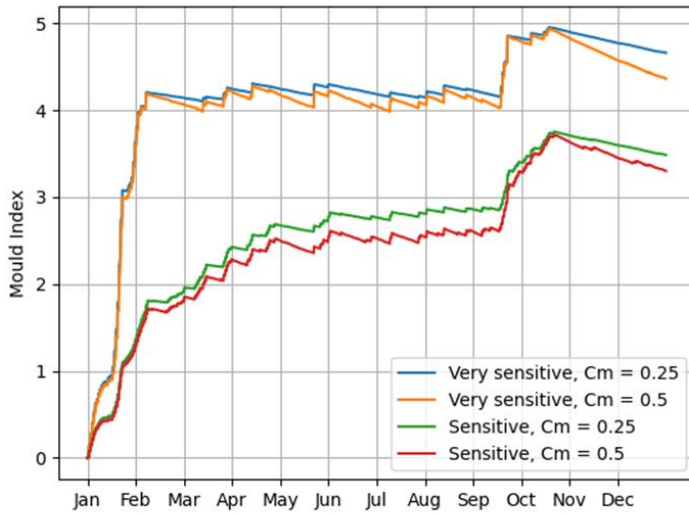
I följande stycke diskuteras fyra figurer från tidigare kapitel, de är för enkelhetens skull åter presenterade i Figur 47 - Figur 50. I resultatavsnitt 3.3.5 undersöktes mögelrisk för fem brukare. Den ena resulterande figuren, nedan Figur 49, visar resultat för samma modell som VTT-grundfallet men med framtagen lastprofil för fem personer i stället för sju. Jämförs den figuren och Figur 47 som visar mögelindex utveckling för VTT-grundfallet kan det konstateras att mögelindex minskar med färre boende, men att mögelrisk fortfarande föreligger för både känsliga och mycket känsliga material med fem boende. Däremot om man jämför Figur 50, som visar mögelindex för fem boende med stor vädring, och dess motsvarighet Figur 48 för sju personer med stor vädring, syns en tydlig skillnad i vilken mögelindex som uppnås. Även med en vädringsnivå på 20 oms/h når mögelindex för sju personer upp till 3,5 för mycket känsliga material, men med fem personer håller sig mögelindex under vad som enligt Tabell 9 kan uppfattas visuellt året om. Detta leder till en slutsats att inneklimate- och mögelproblem som följer av trångboddhet med lägre antal personer är lättare att vädra bort än med fler boende. Utan vädring nådde resultaten mot slutet av året ungefärligt lika men med vädring blev skillnaden betydande.



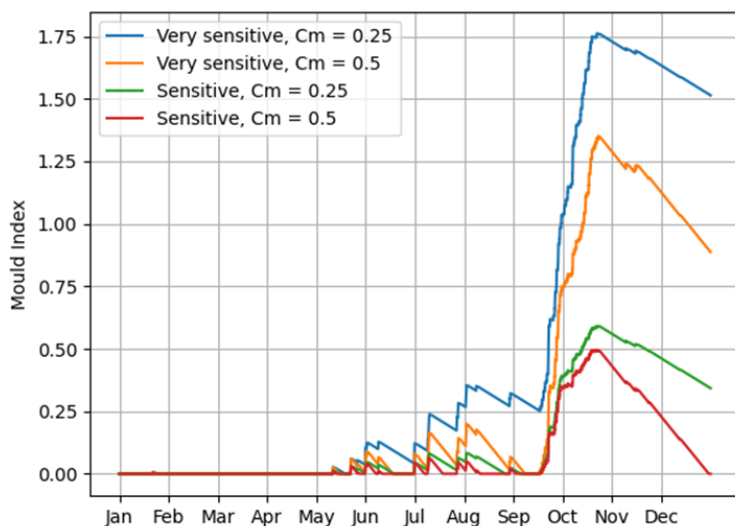
Figur 47: (samma som figur 36) Mould index för 7 personer utan vädring.



Figur 48: (samma som figur 40) Mould index för 7 personer med 20 oms/h vädring.



Figur 49: (samma som figur 41) Mould index för 5 personer utan vädring.



Figur 50: (samma som figur 42) Mould index för 5 personer med 20 oms/h vädring.

## 4.2 Övrigt

### 4.2.1 Osäkerheter och precision

Simuleringarna baseras på indata som kommer med osäkerheter. Brukarprofilerna togs fram av ett tidigare examensarbete, profilerna är baserade på litteraturstudier som i vissa fall ger väldigt olika värden på koldioxid-, värme- och fuktproduktion. Aktivitetsschema för brukarna är också en osäkerhetskälla, olika boende beter sig på olika sätt, detta schema är endast praktiskt för en grov uppfattning av effekterna av trångboddhet. Utöver det är schemat endast gjort för en vardag med samtliga medlemmar ute ur hemmet under arbetstider, inga varierande dagar erbjuds för helger, sjukdom eller alternativa livsstilar. Profilerna är också fast bestämda för en viss konstellation av familj, i profilerna är det två föräldrar och 1–3 barn, vill man undersöka hur det sett ut med tre par i en lägenhet hade profilerna sett annorlunda ut och dessa varit missvisande.

Eftersom hela lägenheten antas vara ett stort rum blir det också en fråga om osäkerhet då man inte kan dela in vissa aktiviteter i rum som är gjorda för att hantera aktiviteten. Exempelvis matlagning, vilket genererar enormt med fukt, brukar ske under en köksfläkt som hindrar lägenheten från att fuktas ner. Duschning sker i ett badrum som vanligtvis hålls stängt och därmed inte släpper ut så mycket fukt i lägenheten som aktiviteten genererar. För att få bättre resultat måste detta beaktas, i nuläget ger resultaten endast en uppfattning om det värsta möjliga fallet.



## 5 Slutsats

Studiens syfte var att undersöka hur en hög boendetäthet påverkar inomhusklimat, specifikt temperatur, relativ fuktighet, luftkvalitet och mögelrisk i en typisk lägenhet för miljonprogrammet. Arbetet har gett tydlig indikation på vilka parametrar som påverkar resultaten, och en uppfattning av i vilken mån de påverkar, samt belyst vikten av att använda väl utarbetade lastprofiler och modellera in brukarbeteende för att uppnå realistiska resultat.

Ju längre söderut modellen placerades desto högre temperatur *och* relativ fuktighet uppnåddes. Lägenheter riktade mer åt Öst/Väst värms teoretiskt upp mer än de lägenheter riktade Syd/Norr eftersom de får fler soltimmar, detta resulterar i högre temperaturer men följaktligen lägre relativ fuktighet. Solskydd hjälper mot övertemperaturer. Loftgångar över sydliga fönster kan minska temperaturen och effektivare skuggningsanordning kan också minska temperaturen, men återigen kan följaktligen den relativa fuktigheten öka. Lägenhetsposition har en stor inverkan på resulterande temperatur och relativ fuktighet. Med större ytterväggsyta visade resultaten på en lägre inomhustemperatur genom värmetransmissioner genom väggen, men större inverkan hade vertikal position på inneklimatet. För lägenheter på översta våningen med ventilerat vindsutrymme ovanför blev temperaturen lägre, för lägenheter på nedersta våningen med platta på mark under blev temperaturen ännu lägre än så. Återigen följde en ökad relativ fuktighet med temperaturminskning.

De framtagna lastprofilerna resulterar i högre relativ fuktighet och lägre temperaturer jämfört med de uppskalade lastprofilerna. Förutsatt att de framtagna lastprofilerna är mer verklighetsförankrade än att skala upp, då de baseras på en omfattande litteraturstudie och rimliga resonemang, bör de verkliga boendeförhållandena jämfört med tidigare studie av Abdul Hamid et al. (2021) ha större fuktproblem än tidigare resultat påvisat, vilket också innebär en ökad mögelrisk.

Arbetet använde sig av lastprofiler som innehåller data för värme-, fukt- och koldioxidproduktion som är generellt för en hel lägenhet. Då exempelvis matlagning oftast sker under en köksfläkt och duschning oftast sker i ett stängt badrum vilket hindrar fukt från att sprida sig till hela lägenheten kan vidare forskning göras som tar hänsyn till att rumsspecifika aktiviteter bör hanteras separat. På samma tankebana kan lastprofiler för andra familjekonstellationer och andra beteendemönster tas fram för att erbjuda bredare möjligheter för att utreda boendetäthetens inverkan på inneklimatet.

Även mer realistiska vädringsbeteenden kan utredas. Med detta även en varierande resulterande luftomsättning som följer av vädringen, eftersom den i verkligheten inte är så statisk som i detta arbete. Till sin natur är dock denna punkt svår att genomföra, vädringsbeteende är komplext att ta fram godtyckligt resultat för då brukare gör väldigt olika dels beroende på sin personlighet, sitt schema, väder, lägenhetsutformning och så vidare.

Vidare kan fortsatt forskning också undersöka de problem som kan vara relaterade till fukttransporter in i konstruktionen. I byggnader som har stått sedan 70-talet är det många

familjer som har hunnit bo, och mycket tid som har gått. Efter 50+ år finns det risker för att plastfolien i flera lägenheter inte längre har samma kvalitet som när den installerades på grund av flera faktorer som att boende kan ha spikat igenom folien, och naturlig nedbrytning. Detta medför att fukt lättare kan röra sig in i väggarna vilket ökar risken för fuktrelaterad problematik, särskilt med tanke på de höga värden relativ fuktighet som detta arbetes resultat påvisat.

## Källor

Abdul Hamid, A. et al., 2021. Determining the Impact of High Residential Density on Indoor Environment, Energy Use, and Moisture Loads in Swedish Apartments-and Measures for Mitigation. *Sustainability*, 13(10), pp. 1-27.

Anzelius, R., Karlsson, J., Hjortskull, P. & Werder, J., 2016. *Solskyddets möjliga energipåverkan: Sätt att spara energikostnader genom att reglera energistrålningen som passerar ett fönster.*, Mälardalen: Mälardalens Högskola / Svenska Solskyddsförbundet.

Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelson, I., 2017. *Fukthandbok*. Fjärde utgåvan red. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Björk, C., Kallstenius, P. & Reppen, L., 2016. *Så byggdes husen 1880~2000*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Blocon AB, n.d. *HEAT2 – Heat transfer in two dimensions*. [Online] Available at: <https://buildingphysics.com/heat2-3/> [Accessed 02 2024].

Boverket, 2010. *Teknisk status i den svenska bebyggelsen - resultat från projektet BETSI*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2016. *Trångboddheten i storstadsregionerna*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2021. *Din hälsa kan påverkas av fukt och mögel*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/konsekvenser-samhallet/konsekvenser-halsan/Halsa-fukt-mogel/> [Använd 16 05 2024].

Boverket, 2023a. *Ventilation*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ventilation/> [Accessed 16 05 2024].

Boverket, 2023b. *Behov av bostadsbyggande 2023-2030*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsmarknaden/behov-av-bostadsbyggande/behov-2023/> [Accessed 16 05 2024].

Boverket, 2024. *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> [Använd 16 05 2024].

Energimyndigheten, 2023. *Sveriges energi- och klimatmål*. [Online]  
Available at: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/sveriges-energi--och-klimatmal/>  
[Använd 16 05 2024].

Folkhälsomyndigheten, 2014. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*, Stockholm: Norstedts Juridik AB/Fritzes.

Fraunhofer IBP, n.d. *WUFI® Plus*. [Online]  
Available at: <https://wufi.de/en/software/wufi-plus/>  
[Accessed 02 2024].

Howard-Reed, C., Wallace, L. A. & Ott, W. R., 2011. The effect of opening windows on air change rates in two homes. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 52(2), pp. 147-159.

IPCC, 2023. *Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*, Genève, Schweiz: IPCC.

Jansson, S.-A., Arnlind, M. H., Dahlén, S.-E. & Lundbäck, B., 2007. Okänt hur mycket astma och allergier kostar samhället. *Läkartidningen*, 104(39), pp. 2792-2796.

Johansson, P., 2008. *Critical Moisture Conditions for Mould Growth on Building Materials*, Lund: Lund University.

Jönsson, D., 2013. *Lägenheters lufttäthet i ett flerbostadsområde från 1960-talet*, Lund: Lunds Universitet.

Linderholt, L. & Persson, L., 2023. *Inomhusklimat för simulering av hög boendetäthet i flerbostadshus*, Lund: Lunds Universitet.

Lorentzen, J. C., Georgellis, A., Albin, M. & Jonsson, M., 2023. Residential overcrowding in relation to children's health, environment and schooling – a qualitative study. *Scandinavian Journal of Public Health*.

Lorentzen, J. C., Johanson, G., Björk, F. & Stensson, S., 2022. Overcrowding and Hazardous Dwelling Condition Characteristics: A Systematic Search and Scoping Review of Relevance for Health. 19(23), pp. 1-21.

Meteotest AG, n.d. *Meteonorm Software*. [Online]  
Available at: <https://meteonorm.com/en/>  
[Accessed 02 2024].

Miljöförvaltningen, 2024. *Månadsmedeltemperatur*. [Online]  
Available at: <https://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimat-och->



vaderstatistik/manadsmedeltemperatur/

[Accessed 16 05 2024].

Mjörnell, K., Johansson, D. & Bagge, H., 2019. The Effect of High Occupancy Density on IAQ, Moisture Conditions and Energy Use in Apartments. *Energies*, 12(23), pp. 1-11.

Offentliga fastigheter, 2022. *Klimatpåverkan från renoverings- och ombyggnadsprojekt*, Stockholm: Offentliga fastigheter.

Qiu, X. & Liang, W., 2023. *Field testing of air change rate in university dormitories under different window-opening behaviors in Nanjing, China*. Nanjing, International Building Performance Simulation Association.

Richter, J. C., Jakobsson, K., Taj, T. & Oudin, A., 2018. High burden of atopy in immigrant families in substandard apartments in Sweden - on the contribution of bad housing to poor health in vulnerable populations. *World Allergy Organization Journal*, 11(9), pp. 1-9.

SMHI, n.d. *Hur var vädret?*. [Online]

Available at: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/hur-var-vadret/>

[Accessed 24 05 2024].

Statistikmyndigheten SCB, 2021. *Sverige har flest trångbodda i Norden*. [Online]

Available at: <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2021/sverige-har-flest-trangbodda-i-norden/>

[Accessed 16 05 2024].

Statistikmyndigheten SCB, 2023. *Var tredje barn i flerbostadshus bor trångt*. [Online]

Available at: <https://www.scb.se/pressmeddelande/var-tredje-barn-i-flerbostadshus-bor-trangt/>

[Accessed 16 05 2024].

Viitanen, H. et al., 2011. *Mould Growth Modelling to Evaluate Durability of Materials*. Porto, Portugal, XII DBMC.

von Platten, J., 2020. *From Housing Inequalities to an Unjust Energy Transition Data-driven analyses of socio-technical links in the Swedish multifamily building stock*, Lund: Lunds Universitet.

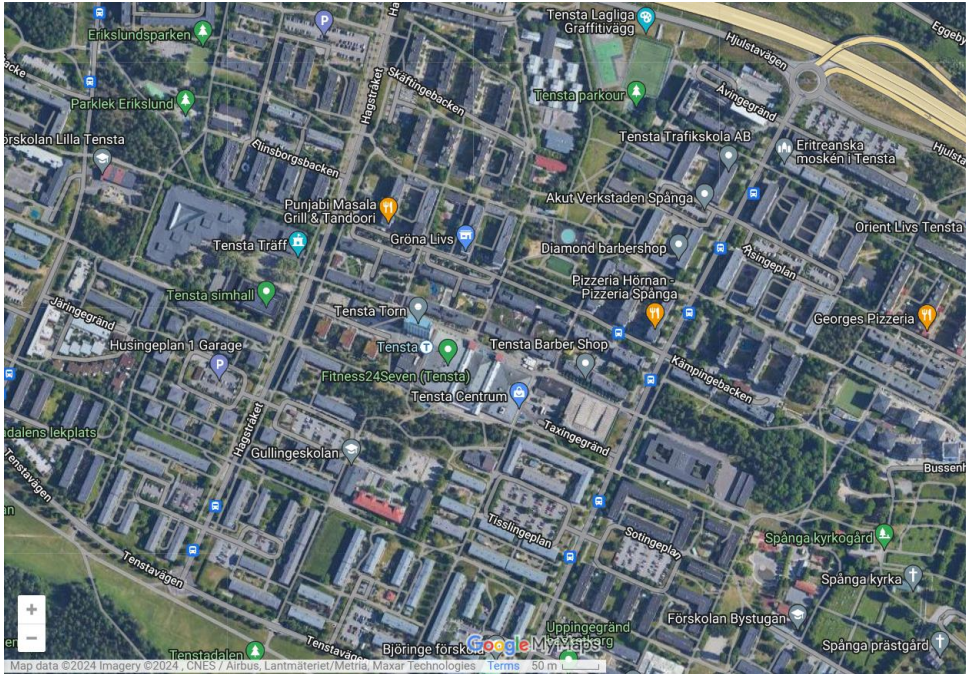
Wall, M. & Bülow-Hübe, H., 2003. *Solar Protection in Buildings Part 2: 2000-2002*, Lund: Lunds Universitet.

World Health Organization, 2018. *WHO Housing and Health Guidelines*, Schweiz: World Health Organization.

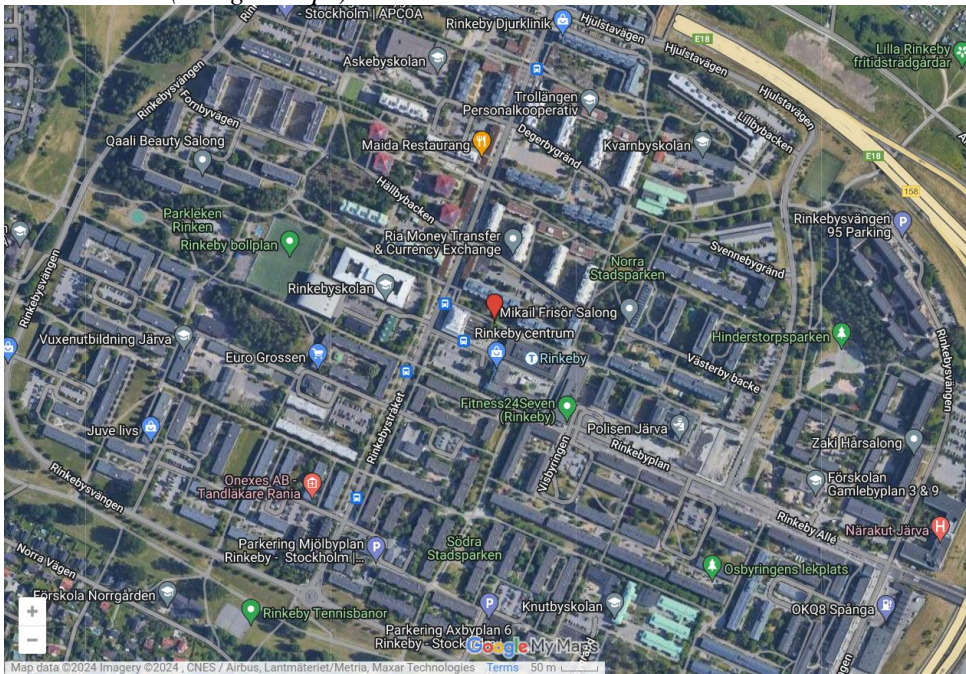


## Bilagor

### Bilaga A: Riktning lägenheter miljonprogram

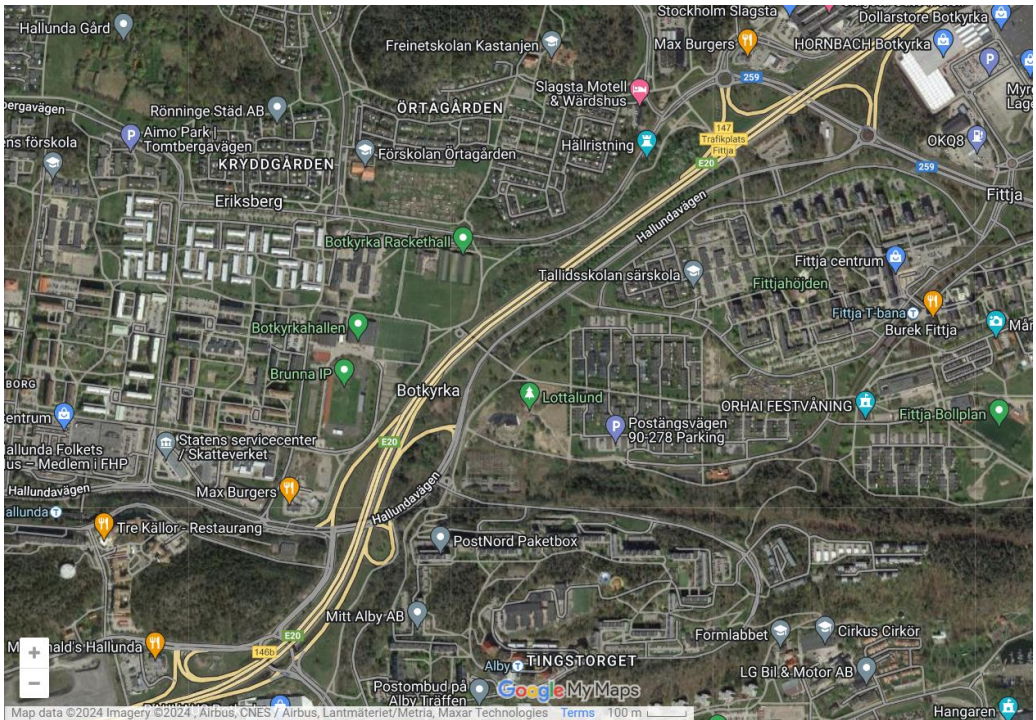


Ovan: Tensta (Google Maps)

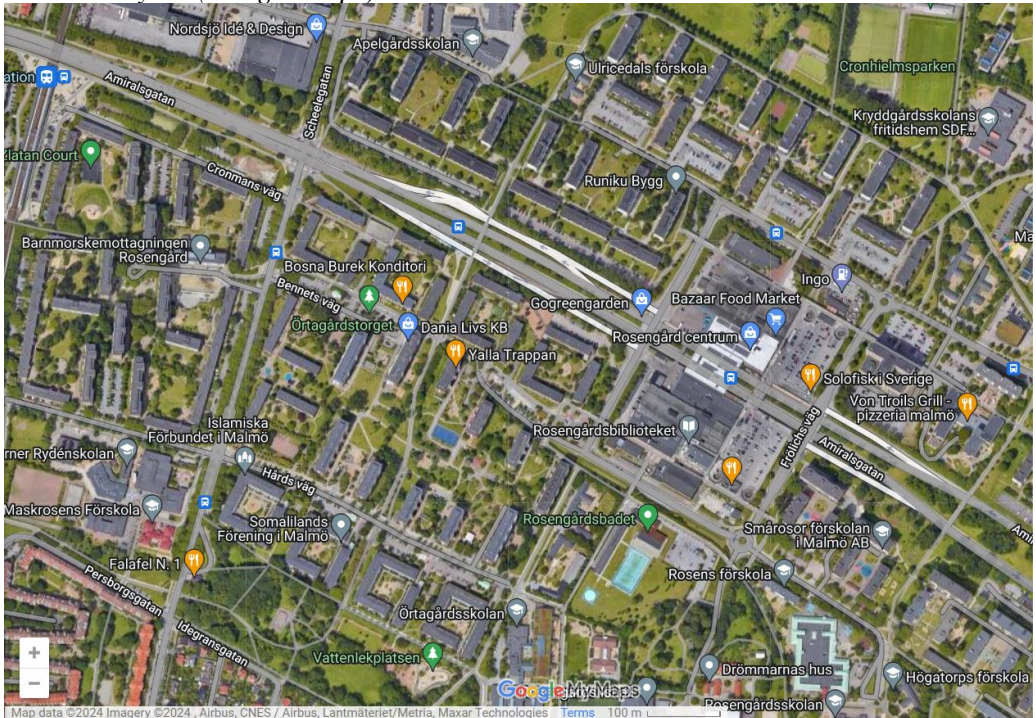


Ovan: Rinkeby (Google Maps)

## Inverkan av boendetätet på inneklimat och mögelrisk.



Ovan: Botkyrka (Google Maps)



Ovan: Rosengård (Google Maps)

## Bilaga B: Tabeller och grafer för framtagna och uppskalade brukarprofiler.

### *Framtagna*

*5 pers*

Klockslag	Värme (konv.)/W	Värme (str.)/W	Fukt/(g/h)	CO2/(g/h)
0	127	191	227	88
6	441	662	1515	152
7	456	684	1213	174
8	14	21	75	0
16	697	1045	1490	148
17	690	1035	1515	156
18	486	729	1925	143
19	369	553	1045	172
20	370	555	955	124
21	351	527	1000	148
22	272	408	372	117
23	127	191	227	88

*6 pers*

Klockslag	Värme (konv.)/W	Värme (str.)/W	Fukt/(g/h)	CO2/(g/h)
0	145	217	251	102
6	586	879	2005	179,75
7	493	740	1338	202,25
8	14	21	75	0
16	738	1106	1730	184
17	731	1096	1755	192
18	519	779	2035	162,5
19	394	592	1135	208
20	370	555	1015	144
21	388	582	1075	176
22	272	408	396	130,5
23	145	217	251	102

Inverkan av boendetätet på inneklimat och mögelrisk.

---

7 pers

Klockslag	Värme (konv.)/W	Värme (str.)/W	Fukt/(g/h)	CO2/(g/h)
0	162	243	275	116
6	613	919	2157,5	203,75
7	529	793	1459,5	230,25
8	14	21	75	0
16	778	1168	1970	220
17	771	1157	1995	228
18	614	921	2452,5	186,5
19	435	653	1225	244
20	436	654	1075	164
21	425	638	1150	204
22	306	459	420	144,5
23	162	243	275	116

**Uppskalade**

5 pers

Klockslag	Värme (konv.)/W	Värme (str.)/W	Fukt/(g/h)	CO2/(g/h)
0	322,5	161,25	190	62,5
5,5	352,5	176,25	190	68,75
6	410	205	282,5	68,75
6,5	1305	652,5	1495	172,5
7	440	220	245	297,5
8	147,5	73,75	25	0
13	265	132,5	25	87,5
14	1247,5	623,75	1065	222,5
14,5	380	190	190	130
15	265	132,5	80	42,5
17	322,5	161,25	80	87,5
18	1565	782,5	1065	222,5
18,5	627,5	307,5	1065	222,5
19	815	407,5	245	172,5
20	877,5	438,75	190	145
20,5	860	430	190	145
21	747,5	373,75	1752,5	145
22	840	420	600	145
22,5	840	420	1787,5	145
23	322,5	161,25	190	62,5

Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.

---

6 pers

Klockslag	Värme (konv.)/W	Värme (str.)/W	Fukt/(g/h)	CO2/(g/h)
0	387	193,5	228	75
5,5	423	211,5	228	82,5
6	492	246	339	82,5
6,5	1566	783	1794	207
7	528	264	294	357
8	177	88,5	30	0
13	318	159	30	105
14	1497	748,5	1278	267
14,5	456	228	228	156
15	318	159	96	51
17	387	193,5	96	105
18	1878	939	1278	267
18,5	753	369	1278	267
19	978	489	294	207
20	1053	526,5	228	174
20,5	1032	516	228	174
21	897	448,5	2103	174
22	1008	504	720	174
22,5	1008	504	2145	174
23	387	193,5	228	75

Inverkan av boendetäthet på inneklimat och mögelrisk.

---

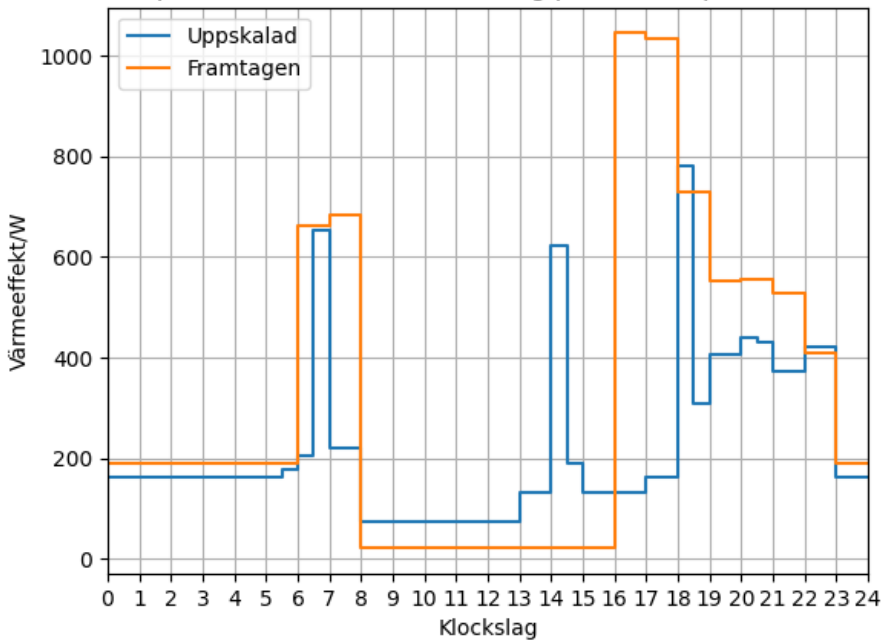
7 pers

Klockslag	Värme (konv.)/W	Värme (str.)/W	Fukt/(g/h)	CO2/(g/h)
0	451,5	225,75	266	87,5
5,5	493,5	246,75	266	96,25
6	574	287	395,5	96,25
6,5	1827	913,5	2093	241,5
7	616	308	343	416,5
8	206,5	103,25	35	0
13	371	185,5	35	122,5
14	1746,5	873,25	1491	311,5
14,5	532	266	266	182
15	371	185,5	112	59,5
17	451,5	225,75	112	122,5
18	2191	1095,5	1491	311,5
18,5	878,5	430,5	1491	311,5
19	1141	570,5	343	241,5
20	1228,5	614,25	266	203
20,5	1204	602	266	203
21	1046,5	523,25	2453,5	203
22	1176	588	840	203
22,5	1176	588	2502,5	203
23	451,5	225,75	266	87,5

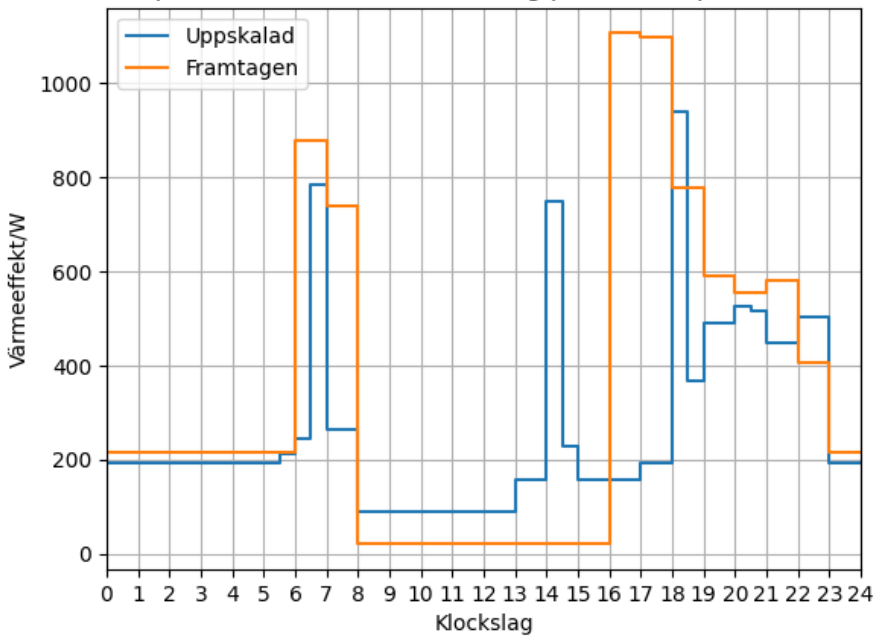


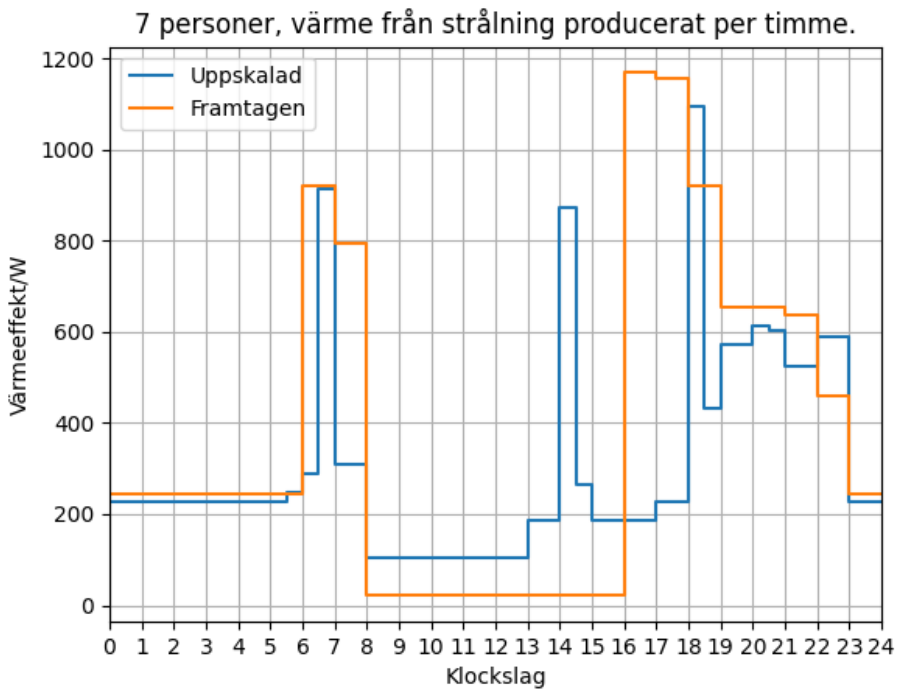
## Värme från strålning

5 personer, värme från strålning producerat per timme.

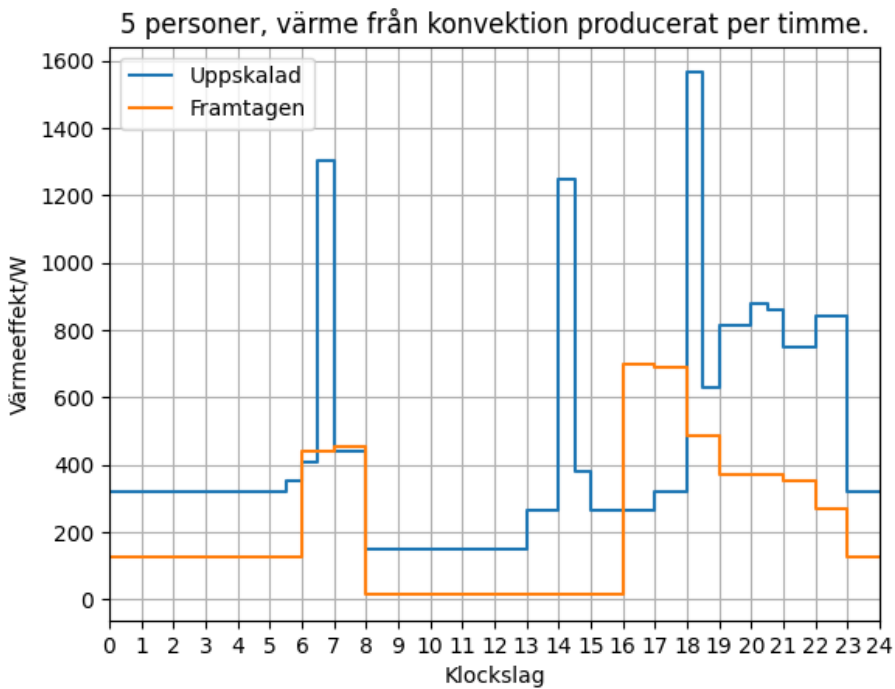


6 personer, värme från strålning producerat per timme.

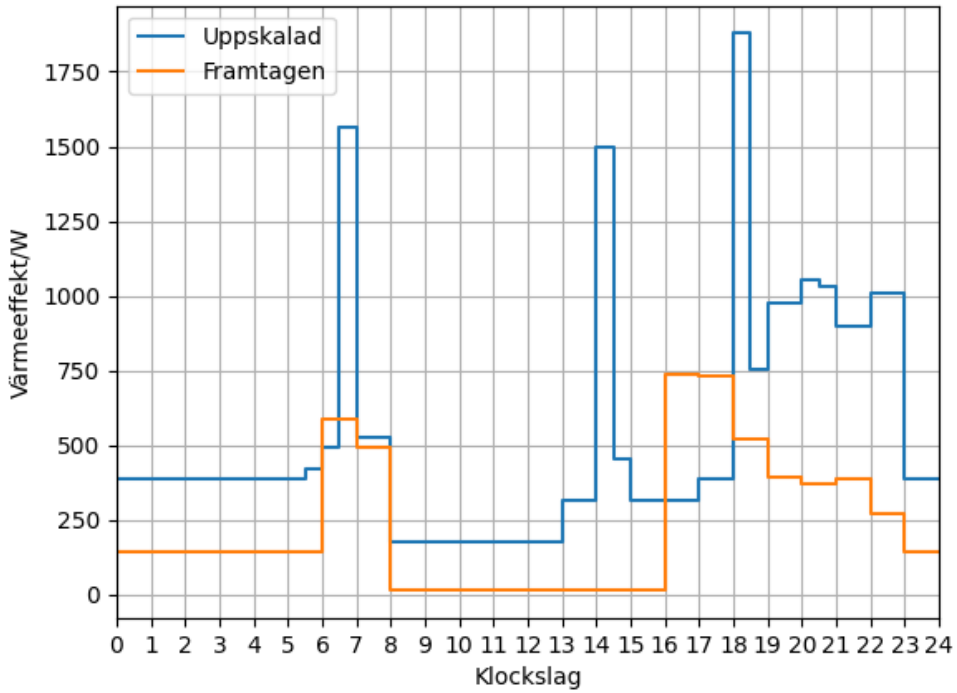




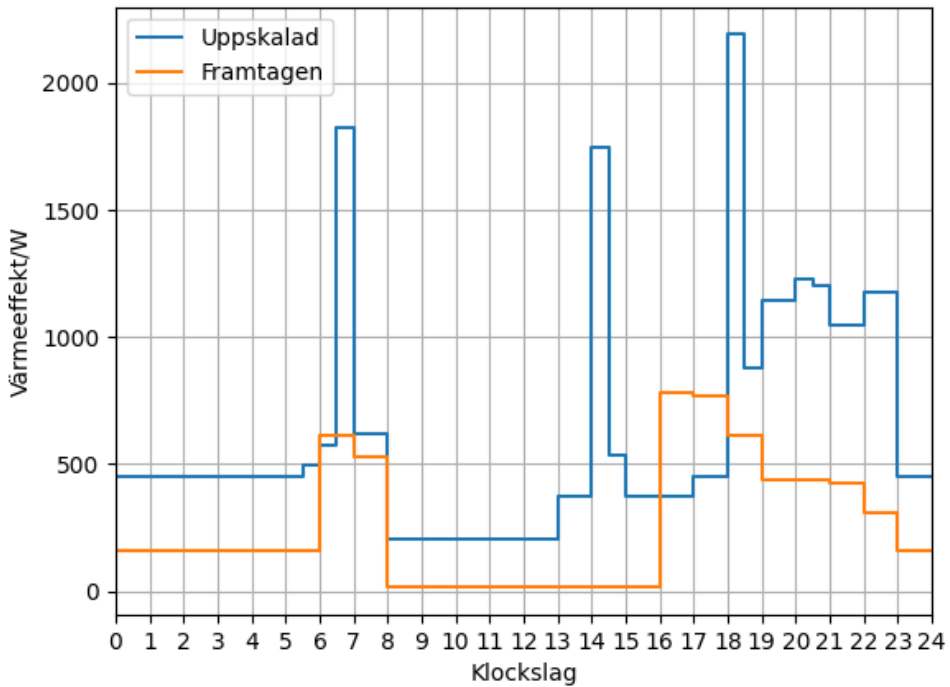
### Värme från konvektion



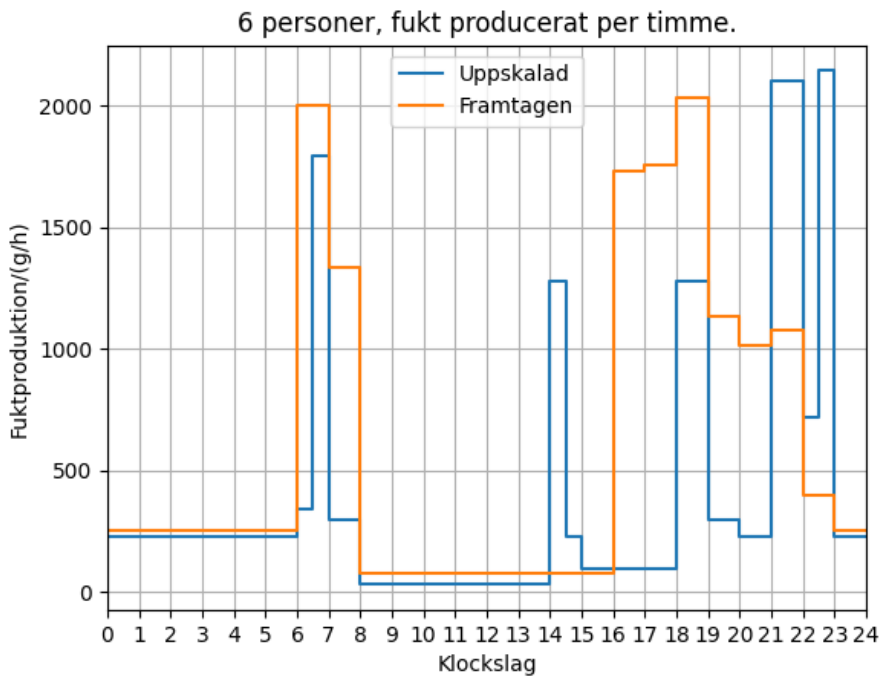
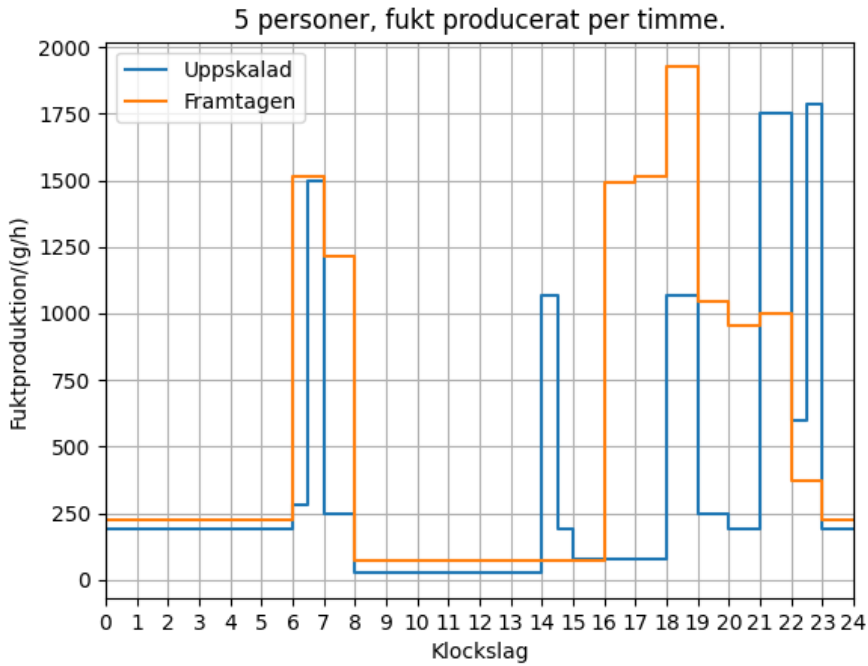
6 personer, värme från konvektion producerat per timme.

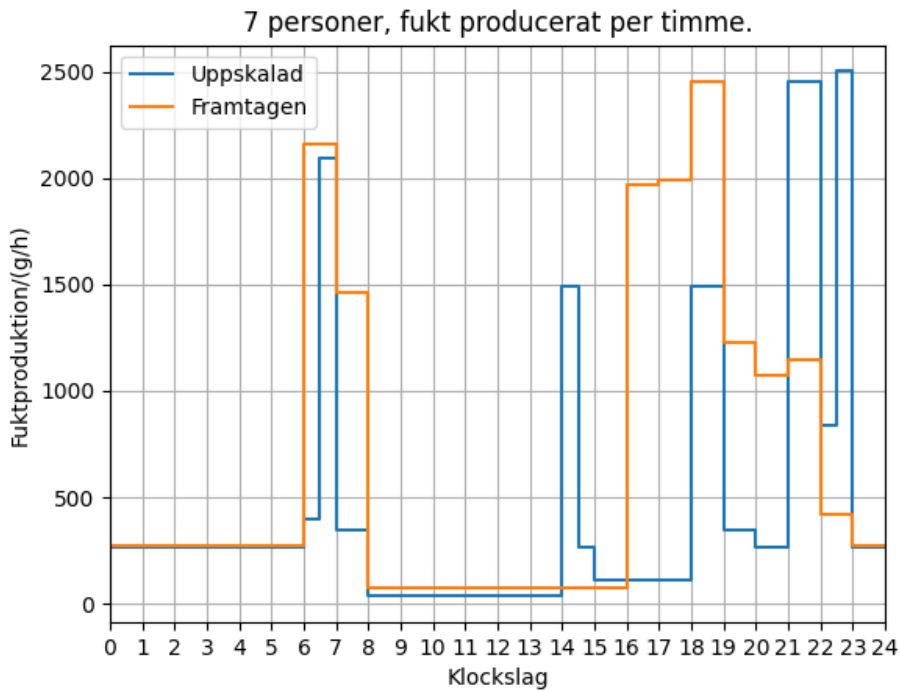


7 personer, värme från konvektion producerat per timme.



## Fukt





## Koldioxid

