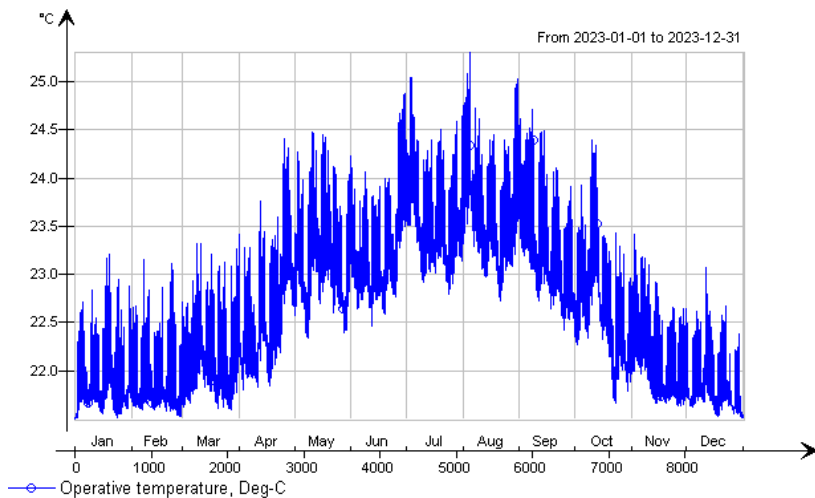


Jämförande analys av termisk komfort: Beräkningsmodellering vs fysiska mätningar



Rasha Eltahan
Viktor Thelaus



LUNDS
UNIVERSITET

Jämförande analys av termisk komfort: Beräkningsmodeller vs fysiska mätningar

Rasha Eltahan
Viktor Thelaus

Examensarbete Väg- och Vattenbyggnad Civilingenjör 30hp

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

© Rasha Eltahan & Viktor Thelaus

ISRN LUTVDG/TVBH—24/5139—SE(95)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

Sammanfattning

Titel: Jämförande analys av termisk komfort: Beräkningsmodellering vs. fysiska mätningar.

Författare: Rasha Eltahan & Viktor Thelaus

Handledare: Stephen Burke, Adjungerad universitetslektor, byggnadsfysik.
Stefan Elfborg, Byggstrateg, Regionfastigheter.

Examinator: Victor Fransson, Biträdande universitetslektor,
Installationsteknik.

Bakgrund:

Forskning visar att ett extrema inomhustemperaturer påverkar bland annat människors prestationsförmåga och förmågan att koncentrera sig. Dessutom kan ett dåligt inomhusklimat leda till hälsobesvär hos brukarna. Det är således viktigt att säkerställa att byggnader har ett bra inomhusklimat. Medeltemperaturen på jorden ökar, vilket leder också till att inomhustemperaturen ökar. Därför är det viktigt att säkerställa att dagens byggnader är dimensionerade efter dessa framtida temperaturförändringar. Detta leder till att det behövs beräkningsverktyg för att kunna förutse och undvika ett ogynnsamt inomhusklimat. Sådana verktyg kan vara IDA ICE simuleringar och fysiska mätningar som visar momentana klimatdata.

Syfte:

Syftet med examensarbetet är att utföra en jämförande analys av ett antal parametrar kopplade till termisk komfort med avseende på mätningar och beräkningar inom inomhusklimatet. Detta görs för att säkerställa att beräkningsmodelleringar stämmer någorlunda överens med de uppmätta värdena. Resultaten av denna analys avseende på ett antal parametrar jämförs och analyseras mellan IDA ICE, Danvak, referensvärden från myndigheter, fysiska mätningar och enkätundersökning. Två objekt med flera fall ska undersökas och eventuella förbättringsåtgärder presenteras.

Metod(er):

Flera olika metoder har använts i examensarbetet, såsom en inledande litteraturstudie för att få en bättre inblick av termisk komfort. För att få en uppfattning om det upplevda inomhusklimatet har en enkätundersökning genomförts. Därefter har ett flertal fysiska mätningar utförts med hjälp av specialutrustning från LTH. De parametrarna som analyserades var lufttemperatur, ytemperatur, operativ temperatur, koldioxidhalt, relativ luftfuktighet, strålningstemperatur samt fuktillskott. Slutligen simulerades byggnaderna med hjälp av programmet IDA ICE.

Frågeställningar:

- Vilka skillnader och likheter finns det mellan de uppmätta och simulerade parametrar avseende på termisk komfort?
- Vilka problem har vi idag med de två undersökta objekt avseende det termiska klimatet och vilka problem kan uppstå i framtiden?
- Vilka mätningar behöver utföras för att undersöka termisk komfort?
- Vilka för- och nackdelar har metoderna som användes i detta examensarbete?
- Vilka åtgärdsförslag behöver utföras för att förbättra den termiska komforten i de två undersökta byggnaderna?

Slutsatser:

Skillnader och likheter som upptäcktes mellan mätningar och beräkningar var dels att likheterna på temperaturtoppar- och dalar matchade någorlunda med varandra, detsamma gällde för momentana mätningar. De stora skillnaderna som noterades var avvikelser i koldioxidhalter och relativ luftfuktighet. I beräkningen blev koldioxidhalten och relativa luftfuktigheten mycket lägre än de uppmätta mätningarna. Andra skillnader som noterades var att under någon enstaka dag skiljde sig inomhusklimatet. Skillnaden beror troligtvis på utomhusklimatet i IDA ICE och det verkliga utomhusklimatet skiljde sig åt, vilket troligtvis beror på att i detta arbete användes utomhusklimatfiler i IDA ICE som baseras på medelvärden. De byggnader som undersöktes har idag problem med bland annat varierande rumstemperatur, torr luft och statisk elektricitet enligt enkätundersökningarna och de uppmätta fysiska mätningarna. Under sommarhalvåret har en av de två sjukhusbyggnaderna som undersöktes haft stora problem med alltför höga rumstemperaturer. För att förbättra inomhusklimatet under sommarhalvåret gavs förslag på förbättringsåtgärder så som heltäckande markiser, gardiner och ett ökat CAV-flöde.

Vid en jämförande analys noterades för- och nackdelar med de fysiska mätningarna och simuleringarna. Fördelarna med simuleringar är att det går att prognostisera inomhusklimatet, där särskilt extremvärden på temperaturer överensstämmer med verkligheten. Fördelar med de fysiska mätningarna är att de ger en indikation om fortsatt utredning behöver göras. Nackdelarna med metoder som har använts är att simuleringar kräver tillräckligt korrekta antaganden för indata. En negativ aspekt med fysiska mätningar är att mätningar utförs under en begränsad tidsperiod och inte därmed är representativa som helhet.

Nyckelord:

IDA ICE, termisk komfort, operativ temperatur, koldioxidhalt, relativ luftfuktighet, lufttemperatur, fysiska mätningar, Danvak, vistelsezon

Abstract

Research shows that the indoor environment can have a negative impact on the users' performance and concentration. An extreme indoor environment might lead to health problems for the users. It is therefore important to ensure that buildings have a good indoor environment. The aim of this thesis is to compare physical measurements with computer simulations regarding indoor environmental parameters. The methods that were used included an initial literature study, questionnaire survey, physical measurements and indoor environment simulations using the programme IDA ICE. The thesis questions are:

- What are the differences and similarities between data obtained from physical measurements compared to data obtained from simulations/calculations?
- What are the problems seen today with thermal comfort and which problems might occur in the future?
- What are the advantages and disadvantages between the physical measurements, simulations, and surveys used in the study?
- What parameters are required to study the indoor environment?
- Which is the recommended proposal of action to improve thermal comfort?

The thesis concludes that the results from the simulations had similar temperature peaks and the temperature graphs followed the same trend as the physical measurements. The major differences were mostly in the relative humidity and carbon dioxide concentrations where the simulations could not predict the concentrations. The buildings in this study have problems with fluctuating temperatures, dry air, and static electricity. During the summer, one of the buildings had problems with high room temperatures. To improve the indoor climate during the summer, the following actions are proposed: full-coverage mark-isolette, curtains and increased CAV-flows. To conduct thermal indoor climate measurements, instruments were needed that could measure momentarily and for one week. The advantage of IDA ICE is that it is possible to predict the indoor climate where the high-temperature peaks correspond with reality. The advantage of using physical measurements is that it indicates whether further investigation is needed. The disadvantage of simulating with IDA ICE is that this method requires adequate input data.

Förord

Examensarbetet genomfördes under HT2023/VT24 som ett slutmoment av Civilingenjörsutbildningen inom Väg- och Vatten med specialisering inom Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska högskola. Arbetet genomfördes i samarbete med Region Skåne inom Regionfastigheter, vid enheten Teknisk utveckling tillsammans med byggnadsfysikavdelningen på LTH.

Examensarbetet har varit en lärorik resa med utmaningar längs vägen, vilket har stärkt oss som civilingenjörer och även inspirerat oss till att fortsätta kämpa och förbättras. Trots alla hinder vi stötte på under resan har vi insett att det alltid finns mer att lära sig och att varje motgång är en möjlighet för oss att utvecklas som ingenjörer och som personer.

Vi vill rikta ett stort tack till att vi har fått möjligheten att skriva vårt examensarbete tillsammans med byggnadsfysikavdelningen på LTH och Region Skåne. Ett extra stort tack till vår handledare Stephen Burke som har hjälpt oss längs vägen och fungerat som ett boll-plank. Även stort tack till Anna Vesterberg som gjorde det möjligt för oss att få skriva tillsammans med Region Skåne. Vi vill även rikta ett stort tack till Stefan Elfborg som har handlett oss under arbetets gång och givit oss all indata som behövdes för simuleringar och hjälpt oss med de fysiska mätningarna. Ett tack till all arbetande personal i verksamheten som besvarade våra enkätfrågor.

Lund i mars 2024

Rasha Eltahan & Viktor Thelaus

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord	v
Innehållsförteckning	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och Mål	3
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	4
1.5 Övergripande metod	4
2 Teori & litteraturstudie	5
2.1 Teori om termisk komfort.....	5
2.1.1 Termiskt klimat.....	6
2.1.2 Luftkvalitet	9
2.1.3 Ventilation	9
2.1.4 Övriga faktorer inom inomhusklimatet	10
2.2 Rekommendationer på inomhusklimat.....	12
3 Metod.....	13
3.1 Beskrivning av byggnad och lokal	13
3.2 Fysiska mätningar.....	14
3.2.1 Utförande av momentana mätningar	14
3.2.2 Loggermätning.....	14
3.3 Enkätundersökning	15
3.4 IDA-ICE	15
3.4.1 Simulering av basfall i IDA ICE	16
3.4.2 Simulering utifrån olika fall: Värmetransport och värmesystem.....	16
3.4.3 Simulering utifrån olika fall: Förbättringsåtgärder.....	17
3.4.4 Jämförande analys mellan loggermätningar och IDA-ICE.....	17
3.5 Byggnads- och lokalinventering	17
3.5.1 Byggnad 22.....	18
3.5.2 Byggnad 1307.....	21
3.6 Indata och antaganden för beräkningsmodellen	23
3.6.1 Egenskaper Byggnad 22	23
3.6.2 Egenskaper Byggnad 1307	27
4 Resultat och analys	33
4.1 Momentana mätningar i Byggnad 22	33
4.1.1 Lufttemperatur	33
4.1.2 Operativ temperatur.....	33
4.1.3 Yttertemperatur.....	34
4.1.4 Strålningstemperatur-assymetri	34
4.1.5 Lufthastighet i vistelsezonen	35
4.1.6 Relativ luftfuktighet inomhus och utomhus	35
4.1.7 Luftflödesmätning, anpassad efter don i lokalen.....	35
4.1.8 Beräkning av PMV och PPD-index.....	36
4.2 Loggermätning byggnad 22.....	36

4.3	Resultat av enkätundersökning byggnad 22	39
4.4	Momentana mätningar i byggnad 1307	41
4.4.1	Lufttemperatur	41
4.4.2	Operativ temperatur	42
4.4.3	Yttertemperaturer	42
4.4.4	Strålningstemperatur-assymetri	43
4.4.5	Lufthastighet i vistelsezonen	43
4.4.6	Relativ luftfuktighet inomhus och utomhus	44
4.4.7	Luftflödesmätning, anpassad efter don i lokalen	44
4.4.8	Beräkning av PMV och PPD-index	44
4.5	Loggermätning byggnad 1307	45
4.6	Resultat av enkätundersökning byggnad 1307	48
4.7	Analys avseende på utomhusklimat i IDA-ICE och SMHI	50
4.8	Jämförande analys mellan loggermätningar och IDA-ICE	51
4.8.1	Temperatur byggnad 22	52
4.8.2	Relativ luftfuktighet och koldioxidhalt byggnad 22	54
4.8.3	Temperatur Byggnad 1307	55
4.8.4	Koldioxidhalt och relativ fuktighet Byggnad 1307	58
4.9	Jämförande mellan IDA ICE och momentana fysiska mätningar	60
4.10	Simulering av hela året för byggnad 22	62
4.11	Simulering av hela året för byggnad 1307	63
5	Diskussion	65
5.1	Helhetsbedömning av inneklimat	65
5.1.1	Byggnad 22	65
5.1.2	Byggnad 1307	67
5.2	Utvärdering av metoderna	70
5.3	Felkällor	71
5.4	Framtida utvecklingsmöjligheter	72
6	Slutsatser	73
7	Referenser	75
	Bilagor	81

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I världen sker alltmer omfattande utsläpp av växthusgaser. En konsekvens av dessa utsläpp är en ökad global temperatur vilket driver en större klimatförändring. (Europeiska kommissionen, u.å). Därför är det av stor vikt att planera byggnader efter de framtida temperaturförändringarna för att uppnå ett bra inomhusklimat utan att öka byggandens energianvändning under hela byggnadens livslängd.

Inneklimatets betydelse för brukarnas prestationsförmåga är en fråga som inte bör underskattas. Forskning visar att inomhusmiljön har en inverkan på brukarnas prestationsförmåga och förmågan att koncentrera sig under t.ex. lektioner och arbetspass. Det är därför viktigt att noggrant utföra undersökningar och förutse vilket inneklimat en byggnad kommer att ha för att säkerställa att inomhusmiljön inte har en negativ påverkan för brukarnas inlärningsförmåga och prestation (Wargocki & Wyon, 2016; Wargocki & Wyon, 2007).

Examensarbetet undersöker hur bra ett modernt beräkningsverktyg kan förutse det termiska inneklimatet inomhus. Genom att jämföra fysiska mätningar med simuleringar från IDA ICE kan man analysera om beräkningsverktyget är lämpligt för att förutse en byggnads innemiljö. I studien kommer olika parametrar såsom, den operativa temperaturen, lufttemperaturen, relativa fuktigheten och luft rörelser att undersökas i arbetslokaler i två sjukhusbyggnader. För att genomföra mätningar krävs specialutrustning från LTH.

Termisk komfort i lokaler

Jordens medeltemperatur förväntas öka som en del av klimatförändringarna och värmeböljor kommer att bli vanligare. I Sverige där befolkningen inte är vana vid höga temperaturer som exempelvis i Sydeuropa, kan värmeböljor skada hälsan särskilt för personer som tillhör riskgrupper, exempelvis äldre, små barn och sjuka personer. Likaväl kan detta bli ett problem för personer som arbetar i kontorsmiljö. Personer som drabbas av höga temperaturer kan uppleva olika symptom i form av obehag och irritation. Detta kan förvärras med fysisk ansträngning, och kan dessutom leda till värmeutmattning. Några nämnda symptom för värmeutmattning är följande: röd och torr hud, trötthet, yrsel och illamående. Om några av dessa symptom hittas hos en brukare är det nödvändigt att förflytta brukaren till en svalare miljö (Folkhälsomyndigheten, 2023a).

För att motverka hög inomhustemperaturer kan olika insatser vidtas. Ett exempel på detta är att lokaler bör vara utrustade med solskydd i form av markiser och persiennier. En annan åtgärd kan vara att utrusta lokalerna med öppningsbara fönster för att kunna ventileras vid höga temperaturer. Denna åtgärd fungerar när temperaturen utomhus inte är allt för hög. Om temperaturen utomhus är högre än inomhus kan det leda till motsatt

effekt. Om alla dessa åtgärder redan finns, krävs andra åtgärder såsom renovering eller ventilationsåtgärder. För att bevaka temperaturutvecklingen kan termostater även vara till användning. Andra möjliga sätt att motverka höga inomhustemperaturer är att skapa skugga med hjälp av planterade träd eller annan växtlighet, vilket även kan vara långsiktiga initiativ (Folkhälsomyndigheten, 2023a).

Under vinterhalvåret när utomhustemperaturen blir lägre, kan den termiska komforten bli sämre inomhus på grund av att temperaturen inomhus också sjunker. Detta kan bland annat bero på att konstruktionen på byggnaden är otät (Arbetsmiljöverket, 2023a). Det är arbetsgivaren som ansvarar för att kraven på det termiska inomhusklimatet uppfylls, däribland att inomhustemperaturen inte är för låg eller för hög. Detta gäller även om arbetsgivaren inte äger lokalerna utan bara hyr dem. Då kan arbetsgivaren ställa krav på hyresvärden att kraven kring termisk komfort uppfylls (Arbetsmiljöverket, 2023b). Om inte arbetsgivaren kan uppfylla kraven på till exempel en lämplig temperatur inomhus kan tillfälliga åtgärder göras. Dessa åtgärder kan exempelvis vara flytt till andra lokaler, tillfällig användning av elradiatorer, justering av arbetstider och möjlighet att arbeta hemifrån. Dessa tillfälliga åtgärder gäller främst vid enstaka extremt kalla och varma dagar och vid vissa arbetsplatser där det kan vara svårt att uppfylla kraven på termisk komfort på grund av den specifika produktionen som sker där, exempelvis inom livsmedelsindustrin och glasbruk (Arbetsmiljöverket, 2023a).

Det är viktigt att beakta olika hälsonackdelar som kan förekomma på grund av dåligt inomhusklimat. Exempelvis kan brukare uppleva obehag vid en lägre inomhustemperatur, vilket kan leda till att koncentrationen och arbetsförmågan minskar. Detta kan i sin tur leda till att risken för misstag och olyckor ökar på arbetsplatsen. När lederna och musklerna blir nedkylda på grund av den låga temperaturen kan risken för belastningsskador öka. Ett exempel vid kontorsarbete är att axlarna och nacken påverkas negativt och blir stelare. Människans muskelfunktion påverkas också negativt av lägre temperaturer. Detta i sin tur kan leda till sämre kraft och precision i bland annat fingrarna, vilket kan påverka kontorsarbete och monteringsarbete negativt (Arbetsmiljöverket, 2023a). Dessutom kan produktiviteten av arbetarna sjunka på grund inomhusklimatet (Wargocki & Wyon, 2016).

Inomhusmiljö och klimatförändringar: Exempel på påverkan

En konsekvens av klimatförändring är att det blir ett varmare utomhusklimat, vilket flertal lokaler inte är dimensionerade för i dagsläget, vilket kan leda till ett för varmt inomhusklimat (Arbetsmiljöverket 2023a). Till följd av detta måste ett flertal verksamheter såsom skolor ställa in sin verksamhet eftersom arbetsmiljön blir oacceptabel och både elever och lärare klagar på värme, huvudvärk och trötthet (Thedin, 2018). Skolor i hela landet är drabbade av detta, till exempel i Katrineholm, Halmstad, Göteborg, Malmö (Thedin 2018; Norbergh 2018; Thornéus 2018). Detta är ett växande problem som inte har uppstått tidigare och på ett flertal skolor så är det första gången man ställer in verksamheten på grund av värme (Norbergh 2018). Dagens skolor är inte förberedda på dessa höga temperaturer eftersom problem med ventilation, dåligt isolerade fönster, icke fungerande markiser och persienner uppstår (Jonsson 2019;

Norbergh 2018). Eftersom skolorna blir inställda missar eleverna viktig undervisningstid, som de har rätt till enligt skollagen (Skolverket, u.å.). Missad undervisningstid kan leda till allvarliga konsekvenser däribland utbildnings och kunskapsstapp inom skolan (Skolverket, 2021). Därför är det viktigt att ha ett beräkningsverktyg för att kunna förutse och sedan undvika sådana konsekvenser. Dessa verktyg kan vara data simuleringar.

Ett bra verktyg för att undersöka byggnadens inomhusklimat innan byggnaden är färdigställd är med hjälp av simuleringar av inomhusklimatet i IDA ICE. Om en befintlig byggnad har problem med inomhusklimat går detta att undersöka med hjälp av bland annat mätningar av inomhusklimatet och simulering i IDA ICE. I detta examensarbete undersöks skillnader och likheter mellan IDA ICE simulering och mätningar utförda på plats. Detta görs för att säkerställa att dessa verktyg är tillförlitliga och förutser inomhusklimatet på ett rimligt sätt.

1.2 Syfte och Mål

Syftet med examensarbetet är att utföra en jämförande analys mellan fysiska mätningar och beräkningsmodelleringar inom inomhusklimat. Genom att använda ingenjörsmässiga verktyg och kunskaper, kan man förutse termiska komforten på ett tillförlitligt sätt? Resultaten av termiskkomfort beräkningar jämförs och analyseras med IDA-ICE. Dessa jämförs även med referensvärden från myndigheter och fysiska mätningar i lokaler för att erhålla en helhetsbedömning av inneklimatet och för att finna avvikelser mellan dem.

Målet är att utvärdera de två beräkningsmetoderna och identifiera skillnader, likheter och eventuella problem. Vidare avser studien att undersöka möjliga anpassningsåtgärder för att dimensionera lokaler på ett sätt som tar hänsyn till de ökade temperaturerna. Syftet med enkätundersökningen är att få en helhetsbild av de problemen som förekommer i lokaler och i vilken omfattning de förekommer.

1.3 Frågeställningar

För att bedöma och jämföra den termiska komforten i lokaler med hänsyn till mätningar och beräkningar formuleras följande frågeställningar:

- Vilka skillnader och likheter finns det mellan de uppmätta fysiska mätningarna och simuleringar från IDA ICE med avseende på termisk komfort?
- Vilka problem har vi idag med de två undersökta byggnaderna avseende det termiska klimatet och vilka problem kan uppstå i framtiden?
- Vilka mätningar behöver utföras för att undersöka termisk komfort?
- Vilka för- och nackdelar har metoderna som användes i detta examensarbete?
- Vilka åtgärdsförslag behöver utföras för att förbättra den termiska komforten i de två undersökta byggnaderna?

1.4 Avgränsningar

I examensarbetet begränsas mätningarna till två olika byggnader med ett kontor per byggnad med liknande väderstreck. Byggnaderna är geografiskt nära varandra, med avståndet på cirka 100 meter, vilket säkerställer jämförbara mätningar. Fokus läggs endast på mätbara parametrar som definieras i rapporten. Dessutom kommer mätningarna att utföras under vinter och inte under sommaren för att ge insikt i hur låg temperatur som inneklimatet kan utsättas för, speciellt med hänsyn till det mest extrema fallet avseende på kyla som vanligtvis uppstår under vintern. I detta examensarbete beaktas inte köldbryggor i IDA ICE modelleringar och i de fysiska mätningarna, då det är svårt att uppskatta köldbryggors storlek och omfattning.

Beräkningsmodellerna har begränsat med indata, därför görs det flera antaganden. Särskilt eftersom en av byggnaden är från tidigt 1900-talet och har ett begränsat underlag. Dessa antaganden baseras på litteratur och ingenjörsmässiga antaganden. Antagandena presenteras i avsnitt 3.6.

1.5 Övergripande metod

I detta examensarbete används flera metoder. Arbetet började med en litteraturstudie inom området för termisk komfort för att få bättre inblick inom ämnet. Sedan utfördes fysiska mätningar med hjälp av specialutrustning från LTH. Därefter delades en enkätundersökning ut till brukarna i den aktuella lokalen för att studera det upplevda inomhusklimatet. Vidare används IDA ICE för att simulera byggnadernas termiska klimat i både momentant och under hela året.

2 Teori & litteraturstudie

2.1 Teori om termisk komfort

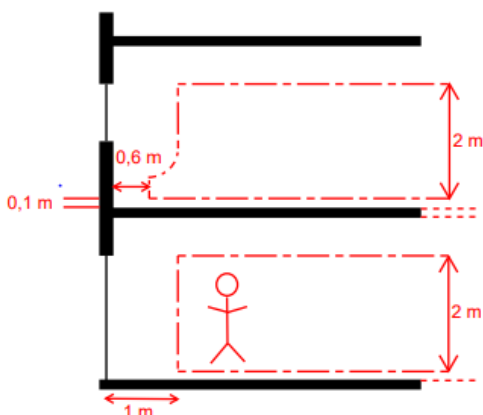
Den termiska komforten omfattar alla de parametrarna som har inflytande på människans värmebalans. Syftet med termisk komfort är att förutse när människor har det behagligt. Abel & Elmroth (2013) beskriver att termiskt klimat innefattar människans termiska välbefinnande (Abel & Elmroth, 2013; Danvak, u.å). Luftkvaliteten är relaterat till luftens renhet och påverkas av föroreningar som kan drabba människan som andas in den. Det är av stor betydelse att ställa höga krav på luftkvalitet. Att ställa höga krav kan innebära att dimensionera höga luftflöden och effektivt ventilationssystem (Abel & Elmroth, 2013).

Enligt AFS2020:1 är människans upplevelse av termisk komfort styrd av det termiska klimatet. Människans upplevelse av klimatet kan också bero på klädsel och aktivitetsnivå i kombination med de fysikaliska parametrarna. De fysikaliska parametrarna som har påverkan på termisk komfort är bland annat operativa temperaturer, lufttemperatur, yttemperatur på golv, lufthastighet till följd av drag och kallras, och strålningstemperaturasymmetri. Termiskt klimat involverar hela byggnadens termiska miljö, med hänsyn till temperatur och luftkvalitet, medan termisk komfort fokuserar på människans upplevelse av välbefinnande, inom vistelsezonen eller utrymmen som människor vistas i mer än ofta. Det finns även andra aspekter såsom, fönsterstorlekar, uppvärmning- och ventilationssystem samt byggmaterial som påverkar de fysikaliska klimatparametrarna (Boverket, 2023). Det upplevda termiska klimatet är individuellt och uppfattas på olika sätt av personer. Detta beror på fysiologiska och psykologiska aspekter. Det är en utmaning att nå en andel på under 5% missnöjda för personer som vistas i samma utrymmen (Bülow-Hube m.fl, 2022).

För att kunna utföra en analys av termisk komfort är det nödvändigt att förstå och beakta olika faktorer som påverkar inomhusklimatet. Aktivitetsnivå, kläders isoleringsförmåga, ventilation, luftfuktighet, lufthastigheter och temperaturer och liknande spelar alla en stor roll (Danvak, u.å). Med dessa påverkansfaktorer skapas en strukturerad grund för en fördjupad och detaljerad analys.

Vistelsezonen

De krav och rekommendationer som finns angående termisk komfort gäller inom vistelsezonen. Vistelsezonen är det utrymme i en byggnad som brukarna vistas i mer än bara tillfälligt. Därför är det av stor vikt att vistelsezonen tydligt är definierad, eftersom mätning av termisk komfort ska ske inom denna zon (Boverket, 2023). I figur 1 illustreras vistelsezonens olika mått. Där vistelsezonen börjar 10 cm över golvytan och upp till en höjd på 2 m. Zonen skall också vara placerad minst 0,6 m från väggarna och minst 1 m ifrån både fönster och dörrar (Boverket, 2023).



Figur 1: Illustration av vistelsezonen.

ISO 7726 rekommenderar att olika mätpunkter ska användas vid olika höjder. Den första mätpunkten ska vara 0,1 m över golvet, detta för att efterlikna temperaturen vid ankarna hos en person. Den andra mätpunkten ska vara 0,6 m över golvnivå för en sittande person och 1,1 m för en stående person, dessa höjder ska efterlikna temperaturnivån vid magen hos en person. Nästa mätpunkt ska efterlikna temperaturen vid huvudet hos en person, den bör vara 1,1 m över golvet för en sittande och 1,7 m över golvet för en stående person (Svenska institutet för standarder, 2002). Dessa höjder illustreras i tabell 1.

Tabell 1: Mätnivåer och rekommenderade höjder för mätning av inomhusklimatparametrar enligt ISO 7726

Mätnivåer hos personer	Rekommenderade höjder	
	Sittande	Stående
Huvud	1,1 m	1,7 m
Mage	0,6 m	1,1 m
Ankel	0,1 m	0,1 m

2.1.1 Termiskt klimat

Lufttemperatur

Lufttemperatur mäts med hjälp av en termometer som är strålningsavskärmd, detta för att denna temperatur inte ska påverkas av strålningen från det omgivande rummet (Boverket, 2023). Folkhälsomyndigheten rekommenderar att lufttemperaturen inte ska understiga 20 °C och inte överstiga 26 °C. Om inte temperaturen är inom detta intervall, indikerar det på att det kan vara problem med inomhusklimatet och en fortsatt utredning skall göras (Folkhälsomyndigheten, 2014).

Hälsoeffekter

Det finns ett flertal negativa hälsoeffekter vid både höga och låga inomhustemperaturer. Vid en hög inomhustemperatur, skapas det en värmestress i kroppen eftersom kroppen försöker kyla ner sig. Denna värmestress har en negativ påverkan på människan i form av att till exempel koncentrationsförmågan, inlärningsförmågan och arbetsprestationen blir sämre. Människans styrka och rörlighet påverkas också negativt av en förhöjd temperatur. Konsekvenserna vid en låg inomhustemperatur är bland annat att människan blir mer mottaglig för sjukdomar, försämrad finmotorik, koncentrationssvårigheter och en ökad muskelstelhet (Boverket, 2022).

Operativ temperatur

Den operativa temperaturen är medelvärdet av lufttemperaturer och stålningstemperaturer från omgivande ytor. Den beskrivs som människans upplevda temperatur. För att mäta den operativa temperaturen krävs specialutrustning som till exempel en globgivare, eftersom en kall yta inte ger samma känsla när en person befinner sig långt från den.

Folkhälsomyndigheten rekommenderar att den operativa temperaturen är mellan 20–23 °C. Men den operativa temperaturen kan tillåtas vara upp till 24 °C på vinterhalvåret och 26 °C under sommarhalvåret. Under kortvariga tidpunkter tillåts den operativa temperaturen att uppgå till 26 °C under vintern och 28 °C under sommaren (Folkhälsomyndigheten 2014).

I detta examensarbete används följande intervall som riktlinjer:

Sommar: 20–26 °C

Vinter: 20–24 °C

Enligt Danvak s. 36 är $t_o = (t_a + t_r)/2$ (1)

t_o – Operativ temperatur

t_a – Lufttemperatur

t_r – Medelstrålningstemperatur

Om den relativa lufthastigheten är större än 0,2 m/s eller att differensen mellan medelstrålningstemperaturen och lufttemperaturen är större än 4 Kelvin, kan följande formel användas för att beräkna operativ temperatur:

$t_o = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot t_r$ (2)

Där A anges i tabell 2 nedan (Danvak, u.å)

Tabell 2: A-värden vid olika lufthastigheter

v_{ar}	< 0,2	0,2 – 0,6	0,6 – 1,0
A	0,5	0,6	0,7

Yttemperaturer

Yttemperatur är temperaturen på en yta, såsom golv, väggar och tak. Yttemperaturen är hur varm eller kall ytan är under en given tidpunkt. En metod att mäta yttemperaturen är att placera termometer mot ytan, men detta skapar osäkerhet då termometern även kyler ned eller värmer upp ytan. En annan metod är att använda pyrometer, som agerar som en värmekamera och mäter materialets temperatur med hjälp av strålningsintensitet (RISE, 2023). Enligt Boverkets byggregler, föreskrifter och allmänna råd bör inte yttemperaturen på golvytan under vistelsezonen vara lägre än 16 °C och inte över 26 °C (Boverket, 2023).

Medelstrålningstemperatur

Medelstrålningstemperatur är den enhetliga temperaturen från de omgivande ytorna. Denna temperatur är en fiktiv temperatur som bygger på att en människa kan stråla från och mot omgivande ytor (Danvak u.å). Detta kan bestämmas av yttemperaturen på väggar, tak och golv i rummet och av storlekarna på ytorna. Detta kan mätas av en globtermometer (Arbetsmiljöverket, 2023c). Medelstrålningstemperaturen är lika viktig för värmebalansen och termisk komfort som lufttemperaturen. Grundtanken bakom detta är att förenkla komplicerade strålningsförhållanden i ett rum till en enda temperatur (Danvak, u.å). Detta kan beräknas enligt nedan:

$$\text{Där } t_r = F_{p-1} \cdot t_1 + F_{p-2} \cdot t_2 + \dots F_{p-n} \cdot t_n \quad (3)$$

F_p – Synfaktor

t_r – Medelstrålningstemperatur

t_n – Temperatur för ytan

Till detta behövs vinkelförhållandet från person till yta n. Vinkelförhållandet från en sittande person till raka eller horisontella ytor (Danvak, u.å).

Strålningstemperatur- och asymmetri

Strålningstemperatur innebär att påverkan på varma och kalla ytor i den omgivande rummet tas i beaktning. Denna temperatur har en lika stor påverkan på inomhusklimatet som lufttemperaturen (Arbetsmiljöverket, 2022). Strålningstemperatur-asymmetri beskriver skillnaden mellan strålningstemperaturen hos två olika ytor, och skall beräknas för en sittande person, med höjden 0,6 m över golvytan (Danvak, u.å). Ett exempel på dålig upplevd strålningstemperatur-asymmetri är när en person sitter nära ett dåligt isolerat fönster under vintermånaderna (Boverket, 2023). Folkhälsomyndigheten rekommenderar att strålningstemperaturskillnaden inte ska överstiga 5 °C mellan tak till golv och 10 °C mellan fönster och motsatt vägg (Folkhälsomyndigheten, 2014b).

2.1.2 Luftkvalitet

Koldioxidhalt

Koldioxidhalten används som en indikator för luftkvalitet. Koldioxidmätare används främst i lokaler med hög folksamling för att övervaka luftkvaliteten. Det är värt att notera att koldioxidhalter utomhus ligger på cirka 400 ppm, medan inomhusmiljöers koldioxidhalter varierar mellan cirka 600–800 ppm. Folkhälsomyndigheten rekommenderar att koldioxidhalten inte ska överstiga 1000 ppm i allmänna lokaler. Ett värde på 1000 ppm visar inte vanligtvis på akuta hälsorisker, utan snarare när koldioxidhalterna överstiger 20 000 ppm som människans andningsförmåga kan påverkas, vilket i sin tur kan leda till medvetlöshet. Människans tillskott av koldioxid till lokaler är cirka 15 liter koldioxid per timme vid sängläge och 20 liter vid stillasittande arbete. Vid högre fysisk ansträngning uppgår utsläppet till 120 liter per timme (Folkhälsomyndigheten 2023b).

Relativ luftfuktighet inomhus och utomhus

Den relativa luftfuktigheten har en stor variation mellan årstiderna. Under vinterhalvåret är den relativa luftfuktigheten låg och under sommarhalvåret hög. Detta beror på att den relativa luftfuktigheten i rummet beror på temperaturskillnaden mellan luften utomhus och inomhus. Det rekommenderas att den relativa luftfuktigheten är mellan 30–70 %. Vid en hög luftfuktighet ökar risken för fuktproblem i byggnaden och problem med kvalster (Socialstyrelsen, 2005). Kvalster trivs bäst och förökar sig snabbast vid en relativ luftfuktighet på 75% och dör vid en relativ luftfuktighet under 45%. Fuktproblem, såsom mögeltillväxt sker vid en hög relativ luftfuktighet. Det är därför viktigt att den relativa fuktigheten i rumsluften är lägre än 70%, både för att undvika mögeltillväxt och kvalster. För att undvika kondens under vintern rekommenderas det att den relativa luftfuktigheten är lägre än 50% (Danvak, u.å.). Det finns även ett flertal negativa aspekter vid en låg relativ luftfuktighet, såsom torra slemhinnor, bildandet av statisk elektricitet och kan även påverka risken för förkylningar och allergier. Därför rekommenderas att den relativa luftfuktigheten är högre än 30% (Danvak, u.å.).

2.1.3 Ventilation

Lokalt ventilationsindex

Lokalt ventilationsindex är ett mått på ventilationens effektivitet när det gäller att föra bort luftföroreningar från en specifik plats i en lokal. Det representerar förhållandet mellan koncentrationen av föroreningar i frånluften och koncentrationen av föroreningar inom vistelsezonen. Begreppet ventilationsindex beskrivs även i SS-EN 16798–3:2018. (Svenska institutet för standarder, 2018). Till detta behövs en koldioxidmätare som mäter halten i frånluften, tilluften samt vistelsezonen (Ekberg m.fl., 2022). I en lokal som har uppnått en fullständig omblandning i ventilationen uppnås ventilationsindex på 50% och en hundra procentig ventilationseffektivitet, vilket innebär att om $\epsilon_{lokal} \geq 1$ då

är lokalen tillräckligt omblandat och godtagbart. Om ε_{lokal} är under 1 kan orsaken vara otillräcklig ventilation eller tyda på kortslutningar av tilluft som inte når ut i vistelsezonen (InventiAir, 2017). Standarden SS-EN ISO16000-8:2008 beskriver begreppet närmare (Svenska institutet för standarder, 2008).

Den allmänna formeln för lokalt ventilationsindex uttrycks enligt nedan i procentenheter (Intab, 2020):

$$\varepsilon_{lokal} = \frac{CO_{2Fr\ddot{a}nluft} - CO_{2Tilluft}}{CO_{2Vistelsezonen} - CO_{2Tilluft}} \quad (4)$$

Lufthastighet i vistelsezonen (drag & kallras)

I inomhusklimatet kan det uppstå drag på grund av bland annat ventilationen. Detta drag kan leda till en avkylande effekt på kroppen, vilket kan leda till obehag. Det kan också uppstå korsdrag om lokalen måste fönster vädras på grund av att lokalen har en otillräcklig eller en avsaknad av ventilation. Vid varma årstider är det inte lika obehagligt med drag, då kan en högre lufthastighet i vistelsezonen tillåtas. Kallras kan också uppkomma på grund av drag. Detta sker genom att exempelvis en kall fönsterruta kyler ner luften i det närliggande området. Eftersom kallluft är tyngre än varmluft så sjunker den kalla luften ner och detta kan till exempel påverka en sittande person vid ett fönster (Socialstyrelsen, 2005). Boverkets allmänna råd anger att lufthastigheten i vistelsezonen inte bör överstiga 0,15 m/s under vinterhalvåret och 0,25 m/s under sommarhalvåret (Boverket, 2023).

2.1.4 Övriga faktorer inom inomhusklimatet

Clo-värde & Aktivitetsnivå

Clo-värde definieras som kläders isoleringsförmåga, med andra ord det termiska motståndet mellan hudytan och klädernas yttre yta. Isoleringsförmågan anges antingen i m^2K/W eller vanligtvis som den relativa enheten clo, där $1\ clo = 0,155\ m^2K/W$. De clo-värdena som finns är redan beräknade sedan tidigare och presenterade i bilaga C. En naken person har 0 clo, medan en person i sommarkläder har 0,5 clo och en person i typiska vinterplagg inomhus har 1 clo (Danvak, u.å).

Aktivitetsnivå beskriver personens fysiska aktivitet som uppmätts i met (VVS, 2006). I de flesta valda lokaler är brukarna troligen stillasittande och deltar i ett möte, vilket ger 1,0 met som motsvarar $58\ W/m^2$ (Danvak, u.å). Aktivitetsnivå vid olika aktiviteter, som visar hur mycket värmeeffekt människan avger per kvadratmeter, finns presenterade i bilaga B.

PMV-index & PPD-index

För att utvärdera termiska komfort används PMV (Predicted Mean Vote) samt PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) enligt standarden SS EN ISO 7730. Enligt Warfvinge & Dahlbom (2014) är PMV en förkortning för ”förväntad medelutlåtande”. PMV beskrivs på en 7-gradig skala från -3 (mycket kallt) till +3 (mycket varmt), där brukarna uttrycker sin upplevelse av det termiska inneklimatet för den aktuella platsen. Vid ett neutralt termiskt klimat ges värdet +0,5 (Warfvinge & Dahlblom, 2014). PPD index beskriver hur stor andel av brukarna som förväntas vara missnöjda med den termiska komforten (Abel & Elmroth, 2013). Man bör sträva efter att max 10% av brukarna är missnöjda med den termiska komforten då det är omöjligt att göra alla nöjda (Block & Bokalders, 2023).

Följande ekvation kan användas för beräkning av PMV och PPD (Danvak, u.å)

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (5)$$

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028) \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_{da}] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,18] - 17 \cdot 10^{-6} \cdot M \cdot (5867 - p_{da}) - 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot (34 - t_a) - 39,6 \cdot 10^{-9} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot \alpha_k \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad (6)$$

Där

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{39,6 \cdot 10^{-9} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot \alpha_k \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad (7)$$

α_k det största värdet av de två formlerna

$$\{2,38 \cdot (t_{cl} - t_a)^{0,25}\} \text{ och } \{12,1 \cdot v_{ar}^{0,5}\}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} & \text{för } I_{cl} \leq 0,078 \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} & \text{för } I_{cl} > 0,078 \end{cases}$$

f_{cl} - Beklädningsens arealfaktor -

I_{cl} - Klädernas isoleringsförmåga ($m^2 \cdot K$)/W (Standard $1 m^2 \cdot K$)/W)

M- Metabolisk energiproduktion W/m^2 (Standard $70 W/m^2$)

p_{da} - Partialtrycket av vattenångan i miljön Pa

t_a - Lufittemperatur °C

t_{cl} - Yttemperatur på kläder °C

\bar{t}_r - Medelstrålningstemperatur °C

v_{ar} - Relativ lufthastighet (0.15 m/s)

W- Yttre mekaniskt arbete W/m^2 (Standard $0 W/m^2$)

α_k Konvektiv värmeöverföringskoefficient $W/(m^2 \cdot K)$

2.2 Rekommendationer på inomhusklimat

Det finns ett flertal olika rekommendationer och krav på inomhusklimatet på bostäder och kontor hos flertalet myndigheter. Boverket har t.ex. som krav att ” byggnader ska utformas så att tillfredsställande termiskt klimat kan erhållas” (Boverket, 2023). Utöver detta finns det allmänna råd och rekommendationer, ett urval av dessa som är relevanta för examensarbetet presenteras i tabell 3. Andra myndigheter som Arbetsmiljöverket, Folkhälsomyndigheten och Socialstyrelsen har också riktlinjer om termisk komfort som också presenteras i tabell 3.

Eftersom mätningar görs i två sjukhusbyggnader, finns det även rekommendationer från Region Skåne som måste tas i beaktning. I detta fall, eftersom mätningarna gjorts i en expedition och ett kontorsrum, har Region Skåne samma krav som Arbetsmiljöverket.

Tabell 3: Rekommendationer för inomhusklimat.

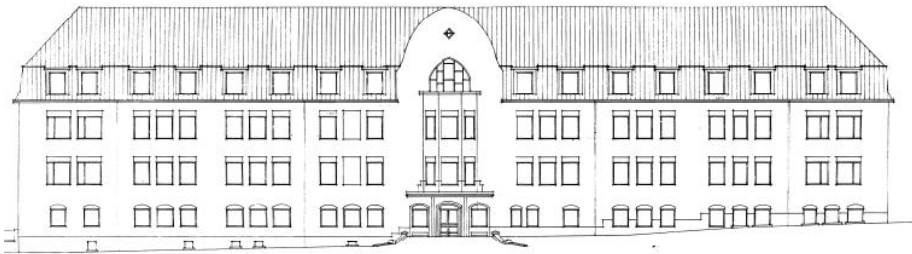
Parameter	Rekommendationer/krav	Referens
Lufttemperatur	20–26 °C	(Folkhälsomyndigheten, 2022)
Operativ temperatur	Vinter: 20–24 °C Sommar: 20–26 °C	(Folkhälsomyndigheten 2014).
Yttemperatur	16–26 °C på golvytan	(Boverket, 2023)
Strålningstemperaturskillnad	Fönster-motsatt vägg: ≤ 10°C Tak – golv: ≤ 5 °C	(Socialstyrelsen, 2005)
Koldioxidhalt	≤ 1000 ppm	(Folkhälsomyndigheten, 2023b)
Luft hastighet i vistelsezonen	≤ 0,15 m/s	SS EN ISO 7730 (SIS, 2002)
Luftflöde	7 l/s + 0,35 l/s × m ² Golvyta	(Arbetsmiljöverket, 2020)
Relativ luftfuktighet	30–70 %	Enligt (Socialstyrelsen, 2005)
Lokalt ventilationsindex	≥ 1	(Svenska institutet för standarder, 2008).
PPD	≤ 10 %	(Block & Bokalders, 2023).

3 Metod

3.1 Beskrivning av byggnad och lokal

Byggnad 22

Denna byggnad är äldre och byggdes år 1915. Mätningarna utfördes i en expedition inom vistelsezonen. Eftersom denna byggnad är äldre, är underlaget begränsat och därför måste en del antaganden göras. All indata och antaganden kommer i avsnitt 3.6. Den undersökta lokalen har en yta på 15,6 m² och ligger åt söderriktning. Ritning på byggnad 22 finns presenterad nedan i figur 2.



FASAD MOT SÖDER

Figur 2 – Ritning på byggnad 22

Byggnad 1307

Denna byggnad är relativt modern och byggdes i början av 2000-talet. Mätningarna utfördes i ett kontorsrum. I denna byggnad fanns det gott om underlag för att simulera byggnaden i IDA ICE. All indata och antaganden kommer i avsnitt 3.6. Det undersökta kontorsrummet har en yta på 15,7 m² och ligger åt söderriktning. Ritning på byggnad 1307 finns presterad nedan i figur 3.



Figur 3 – Ritning på byggnad 1307

3.2 Fysiska mätningar

För att kunna genomföra fysiska mätningar krävs olika mätinstrument som bland annat mäter lufttemperatur, relativ luftfuktighet, lufthastighet inom vistelsezonen, operativ temperatur, yttemperatur och strålningstemperatur-asymmetri. Följande mätinstrument eller liknande har använts för momentana mätningar och loggermätningar:

- Multifunktionsinstrument för ventilation och inneklimat TESTO 440 dp
- Testo 435-4 Multifunction indoor air quality meter
- Yttemperatur/Lasermätare: Testo 830-T2 - IR-termometer
- Globgivare för strålningsvärme – Operativ temperatur
- IAQ-givare med fast kabel, Testo 440 dp
- Testo turbulensmätare
- Hobo temp/RH-logger
- EXTECH SD800: CO2/Humidity/Temperature Datalogger
- Testo 420 - Luftflödesstos med luftflödesriktare
- CO₂ probe, including temperature and humidity sensor

Förutsättningar för noggranna mätningar är att det inte ska finnas människor närvarande under tiden som mätningar utförs, och för att uppnå ännu mer optimala resultat ska utrymmet ha varit i bruk cirka 1 timme tidigare för att uppnå termisk jämvikt. Detta fenomen benämns som normalbelastning och ger representativa värden. Därför är det viktigt att även definiera antal personer som vistas i lokalerna. De fysiska mätningarna har utförts i enlighet med ISO 7726 och ISO 7730.

3.2.1 Utförande av momentana mätningar

Första mätningen som utfördes var strålningstemperatur-asymmetri, där mättes yttemperaturerna för vägg, golv, tak och fönster från en punkt i rummet, som illustreras avsnitt 3.5 Därefter fylldes byggnadsinventeringsbeskrivningen i under tiden som mätningarna utfördes. Nästa steg var att mäta luftflödet i tilluftsdonet och frånluftsdonet med hjälp luftflödesstosen, dessutom mättes också koldioxidhalten i donen. Därefter mättes olika parametrar såsom lufttemperatur, operativ temperatur, och relativ luftfuktighet och lufthastighet i vistelsezonen. All mätutrustning har placerats ut i två olika punkter (se avsnitt 3.5) på fyra olika höjder inom vistelsezonen. Sedan ändrades höjden och därefter utfördes en ny mätning under 10 minuter. Mätningarna har gjorts på följande höjder över golvnivå, 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m och 1,7 m, detta i enlighet med ISO 7726 (Svenska institutet för standarder, 2002). Allra sist mättes koldioxidhalt, relativ luftfuktighet och temperatur utomhus.

3.2.2 Loggermätning

Loggermätningar har utförts i detta examensarbete under en veckas tid. Dessa mätningar kompletterar de momentana mätningarna, eftersom de representerar mätvärden under en längre period. Dessa mätvärden jämförs sedan med samma tidsintervall i IDA-ICE. De parametrar som mäts är följande: lufttemperatur, koldioxidhalt och relativ luftfuktighet. Utrustningen ställdes in på att göra mätningar av parametrarna var femte minut. För att

säkerhetsställa att utrustningen ger ett representativt och korrekt värde placerades två olika loggermätare ut i varje rum. Dessa loggermätare placerades i bokhyllor i rummen 1,1 meter över golvytan.

3.3 Enkätundersökning

Örebroenkäten användes i detta arbete. Målet med Örebroenkäten är att få en helhetsbild av de problemen som förekommer i lokaler och i vilken omfattning de förekommer. Enkätens frågor ska inte vara ledande och bör fokusera på symptom och besvär kopplade till inneklimatet. För att enkäten ska ge meningsfulla resultat är det rekommenderat att använda en utvärderad enkät. Det hjälper till att tolka svaren och underlättar analysen. Vid analysen är det avgörande att beakta att symptom och besvär kan ha sina grunder i andra faktorer än bara inneklimatet. Dessa kan vara stress, ergonomiska förhållanden och externa påverkansfaktorer, exempelvis förhållanden som berör lokaler. Om över 10% av brukarna rapporterar problem med drag, värme och instängd luft kan dessa betraktas som generella brister för byggnaden (Sundell, 1997).

Örebroenkäter har delats ut till brukarna som befann sig i lokalerna där de fysiska mätningarna utfördes. I ena byggnaden delades enkäterna ut till 20 personer, varav 4 svarade. I den andra byggnaden lämnades enkäten ut till cirka 20 personer varav 7 svarade. och I dessa enkäter uppmanades brukarna att besvara frågor anonymt som berör inneklimatet samt deras upplevda hälsa. Därefter sammanställdes resultaten från enkäterna i form av ett rosdiagram, som visar en övergripande bedömning av det upplevda inomhusklimatet och dess påverkan på brukarnas mående (Andersson, 2010).

3.4 IDA-ICE

Programmet IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE 4.8) har använts för att förutse inomhusklimatet för byggnaderna. Programmets huvudsakliga funktion är att simulera en byggnads prestanda med avseende på bland annat energianvändningen och den termiska komforten i byggnader.

Information om byggnadens geometri, vägg tjocklekar, geografisk placering, värme och kylsystem, ventilation har använts som indata. Indatan baserades på mätningar från de aktuella lokalerna. Utdata från programmet är information om lokalernas termiska komfort och energianvändning (Equa, u.å). De parametrar som kommer studeras beskrivs mer detaljerat under avsnitt 2.1.

I IDA ICE är det möjligt att använda uteklimatfiler från American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) och Energyplus väderfiler (EPW). I detta examenarbete användes ASHRAE fundamentals 2013 och klimatdata utgår ifrån ett medelvärde mellan år 1986 och 2010. Med hjälp av programmet och dessa indatfiler är det enkelt att använda MS Excel för att redovisa indata i form av grafer (Equa, u.å).

För solinstrålning använder programmet IDA ICE en standardberäkning från Perez et al., (1990), alternativt kan användaren även välja metoder baserade på ASHRAE

(Fundamentals 1997). Men eftersom metoden från Perez i tidigare försök visade på att den fungerade bäst för solljus på sydvästlig fasad i programmet, tillämpas den metoden istället (Bring m.fl, 1999).

Fönstren i IDA ICE kan modelleras på två sätt. Antigen på ett enklare sätt, CEWIND, eller på ett detaljerat sätt enligt ISO 15099:2003. I examensarbetet tillämpas den detaljerade metoden som tar hänsyn till alla termiska och optiska egenskaper hos fönstret baserat på enskilda fönsterrutor. Metoden tar även hänsyn till glasrutornas värmekapacitet. Gällande strålning finns en skuggningsberäkning (WISHADE) för fönster som genererar skuggning från externt objekt för både direkt och diffus solinstrålning (EQUA Simulation AB, 2018).

Programmet IDA ICE beräknar luftflödet med hjälp av tryckskillnader mellan anslutna zoner och omgivningen. Vid beräkningen beaktas även vind och temperaturskillnader (Schaffer, m.fl. 2023).

3.4.1 Simulering av basfall i IDA ICE

När de olika fysiska mätningarna och enkätundersökningarna har utförts i lokalerna började uppbyggandet av modellerna i IDA ICE. Först byggdes det upp ett basfall i IDA ICE utifrån byggnads- och lokalinventeringen, indata och antaganden för beräkningsmodellen, se avsnitt 3.6. I modelleringen av basfallet användes inga gardiner, eftersom gardinerna inte var fördragna under de fysiska mätningarna och under inventeringen. Vidare testades olika fall utifrån basfallet, se avsnitt 3.4.3.

3.4.2 Simulering utifrån olika fall: Värmetransport och värmesystem

För att undersöka hur värmetransporten från omkringliggande zoner påverkar den undersökta lokalen simulerades olika fall med både omkringliggande zoner och enstaka zoner. Det simulerades även med olika värmesystem såsom radiatorer med en antagen effekt på 1000W och idealvärmare. Detta gjordes för att se hur stor påverkan idealvärmare respektive radiator har på temperaturresultaten.

Följande fall simulerades för båda byggnaderna:

Fall 1 (basfall) beskriver en zon med radiator

Fall 2 beskriver omkringliggande zoner med radiatorer

Fall 3 beskriver en zon med idealvärmare

Fall 4 beskriver omkringliggande zoner med idealvärmare

3.4.3 Simulering utifrån olika fall: Förbättringsåtgärder

Simuleringen för hela året utfördes för att analysera hur byggnadens inomhusklimat är under både de kalla och varma årstiderna. Därefter noterades det värsta fallet utifrån den högsta temperaturen under hela året.

För att kunna analysera förbättringsåtgärder för de aktuella byggnaderna behövdes det simuleras olika fall.

För byggnad 22 simulerades följande fall:

Fall 1 (basfall) beskriver zonen utan gardiner

Fall 2 beskriver zonen utan gardiner med det låga flödet på 28,4 l/s som uppmättes under de fysiska mätningarna i rummet. Detta fall simulerar alltså det värsta fallet.

Fall 3 beskriver zonen med gardiner som solavskärmning

Fall 4 beskriver en åtgärd med heltäckande markisolett

Fall 5 beskriver Ökat flöde CAV från 4 till 10 l/s m², samt gardiner

I ritningarna noterades ett högre flöde än i verkligheten, därför användes det lägre flödet som uppmättes under de fysiska mätningarna i fall 2.

För byggnad 1307 simulerades följande fall:

Fall 1 (basfall): Beskriver zonen utan gardiner

Fall 2: Beskriver zonen med gardiner

3.4.4 Jämförande analys mellan loggermätningar och IDA-ICE

I arbetet jämfördes loggermätningarna med IDA ICE simuleringar. Simuleringarna baseras delvis på loggermätningarna som utfördes under en veckas tid. I byggnad 22 togs det inte hänsyn till personlast i simulering eftersom enligt resultaten för koldioxidhalter från loggermätningarna visade på konstanta halter utan variation. Detta indikerar på att det är tomt i rummet under mätningens period. Utöver detta är alla andra antaganden och indata samma som basfallet.

3.5 Byggnads- och lokalinventering

Under perioden som de fysiska mätningarna utfördes, genomfördes det också en byggnads- och lokalinventering. Alla dessa egenskaper om byggnaden och den specifika lokalen går att studera i tabell 4, 5, 6 och 7. Detta gjordes för att få en helhetsbild av byggnaden och lokalen och för att underlätta vid uppbyggnaden av modellen i IDA-ICE

3.5.1 Byggnad 22

Tabell 4: Byggnadsbeskrivning för byggnad 22

Placering: Sjukhusområde
Yttre källor till buller och föroreningar: Spårvagn, parkering, fjärrvärmecentral,
Primär verksamhet: Audiologimottagning, öron, näsa halsmottagning
Ålder: byggd 1915
Åtgärder/ombyggnad: ventilationssystem
Antal våningar: 4 vån + källare
Takkonstruktion: Sadeltak
Solavskärmning: Utvändigt: skolfilm Invändigt: persienner
Färgat eller belagt glas: Belagt glas
Kylning: Klimatkyl
Typ av ventilation: FTX – fläktstyrd till- och frånluft med värmeåtervinning
Uteflöde: Dimensionerande flöde: 34 400 m ³ /h
Dimensionerade temperatur: LUT: -16 grader °C HUT: 25 grader °C
Driftstider: dygnet runt förutom afton- och helgdagar
Belysning: Tillgång till dagsljus genom fönster. Lysrör och allmänbelysning i vistelseytor

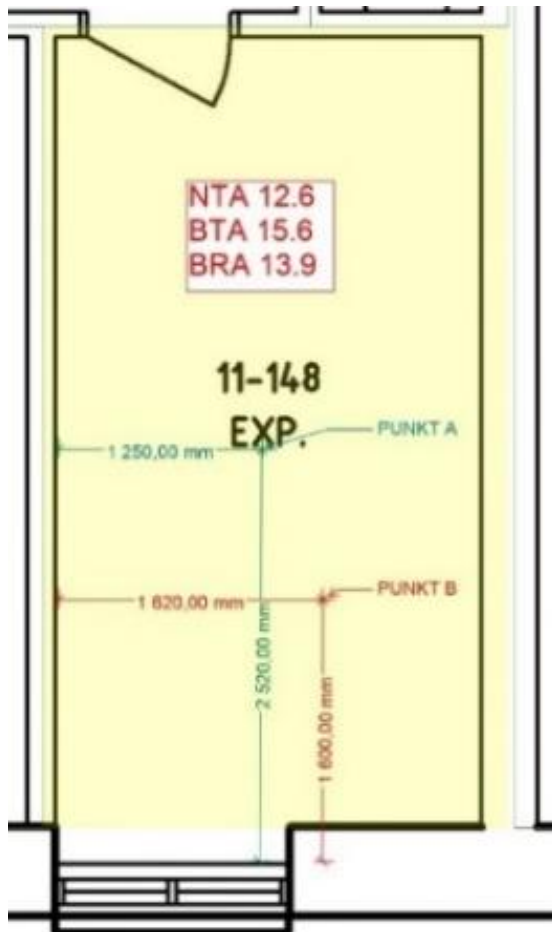
Lokal i byggnad 22 – rum 11–148

Tabell 5: Rumsbeskrivning av rum 11–148

Datum och tid: 14 dec/2023, kl. 9-12
Lokaltyp/verksamhet: Expedition
Aktuellt antal personer i lokalen: 0
Antal personer som rummet är avsett för: 2 personer
Golvtyta: Plastmatta/Linoleum
Takhöjd: 3,10 m
Fönsteregenskaper Antal: 1 st Typ: 2 glas aluminium Orientering: Söder Bredd: 145 cm, Höjd 215 cm, 2 partier, öppningsbara Solskydd: Utvändigt solfilm & Inbyggda persiennor och gardiner
Aktuellt väder: +1,2 grader, lite sol i mitten av mätningarna
Ytskikt på tak, golv och väggar: Gipsvägg på höger vägg, tegel på vänster vägg, vit färg, akustikplattor, undertaksplattor
Värmesystem Uppvärmningssätt: Radiator (vattenburen) Temperaturreglering: Termostat
Ventilation: System: CAV Omblandade ventilation
Placering av till-och frånluftsdon: Tilluftsdon i mitten av rummet på taket. Frånluftsdon korridoren utanför
Städrutiner: sker en gång i veckan, varje torsdagar, hygienklass 2, kvalitet 3.
Övriga kommentarer: Problematisk när det är varmt under sommaren, inget nedkylningssystem, går bara att vädra genom att öppna ett fönster. Inga buller i rummet, men buller nere i expeditionen.
Väggjocklek: 53 cm

Placering av mätutrustning:

Mätningarna gjordes på två olika punkter inom vistelsezonen i rummet. Nedan i figur 4 visas placeringen av de båda punkterna (A och B) i rummet. Mätningarna har gjorts på följande höjder över golvnivå, 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m och 1,7 m, detta i enlighet med ISO 7726 (Svenska institutet för standarder, 2002).



Figur 4: Mätpunkter i vistelsezonen

3.5.2 Byggnad 1307

Tabell 6: Byggnadsbeskrivning för byggnad 1307

Placering: Sjukhusområde
Yttre källor till buller och föroreningar: Spårvagn, parkering, fjärrvärmecentral,
Primär verksamhet: Onkologimottagningen, strålbehandling
Ålder: början av 2000-talet
Antal våningar: 4 våningar + källare
Takkonstruktion: Platt tak
Solavskärmning: Utvändigt: Demonstrerbar glasfasad Invändigt: Rullgardiner, gardiner
Kylning: Klimatkyl Typ av ventilation: FTX – fläktstyrd till- och frånluft med värmeåtervinning
Driftsform: ventilation dygnet runt
Belysning: tillgång till dagsljus genom fönster. Lysrör och allmänbelysning i vistelseytor

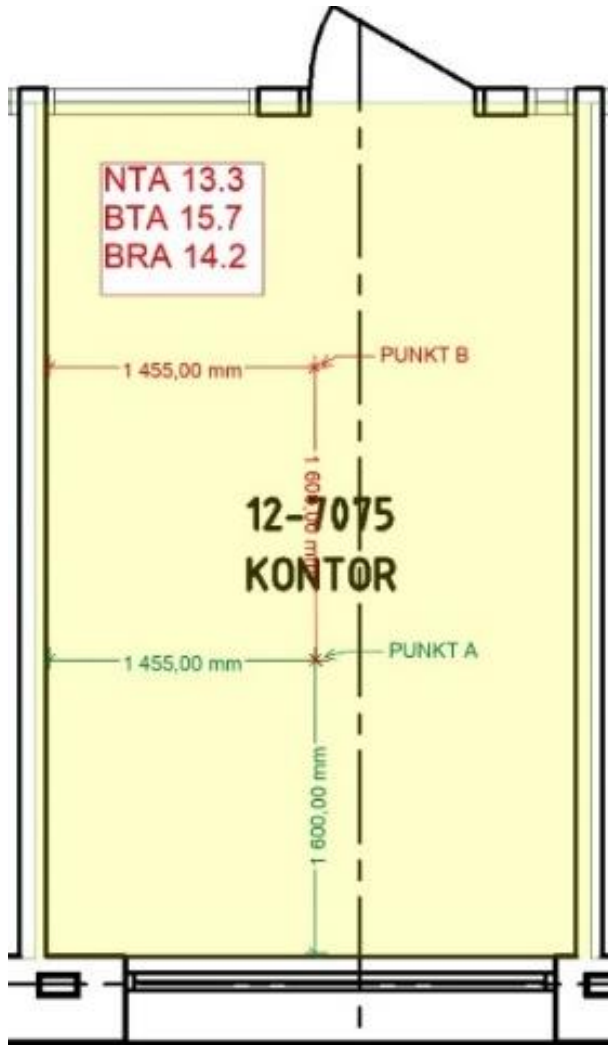
Lokal i byggnad 1307 – rum 12–7075

Tabell 7: Rumsbeskrivning för rum 12–7075

Datum och tid: 14 dec 2023, kl. 14-17
Rummets storlek: Bredd: 2,89 m längd: 4,73 m höjd: 2,72 m Takhöjd: 2,71 m
Lokaltyp/verksamhet: Kontorsrum
Antal personer som rummet är avsett för: 2
Golvyta: Linoleum, blåaktig
Fönsteregenskaper Antal: 1 stort fönsterparti Orientering: söder Bröstningshöjd: 79 cm, Bredd: 221 cm, Fönsterhöjd: 180 cm Fönstertyp: 3 isolerglas Typ av solskydd: Glaspartier är utsmyckning, annars finns gardiner
Aktuellt väder: Lite molnigt, + 1,6 °C
Ytskikt på tak, golv och väggar: Gipsväggar på både innerväggarna och glasdörrglasvägg på ingången.
Värmesystem: Radiator
Ventilationssystem: Mått: diameter 125mm kanal Tilluftstemperatur: 15°C Ombländade ventilation Cirkulär VAV- system, takdon i mitten av kontorsrummet
Städrutiner: sker en gång i veckan, varje torsdag, hygienklass 2, kvalitet 3.

Placering av mätutrustning:

Mätningarna gjordes på två olika punkter inom vistelsezonen i rummet. Nedan i figur 5 visas placeringen av de båda punkterna (A och B) i rummet. Mätningarna har gjorts på följande höjder över golvnivå, 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m och 1,7 m, detta i enlighet med ISO 7726 (Svenska institutet för standarder, 2002).

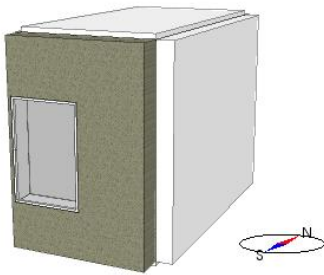


Figur 5: Mätpunkter i vistelsezonen

3.6 Indata och antaganden för beräkningsmodellen

För att simulera byggnaderna i IDA ICE behövs indata i form av bland annat geometri, materialskikt, ventilationssystem och interna laster. Detta presenteras bland annat i nedanstående avsnitt. Simuleringen utförs inom perioden 1 december till 20 december under 1–2 veckors tid innan loggermätningarnas starttid för att tillåta byggnadsmaterialen att klimatisera sig, men jämförelsen mellan IDA ICE och loggermätningarna som sker under perioden 14–22 december.

3.6.1 Egenskaper Byggnad 22



Figur 6: Modell av lokal i byggnad 22

3.6.1.1 Indata från fastighetsägaren

Grundläggande geometri:

Mått på byggnaden:

Längd: 75,9 m

Höjd: 20 m

Bredd: 46,5 m

Höjd våning 3: 4,29 m

Z-led koordinater från 0: 7,35 m (våningshöjd från nollnivån)

Mått på rummet:

Bredd: 2,89 m

Längd: 5,41 m

BTA: 15.6 m²

X-koordinat från vänster: 47,36 m

Fönster 2 glas:

Mått och bröstningshöjd: 1,45x2,15 meter, H: 0,965 m

U-värde: 1,2 W/(m² · K) enligt specifikationer från ritning från fastighetsägaren.

g-värde= 0,76

3.6.1.2 Antaganden

Yttervägg och innervägg:

Eftersom byggnaden har brist på underlag, från bland annat byggnadsdelsbeskrivning och ett flertal ritningar, behövde antaganden göras avseende på skikten på ytterväggen. Antaganden baserades på ”så byggdes husen” (Björk m.fl., 2021). Vid vissa antaganden användes okulär besiktning, så som stor-tegel, puts och innerväggar angående gips och betong. Tjocklek, längd och bredd för teglet mättes upp på plats. Egenskaperna för teglet hittades i programmet WUFI. Resterande egenskaper till skikten hittades i IDA ICE som standardvärden. Tjockleken på innervägg 1 mättes upp från ritningar från fastighetsägaren. Innervägg 2 antogs vara en standard gipsvägg, enligt fastighetsägarens uppgifter. Termisk konduktivitet, specifika värmekapacitet och densitet hämtades från källorna enligt tabell 8 och 9.

Tabell 8: Antaganden yttervägg

Antagande:				
Skikt	Termisk konduktivitet (W/(m · K))	Densitet (kg/m³)	Specifik värmekapacitet (J/(kg · K))	Källa:
Stor-tegel	0,6	1800	850	Tjocklek 60 mm (uppmätt på plats) Egenskaperna från programmet Wufi
Puts 10 mm	1,7	2300	880	Standard från IDA-ICE
U-värde för konstruktionen	0,94 W/m ² K			Utifrån IDA ICE

Tabell 9: Antaganden innervägg

Antagande:				
Skikt	Termisk konduktivitet ($W/(m \cdot K)$)	Densitet (kg/m^3)	Specifik värmekapacitet ($J/(kg \cdot K)$)	Källa:
Innervägg 1 till höger Betong 355 mm	1,7	2300	880	Standard från IDA- ICE
U-värde för konstruktionen	2,64 $W/m^2 K$			Utifrån IDA ICE
Innervägg 2				
Gips 13 mm	0,22	970	1090	Standard från IDA- ICE
Isolering 100 mm	0,036	20	750	Standard från IDA- ICE
Gips 13 mm	0,22	970	1090	Standard från IDA- ICE
U-värde för konstruktionen	0,32 $W/m^2 K$			Utifrån IDA ICE

Innergolv:

Betongplattan baserades på ”så byggdes husen” (Björk m.fl., 2021). Plastmattan baserades på en okulär besiktning av lokalen. Termisk konduktivitet, specifika värmekapacitet och densitet hämtades från källorna enligt tabell 10.

Tabell 10: Antaganden innergolv

Antagande:				
Skikt	Termisk konduktivitet (W/(m · K))	Densitet (kg/m³)	Specifik värmekapacitet (J/(kg · K))	Källa:
Betong 100 mm	1,7	2300	880	Standard från IDA-ICE
Plastmatta 5 mm	0,18	1100	920	Standard från IDA-ICE
U-värde för konstruktionen	3,89 W/m ² K			Utifrån IDA ICE

Interna laster:

Indata:

- Belysning: 3 st lysrör 45 W, kl. 07–17 utifrån okulär besiktning
- Alla interna laster är schemalagda 07–17 veckodagar, hämtades från driftstider av fastighetsägaren.
- Ventilation: CAV
- Driftstider: alla dagar dygnet runt, utom helgdagar, hämtades från driftstider av fastighetsägaren
- Tillufts- och frånluftsflöde: 250 m³/h, hämtades från ventilationsschema av fastighetsägaren
- Inblåsningstemperatur: 22 °C utifrån ritningar från fastighetsägaren
- Verkningsgrad på värmeväxlare: 83 % C utifrån ritningar från fastighetsägaren

Övriga indata:

- Fönstermått och bröstningshöjd: 1,45x2,15 meter, H: 0,965 m

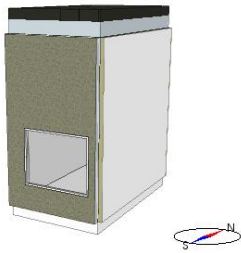
3.6.1.3 Antaganden

- Aktivitetsnivå: 1,2 met stillasittande arbete, kontor utifrån bilaga B
- 2 personer under 07–17
- Klädsel: 0,85 clo \pm 0,25 clo utifrån bilaga C
- Lokalisering och klimat: Malmö/Sturup enligt ASHRAE 2013
- Vindprofil: City center (ASHRAE 1993)

Övriga antaganden:

- Radiatoreffekt: 1000W

3.6.2 Egenskaper Byggnad 1307



Figur 7: Modell av lokal i byggnad 1307

3.6.2.1 Indata från fastighetsägaren

Grundläggande geometri:

Mått på byggnaden:

Längd: 50,71 m

Höjd: 18,25 m

Bredd: 48,36 m

Höjd våning 1–3: 4,3 m

Höjd våning 4: 5,35 m

Bredden för rummet: 3,06 m

Längden för rummet: 5,13 m

Bruttoarea (BTA): 15,7 m²

Fönster 3 glas:

Mått & bröstningshöjd: 2,21x1,8 meter, H: 0,79 m

U-värde: 1 W/(m² · K) från specifikationer

g-värde= 0,68

Yttervägg- Glasfasad:

Alla materialskikt baseras på byggnadsdelsbeskrivningen från fastighetsägaren. Termisk konduktivitet, specifika värmekapacitet och densitet hämtades från källorna enligt tabell 11.

Tabell 11. Beskrivning av yttervägg

Indata:		Antagande:		
Skikt	Termisk konduktivitet (W/(m · K))	Densitet (kg/m ³)	Specifik värmekapacitet (J/(kg · K))	Källa:
Glasfasad inklusive bärprofil 4 mm	1	625	840	WUFI
7,5 mm promat mastershild	0,36	980	1205	(Promat, u.å.)
195 mm stålregelskiva 33	0,033	35	850	(Isover, u.å.a)
70 mm stålregelskiva	0,033	35	850	(Isover, u.å.a)
2x13 mm gipsskiva GNE	0,25	720	720	(Gyproc, u.å.)
U-värde för konstruktion	0,17 W/m ² K			Utifrån IDA ICE

Innervägg:

Innerväggen antogs vara en standard gipsvägg, enligt fastighetsägarens uppgifter. Termisk konduktivitet, specifika värmekapacitet och densitet hämtades från källorna enligt tabell 12.

Tabell 12: Beskrivning av innervägg

Indata:		Antagande:		
Skikt	Termisk konduktivitet (W/(m · K))	Densitet (kg/m ³)	Specifik värmekapacitet (J/(kg · K))	Källa:
Gips 13mm	0,22	970	1090	Standard från IDA-ICE
Isolering 100mm	0,036	20	750	Standard från IDA-ICE
Gips 13mm	0,22	970	1090	Standard från IDA-ICE
U-värde för konstruktion	0,32 W/m ² K			Utifrån IDA ICE

Innergolv/bjälklag:

Betongplattan baseras på byggnadsdelsbeskrivningen från fastighetsägaren. Dess egenskaper baseras från IDA ICE. Termisk konduktivitet, specifika värmekapacitet och densitet hämtades från källorna enligt tabell 13.

Tabell 13: Beskrivning av innergolv

Indata:		Antagande:		
Skikt	Termisk konduktivitet (W/(m · K))	Densitet (kg/m ³)	Specifik värmekapacitet (J/(kg · K))	Källa:
Betongplatta 400mm	1,7	2300	880	Standard från IDA-ICE
U-värde för konstruktion	2,46 W/m ² K			Utifrån IDA ICE

Tak:

Alla materialskikt baseras på byggnadsdelsbeskrivningen från fastighetsägaren. Termisk konduktivitet, specifika värmekapacitet och densitet hämtades från källorna enligt tabell 14. För materialet protan valdes motsvarande egenskaper för plastduk i IDA ICE.

Tabell 14: beskrivning av tak

Indata:		Antagande:		
Skikt	Termisk konduktivitet (W/(m · K))	Densitet (kg/m³)	Specifik värmekapacitet (J/(kg · K))	Källa:
Protan SE 1,2	0,036	20	1200	Standard från IDA-ICE, motsvarande plastduk
20mm takboard 33	0,033	135	1000	(Isover, u.å.b)
Takfallskiva 37 400 m	0,037	90	1000	(Isover, u.å.c) Antar tjocklek 0,4
0,2mm plastfolie	0,036	20	1200	Standard från IDA-ICE
HD/F 120/32 320 mm	1,7	2300	880	Standard från IDA-ICE
U-värde för konstruktion	0,08 W/m ² K			Utifrån IDA ICE

Interna laster:

Indata:

- Belysning: 2 st lysrör 45 W avläst från mätningar, klockan 07:30-17 veckodagar
- Alla interna laster är schemalagda 07:30-17 veckodagar, hämtades från driftstider av fastighetsägaren
- Ventilation: VAV
- Ventilation driftstider: Dygnet runt, hämtades från driftstider av fastighetsägaren
- Tillufts- och frånluftsflöde: Enligt VAV standard
- Inblåsningstemperatur: 16 °C utifrån ritningar från fastighetsägaren
- Verkningsgrad på värmeväxlare: 83 % utifrån ritningar från fastighetsägaren

3.6.2.2 Antaganden

- Aktivitetsnivå: 1,2 met stillasittande arbete, kontor utifrån bilaga B
- 2 personer under 07:30-17
- Klädsel: 0,85 clo \pm 0,25 clo utifrån bilaga C
- Lokalisering och klimat: Malmö/Sturup enligt ASHRAE 2013
- Vindprofil: City center (ASHRAE 1993)

Övriga antaganden:

- Radiatoreffekt: 1000 W

4 Resultat och analys

4.1 Momentana mätningar i Byggnad 22

Nedan presenteras resultatet av de parametrar som uppmättes i kontorsrummet i byggnad 22. Vissa parametrar såsom lufttemperaturer, operativa temperaturer och relativa fuktigheter uppmättes under 10 minuter och deras resultat sammanställdes i form av min, max och medelvärden, medan andra parametrar endast kunde mätas momentant.

4.1.1 Lufttemperatur

Det går att konstatera att lufttemperaturen stiger ju högre upp mätningen utförs, detta är rimligt då varm luft stiger. Temperaturen ligger mellan cirka 21,5-23,2°C, vilket ligger det rekommenderade intervallet. Detta går att urskilja från tabell 15.

Tabell 15: Lufttemperatur inom vistelsezonen

Mätpunkt	Temperatur °C					
	A			B		
	Min:	Max:	Medel:	Min:	Max:	Medel:
h=0,1m	21,5	21,8	21,6	21,7	21,8	21,7
h=0,6m	22,2	22,4	22,3	22,3	22,3	22,3
h=1,1m	22,7	22,8	22,7	22,7	22,9	22,7
h=1,7m	23,0	23,1	23,1	23,0	23,2	23,1
Utomhus:	1,2					

4.1.2 Operativ temperatur

Ur tabell 16 går det att konstatera att den operativa temperaturen varierar mellan 22–23,5 °C. Värdena uppfyller det rekommenderade intervallet från myndigheterna.

Tabell 16: Operativ temperatur

Mätpunkt	Operativ temperatur °C					
	A			B		
	Min:	Max:	Medel:	Min:	Max:	Medel:
h=0,1m	22,0	22,6	22,3	22,0	22,0	22,0
h=0,6m	22,6	22,9	22,7	22,7	22,8	22,7
h=1,1m	23,0	23,1	23,1	23,0	23,2	23,1
h=1,7m	23,4	23,5	23,5	23,3	23,5	23,4

4.1.3 Yttertemperaturer

Yttertemperaturerna mättes på de omgivande ytorna i lokalerna där mellanvägg 1 ligger till vänster om ingången och mellanvägg 2 till höger om. Yttertemperaturen mättes också på fönsterkarmen till vänster. Tabell 17 redovisar värden som ligger inom rekommendationen 16–26°C. Skillnaden mellan mätpunkt A och B är minimal med något enstaka decimaltal.

Tabell 17: Yttertemperaturer

Mätpunkt	Yttertemperaturer °C	
	A	B
Golv	20.8	20.6
Tak	21.7	21.5
Fönster (Karm till vänster):	18.2	18.5
Fasadvägg	Kall vägg: 18.5	Kall vägg: 18.8
	Vid radiatorn: 19.6	Vid radiatorn: 20.4
Mellanvägg 1 (vänster om ingång)	21	20.9
Mellanvägg 2 (höger om ingång)	20.9	21
Radiatortemperatur	36	

4.1.4 Strålningstemperatur-assymetri

Strålningstemperatur-assymetri beräknades med hjälp av värden från yttertemperatur från tabell 17. Det noterades att temperaturskillnaderna mellan tak och golv är liten. Enligt riktlinjer ska strålningsskillnader inte överstiga 5 °C mellan tak och golv, vilket stämmer överens med värdena i tabell 18. Skillnaden mellan fönster och motstående yta bör inte överstiga 10°C enligt rekommendationen, detta går att urskilja från tabell 18 med värden som är lågt under den högsta rekommendationen.

Tabell 18: Strålningstemperatur-assymetri

Mätpunkt H= 0.6 (sittande person)	Yttertemperaturskillnad mellan Yttervägg- Innervägg (°C)	Yttertemperaturskillnad mellan Tak-Golv (°C)
Mätpunkt A (kall vägg)	21–18,5=2,5	21,7–20,8=0,9
Mätpunkt B (kall vägg)	20,9–18,8=2,1	21,5–20,6=0,9
Mätpunkt A (vid radiator)	21–19,6=1,4	20,9–20,4=0,5
Mätpunkt B (vid radiator)	20,9–20,4=0,5	21,5–20,6=0,9
Mätpunkt A (radiator)	36–21=15	
Mätpunkt B (radiator)	36–20,9=15,1	

4.1.5 Lufthastighet i vistelsezonen

Ur tabell 19 går det att urskilja att lufthastigheten är något hög och överstiger det rekommenderade högsta värdet på 0,15 m/s. Under mätningen noterades att kalibreringen på mätinstrumentet har utgått och troligtvis är också en del av värdena påverkade av den mänskliga faktorn.

Tabell 19: Lufthastighet inom vistelsezonen

Mätpunkt	A (m/s)		B (m/s)	
	Min:	Max:	Min:	Max:
h=0,1m	0.15	0.18	0.14	0.27
h=0,6m	0.15	0.23	0.14	0.25
h=1,1m	0.16	0.26	0.15	0.23
h=1,7m	0.14	0.18	0.14	0.21

4.1.6 Relativ luftfuktighet inomhus och utomhus

I tabell 20 redovisas de uppmätta värden på relativ luftfuktighet i vistelsezonen i lokalen. Det går att konstatera att värdena ligger under det lägsta rekommenderade värdet på 30%.

Tabell 20: Relativ luftfuktighet

Relativ fuktighet	RF %					
	A			B		
Mätpunkt	Min:	Max:	Medel:	Min:	Max:	Medel:
h=0,1m	24,2	25,5	24,9	23,3	24,3	23,8
h=0,6m	23,4	24,0	23,7	22,7	23,4	23,1
h=1,1m	21,5	22,6	21,9	21,8	22,8	22,3
h=1,7m	21,4	22,8	21,8	21,1	22,9	21,5
Utomhus	Min: 62,9	Max: 70,0	Aktuell: 69,9	Tid: 17:14, 14/12-2023		

4.1.7 Luftflödesmätning, anpassad efter don i lokalen

Luftens hastighet, temperatur, koldioxidhalt och flöde mättes vid ett tilluftsdon. Koldioxidhalten på tilluften är högre än i vistelsezonen.

Tabell 21: Luftflödesmätning, anpassad efter don

	Temperatur (°C)	Hastighet (m/s)	Koldioxid (ppm)	Flöde (l/s)
Tilluft	På ytan: 22,3	1	659	28,4

4.1.8 Beräkning av PMV och PPD-index

Ekvationerna 5, 6 och 7 används för beräkning av PMV och PPD för byggnad 22 (Danvak, u.å)

T_{op} och T_{luft} hämtas från tabell 15 och 16 och antas vara för höjden 1,1 m då en person sitter ned, och medelvärdet tas för både punkt A och B.

Operativ temperatur T_{op} för punkt A och B: 23,1 °C

Lufttemperatur T_{luft} för punkt A och B: 22,7°C

Medelstrålningstemperaturen \overline{T}_{yt} löses ur ekvationen och beräknas till 23,5 °C.

PMV beräknas enligt ekvation 6 där:

$$I_{cl} = 1 \text{ CLO}$$

$$M = 70 \text{ W/m}^2$$

$$T_{op} = 23.1$$

$$t_a = 22.7 \text{ °C}$$

$$\bar{t}_r = 23.5 \text{ °C}$$

$$v_{ar} = 0.15 \text{ m/s}$$

$$W = 0 \text{ W/m}^2$$

$$RF = 22.1 \%$$

$$PMV = 0,01$$

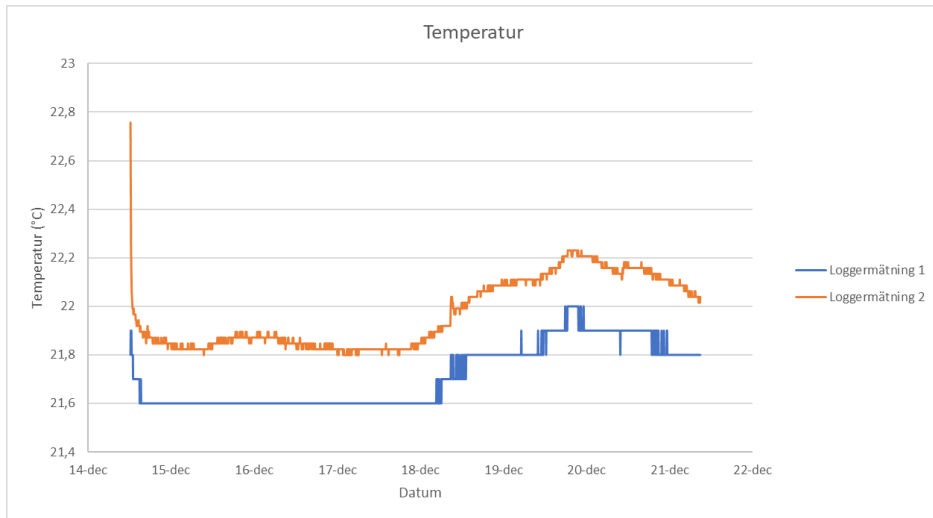
Ur detta beräknas PPD enligt ekvation 5

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot 0,01^4 + 0,2179 \cdot 0,01^2)} = 5\% \text{ missnöjda}$$

4.2 Loggermätning byggnad 22

Lufttemperatur:

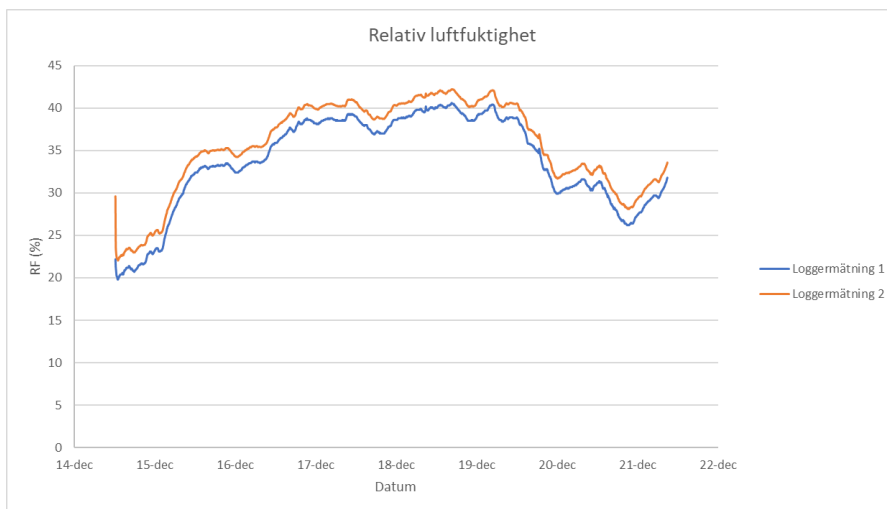
Lufttemperaturen mättes i rummet med hjälp av två loggar. Detta presenteras i figur 8 Skillnaden mellan de två olika loggermätningarna är ca 0,2 °C, vilket kan betraktas som försumbart. Denna skillnad beror troligtvis på att de två olika loggerutrustningarna är olika kalibrerade. Temperaturen under den 15–18 december (fredag till söndag) är någorlunda konstant för att sedan gå upp en aning på måndagen den 19 december. Temperaturerna varierar mellan ca 21,6 °C och 22,2 °C, förutom i början av mätningen som är troligtvis påverkad av den mänskliga faktorn.



Figur 8: Temperaturer utifrån loggermätning

Relativ luftfuktighet:

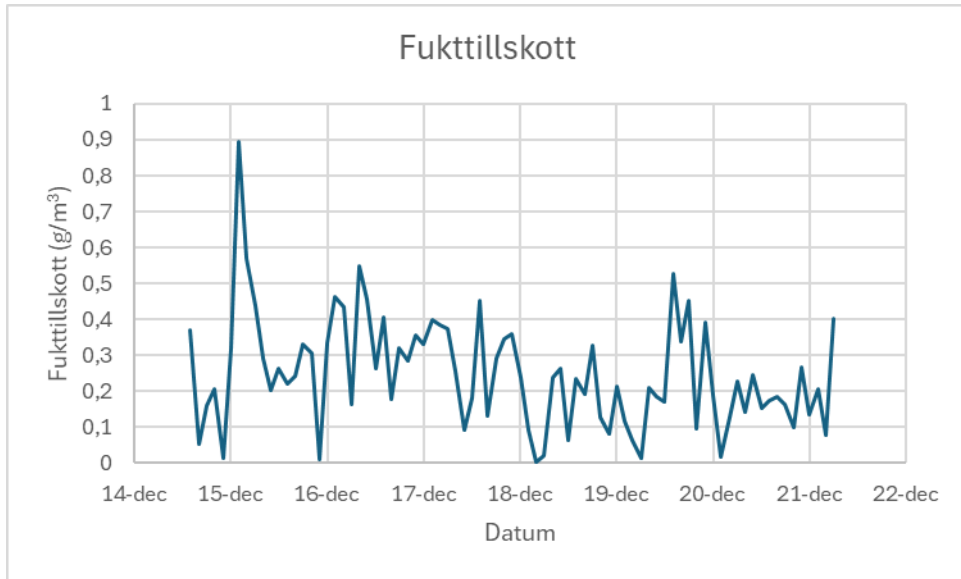
Den relativa luftfuktigheten loggades med hjälp av två olika loggar. Som det går att urskilja i figur 9 är avvikelsen mellan de två loggarna minimala och de följer i stort sett samma mönster. Den relativa luftfuktigheten håller sig inom intervallet 20–40 % relativ luftfuktighet.



Figur 9: Relativ luftfuktighet från loggermätning

Fukttillskott:

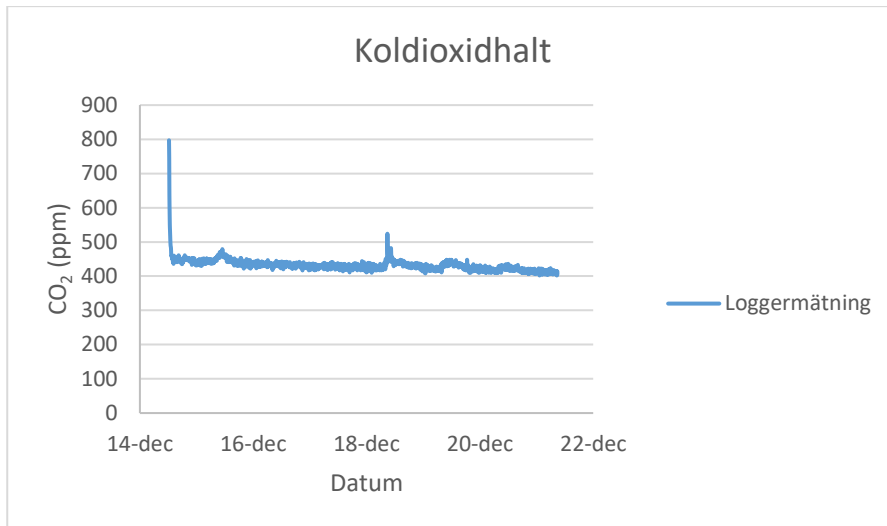
Eftersom den relativa fuktigheten inomhus beror på utomhusklimatet och fuktproduktionen inomhus, så analyserades fukttillskottet. Det uppmätt fukttillskottet ligger mellan ca 0,0–0,9 g/m³, som presenteras i figur 10. Enligt folkhälsomyndigheten bör inte fukttillskottet överstiga 3 g/m³ i ett kontorshus.



Figur 10: Uppmätt fukttillskottet för byggnad 22

Koldioxidhalt:

Koldioxidhalten i lokalen är relativt konstant på ca 430 ppm, förutom i början av mätningen och vid ett tillfälle den 18 december. Detta går att avläsa i figur 11. Den höga koldioxidhalten i början, den 15 december är troligtvis påverkad av den mänskliga faktorn, eftersom det är tidpunkten när loggar placerades i rummet. Koldioxidhalten den 18 december kan bero på att en person gick in i rummet en kort stund. Den konstanta koldioxidhalten beror troligtvis på att kontorsrummet varit tomt under en stor tid av mätningarna.



Figur 11: Koldioxidhalt från loggermätning

4.3 Resultat av enkätundersökning byggnad 22

I enkätundersökningen deltog endast 4 personer av cirka 20 personer, vilket är under det rekommenderade minimumtalet på 15 personer och resultatet anses därför inte signifikant, men det ger en viss bild i alla fall. Enkäten som användes var Örebroenkät som ger en bild av hur användare upplever arbetsmiljö, arbetsförhållanden samt hälsobesvär relaterade till inomhusklimatet. Se figur 12 nedan för presentation av rosdiagrammet från Örebroenkäten.

ÖREBROENKÄT, ARBETSMILJÖ

BILAGA 2.2
3 (3)

ARBETSBLAD

INOMHUSKLIMAT

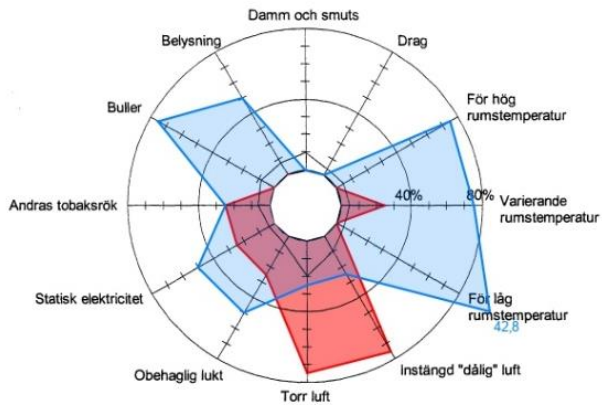
Arbetsmiljö MM 040 NA

BYGGNAD 22

MILJÖFAKTORER
(ofta besvärad) %

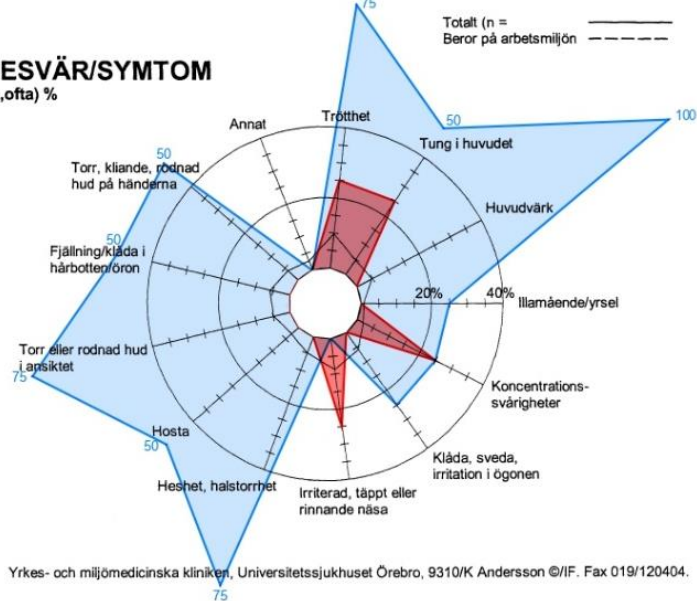
Referensdata enligt Rapport M5/90,
Yrkes- och miljömedicinska kliniken,
Universitetssjukhuset Örebro.

- JA OFTA
- JA IBLAND



BESVÄR/SYMTOM
(ja,ofta) %

- JA OFTA
- JA IBLAND



Figur 12: Rosdiagram för byggnad 22

Överlag var det färre som angav ”ja ofta” i enkäten som berörde arbetsmiljön, jämfört med dem som svarade ”ja ibland”. Av de som svarade ”ja ofta” upplevde 75% ”instängd dålig” luft och torr luft på kontoret. En annan andel, motsvarande 25% upplevde varierande rumstemperatur, obehaglig lukt, statisk elektricitet och andra besvär kopplade till tobaksrök. Däremot var det fler brukare som svarade ”ja ibland”. Av dessa angav 100% att de kände för låg rumstemperatur, medan 75% rapporterade problem med för hög rumstemperatur, varierande låg rumstemperatur och buller. 50% av de tillfrågade upplevde problem med statisk elektricitet, obehaglig lukt och belysning som antingen var för svag eller orsakade bländning för ögonen.

När det gällde hälsobesvär var det inte många som svarade ”ja ofta” och 25% angav att de upplevde tungt huvud, trötthet, koncentrationssvårigheter samt irritation, täpphet eller rinnande näsa. Däremot var det avsevärt fler som svarade ”ja ibland”. Här svarade 100% av brukarna att de upplevde huvudvärk, medan 75% upplevde trötthet, heshet, halsont och torr eller rodnad hud i ansiktet. Dessutom upplevde 50% fjällning/klåda i hårbotten, torr kliande hud, rodnad på händerna samt tungt huvud.

4.4 Momentana mätningar i byggnad 1307

Nedan presenteras parametrar som uppmättes i kontorsrummet i byggnad 1307. Vissa parametrar såsom lufttemperaturer, operativa temperaturer och relativa fuktigheter uppmättes under 10 minuters tidsperiod och deras resultat sammanställdes i tabeller i form av min, max och medelvärden, medan andra parametrar endast mättes momentant.

4.4.1 Lufttemperatur

Det går att konstatera att lufttemperaturen stiger ju högre upp mätningen utförs, detta är rimligt då varm luft stiger. Temperaturen ligger mellan cirka 20,6–22°C, vilket ligger det rekommenderade intervallet. Detta går att urskilja från tabell 23.

Tabell 22: Lufttemperatur inom vistelsezonen

Mätpunkt	Temperatur °C					
	A			B		
	Min:	Max:	Medel:	Min:	Max:	Medel:
h=0,1m	20,6	20,7	20,7	21,0	21,0	21,0
h=0,6m	20,9	21,3	21,1	21,2	21,3	21,2
h=1,1m	21,3	21,6	21,5	21,4	21,6	21,5
h=1,7m	21,6	22,0	21,8	21,8	21,9	21,9
Utomhus	1.4					

4.4.2 Operativ temperatur

Ur tabell 24 går det att konstatera att den operativa temperaturen varierar mellan 21,2–22,5 °C. Värdena uppfyller det rekommenderade intervallet från myndigheterna.

Tabell 23: Operativ temperatur (°C)

Mätpunkt	Operativ temperatur °C					
	A			B		
	Min:	Max:	Medel:	Min:	Max:	Medel:
h=0,1m	21,2	21,8	21,5	21,3	21,4	21,3
h=0,6m	21,5	21,9	21,6	21,6	21,9	21,7
h=1,1m	21,8	22,1	21,9	21,8	22,0	21,9
h=1,7m	22,1	22,5	22,3	22,3	22,3	22,3

4.4.3 Yttertemperaturer

Yttertemperaturerna mättes på de omgivande ytorna i lokalerna där mellanvägg 1 ligger till vänster om ingången och mellanvägg 2 till höger om. Det är värt att notera att radiatorn var avstängd under mätningen. Yttertemperaturen mättes också på fönsterkarmen och fönsterglas. Tabell 25 redovisar värden som ligger inom rekommendationen 16–26°C. Det går att konstatera att skillnader mellan punkt A och B är cirka 1 grad stor på golvet och 1,3 °C på taket.

Tabell 24: Yttertemperaturer

Mätpunkt	Yttertemperatur °C	
	A	B
Golv	20,2	19,2
Tak	19,4	20,7
Fönster	Fönsterkarm: 19	Fönsterkarm: 18,9
	Fönsterglas: 19,4	Fönsterglas: 18,7
Fasadvägg	19,5	19,2
Mellanvägg 1 (vänster om ingång)	20,2	20,5
Mellanvägg 2 (Höger om ingång)	20,3	20,1
Mellan vägg 3 (dörringångsväggen)	20,4	20,3
Radiator (avstängd)	19	

4.4.4 Strålningstemperatur-assymmetri

Strålningstemperatur-assymmetri beräknades med hjälp av värden från ytemperatur från tabell 25. Det noterades att temperaturskillnaderna mellan tak och golv är liten. Enligt riktlinjer ska strålningsskillnader inte överstiga 5 °C mellan tak och golv, vilket stämmer överens med värdena i tabell 26. Skillnaden mellan fönster och motstående yta bör inte överstiga 10°C enligt rekommendationen, detta går att urskilja från tabell 26 med värden som är lågt under den högsta rekommendationen. På grund av den avstängda radiatorm beräknades inte temperatur-assymmetrin mellan radiator och närliggande ytor.

Tabell 25: Strålningstemperatur-assymmetri

Mät punkt H= 0.6 (sittande person)	Ytemperaturskillnad mellan Yttervägg-Innervägg (°C)	Ytemperaturskillnad mellan Tak-Golv (°C)
Mät punkt A (mellanvägg 3)	20.4–19.5=0.9	20.2–19.4=0.8
Mät punkt B (mellanvägg 3)	20.3–19.2=1.1	20.7–19.2=1.5

4.4.5 Lufthastighet i vistelsezonen

Ur tabell 27 går det att urskilja att lufthastigheten är något hög och överstiger det rekommenderade högsta värdet på 0,15 m/s. Under mätningen noterades att kalibreringen på mätinstrumentet hade utgått och troligtvis är också en del av värdena påverkade av den mänskliga faktorn.

Tabell 26: Lufthastighet inom vistelsezonen

Mät punkt	A (m/s)		B (m/s)	
	Min:	Max:	Min:	Max:
h=0,1m	0.15	0.19	0.15	0.18
h=0,6m	0.15	0.22	0.14	0.19
h=1,1m	0.15	0.18	0.15	0.19
h=1,7m	0.15	0.18	0.15	0.17

4.4.6 Relativ luftfuktighet inomhus och utomhus

I tabell 28 redovisas de uppmätta värden på relativ luftfuktighet i vistelsezonen i lokalen. Det går att konstatera att värdena ligger under det lägsta rekommenderade värdet på 30%.

Tabell 27: Relativ luftfuktighet

Relativ luftfuktighet	RF %					
	A			B		
Mät punkt	Min:	Max:	Medel:	Min:	Max:	Medel:
h=0,1m	26,7	28,5	27,4	25,2	25,7	25,5
h=0,6m	25,4	25,7	25,5	25,3	26,0	25,6
h=1,1m	25,3	25,9	25,5	25,2	25,8	25,4
h=1,7m	25,1	25,5	25,2	24,9	25,2	25,0
Utomhus	Min: 62,9	Max: 70,0	Aktuell: 69,9	Tid: 17:14, 14/12– 2023		

4.4.7 Luftflödesmätning, anpassad efter don i lokalen

Luftens hastighet, temperatur, koldioxidhalt och flöde mättes vid ett tillufts- och frånluftsdon. Koldioxidhalten på tilluften är högre än vad det ska vara eftersom de uppmätta koldioxidhalterna i vistelsezonen var lägre. Dock noterades att koldioxidhalten i frånluften är högre än tilluften, vilket är rimligt. Luftflödet på tilluften mättes inte på grund av att det cirkulära tilluftsdonet inte var anpassat efter stosmätaren. Den höga koldioxidhalten i tilluften beror troligtvis på att mätinstrumentet inte hunnit anpassa sig efter klimatet och att längre tid hade behövts. Detta finns presenterat i tabell 29.

Tabell 28: Luftflödesmätning, anpassad efter don

	Temperatur (°C)	Hastighet (m/s)	CO2 (ppm)	Luftflöde (l/s)	RF (%)
Tilluft	17,4	1,25	Max: 765	Ej möjligt cirkulärt	Max: 25,5
			Min: 613		Min: 25,3
Frånluft	22,5	0,78	Max: 971	8,8	Max: 27
			Min: 576		Min: 25

4.4.8 Beräkning av PMV och PPD-index

Ekvationerna 5, 6 och 7 används för beräkning av PMV och PPD för byggnad 22 (Danvak, u.å).

T_{op} och T_{luft} hämtas från tabell 23 och 24 och antas vara för höjden 1,1 m då en person sitter ned, och medelvärde tas för både punkt A och B

Operativ temperatur T_{op} för punkt A och B: 21,9 °C

Lufttemperatur T_{luft} för punkt A och B: 21,5°C

PMV beräknas enligt ekvation 6 där:

$$I_{cl} = 1 \text{ CLO}$$

$$M = 70 \text{ W/m}^2$$

$$T_{op} = 21.9$$

$$t_a = 21.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\bar{t}_r = 22.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v_{ar} = 0.15 \text{ m/s}$$

$$W = 0 \text{ W/m}^2$$

$$RF = 25.45 \%$$

$$PMV = -0.23$$

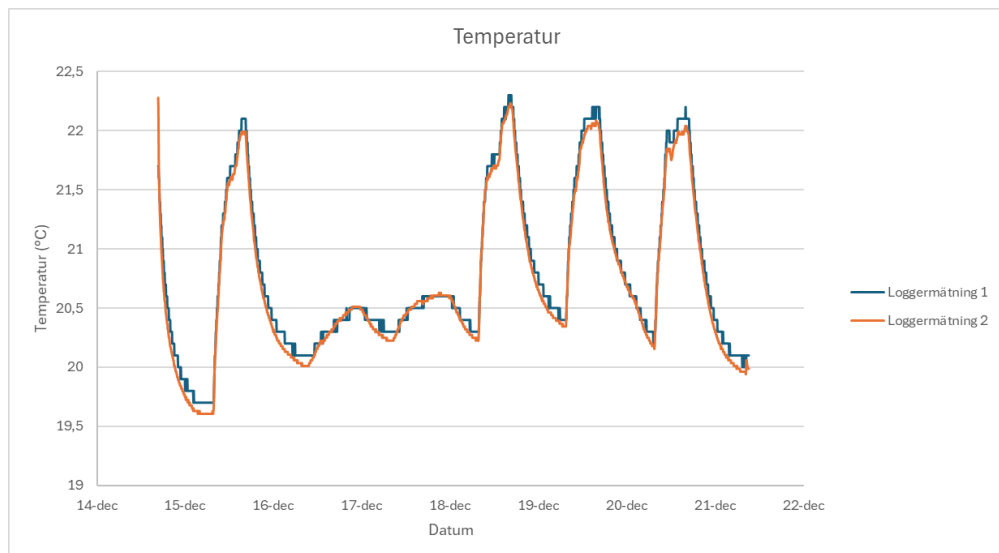
Ur detta beräknas PPD enligt ekvation 5:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot -0,23^4 + 0,2179 \cdot -0,23^2)} = 6.1\% \text{ missnöjda}$$

4.5 Loggermätning byggnad 1307

Temperatur:

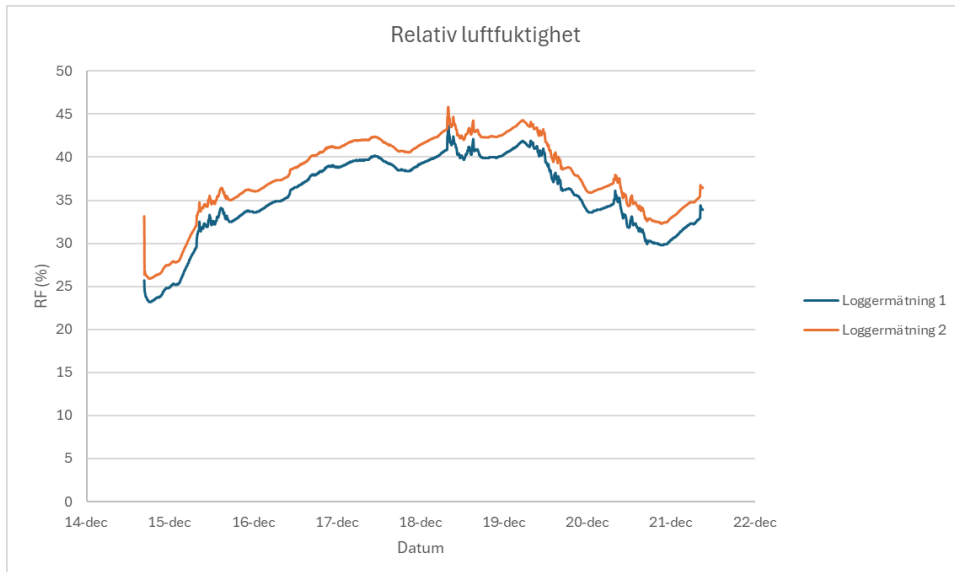
Temperaturen loggades med hjälp av två loggar. Nedan i figur 13 illustreras mätningarna under en veckas tid. Skillnaden mellan de två olika loggarna är försumbar, vilket kan konstateras genom att studera figur 13. Temperaturen varierar mellan 19,7 °C till 22,3 °C. Det går tydligt att se att temperaturen stiger något under arbetsdagarna. Under helgen den 17–18 december går temperaturen ner till ca 20,5 °C.



Figur 13: Temperaturer utifrån loggermätning

Relativ luftfuktighet:

Den relativa luftfuktigheten loggades med hjälp av två loggar. Nedan i figur 14 illustreras mätningarna under en veckas tid. Den relativa luftfuktigheten varierar mellan 23,2 % och 43,6 %.

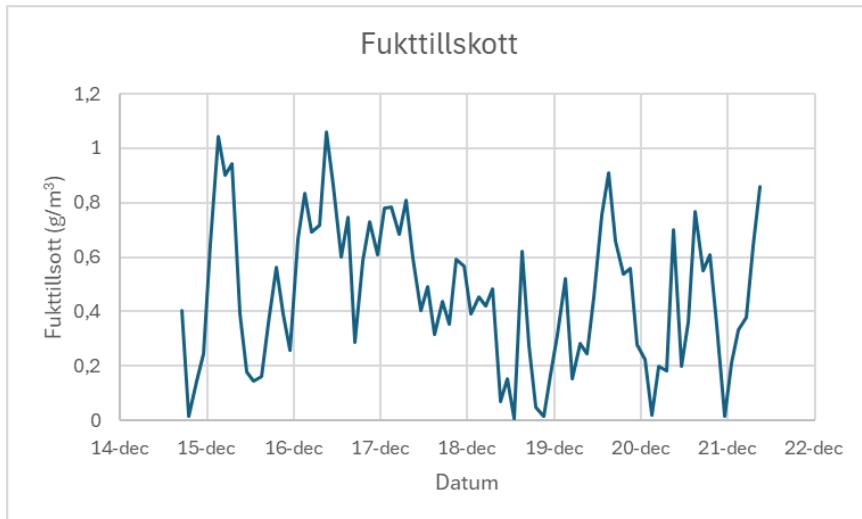


Figur 14: Relativ luftfuktighet från loggermätning

Fukttillskott:

Eftersom den relativa fuktigheten inomhus beror mycket på utomhusklimatet, så analyserades fukttillskottet. Detta för att få en bättre bild på hur utomhusluften påverkar fukten inomhus. Fukttillskottet är skillnaden mellan ånghalten inomhus och utomhus och ger således en bra bild om ventilationen för bort fukten på en acceptabel nivå.

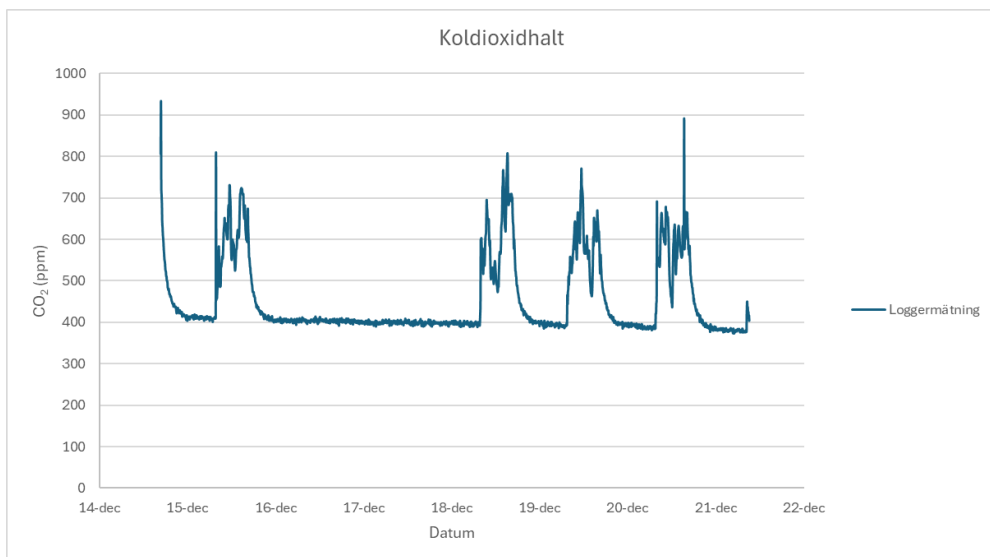
Det beräknade fukttillskottet ligger mellan ca 0–1 g/m³, som finns presenterat i figur 15. Enligt folkhälsomyndigheten bör inte fukttillskottet överstiga 3 g/m³.



Figur 15: Fukttillskottet under loggermätning för byggnad 1307

Koldioxidhalt:

Koldioxidhalten loggades med hjälp av en logger. Nedan i figur 16 presenteras mätningarna under en veckas tid. I figur 16 ökar koldioxidhalten till ca 800 ppm under veckodagarna (15, 18–20 december). Detta sker eftersom det troligtvis sitter en person i rummet och arbetar. Under helgen och kvällarna går koldioxidhalten ner till ca 400 ppm.



Figur 16: Koldioxidhalt från loggermätning

4.6 Resultat av enkätundersökning byggnad 1307

I enkätundersökningen deltog endast 7 personer av cirka 20 personer, vilket är under det rekommenderade minimumantalet på 15 och resultatet anses därför inte helt rättvisande, men det ger en viss inblick i alla fall. Enkäten som användes var Örebroenkät som ger en bild av hur användare upplever arbetsmiljön, hälsobesvär och arbetsförhållanden. Se figur 17 nedan för presentation av rosdiagrammet från Örebroenkäten.

Figur 17:

ÖREBROENKÄT, ARBETSMILJÖ

BILAGA 2.2
3 (3)

ARBETSBLAD

INOMHUSKLIMAT

Arbetsmiljö MM 040 NA

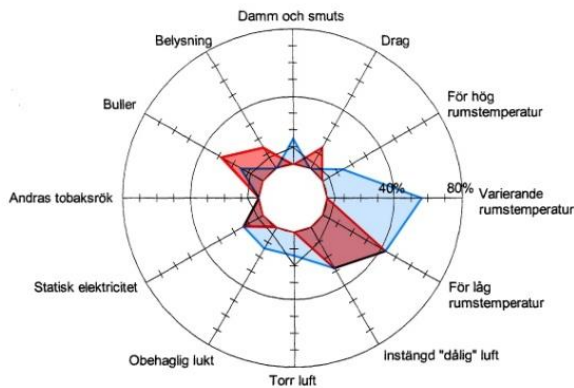
BYGGNAD 1307

MILJÖFAKTORER

(ofta besvärad) %

Referensdata enligt Rapport M5/90, Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro.

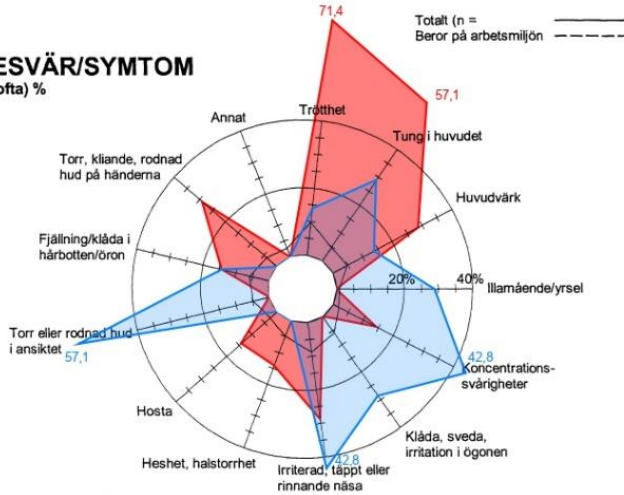
■ JA OFTA
■ JA IBLAND



BESVÄR/SYMTOM

(ja,ofta) %

■ JA OFTA
■ JA IBLAND



Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro, 9310/K Andersson ©/IF. Fax 019/120404.

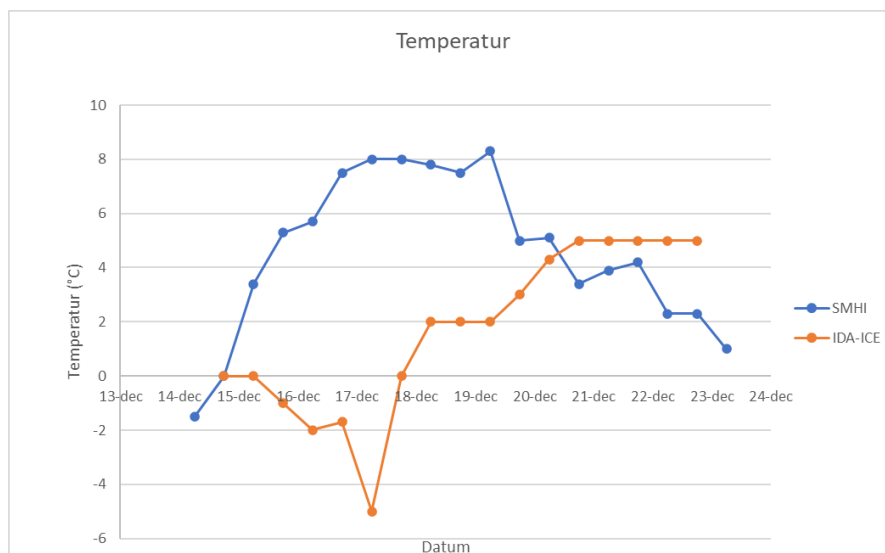
Rosdiagram för byggnad 1307

Generellt sett var det färre som svarade ”Ja, ofta” på enkäten när det gällde faktorer som påverkar arbetsmiljön på kontoret. Endast 43% upplevde att rumstemperaturen var för låg. Dessutom upplevde 28,6% buller och instängd ”dålig” luft. Däremot var det fler som svarade ”Ja ibland”, där 43% också ansåg att rumstemperaturen var för låg och 57% upplevde varierande rumstemperaturer. En andel av 14,3% svarade att de kände problem med hög rumstemperatur, torr luft, damm, smuts, buller samt statisk elektricitet. På grund av höga procentandelarna är det nödvändigt att beakta, att de ibland upplever dessa problem.

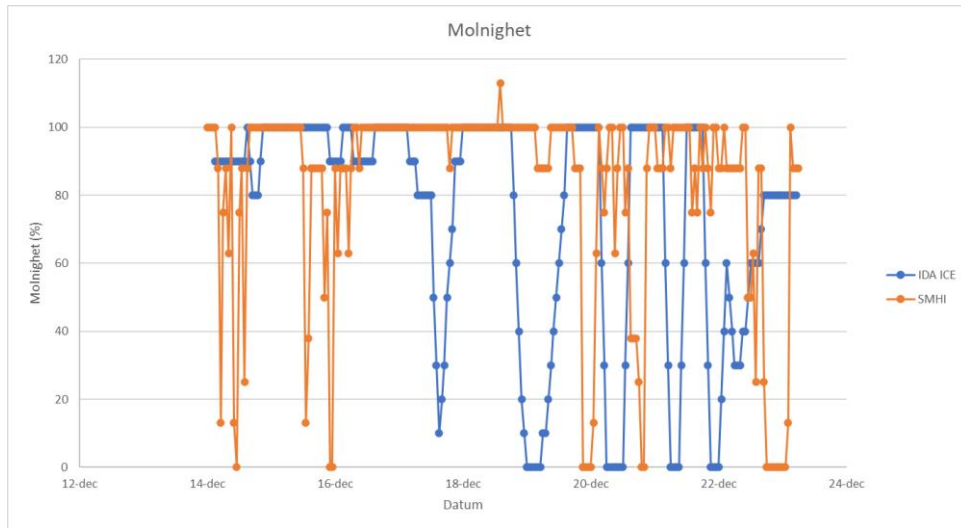
När det handlar om hälsobesvär, svarade 71,4% av brukarna att de ofta upplevde trötthet, medan 57% uppgav att de ofta kände sig tunga i huvudet. En betydande andel upplevde även irritation samt problem som täppa eller rinnande näsa. Däremot var det ungefär lika många som svarade ”Ja ibland”, där 57% angav att de känner torrhet och rodnad i huden. Dessutom upplevde 42,8% koncentrationssvårigheter samt irriterad, täppt eller rinnande näsa. En ytterligare procentandel på 28,6% angav att de kände illamående, tungt huvud och upplevde besvär som klåda, sveda och irritation i ögonen.

4.7 Analys avseende på utomhusklimat i IDA-ICE och SMHI

Eftersom IDA-ICE använder ett utomhusklimat utifrån ASHRAE är det viktigt att jämföra med hur det faktiska utomhusklimatet var under mätperioden för att det kan förklara skillnader mellan beräkning och mätning. Nedan i figur 18, presenteras en jämförelse mellan utomhusklimatet från ASHRAE och det faktiska klimatet som är hämtat i efterhand från SMHI, under den aktuella tidsperioden. I figur 19 presenteras molnigheten, jämfört med IDA-ICE och SMHI. Eftersom data för molnighet inte fanns tillgängligt för Lund från SMHI, är molndatan taget utifrån Malmö.



Figur 18: Temperaturjämförelse mellan IDA ICE och SMHI



Figur 19: Molnighet: en jämförelse mellan IDA ICE och SMHI

4.8 Jämförande analys mellan loggermätningar och IDA-ICE

I detta avsnitt presenteras fyra olika fall för temperaturer, för att undersöka vilket fall som bäst matchar loggermätningarna. I de fyra olika fallen undersöktes det bland annat hur värmetransporten från närliggande zoner, radiatoreffekt och ersättning av idealvärmare påverkar temperatursimuleringen i IDA ICE. Nedan beskrivs de fyra olika fallen.

Fall 1 (basfall) beskriver en zon med radiator

Fall 2 beskriver omkringliggande zoner med radiatorer

Fall 3 beskriver en zon med idealvärmare

Fall 4 beskriver omkringliggande zoner med idealvärmare

Efter att dessa fall undersökts och analyserats, valdes det bästa och mest representativa fallet för att sedan analysera den relativa fuktigheten och koldioxidhalten.

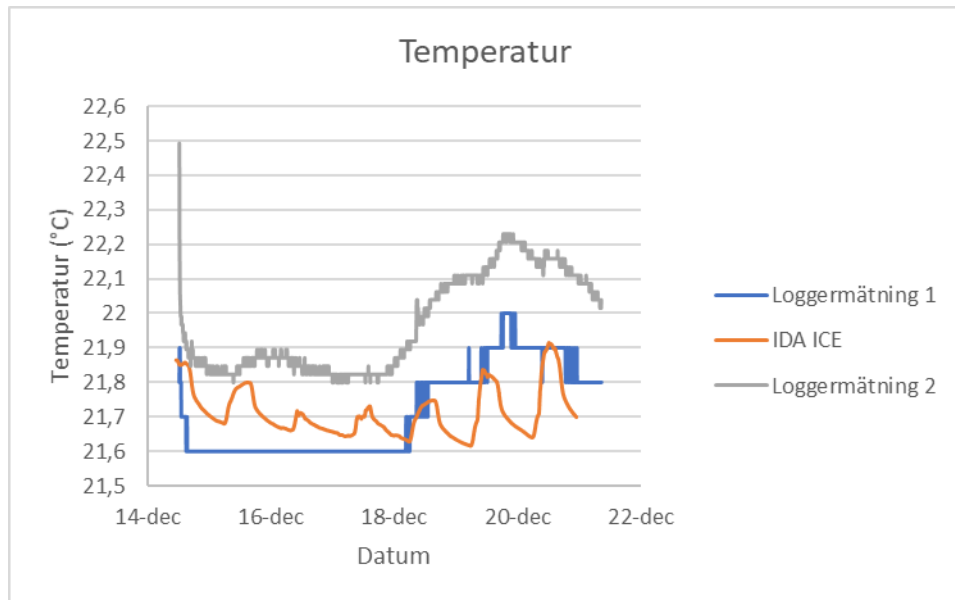
4.8.1 Temperatur byggnad 22

För alla fallen på byggnad 22 togs endast hänsyn till lampor och inga personlaster eller utrustning, detta eftersom inga personer vistades i lokalen under mätperioden.

Fall 1 – Radiator och endast en zon

I detta fall valdes heat-setpoint på 21 °C utifrån loggermätningens kurva.

Överlag är graferna bra och topparna har liknande trender men dalarna avviker lite grann. Temperaturen håller sig relativt konstant mellan 21,6 °C till 21,9 °C och temperaturen ökar 20 dec på grund av värmeavgivning från lampor. Radiatoreffekten antas till 1000 W.

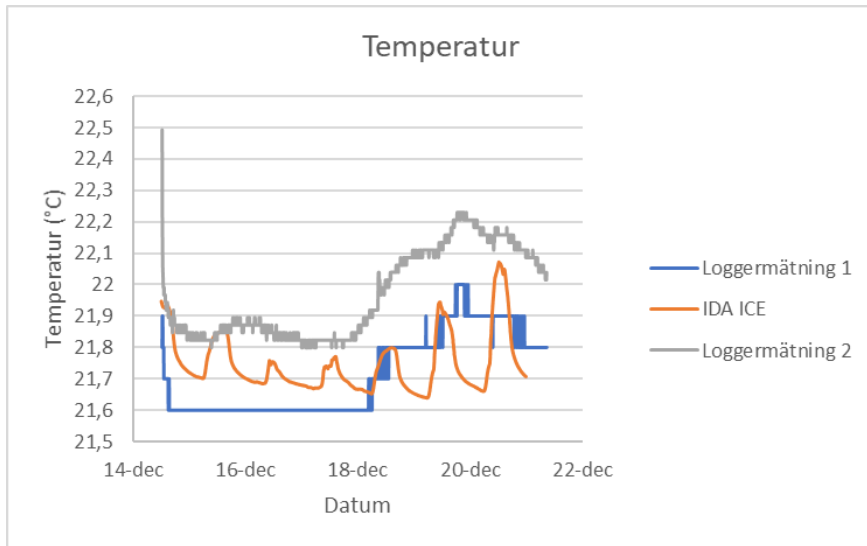


Figur 20: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 1

Fall 2 – Radiatorer i omkringliggande zoner

I detta fall valdes heat-setpoint på 21 °C utifrån loggermätningens kurva.

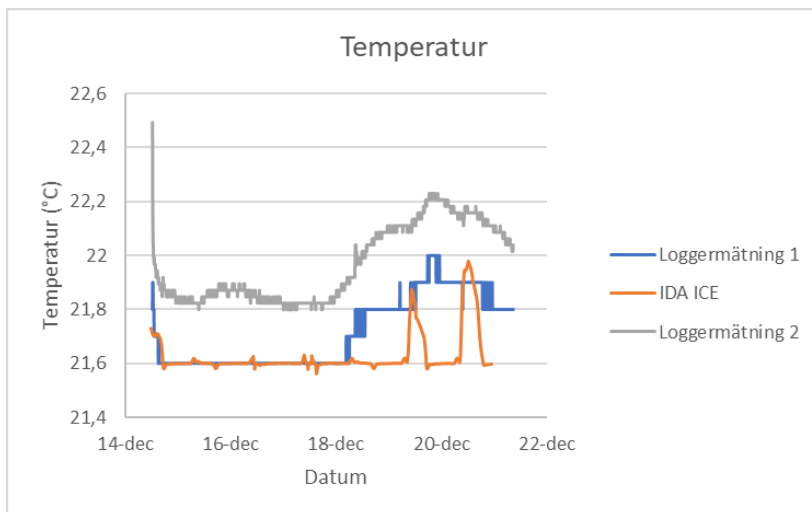
Radiatoreffekt antas till 1000 W. Jämfört med fall 1, går det att konstatera att temperaturen är lite högre på grund av värmetransport från zonerna runt omkring. Denna temperaturökning är endast cirka 0,2 °C vilket är försumbart.



Figur 21: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 2

Fall 3 - Idealvärmare och endast en zon

I detta fall valdes heat-setpoint på 21,6 °C utifrån loggermätningens kurva från 14 dec till 18 dec. Sedan på måndag den 19 dec, ökade temperaturen successivt, detta kan bero på att lamporna i rummet avger strålningsvärme. IDA ICE grafen matchar bäst med loggermätning 1.

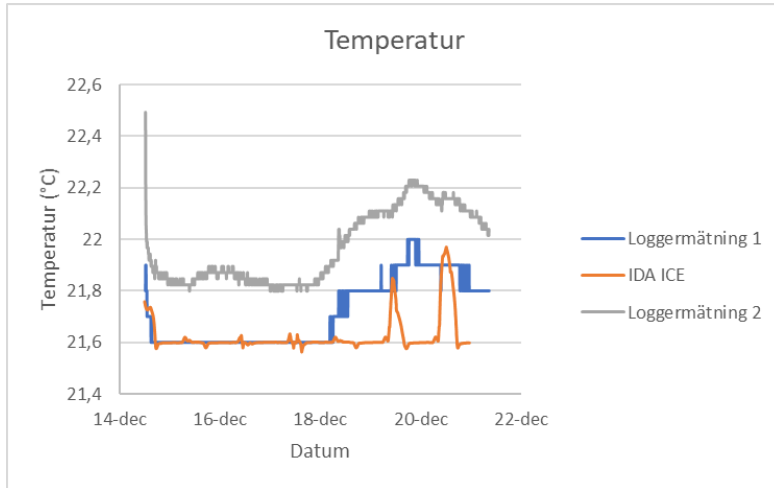


Figur 22: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 3

Fall 4 – Idealvärmare i omkringliggande zoner

I detta fall valdes heat-setpoint på 21,6 °C utifrån loggermätningens kurva.

I simuleringen användes zoner runtomkring, både i över- och underplan för att ta hänsyn till värmetransport som sker genom väggskikten. Ideal värmare användes också istället för radiator. Jämfört med fall 3, går det knappt att urskilja någon skillnad mellan IDA-ICE beräkningar.



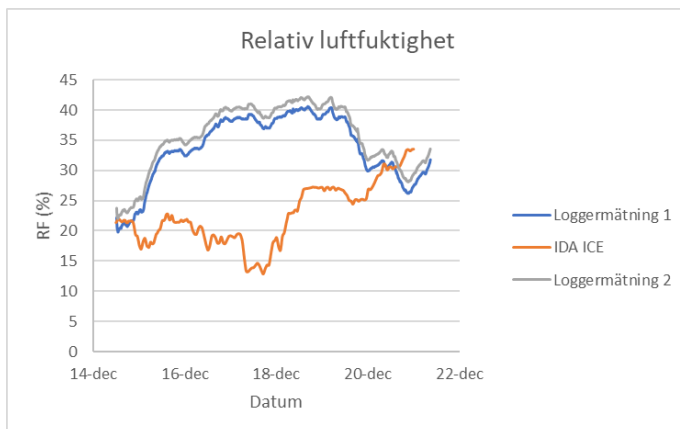
Figur 23: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 4

4.8.2 Relativ luftfuktighet och koldioxidhalt byggnad 22

Fall 2 valdes när relativ fuktighet och koldioxidhalt jämfördes. Detta för att de matchade bäst med loggermätningar och tar hänsyn till värmetransport från omkringliggande zoner som finns i verkligheten.

Relativ fuktighet

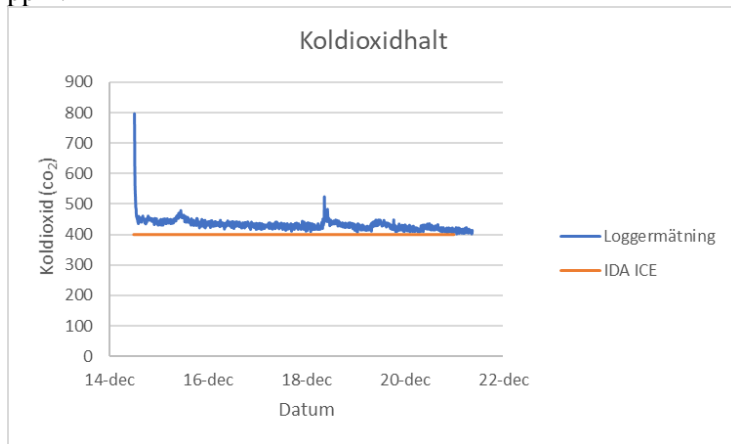
Den relativa fuktigheten beror mycket på utomhusklimatet. Kurvorna visar lägre relativ luftfuktighet i IDA ICE än loggermätningar eftersom de verkliga temperaturerna är högre än IDA ICE:s klimatfiler, se avsnitt 4.7 I båda fallen är temperaturerna låga och beror på vinterhalvåret. IDAs kallare klimat resulterar i kallare luft. Kall luft innehåller mindre vattenånga, och det leder till lägre relativ fuktighet. Det rekommenderade intervallet är 30–70% RF. Lägre relativ fuktighet kan leda till hälsobesvär och ökad statisk elektricitet som beskrivs i avsnitten 2.1.2, 4.3 och 4.6.



Figur 24: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av relativa luftfuktigheter

Koldioxidhalt byggnad 22

Koldioxidhalten ligger runt 400 ppm eftersom troligtvis vistas inga personer i rummet. Koldioxidhalten från IDA ICE ligger konstant på 400 ppm under perioden. Detta eftersom inga personer har simulerats i byggnaden och standardvärdet är inställt på 400 ppm.

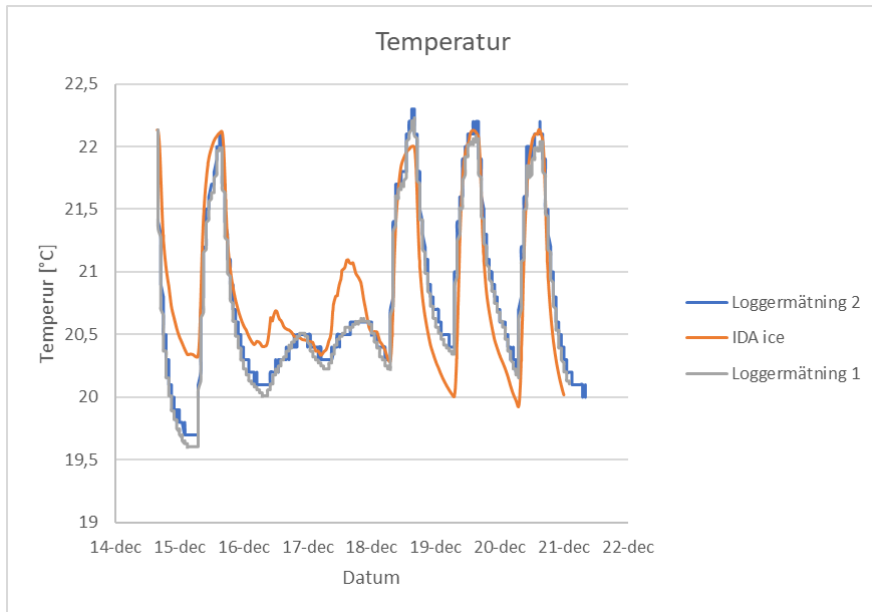


Figur 25: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av koldioxidhalter

4.8.3 Temperatur Byggnad 1307

Fall 1 – Radiator och endast en zon

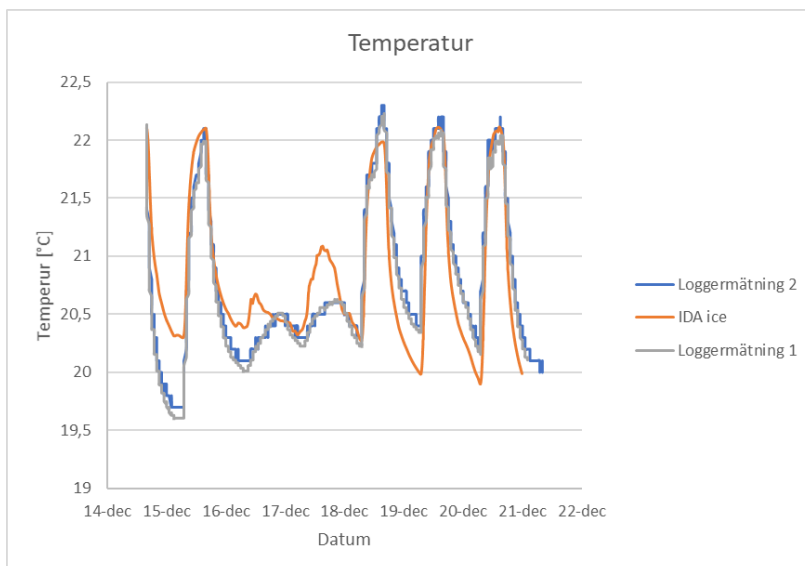
För fall 1 matchar både topparna och dalarna med loggermätningarna. I verkligheten var det avsevärt varmare än vad IDA ICE räknar på. Detta kan leda till att värmesystemet i verkligheten inte hunnit anpassa sig efter rummets miljö, därav är nedgången på loggermätningen mellan 14–15 dec större än IDA. En annan orsak kan vara att radiator har varit avstängd under mätningen 14 dec, troligen därav den stora nedgången i grafen mellan 14 dec-15 dec. På morgonen 15 dec kan en person kommit in och satt igång radiatoren, vilket leder till en drastisk ökning i temperaturen som sedan följer IDA ICE grafen. Dock finns en större uppgång under perioden 18 dec som skulle kunna bero på radiatorns värmeavgivning som är högre i IDA ICE än den verkliga radiatoren, på grund av brist på indata av radiatorns verkliga effekt och effekten antogs på 1000 Watt i IDA, därav standardvärde runt 70 W per m² golvyta. Alternativt skulle orsaken kunna vara att IDA ICE räknar med en molnighet på cirka 10% medan i verkligheten var molnigheten på 100%. Se figur 19 om molnighet.



Figur 26: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 1

Fall 2 – Radiatorer i omkringliggande zoner

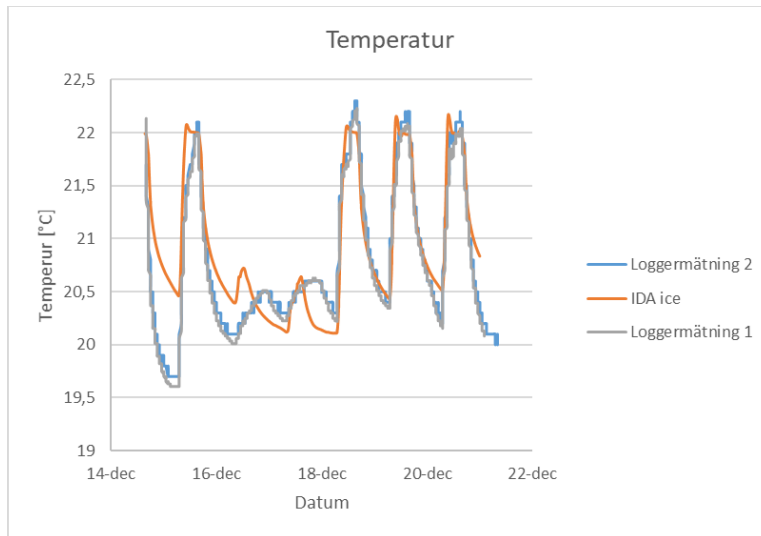
För fall 2 matchar både topparna och dalarna med loggermätningarna. I simuleringen användes zoner runtomkring, både i över- och underplan för att ta hänsyn till värmetransport som sker genom interna ytorna. Samma resonemang som fall 1, det går inte att urskilja någon skillnad mellan fall 1 och fall 2. Alternativt skulle orsaken kunna vara att IDA ICE räknar med en molnighet på cirka 10% medan i verkligheten var molnigheten på 100%. Se figur 19 om molnighet.



Figur 27: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 2

Fall 3 - Idealvärmare och endast en zon

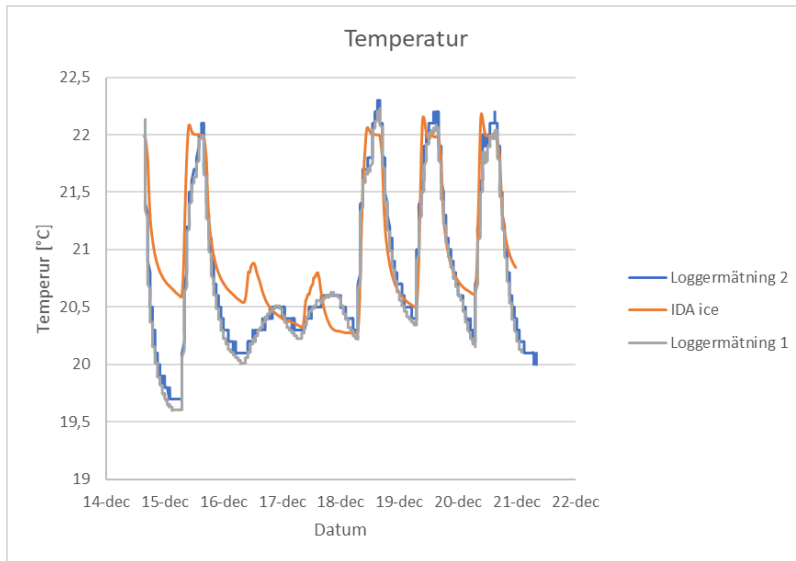
För fall 3 matchar både topparna och dalarna med loggermätningarna. Det går att urskilja en differens mellan IDA ICE och loggermätningar under perioden 14–16 dec. Möjligtvis beror differensen på skillnaden mellan de verkliga temperaturerna och IDA ICE, se avsnitt 4.7. Samma resonemang som fall 1 angående nedgången mellan den 14-15 december.



Figur 28: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 3

Fall 4 – Idealvärmare i omkringliggande zoner

För fall 4 matchar både topparna och dalarna med loggermätningarna. I simuleringen användes zoner runtomkring, både i över- och underplan för att ta hänsyn till värmetransport som sker genom materialskikten. Idealvärmare används i detta fall i stället för radiator. Samma resonemang som tidigare i fall 1, angående nedgången mellan 14 dec -15 dec, med en minimal skillnad i graferna. Det går möjligtvis att urskilja att värmetransporten har påverkat temperaturen men skillnaderna är försumbara.



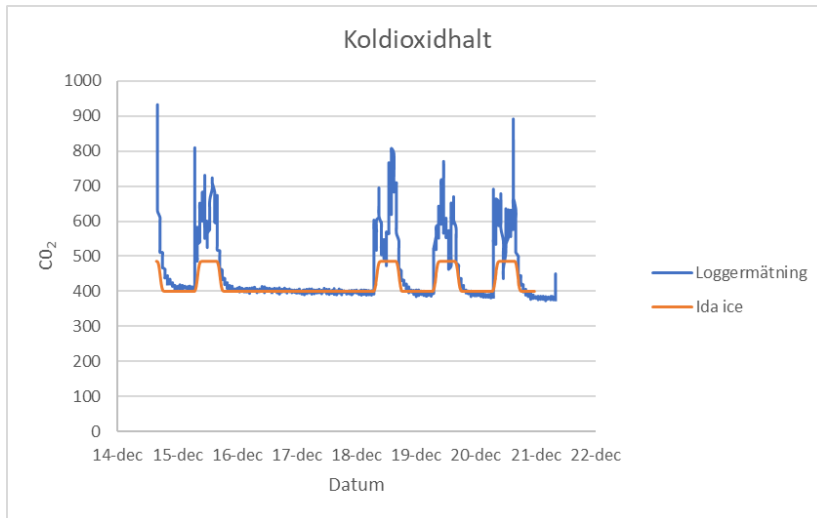
Figur 29: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av temperaturer för fall 4

Fall 2 användes i vidare jämförelser för att graferna matchade bäst med loggermätningarna och tar hänsyn till värmetransport från omkringliggande zoner som finns i verkligheten.

4.8.4 Koldioxidhalt och relativ fuktighet Byggnad 1307

Koldioxidhalt

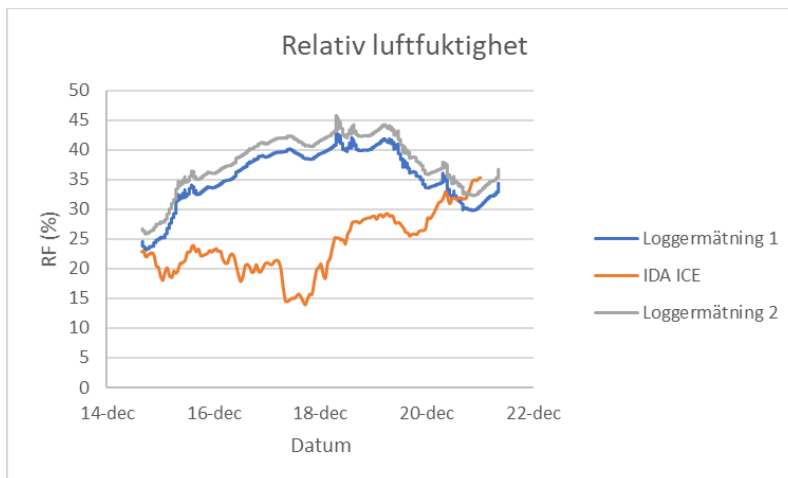
Den stora skillnaden mellan IDA ICE och loggermätningen visar på att det finns skillnad mellan modell och verklighet, troligtvis av ventilationen eller belastning. VAV systemet var igång hela tiden på 100 % från IDA och därför kan en möjlig förklaring vara att det är lägre koldioxidhalt i IDA ICE. Dock ser trenderna likadana ut. Uppgångarna beror på att personer sitter och arbetar på kontoret på arbetstid.



Figur 30: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av koldioxidhalt

Relativ fuktighet

Den relativa fuktigheten beror mycket på utomhusklimatet. Kurvorna visar lägre relativ luftfuktighet i IDA ICE än loggermätningar eftersom de verkliga temperaturerna är högre än IDA:s klimatfiler. I båda fallen är temperaturerna låga, vilket kan bero på vinterhalvåret. IDAs kallare klimat resulterar i kallare luft. Kall luft innehåller färre mängd av vattenånga, och det leder till lägre relativ fuktighet. Det rekommenderade intervallet är 30–70% RF. Lägre relativ fuktigheten kan leda till hälsobesvär och ökad statisk elektricitet som beskrivs i avsnitten 2.1.2, 4.3 och 4.6.



Figur 31: Jämförelser mellan IDA ICE och loggermätningar av den relativa fuktigheten

4.9 Jämförande mellan IDA ICE och momentana fysiska mätningar

Efter att ha erhållit avläsningar från IDA ICE under samma datum och tid som de fysiska momentana mätningarna har utförts, kan de två olika metodernas parametrar jämföras. Detta presenteras i tabell 30 och 31 nedan.

Byggnad 22

Mätningarna utfördes under perioden 2023-12-14 kl. 09-12 och resultaten på de fysiska mätningarna utgår ifrån höjden 1,1 m, medelvärde av punkt A och B i sittande fas. I simuleringarna från IDA ICE används fall 2. Men till skillnad från det simuleras 2 personlaster. Detta eftersom när mätningarna utfördes fanns det två personer som gick in och ut.

Tabell 29: Jämförande mellan IDA ICE och momentana fysiska mätningar

Parameter	IDA-ICE resultat	Fysisk mätning	Rekommendation
Lufttemperatur (°C)	22,3	22,7	20–26
Operativ temperatur (°C)	22,2	23,1	20–24
Lufthastighet i vistelsezonen (m/s)	0,1 (standardinställt)	0,15	≤0,15
Yttemperatur (°C)			
Tak	22	21,6	-
Vänster vägg	22,3	21	-
Fönsterkarm	19,3	18,4	-
Vägg vid fönster	19,8	18,7	-
Höger vägg	22,4	21	-
Golv	21,9	20,7	-
Dörr vägg	22,2	-	-
Strålningstemperatur- assymetri (°C)			
Yttervägg-innervägg	2,4	2,3	≤10
Tak-golv	0,1	0,9	≤5
Relativ luftfuktighet (%)	23	22,1	30–70
Luftflöde i tilluft(l/s)	69,44	28,4	≥ 19,5
PPD (%)	9,2	5	≤ 10
Tilluftstemperatur (°C)	23	22,3	-
Frånluftstemperatur (°C)	22,3	-	-

Lufttemperaturerna och de operativa temperaturerna är högre i fysiska mätningar än IDA ICE, men ligger fortfarande inom gränsen. Temperaturskillnaderna kan möjligen bero på solinstrålning under en viss tid under de fysiska mätningarna. Vidare är alla yttemperaturerna något högre i IDA ICE än de fysiska mätningarna. Det kan troligtvis bero på de omkringliggande zonerna med igångsatta radiatorer i IDA ICE. Detta leder

till att strålningsasymmetri mellan tak och golv är olika, dock snarlika mellan yttervägg och innervägg och dessa värden ligger fortfarande inom kravet.

Den relativa fuktigheten är låg i både fallen och understiger gränsen till det acceptabla intervallet. Detta kan troligtvis bero på utomhusklimatets påverkan i både IDA och verkligheten. Luftflödet i båda fallen överstiger boverkets krav. Det noterades emellertid att luftflödet var lägre i de fysiska mätningarna. Slutligen låg båda PPD-värdena inom den acceptabla gränsen.

Byggnad 1307

Mätningarna utfördes under perioden 2023-12-14 kl. 14-17 och resultaten på de fysiska mätningarna utgår ifrån höjden 1,1 m i sittande fas. I simuleringarna från IDA ICE används fall 2.

Tabell 30: Jämförande mellan IDA ICE och momentana fysiska mätningar

Parameter	IDA-ICE resultat	Fysisk mätning	Rekomendation
Lufttemperatur (°C)	22	21,5	20–26
Operativ temperatur (°C)	22,1	21,9	20–24
Lufthastighet i vistelsezonen (m/s)	-	0,15	≤0,15
Yttemperatur (°C)			
Tak	21,9	20,7	-
Vänster vägg	22,2	20,5	-
Fönsterkarm	19,7	18,9	-
Vägg vid fönster (Yttervägg)	21,7	19,5	-
Höger vägg	22,1	20,3	-
Golv	21,6	20,2	-
Dörr vägg	22	20,4	-
Strålningstemperatur- assymetri (°C)			
Yttervägg-innervägg	0,3	0,9	≤ 10
Tak-golv	0,3	0,5	≤ 5
Relativ luftfuktighet (%)	22,6	25,5	30–70
Luftflöde i frånluft (l/s)	109,9	-	≥19,5
Tilluftsföde (l/s)	109,9	-	
PPD (%)	8,97	6,1	≤10
Tilluftstemperatur (°C)	17	17,4	-
Frånluftstemperatur (°C)	22	22,5	-

Lufttemperaturerna och de operativa temperaturerna är snarlika med 0,5°C respektive 0,2°C skillnad. Vidare är alla yttemperaturerna något högre i IDA ICE än de fysiska mätningarna. Det kan troligtvis bero på de omkringliggande zonerna med igångsatta

radiatorer i IDA ICE. Detta leder till att strålningsasymmetrierna blir olika men värdena ligger fortfarande inom kravet.

Den relativa fuktigheten är låg i både fallen och understiger gränsen till det acceptabla intervallet. Detta kan troligtvis bero på att utomhusklimatets påverkan i både IDA och verkligheten. Luftflödet i båda fallen överstiger boverkets krav. Slutligen låg båda PPD-värdena inom den acceptabla gränsen.

4.10 Simulering av hela året för byggnad 22

Simulering av hela året gjordes utifrån ett flertal olika fall. Detta för att undersöka det absolut värsta tänkbara scenariot gällande högsta temperatur under året och för att sedan simulera förbättringsåtgärder. I tabell 32 går det tydligt att urskilja det värsta fallet utifrån den högsta temperaturen, sedan hur de olika förbättringsåtgärder påverkar byggnaden. Det noterades också att alla extremvärden på temperaturen sker under sommarhalvåret, därför utgår alla värden i tabell 32 från sommarhalvåret. Nedan presenteras de olika fallen i detalj. Vid simulering av förbättringsåtgärd med gardiner, användes ”Light, tightly woven drape between panes (BRIS)” från IDA ICE.

Fall 1 (basfall) beskriver zonen utan gardiner

Fall 2 beskriver zonen utan gardiner med det låga flödet på 28,4 l/s som uppmättes under de fysiska mätningarna i rummet. Detta fall simulerar alltså det värsta fallet.

Fall 3 beskriver zonen med gardiner som solavskärmning

Fall 4 beskriver en åtgärd med heltäckande markisolett

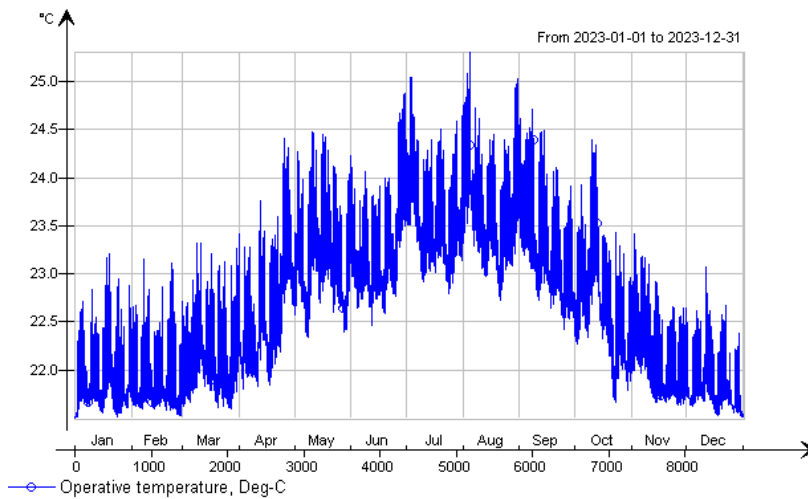
Fall 5 beskriver Ökat flöde CAV från 4 till 10 l/s m², samt gardiner

Tabell 31: Jämförande mellan olika fall för hela året

Parameter	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5	Rekommendation
Koldioxidhalt (ppm)	539	741,7	439	539	462	≤1000
Lufttemperatur (°C)	28,14	29,73	26,06	25,23	24,95	20–26
Operativ temperatur (°C)	28,74	30,12	26,39	25,45	25,3	Vinter: 20–24 °C Sommar: 20–26 °C
Relativ fuktighet (%)	40,3	39,46	46,18	48,66	41,05	30–70
PPD (%)	27,36	51,15	8,78	6,25	5,629	≤10

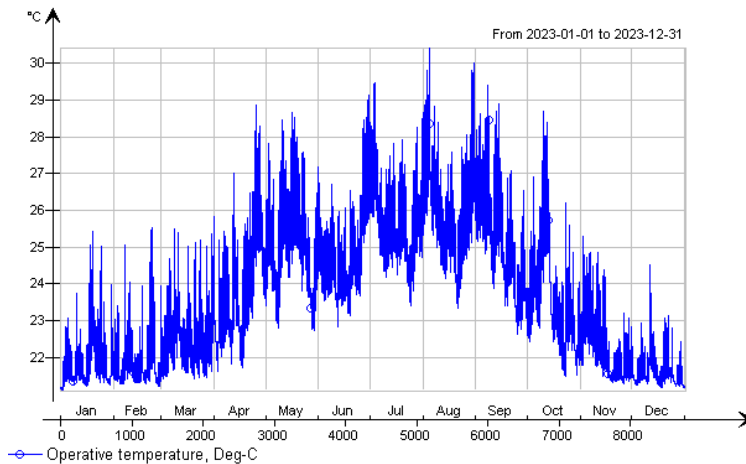
En nackdel med att använda heltäckande markis är att dagsljusinsläppet begränsas och kan påverka kontorsarbetarnas psykiska mående, därför testades ett ytterligare fall med ett ökat flöde.

Figur 32 illustrerar operativ temperatur under hela året utifrån fall 5, som blev det bästa fallet.



Figur 32: Operativ temperatur under hela året utifrån fall 5

Figur 33 illustrerar operativ temperatur under hela året utifrån fall 2, som blev det sämsta fallet.



Figur 33: Operativ temperatur under hela året utifrån fall 2

4.11 Simulering av hela året för byggnad 1307

Simulering av hela året gjordes utifrån två fall. Detta för att undersöka det absolut värsta fallet under året och för att sedan simulera förbättringsåtgärder. När förbättringsåtgärder simulerades noterades det att den första förbättringsåtgärden förbättrade byggnadens termiska inneklimat avsevärt och alla parametrar låg inom det rekommenderande

intervallet. Därför valdes det endast att simulera en förbättringsåtgärd. I tabell 33 går det tydligt att urskilja det värsta fallet utifrån högsta temperaturen, sedan hur förbättringsåtgärden påverkar byggnaden. Det noterades också att alla extremvärden på temperaturen sker under sommarhalvåret, därför utgår alla värden i tabell 33 från sommarhalvåret. Vid simulering av förbättringsåtgärd med gardiner, användes "Light, tightly woven drape between panes (BRIS)" från IDA ICE. Nedan presenteras de olika fallen i detalj.

Fall 1 beskriver zonen utan gardiner

Fall 2 beskriver zonen med gardiner

Tabell 32: Jämförande mellan olika fall för hela året

Parameter	Fall 1	Fall 2	Rekommendation
Koldioxidhalt (ppm)	486	486	≤1000
Lufttemperatur (°C)	26,29	22,71	20–26
Operativ temperatur (°C)	27,18	23,14	Vinter: 20–24 °C Sommar: 20–26 °C
Relativ fuktighet (%)	41,83	51,83	30–70 %
PPD (%)	11,98	5,567	≤10

5 Diskussion

5.1 Helhetsbedömning av inneklimat

5.1.1 Byggnad 22

Under loggermätningarna ligger koldioxidhalterna relativt konstant på 430 ppm. Troligtvis har inga personer befunnit sig i lokalen under mätningens gång. Således hade det varit intressant att mäta koldioxidhalten under flertal veckor, i stället för att utföra loggermätningarna under en veckas tid. Detta för att se hur halterna ökar med närvaron, då det ger en bättre bild under en längre tidsperiod.

Lufttemperaturerna är acceptabla och ligger inom det rekommenderade intervallet. Det är värt att notera att temperaturen stiger ju högre höjd mätningarna utförs på, eftersom varmluft förflyttar sig uppåt. Skillnaden mellan lägsta och högsta lufttemperaturen är 1,5 °C. Loggermätningarna av lufttemperaturer varierar mellan 21,6–22,2 °C, vilket ligger inom intervallet. Troligtvis har inga personer som kan påverka temperaturen befunnit sig i rummet då CO₂ mätningar ökade inte.

De uppmätta operativa temperaturerna ligger i linje med riktvärdena. Den högsta temperaturen ligger på 23,5 °C och tillhör högre delen av det rekommenderade intervallet. En intressant aspekt hade varit att undersöka den operativa temperaturen under en längre period för att studera skillnaderna över tid. Yttertemperaturerna och strålningsasymmetrier är acceptabla och ligger inom det rekommenderade intervallet. Temperaturskillnaden mellan motstående väggar respektive tak och golv, är så pass minimala att de är försumbara.

Lufthastigheterna är högre än det rekommenderade intervallet. Dessa värden är endast minimala- och maximala värdena och kan ha påverkats av den mänskliga faktorn. Orsaken kan vara att personer har påverkat luftrörelser i rummet under början och slutet av mätningarna. Det var inte heller möjligt att undersöka alla värdena som loggrades under 10 minuter, eftersom mätinstrumentet hade problem med uppkopplingen till datorn. Detta kan vara ett drivrutinsfel och försöktes redas ut löpande men olyckligtvis löstes det inte. Minimivärdena var högre än förväntat, vilket möjligen kan bero på kalibreringsfel.

Den relativa fuktigheten ligger under 30 %, vilket är lägre än det rekommenderat intervallet mellan 30–70 %. Detta kan ge upplevelse av torr luft och kan leda till torra slemhinnor, ökad förkylning och uppkomsten av statisk elektricitet. Loggermätningarna för relativa fuktigheten varierade mellan cirka 20–40 %. Det går även att urskilja att värdena under två dagar ligger under 30 %, och i övriga dagar överstiger värdena 30 %.

Tillluftens koldioxidhalt har ett uppmätt värde på 669 ppm, vilket är ett högt värde på koldioxidhalt i tilluften eftersom de uppmätta värdena i rummen är lägre. Enligt

manualen behöver CO₂ sensorn högst 60 sekunder för att klimatisera sig. Tilluftsflödet ligger på 28,4 l/s och uppfyller boverkets krav på 0,35 l/s kvadratmeter + 7 l/s per person.

Beräkningen av PPD och PMV index utfördes med hjälp av Danvaks beräkningsmetod och PPD hamnade på 5 % vilket är under det högsta tillåtna värdet på 10 %. Detta går att jämföra med det beräknade värdet från IDA-ICE som påvisar en högre andel missnöjda. Vidare undersöktes det lokala ventilationsindexet men fanns inte tillgängligt att beräkna då det inte var möjligt att mäta koldioxidhalten i frånluften.

Enkätundersökningen visar på att 75 % brukare upplever instängd dålig luft och torr luft, och 50 % upplever statisk elektricitet. Detta kan bero på de låga värdena på relativa luftfuktighet som kan konstateras med hjälp av de fysiska mätningarna och loggermätningarna. Det rapporteras även problem så som för hög, varierande och för låg rumstemperatur. Den höga rumstemperaturen inträffar antagligen under sommaren och den lägre rumstemperaturen under vinterhalvåret. Ett flertal besvär och symptom rapporterades in i enkätundersökningen, såsom bland annat trötthet och huvudvärk och rodnad på huden med mera.

Generellt sett går det att konstatera att IDA ICE simuleringarna är snarlika med de momentana fysiska mätningarna, dock avviker lufttemperatur och operativ temperatur i de fysiska mätningarna med små decimaler. I IDA ICE är yttemperaturerna minimalt sett högre jämfört med de fysiska mätningarna.

För att finna en god matchning mellan loggermätningarna och IDA-ICE, utfördes fyra olika simuleringsfall. Det bästa fallet valdes sedan för vidare jämförelsestudier. Den simulerade temperaturen i IDA ICE ligger mellan de två olika loggermätningarna och skiljer sig med ett fåtal decimaler. Topparna och dalarna är svåra att förutse då det troligen inte befann sig personer i rummet och detta kan bero på t.ex. värmeavgivning från utrustning i rummet och solinstrålning.

Den relativa luftfuktigheten skiljer sig stort mellan loggermätningar och IDA ICE, med 30 procentenheter mellan högsta och lägsta värdet. Detta beror troligtvis på relativa fuktigheten som påverkas av utomhusklimatet då de olika metoderna utgår från olika utomhustemperaturer.

Ett antal olika fall analyserades i IDA ICE för att studera värsta fallet för hela året. Det värsta fallet blev under sommarmånaderna utan någon solavskärmning eller gardiner och med ett uppmätt lägre flöde på 28,4 l/s. Där lufttemperaturen uppkom till 29,7 °C och högsta rekommenderade temperatur är 26 °C. Den operativa temperaturen uppkom till 30,1 °C, vilket också är över det tillåtna. Detta går också att konstatera med enkätundersökningarna där flera klagade på att det var alldeles för varmt. Värsta fallet gav också ett PPD värde på 51,2 % missnöjda. Den globala uppvärmningen gör att temperaturen stiger, vilket leder till att somrarna blir varmare. Detta leder i sin tur till att temperaturen inomhus blir högre och resulterar i större andel missnöjda brukare. För att motverka temperaturökningar i inomhusklimatet, behövs alltid förbättringsåtgärder som exempelvis solskydd.

Sedan simulerades ett antal förbättringsåtgärder såsom passiv klimatisering med gardiner och heltäckande markis och ett ökat flöde på CAV-systemet. Den åtgärden som fungerade bäst var ett ökat flöde i CAV-system, men å andra sidan är det mer kostnadseffektivt att välja markiser alternativt gardiner för att minska på solinstrålningen.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att byggnad 22 har en del brister, framför allt under sommarhalvåret när det blir en hög inomhustemperatur. Under vinterhalvåret ligger värdena på en tillfredställande nivå enligt loggermätningarna, momentana mätningar och IDA ICE. Dock rapporteras det av brukarna att det finns problem med varierande och låg inomhustemperatur. Detta hade kunnat undersökas ytterligare med hjälp av att logga den operativa temperaturen och lufttemperaturen under en längre tidsperiod.

Slutligen överensstämde resultaten mellan IDA ICE och loggermätningar och de fysiska momentana mätningarna relativt bra, då det endast skiljer sig några decimaler. I enstaka fall kan det skilja 1–2 °C, men detta har ingen större påverkan på den termiska komforten. Den stora skillnaden som noterades mellan IDA ICE och loggermätningar var att relativa luftfuktigheten skiljde sig 30 procentenheter. Detta kan bland annat bero på utomhusklimatet.

5.1.2 Byggnad 1307

Den högsta koldioxidhalten på loggermätningar uppgår till cirka 900 ppm och beror på människans närvaro. Under arbetsdagarna går det att urskilja att koldioxidhalten ökar till cirka 700–800 ppm för att sedan gå ner och stabilisera sig runt 400 ppm under helg och kvällar.

Lufttemperatur på de fysiska mätningarna varierar mellan cirka 20,6–22 °C och ligger inom det rekommenderade intervallet. Möjligtvis går det att konstatera att det är en aning kallt då det ligger i nederkant inom intervallet. Lufttemperaturen enligt loggermätningarna varierar mellan cirka 19,5–22,2 °C. De lägsta värdena i loggermätningarna ligger under kvällar och helger, detta eftersom det troligtvis inte befinner sig någon person i rummet som avger värme. De låga mätningarna på både fysiska och loggermätningarna skulle kunna bero på att radiatorn har varit avstängd. Detta noterades under de fysiska mätningarna den 14 december och det är svårt att dra slutsatser om radiatorn varit på eller av under resten av perioden som loggermätningarna utfördes. Den operativa temperaturen ligger mellan 21,2–22,5 °C vilket är inom det rekommenderade intervallet. Både yttemperaturer och strålningsasymmetrier ligger också inom de rekommenderade värdena.

Lufthastigheterna är högre än det rekommenderade intervallet. Dessa värden är endast det minimala- och maximala värdena och kan ha påverkats av den mänskliga faktorn. Orsaken kan vara att personer har påverkat luftrörelser i rummet under början och slutet av mätningarna. Det var inte heller möjligt att undersöka alla värdena som loggades

under 10 minuter, eftersom mätinstrumentet hade problem med uppkopplingen till datorn. Detta kan vara ett drivrutinsfel och försöktes redas ut löpande men olyckligtvis löstes det inte. Minimivärdena var högre än förväntat, vilket möjligen kan bero på kalibreringsfel.

Den relativa luftfuktigheten varierar mellan 24,9–28,5 %. Samtliga momentana värden på relativa fuktigheten understiger det rekommenderade intervallet. Enligt loggermätningarna ligger majoriteten av relativa fuktigheten under perioden över 30 % och endast en dag understiger 30 %. Samma resonemang från byggnad 22 gäller i detta fall.

Beräkningen av PPD och PMV index utfördes med hjälp av Danvaks beräkningsmetod och PPD hamnade på 6,1 % vilket är under det högsta tillåtna värdet på 10 %. Detta är ett bra värde då det är svårt att understiga 5 % andel missnöjda.

Enkätundersökningen visar på både varierande rumstemperaturer och för låga rumstemperaturer. Detta går också att utläsa från de fysiska mätningarna och loggermätningarna, då dessa också hade låga lufttemperaturer. Det rapporterades också att brukarna upplevde besvär såsom trötthet, tung i huvudet och koncentrationssvårigheter. Detta behöver inte bero på inomhusklimatet utan kan möjligtvis kopplas till verksamheten och arbetsbelastningen, eftersom många strålningsfysiker arbetar där och kanske har ett psykiskt krävande arbete med mycket datoranalyseringar. Andra besvär såsom torr hud, irriterad, rinnande näsa och torr och kliande rapporterades av brukarna. Detta skulle kunna kopplas till de uppmätta låga relativa fuktighetsnivåerna.

IDA ICE och fysiska mätningar är relativt snarlika, dock visar IDA ICE resultat på att både lufttemperatur och operativa temperatur och yttemperaturerna är lite högre jämfört med de fysiska mätningarna. Denna skillnad är endast minimal gällande lufttemperatur och operativ temperatur, då det skiljer sig enbart ett fåtal decimaltal. Gällande yttemperaturerna är skillnaderna någorlunda större med cirka två graders skillnad. PPD enligt IDA ICE beräknades till 8,97 % jämfört med det beräknade fysiska värdet som uppkom till 6,1 %. Detta kan möjligtvis bero på att beräkningen av PPD från fysiska mätningarna endast tog hänsyn till ett fåtal värden, medan i IDA ICE beräknades genomsnittet under perioden. Luftcirkulationen i rummet skulle kunna ha en negativ påverkan på de fysiska mätningarna angående PPD.

Resultaten från loggermätningarna för temperaturer jämfördes med resultatet från IDA ICE. Det fanns både likheter och skillnader mellan dessa. Temperaturtopparna är snarlika mellan IDA ICE och loggermätningar, bortsett från en dag under helgen då IDA ICE beräknar högre temperatur. Detta kan bero på IDA ICE räknar med en molnighet på ca 10 %, medan i verkligheten var molnigheten på 100 %.

Skillnaden är främst under en dag, då loggermätningarna har en lägre temperatur jämfört med IDA ICE. Detta skulle kunna vara att radiator har varit avstängd under tillfället alternativt kan det finnas andra orsaker som inte har identifierats.

Den relativa luftfuktigheten skiljer sig stort mellan loggermätningar och IDA ICE, med 30 procentenheter mellan högsta och lägsta värdet. Detta beror troligtvis på relativ fuktigheten som påverkas av utomhusklimatet då dessa två metoder utgår från olika utomhusklimat. Skillnaderna beror på att IDA ICE:s klimatdata baseras på medelvärden från flera år och loggermätningarna baseras på det faktiska klimatet under den specifika mättningsperioden.

Det går att urskilja att koldioxidhalter i loggermätningar är avsevärt högre än IDA ICE. Topparna på koldioxidhalter enligt IDA ICE ligger omkring 490 ppm, medan loggermätningen ligger runt 700–800 ppm. Detta kan bero på till exempel att VAV-systemet är inställt på 100 % alla dagar i IDA ICE, men i verkligheten kan det skilja sig åt. Andra orsaker till skillnaderna skulle kunna vara osäkerheten kring antal personer som har befunnit sig i rummet, samt luftflödena i rummet. Det skulle således vara intressant att logga luftflödena under en längre period för att se hur detta påverkar resultatet. Det är också svårt att förutse när ventilationssystemet går igång och vid vilken koldioxidhalt som systemet går igång. Därför hade en intressant aspekt varit att analysera styrningen av ventilationssystemet.

Ett antal olika fall analyserades i IDA ICE för att studera värsta fallet för hela året. Det värsta fallet var utan något solskydd, under sommarhalvåret, där lufttemperaturen uppkom till 26,3 °C och operativ temperatur till 27,2 °C, vilket är över det tillåtna intervallet. PPD-index uppgick till 11,9 % missnöjda, vilket är lite högre än gränsen på 10 %. Sedan simulerades ett ytterligare fall med passiv solavskärmning i form av gardiner för att sänka ner temperaturerna och få godkända värden. I detta fall uppnåddes ett behagligt inomhusklimat med ett PPD-index på 5,6 % andel missnöjda brukare och således antogs det inte behövas simulera ytterligare fall.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att byggnad 1307 har ett relativt bra inomhusklimat där det värsta fallet blir under sommarmånaderna men inga åtgärder behöver vidtas förutom användningen av gardiner. De fysiska mätningar som utfördes, både loggermätningar och momentana mätningar påvisar att det är en god termisk komfort under vinterhalvåret. Möjligtvis går det att dra slutsatser att temperaturerna ligger inom den nedre delen av det rekommenderade intervallet, vilket leder till att det eventuellt skulle kunna bli lite kallt under vinterhalvåret. Detta kan styrkas med hjälp av enkätundersökningar då ett flertal personer upplevde varierande och låga rumstemperaturer. För att kunna styrka detta ytterligare gällande den låga temperaturen, hade det behövts loggermätningar under en längre tidsperiod.

Resultaten från IDA ICE, loggermätningar och de fysiska momentana mätningar stämmer relativt bra med varandra, där de flesta temperaturtoppar- och dalar matchar. Dock finns det skillnader i vissa temperaturtoppar- och dalar. Skillnaderna kan bero på flera faktorer som diskuteras i tidigare avsnitt. Den stora skillnaden som noterades mellan IDA ICE och loggermätningar var att relativa luftfuktigheten skiljde sig 30 procentenheter. Detta kan bland annat bero på utomhusklimatet. Men för att kunna genomföra temperaturprognoser i byggnader, går det att använda IDA ICE som tillförlitligt beräkningsverktyg.

5.2 Utvärdering av metoderna

Det finns både för- och nackdelar med de olika metoderna som använts i examensarbetet. Fördelar med IDA ICE som har upptäckts i rapporten är till exempel att det stämmer någorlunda överens med verkligheten angående temperaturopppar och dalar, trots antaganden som används på indata. Detta leder till att det går att prognosera på hur det termiska inneklimatet förväntas bli med relativt hög överensstämmelse. Det går också att simulera ett antal åtgärder som påvisar eventuella förbättring eller försämring av åtgärden. Detta är värdefullt att ta reda på innan man exempelvis projekterar en byggnad eller tar ett beslut vid eventuella renoveringsbehov.

Nackdelar med IDA ICE kan vara att förväntningar till trovärdiga resultat är allt för höga och att det inte är 100% säkert att det påvisar några värsta tänkbara scenarier. Flera andra nackdelar kan vara att det inte togs hänsyn till skuggningseffekter från omkringliggande byggnader och att klimatfilerna inte alltid överensstämmer med verkligheten. Det går visserligen att lägga till omkringliggande byggnader i IDA ICE, men i detta examensarbete valde vi inte att fokusera på skuggningseffekter. IDA ICE:s klimatdata baseras på medelvärde från flera år. Om det är extremt kallt eller varmt under ett visst år, så kan det leda till att IDA-ICE beräknar temperaturen med en missvisande temperatur. Just för vårt fall fanns enbart klimatfiler från Malmö utifrån ASHRAE. Däremot på vissa andra orter såsom Stockholm går det att utgå ifrån SMHI klimatfiler. Ytterligare en till negativ aspekt med IDA ICE är att den relativa fuktigheten i beräkningsmodellen skiljde sig stort med det uppmätta resultatet.

Fördelar med de fysiska momentana mätningarna är att de ger en indikation på om fortsatt utredning behöver göras och hur det aktuella inomhusklimatet är inom en begränsad tid. Det är också relativt lätt och tidseffektivt att utföra mätningarna i en byggnad med problem. Resultaten i denna rapport påvisar att de momentana mätningarna kan överensstämma med modelleringarna. Nackdelar är att mätningarna ger en ögonblicksbild av inomhusklimatet och att det inte är representativt för en längre period och utförs i tom rum. Till exempel om momentana mätningar indikerar på ett bra resultat avseende på inomhusklimatet eller utomhusklimat och det kan fortfarande behövas en ytterligare utredning för att bekräfta att det inte uppstår problem under andra tidsperioder eller belastningar. Den mänskliga faktorn behöver också tas i beaktning när dessa mätningar utförs.

Fördelar med loggermätningar är att de registrerar klimatparametrarnas värden under en längre period vilket kan ge en bra helhetsbild på inomhusklimatet. Nackdelar med loggermätningar är att det tar lång tid att få ett färdigt resultat. Det är också svårt att veta hur stor mänsklig närvaro som påverkar loggermätningar. Ett framtidsscenario skulle kunna vara att införa IR-kamera med AI som kan räkna ut hur många personer som befinner sig i rummet.

Gällande enkätundersökningar ger det bra indikation på brukarnas upplevelse av den termiska miljö och vilka hälsobesvär som de upplever på grund av inomhusklimatet. Det påvisar även om en fortsatt utredning behöver göras. Nackdelarna är att

enkätundersökningen behöver större antal deltagare för att ge ett rättvist resultat. Det är också svårt att veta om deltagarna är objektiva och upplevelsen av det termiska klimatet kan skilja sig från person till person. Det kan också vara att personer mår dåligt av andra skäl än byggnadens inomhusklimat.

5.3 Felkällor

Under själva uppbyggnaden av modellerna i IDA-ICE har ett flertal antaganden gjorts gällande bland annat materialskikten, vägg tjocklekar, mellanbjälklag med mera. Detta på grund av bristande underlag på byggnaderna och rummen. Den ena byggnaden byggdes år 1915, och är således mer än 100 år gammal och mycket kan ha hänt under dessa år. Trots att ingenjörsmässiga och rimliga antaganden har försökts uppnås så har det ibland behövts göra grova antaganden för att komma vidare med simuleringen. Om dessa antaganden mot förmodan inte är tillräckligt korrekta, så finns det en risk att IDA-ICE resultatet har påverkats. Det har också varit svårt att simulera och anta närvaron och de interna lasterna i rummen.

På loggerdatan från byggnad 1307, går det att urskilja att det har befunnits sig personer i rummet eftersom koldioxidhalten har ökat drastiskt under vardagarna under arbetstid. Men det är svårt att dra slutsatser om exakt hur många personer som befunnit sig i rummet och under vilken tidsperiod. Likaså är det också problematiskt att veta vilka interna laster som har påverkat. Till exempel om lampor och annan utrustning varit igång under arbetstider eller under en längre eller kortare period. Angående byggnad 22 så dras slutsatsen att ingen person har närvarat i rummet under loggermätningarna, eftersom koldioxidhalten ligger runt 400 ppm. Detta i sin tur ligger till grund för IDA-ICE simuleringen, då det valdes att inte simulera någon mänsklig närvaro i rummet. Således valdes det endast ett antal begränsade interna laster i detta rum. Det går också att konstatera att det är skillnad i IDA-ICE:s klimatfiler och det faktiska klimatet, detta kan också ha påverkat vid jämförelsen mellan IDA-ICE och de fysiska mätningarna, vilket också diskuteras mer ingående i rapporten. Radiatorns effekt uppskattades också med hjälp av standardvärden, detta kan ha påverkat resultatet då radiatorns effekt har påverkan på bland annat inomhustemperaturen.

Det finns ett antal felkällor och andra faktorer som kan ha påverkat resultatet av de momentana mätningarna som har utförts i detta examenarbete. Eftersom mätningarna gjordes under en begränsad tidsperiod (10 min) för varje höjd och mätpunkt så har utrustningen en begränsad tid att anpassa sig till omgivande klimat. När utrustningen skulle omplaceras till nästa höjd/mätpunkt, kan den mänskliga närvaron i rummet eventuellt ha påverkat mätningarna. Detta gäller speciellt faktorer så som temperaturen och lufthastigheten. Aktivitetsnivån precis innan mätningarna gjordes är också svårt att förutse, då vi inte har någon uppfattning om hur många personer som vistades i lokalen precis innan vi kom dit. På grund av att dörren in till rummen som mätningarna gjorts i låste sig automatiskt när den stängdes, placerades det en pappersbit mellan låset så att den inte låste sig automatiskt. Detta kan ha påverkat mätningens resultat, då det finns en risk att dörren inte varit helt stängd under vissa av mätningarna.

5.4 Framtida utvecklingsmöjligheter

Under arbetets gång hittades flera spännande områden för framtida utveckling. Ett exempel är att undersöka köldbryggors påverkan på resultaten av simuleringarna för att uppnå ett ännu mer verklighetsbaserat resultat med mer matchande grafer med loggermätningar. Utmaningen har dock varit att anta köldbryggornas storlek, omfattning och påverkan på grund av bristfällig information, därav har köldbryggorna inte beaktats i examensarbetet. Andra aspekter som kan undersökas är byggnadernas lufttäthet och mängden luftläckage i kontorsrummen, genom till exempel tryckprovning, för att se om luftläckage påverkar klimatparametrarna. En annan intressant aspekt är att placera ut loggermätare under en längre period för att studera hur den termiska komforten förändras över tid och möjligen märka om det kommer in personer i rummet som avger värmestrålning. En ytterligare förbättringsmöjlighet är att genomföra en större enkätundersökning med minst 15 deltagare för att få ett mer rättvist resultat och en bättre indikation av inomhusmiljöns tillstånd.

Eftersom hela examensarbetet fokuserar på att undersöka den termiska komforten i byggnaderna, hade det varit intressant att även undersöka energianvändningen för byggnaderna. Detta skulle exempelvis ge insikter i om byggnaderna är energieffektiva eller inte och eventuellt kunna kopplas till den termiska komforten för att bredda perspektivet ännu mer. Dessutom hade det varit intressant att analysera energiförluster i byggnaderna för att utreda eventuella åtgärder som kan vidtas för att minimera förlusterna. En ytterligare förbättring skulle kunna vara att integrera mer detaljerade ventilationssystem i IDA ICE. Trots att programmet erbjuder ett verktyg för att designa ett eget ventilationssystem, hade tillgången till denna funktion varit begränsad i detta examensarbete. En annan intressant aspekt skulle kunna vara att genomföra denna undersökning under sommaren, då det är mycket varmare och enkäten och IDA ICE beräkningar visar att det största problemet med höga temperaturer uppstår under sommaren.

6 Slutsatser

Vilka skillnader och likheter finns det mellan de uppmätta fysiska mätningarna och simuleringar från IDA ICE med avseende på termisk komfort?

Resultatet av examensarbetet visar på ett flertal skillnader och likheter mellan fysiska mätningar och IDA ICE-simuleringar. De likheterna som går att urskilja är att temperaturparametrarna stämmer någorlunda överens med varandra. Extremvärden såsom topparna och dalarna på temperaturerna matchar relativt bra mellan IDA ICE och fysiska mätningar trots att beräkningsmodellen hade en klimatfil baserat på klimatet mellan år 1986 och år 2010, och det skiljde sig endast enstaka decimaltal. Likaväl gäller det för de momentana mätningar som ligger inom samma intervall som IDA ICE momentana resultat.

Dock finns det skillnader i vissa temperaturtoppar- och dalar. Dessa kan bero på flera faktorer som diskuteras såsom skillnader i utomhusklimatfiler. Men för att kunna genomföra temperaturprognoser i byggnader, går det att använda IDA ICE som tillförlitligt beräkningsverktyg.

Andra skillnader som noterats är att relativa fuktigheten och koldioxidhalter skiljer sig avsevärt mellan IDA ICE och de fysiska mätningar, detta kan bero på indata angående personlasten i IDA ICE. Den relativa fuktigheten beror till stor del på utomhusklimatet, vilket leder till att utomhusklimatet måste tas till beaktning.

Vilka problem har vi idag med de två undersökta byggnaderna avseende det termiska klimatet och vilka problem kan uppstå i framtiden?

Den genomförda enkätundersökning påvisar ett flertal problem med den termiska komforten framför allt i byggnad 22. Besvaren som rapporterades var bland annat instängd dåligt, luft, torr luft, statisk elektricitet, och varierande höga och låga temperaturer. Besvaren såsom elektricitet och torr luft kan visserligen kopplas till resultaten på mätningar som påvisar en låg relativ luftfuktighet. De höga temperaturerna kan styrkas med hjälp av IDA ICE simuleringar under sommarhalvåret då temperaturerna översteg det rekommenderade intervallet. Eftersom den globala uppvärmningen ökar med åren, kommer temperaturerna inomhus troligtvis också att öka om inte förbättringsåtgärder utförs. Enkätundersökningarna för byggnad 1307 påvisar att brukarna upplever varierande lufttemperatur med bland annat för låga inomhustemperaturer under vintertiden. Detta går också att utläsa från de fysiska momentana mätningar och loggermätningarna som ligger i den nedre delen av det rekommenderade intervallet. Dessa temperaturer uppkommer troligtvis under vinterhalvåret.

Vilka mätningar behöver utföras för att undersöka termisk komfort?

För att kunna genomföra tillförlitliga mätningar för det termiska inomhusklimatet krävs det olika mätinstrument som mäter ett flertal inomhusklimatparametrar. Viktiga parameter för momentana mätningar är bland annat lufttemperatur, operativ temperatur, relativ fuktighet, lufthastighet, koldioxidhalter, och ytemperaturer. En rimlig metod som används för att mäta momentana mätningar är med hjälp av ISO 7726 och 7730 som tar hänsyn till vistelsezonens placering och höjder. Dessutom kan momentana mätningar behöva kompletteras med loggermätningar som mäter parametrarna under en längre tidsperiod för att få en helhetsbild av det termiska inneklimatet.

Vilka för/nackdelar har metoderna som användes i detta examensarbete?

Det finns flertal för- och nackdelar med metoderna i examensarbetet. Fördelarna är bland annat att IDA ICE prognoser stämmer överens relativt med verkligheten angående temperaturparametrar. Detta leder till att det går att prognostisera hur det termiska klimatet i framtida scenarier blir och att simulera förbättrings- och renoveringsåtgärder. Fördelar med de fysiska momentana mätningarna är att de är en indikation på om fortsatta utredningar behöver utföras. Det är också relativt lätt och tidseffektivt att utföra dessa mätningar. Det positiva med loggermätningar är att de ger en bättre helhetsbild av inomhusklimatet under en längre period. Enkätundersökningar ger en bra bild av hur brukarna upplever det termiska klimatet och kan således beskriva om en fortsatt utredning behöver göras eller inte. Trots alla dessa fördelar har det noterats ett antal nackdelar. Nackdelar med IDA ICE är att brist på tillräckliga indata kan leda till ett mindre verklighetsförankrat resultat. Momentana mätningar ger endast ögonblicksbilder på hur det termiska klimatet är just i ett visst tillfälle, och behöva inte betyda att det representerar det faktiska tillståndet under en längre period. Till skillnad från de momentana mätningarna tar loggermätningar längre tid att utföra men visar ett bättre resultat på inomhusklimatet. Enkätundersökningar behöver ett stort antal deltagare för att påvisa ett rättvist resultat, det är också svårt att veta om deltagarna är objektiva och att upplevelser kan skilja sig från person till person.

Vilka åtgärdsförslag behöver utföras för att förbättra den termiska komforten i de två undersökta byggnaderna?

För att förbättra den termiska komforten i de lokalerna som undersökts, har ett antal förbättringsåtgärder simulerats i IDA ICE. Förbättringsåtgärder bygger på att sänka inomhustemperaturer under sommarhalvåret. Därför valdes följande åtgärder, insättning av heltäckande gardiner, markiser och ökat flöde i CAV-systemet. Resultatet av detta blev ett bättre inomhusklimat med värden inom de rekommenderade intervallen.

7 Referenser

Abel, E., & Elmroth, A. (2013). Byggnaden som system. 3:e upplaga, Lund: Studentlitteratur.

Andersson, K. (2010). *Enkätundersökning av inomhusklimat i Västerport. Örebro: Universitetssjukhuset Örebro. AMM-MM-2010/14/KA.*

Arbetsmiljöverket, (2020). Arbetsplatsens utformning (AFS 2020:1), föreskrifter. Tillgänglig från:
<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-afs2020-1.pdf> [2023-11-07]

Arbetsmiljöverket, (2022). Fördjupning om temperatur och klimat
Tillgänglig från:
<https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/fordjupning-om-temperatur-och-klimat/> [2023-11-07]

Arbetsmiljöverket, (2023a). Risker när det är kallt
Tillgänglig från:
<https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/risker-nar-det-ar-kallt/> [2023-11-14]

Arbetsmiljöverket, (2023b). Temperatur och klimat
Tillgänglig från:
<https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/> [2023-11-14]

Arbetsmiljöverket (2023c). Fördjupning om kylda livsmedelslokaler.
Tillgänglig från:
<https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/kylda-livsmedelslokaler/fordjupning-om-kylda-livsmedelslokaler/> [2023-11-14]

Björk, C., Kallstenius, P., & Reppen, L. (2021). Så byggdes husen 1880–2020. Utg. 8. Stockholm: AB Svensk byggtjänst

Block, M., & Bokalders, V. (2023). Byggekologi – kunskaper för ett hållbart byggande. Utg. 4. Stockholm: AB Svensk byggtjänst

Boverket (2022). Din hälsa kan påverkas av det termiska klimatet
Tillgänglig från:
<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/konsekvenser-samhallet/konsekvenser-halsan/halsokonsekvenser-av-termisk-komfort/> [2023-10-06]

Boverket (2023). Luft- och strålningstemperatur.
Tillgänglig från:

https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/termiskt-klimat/matning-termisk-komfort/luft_och_stralningstemperatur/
[2023-11-16]

Boverket (2023). Termiskt klimat

Tillgänglig från:

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/termiskt-klimat/> [2023-11-16]

Bring, A., Sahlin, P., & Vuolle, M. (1999). Models for Building Indoor Climate and Energy Simulation - A Report of Task 22 Building Energy Analysis Tools (Issue 1.02). Stockholm: Kungliga tekniska högskola

Bülow-Hübe, H, Gao, C., Tillberg, M., Warfvinge, C., & Persson, M. (2021). Nuläge termisk komfort – en kunskapsmanställning. Tillgänglig från:

https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/119944058/Nul_ge_termisk_komfort.pdf
[2024-05-02]

Danvak Grundbog – 4. Udgave, emne: natur og teknik

Equa (u.å). IDA Indoor Climate and Energy

Tillgänglig från:

<https://www.equa.se/se/ida-ice> [2023-10-06]

Europeiska kommissionen. (u.å). Varför förändras klimatet?

Tillgänglig från:

https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_sv#global-uppv%C3%A4rming [2023-10-06]

Folkhälsomyndigheten (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*.

FoHMFS 2014:18, Folkhälsomyndighetens författarsamling, Folkhälsomyndigheten

Folkhälsomyndigheten (2022). Tillsynsvägledning om temperatur inomhus.

Tillgänglig från:

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/temperatur/> [2023-11-07]

Folkhälsomyndigheten (2023a) Råd vid värmeböljor till personal inom skola och fritidshem.

Tillgänglig från:

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/94a34da654984cd8993bee903f524ded/rad-varmeboljor-skola-fritidshem.pdf> [2023-11-07]

Folkhälsomyndigheten. (2023b). Vägledning om ventilation.

Tillgänglig från:

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/ventilation/> [2023-11-07]

Gyproc (u.å.) Gyproc GNE 13 Normal Ergo

Tillgänglig från:

<https://www.gyproc.se/produkter/gipsskivor-och-andra-byggskivor/standardskivor/gyproc-gne-13-normal-ergo#marketing-description> [2024-02-06]

Intab (2020). Inomhusklimat. En manual från Intab.

Tillgänglig från:

https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/static.wm3.se/sites/217/media/47705_Inomhusklimat.pdf

InventiAir (2017). Energibesparingar inomhusklimat. Resultat från mätningar vid högskolan i Gävle. Högskolan i Gävle.

Tillgänglig från:

<https://inventiair.se/wp-content/uploads/2017/12/Resultat-HiG-171206.pdf> [2023-12-12]

..

--

Isover (u.å.a). ISOVER Stålregelskiva 33 c450

Tillgänglig från:

<https://www.isover.se/produkter/isover-stalregelskiva-33-c450#descriptions> [2024-02-06]

Isover (u.å.b). ISOVER ROBUST Takskiva

Tillgänglig från:

<https://www.isover.se/produkter/isover-robust-takskiva> [2024-02-06]

Isover (u.å.c) ISOVER ROBUST Takfallsskiva.

Tillgänglig från:

<https://www.isover.se/produkter/isover-robust-takfallsskiva#descriptions> [2024-02-06]

Jonsson, A. (2019) *Olidliga temperaturer sänker lärarna*, Skolvärden

Tillgänglig från:

<https://skolvarlden.se/artiklar/olidliga-temperaturer-sanker-lararna> [2023-10-04]

Norbergh, E. (2018) *Skola stänger tidigare på grund av värmeböljan – ”nästan 30 grader i flera klassrum”* SVT.

Tillgängligt från:

<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/sormland/skola-stanger-pa-eftermiddagarna-nastan-30-grader-i-flera-klassrum> [2024-03-14]

Promat (u.å) Promat MASTERSHIELD Vindskyddssystem

Tillgänglig från:

<https://docplayer.se/9831810-Www-promat-se-promat-mastershield-vindskyddssystem-brandklass-k-2.html> [2024-02-16]

RISE (2023). Utmatande mäta yttemperatur.

Tillgänglig från:

<https://www.ri.se/sv/berattelser/utmanande-mata-yttemperatur> [2023-11-12]

Schaffer, M., Bugenings, L. A., Andersen, K. H., & Melgaard, S. P. (2023). Experience-based user guide for IDAICE. Department of the Built Environment, Aalborg University. DCE Lecture notes No. 83 [2024-02-19]

Skolverket (u.å) Undervisningstid, lärotider och schema

Tillgänglig från:

<https://www.skolverket.se/regler-och-ansvar/ansvar-i-skolfragor/undervisningstid-larotider-och-schema> [2023-10-06]

Skolverket (2021) Ändrade lärotider och utbildningstapp – intervjuer med huvudmän med anledning av covid-19 pandemin, Rapport # 2020:1056

Tillgänglig från:

<https://www.skolverket.se/getFile?file=7817> [2023-10-04]

Socialstyrelsen (2005). Temperatur inomhus

Tillgänglig från:

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/a22abd3cdc1042e195d50fe4484a7fb9/temperatur-inomhus.pdf> [2023-12-14]

Sundell, Jan (m.fl) (1997). BFR A8:1997. Problem med inomhusklimatet: utredningar, mätningar, åtgärder. Stockholm: Byggeforskningsrådet

Svenska institutet för standarder [SIS] (2008). Inomhusluft - Del 8; Bestämning av luftens lokala medelåldrar i byggnader för karaktärisering av ventilationsförhållandena (ISO 16000-8:2007, IDT)

Tillgänglig från:

<https://www.sis.se/produkter/miljo-och-halsoskydd-sakerhet/luftkvalitet/omgivningsluft/ssiso1600082008/> [2023-12-12]

Svenska institutet för standarder [SIS] (2018). Byggnaders energiprestanda – Ventilation för lokalbyggnader (ej bostäder) Del 3: – Funktionskrav på ventilations- och Luftkonditioneringsystem.

Tillgänglig från:

<https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/skydd-av-och-i-byggnader/varmeisolering/ss-en-16798-32018/> [2023-12-12]

Svenska institutet för standarder [SIS] (2002) Ergonomi för termiskt klimat – Instrument för mätning av fysiska storheter (ISO 7726:1998).

Tillgänglig från:

<https://www.sis.se/api/document/get/32462> [2023-12-12]

Theдин, R. (2018) *Malmöskola tvingades stänga på grund av värmen*, SVT.

Tillgängligt från:

<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/skane/malmoskola-tvingades-stanga-parund-av-varmen> [2024-03-14]

Thornéus, E. (2018) Skola stänger på grund av värmen – och sommaren håller i sig

Tillgänglig från:

<https://www.aftonbladet.se/nyheter/a/p6vjOG/skola-stanger-pa-grund-av-varmen--och-sommaren-haller-i-sig> [2023-10-04]

VVS tekniska föreningen, (2006). R1 - riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav. Stockholm: EMTF förlag

Warfvinge, C. Dahlblom, M. (2014). Projektering av VVS-installationer. 4:e upplaga, Studentlitteratur.

Wargocki, Pawel & Wyon, David. (2007). The Effects of Moderately Raised Classroom Temperatures and Classroom Ventilation Rate on the Performance of Schoolwork by Children (RP-1257). HVAC&R Research. 13. 193-220. 10.1080/10789669.2007.10390951.

Wargocki, Pawel & Wyon, David. (2016). Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. Building and Environment. DTU-ICIEE. Technical University of Denmark.

Tillgängligt från:

https://www.researchgate.net/publication/310387641_Ten_questions_concerning_thermal_and_indoor_air_quality_effects_on_the_performance_of_office_work_and_schoolwork [2024-03-14]

Bilagor

Bilaga A

INOMHUSKLIMAT		MM 040 NA	Namn
Arbetsmiljö		Datum	
NORDISK VERSION		år mån dag	Företag/institution
7-11	Löpnr	Yrke	Avdelning
12-21	Användare	Grupp	
Ifylles av handläggaren			

Med det här formuläret vill vi försöka få fram hur Du upplever inomhusklimatet och om Du har besvär eller symtom.

BAKGRUNDSFAKTORER

22-23	Födelseår	19		Yrke
24	Kön	man	<input type="checkbox"/>	kvinna	<input type="checkbox"/>
25	Röker Du?	Ja	<input type="checkbox"/>	Nej	<input type="checkbox"/>
				Hur länge har Du varit på Din nuvarande arbetsplats?	<input type="text"/> år

ARBETSMILJÖ

	Ja, ofta (varje vecka)	Ja, ibland	Nej, aldrig
28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ARBETSFÖRHÅLLANDEN

	Ja, oftast (1)	Ja, ibland (2)	Nej, sällan (3)	Nej, aldrig (4)
40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Andersson K, Stridh G. Byggnader med störningar i inomhusklimatet – en utredningsmodell. AMA-nytt Mark · Hus 2/90.

Andersson K, Fagerlund I, Bodin L, Ydreborg B. Questionnaire as an Instrument when evaluating Indoor Climate. Healthy Buildings' 88, vol 3, p 139-145

75-80

V.G. vänd



45

Jämförande analys av termisk komfort: Beräkningsmodellering vs fysiska mätningar

TIDIGARE/NUVARANDE SJUKDOMAR/BESVÅR

	Ja (1)	Nej (2)
1 Har Du haft eller har Du astmatiska besvär?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Har Du haft eller har Du hönsnuva?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Har Du haft eller har Du eksem?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Förekommer allergiska sjukdomar för övrigt i familjen (astma, hönsnuva, eksem)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NUVARANDE BESVÅR

Har Du under de senaste 3 månaderna haft något/några av nedanstående besvär/symtom?
(Besvara varje fråga även om Du inte haft några besvär/symtom!)

	Ja, ofta (varje vecka) (1)	Ja, ibland (2)	Nej, aldrig (3)	Om JA: Tror Du att detta beror på Din arbetsmiljö?	
				Ja (1)	Nej (2)
5-6 Trötthet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7-8 Tung i huvudet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9-10 Huvudvärk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11-12 Illamående/yrsel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13-14 Koncentrationssvårigheter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15-16 Klåda, sveda, irritation i ögonen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17-18 Irriterad, läppt eller rinnande näsa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19-20 Heshet, halsstorhet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21-22 Hosta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23-24 Torr eller rodnad hud i ansiktet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25-26 Fjällning/klåda i hårbotten/öron	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27-28 Torr, kliande, rodnad hud på händerna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29-30 Annat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

YTTERLIGARE SYNPUNKTER:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

TACK FÖR HJÄLPEN!

Bilaga B

Aktivitet	Ämnesomsättning	
	W/m ²	met
Liggande	46	0,8
Sittande, avslappnad	58	1,0
Stillasittande aktivitet (kontor, skola)	70	1,2
Stående aktivitet (affär, lätt industri)	93	1,6
Stående aktivitet (hushållsarbete, arbete vid maskin)	116	2,0
Elitsport	870	15,0

Bilaga C

Beklädning	Areal- faktor f _{cl}	Isolans I _{cl}	
		clo	m ² · K
			W
Shorts, underbukser, T-shirt, lette sokker, sandaler	1,10	0,30	0,050
Let kjole med ærmer, underkjole, strømpe- bukser, trusser	1,15	0,45	0,070
Lette bukser, skjorte med korte ærmer, underbukser, lette sokker, sko	1,15	0,50	0,080
Nederdel, skjorte med korte ærmer, trusser, strømpebuk- ser, sandaler	1,20	0,60	0,095
Nederdel, sweater med rund hals, skjorte, trusser, tykke knäsocker, sko	1,30	0,90	0,140
Jakke, bukser, skjorte, underbukser, sokker, sko	1,30	1,00	0,155
Frakke, jakke, vest, bukser, skjorte, under- tøj med korte ben og ærmer, sokker, sko	1,50	1,50	0,230