



CHALMERS



Förutsättningar för olika ventilationslösningar En undersökning av några kritiska parametrar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

LUCAS ANDERSSON
OSKAR JOHANSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete ACEx20-19-25
Göteborg, Sverige 2019

EXAMENSARBETE ACEX20-19-25

Förutsättningar för olika ventilationslösningar

En undersökning av några kritiska parametrar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

LUCAS ANDERSSON

OSKAR JOHANSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2019

Förutsättningar för olika ventilationslösningar
En undersökning av några kritiska parametrar
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik
LUCAS ANDERSSON
OSKAR JOHANSSON

© LUCAS ANDERSSON/OSKAR JOHANSSON, 2019

Examensarbete ACEX20-19-25
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

Omslag:
Bild som illustrerar don och kanaler, författarnas egna bild.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2019

Förutsättningar för olika ventilationslösningar

En undersökning av några kritiska parametrar

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

LUCAS ANDERSSON

OSKAR JOHANSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I dagens samhälle ställs stora krav på byggnaderna som konstrueras. Ett av dessa krav är att inneklimatet ska hålla en väldigt hög standard. Dessa krav ställs för att människor ska prestera och må bättre. För att uppnå dessa höga krav kan olika metoder användas för att hålla klimatet och temperaturen på den nivå som önskas. Det är de installations-tekniska lösningarnas uppgift att hålla klimatet på den önskade nivån. Denna undersökning går ut på att undersöka hur tilluftstemperatur, tillåten rumstemperatur, solavskärmning och verksamhet som bedrivs påverkar vid ventilationsdimensionering. För att genomföra detta undersöks ett seminarierum och ett kontorsplan som inte är hyresgästpassat i en antagen kontorsbyggnad. Beräkningarna utförs i simuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy. För att jämföra resultaten beräknas kyleffekter som sedan omvandlas till luftflöde för komfortkyla. Beräkningar av byggnadens energianvändning över ett år vid ändrade parametrar har även utförts för att få ett helhetsperspektiv. Resultatet av undersökningen blev att alla de nämnda parametrarna har en påverkan, vissa parametrar påverkar mer och vissa påverkar mindre. En av de viktigaste slutsatserna av arbetet är att byggnadens utformning spelar väldigt stor roll. Att utforma byggnaden för att hålla nere internlasterna med hjälp av exempelvis solavskärmning är viktigt för att minska installationernas omfattning. Placering av exempelvis seminarierum är även viktigt att tänka på att inte det ska placeras vid fasad med stora ytor glas då internlasterna blir väldigt stora, om inte bra solavskärmningsprinciper tillämpas. Undersökningen av tilluftstemperatur gav även intressanta resultat. Då luftens kyleffekt utgörs av temperaturskillnader är det inte bra att ha för hög tilluftstemperatur som ligger nära den önskade temperaturen. Låg tilluftstemperatur skulle i teorin vara bra, men har sina begränsningar och påverkar energiförbrukningen i hög grad. Överlag är utformningen av ventilationssystem en komplex uppgift och det är viktigt att lära känna byggnaden och dess förutsättningar i tidigt projekteringsstadium.

Nyckelord: Ventilation, energi, komfortkyla, parametrar, ventilationssystem, kyleffekt, kravställning, solavskärmning, tilluftstemperatur, inneklimat, persontäthet, byggnadsutformning

Requirements for different ventilation systems

A study of some important parameters

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

LUCAS ANDERSSON

OSKAR JOHANSSON

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

ABSTRACT

In today's society, there is a great demand on the buildings being constructed. One of these requirements is that the indoor climate should maintain a very high standard. To achieve these high standards, different methods can be used to keep the climate and temperature at the desired level. To keep this desired level, climate systems are installed. The purpose of this study is to investigate how supply air temperature, permitted temperature, solar shading and personal density affect the dimensioning process of ventilation and total energy consumption. To do this, a seminar room and an office plan that are not tenant-adapted in an assumed office building are examined. The calculations are performed in the simulation program IDA Indoor Climate and Energy. The result of the study was that all the mentioned parameters have an influence, some parameters affect more and some affect less. One of the most important conclusions of the study is that the building's design affects a lot. Designing the building to keep down the internal loads with the help of, for example, solar shading is important to reduce the complexity of the installations. Placement of, for example, seminar rooms is also important to keep in mind that it should not be placed at the facade with large glass surfaces as the internal loads become very large, unless good solar shading principles are applied. The study of supply air temperature gave interesting results. Since the cooling effect of the air is affected by temperature differences, it is not good to have too high a supply air temperature which is close to the desired temperature. Low supply air temperature would, in theory be good, but have its limitations and greatly affect the total energy consumption. Overall, the design of ventilation systems is a complex task and it is important to get to know the building and its conditions in the early design stage.

Key words: Ventilation, energy, climate control, indoor climate, ventilation systems, demands, solar shading, supply air temperature, building design, personal density

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Genomförande och avgränsningar	1
1.4	Frågeställning	2
2	TEORI	3
2.1	Syftet med ventilation	3
2.1.1	Luftkvalitet	3
2.1.2	Krav	3
2.1.3	Termiskt klimat	4
2.1.4	Att kyla och värma	5
2.2	Energibehov	5
2.3	Ventilationssystem	6
2.3.1	Självdragssystem	6
2.3.2	Frånluftssystem	6
2.3.3	Från- och tilluftssystem	6
2.3.4	CAV, VAV och DCV	7
2.4	Systemkomponenter i ventilationssystem	7
2.4.1	Don	7
2.4.2	Kanaler	7
2.4.3	Aggregat	8
2.5	Luftföringsprinciper	8
2.5.1	Omblandande ventilation	9
2.5.2	Deplacerande ventilation	11
3	METOD	12
3.1	Kontorsbyggnad	12
3.1.1	Antagande av byggnadsparametrar	13
3.1.2	Parametrar som undersöks	14
3.2	Effektbalans	15
3.3	Simuleringar	16
3.3.1	Energiberäkning	16
4	RESULTAT	18
4.1	Utgångsfallet	18
4.2	Tilluftstemperatur	19
4.2.1	Seminarierum	19
4.2.2	Kontorsplan	19
4.3	Maximal tillåten rumstemperatur	19

4.3.1	Seminarierum	20
4.3.2	Kontorsplan	20
4.4	Solavskärmning	20
4.4.1	Seminarierum	21
4.4.2	Kontorsplan	21
4.5	Verksamhet	21
4.6	Energiberäkning	22
5	DISKUSSION OCH SLUTSATS	24
6	REFLEKTIONER OCH TANKAR OM FRAMTIDA ARBETE	28
7	LITTERATURFÖRTECKNING	30

Förord

Examensarbetet för högskoleingenjörer har utförts på Chalmers tekniska högskola med inriktning på samhällsbyggnadsteknik. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng med fokus på installationsteknik. Arbetet har utförts i samband med installationskonsultföretaget GICON. Vi vill tacka alla medarbetare på GICON men vill rikta ett speciellt tack till vår handledare Jimmy Tunhav. Vi vill även tacka Torbjörn Lindholm och Anders Trüschel som agerat handledare vid avdelningen för installationsteknik på Chalmers.

Göteborg, Maj 2019

Lucas Andersson

Oskar Johansson

Beteckningar

AFS - Arbetsmiljöverkets föreskrifter

BBR - Boverkets byggregler

CAV - Constant air volume

CO₂ halt – Koldioxidhalt

DCV - Demand controlled ventilation

FT - Från- och tilluftssystem

FTX - Från- och tilluftssystem med värmeåtervinnare

G-värde - Solenergitransmission - *Ett mått på hur mycket solvärme som släpps in genom en byggnadsdel.*

IDA ICE - IDA Indoor Climate and Energy – *Simuleringsprogram för energi och inneklimat.*

L_{pAeq} - Ekvivalent ljudnivå

PMV - Predicted mean vote - *En metod som bestämmer hur klimatet uppfattas av personer inom en viss grupp med en given klädsel.*

PPD - predicted percentage of dissatisfied – *Andel missnöjda personer i lokalen som max får vara 10 %.*

PPM - Parts Per Million - *Enhet som används vid mätning av koldioxidhalt i luften.*

SCB - Statistiska Centralbyrån

SFP - Specific Fan Power - *Energieffektivitet för fläkt i ett luftbehandlingsaggregat.*

U-värde - Värmegenomgångskoefficient - *Ett mått på hur bra isolering en byggnadsdel har.*

VAV - Variable air volume

VVS - Ventilation Vatten Sanitet

Ekvation 1:

$$P = \rho * c_p * \dot{V} * \Delta t$$

P, är effekten i W,

ρ, är luftens densitet i kg/m³,

c_p, är luftens värmekapacitet i J/kg*K

Δt, är skillnaden mellan tilluftstemperatur och tillåten rumstemperatur.

Ṃ, är flödet i l/s

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Enligt SCB är 50% av Sveriges människor i arbete år 2018 (Schermer, 2019). En del av dessa människor tillbringar stor del av sin arbetstid vid ett skrivbord på ett kontor. För att människorna ska hålla sig friska och prestera på arbetet är arbetsmiljön väldigt viktig. Att utforma en optimal arbetsplats är en komplex uppgift. Faktorerna som påverkar arbetsmiljön är väldigt många och kategoriseras olika. Både kraven och råd för utformning av arbetsplatsen finns definierade i AFS, Arbetsmiljöverkets Föreskrifter. Att säkerställa termisk komfort och hålla hög luftkvalitet är av stor vikt och ett betydande krav för att människor ska prestera i sitt arbete. Till följd av detta ställs även oftast höga krav på de installationstekniska lösningarna i byggnaden. De installations-tekniska lösningarna omfattar allt från radiatorer till ventilation och spillvatten. Ventilationssystem kan bli väldigt komplexa och utformningen beror till stor del på krav och önskemål som ställs på systemen.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka hur några viktiga parametrar påverkar förutsättningarna vid val av och dimensionering av olika ventilationslösningar, men även ta reda på vilken av dessa parametrar som har störst påverkan. Parametrarna som ska undersökas är relaterade till: drift, rumstemperatur, solavskärmning och verksamhet.

1.3 Genomförande och avgränsningar

I undersökningen kommer en kontorsbyggnad att behandlas. Undersökningen kommer att omfatta ett seminarierum och ett kontorsplan som inte är hyresgästpassat. För att avgränsa arbetet kommer undersökningen att fokusera på fyra parametrar som har valts ut och bedömts som viktiga i samråd med en teknisk konsult inom VVS. Även energiberäkningar kommer att utföras för att få en uppfattning om hur den totala energianvändningen varierar. Parametrarna som undersöks är:

- Systemets tilluftstemperatur vid drift
- Maximal tillåten rumstemperatur
- Byggnadens solavskärmning i fönster
- Verksamhet som bedrivs i byggnaden i form av persontäthet

1.4 Frågeställning

Arbetet utgår från att behandla följande frågeställningar:

- Är det praktiskt möjligt att tillämpa luftburen komfortkyla på ett kontorsplan respektive ett seminarierum?
- Hur påverkar de undersökta parametrarna möjligheterna till olika utformning och alternativ användning med hänsyn till följande aspekter:
 - Inomhusklimat
 - Komfort
 - Kravställning
 - Luftkvalitet
 - Investeringskostnad
 - Ytbehov
- Vilken av de undersökta parametrarna har störst påverkan på ventilationens utformning och hur påverkas energianvändningen?

2 Teori

2.1 Syftet med ventilation

Ett ventilationssystem har som uppgift att tillföra frisk luft och samtidigt transportera bort förorenad luft. Kraven som ställs på ventilationen är att den ska fungera bra utan drag och störande ljud. Ett annat viktigt krav är att den ska vara energisnål, det sparar både pengar och är bra för miljön (Svensk ventilation, u.d.).

Luftflödet som tillförs i byggnaden ska vara lämpat så att luften inomhus blir behaglig. Byggnaden ska kunna användas till vad den är designad för. Det är även viktigt att temperaturen håller de krav som är uppsatta. Det får alltså inte vara för låg eller för hög temperatur (Arbetsmiljöverket, 2018).

2.1.1 Luftkvalitet

Ventilationskraven i kontor och arbetsplatser bestäms av Arbetsmiljöverkets föreskrifter (Arbetsmiljöverket, 2018). Där ställs krav på luftkvaliteten för att inomhusklimatet inte ska ge några skador på hälsan. Är inomhusklimatet dåligt kan det leda till trötthet och huvudvärk vilket i sin tur kan leda till att produktiviteten sjunker.

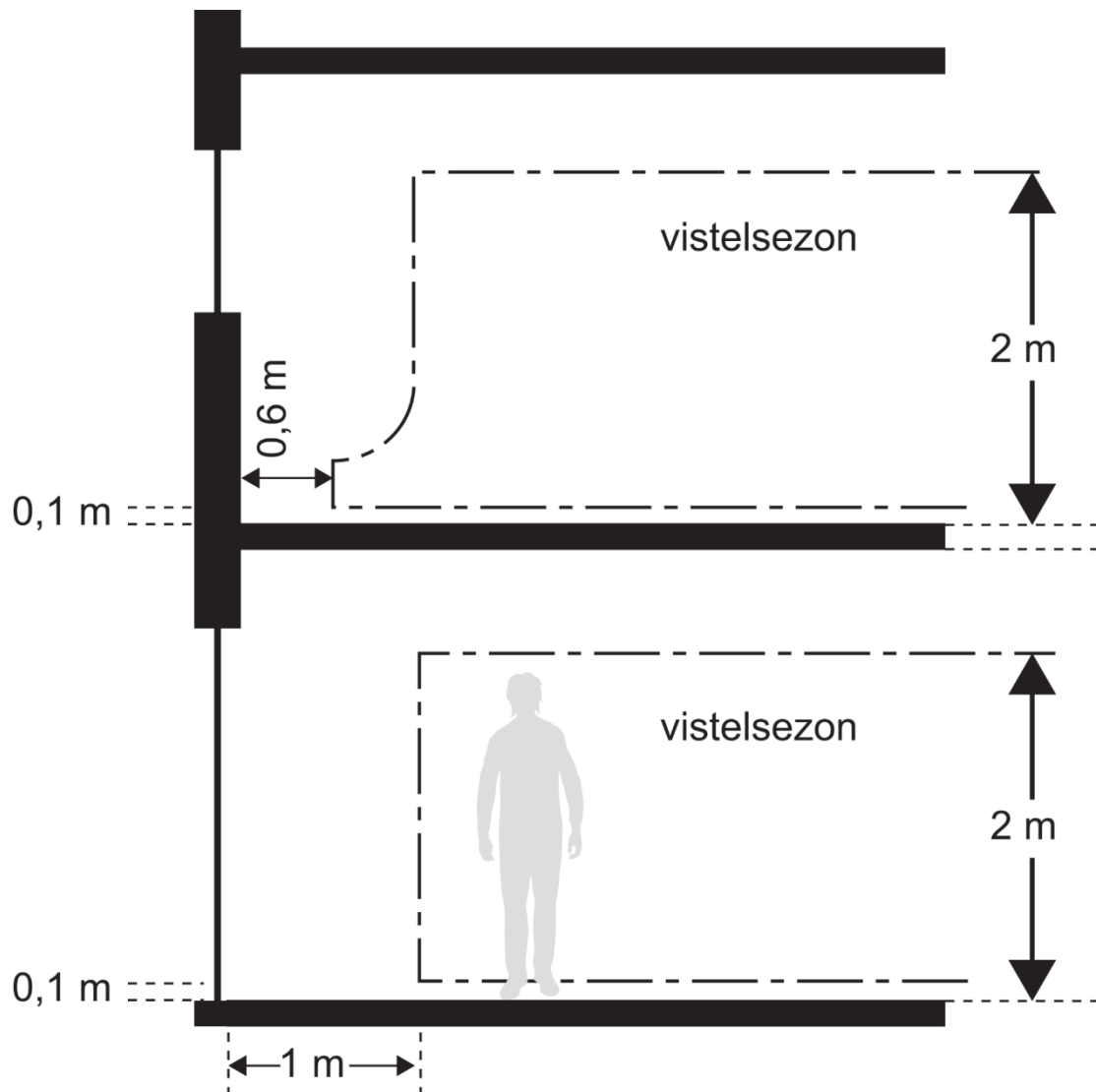
Människor avger föroreningar och koldioxid. Det är svårt att mäta de luktande föroreningarna, däremot är det lättare att mäta koldioxidkoncentrationen i luften. Därför brukar koldioxid användas som indikator på hur bra ventilationen i lokalen är. Maxvärdet som aldrig bör uppnås är 1000 ppm (miljondelar) (Arbetsmiljöverket, 2018). Värdet på 1000 ppm är rekommenderat och ska inte ses som ett krav. Däremot bör det inte ligga över gränsen mer än under korta stunder. Utomhusluftens koldioxidhalt brukar ligga på 300–400 ppm.

Även fast koldioxiden används som indikator behöver det inte betyda att luftkvaliteten uppfattas som behaglig, andra faktorer som till exempel temperatur och luftfuktighet påverkar upplevelsen av luften. Åtgärder som kan vidtas då luften inte är tillräckligt bra är att öka flödet från uteluften, minska antalet personer i lokalen, kortare arbetspass eller vädring med jämna mellanrum (Arbetsmiljöverket, 2018).

2.1.2 Krav

Det är oftast inte koldioxidhalten som är avgörande för dimensionering av ventilation för hygienluftsflöde, utan behovet av att föra bort förorenad luft. Enligt Arbetsmiljöverket ska uteluftsflödet i lokaler där människor vistas mer än tillfälligt vara 7 l/s och person. Där föroreningar från andra källor än människor uppkommer ska ett tillägg på 0.35 l/s/m² göras (Arbetsmiljöverket, 2018).

Tilluften som ska föras in i byggnaden kan behövas förvärmas för att undvika dragproblem. Dragproblem berörs framförallt i byggnadens vistelsezon, alltså mellan 0.1 meter och 2 meter ovanför golv och 0.6 meter från vägg. Lufthastigheter mellan 0.15-0.2 m/s uppfattas av många som dragfri. Om temperaturen inomhus är hög kan högre hastigheter på luften även upplevas som dragfri (Arbetsmiljöverket, 2018).



Figur 1. Illustrationen visar vistelsezon i ett rum sett från sidan med angivna mått (Boverket, Altefur Development, 2011). Återgiven med tillstånd

Det ställs även krav på hur hög ljudnivå systemet får alstra. Vid stora flöden kan det ibland vara svårt att begränsa ljudalstringen. Dock finns det don som är dimensionerade för att behandla stora luftmängder som kan hålla ljudnivån nere. Kravet som ställs på installationerna är att de inte får alstra mer än en ekvivalent ljudnivå på $L_{pAeq} = 30$ dB (Boverket, 2016).

2.1.3 Termiskt klimat

Människans upplevelse av klimatet varierar och är beroende av ett antal faktorer, lufttemperatur, medelstrålningstemperatur, lufthastighet och luftfuktighet (Arbetsmiljöverket, 2018). Klimatet kan delas upp i 3 olika områden, kyla, neutralt klimat och värme. Där det neutrala klimatet har temperaturer mellan 10–30 grader. Inom detta intervall blir det begränsad påfrestning på kroppen.

Det är viktigt att klimatet håller en bra värmegrad, det får inte vara för kallt eller för varmt. Små avvikelser kan försämra muskelfunktionen och därmed även prestationen, temperatur över 16 grader ger tillräckligt bra muskelfunktion vid arbete. Det gäller även

om temperaturen blir för varm, då minskar arbetstakten. Det termiska klimatet mäts och bedöms med hjälp av standard SS-EN ISO 7730:2006. Standarden tar upp och beskriver en metod som bestämmer hur klimatet uppfattas av personer inom en viss grupp med en given klädsel (PMV). Även andelen missnöjda personer i lokalen (PPD), som bör ligga under 10 %.

Vid stillasittande arbete, som i ett kontor eller skola är det viktigt att beakta lokala drag och temperaturskillnader. I lokaler för stillasittande arbete måste en temperatur på minst 20 grader i vistelsezonen hållas (Arbetsmiljöverket, 2018).

2.1.4 Att kyla och värma

Ventilation används inte enbart för att föra bort förorenad luft från byggnaden utan det är även vanligt att den används för att täcka kylbehovet som uppstår på grund av internvärme. Det ska alltid finnas ett hygienflöde som är dimensionerande för att föra bort lukter och föroreningar, men det är oftast kylbehovet som är dimensionerande för ventilationen. Vid mekanisk ventilation blåses luften in undertempererad för att sedan värmas av internvärmerna. Det är denna temperaturskillnad som ger upphov till en kyl-effekt som då ska täcka byggnadens hela kylbehov (Luftbutiken, u.d.).

För att tillgodose kylbehovet i en zon kan ibland mer värme behövas bortföras utöver det som den nedkylda tilluften ger upphov till. Denna överskottsvärme bortförs med hjälp av olika principer. En av dessa principer är med hjälp av klimatbafflar (vattenbu-ren kyla) som finns i två olika varianter, aktiva och passiva. Principen bygger på att kylt vatten passerar genom bafflarna för att sedan kyla ner luften. Aktiva kylbafflar är kopplade på tilluften och kyler luften ytterligare när den når rummet samtidigt som den bidrar till cirkulation och nedkylning av luften i rummet. Passiva kylbafflar är inte kopplade till någon luft, utan fungerar genom att de installeras i taket och kyler ner varm luft med hjälp av densitetsskillnader. Aktiva kylbafflar är mycket mer effektiva än passiva kylbafflar (Swegon, u.d.).

2.2 Energibehov

I dagens samhälle blir byggnadens energianvändning allt viktigare. Installationer som behöver elenergi, där ventilation utgör en stor del, ska utformas så att effektbehovet blir så litet som möjligt och så att energin används effektivt. Ett sätt att mäta energieffektivitet är specifik fläkteffekt, SFP, som är den totala eleffekten som krävs för att driva ventilationssystemet delat med det maximala till- eller frånluftsflödet i hela byggnaden, $\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ (Boverket, 2016). Rekommendationer kommer från Boverkets byggregler och visas i tabell 1. SFP är beroende av tryckhöjningen som behövs skapas för att få ut luften hela vägen i systemet, därav är det viktigt att hålla nere det totala tryckfallet. Exempelvis kan antalet böjar och dimensionsändringar försöka begränsas.

Tabell 1. Specifik fläkteffekt, krav från BBR

	SFP, $[\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})]$	SFPv $[\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})]$
Från- och tilluft med värmeåtervinning	2,0	2,0
Från- och tilluft utan värmeåtervinning	1,5	1,5
Frånluft med återvinning	1,0	1,0
Frånluft	0,6	0,6

(BFS 2011:26).

Det är två varianter av specifik fläkteffekt, SFP, som avser hela byggnadens ventilationssystem och SFPv som är specifik fläkteffekt för endast en fläkt eller ett aggregat. SFPv kan användas vid ombyggnad när man byter ut ett aggregat (Rosén, 2013).

2.3 Ventilationssystem

Det finns flera olika sorters ventilationssystem. Komplexiteten i systemen varierar och det finns enkla självdragssystem till avancerade FTX-system med bland annat fläktar, kylbatteri och värmeåtervinnare. Valet av ventilationssystem beror på många olika faktorer men framförallt kraven som ställs på bland annat luftkvaliteten och klimatet i byggnaden. De vanligaste systemlösningarna som används idag är följande (Svensk Ventilation, u.d.):

S - Självdragsystem

F - Mekaniskt frånluftssystem

FT - Mekaniskt från- och tilluftssystem

FTX - Mekaniskt från- och tilluftssystem med värmeåtervinning.

2.3.1 Självdragssystem

Självdrag bygger på skorstenseffekten, att varm luft stiger. Detta beror på att varm luft har lägre densitet än kall. I detta system behövs inga fläktar eller andra mekaniska komponenter. Skorstenseffekten skapar ett undertryck i byggnaden ventiler används i byggnadens klimatskal för att få in ny frisk luft. Drivkraften är alltså temperaturskillnader, därför har detta system sina begränsningar. Till exempel på sommaren då temperaturen inom- och utomhus oftast är samma. Självdragssystem är vanligast i mindre byggnader, till exempel villor. Då klimatkraven i Sverige är högt ställda kan oftast inte denna metod tillämpas på kontorsbyggnader. Detta eftersom det är svårt att få omsättning på luften på sommaren och väldigt komplexa och dyra lösningar krävs för att det ska fungera. Däremot har denna princip tillämpats på äldre skolor (Svensk Ventilation, u.d.).

2.3.2 Frånluftssystem

Frånluftssystem liknar självdragssystem men skillnaden är att drivkraften är en mekanisk fläkt som ventilerar bort dålig luft och skapar ett undertryck i byggnaden. På samma sätt som självdrag tas sedan ny frisk luft in via ventiler i byggnadens klimatskal. Problemet med frånluftssystem är att luften på vintern oftast är väldigt kall och kan även ibland vara förorenad. Problemet med kall luft är att det ger upphov till drag. En lösning på problemen med drag kan vara strategiskt välplacerade radiatorer. Vid användning av frånluftssystem är svårt att filtrera luften då systemet bygger på undertrycket som skapas i byggnaden av fläkten och då kan flödet av frisk luft bli otillräckligt (Svensk Ventilation, u.d.).

2.3.3 Från- och tilluftssystem

I ett FT-system styrs både från- och tilluften av fläktar. Detta innebär att det är lätt att kontrollera hur mycket friskluft som tillförs. Kvaliteten på tilluften kan även säkerställas med hjälp av filter. Temperaturen på tilluften kan regleras med hjälp av kyl- och värmebatterier. FT-system är vanligtvis väldigt energieffektiva, tysta och flexibla.

Enligt forskning är detta det bästa system att välja om låg energianvändning skall uppnås (Svensk Ventilation, u.d.). Självdrag är mer energieffektivt men har som tidigare beskrivits sina begränsningar. För att uppnå lägsta möjliga energianvändning brukar värmeåtervinning användas. I detta fall kallas systemet FTX, där X:et innebär värmeåtervinning (Svensk Ventilation, u.d.).

2.3.4 CAV, VAV och DCV

Tillförseln av luft kan ske med tre olika principer: CAV-Constant Air Volume, VAV-Variable Air Volume och DCV-Demand Controlled Ventilation. CAV innebär att luftflödet är konstant. Denna princip brukar inte användas för att kyla utan tillgodoser endast hygienflödet i en lokal, men har en viss kyleffekt. För CAV blir koldioxidavgivningen i rummet dimensionerande. VAV innebär variabelt luftflöde. I detta fall kan luften även ibland användas för att tillgodose kylbehovet. Flödet styrs av de interna lasterna i rummet, exempelvis människor, datorer och solinstrålning. DCV innebär att luftflödet styrs efter behovet och är en mer avancerad och kostsam variant av VAV. Till exempel kan flödet då styras av koldioxidhalt, temperatur eller rörelse i rummet vilket även leder till större energibesparingar. VAV och DCV är väldigt energieffektiva och vid jämförelse av luftflöde (m^3/s) för en specifik lokal kunde VAV sänka flödet med 72% och DCV 84% jämfört med CAV (Jacobsson, 2018).

2.4 Systemkomponenter i ventilationssystem

Systemen är uppbyggda av ett antal komponenter som stor inverkan på systemets prestanda. De vanligaste komponenterna i ventilationssystem beskrivs i detta avsnitt.

2.4.1 Don

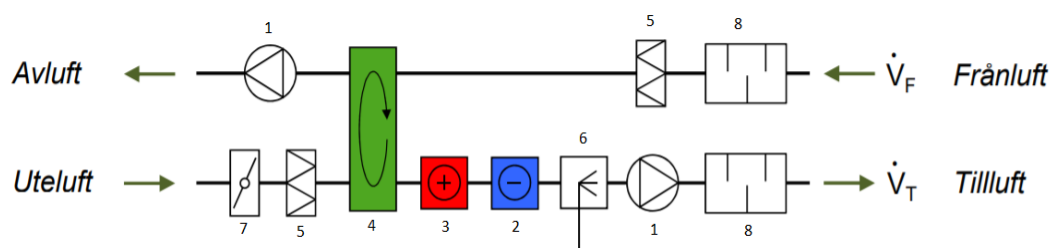
Tilluftsdon är till för att sprida ny frisk luft och frånluftsdon är till för att föra bort förorenad luft. Don finns i flera olika storlekar för att kunna behandla olika luftvolymmer. Då tilluftsdonen sprider luft i rummet är det praktiskt om donet går att ställa in på olika nivåer så lufttillförseln i rummet kan kontrolleras. Buller är något som måste tas hänsyn till vid dimensionering då stora problem kan uppstå om detta inte beaktas. Därav ställs det ofta krav på hur mycket ljud donen får alstra (Soliduct, u.d.). Mer om don och olika luftföringsprinciper beskrivs i avsnitt 2.4.

2.4.2 Kanaler

I kanalerna transporteras luften från aggregatet till donen. Kanaler finns i flera olika storlekar och former för att kunna behandla varierande volymer luft. Det finns både cirkulära och rektangulära kanaler. Kanaler ger upphov till tryckfall som är viktigt att ta hänsyn till vid dimensionering av fläktar. Cirkulära kanaler ger upphov till mindre tryckfall än rektangulära och är således bättre. Vid böjar, korsningar och dimensionsändringar kan större tryckfall uppstå som är viktigt att ta hänsyn till. Det totala tryckfallet i systemet är dimensionerande för aggregatfläkten.

2.4.3 Aggregat

Aggregatet är den viktigaste komponenten i ett FTX system. Aggregatet är uppbyggt av flera komponenter med olika funktioner såsom: fläktar, filter, värmeåtervinnare, kyl- och värmebatteri.



Figur 2. Exempel på aggregatuppbyggnad, FTX system (Trüschel, 2018). Återgiven med tillstånd

1. Från och tilluftsfläkt - Fläktarna styr luftflödet i systemet. Tilluftsfläkten tillför luft och beroende på situation måste luften värmas, kylas, fuktas eller filtreras. Fläktarna skapar även en tryckhöjning som fungerar som drivkraft för transport av luften. Frånluftsfläkten för ut förorenad luft. Fläktarnas energiprestanda mäts i SFP men påverkas av hela systemets uppbyggnad. Det finns olika sorters fläktar med olika verkningsgrad och tillämpningssätt.

2. Kylbatteri - Kylbatteri behövs i aggregatet för att vid behov kyla tilluften till önskad tilluftstemperatur. Det kan även användas för att avfukta luften vid behov.

3. Värmebatteri - Värmebatteri behövs för att vid behov värma tilluften till önskad tilluftstemperatur.

4. Värmeåtervinnare - Värmeåtervinnaren tar till vara på värmen från förorenad frånluft och överför värmen till tilluften om detta behövs. Det finns olika principer på hur dessa fungerar och har en varierande verkningsgrad på ungefär 50–90%.

5. Filter - Uteluften kan vara förorenad och filter används för att uppnå önskad kvalitet. Filter är även till för att skydda komponenterna i aggregatet från partiklar och annan smuts. Därav finns även filter på frånluften innan den når aggregatet.

6. Fuktare - Ibland ställs krav på en viss luftfuktighet i tilluften eller inneklimatet, då kan fuktare installeras för att uppnå önskad luftfuktighet.

7. Spjäll - Används för att kunna stänga luftvägarna genom aggregatet vid till exempel brand eller risk för frysning.

8. Ljuddämpare - Används för att reglera ljudnivån systemet alstrar.

Reglerutrustning - Reglerutrustning behövs för att styra komponenterna i aggregatet efter önskat behov (Trüschel, 2018).

2.5 Luftföringsprinciper

Det finns två vanliga luftföringsprinciper som används vid ventilation av byggnader. Det är antingen omblandande eller deplacerande och kan utformas på olika sätt beroende på typ av byggnad och krav på inomhusklimat.

2.5.1 Omblandande ventilation

Vid omblandande ventilation blåses frisk luft in i rummet med hög hastighet, men tilluftsdonen är placerade så att luften inte blåses in i vistelsezonen. Luften blandar sig med den befintliga luften och temperaturen ändras vilket även leder till att föroreningarna i rummet spädes ut. Lufthastigheten avtar och ska vara max 0.2 m/s när den når vistelsezonen för att uppfattas dragfri. Med denna metod är det inte bra att ha för låg hastighet eller för hög tilluftstemperatur då det kan resultera i dålig omblandning. (Abergon, u.d.).

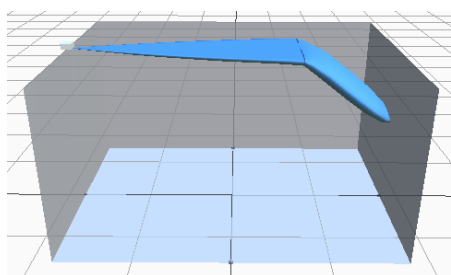
Luftutbyteseffektiviteten för omblandande ventilation ligger på ungefär 40 % och är lägre än deplacerande. Placering av don har stor betydelse på hur systemet fungerar. Det finns fyra olika placeringar som brukar användas och har sina för- och nackdelar (Forslund & Forslund, 2016).

2.5.1.1 Bakkantsinblåsning

Vid bakkantsinblåsning är tilluftsdonet placerat i väggen mot en korridor. Luftstrålen är riktad mot fasaden och kastlängden så pass lång att den böjs när den träffar väggen. Ifall fönstren är dåligt isolerade kyla strålen ner vilket resulterar i drag vid golvet (Abergon, u.d.). Fördelen med denna placering är att kanalanslutningen är enkel då den dras i raka korridorer (Forslund & Forslund, 2016).

2.5.1.2 Framkantsinblåsning

Här placeras donet vid fasaden och riktas mot korridorsväggen. Risker för drag blir mindre då det inte finns något fönster som riskerar kyla ner luften. Det är dock inte bra om kastlängden är för lång då luften riskerar att lämna rummet genom att dörren öppnas vilket i sin tur leder till att rummet får sämre ventilation än planerat. Nackdelen med denna placering är att kanaldragningen blir mer komplicerad (Abergon, u.d.).



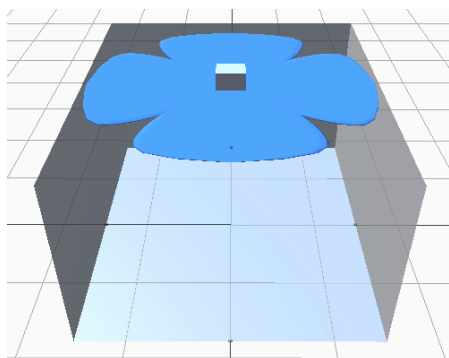
Figur 3. Visar flödesmönster för väggdon med 30 l/s som kan användas vid framkants- och bakkantsinblåsning. (Hämtat från Fläktgroup select)

2.5.1.3 Inblåsning under fönster

Denna metod fungerar i princip som framkantsinblåsning då luften rör sig mot korridorsväggen, men skillnaden är att luften blåses in från golvnivå eller i höjd med fönsterbrädan. Luften passerar fönstret och minskar risken för kallstrålning, men energianvändningen ökar på grund av värmeförlusterna. Det är viktigt att lufthastigheten och temperaturen är rätt för att luften ska hänga kvar i taket innan den når vistelsezonen. Är inställningarna fel blir det lätt att luften ger upphov till drag (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.5.1.4 Inblåsning i tak

Donen är placerade i taket och luften rör sig antingen längs takytan eller rakt ner beroende på inställning. Vid denna placering är risken för drag minimal då luften inte blåses in i vistelsezonen och hastigheten minskar innan den når vistelsezonen (Abergon, u.d.). Donen brukar även vara inställningsbara vilket gör att ventilationen blir flexibel och rummet kan utformas på olika sätt. Nackdelarna är att installationen är dyrare än till exempel bakkantsinblåsning då kanalerna dras längre. Det är även svårt att placera donen så att tilluften inte påverkas av belysning i rummet. Blir luften för varm skulle det innebära den stannar i taket och omblandningseffekten förloras (Forslund & Forslund, 2016).



Figur 4. Visar flödesmönster för takdon med flöde 100 l/s som kan användas vid inblåsning i tak. (Hämtat från Fläktgroup select)

2.5.1.5 Val av don

Ett don sitter längst ut i ett ventilationssystem på väggen eller taket och har som funktion att på ett behagligt sätt fördela luften i rummet. Ett don ska vara så tyst som möjligt för att inte vara ett störningsmoment (Land, 2018).

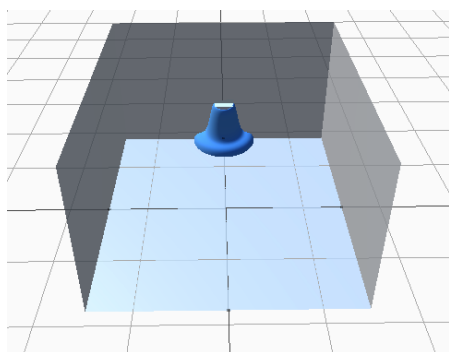
Det som har betydelse vid val av don är typ av lokal där olika riktvärden finns, som till exempel koldioxid, aktivitetsgrad och kylkapacitet. Temperaturkrav som sätts enligt standard utifrån kyl- eller värmebehov. Ljudkrav där ljudalstringen inte får vara för hög för att få en behaglig miljö och lufthastigheten ska vara låg i vistelsezonen för att undvika drag (Palola, 2018).

Den allra viktigaste inställningen för ett don gjord för omblandande princip är kastlängden. Kastlängd definieras vanligtvis som $l_{0,2}$ och avser avståndet från donet till en punkt där luften har en viss hastighet. Just kastlängden $l_{0,2}$ avser hur långt det är från donet till det att luften har en hastighet på 0.2 m/s vilket är övre gräns där drag uppfattas. Detta gäller när inblåsningstemperaturen är samma som rumsluften. Är luften istället undertempererad, minskar kastlängden med ungefär 1.5 % per grad (Lindab, 2011).

Kastlängden får inte vara för lång eller för kort. Är den för lång finns det risk för drag och är den för kort blir det istället dålig omblandning (Warfvinge & Dahlblom, 2010). För tak eller väggdon gäller även den så kallade Coandaeffekten vilket innebär att luften sugas fast i taket och får därmed en längre utbredning då hastigheten avtar långsammare (Acticon, u.d.).

2.5.2 Deplacerande ventilation

Deplacerande ventilation är när luften blåses in med låg hastighet och låg temperatur på golvnivå. Tilluften är oftast kall och stiger uppåt med hjälp av interna värmekällor, för med sig föroreningar och fortsätter mot frånluftsventilerna som oftast är placerade högt upp på väggar eller tak. Det är viktigt att donet inte placeras i närheten av radiatorer för att riskera uppvärmning och därmed riskera att luften stiger utan att blandas med den gamla luften. När luften stiger direkt utan att blandas med den gamla luften kallas det för kortslutning. Denna luftförlingsprincip fungerar i lokaler där det finns mycket internvärme som kan värma luften, till exempel i ett kontor där det finns människor och datorer. Det är dock ett bekymmer att använda denna principen i kontor då det behövs fritt utrymme framför för att inte skapa problem med drag (Abergon, u.d.).



Figur 5. Visar flödesmönster för deplacerande golvdon med flöde 100 l/s. (Hämtat från Fläktgroup select)

2.5.2.1 Val av don

Vid deplacerande ventilation tillförs luften direkt i vistelsezonen och då är det viktigt att bestämma och specificera personplacering, aktivitetsnivå, rumstemperatur och temperaturskillnad mellan rumsluft och tilluftstemperatur. Donen vid deplacerande ventilation är oftast större och utgör en större yta än till exempel ett vanligt takdon. Det finns även don där luften riktas mot väggen för att på så sätt kunna använda större lufthastigheter vid stora flöden. Då sprids luften vid väggarna för att sedan röra sig inåt för att bli förorenad och sedan stiga uppåt (Inventiair, 2015).

I figur 3, 4 och 5 visas flödesmönster för väggdon, takdon och deplacerande don. Takdonet och det deplacerande har lika stort flöde medan väggdonet har en tredjedel så litet flöde. Som det syns på bilderna har ett deplacerande don mycket mindre kastlängd och klarar därmed större flöde, dock är det placerat i vistelsezonen vilket är en nackdel.

3 Metod

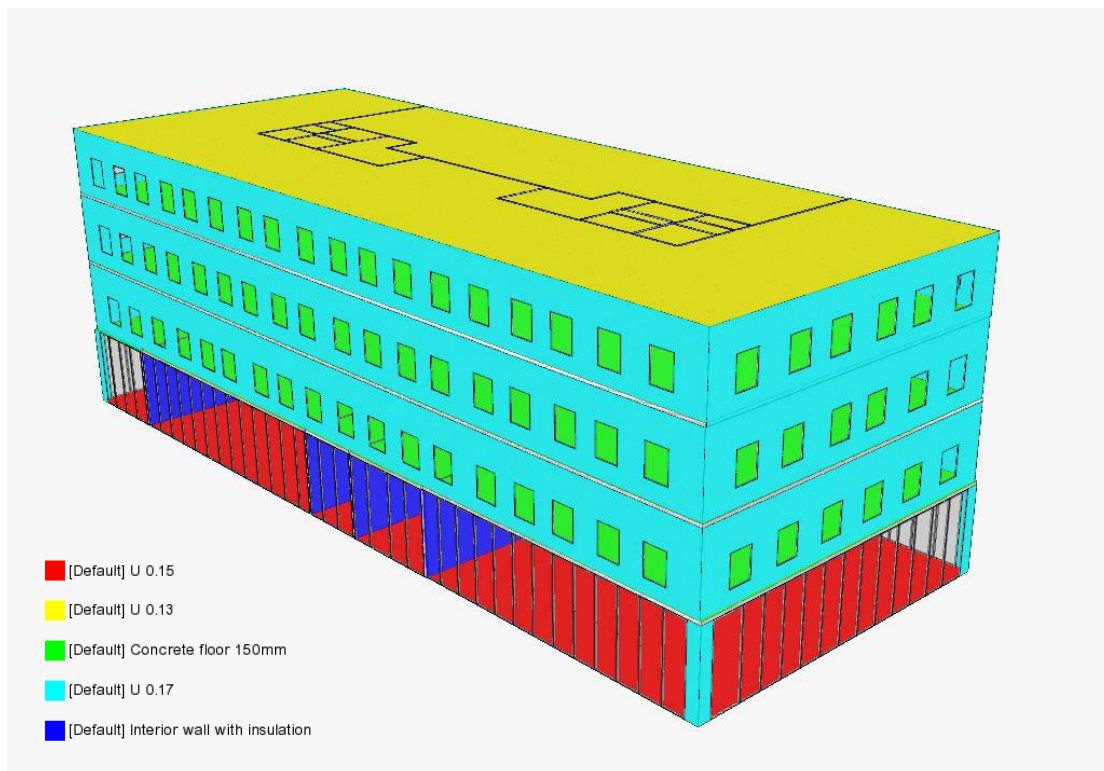
Studien går ut på att undersöka vilka möjligheter och begränsningar som finns med att kyla med luft vid variation av några parametrar som definieras senare i kapitlet. För att ta reda på detta ska beräkningar utföras där specifika flöden för luftburen komfortkyla tas fram.

I verkligheten försöker ventilationskonsulter som är med i ett tidigt skede, i samråd med arkitekten utforma byggnaden för att kontrollera solinstrålning och utformningen av klimatskalet. Detta görs för att minimera användningen av tekniska system. Dessa parametrar är dock svåra att påverka i denna undersökning då alla byggnader är unika och har olika förutsättningar (Personlig kommunikation, Jimmy Tunhav). Det blir då i praktiken svårt att realisera denna byggnad, därav måste så realistiska antaganden som möjligt göras. Antagandena är baserade på standarder och riktlinjer för kontorsbyggnader från Svebyprogrammet, BBR och AFS.

3.1 Kontorsbyggnad

För att beräkningarna ska vara så representativa som möjligt och underlätta vid jämförelse kommer ett antal parametrar för byggnaden antas konstant. Värden på dessa hämtas från Svebyprogrammet. Programmet består av standardiserade data och fungerar som en överenskommelse mellan entreprenör och byggherre för att underlätta dimensioneringsprocessen (Sveby, 2013). Hämtade och övriga antagna värden som kommer att användas i projektet redovisas i tabell 2.

Byggnaden är uppbyggd som en antagen kontorsbyggnad med måtten 18 * 46 m. Byggnaden består av ett entréplan och tre kontorsplan. På entréplan återfinns till exempel seminarierum, samlingslokaler, café och butiker. Kontorsplanen är ritade till stoppstandard vilket innebär att inga hyresgästanpassningar har gjorts. Därav innehåller dessa endast trapphus med tillhörande toaletter. För detaljerad beskrivning av byggnaden se bilaga 1.



Figur 6. Bilden illustrerar byggnadsmodellens utformning och dess byggnadsdelar.

3.1.1 Antagande av byggnadsparametrar

Alla antaganden för byggnaden har gjorts i samråd med teknisk konsult som har en god verklighetsuppfattning och erfarenhet i branschen. Svebyprogrammet har även använts som riktlinje. Då det är fallet för nedkylning som är dimensionerande vid ventilationsdimensionering kommer inte förluster genom klimatskalet vara en av de kritiska faktorerna. Därför antas byggnadens komponenters U-värde vara följande: vägg: 0.18, golv: 0.15 och tak: 0.13 som är lägsta krav enligt BBR (Boverket, 2016). Byggnaden antas även ligga på en öppen yta vilket innebär att det inte finns någon omgivning som bidrar till skuggning av byggnaden. Fönster med relativt bra solprestanda, $G=0.43$ antas för att hålla nere solinstrålningslast. De interna lasterna sätts till 7.6W/m^2 för belysning och 9W/m^2 för övrig utrustning, tex datorer, kopiatorer och liknande (Sveby, 2013). För att CO_2 halten inte ska bli för hög sätts ett CAV (hygien) flöde till $0.35\text{l/s/m}^2 + 7\text{l/s/person}$ i varje rum (Arbetsmiljöverket, 2018). Kyleffekten som denna luft bidrar med kommer att redovisas under rubriken "Kyleffekt hygienflöde" i kapitel 4.

För att räkna med marginal antas 0.1 personer/m^2 för utgångsfallet i kontor, vilket resulterar i ca 10 m^2 per arbetare. Detta är i verkligheten ganska lite, på till exempel ett kontor för konsulter är denna siffra runt 20 m^2 per arbetare, vilket resulterar i 0.05 personer/m^2 . I seminarierummet antas, vid maxkapacitet 0.3 personer/m^2 vilket resulterar i endast 3.33 m^2 per arbetare. Byggnaden antas ligga i Göteborg och vid beräkningarna används IDA:s klimatfil som innehåller temperaturer för Göteborg över ett år.

Tabell 2. Antagna variabler, konstanta för alla beräkningar

Variabel	Värde
U _{vägg}	0.18 W/(m ² *K)
U _{markplatta}	0.15 W/(m ² *K)
U _{tak}	0.13 W/(m ² *K)
U _{fönster}	1.19 W/(m ² *K)
Luftläckage	0.3 l/s/m ² _{vägg}
G _{fönster}	0.43
Belysning	7.6 W/m ²
Utrustning	9 W/m ²
CAV-flöde	0.35l/s/m ² + 7 l/s/person
Ort	Göteborg

3.1.2 Parametrar som undersöks

I detta avsnitt kategoriseras och presenteras parametrarna som ska undersökas och hur de varierar.

3.1.2.1 Driftparameter

Driftparametrar är parametrar som har med driften av ventilationssystemet att göra. Det som kommer undersökas är olika tilluftstemperaturer, temperaturerna sätts till 12, 16 och 20 grader. Dessa antagande görs då 12 grader är en väldigt låg tilluftstemperatur, 16 grader är ett normalt värde och 20 grader väldigt högt.

3.1.2.2 Temperaturkrav

Det ställs krav på hur klimatet ska upplevas i ett specifikt rum. Enligt Svebyprogrammet rekommenderas en temperatur på 20-26 grader vid kontorsarbete. I arbetet undersöks en tillåten rumstemperatur på 24 grader och 26 grader som är godkända temperaturnivåer, men även en högre temperatur på 28 grader undersöks.

3.1.2.3 Solavskärmning

Byggnadsparametrar är de parametrar som påverkas av hur byggnaden är utformad. Exempel på dessa skulle kunna vara lufttäthet och U-värde. Dessa parametrar antas vara konstanta då förluster genom klimatskalet inte är dimensionerande för kylfallet. Istället ska olika fasta solavskärmningsprinciper undersökas. Byggnaden antas vara slät och inte ha några utstickande skärmar eller liknande. En princip som då kan användas är rullgardiner i samband med fönster. Dessa kan placeras både invändigt, utvändigt och mellan fönsterrutorna. Placeringen påverkar fönstrets totala G-värde.

3.1.2.4 Verksamhet

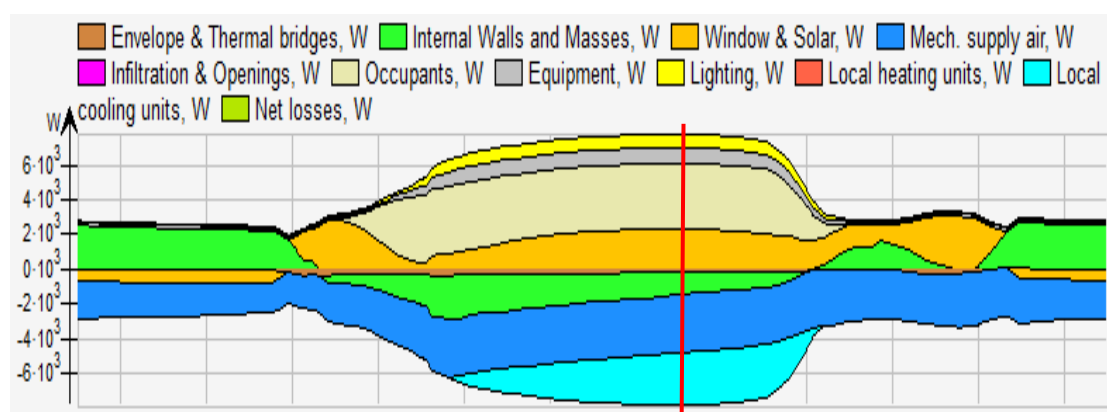
I byggnaden kan verksamheten variera. Exempelvis kan en konsultfirma vara hyresgäst, vars beläggning på kontoret kan uppskattas till 70% av tiden. Detta beror på att oftast är inte alla konsulter på kontoret och att mer hänsyn tas till arbetsmiljön, vilket oftast resulterar i lite större tomma ytor. Om hyresgästen exempelvis är ett callcenter (tjänstcentral) förändras situationen. De vill gärna få in så mycket folk som möjligt på

så liten yta som möjligt. I detta fall uppskattas beläggningen till 100% då de antas befinna sig på kontoret framför datorn hela dagen. Därav görs följande antagande:
Persontäthet: konsultverksamhet 0.05 personer/m² och callcenter 0.1 personer/m².

3.2 Effektbalans

IDA ICE är ett program som kan användas för bland annat energi-, klimat-, och dagsljussimuleringar. I programmet kan alla möjliga inställningar göras och extremt komplexa modeller kan byggas. Vid denna undersökning är tanken att utföra simuleringar för att få fram skillnader i flöde och energianvändning. Tillvägagångssättet för beräkning av effektbalans är att först kartlägga alla internlaster, till exempel antal personer, belysning och solinstrålning. Därefter kartläggs förlusterna, exempelvis genom klimatskal och ofrivillig ventilation. Om internlasterna är större än förlusterna finns ett kylbehov och om internlasterna är mindre än förlusterna behövs ett värmetillskott för att uppnå önskad temperatur.

För att underlätta och få beräkningar med större precision kommer IDA att användas. Värt att notera är även att IDA tar hänsyn till bland annat byggnadens tröghet, som är svårt att beakta vid handberäkning. Exempel på resultat av beräkning av kylfall i IDA under ett dygn kan tolkas i figur 7 nedan. Då undersökningen endast är av kyleffekten kommer fokus att läggas på tidpunkten då maximal effekt förs bort.



Figur 7. Exempel på diagram som visar internlaster och förluster. Hämtat från IDA.

Figuren illustrerar olika ytor som motsvarar hur mycket effekt respektive källa tillför/bortför under en hel dag. På y-axeln presenteras effekt och på x-axeln tid. Därav motsvarar ytorna på varje färg en energi i Wh. I undersökningarna kommer effekttopparna vid en specifik tidpunkt (röd linje i figur 7) att studeras för varje fall, då detta är fallet som blir dimensionerande.

Grön - Visar hur värme lagras i byggnadens stomme bidrar, på natten hjälper stommen till att värma men på dagen kyler den. Detta kommer inte att behandlas vidare i undersökningarna.

Grått - Visar hur stor del diverse utrustning bidrar med, till exempel datorer. Dessa är endast igång under arbetstimmar.

Gult - Visar hur belysningen i byggnaden påverkar, endast igång under arbetstimmar.

Beige - Visar hur stor energi människor utstrålar.

Orange - Visar hur mycket energi som kommer in genom fönsterna, notera att detta fält är negativt under dagens mörka timmar, vilket betyder att värme försvinner.

Brun - Motsvarar byggnadens klimatskal och detta går i princip att försumma vid effektberäkning för kyla, men är viktigare vid beräkning av uppvärmningsbehov.

Mörkblå - Motsvarar hur stor energi hygienluftflödet bortför.

Ljusblå - Representerar det kylbehov som behöver ombesörjas.

Undersökningarna kommer gå ut på att sammanställa hur stort flöde som behövs för att bortföra allt värmeöverskott från rummen. För att uppnå detta adderas det mörkblå fältet och det ljusblå fältet vid tidpunkten då maximal kyla krävs.

3.3 Simuleringar

För att ha en utgångspunkt definieras standardfallet för beräkningarna som fall 1 enligt tabell 3. Därefter kommer parametrarna att varieras enligt beskrivningen i avsnitt 3.2 för att få en tydlig struktur och skillnad mellan beräkningarna. Undersökningarna kommer att ske på kontorsplan våning 3 och seminarierum 3 på entréplan. Dessa zoner finns utmärkta på bifogade ritningar (bilaga 1). Vid beräkningarna i IDA beräknas fallet för kylbehov för att få fram kyleffekter för varje zon. Med kyleffekten kan sedan ett flöde för rummet beräknas och med hjälp av flödet kan utformningen av ventilationen på rumsnivå diskuteras.

Tabell 3. Beskrivning av parametrar som ändras vid olika beräkningar. Fetmarkerade värden är de som ändras för respektive beräkning

Fall	Tilluftstemp. (°C)	Max temp. (°C)	Verksamhet (-)	Avskärmning (g)
1	16	24	Callcenter (0.1)	0
2	20	24	Callcenter (0.1)	0
3	12	24	Callcenter (0.1)	0
4	16	26	Callcenter (0.1)	0
5	16	28	Callcenter (0.1)	0
6	16	24	Konsult (0.05)	0
7	16	24	Callcenter (0.1)	Utvändig 0.14
8	16	24	Callcenter (0.1)	Mellanliggande 0.39
9	16	24	Callcenter (0.1)	Invändig 0.65

3.3.1 Energiberäkning

Byggnadens energianvändning är även det ett resultat som är intressant vid dimensionering. Då fokus i denna undersökning ligger på att undersöka kylfallet antas byggnaden vara optimalt uppvärmd med radiatorer. Energiundersökningen kommer att utföras genom att göra sex beräkningar med olika inställningar enligt tabell 4. Fall 1 motsvarar utgångsfallet, därefter undersöks hög tilluftstemperatur, hög tillåten rumstemperatur, verksamhet och väl utformad solavskärmning. Beräkningarna kommer endast att beakta energin som krävs för att driva byggnaden. Alltså inte energin som hyresgästerna använder.

Tabell 4. Förutsättningar vid energiberäkning, de fetmarkerade fälten motsvarar parametern som ändras

Fall	Tilluftstemp. (°C)	Max temp. (°C)	Verksamhet (-)	Avskärmning (g)
1	16	24	Callcenter (0.1)	0
2	20	24	Callcenter (0.1)	0
3	16	28	Callcenter (0.1)	0
4	16	24	Konsult (0.05)	0
5	16	24	Callcenter (0.1)	Utvändig 0.14
6	12	24	Callcenter (0.1)	0

3.3.1.1 Övriga antagande

För att utföra energiberäkningarna krävs att ett antal nya antaganden görs. Alla byggnadsparametrar antas vara samma som förut. Det som ändras är att ett schema skapas för när arbetarna vistas på kontoret. Detta innebär att internlasterna (utrustning, ljus och personer) antas vara 100% under arbetsdagar 07-17. Utöver dessa tider antas internlasterna exklusive personer generera 15% av det maximala värdet. Följden av dessa antagande blir att byggnaden inte kommer att ha ett lika stort kyl/uppvärmningsbehov som den hade behövt om interlasterna skulle varit 100% dygnet runt. Anledningen till dessa antagande är för att göra beräkningarna verklighetsbaserade.

4 Resultat

Resultaten för varje fall presenteras med hjälp av en tabell. Det erforderliga kylbehovet beräknas med hjälp av det som i IDA-ICE benämns "Lokal kylvanhet" och "Kyl-effekt hygienflöde", då även en del av kylan förs bort med hjälp av byggnadens tröghet, se figur 7. Flödet för kylning med luft beräknas därefter med hjälp av sambandet:

$$P = \rho * c_p * \dot{V} * \Delta t \quad (1)$$

P, är effekten i W

ρ , är luftens densitet i kg/m³

c_p , är luftens värmekapacitet i J/kg*K

Δt , är skillnaden mellan tilluftstemperatur och tillåten rumstemperatur i rummet

$\dot{V}$, är flödet i l/s

4.1 Utgångsfallet

Tabell 5. Värde för utgångsfallet för de studerade zonerna

Zon	Tilluftstemp. (°C)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylvanhet (W/m ²)	Total kyl- effekt (W/m ²)	Flöde (l/s/m ²)
Seminarierum	16	21	180.3	201.3	21
Kontor	16	8.9	23.5	32.5	3.4

Seminarierummet ligger med två väggar mot fasaden som består av endast glas. Prestandan på glaset har antagits till $g=0.43$ vilket inte är bra när hela fasaden är glasad. I fall 1 som motsvarar det antagna utgångsfallet för byggnaden finns ingen solavskärmning alls vilket gör att två hela väggar är exponerade för solen. Enligt tabell 5 behövs ett luftflöde på 21 l/s/m² för att bortföra all överskottseffekt. I ett seminarierum på 39 m² är det i princip praktiskt omöjligt att tillföra denna mängd luft och samtidigt uppnå kraven på komfort och undvika dragproblem. Hygienluftflödet för rummet är 0.35 l/s/m² + 7 l/s beroende på hur många personer som antas befinna sig i rummet. I detta fallet antas cirka 12 personer vilket resulterar i ett hygienflöde på 2.5 l/s/m².

På kontorsytan finns fönster för att tillgodose dagsljusbehovet och glasarean i förhållande till rumsytan är inte i närheten av vad den är i seminarierummet. Även här kommer ett stort flöde krävas i utgångsfallet, som ligger på 3.4 l/s/m². På kontorsplanet behövs ett hygienflöde på 1.05 l/s/m². Men detta flöde är i förhållande till seminarierummet ganska litet. Att tillföra all kyla med hjälp av tilluften hade i detta fall varit praktiskt tillämbart.

4.2 Tilluftstemperatur

Driftparametrar är de parametrar som styr hur systemet ska drivas. I undersökningen har fokus lagts på att undersöka hur olika tilluftstemperaturer påverkar inneklimatet. I praktiken brukar tilluftstemperaturen ligga på 16–18 grader vilket egentligen är ganska högt om en temperatur på 20–24 grader ska hållas. Kyleffekten som tillförs med luften är beroende av temperaturskillnaden och därför tillför luften mindre kyleffekt om temperaturskillnaden är liten och mer kyleffekt om temperaturskillnaden är stor. En slutsats som går att dra är att lägre temperaturskillnad resulterar i större flöde om man vill använda luften för kylning. Ett bra sätt att kyla med luft i teorin kan vara att ha en väldigt låg tilluftstemperatur men i praktiken för detta med sig en del problem.

4.2.1 Seminarierum

Tabell 6. Resultat av beräkning med varierande tilluftstemperatur för seminarierum

Fall	Tilluftstemp. (°C)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylvanhet (W/m ²)	Total kyl-effekt (W/m ²)	Erforderligt flöde (l/s/m ²)
1	16	21	180.3	201.3	21
2	20	8.9	194.7	203.6	42.4
3	12	33.4	162	195.4	13.6

I seminarierummet krävs i utgångsfallet ett flöde på 21 l/s/m². När tilluftstemperaturen sänks till 12 grader sänks flödesbehovet med 35 %. Detta är fortfarande ett väldigt högt flöde som är svårt att hantera i ett så litet rum. Om tilluftstemperaturen höjs till 20 grader dubblas flödet från utgångsfallet och flödet blir ännu svårare att hantera.

4.2.2 Kontorsplan

Tabell 7. Resultat av beräkning med varierande tilluftstemperatur på kontorsplan

Fall	Tilluftstemp. (°C)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylvanhet (W/m ²)	Total kyleffekt (W/m ²)	Erforderligt flöde (l/s/m ²)
1	16	8.9	23.5	32.5	3.4
2	20	3.8	30.1	33.9	7.1
3	12	14.3	14.6	28.9	2

På kontorsplanet kan en lägre internlast i förhållande till ytan tydas än i seminarierummet och detta beror på fönsterytan. Enligt resultaten i tabell 7 kan samma samband som i seminarierummet tydas, flödet fördubblas vid 20 grader tilluftstemperatur och flödet minskar med ungefär 41 % när tilluftstemperaturen sänks till 12 grader.

4.3 Maximal tillåten rumstemperatur

Temperaturkravet i byggnaden är i ursprungsläget satt till maximalt 24 grader. Ändringarna som görs är att höja maximal tillåten rumstemperatur till 26 respektive 28 grader för att få ner totala kylbehovet i byggnaden.

4.3.1 Seminarierum

Tabell 8. Resultat av beräkning med varierande tillåten rumstemperatur i seminarierum

Fall	Tillåten rumstemperatur (°C)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylenergi (W/m ²)	Total kyl-effekt (W/m ²)	Erforderligt flöde (l/s/m ²)
1	24	21	180.3	201.3	21
4	26	27	165.6	192.6	16.1
5	28	33	144.3	177.2	12.3

Tabell 8 visar att om den maximalt tillåtna temperaturen i seminarierummet höjs till 26 grader sjunker flödet med ungefär en fjärdedel. Vid en ändring av temperaturen till max 28 grader sjunker flödesbehovet med ungefär hälften.

4.3.2 Kontorsplan

Tabell 9. Resultat av beräkning med varierande tillåten rumstemperatur för kontorsplan

Fall	Tillåten rumstemperatur (°C)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylenergi (W/m ²)	Total kyl-effekt (W/m ²)	Erforderligt flöde (l/s/m ²)
1	24	8.9	23.5	32.5	3.4
4	26	11.5	18.9	30.4	2.5
5	28	14.1	13.1	27.2	1.9

Jämfört med ursprungsvärdet minskar flödet även här med ungefär en fjärdedel om maximala temperaturen höjs till 26 grader. Ändras temperaturen till 28 grader blir flödet som behövs för att klara kylbehovet ungefär hälften så stort.

4.4 Solavskärmning

Vid beräkningar i undersökningen antas byggnaden ha ett konstant klimatskal och en konstant luftinfiltration. Eftersom byggnaden undersöks på sommaren har inte dessa parametrar någon större påverkan då temperaturskillnaden mellan utomhus och inomhus bara är några få grader. Vid en energianalys av byggnaden kommer dessa parametrar spela större roll då förluster genom klimatskalet är dimensionerande för byggnadens uppvärmning. I undersökningen har fokus lagts på olika solavskärmningsprinciper vid fönstertyorna. Byggnadens yttre är alltså helt slät och inga åtgärder har vidtagits för att försöka avskärma solen i byggnadens utformning.

4.4.1 Seminarierum

Tabell 10. Resultat av beräkning med varierande solavskärmning i seminarierum

Fall	Solavskärmning (g)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylvärme (W/m ²)	Total kyl-effekt (W/m ²)	Erforderligt flöde (l/s/m ²)
1	Ingen, 0	21	180.3	201.3	21
7	Utvändig, 0.14	21	41.3	62.2	6.5
8	Mellan, 0.39	21	79.1	100.1	10.4
9	Insida, 0.65	21	134.4	155.4	16.2

Tabell 10 visar att den bästa solavskärmningsprincipen är utvändig där flödet minskar med 70 %. Med solskydd monterade i fönstren halveras flödet. Om solavskärmningen placeras på insidan av fönstret minskar flödet endast med knappt en fjärdedel.

4.4.2 Kontorsplan

Tabell 11. Resultat av beräkning med varierande lösningar på solavskärmning

Fall	Solavskärmning (g)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylvärme (W/m ²)	Total kyl-effekt (W/m ²)	Erforderligt flöde (l/s/m ²)
1	Ingen, 0	8.9	23.5	32.5	3.4
7	Utvändig, 0.14	8.9	8.8	17.8	1.9
8	Mellan, 0.39	8.9	12.5	21.5	2.2
9	Insida, 0.65	8.9	16.5	25.4	2.6

Med solavskärmning på insidan minskar flödet precis som i seminarierummet med ungefär en fjärdedel. Är det solavskärmning mellan fönstren reduceras flödet med 35 %. Placeras solskyddet på utsidan minskar flödet med 44 %. Att resultaten skiljer sig från seminarierummet beror på att kontorsplanets fönsteryta i förhållande till golvyta är mindre.

4.5 Verksamhet

I en kontorsbyggnad kan det bedrivas olika sorters verksamheter som kräver olika kylbehov. I denna undersökning jämförs en konsultverksamhet med ett callcenter. Skillnaden i dessa verksamheter är framförallt persontätheten. I beräkningarna används 0.1 personer/m² till callcenter medan 0.05 personer/m² för en konsultverksamhet. I beräkningarna ändras endast verksamheten på kontorsplanet, då ett seminarierum oftast har full beläggning eller ingen beläggning alls.

Tabell 12. Resultat av beräkning med varierande verksamhet på kontorsplan

Fall	Verksamhet (-)	Kyleffekt hygienflöde (W/m ²)	Lokal kylan- het (W/m ²)	Total kylef- tekt (W/m ²)	Erforderligt flöde (l/s/m ²)
1	Callcenter (0.1)	8.9	23.5	32.5	3.4
6	Konsult (0.05)	6	22.2	28.2	3

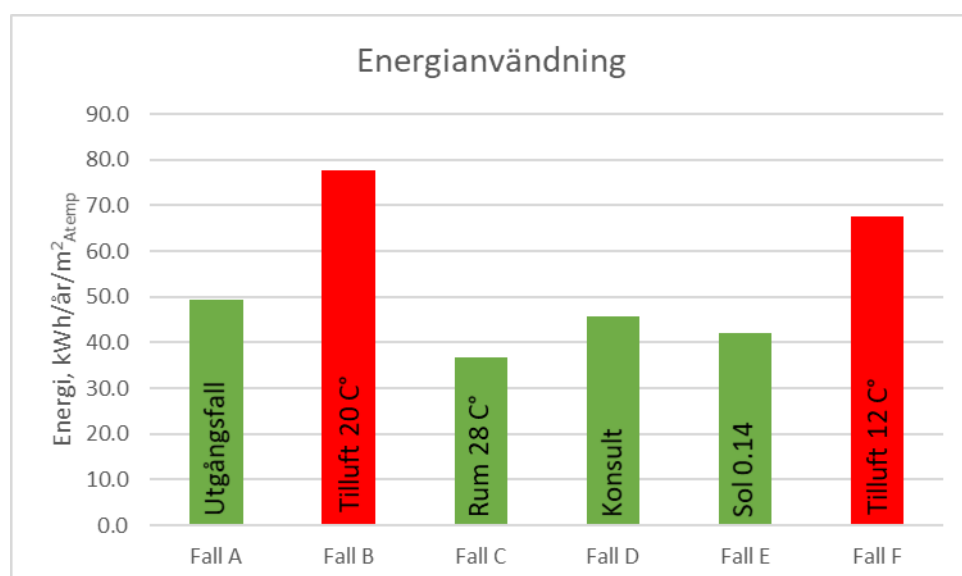
Jämfört med ursprungsfallet med 0,1 m²/person sjunker flödesbehovet med drygt 10 % när antalet personer på kontorsplanet halveras.

4.6 Energiberäkning

Energiberäkningen utförs för hela byggnaden under ett år. Resultaten omfattar endast driften av byggnaden och tar inte hänsyn till hyresgästens förbrukning, till exempel varmvattenförsörjning och liknande. Zon kylning/värmning motsvarar energin som krävs till lokala radiatorer som värmer upp till 20 grader och kylanheter i alla rum i byggnaden. Aggregat kylning/värmning motsvarar energin som krävs till kyl/värmebatteri i luftbehandlingsaggregatet. Kravet enligt BBR är 70 kWh/år/m²_{Atemp} om antagandet görs att byggnaden inte är eluppvärmd, alltså uppvärmning sker med till exempel fjärrvärme eller pellets.

Tabell 13. Resultat av energiberäkningar, visar kWh/år/m²_{Atemp}

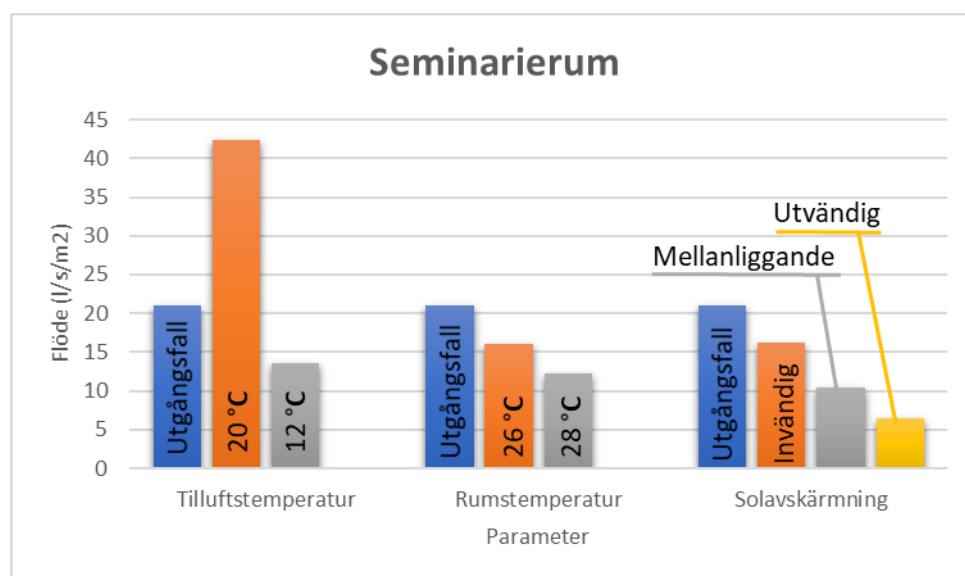
kWh/år/m ² _{Atemp}	Zon värmning	Zon kylning	Aggregat värmning	Aggregat kylning	Total kylning	Total värmning	Total energi
Fall A	10.1	15.4	16.2	7.6	23.0	26.3	49.4
Fall B	1.7	36.6	38.0	1.5	38.1	39.6	77.7
Fall C	9.6	3.6	15.8	7.7	11.3	25.4	36.7
Fall D	9.0	18.0	12.6	6.0	24.0	21.6	45.6
Fall E	13.5	3.6	17.3	7.6	11.2	30.8	42.0
Fall F	33.5	6.0	2.5	25.6	31.5	36.0	67.6



Figur 8. Diagram som illustrerar energianvändningen för respektive fall, röda staplar uppfyller ej kraven enligt BBR

Fokus i undersökningen ligger på hur ventilationssystemet påverkas av varierande parametrar. Byggnadens energianvändning är ett bra sätt att få en bild av hur byggnaden presterar energimässigt över ett år. Om en viss parameter gör att ett mindre flöde krävs för att kyla ett specifikt rum blir det ett positivt resultat i undersökningen av kylbehovet. Det behöver dock inte betyda att det är bra för hela byggnadens energiprestanda. Energianvändningen i detta fall innebär kyla och värme av rumsluften respektive tilluften. Som figur 8 ovan visar är energianvändningen beroende av de kritiskt undersökta parametrarna och varierar stort. Enligt tabell 13 kan stora variationer i energianvändning tydas.

5 Diskussion och slutsats



Figur 9. Diagram som illustrerar skillnaden i flöde (l/s/m^2) för de olika beräkningsfallen i seminarierum

Resultaten visar att flödesbehovet i seminarierummet är väldigt högt redan i ursprungsfallet. Det beror på att rummet ligger mot fasad och har en väldigt stor glasyta. Detta leder till att solinstrålningens värmeeffekt blir extremt stor och därmed krävs ett totalt flöde på 21 l/s/m^2 , varav ett hygienflöde på 2.5 l/s/m^2 . Det är ett flöde som är praktiskt svårt att tillämpa. Det skulle krävas mycket av systemet, till exempel stora kanaler som hade reducerat takhöjden och begränsningar i val av don då kastlängden och drag skulle kunna bli ett problem. Lösningen på detta problem hade varit att använda vattenburen kyla och därmed minska ner både storleken på don och kanaldimensioner. Vattenburen kyla skulle kunna vara en lösning oberoende av flödet för att minska kanaldimensioner.

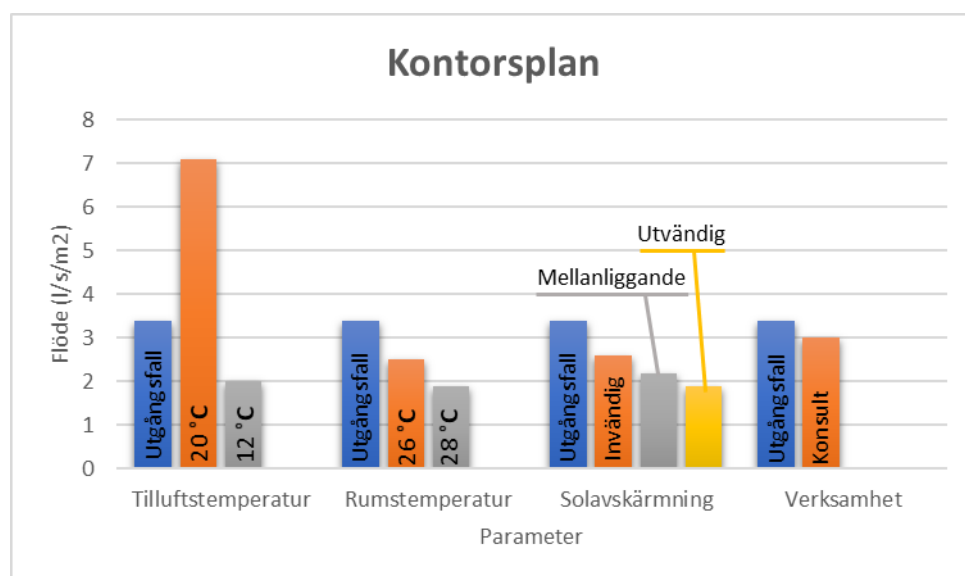
Arbetet visar att om det bästa solavskärningsalternativet används minskar det erforderliga flödet med ungefär 70 %. Det är ett luftflöde som är betydligt mindre och detta visar att solskydd är den viktigaste parametern. Arbetet visar även att utformningen av byggnaden och placeringen av seminarierum har stor betydelse. Att placera seminarierum i mitten av byggnaden helt avskilt från solinstrålning skulle vara den i särklass bästa lösningen för att kunna kyla med luft. Ett annat alternativ skulle vara att placera rummet i norrläge och på så vis vara i skugga under stor del av dagen. Detta är något som borde beaktas i ett tidigt projekteringsstadium.

Med nuvarande placering av seminarierummet kan dimensioneringen av ventilations-systemet bli väldigt komplicerat med stora kanaldimensioner, långa kastlängder och problem med drag. Deplacerande ventilation kan hantera stora luftflöden och denna metod skulle kunna vara tekniskt tillämpbar. Däremot är det problematiskt att använda don som blåser in luften i vistelsezonen i ett rum med begränsad yta då det är svårt att möblera i närheten av donet. Teoretiskt hade omblandande ventilation varit en bra lösning men med denna princip uppstår stora kastlängder vid för högt flöde vilket blir problematiskt i ett litet rum, då det kan leda till problem med drag.

I ett seminarierum vistas många människor på en relativt liten yta. Det är viktigt att klimatet är bra och behagligt men eftersom seminarierum oftast används under en kortare tid skulle en högre tillåten rumstemperatur kunna vara en lösning för att minska flödet. Med en 4 graders ökning av temperaturen skulle flödesbehovet halveras. Det skulle dock bli komfortproblem och obehaglig temperatur men det är endast under en kort tid och därför skulle det kunna vara en lösning för att minska flödet. Några graders skillnad från ursprungsfallet hade gjort stor skillnad för luftflödet i rummet.

Eftersom persontätheten i ett seminarierum oftast är väldigt omfattande, blir det en kritisk parameter. Det är även en parameter som är svår att ändra på, då ett seminarierum oftast har antingen full- eller ingen beläggning alls.

Då värdena för seminarierummet är extremt höga redan i utgångsfallet, beroende på rummets placering i byggnaden kommer resten av diskussionen behandla kontorsplanet som har en bättre utformning vilket ger mer normala värden som är enklare att jämföra.



Figur 10. Diagram som illustrerar skillnaden i flöde ($l/s/m^2$) för de olika beräkningsfallen på kontorsplanet

Kontorsplanet är till skillnad från seminarierummet fördelaktigare utformat. Fönsterarean är begränsad och tillgodoser dagsljusbehovet för kontorsplanet. Eftersom fönsterean är mindre här behövs inte samma extrema luftflöde som i seminarierummet. På kontorsplanet behövs $3.4 l/s/m^2$ i utgångsfallet vilket fortfarande är ett ganska stort flöde. Hygienflödet för kontorsplanet är $1.05 l/s/m^2$. Det är fullt möjligt att hantera dessa luftmängder och det skulle innebära cirka $2.4 m^3/s$ per kontorsplan. Detta flöde är hanterbart med alla luftföringsprinciper men det är viktigt att vara varsam med donens placering och tänka på kastlängder så de inte krockar och orsakar turbulens. Deplacerade don kan hantera större mängder luft, men då begränsas den möblerbara ytan. Totalflödet för även med sig stora kanaldimensioner, vilket har stor påverkan på behov av schaktstorlekar i byggnaden.

Tilluftstemperaturen har stor betydelse om luftburen komfortkyla ska tillämpas. Tabell 7 visar att flödet som krävs vid en tilluftstemperatur på 20 grader är extremt högt och detta fall borde uteslutas helt. Den enda fördelen med en hög tilluftstemperatur är att högre lufthastighet kan tillåtas då drag inte upplevs på samma sätt som vid lägre

temperaturer. I samma tabell ses att vid 12 grader tilluft kan flödet sänkas till ett flöde som är 2 l/s/m^2 . Detta är en stor reducering och beror på den höga temperaturskillnaden. Ur ventilationssynpunkt skulle det vara bra att ha en lägre tilluftstemperatur men detta skulle kräva mycket av systemet. För att hålla låg temperatur på luften som transporteras långa sträckor skulle isolering av kanalerna behövas. Vid låga temperaturer är det även stor risk för kondens som är väldigt svårt att hantera. De flesta donen är inte gjorda för att hantera låg tilluftstemperatur och det är stor risk för att drag upplevs. Av energiberäkningarna ses även att låg tilluftstemperatur medför att energianvändningen för luftkylaren i aggregatet blir extremt stor.

Undersökningen visar att den tillåtna rumstemperaturen i lokalen har stor påverkan. I Svebyprogrammet rekommenderas vid kylning en inomhustemperatur på 24.5 ± 1.5 grader. På en kontorsyta är det väldigt viktigt att hålla rätt klimat då det påverkar arbetsförmågan. Om en tillåten rumstemperatur hade varit upp mot 28 grader hade flödet kunnat sänkas till 1.9 l/s/m^2 . Detta är en stor minskning som kan likställas med 12 grader tilluftstemperatur och utvändig solavskärmning. Med tanke på resultatet på undersökningen av energianvändning är detta det bästa alternativet för att hålla nere både energianvändningen och flödet, men det kommer antagligen att påverka människorna som befinner sig i byggnaden negativt.

Flödet i utgångsfallet är högt och i tabell 11 kan ses att flödet sjunker rejält när solavskärmning tillämpas. Invändig solavskärmning är den sämsta principen och detta beror på att g-värdet är högt, vilket innebär att mycket av solvärmen kommer in i byggnaden. Den bästa principen är utvändig solavskärmning då solen avskärmas utanför byggnaden och mindre del av värmen kommer in. Tyvärr finns det begränsningar med utvändig solavskärmning. Den utvändiga solavskärmningen måste motstå både väder och vind, vilket innebär både högre investerings- och underhållskostnad. Att få ner flödet till 1.9 l/s/m^2 med utvändig solavskärmning hade gjort stor skillnad för utformningen av byggnaden. Detta för med sig att det totala flödet för ett kontorsplan mer än halveras, vilket innebär att mindre kanaldimensioner kan användas.

Verksamheten som drivs i byggnaden kan variera och ställa olika stora krav på luftbehandlingssystemet. I detta fall undersöks endast persontätheten på kontorsplanen. Skillnaden är då att internlasterna från antalet människor sjunker, vilket även leder till ett minskat flöde. I förhållande till de andra parametrarna som har undersökts gör inte detta särskilt stor skillnad på det totala flödet som krävs, totalt skiljer det 0.4 l/s/m^2 från utgångsfallet vilket resulterar i en sänkning med $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ per kontorsplan. Då det är ganska stora flödesmängder som hanteras i utgångsfallet kommer inte detta att ha särskilt stor påverkan på dimensioneringen eller rumsutformningen. Alla faktorer är viktiga och bör tas hänsyn till. Dock är detta inte det mest kritiska för ett kontorsplan och spelar större roll i seminarierummet.

På kontorsplanet är de flesta luftflödena i undersökningen praktiskt tillämpbara, förutom vid 20 gradig tilluft. Val av luftföringsprinciper beror på hur kontorsplanet ska hyresgästpassats. Det är skillnad på hur ett kontorslandskap och cellkontor utformas. Om hygienluftflödet tillgodoses, uppfylls kraven för luftkvalitet. Klimat- och komfortkrav uppfylls med hjälp av luft- eller vattenburen komfortkyla. Att hålla nere flödet för luftburen kyla med hjälp av att modifiera parametrarna är en viktig del av dimensioneringsprocessen. Lägre flöde medför mindre kanaldimensioner som sparar plats i byggnaden. I detta arbetet är det inte möjligt att tillgodose kylbehovet på entréplan med bara

luftburen kyla, detta medför att ett system för vattenburen kyla måste installeras. Om ett sådant klimatsystem installeras på en våning, finns fördelar med att installera det på resterande våningar. Det blir en större investeringskostnad men om luften kyla lokalt krävs inte lika stora flöden som om all överskottsvärme skulle bortföras med luft. Detta leder till mindre kanaldimensioner och att plats sparas. Om byggnaden exempelvis hade varit 15 våningar hög, hade det kunnat vara mer fördelaktigt med lokal kyla, då hade till exempel 20 cm kunnat sparats in i takhöjd på varje våning, vilket hade resulterat i en extra uthyrbar våning i byggnaden.

Generellt kan konstateras för både beräkningar av kylbehov och energianvändning är att hög tilluftstemperatur inte är effektivt, det blir alldeles för högt luftflöde i både seminarierummet och kontorslokalen. Det fungerar alltså inte kyla med luft på ett bra sätt och samtidigt uppnå energianvändningskraven i BBR på 70 kWh/år/m^2 . Detta beror på att uteluften skulle behöva värmas hela vägen upp till 20 grader och i Göteborg som har en medeltemperatur på 7 grader blir det en stor temperaturskillnad. Om tilluftstemperaturen sätts till 12 grader istället uppnås bra kyleffekt men energianvändningen för kylning blir så stor att inte det heller klarar kraven från BBR. Det beror på att under de varmaste månaderna på året skulle det krävas väldigt mycket energi för att kyla luften till 12 grader. Slutsatsen är att tilluftstemperaturen inte ska vara för hög eller för låg för att det ska vara så energieffektivt som möjligt, utan istället variera med utetemperaturen. Tabell 13 visar att i fall 1 är tilluftstemperaturen 16 grader och energianvändningen ligger på 49.4 kWh/år/m^2 vilket i sammanhanget är relativt litet.

Den lägsta energianvändningen vid beräkningarna är fallet med 28 grader som maximal tillåten rumstemperatur. Vid beräkning av flödes- och kylbehovet kunde även goda resultat vid hög tillåten rumstemperatur tydas. Skillnaden i energianvändning blev 13 kWh/år/m^2 vilket är en reduktion på ca 26% mot utgångsfallet vilket är en relativt stor skillnad på en stor byggnad. Slutsatsen är att genom att låta rumstemperaturen stiga under de varmaste dagarna på året kan mycket energi sparas, och det skulle inte krävas lika mycket av ventilationssystemet som det hade gjort med en lägre temperatur.

Energiberäkningarna med eller utan solavskärmning skiljer cirka 8 kWh/år/m^2 som motsvarar en sänkning med ca 16%. Detta skulle betyda ganska stora energibesparingar i längden. Vid beräkning av kyl- och luftflödesbehov kunde även en stor skillnad ses. Detta betyder att solavskärmning är väldigt viktigt att ta hänsyn till.

6 Reflektioner och tankar om framtida arbete

Att dimensionerna luftbehandlingssystem är en väldigt komplex uppgift. Det finns många parametrar som påverkar och har varierande inverkan på resultatet. Arbetet har omfattat hur internlast och driftparametrar påverkar dimensioneringen. Enligt beräkningarna hade solinstrålning en extremt stor påverkan på resultatet i utgångsfallet. I seminarierummet där fönsterytor utgjorde stor del av väggarean blev internlasterna från solen extremt höga. För att förhindra detta är det viktigt att tänka på hur byggnaden är placerad och vilka skuggor som faller på den. Det finns även stora möjligheter att bidra till solavskärmning genom att påverka byggnadens utformning. Det är då viktigt att samverka med arkitekten om funktionaliteten. En fråga som hade kunnat diskuteras vidare är hur viktigt det är med ett tilltalande utseende i förhållande till byggnadens funktionalitet.

Temperaturskillnaden mellan tilluft och rumsluft är avgörande för luftens kylande effekt. Undersökningarna visar att små variationer i tilluftstemperaturen utgör stor skillnad. Om enbart kylförmåga hade varit i fokus så hade det bästa alternativet varit att använda så låg tilluftstemperatur som möjligt. Däremot finns det då stora begränsningar på hur systemen kan utformas, både med hänsyn till drag i rum och transport av luft. Med tanke på detta är det viktigt att försöka hålla tilluftstemperaturen låg utan att det ställs orimliga krav på systemet eftersom det har stor inverkan på kyleffekten. Det är även viktigt att se helheten och förstå att energianvändningen i aggregatet blir stor. Optimalt hade varit att tilluftstemperaturen ändras efter utetemperaturen för att reducera det stora energibehovet i aggregatet. Det hade varit intressant att undersöka vidare vilken tilluftstemperatur som är optimal och hur energianvändningen påverkas av hur den följer utomhustemperaturen.

Människors komfort är det viktigaste att ta hänsyn till vid dimensionering och utformning av luftbehandlingssystemet. Det är ju trots allt för människorna byggnader utformas och då är det viktigt att inneklimatet är behagligt. Det kommer nästan alltid finnas någon som är missnöjd med inneklimatet men för att hålla dessa siffror nere ställs ofta höga krav för att så många som möjligt ska vara nöjda. I Sverige är kraven väldigt hårt ställda och i undersökningen tilläts i ett fall en rumstemperatur på 28 grader. Detta är en hög siffra men både luftflödet för komfortkyla och energianvändningen sjönk drastiskt. Att tillåta en högre temperatur på sommaren skulle kräva väldigt mycket mindre av systemet. Ur dimensioneringssynpunkt skulle alltså en hög tillåten rumstemperatur vara optimalt, men för att öka produktiviteten blir kraven hårdare.

Att installera ett luftbehandlingssystem ska ses som en investering som gör att byggnaden blir användbar och därför är det viktigt att resultatet blir som önskat. Kostnaden kan delas upp i två delar, installationskostnad och driftkostnad. Ekonomi är alltid viktigt i projekt och det blir en balansgång mellan kostnaden för investeringen och driften. En stor kostnad för installationen behöver däremot inte betyda att driften blir så mycket billigare. Med tanke på att en byggnads livslängd idag är minst 50 år blir driftkostnaden viktig. I denna undersökning har stor vikt lagts på luftflödets storlek och mindre flöde leder till mindre dimensioner på kanaler och därmed reduceras installationskostnaden. Fläkteffekter, motorer, styrsystem samt underhåll är kostnader som ska beaktas. Den största driftkostnaden är i luftbehandlingsaggregatet där luften värms eller kyls så att den har rätt temperatur när den blåses in i rummet. Något som hade varit intressant att undersöka vidare är hur förhållandet mellan investeringskostnad och driftkostnad ser ut

och hur det går att göra så ekonomismart som möjligt genom exempelvis en livscykelkostnadsanalys.

Det hade även varit intressant att undersöka hur kombinationen av de bästa resultaten hade påverkat flödet och energianvändningen. Hur mycket hade krävts för att göra en byggnad med så lite installationer och så energioptimerad som möjligt?

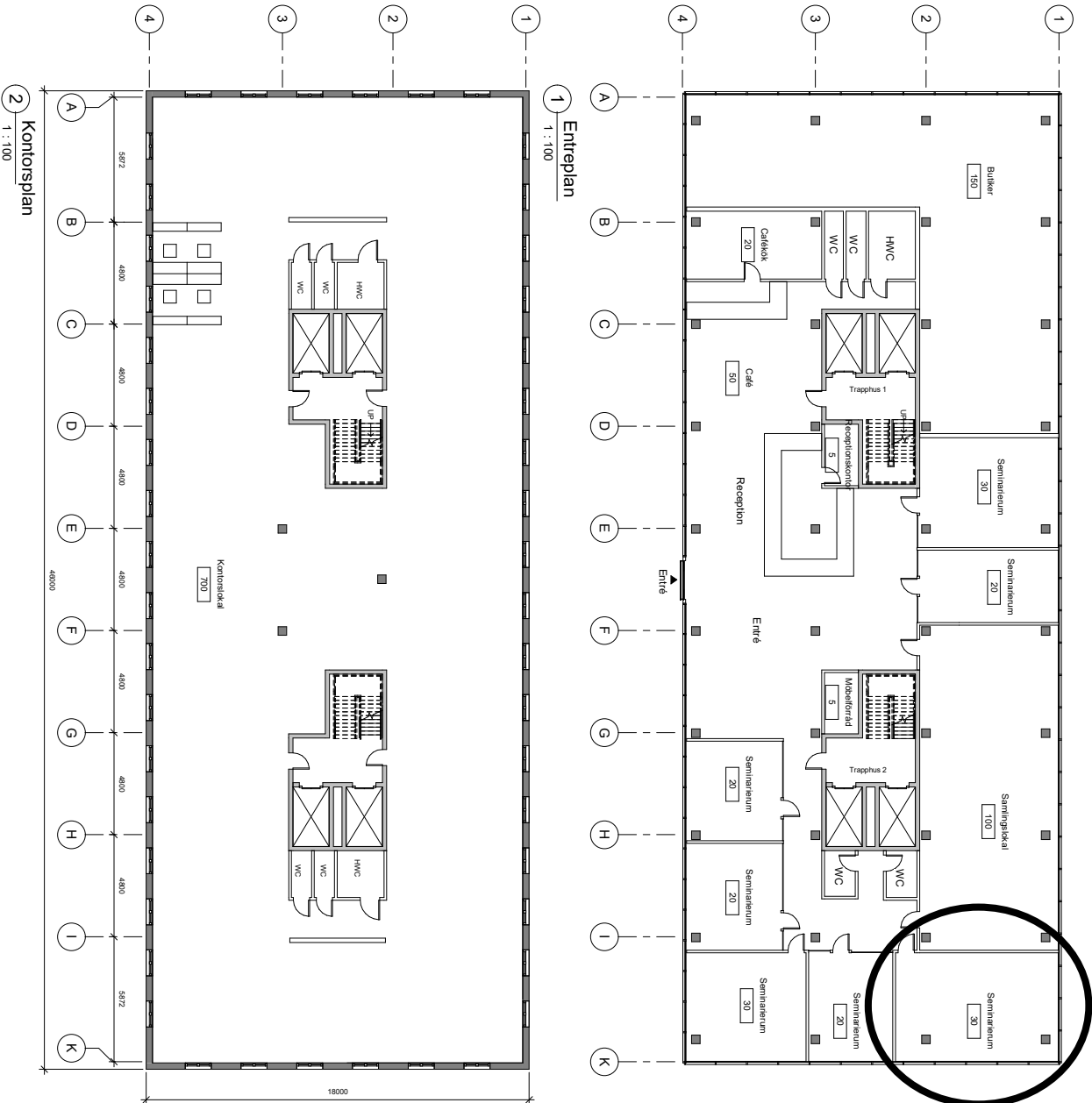
Alla parametrar spelar roll och vissa har större påverkan än andra. Att få en balans mellan alla parametrar, energianvändning, byggnadens ekonomi och att få allt att fungera som det är tänkt är en extremt svår uppgift. Det finns inget facit på hur en optimal byggnad ska utformas, utan det viktigaste är att förstå byggnaden och verksamheten som bedrivs där. Därefter försöka utforma installationerna efter dessa förutsättningar. Om möjlighet finns är det viktigt att försöka vara med från början och utforma byggnaden på ett sätt som håller nere så stor del av internlasterna som möjligt. Samtidigt är det viktigt att byggnaden utformas efter det tänkta syftet, med kvalitet och funktionalitet.

7 Litteraturförteckning

- Abergon. (u.d.). *Mer om ventilation*. Hämtat från <http://abergon.se/vara-tjanster/ventilationsoptimering/mer-om-ventilation> den 1 maj 2019
- Acticon. (u.d.). *Intelligenta tilluftsdon*. Hämtat från <https://www.acticon.se/se/teknik/aktiva-luftdon-for-behovsstyrning/intelligenta-tilluftsdon/> den 19 april 2019
- Arbetsmiljöverket. (2018). *AFS 2009:2 Arbetsmiljöverkets föreskrifter om arbetsplatsens utformning samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna*. Hämtat från <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-foreskrifter-afs2009-2.pdf> den 5 mars 2019
- Boverket. (2016). *Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/> den 9 maj 2019
- Boverket, Altefur Development. (2011). Bild som illustrerar vistelsezon. *Termiskt klimat*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggnade-boverkets-byggregler/termiskt-klimat/> den 13 Maj 2019
- Forslund, G., & Forslund, J. (2016). *Bästa inneklimat till lägsta energikostnad*. Stockholm: Svensk byggtjänst.
- Inventiair. (den 20 oktober 2015). *Ventilation av skolor*. Hämtat från <https://inventiair.se/wp-content/uploads/2016/11/SKOLREF.pdf> den 9 maj 2019
- Jacobsson, C. (den 7 Juni 2018). *Vad är skillnaden mellan VAV och DCV*. Hämtat från <https://blog.swegon.com/sv/vad-%C3%A4r-skillnaden-mellan-vav-och-dcv> den 13 Mars 2019
- Land, J. (den 18 september 2018). *Hur väljer jag luftdon?* Hämtat från <http://blogg.lindab.se/don-efter-person-vilket-luftdon-ska-jag-v%C3%A4lja> den 19 april 2019
- Lindab. (den 28 september 2011). *Lindab Air Theory*. Hämtat från https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsdoc/pdf/Documentation/Comfort/Lindab/Technical/Theory_Air.pdf den maj 8 2019
- Luftbutiken. (u.d.). *Komfortkyla*. Hämtat från <https://www.luftbutiken.se/content/50-komfortkyla> maj 2019
- Palola, M. (den 9 augusti 2018). *6 saker att tänka på när du väljer luftdon*. Hämtat från <https://blog.swegon.com/sv/6-saker-att-tank-pa-nar-du-valjer-luftdon> den 25 april 2019
- Rosén, L. (den 13 november 2013). *Osäkerhet kring specifik fläkteffekt*. Hämtat från <https://omvarldsbevakning.byggtjanst.se/artiklar/2013/november/osakerhet-kring-specifik-flakteffekt/> den 10 mars 2019
- Schermer, I. G. (den 26 februari 2019). *Vad gör befolkningen?* Hämtat från <https://www.ekonomifakta.se/fakta/arbetsmarknad/befolkning/befolkning-och-arbetsmarknad/> den 18 mars 2019
- Soliduct. (u.d.). Hämtat från Luftdon/Ventiler: <https://soliduct.se/ventilationssystem/luftdon-ventiler.htm> den 18 maj 2019
- Sveby. (2013). *Brukarindata kontor*. Stockholm: Svebyprogrammet.
- Swegon. (u.d.). Hämtat från Vattenburna rumsprodukter: <https://www.swegon.com/sv/produkter/rumsprodukter/vattenburet/> den 25 april 2019

- Svensk Ventilation. (u.d.). Hämtat från Vilket ventilationssystem ska jag välja?: www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/ den 28 maj 2019
- Svensk Ventilation. (u.d.). *Fläktstyrd frånluft – Frånluftssystem*. Hämtat från <http://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/franluftssystem/> den 20 Februari 2019
- Svensk Ventilation. (u.d.). *Från- och tilluftssystem*. Hämtat från <http://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/fran-och-tilluftssystem/> den 12 april 2019
- Svensk ventilation. (u.d.). *Livsviktigt med frisk luft*. Hämtat från <http://www.svenskventilation.se/ventilation/halsa/frisk-luft-livsviktigt/> den mars 15 2019
- Svensk Ventilation. (u.d.). *Självdragssystem*. Hämtat från <http://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/sjalvdragssystem/> den 22 Februari 2019
- Trüschel, A. (2018). *Bild på aggregatuppbyggnad*. Hämtat den 20 maj 2019
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.

Bilaga 1. Planlösningar i kontorsbyggnaden



Seminarierummet som används i arbetet

LUCAS ANDERSSON		
OSKAR JOHANSSON		
CHALMERS		
Ändrad	16/01/2019	16/01/2019
Planer och		
tvärsnitt		
1:100	A101	10