



# CHALMERS

---

## Utvärdering av inomhusklimatkrav i kontorsbyggnader

Inneklimatkravens påverkan på termisk komfort och  
energianvändning

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

LINN OLSSON  
KRISTIN STRÅLBERG



EXAMENSARBETE ACEX20-19-24

# Utvärdering av inomhusklimatkrav i kontorsbyggnader

Inneklimatkravens påverkan på termisk komfort och energianvändning

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

LINN OLSSON

KRISTIN STRÅLBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2019



Utvärdering av inomhusklimatkrav i kontorsbyggnader  
Inneklimatkravens påverkan på termisk komfort och energianvändning  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Samhällsbyggnadsteknik*

LINN OLSSON

KRISTIN STRÅLBERG

© LINN OLSSON, KRISTIN STRÅLBERG 2019

Examensarbete ACEX20-19-24  
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers tekniska högskola 2019

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Utvärdering av inomhusklimatkrav i kontorsbyggnader

Inneklimatkravens påverkan på termisk komfort och energianvändning

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

LINN OLSSON

KRISTIN STRÅLBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola

## **SAMMANFATTNING**

Idag spenderar vi i genomsnitt 90 % av vår tid inomhus i hemmet, på skolan eller på jobbet. Därav krävs ett bra inomhusklimat. Inomhusklimatet på en arbetsplats påverkar till stor del hur arbetsmiljön upplevs, hur brukarna mår och trivs. Målet är att förse byggnader med tillfredställande luftkvalité. Enligt Boverkets byggregler ska en byggnads installationer för uppvärmning, kylning och ventilation vara projekterade och utförda så att dess energiförbrukning påverkar miljöförändringarna så liten som möjligt, samtidigt som komforten för brukarna är godtagbar.

I detta examensarbete utreds vilka klimatparametrar som kan ändras i ett kontorshus i syfte att spara energi utan negativa konsekvenser för brukarna. Informationssökning genomförs för att studera tidigare forskning på vad konsekvenserna för brukarna blir av sänkta lufttemperaturer och luftflöden, samt för att ta reda på de nuvarande kraven och branschens standarder. Resultatet av människors upplevelse vid sänkta komfortkrav tas fram genom PMV- och PPD- index.

Av resultaten kan man dra slutsatsen att termisk komfort kan uppnås vid olika termiska förhållanden. Innan komfortkraven i en kontorsbyggnad kan uppdateras i syfte att minska energianvändningen, bör mer forskning göras om hur människans påverkas av inomhusklimatet.

Nyckelord: Energibesparing, ventilationssystem, driftenergi, inomhusklimat, DCV, temperatur, PMV, PPD, termisk komfort, produktivitet

Evaluation of indoor climate requirements in office buildings  
The indoor climate requirements impact on thermal comfort and energy use  
*Degree Project in the Engineering Program*  
*Civil and Environmental Engineering*

LINN OLSSON

KRISTIN STRÅLBERG

Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Building Service Engineering  
Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

Today we spent an average of 90 % of our time indoors at home, at school or at work. This requires a good indoor climate. The indoor climate at a workplace largely affects how the working environment is perceived and whether the users feel comfortable. The purpose of building system design is to provide buildings with satisfactory air quality and thermal comfort. According to Boverkets Building Regulations, a buildings installation for heating, cooling and ventilation must be designed and constructed so the energy consumption affects the environmental changes as little as possible and at the same time provide an acceptable comfort for the users.

In this thesis, the climate parameters that can be changed in an office building are investigated in order to reduce the energy use without any negative consequences for the users. Information search is conducted to study previous research on what the consequences for the users will be in the case of reduced air temperatures and airflows, and to find out the current requirements and industry standards. The result of people's experience of altered comfort requirements is produced through the PMV- and PPD-index.

According to the result, it can be concluded that thermal comfort can be achieved at different thermal conditions. Before the comfort requirements in an office building can be updated in order to reduce energy consumption, more research should be done on how the human being is affected by the indoor climate.

Key words: Energy savings, ventilation systems, operating energy, indoor climate, DCV, temperature, PMV, PPD, thermal comfort, productivity

# Innehåll

SAMMANFATTNING	II
ABSTRACT	III
INNEHÅLL	IV
FÖRORD	VI
BETECKNINGAR	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	2
1.4 Mål	2
1.5 Avgränsningar	2
2 INOMHUSKLIMAT	3
2.1 Luftkvalité	3
2.2 Termisk komfort	4
2.2.1 Aktivitet och klädsel	5
2.2.2 PVM och PPD	6
2.3 Produktivitet	8
2.4 Hälsa	10
3 STANDARD OCH NORMER	12
3.1 Myndigheter	12
3.1.1 Boverket	12
3.1.2 Arbetsmiljöverket	12
3.1.3 Folkhälsomyndigheten	12
3.1.4 Sammanställning av myndighetskrav	13
3.2 Branschstandard	13
3.2.1 Sveby	13
3.2.2 Nationella standarder	13
3.2.3 Sammanställning av branschstandard	14
3.3 Certifieringar för den svenska marknaden	14
3.3.1 Miljöbyggnad	14
3.3.2 BREEM	15
3.3.3 LEED	16
3.3.4 Sammanställning av certifieringssystemens rekommendationer	16
4 BERÄKNINGSGÅNG OCH RESULTAT	17
4.1 Koldioxidkoncentrationer	17



4.2	Komfort	18
4.2.1	PMV och PPD	18
5	DISKUSSION	23
6	SLUTSATS	26
	REFERENSER	27
	BILAGA A – BYGGNADENS ENERGIANVÄNDNING	31
	BILAGA B – FLÄKTDIAGRAM	43

## Förord

Detta examensarbete har en omfattning på 15 högskolepoäng på högskoleingenjörsutbildningen Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbetet är utfört med stöd ifrån Bengt Dahlgren AB.

Examensarbetet är en avslutande del på högskoleprogrammet Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers i Göteborg. Efter att vi båda läste kursen Installationsteknik på Chalmers under hösten 2018 väcktes vårt intresse för ämnet och med hjälp ifrån Bengt Dahlgren AB möjliggjordes följande examensarbete.

Vi vill rikta ett stort tack till Andreas Karlsson på Bengt Dahlgren AB som hjälpt oss kontinuerligt under projektets gång med sin tid, engagemang och kunskap inom ämnet. Vi vill även tacka resterande personer från Bengt Dahlgren AB som hjälpt oss att ta fram de dokument vi behövt för att fullfölja vårt arbete. Slutligen vill vi tacka samtliga på avdelningen Installationsteknik på Chalmers för deras hjälp och stöd under arbetets gång.

Examensarbetet har varit intressant, lärorikt och gett oss en större förståelse för hur viktigt ett bra inomhusklimat är för människor. Vi har också fått mer kunskap om byggnadens värmebalans, samt vilka effekter som justeringar på det tekniska systemet har på energiförbrukning och effekttopparna. Vi har lärt oss att energiberäkningar med förenklade datorprogram är komplext då man måste ta hänsyn till många olika parametrar för att få mer exakta resultat.

Handledare på Chalmers har varit Anders Trüschel och Despoina Teli och examinator har varit Torbjörn Lindholm.

Göteborg maj 2019  
Linn Olsson  
Kristin Strålberg

# Beteckningar

## Teckenförklaring

Beteckning	Förklaring	Enhet
$\rho$	Luftens densitet	kg/m <sup>3</sup>
SFP	Specifik fläkteffekt	Wm <sup>3</sup> /s
$\eta$	Verkningsgrad	%
$C_p$	Specifik värmekapacitet	J/kg·K

## Ordförklaringar:

Atemp - Tempererad area

DCV - *Demand Controlled Ventilation*

DVUT – Dimensionerande Vinter Ute Temperatur

FTX – Från- och tilluftssystem med återvinning

JSP – Johanneberg Science Park

Met – *Metabolic unit*, 1 Met motsvarar 1 kcal per kilo kroppsvikt och per timme.

Clo - Klädselns isoleringsförmåga, 1 clo motsvarar vanlig inomhusklädsel vintertid

SFP – Specifik fan power, eleffekt för fläkt i förhållande till hur mycket luft som fläkten transporterar

PMV – *Predicted Mean Vote*

PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*

PPM – *Parts Per Million*, mätvärdet och koncentrationen av koldioxidhalten i luften uttrycks i ppm, andel per miljon.



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Att minska energianvändningen i byggnader är ett aktuellt ämne inom byggbranschen. Höga krav på komfortnivån innebär höga koldioxidutsläpp, vilket inte är acceptabelt med tanke på klimatförändringarna. Enligt Boverket (2018) består bygg- och fastighetssektorn för en stor del av samhällets klimatpåverkan och under 2015 bestod de inhemska växthusgasutsläppen för cirka 18 % av Sveriges totala utsläpp. Av hela bygg- och fastighetsbranschens totala klimatpåverkan består uppvärmning av byggnader för cirka 55 %.

Ett nytt delmål för energieffektivisering redovisades i propositionen 2005/06:145 "Nationella program för energieffektivisering och energismart bebyggande" där regeringen formulerar ett förslag som lyder (Boverket, 2007);  
*"Den totala energianvändningen per uppvärmd areaenhet i bostäder och lokaler minskar. Minskningen bör vara 20 procent till år 2020 och 50 procent till år 2050 i förhållande till användningen 1995."*

Mellan år 1995–2005 har energianvändningen per uppvärmd areaenhet i bostäder och lokaler enbart minskat mellan 2–7 % (variationen beror på bl.a. om energibärarna är viktade eller ej) (Boverket, 2007). Delmålet för en energieffektivisering på 20 % till år 2020 och 50 % till år 2050 ska uppnås är på väg åt rätt håll, men går i dagsläget alldeles för långsamt för att det ska hinna uppfyllas i tid.

En viktig fråga som enligt Boverket (2007) hamnar i skymundan vid energieffektiviserings- och konverteringsåtgärder är de hälsofrågor som rör inomhusmiljön och luftkvaliteten. De är minst lika betydande som miljömässigt hållbara system för energianvändning och det är därför viktigt att jämföra de energibesparingar man kan göra med konsekvenserna för brukarna.

I kontor är det viktigt för brukarna att termisk komfort uppfylls, god hälsa för möjlighet till hög produktivitet. Luften i lokalen ska därmed vara tillräckligt ren, temperaturen hållas vid önskad nivå, samt att ventilationssystemet inte ska ge upphov till störningar såsom ljud och drag (Ekberg L., 2006). Ventilation med ett visst luftflöde är den tekniska lösningen för att få rätt luftkvalitet i kontorslokalerna. Ekberg (2006) menar att det är ointressant ur inneklimatsynpunkt med vilka medel kraven uppfylls, men att målet är att välja en teknisk lösning som möjliggör att inneklimatkraven uppfylls samtidigt som energianvändningen blir så liten som möjligt.

För att nå långsiktiga klimatmål kan det vara nödvändigt att ändra brukarnas synsätt gällande inomhusklimatet. Troligtvis är det ett större behov att ändra synsätt hos användarna som vistas och arbetar i husen än hos byggbranschen.

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka vad konsekvenserna blir för brukarna vid ändrade komfortkrav, för att kunna minska energianvändningen i kontorsbyggnader.

## 1.3 Metod

För att få mer kunskap och en bredare förståelse för ämnet genomfördes en informationssökning om inomhusklimatkrav, påverkan på byggnadens energianvändning och ventilationssystemets påverkan på det termiska klimatet. Studier gjordes även på tidigare forskning för att ta reda på vilka konsekvenser som uppstår för brukarna vid förändringar av inomhusklimatet. Informationssökningen har gjorts genom information- och datainsamling från webbsidor, litteratur från Chalmers Univeristet samt projekteringsunderlag från Bengt Dahlgren AB.

Upplevelsen av inomhusklimatet för brukarna togs fram med hjälp av ett PMV och PPD-index. Det webbaserade verktyget CBE Thermal Comfort Tool användes för att få fram upplevelsen av inomhusklimatet för brukarna. I verktyget kunde de ingående klimatparametrarna varieras och ett PMV och PPD-index utläsas.

Beräkningar på koldioxidhalten vid varierande flöden genomfördes för att kontrollera att den inte översteg det rekommenderade värdet. I Bilaga A presenteras förenklade överslagsberäkningar som genomfördes för att beräkna effekt- och energibesparingar. Ett förprogrammerat varaktighetsdiagram från Bengt Dahlgren AB användes för driftenergiberäkningar. Johanneberg Science Park hus J51 används som referensobjekt med indata till beräkningarna.

## 1.4 Mål

Målet med arbetet är att komma fram till vad förändringarna i klimatkrav kan leda till konsekvenserna för brukarnas termiska komfort. Målet är även att komma fram till hur driftenergin kan minimeras och effekttopparna reduceras, genom att gå utanför de traditionella komfortkraven för kontor.

## 1.5 Avgränsningar

Inomhusklimatet beror i helhet på ett flertal faktorer men i denna studie avgränsas inneklimatet till det termiska klimatet och luftkvalitet. Därav kommer andra aspekter som påverkar inomhusklimatet uteslutas. Enligt regeringens bedömning måste en uppföljning av klimatmålen utgå från att minska mängden levererad energi, vilket inkluderar hushållsel, verksamhetsel och driftel (Boverket, 2018). I arbetet har avgränsningar gjorts för att undersöka möjliga energibesparingar kopplat till driftel. Energiberäkningarna i Bilaga A kommer begränsas till ventilationssystemet för kontor med ett befintligt kontorshus som referensprojekt. Överslagsberäkningar har genomförts på ventilationssystemet som berör vistelsezoner för cellkontor och kontorslandskap i referensbyggnaden.

## 2 Inomhusklimat

Enligt Lars E. Ekberg (2007) bör frågan om vad den önskade miljön är i en byggnad och vilka parametrar som ska tas hänsyn till för att uppnå ett bra inomhusklimat besvaras. En annan aspekt att ta hänsyn till är vilka störningsnivåer som kan accepteras. Beroende på verksamhet och byggnad varierar svaren och det fysiska inomhusklimatet beror på användningsområdet och hur byggnaden utformas. En lyckad utformning av en byggnads inomhusklimat beror på fyra fysiska parametrar så som termiskt klimat, luftkvaliteten inomhus, ljud och ljus. Parametrar som i sin tur påverkar det termiska klimatet är lufttemperaturen, de omgivande ytornas strålningstemperaturer, lufthastigheten samt den relativa fuktigheten. Dessa parametrar beskriver hur en person upplever det termiska klimatet och dess påverkan på människans värmebalans. John L. Stoops (2007) menar att luftkvaliteten bokstavligen kan påverka liv eller död, då förorenad luft påverkar människans hälsa. Hur människan påverkas av luften samt vilken effekt som föroreningar har på människans hälsa ska tas hänsyn till när man beaktar luftkvaliteten. Ett olämpligt inomhusklimat har visat sig påverka människans komfort, produktivitet och hälsa negativt och även vissa produkter och processer som kräver speciella klimat. Men det är inte enbart dessa fysiska parametrar som påverkar människans upplevelse av inomhusklimatet, utan även de fysiologiska, psykologiska och sociala faktorerna. Detta resulterar i att den fysiska inomhusmiljön upplevs olika beroende på individen och situationen.

### 2.1 Luftkvalité

Koldioxid, fukt, lukt och partiklar är några exempel på parametrar som styr luftkvaliteten (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Innehållet av förorenade ämnen i inomhusluften bestäms av förekomsten, styrkan och arten av interna föroreningskällor som kan finnas i byggnaden. Otillfredsställande luftkvalitet kan bero på att föroreningsbelastningen i lokalen är för hög eller på att ventilationssystemet är fel dimensionerat. Ren luft ska tillföras byggnaden utan att drag uppkommer samt följa restriktioner för koldioxidhalten. Människor ska kunna vistas i en byggnad utan att drabbas av besvär från huvudvärk, trötthet och irritation i slemhinnor.

I Wyons rapport (2004) skriver han att det finns mycket data på den negativa påverkan på produktiviteten på grund av obehag av värme, men desto mindre om de negativa effekterna som uppstår på grund av dålig luftkvalité inomhus. Studien visar att produktiviteten hos kontorsarbetare avtar när föroreningshalten ökar, både om hälsan eller komforten påverkas eller inte. Kostnaden av frånvaro på grund av sjukdom på arbetsplatser är dessutom mycket högre än kostnaden för ventilationssystemet. Det visade sig också oftast vara mer energieffektivt att försöka minimera luftföroreningskällan än att öka på flödet av utomhusluft (Wyon D. P., 2004). Enligt Warfvinger och Dahlblom (2010) innehåller inandningsluften från en människa cirka 20 % syre och 0,04 % koldioxid, medan utandningsluften består av 16 % syre och 4 % koldioxid. Det skulle räcka att tillföra ungefär 0,03 l/s för att täcka syrebehovet för en person så det är alltså inte syrebrist en människa upplever i ett dåligt ventilerat rum, utan en ökning av koldioxidhalten. Om halten koldioxid i luften är för hög, minskar inandningsluftens förmåga att föra bort koldioxid och blodet hindras att ta upp syre ur luften.

Koldioxidhalten anges vanligen i ppm, *parts per million*. I Sverige idag innehåller utomhusluften cirka 400 ppm och normalt brukar man säga att dålig luft uppstår då CO<sub>2</sub>-halten överstiger 1000 ppm inomhus (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Detta värdet har ansetts vara för strängt, då det arbetshygieniska gränsvärdet som baserats på ämnets egna skadeverkan uppstår först vid 5000 ppm koldioxid. När koldioxidhalten uppnår 20 000 ppm uppstår huvudvärk och ökad andningsfrekvens. Koldioxid är inte så hälsofarlig i sig självt utan används oftast som ett mått på luftkvalitet med anledning av att koldioxidhalten ökar i samma takt som andra föroreningar. Andra föroreningar kan vara bland annat föroreningar som producerats från människan, till exempel kroppsemissioner och lukter.

I Arbetsmiljöverkets (2018) föreskrift står det att 1 000 ppm koldioxid inte ska ses som en nivå som aldrig får överstigas, men bör däremot inte överskridas mer än tillfälligt under korta perioder. Ett medelvärde på 1000 ppm under längre perioder är därför inte acceptabelt. I en rapport av Myc-Tech AB (2012) ställer de frågan varför en person tål 5 000 ppm i en viss miljö och under kortare tidsperioder (15 minuter) tål upp till 10 000 ppm, medan andra miljöer bara tål 1000 ppm. De menar att myndigheterna inte har något material som styrker att en nivå på 1000 ppm på koldioxid kan kopplas till hälsa, utan enbart är en normal nivå som råder. När de kontaktat Arbetsmiljöverket för att få svar på vilka vetenskapliga underlag och studier de grundat sina nivåer på så har de svarat att det enbart finns underlag för de hygieniska gränsvärden. Myndigheterna har inte kunnat verifiera vilka vetenskapliga underlag och studier som ligger till grund gällande nivån 1000 ppm koldioxid (Myc-Tech AB, 2012). På arbetsmiljöverkets webbsida (2018) står det att man ska eftersträva en koldioxidhalt på 1000 ppm i lokaler där luftföroreningar huvudsakligen kommer från människor, men att denna koncentrationen koldioxid inte är giftig. Det är först när rummet uppnår gränsvärdet 5000 ppm under en arbetsdag, som skadliga effekter av koldioxid kan uppkomma.

I en studie av New York State Commission on Ventilation reducerades ventilationsflödet tills koldioxidhalten stigit till 3000–4000 ppm (Wargocki, Wyon, Baik, Clausen, & Fanger, 1999). Normalt indikerar det på en förorenad luft, men studien visade inga negativa effekter på prestationen hos kontorsarbetarna.

## 2.2 Termisk komfort

Termisk komfort är människans upplevelse av det termiska klimatet, alltså den temperaturmässiga upplevelsen i ett rum. Det tillstånd som vi människor upplever som tillfredsställelse för ett inomhusklimat kan sammanfattas i begreppet termisk komfort (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Huruvida en människa upplever inomhustemperaturen kan variera mycket från person till person. Därför är det svårt att uppnå ett termiskt klimat som tillfredsställer alla och studier visar på att en femtedel av alla personer i en grupp förväntas vara missnöjda med komforten (Fanger P., 1970). Det som en människa upplever som för kallt, kan upplevas som för varmt för en annan. Warfvinge & Dahlblom (2010) skriver att den upplevda komforten av det termiska klimatet inomhus är beroende av sex inomhusklimatparametrar:

- Luftens temperatur
- Medelstrålningstemperatur
- Luftens fuktighet



- Fysisk aktivitet
- Klädsel

Den vanligaste indikatorn för att uttrycka komforten i ett rum är luftens temperatur. Det är dock en missvisande indikator då den inte tar hänsyn till luftens hastighet, omkringliggande ytors strålningstemperaturer, luftfuktigheten eller klädseln (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Lufttemperaturen visar bara luftens temperatur och därför använder man sig av den operativa temperaturen för att ta hänsyn till hur människor upplever temperaturen i ett rum. Vid lufthastigheter större än 0,1 m/s blir beräkningar mer komplexa. Den operativa temperaturen är ett medelvärde på luftens faktiska temperatur och omgivande ytors medelstrålningstemperatur. Strålningstemperaturer från omkringliggande ytor kan orsaka att människor upplever ett rum som kallt trots att lufttemperaturen är relativt hög. Ett sådant fenomen kan upplevas då exempelvis ett rum består av stora fönsterpartier. Temperaturer och lokalt obehag kan även variera beroende på var i ett rum man befinner sig, mer information om obehag vid olika positioner återfinns i ISO 7730.

### 2.2.1 Aktivitet och klädsel

Fysisk aktivitet ökar värmeproduktionen i kroppen och värmealstringens storlek är beroende av vilken aktivitet som utförs (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Värme från kroppen avges till omgivningen genom konvektion, ledning, strålning och avdunstning. Vid stillasittande kontorsarbete och en normal rumstemperatur, består värmeavgivningen genom strålning från kroppen för cirka 40 %. Värme som transporteras bort med konvektion står för 40 % av värmeavgivningen, avdunstning genom svettning och utandning bidrar med 15 % och värmeledning från kroppen motsvarar 5 %. Vid en viss aktivitetsgrad beskrivs värmeavgivningen i enheten met, där 1 met motsvarar 60 W/m<sup>2</sup> hudyta. Värmeproduktionen vid stillasittande skrivbordsarbete är uppskattat till 1,2 met, medan värmealstringen vid promenad uppgår till 3,2 met, se Tabell 1 Aktivitet och motsvarande enhet i met (Swedish Standard Institute, 2005).

Tabell 1 Aktivitet och motsvarande enhet i met (Swedish Standard Institute, 2005)

Aktivitet	Värmealstring (met)
Vila, sittande	1
Skrivbordsarbete	1,2
Stående arbete	1,6

Klädseln har en påverkande roll vid bedömning av termisk komfort, då kläder fungerar som isolering av kroppens egenproducerade värme och styrs utefter personliga förutsättningar. Den enhet som används för klädselns värmeisolerande förmåga anges i enheten clo. Enheten 1 clo motsvarar den mängd kläder som krävs för att en man ska uppleva termisk komfort vid en operativ temperatur på 20 °C, vid ett relativt stillasittande arbete (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Tabell 2 Klädeskombinationer och clo-värden (Swedish Standard Institute, 2005)

Daglig klädsel	clo
Underkläder, t-shirt, shorts, tunna strumpor, sandaler	0,30
Underkläder, långärmad t-shirt, tunna byxor, tunna strumpor, skor	0,50
Underkläder, underkjol, strumpbyxor, klänning, skor	0,70
Underkläder, skjorta, byxor, jacka, strumpor, skor	1,00
Underkläder, strumpbyxor, blus, lång kjol, jacka, skor	1,10
Underställ med långa ärmar och ben, skjorta, byxor, v-ringad tröja, jacka, strumpor, skor	1,30
Underkläder med korta ärmar och ben, skjorta, byxor, väst, jacka, rock, strumpor, skor	1,50

## 2.2.2 PVM och PPD

PMV- och PPD-index är definitioner från standarden SS EN ISO 7730 som används vid bestämning av termiskt inneklimat och termisk komfort (Warfvinge & Dahlblom, 2010). PMV, *Predicted Mean Vote*, kan liknas vid ett förväntat medelutlåtande som bygger på att människor i byggnader anger sin upplevelse av det termiska klimatet. Skalan är graderad i sju steg, från +3 som definieras som hett, till -3 som definieras som kallt. PMV beräknas genom en kombination av de tidigare nämnda inomhusklimatparametrarna.

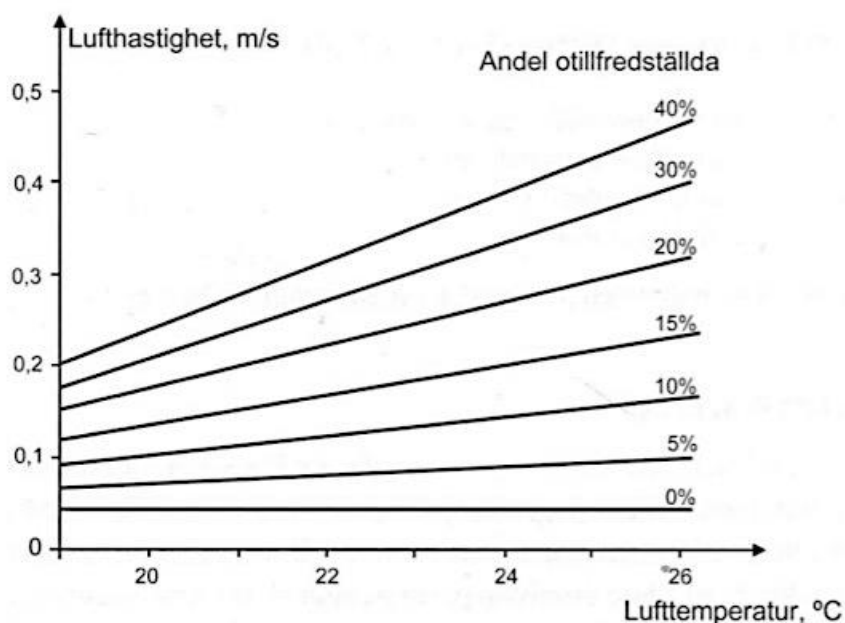
Tabell 3 PMV-skala som används vid uppskattning av temperaturupplevelsen (Swedish Standard Institute, 2005)

PMV-index	Upplevelse
+3	Hett
+2	Varmt
+1	Lite varmt
0	Neutral
-1	Lite svalt
-2	Svalt
-3	Kall

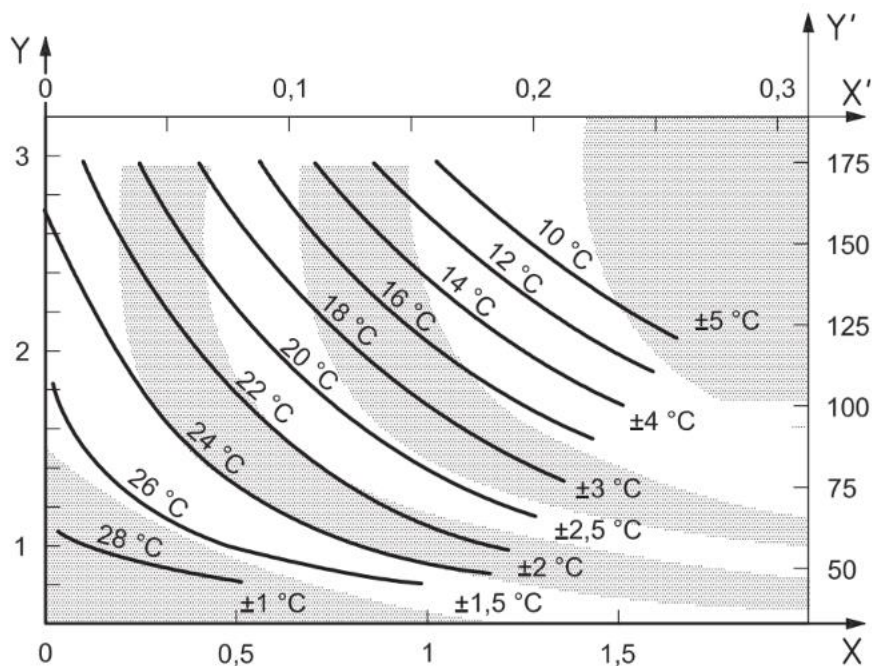
PPD, *Predicted Percentage of Dissatisfied*, kan liknas med ett procentuellt antal missnöjda eller otillfredsställda i det rådande termiska klimatet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). PPD utgår ifrån det tidigare nämnda 7-graderade punktskalan.

I Figur 1 visas hur många som förväntas vara missnöjda vid olika lufthastigheter och lufttemperaturer. I Figur 2 i standarden SS-EN ISO 7730 har målvärden för den operativa temperaturen som funktion av klädselns isoleringsnivå (x-axeln) och fysisk

aktivitet (y-axeln) gjorts i ett diagram. PPD <10 %. har SS-EN ISO 7730 tagit fram målvärden för den operativa temperaturen PPD <10 %, vid en viss fysisk aktivitet med en viss klädsel.



Figur 1 Förhållandet mellan PMV- och PPD-index vid lufthastigheter och lufttemperaturer (Warfvinge & Dahlblom, 2010)



Figur 2 I standarden SS-EN ISO 7730 har målvärden för den operativa temperaturen som funktion av klädselns isoleringsnivå (x-axeln) och fysisk aktivitet (y-axeln) gjorts i ett diagram. PPD <10 %. (Swedish Standard Institute, 2005)

PMV- och PPD-index visar på varmt eller kallt obehag för kroppen i helhet. Även termisk diskomfort kan upplevas då en viss del av kroppen utsätts för kyla eller värme, detta kallas lokal diskomfort (Swedish Standard Institute, 2005). Drag i rummet eller höga vertikala temperaturskillnader mellan huvud och fötter på grund av

för kalla eller för varma golv kan leda till lokal diskomfort. Då aktivitetsnivån är låg har människan större chans att uppleva lokal diskomfort än vid högre aktivitetsnivåer.

## 2.3 Produktivitet

Att inomhustemperaturer påverkar komforten har länge varit känt, medan konsekvenserna för brukarnas produktivitet först på senare tid hamnat i fokus. Därför har undersökningar gjorts på hur produktiviteten och den termiska komforten förändrades vid varierande klimatförhållanden.

I Seppänen, Fisk, & Faulkner (2003) undersökning i kontorsmiljö visades inga prestationsförluster inom temperaturområdet 21–25 °C, men ökade med 2 % för varje ökad grad inom intervallet 25–32 °C. Något de kom fram till var att vid en rumstemperatur på 30 °C är prestationsförmågan endast 91,1 % av det maximala, alltså en minskning på 8,9 procentenheter. Brukarna använde vanlig klädsel i alla tester. I en senare studie av Seppänen, Fisk, & Lei (2006) kom de fram till att prestationskurvan ökar upp till 21,75 °C och då temperaturen överstiger 23–24 °C presterar kontorsarbetarna sämre. Deras resultat från 2006 visar istället att man presterar som bäst vid temperaturer mellan 21–24 °C. Ventilationsflödet hölls konstant genom alla tester, så resultaten indikerar enbart på effekten av temperaturen.

Niemelä et al. (2001) gjorde utfördes en liknande undersökning på ett telefonförsäljningskontor. Deras resultat visade att produktiviteten försämrades med 1,8 % för varje ökad grad över 25 °C. Ett år senare utförde de ett nytt experiment i samma lokal och då resulterade det i en produktivitetsminskning på 2,2 % för varje ökad grad som temperaturen översteg 25 °C (Niemelä, Hannula, Rautio, Reijula, & Railio, 2002).

År 2013 undersökte Cui, Cao, Park, Ouyang och Zhu lufttemperaturens påverkan på den termiska komforten i labbmiljö baserat på att 32 personer (18 kvinnor och 18 män) tilldelats tester under 150 minuter varvat med pauser. Temperaturerna 22 °C, 24 °C, 26 °C, 29 °C och 32 °C testades i en klimatkammare med aktiviteten uppmätt till 1,0 till 1,1 met (Cui, Cao, Park, Ouyang, & Zhu, 2013). Även denna undersökning visade att inlärningseffekten hos testpersonerna kraftigt påverkades av temperaturen. Under varma och kalla obehagsmiljöer eller då temperaturen ofta förändrades minskade inlärningskapaciteten. Man kunde även se att motivationen förbättrades då testpersonerna kände sig mer bekväma med klimatet och följderna av förbättrad motivation ökade deras prestation. Undersökningen motsäger de tidigare studierna då han menar att den optimala temperaturen för högsta prestation är vid 25,8 °C, då temperaturen uppfattades som neutral. Vid temperaturerna 22 °C och 32 °C var prestationsförmågan 5 % respektive 8 % lägre. Även vid 22 °C var prestationen högre än vid 26 °C, det vill säga att en miljö där temperaturen upplevs något kall till neutral är alltså bättre än en varm miljö.

Lan, Lian och Pan undersökte (2010) konsekvensen på produktiviteten av inomhusluftenstemperatur 17 °C, 21 °C och 28 °C genom att 25 frivilliga studenter (6 tjejer och 15 killar i åldern 18–20 år, 1,2 clo) deltog och fick timlön plus ett

bonussystem efter deras prestation. Deltagarna utförde ett datorbaserat test där beteendestörningar samtidigt dokumenterades under testets gång. Fysiologiska parametrar som HRV (hjärtfrekvensvariation) och EEG (elektroencefalograf) mättes också. Resultatet av studien var att deltagarna kände sig svala vid 17 °C och varma vid 28 °C, samt att de upplevde obehag vid dessa temperaturer. Intressant med studien var att motivationen hos testpersonerna var högre vid låga till neutrala temperaturer än vid de höga temperaturerna, samt att arbetsbelastningen uppfattades som högre vid 17 °C och 28 °C än vid 21 °C. Deltagarna kunde dock behålla sin prestationsnivå vid dessa temperaturer genom ökad ansträngning. Li Lan et al. (2010) har i sin rapport refererat till Haneda, Wargocki, Dalewski och Tanabe (2009) rapport som utförde ett liknande produktivitetstest ett år tidigare och fick likvärdiga resultat. Haneda et al. kom även fram till att medvetenhet och ökad ansträngning kan bevara produktivitetsnivån. För att deltagarna ska motiveras att göra den extra ansträngningen kan ett bonusbaserat prestationssystem funka.

Fang, Clausen och Fanger (2002) utförde ett experiment där de undersökte prestationsförmågan hos 30 stycken kvinnor som själva fick reglera sin klädsel i ett 36 m<sup>2</sup> stort kontorslandskap under 280 minuter. Experimentet tog hänsyn till SBS-symptom (Sick Building Syndrome) som förknippas med minskad produktivitet på grund av upplevd trötthet, huvudvärk och svårigheter att tänka på grund av ökade temperaturer och luftfuktigheter. De temperaturer och relativa fuktigheter som testades var 20 °C/40 %, 23 °C/50 % och 26 °C/60 % med ventilationshastigheter från 3,5–10 l/s per person. En minskning av ventilationshastigheten från 10 till 3,5 l/s per person visade sig vara likvärdigt med att sänka temperatur och luftfuktighet från 23 °C/50 % till 20 °C /40%. Den genomsnittliga uppfattningen av de testade temperaturerna var att vid 20 °C / 40 % relativ fuktighet uppfattades rummet som något svalt och vid 26 °C / 60 % relativ fuktighet uppfattades rummet som något varmt. Fang et al. (2002) menar att tack vare att testpersonerna själva kunde reglera sin klädsel under experimentet upplevde de mestadels termisk komfort.

Wyon et al. (1975) menar i sin rapport att produktionsnivån är densamma vid 0,6 clo och 23,2 °C i lufttemperatur som vid 1,15 clo och 18,7 °C lufttemperatur. Även en slutsats av Kosonen och Tan (2004) är att den termiska komforten upplevs olika beroende på kombinationer av parametrarna clo, met, lufthastigheter och temperaturer. I hans studie skriver han att det kan finnas olika kombinationer av de parametrarna som leder till varierande resultat på den termiska komforten. Men Seppänen menar att den optimala prestationen i ett kontor inte nödvändigtvis uppstår under optimala termiska förhållanden, det vill säga vid ett PMV=0 (Seppänen, Fisk, & Faulkner, 2004).

År 2004 gjorde Kosonen och Tan (2004) en undersökning på rumstemperaturer och produktivitet kopplat till PMV-index. Den högsta produktivitetsnivån uppnåddes vid en rumstemperatur på 20 °C med ett PMV-värde på 0,21. Resultaten ifrån studien visade även att temperaturökningar redan över 21 °C, vid sysselsättningen för tänkande och skrivande och sämre upplevd termisk komfort. Dock har det visat att vid låga temperaturer försämras fingerfärdigheten (Meese, Kok, Lewis, & Wyon, 1984). Blodflödet i händerna begränsas vid låga temperaturer, vilket medför att handtemperaturen sjunker innan kroppens kärna kylts ner.

Det har visat sig genom forskning att möjligheten till individuell påverkan på inneklimatet visat en positiv inverkan på prestationsförmågan och därtill lett till minskad sjukfrånvaro. Enligt (Kaczmarczyk, P., & Fanger, 2008) deltog 60 personer, med självreglerad klädsel, i undersökningen där de själva valde tilluftstemperatur och placering på tilluftsdonet. De temperaturer som testades i kontorsmiljön var 23 °C och 26 °C. Personlig ventilation förbättrade den upplevda luftkvalitén och minskade även känslan av SBS-symtom. Den upplevda förbättringen med personligt ventilationssystem berodde på temperaturskillnaderna mellan rummets och den individuellt valda lufttemperaturen. Det visade sig att bäst komfort upplevdes då luften från det individuella donets temperatur var något kallare än rumstemperaturen.

Det finns tydliga temperaturer där det säkerställts att produktiviteten försämrats, men mindre exakta värden kopplat till hälsobesvär. För personer som inte acklimatiserats försämras produktiviteten på mentala uppgifter redan efter två timmars arbete i ett rum som har en effektiv temperatur på 32 °C (Evans, 1982). För måttliga fysiska arbeten är gränsen för att utsättas för temperaturen 32 °C en timma. Under vila kan den effektiva temperaturen 38 °C tolereras i 2 timmar eller mer innan fysiska problem uppstår.

Tabell 4 Sammanställning av forskningsresultat.

Källa	Slutsats
Seppänen et.al (2006)	Presterar bäst mellan 21 °C-24 °C
Niemelä et. al (2002)	2,2 % produktivetsminskning vid temperaturer över 25 °C
Cui et. al (2013)	Högsta prestation vid 25,8 °C. Prestationsförmågan minskar 5 % respektive 8 % vid 22 °C och 32 °C.
Lan et. al (2010)	Upplevt obehag vid 17 °C och 28 °C, men medvetenhet och ökad ansträngning kan bevara produktivetsnivån.
Fang et. al (2002)	Prestationsnivån då flödet sänktes från 10 l/s per person till 3,5 l/s per person visade sig vara likvärdig som att sänka temperatur och luftfuktighet från 23 °C/50% till 20 °C/40%
Wyon et al. (1975)	Prouktivetsnivån är densamma vid 0,6 clo och 23,2 °C som vid 1,15 clo och 18,7 °C
Kosonen et al. (2004)	Högsta produktivetsnivån vid 20 °C med ett PMV=0,21
Meese et al. (1984)	Blodflödet i händerna begränsas vid 20 °C-22 °C

## 2.4 Hälsa

Folkhälsomyndigheten (2005) skriver i en publikation om de direkta hälsoeffekter som kan uppstå på grund av för höga eller för låga temperaturer. Effekterna av nedkylning kan bland annat medföra hjärt- och kärlsjukdomar och ökade besvär vid reumatism och vissa muskelsjukdomar. Ingen tydlig gräns är satt för höga temperaturer gällande hälsan i byggnader då det beror mycket på människornas hälsotillstånd. Dock är vanligen temperaturer över 28 °C satt som en övre gräns i byggnader (Lomas & Porritt, 2017). För höga inomhustemperatur kan bland annat leda till illamående, trötthet, huvudvärk. Om inomhusluften är för torr kan ögon, näsa och hals påverkas av irritation och andningsbesvär på grund av uttorkning

(Folkhälsomyndigheten, 2005). För låga temperaturer under vintern och för höga temperaturer på sommaren bör dock undvikas i byggnader med känsliga människor vistas, exempelvis sjukhus.

Hälsans påverkan på grund av klimatet och temperaturer har fått ökad uppmärksamhet under de senaste åren (World Health Organization, 2007). Det finns ännu inga exakta resultat på hälsobesvär på grund av låga inomhustemperaturer. WHO vill därför samarbeta med nationella experter och organisationer för att undersöka sambandet mellan energiproblemen i byggnader och relaterade hälsoeffekter. De vill främja nationella och internationella åtgärder för att minska hälsoriskerna vid låga inomhustemperaturer. I dagsläget rekommenderar WHO att rumstemperaturen ska ligga mellan 18–22 °C, beroende på rummets funktion.

Värmestress uppstår vid för höga kroppstemperaturer och påverkar kroppen genom psykisk förvirring, beteendemässiga förvirringar, svettningar och problem i nervsystemet (Parson, 2002). Det har visat sig att samma faktorer som påverkar produktivitet påverkar värmestress (Evans, 1982). I undersökningar har man sett att produktiviteten för icke acklimatiserade personer påverkas mer av värme än de som acklimatiserats. Genom information och kunskap om värmen kan de negativa effekterna kopplat till prestation och produktivitet minimeras och samma resultat kan uppnås genom att dricka vatten. I undersökningar vid höga temperaturer har man sett att prestationen beror på vilken typ av arbete och antalet av uppgifter som utförs. Ju fler och mer komplexa uppgifter, desto mer minskar prestationen med ökade rumstemperaturer.

## 3 Standard och normer

Svenska myndigheter har utformat grundläggande inneklimatekrav och allmänna råd för inneklimate (Ekberg L., Riktlinjer för specifikation av inneklimatekrav, 2006). Dessa ska vara uppfyllda och aktuell svensk standard ska appliceras vid ny- och ombyggnad av fastigheter. Vid specificering av det önskade inneklimate finns vissa riktlinjer för att underlätta kommunikationen mellan beställaren och utföraren av arbetet. Beställare, konsulter, arkitekter, entreprenörer, hyresgäster och förvaltare kommer alla påverka hur det rådande inneklimate kommer att bli.

Boverket, Arbetsmiljöverket och Folkhälsomyndigheten är myndigheter som ställer krav på ventilationsflöden i kontorsbyggnader. Förutom krav finns det allmänna råd som byggherren kan använda sig vid utformning och projektering för en byggnad. Vid utformning av luftbehandlingsaggregatet till byggnaden följer branschen en europeisk standard, SS-EN, som även gäller för den svenska standarden. För att uppnå mer hållbara byggnader finns det certifieringar som ställer krav på hur byggnaderna utförs.

### 3.1 Myndigheter

#### 3.1.1 Boverket

Boverket är en förvaltningsmyndighet som behandlar frågor om samhällsplanering, byggande och boende (Boverket, 2017). Ventilationssystemet ska utformas så att uteluftflödet vid personnärvaro minst får vara 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golv area. När ingen person vistas i rummet får uteluftflödet inte understiga 0,10 l/s per m<sup>2</sup> golv area. Enligt allmänna råd ska den riktade operativa temperaturen i vistelsezonen i kontor inte understiga 18 °C vid DVUT. Enligt Boverket bör lufthastigheten inte överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen och resterande tid på året bör lufthastigheten inte överstiga 0,25 m/s (Boverket, 2017).

#### 3.1.2 Arbetsmiljöverket

Arbetsmiljöverket har i uppdrag av regeringen och riksdagen att kontrollera att företag och organisationer följer lagar om arbetsmiljö- och arbetstider. Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrift (2009) får uteluftflödet inte understiga 7 l/s och person + 35 l/s per m<sup>2</sup> golv area. Det termiska kimate bör enligt föreskriften kontrolleras om lufttemperaturen understiger 20 °C vintertid eller om lufttemperaturen överstiger 26 °C sommartid. Enligt AMV uppfattas lufthastigheter som understiger 0,15–0,2 m/s som dragfria vid stillasittande kontorsarbete. Deras rekommenderade värde på koldioxidhalten i en lokal bör ej understiga 1000 ppm.

#### 3.1.3 Folkhälsomyndigheten

Folkhälsomyndighetens uppgift är att ta fram vetenskaplig kunskap som främjar hälsa och förebygger sjukdomar och skador. Deras rekommenderade värden på lufttemperaturen bör ej understiga 20 °C på vintern eller överstiga 26 °C på sommaren (Folkhälsomyndigheten, 2014). Luftens medelhastighet bör ligga på 0,15 m/s, men kan vara högre vid rumstemperaturer över 24 °C.



### 3.1.4 Sammanställning av myndighetskrav

Tabell 5 Sammanställning av myndighetskrav.

	Vhygienluftflöde	T <sub>vintertid</sub> °C (1,0 clo)	T <sub>sommartid</sub> °C (0,5 clo)	Luft hastigheter m/s (vinter/sommar)	CO <sub>2</sub>
BBR	0,35 l/s/m <sup>2</sup> golvarea	18 °C	-	0,15/0,25 m/s	-
AMV	0,7 l/s/pers + 0,35 l/s/m <sup>2</sup> golvarea	20 °C	26 °C	0,15/0,2 m/s	1000 ppm
Folkhälsomyndigheten	-	20 °C	26 °C	0,15 m/s	-

## 3.2 Branschstandard

Branschstandarder finns till för att skapa rutiner, underlätta och säkerställa enhetliga och kvalitetsmässiga lösningar.

### 3.2.1 Sveby

Sveby står för ”Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader”, och är en standard för beräkning och verifiering av energiprestanda i byggnader samt ett hjälpmedel för överenskommelser om energianvändning (Levin, 2012). Boverkets Byggregler har krav på energianvändning som berör både beställaren och utföraren, därför har Sveby utformat Sveby-programmet som är en tolkning av BBR:s funktionskrav på energihushållning. Råden är till för nya kontorsbyggnader utförda med dagens teknik, men kan även tillämpas i andra typer av byggnader. Sveby-programmet rekommenderade på rumsluftstemperaturer under arbetstider för kontor är 21 °C vid värmning, 23 °C vid kylning med ett flöde på 1,5 l/s, m<sup>2</sup>.

### 3.2.2 Nationella standarder

År 1983 skrevs en nationell standard som beskriver sambandet mellan det termiska inneklimatet och klimatets inverkan på människans upplevelse. Numera finns den även som svensk standard, SS-EN ISO 7730. I denna standard beskrivs krav kring den termiska miljön samt analytisk bestämning och bedömning av termisk komfort med hjälp av PMV- och PPD index (Ekberg L., Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav, 2006). Inneklimatet klassificeras utefter förväntat antal nöjda i ett rum. Klasserna delas in i A, B och C där 94 % förväntas vara nöjda i klass A, 90 % i B och minst 85 % i C (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Energi- och miljötekniska föreningen har gjort en egen tolkning av de termiska klimatfaktorerna där de har satt upp önskade värden. För att minst 90 % av brukarna ska vara nöjda bör den operativa temperaturen i ett kontor ligga på 20–24 °C vintertid (1,0 clo) med en lufthastighet på högst 0,1 m/s och 23–26 °C sommartid (0,5 clo) med en lufthastighet på högst 0,25 m/s. Europastandarden EN 15251:2007 (Swedish Standard Institute, 2007) gäller som svensk standard och specificerar de inomhusmiljöparametrar som påverkar på byggnaders energiprestanda, avseende inomhusmiljö gällande luftkvalitet, termiskt klimat, ljus och buller. Rekommendationerna för temperaturer och lufthastigheter är densamma som i SS-EN ISO 7730. För klass B rekommenderas ett luftflöde på 1 l/s per m<sup>2</sup> och en koldioxidhalt på max 500 ppm över uteluften.

ASHRAE-55 är en amerikansk nationell standard som följer ISO 7730 för bestämmelser av acceptabel termisk komfort kopplat till olika mänskliga faktorer som istället för klasser baseras på kriterium för PMV och PPD (Approved American National Standard, 2017). Standarden bygger på en metod för att öka den övre temperaturgränsen genom ökad lufthastighet för potentiella energibesparingar. Vid temperaturer under 23 °C rekommenderas en lufthastighet på 0,2 m/s och över 25,5 °C så högt som 0,8 m/s.

### 3.2.3 Sammanställning av branschstandard

Tabell 6 Sammanställning av min-och maxvärden från branschstandarder.

	V <sub>hygienluftflöde</sub>	T <sub>vintertid</sub> °C (1,0 clo)	T <sub>sommartid</sub> °C (0,5 clo)	Lufthastigheter m/s (vinter/sommar)	Maximal CO <sub>2</sub>
Sveby	1,5 l/s/m <sup>2</sup> golvarea	21 °C	23 °C	-	-
SS-EN klass A	-	21 °C (94 % nöjda)	25,5 °C (94 % nöjda)	0,10 / 0,12 m/s	-
SS-EN klass B	1 l/s per m <sup>2</sup> golvarea	20 °C (90 % nöjda)	26 °C (90 % nöjda)	0,16 / 0,19 m/s	900 ppm
SS-EN klass C	-	19 °C (85 % nöjda)	27 °C (85 % nöjda)	0,21 / 0,24 m/s	-
ASHRAE-55	-	20 °C	26 °C	0,2 / 0,8 m/s	-

## 3.3 Certifieringar för den svenska marknaden

Miljöcertifieringar finns till för att bevisa att en byggnad är socialt, ekonomiskt eller miljömässigt hållbar (Svensk Byggtjänst, 2016). Då fastighetsägaren och slutkunden ställer höga krav på att byggnaderna långsiktigt har en så liten miljöpåverkan som möjligt, fungerar certifieringen som en garanti.

Mellan år 2004–2014 startades certifieringssystemet Green Building med initiativ av EU för att skynda på energieffektiviseringen i bygg- och fastighetssektorn (Sweden Green Building Council, u.å.-a). Sedan 2010 ansvarar Sweden Green Building Council för Green Building i Sverige. För att certifiera med Green Building är kravet att byggnaden minskar sin energiförbrukning med 25 % än tidigare eller jämfört med nybyggnadskraven enligt BBR.

### 3.3.1 Miljöbyggnad

Ett svenskt system för miljöcertifiering av byggnader är Miljöbyggnad (Sweden Building Green Council, u.å.-b). Totalt sexton parametrar mäts av Miljöbyggnad och en tredje part granskar sedan byggnadens miljöprestanda och miljöarbete innan den kan certifieras. Efter två år görs ytterligare en kontroll för att följa upp om byggnaden fortfarande är godkänd. Byggnader kan uppnå olika certifieringsnivåer så som brons, silver eller guld.

För att uppnå brons räcker det att följa lagkrav eller existerande rekommendationer, men Sweden Green Building Council gör en undersökning för att se om byggnaden uppfyller dessa. För att uppnå Silver krävs det förutom att följa lagkraven, att bland annat solskydd, ljudmiljö och ventilation är betydligt bättre. Den högsta nivån Guld uppnår byggnaderna förutom att ha en utpräglad miljöprofil, om de som bor och jobbar i fastigheten trivs och tycker att det är ett Guldhus. När det gått två år blir brukarna tillfrågade om vad de tycker om inomhusmiljön. I Tabell 7 Sammanställning av komfortkrav. redovisas de komfortkrav som skiljer de olika nivåerna åt (Wahlström & Warfvinge, 2017).

Tabell 7 Sammanställning av komfortkrav.

<b>CERTIFIERING</b>	<b>BRONS</b>	<b>SILVER</b>	<b>GULD</b>
Hygienluftflöde	0,7 l/s/per + 0,35 l/s/m <sup>2</sup> Atemp	0,7 l/s/per + 0,35 l/s/m <sup>2</sup> Atemp	0,7 l/s/per + 0,35 l/s/m <sup>2</sup> Atemp
T <sub>vintertid</sub> °C (1,0 clo, 1,2 met, 0,15 m/s)	19,0–25,0 °C	20,0–22,0 °C	20,0–22,0 °C
T <sub>sommartid</sub> °C (0,5 clo, 1,2 met, 0,20 m/s)	22,5–28,5 °C	23,0–28,0 °C	24,0–27,0 °C
CO <sub>2</sub>	1000 ppm	Får endast tillfälligt överstiga 1 000 ppm	Får endast tillfälligt överstiga 1 000 ppm
PPD	≤ 15 %	≤ 10 %	SILVER+ enkät eller mätning

### 3.3.2 BREEM

BREEM är ett av de äldsta och mest spridda miljöcertifieringssystemen av de internationella systemen i Europa (Sweden Green Building Council, u.å.-c). Det är ett miljöcertifieringssystem från Storbritannien och sedan 2013 har Sweden Green Building Council anpassat systemet till svenska förhållanden, BREEM-SE. På så vis går det alltså att certifiera en byggnad enligt svenska regler och standarder, men på samma gång jämföra den på internationella marknaden. Nyproducerade byggnader och byggnadernas miljöprestanda bedöms och poängsätts inom olika områden, bland annat energianvändningen och inomhusklimatet. Om byggnaden är innovativ i sina tekniska lösningar kan extrapoäng delas ut. Varje område får en viss poäng av den totala poängen för varje område beroende av en bedömning. Dessa poäng läggs sedan ihop för att kunna betygsätta byggnaden.

I BREEM-SE version 2.0 (2016) beskrivs att syftet med certifieringens är att lyfta fram byggnader med låg miljöpåverkan på marknaden, fastställa att bästa miljöpraxis tillämpas i byggnader, öka medvetenheten om fördelarna med låg miljöpåverkan för brukare, ägare, projektörer, entreprenörer och förvaltare. Den finns också till för att lyfta fram de byggnader som applicerar kriterier och standarder är bättre än myndighetskraven, för att uppmuntra marknaden till en positiv utveckling för att minska byggnadens miljöpåverkan. De rekommenderade kriterierna för termisk komfort för en BREEM certifierad byggnad är den samma som i ISO 7730.

### 3.3.3 LEED

LEED, Leadership in Energy and Environmental Design, är ett av världens ledande system för miljöcertifiering av byggnader. LEED har fyra standarder i ordningen: Certifierad, Silver, Guld och Platinum. Idag använder sig allt fler byggare sig av LEED på grund av lägre driftkostnader, bättre miljöprestanda, attraktivare byggnader men framförallt nöjdare kunder (Hill, o.a., 2019). Sedan 2009 har Sweden Green Building Council anpassat LEED för den svenska marknaden, men för att certifiera måste certifieringsprocessen gå genom US Green Building Council (Sweden Green Building Council, u.å.-d).

LEED följer krav i standarden ASHRAE. Under kapitel 6 för ventilationssystemet står det att behovsstyrd ventilation (DCV) krävs för utrymmen större än 50 m<sup>2</sup> och där det vistas mer än 40 personer per 100 m<sup>2</sup> golvyta. I Sverige förutsätter det att luftflödet är högre än 1,4 m<sup>3</sup>/s (Sweden Green Building Council, 2015). I ASHRAE-55 kan de rekommenderade värdena för LEED-certifierade byggnader hittas.

### 3.3.4 Sammanställning av certifieringssystemens rekommendationer

Tabell 8 Sammanställning av certifieringssystemens rekommendationer.

	V <sub>hygienluftflöde</sub>	T <sub>vintertid</sub> °C (1,0 clo)	T <sub>sommartid</sub> °C (0,5 clo)	Lufthastigheter m/s (vinter/sommar)	CO <sub>2</sub>
Miljöbyggnad BRONS	0,7 l/s/pers + 0,35 l/s/m <sup>2</sup> golvyta	20 °C	27 °C	-	1000 ppm
Miljöbyggnad SILVER	0,7 l/s/pers + 0,35 l/s/m <sup>2</sup> golvyta	20 °C	28 °C	-	1000 ppm
Miljöbyggnad GULD	0,7 l/s/pers + 0,35 l/s/m <sup>2</sup> golvyta	19 °C	28,5 °C	-	1000 ppm
BREEM klass A	-	21 °C	25,5 °C	0,10 / 0,12 m/s	-
BREEM klass B	1 l/s per m <sup>2</sup> golvyta	20 °C	26 °C	0,16 / 0,19 m/s	900 ppm
BREEM klass C	-	19 °C	27 °C	0,21 / 0,24 m/s	-
LEED	-	17 °C	31 °C	0,20 / 0,80 m/s	-

Att certifieringssystemen föreslår högre temperaturer sommartid än myndigheter och branschstandarder är tydligt och beror troligtvis på energibesparingsaspekten. Även branschens antagande om att 1 clo är representativ vinterklädsel och 0,5 clo för sommaren är något som inte representerar verkligheten (Schiavon & Ho Lee, 2013).

## 4 Beräkningsgång och resultat

### 4.1 Koldioxidkoncentrationer

När man beräknar föroreningar i ett ventilerat rum använder man sig av nedanstående ekvation som anger koncentrationen av en förorening i rumsluften som funktion av luftflödet och tiden

$$c = c_o \cdot e^{-nt} + (c_b + \frac{p}{V}) \cdot (1 - e^{-nt}) \quad (1)$$

där

$c_o$  - koncentration vid tiden  $t = 0$  [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

$t$  - tiden [s]

$n$  - specifikt luftflöde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^2$ ]

$c_b$  - koncentration i tillförd luft [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

$p$  - genererade föroreningar [ $\text{mg}/\text{s}$ ]

$V$  - ventilationsflöde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

När man undersöker luftföroreningen under en lång tid går tiden mot oändligheten och  $e^{-nt}$  går mot 0. Vilket leder till att jämviktskoncentrationen kan beräknas enligt

$$c = c_b + \frac{p}{V} \quad [\text{ppm eller mg}/\text{m}^3] \quad (2)$$

Koncentrationen kan beräknas som ppm eller  $\text{mg}/\text{m}^3$  (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

där

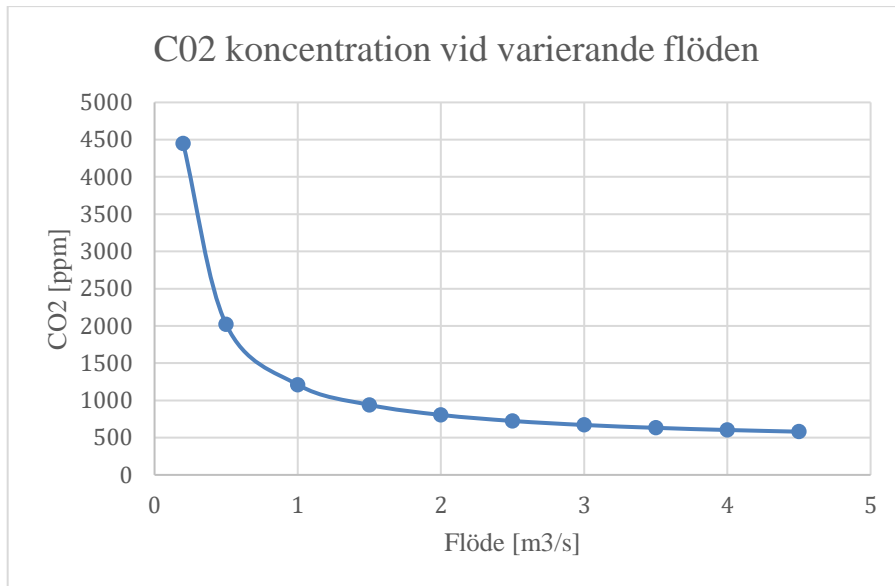
$c_b$  - 400 ppm (utomhusluften)

$p$  - en människa andas ut 19 l/h koldioxid vid stillasittande kontorsarbete (Ekberg L. , 2007)

Antal personer i byggnaden – 162 personer

$V$  – Olika flöden testas för att se hur lågt ventilationsflödet kan sänkas innan koldioxidens påverkan har en betydelse

I Figur 3 redovisas koldioxidkoncentrationen i JSP vid varierande flöden. Byggnaden överskrider aldrig gränsvärdet på 1000 ppm, då det först uppstår vid 1,5  $\text{m}^3/\text{s}$ , vilket inte JSP är dimensionerat för.



Figur 3 Koldioxidkoncentrationens minskning vid ökad ventilation i JSP. Författarens egen bild.

## 4.2 Komfort

### 4.2.1 PMV och PPD

För att studera PMV och PPD index används ett webbaserat program, CBE Thermal Comfort Tool, baserat på standard EN-15 251 (Hoyt, o.a., 2017). I programmet kan klimatparametrarna som presenteras i kapitel 2.2 varieras manuellt utefter önskat rumsklimat. De parametrar som används i programmet är sammanställda och presenterade i Tabell 9. Värden som testas på PMV- och PPD-index vinter och sommartid., där lufttemperaturerna och den relativa fuktigheten är baserade på tidigare undersökningar. Den relativa fuktigheten inomhus ligger mellan 30–60 % (Berg, u.d.). Lufthastigheterna är tagna från nationella standarder i kapitel 3.2.2. Medelstrålningstemperaturen antas vara stationär och den samma som lufttemperatur i beräkningarna för en grov uppskattning.

Tabell 9 Värden som testas på PMV- och PPD-index vinter och sommartid.

	VINTER	SOMMAR
Lufttemperatur	22 °C, 21 °C, 20 °C, 19 °C, 18 °C	25 °C, 26 °C, 27 °C, 28 °C
Medelstrålningstemperatur	Samma som lufttemperatur	Samma som lufttemperatur
Lufthastighet i vistelsezonen	0,10 m/s, 0,16 m/s, 0,21 m/s	0,12 m/s, 0,19 m/s, 0,24 m/s
Relativa fuktigheten	30 %, 50 %, 70 %	40 %
Aktivitet vid stillasittande kontorsarbete	1,2 met	1,2 met
Klädsel	1,0 clo, 1,2 clo	0,5 clo

I resultatet redovisas PMV- och PPD-index baserat på den europeiska standard EN-15 25. Enligt standarden får maximalt 15 % vara missnöjda för att inomhusklimatet ska vara godkänt. I CBE Thermal Comfort Tool kan PMV- och PPD-index, klimat kategori, samt om det termiska klimatet är godkänt.

I tabell 10, 11 och 12 redovisas vad som händer med den termiska komforten under vintertid då uppvärmning sker samt figur 4 som redovisar resultatet grafiskt. Tabellerna representerar PMV- och PPD-index, då inomhustemperaturen tillåts sjunka vid konstanta lufthastigheter från Tabell 9. Värden som testas på PMV- och PPD-index vinter och sommartid. Klädseln och aktiviteten hos brukarna är konstanta för alla tre lufthastigheter som testas. En lufthastighet på 0,21 m/s kan anses som för hög under vintertid, då människan lätt kan uppleva drag.

Tabell 10 Resultat i PMV och PPD vid ändrade temperaturförhållanden vid lufthastigheten 0,21 m/s.

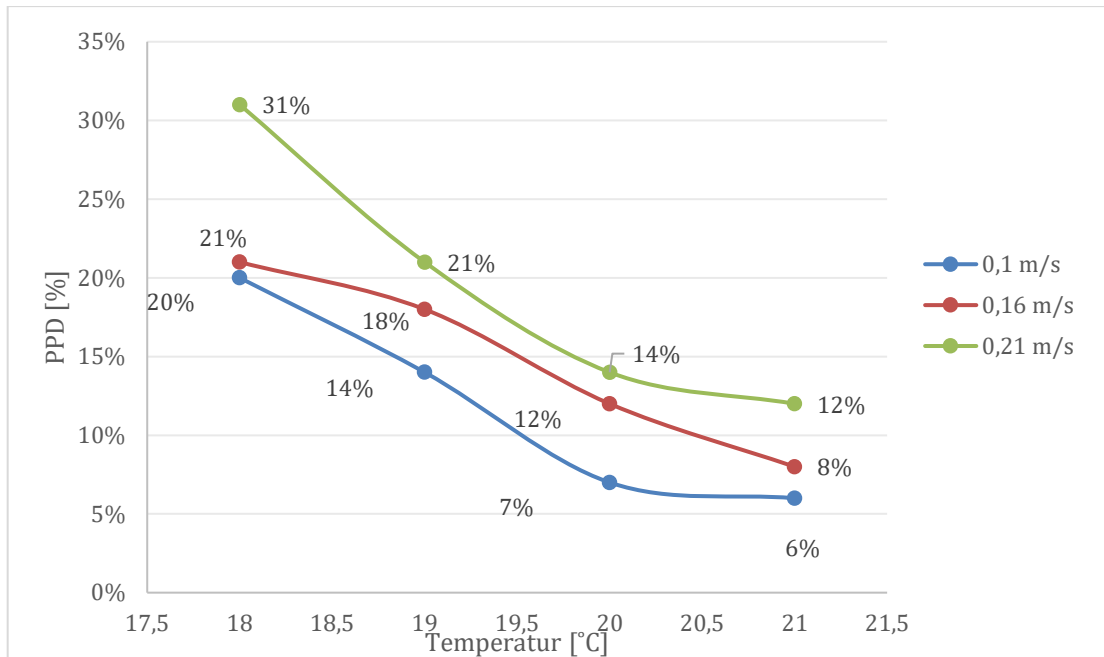
EN 15251		Met =1,2	RF = 30 %	h=0,21 m/s	
Temperatur	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
22 °C	1 clo	-0,2	6 %	2	Godkänd
21 °C	1 clo	-0,57	12 %	3	Godkänd
20 °C	1 clo	-0,66	14 %	3	Godkänd
19 °C	1 clo	-0,88	21 %	4	Inte godkänd
18 °C	1 clo	-1,10	31 %	4	Inte godkänd

Tabell 11 Resultat i PMV och PPD vid ändrade temperaturförhållanden vid lufthastigheten 0,16 m/s.

EN 15251		Met =1,2	RF = 30 %	h=0,16 m/s	
Temperatur	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
22 °C	1 clo	-0,13	5 %	1	Godkänd
21 °C	1 clo	-0,35	8 %	2	Godkänd
20 °C	1 clo	-0,57	12 %	3	Godkänd
19 °C	1 clo	-0,79	18 %	4	Inte godkänd
18 °C	1 clo	-0,88	21 %	4	Inte godkänd

Tabell 12 Resultat i PMV och PPD vid ändrade temperaturförhållanden vid lufthastigheten 0,1 m/s.

EN 15251		Met =1,2	RF = 30 %	h=0,1 m/s	
Temperatur	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
22 °C	1 clo	-0,02	5 %	1	Godkänd
21 °C	1 clo	-0,23	6 %	2	Godkänd
20 °C	1 clo	-0,34	7 %	2	Godkänd
19 °C	1 clo	-0,65	14 %	3	Godkänd
18 °C	1 clo	-0,85	20 %	4	Inte godkänd



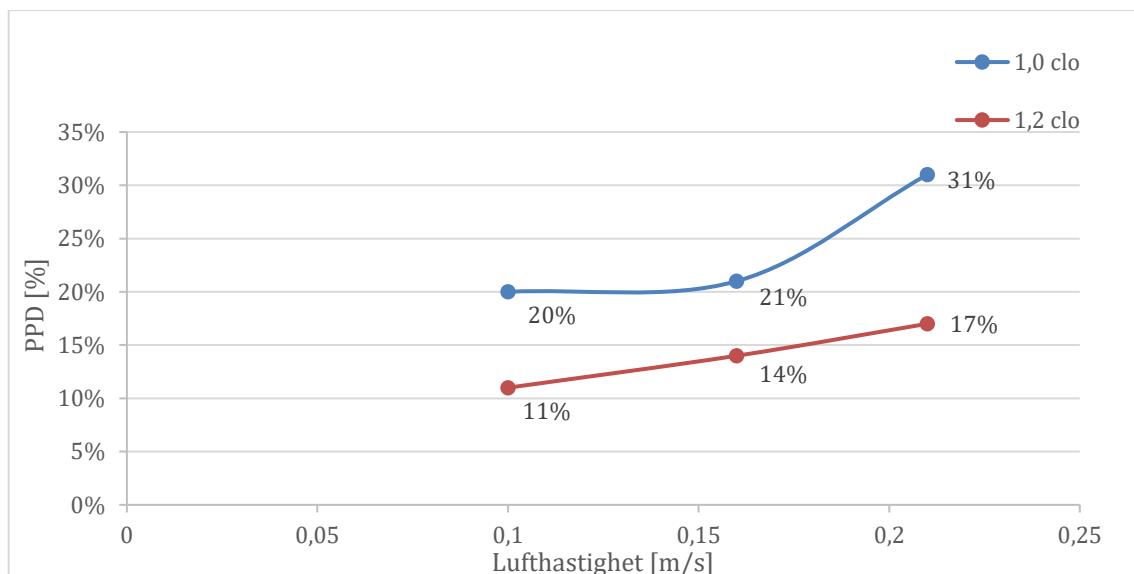
Figur 4 PPD [%] vid varierande lufthastigheter och lufttemperaturer varav den acceptabla gränsen i PPD är 15 %.. Vintertid (1,0 clo och 1,2 met). Författarens egen bild.

För att uppnå termisk komfort vid låga temperaturer krävs låga lufthastigheter enligt standard EN 15251. Tillåtna lufthastigheter med en ökad klädsel till 1,2 clo för 18 °C är uträknade och redovisade i Tabell 13 Resultat i PMV och PPD vid varierande lufthastigheter vid inomhustemperatur på 18 °C. Något att ta hänsyn till är att 18 °C kan beaktas som en extrem temperatur som i beräkningarna visar att det är möjligt att uppnå ett acceptabelt PMV vid förändrade parametrar, medan en temperatur på 19 °C kan vara rimligare och även göra skillnad.

Tabell 13 Resultat i PMV och PPD vid varierande lufthastigheter vid inomhustemperatur på 18 °C.

EN 15251		Met =1,2	RF = 30 %	T <sub>rum</sub> =18 °C	
Lufthastigheter	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
0,21 m/s	1,2 clo	-0,74	17 %	4	Inte godkänd
0,16 m/s	1,2 clo	-0,67	14 %	3	Godkänd
0,1 m/s	1,2 clo	-0,55	11 %	3	Godkänd





Figur 5 PPD [%] vid varierande klädsel och lufthastigheter. Konstant rumsluftstemperatur 18 °C. Författarens egen bild.

I nedanstående tabeller representeras vad som händer med den termiska komforten under sommartid då kylning sker. Tabellerna representerar PMV- och PPD-index baserat på europeisk standard EN-15251, då inomhustemperaturen tillåts stiga vid konstanta lufthastigheter hämtat från Tabell 9. Värden som testas på PMV- och PPD-index vinter och sommartid. Klädseln och aktiviteten hos brukarna är konstanta för alla tre lufthastigheter.

Tabell 14 Resultat i PMV och PPD vid ändrade temperaturförhållanden vid lufthastigheten 0,12 m/s.

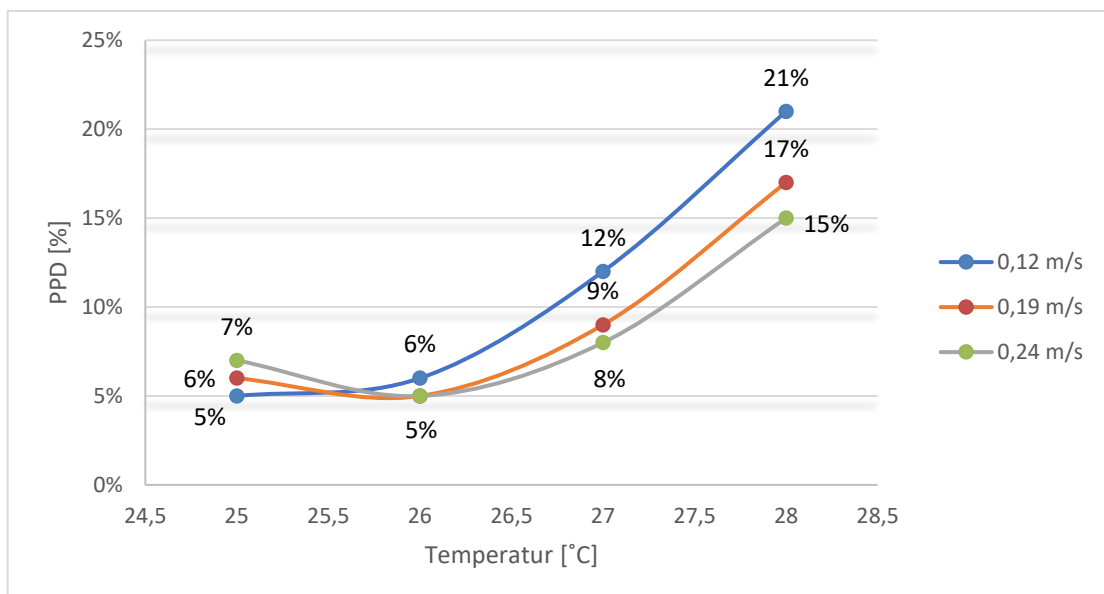
EN 15251		Met =1,2		RF = 40 %	h=0,12 m/s
Temperatur	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
25 °C	0,5 clo	-0,05	5 %	1	Godkänd
26 °C	0,5 clo	0,25	6 %	2	Godkänd
27 °C	0,5 clo	0,56	12 %	3	Godkänd
28 °C	0,5 clo	0,87	21 %	4	Inte godkänd

Tabell 15 Resultat i PMV och PPD vid ändrade temperaturförhållanden vid lufthastigheten 0,19 m/s.

EN 15251		Met =1,2		RF = 40 %	h=0,19 m/s
Temperatur	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
25 °C	0,5 clo	-0,22	6 %	2	Godkänd
26 °C	0,5 clo	0,10	5 %	1	Godkänd
27 °C	0,5 clo	0,42	9 %	2	Godkänd
28 °C	0,5 clo	0,75	17 %	4	Inte godkänd

Tabell 16 Resultat i PMV och PPD vid ändrade temperaturförhållanden vid lufthastigheten 0,24 m/s.

EN 15251		Met =1,2		RF = 40 %	h=0,24 m/s
Temperatur	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
25 °C	0,5 clo	-0,32	7 %	2	Godkänd
26 °C	0,5 clo	0,01	5 %	1	Godkänd
27 °C	0,5 clo	0,35	8 %	2	Godkänd
28 °C	0,5 clo	0,69	15 %	3	Godkänd



Figur 6 PPD [%] vid varierande lufthastigheter och lufttemperaturer. Sommartid (0,5 clo och 1,2 met). Författarens egen bild.

Den termiska komforten påverkas även av luftfuktigheten. Tabellerna nedan sammanfattar vilka luftfuktigheter som godkänns vid olika temperaturer.

Tabell 17 Utslag i PMV och PPD vid olika luftfuktigheter vid 22 °C.

EN 15251			Met =1,2	V =0,16 m/s	T <sub>rum</sub> =22 °C
Luftfuktighet	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
30 %	1,2 clo	-0,13	5 %	1	Godkänd
50 %	1,2 clo	0,02	5 %	1	Godkänd
70 %	1,2 clo	-0,10	5 %	1	Godkänd

Tabell 18 Utslag i PMV och PPD vid olika luftfuktigheter vid 20 °C.

EN 15251			Met =1,2	V =0,16 m/s	T <sub>rum</sub> =20 °C
Luftfuktighet	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
30 %	1,2 clo	-0,57	12 %	3	Godkänd
50 %	1,2 clo	-0,47	10 %	2	Godkänd
70 %	1,2 clo	-0,37	8 %	2	Godkänd

Tabell 19 Utslag i PMV och PPD vid olika luftfuktigheter vid 19 °C.

EN 15251			Met =1,2	V =0,16 m/s	T <sub>rum</sub> =19 °C
Luftfuktighet	Klädsel	PMV	PPD	Kategori	Kvalificering
30 %	1,2 clo	-0,79	18 %	4	Inte godkänd
50 %	1,2 clo	-0,69	15 %	3	Godkänd
70 %	1,2 clo	-0,60	12 %	3	Godkänd

## 5 Diskussion

Ett syfte med arbetet var att utreda människans komfort, produktivitet och hälsa om man ändrar de befintliga komfortkraven. Om ökad medvetenhet och acceptans hos människan kan ändra synsättet på ett förändrat inomhusklimat, för att i sin tur minska energianvändningen. Studier och undersökningar har gett en ökad förståelse för hur stor påverkan byggnadstekniska system har på inomhusklimatet och att höga krav på komfortnivån innebär höga utsläpp av bland annat koldioxid, vilket inte är acceptabelt om vi ska nå långsiktiga klimatmål.

Den stora frågan är vad vi idag prioriterar, människan eller miljön. Människans termiska komfort behöver inte förändras vid sänkta temperaturer om rätt balans mellan det termiska klimatets parametrar kan uppnås. Om sänkta inomhustemperaturer med 1–2 °C kan kompenseras med lite varmare kläder för att uppnå samma PMV är det en kompromiss för människans bekvämlighet som är åtgärden för att skona miljön. Att alltid förvänta sig att det byggnadstekniska systemet ska förse rummet med optimal termisk komfort kostar både för ekonomin och klimatet. Om människan ska uppfatta optimal termisk komfort året runt, medför det stor energianvändning som i slutändan leder till konsekvenser på klimatet. På grund av examensarbetet på denna nivå med begränsad tid har förenklade beräkningar och antaganden gjorts i arbetet, men för att få mer exakta resultat i framtiden bör mer komplicerade verktyg användas.

Människans upplevelse av inomhusklimatet påverkas inte enbart av de fysiska parametrarna, utan även de fysiologiska, psykologiska och sociala faktorerna. Det termiska klimatet upplevs därför olika beroende på situationen och individen. Människans klädsel och typ av aktivitet påverkar också den termiska komforten i ett rum. Det är därför viktigt med människans medvetenhet. Om brukarna kan tänkas ta på sig en extra tröja de kallaste dagarna kan den termiska komforten höjas även vid lägre inomhustemperaturer. Enligt en forskningsrapport (Wyon, Fanger, Olesen, & Pedersen, 1975) är produktivitetsnivån densamma vid 0,6 clo och 23,2 °C som vid 1,15 clo och 18,7 °C, vilket bevisar att det är en möjlig åtgärd. Frågan är vad människan är villig att göra och om mer information om inomhusklimatets påverkan kan leda till att människans acceptans ökar. Resultatet i kapitel 5 för PMV och PPD visar att variationer av de ingående parametrarna kan leda till en acceptabel procentuell andel nöjda människor med ett inomhusklimat som skulle minska byggnadens energianvändning. Medelstrålningstemperaturen i arbetet har antagits samma som lufttemperaturen, men för att få mer exakta resultat bör mer noggranna uträkningar på medelstrålningstemperaturen göras.

Utifrån beräkningsresultatet i tabell 17-19 framgår det även att det är möjligt att uppnå en överensstämmelse med standarden EN 15251 även vid en temperatur på 18 °C genom att endast öka klädseln till 1,2 clo. En ökning med 0,2 clo skulle kunna liknas med att brukarna tar på sig en extra kofta. Rimligtvis skulle då en rumstemperatur på 19 °C, som är mindre extrem, vara en möjlig temperatur inom termisk komfort, men givetvis bör brukarna själva anpassa sin klädsel. Något som även borde ha i åtanke är att temperaturhänvisningarna är riktade till hela kroppens komfort och därmed bör lokala obehag kontrolleras. Exempelvis skulle människor kunna vara acceptabla vid en temperatur på 18 °C, men om de sitter bredvid ett kallt

fönster kommer lokalt obehag upplevas på grund av fönstrets strålningstemperatur. Detsamma skulle kunna hända under sommaren bredvid ett icke solavskärmat fönster.

En intressant slutsats från litteraturstudierna är att brukarna presterar bättre när det finns en möjlighet till individuell påverkan på inneklimatet vilket i sin tur lett till minskad sjukfrånvaro. Kostnaden av frånvaro på grund av sjukdom på arbetsplatser är dessutom mycket högre än kostnaden av byggnadens energianvändning, men återigen är det en prioriteringsfråga. Något tänkvärt är att de studerade forskningsrapporternas resultat visar på olika temperaturer då människans presterar som bäst. Enligt en forskningsrapport uppstår högsta prestationen vid temperaturen 20 °C, medan en annan rapport menar på att den uppstår mellan 21–24 °C (Seppänen, Fisk, & Lei, 2006). Eftersom den optimala prestationen i ett kontor inte behöver vara då människan upplever termisk komfort,  $PMV=0$ , utan kan vara vid 20 °C med ett  $PMV=0,21$  (Kosonen & Tan, 2004), gör fortsatt undersökning och forskning mer intressant.

I tidigare studier har det visat sig att acklimatiserade människor presterar bättre i varmare temperaturer än människor som inte vistats i miljön innan (Evans, 1982). Troligtvis kan exponeringstiden i ett rum ligga till grund för de olika studiers skilda resultat och är något som borde beaktas när man jämför forskningsresultat. Något som observerades i informationssökningen av forskningsrapporterna var att många resultat inte kopplades till någon specifik årstid, medan myndigheternas och branschstandardernas krav varierar beroende på årstiden. Många andra experimentella förhållanden så som exempelvis klädseln hos deltaga och belysningen i rummet är faktorer som kan skilja sig mycket i olika experiment och därmed påverka dess resultat.

Människans prestationsförmåga har visat sig vara likvärdig med att sänka flödet från 10 l/s per person till 3,5 l/s per person som att sänka temperatur och luftfuktighet från 23 °C/50 % till 20 °C/40 %. Luftfuktigheten tas sällan i betraktelse, men det är tydligt att det har en viss betydelse i de studier som tar hänsyn till det. Resultaten i kapitel 5 visar på att upplevelsen i rummet vid en konstant temperatur med olika luftfuktigheter varierar mellan något kall till något varm känsla. I våra resultat kan man även se att lufthastigheterna har betydelse på den termiska komforten. Vid kallare temperaturer i ett rum blir färre människor missnöjda med det termiska klimatet om lufthastigheterna minskar. Det är även tydligt i resultaten att fläktenergin minskar med minskande luftflöden. Det är därför bättre att försöka sänka luftflödena vintertid, utan att nå en oacceptabel nivå på luftkvalitén.

En bra luftkvalité är viktig för att undvika negativa effekter på människans hälsa. Dock är frågan om myndigheternas rekommendationer på koldioxidhalten i ett rum för stränga, då det rekommenderade värdet från Arbetsmiljöverket är 1000 ppm samtidigt som en studie inte visade några negativa effekter på prestationen vid 3000 ppm (Wargocki, Wyon, Baik, Clausen, & Fanger, 1999). Dock presenterades inte tiden brukarna utsattes för den högre koldioxidhalten, vilket är avgörande för effekten på prestationen. Dagens krav skulle behöva uppdateras och styrkas av vetenskapliga underlag och studier. Hälsans påverkan på grund av inomhusklimatet och temperaturer har fått ökad uppmärksamhet under de senaste åren. Världshälsoorganisationen rekommenderar att rumstemperaturen ska ligga någonstans mellan 18–22 °C. En forskningsrapport styrker denna rekommendation och menar att

under 18 °C upplever människan ett obehag (World Health Organization, 2007). Men att sänka inomhustemperaturen till exempelvis 19–20 °C, vilket är temperaturer som inte är särskilt låga för brukarna, skulle kunna medföra stora skillnader i energisynpunkt. Det krävs dock mer forskning av människans upplevelse av det termiska klimatet vid låga temperaturer.

Efter djupare informationssökning och testberäkningar har det gett en ökad förståelse för vikten av alla parametrar som måste tas hänsyn till vid energiberäkningar kopplat till byggnadens energianvändning. I byggnader med behovsstyrda luftflöden där ventilationssystemet styrs av koldioxidhalten i rummet och värmelasterna i lokalen är det svårt att beräkna den exakta energianvändningen, då det ständigt varierar och beror på situationen. Det är därför komplext att göra beräkningar på detta med förenklad programvara i Excel. För att få mer exakta och mera verklighetsmässiga resultat behövs komplicerade datorprogram med större känslighet. För att få exaktare och mer verklighetsmässiga resultat behövs komplicerade datorprogram med hänsyn till alla parametrar användas. Resultaten i Bilaga A visar att kylbehovet kräver störst energi i kontorslokaler. Sommartid är färre är missnöjda med inomhusklimatet om lufthastigheten ökar, men högre luftflöden leder till högre energianvändning. Byggnaders värme- respektive kylbehov täcks till största del av berg- och fjärrvärme som till stor del är miljövänlig. Däremot drivs fläktenergin av köpt el, där valet av energikälla är avgörande för hur stor miljöpåverkan blir.

Även om energibesparingarna på en byggnad anses som små måste man se det i större perspektiv. Om dessa energibesparingar kan göras på Sveriges alla kontorshus som har en total area på 31,6 miljoner m<sup>2</sup>, kan stora energibesparingar göras. Genom att sänka effekttopparna genom att förskjuta energianvändningen under årets kallaste dagar skulle det leda till att reservkrafter som drivs av fossila bränslen kan undgås och försörjas helt av miljövänligare och oändliga energikällor.

## 6 Slutsats

En slutsats är att termisk komfort kan uppnås vid olika termiska förhållanden. Klädseln har stor påverkan på människans upplevelse av rummet, samt är en relativt enkel åtgärd för att få en ökad komfort vintertid. Med minskade inomhustemperaturer med 1–2 °C och lite varmare kläder, kan vi uppnå samma PMV, så samma termiska komfort utan kompromiss. Om temperaturerna kan tillåtas minskas respektive tillåtas ökas, resulterar det i reducerade effekttoppar. Om medvetenhet och individuell påverkan på inomhusklimatet kan öka acceptansen hos brukarna kan det vara en lösning för att bevara termisk komfort, samtidigt som byggnaden kan energieffektiviseras.

För att främja en hållbar utveckling och nå de långsiktiga klimatmålen behöver dagens krav och standarder ses över. Innan dagens komfortkrav ändras i hänseende till att minska byggnads energibehov måste mer forskning göras, för att undersöka vad som blir konsekvenserna för människan.

Vidare arbete skulle kunna göras genom att använda mer komplicerade beräkningsverktyg för beräkning av den termiska komforten, för att få fram mer exakta resultat. Samt en sammanställning av information till brukarna i kontor om syftet varför det termiska klimatet bör förändras.

## Referenser

- Abel, E., & Elmroth, A. (2008). *Byggnaden som system*. Stockholm, Sverige: Alfaprint.
- Approved American National Standard. (2017). ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE. Hämtat från file:///C:/Users/User/Downloads/389138194-55-2017-ASHRAE-Thermal-Comfort-Standard.pdf
- Arbetsmiljöverket. (den 08 10 2009). *AFS 2009:2*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-foreskrifter-afs2009-2.pdf>
- Arbetsmiljöverket. (den 29 05 2018). *Arbetsplatsens utformning: Arbetsmiljöverkets föreskrifter om arbetsplatsens utformning samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-foreskrifter-afs2009-2.pdf>
- Arbetsmiljöverket. (den 08 01 2018). *Risker med dålig ventilation*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/risker-med-dalig-ventilation/?hl=koldioxidhalt>
- Bengt Dahlgren AB. (u.d.). LCC hjälp samt förslag på indata - Utsläpp av koldioxid och växthusgaser. Opublicerat manuskript.
- Berg, J. (u.d.). *Luftbefeuktning och avfuktning*. Hämtat från Condair: <https://www.condair.se/fakta-om-luftbefeuktning-och-avfuktning/Arbetsmiljo-inomhusklimat-och-luftfuktighet>
- Boverket. (2007). *Energianvändning i byggnader*. Hämtat från Boverket: [https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2007/energianvandning\\_i\\_byggnader.pdf](https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2007/energianvandning_i_byggnader.pdf)
- Boverket. (den 27 12 2017). *Om boverket*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/>
- Boverket. (02 2018). *Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/hallbart-byggande-med-minskad-klimatpaverkan.pdf>
- Castegren, G. (den 12 02 2019). *Klimatdialog ska minska miljöpåverkan från fjärrvärme*. Hämtat från SABO: <https://www.sabo.se/klimatdialog-ska-minska-miljopaverkan-fran-fjarrvarme/>
- Cui, W., Cao, G., Park, J. H., Ouyang, Q., & Zhu, Y. (2013). *Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance*. Peking: Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.012>
- Ekberg, L. (2006). *Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav* (Vol. R1). Stockholm, Sverige: VVS Tekniska föreningen.
- Ekberg, L. (2006). *Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav* (Vol. R1). Stockholm, Sverige: VVS Tekniska föreningen.
- Ekberg, L. (2007). An introduction to indoor climate a concept. i P.-E. Nilsson (Red.), *Achieving the desired indoor climate, energy efficiency aspects of system design* (ss. 13-19). Lund, Sverige: Studentlitteratur.
- Elmroth, A., & Enno, A. (2008). *Byggnaden som system, andra reviderade upplagan* (2:a uppl.). Forskningsrådet Formas.
- Energi & klimatrådgivningen. (den 19 december 2017). *energirådgivningen.se*. Hämtat från <https://energiradgivningen.se/skola/var-kommer-energin-ifran> : <https://energiradgivningen.se/skola/var-kommer-energin-ifran> den 15 april 2019
- Energimyndigheten. (den 20 februari 2014). *Energimyndigheten*. Hämtat från [www.energikunskap.se](http://www.energikunskap.se): <http://www.energikunskap.se/sv/faktabasen/vad-ar-energi/energibarare/fjarrvarme/> den 15 april 2019
- Eon. (den 11 02 2019). *Fjärrvärme och miljövärden*. Hämtat från Eon: <https://www.eon.se/privat/for-hemmet/fjarrvarme/miljo-och-fjarrvarme.html>

- Evans, G. W. (1982). *Environmental stress*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fang, L., Clausen, D. W., & Fanger, P. (2002). *Sick Building Syndrome symptoms and performance in a field laboratory study at different levels of temperature and humidity*. Denmark: Indoor Air. Hämtat från <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7160.pdf>
- Fanger, P. (1970). *Thermal Comfort—Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Fanger, P. O. (1999). *Indoor Air Quality in the 21st Century: Search for Excellence*. Hämtat från <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1034/j.1600-0668.2000.010002068.x>
- Folkhälsomyndigheten. (2005). *Temperatur inomhus*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/a22abd3cdc1042e195d50fe4484a7fb9/temperatur-inomhus.pdf>
- Folkhälsomyndigheten. (den 2 1 2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten : <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/da13aa23b84446d3913c4ec32a6a276d/fohmfs-2014-17.pdf>
- Folkhälsomyndigheten. (u.d.). *Folkhälsomyndigheten*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/>
- FTX-ventilation. (u.d.). *FTX-ventilation*. Hämtat från FTX-ventilation: <http://ftx-ventilation.se>
- FTX-ventilation.se. (u.d.). *En webbplats för ökad ventilation*. Hämtat från FTX-ventilation: <http://ftx-ventilation.se> den 20 04 2019
- Green Match. (u.å.). *Vad är bergvärme?* Hämtat från Green Match: <https://www.greenmatch.se/vaermepump/bergvaerme>
- Haneda, M., Wargocki, P., Dalewski, M., & Tanabe, S.-i. (2009). *The effects of thermal discomfort on task performance, fatigue and mental work load examined in a subjective experiment*. Research gate. Hämtat från [https://www.researchgate.net/profile/Pawel\\_Wargocki/publication/287642446\\_The\\_effects\\_of\\_thermal\\_discomfort\\_on\\_task\\_performance\\_fatigue\\_and\\_mental\\_work\\_load\\_examined\\_in\\_a\\_subjective\\_experiment/links/56f63dfe08ae81582bf21c92.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pawel_Wargocki/publication/287642446_The_effects_of_thermal_discomfort_on_task_performance_fatigue_and_mental_work_load_examined_in_a_subjective_experiment/links/56f63dfe08ae81582bf21c92.pdf)
- Hill, A. J., Han, Y., Taylor, J., Shealy, T., Pearce, A. R., & Mohammadi, N. (2019). *Empirical Examination of Pro-environmental Behaviors in Traditional, Green Featured, and LEED Certified Buildings*. Hong Kong: Elsevier Ltd. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.843>
- Holmström, C. (den 12 11 2018). *Elproduktion*. Hämtat från Ekonomifakta: <https://byggjtjanst.se/acdmy/en-introduktion-till-miljocertifiering/>
- Hoyt, T., Schiavon, S., Piccioli, A., Cheung, T., Moon, D., & Steinfeld, K. (2017). *CBE Thermal Comfort Tool*. Hämtat från Center for the Built Environment, University of California Berkeley: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/EN>
- IV produkt. (den 03 12 2003). *Teknik & System*. Hämtat från IV produkt: <https://ivprodukt.docfactory.com/api/v1/cnt/ivprodukt/id/Z0Gs0SaxR0Ggj--sdlnEuQ/>
- Kaczmarczyk, J., P., A. M., & Fanger, O. (2008). *Human response to personalized ventilation and mixing ventilation*. Hämtat från <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0668.2004.00300.x>
- Kosonen, R., & Tan, F. (Oktober 2004). *Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index*. Kausala: Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.06.021>
- Lan, L., Lian, Z., & Pan, L. (2010). *The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings*. Shanghai: Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.04.003>
- Levin, P. (10 2012). *Brucarindata kontor*. Hämtat från Sveby: <http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2013/06/Brucarindata-kontor-version-1.1.pdf>
- Lindinvent. (u.d.). *Allmänt om - Klimatstyrning för kontor*. Hämtat från [lindinvent.se](http://www.lindinvent.se): <https://www.lindinvent.se/losningar/ventilation-kontor/allmant-om/> den 06 05 2019



- Lindinvent. (u.å.). *Projekteringsanvisning Ventilation, värme*. Hämtat från Lindinvent: [https://www.lindinvent.se/media/245348/vvs\\_proj2\\_10.pdf](https://www.lindinvent.se/media/245348/vvs_proj2_10.pdf)
- Lomas, K., & Porritt, S. (2017). *Overheating in buildings: lessons from research*. Hämtat från <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2017.1256136?scroll=top&needAccess=true>
- Meese, G. B., Kok, R., Lewis, M. I., & Wyon, D. P. (1984). *A laboratory study of the effects of moderate thermal stress on the performance of factory workers\**. *Ergonomics*, 27:1, 19-43. doi:<https://doi.org/10.1080/00140138408963461>
- Miljöministeriets. (den 17 05 2013). *Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning*. Hämtat från Miljöministeriet: [https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5r\\_2012.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5r_2012.pdf)
- Myc-Tech AB. (den 27 06 2012). *Gränsvärden för koldioxid i byggnader*. Hämtat från Byggombud: <http://www.myctech.com/files/Gr%C3%A4nsv%C3%A4rdenkoldioxid-inomhus.pdf>
- Naturskyddsföreningen. (den 16 02 2016). *Fjärrvärme märkt med Bra Miljöval*. Hämtat från Naturskyddsföreningen: <https://www.naturskyddsforeningen.se/bramiljoval/varme>
- Niemelä, R., Hannula, M., Rautio, S., Reijula, K., & Railio, J. (2002). *The effect of air temperature on labour productivity in call centres—a case study*. *Helsingfors: Energy and Buildings* 34 (2002) 759–764. Hämtat från <http://www.theurbanclimatologist.com/uploads/4/4/2/5/44250401/niemalaetal2002calcenterproductivity.pdf>
- Niemelä, R., Railio, M., Hannula, S., Rautio, S., & Reijula, K. (2001). *Assessing the effects of indoor environment on productivity*. Proceedings of the Seventh World Congress. Neapel, Italy: CLIMA 2000/Napoli 2001 World Congress. Hämtat från [https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/assessing-the-effect-of-indoor-environment-on-productivity\(fc248514-ffd7-4e66-b009-8901680b215a\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/assessing-the-effect-of-indoor-environment-on-productivity(fc248514-ffd7-4e66-b009-8901680b215a).html)
- Parson, K. (2002). *Human Thermal Environments -The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*. Boca Raton: CRC Press.
- Schiavon, S., & Ho Lee, K. (01 2013). Dynamic predictive clothing insulation models based on outdoor air and indoor operative temperatures. *Elsevier*, 59, ss. 250-260. Hämtat från <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.024>
- Seppänen, O., Fisk, W. J., & Faulkner, D. (2003). *Cost benefit analysis of the night-time ventilative cooling in office building*. Hämtat från <https://escholarship.org/uc/item/3j82f642>
- Seppänen, O., Fisk, W., & Faulkner, D. (2004). *Control of temperature for health and productivity in offices*. Institute of Heating Ventilating and Air Conditioning. Espoo: Helsinki University of Technology.
- Seppänen, O., Fisk, W., & Lei, Q. (2006). *Room Temperature and Productivity in Office Work*. Hämtat från <https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt9bw3n707/qt9bw3n707.pdf>
- Stoops, J. (2007). Achieving the desired indoor climate. i P.-E. Nilsson (Red.), *Achieving the desired indoor climate, energy efficiency aspects of system design* (ss. 21-35). Lund, Sverige: Studentlitteratur.
- Sweden Building Green Council. (u.å.-b). *Vad är Miljöbyggnad?* Hämtat från <https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/vad-ar-miljobyggnad/>
- Sweden Green Building Council. (den 01 10 2015). *Swedish Alternative Compliance Path - Mandatory Provisions of ASHRAE 90.1-2010*. Hämtat från USGBC: <https://www.usgbc.org/sites/default/files/Sweden%20Regional%20ACP%20for%20ASHRAE%2090.1-2010%20Mandatory%20Provisions.pdf>
- Sweden Green Building Council. (u.å.-c). *Vad är BREEM-SE?* Hämtat från <https://www.sgbc.se/certifiering/breeam-se/vad-ar-breeam-se/>
- Sweden Green Building Council. (u.å.-a). *Vad är Green Building?* Hämtat från Sweden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/certifiering/greenbuilding/vad-ar-greenbuilding/>

- Swedish Standard Institute . (2007). SS-EN 15251:2007. *Indata för konstruktion och bestämning av energiprestanda i byggnader, avseende inomhusmiljö gällande luftkvalitet, termiskt klimat, ljus och buller*. Stockholm: SIS Förlag AB . Hämtat från <https://enav.sis.se>
- Swedish Standard Institute. (2005). SS-EN ISO 7730:2005. *Ergonomi för den termiska miljön – Analytisk bestämning och bedömning av termisk komfort med hjälp av indexen PMV och PPD samt kriterier för lokal termisk komfort*. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtat från <https://enav.sis.se>
- Sweeden Green Building Council. (den 22 02 2016). *BREEAM-SE vers 2.0* . Hämtat från Sweeden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/app/uploads/2018/10/BREEAM-SE-sve-130501-2.0-160223.pdf>
- Sweeden Green Building Council. (u.å.-d). *Certifiera med LEED*. Hämtat från Sweeden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/certifiering/leed/certifiera-med-leed/>
- Svensk Byggtjänst. (den 29 09 2016). *En introduktion till miljöcertifiering*. Hämtat från <https://byggtjanst.se/acdmy/en-introduktion-till-miljocertifiering/>
- Svensk Ventilation. (2006). *Bäst i klassen*. ?, Sverige: Svensk Ventilation.
- Wahlström, Å., & Warfvinge, C. (den 15 09 2017). *Miljöbyggnad 3.0*. Hämtat från Sweeden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/app/uploads/2018/07/Milj%C3%B6byggnad-3.0-Befintliga-byggnad-vers-170915.pdf>
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur.
- Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G., & Fanger, P. O. (1999). *Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads*. Denmark: Munksgaard. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1999.t01-1-00003.x>
- Vattenfall. (u.å.). *Miljöpåverkan*. Hämtat från Vattenfall: <https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/miljopaverkan/>
- World Health Organization. (2007). *Housing, energy and thermal comfort*. Köpenhamn: WHO Regional Office for Europe. Hämtat från Housing, Energy and Thermal comfort: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/97091/E89887.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/97091/E89887.pdf)
- Wyon, D. P. (2004). *Indoor enviromental effects on productivity*. International Centre for Indoor Environment and Energy. Indoor Air. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00278.x>
- Wyon, D., Fanger, P., Olesen, B., & Pedersen, C. (1975). *The Mental Performance of Subjects Clothed for Comfort at Two Different Air Temperatures*. Ergonomics, 18:4, 359-374. doi:10.1080/00140137508931470
- Öberg, M. (2010). *Analysgrupp Kontorshus Slutrapport*. (Rapportserie Bygginnovationen fas 1). Bygginnovationen . Hämtat från <http://www.bygginnovationen.se/library/2803/analysgrupp-kontorshus-slutrapport-170316.pdf>

## Bilaga A – Byggnadens energianvändning

### A.1 Byggnadens värmebalans

En byggnad kräver tillförsel av energi för att upprätthålla ett önskvärt rumsklimat och för att driva olika tekniska installationer. Den energi som åtgår för att upprätthålla rumsklimatet är mer eller mindre starkt kopplad till klimatförhållanden utanför byggnaden.

En byggnads värmebalans vid en given tidpunkt vintertid då  $T_{ute} < T_{rum}$  beskrivs i Figur 7 En byggnads värmebalans.. Parametrar som påverkar värmebalansen i huset och påverkas av klimatet utanför är transmission genom byggnadens omslutningsytor, luftinfiltration, det vill säga luft som läcker ut och in på grund av ventilation-, och luftläckage samt solinstrålning genom fönster. Parametrar som påverkar värmebalansen, men som i stort sett inte påverkas av klimatet utanför är internlaster från människor, belysning och apparater. Värmesystemet tillgodoser att önskade temperaturer upprätthålls i byggnaden.

Värmeeffektbalansen för en byggnad kan beskrivas

$$Q_T + Q_V + Q_{Ov} = Q_S + Q_I + Q_w \text{ [W]} \quad (3)$$

Där värmeförlusten från byggnaden är:

$Q_T$  - transmissionsförluster [W]

$Q_V$  - ventilationsförluster [W]

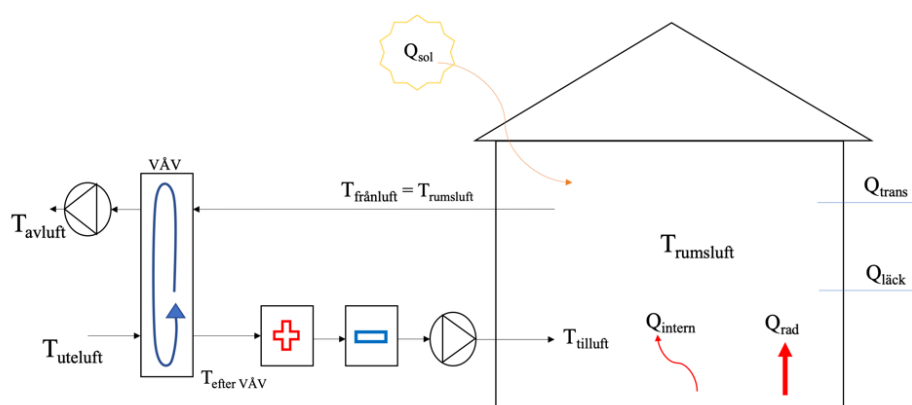
$Q_{Ov}$  - oavsiktlig ventilation [W]

Och värmeförseln till byggnaden är:

$Q_S$  - solinstrålning [W]

$Q_I$  - internlaster [W]

$Q_w$  - effekten från värmesystemet [W]



Figur 7 En byggnads värmebalans. Författarens egen bild.

Internlaster och solinstrålning tillför rummet med gratisvärme. Värmeeffektbehovet för transmissionsförluster, ventilationsförluster och luftläckage drivs av tryck- och temperaturskillnader mellan ute och inne och är därför större under vinterhalvåret.

## A.2 Luftbehandlingsaggregat

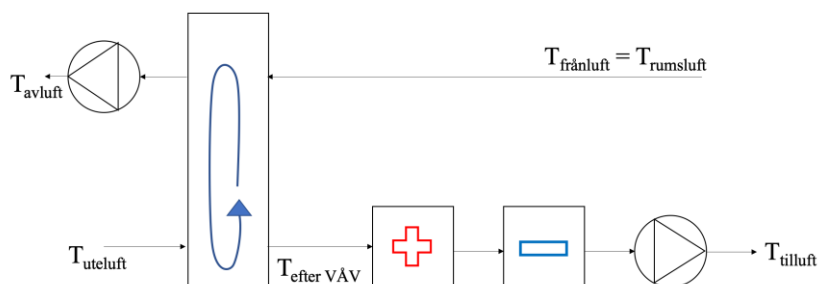
DCV, *Demand Controlled Ventilation*, är ett ventilationssystem som styrs utifrån ett behov (Lindinvent, u.å.). Vanligen varieras luftflödet i ett DCV-system och därför används ofta benämningen VAV, *Variable Air Volume*. Ofta varierar man luftflödet för att kyla bort värmelaster i lokalen. Tilluften är då kallare än rumsluften och luftflödet ökar då temperaturen och värmelasterna stiger. Luftkvaliteten regleras också av luftflödet och styrs ofta av koldioxidhalten i rummet. I figur 8 visas en förenklad bild på ett luftbehandlingsaggregat.

Enligt Lindinvent (u.å.) är det invecklat att välja den optimala tillufttemperaturen eftersom den beror på det totalt aktuella luftflödet i systemet, utomhustemperaturen, typ av värmeåtervinnare samt energipriset för värme respektive kyla. Förhållandet mellan tilluftstemperaturen och luftflödet i ett DCV-system där tilluften används för att kyla, är sådant att höga temperaturer leder till höga flöden.

I luftbehandlingsaggregatet värms luften först av värmeåtervinnaren och därefter värms vid behov av ett luftvärmebatteri. Uppvärmningen kan ske med hjälp av bland annat varmt vatten från berg- eller fjärrvärme som värmer upp luften som passerar genom luftvärmaren.

Klimatskalet är ofta välisolerat och i kombination med värme från solinstrålning, kontorsapparater, belysning och brukare blir ofta värmetillskottet större än värmeförlusterna och många kontor är därför övertempererade. Den kyla som används för att sänka inomhustemperatur i kontorslokaler kallas komfortkyla. Ventilationssystemets huvuduppgift är att rena luften, men när det finns ett värmeöverskott kan den användas för kylning. Undertempererad tilluft och storleken på luftflödet kyler rumsluften.

Investeringskostnaden har länge varit avgörande för val av fläktstorlek (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Följden av de höga elpriserna samt drift- och underhållskostnader har lett till att det är mer lönsamt att köpa en eleffektiv fläkt, även om inköpspriset är dyrare. Det finns en fläkt för tilluft och en för frånluft i ett FTX-system och valet av fläkt beror på ventilationsflödet. Specifik fläkteffekt, SFP (Specific Fan Power) finns för att bedöma ventilationssystemets eleffektivitet. SFP-värdet ger förhållandet mellan tillförd effekt från till- och frånluftsfläktarna och luftflödet i ventilationssystemet enligt. Fläkteffekten mäter hur mycket elenergi som krävs för att fläkten ska producera ett visst flöde. Funktionen som tar fram fläkteffekten innehåller önskad luftflödet och luftrycket.



Figur 8 Luftbehandlingsaggregatets komponenter. Författarens egen bild.

## A.3 Effektbehov

### Värmeeffekt

Eftersom den största effekttoppen för uppvärmning uppstår under årets kallaste dagar beräknas effekten över batterier en typisk kall vinterdag i Göteborg då temperaturen är  $-16\text{ °C}$ . Effekten beror på vilken önskad rumstemperatur (frånluftstemperatur) som är sätt och ökar vid ökad tilluftstemperatur. Värmebatteriets effekt är även beroende på temperaturen efter värmeåtervinnaren som beror på utomhustemperaturen och frånluftstemperatur. Temperaturerna som kommer testas är

$T_{\text{ute}}$	$-16\text{ °C}$
$T_{\text{frånluft}}$	$21, 20, 19\text{ °C}$

För att beräkna luftvärmarens effektbehov beräknas

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot (T_{\text{till}} - T_{\text{å}}) \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

där

$\rho$  – luftens densitet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$c_p$  – specifik värmekapacitet [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ]

$V$  – luftflödet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

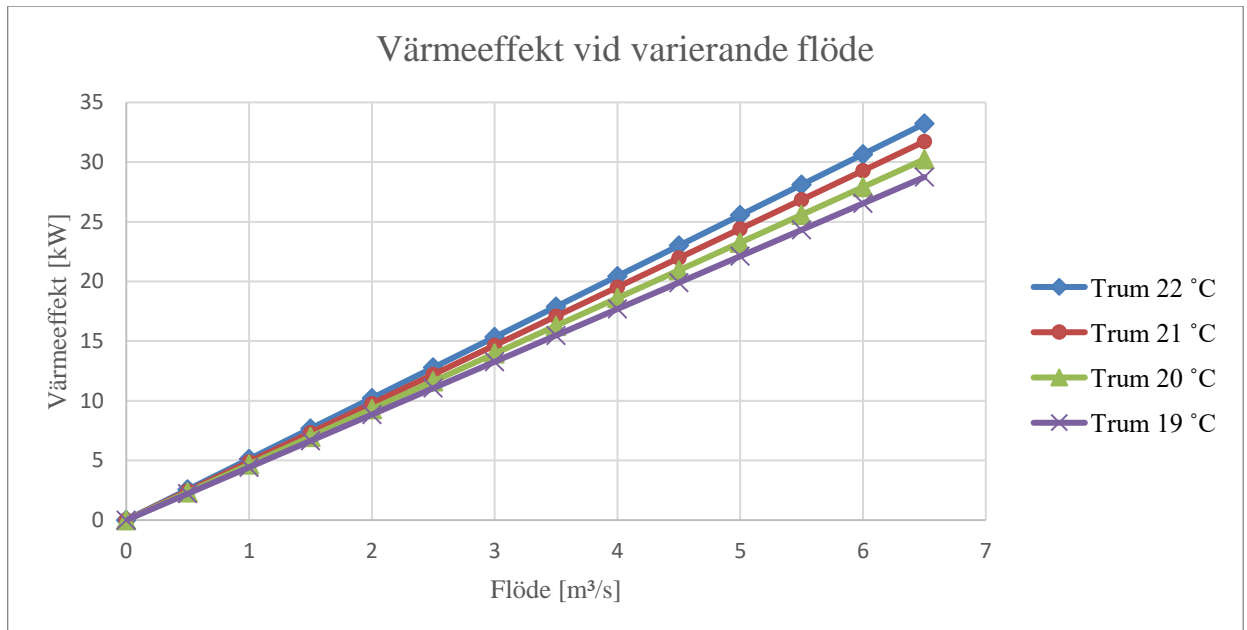
$T_{\text{till}}$  – tilluftstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{\text{å}}$  – temperatur efter värmeåtervinnaren [ $^{\circ}\text{C}$ ]

I Tabell 20 är temperaturen efter värmeåtervinnaren ( $T_{\text{å}}$ ) för DVUT framtagen vilket gav värmebatteriets temperaturhöjning vid önskad rumstemperatur. Tilluften varierar mellan  $22,0\text{--}16,0\text{ °C}$  då det är vintertid. Tilluftstemperaturen minskas då lägre rumstemperaturer önskas i rummet. För J51 används det dimensionerande flödet  $4,5\text{ m}^3/\text{s}$  enligt bilaga B och därmed kan värmebatteriets effekt tas fram med hjälp av ekvation 4. I Figur 9 Värmebatteriets effekt vid varierande flöden. redovisas flödet över värmebatteriets påverkan på effekten vid olika rumstemperaturer.

Tabell 20 Effekt på värmebatteri vid DVUT.

$T_{\text{rum}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{till}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{å}} [^{\circ}\text{C}]$	$\Delta T_{\text{batteri}} [^{\circ}\text{C}]$	Flöde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$Q_{\text{värmebatteri}} [\text{kW}]$
<b>22</b>	22,0	17,74	4,26	4,5	22,99
<b>21</b>	18,0	13,93	4,07	4,5	21,96
<b>20</b>	17,0	13,12	3,88	4,5	20,93
<b>19</b>	16,0	12,32	3,69	4,5	19,90

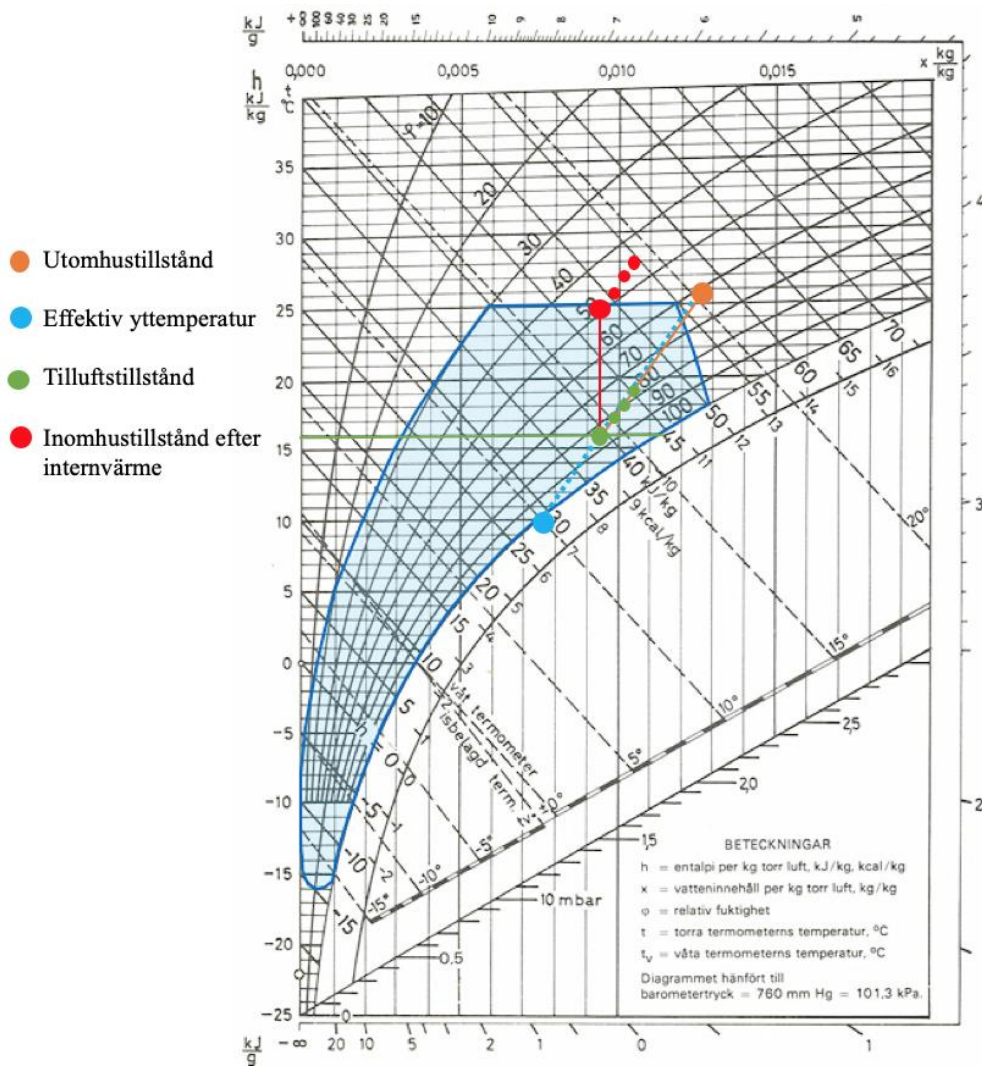


Figur 9 Värmebatteriets effekt vid varierande flöden. Författarens egen bild.

## Kyleffekt

Den största effekttoppen för kylning uppstår under årets varmaste dagar beräknas effekten över kylbatteriet för den varmaste förekommande dagen, 26 °C och 60 % relativ fuktighet i Göteborg. Effekten beror på önskad tilluftstemperatur och minskar när tilluftstemperaturen är lägre.

För att beräkna en byggnads kyleffekt vid olika utomhustemperaturer används ett Mollierdiagram, konstruerat av Richard Mollier år 1923 (IV produkt, 2003). Sambandet mellan luftens temperatur, fuktighet och värmeinnehåll tas fram genom diagrammet i Figur 10 Mollierdiagram. JSP dimensionerande fall., för att kunna räkna ut kyleffekten med ekvation 5.



Figur 10 Mollierdiagram. JSP dimensionerande fall. Författarens egen bild.

Kyleffekten beräknas genom följande formel

$$Q = V \cdot \rho \cdot \Delta h \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

V – flödet i m<sup>3</sup>/s

ρ – luftens densitet i kg/m<sup>3</sup>

Δh – entalpiförändringen i kJ/kg

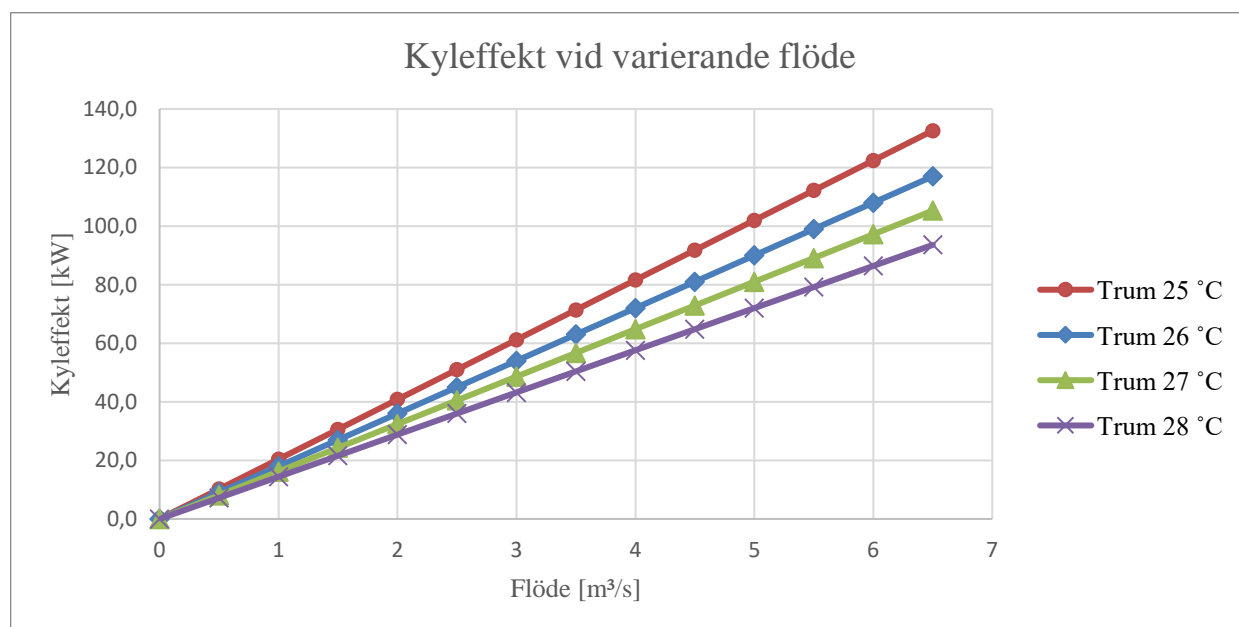
Dimensionerande temperatur och fuktighet på utomhus- och rumsluften används för att avläsa värmeinnehållet, entalpi i kJ/kg luft (IV produkt, 2003). För J51 används det dimensionerande flödet 4,5 m<sup>3</sup>/s enligt bilaga B. Kyleffekten tas fram med hjälp av ekvation 5.

Vid våt kylning sker luftens tillståndsförändring i riktning mot kylbatteriets medelytttemperatur. Medelytttemperaturen antas till 5 °C. När överslagsberäkningar görs används en effektiv yttemperatur, som är några grader högre än medeltemperaturen. Den effektiva yttemperaturen antas därmed till 10 °C.

I Tabell 21 Effekt på kylbatteri vid varierande rumtemperaturer redovisas effekten över kylbatteriet vid ändrade rumtemperaturer och konstant flöde. I Figur 11 Kyleffekt vid varierande flöde redovisas flödet över värmebatteriets påverkan på effekten vid olika rumtemperaturer.

Tabell 21 Effekt på kylbatteri vid varierande rumtemperaturer.

$T_{rum}$ [°C]	$T_{till}$ [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Flöde [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{kylbatteri}$ [kW]
25	16	17	4,5	91,8
26	17	15	4,5	81,0
27	18	13,5	4,5	72,9
28	19	12	4,5	64,8



Figur 11 Kyleffekt vid varierande flöde. Författarens egen bild.

## Fläkteffekt

$$SFP = \frac{Q^T + Q^F}{V_{max}} \quad (6)$$

där

$Q^T$  - tillförd el till tilluftsfläkten [kW]

$Q^F$  - tillförd el till frånluftsfläkten [kW]

$V_{max}$  - det största av till- och frånluftsflödet [m<sup>3</sup>/s]

Vid beräkning av fläkteffekten vid varierande flöden på tilluftsidan används följande

$$Q^T = \frac{V \cdot \Delta p}{n} \quad (7)$$

där

$V$  - tilluftsflödet [m<sup>3</sup>/s]

$\Delta p$  - totala tryckhöjningen [Pa]

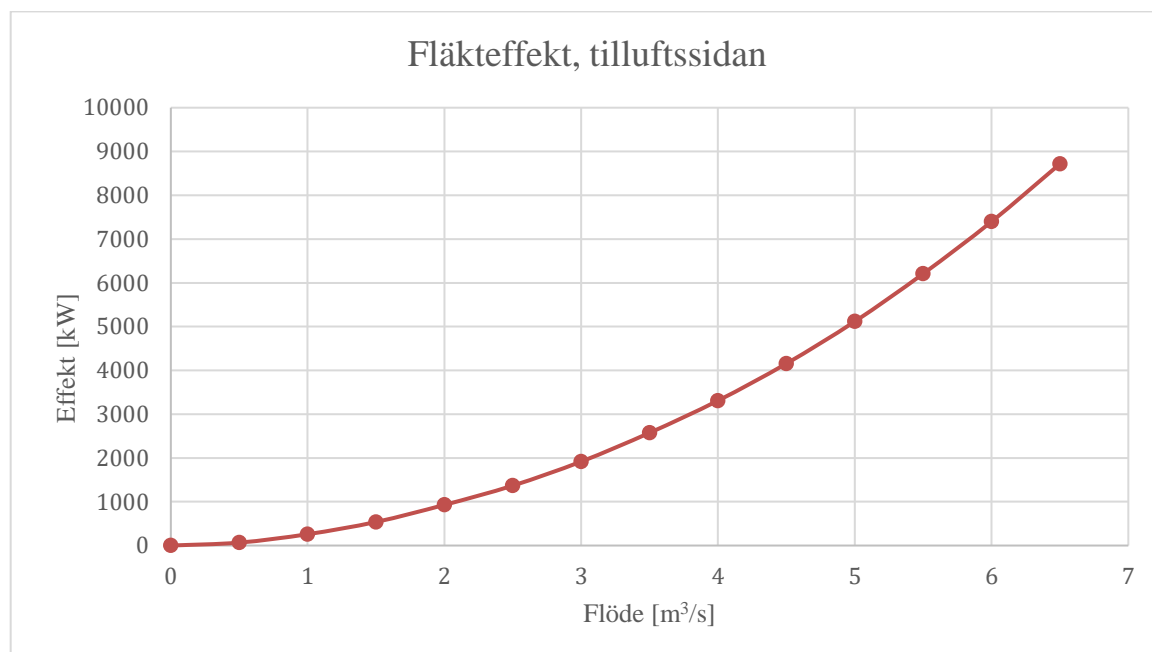
$n$  - fläktens totalaverkningsgrad [-]



Den totala tryckhöjningen över fläkten beräknas genom ekvation 8.

$$\Delta p = V^2 \cdot \text{konstant} \quad (8)$$

För att ta fram verkningsgraden vid varierande flöden används ett fläktdiagram, se bilaga B (Figur 16 Fläktdiagram - Tilluft - J51.). I Figur 12 Fläkteffekt vid varierande flöde. är fläktens effekt uträknad och representerar hur effekten övar vid ökat tilluftsflöde.



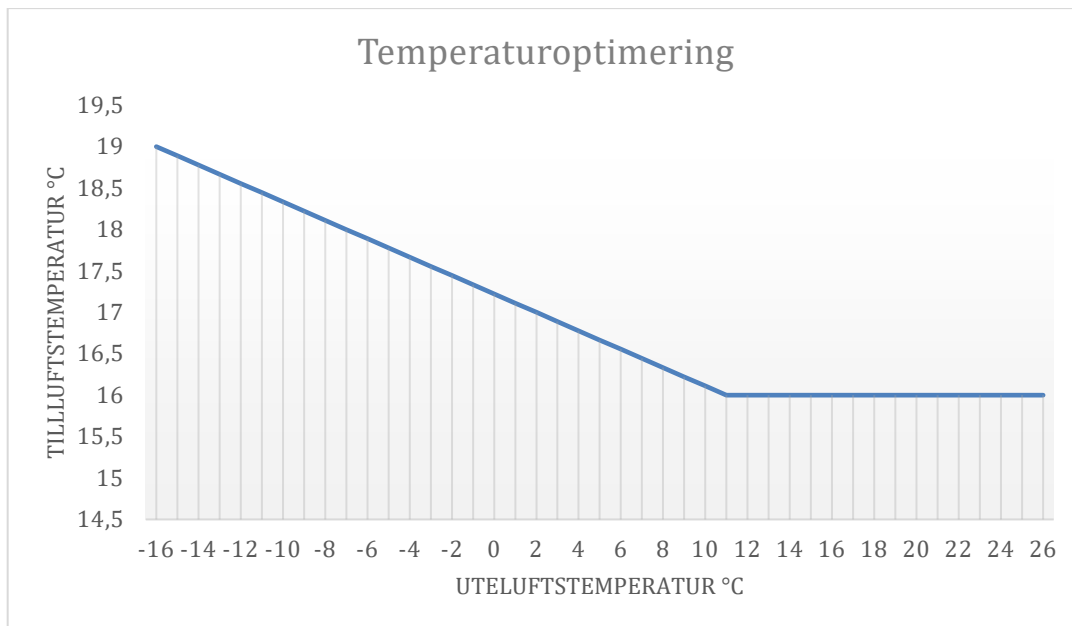
Figur 12 Fläkteffekt vid varierande flöde. Författarens egen bild.

#### A.4 Energibehov

I detta arbete antas internlasterna värma upp tilluften till önskad rumstemperatur. Radiatorerna och solinstrålningen antas kompensera för värmeförlustöverskottet ut genom byggnaden. Transmission- och ventilationsförluster, luftläckage, radiatorsystem och solinstrålningens påverkan på inomhusklimatet antas som konstanta då det är komplicerat att beräkna energibehovet med förenklade överslagsberäkningar och förenklade datorprogram.

Värmelagring i byggnadsmaterial, stomme och inredning påverkar värmebalansen och inomhustemperaturen (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Det är därför komplicerat att beräkna kylbehovet och datorbaserade beräkningsprogram krävs för att få det verkliga kylbehovet. I överslagsberäkningarna tas ingen hänsyn till värmelagring och kylbehovet kan därför kraftigt överskattas.

För att välja tilluftstemperatur vid en viss utomhustemperatur har förenklade driftkurvor tagits fram i detta projekt. Mellan DVUT och en brytpunkt varierar tilluftstemperaturen. Vid en specifik utetemperatur används en lägre och konstant tilluftstemperatur. illustrerar en förenklad driftkurva från JSP



Figur 13 Samband mellan tilluftstemperatur och utluftstemperatur. Författarens egen bild.

Med hjälp en programvara i Excel utvecklad av Bengt Dahlgren AB beräknas energibehovet per år. Med en bestämd medeltemperatur,  $T_{ute,medel}$ , för en bestämd ort (Göteborg) fås en viss varaktighetskurva. Genom att ansätta systemets drifttimmar, aggregatets luftflöde, värmeväxlarens verkningsgrad, brytpunkter vid en viss utetemperatur och den önskade tilluftstemperaturer kan värmebehovet, kylbehovet och fläktens elenergi över året tas fram.

De parametrar som används i programmet är följande;

**Medeltemperatur**

Göteborg 7,9 °C

**Frånluftstemperaturen**

Väljs utefter önskad rumstemperatur

**Verkningsgrad**

Varier vid varierande flöden, men en konstant verkningsgrad antas till 80,9 % för förenkling

**Påfrysning på VVX**

Då avluften är mindre än -2 °C och antas som konstant

**Extra energi för våt kylning**

Antas till 25 %, då den normalt är 20–35 % i Sverige.

**Brytpunkter för utetemperatur**

Brytpunkterna från driftkurva

Utetemperatur 1: -16 °C

Utetemperatur 2: 11 °C

## Tilluftstemperatur

Tilluft1 och tilluft2 – Beroende på sommar fall och vinterfall pareras tilluftstemperaturerna.

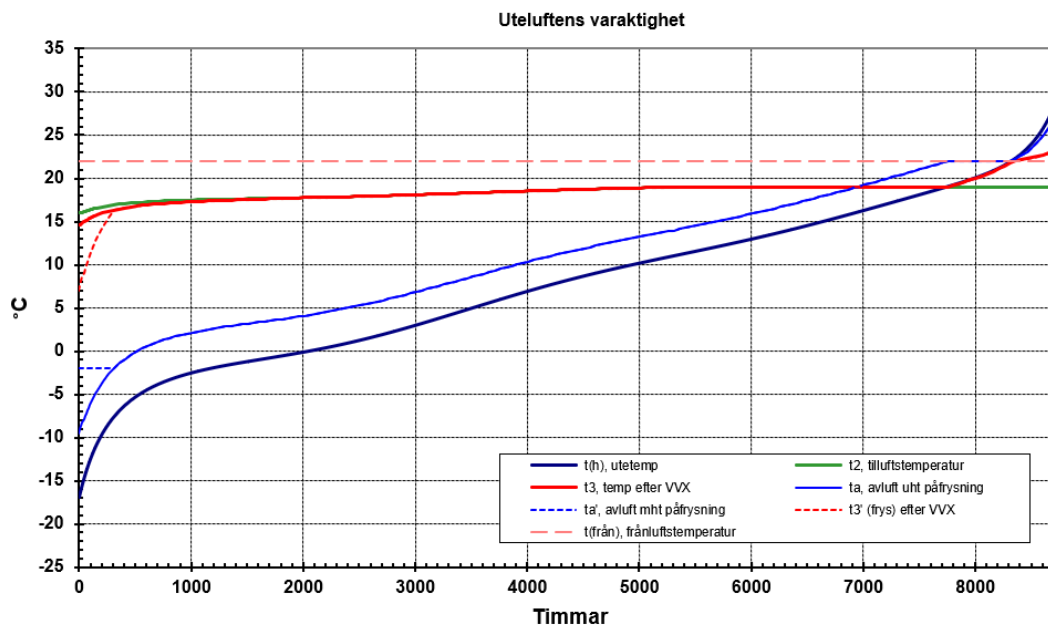
## Drifttiden

4380 timmar/år

## Luftflöde

Dimensionerande medelluftflöde

Ur varaktighetsdiagrammet avläses värme- och kylbehovet med ett VVX-system samt elanvändningen för fläktarna per år.



Figur 14 Frånluftstemperatur 22 °C och flöde 4,5 m<sup>3</sup>/s.

## Ändrade komfortkrav

Internlasterna antas värma upp ventilationsluften och under sommarhalvåret är temperaturskillnaden ute och inne betydligt större än på vinterhalvåret.  $\Delta T$  är därför litet på vintern, men desto större på sommaren.

$$Q_v = Q_i \quad (9)$$

$$Q_i = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot \Delta T_i \quad (10)$$

$\Delta T_i$  antas konstant om flödet är konstant.

$\Delta T_i$  ökar om flödet minskar.

$Q_i$  för sommar och vinterfallet tas fram med JSP dimensionerande temperaturer och flöden. Internlasterna antas konstanta och ett nytt  $\Delta T_i$  kan beräknas vid varierande flöden.

$$\Delta T_i = \frac{Q_i}{\rho \cdot c_p \cdot V} \quad (11)$$

Ett nytt större  $\Delta T_i$  leder till nya driftpunkter på tilluften, vid en önskad rumstemperatur.

Tabell 22 JSP dimensionerande värde.

	Luftflöde	T <sub>sommartid</sub>	T <sub>vintertid</sub>	CO <sub>2</sub> -ekv
JSP	4,5 m <sup>3</sup> /s	22 °C	25 °C	1000 ppm

## Värmebehov

För att kunna jämföra energibesparingar för värmebehovet testas förändrade temperaturkrav genom att tillåta lägre rumstemperaturer. Testberäkningar görs då lägsta tillåtna rumstemperaturen sänks till 21 °C, 20 °C och 19 °C de kallaste dagarna på året. För att jämföra energibesparingar för värmebehovet minskar tilluftstemperaturen en grad för varje sänkt grad av rumstemperaturen vid ett konstant flöde.

Tabell 23 Temperaturer som testas vid uppvärmning.

T <sub>rum</sub>	T <sub>till</sub>
21 °C	18 °C
20 °C	17 °C
19 °C	16 °C

## Kylbehov

För att kunna jämföra energibesparingar för kylbehovet testas förändrade temperaturkrav genom att tillåta lägre rumstemperaturer. Testberäkningar görs då högsta tillåtna rumstemperatur ökas till 26 °C, 27 °C och 28 °C de varmaste dagarna på året. I beräkningarna ökar tilluften med varje ökad grad frånluft.

Tabell 24 Temperaturer som testas vid kylning.

T <sub>rum</sub>	T <sub>till</sub>
26 °C	17 °C
27 °C	18 °C
28 °C	19 °C

## Resultat vid varierande lufttemperaturer

I Tabell 25 redovisas den procentuella energibesparingen som kan medföras genom att tillåta lägre temperaturer vintertid och i Tabell 26 redovisas procentuella energibesparingar genom att tillåta högra inomhustemperaturer sommartid. I resultaten kan man se att under sommaren kan större energibesparingar göras.

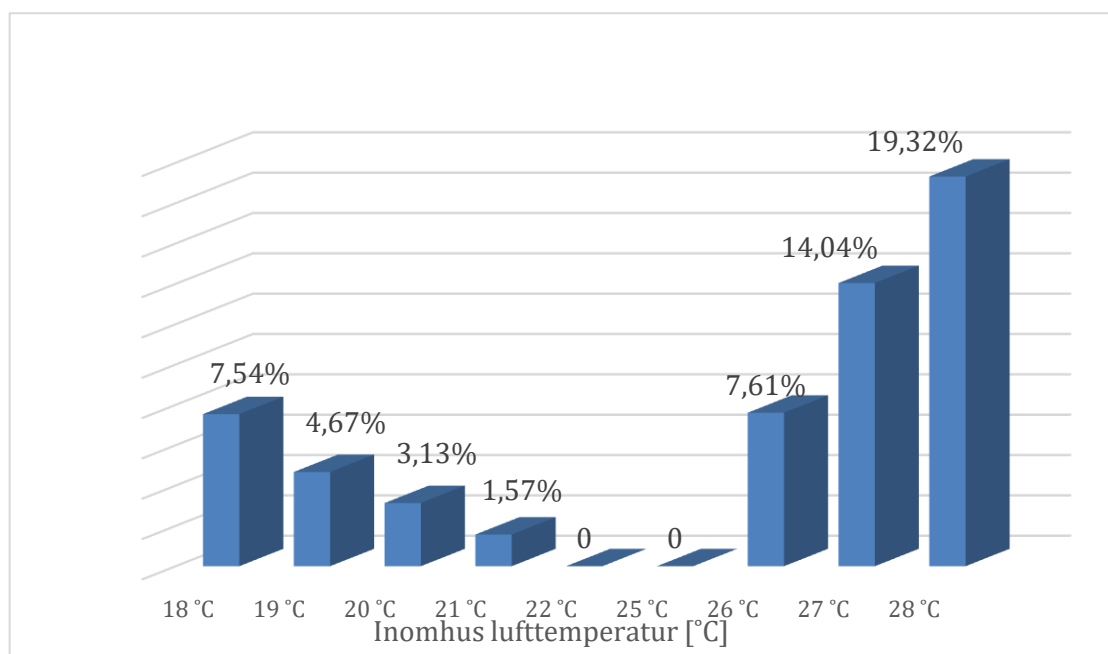
Tabell 25 Energibesparing vid uppvärmning.

Temperatursänkning	Energibesparing
Från 22 °C – till 21 °C	2,43 %
Från 22 °C – till 20 °C	4,85 %
Från 22 °C – till 19 °C	7,23 %

Tabell 26 Energibesparing vid kylbehov.

Temperaturhöjning	Energibesparing
Från 25 °C – till 26 °C	9,70 %
Från 25 °C – till 27 °C	17,89 %
Från 25 °C – till 28 °C	24,62 %

I Figur 15 redovisas procentuella energibesparingar grad för grad om både inomhustemperaturen tillåts stiga sommartid och sjunka vintertid. De procentuella energibesparingarna är baserade på de energibesparingar som uppstår i förhållande till J51 dimensionerade börvärden.



Figur 15 Procentuell energibesparing utifrån JSP dimensionerande temperaturer. Författarens egen bild.

## Resultat vid varierande luftflöden

Om tilluftsflödet förändras och andra temperaturer tillåts ses i Tabell 27 och Tabell 28 de energibesparingar som uppstår. I resultaten kan man se att ökat flöde under uppvärmning inte är lönsamt medan ökat flöde då kylbehov finns är lönsamt.

Tabell 27 Procentuell energibesparing vid ändrade flöden under uppvärmning.

	22 °C	21 °C	20 °C	19 °C
4,5 m <sup>3</sup> /s	0	7,30 %	14,57 %	21,73 %
4,0 m <sup>3</sup> /s	27,65 %	34,22 %	40,76 %	47,29 %
5,0 m <sup>3</sup> /s	-28,61 %	-20,68 %	-12,92 %	-5,51 %

Tabell 28 Energibesparing under uppvärmning vid ändrade flöden under kylbehov.

	25 °C	26 °C	27 °C	28 °C
4,5 m <sup>3</sup> /s	0	21,51 %	39,67 %	54,58 %
4,0 m <sup>3</sup> /s	-16,23 %	6,79 %	26,73 %	43,73 %
5,0 m <sup>3</sup> /s	12,40 %	32,48 %	48,89 %	61,86 %

I Tabell 29 redovisas en sammanställning av de energibesparingar som procentuellt kan uppstå vid ett flöde på 4,0 m<sup>3</sup>/s då inomhustemperaturen tillåts öka och sjunka grad för grad.

Tabell 29 Procentuell energibesparing vid sänkt flöde, 4,0 m<sup>3</sup>/s.

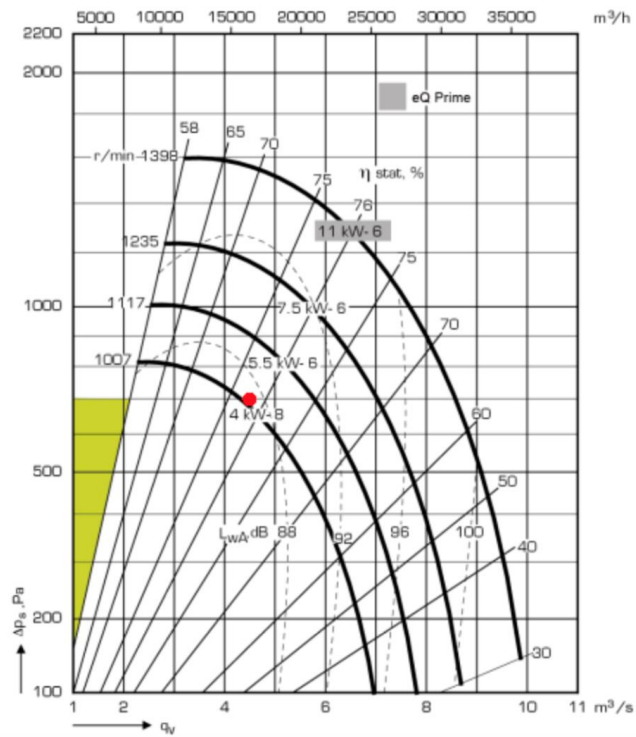
	22 °C	21 °C	20 °C	19 °C
25 °C	4,99 %	6,40 %	7,81 %	9,21 %
26 °C	13,14 %	14,55 %	15,96 %	17,36 %
27 °C	20,20 %	21,61 %	23,02 %	24,42 %
28 °C	26,22 %	27,63 %	29,04 %	30,44 %

Liksom ekvation 7 säger så ändras fläktens energiförbrukning då flödet förändras. I Tabell 30 visas vad som händer med fläktenergin vid ändrat flöde i jämförelse med J51 dimensionerande fall med ett flöde på 4,5 m<sup>3</sup>/s.

Tabell 30 Fläktenergi i jämförelse med dimensionerat flöde 4,5 m<sup>3</sup>/s.

Flödesförändring	Energibesparing
4,0 m <sup>3</sup> /s	11,11 %
5,0 m <sup>3</sup> /s	-11,11 %

## Bilaga B – Fläktdiagram



Figur 16 Fläktdiagram - Tilluft - J51.