



CHALMERS



Energiprestanda i höga kontorsbyggnader med vattenburet kylsystem

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Tobias Antonsson
Vanessa Phu

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete ACEx20-20
Göteborg, Sverige 2020

EXAMENSARBETE ACEX20

Energiprestanda i höga kontorsbyggnader med vattenburet kylsystem

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Tobias Antonsson

Vanessa Phu

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2020

Energiprestanda i höga kontorsbyggnader med vattenburet kylsystem

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Tobias Antonsson

Vanessa Phu

© TOBIAS ANTONSSON/VANESSA PHU, 2020

Examensarbete ACEX20-20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2020

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

De analyserade byggnadernas utseende (Författarnas egen bild från Revit).

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2020

Energiprestanda i höga kontorsbyggnader med vattenburet kylsystem

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Tobias Antonsson

Vanessa Phu

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Behovet av att hushålla med jordens resurser i kombination med en ökad medvetenhet om hur vi människor påverkas av vår omgivning och den miljö vi vistas i, leder idag till att kraven på nya byggnader i form av bland annat energiprestanda, miljöpåverkan och bra inneklimat ökar. Samtidigt finns det en trend där man bygger högre, slankare byggnader, ofta med stor glasandel i fasaden, vilket påverkar både bruttoenergibehovet och de tekniska möjligheterna att tillgodose inneklimatkraven på ett resurseffektivt sätt.

Detta arbetet syftar till att undersöka hur höga kontorsbyggnaders olika val av klimatskal samverkar med val av tekniska system och hur de påverkar faktorer som energiprestanda, inomhusklimat och driftkostnader.

För att undersöka detta modellerades fyra kommersiella byggnader med varierande klimatskal i IDA ICE för att få fram ett bruttoenergibehov. Resultaten från dessa simuleringar användes för att med handberäkningar analysera respektive byggnads primärenergital och behov av köpt energi, beroende på vilka tekniska system som används för uppvärmning och komfortkyla.

Resultatet visar att val av klimatskal spelar en väldigt stor roll i bruttoenergibehovet. Men det kommer också med olika konsekvenser på vad som behövs för att klara inneklimatet. Några av byggnaderna behöver en inre solavskärmning för att klara inneklimatskravet medan andra klarar sig utan.

Jämförelsen av de tekniska systemen visar att det finns möjligheter till att komma väldigt lågt i behovet av köpt energi men att det krävs väldigt goda förutsättningar för att uppnå det. Jämförelsen mellan de tekniska systemen som inte är beroende av förutsättningar på tomten visar att systemet som drivs med el är betydligt billigare i drift än systemet med fjärrvärme och fjärrkyla.

I diskussionen förs resonemang kring klimatskalets inverkan på inneklimatet, vikten av höga COP för ett effektivt system, felfaktorer samt fördelar och nackdelar med val av olika primärsystem.

Nyckelord: energiprestanda, höghus, kommersiella byggnader, vattenburen kyla, frikyla, geoenergi, tekniska system, COP

Energy Performance in Tall Office Buildings with Waterborne Cooling System

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

Tobias Antonsson

Vanessa Phu

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The need to manage the earth's resources in combination of awareness of how we humans are influenced by our surrounding and environment we live in, does today lead to increased demands on new buildings in form of energy performance, environmental impact and good indoor climate. At the same time there is a trend where you are expected to build taller, slimmer buildings, often with a high percentage of glass in the façade, which affect both gross energy demand and the technical possibilities to meet the indoor climate requirements in a resource efficient way.

This thesis aims to investigate how tall office buildings with different climate shell interacts with the choice of technical systems and how that affects the energy performance, indoor climate and operating costs.

To investigate this, four commercial buildings with varying climate shells where modelled in IDA ICE to generate the gross energy demand. The results from these simulations are used with hand calculations to analyze each building primary energy factor and purchased energy, depending on which technical system are used for heating and cooling.

The results show that the choice of climate shell plays a very important role in the gross energy demand. But it also comes with different consequences for what is needed to cope with the indoor climate. Some of the buildings need an internal sunshade to meet the indoor climate requirements while others do without.

The comparison of the technical systems shows that there are possibilities to get very low on the need of purchased energy, but that very good conditions are needed to achieve this. The comparison between the technical systems that are not depending by the conditions on the site of the building shows that the system that is powered by electric is considerably cheaper to operate then the system with district heating and cooling.

The discussion discusses the impact of the climate shell on the indoor climate, the importance of high COP for an efficient system, fault factors as well as the advantages and disadvantages with choice of different primary systems.

Key words: energy performance, tall buildings, commercial buildings, waterborne cooling, free cooling, geo energy, technical system, COP

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Frågeställning	1
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Litteraturstudie	2
1.6 Metod	3
1.7 IDA ICE	3
2 TEORI	4
2.1 Höga byggnader	4
2.1.1 Situationen i Göteborg	4
2.1.2 Varför höga byggnader?	4
2.2 Miljöbyggnad	5
2.3 Faktorer för utformning	5
2.3.1 Rumshöjder	5
2.3.2 Arbetsytor	5
2.3.3 Dagsljus	6
2.3.4 G-värde, U-värde och LT-värde	6
2.4 Termiskt klimat	7
2.4.1 Operativa temperaturen	7
2.4.2 PPD- och PMV-index	8
2.4.3 Metabolism	8
2.4.4 Klädselns isoleringsnivå	8
2.4.5 Fangers klimatsamband	9
2.4.6 Kvalitetsklasser	9
2.5 Termisk lagring	10
2.5.1 Byggnadsstomme	10
2.6 Ventilationssystem	11
2.6.1 SFP	11
2.6.2 VAV-system	12
2.6.3 Luftflöden i kontorsbyggnader	12
2.6.4 Luftburen kyla kontra vattenburen kyla	12

2.7	Värmepump	13
2.7.1	Carnotprocessen (COP _c)	13
2.8	Geoenergi	16
2.8.1	Bergvärmepump	16
2.8.2	Frikyla	16
2.9	Fjärrvärme och fjärrkyla	17
2.10	Primärenergital	18
3	ANALYSERADE BYGGNADER	19
3.1	Byggnadens utformning	19
3.2	Skillnader mellan byggnaderna	22
3.3	Indata	23
3.3.1	Inneklimat	23
3.3.2	Hygienluftflöde	23
3.3.3	Fastighetsel	24
3.3.4	Solceller	25
3.4	Analyserade systemuppsättningar	26
3.4.1	System 1	27
3.4.2	System 2	30
3.4.3	System 3	32
3.5	Driftfall på ett dygn	33
4	RESULTAT	34
4.1	Inneklimat	34
4.1.1	Solavskärmning	37
4.1.2	Analys	37
4.2	Ursprungligt värme- och kylbehov	38
4.2.1	Analys	41
4.3	Hur behoven tillgodoses	41
4.3.1	Kylbehov	41
4.3.2	Värmebehov	43
4.3.3	Geoenergi	45
4.4	Behovet av köpt energi och primärenergital	48
4.4.1	Köpt energi	48
4.4.2	Primärenergital	49
4.4.3	Analys	50
5	DISKUSSION OCH SLUTSATS	51
5.1	Inneklimat	51
5.2	Tekniska system	51
5.3	Köpt energi och primärenergital	52
5.4	IDA-modellerna	53

5.5	El-drift mot fjärrvärme och fjärrkyla	53
5.6	Slutsats	54
REFERENSER		55
BILAGOR		59
	Fastighetsel	59
	Solcellsberäkning	59
	Tillgängliga areor	59
	Genererad el	60

Förord

Detta examensarbetet som omfattar 15 högskolepoäng är en avslutning på vår utbildning på Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers.

Idén till examensarbetet presenterades till oss från GICON och har utförts på deras kontor under januari till juni, 2020.

Vi skulle vilja tacka vår handledare Charlotta Dahlberg på GICON som har gjort detta möjligt för oss genom att alltid ta sig tid till att besvara den stora mängd frågor vi har haft. Genom att alltid ställa upp och bidra med intressanta diskussioner och tips så har vi lyckats få mycket bättre förståelse och kunskap inom området. All vägledning har gjort så vi fått ett väl organiserat och strukturerat arbete, vilket vi är väldigt tacksamma över.

Vi skulle också vilja tacka Göran Andersson och Gunnar Isaksson på GICON som har delat med sig av sin stora erfarenhet inom området och visat intresserade för vår utveckling. Alla medarbetare på kontoret ska också ha ett stort tack för ett vänligt mottagande och hjälp i vårt arbete.

Slutligen vill vi även tacka vår handledare på Chalmers, Anders Trüschel, som alltid varit tillgänglig för oss och gett oss bra input till arbetet.

Göteborg juni 2020

Tobias Antonsson
Vanessa Phu

Beteckningar

Symboler

A	Area [m^2]
COP_c	Carnotprocessens COP [-]
U	Värmemotstånd [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]
η	Verkningsgrad [-]
T_K	Temperatur Kelvin [K]
T_C	Temperatur Celsius [$^{\circ}C$]
Q	Avgiven värme [W]
W	El tillförd kompressorn [W]

Förkortningar

<i>BBR</i>	Boverkets Byggregler
<i>BVP</i>	Bergvärmepump
<i>CIRK.PUMP</i>	Cirkulationspump
<i>COP</i>	Coefficient Of Performance
<i>DF</i>	Dagsljusfaktor
<i>FJK</i>	Fjärrkyla
<i>FJV</i>	Fjärrvärme
<i>IDA ICE</i>	IDA Indoor Climate and Energy
<i>KB1</i>	Kyla till ventilationsaggregat
<i>KB2</i>	Kyla till rumsapparater
<i>KM</i>	Kylmaskin
<i>LT</i>	Ljustransmission
<i>PPD</i>	Predicted Percentage Dissatisfied
<i>PMV</i>	Predicted Mean Vote
<i>RF</i>	Relativa fuktigheten
<i>SC</i>	Solceller
<i>SFP</i>	Specific Fan Power

<i>TV</i>	Tappvatten
<i>U_m-värde</i>	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient i klimatskalet
<i>VAV</i>	Variable Air Volume
<i>VP</i>	Värmepump
<i>VPÅV</i>	Återvinningsvärmepump
<i>VS</i>	Värme till rumsapparater
<i>VV</i>	Tappvatten
<i>ÅV</i>	Återvinning

Definition

<i>A_{temp}</i>	En energirelaterad area som används vid beräkningen av en byggnads energiprestanda och definieras enligt Boverket som ”den invändiga arean för våningsplan, vindsplan och källarplan som värms till mer än 10°C i byggnaden” (Boverket, 2014).
<i>Boverkets -Byggregler</i>	Svensk central förvaltningsmyndighet för samhällsplanering, stadsutveckling, byggande och boende.
<i>Bruttoenergi</i>	Primärenergien, dvs ursprungliga energien.
<i>Fjärrvärme</i>	Hett vatten produceras i en central produktionsanläggning och fördelas sedan i rörsystem, värmen från fjärrvärmevattnet överförs därefter till husets egna värmesystem via en värmeväxlare (Vattenfall, u.å).
<i>Fjärrkyla</i>	Samma princip som för fjärrvärme, fast med kallt vatten.
<i>Köpt energi</i>	Den köpta energimängden som levereras till en byggnad under ett år.
<i>Kommersiella -byggnader</i>	En byggnad nyttjas och drivs av verksamheter.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Behovet av att hushålla med jordens resurser i kombination med en ökad medvetenhet om hur vi människor påverkas av vår omgivning och den miljö vi vistas i, leder idag till att kraven på nya byggnader i form av bland annat energiprestanda, miljöpåverkan och bra inneklimat ökar. Samtidigt finns det en trend där man bygger högre, slankare byggnader, ofta med stor glasandel i fasaden, vilket påverkar både bruttoenergibehovet och de tekniska möjligheterna att tillgodose inneklimatkraven på ett resurseffektivt sätt.

För att säkerställa att byggnaden uppfyller samtliga krav på bästa möjliga sätt, ökar behovet av att betrakta hela byggnaden som ett sammansatt tekniskt system och ta hänsyn till påverkan från alla de faktorer som kan påverka byggnadens framtida funktion. Detta innebär att behovet av tidig samverkan mellan beställare, arkitekt och tekniska konsulter, med syftet att tidigt kunna optimera byggnaden i sin helhet blir en nödvändighet.

Att underlätta kommunikationen kring hur olika faktorer i byggnaden som till exempel placering, form, orientering, klimatskal samverkar med de tekniska systemen och hur olika kombinationer påverkar till exempel bruttoenergibehov, behov av köpt energi, klimatpåverkan, inomhusklimat, driftskostnader etcetera utgör en viktig pusselbit i samverkansarbetet och här finns idag ett behov av mer underlag och ökad kunskap för att i tidiga skeden kunna föra relevanta resonemang.

1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att undersöka hur höga kontorsbyggnaders val av klimatskal samverkar med val av tekniska system och hur de påverkar faktorer som energiprestanda, inomhusklimat och driftkostnader. Resultatet från arbetet utgör ett viktigt kunskapsunderlag för tidiga analyser av byggnader med höga funktionskrav i samverkan med arkitekter och beställare.

1.3 Frågeställning

För att kunna uppnå syftet med detta examensarbete så behöver vi svara på följande frågor:

- Vilka konsekvenser får vårt moderna byggande (höga hus, stor glasandel) på vad som krävs för att hålla ett visst klimat i en byggnad?
- Hur påverkas en byggnads bruttoenergibehov av byggnadens utformning?
- Hur är behovet av köpt energi? Kan funktionskraven klaras av utan köpt energi?
- Vad händer med inneklimatet och hur påverkas driftskostnaden vid val av olika klimatskal och tekniska system?
- Går det att optimera installationssystemet i en kommersiell byggnad men ändå ha en viss flexibilitet inför framtiden?

1.4 Avgränsningar

Arbetet avhandlar endast kommersiella byggnader, i huvudsak kontorsbyggnader. Geografiskt är byggnaden placerad i ett liknande uteklimat som råder i Göteborg. Arbetet kommer uteslutande handla om nybyggnationer. Analysen kommer bara att avhandla ett vattenburet kylsystem för byggnaderna då detta enligt tidigare studier (Erntoft, Lundberg 2019) visas vara mer yteffektivt i kommersiella byggnader med stort kylbehov.

1.5 Litteraturstudie

I boken *Byggnaden som system* delar författarna med sig om kunskap och erfarenheter inom områdena byggteknik och installationsteknik med en systematisk helhetssyn på hur byggnader fungerar utifrån energi och inneklimat, två områden som behöver samordnas. (Abel & Elmroth, 2016)

Boken *Projektering av VVS-installationer* ger grundläggande kunskaper om hur installationssystem projekteras utifrån krav på inneklimat. (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems skriven av Peter Simmonds tillsammans med *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)* handlar om planering och utformning av höga byggnader med betoning på VVS, design och underhåll. (Simmonds, 2015)

Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) är en ideell organisation med kompetenta kunskaper och studier om höga byggnader. (CTBUH, u.å,b)

Master thesis *Space Efficiency of Technical Installations in Tall Office Buildings - An early stage analysis based on HVAC, elevators, water distribution and fire safety design* skriven av Henric Erntoft och Tor Lundberg behandlar tidiga analysskeden och undersökningar av tekniska systemen för VVS, hissar, vattendistribution och brandsäkerhet i höga kontorsbyggnader. (Erntoft & Lundberg, 2019)

Master thesis *Commercial Building Energy Performance - Room cooling principles and hydronic cooling system temperatures* av Charlotta Dahlberg syftar i att undersöka kylbehoven i en kommersiell byggnad. (Dahlberg, 2017)

1.6 Metod

För att få en djupare förståelse samlades information genom en litteraturstudie om byggt teknik och installationsteknik, även relevanta arbeten som tidigare gjorts inom ämnet har studerats.

Arbetet har grundat sig i en studie av fyra höghus, A-D, med samma utformning, planlösning och tekniska system men med olika klimatskal, fönster och inre solavskärmning. De olika planlösningarna består utav entréplan, konferensplan, kontorsplan och teknikplan. Det fjärde huset (byggnad D) används som en referensbyggnad med tung stomme och minsta möjliga fönsterandel för att klara kravet på dagsljus medan de resterande byggnaderna har lätt stommsystem med glasfasader. Ju större fönsterandel desto större påverkan på värme- och kylbehov, därför används byggnad D som en referensbyggnad då denna antas ha minst värme- och kylbehov.

Byggnaderna modelleras i simuleringsverktyget IDA ICE 4.8 med hjälp av olika zoner som representerar vardera rum i byggnaden. Val av indata till varje zon, samma för samtliga byggnader, antogs med hjälp av Svebys *”Brukarindata kontor”* (2010), bland annat användes relevanta värden för personvärmebelastning samt värmebelastning från en dator och belysning. I varje utrymme/zon antogs hur många personer som skulle vistas för att kunna dimensionera hygienluftflödet. Antagandet av personer gjorde även att vi kunde få en rimlig internvärmebelastning från personal och datorer. Mer komplexa utrymmen har indata tagits fram med hjälp av erfarna konsulter på GICON. Varje byggnad utgörs av en IDA ICE-modell som består av 1559 zoner, komplexiteten i modellen och storleken på filen gör att IDA ICE bara används för att få fram ett ursprungligt värme- och kylbehov. Resterande beräkningar görs med hjälp av Excel med data från simuleringarna som grund.

Ett tekniskt system med en återvinningsprocess har använts för att kunna återvinna värme från varmare zoner till att värma upp rumsapparater och ackumulatortankar. Det går även att föra bort värmeöverskott i borrhål, vilket innebär att det inte behövs någon köpt energi förutom el till cirkulationspumpar för att bli av med värmeöverskottet. Efter denna process kommer ett behov av köpt energi att uppstå för att täcka värmebehovet, vilket mynnar ut i en jämförelse mellan byggnaderna av behovet av köpt energi samt primärenergital.

1.7 IDA ICE

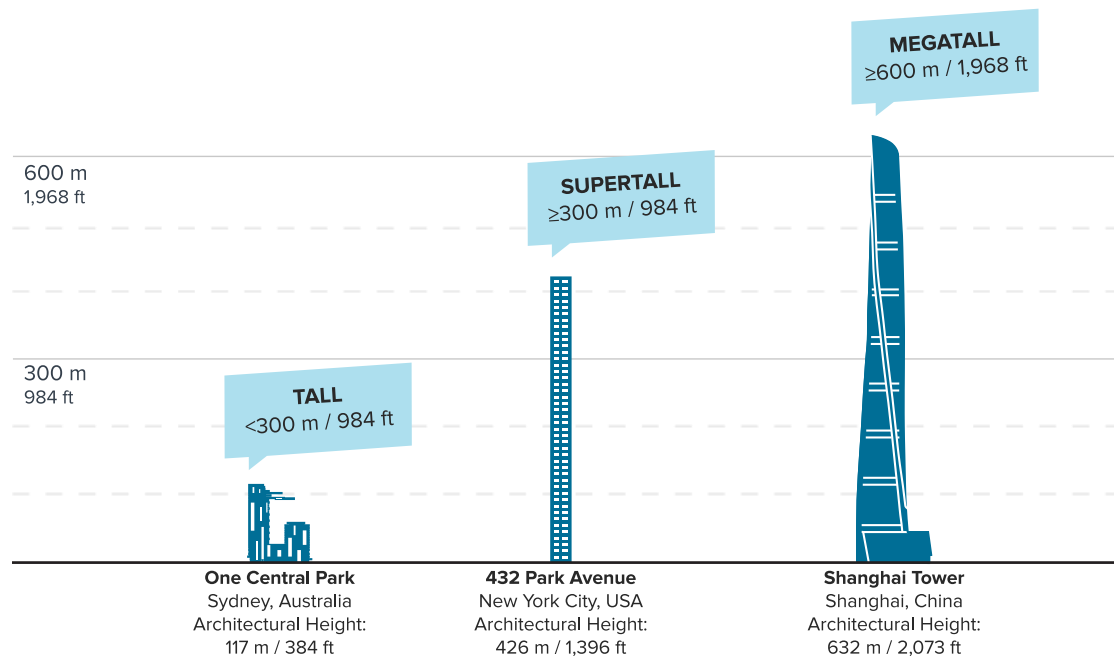
IDA ICE (Indoor Climate and Energy) är ett byggnadssimuleringsverktyg som med olika simuleringar (kylbehov, värmebehov och energibehov) simulerar enkla eller avancerade modeller för att analysera energianvändningen och den tekniska komforten i byggnaden. I IDA ICE modelleras byggnaden i olika zoner, systemval, styr- och reglersystem, det går även att ta hänsyn till bland annat klimatdata, materialdata och standarder, så att det blir så verkligt som möjligt. Simuleringsverktyget kan beräkna fram den årliga energiförbrukningen för en byggnad med hjälp av en klimatfil som berättar vart byggnaden är belägen. IDA ICE är validerat med sju standarder bland annat ASHRAE 140–2004 och CEN Standard EN 15255 till att ge tillförlitliga resultat (EQUA, u.å).

2 Teori

Detta kapitel förser läsaren med grundläggande information om termer och begrepp som används genom uppsatsen. Först en beskrivning av skillnaden på synen av ett högt hus i Sverige kontra ett högt hus i världen. Vidare beskrivs faktorer som bestämmer utformningen av kommersiella byggnader samt andra betydande begrepp vid diskussion av inneklimat.

2.1 Höga byggnader

Höga byggnader har funnits i över 100 år men än idag finns det fortfarande ingen enhetlig definition på höga byggnader. Olika benämningar på höga byggnader kan vara höghus, skyskrapor eller flervåningshus. I Svenska Akademiens Ordböcker (2009) definieras höghus som "hus med många våningar, vanligen minst fem". Enligt CTBUH (The Council on Tall Building and Urban Habitat) är antalet våningar en dålig indikator och har istället definierat tre olika nivåer för höga byggnader där "tall" är $<300m$, "supertall" $\geq 300m$ och "megatall" $\geq 600m$. (CTBUH, u.å,a).



Figur (2.1) Illustration på tall, supertall och megatall (CBTUH, u.å,a).

2.1.1 Situationen i Göteborg

Under århundraden har Göteborg haft en tradition av lägre byggnader men är nu i ett skede där stadsbilden är på väg att förändras och flera höghusprojekt är i full gång, projekt som Citygate 144m och Karlatornet 245m är bara några få av alla pågående höghusprojekt i Göteborg. Vid skrivande av denna uppsats är det Gothia East Tower med 29 våningar och en byggnadshöjd på 100m Göteborgs högsta byggnad.

2.1.2 Varför höga byggnader?

Urbaniseringen idag är mer komplex än tidigare, det är mycket högre invandring från andra länder än inflyttning från landsbygden till storstadsområdena. Städer växer således mer än vad landsbygden minskar (Boverket, 2019a).

I Göteborg ökar befolkningmängden stadigt och inom 20 år beräknas befolkningen ha ökat med 156 000 människor (Göteborg stad, 2019). Ökad befolkning innebär fler bostäder men även kontor, handel och service. Detta ger behovet av en förtätning där fler personer ska få plats på samma yta samtidigt som man måste värna om befintliga grönområden, en av anledningarna till höga byggnader. Att förtäta innebär att målpunkter kommer närmare varandra och därmed kortare resetider, billigare transporter och möjlighet till bättre kollektivtrafik vilket leder till en mer hållbar stad. (Boverket, 2017a).

2.2 Miljöbyggnad

Miljöbyggnad (Sweden Green Building Council) är ett certifieringssystem som bedömer byggnader utifrån ett hållbarhetsperspektiv. Graderingen ligger i guld, silver och brons där ett visst antal bedömningskriterier måste vara uppfyllda för varje nivå. Det ställs krav på primärenergital, dagsljus, andel förnybar energi med flera (Sweden Green Building Council, 2017). Enligt Göteborg stad (2018) gäller inte miljöanpassat byggande på kommersiella lokaler men nämner att de är medlem i Miljöbyggnad. Något som gör Miljöbyggnad till ett bra komplement till BBR för att jämföra resultat på kommersiella byggnader i Göteborg som byggs med hållbarhet i fokus.

2.3 Faktorer för utformning

2.3.1 Rumshöjder

Byggnaders höjd bestäms av våningsplanens höjd. Det finns bestämmelser från Boverket och Arbetsmiljöverket som ställer krav på rumshöjder i byggnaden, dessa krav ger en minsta tillåtna höjd och är beroende på vad för aktivitet eller hur länge det är tänkt att vistas i rummet. I arbetslokaler som är avsedda för ett större antal personer finns det krav på en våningshöjd på 2,7m (Boverket, 2018). Detta för att kunna få till bra belysning, dragfri ventilation samt för att få in tillräckligt med dagsljus (Arbetsmiljöverket, 2016). I enskilda kontor och mindre arbetsrum ska rumshöjden inte vara mindre än 2,4m. I utrymmen som används vid förflyttning ska det normalt inte vara mindre än 2,1m i takhöjd. Några av dessa utrymmen är korridorer och trappor.

I detta arbete jobbar vi med en rumshöjd på 2,7m. Höjd från golv till golv i varje våningsplan är 3,5m. Utrymmet mellan innertak och golv används för olika tekniska installationer och bjälklag.

2.3.2 Arbetsytor

I ett PM från Hans Olsson på Arbetsmiljöverket (25 april 2006) beskrivs att arbetsytorna som behövs är beroende på vad det är för verksamhet, hur många som arbetar i samma rum, vilka möbler man har och vilken utrustning som används. I kontorslokaler är öppna kontorslandskap vanligt, detta gör det lättare att överblicka arbeten och öppnar för kontakt mellan anställda. Öppna kontorslandskap gör det också möjligt att dra ner på lokalkostnader då det får plats mer folk på mindre yta. Cellkontor ger en tystare arbetsmiljö men gör det inte lika inbjudande till att diskutera sina arbetsuppgifter med kollegor. Något specifikt krav på kvadratmeter per anställd person finns inte, utan detta behövs ta i beaktande vid projektering av kontorsbyggnader.

2.3.3 Dagsljus

I kontorsbyggnader är dagsljus en väldigt viktig faktor. I en forskningssammanställning från Arbetsmiljöverket visar det sig att dagsljus är en väldigt viktig faktor för att motverka psykisk ohälsa. I kontorsbyggnader där det finns mycket elektroniskt ljus har forskning visat att dagsljus motverkar störningar i dygnsrytmen och förbättrar välbefinnandet (Arbetsmiljöverket, 2019). I BBR avsnitt 6:322 har man även ställt krav på dagsljus, där står det att ”rum eller avskiljbara delar av rum där människor vistas mer än tillfälligt ska utformas och orienteras så att god tillgång till direkt dagsljus är möjlig” (Boverket, 2019c).

2.3.3.1 Dagsljusfaktor

Dagsljusfaktor (DF) anger förhållandet procentuellt mellan ljusstyrkan inomhus och utomhus en mulen dag och kan beräknas antingen för hand eller med simuleringsverktyg.

Miljöbyggnad har tagit fram tre riktvärden, brons, silver och guld för nyproducerade byggnader som kategoriseras utifrån deras DF. Kravet på DF minskas med 0,2%-enheter för simulerade dagsljusfaktor (Sweden Green Building Council, 2017).

Tabell (2.1). Betygskriterier för handberäknade DF. (Sweden Green Building Council, 2017).

Indikator	Brons	Silver	Guld
Lokalbyggnader	DF $\geq$ 1%	DF $\geq$ 1,2%	DF $\geq$ 1,5%

2.3.3.2 Fönsterglasarea

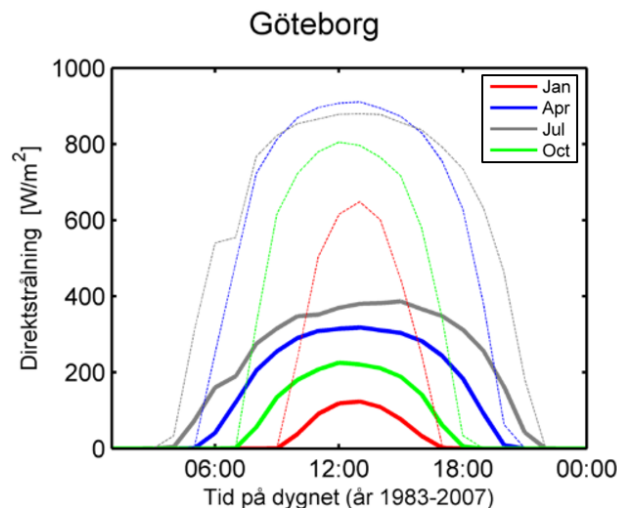
BBR har angett ett allmänt råd (avsnitt 6:322) vid beräkning av fönsterglasarea. Metoden och förutsättningarna är enligt standarden SS 91 42 01 där rummets fönsterglasarea bör minst vara 10% av golvarean. Dagsljusfaktorn blir då cirka 1% (Boverket, 2019c).

2.3.4 G-värde, U-värde och LT-värde

Fönsterglas har ett mått som beskriver dess solskyddande egenskap, detta värde kallas för g-värde och beskriver hur stor del av den solenergi som strålar på glasets yttre sida som sedan tillför värme till rummet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). U-värdet anger hur stor värmeeffekt som transporteras genom ett material per kvadratmeter och temperaturdifferensen i kelvin mellan inne och ute. Ju lägre U-värde desto bättre isoleringsförmåga (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Ljustransmission (LT-värde) beskriver hur mycket av dagsljuset som släpps igenom ett fönsterglas (Pilkington, 2018).

2.3.4.1 Solinstrålning

Solinstrålningen är ett mått på solstrålningen på en vertikal fönsteryta och som varierar med bland annat tidpunkt på året, geografisk position och väderstreck. Det finns både direkt och diffus solinstrålning, där den direkta beror på solens läge och vinkeln på solstrålningen medan den diffusa utgörs av himmelsstrålning och reflektionen från omgivningen. Solinstrålningen påverkar husets energibalans beroende på fönstrets area samt dess solskyddande förmåga, g-värde (Warfvinge & Dahlblom, 2010).



Figur (2.2). Hur direktstrålning mot en fasad åt söder varierar över dygnet för fyra olika månader i Göteborg. Det streckade linjerna redovisar 95% percentilen och heldragna är medelvärde för månaden. (SMHI, u.å.)

2.3.4.2 U_m -värde

BBR ställer krav på att samtliga lokalbyggnaders genomsnittliga värmegenomgångskoefficient i klimatskalet ska som mest vara $0,6 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (Boverket, 2017c)

2.4 Termiskt klimat

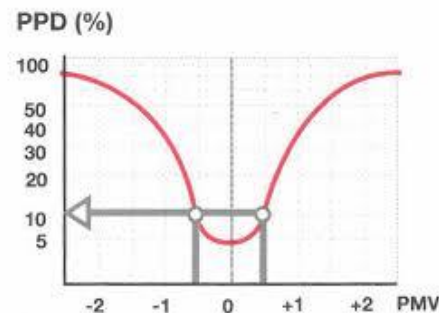
Det termiska klimatet innehåller faktorer som påverkar människans välbefinnande inomhus. Faktorerna är luftens temperatur, fuktighet och lufthastighet men även ytemperaturen (Abel & Elmroth, 2016).

2.4.1 Operativa temperaturen

Den operativa temperaturen är ett mått på hur människor uppfattar det termiska klimatet där man beräknar medelvärdet av luftens temperatur och omgivande ytors medelstrålningstemperatur. Numera är det vanligt att man anger den operativa temperaturen när man utformar krav på inomhusklimat (Abel & Elmroth, 2016).

2.4.2 PPD- och PMV-index

Indexet PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) anger hur stor andel som är missnöjda med det termiska klimatet. PPD-indexet beräknas genom PMV-indexet (Predicted Mean Vote) som beskriver medelvärde av hur en grupp människor upplever ett visst termiskt klimat i en 7-stegs skala från -3 (kallt) till +3 (varmt), där 0 är neutralt. I Figur (2.4) är fallet att 10% av gruppen är missnöjda när PMV ligger mellan -0,5 och 0,5 (Abel & Elmroth, 2016).



Figur (2.3). Hur PPD-indexet ändras med PMV-indexet. (Abel & Elmroth, s56, 2016)

2.4.3 Metabolism

Metabolism (människans ämnesomsättning) är ett begrepp som anger kroppens energiomsättning och är en storhet som varierar med den fysiska aktiviteten. Metabolism har en metabolisk enhet met:

$$1 \text{ met} = \text{värmealstringen } 58,2 \text{ W/m}^2 \text{ kroppsytan} \quad (2.1)$$

En vuxens kroppsytan är mellan $1,6\text{--}1,5\text{ m}^2$. Sittande kontorsarbete motsvarar 1,5 met. (Abel & Elmroth, 2016)

2.4.4 Klädselns isoleringsnivå

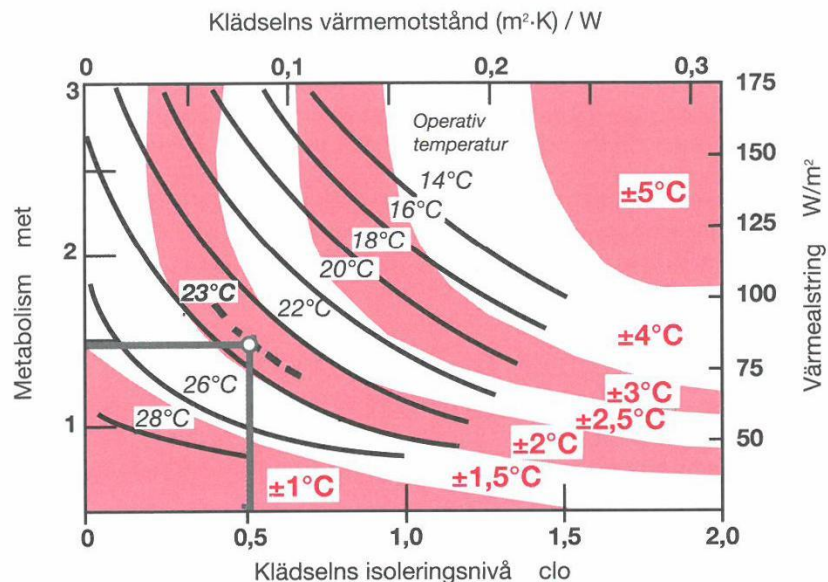
Klädselns isoleringsnivå mäts i clothing units (clo):

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (2.2)$$

Lätt inomhusklädsel (skjorta/blus) motsvara 0,5 clo. (Abel & Elmroth, 2016)

2.4.5 Fangers klimatsamband

Fangers klimatsamband är ett komplext samband mellan människors upplevelser och klimatfaktorer, se Figur (2.4). Sambanden ställs ofta upp i ett diagram som visar vad den erforderliga operativa temperaturen är vid olika värden på metabolism och klädsel för att uppnå ett visst PPD värde, i figuren nedan är PPD 10%. (Abel & Elmroth, 2016)



Figur (2.4). Diagram över Fangers klimatsamband, PPD 10%. (Abel & Elmroth, s57, 2016)

2.4.6 Kvalitetsklasser

Under 1990-talet införde Svenska Inneklimatinstitutet riktlinjer för klassificering av inneklimat genom ett resultat som Scanvac, samarbetsorganisationen för de nordiska VVS-tekniska föreningarna har tagit fram. Krav och råd utifrån svenska myndigheter och standarden SS-EN ISO 7730 är utgångspunkten för riktlinjerna, standarden SS-EN ISO 7730 baseras på PPD-indexet. R1:an - Riktlinjer för specifikation av inneklimat från 2013 är den senaste och aktuella utgåvan (Ekberg, 2013). Riktlinjerna för det termiska klimatet delas in i tre klasser TQ1, TQ2 och TQ3. TQ1 och TQ2 är användbar vid normalt kontorsarbete och TQ3 används inom industrin. (Svensk Ventilation, 2003).

Tabell (2.2) Godtagbara värden för olika faktorer i olika kvalitetsklasser. (Svensk Ventilation, 2003)

Inneklimatfaktor	Faktorvärde i kvalitetsklass			
	TQ1	TQ2	TQ3	TQX
Operativ temperatur (t₀)				
Vinterfall				Enl. spec.
- högsta värde °C	23	24	26	
- optimalvärde °C	22	22	22	
- lägsta värde °C	21	20	18	
Sommarfall				"
- högsta värde °C	25,5	26	27	
- optimalvärde °C	24,5	24,5	24,5	
- lägsta värde °C	23,5	23	22	

2.5 Termisk lagring

Termisk lagring är benämningen på ett materials förmåga att lagra värme. Detta kan också beskrivas när det talas om ett byggnadsmaterials termiska massa. De grundläggande principerna för termisk lagring är ett materials värmeledningsförmåga, specifik värmekapacitet och dess densitet. Termisk lagring kan ske med passiv eller aktiv lagring.

Passiv lagring innebär att lagringen sker utan någon medveten energitillförsel finns. Vid passiv lagring benämns oftast byggnadens klimatskal. Om byggnadens väggar, tak och golv har en hög termisk massa bidrar detta till att byggnaden får en hög värmetröghet vilket kan användas för lagring av värme under kortare perioder.

Aktiv lagring kan ske på flera olika sätt, bland annat i lagring i värme- och ventilationssystem och lagring i anslutning till byggnaden där till exempel akvifärlager och borrhålslager är några exemplar. (Heier, 2013).

2.5.1 Byggnadsstomme

Det finns olika typer av stommaterial och vanligtvis används trä, betong eller stål men det förekommer även i olika materialkombinationer, beroende på val av stommaterial ger det olika värmelagringsförmågor. Byggnadsstommen kan delas in i två kategorier; lätt stomme och tung stomme.

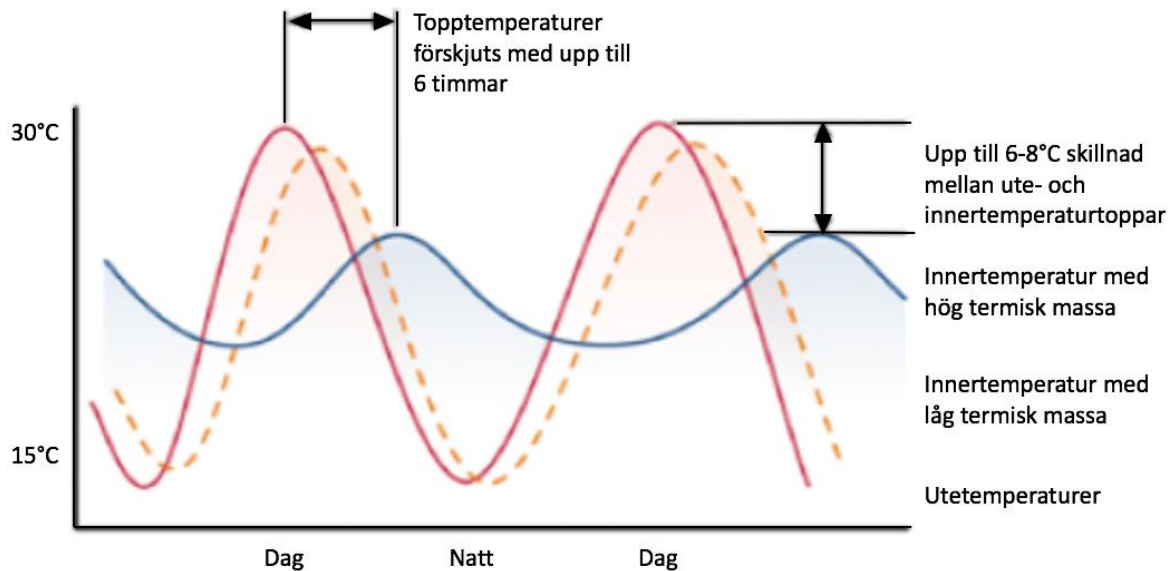
2.5.1.1 Tung stomme

En tung stomme har bättre värmelagringsförmåga vilket gör byggnaden mer energisnål om den utnyttjas på rätt sätt med till exempel kontorsverksamhet på dagen som sedan övergår till en tom byggnad. Detta gör att stommen till exempel kan lagra kyla från nattens lägre temperaturer för att sedan kyla av rummet under dagen. Tvärtom sker under dagen då stommen succesivt värms upp och värmer byggnaden passivt under natten. Detta gör att effekttopparna skalas bort (Karlsson, Rönneblad, Kurkinen, Wadsö, 2010).

2.5.1.2 Lätt stomme

En lätt stomme har lägre termisk massa vilket gör att materialets temperatur lättare varierar med utetemperaturen. Detta gör att materialet inte ofta håller liknande temperatur som det önskade inneklimatet och inte kan hjälpa till att kyla eller värma byggnaden (The Concrete Centre, 2008)

Den termiska massans stabiliserande effekt på innertemperaturen



Figur (2.5). Ett materials temperatur beroende på termisk massa och innetemperatur, anpassad efter The Concrete Centre (2008)

2.6 Ventilationssystem

Ventilationssystemets primära uppgift är att hålla rumsluften ren i byggnaden, vilket innebär att i ett slutet utrymme föra in ren luft (tilluft) till rätt ställe och föra bort förorenad luft (frånluft). Detta görs genom att uteluften filtreras och konditioneras till rätt temperatur och RF för att sedan förse önskat utrymme med den önskade luftmängden. Den förorenade luften förs i sin tur bort med frånluftsdon. Ventilationens uppgift kan även vara att skapa ett undertryck inomhus och föra bort värmeöverskott eller att tillföra värme till ett rum (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.6.1 SFP

Specifik fläkteffekt SFP (Specific Fan Power) är ett mått på ventilationssystemets eleffektivitet och definieras enligt följande:

$$SFP = \frac{P_{tilluft} + P_{frånluft}}{q_{max}} [kW/(m^3/s)] \quad (2.3)$$

$P_{tilluft}$ Tillförd el till tilluftsfläkten [kW]

$P_{frånluft}$ Tillförd el till frånluftsfläkten [kW]

q_{max} Det största av till- och frånluftsflödena [m^3/s]

(Warfvinge & Dahlblom, 2010)

2.6.2 VAV-system

VAV-system (Variable Air Volume) är ett variabelflödessystem och används i utrymmen med varierande belastning, ofta i lokalbyggnader. Luftflödet under drifttiden kan regleras efter behov där antingen en eller flera faktorer spelar in så som till exempel rumstemperatur, koldioxidhalt eller personnärvaro. Detta gör att systemet i vissa fall kan gå på mindre effekt vissa tider på dygnet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I detta arbete används ett VAV-system som varierar beroende på personnärvaro.

2.6.2.1 Drifttider

Drifttider på ventilation i kontorsbyggnader är en viktig del vid dimensioneringen. Det är vanligt att ventilationen startar en timme före öppning och en timme efter stängning. Detta för att systemet ska kunna komma till det önskade inneklimatet innan arbetsdagen börjar. Skanska använder vanligtvis drifttiderna 06–20 på kontor (Sveby 2010). Det går också att reglera så att systemet inte går på sin fulla kapacitet. Detta kan regleras med beläggningsgraden, som är ett mått på hur stor andel av kontoret som är närvarande vid en speciell tidpunkt (Sveby 2010).

2.6.3 Luftflöden i kontorsbyggnader

Arbetsmiljöverket ställer krav på kontorsbyggnader uteluftsflöde, detta för att få till en god inomhusmiljö. I kontor finns det ett behov av ett hygienluftflöde som är den mängd luft som behövs tillsättas för att hålla luften ren. Det är en rekommendation att ha luftmängd på 7 l/s/person . Det ställs också krav från BBR om ett luftflöde på $0,35 \text{ l/s/m}^2$ golvarea i rum där personer antas vistas en längre tid (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

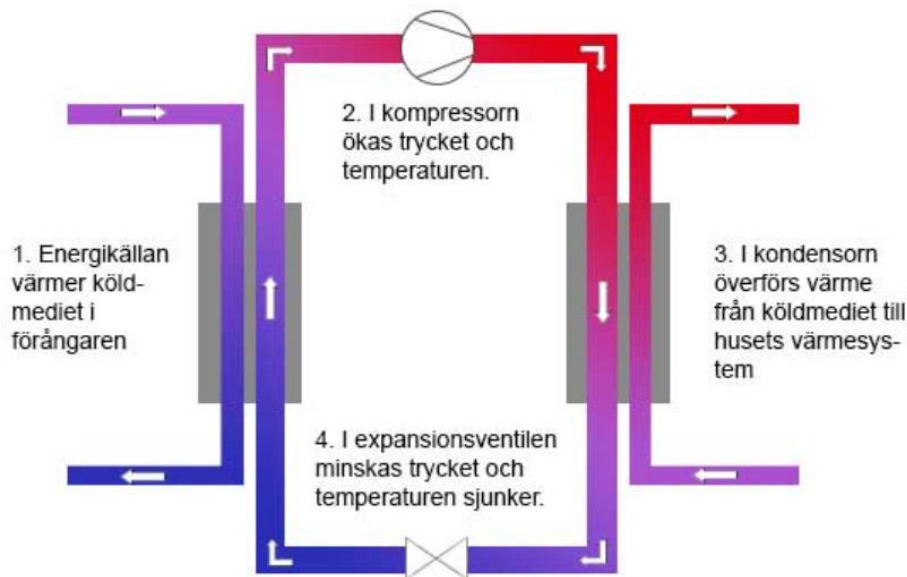
Enligt Sveby (2010) så beräknas det specifika uteluftsflödet i kontor vara $1,5 \text{ l/s, m}^2, A_{temp}$, detta luftflöde grundar sig i att varje person har 20m^2 till sitt förfogande. Om luftflödet per person är 7 l/s/person så skulle alltså luftflödet vara $1,15 \text{ l/s/m}^2 \text{ golvarea}$, vilket är betydligt mer än kravet från BBR som ligger på $0,35 \text{ l/s/m}^2$. I kontor där folk sitter mer tätt kan luftflödet per person ökas till 12 l/s , detta för att kunna upprätthålla en god inomhusmiljö även i tätare kontorslandskap. Dessa värden är antagna utan hänsyn till komfortbehovet.

2.6.4 Luftburen kyla kontra vattenburen kyla

I byggnader med stort kylbehov där luftburen kyla används innebär det väldigt stora luftflöden och samtidigt större utrymmen för teknik. Vid en jämförelse av en byggnad, som liknar den analyserade till höjden, byggnadsarea och maximalt kylbehov $[W/m^2]$, med luftburet- och vattenburet kylsystem så behöver ett utrymmena för tekniska installationer vara ungefär 35% mindre till ytan för ett vattenburet kylsystem (Erntoft & Lundberg, 2019). Detta gör att i byggnader med stort kylbehov är vattenburen kyla att föredra då det är mer yteffektivt.

2.7 Värmepump

Värmepump är en värmekälla som använder el för att utvinna värme som finns i bland annat berggrunden, vattendrag, uteluften eller frånluften. I en värmepump cirkulerar ett köldmedium genom en förångare, kompressor, kondensor och strypventil, se Figur (2.6). Köldmediet varierar mellan att förångas i kompressorn och kondenseras i kondensorn. Kompressorn höjer trycket och samtidigt temperaturen medan expansionsventilen sänker trycket temperaturen. (Warfvinge & Dahlblom, 2010).



Figur (2.6). Så här fungerar en värmepump (Polarpumpen u.å.b).

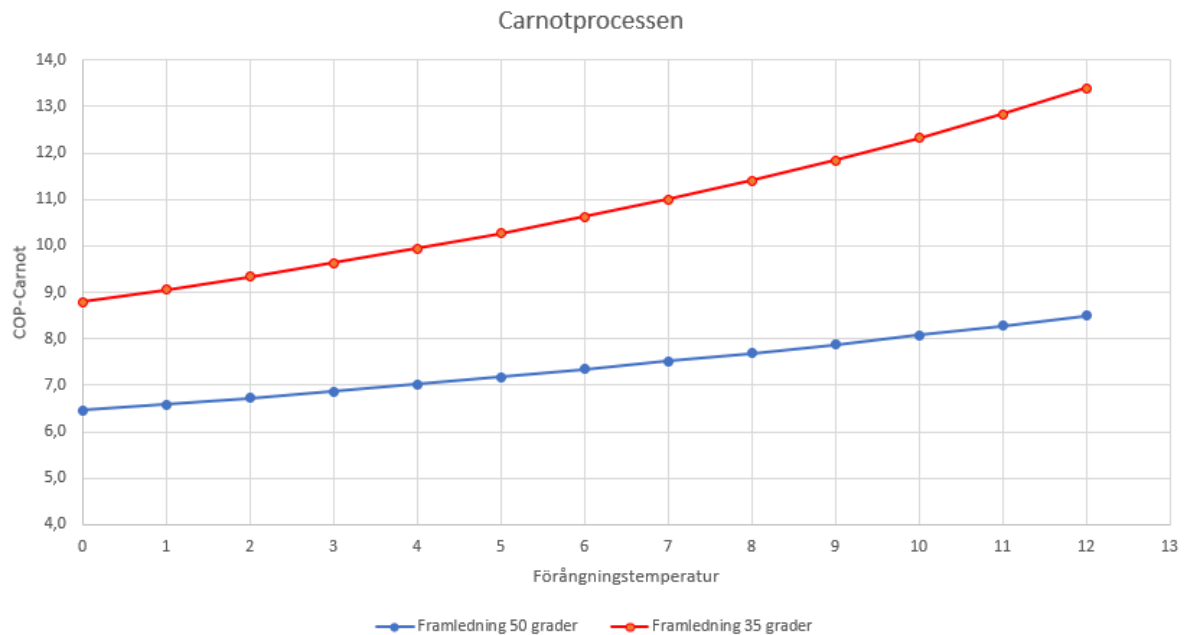
2.7.1 Carnotprocessen (COP_c)

COP (Coefficient Of Performance) är måttet på en värmepumps prestanda, även kallad godhetstal eller värmefaktor. Carnotprocessen beskriver den teoretiskt maximala värmefaktorn för en värmepump, godhetstalet är beroende på hur effektivt värmepumpen arbetar och hur stora förlusterna är. Vid Carnotprocessen är förlusterna noll vilket skulle innebära att verkningsgraden på värmepumpen 100%. Detta fungerar endast i teorin då en värmepump alltid har bland annat friktionsförluster i arbetet vilket gör att effektiviteten sänks.

Carnotprocessens värmefaktor COP_c kan beräknas enligt ekvation nedan (Lindholm, 2003).

$$COP_c = \frac{T_{k1}}{T_{k1} - T_{k2}} \quad [-] \quad (2.4)$$

T_{k1} Temperatur ut [K]
 T_{k2} Temperatur in [K]



Figur (2.7). Carnotprocessen för en bergvärmepump med varierande temperatur på förångarsidan och två olika framledningstemperaturer, anpassad efter Lindholm (2003).

Figuren visar på vikten av att temperaturdifferensen mellan förångar- och kondensorsidan är så liten som möjligt, detta gör att COP_c blir större.

2.7.1.1 Verkligt COP

Det verkliga COP på en värmepump kan uppskattas genom att använda den så kallade Carnotverkningsgraden. Det verkliga COP räknas ut genom att ta verkningsgraden på värmepumpen multiplicerat med COP_c enligt ekvation (2.5). En värmepump av nyare kvalité har oftast en verkningsgrad runt 60%, äldre värmepumpar hade en verkningsgrad på 50%. Det innebär alltså att det som styr en värmepumps verkliga COP är temperaturdifferensen mellan förångar- och kondensorsidan samt värmepumpens verkningsgrad.

$$COP = COP_c * \eta \quad (2.5)$$

η Verkningsgrad [-]
 COP_c Carnotprocessens COP [-]

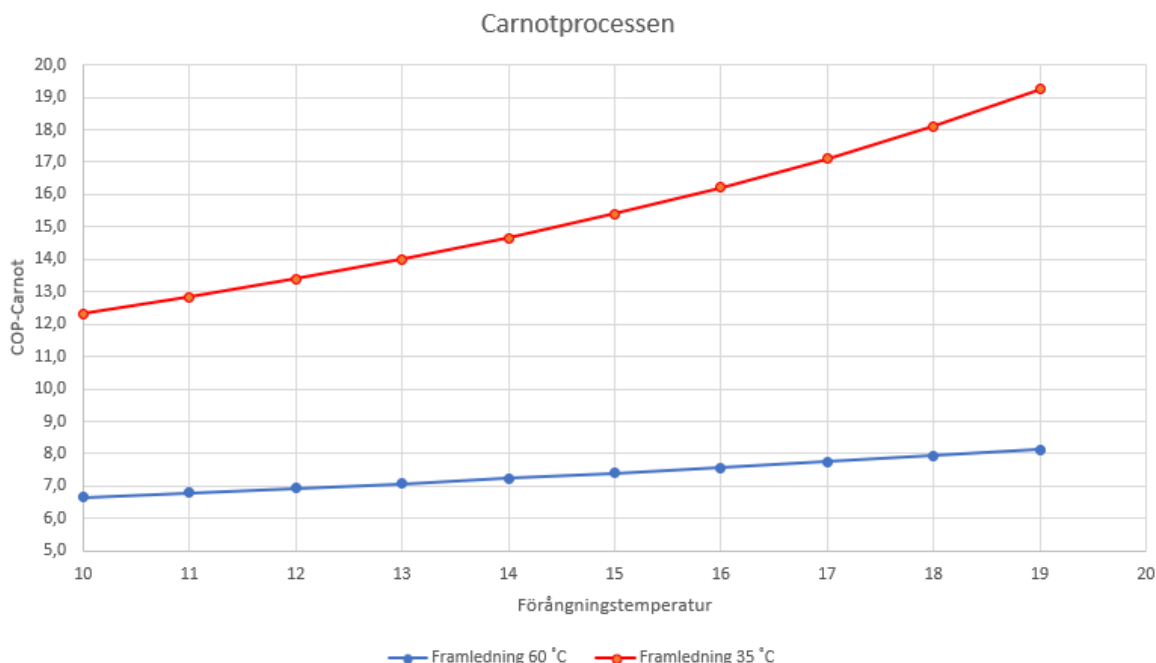
Om en värmepump har COP-värde på exempelvis 5 motsvarar det att värmepumpen ger 5 gånger så mycket värme som den el som tillsätts (Polarpumpen, u.å.a). Det slutgiltiga elbehovet för värmepumpen beräknas enligt ekvation (2.6). Där värmeeffektbehovet som behöver skapas divideras med COP som resulterar i elbehovet. (Lindholm, 2003).

$$COP = \frac{Q}{W} \rightarrow W = \frac{Q}{COP} \quad (2.6)$$

Q Avgiven värme vid förångaren [W]
 W El tillförd kompressorn [W]

För att processerna med värmepumparna ska vara så effektiva som möjligt behövs höga COP, temperaturdifferensen mellan förångar- och kondensorsidan behöver således vara så låg som möjligt och är en viktig faktor att diskutera tidigt i projekteringsstadiet.

Ett system med en lägre framledningstemperatur, till exempel ett golvvärmesystem, har en mycket effektivare återvinning än ett system med ett högre framledningstemperatur, till exempel ett radiatorsystem.



Figur (2.8). Carnotprocessen visar ett exempel på en återvinningsprocess från ett kallare system till ett varmare och vikten av en låg temperaturdifferens mellan båda sidorna.

Carnotprocessen i Figur (2.8) visar skillnaden på två system med olika framledningstemperatur. En värmepump med en verkningsgrad på 60% ger ett verkligt COP enligt Tabell (2.3), där visas även att en återvinningsprocess med värmepump till ett värmesystem med en framledningstemperatur på 35°C är mer än dubbelt så effektiv som ett system med framledningstemperatur 60 °C.

Tabell (2.3). En jämförelse av en värmepumps, med en verkningsgrad på 60%, verkliga COP på två olika värmesystem med olika framledningstemperatur.

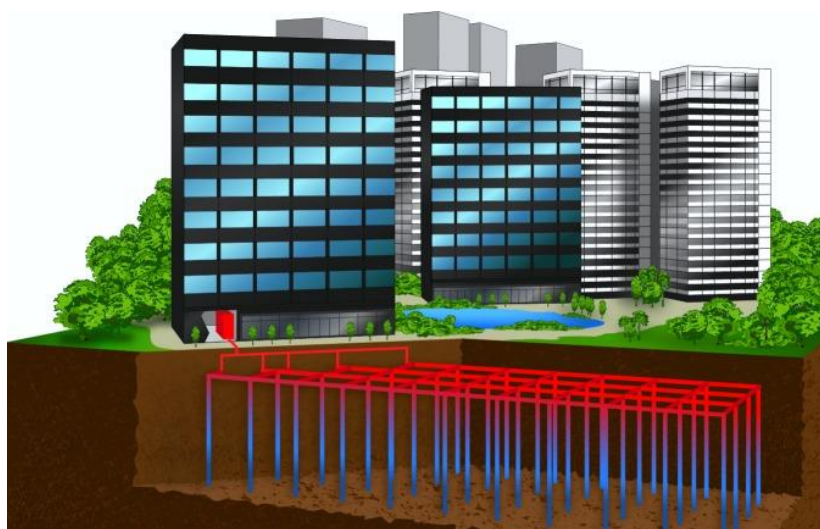
Förångarsidan [°C]	Framledning 60 °C [COP]	Framledning 35 °C [COP]
14	4,3	8,8
15	4,4	9,2
16	4,5	9,7
17	4,5	10,3
18	4,8	10,9
19	4,9	11,6

2.8 Geoenergi

Geoenergi beskrivs som utnyttjande av energi ifrån mark, jord och berg. Det är en term som används när det borrar till ett djup av max 400 meter, djupare än så kallas det geotermi. Sedan 2007 har energimyndigheten angett geoenergi som en förnyelsebar källa för energi (SGU, u.å).

2.8.1 Bergvärmepump

Värmepumpen utvinner värme under vintern som lagrats djupt nere i berg, grundvatten eller mark via borrhål, där köldmediet cirkulerar i ett slangsystem nere i borrhålet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). De geologiska förhållandena behöver vara lämpliga för att en bergvärmepump ska fungera. Djupet och antal borrhål bestäms av hur mycket energi och effekt som behövs (Malmberg, u.å).



Figur (2.9). Hur geoenergi - bergvärme utvinns. (Malmberg, u.å)

2.8.2 Frikyla

Frikyla, även kallad för naturlig kyla används som en beskrivning av kylmetoder som inte kräver någon energi förutom el till pumpar och fläktar. Beroende på om byggnadens kylbehov hanteras genom ett vattenburet system eller bara med ventilationsluft finns några olika alternativ på frikyla. Den typ av frikyla som analyseras i detta arbete är frikyla genom borrhål.

Utvinning av värme under de kalla perioderna på ett år gör att värme förs bort från berggrunden och det värmeunderskott som då skapas i borrhålen gör att det går och använda sig av frikyla under de varmare perioderna. Återförd värme gör att berggrunden värms upp och återladdas så att det går att utvinna värme från samma borrhål igen. Den enda energi som krävs för att frikyla ska fungera är el till cirkulationspumparna. (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Markytan i Sverige beskrivs enligt Banks (2012) variera med 20°C beroende på årstid i den yttersta skorpan, nere på sex meters djup varierar det bara 1°C. Markens temperatur i de nordiska länderna varierar mellan 2–11°C på djupet 10–150 meter. Den kalla temperaturen i marken tillsammans med att variationen av temperaturen är liten gör det till en bra källa för att kyla byggnader.

Antalet borrhål som behövs för att förse byggnader med önskad effekt styrs av hur stor effekt det går att utvinna i borrhålet och hur långt det går att borra. Hur stor effekt det går att utvinna i ett borrhål styrs av berggrundens uppbyggnad, grundvattenförhållanden och jordlagerföljd (SGU, 2016). För att få fram detta behövs antingen en geoteknisk undersökning göras eller en prövning av borrhålet. Borrhålen måste distanseras med 20 meter från varje borrhål för att de inte ska riskera att ladda ur varandra. Detta gäller om borrhålen endast används för att plocka ut värme under vintern. Om borrhålen återladdas genom att även återföra värme går det att borra tätare (SGU, u.å).

2.9 Fjärrvärme och fjärrkyla

Fjärrvärme är ett etablerat sätt att värma byggnader i Göteborg och tillhandahålls av Göteborgs energi som ägs av Göteborgs Stad. Genom att ta tillvara på spillvärme från raffinaderier och sopförbränning så blir det ett billigt och effektivt sätt att värma byggnader. Vatten värms upp, oftast på ett kraftvärmeverk, för att sedan pumpas ut i värmeisolerade rör i marken till konsumenter som är anslutna till fjärrvärme-nätet. Det är ett slutet system som vid varje anslutning till konsumenten har en värmeväxlare som växlar värmen till konsumentens egna värmesystem. Priset för fjärrvärme beror på tillgång och efterfrågan och varierar över året (Göteborgs Energi, u.å.a).

Fjärrkyla är ett centralt system för att distribuera kyla till fastigheter. Det är inte lika väl etablerat som fjärrvärme men finns tillgängligt i de centrala delarna av Göteborg och används av bland annat större kontorsfastigheter och köpcentrum. Göteborgs Energi har ett projekt som kallas "Vision Fjärrkyla 2025" som ska göra det möjligt för större delar av staden att ansluta sig till fjärrkyla-nätet (Göteborg Energi u.å.b)

2.10 Primärenergital

Primärenergitalet EP_{pet} beräknas enligt ekvationen (2.7) och är ett mått på en byggnads energiprestanda (Boverket, 2019b). Primärenergitalet baseras på att varje energibärare; el, fjärrvärme, fjärrkyla, biobränsle, olja och gas i den levererade energin har en vikningsfaktor som kallas för primärenergifaktorn, värden finns i BBR Tabell 9:2b. Geografiska justeringsfaktor (F_{geo}) för att ta hänsyn till klimatskillnader mellan olika delar i Sverige finns i BBR Tabell 9:2c, i Göteborg är $F_{geo} = 0,9$. Kravet från BBR på primärenergitalet för lokalbyggnader är $80 \text{ kWh}/A_{temp}, \text{År}$. (Boverket, 2017c).

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) * PE_i}{A_{temp}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ och år}} \right] \quad (2.7)$$

$E_{uppv,i}$	Energi till uppvärmning för energibärare i [$\text{kWh}/\text{år}$]
$E_{kyl,i}$	Energi till komfortkyla för energibärare i [$\text{kWh}/\text{år}$]
$E_{tvv,i}$	Energi till tappvarmvatten för energibärare i [$\text{kWh}/\text{år}$]
$E_{f,i}$	Energi till fastighetsenergi för energibärare i [$\text{kWh}/\text{år}$]
F_{geo}	Geografisk justeringsfaktor [-]
PE_i	Primärenergifaktor för el, fjärrvärme, fjärrkyla, biobränsle, olja och gas [-]

Tabell (2.4). Primärenergifaktorer från BBR Tabell 9:2b. (Boverket, 2017c)

Energibärare	Primärenergifaktor (PE_i)
El (PE_{el})	1,6
Fjärrvärme (PE_{fjv})	1,0
Fjärrkyla (PE_{kyl})	1,0
Biobränsle (PE_{bio})	1,0
Olja (PE_{olja})	1,0
Gas (PE_{gas})	1,0

Det har lagts fram ett förslag år 2020 från BBR på att sänka kravet på lokalbyggnader från 80 till 65. Även att höja primärenergifaktorn för el till 1,85 och sänka primärenergifaktorn för fjärrvärme till 0,95. Men detta hade inte ännu fattats något beslut om när arbetet genomfördes (Boverket, 2020).

3 Analyserade byggnader

Arbetet har grundat sig i en studie av fyra höghus, A-D, med samma utformning, planlösning och tekniska system men med olika klimatskal, fönster och inre solavskärmning. I detta kapitel presenteras därmed byggnadernas utformning, skillnaderna mellan byggnaderna, val av indata och systemuppsättning.

3.1 Byggnadens utformning

Byggnadens utformning ska likna en kontorsbyggnad med mycket glas i fasaden. Detta för att få så stora värme- och kylbehov som möjligt som sätter det tekniska systemet på prov. Om denna typ av byggnad med största möjliga glasandelen klarar funktionskraven så innebär det att även enklare variationer av utformning också klarar funktionskraven.

Varje byggnad utgörs av 40 våningar och har en byggnadshöjd på 141,5m. Det finns totalt 2100 fasta kontorsplatser, fördelningen och utformningen av våningarna redovisas i Tabell (3.1–3.2). A_{temp} för varje byggnad uppgår till 40 605m².

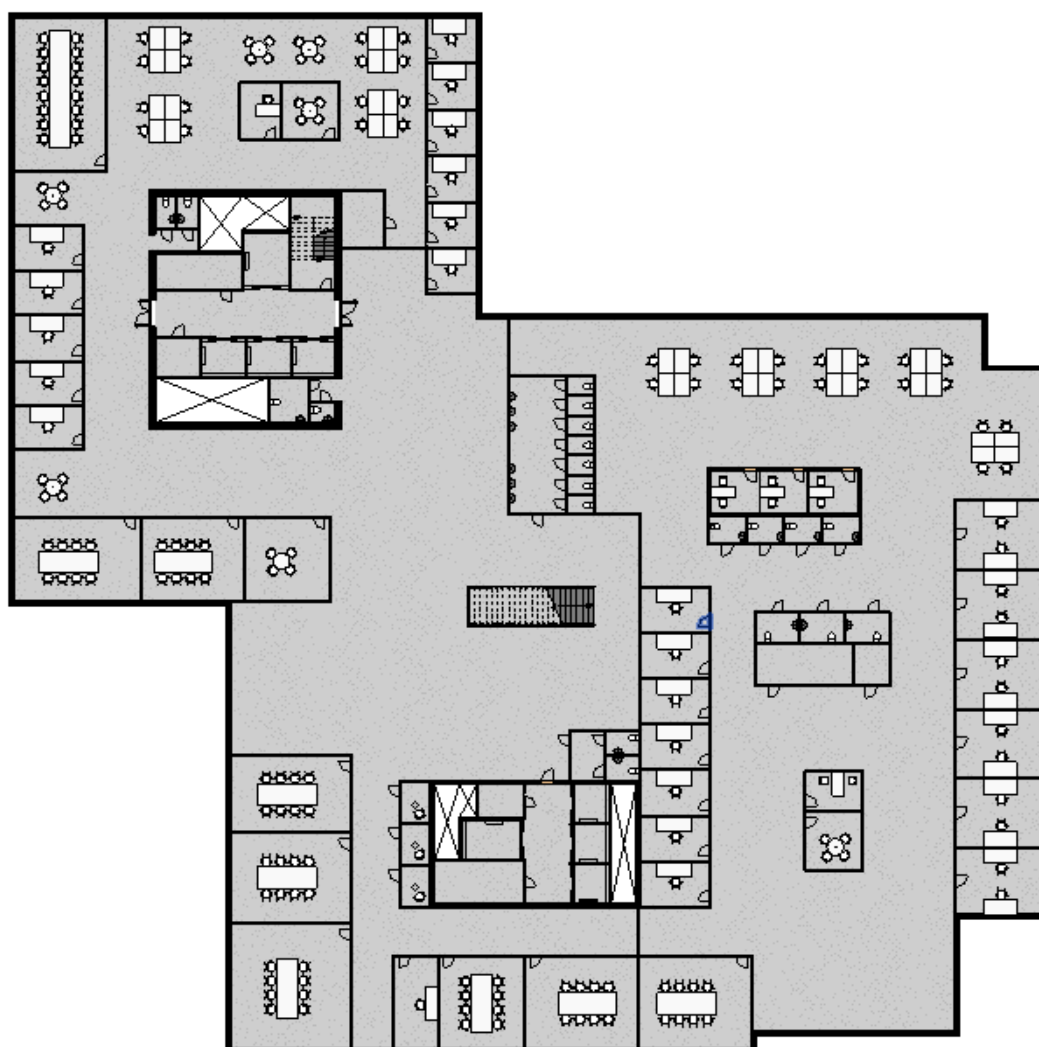


Figur (3.1). Byggnadens utseende.

I den nedersta våningen finns en reception, cykelparkering, diverse förråd och en restaurang med plats för 200 personer. De tre nästkommande våningarna (våning 2–4) är kombinerade konferens- och kontorsplan.

Tabell (3.1). Utformningen för våning 1–4.

Våning	A_{temp} [m ²]	Takhöjd [m]	Funktion	Kontorsplatser [st]		Platser i konferensrum [st]
				cellkontor	landskap	
1	2627	4,5	Reception och restaurang	-	-	-
2–4		3	Konferensplan	30	40	120

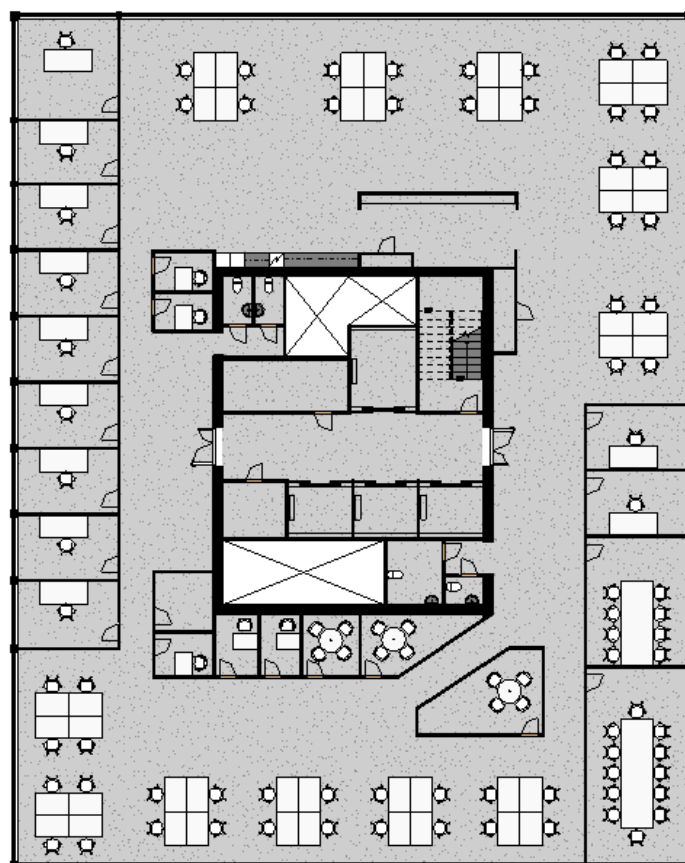


Figur (3.2). Planlösning konferens- och kontorsplan.

Resterande våningarna utgörs av ett torn på 34 kontorsplan och 2 teknikplan. En inre betongkärna löper igenom varje våningsplan där kärnan innehåller fyra hissar, en utrymningstrappa, toaletter samt schakt för installationer. Det finns även ett utrymme för fika samt lunch, kopieringsrum och andra utrymmen som är nödvändiga för att bedriva en kontorsverksamhet.

Tabell (3.2). Utformningen för våning 5–40.

Våning	A_{temp} [m ²]	Takhöjd [m]	Funktion	Kontorsplatser [st]		Platser i konferensrum [st]
				cellkontor	landskap	
5–16	836	3	Kontorsplan	11	48	32
17			Teknikplan	-	-	-
18–28			Kontorsplan	11	48	32
29			Teknikplan	-	-	-
29–40			Kontorsplan	11	48	32



Figur (3.3). Planlösning kontorsplan.

3.2 Skillnader mellan byggnaderna

Byggnaderna A-C är utformade med lätt stomsystem och glasfasad i olika kvalitéer. Byggnad D används som referens med ett tungt stomsystem och en fönsterandel som är minsta möjliga för att klara dagsljuskravet. Val av solavskärmning grundar sig i samråd med konsulter på GICON, där vi bestämt ett maximalt kylbehov på 80 W/m^2 i varje zon och det medför att en automatiserad solavskärmning är installerad att avskärma när solinstrålningen är $\geq 200 \text{ W/m}^2$ mot utsidan på fasaden. Detta för att kunna kyla rummen med konventionella kylapparater som till exempel kylbafflar. Detta krav gör att byggnad A är tvunget att få en väldigt mycket tätare samt mörkare gardin än byggnad B för att klara det maximala kylbehovet. Under några få timmar på året är det några zoner i byggnaderna som vetter mot söderläge där det maximala kylbehovet överskrider 80 W/m^2 .

Tabell (3.3). Byggnadens stomsystem, fönsterandel och U_m -värde för klimatskalet.

Byggnad	A	B	C	D
Stomsystem	Lätt	Lätt	Lätt	Tung
Fönsterandel fasad	87,4%	87,4%	87,4%	23,5%
U_m -värde	0,83	0,53	0,53	0,29

Tabell (3.4). LT-, g- och U-värde samt färg på reflektionen för fönster.

LT-värde	0,75	0,63	0,27	0,75
g-värde	0,68	0,34	0,16	0,68
U-värde	1,2	0,7	0,7	1,2
Utseende i reflektion	Neutral	Neutral	Neutral/Blå	Neutral

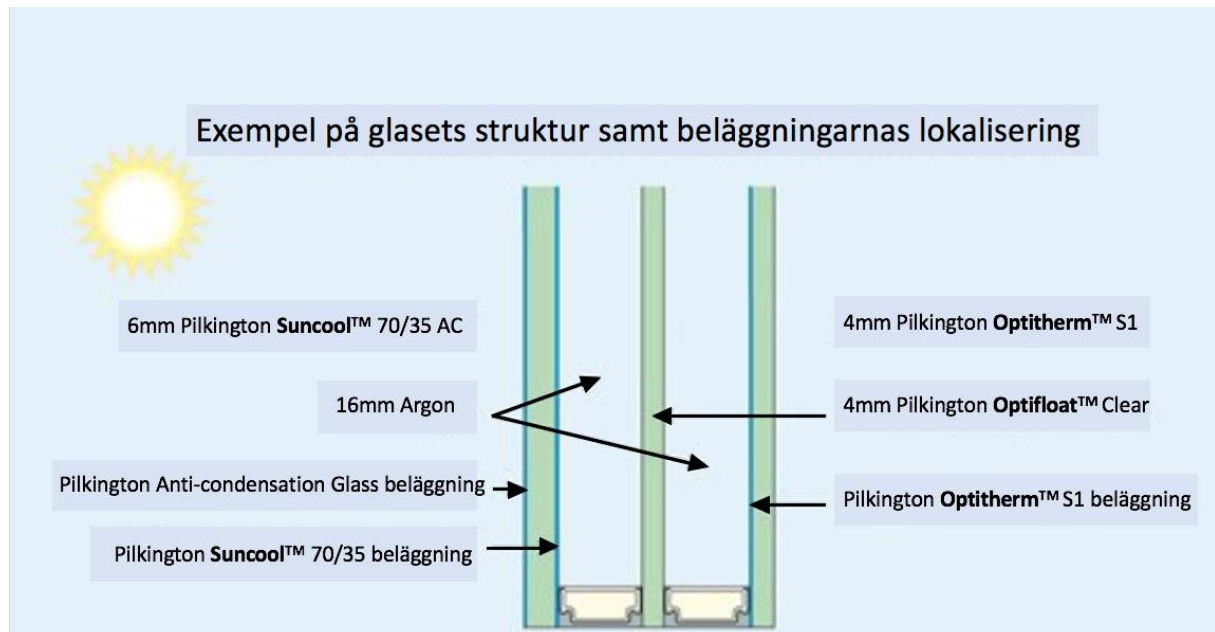
Tabell (3.5). Faktorer på LT-, g- och U-värde för solavskärmning.

LT-värde	0,21	0,61	-	-
g-värde	0,44	0,62	-	-
U-värde	0,87	0,87	-	-

Tabell (3.6). Resultande LT-, g- och U-värde för fönster med solavskärmning

Byggnad	A	B	C	D
LT-värde	0,16	0,38	0,27	0,75
g-värde	0,30	0,21	0,16	0,68
U-värde	1,04	0,61	0,7	1,2

Samtliga fönstertyper är 3-glasfönster med tomrum mellan glasen. Tomrummen är fyllda med 16 mm argon. Strukturen av solskyddsglasen visas i Figur (3.4). Fönsterna i byggnad A, B och D har neutralt utseende både i transmission och reflektion. Byggnad C fönster har en neutralt utseende i transmission men ett lite blåare utseende i reflektion.



Figur (3.4). Exempel på glasets struktur (Pilkington, 2020)

Angivna LT-, g- och U-värden för fönster är hämtade från glasleverantören Pilkington, dessa fönster med denna prestanda finns tillgängligt för försäljning. Värdena för solavskärmningarna är hämtade från IDA ICE och är faktorer som multipliceras med respektive värde på fönstret för att få resulterande värde.

3.3 Indata

3.3.1 Inneklimat

Kvalitetsklassen på byggnaderna har satts till TQ2 (PPD=10%). Värden på respektive inneklimatfaktor finns i Tabell (2.2). Byggnadens kylsystem är satt till att gå in och börja kyla vid 23,5°C mellan datumen 15 maj och 31 augusti, detta för att hålla TQ2 även under sommarperioden. Under vinterperioden 31 augusti till 15 maj så går byggnadens kylsystem in vid 22°C. Detta har modifierats med ett schema i IDA ICE och gäller på alla arbetsdagar under året, redovisas i kapitel 3.3.2.1. Vid helger och lediga dagar på året tillåts inomhustemperaturen variera mellan 18°C och 25°C.

3.3.2 Hygienluftflöde

För att även ta hänsyn till komfortbehovet har hygienflödet för respektive yta på kontorsplanen beräknats med ekvationen (3.1).

$$10 \text{ l/s/person} + 0,35 \text{ l/s/m}^2 \text{ golvarea} \quad (3.1)$$

I detta arbete har ett VAV-system använts som styrs efter närvaroschemat som redovisas i Tabell (3.7–3.8), detta ger ett resulterande medelluftflöde på 1,6 l/s, A_{temp} .

3.3.2.1 Närvaroschema

Nedanstående scheman används för att styra ventilationen, den interna värmebelastningen och andelen personer som vistas i byggnaden. Dessa scheman är inställda att gå på veckodagarna då kontoren antas vara stängda på helgdagar. Enligt Sveby (2010) är normalvärdet för personal på ett kontor 70% i beläggingsgrad.

Tabell (3.7). Närvaroschema för restaurang och fik.

Klockslag	Beläggingsgrad
7–10	50 %
10–11	100 %
11–12	50 %
12–13	100 %
13–15	50 %
15–16	100 %
16–18	50 %

Tabell (3.8). Närvaroschema för kontor och övriga utrymmen.

Klockslag	Beläggingsgrad
7–8	50 %
8–12	70 %
12–13	50 %
13–17	70 %
17–18	50 %

3.3.3 Fastighetsel

I byggnadens fastighetsel ingår hissar, ventilationsfläkt, pumpar och allmänna belysningen. El till hissar och pumpar är antagna efter konsultation med G. Andersson (Personlig kommunikation 9 april 2020) och är erfarenhetsvärden. El till belysning i trapphus och ventilationsfläkt har räknats fram. För beräkning se bilagor.

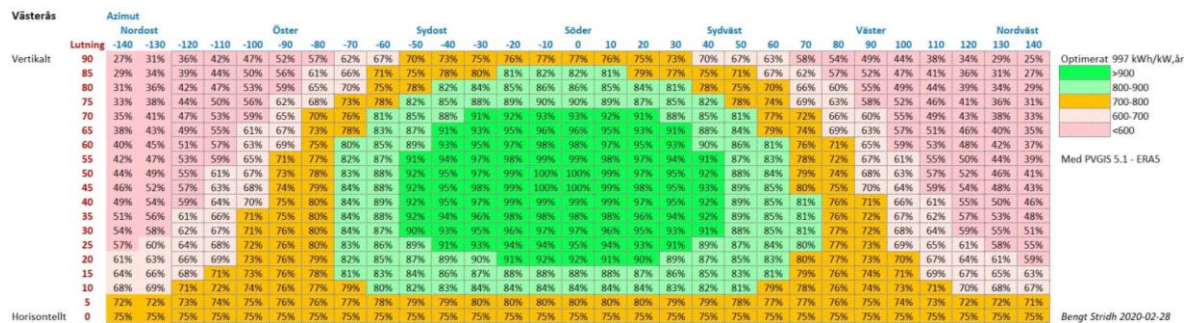
Tabell (3.9). Värden använda för beräkning av fastighetsel. [kWh/A_{temp}]

Hiss	Pumpar	Ventilationsfläkt	Belysning
2	1,5	4,4	0,1

Detta gör att all fastighetsel uppgår till $8,0 \text{ kWh}/A_{temp}$ i samtliga fastigheter.

3.3.4 Solceller

Solceller kan eventuellt monteras på taket samt på varje våningsplans bjälklag på fasaderna som vetter mot öst, väst och syd. En beläggning av solceller på tornets tak har antagits till 70% och konferensplanets tak till 50%, detta ger en tillgänglig area för solceller på 1608 m² på de båda taken. Summerat alla väderstreck ger detta en total tillgänglig area på 1286 m², varav 454 m² på fasaderna mot öst och väst och 377 m² på fasaden mot söder. En förenklad solcellsberäkning har gjorts och alla solceller beräknas kunna generera en effekt på 364 889 kWh per år. För beräkning se bilagor.



Figur (3.5). Bild som visar hur effektiv en solcell är beroende på väderstreck och lutning. (Stridh ,2020)

3.4 Analyserade systemuppsättningar

Tre olika systemuppsättningar jämförs med varandra. Det systemen har gemensamt är att de är vattenburna, använder samma rumsapparater och samma distributionssystem, men drivs med olika primärenergikällor.

Huvudfokuset kommer ligga på hur system 1 och vad som behöver fungera för att systemet ska bli fungera med frikyla genom borrhål. System 1 är det system som kommer få lägst behov av köpt energi men som kommer ställa väldigt stora krav på förutsättningarna på tomten. Därför jämförs detta system med 2 och 3 som är helt oberoende vilka förutsättningar som finns. I Tabell 3.10 visas vad samtliga system har för ingående komponenter och vad som skiljer dem åt.

Tabell (3.10). Tabell som visar de system som jämförs och vad de har för ingående komponenter.

System	Fjärrvärme	Fjärrkyla	VPÅV	BVP	Frikyla genom borrhål	Kylmaskin
1			X	X	X	
2			X	X		X
3	X	X				

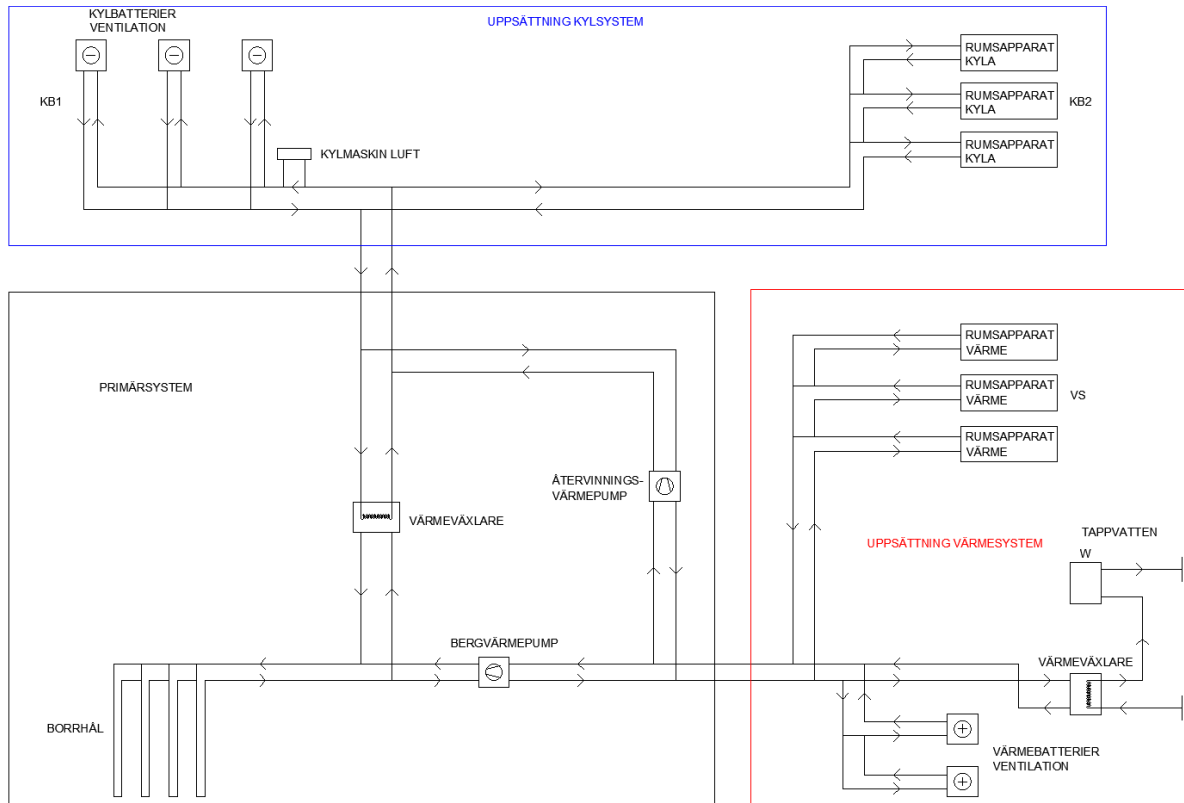
Tabell (3.11). Olika driftfall som kommer behöva hanteras i samtliga system.

Driftfall	Kylbehov KB1	Kylbehov KB2	Värmebehov VS	Värmebehov VV	Kommentar
1	Ja	Ja	Nej	Ja	
2	Nej	Ja	Ja	Ja	Kylbehov > Värmebehov
3	Nej	Ja	Nej	Ja	
4	Nej	Ja	Ja	Ja	Kylbehov < Värmebehov

KB1 Kyla till ventilationsaggregat
 KB2 Kyla till rumsapparater
 VS Värme till rumsapparater
 VV Tappvatten

3.4.1 System 1

System 1 har en principiell systemuppbyggnad som ser ut som redovisad i Figur (3.6). Här kylv allt värmeöverskott bort genom frikyla genom borrhål. Detta är en förenklad bild som inte redovisar ventiler eller shuntgrupper. Det redovisas också de olika driftfallen och hur dessa hanteras.



Figur (3.6). Förenklad bild över hur det första tekniska systemet är uppbyggt i samtliga byggnader.

Tabell (3.12). Beskrivning av hur system 1 hanterar de olika driftfallen som anges i Tabell (3.11).

Driftfall	Återvinning	Geoenergi
1	Återvinning KB2 → VV med VP COP=3 KB1 kyls vid $\geq 22^{\circ}\text{C}$ av kylmaskin COP=2,7	Resterande överskottsvärme kyls bort i marken
2	Återvinning KB2 → VS med VP COP=6 Återvinning KB2 → VV med VP COP=3	Resterande överskottsvärme kyls bort i marken
3	Återvinning KB2 → VV med VP COP=3	Resterande överskottsvärme kyls bort i marken
4	Återvinning KB2 → VV med VP COP=3 Återvinning KB2 → VS med VP COP=6	Resterande värmebehov till radiator med BVP COP=4

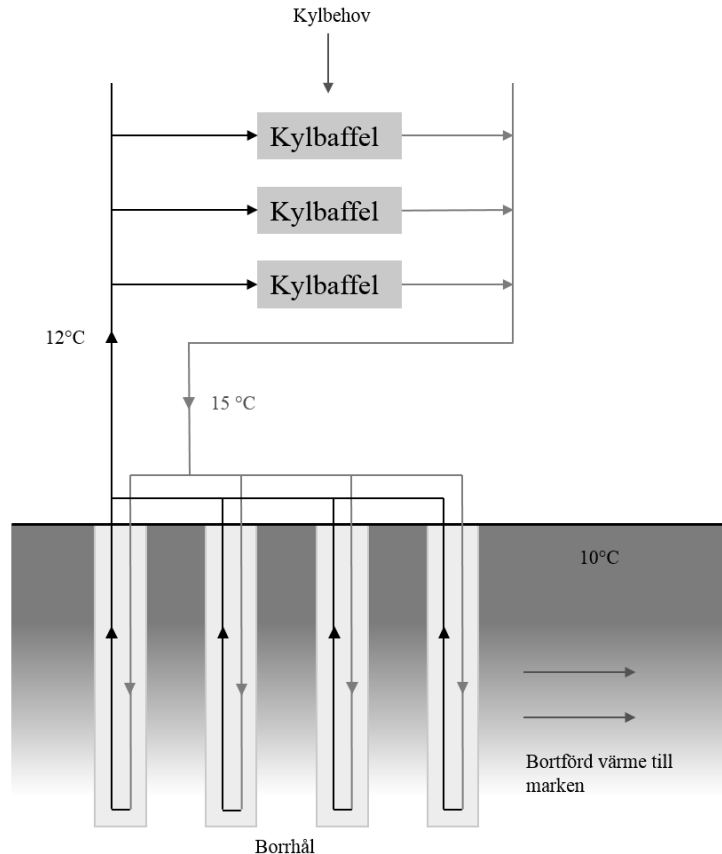
De angivna COP-värdena är erfarenhetsvärden från G. Andersson (Personlig kommunikation 31 mars 2020) som är tagna från verkliga processer.

3.4.1.1 Återvinning av värme

Byggnadernas tekniska system är uppbyggda så att den överblivna värmen i de varmare zonerna av byggnaden återvinns och värmer de kallare zonerna i byggnaden. Detta sker med hjälp av återvinningsvärmepumpar som illustreras i Figur (3.6). Det finns två olika värmepumpar där den ena återvinner till rumsapparater värme och en värmepump som värmer ackumulatortankarna för varmvattnet. Vardera värmepumpsprocess har ett eget COP som anges i Tabell (3.12). Detta gör det möjligt att ta tillvara på byggnadens olika behov och på det sättet få ett lägre värmebehov i byggnaderna.

3.4.1.2 Frikyla

Det värmeöverskott som finns kvar efter återvinningsprocesserna överförs via en värmeväxlare till den vätska som cirkuleras i kollektorslangarna i borrhålen. Detta gör att den enda energi som krävs är el till att driva pumparna som gör att vätskan kan cirkulera i kollektorslangarna.



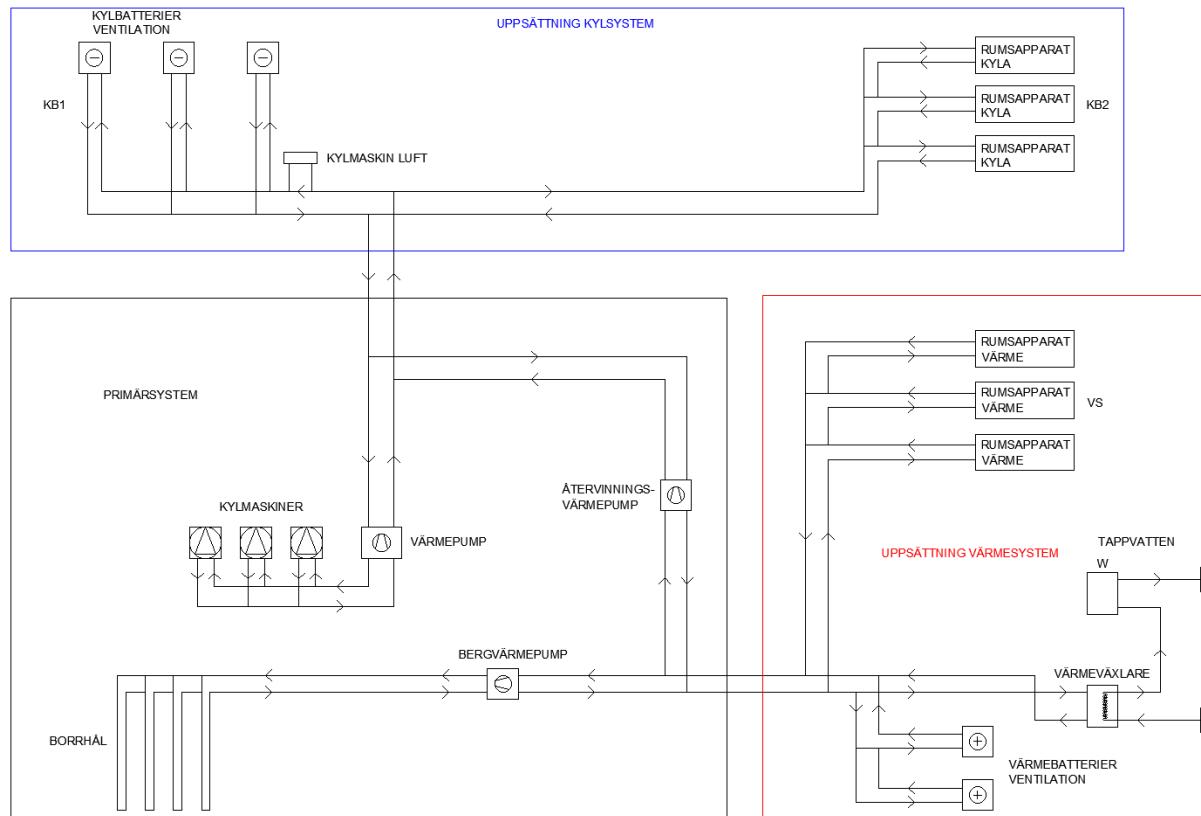
Figur (3.7). Principiell figur som visar hur frikyla genom borrhål fungerar, figuren är anpassad efter Banks (2012) och exempeltemperaturer finns redovisat.

3.4.1.3 Kylning av ventilationsluft

Vid tillfällen då utetemperaturen överskrider 22°C startar en luftkylare för att kyla utomhusluften till den valda tilluftstemperaturen. Detta för att inte behöva dimensionera anläggningen efter de värsta effekttopparna när det är som varmast ute. Detta specialfall inträffar 129 timmar på ett helt år i de simulerade fallen.

3.4.2 System 2

System 2 har en principiell systemuppbyggnad som ser ut som redovisad i Figur (3.8). Istället för att bli av med värmeöverskottet genom borrhål som i system 1 används här kylmaskiner. Detta är en förenklad bild som inte redovisar ventiler eller shuntgrupper. Det redovisas också de olika driftfallen och hur dessa hanteras.



Figur (3.8). Förenklad bild över hur det andra tekniska systemet är uppbyggt i samtliga byggnader.

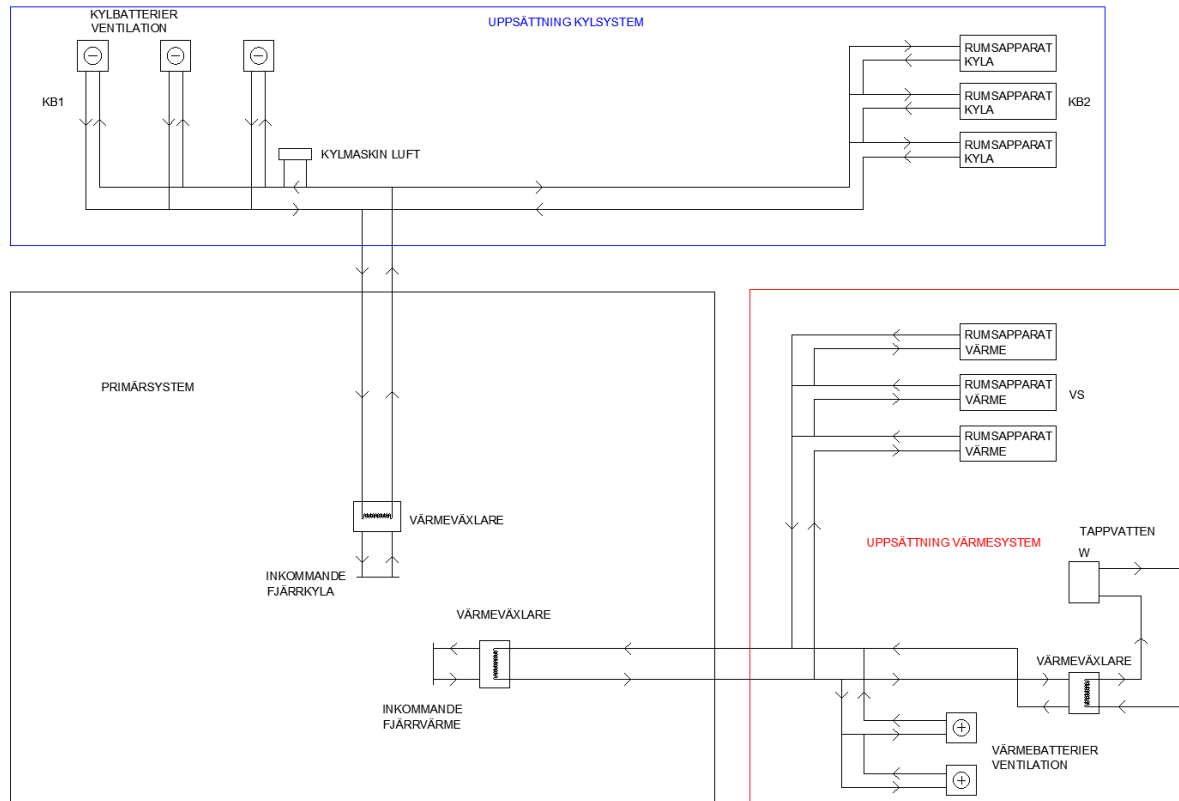
Tabell (3.13). Beskrivning av hur system 2 hanterar de olika driftfallen som anges i Tabell (3.11).

Driftfall	Återvinning	Överskott
1	Återvinning KB2 $\rightarrow$ VV med VP COP=3 KB1 kyla vid $\geq 22^{\circ}\text{C}$ av kylmaskin COP=2,7	Resterande överskottsvärme kyla bort med kylmaskin COP=2,7
2	Återvinning KB2 $\rightarrow$ VS med VP COP=6 Återvinning KB2 $\rightarrow$ VV med VP COP=3	Resterande överskottsvärme kyla bort med kylmaskin COP=2,7
3	Återvinning KB2 $\rightarrow$ VV med VP COP=3	Resterande överskottsvärme kyla bort med kylmaskin COP=2,7
4	Återvinning KB2 $\rightarrow$ VV med VP COP=3 Återvinning KB2 $\rightarrow$ VS med VP COP=6	Resterande värmebehov till radiator med BVP COP=4

De angivna COP-värdena är erfarenhetsvärden från G. Andersson (Personlig kommunikation 31 mars 2020) som är tagna från verkliga processer.

3.4.3 System 3

System 3 har en principiell systemuppbyggnad som ser ut som redovisad i Figur (3.9). Hela energibehovet täcks med fjärrvärme och fjärrkyla. Det finns ingen intern återvinning i byggnaden. Detta är en förenklad bild som inte redovisar ventiler eller shuntgrupper. Det redovisas också de olika driftfallen och hur dessa hanteras.



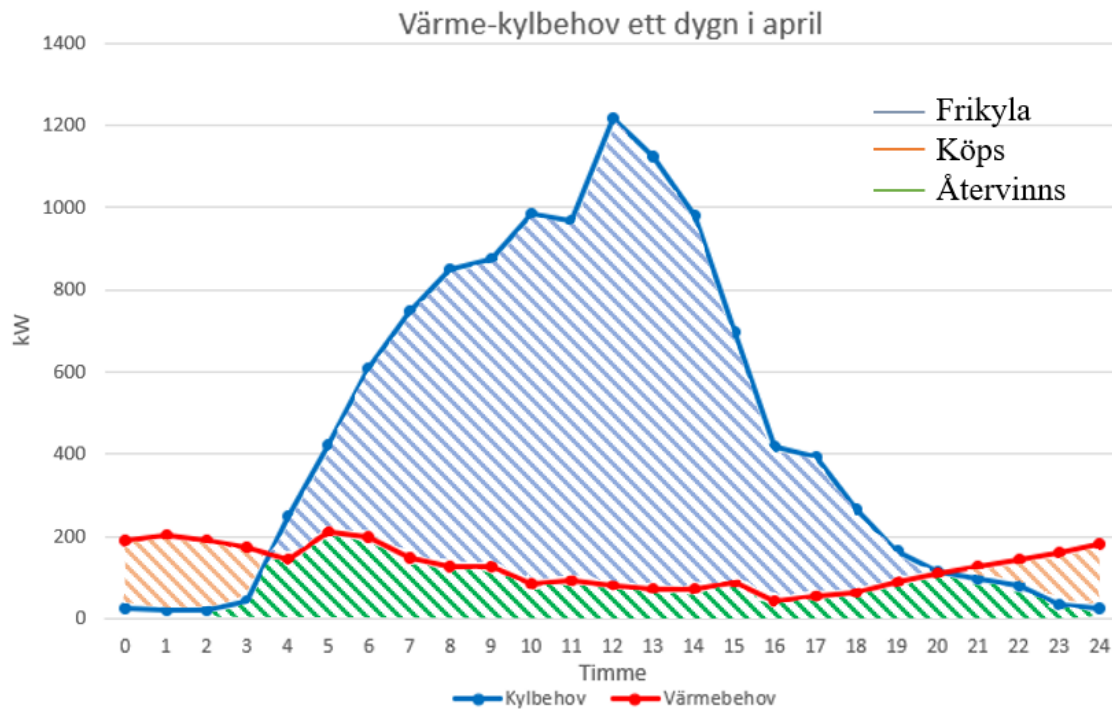
Figur (3.9). Förenklad bild över hur det tredje tekniska systemet är uppbyggt i samtliga byggnader.

Tabell (3.14). Hur de olika driftfallen i system 3 hanteras.

Driftfall	Kommentar
1	All värme och kyla köps in.
2	All värme och kyla köps in
3	All värme och kyla köps in.
4	All värme och kyla köps in.

3.5 Driftfall på ett dygn

Under ett dygn så blir det stora variationer på värme- och kylbehovet vilket innebär att allt värmeöverskotts som skapas mitt på dagen inte kan tas till vara på. Detta redovisas i Figur (3.10) och visar att även fast det under dygnet finns ett värmeöverskott så kommer fortfarande bergvärmepumpen behöva förse byggnaden med värme under de kallare timmarna på kvällar och nätter.



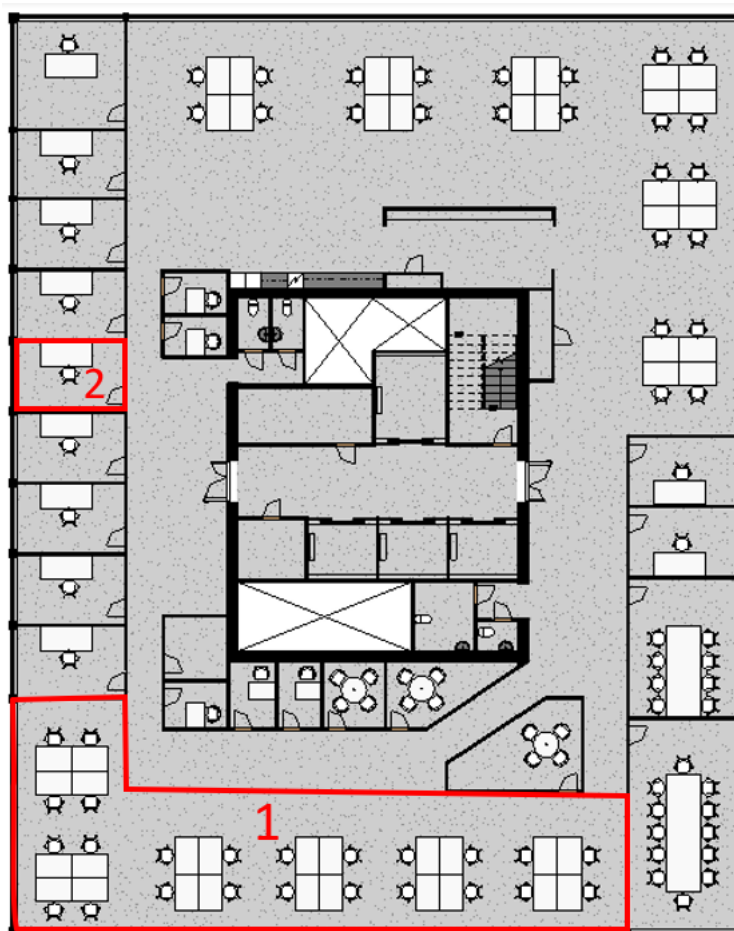
Figur (3.10). Värme- och kylbehov från byggnad A som redovisas över ett dygn och hur behoven förses.

4 Resultat

Här presenteras samtliga resultat för byggnaderna. Modellering samt simulering av byggnaderna i IDA ICE har gett ett årligt energibehov för varje byggnad. Dessa ligger till grund för resterande beräkningar som är gjorda i Excel.

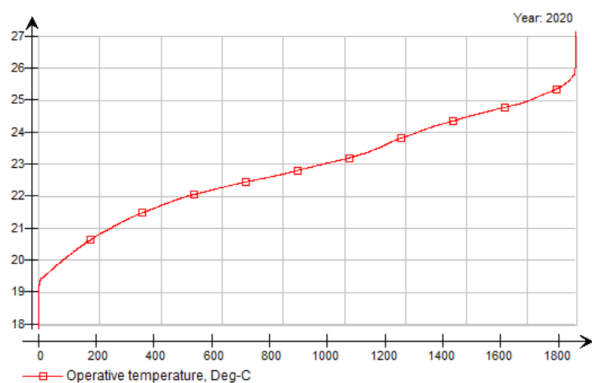
4.1 Inneklimat

De två markerade zonerna används som exempel för att redovisa huruvida byggnaderna klarar kravet på den operativa temperaturen utefter den valda kvalitetsklassen TQ2, zon 1 står för kontorslandskapet mot söder och zon 2 står för cellkontor.

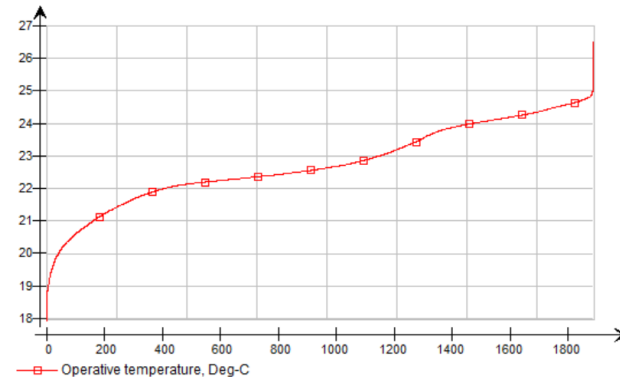


Figur (4.1). Zoner som redovisas med operativtemperatur samt PPD-index.

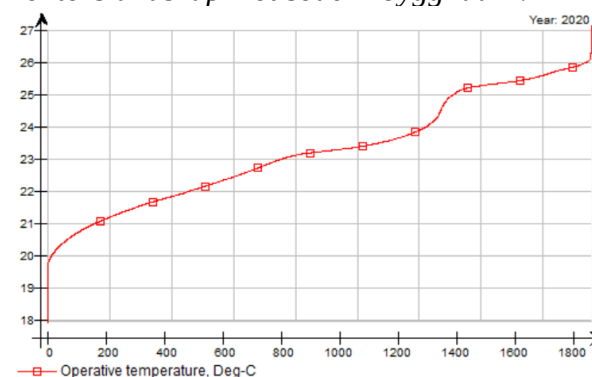
Diagrammen på nästkommande sida visar varaktighetsdiagram över den operativa temperaturen i ett kontorslandskap mot söder och ett cellkontor som vetter mot väst i respektive byggnad.



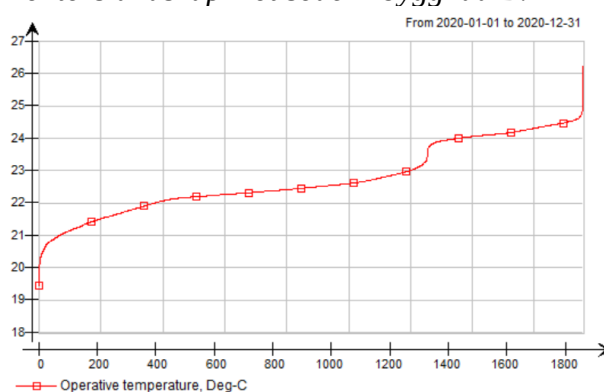
Figur (4.2). Operativ temperatur i kontorslandskap mot söder i byggnad A.



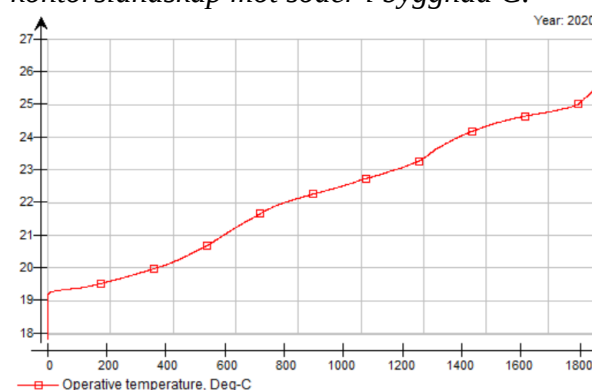
Figur (4.3). Operativ temperatur i kontorslandskap mot söder i byggnad B.



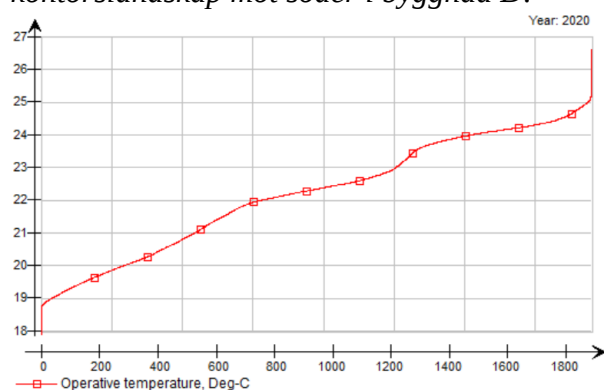
Figur (4.4). Operativ temperatur i kontorslandskap mot söder i byggnad C.



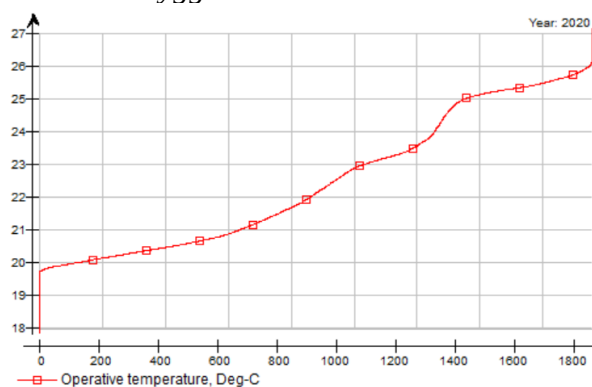
Figur (4.5). Operativ temperatur i kontorslandskap mot söder i byggnad D.



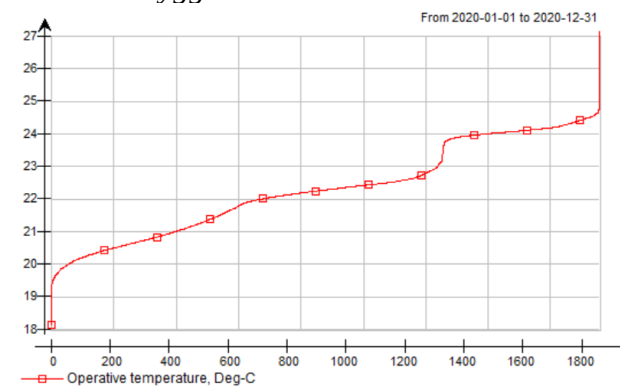
Figur (4.6). Operativ temperatur i cellkontor mot väst i byggnad A.



Figur (4.7). Operativ temperatur i cellkontor mot väst i byggnad B.

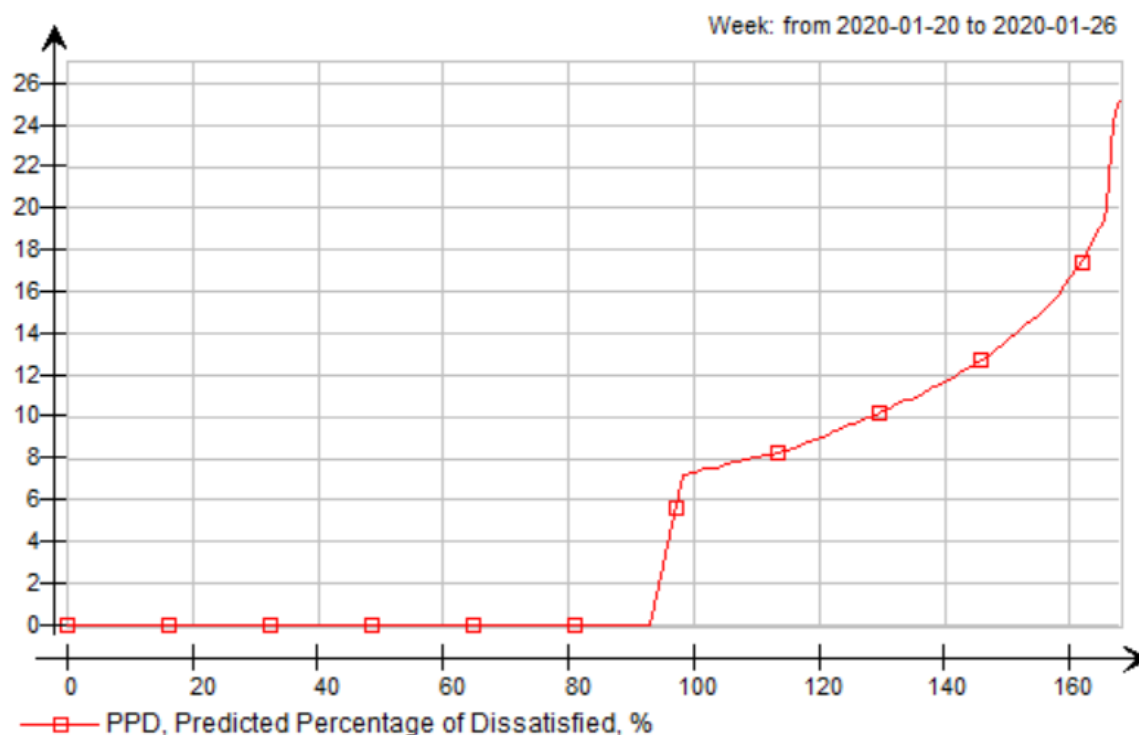


Figur (4.8). Operativ temperatur i cellkontor mot väst i byggnad C.



Figur (4.9). Operativ temperatur i cellkontor mot väst i byggnad D.

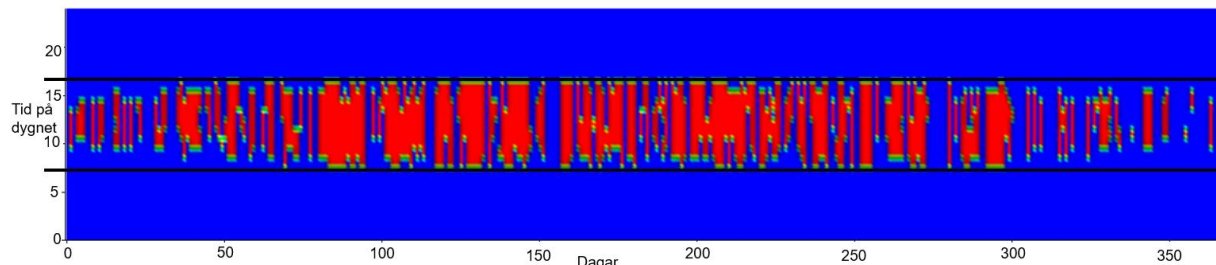
Indexet som redovisas i Figur (4.10) är från byggnad C och det redovisar den arbetsvecka som är sämst utifrån PPD-indexet. Det ser någorlunda samma ut för samtliga byggnader, därför redovisas bara ett diagram.



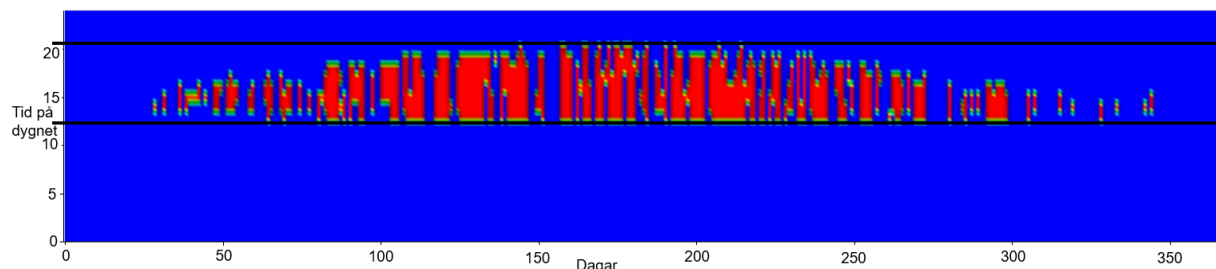
Figur (4.10). PPD-index för kontorslandskapet mot söder i byggnad C.

4.1.1 Solavskärmning

Om man skulle ha en automatiserad solavskärmning som drar för fönsterna när solen strålar med en intensitet på 200 W/m^2 så skulle det innebära för byggnad A och B att solavskärmningen är fördragen väldigt stor del av tiden då folk vistas på kontoret. I Figur (2.2) kan man utläsa att den direkta solinstrålningen i Göteborg överstiger 200 W/m^2 stora delar av tiden mellan april-oktober.



Figur (4.11). Vilken tid på dygnet solavskärmningen är fördragna på byggnaderna A och B på fasaden mot söder redovisat över ett helt år, simulationen visar att det mellan 08–16 är fördraget stora delar av året.

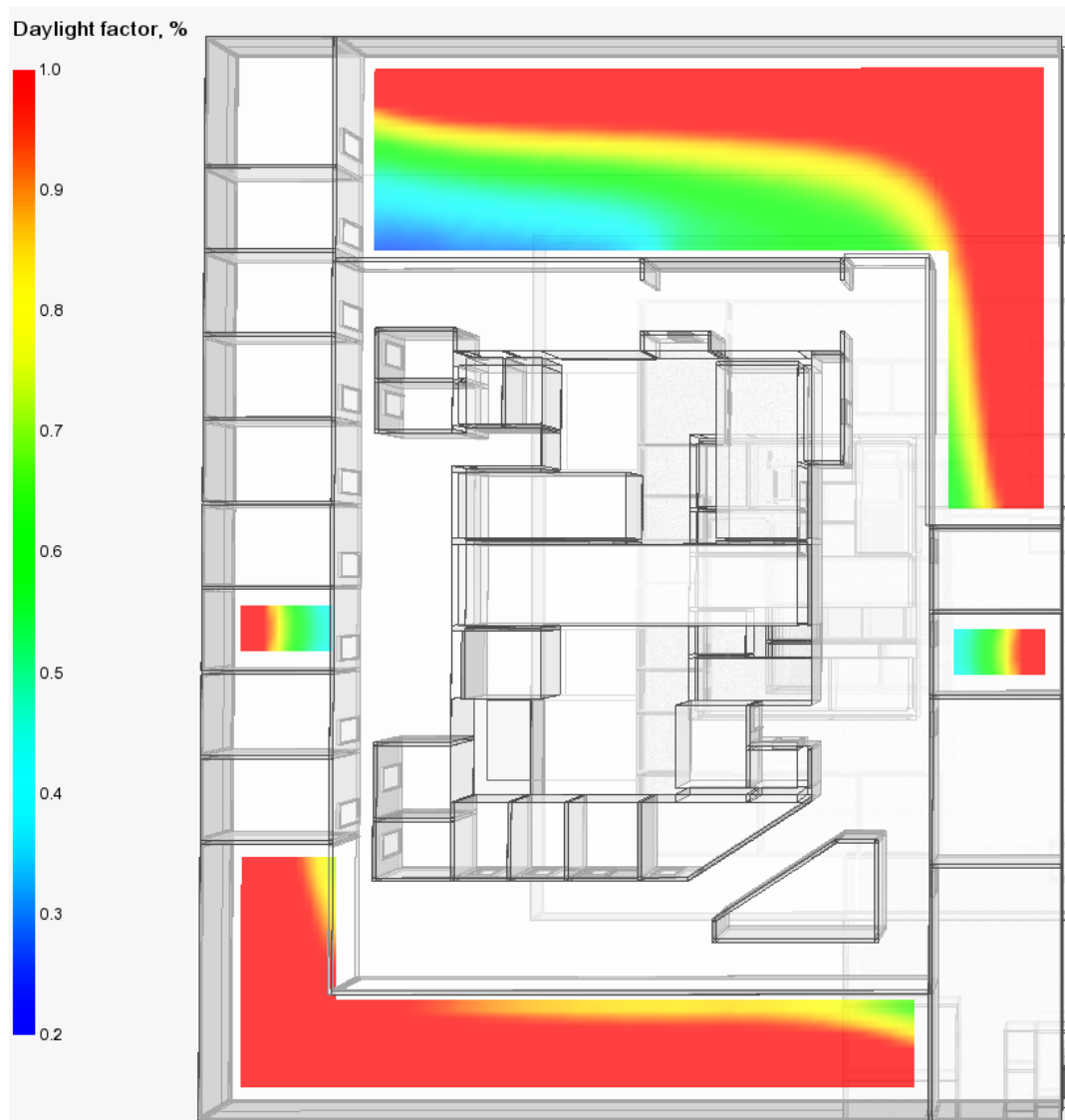


Figur (4.12). Vilken tid på dygnet solavskärmningen är fördragna på byggnaderna A och B på fasaden mot väster redovisat över ett helt år, simulationen visar att det under månaderna mars-september är fördraget ungefär mellan 13–20.

4.1.2 Analys

Det satta TQ2-kravet uppnås utefter vald fönsterkvalité och vid behov används solavskärmning. Alla byggnader klarar kravet och har således ett godkänt inneklimat, i byggnad A och B med hjälp av en mer eller mindre tät solavskärmning. Problemet med den täta solavskärmningen på byggnad A som redovisas i Tabell (3.6) är att denna byggnad får ett LT-värde på 0,16 när solavskärmningen är fördragen, detta medför att vissa områden på byggnaden inte blir fullt möblerbara, till exempel får cellkontoren mot öster och väster en för låg dagsljusfaktor för att klara kraven från BBR som ligger på 1,0, se Figur (4.13).

PPD-indexet för kontorslandskapet mot söder visar att det är mellan 2 och 6 % som är missnöjda med inneklimatet, lägre än så är svårt att komma då alla människor har en eget förhållande till vad de upplever som varmt och kallt.



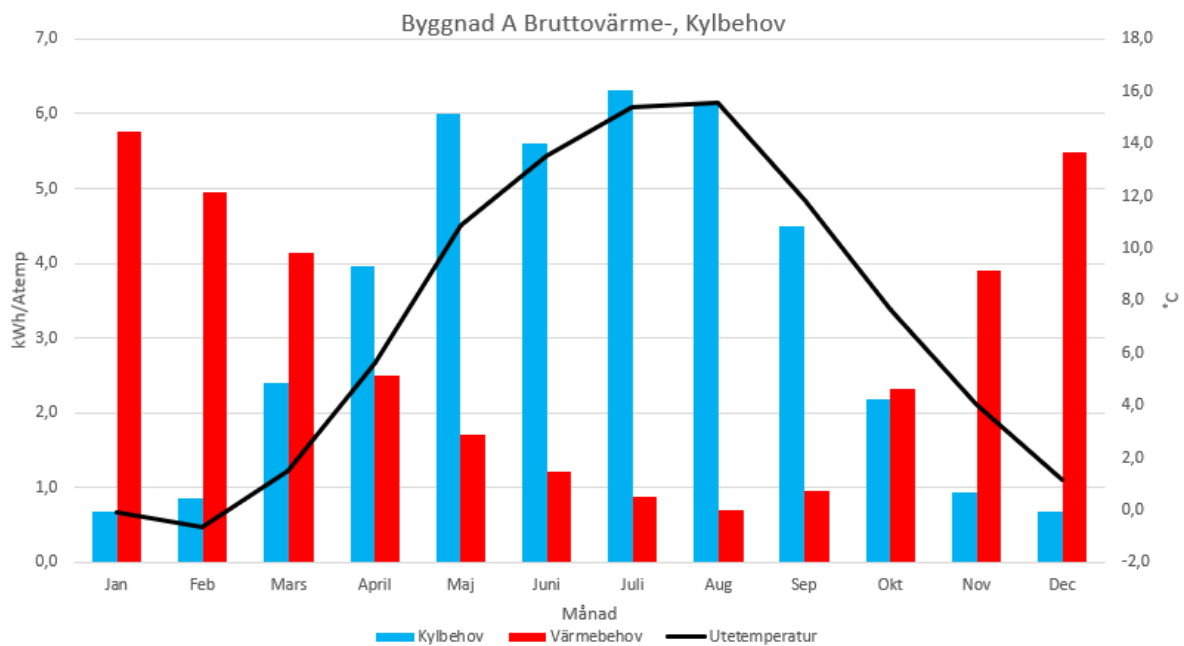
Figur (4.13). En dagsljussimulation gjord i IDA ICE visar att byggnad A har en dagsljusfaktor som är lägre än kravet från BBR i vissa delar av kontorslandskapet mot norr samt i cellkontoren både mot öst och väst.

4.2 Ursprungligt värme- och kylbehov

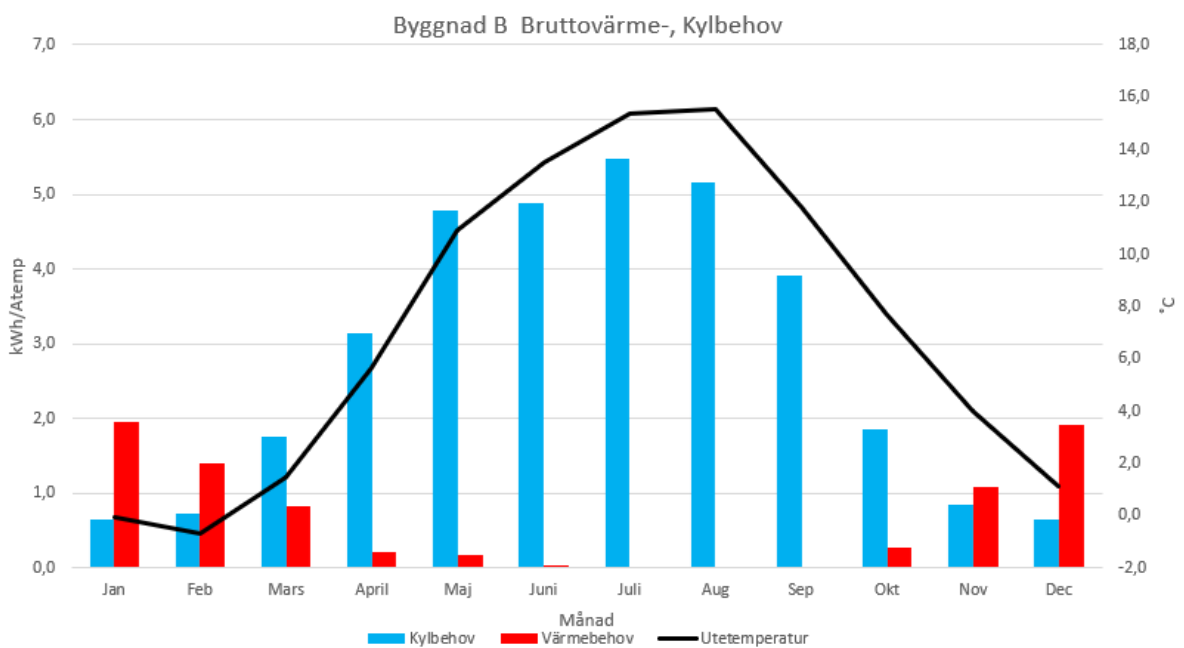
Värme- och kylbehovet visas som diagram över ett helt år, uppdelade i månader med den genomsnittliga utetemperaturen i Göteborg. Figur (4.14–4.17) visar behoven för samtliga byggnader. Det totala värme- och kylbehovet för respektive byggnad per år och kvadratmeter redovisas i Tabell (4.1).

Tabell (4.1). Bruttovärme- och kylbehov för respektive byggnad per år och kvadratmeter. $[kWh/A_{temp}, \text{År}]$

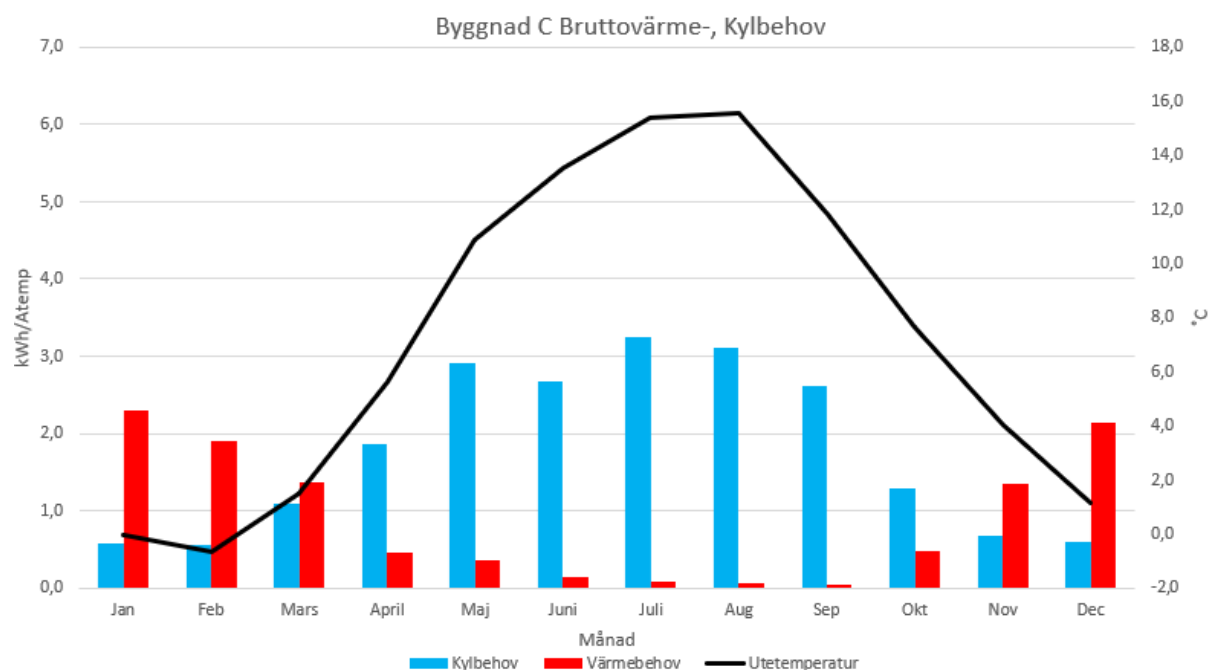
Byggnad	A	B	C	D
Kylbehov $[kWh/A_{temp}, \text{År}]$	40,3	33,8	21,2	20,0
Värmebehov $[kWh/A_{temp}, \text{År}]$	35,8	8,7	11,1	8,3



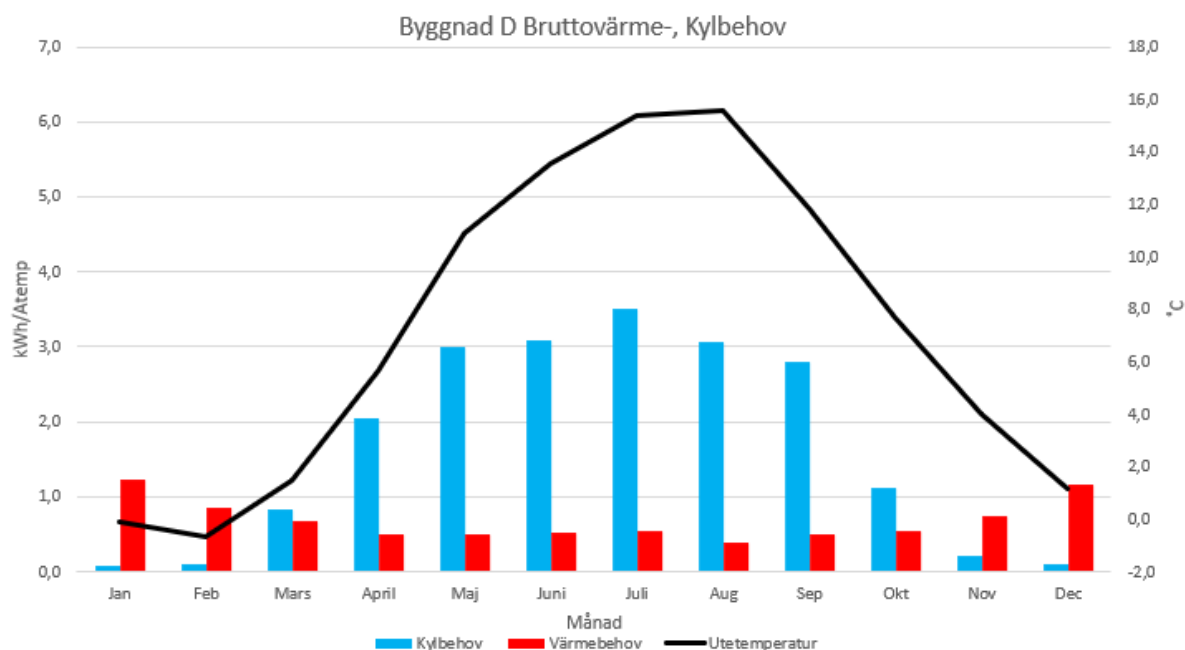
Figur (4.14). Byggnad A bruttovärme- och kylbehov innan återvinningsprocesser tillsammans med den genomsnittliga utetemperaturen i Göteborg.



Figur (4.15). Byggnad B bruttovärme- och kylbehov innan återvinningsprocesser tillsammans med den genomsnittliga utetemperaturen i Göteborg.



Figur (4.16). Byggnad C bruttovärme- och kylbehov innan återvinningsprocesser tillsammans med den genomsnittliga utetemperaturen i Göteborg.



Figur (4.17). Byggnad D bruttovärme- och kylbehov innan återvinningsprocesser tillsammans med den genomsnittliga utetemperaturen i Göteborg.

4.2.1 Analys

De olika egenskaperna hos fönstren gör att värme- och kylbehovet varierar mycket för byggnaderna. Byggnad A som har ett högre g- och U-värde på glaset gör att det släpper in mycket solvärme när solen skiner men som också har relativt stora värmeflöden in och ut genom fönsterna. Det visar sig i ett väldigt stort kylbehov under månaderna april-september och även ett stort värmebehov under vinterhalvåret. Internvärmens som alstras i byggnaden under vinterhalvåret leds ut genom fönsterna på grund av det höga U-värdet och hjälper inte till att värma byggnaden lika mycket som i fallen med lägre U-värde. Jämförs detta med byggnad C med dess låga värden så visar resultatet ett betydligt lägre värme- och kylbehov.

Byggnad B och C har samma låga u-värde men byggnad B har ett högre g-värde, det högre g-värdet gör att byggnaden får in mer solenergi som resulterar i ett lägre värmebehov under vinterhalvåret men ett högre kylbehov under sommarhalvåret än i jämförelse med byggnad C.

Byggnad A kräver även ett större värmebehov en större period över året, detta är rimligt då fönsterna i denna byggnad har ett högre U-värde på 1,2. Under vintern är inte solavskärmningen fördragen och detta skapar stora värmeförluster genom fönstret och den interna värmealstringen räcker inte för att värma byggnaden.

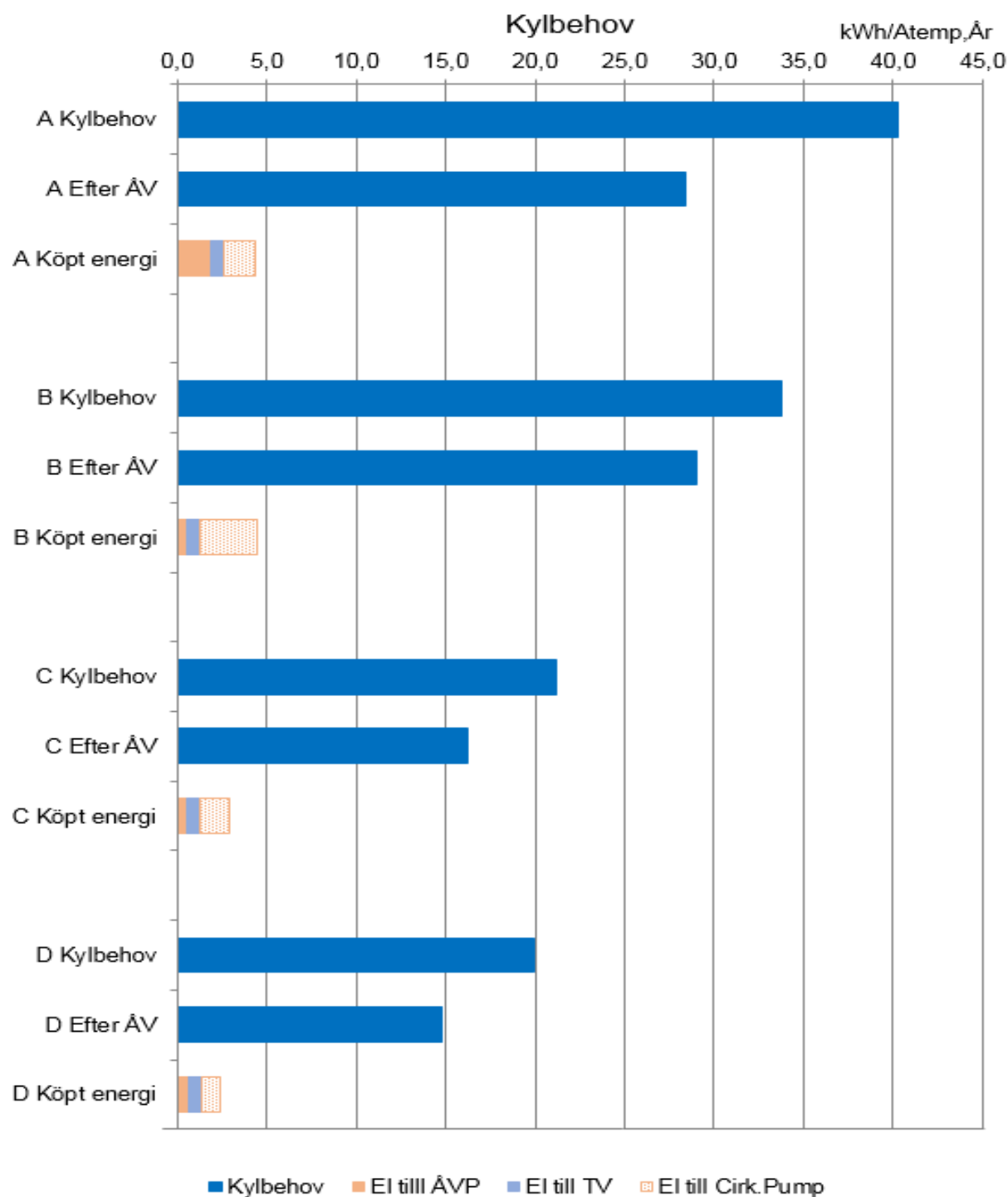
4.3 Hur behoven tillgodoses

4.3.1 Kylbehov

På nästkommande sida redovisas processen om hur systemet förser byggnaden och tar hand om värmeöverskottet och vad det har för behov av köpt energi. I Tabell (4.2) redovisas varje del för respektive byggnad och i Figur (4.18) ser vi samma sak i form av ett stapeldiagram, i den första stapeln redovisas byggnadens ursprungliga kylbehov, i den andra stapeln visas det kylbehovet som finns kvar efter att värmepumparna har återvunnit till tappvattnet och rumsapparaterna. Det som är kvar av den andra stapeln kommer behöva cirkuleras ner i borrhålen så att den värme som finns kvar kan föras över till marken. I den tredje stapeln redovisas behovet av köpt el för återvinningsvärmepumpen, el till tappvattenåtervinningen och hur mycket köpt el det behövs för att driva cirkulationspumparna. Byggnaderna redovisas i fallande ordning från A-D.

Tabell (4.2). Hur mycket återvinningsprocesserna påverkar det ursprungliga kylbehovet och vad varje process har för behov av köpt energi. [$kWh/A_{temp}, \text{År}$]

Byggnad	A	B	C	D
Ursprungligt kylbehov	40,3	33,8	21,2	20,0
Efter återvinning	28,4	29,0	16,2	14,7
El till återvinningsvärmepump	1,9	0,5	0,6	0,6
El till återvinning tappvatten	0,7	0,7	0,7	0,7
El till cirkulationspump	1,7	3,3	1,6	1,1



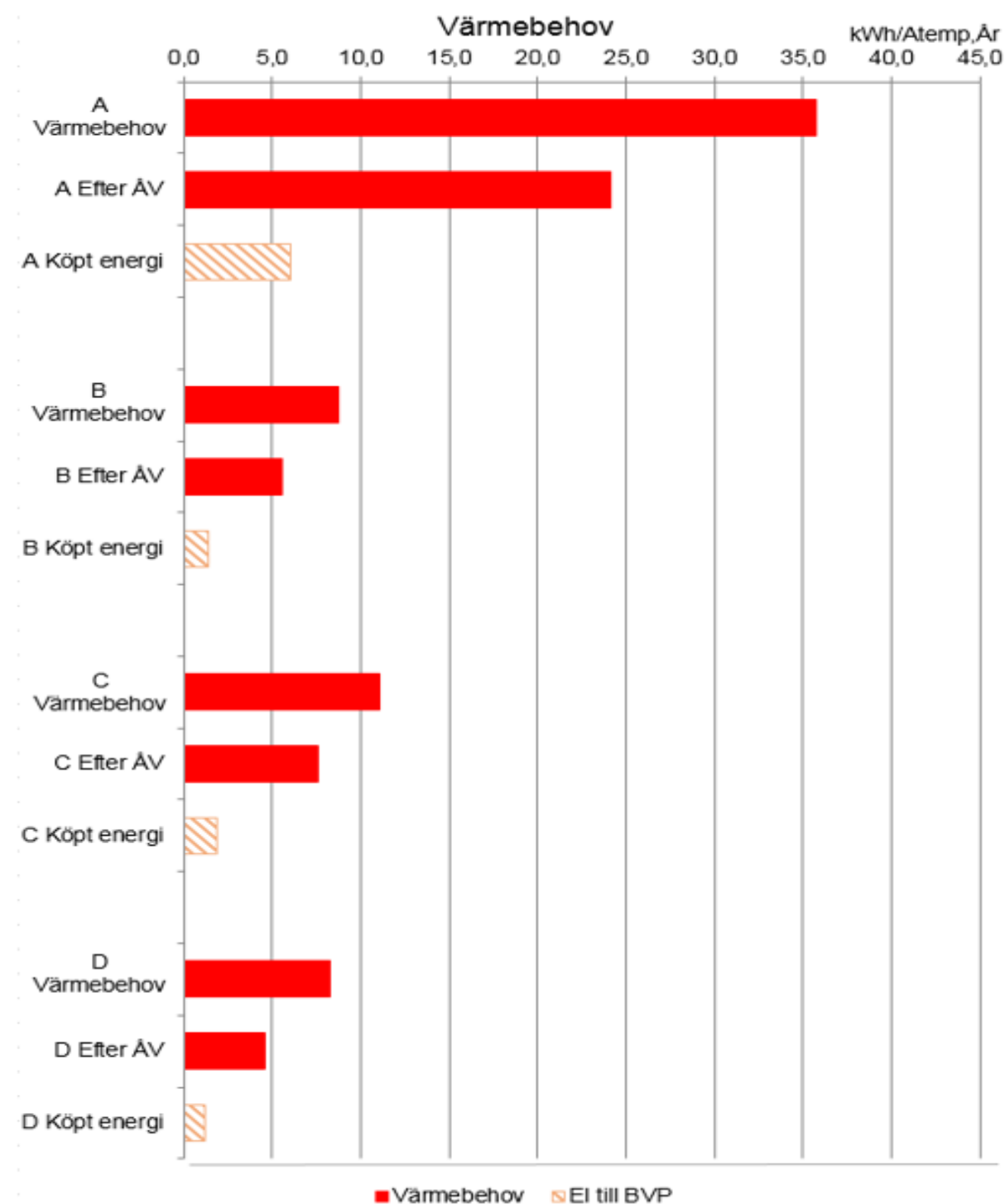
Figur (4.18). Det ursprungliga kylbehovet samt vad som återstår efter återvinningsprocesserna och vad varje process har för enskilt behov av köpt energi.

4.3.2 Värmebehov

På nästkommande sida redovisas processen hur systemet förser byggnaden med värme och vad det har för behov av köpt energi. I Tabell (4.3) redovisas varje del för respektive byggnad och i Figur (4.19) i form av ett stapeldiagram, i den första stapeln visas samtliga byggnaders ursprungliga värmebehov. Efter återvinningsprocesserna där värmeöverskottet i zonerna förser de undertempererade zonerna har varje enskild byggnad ett värmebehov, den andra stapeln, som behöver förses med bergvärmepumpen. Behovet av köpt el till bergvärmepumpen redovisas i den tredje stapeln. Byggnaderna redovisas i fallande ordning från A-D.

Tabell (4.3). Hur mycket återvinningsprocesserna påverkar det ursprungliga värmebehovet och vad varje process har för behov av köpt energi. [$kWh/A_{temp}, \text{År}$]

Byggnad	A	B	C	D
Ursprungligt värmebehov	35,8	8,7	11,1	8,3
Efter återvinning	24,2	5,5	7,6	4,6
El till bergvärmepump	6,0	1,4	1,9	1,2



Figur (4.19). Det återstående värmebehovet efter återvinningsprocesserna och hur mycket köpt energi detta kräver för respektive byggnad.

4.3.3 Geoenergi

Samtliga fyra byggnader har ett enskilt behov av överskottsvärme som behöver kylas bort i marken. För att se hur stort borrhåslagret behöver vara är det beräknat att varje borrhål är 400 meter djupa samt att marken kan uppta 35 W/m. Med en effekttäckning på 70 % av det maximala värmeöverskottet får byggnaderna ett behov av det antal borrhål som redovisas i Tabell (4.4).

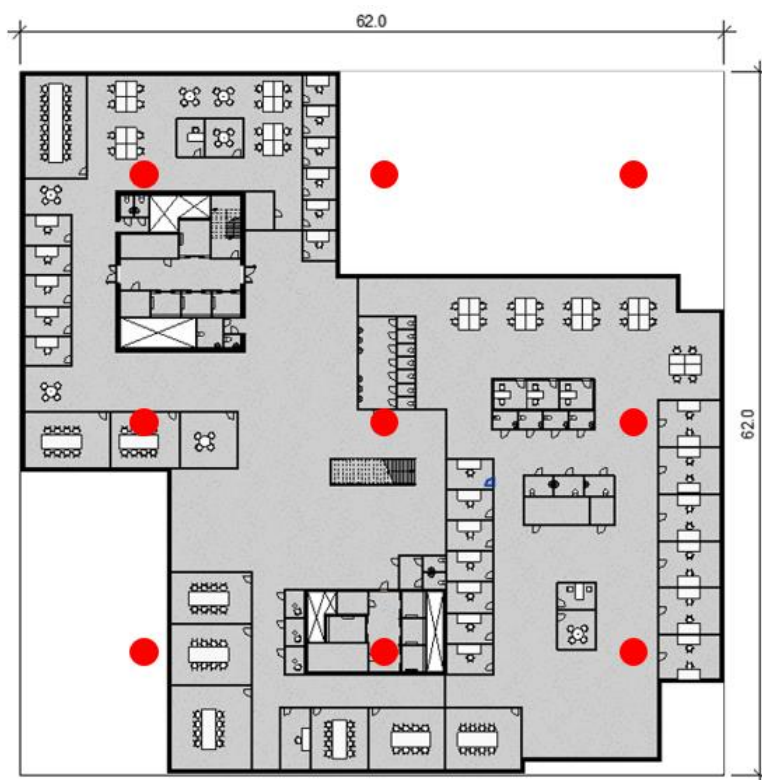
Tabell (4.4). Hur många borrhål varje byggnad skulle behöva för att frikylan ska fungera.

Byggnad	A	B	C	D
Antal borrhål [st]	92	97	53	67

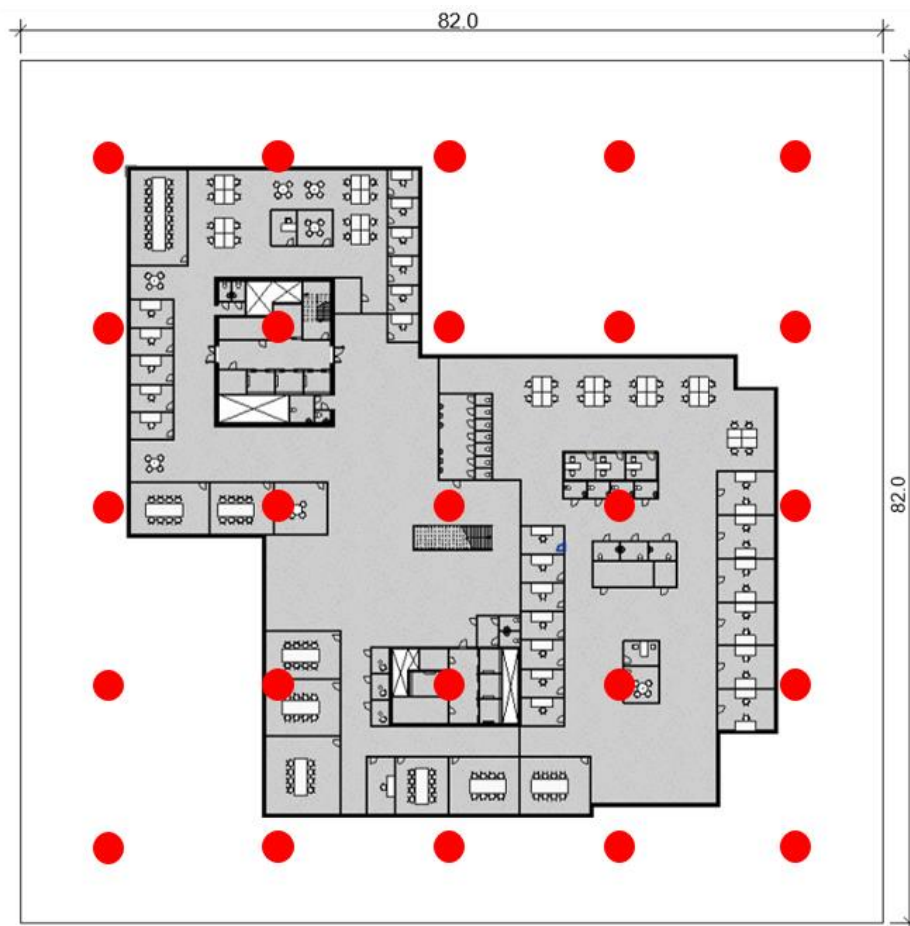
Borrhålen antas att borrar i en kvadratisk formation och ytan som dessa borrhål behöver beror på möjligheten till återladdning av borrhålen. Enligt SGU (u.å) ska det vara minst 20 meters avstånd mellan borrhål som inte återladdas men att det går att borra tätare om borrhålen återladdas. Ytan som finns tillgänglig för borring är det som täcks av byggnadens grund, men i många fall finns det även andra ytor på en tomt som inte bara utgörs av byggnadens area. En eventuellt minsta tomtstorlek har antagits genom att byggnadens fyra yttersta fasader skapar en kvadrat, ytan blir då 62 * 62 meter stor och om möjligheten finns skulle man kunna öka med 10 meter i varje riktning och ytan blir då istället 82 * 82 meter stor.

Tabell (4.5). Antal borrhål som får plats om det borrar i en kvadratisk formation med antagna avstånd mellan borrhål och möjlig yta att använda.

Avstånd mellan borrhål [m]	Ytan 62 * 62 [m]	Ytan 82 * 82 [m]
15	16st	25st
20	9st	16st



Figur (4.20). Förslag på hur ett borrhåslager skulle kunna se ut om den tillgängliga ytan är 62 * 62 meter och här visas ett avstånd på 20 meter mellan borrhålen.



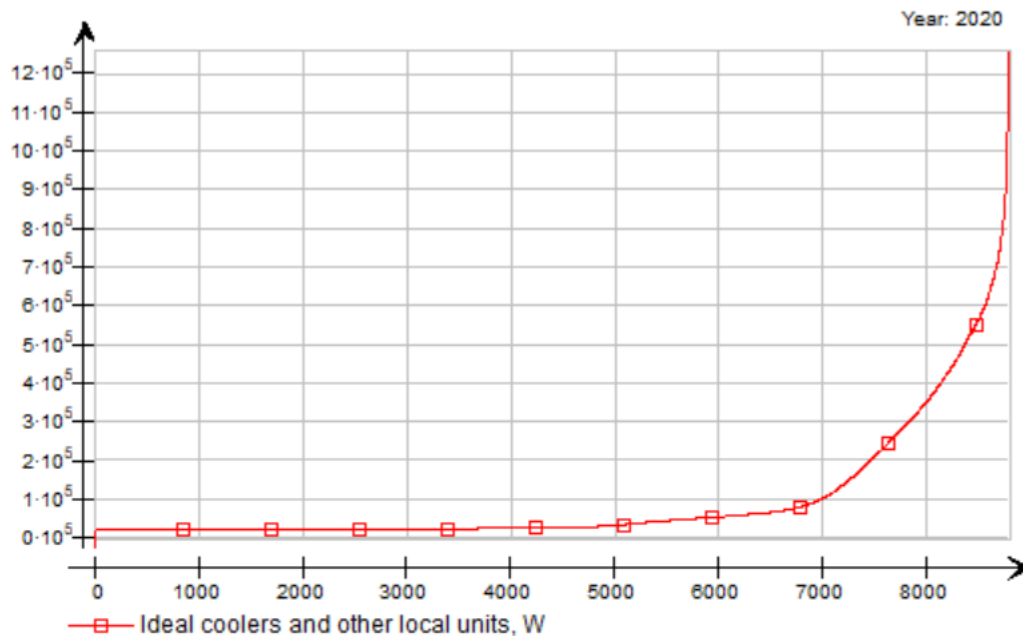
Figur (4.21). Förslag på hur ett borrhålslager skulle kunna se ut om den tillgängliga ytan är 82 * 82 meter och här visas ett avstånd på 15 meter mellan borrhålen.

4.3.3.1 Analys

De stora värmeöverskotten som finns i samtliga byggnader gör att det kommer behövas en väldigt stor yta för att kunna få plats med den mängd borrhål som behövs för varje hus. Problemet är att värmeöverskottet under sommaren är större än värmebehovet under vintern, borrhålen tenderar alltså att överladdas av värme. Detta gör att avståndet mellan borrhålen behöver vara ungefär 20 meter för att marken inte ska bli för varm och förlora sin kylande effekt. Med den antagna tomtstorleken på 62 * 62 meter och ett avstånd mellan borrhålen på 20 meter gör att det skulle få plats 9 borrhål, se Figur (4.20), denna mängd borrhål skulle såklart kunna hjälpa byggnaden med en del av värmeöverskottet men inte allt.

Om förutsättningarna finns till ett avstånd på 15 meter mellan borrhålen och en större tomt, skulle Figur (4.21) kunna representera ett sådant borrhålslager med 25 borrhål, vilket hade inneburit att nära halva byggnad C:s värmeöverskott hade kunnat frikylas genom marken.

För den typ av byggnader som diskuteras i detta arbete är det inte konstigt att det behövs en stor mängd borrhål. Problematiken är effekttopparna för varje byggnad som under sommarmånaderna skjuter kraftigt i höjden, effekttopparna gör att täckningsbehovet blir väldigt högt och den dimensionerande faktorn blir effekten snarare än energin. Ser man på ett varaktighetsdiagram i Figur (4.22) för byggnad C går det att utläsa att effekttopparna gör att byggnadens behov av borrhål ökar.



Figur (4.22). En effektprofil för kylbehovet i byggnad C.

För att få plats med tillräckligt antal borrhål för att kunna lösa hela värmeöverskottet med frikyla så behöver borrhålslagret vara mellan 140 * 140 och 190 * 190 meter stora. Vi har valt att redovisa resultat också för situationer där det inte väljs att borra över huvud taget. Där skulle det gå och använda en kylmaskin med COP = 2,7 och detta skulle innebära att behovet av köpt el samt primärenergitalet stiger.

4.4 Behovet av köpt energi och primärenergital

Primärenergitalet för byggnader har som tidigare nämnts i kapitel 2.9 primärenergifaktorer som viktat resultatet beroende på vad för energikälla som används. För en fastighetsägare som undersöker driftkostnaden för en byggnad kan då primärenergitalet i vissa jämförelser mellan de olika energikällorna inte vara rättvis. Därför redovisas här både behov av köpt energi samt primärenergitalet.

4.4.1 Köpt energi

Som fastighetsägare till en byggnad är det intressant att se hur mycket köpt energi som behövs för att driva byggnaden, i Tabellerna (4.6–4.9) har olika systemlösningar jämförts och summerats. Detta jämförs också med ifall byggnaderna skulle drivas av fjärrvärme och fjärrkyla.

Tabell (4.6). Behovet av köpt el för att driva byggnaderna om frikyla fungerar till 100% [$kWh/A_{temp}, \text{År}$].

Byggnad	A	B	C	D
Fastighetsel	8,0	8,0	8,0	8,0
El för att förse värmebehov	8,7	2,6	3,2	3,0
El för att förse kylbehov	2,4	4,0	2,2	1,5
Totalt	19,1	14,6	13,4	12,5

Tabell (4.7). Behovet av köpt el för att driva byggnaderna om en kylmaskin används för hela värmeöverskottet [$kWh/A_{temp}, \text{År}$].

Byggnad	A	B	C	D
Fastighetsel	8,0	8,0	8,0	8,0
El för att förse värmebehov	8,7	2,6	3,2	3,0
El för att förse kylbehov	11,3	11,5	6,6	5,9
Totalt	28,0	22,1	17,8	16,9

Tabell (4.8). Behovet av köpt energi för att driva byggnaderna med fjärrvärme och fjärrkyla [$kWh/A_{temp}, \text{År}$].

Byggnad	A	B	C	D
Fastighetsel	8,0	8,0	8,0	8,0
Fjärrkyla	40,3	33,8	21,2	20,0
Fjärrvärme	35,8	8,7	11,1	8,3
Totalt	84,1	50,5	40,3	36,3

Till dessa siffror kan en solcellsanläggning läggas till som beräknats generera 9,0 $kWh/A_{temp}, \text{År}$ lokalproducerad el.

Tabell (4.9). Vad samtliga byggnader skulle ha för behov av köpt energi efter att solceller generat el [$kWh/A_{temp}, \text{År}$].

Byggnad	A	B	C	D
El inklusive frikyla	10,1	5,6	4,4	3,5
El exklusive frikyla	19,0	13,1	8,8	7,9
Fjärrvärme och fjärrkyla*	76,1	42,5	32,3	28,3

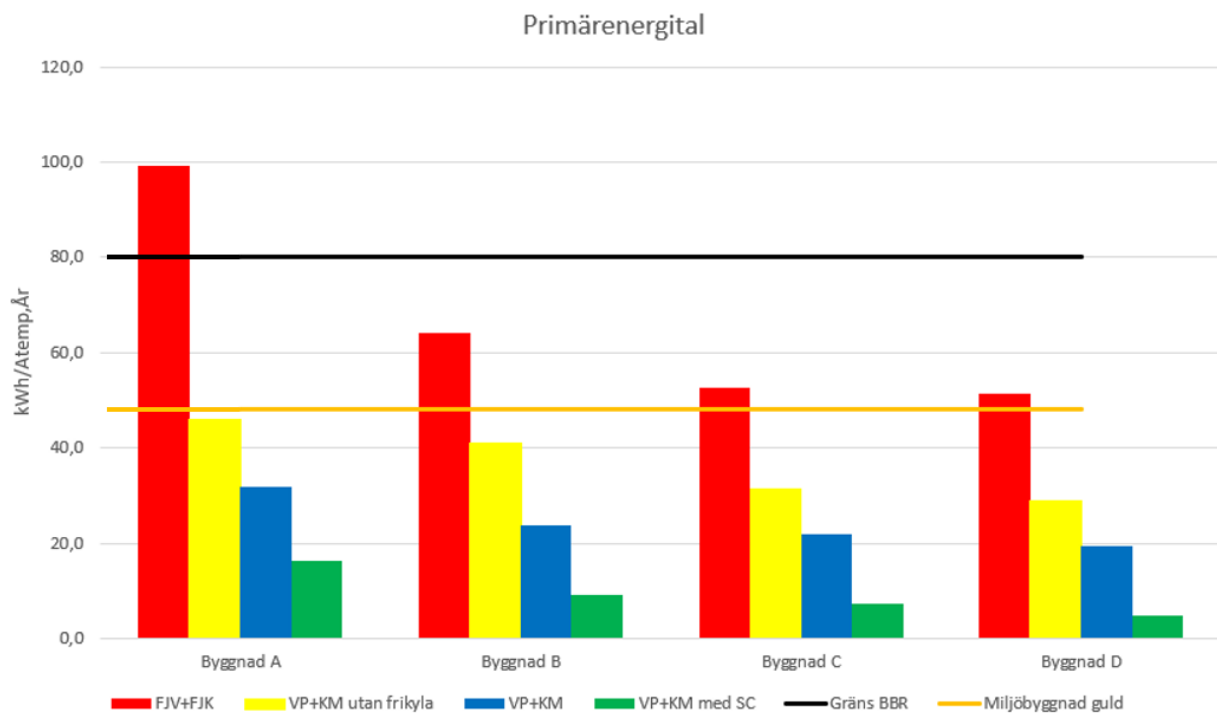
* I fallet fjärrvärme och fjärrkyla beräknas solcellsanläggningen endast täcka fastighetselen.

4.4.2 Primärenergital

En jämförelse av de olika primärenergitalen där även byggnadernas primärenergital vid användandet av fjärrvärme beräknats visar att bara byggnad A med fjärrvärme inte klarar BBR:s krav på $80 \text{ kWh}/A_{temp}, \text{År}$ (Boverket, 2017d). En möjlig miljöcertifiering på byggnaden som sker av Miljöbyggnad är redovisad i diagrammet, denna klassificering betyder att primärenergitalet ska vara mindre än 60% av BBR:s krav (Sweden Green Building Council, 2017).

Tabell (4.10). Primärenergital angivet för respektive byggnad [$\text{kWh}/A_{temp}, \text{År}$].

Primärsystem värme och kyla	A	B	C	D
Fjärrvärme och fjärrkyla ●	99,1	64,2	52,6	51,4
Värmepumpar och kylmaskiner utan frikyla ●	45,9	40,9	31,5	26,4
Värmepumpar och kylmaskiner med 100% frikyla ●	31,8	23,7	21,9	19,3
Värmepumpar och kylmaskiner med 100% frikyla samt lokalt producerad el från solceller ●	16,3	9,1	7,2	4,8



Figur (4.23). Primärenergital för samtliga byggnader med olika val av köpt energi.

4.4.3 Analys

Primärenergitalen för de olika variationerna av de tekniska systemen för varje byggnad klarar alla miljöbyggnads guld-certifiering. Varje kategori för sig visar hur det skulle se ut om den metoden var ställd till sin spets. Som ett exempel kan det tänka sig att den ytan som finns tillgänglig vid byggnation av byggnaden kan användas för borrhål och utvinning av geoenergi vilket skulle göra att det i så fall skulle kunna bli en kombination av frikyla och en kylmaskin. Den gröna stapeln är en potential för byggnaderna om det finns goda förutsättningar för större borrhålslager och en solcellsanläggning som lokalt producerar el.

Primärenergitalen är fortfarande lägre än vad det är för fjärrvärme och fjärrkyla samt att samtliga byggnader fortfarande klarar kravet för certifieringen miljöbyggnad guld som ligger på $48 \text{ kWh}/A_{temp}, \text{År}$.

5 Diskussion och slutsats

5.1 Inneklimat

Faktumet att samtliga byggnader klarar inneklimatkraven är en intressant del och valet av utformning samt val av fönster har en stor inverkan på det upplevda klimatet inomhus. I byggnad A innebär valet av fönster att det kommer behövas en väldigt tät solavskärmning vilket gör att vissa delar av byggnadens ytor upplevs som mörk. Byggnad A har också ett högre U_m -värde än det krav som finns från BBR på lokaler, detta gör att byggnad A inte är så lämplig att projektera vidare utan behöver en del modifieringar innan det skulle vara aktuellt att bygga den typ av byggnad. Kanske skulle det gå att få en bröstning på fönsterna så att det blir en större andel vägg i fasaden och på det sättet sänka U_m -värdet. Kommunikation mellan konsulter och arkitekt hade kunnat göra detta huset

Detta visar på vikten att ta in alla faktorer vid projekteringen av utformningen. Det kan kanske vara lockande att ta billigare fönster som man sedan tänker sig kunna kompensera med en annan typ av solavskärmning. Men i detta fall visar det att ett sådant val gör att byggnaden inte klarar vissa krav från BBR och inte heller blir fullt möblerbar.

Solavskärmning är något som behövs diskuteras i ett tidigt skede, är det något som är bra att ha som ett tvång för att klara inneklimatkraven? Som det ser ut i byggnad B är det räknat med att solavskärmningen kommer vara fördragen så fort det solintensiteten på fasaden överstiger 200 W/m^2 . Som Figurerna (4.11) och (4.12) visar innebär det att solavskärmningen är fördragen stora delar av dagen. Är det något ett företag som hyr våningar i ett höghus har som visuella drömmar för sitt kontor?

5.2 Tekniska system

För att kunna få en så god återvinning som möjligt krävs höga COP och som tidigare visat beror COP på temperaturdifferensen mellan kondensor- och förångarsidan. För att få så höga COP som möjligt är ett lågtempererat värmesystem och ett högtempererat kylsystem det bästa, problematiken med det sådana system är att det behöver väldigt stora ytor för att kunna göra någon inverkan. Om man ska kunna ha ett lågtempererat värmesystem är det viktigt att detta diskuteras tidigt mellan tekniska konsulter och arkitekten. Det behövs en förståelse och en diskussion mellan parterna vad det innebär att kunna få ett effektivt system.

Att frikylan fungerar i denna typ av beräkning är något som är avgörande för att få så låga primärenergital som resultatet visar. För att detta ska fungera så finns det en del förutsättningar som behöver finnas, det handlar om yta att borra på, geotekniska förhållanden, möjlighet till återladdning och kostnader. Geoenergi bidrar till en oändlig källa för underskott och överskott av värme, det enda som avgör hur mycket det går att utvinna är ytan som finns tillgänglig. Skulle ett av dessa höghus ha en tomtstorlek på ungefär $25\,000 \text{ m}^2$ så skulle det funka med frikyla för hela värmeöverskottet.

Problematiken är att byggnader av denna typ har ett väldigt litet fotavtryck, marken det tar i anspråk matchar inte vad som behövs för att klara effekttoppar och behov av sådana här byggnader med borrhålslager. Effekttopparna skulle gå att kapa med förändrade metoder i utformningen, till exempel yttre solavskärmningar och andra fönster. Det som oftast är tanken när det byggs på höjden är ju att förtäta och bygga samman städer. Då brukar det sällan finnas plats till så stora borrhålslager. Det är då man behöver diskutera andra lösningar, unika för

den plats som byggnaden befinner sig, för att kunna uppnå samma resultat som med konventionella borrhål.

Finns det hav, floder eller älvar i närheten? Det funkar lika bra att bli av med värmeöverskottet genom att använda sig av älvvatten som mottagare av värmen från byggnaden.

Icke konventionella borrhåstekniker, skulle det gå att borra 800 meter istället för 400? Geotermisk borrhåsboring hade gjort att borrhålsmängden minskas och det kanske gör att borrhålslagret får plats på tomten? Det som förloras i volym med en mindre tomt kan tas igen genom att borra djupare.

Det skulle också fungera att kyla byggnaden med hjälp av uteluften under kallare perioder av året. Detta är en metod som också tar mycket utrymme men kan fungera som ett komplement till andra metoder.

En annan hypotes om att kunna återvinna värmeöverskottet från byggnaderna utan frikyla är att koppla samman närliggande fastigheter, med hjälp av separata värmepumpar skulle fastigheterna med ett värmeunderskott kunna återvinna värme från höghuset eller en annan fastighet med värmeöverskott. Detta är inget vi undersökt men det hade varit intressant med en framtida studie av möjligheterna till återvinning av värme inom ett större kvarter där flertalet fastigheter är sammankopplade.

Senare går det att komplettera med en kylmaskin som kylv bort resterande om det inte går att bli av med allt värmeöverskott på någon av de lösningar som har nämnts ovan. Det vi redovisat och jämfört i primärenergitalet är om byggnaden antingen har 100% frikyla genom borrhål eller använder sig av en kylmaskin till 100%, verkligheten blir troligen att man hamnar någonstans där emellan beroende vilka metoder som används. Det finns flertalet olika lösningar som lämpar sig mer eller mindre beroende på vad förutsättningarna är för just den platsen som väljs för byggnaden.

5.3 Köpt energi och primärenergital

Behovet av köpt energi för byggnaderna varierar stort beroende på byggnad och vilken energilösning som väljs. Referensbyggnaden D får lägst behov av köpt energi men med ett glas av typen som finns i byggnad C så kommer den byggnaden nära D i behov av köpt energi. Detta innebär att med en större investeringskostnad för dyrare solskyddsglas så får fastighetsägaren en billigare drift av fastigheten. På samma sätt innebär det med fjärrvärme och fjärrkyla emot systemet med återvinning och geoenergi. Det blir en större investeringskostnad för en geoenergianläggning men kostnaden att driva byggnaden blir lägre. Primärenergitalen för byggnaderna vid val av eldrift blir också lägre än fjärrvärme och fjärrkyla.

Även om Boverkets framtida förslag skulle gå igenom om att sänka kravet på lokalbyggnaders primärenergital från 80 till 65 och samtidigt höja primärenergifaktorn för el från 1,6 till 1,85, så skulle ändå denna typ av system fungera, på grund av att primärenergitalet för byggnaderna med eldrift är så pass låga.

5.4 IDA-modellerna

Varje energisimulering av en byggnad tog ungefär 20 timmar, med fyra olika modeller som behöver testas och simuleras gjorde att den långa simuleringstiden begränsade antalet simuleringar som var möjliga att genomföra inom tidsramen för arbetet.

Något som vi borde ha gjort för att förenkla arbetet men som även hade gett oss ett mer trovärdigt resultat hade varit att fokusera mer på dom kritiska zonerna som till exempel kontorslandskapen. Simuleringen styrs efter medeltemperatur för varje zon vilket gjorde att vi underskattade behoven genom att skapa en såpass stor zon för kontorslandskapet.

Mer realistisk hade varit att dela upp zonen med en randzon som är ytterst vid fönsterna i byggnaden, denna zon hade varierat väldigt mycket mer i temperatur, beroende på årstid och hade fått ett större värme- och kylbehov än de delarna av kontorslandskapet som är placerat mer centralt i byggnaden.

För att minska antalet zoner i modellerna hade det varit bättre att slå ihop de mindre kritiska zonerna som till exempel WC-utrymmen till en och samma zon.

I slutet av arbetet testade vi att göra en ny simulation i byggnad A med en randzon, detta resulterade i ett större värme- och kylbehov. När vi jämförde primärenergitalet [$kWh/A_{temp}, År$] för värmepumpar och kylmaskiner som tidigare låg på 31,8 med den nya simuleringen blev primärenergitalet 35,8, alltså fortfarande klart under kravet för miljöbyggnad guld-certifiering, då vi fortfarande återvinner värmeöverskott inom byggnaden och använder geoenergi. Däremot om man skulle jämföra primärenergitalet för fjärrvärme och fjärrkyla som tidigare låg på 99,1 blev det efter den nya simuleringen ett primärenergital på 122,4, vilket är långt ifrån kravet från BBR som ligger på 80.

Vi testade även att dubbla värmebehovet på byggnad C ifrån de tidigare simuleringarna, detta innebar att primärenergitalet för värmepumpar och kylmaskiner steg från 21,9 till 26,6, vilket visar att med ett dubbelt så stort värmebehov så är det fortfarande en god marginal till en möjlig certifiering för miljöbyggnad guld som ligger på 48.

Med dessa två test bakom oss valde vi att, på grund av tidsbrist, använda oss av våra första simuleringar, då dessa inte särskilde sig alldeles för mycket mot resultatet i de nya simuleringarna.

5.5 El-drift mot fjärrvärme och fjärrkyla

Att driva en byggnad med el kontra fjärrvärme och fjärrkyla är en väldigt komplex fråga. Samtidigt som fjärrvärme och fjärrkyla är ett primärsystem som i Göteborg är väldigt väl fungerande och tack vare spillvärmen från raffinaderiet så blir fjärrvärmen ganska så billig men även ett effektivt sätt att ta tillvara på energi som annars skulle gå till spillo. Problematiken som vi ser det med fjärrvärme och fjärrkyla är att du är helt beroende av någon annan. Höjs priset så är du tvungen att betala det nya priset. Vad skulle hända om raffinaderiet stänger eller slutar leverera en del av sin spillvärme till Göteborg energi? Då skulle prisbilden antagligen förändras mycket och är man då kopplat till fjärrvärme och fjärrkyla så finns det inte så mycket att göra förutom att betala priset.

Med el-drift har du möjligheten till att bli oberoende. Det finns som möjlighet till att bli helt självständig med en större solcellsanläggning samt några modifieringar i utformningen. På det

sättet skulle en fastighetsägare vara helt självgående och kunna klara sig utan yttre påverkan. Ett primärsystem som drivs av el är också lättare att optimera. Tekniska konsulter kan med lätthet se vad de olika värmepumparna får för COP och utifrån det försöka optimera systemet med hjälp av arkitekter som står för byggnadens utformning.

Problematiken och det som många ifrågasätter är att el är en mer högvärdig energikälla. El går att använda till så mycket annat, till exempel kan den el som genereras här i Sverige exporteras till Europa och då behövs mindre el produceras med fossila bränslen. Vilket skulle innebära att det undviks utsläpp kopplade till produktionen av el om man istället köper fossilfri el från Sverige. Det är många som ifrågasätter användandet av el till att driva fastigheter eftersom det går att använda till mycket andra saker samt att det finns ett primärsystem i fjärrvärme och fjärrkyla som staden tillhandahåller och som endast går att använda för att värma och kyla byggnader.

Även från BBR:s sida så ser vi att de försöker främja fjärrvärme och fjärrkyla då den primärenergifaktorn är 1 och primärenergifaktorn för el ligger på 1,6. Trots detta får de byggnaderna med el-drift som vi har presenterat betydligt lägre primärenergital än vad fjärrvärme och fjärrkyla får. Om BBR verkligen vill premiera användandet av fjärrvärme och fjärrkyla så behöver nog bedömningsmallen ses över. Även med det framtida förslaget att höja primärenergifaktorn på el till 1,85 och sänka fjärrvärme till 0,95 samt sänka kravet på primärenergitalet för lokalbyggnader till 65 så har fortfarande byggnaderna med el-drift ett lägre primärenergital. De kommer också ha en billigare driftkostnad vilket kommer locka fastighetsägare till att välja ett primärsystem som drivs av el. Kanske är det så att det är kraven hos BBR som måste ändras ännu mer för att fortsätta få folk till att vilja driva en byggnad med fjärrvärme och fjärrkyla.

5.6 Slutsats

Glastypen och hur stor glasandel som utgör fasaden är en stor faktor av bruttoenergibehovet som bidrar till svårigheter med att hålla ett bra inneklimat. Men vi har visat att det går och hålla ett bra inneklimat i en byggnad av denna typ om man accepterar konsekvenserna som en viss glastyp med lägre energiprestanda skulle ge.

Behovet av köpt energi varierar stort, men vi visar att vid perfekta förutsättningar går det att komma väldigt lågt och med några modifieringar, till exempel med en större solcellsanläggning och kapade effektoppar skulle byggnad C kunna klara funktionskraven utan köpt energi.

Driftkostnaderna beror på förutsättningarna där byggnaden är tänkt att byggas, men ett tekniskt system med frikyla genom borrhål jämfört med fjärrvärme och fjärrkyla får en betydligt billigare driftkostnad. Däremot är investeringskostnaden för ett sådant system mycket större.

Ett system med intern återvinning samt borrhål skulle vara flexibelt i framtiden, låt säga om delar av byggnaden skulle ändras om till bostäder istället. Då bostäder har ett större värmebehov än kommersiella lokaler så skulle det tekniska system med återvinning som redan finns i byggnaden kunna återvinna värme från kontoren till bostäderna.

Referenser

- Abel, E., & Elmroth, A. (2016). *Byggnaden som system* (4 ed.). Lund: Studentlitteratur.
- Arbetsmiljöverket. (2016). *Lokalernas storlek beror på verksamhet*. Hämtad från: <https://www.av.se/inomhusmiljo/lokaler-och-arbetsutrymme/lokalernas-storlek/>
- Arbetsmiljöverket. (2019) *Dagsljus påverkar vår prestation och att vi mår bra på jobbet*. Hämtad från: <https://www.av.se/press/dagsljus-paverkar-var-prestation-och-att-vi-mar-bra-pa-jobbet/>
- Banks, D. (2012). *An introduction to thermogeology: ground source heating and cooling*. (2nd;2. Aufl;2; ed.). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Boverket. (2014). *A_{temp}*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/Atemp/>
- Boverket. (2017a). *Urban density done right – Ideas on densification of cities and other communities*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2017/urban-density-done-right.pdf>
- Boverket. (2017b). *Boverkets författningssamling BFS 2018:xx BBR xx*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/contentassets/ac528c243fed4ee4ab08cf27e04a7eeb/bfs-2018-xx-bbr-avsnitt-9.pdf>
- Boverket. (2017c). *Boverkets författningssamling (2017:5)*. Hämtad från: https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf
- Boverket. (2017d). *Boverkets författningssamling BFS 2018:xx BBR xx*. Hämtad från: https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf
- Boverket. (2018). *Rumshöjd – PBL kunskapsbanken – Boverket*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/rumshojd/>
- Boverket. (2019a). *Urbanisering*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsforsorjning/flyttningar/urbanisering/>
- Boverket. (2019b). *Beräkning av energiprestanda/primärenergital för några byggnader*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/contentassets/b521298e15954fa3ac9f54b79f4c5c20/pm-berakning-av-primarenergital.pdf>
- Boverket. (2019c). *Dagsljus*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ljus-i-byggnader/dagsljus/>

- Boverket. (2020). *BBR – förslag till nya regler 2020 Ändringar i föreskriften*. Hämtad från: https://www.boverket.se/contentassets/84c6bf92657048429e57529010f495dc/presentation-bbr--forslag-till-nya-regler-2020_seminarium-8-mars.pdf
- Caldenby, C. (1990). *Höga hus I Göteborg*. Göteborg: Stadsarkitektavd., Göteborgs stadsbyggnadskontor.
- CTBUH. (u.å,a). *CTBUH Height Criteria*. Hämtad från: <https://www.ctbuh.org/resource/height>
- CTBUH. (u.å,b). *Research*. Hämtad från: <https://www.ctbuh.org/research>
- Dahlberg, C. (2017). *Commercial Building Energy Performance*. (Masteruppsats, Chalmers, Göteborg). Hämtad från: <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/251594/1/251594.pdf?fbclid=IwAR10c2Yae53WHuyV7YwBNoxzhM3PFE83bSKd5VPYfC02hG0ETubHDA6YLI0>
- Ekberg, L. (2013). *R1 – Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav*. Malmö: EMTF Förlag AB.
- Erntoft, H., & Lundberg, T. (2019). *Space Efficiency of Technical Installations in Tall Office Buildings*. (Masteruppsats, Chalmers, Göteborg). Hämtad från: <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/300351/1/Space%20Efficiency%20of%20Technical%20Installations%20in%20Tall%20Office%20Buildings%20ACEX30-19-38%20%28Final%20version%29.pdf>
- EQUA. (u.å). *IDA Indoor Climate and Energy*. Hämtad från: <https://www.equa.se/se/ida-ice>
- Göteborgs Energi (u.å,a). *Vad är fjärrvärme och vad är det bra för? En förklaring i tre korta steg*. Hämtad från: <https://www.goteborgenergi.se/privat/fjarrvarme/vad-ar-fjarrvarme-och-vad-ar-det-bra-for>
- Göteborgs Energi (u.å,b). *Här finns fjärrkyla*. Hämtad från: <https://www.goteborgenergi.se/foretag/fjarrvarme-kyla/fjarrkyla/har-finns-fjarrkyla>
- Göteborg stad. (2018). *Miljöanpassat byggande*. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/portal/start/foretag/etablering-mark-och-lokaler/markanvisningar/miljoanpassat-byggande!/ut/p/z1/hY6xDoIwGISfhrX_X4q0unWRBHE0YBcDphYSSkmpNvHpxdFE422X-y53oKABNbWPwbRhCFM7rv6s8kuWFkjLjB4QKUV5pPviJChiRaH-B6g1xh-SCCWoobMkXi1BgixDzoTgjOfbDfL0vS-njgkDyuub9tqTu19v9SHMy7BBGOMxDhnRk2uzib4rdK7JUDzScJsm2ela_kCKNu6SA!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- Göteborgs Stad. (2019). *Så här ska staden växa under 2020–2050*. Hämtad från: <https://stadsutveckling.goteborg.se/tidslinje/>
- Heier, J. (2013). Energieffektivisering via termisk energilagring. *Teknik och forskning*, (10), 63–66.

- Höghus. (2009) Svenska akademins ordbok. Hämtad från: <https://svenska.se/tre/?sok=h%C3%B6ghus&pz=1>
- Karlsson, J. Rönneblad, A., Kurkinen E. L., Wadsö L., (2010). *Nyttan med värmetröga konstruktioner, Samhällsbyggarna*, 5, 12-15. Hämtad från: http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/Research/Workshop/Jonat_han_Karlsson_et_al-Nyttan_med_varmetroga_konstruktioner-Samhallsbyggaren_5_2010.pdf
- Lindholm, T. (2003). *Kyl och värmepumpsteknik* (ISSN 0280-8862) Göteborg. Chalmers tekniska högskola.
- Malmberg. (u.å). *Hur geoenergi - bergvärme utvinns*. Hämtad från: <https://www.malmberg.se/sv-se/Vad-vi-g%C3%B6r/Geoenergi/S%C3%A5-h%C3%A4r-funkar-geoenergi-o-bergv%C3%A4rme/Geoenergi-v%C3%A4rme>
- Pilkington (2018). *Glasfakta 2018*. [Broschyr] Hämtad från: <https://www.pilkington.com/sv-se/se/architects/glasfakta-2018>
- Pilkington (2020). *Pilkington sun cool 70/35 AC*. Hämtad från: <https://www.pilkington.com/sv-se/se/produkter/funktionsomrade/solskydd/pilkington-suncool/pilkington-suncool-7035-ac>
- Polarpumpen. (u.å.a). *Värmepumpens COP och SCOP-värde*. Hämtad från: <https://www.polarpumpen.se/varmepumpar/kunskapsbank/cop-scop>
- Polarpumpen. (u.å.b). *Så fungerar en värmepump*. Hämtad från: <https://www.polarpumpen.se/varmepumpar/kunskapsbank/sa-fungerar-en-varmepump>
- Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*. Atlanta: W. Stephen Comstock.
- SMHI. (u.å). *Dygnsvariation för solstrålning i Göteborg*. Hämtad från: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.91855!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/Hourly_G%C3%B6teborg.png
- Statistikdatabas Göteborg Stad. (2019). *Kommunprognos beräknad 2019 för årsskiftena 2019–2040*. Hämtad från: http://statistikdatabas.goteborg.se/pxweb/sv/1.%20G%C3%B6teborg%20och%20dess%20delomr%C3%A5den/1.%20G%C3%B6teborg%20och%20dess%20delomr%C3%A5den_Kommun_Befolkning_Befolkningsprognos/10_Kommunprognos%202019.px/table/tableViewLayout1/
- Stridh, B. (2020). *Fakta solceller*. Hämtad från: https://i2.wp.com/bengtsvillablogg.info/wp-content/uploads/2020/02/Lutning_Azimut_V%C3%A4ster%C3%A5s_PVGIS5-1_ERA5.jpg

Sveby. (2010). *Brukarindata för energiberäkningar i kontor – vägledning*. Hämtad från: <http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/01/Brukarindata-Kontor.pdf>

Svensk Ventilation. (2003). *Bra ventilation*. Hämtad från: <http://www.svenskventilation.se/wp-content/uploads/2003/12/Bra-Ventilation-Slutrapport-dec-03.pdf>

Sveriges Geologiska undersökning. (u.å) *Bergvärme* Hämtad från : [https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/fornybar-geoenergi-och-geotermi/](https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/fornybar-geoenergi-och-geotermi/bergvarme/)

Sveriges Geologiska undersökning. (u.å) *Förnybar geoenergi och geotermi* Hämtad från : <https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/fornybar-geoenergi-och-geotermi/>

Sveriges Geologiska undersökning. (2016). *Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt* (2016:16). Hämtad från: <http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1616-rapport.pdf>

Sweden Green Building Council. (2017). *Miljöbyggnad 3.0 – Bedömningskriterier för nyproducerade byggnader*. Hämtad från: <https://www.sgbc.se/app/uploads/2018/07/Milj%C3%B6byggnad-3.0-Nyproduktion-vers-170915.pdf>

The Concrete Center. (2008). *Thermal mass for Housing*. Hämtad från: <https://www.concretecentre.com/Publications-Software/Publications/Thermal-Mass-for-Housing.aspx>

Vattenfall. (u.å). *Så fungerar fjärrvärme*. Hämtad från: <https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/sa-fungerar-fjarrvarme/>

Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer* (1:15). Lund: Studentlitteratur AB.

Bilagor

Intervärmelaster enligt Sveby (2010):

Kontorsarbete	Dator	Belysning
108 W/person	125 W/dator	10 W/m ²

Fastighetsel

El till ventilationsfläkt:

$$q * A_{temp} * SFP * Drifftimmar = El_{vent.fläkt}$$

$q [m^3/(s, A_{temp})]$	$A_{temp} [m^2]$	$SFP [kW/(m^3/s)]$	Drifftimmar
0,0016	40 605	1,5	1850

Solcellsberäkning

Tillgängliga areor

Tak:

Våning	Takarea	Tillgänglig takandel	Solceller tak
40	987,4	0,7	691,2
4	1834,2	0,5	917,1
Totalt	2821,6		1608,3

Bjälklagsareor konferensplan:

Konferensplan				
Fasads bredd	Väderstreck	Bjälklagshöjd	Antal våningar	Area
17,9	Ö	0,3	4	21,5
28,1	N	0,3	4	33,7
35,2	V	0,3	4	42,2
12,9	S	0,3	4	15,4
26,7	V	0,3	4	32,0
31,7	S	0,3	4	38,0
1,0	Ö	0,3	4	1,2
12,0	S	0,3	4	14,4
7,0	Ö	0,3	4	8,4
5,5	S	0,3	4	6,6
33,0	Ö	0,3	4	39,6
3,9	N	0,3	4	4,7
3,0	Ö	0,3	4	3,6
30,1	N	0,3	4	36,1
			Area fasad vån 1-4	297,5
			Fasadarea mot ö	74,3
			Fasadarea mot s	74,5
			Fasadarea mot v	74,3

Bjälklagsareor torn:

Torn				
Fasadlängd	Väderstreck	Bjälklagshöjd	Antal våningar	Area
35,2	V	0,3	36	380,2
28,1	N	0,3	36	302,9
35,2	Ö	0,3	36	380,2
28,1	S	0,3	36	302,9
			Area vån 4-40	1366,2
			Fasadarea mot ö	380,2
			Fasadarea mot s	302,9
			Fasadarea mot v	380,2

Genererad el

Genererad el beräknas med ekvation:

$$A * \frac{W}{A} * faktor * drifttimmar = Wh$$

Solceller:									
Tot area Ö [m2]	Tot area S [m2]	Tot area V [m2]	Tot area tak [m2]	Tak [w/kvm]	Fasad mot söder [w/kvm]	Timmar	Faktor för Ö	Faktor för V	Faktor tak (25 grader)
454,4	377,4	454,4	1608,3	170	120	950	0,74	0,71	0,95
Öster [kWh]	Söder [kWh]	Väster [kWh]	Tak [kWh]	Total [kWh]					
38337	43024	36782	246746	364889					