



CHALMERS

Systemjämförelse av luftburen och vattenburen kyla

Avseende energianvändning och effekttoppar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Reza Ahmadi
Esmaeil Saeedi

**INSTITUTIONEN FÖR ARTIJEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Systemjämförelse av luftburen och vattenburen kyla

Avseende energianvändning och effektoppar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Reza Ahmadi

Esmail Saeedi

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2022

Systemjämförelse av luftburen och vattenburen kyla
Avseende energianvändning och effekttoppar
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik
Reza Ahmadi
Esmaeil Saeedi

© REZA AHMADI, ESMAEIL SAEEDI, 2022

Examensarbete ACEX20
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2022

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

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2022

Systemjämförelse av luftburen och vattenburen kyla

Avseende energianvändning och effekttoppar

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Reza Ahmadi
Esmaeil Saeedi

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I rapporten redovisas ett examensarbete från Chalmers Tekniska högskola där syftet är att göra en systemanalys av luftburen och vattenburen kyla med avseende på energianvändning och effekttoppar. Examensarbetet har genomförts i samarbete med energikonsultföretaget Bengt Dahlgren AB har haft som primärt syfte att öka kunskapen om vilka parametrar som påverkar energianvändning och effekttuttaget i respektive kylsystem.

För att analysera energianvändning och effekttoppar valdes ett referensobjekt med en färdig energisimuleringsmodell av Johannebergs Science Park. Programmet IDA Indoor Climate and Energy v.4.8.1, IDA ICE användes för att energisimulera byggnaden med två olika kylsystem. Referensobjektet var tänkt att vara representativt för en relativt nybyggd kontorsbyggnad, innehållande kontorsutrymme, grupp- och mötesrum, kökspentry och en liten restaurang. Den färdiga modellen var projekterad med ett luftburet kylsystem och innehöll indata som bland annat klimatskal och laster vilket underlättade dimensionering av ett vattenburet kylsystem för byggnaden.

Skillnaden i den totala energianvändningen på ett år visade sig vara marginell, men effekttopparna varierar stort mellan de två systemen, då luftburet kylsystem har en effekttopp som är ungefär 60% högre än kylbaffelssystemet. Detta kan förklaras av att ett luftburet kylsystem har möjligheten att använda sig av frikyla för att kyla ner rummet, medan i ett vattenburet kylsystem är nyttjandet av frikyla begränsad. Detta blir då en fördel för VAV-systemet när utetemperaturen är lägre än inomhustemperaturen.

Avslutningsvis blir valet av ett system väldigt svårt med bara två parametrar som grund. Det är därför nödvändigt att även beakta många andra parametrar såsom materialåtgång, utrymme, investeringskostnader med mera för en heltäckande och korrekt jämförelse vid val av system.

Nyckelord: installationsteknik, kontorsbyggnad, ventilation, kylsystem, VAV, CAV, kylbaffel, energianvändning, effekttopp, IDA ICE, utetemperatur, tilluftstemperatur, tilluftsflöde

System comparison of airborne and waterborne cooling

Considering energy use and peak demands

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

REZA AHMADI
ESMAEIL SAEEDI

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

ABSTRACT

The report presents a bachelor's degree project from Chalmers University of Technology where the aim is to make a system analysis of air-borne and water-borne cooling regarding energy use and peak demands. The project has been carried out in collaboration with the energy consulting company Bengt Dahlgren AB. The primary aim has been to increase knowledge about which parameters affect energy use and the power output in each cooling system.

To analyse energy use and peak demands, a reference object with a completed energy simulation model of Johanneberg's Science Park was chosen. The software IDA Indoor Climate and Energy v.4.8.1, IDA ICE was used to energy simulate the building with two different cooling systems. The reference object was supposed to be representative of a relatively newly built office building, containing office space, group and meeting rooms, kitchenette and a small restaurant. The finished model was designed with an air-borne cooling system and contained input such as climatic shells and loads, which facilitated the dimensioning of a water-borne cooling system for the building.

The difference in the total energy use in a year was found to be marginal, but the power peaks vary greatly between the two systems, as the air-borne cooling system has a power peak that is approximately 60% higher than the chilled beam system. This can be explained by the fact that an air-borne cooling system has the option of using free cooling to cool down the room, while in a water-borne cooling system the use of free cooling is limited. This then becomes an advantage for the VAV system when the outdoor temperature is lower than the indoor temperature.

In conclusion, the choice of a system becomes very difficult with only two parameters as a basis. It is therefore necessary to also consider many other parameters such as material consumption, space, investment costs and more for a comprehensive and correct comparison when choosing a system.

Keywords: installation technology, office building, ventilation, cooling system, VAV, CAV, chilled beam, energy use, peak demand, IDA ICE, outdoor temperature, supply air temperature, supply air flow

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Frågeställningar	2
2	TEORI	3
2.1	Inomhusklimat och termisk komfort	3
2.2	Hälsoeffekter	4
2.3	Ventilation	4
2.4	Komfortkyla	5
2.5	Produktion av kyla	5
2.6	Luftburen kyla	5
2.6.1	CAV	6
2.6.2	VAV	6
2.7	Vattenburen Kyla	7
2.7.1	Kylbaffel	8
2.7.2	Passiva kylbafflar	8
2.7.3	Aktiva kylbafflar	9
2.8	Byggnaders energianvändning	9
3	METOD	11
3.1	IDA Indoor Climate and Energy	11
3.1.1	Kyleffektbehov för systemanalys	11
3.1.2	Luftflöde och tilluftstemperatur	11
3.1.3	Simuleringar och granskning	12
3.2	Referensobjekt	12
3.2.2	Klimatskal	14
3.3	Aggregat	14
3.4	Kylbafflar	15
3.5	Systemkrav	16
3.6	Internvärme och närvarobeläggning	17
4	RESULTAT	18
4.1	Luftkvalitet inomhus	18
4.2	Energianvändning av VAV och KYB	19
4.3	Effekttoppar VAV och KYB	21

4.4	Ändring av tilluftstemperatur för vattenburen kyla	23
4.5	Ändring av luftflöde i KYB-system	25
5	DISKUSSION	27
5.1	Luftkvalitet	27
5.2	Energiutvärdering	27
5.3	Effekttopp	29
5.4	Systemjämförelse	30
6	SLUTSATS	32
6.1	Fortsatt studie	32
7	REFERENSER	33

Förord

Examenarbetet har utförts av två studenter vid Chalmers Tekniska Högskola inom programmet Samhällsbyggnadsteknik där intresset skapades efter att ha läst kursen Installationsteknik. Det är ett slutligt moment inom programmet som omfattar 15 hp vilket motsvarar 20 veckors halvtidsstudier. Arbetet genomfördes under vårtermin 2022 i ett samarbete med konsultföretaget Bengt Dahlgren, Göteborg. Stort tack till våra handledare Andreas Karlsson, Taha Arghand och Philip Thoresson på Bengt Dahlgren som hjälpt oss under arbetes gång med givande diskussioner och inläringen av IDA ICE. Vi vill även tacka vår examinator Anders Trüschel och även Torbjörn Lindholm för vägledning och hjälp med studiebesök för system med kylbafflar.

Göteborg Maj 2022

Reza Ahmadi
Esmaeil Saeedi

Förkortningar

BBR	Boverkets byggregler
CAV	Konstantflödessystem (Constant Air Volume)
IDA ICE	Simuleringsprogram för beräkning av energianvändning av byggnader
KYB	Kylbaffel
PBL	Plan- och bygglag
VAV	Variabelflödessystem (Variable Air Volume)

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Ett allt varmare klimat på jorden har lett till allvarliga diskussioner runt om i världen om hur människor kan minska sin klimatpåverkan och förhindra en krissituation som kan göra jorden obeboelig. Enligt Boverket står bygg- och fastighetssektorn för 20% av landets totala klimatpåverkan. Bara el- och fjärrvärmeproduktion orsakade utsläpp av cirka 3,5 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket är 9% av de totala växthusgasutsläppen i Sverige (Naturvårdsverket, 2022). Enligt SMHI har den globala medeltemperaturen ökat med 1,2 °C jämfört med början av 1900-talet. Konsekvenserna har bland annat blivit tunnare istäcke i Arktis, stigande havsnivåer och förändrad nederbörd (SMHI, 2022). I Sverige har myndigheter och företag under relativt lång tid jobbat med att minska sin klimatpåverkan, men det krävs fortfarande att mycket mer görs.

Ett sätt att bekämpa klimatförändringarna är att minska energianvändningen inom bygg- och fastighetsbranschen. Detta kan åstadkommas med mer hållbart tänkande inom byggsektorn redan vid projektering av nya byggnationer. Ventilation och kyla i byggnader är en energikrävande process som utgör en stor del av byggnadens totala energianvändning. Genom att välja ett klimatsmart ventilationssystem kan vi bidra till att bromsa världens klimatförändringar. Energianvändningen av byggnader för att upprätthålla det termiska inomhusklimatet är alldeles för stor idag. Dessutom varierar materialanvändning av olika kyl- och värmesystem, vilket kan ha stora miljökonsekvenser om man inte tar hänsyn till det redan vid systemupphandling. För att kunna uppfylla myndigheternas krav och samtidigt ta hänsyn till byggnadens komfort och hållbarhet görs en jämförelse av ett luftburet kylsystem och vattenburet kylsystem.

I takt med att energianvändningen ökar, blir effektfrågorna allt vanligare i Sverige där regeringens energikommission påstår att det finns en oro att Sverige inte kan producera kyla under de varmaste och värme under de kallaste dagarna på året (Sveriges Allmännyttan, 2022). Enligt Lars Edström som är VD för Göteborgs Energi kommer effektbehovet fördubblas under de kommande 15 åren. När el behöver importeras och reservkraft för fjärrvärme måste köras i gång med hjälp av fossila bränslen kommer klimatutsläppen att öka. Detta gör det angeläget om att sänka effekttoppar för att undvika att importera och använda energi från icke förnybara källor väldigt aktuellt. Därför undersöks i detta arbete hur stora skillnader det är mellan luftburet och vattenburet kylsystem avseende energianvändning och effekttoppar samt vad dessa beror på.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att med hjälp av simuleringar studera parametrarna energianvändning och effekttoppar i ett luftburet VAV-system jämfört med ett vattenburet CAV-system med kylbafflar. Jämförelsen skall fokusera på att välja ett kylbaffelsystem med samma luftkvalitet som ett luftburet VAV-system samt se på hur kylbaffelsystemets effekttoppar är beroende av tilluftstemperatur och luftflöde för en typisk kontorsbyggnad i Göteborg.

1.3 Avgränsningar

Rapporten kommer bara att behandla alternativa kylsystem i en typisk kontorsbyggnad i Göteborg. Jämförelsen kommer att genomföras med samma klimatskal och referensbyggnad i alla fallstudier. Undersökningen av VAV och kylbafflar sker främst med avseende på energianvändning och effekttoppar. Andra parametrar som investeringskostnader, utrymme och materialåtgång kommer ej att undersökas.

1.4 Frågeställningar

1. Vad är skillnaden i energianvändning för luftburet och vattenburet kylsystem?
2. Hur ser effekttopparna ut för respektive system?
3. Hur påverkar tilluftstemperatur och luftflödet kylbaffelsystemets effekttoppar?

2 Teori

2.1 Inomhusklimat och termisk komfort

Ett optimalt inomhusklimat är essentiellt för oss människor eftersom vi spenderar 90% av dygnet inomhus (Swegon, 2014). En stor del av vardagen befinner man sig i de byggnader som är våra arbetsplatser, och dåligt inomhusklimat på arbetsplatsen kan få flera negativa konsekvenser. Några nämnbara effekter av dåligt inomhusklimat på arbetsplatsen är ökad frånvaro och sämre produktivitet. Ett behagligt inneklimat ökar koncentrationsförmågan för personerna i kontoret vilket tros leda till bättre arbetsresultat (Swegon, 2014).

Människans hälsa påverkas av olika faktorer som är beroende av klimatet inomhus (Warfvinge & Dahlblom, 2010). De termiska, hygieniska, ljudmässiga och ljusmässiga parametrarna kan påverka upplevelsen av inomhusklimatet men framför allt är det den termiska faktorn som är mest känslig i människors vardag. Ett bra inomhusklimat är bland annat en temperatur som upplevs komfortabel oavsett väderförhållanden, men detta beror även på personens klädsel, aktivitet, ålderdom, kön etc. Ju mer kläder man har på sig desto högre isolerförmåga och därmed upplevs rumstemperaturen varmare. Andra faktorer som påverkar upplevelsen är ämnesomsättning och personens aktivitet där högre aktivitet genererar mer värme. Denna värme avges i sin tur till omgivningen genom konvektion, strålning, avdunstning och ledning. En sittande person avger värme enligt Tabell 2.1:

Tabell 2.1. Olika former av kroppens värmeavgivning (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Konvektion	Strålning	Avdunstning	Ledning
40%	40%	15%	5%

Värmeutbytet genom konvektion och strålning anses vara oberoende av aktiviteten och relativt konstanta (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Det som skiljer sig mellan olika aktiviteter är avdunstning, då högaktivitetsarbete resulterar i högre värmeavgivning via andning och svettning.

En definition av termisk komfort kan vara att personer inte önskar sig högre eller lägre temperatur än den aktuella (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Dock är det svårt att sätta en viss temperatur som komforttemperatur för alla eftersom människor kan uppleva olika temperaturer som komfortabelt även om man har samma kläder och aktivitet (Swegon, 2014). En riktlinje kan vara att försöka hålla kroppens temperatur vid 37 °C och vid behov föra bort eller tillföra värme till omgivningen för att hålla kroppstemperaturen konstant (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.2 Hälsoeffekter

Termisk komfort är kopplat till vår hälsa, välbefinnande och produktivitet och rankas som en av de högst bidragande faktorerna som påverkar den övergripande mänskliga tillfredsställelsen i byggnader (Boverket, 2022). Därför uppstår även allvarliga hälsorisker vid obehagliga innetemperaturer. Obehagligt inomhusklimat kan ge direkta eller indirekta effekter på människans hälsa (Folkhälsomyndigheten, 2021). Några exempel på direkta effekter är bland annat hjärt- och kärlsjukdom vilket kan förekomma i samband med kyla. Huvudvärk, illamående och trötthet kan uppstå vid höga temperaturer inomhus. Indirekta hälsorisker är bland de mest förekommande effekterna av dåligt inneklimat som kan ge upphov till bland annat minskad koncentration, ökade olycksfallsrisker och försämrad komfort.

2.3 Ventilation

Ventilationens huvudsakliga funktion är att föra in frisk luft och föra bort föroreningar för att främja en god luftkvalitet inomhus (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Ren luft bör tillföras främst till de utrymmen man vistas i längst, bland annat sovrum och vardagsrum i en bostad eller i utrymmen där personer sitter och arbetar i ett kontor. Frånluften bör sättas i anslutning till badrum och kök för att undvika dålig lukt. Det finns olika krav och rekommendationer på luftkvalitet i en byggnad. En byggnad ska ventileras kontinuerligt om personer vistas där. Enligt Boverkets föreskrifter är minsta luftflöde för nya byggnader $0,35 \text{ l/s.m}^2$ golvarea (Boverket, 2019). I kontorsbyggnader där människor är de största källorna till föroreningar ställer Arbetsmiljöverket ytterligare krav för arbetsplatser, vilket är 7 l/s och person och $0,35 \text{ l/s.m}^2$ golvarea (Arbetsmiljöverket, 2021a). Med detta luftflöde kommer koldioxidhalten ligga runt 1000 ppm (parts per million) vid tätare placering av personer, exempelvis ett grupprum. Vid glesare placering, till exempel kontorslandskap, hamnar koldioxidhalten på en lägre nivå.

Mätning av koldioxid är ett sätt att värdera inomhusklimatets luftkvalité. Enligt Arbetsmiljöverket bör koldioxidhalten inte överskrida 1000 ppm i en arbetsplats (Arbetsmiljöverket, 2021b). Om ett utrymme har högre halter koldioxid än 1000 ppm anser man att rummet är dåligt ventilerat. Andra parametrar som har inverkan på luftkvalité är temperaturen och fuktigheten inomhus.

De vanligaste ventilationsprinciperna i Sverige är S-system (självdug), F-system (frånluft) och FTX-system (till- och frånluft med värmeåtervinning) (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I äldre bostäder används system med självdrag, och i industrilokaler och kontor använder man sig av system med till- och frånluft inklusive värmeåtervinning. I denna rapport kommer vi att främst titta på ett FTX-system i en kontorslokal, där ventilationssystemet även används som kylsystem.

2.4 Komfortkyla

Höga temperaturer utomhus, flera datorer och många personer i ett litet utrymme genererar mycket värme vilket kan upplevas irriterande på ett kontor (Lane, 2021). För att människor ska uppleva sin arbetsplats behaglig behöver vi installera komfortkyla i byggnaden. Detta möjliggörs med hjälp av ett kylsystem som kan vara luft- eller vattenburet, oftast kopplat till ett luftbehandlingsaggregat där tillsammans med föroreningar även värme bortförs och sänker rumstemperaturen. I svenska bostäder är det inte lika viktigt att installera komfortkyla eftersom det interna värmeöverskottet är mindre och människor har en större acceptans till att man har det varmare hemma.

2.5 Produktion av kyla

Produktion av kyla för en byggnad kan göras på ett par olika sätt. I Sverige är det vanligt att använda sig av kylmaskin, fjärrkyla eller frikyla (Swegon, 2007). Kylmaskin kan vara ett kompressordrivet kylaggregat som alstrar kyla och för bort värme.

När kylan produceras centralt av exempelvis en kommun kallas det för fjärrkyla, där stora kylmaskiner distribuerar kallvatten i ledningar i marken till olika byggnader (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Även kylan som alstras av en värmepump och genererar kallvatten till flera hus samtidigt kan kallas för fjärrkyla.

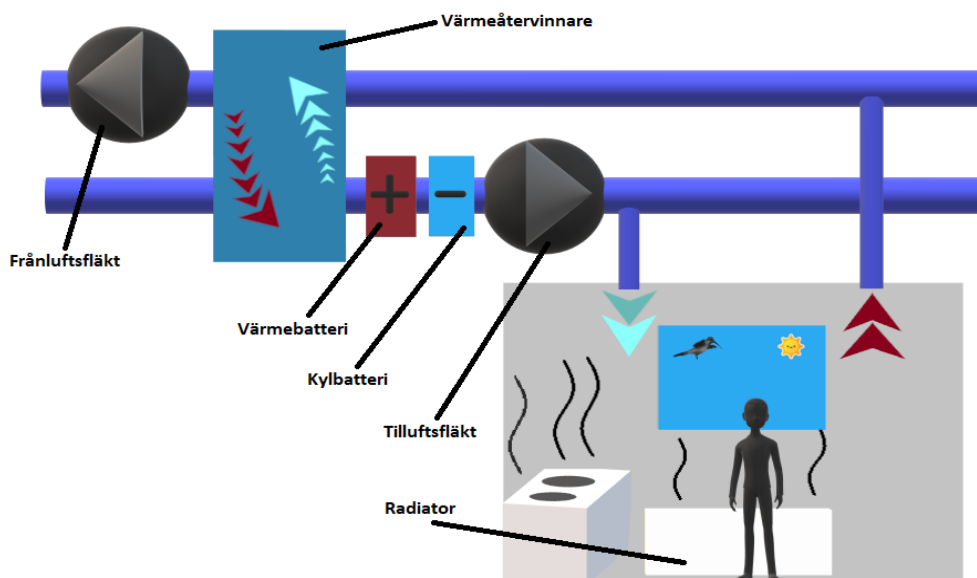
Precis som namnet antyder är frikyla ett sätt att producera kyla utan att behöva betala för själva köldalstringen (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Däremot kan det krävas elenergi till pump eller fläktar. Beroende på byggnadens kylsystem finns det olika sätt att utnyttja frikyla. Ett luftburet system kan utnyttja frikyla genom att exempelvis byggnaden kyls av lägre temperaturer på uteluften eller vid nattkylan. Ett vattenburet system kan utnyttja frikyla exempelvis från grundvatten och sjöar som har låg temperatur.

2.6 Luftburen kyla

Ventilationssystemets huvudsakliga uppgift är att upprätthålla luftkvaliteten, vilket även kan användas för kylning om värmeöverskottet i rummet inte är för stort (Swegon, 2007). Kylningen sker genom att tillföra luft med lägre temperatur än rumstemperaturen. Denna process sker i luftbehandlingsaggregatet som tar in uteluften och med hjälp av kylbatteri kyler ner den till den önskade temperaturen. Frikyla kan utnyttjas när uteluftens temperatur är lägre än rumstemperaturen. Det finns olika styrsystem för att föra in önskad mängd luft i rummet, men CAV och VAV-system är bland de vanligaste systemen som används idag i Sverige.

2.6.1 CAV

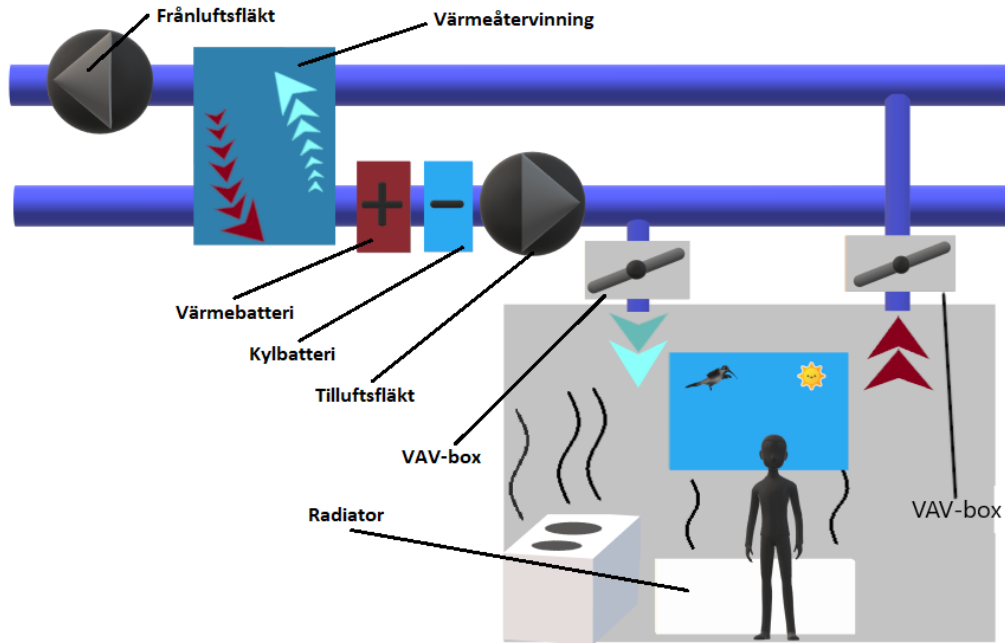
CAV står för Constant Air Volume och innebär att luftflödet hålls konstant medan tilluftstemperaturen kan variera i proportion till utomhustemperaturen (Swegon, 2007). Tilluften behandlas i det centrala luftbehandlingsaggregatet till önskad temperatur som dimensioneras efter utrymmen med störst kylbehov. Tilluften i övriga utrymme med lägre kylbehov behöver ibland eftervärmas för en optimal temperatur. I *Figur 2.1* visas en principskiss av ett CAV-system.



Figur 2.1. Principskiss av ett CAV-system.

2.6.2 VAV

VAV står för Variable Air Volume och innebär att luftflödet kan varieras efter behovet, men till skillnad från ett CAV-system är tilluftstemperaturen i ett VAV-system konstant (Swegon, 2007). Detta system ger ett varierande ventilationsflöde vilket kan regleras efter rumstemperatur, koldioxidhalt och personnärvaro. I lokalbyggnader som kontor, skolor och hotell används ofta VAV-system eftersom antal närvarande personer och därmed internlasterna ständigt varierar. Vid dimensionering tas hänsyn till kylbehovet under sommartid. Under årets kallaste dagar är dess uppgift att tillgodose kraven på luftkvalitet. I *Figur 2.2* visas en principskiss av ett VAV-system.

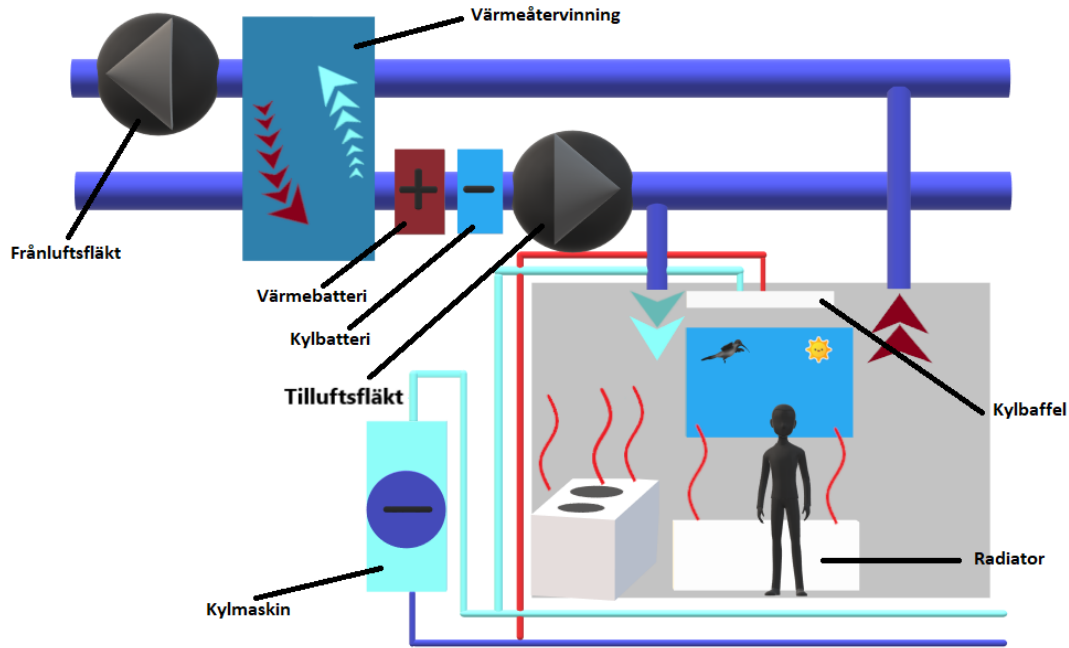


Figur 2.2. Principskiss av ett VAV-system.

2.7 Vattenburen Kyla

Om kylbehovet i en byggnad är större än ventilationssystemets kylkapacitet kan man använda sig av ett vattenburet system för komfortkyla (Swegon, 2007). Det finns olika typer av vattenburna system men i Sverige används mest så kallade kylbafflar. En eller flera kylbafflar installeras i taket som genom konvektion och strålning kyler utrymmet. I *Figur 2.3* visas en principskiss av ett vattenburet ventilationssystem.

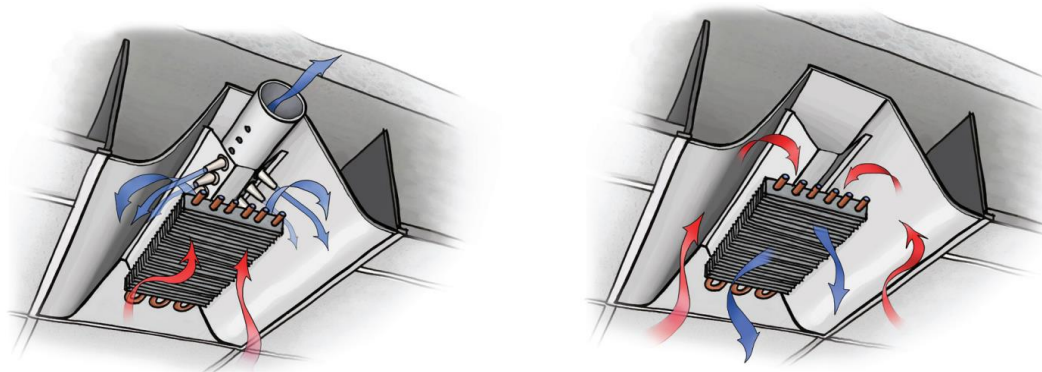
Ett vattenburet system kräver inte lika stort utrymme som ett luftburet system eftersom vattenrör används för distribution av kallt vatten och ventilationssystemet dimensioneras efter kravet på hygienflöde (Warfvinge & Dahlblom, 2010). En volymenhet vatten kan generera cirka 3500 gånger mer energi än samma volymluft (Livchak & Lowell, 2012). Därför kan det vara mer effektivt att använda vatten som energiöverföringsmedium än luft på grund av dess höga densitet och specifika värmekapacitet.



Figur 2.3. Principskiss av ett ventilationssystem med ett vattenburet kylsystem.

2.7.1 Kylbaffel

Kylbaffel är en komponent som placeras oftast i taket och består av flera parallella tunna plåtlameller så kallad kylflänsar som innehåller kopparrör. Genom cirkulation av kallt vatten i rören kyls flänsarna som sedan med hjälp av konvektion och strålning sänker rummets temperatur (NJ Green Building Manual, 2022). Kylbafflar förekommer vanligtvis i två typer, passiva och aktiva. Skillnaden mellan passiva och aktiva kylbafflar är i om ventilationsluft tillförs till baffeln eller ej. I passiva kylbafflar tillförs ingen ventilationsluft och kylningen sker endast med strålning och naturlig konvektion. Aktiva kylbafflar kopplas däremot till ventilationsluft, där kall luft från aggregatet tillsammans med baffeln kyler rummet. I Figur 2.4 visas en principskiss av hur en aktiv och en passiv kylbaffel fungerar.



Figur 2.4. Principskiss om hur en aktiv och en passiv kylbaffel fungerar (US EPA, 2009).

2.7.2 Passiva kylbafflar

Passiva kylbafflar innehåller rör med flänsar som värmexlare i ett skal vanligtvis upphängt i taket där kallt vatten cirkulerar i rören (Murphy & Harshaw, 2011). Ett

passivt system är beroende av den befintliga luften i rummet. På grund av densitetsskillnader stiger den varma luften mot taket och kyls då av den kalla baffeln. Därmed sjunker den kylda luften mot golvet, vilket skapar en konvektiv luftströmning som koler rummet. För att kunna handskas med fuktproblem och andra latent belastningar krävs ett separat ventilationssystem att försörja det passiva systemet med luft (NJ Green Building Manual, 2022).

2.7.3 Aktiva kylbafflar

Aktiva kylbafflar liknar passiva bafflar med den skillnaden att aktiva kylbafflar har en integrerad lufttillförsel (Murphy & Harshaw, 2011). Baffeln fungerar genom att primärluft passerar genom munstycket som inducerar luft från utrymmet upp genom kylbaffeln. Enligt Murphy et al (2011) genererar en aktiv kylbaffel mer kyla till utrymmet än en passiv och därför är det idag vanligare att använda aktiva kylbafflar. I och med att aktiva kylbafflar tar in ny luft i rummet, är det samtidigt möjligt att ha kontroll över fuktigheten i rummet.

2.8 Byggnaders energianvändning

I Sverige är Boverket ansvarigt för frågor gällande boende, samhällsplanering och byggande (Boverket, 2020). I Boverkets byggregler, BBR, preciseras de tekniska egenskapskraven som finns i PBL. Enligt BBR:s föreskrifter definieras byggnadens energianvändning som den energi en byggnad tillförs under ett år med normal användning.

Vid beräkning av en byggnads energianvändning E_{bea} används ekvation (2.1) (Boverket, 2020):

$$E_{bea} = E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f \quad (2.1)$$

där E_{uppv} står för uppvärmning, E_{kyl} komfortkyla, E_{tvv} tappvarmvatten och E_f för fastighetsenergi där energi till belysning, pumpar, fläktar med mera ingår (Boverket, 2020).

Sedan 1 juli 2017 har Boverket ett nytt mått för byggnadens energiprestanda, där man utgår från energin som levereras till byggnaden men uppvärmningsenergin korrigeras med en geografisk justeringsfaktor F_{geo} , sedan multipliceras med primärenergifaktorn för respektive energibärare och slutligen fördelas på tempererad golvarea A_{temp} (Boverket, 2020). Det nya energimåttet för byggnaders energiprestanda kallas för primärenergital EP_{pet} och beräknas enligt ekvation (2.2):

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{upp,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) * VF_i}{A_{temp}} \quad (2.2)$$

Boverket ställer även andra energirelaterade krav för nya byggnader där genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m , installerad eleffekt för uppvärmning och klimatskärmens genomsnittliga luftläckage inte skall överstiga ett bestämt värde (Boverket, 2020).

3 Metod

3.1 IDA Indoor Climate and Energy

IDA Indoor Climate and Energy, (IDA ICE) är ett simuleringsprogram för beräkning av kyl- och värmebehov, energianvändning med mera. De första stegen i arbetet har varit att lära sig programvaran för att få kunskap om hur simuleringar kan göras på ett korrekt sätt. Inlärningsmaterial från mjukvarans egen hemsida samt handledning av Bengt Dahlgren AB har gjort det möjligt att simulera samt utvärdera resultatet.

3.1.1 Kyleffektbehov för systemanalys

Vid bestämning av kyleffektbehov skall hänsyn tas till parametrar som värmetransport genom klimatskal, internlast, solinstrålning, klimatzon mm (Evans, 2017). För att ha samma förutsättningar i jämförelsen har ingångsdata som klimatskärm och klimatfil från det redan dimensionerade VAV-systemet använts. Faktorer som ventilationsluftflöde och tilluftstemperatur som kan också påverka byggnadens kyleffektbehov har justerats för att få ett så bra vattenburet kylsystem som möjligt.

3.1.2 Luftflöde och tilluftstemperatur

Det nuvarande VAV-systemet har ett varierande luftflöde mellan 0,5 och 5,5 l/s.m² vilket klarar av kylbehovet i byggnaden. Enligt olika undersökningar skall luftflödet på ett CAV-system vara 30% av det maximala luftflödet på ett VAV-system för att undvika latent problem (Murphy & Harshaw, 2011). I detta arbete har fyra olika luftflöde i det vattenburna kylsystemet med aktiva kylbafflar och CAV undersökts för att möjliggöra val av det mest lämpliga flödet för vattenburna kylsystemet, se *Tabell 3.1*.

Tabell 3.1. Luftflöde samt tilluftstemperatur som kylsystemen har simulerats med.

Simuleringsfall	System	Luftflöde per m ²	Tilluftstemperatur
1	Aktiva kylbafflar med CAV	1,25 l/s	16–19 °C
2	Aktiva kylbafflar med CAV	1,5 l/s	14–17 °C 16–19 °C
3	Aktiva kylbafflar med CAV	1,75 l/s	16–19 °C
4	Aktiva kylbafflar med CAV	2 l/s	16–19 °C
5	VAV-system	Varierande 0,5–5,5 l/s	14–17 °C

Ändring av tilluftstemperatur påverkar kyleffektbehovet i kylbafflarna, därför har en undersökning kring hur de olika tilluftstemperaturerna kan påverka energianvändningen gjorts. I detta fall har luftflödet med 1,5 l/s.m² simulerats med två olika tilluftstemperaturer, se Tabell 3.1. De övriga kylbaffelsystemen har simulerats med en tilluftstemperatur mellan 16 och 19 °C, vilket är den mest vanliga tilluftstemperaturen i ett CAV-system med aktiva kylbafflar.

3.1.3 Simuleringar och granskning

Efter varje simulering har resultatet av simuleringen granskats för att säkerställa att valda luftflöden, tilluftstemperaturer och kylbafflars effekt klarar av systemkravet för referensobjektet enligt avsnitt 3.1.2.

3.2 Referensobjekt

Referensobjektet som analyseras är Johannebergs Science Park vilket är en kontorsbyggnad som färdigställdes år 2015. Byggnaden består av två likadana hus som är anslutna till varandra med korridorer emellan. Varje hus har sex våningsplan där plan 1 används som reception och restaurang. Plan 2–5 är tänkt att användas som kontorsutrymme samt konferensrum och plan 6 för aggregat och teknisk utrustning. I och med att båda husen är relativt lika avgränsas studien till att endast undersöka kylsystemet i sydvästra huset, se *Figur 3.1*.

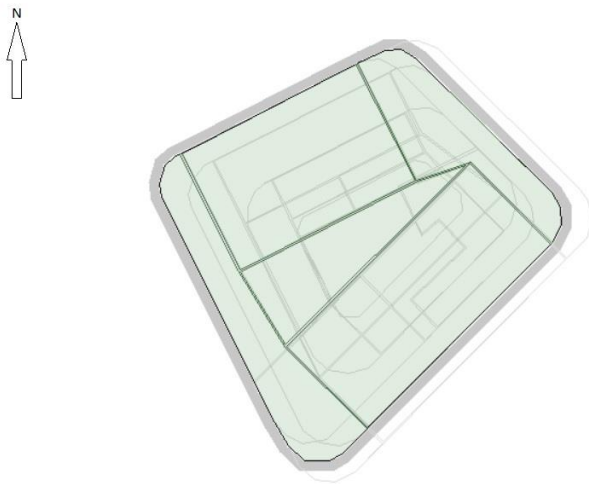
Referensbyggnaden har en totalarea på 4457 m² varav 738 m² är källare som används som teknikrum vilket inte behöver ventileras som resten av byggnaden.



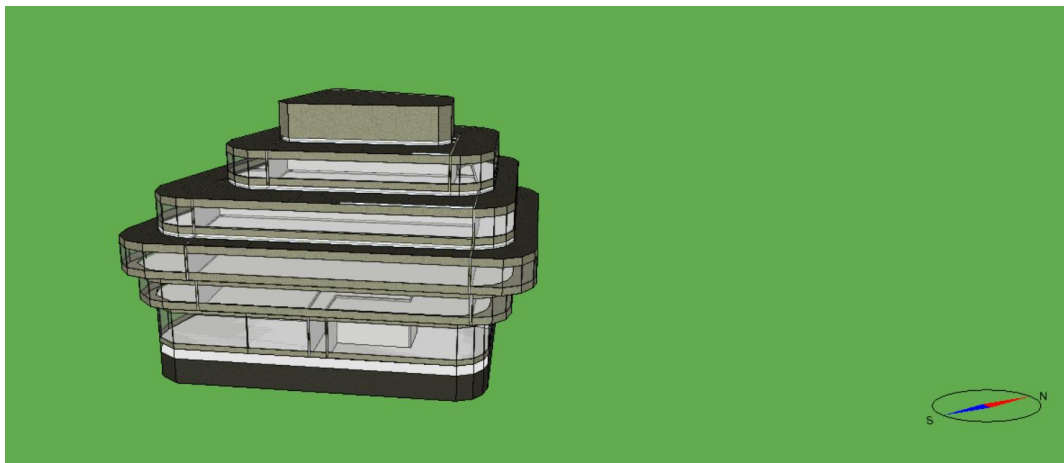
Figur 3.1. Johannebergs Science Park som har använts som referensobjekt (Google Maps, 2022).

I detta arbete har en färdigprojekterad modell av Johannebergs Science Park i IDA ICE använts. Denna modell består av totalt 29 zoner varav 16 av dem har dimensionerats som kontorsutrymme och resterande som gruppum, lunchrum, restaurang med mera. Inga ändringar av byggnadens beståndsdelar, egenskaper eller internlastar har gjorts, ej

heller på närvarotider. *Figur 3.2* visar en planskiss och *Figur 3.3* en 3D-vy av referensobjektet i IDA ICE.



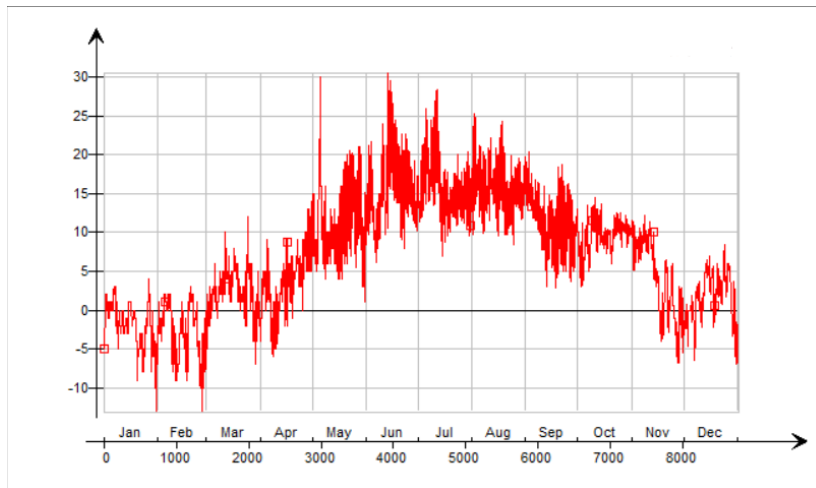
Figur 3.2. Planskiss av ett våningsplan och dess zonindelning i IDA ICE (IDA ICE, 2022).



Figur 3.3. 3D-vy av referensobjektet i IDA ICE (IDA ICE, 2022).

3.2.1.1 Klimatzon

Referensobjektet är beläget i Göteborg. Göteborgs klimatdata med högsta temperatur +30 °C och minsta -13 °C har använts, se *Figur 3.4*.



Figur 3.4. Göteborgs utetemperatur under ett typiskt år (IDA ICE, 2022).

3.2.2 Klimatskal

Referensobjektets klimatskal och dess U-värde har varit samma för alla simuleringsfall. I Tabell 3.2, Tabell 3.3 och Tabell 3.4 finns indata samt volym och areor.

Tabell 3.2. Klimatskalets U-värde och tjocklek (IDA ICE, 2022).

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² *K)	Tjocklek (m)
Yttervägg	0,1498	0,256
Innervägg	0,6187	0,146
Innergolv	1,434	0,185
Yttergolv	0,06094	0,919
Tak	0,1392	0,531
Källarväggar	0,1498	0,256

Tabell 3.3. Fönstrens g- samt U-värde (IDA ICE, 2022).

Fönstrens g-värde (SHGC)	Fönstrens U-värde (W/m ² *K)
0,4	0,54

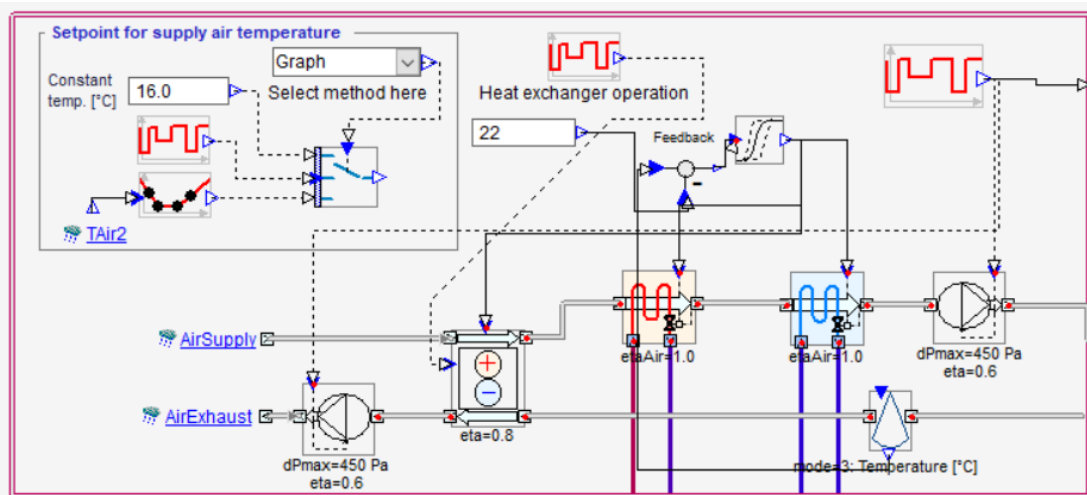
Tabell 3.4. Byggnadens övriga indata från IDA ICE (IDA ICE, 2022).

Byggnadens area	4457 (m ²)
Byggnadens volym	14 621 (m ³)
Byggnadens grundarea	738 (m ²)
Klimatskalets area	4105 (m ²)
Fönster/klimatskal	24,80 %
Byggnadens medel U-värde	0,422 (W/m ² *K)
Klimatskalets area per volym	0,2808 (m ² /m ³)

3.3 Aggregat

Ventilationssystemet innehåller i alla simuleringsfallen ett luftbehandlingsaggregat bestående av en värmeväxlare med en verkningsgrad på 80% samt två fläktar med 60%

verkningsgrad för respektive tilluft och frånluft. Vattnet in i kylbatteriet har en framledningstemperatur på 5 °C och vattnet in i värmebatteriet har en framledningstemperatur på 40 °C. *Figur 3.5* visar aggregatets komponenter och justerbara parametrar i IDA ICE.



Figur 3.5. Luftbehandlingsaggregat som använts i IDA ICE (IDA ICE, 2022).

3.4 Kylbafflar

För att undvika underdimensionering ansattes kylbafflarnas effekt till 100 W/m² för samtliga zoner i systemet. Efter en simulering i IDA ICE erhöles den maximala kyleffekten som krävdes av kylbafflarna. I detta steg korrigerades samtliga kylbafflars effekt för att undvika överdimensionering eller spill av energi till bafflarna. Den slutgiltiga maximala effekten för kylbafflarna varierade mellan 20 W/m² i zoner med minst solinstrålning och 70 W/m² i de delar av byggnaden där internlasterna var som högst. I *Figur 3.6* visas ett exempel av inställningar som en kylbaffel hade i IDA ICE och parametrar som kan ändras i programvaran.

Simplified input data to chilled/heated beam

Use manufacturer's data

Simplified model:

	Cooling	Heating	
Power at design air flow	2650.0	0.0	W
Power at zero air flow	0.1	0.0	W
Design air flow	113.0		L/s

Design conditions

	Cooling	Heating	
dT(coolant - zone air) at max power	8.5	20	Deg-C
dT(coolant) at max power	3	10	Deg-C

Controller: PI

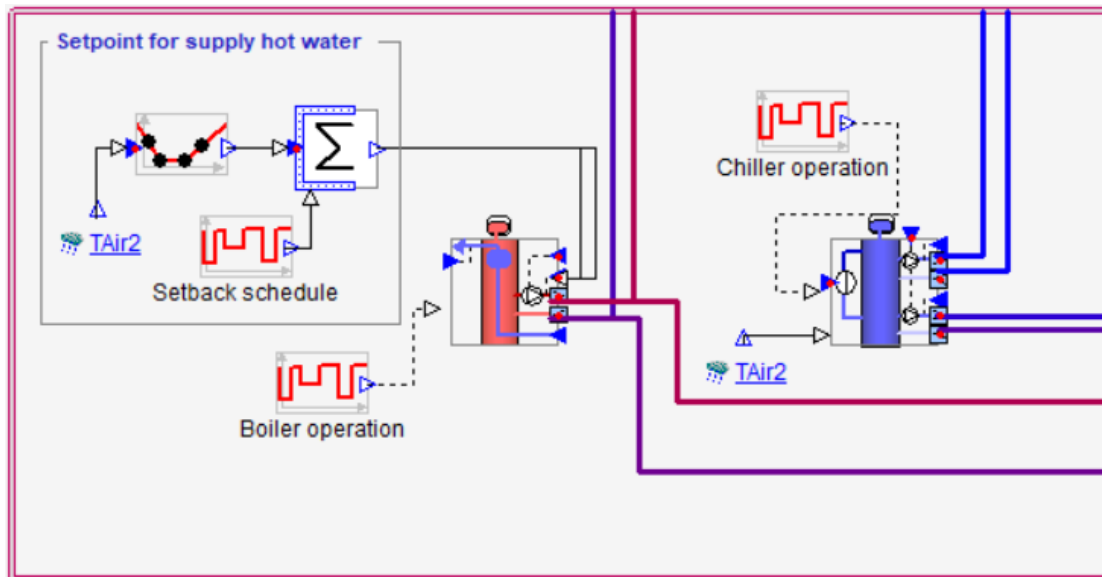
Sensor: Air temperature

When using the detailed model, the power at the given condition is calculated from the manufacturer's data and shown in this form. To edit manufacturer's data, switch to the outline tab.

In the simplified model, the power parameters are user-supplied. No manufacturer-supplied data are used.

Figur 3.6. En kylbaffels egenskaper samt dess justerbara parametrar (IDA ICE, 2022).

Tilloppstemperaturen till samtliga kylbafflar var 14 °C, vilket vid en daggpunktstemperatur på 12 °C är optimalt för att förhindra kondens i bafflarna (Swegon, 2007). *Figur 3.7* visar standardanläggningen för byggnaden som försörjer radiatorer och värmebatteriet med varmvatten och kylbafflar och kylbatteriet med kallvatten.



Figur 3.7. Referensobjektets standardanläggning för distribuering av vatten till kyl- och värmesystemet (IDA ICE, 2022)

3.5 Systemkrav

Systemkravet för VAV-systemet var satt till 22–24 °C, vilket betyder att om rumstemperaturen understiger 22 °C kommer även värmesystemet att sättas i gång. Det motsatta det vill säga om temperaturen i rummet överstiger 24 °C aktiveras kylsystemet. Dessa systemkrav har behållits även för de nya vattenburna systemen och dess simuleringar.

3.6 Internvärme och närvarobeläggning

För samtliga simuleringar har internvärme bestående av personvärme, maskiner och belysning varit konstant. Internlasterna kommer variera beroende av dag och tidpunkt i simuleringarna, exempelvis så finns det nästan ingen internvärme på helger. I alla simuleringar antas internlasterna vara 100%, det vill säga inga ändringar av internlast och närvaro sker i studien. Tabell 3.5 visar mängden och tidpunkten på internlast i kontorsutrymmen för referensobjektet. Övrig tid antas inga internlast förekomma i byggnaden.

Tabell 3.5. Internlast och närvarotider för kontorsutrymmen (IDA ICE, 2022).

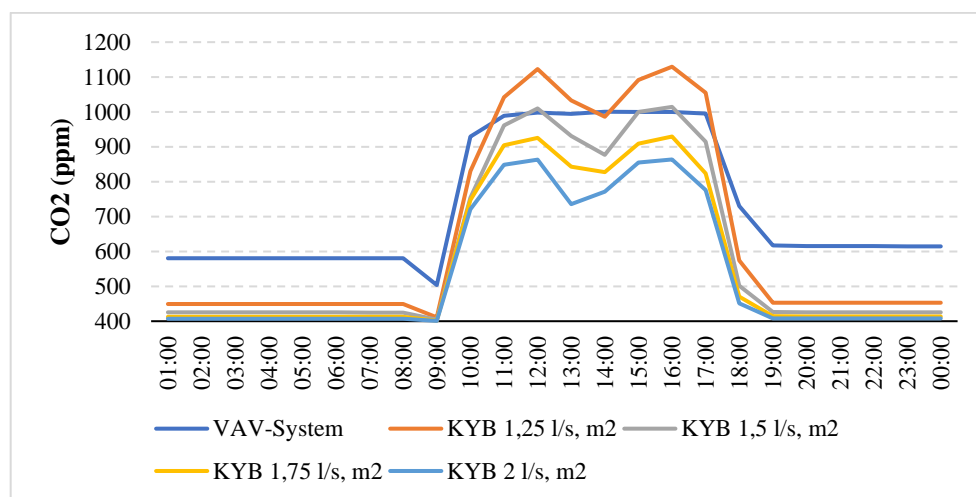
Typ av internvärme	Mängden internvärme per kvadratmeter (W/m ²)	Närvarotider
Personer	10	Måndag-fredag, kl. 07:30-12 och 12:30-17:30
	2,5	Lördag, kl. 11:00-13:00
Maskiner	8,5	Måndag-fredag, kl. 07:30-17:30
	2,1	Lördag, kl. 11:00-13:00
Belysning	6,8	Måndag-fredag, kl. 07:30-17:30
	1,7	Lördag, kl. 11:00-13:00

4 Resultat

4.1 Luftkvalitet inomhus

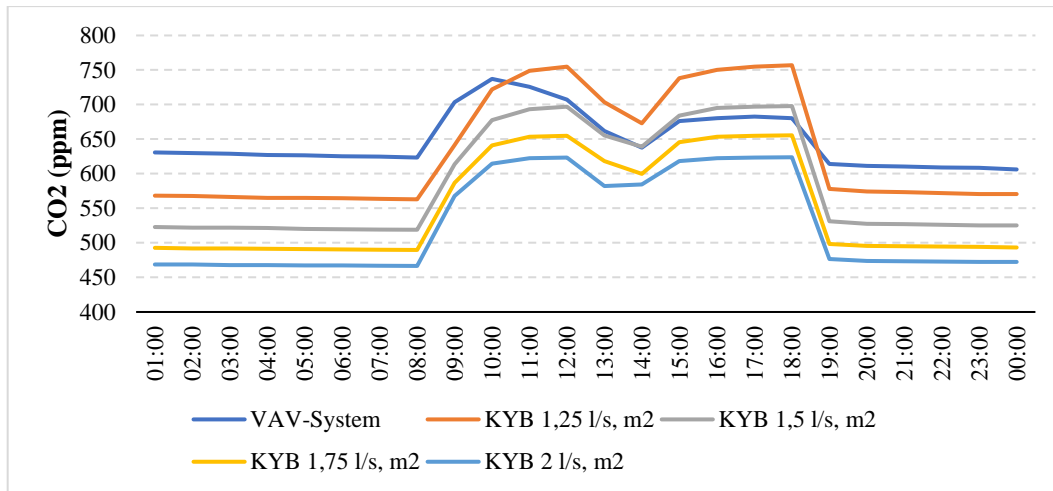
I denna studie har luftkvalitet använts som en gemensam nämnare för att kunna bestämma vilket luftflöde i ett kylbaffelsystemsystem är likvärdig VAV-systemet i referensbyggnaden. I övrigt har inte hänsyn tagits till hur behovet kan variera över året och hur bra olika system kan hantera det.

I *Figur 4.1* illustreras den invändiga koldioxidnivån i grupprum för en zon i plan 4 av referensbyggnaden den 12:e februari, där befintliga interna värmelaster har använts som indata. Förklaringen till att en vinterdag valts är att det gör det möjligt att bortse från de utvändiga värmelasterna och endast se storleken på den invändiga koldioxidnivån vid de närvarotiderna. I *Figur 4.1* kan man se att VAV-systemet justerar luftflödet för att hålla sig under 1000 ppm medan för kylbaffelsystemen beror koldioxidhalten på aktuellt simulerat konstant luftflöde.



Figur 4.1. Koldioxidhalt i grupprum för KYB-system med olika luftflöde och ett VAV-system.

Samma förutsättningar som föregående diagram gäller för *Figur 4.2* med skillnaden att det är ett kontorsutrymme i plan 3 av referensbyggnaden. Utifrån resultatet kan man se att både VAV-systemet och KYB-system med olika luftflöde ligger på en koldioxidhalt under 1000 ppm. En förklaring till att koldioxidnivån blir lägre i ett kontorsrum i jämförelse med ett grupprum är antal personer i förhållande till rummets volym.



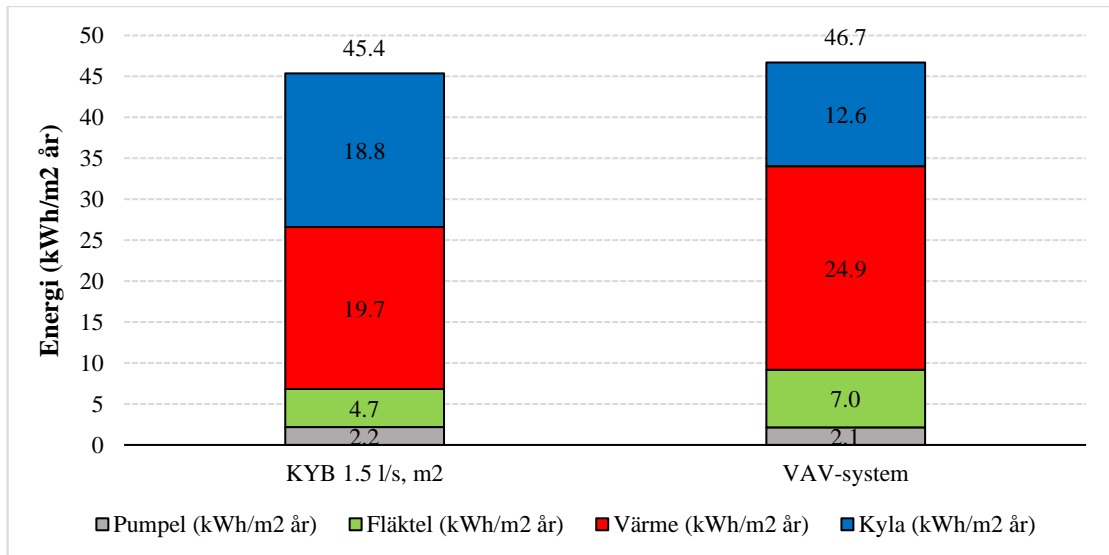
Figur 4.2. Koldioxidhalten i kontorsutrymme för de fyra systemvalen och ett VAV-system.

Baserad på resultatet av koldioxidnivån i referensbyggnaden anses att VAV-systemet är likvärdigt ett KYB-system med 1,5 l/s.m² när det gäller luftkvalitet eller kapacitet av maximala antalet personer som kan närvara. Därför är det intressant att börja jämföra energianvändningen för dessa två system.

4.2 Energianvändning av VAV och KYB

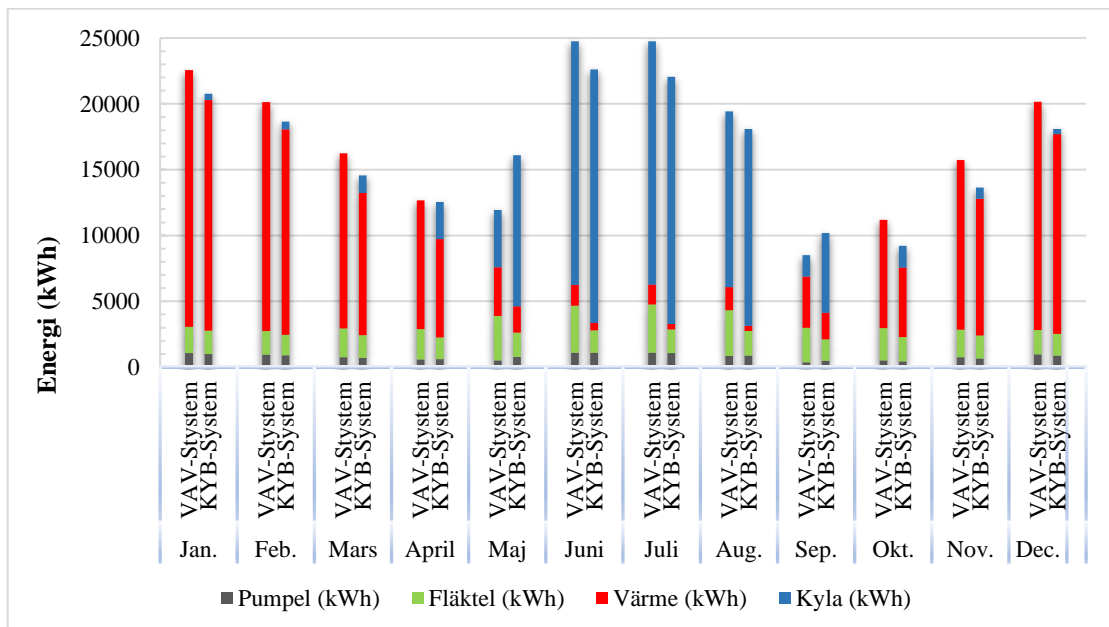
I Figur 4.3 finns totala energianvändningen för ett VAV-system och ett CAV-system med kylbafflar. KYB-systemet har ett konstant luftflöde på 1,5 l/s.m² i ett temperaturintervall på 16–19 °C. Figur 4.3 visar att i VAV-systemet är energianvändningen för kyla mycket lägre än i KYB-systemet men det blir relativt större energianvändning på värme i stället. Därför blir den totala energianvändningen relativt lika i båda fallen.

Här bör noteras att pumpens energianvändning beräknats med ett schablonvärde på 5% av den totala energianvändningen för värme, kyla och tappvarmvatten enligt riktlinjer från Bengt Dahlgren AB.



Figur 4.3. Total energianvändning för ett KYB-system och ett VAV-system.

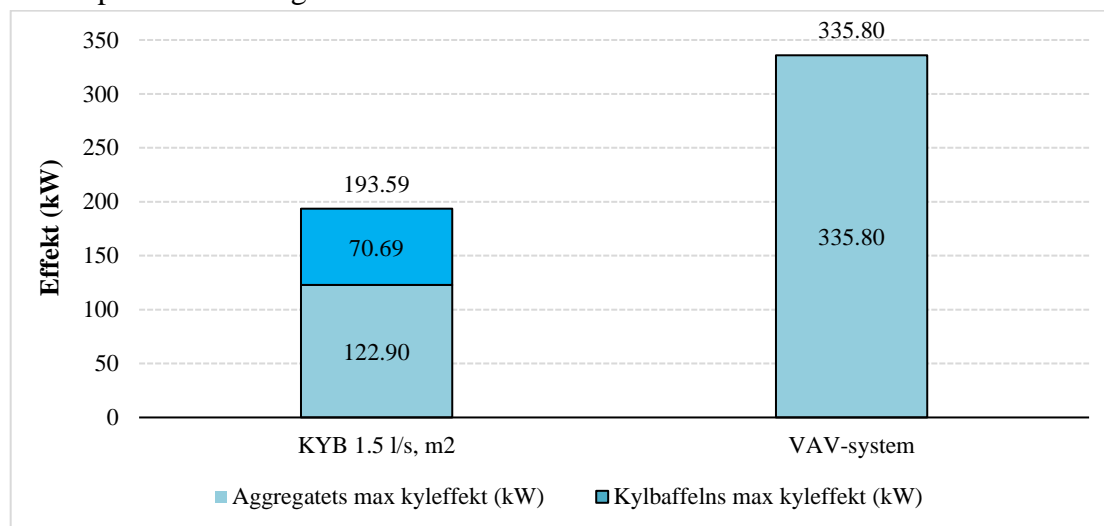
En månadsvis jämförelse av energibehov för ett VAV-system kontra ett KYB-system visas i *Figur 4.4*. Diagrammet visar hur mycket energi som används av fläkt, pump, värme och kyla månadsvis under ett år. I de flesta månaderna på året har KYB-systemet ett lägre energibehov i jämförelse med VAV-systemet med undantag för månaderna maj och september. Förklaringen till att KYB-systemet har större energibehov för kyla under dessa två månader kan vara att maj och september har varierande väderförhållanden, där uteluften är kall men mycket solstrålning kommer in i byggnaden.



Figur 4.4. Jämförelse av energianvändningen för VAV-system och KYB-system under ett år.

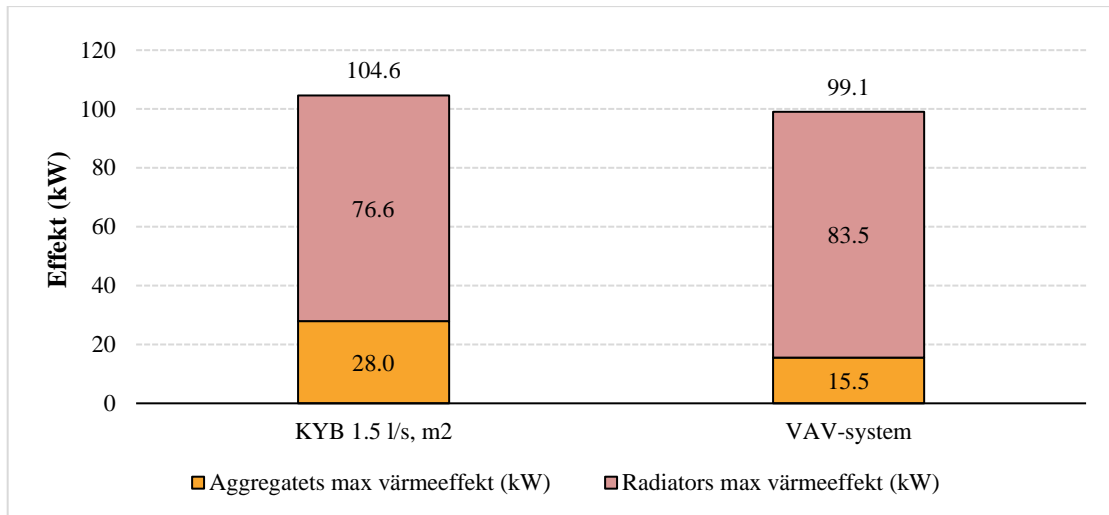
4.3 Effekttoppar VAV och KYB

I *Figur 4.5* visas effekttoppen för kyla för kylbaffelsystemet och VAV-systemet baserad på syntetiska klimatdata. Dessa effekttoppar har uppstått den 14:e juni kl. 13:00. I figuren framgår att effekttoppen för kyla i VAV-systemet är betydligt högre i jämförelse med KYB-systemet. Denna effektskillnad beror på att i ett VAV-system måste uteluften kylas ned av aggregatet, där hög utetemperatur och hög relativ fuktighet ger ett större kylbehov. Däremot är kylbafflarnas effektbehov nästan oberoende av utetemperatur och därför blir det en låg effekttopp för KYB-systemet även när utemperaturen är hög.



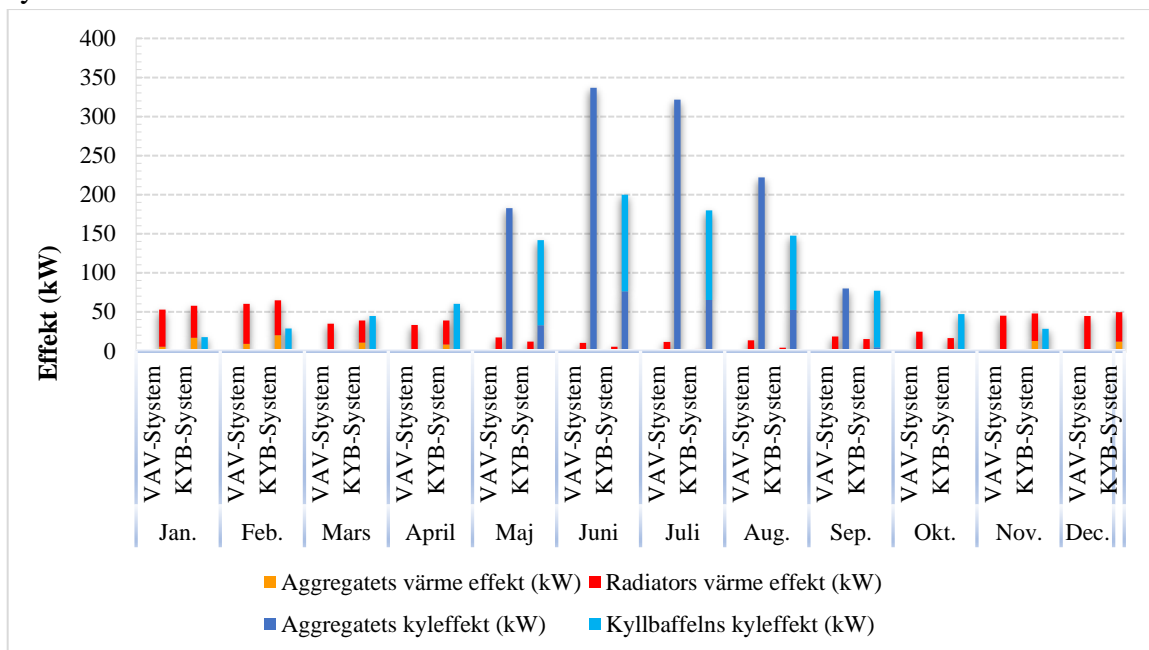
Figur 4.5. Jämförelse av kyleffekttopp för ett KYB-system och VAV-system.

Ur *Figur 4.6* framgår effekttoppen för värme i KYB-systemet och VAV-systemet baserad på syntetiska klimatdata. Dessa effekttoppar har uppstått den 26:e februari kl. 08:00 på morgonen. Utifrån resultatet kan skillnaderna i värmeeffekttoppar anses vara marginella för dessa system. Större skillnader förekommer i aggregatets värmeeffekt och förklaringen kan vara att det konstanta luftflödet i KYB-systemet medför högre effektbehov av luftbehandlingsaggregatet till skillnad från VAV-systemet som har ett varierande luftflöde.



Figur 4.6. Jämförelse av värmeeffekttopp för ett KYB-system och VAV-system.

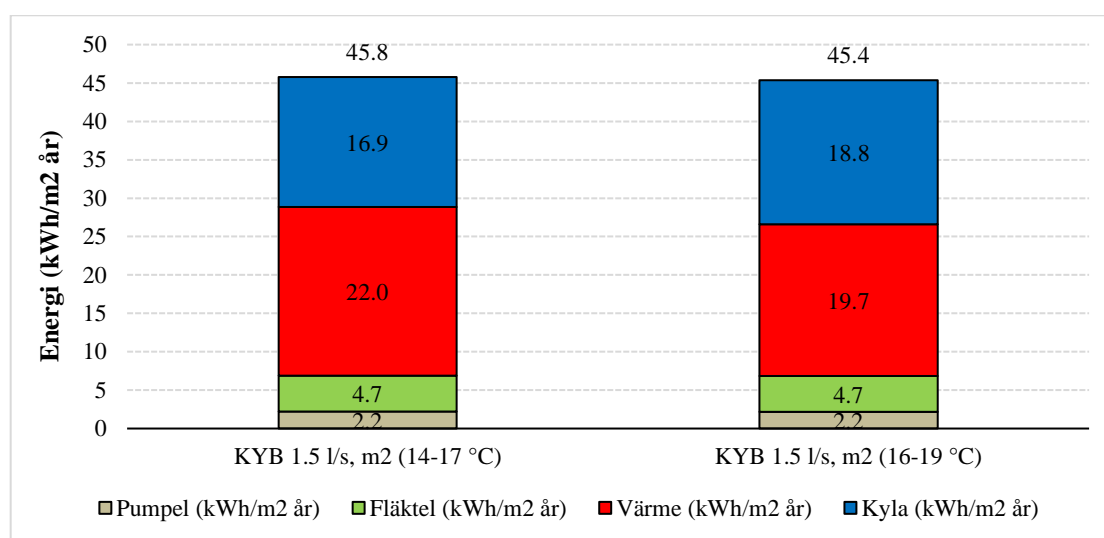
En månadsvis jämförelse av effekttoppar mellan ett KYB-system och ett VAV-system presenteras i *Figur 4.7*. I diagrammet framgår hur respektive systems effekttoppar kan se ut för olika månader under ett år. Resultatet visar att effekttoppar för kyla är betydligt högre för VAV-systemet kontra KYB-systemet under de varmaste månaderna på året. Under de kalla månaderna har VAV-systemet inget effektbehov för kyla medan kylbafflar kommer att kräva kyleffekt under hela året. För värmesystemet är effekttopparna för båda kylsystemen relativt lika, vilket återigen beror på radiatorer och fjärrvärme. En notering som bör göras i *Figur 4.7* är att resultatet har simulerats med hjälp av klimatdata för ett år till skillnad från övriga effekttoppar som simulerats med syntetiska väderdata.



Figur 4.7. Effekttjämförelse av VAV- och kylbafflarsystem under ett år.

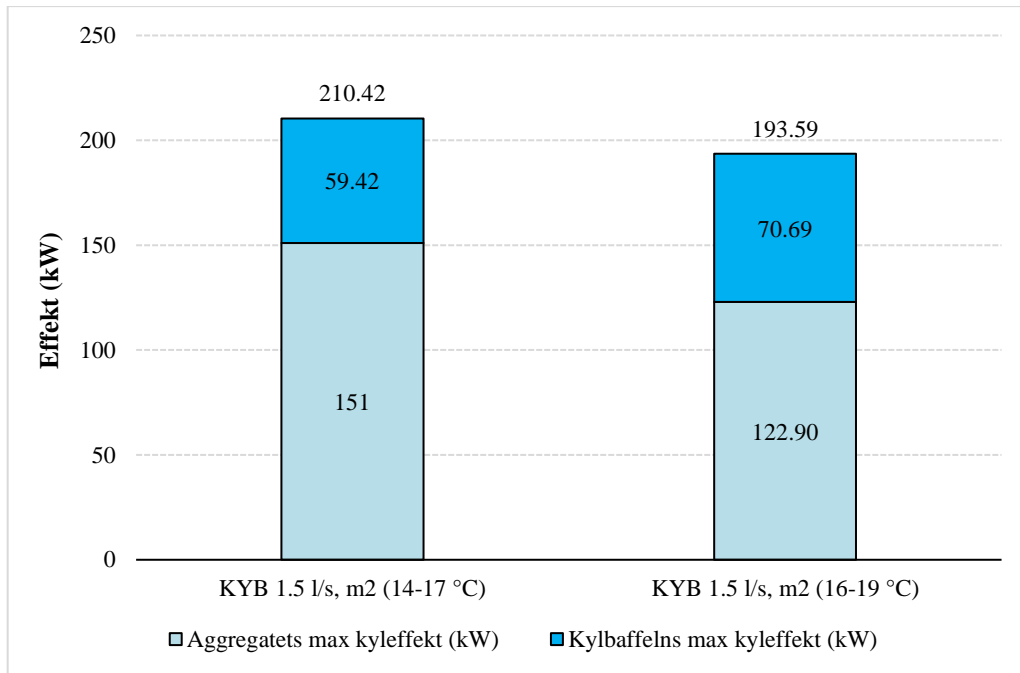
4.4 Ändring av tilluftstemperatur för vattenburen kyla

Två simuleringsfall med konstant luftflöde på $1,5 \text{ l/s.m}^2$ med varierande tilluftstemperaturer presenteras i *Figur 4.8*. Temperaturerna i simuleringsfallen begränsas inom ett intervall där systemet kan använda lägre temperatur på tilluften när det är varmt inomhus och en högre tilluftstemperatur vid kallare inneklimat. Resultatet visar att när temperaturintervallen höjs, minskar energianvändningen för värme och samtidigt ökar energianvändningen för kyla. En intressant aspekt av resultatet är att temperaturintervallet $16\text{--}19 \text{ }^\circ\text{C}$ har den lägsta totala energianvändningen för värme och kyla. En förklaring till detta kan vara att i detta temperaturintervall finns en bra kompromiss mellan att få bra kyleffekt från ventilationen samt undvika underkyllning vid värmebehov.



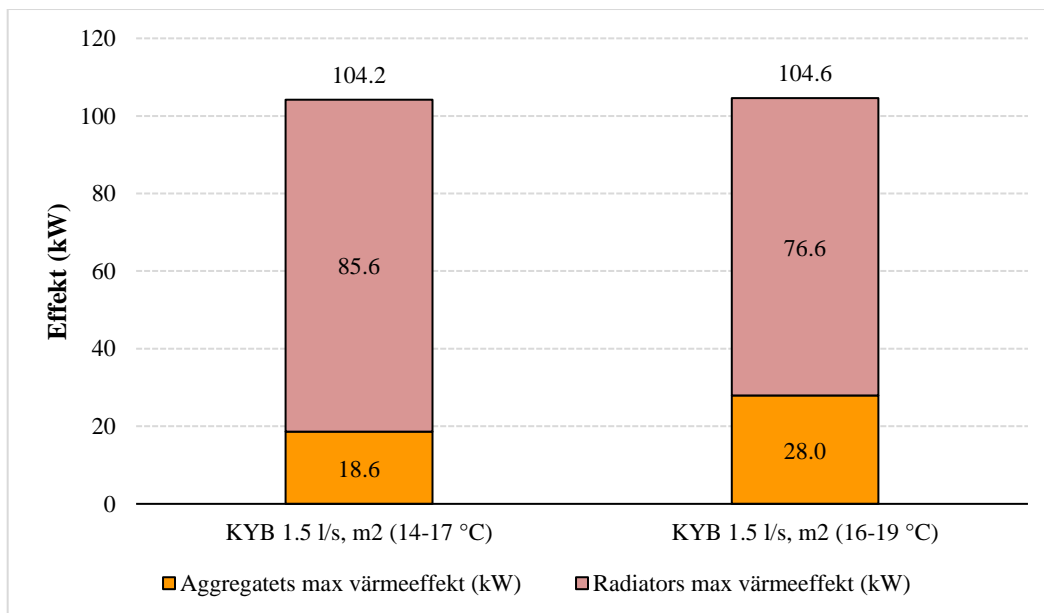
Figur 4.8. Energianvändning för kylbafflar med samma luftflöde och olika temperaturer.

Resultat av simuleringar för hur effektopparna för kyla varierar med tilluftstemperaturen finns i *Figur 4.9*. Dessa effektoppar har uppstått den 14:e juni kl 13:00. Simuleringsfallen har ett konstant tilluftsflöde på $1,5 \text{ l/s.m}^2$ i två olika temperaturintervaller likt resultatet för energianvändningen. Enligt resultatet framgår att vid varmare temperaturintervaller på tilluften sänks effektopparna för aggregatet, samtidigt som kylbafflarnas kyleffekt ökar. Luftbehandlingsaggregatet kräver mindre effekt vid en högre tilluftstemperatur, och vid en lägre tilluftstemperatur blir effekten mindre. Detta uppstår under sommaren, när utetemperaturen är hög. Kyleffektbehovet för byggnaden kommer vara samma oavsett temperatur på tilluften, det vill säga om ventilationen ger mindre kyleffekt måste resterande del tas i form av en högre effekt på kylbafflarna, vilket framgår av figuren.



Figur 4.9. Effekttopp kyla vid ändring av tilluftstemperatur.

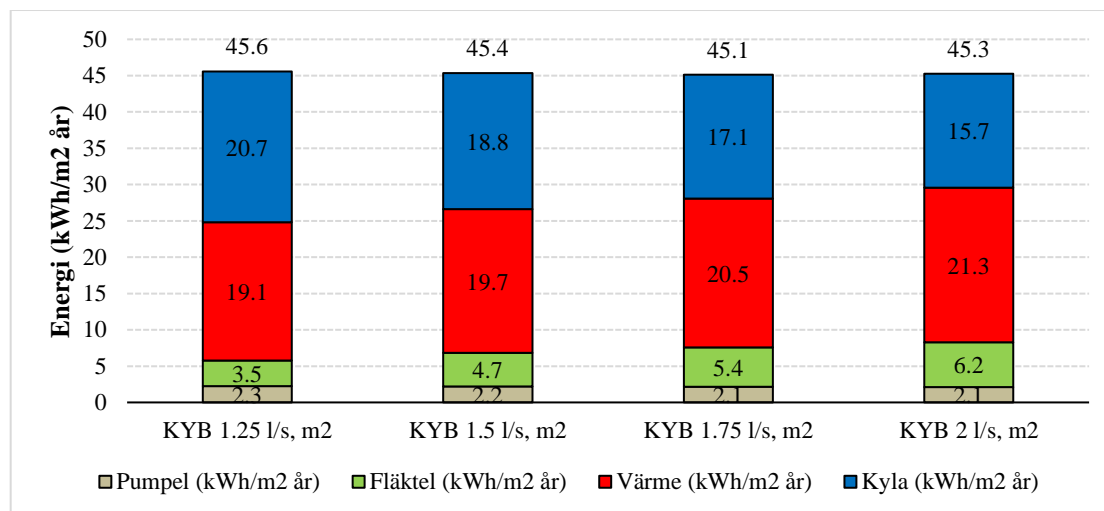
Likt föregående diagram visas effekttoppar för värme vid ändring av tilluftstemperatur i Figur 4.10. Dessa effekttoppar har uppstått den 26:e februari kl. 08:00 på morgonen. Effekttopparna för värme är väldigt lika varandra för alla simulerade fallen, vilket beror på att referensbyggnaden har samma radiatorsystem i båda fallen. Skillnaderna i aggregatets värmeeffekt beror på att aggregatet arbetar mer för att tillföra varmare luft vid val av högre temperaturintervall. Observera att dessa data är framtagna med hjälp av syntetiska väderdata vilket tar hänsyn till de mest extrema vädersscenarierna under flera år.



Figur 4.10. Effekttopp värme vid ändring av tilluftstemperatur.

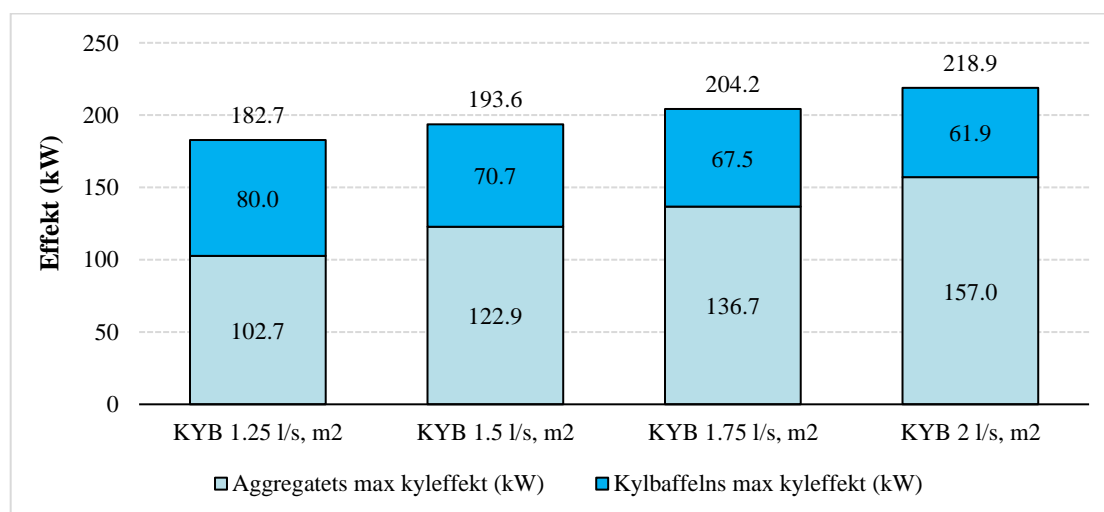
4.5 Ändring av luftflöde i KYB-system

I Figur 4.11 presenteras energianvändningen för fyra simuleringsfall för KYB-system, där alla fyra KYB-systemen har samma tilluftstemperaturer i intervallet 16–19 °C men luftflödet varierar. Enligt figuren minskar energianvändningen för kyla och pump när luftflödet ökar, medan energianvändningen ökar för värme och fläkt med större luftflöde.



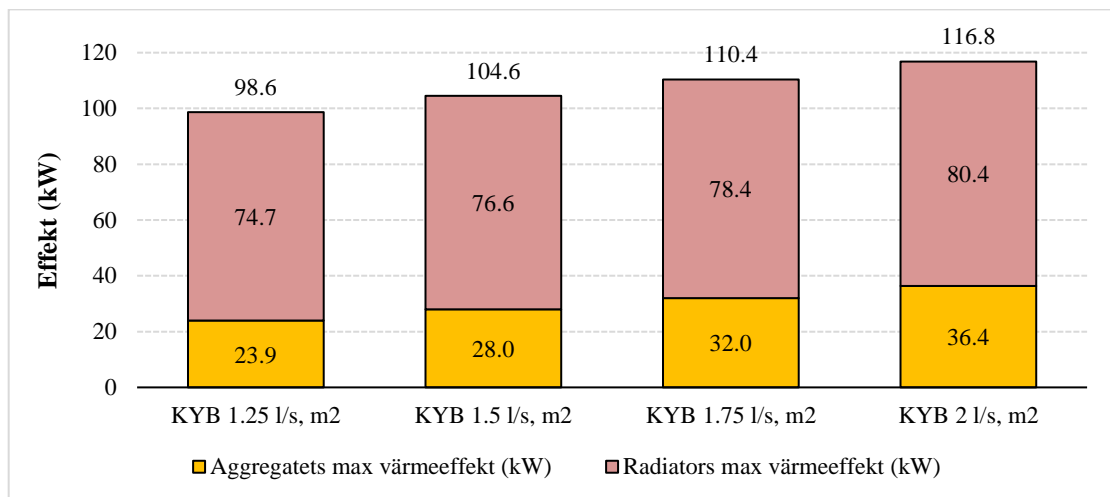
Figur 4.11. Total energianvändning av KYB-system med olika luftflöde.

I Figur 4.12 framgår effekttopparna för kyla i KYB-system med fyra olika luftflöden där tilluftstemperaturen är samma för alla fyra. Dessa effekttoppar har uppstått den 14:e juni mellan kl. 13:15 och 13:30. Figuren visar även aggregatets maximala kyleffekt i relation till kylbafflarnas maximala effekt. I resultatet framgår att effekttopparna för kyla är beroende av luftflöde där lägre luftflöde innebär lägre effekttoppar. Resultatet visar även att en sänkning i effekttoppar för aggregatet innebär förhöjda effekttoppar i kylbafflarna och vice versa.



Figur 4.12. Effekttoppar av kyla för fyra simuleringsfall med kylbafflar.

Likt föregående diagram visas effekttopparna för värme i *Figur 4.13* för fyra simuleringsfall med kylbafflar där luftflödet ökar. Dessa effekttoppar har uppstått den 26:e februari mellan kl. 07:45 och 8:15 på morgonen. Trenden för värmeeffekttopparna är lik trenden för kyla där ökning i luftflöde innebär högre effekttoppar. Förklaringen till skillnaderna i effekttoppar för värme är ventilationssystemet och dess luftflöde, där högre luftflöde innebär mer belastning på aggregatets värmebatteri, samt mindre beroende av radiatorsystemet.



Figur 4.13. Effekttoppar för värme i fyra simuleringsfall med kylbafflar.

5 Diskussion

5.1 Luftkvalitet

Utifrån resultatet på luftkvalitet kan VAV-systemet anses likvärdigt ett KYB-system med $1,5 \text{ l/s.m}^2$ därmed är det relevant att jämföra dessa två system med varandra. Andra luftflöden för ett KYB-system tycks inte vara jämförbara med VAV-systemet då dessa inte klarar samma luftkvalitet. För att kunna jämföra andra luftflöden för ett KYB-system bör även grundflödet för VAV-systemet förändras.

Generellt ger ett VAV-system bättre flexibilitet där det finns tillräckligt med kapacitet för luftflöde att klara av en bra luftkvalitet. Dessutom kan systemet ha CO_2 -mätare som kan tillföra mer luft beroende på rummets luftkvalitet. Till skillnad från ett VAV-system brukar kylbafflar kombineras med ett CAV-system som har ett konstant flöde. Beroende på vad som väljs som tilluftflöde kan kravet på luftkvalitet (1000 ppm) överskridas. Vid exempelvis ett luftflöde på $1,25 \text{ l/s.m}^2$ i CAV systemet visar resultatet att ppm-värdet under vissa förutsättningar kommer över 1000 ppm vilket kan upplevas obehagligt och speciellt för kontorsbyggnader som har höga krav på luftkvalitet. Vid ett konstant luftflöde på 2 l/s.m^2 kan kravet på luftkvalitet uppfyllas med bra marginal, men detta kan innebära ett alltför stort effektbehov till fläkten och även större kanaler som skall transportera luftvolymen. Alltför stor volym på luftflödet för kylbafflar kan alltså medföra att systemets funktionalitet försvinner.

Att hålla luftkvaliteten inomhus på en god nivå kan innebära att ventilera ett utrymme oftare vilket medför större energibehov. Eftersom människor är största källorna till luftföroreningar är koldioxidhalten starkt beroende av antalet närvarande personer i rummet. Vid ett VAV-system kan CO_2 -styrningar användas för att styra luftflödet men ett CAV-system har konstantflöde och när fler personer än det maximala antal personer befinner sig i ett rum blir luftkvaliteten dålig. Vid simuleringar har en referensbyggnad med färdigställda indata gällande användning och laster antagits, där exempelvis max antal personer antas i grupprummet vilket det inte sker så ofta i verkligheten. Oftast förekommer sjukdomar och att personer arbetar hemifrån. Med hänsyn till sjukfrånvaro och anställda som jobbar hemifrån kan eventuellt mindre luftflöde till kylbaffelsystem väljas för att spara på energi, material och miljön.

5.2 Energiutvärdering

En sammanställning av simuleringsresultaten gällande energianvändning av de olika kylsystemen visar att den totala energimängden som konsumeras av värme- och kylsystemet i byggnaden är relativt lika för VAV- och KYB-systemet. Skillnaderna i de två systemen är fördelningen av de olika energibehoven för respektive system. Exempelvis används mycket mindre energi för kyla i VAV-systemet, samtidigt som det totala värmebehovet ökar. Det låga kylbehovet i VAV-systemet påvisar att

utnyttjandegraden av frikyla är mycket större i detta kylsystem, samtidigt som den kan orsaka ett större värmebehov vid låga utomhustemperaturer.

Det finns även en markant skillnad i energin som används av fläkten, där VAV-systemet kräver mycket mer energi till fläkten på grund av dess höga luftflöde. I detta sammanhang blir det intressant att diskutera var energin för respektive system kommer ifrån, då de olika energikällorna som används i Sverige idag kan variera i tillgänglighet beroende på byggnadens placering, förnybarhet samt investeringskostnader. Exempelvis i en byggnad med en värmepump som kan producera passiv kyla är ökningen av kylbehovet inte lika kostsam som en byggnad med fjärrkyla. Detta resonemang kan även implementeras om värme och elanvändningen i byggnaden, vilket kan avgöra vilket kylsystem som passar just en specifik byggnad med hänsyn till dess energianvändning.

Vid ett VAV-system finns uteluftens temperatur tillgänglig som kan användas som ”gratiskyla”. I *Figur 4.4* framgår att energianvändningen i VAV-systemet är betydligt mindre under månaderna maj och september. Under dessa månader är utomhustemperaturen relativt låg jämfört med innetemperaturen som kan bli hög på grund av solstrålningen. I detta fall blir det en mer tydlig ökning i effektivitet med ett VAV-system. Uteluften som förs in av luftbehandlingsaggregatet behöver alltså inte kylas ner så mycket gentemot ett KYB-system, som använder sig av mycket mindre uteluft och där den mesta kylbelastningen hamnar på kylbaffeln och därmed orsakar mer energiåtgång. Denna egenskap hos ett VAV-system innebär också att under de varmaste dagarna i månaden blir skillnaden i inomhustemperatur och utetemperaturen väldigt stor, vilket kräver mer energiåtgång i aggregatets kylbatterier för att kunna nå den önskade temperaturen på tilluften.

Möjligheten för utnyttjandet av frikyla ökar ju längre norrut i Sverige man kommer på grund av lägre utetemperaturer. Utifrån resultatet för energianvändning kan detta vara aktuellt för Göteborg från och med september till och med maj då det inte behövs energi för nedkylning. Endast sommarmånaderna juni–augusti kan behovet av kylenergi vara aktuellt i Göteborg.

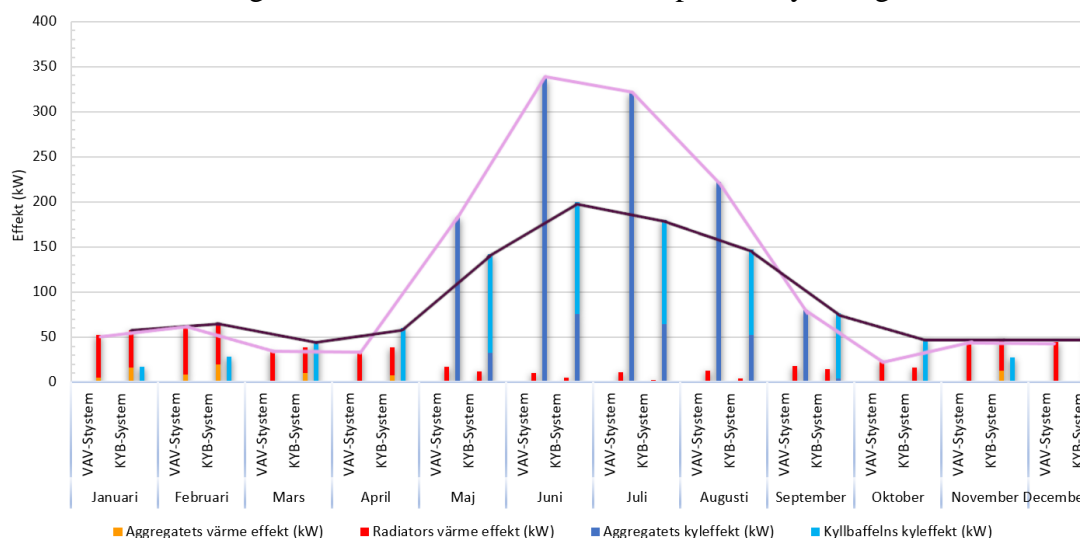
Det bör noteras att resultatet för energianvändningen är antaget efter maximalt antal närvarande personer på kontoret vilket inte är fallet i verkligheten. Oftast blir några personer sjuka eller jobbar hemifrån vilket gör att VAV-system som kan anpassa sig efter personnärvaro innebär förmodligen att energianvändningen går ner. I KYB-systemet är flödet konstant där en dimensionering för maximalt antal personer kan medföra onödig extra användning av energi. Om man tar hänsyn till dessa parametrar skulle resultatet av den totala energianvändningen se annorlunda ut där VAV skulle ge en lägre energianvändning.

5.3 Effekttopp

Förutom avgiften för mängden energi som används i en byggnad debiterar energileverantören även en avgift som kallas för effektagift. Denna avgift baseras vanligtvis på det högsta effekttuttaget, så kallad effekttopp, en abonnent har under en månad.

Enligt de genomförda simuleringarna och framtagna resultaten är maxeffekten för ett kylsystem beroende av både tilluftsflöde och tilluftstemperatur. Då ett VAV-system har högre flöde, kommer det även behövas mycket högre effekt i luftbehandlingsaggregatet än i ett KYB-system. Detta kan förklaras med mängden uteluft som skall kylas ner av luftbehandlingsaggregatet under de varmaste dagarna under året. Samtidigt har de varma utetemperaturerna under sommaren en direkt påverkan på effekttuttaget i ett VAV-system som har uppgiften att kyla luften innan den förs in i rummet. Denna påverkan är mindre på aggregatet i ett kylbaffelsystem då systemet dimensioneras efter hygienluftflöde som är mycket mindre än flödet för ett VAV-system. Vid mindre belastning på aggregatets kylbatterier kommer större delen av nedkylningen av rumstemperaturen ske av kylbafflar. Dessa bafflar kräver i sin tur mer effekt till pumpen som ska cirkulera vatten i bafflarna och även mer kyleffekt för att kyla ned vätskektretsen.

Vid en mer noggrann jämförelse av VAV- och KYB-system som visas i *Figur 5.1* kommer KYB-systemet att ge lägre effekttoppar över ett år, medan VAV-systemet kan ha mycket höga effekttoppar på sommaren och väldigt låga under de kalla månaderna. När det gäller effektagift har KYB-systemet en fördel rent ekonomiskt eftersom låga effekttoppar innebär lägre effektagift gentemot VAV-systemet som har både högre effekttoppar och högre totalenergianvändning under ett år. För en mer korrekt jämförelse ur ett ekonomiskt perspektiv bör dock en livscykelkostnadsanalys innehållande investeringskostnader och underhåll för respektive system göras.



Figur 5.1. Jämförelse av effekttoppar för KYB-system och VAV-system över ett år.

5.4 Systemjämförelse

I denna studie har fokuset varit på energianvändningen av KYB- och VAV-system, vilket gjorde att andra parametrar som material och utrymme inte diskuterats tillräckligt. Dessa faktorer kan bli avgörande eftersom vid val av ett kylsystem kan förutsättningarna vara olika från ett projekt till ett annat. I detta kapitel diskuteras KYB- och VAV-system med avseende på material och utrymme.

En fördel med ett VAV-system och dess varierande flöde är flexibiliteten som kommer med det. Idag strävar man efter att VVS-installationer i byggnader ska vara flexibla så att det vid en eventuell ändring av verksamheten och dess funktionalitet inte behövs nya installationer. Den nya verksamheten skall kunna använda existerande kylsystem utan att ett helt nytt ventilationssystem behöver byggas. Därför kan det bli problematiskt med ett kylbaffelsystem i kombination med CAV som har dimensionerats med avseende på internlast i den gamla verksamheten.

Högre takhöjd och mindre kanaldimensioner är fördelar som oftast kopplas till kylbaffelsystem. Eftersom detta kylsystem endast levererar hygienluftflöde, kommer kanaldimensionerna inte behöva vara lika stora som ett VAV-system. Beroende på hur kanalsystemet är byggt kan oftast mindre kanalsystem innebära lägre avstånd mellan våningsplan och även mindre ventilationsschakt. Fördelen med ett sänkt våningsplan är möjligheten av att bygga ett extra våningsplan i ett höghus som kan vara aktuellt för storstäder. Förutom kanalstorleken i ett VAV-system är även luftbehandlingsaggregatet mycket större i detta system, vilket kräver större teknikrum och därmed ett utrymme som hade kunnat användas till andra ändamål. Samtidigt skulle uthyrning och försäljning av sparade ytor i ventilationsschakt och teknikrum oftast värderas högt av beställaren.

Den mindre kanaldimensionen i KYB-systemet medför samtidigt vissa utmaningar vid projektering samt installation av dess komponenter. Enligt projekteringsgruppen på Bengt Dahlgren kräver projektering av ett KYB-system många fler timmar eftersom man ska projektera två separata system, ett vattenburet system för kylan och ett för ventilationen, till skillnad från ett VAV-system där både kylan och ventilationen projekteras i ett enda system. Dessutom krävs det mycket samordning och samspel av installatörer och yrkesarbetarna vid installation av ett KYB-system, då man har två olika discipliner att jobba med.

När man sänker energianvändningen under byggnadens användningsfas innebär det oftast att man ökar energianvändningen i tillverkningsfasen. Därför skulle detta vara ett intressant område i jämförelsen att se hur mycket material respektive system omfattar för tillverkningen. Som nämnts innan har ett VAV-system större kanaldimensioner och luftbehandlingsaggregat, vilket kan indikera att i ett VAV-system används även mer material. Men det separata rörsystemet i ett KYB-system är en materialbelastning som inte kan jämföras direkt med ett VAV-system, då många av dessa delar inte alls

förekommer i ett VAV-system. Detta rörsystem innehåller flera komponenter som vattenrör och dess isolering, kylbafflar, ventiler, shuntar med mera som ofta har större klimatpåverkan. Detta bör dock undersökas mer noggrant för att man ska kunna dra slutsatser.

6 Slutsats

Slutsatser som kan dras är att ett VAV-system och ett KYB-system kommer ha i stora drag samma energianvändning när man strävar efter samma luftkvalitet i byggnaden. Skillnaderna i energianvändningen ligger främst i fördelningen av de olika sorternas energibehov. Jämförelsen visar att kylbafflar ger nedsänkta effektoppar under de varma månaderna på året och ett VAV-systemet använder sig av frikyla under de kalla månaderna. En högre tilluftstemperatur och ett lägre luftflöde i kylbaffelsystemet är till nytta för mer nedsänkta effektoppar, men hänsyn bör tas till kravet på inomhustemperatur och luftkvalitet. Slutligen bör vid val av ett kylsystem även andra parametrar av betydelse tas med i beräkningen.

6.1 Fortsatt studie

I fortsatt arbete är det intressant att jämföra systemens materialanvändning och hur mycket utrymme respektive system skulle ta i byggnaden. Stora mängder energi konsumeras för att tillverka materialet och ett system som tar mindre plats kan både spara på utrymme och material. En mycket intressant jämförelse av VAV och kylbafflar hade varit att undersöka alla dessa parametrar för att eventuellt kunna dra slutsatser därifrån.

7 Referenser

- Arbetsmiljöverket. (den 03 11 2021a). *Allmänventilation*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/allmanventilation/#:~:text=Enligt%20112%20%C2%A7%20i%20f%C3%B6reskrifterna,sekund%20och%20m2%20golvyta>.
- Arbetsmiljöverket. (den 17 02 2021b). *Risker med dålig ventilation*. Hämtat från AV: <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/risker-med-dalig-ventilation/>
- Boverket. (den 07 08 2019). *Luft och ventilation i bostäder*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/>
- Boverket. (den 01 07 2020). Boverkets författningssamling. *Boverkets föreskrifter om ändring i Boverkets byggregler*. Yvonne Svensson.
- Boverket. (den 16 02 2022). *Din hälsa kan påverkas av det termiska klimatet*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/konsekvenser-samhället/konsekvenser-halsan/halsokonsekvenser-av-termisk-komfort/>
- Evans, P. (den 26 12 2017). *Cooling Load Calculation - Cold Room*. Hämtat från The Engineering Mindset: <https://theengineeringmindset.com/cooling-load-calculation-cold-room/>
- Folkhälsomyndigheten. (den 05 09 2021). *Temperatur inomhus*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/a22abd3cdc1042e195d50fe4484a7fb9/temperatur-inomhus.pdf>
- Google Maps. (den 20 05 2022). *Johannebergs Science Park*. Hämtat från Google Maps: <https://www.google.se/maps/@57.6853827,11.9783602,125m/data=!3m1!1e3>
- IDA ICE. (den 20 02 2022). IDA ICE . Göteborg.
- Lane, A.-L. (den 12 04 2021). *Guide: Energieffektiv kontorskyla*. Hämtat från Svensk Byggtjänst: <https://byggkoll.byggtjanst.se/artiklar/2021/februari/guide-energieffektiv-kontorskyla/>
- Livchak, A., & Lowell, C. (2012). Don't Turn Active Beams Into Expensive Diffusers. *ASHRAE*, 04.
- Murphy, J., & Harshaw, J. (04 2011). Understanding Chilled Beam Systems. *Trane Engineers Newsletter*. Trane.
- Naturvårdsverket. (den 20 05 2022). *El och fjärrvärme, utsläpp av växthusgaser*. Hämtat från Naturvårdsverket: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-el-och-fjarrvarme/>
- NJ Green Building Manual. (den 24 05 2022). *NC Chilled Beams*. Hämtat från NJ Green Building Manual: <http://greenmanual.rutgers.edu/nc-chilled-beams/>
- SMHI. (den 20 05 2022). *Klimatförändringen är tydlig redan idag*. Hämtat från SMHI: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatet-forandras/klimatforandringarna-marks-redan-idag-1.1510>
- Sveriges Allmännyttan. (den 10 06 2022). *Fokusområde 1: Effektoppar och förnybar energi*. Hämtat från Sveriges Allmännyttan: <https://www.sverigesallmannytta.se/allmannyttans-klimatinitiativ/effekt-och-fornybar-energi/>

- Swegon. (2007). *Teknikavsnitt, Vattenburna Klimatsystem 2007*. Hämtat från Swegon: https://www.swegon.com/siteassets/_products-documents-archive/waterborne-climate-systems/general/_sv/climate-tech.pdf
- Swegon. (den 22 01 2014). *INOMHUSKLIMATET PÅ VÅRA KONTOR*. Hämtat från swegon: https://info.swegon.com/hubfs/PDF_download%20studie_M%C3%A4nniskan_och_Rummet_220114.pdf
- US EPA. (06 2009). *Laboratories For the 21st Century: Best Practice Guide*. Hämtat från International Institute for Sustainable Laboratories : https://www.i2sl.org/documents/toolkit/bp_chilled-beam_508.pdf
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.

INSTITUTIONEN FÖR ARTITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS