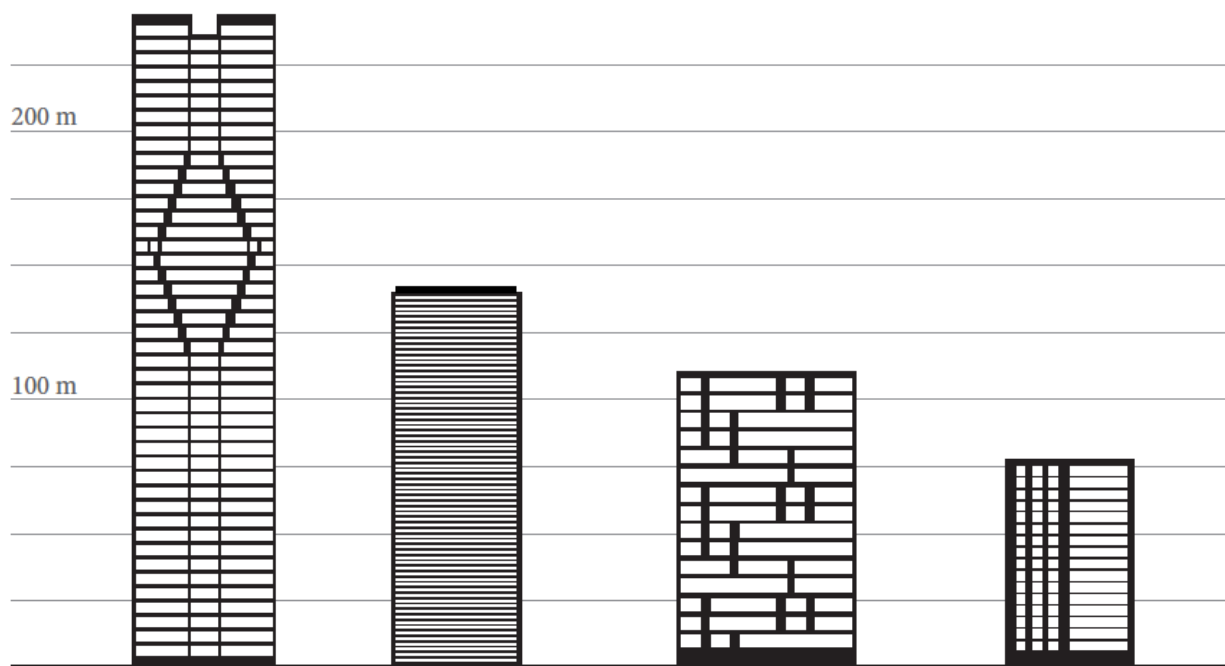




CHALMERS



Projekteringsförutsättningar för installationstekniska system i höghus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

MARTIN GARD
ELIAS OLOFSSON

EXAMENSARBETE ACEX20-19-32

Projekteringsförutsättningar för installationstekniska system i höghus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

MARTIN GARD

ELIAS OLOFSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2019

Projekteringsförutsättningar för installationstekniska system i höghus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

MARTIN GARD

ELIAS OLOFSSON

© MARTIN GARD, ELIAS OLOFSSON, 2019

Examensarbete ACEX20-19-32

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2019

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Illustration över Karlatornet, Citygate, Kista torn och Kajen 5.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2019

Projekteringsförutsättningar för installationstekniska system i höghus

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

MARTIN GARD

ELIAS OLOFSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Allt fler människor väljer att bosätta sig i städer. Den ökade urbaniseringen kräver att marken utnyttjas till fullo. Detta leder till ett behov att bygga på höjden. I andra delar av världen har man länge byggt höghus men i Sverige är erfarenheten gällande projektering av höghus begränsad. Ett antal höghus kommer att färdigställas i Sverige de kommande åren. Projekteringen av höghus medför utmaningar som annars inte behöver beaktas, därför är det nödvändigt att de som arbetar med projekten har den kunskap som krävs.

Denna rapport har till syfte att undersöka hur installationssystem projekteras i höghus samt redogöra och belysa de utmaningar höjden medför. Rapporten syftar även till att undersöka behovet av ett underlag och redogöra för de viktigaste aspekterna att förhålla sig till vid utformning av installationstekniska system i höghus.

Informationen som ligger till grund för arbetet kommer från en litteraturstudie och en intervjustudie. Intervjuer har utförts med projektörer ansvariga för de installationstekniska systemen i fyra svenska höghus.

Resultatet visar att trycket i byggnadens värme-/kyl- och tappvattensystem är en utmaning i projekteringen. Det finns en tydlig metod som används för att lösa dessa problem där byggnaden delas upp i sektioner med teknikplan och undercentraler som försörjer dessa. Detta resulterar i ett lägre tryck i systemen då vattnet ej behöver tryckas lika högt upp i byggnaden. Ventilationssystem måste också sektioneras ut i ett höghus vid ökad höjd för att minska andelen schakt och långa kanaler.

Det finns inget generellt underlag gällande projektering av höghus i Sverige. Det regelverk som finns berör endast brand- och utrymningsregler. För nya projektörer hade arbetet därför underlättats om det fanns ett underlag med lösningsförslag och exempel på de utmaningar ett höghus innebär.

Nyckelord: Höghus, Installationsteknik, VVS, Underlag, Centraliserade system, Decentraliserade system

Design requirements for building services systems in high-rise buildings

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

MARTIN GARD

ELIAS OLOFSSON

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

A greater number of people choose to live in cities. The increased urbanization requires that the land is utilized in an efficient way. This creates a need for high-rise buildings. In other parts of the world high-rise buildings have been built for a long time. In Sweden however, the experience is limited. The following years several high-rise buildings will be completed in Sweden. The design of these buildings poses challenges that otherwise do not have to be considered. Therefore, it is necessary that those who work on the projects have the necessary knowledge.

The purpose of this report is to examine how building services systems are designed in high-rise buildings and to highlight challenges that are a result of the building height. The report also aims to examine the need for a framework and to describe the most important aspects to understand when designing building services systems in high-rise buildings.

The information from which this report is based on comes from a literature study. Also, interviews have been conducted with designers responsible for the building service systems in four Swedish high-rise buildings.

The result shows that a challenge in the design process is the pressure in the buildings heating-/cooling- and tap water systems. There is a distinct solution to these problems where the building is divided into smaller sections with individual technical rooms. This results in a lower pressure since the water does not need to be transported as far up the building. The ventilation systems also need to be divided into sections to reduce the size of the shafts and ductwork.

There is no general framework for the design of high-rise buildings in Sweden. The existing regulations concern fire and evacuation issues. Therefore, a framework with solution proposals and examples of the challenges a high-rise building entails would prove useful to inexperienced designers.

Keywords: High-rise buildings, Buildings services engineering, HVAC, Framework, Centralized systems, Decentralized systems

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Frågeställning	1
1.4	Avgränsning	1
2	METOD	3
2.1	Litteraturstudie	3
2.2	Intervjustudie	4
3	HÖGA HUS	6
3.1	Definition av höghus	6
3.2	Historien om höga hus	6
4	INSTALLATIONSTEKNISKA SYSTEM	9
4.1	Ventilation- och luftbehandlingssystem	9
4.2	Luftburen kyla	10
4.2.1	CAV	11
4.2.2	VAV	11
4.3	Vattenburen kyla	11
4.3.1	Kylbafflar	11
4.3.2	Kylpaneler	12
4.4	Vattensystem	12
4.4.1	Värmesystem	13
4.4.2	Undercentral	14
4.4.3	VVC	14
4.4.4	Tappvatten	14
4.5	Val av ventilationssystem	14
4.5.1	Centraliserade system	15
4.5.2	Decentraliserade system	15
4.5.3	Jämförelse mellan systemen	16
5	BRAND	18
5.1	Skorstenseffekten	18
5.2	Regelverk	19
5.3	Räddningshiss	20
5.4	Trycksättning av trapphus	21

6	OBJEKTSBESKRIVNINGAR OCH RESULTAT	22
6.1	Kista torn	22
6.1.1	Ventilationssystem	22
6.1.2	Vattensystem	25
6.2	Kajen 5	25
6.2.1	Ventilationssystem	25
6.2.2	Vattensystem	29
6.3	Citygate	29
6.3.1	Ventilationssystem	30
6.3.2	Vattensystem	30
6.4	Karlatornet	31
6.4.1	Ventilationssystem	31
6.4.2	Vattensystem	32
6.5	Placering av teknik	32
6.6	Problem/utmaningar	34
6.7	Underlag	35
7	DISKUSSION	37
8	SLUTSATS	40
9	REFERENSER	41
9.1	Litteratur	41
9.2	Figurer	44
	BILAGA 1 - INTERVJUMALL	45
	BILAGA 2 – RELATIONSHANDLING KISTA TORN	46
	BILAGA 3 – RELATIONSHANDLING KAJEN 5	47

Förord

Höghus är ett intressant fenomen som intresserar oss båda, det är dels komplexa byggnader samtidigt som ett enda höghus har kraft att förändra en stads stadsbild. En väl utförd kurs i installationsteknik ökade intresset för ämnet och efter samtal med Tomas Utterhall på WSP föddes den initiala idén till detta examensarbete.

Examensarbetet är utfört på högskoleingenjörsutbildningen Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola som en avslutande del med en omfattning om 15 högskolepoäng. Examensarbetet är utfört med stöd från WSP.

Ett tack riktas till vår handledare Anders Trüschel och vår examinator Torbjörn Lindholm på Chalmers för vägledning och stöd. Vi vill även tacka Tomas Utterhall och Johan Berg på WSP för handledning under arbetets gång och möjligheten att nyttja WSP:s lokaler.

Ett stort sista tack till intervjustudiens deltagare för er tid och ert engagemang.

Göteborg juni 2019
Martin Gard
Elias Olofsson

Beteckningar

FTX	Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning
mVp	Meter vattenpelare
VVS	Värme, Ventilation och Sanitet

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Allt fler människor väljer att bosätta sig i städer. År 2050 beräknas 68 % av den då förväntade befolkningen på 9,8 miljarder människor vara bosatta i stadsområden (FN, 2017, 2018). Den ökade urbaniseringen gör att det blir väsentligt att utnyttja marken till fullo. Ett behov skapas av att bygga på höjden. I andra delar av världen har man byggt höghus i över ett sekel men i Sverige är erfarenheten begränsad. Samtliga byggnader över 100 m i Sverige avsedda för kommersiellt bruk är byggda på 2000-talet. De kommande åren kommer att antal höghus att färdigställas i Sverige och takten de byggs i ökar. Vid projekteringen av höghus finns diverse utmaningar att ta hänsyn till som i vanliga fall inte behöver tänkas på. Det är därför viktigt att de som är involverade i projektet har tillräcklig kunskap.

Vid projektering av höghus påverkar valet av installationstekniska system byggnadens utformning och storlek på den kommersiellt tillgängliga arean. I höghus upptar ofta ventilationssystem hela våningsplan samtidigt som kanaldimensionering påverkar höjden på varje våningsplan. Byggnadshöjden innebär även ett högt statiskt tryck vilket skapar utmaningar för byggnadens vattensystem. En optimerad projektering är essentiell för att bygga ett fungerande och beständigt höghus.

1.2 Syfte

Denna rapport har till syfte att undersöka hur installationstekniska system projekteras i höghus samt redogöra och belysa de utmaningar höjden medför. Rapporten syftar även till att undersöka behovet av ett underlag och belysa de viktigaste aspekterna att förhålla sig till vid utformning av installationstekniska system i höghus.

1.3 Frågeställning

Syftet leder fram till dessa frågeställningar som rapporten avser att besvara

- Hur projekteras installationstekniska system i höghus?
- Vilka är de största skillnaderna mellan en hög och en låg byggnad med avseende på installationstekniska system?
- Hur optimeras installationstekniska system yteffektivt?
- Vilka regler och rekommendationer styr utformningen av installationstekniska system?
- Finns det ett behov av ett underlag och vad i det underlaget är av vikt för att förenkla projektering av höghus?

1.4 Avgränsning

Detta arbete är geografiskt avgränsat till Sverige och avser att behandla svenska höghus. Höghus är definierat som byggnader med tekniska lösningar där

byggnadshöjden påverkar dess utformning. Arbetet analyserar fyra svenska höghus, detta kan ej ge en generell bild över alla lösningsmetoder.

2 Metod

Detta arbete består av en jämförande fallstudie. En jämförande fallstudie kan definieras som studier av en sort i två eller flera kontexter (Esaïasson, Gilljam, Oscarsson & Wängnerud, 2012). En annan definition av Bryman (2012) är att när antalet fall övergår från ett till flertalet är det inte längre en fallstudie, utan en jämförande fallstudie eller flerfallsstudie som det även kallas. En jämförande fallstudie tillämpas i detta fall genom studier av installationstekniska system i ett antal höghus.

Varje höghus studeras individuellt för att finna systemval, projekteringsmetod, eventuella svårigheter och skillnader mot generell projektering. När data är sammanställd för respektive höghus påbörjas en jämförande studie för att se likheter och skillnader samt hur olika val av system har påverkat slutprodukten.

Två metoder används i detta arbete. En litteraturstudie utgör starten av arbetet som ger en fördjupning inom ämnet. Utöver litteraturstudien används även en semistrukturerad intervjustudie. Den ska ge ytterligare information om ämnet och specifika projekt samtidigt som en intervju tillgängliggör mer personliga svar på hur projekt uppfattas av deltagarna.

2.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie påbörjas genom att identifiera nyckelord som är relevanta för arbetet. Kunskapen om ämnet i Sverige är lägre än övriga delar av världen, därför söks litteratur och vetenskapliga artiklar främst på engelska. De nyckelord som används mest frekvent är "*High rise buildings*", "*Tall buildings*", "*HVAC*", och "*Mechanical ventilation*". Utöver texter specifika för höga hus studeras även litteratur som behandlar ämnet VVS. Den litteratur som främst används i arbetet presenteras i följande lista:

- Donald Ross har skrivit boken: *HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings*

Donald Ross bok från 2004 behandlar och ger en grundläggande förståelse för vvs-system i kommersiella höghus. Generella lösningar och vilka utmaningar ett högt hus medför presenteras. Boken är utgiven i USA och författaren är medlem i ASHRAE.

- ASHRAE har gett ut guideboken: *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall, and Megatall Building Systems*

Denna bok är utgiven av ASHRAE år 2015 och författad av Peter Simmonds. Denna Bok är en uppföljare till Donald Ross bok från 2004 och ger en bredare information av byggnadssystem i höghus samt uppdaterar lösningar till dagens standarder. Simmonds beskriver även hur funktioner i höghus har förändrats, från att kontorshus har varit dominerande till dagens flerfunktionella byggnader med bostäder, hotell och kontor samt dess skillnader.

- Catarina Warfvinge och Mats Dahlblom har skrivit: *Projektering av VVS-installationer*

Projektering av VVS-installationer riktar sig mot studenter inom samhällsbyggnadsteknik och ger en grundläggande information om VVS-systemen i en byggnad, hur komponenter fungerar samt hur de hör ihop.

2.2 Intervjustudie

För vidare fördjupning och för att hitta mer information angående hur yrkesverksamma projekterar och ser på systemdesign används en samtalsintervju. Till skillnad från en litteraturstudie skapar samtalsintervjuer utöver bestämda frågor potentiella följdfrågor (Esaiasson, et al., 2011). Vidare kan även överraskande svar förekomma som kan skapa ytterligare underlag för fler frågor.

Intervjustudien grundar sig i metoden kvalitativ intervju. Den kvalitativa metoden ger ett större utrymme att fokusera på personen som intervjuas jämfört med en kvantitativ metod (Bryman, 2012). Detta visar sig i att personliga perspektiv blir mer lättillgängliga vid öppna frågor än vid en strukturerad frågemall som den kvantitativa metoden många gånger använder.

Intervjuerna har en semistrukturerad karaktär. Det betyder att intervjun följer en frågemall till viss del till skillnad från en ostrukturerad intervju där endast en fråga kan vara grunden till en hel intervju (Bryman, 2012). En frågemall styr intervjun framåt men behöver ej följas strikt. Då intervjupersoner är verksamma eller insatta i ämnet kommer vid de tillfällen det behövs korrekt terminologi användas. En semistrukturerad intervju syftar till att utöver den frågemall som används även lägga vikt vid följdfrågor beroende på vilka svar som ges (Bryman, 2012). För att hitta en balans och skapa utrymme för personliga perspektiv följer intervjun ett antal råd. Bryman (2012) menar att följande punkter bör tas hänsyn till:

- Skapa en frågemall som följer en röd tråd
- Konstruera frågor som ger svar på en frågeställning utan att vara för specifik
- Använd ett språkbruk som passar situationen
- Ställ ej ledande frågor
- Formalia är till hjälp för att analysera svar i rätt kontext

Nedan följer en lista över personer som deltagit i studien.

Tabell 1 Tabell över personer som deltagit i intervjuer.

Namn, företag	Yrkestitel	Byggnad	Erfarenhet	Typ, tid
Sten Heidmark, Incoord	Uppdragsansvarig	Kista Torn	38 år	Telefon, 40 minuter
Mattias Kulling, PQR	Konsult	Kajen 5	23 år	Telefon, 30 minuter
Peter Cottman, Bengt Dahlgren AB	Verksamhetschef	Citygate	35 år	I person, 60 minuter
Jan-Olof Johansson, Bengt Dahlgren AB	Senior konsult	Karlatornet	42 år	I person, 60 minuter

3 Höga hus

3.1 Definition av höghus

Hur ett höghus definieras varierar stort. Först och främst måste det vara en byggnad, vilket definieras av att minst hälften av höjden är tillgänglig för boende, arbete eller andra användningsområden på ett riskfritt och lagligt vis (CTBUH, 2019). Denna definition utesluter bland annat radio- och tv-master samt höga kyrkor. Det finns inte någon konkret definition när en byggnad är ett höghus men *The Council on Tall Buildings and Urban Habitat* menar att kontexten byggnaden finns i, byggnadens proportioner och teknologi förknippat med höghus är alla indikationer på ett höghus. En mer konkret beskrivning är byggnader över 14 våningar eller över 50 meter upp till 300 meter (CTBUH, 2019). Byggnader över 300 meter delas upp i två kategorier, superhöga och megahöga, med definitionen över 300 meter eller över 600 meter. Definitioner skiljer sig även mellan höghus och skyskrapor, där en tydlig övergång eller skillnad ej är konkret. Andra definitioner från litteratur listas nedan.

- “A tall building as one whose height is greater than 300 feet (91 m)” – The ASHRAE Technical Committee for Tall Buildings (Ross, 2004)
- “A skyscraper is defined on Emporis as a multi-story building whose architectural height is at least 100 meter” – Emporis (Emporis, uå)
- “A high-rise building is a structure whose architectural height is between 35 and 100 meters” – Emporis (Emporis, uå)

I Sverige finns ingen vedertagen beskrivning av varken höghus eller skyskrapa. Svensk ordbok definierar ett höghus som ett hus med fler än fem våningar medan en skyskrapa definieras som ett mycket högt hus med en förhållandevis liten basyta (SO, 2009).

3.2 Historien om höga hus

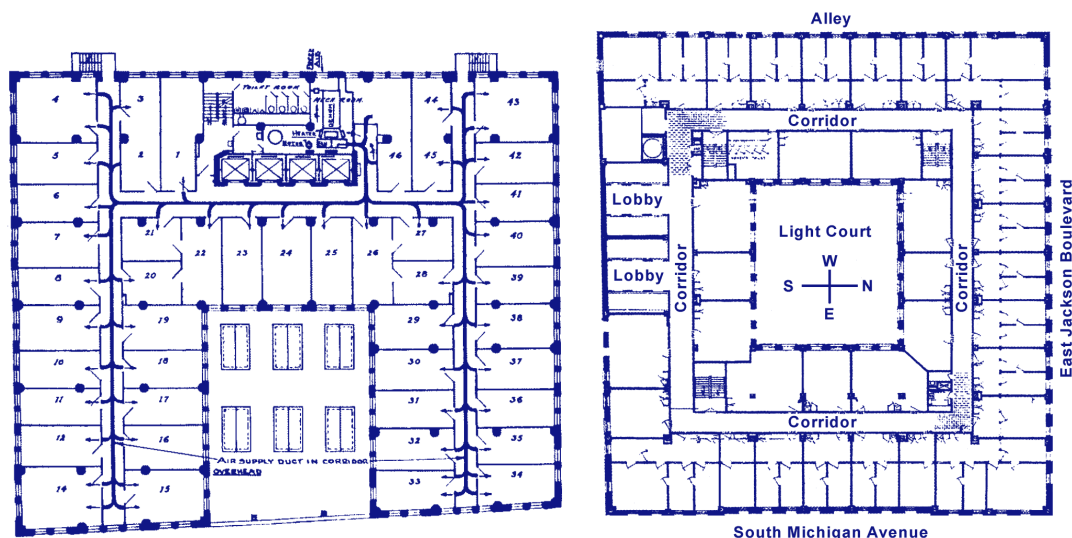
Att bygga på höjden har historiskt varit ett sätt att visa upp sin makt i samhället. I Italien hävdade överklassen sin makt under medeltiden genom att bygga högre och högre torn och kristendomen har i Europa med höga katedraler visat sin plats i samhället (Siesjö, Olshammar, & Olsson, 2018). Skiftet från att främst bygga högt för ett symbolvärde till mer praktiska byggnader där fler funktioner sammanvävs sker mot slutet av 1800-talet. Hissar möjliggör vertikala transporter och stålkonstruktioner tillåter byggnaderna att växa på höjden samtidigt som markpriser i attraktiva områden som New York och Chicago ökar. Den första skyskrapan som byggdes var Home Insurance Building i Chicago skapad av ingenjören William Le Baron Jenney (Marshall, 2015). Byggnaden var tio våningar hög och färdigställdes 1885. Det som utmärker Home Insurance Building och det som definierar byggnaden som en skyskrapa är den stålram som bär byggnaden. Tidigare innebar en högre byggnad tjockare väggar och mindre fönster men Jenney's byggnad lade grunden till den typ av stålkonstruktion som kom att nyttjas i framtida höghus (Marshall, 2015).



Figur 1 t.v. Home Insurance Building, t.h. Milam Building

Home Insurance Building byggdes innan mekanisk ventilation var uppfunnen. För att tillgodose ett gott inomhusklimat var byggnadsdesign avgörande. Fasadens utformning, fönsterplaceringar och takhöjd är parametrar som nyttjades (Sev, & Aslan, 2014). Ugnar används för kalla vintermånader och öppningsbara fönster för sommarmånaderna. Dessa verktyg säkrade byggnadens användning året runt. De tidiga höghusen skapade för kontor hade ofta en byggnadsdesign med E-, H-, eller U-former likt Milam Building i San Antonio byggt 1928 eller byggda med innergårdar som Straus Building i Chicago byggd 1924 (Arnold, 1999). Dessa former förstärker naturlig ventilation med möjlighet att skapa ett större drag än vid en kvadratisk eller rektangulärt stängd form samtidigt som en större andel byggnadsyta har tillgång till dagsljus.

Milam Building blir det första höghus där ett fullskaligt mekaniskt ventilationssystem installeras (Arnold, 1999). Ventilationssystemet försörjer byggnaden med komfortkyla, där kylvatten hämtas och fylls upp under nätter från en närliggande älv och pumpas upp till en vattentank belägen på byggnadens tak. Systemet används även till att värma byggnaden med varm luft. Ventilationskanaler är placerade i korridorer med nedsänkta tak och når varje kontor där tilluftsdon är placerade (Arnold, 1999). Luften transporteras sedan tillbaka till ett fläktrum via frånluftsgaller och längs korridorer. Se Figur 2 för illustration.



Figur 2 t.v. Planlösning med kanaldragning, Milam Building (1929)., t.h. Planlösning Straus Building (1924).

Människor som arbetade i Milam Building var trots ett nytt system inte nöjda med inomhusklimatet och nyttjade öppningsbara fönster för att skapa ett tillfredsställande klimat (Sev, & Aslan, 2014). Låga luftflöden och ett ineffektivt kanalsystem bidrog oavsett till ett bättre inneklimat än byggnader utan mekanisk ventilation. Mekanisk ventilation nyttjas därefter allt mer och nya system installeras i många höghus som tidigare endast haft naturlig ventilation vilket sedermera blir norm (Sev, & Aslan, 2014).

1932 färdigställs PSFS Building i Philadelphia, ett fullt mekaniskt ventilerat 32-våningshus (Arnold, 1999). Likt Milam Building hör PSFS Building till de första höghus med mekaniska ventilationssystem och de lösningar som tillämpas anses banbrytande. Andra höghus från samma tidsperiod som Empire State Building eller Chrysler Building byggs båda helt utan en design som främjar naturlig ventilation eller någon mekanisk ventilation trots dess byggnadshöjd (Sev, & Aslan, 2014). En av de nya lösningar som tillämpas på PSFS Building är ett teknikplan mitt i byggnaden på våning 21, utöver teknikplan i källare och på tak (Arnold, 1999). Denna lösning minskar trycknivåer i kanaler och det utrymme som vertikala schakt upptar och är den teknik som sedan dess nyttjas i höga hus. Fläktrum på varje våning distribuerar tilluft.

De nya ventilationssystemen kom även att förändra byggnadernas utseende. Helglasade fasader blev möjliga när överskottsvärme inte längre var ett problem (Arnold, 1999). I London blev den mekaniska ventilationens påverkan på helglasade fasader tydlig när kontorsbyggnader byggdes efter andra världskriget. Mekanisk ventilation var ovanlig i Storbritannien och de nya byggnaderna designades med enbart naturlig ventilation. Det resulterade i ohållbara arbetsförhållanden och byggnaderna revs i förtid.

4 Installationstekniska system

4.1 Ventilation- och luftbehandlingssystem

Tillförsel av ren och frisk luft till en byggnad krävs för att inomhusluften kontinuerligt ska hålla en hög kvalitet. Vid för höga halter koldioxid i luften kommer människor påverkas då kroppens förmåga att ta upp av syre försämras (Warfvinge, Dahlblom, 2016). För att undvika detta krävs normalt ett ventilationsflöde baserat på funktion, area samt förväntat antal människor som vistas i byggnaden eller rummet. Boverkets byggregler innehåller föreskrifter och allmänna råd till Plan- och bygglagen, vilket är det regelverk som behandlar byggande i Sverige. BBR anger ett minimikrav om 0,35 l/s per m² golvarea (Boverket 2011:6). Utöver de krav från BBR finns även rekommendationer från Arbetsmiljöverket. De rekommenderar ett extra flöde om 7 l/s per person i utrymmen där personer vistas mer än tillfälligt samt utför ett stillasittande arbete (AFS 2009:2).

Ventilationen i en byggnad påverkar utöver luftkvaliteten även akustisk komfort och termisk komfort (REHVA, 2011). Dessa faktorer blir bidragande för inomhuskvaliteten. Ett dåligt inomhusklimat kan påverka hur människor trivs på en arbetsplats eller i sin bostad. Detta kan resultera i kostnader för arbetsgivare, byggnadsägare samt individer då sjukdomar, sjukskrivningar eller ombyggnationer blir resultatet av en dålig projekterad byggnad (REHVA, 2017).

Buller orsakade av ventilationssystem består främst av fläktljud och ljud från don (Ekberg, 2003). Ljud uppfattas på olika sätt av människor men buller kan definieras som ett ej önskvärt ljud. Utöver ljud är vibrationer även en bidragande faktor till akustisk komfort (Ekberg, 2003). Vibrationer från en källa transporteras via en byggnads konstruktion och kan skapa oljud långt från vibrationskällan. Utsätts människor för buller under en lång period har en negativ påverkan för hälsan (Warfvinge, Dahlblom, 2016). De hälsoeffekter som buller kan påverka är en allmän störning, sömnproblem, nedsatt prestationsförmåga, hörselproblem samt hjärt- och kärlsjukdomar (Karolinska Institutet, 2017).

Hur en människa uppfattar det termiska klimat i en byggnad är till viss del individuellt (Gunnarsen, 2003). Kläder fungerar som ett värmeisolerande lager och påverkar en individs termiska komfort. Ämnesomsättning eller aktivitet påverkar den värmeproduktion som en kropp avger vilket påverkar upplevelsen av det termiska klimatet. Utöver de personberoende parametrar påverkar även luftens temperatur, temperatur vid omgivande ytor, lufthastighet och luftfuktighet det termiska klimatet (Gunnarsen, 2003). Luftens temperatur inomhus är i Sverige normalt omkring 18 till 22 °C vintertid medan den under sommartid normalt är omkring 22 - 25 °C (Warfvinge, Dahlblom, 2016). Inomhustemperatur som mått på komfort är vanligt, men då de andra parametrarna ej beaktas kan det bli missvisande. Omgivande ytor med lägre temperatur än en kropp strålar värme från kroppen mot kallare ytor, vilket påverkar de delar av kroppen som är vända mot den kalla ytan. En hög lufthastighet kan skapa drag som kyler ner kroppen. Drag kan uppkomma vid don, otätheter i byggnader eller ge upphov till kallras vid kalla ytor (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations har i sin guidebok nr.22 listat följande tabell som kan appliceras för bland annat lägenhetshus och kontor för uppskattning av termisk komfort.

Tabell 2 Mänsklig respons vid olika nivåer av inomhusklimat (REHVA, 2017).

Inomhusklimat	Rumstemperatur Andel förväntat missnöjda	Ventilationsflöde Andel missnöjda	Drag Andel missnöjda
I - Utmärkt	6<6%	7<15%	8<10% Få klagomål under vintertid vid låga inomhustemperaturer från känsliga personer
II - Bra	<10% Liten minskning av produktivitet	<20% Liten minskning av produktivitet. Vissa fall av sjuka hus-sjukan.	<20% Vissa klagomål under vintertid vid låga inomhustemperaturer
III - Tillfredsställande	<16% Tydlig minskning av produktivitet. Klagomål om torr luft och sjuka hus-sjukan vintertid.	<30% Ökning av sjuka hus-sjukan. Minskning av produktivitet. Risk för ökad fukthalt och mikrobiell påväxt.	<30% Ökning av klagomål om drag under vintertid vid låga inomhustemperaturer. Minskad produktivitet
IV - Dålig	>16% Tydlig minskning av produktivitet. Ökade klagomål om torr luft och sjuka hus-sjukan vintertid.	>30% Tydlig ökning av sjuka hus-sjukan. Minskning av produktivitet. Ökad risk för sjukskrivning. Risk för ökad fukthalt och mikrobiell påväxt.	>30% Tydlig ökning av klagomål om drag.
V - Byggnader utan kyla	Tydligt missnöje, minskad produktivitet vid höga och låga temperaturer	Tydligt missnöje och minskad produktivitet.	Stora andelar av klagomål vid höga luftflöden.

4.2 Luftburen kyla

Ett luftburet kylsystem är ett ventilationssystem där kall tilluft används till att föra bort överskottsvärme (Warfvinge, Dahlblom, 2016). Beroende på kylbehov används olika tilluftstemperaturer. Luftflödet påverkar också kyleffekten i det avseende att ett större volymflöde kall luft ger en större kyleffekt.

4.2.1 CAV

CAV betyder Constant Air Volume, konstantflödessystem och är ett ventilationssystem där det inte finns möjlighet att reglera luftflödet. Detta innebär att oavsett hur många människor som vistas i ett rum och hur mycket internvärme som ännu avges från dessa så är luftflödet konstant (Warfvinge, Dahlblom, 2016). Luftflödet i ett konstantflödessystem dimensioneras efter hygieniska kvalitetskrav från Boverkets Byggregler (BBR) och rekommendationer från Arbetsmiljöverket.

4.2.2 VAV

VAV står för Variable Air Volume, dvs variabelflödessystem. Ett sådant system regleras efter faktorer som exempelvis personnärvaro, koldioxidhalt och rumstemperatur. Därmed är systemets flöde inte konstant under drifttiden (Warfvinge, Dahlblom, 2016). Systemets maximala luftflöde dimensioneras efter kylbehovet under sommaren. Jämfört med ett konstantflödessystem är det dimensionerade luftflödet högre. Detta leder till att både kanaldimensioner och luftbehandlingsaggregat ökar i storlek. Warfvinge och Dahlblom (2016) skriver att variabelflödessystem ofta brukas i olika typer av lokaler, exempelvis skolor och kontor.

4.3 Vattenburen kyla

Ett vattenburet kylsystem använder vatten som köldmedium och dimensioneras för ett lägre luftflöde än ett luftburet kylsystem (Simmonds, 2015). Vatten har en högre specifik värmekapacitet och kan därför lättare transportera bort värme. Detta resulterar i att mindre kanaldimensioner och ett mindre flöde behövs (Warfvinge, Dahlblom, 2016). I vattenburna kylsystem ingår bland annat kylpaneler och kylbafflar.

4.3.1 Kylbafflar

En kylbaffel är en komponent som används till att kyla den omgivande luften. Baffeln har flertalet flänsar där kylvatten strömmar igenom för att kyla ned baffeln. När den omgivande luften kommer i kontakt med baffeln kyla den ned och värme transporteras bort från rummet (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

Det är framförallt två varianter av kylbafflar som används, aktiva och passiva (Fläkt Woods, 2009). En aktiv baffel, som även kan kallas tillufts baffel, fungerar som en kombination av en kylbaffel och ett tilluftsdon (Warfvinge, Dahlblom, 2016). Tilluften passerar genom kylbaffeln och kyls då ned.

En passiv kylbaffel skiljer sig från en aktiv då ingen tilluft passerar genom. I system med passiva bafflar behövs därför separata tilluftsdon för att försörja rummet med luft (Fläkt Woods, 2009). Istället bygger en passiv kylbaffels funktion på att varm luft har lägre densitet än kall luft, detta leder till att den varma luften stiger för att sedan kylas ned vid kontakt med kylbaffeln varefter den kylda luften sjunker.

I system med kylbafflar kan problem med kallras och kondens uppstå. Dessa faktorer begränsar därför den maximala kyleffekten som kan åstadkommas. Kondens kan motverkas genom att säkerställa att temperaturen på kylvattnet alltid är högre än daggpunktstemperaturen i rummet. En vanlig dimensionering för en kylbaffel är att framledningstemperaturen håller c.a. +14°C och returtemperaturen är c.a. +18°C (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

4.3.2 Kylpaneler

En kylpanel har många likheter med en kylbaffel. Den monteras i taknivå och fungerar som ett kylande element tack vare att kallvatten strömmar genom panelen. Kylningen kommer framförallt från att värme strålas mot panelen men delvis även från konvektion av luften i rummet (Warfvinge, Dahlblom, 2016). Kylpaneler kan drabbas av liknande problem gällande kondens som kylbafflar och dimensioneras därför i regel på samma sätt.

4.4 Vattensystem

En byggnads vattensystem består av värme- och kylsystem, tappvattensystem samt spillvattensystem.

Ett vattensystems komponenter är i Sverige tryckklassade efter Europeisk Standard (SS-EN 1333:2006). Tryckklasser benämns PN följt av en siffra och står för nominellt tryck. Siffran som följer PN talar om det maximalt tillåtna tryck komponenten har. Siffran står för bar och en bar är lika med 100 kPa. PN-värden har en bestämd ordning och följer numreringen PN 2,5, PN 6, PN10, PN16 och fortsätter till PN 400 (SS-EN 1333:2006).

En hög byggnad ger upphov till ett högt statiskt tryck i ett vattensystem. Ekvation (1) visar hur uppföringshöjden påverkar det tryck systemet har.

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Där p , tryck [Pa]
 ρ , densitet [kg/m^3]
 g , tyngdacceleration [N/kg]
 h , höjd [m]

$$1000 \cdot 9,82 \cdot 10 = 98200 \text{ Pa} \quad (2)$$

Ekvation (2) visar det tryck en 10 meter hög byggnad har med avrundade värden på vattnets densitet och tyngdaccelerationen. 98200 Pa är drygt 100 kPa vilket översätts till 1 bar eller 10 mVp.

Komponenter och rör är klassade efter ett maximalt tryck. Beroende av dess tryckklass begränsas systemets utformning till en viss höjd. Vid en byggnadshöjd där det statiska trycket överskrider den tryckklass komponenter och rör har måste systemet tryckreduceras för att fungera. För att tryckreducera ett system kan det delas

upp i två eller flera separata system. En uppdelning sker genom att en värmeväxlare transporterar värme från ett system till ett annat, det medför att uppforderingshöjden begränsas. Ett annat sätt att tryckreducera är användning av en tryckreduceringsventil som minskar ett inloppstryck till ett lägre utloppstryck.

4.4.1 Värmesystem

En byggnads värmesystem är till för att “skapa ett behagligt inneklimat vad gäller lufttemperatur, temperaturgradient, strålningsförhållanden och lufthastighet.” (Warfvinge, Dahlblom, 2016 s. 4:1). Det finns flertalet olika typer av värmekällor och valet av värmekälla beror på faktorer som miljöpåverkan, ekonomi och underhållskrav. Väl inne i byggnaden distribueras värmen i de olika rummen för att skapa den trivsamma inomhusmiljö som eftersträvas (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

4.4.1.1 Rumsvärmare

Placeringen av värmeytorna i ett rum är viktig. Om detta inte görs på rätt sätt finns en risk att rumstemperaturen upplevs som ojämn. Rumsvärmare placeras generellt vid fönster och ytterväggar då dessa kyler rumsluften. (Warfvinge, Dahlblom, 2016). Det finns flertalet olika typer av rumsvärmare som alla kan användas för samma syfte. Nedan förklaras ett par typer.

4.4.1.2 Radiatorer

Radiatorer är den vanligast förekommande typen av rumsvärmare. Ett radiatorsystem kan vara vattenburet eller drivas av direktverkande el. En radiator avger värme både via strålning och konvektion. Effektiviteten från värmestrålningen beror på olika faktorer, exempelvis möbleringen i rummet och ytbehandlingen på radiatören. En radiator som är omålad och med en plan yta är mest effektiv. Luften omkring radiatören rör sig tack vare egenkonvektion. Den uppvärmda luften stiger och ersätts sedan av ny luft som i sin tur värms upp. För att detta ska fungera effektivt är montaget viktigt. Det måste vara ett lagom avstånd till golv, väggar och fönster för att luften ska kunna cirkulera (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

4.4.1.3 Konvektorer

Konvektorer påminner mycket om radiatorer men är generellt lägre och mindre till storleken. Den låga höjden gör att konvektorer passar bra i byggnader med mycket och stora fönster då de inte kräver stora väggytor för att montera. Den värmeavgivande ytan är dock större jämfört med en radiator då insidan består av en veckad plåt som värms upp av att det varma vattnet cirkulerar genom systemet. På grund av att frontarean är liten begränsas värmestrålningen mot rummet och majoriteten av värmeavgivningen sker via konvektion (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

4.4.1.4 Golvvärme

Ett golvvärmessystem innebär att rörslingor med cirkulerande varmvatten placeras under golvytan. Därmed värms golvet upp och värme avges i rummet via både strålning och konvektion. Golvvärme kan användas i byggnader med både betong- och träbjälklag. I ett betongbjälklag gjuts värmeslingorna in direkt i golvet och i ett

träbjälklag monteras de på plåtar som hjälper till att fördela värmen över golvet för att få en jämn temperatur (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

4.4.2 Undercentral

Begreppet undercentral syftar generellt till fjärrvärmecentral. I en fjärrvärmecentral sker värmeutbytet mellan fjärrvärmenätet och byggnadens interna värmesystem med hjälp av värmeväxlare. Mätare som läser av byggnadens energianvändning är också placerade i fjärrvärmecentralen (Warfvinge, Dahlblom, 2016).

I detta arbete används ordet undercentral som ett bredare begrepp. Anledningen till det är att personer som intervjuats använder ordet för att beskriva utrymmet där dels fjärrvärmecentralen men också andra installationstekniska system är placerade. Användningen av "undercentral" i arbetet är många gånger synonym med teknikrum eller liknande.

4.4.3 VVC

Varmvattencirkulation används för att förebygga stillastående vatten i en byggnads varmvattenledningar. Stillastående varmvatten i vattensystemen svalnar med tid vilket påverkar flödet av varmvatten vid behov. Det redan avkylda vattnet i ett system måste tappas ut innan nytt varmt vatten når tappstället. En cirkulationspump motverkar detta genom att ett konstant flöde går i en separat ledning och bibehåller temperaturen på varmvattnet vid tappstället. Temperaturen på varmvatten måste konstant vara högre än 50 °C för att motverka tillväxt av bland annat legionellabakterier. Utöver temperaturkrav finns även ett allmänt råd där väntetiden för varmvatten ej ska vara högre än 10 sekunder.

4.4.4 Tappvatten

Ett tappvattensystem har enligt den svenska standarden SS-EN 806-3:2006 ett min- och maxtryck. Tappstället måste ha minst 100 kPa och får max ha 500 kPa. Ett tappvattensystem ska enligt Boverket (2011) utformas för ett statiskt vattentryck om minst 1 MPa.

4.5 Val av ventilationssystem

Valet av ventilationssystem är viktigt för att åstadkomma en optimal lösning och ett system som passar byggnaden. Olika typer av byggnader har olika typer av behov och krav så det är viktigt att man projekterar på rätt sätt för att garantera att ett fungerande system. Till exempel har bostäder och kontor inte samma behov och kan därför kräva två olika typer av system för att tillgodose dessa behov på ett optimalt sätt (Bhatia, 2011).

Det är många parametrar som påverkar valet av det mest lämpliga systemet. Bhatia (2011) listar ett antal av dessa. Exempel på parametrar som har en inverkan på valet av system är bland annat termisk komfort, byggnadens arkitektur och ändamål, tillgängligt utrymme och våningshöjd, inomhusmiljö, föreskrifter och standarder samt

miljöbegränsningar. Dessa bör tas hänsyn till vid val och projektering av ett optimalt system.

Det är framförallt två olika typer av system som används. Ross (2004) benämner dessa system som “central fan systems” och “floor by floor systems”. I detta arbete översätts begreppen till centraliserade system och decentraliserade system.

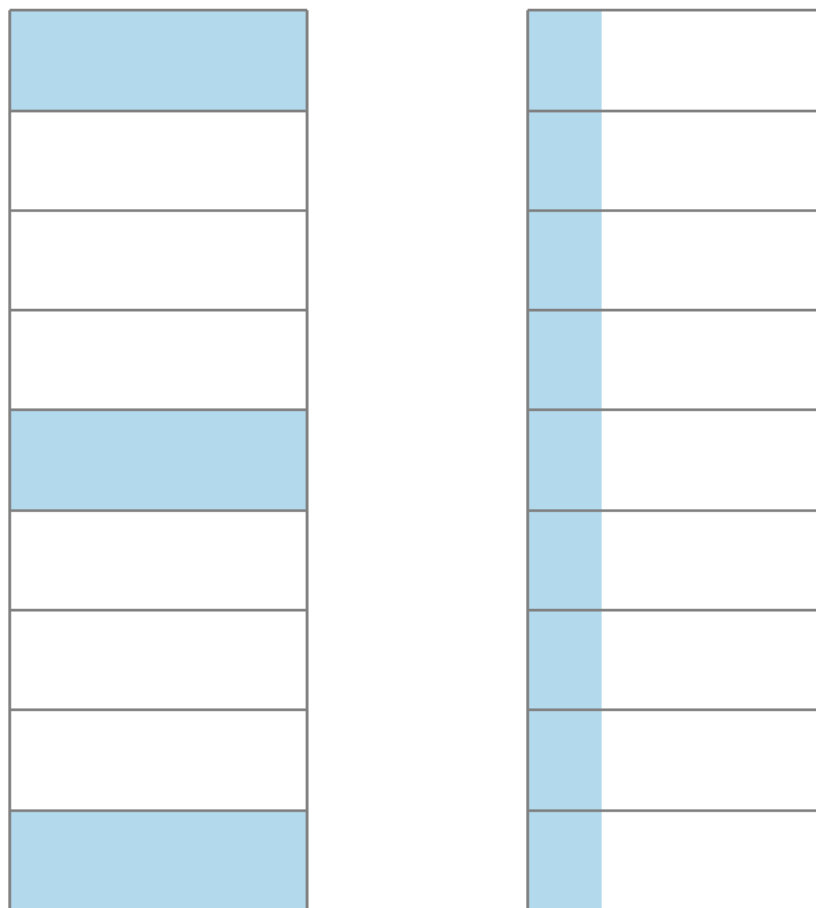
4.5.1 Centraliserade system

I ett centraliserat system finns det ett större teknikrum som upptar ett helt, eller åtminstone en stor del av, ett våningsplan i byggnaden. I rummet finns ett eller flera större luftbehandlingsaggregat som förser ett flertal våningar med luft (Ross, 2004). Antal teknikrum av den här typen som behövs för att kunna tillgodose hela byggnadens behov beror på byggnadens storlek och antal våningar. I en hög byggnad kan många våningsplan upptas enbart av installationer, exempelvis luftbehandlingsaggregat.

Valet av placering för teknikrum och vilka våningar som ska upptas av dessa kan variera, aggregaten kan leverera luft både uppåt och nedåt i byggnaden så att placera teknikrummet på en våning kring byggnadens mitt är en möjlig lösning, men de kan även placeras långt ned i byggnaden, exempelvis i källaren, eller högt upp, på exempelvis en vindsvåning enbart avsedd för teknikrum och installationer (Ross, 2004).

4.5.2 Decentraliserade system

Alternativet till att ha ett centraliserat system som förser många våningar är att ha ett decentraliserat system. Ett decentraliserat system bygger på att varje våning har ett mindre teknikrum med ett luftbehandlingsaggregat som normalt sett enbart förser den specifika våningen med luft (Ross, 2004).



Figur 3 Principskiss som visar skillnaden på ett centraliserat och ett decentraliserat ventilationssystem.

4.5.3 Jämförelse mellan systemen

Det finns både för- och nackdelar med respektive system. I sin bok *HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings* jämför Donald Ross dessa system med avseende på användning i kontorshus (2004). Ross delar upp jämförelsen i olika kategorier som avser olika problemområden. Nedan redovisas en sammanfattning av några olika problemområden i Ross jämförelse med avseende på för- respektive nackdelar för centraliserade och decentraliserade system.

4.5.3.1 Startkostnad

Vid användning av ett centraliserat system är enheterna mer omfattande och färre enheter behövs. Dessa enheter är samlade i ett eller flera större teknikrum i byggnaden. Större luftbehandlingsaggregat innehåller större komponenter som ofta behöver monteras ihop på plats i byggnaden. Specialbeställda produkter kan behöva användas för de att passa in på bästa möjliga sätt. Då dessa system förser en stor del av byggnaden med luft krävs större och därmed dyrare kanalsystem för att kunna hantera det högre luftflödet. Dessa kanalsystem kan dessutom kan vara mer komplicerade att installera (Ross, 2004).

Ett decentraliserat system använder sig istället av många luftbehandlingsaggregat som är mindre till storleken. Då det decentraliserade systemet endast förser ett, eller ett par våningsplan med luft blir luftflödet i kanalsystemet lägre. Något som gör möjliggör användningen av mindre kanaler vilket leder till billigare komponenter och en enklare installation. Dock så kan mer hänsyn behöva tas till akustiska aspekter. Eftersom byggnadens teknikrum är placerade på i princip varje våning är det viktigt att ljudisolera dessa på ett bra sätt för att inte störa de intilliggande verksamheterna. Detta bidrar till ökade kostnader. I ett centraliserat system blir ljudisoleringen enklare då detta endast behöver beaktas på vissa plan (Ross, 2004).

4.5.3.2 Problem relaterade till komponenter och underhåll

Ett ventilationssystem måste underhållas för att fungera optimalt. Donald Ross (2004) berör ett antal bekymmer relaterade till systemens utrustning. Ett centraliserat system innehåller större komponenter men de är färre till antalet. Detta gör att det, jämfört med ett decentraliserat system, krävs mindre underhåll då det är färre avancerade komponenter likt filter, motorer och kullager som kan gå sönder.

Om det uppstår problem i ett centraliserat system är det möjligt att det fortfarande kan användas, beroende på omfattningen av problemen. Dock med försämrad effekt (Ross, 2004). Anledningen till detta är att det centraliserade system ofta innehåller flera luftbehandlingsaggregat som tillsammans förser ett antal våningar med luft. Om ett går sönder fungerar kan fortfarande de övriga aggregaten leverera tilluft till de berörda våningarna. Ross (2004) menar att om problem uppstår i ett decentraliserat aggregat är sannolikheten mindre att det fortfarande ska kunna användas och den berörda våningen kommer således vara helt utan frisk luft från ventilationssystemet.

Båda typerna av system har enligt Ross (2004) snarlik livslängd. Denna bedöms att vara över 25 år så livslängden bör inte vara en avgörande faktor vid valet av system.

4.5.3.3 Arkitektoniska problem

Installationerna i en byggnad tar upp en betydande del av byggnadens area. Byggnadens mekaniska och elektriska utrustning samt de tillhörande schakten kan uppta mellan sju och tio procent av byggnadens bruttoarea (Ross, 2004).

Valet av system avgör hur mycket yta som upptas av teknikrum, luftbehandlingsaggregat m.m. Ett centraliserat system kräver ofta att två våningar åt gången används till teknikrum för att kunna få en tillräcklig takhöjd för att få plats med de stora aggregaten. Ett mindre aggregat i ett decentraliserat system bör rymmas på våningen det förser med luft (Ross, 2004). Ross menar att det finns fördelar för båda fallen. Då det centraliserade systemet är begränsat till särskilda våningar som rymmer all teknik blir det mer utrymme på de våningarna som är avsedda för kommersiell verksamhet. Totalt sett tar dock det centraliserade systemet upp en större del av byggnadens area trots att det är begränsat till ett fåtal våningar och det decentraliserade systemet är då fördelaktigt att välja för att maximera den totala uthyrbara arean i byggnaden.

5 Brand

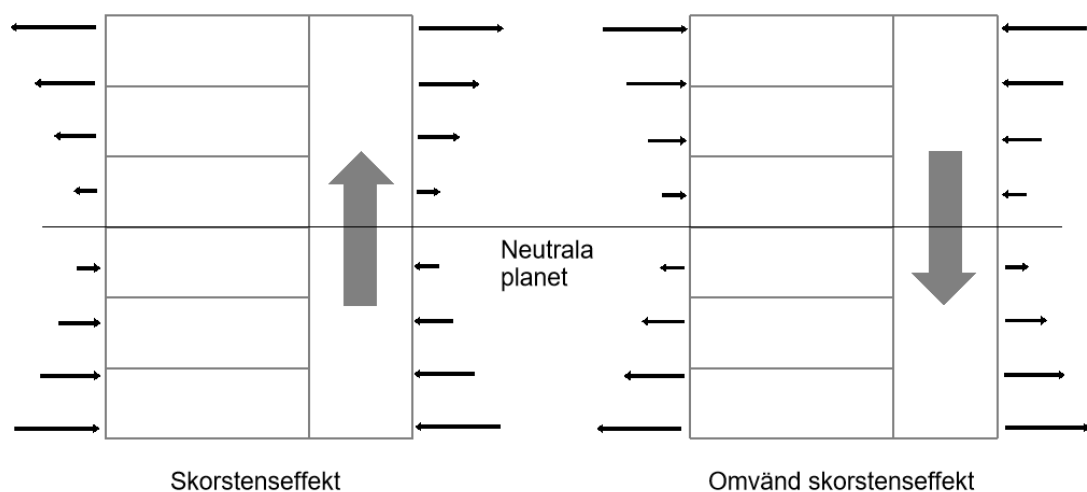
Säkerhet i form av utrymningsmöjligheter och bekämpningen av bränder som utbryter är oerhört viktigt i alla byggnader. Höghus medför dock problem som i vanliga fall inte behöver tas hänsyn till. Den höga höjden gör att brandkåren inte har möjlighet att nå fram med sina stegar för räddningsaktioner på våningar högt upp i byggnaden. Utöver detta medför den höga höjden även problem kopplat till skorstenseffekten och problem som uppkommer av att utrymningen tar längre tid (Simmonds, 2015).

5.1 Skorstenseffekten

Skorstenseffekten, eller “stack effekt” som är det engelska ordet, är ett fenomen som uppträder i framförallt höga byggnader. Skorstenseffekten är ett resultat av densitetsskillnader mellan inne- och uteluften. Densitetsskillnaden uppkommer av temperaturskillnader utomhus och inomhus. Varm luft har en lägre densitet än kall och vill därför stiga, när detta sker skapas en tryckskillnad i byggnaden (Cammelli & Mijorski, 2016). I kalla klimat när innertemperaturen i regel är högre än utetemperaturen skapas ett luftflöde som går nerifrån och upp i byggnaden. Detta sker då den varma luften stiger och kall uteluft tar sig in i byggnaden via de lägre våningarna. Den kalla uteluften värms sedan upp och processen upprepas. Skorstenseffekten är tydligast på vintern eftersom temperaturskillnaden då är som störst (Cammelli & Mijorski, 2016).

Att skorstenseffekten visar sig genom ett luftflöde nerifrån och upp är det vanligaste men i varma klimat kan även en omvänd process förekomma. Då temperaturen inomhus är lägre än temperaturen utomhus har inneluften en lägre densitet och sjunker i byggnaden. Den varma uteluften tar sig sedan in i byggnaden på de översta våningarna, kyla ned och processen upprepas (Cammelli & Mijorski, 2016). Denna omvända skorstenseffekt är dock inte något som behöver tas särskilt mycket hänsyn till i ett land som Sverige då temperaturerna utomhus i allmänhet inte blir så höga att detta sker.

Vid den vanliga formen av skorstenseffekt, då luften flödar nerifrån och upp, orsakar tryckskillnaden ett undertryck i byggnadens nedre del och ett övertryck i byggnadens övre del. Någonstans kring byggnadens mitt återfinns det s.k. neutrala planet. Det är nivån där trycket i byggnaden är neutralt och det inte finns någon drivkraft i byggnaden att varken dra in eller trycka ut luft (Cammelli & Mijorski, 2016).



Figur 4 Principskiss över luftflödet i en byggnad som resultat av skorstenseffekt resp. omvänd skorstenseffekt.

Tryckskillnaderna som skorstenseffekten resulterar i kan orsaka diverse problem som måste beaktas när byggnaden och dess system designas. Ett betydande problem som kan uppstå på grund av skorstenseffekten är att hissutrymmen och trapphus rökfylls som ett resultat av tryckskillnaden vid brand (Cammelli & Mijorski, 2016). Det är mycket allvarligt eftersom trapphusets huvudsakliga syfte i ett höghus är att fungera som utrymningsväg vid en eventuell brand (Simmonds, 2015). Trapphuset ska fungera som en enkel utväg men om det istället fylls med rök försvårar det både utrymning och räddningstjänstens arbete.

5.2 Regelverk

I Sverige styrs reglerna gällande brand av Boverkets Byggregler (BBR). Reglerna ställer krav på bland annat brandceller och utrymningsvägar. Olika typer av byggnader har olika krav gällande brandskydd. För att fastställa vilket typ av brandskydd som behövs i en specifik byggnad delas de in i verksamhetsklasser och byggnadsklasser (Boverket, 2017).

En byggnads verksamhetsklass baseras på byggnadens funktion och hur den används. En byggnad kan ha flera verksamhetsklasser ifall olika delar, exempelvis våningsplan, används till olika ändamål. Parametrar som påverkar är bland annat brandrisk och om personer har kännedom om byggnaden eller inte (Boverket, 2017).

För att avgöra vilken byggnadsklass en byggnad tillhör måste dess skyddsbehov utvärderas. Flera parametrar tas i beaktande: möjliga konsekvenser av att en brand bryter ut, byggnadens komplexitet och det troliga brandförloppet i byggnaden. Begreppen "möjliga konsekvenser" och "byggnadens komplexitet" innefattar dels vilka verksamhetsklasser byggnaden innehåller men också antalet våningar i byggnaden då det påverkar komplexiteten och är relevant för skyddsbehovet (Boverket, 2017).

När en samlad utvärdering av byggnadens skyddsbehov har genomförts tilldelas byggnaden en byggnadsklass från Br0, som innebär ett mycket stort skyddsbehov, till Br3 som innebär ett litet skyddsbehov. Då antalet våningar i en byggnad är relevant för problem som kan orsakas vid en eventuell brand bedöms skyddsbehovet som mycket stort och Boverket (2017) skriver att byggnader med fler än 16 våningar bör utformas i byggnadsklass Br0.

I BBR återfinns diverse krav på en byggnads trapphus med avseende på brandskydd. Trapphusen kan klassas som Tr1 eller Tr2 där det förstnämnda innebär ett bättre skydd. I byggnader som endast har en utrymningsväg och överstiger 16 våningar uppger BBR att minst ett trapphus ska vara Tr1 samtidigt som de resterande trapphusen bör vara Tr2 (Boverket, 2018).

Boverket skriver (2018) att ”Trapphus Tr1 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas”. Syftet med trapphus av den här typen är att i största möjliga utsträckning förhindra att trapphuset fylls av brandrök som försvårar eller omöjliggör utrymning av byggnaden. Boverket anger i sina allmänna (2018) råd att detta kan åstadkommas genom att designa trapphuset med en sluss som är öppen mot det fria som motverkar spridningen av rök.

Boverket (2018) tillägger dock att denna lösning många gånger ses som opraktisk och därmed sällan används i Sverige. Det kan delvis bero på att det blir svårare att placera trapphuset centralt om det måste finnas en sluss som är öppen mot det fria samt att en del av byggnadens area går åt vilket kan leda till att planlösningen blir lidande.

Som ett alternativ till trapphus av typ Tr1 med sluss öppen mot det fria går det istället att använda sig av analytisk dimensionering och trycksätta trapphuset. I BBR står det att ”byggnader i byggnadsklass Br0 ska verifieras med analytisk dimensionering” (Boverket, 2018). Vid analytisk dimensionering är det avgörande att den genomförs på rätt sätt för att kunna säkerställa att brandskyddet är likvärdigt det som hade åstadkommit med förenklad dimensionering. Boverket (2018) listar ett antal faktorer som bör uppmärksammas för att garantera detta:

- ”Systemet har hög tillförlitlighet och ett skydd mot strömbortfall”
- ”Att systemet fungerar vid olika yttre temperatur och vindförhållanden”
- ”Att system dimensioneras för den brandgastemperatur som det kan förväntas utsättas för”
- ”Trycksättningen inte försvårar för öppning av dörrar eller utrymning”

5.3 Räddningshiss

I höga byggnader finns det även särskilda krav på hissarna. I Boverkets byggregler skrivs det att för byggnader som har tio eller fler våningsplan så är en s.k. räddningshiss nödvändig (Boverket, 2018). En räddningshiss är till för att räddningstjänsten på ett effektivt sätt ska kunna bekämpa branden i byggnaden. En räddningshiss är därför brandsäker då detta är nödvändigt för att räddningspersonal ska kunna genomföra insatsen. Det ställs dessutom särskilda krav på kraftförsörjningen till hissen så att denna kan hantera en brand samt hissens utformning (Boverket, 2018).

5.4 Trycksättning av trapphus

Röken som utvecklas vid brand är mycket giftig. Kolmonoxidförgiftning som orsakas av inandning av brandrök är den vanligaste dödsorsaken vid brand (MSB, 2012). Det är därför avgörande att hålla röken borta från utrymningsvägarna och motverka skorstenseffekten. Detta åstadkoms genom att trycksätta byggnadens trapphus. Trycksättningen uppnås genom att fläktar blåser in luft i trapphuset och skapar ett övertryck som förhindrar brandröken från att ta sig in. Det är dock viktigt att inte skapa ett för stort övertryck då det kan orsaka svårigheter med att öppna dörrarna till trapphuset och därmed försvåra utrymningen (Simmonds, 2015).

Persson och Runefors (2017) har i rapporten *Trycksättning av trapphus* studerat ett antal rapporter som behandlar trycksättning av trapphus. Lösningarna i de berörda rapporterna har sammanställts och tre fall med olika systemlösningar har tagits fram.

Fall 1 använder sig av en fläkt med konstant varvtal som utlöses av en rökdetektor vid händelse av brand. Fläkten anpassas för att det önskade övertrycket i trapphuset ska hållas om dörrarna till trapphuset är stängda. Om en dörr öppnas kommer inte fläkten att justera sitt flöde utan trycket faller något. Denna metod var ovanlig och förekom endast i en av de studerade rapporterna (Persson & Runefors, 2017).

Fall 2 går ut på att fläkten i trapphuset är kopplad till en tryckgivare. Det gör att fläktens varvtal kan justeras vid behov. Om dörrar till trapphuset öppnar ökar fläkten flödet och behåller samma övertryck som tidigare. Precis som för fall 1 är det en rökdetektor som aktiverar systemet (Persson & Runefors, 2017).

Fall 3 använder likt fall 1 en fläkt med konstant varvtal som startar när rökdetektorer i byggnaden aktiveras. Skillnaden med den här typen av system jämfört med det som beskrivs i fall 1 är att här finns ett motviktsspjäll som vid händelse av att dörrar öppnar och stängs regleras. Därmed behålls det önskade övertrycket konstant i trapphuset. (Persson & Runefors, 2017). Den här typen av system var det vanligast av de som studerades.

I sin rapport kommer Persson och Runefors (2017) fram till att systemen som används till att trycksätta trapphus inte når upp i samma säkerhetsnivå som ett trapphus av typen Tr1 enligt förenklad dimensionering. De har tagit hänsyn till komponenternas tillförlitlighet, väderpåverkan och bedömt sannolikheten att systemen fungerar på det sättet det är tänkt.

6 Objektsbeskrivningar och resultat

Detta kapitel behandlar fyra höghus i Sverige och hur ventilationssystem och vattensystem har projekterats i dem. Varje enskild byggnad representeras av en person som har intervjuats. Utöver byggnadsspecifika lösningar presenteras även projektörernas allmänna syn på placering av teknik, generella utmaningar ett höghus innebär och synen på ett framtida underlag.

De höghus som studerats är Kista torn, Kajen 5, Citygate och Karlatornet. Kista torn och Kajen 5 är färdigställda medan Citygate och Karlatornet är planerade att färdigställas inom ett par år. För Kista torn och Kajen 5 har utöver intervju även principscheman studerats men på grund av sekretess finns ej denna möjlighet för övriga byggnader.

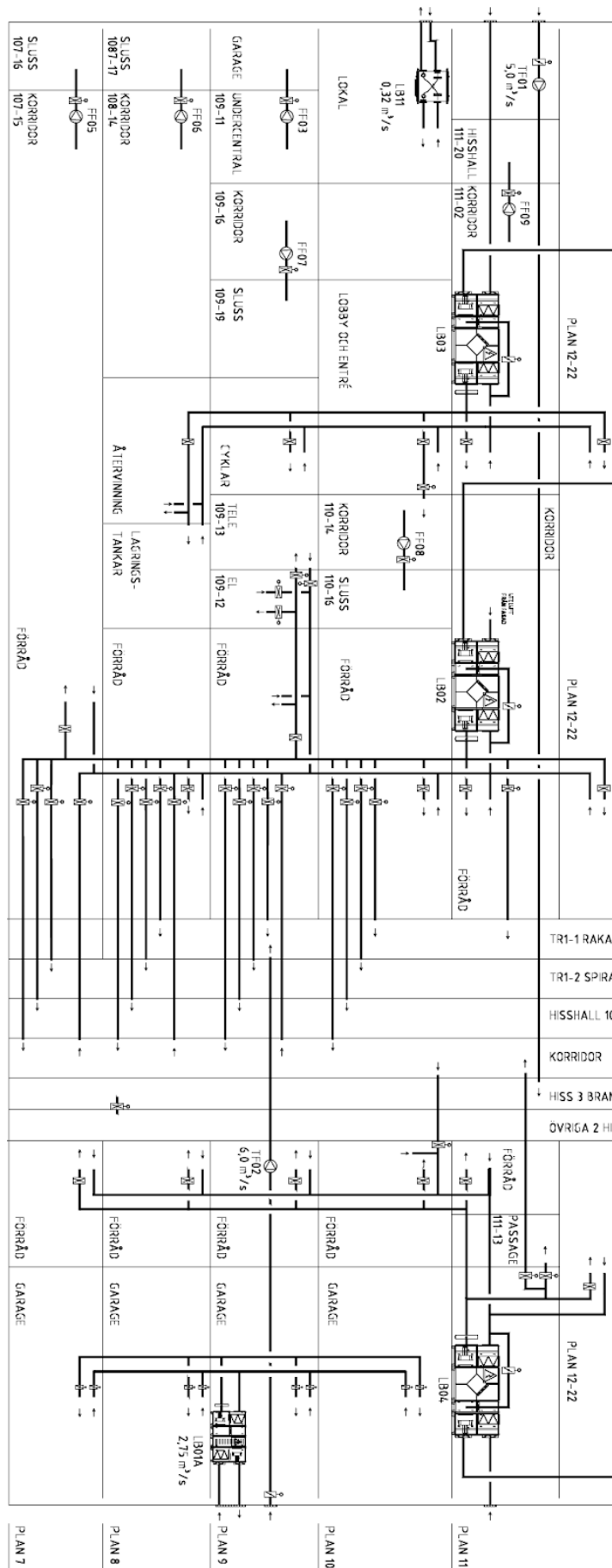
6.1 Kista torn

Kista torn är ett höghus beläget i Kista, norr om Stockholm. Kista torn är 120 meter högt och har 35 våningsplan, vilket gör Kista torn till Stockholms näst högsta höghus. Byggnaden är ett bostadshus och innehåller 266 lägenheter. JM var byggherre för projektet och byggnaden färdigställdes 2016 (JM, 2015). Projekteringen av VVS-installationer har utförts av Incoord (S. Heidmark, personlig kommunikation, 12 mars 2019).

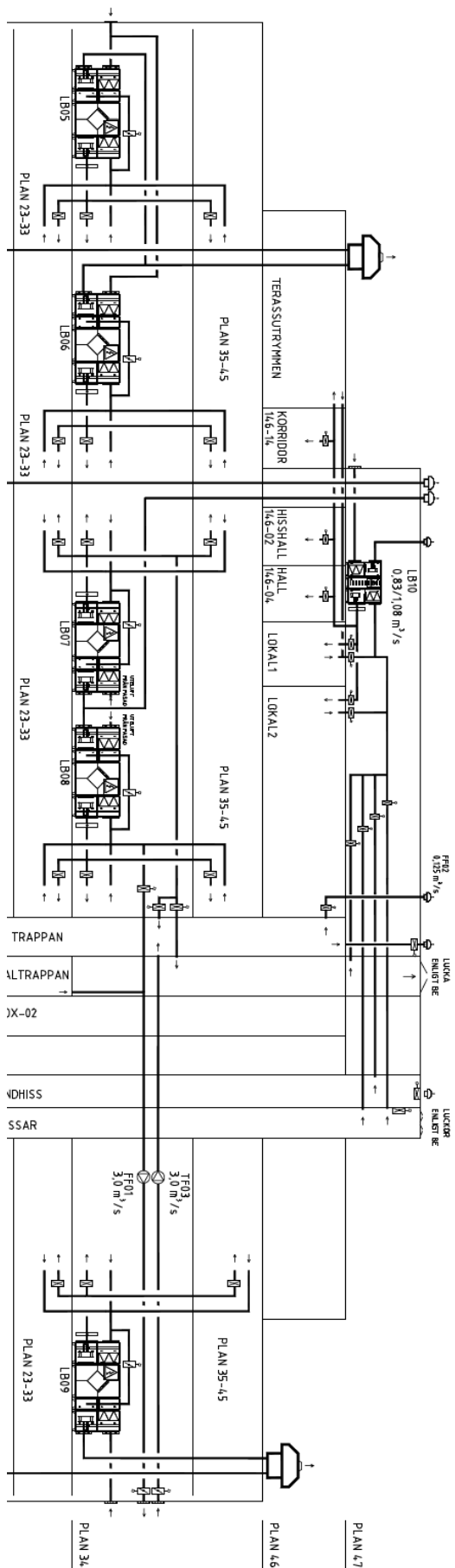
6.1.1 Ventilationssystem

Ventilationssystemet i Kista torn är ett centraliserat system. Byggnaden är uppdelad i tre sektioner med två teknikplan. Ett teknikplan är beläget lågt i byggnaden medan det andra är beläget vid ungefär två tredjedelars höjd. Det lägre teknikplanet benämns som teknikplan 1 medan de högre belägna benämns som teknikplan 2. Varje teknikplan hämtar uteluft via fasad för att sedan behandla och transportera luften vidare i byggnaden. Byggnaden har ett FTX-system där alla aggregat är av typ CAV med möjlighet till frånluftsforcering via köksfläkt.

Figur 5 visar teknikplan 1 som innehåller tre luftbehandlingsaggregat. Varje aggregat försörjer lägenheter 10 våningar uppåt samt entré, förråd och diverse lokaler nedåt. Ett aggregat försörjer även trycksättning av trapphus och ventilation av hisshall. Teknikplan 1 har även en tilluftsfläkt med en hög kapacitet om 5 m³/s som trycksätter en brandhiss vid en brandsituation, luft hämtas direkt från fasad och behandlas ej i något aggregat. Två våningsplan under teknikplan 1 finns även ett mindre aggregat som försörjer byggnadens fyra garageplan där två ligger under mark och två ovan mark. Där finns även en tilluftsfläkt med kapacitet om 6 m³/s som likt den på teknikplan 1 trycksätter ett Tr1-trapphus vid brandsituation.



Figur 5 Utklipp från Relationshandling av Kista torn (Heidmark, 2012)



Figur 6 Utklipp från Relationshandling av Kista torn (Heidmark, 2012).

Teknikplan 2, visat i figur 6, är placerat på våningsplan 34 sett till byggnadens relationshandling. Teknikplanet försörjer den större andelen av alla lägenheter i byggnaden och består därför av fem aggregat jämfört med tre på teknikplan 1. Luft transporteras vertikalt uppåt och neråt i byggnaden och försörjer 10 våningar i bågge led. En tilluftsfläkt trycksätter Tr1-trapphuset med 3 m³/s och en frånluftsfläkt med samma kapacitet är kopplad till ett annat Tr1-trapphus. Vid brand kommer frånluftsfläkten att transportera bort brandrök till ett utsläpp vid fasad. Brandluckor och utsläppsventiler/frånluftsventiler är placerade på tak ovan trapphus och hissar. För ett av Tr1-trapphusen finns det även en liten frånluftsfläkt.

Till lägenheter används gemensamma kanaler, vilket betyder att kanaler ej går in till varje lägenhet (S. Heidmark, 2019). Genom att använda både gemensamma kanaler för tilluft och frånluft minskas antalet kanaler i byggnaden och ytbehovet för installationer minskar. Tilluften är brandskyddad med backspjäll och går likt frånluften kontinuerligt vid brand (S. Heidmark, 2019).

6.1.2 Vattensystem

Hur tappvatten och värme projekteras styrs av det statiska tryck byggnadshöjden medför (S. Heidmark, 2019). Tillräckligt tryck måste åstadkommas samtidigt som ett för högt tryck ska undvikas. I Kista torn används två undercentraler. En undercentral är placerad i en av källarvåningarna medan en annan är placerad högre upp i huset (S. Heidmark, 2019). Detta medför att värmesystemet är en sluten krets medan tappvattnet fortsatt är ett öppet system. För tappvatten används istället tryckhöjningspumpar för att bibehålla rätt tryck. Var den andra undercentralen placeras beror på hur höga tryck som efterfrågas. I Kista torn vill de ej överskrida tryckklass PN10, detta eftersom standardradiatorer ofta ej är klassade för ett högre tryck.

Höjden påverkar även hur spillvatten och avlopp projekteras. I Kista torn används sidodragningar i teknikplan för att minska hastigheten i rör, för att sedan återgå till ett vertikalt läge efter teknikplanet. Enligt S. Heidmark (2019) råder det en viss osäkerhet i branschen huruvida sidodragningar för spillvatten- och avloppsrör är nödvändiga.

6.2 Kajen 5

Kajen 5 är ett bostadshus beläget vid Liljeholmskajen i Stockholm. Huset är uppdelat i två delar där den ena är 24 våningar högt och den andra är en lågdel på 7 våningar. Totalt omfattar byggnaden omkring 190 lägenheter (PQR, 2014). JM var byggherre för projektet som stod klart 2016. PQR har ansvarat för projekteringen av VVS, el, styr samt sprinkler (M. Kulling, personlig kommunikation, 20 mars 2019).

6.2.1 Ventilationssystem

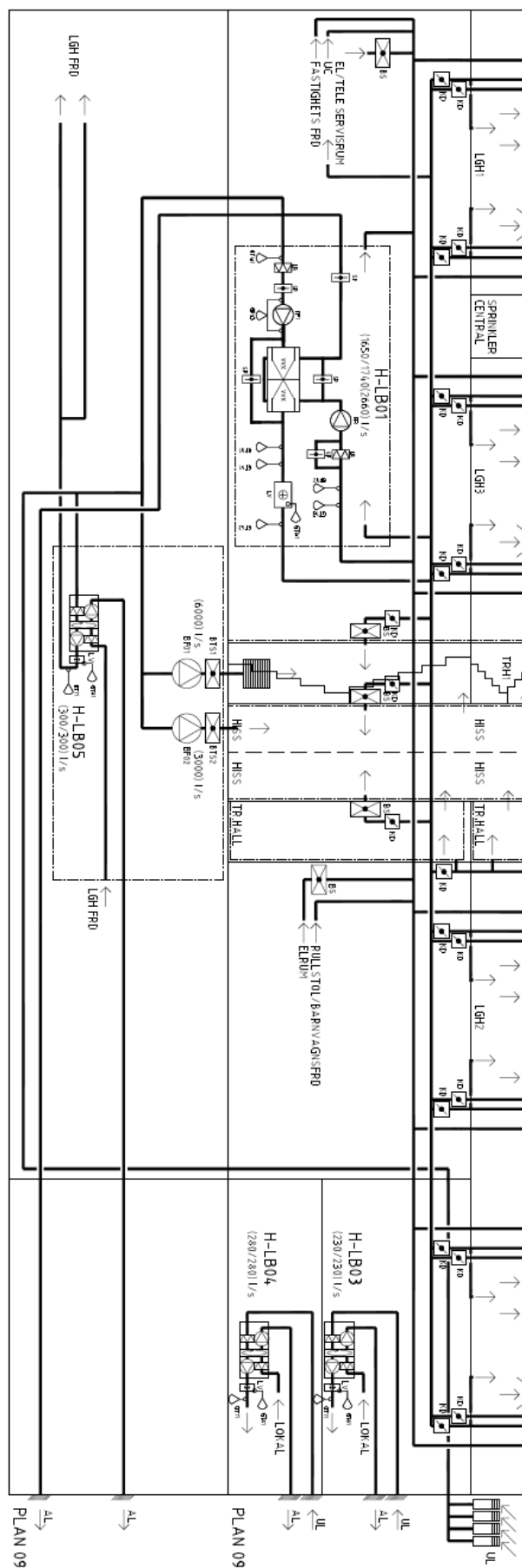
Kajen 5 har ett centraliserat ventilationssystem. Det finns två teknikplan som försörjer halva huset var, där ett är placerat i källarvåningen medan det andra är placerat på taket (M. Kulling, 2019). Uteluft hämtas via fasad respektive tak för att sedan

behandlas i aggregat. Systemet är av typ FTX med CAV och alla lägenheter har möjlighet till frånluftsforcering via köksfläkt.

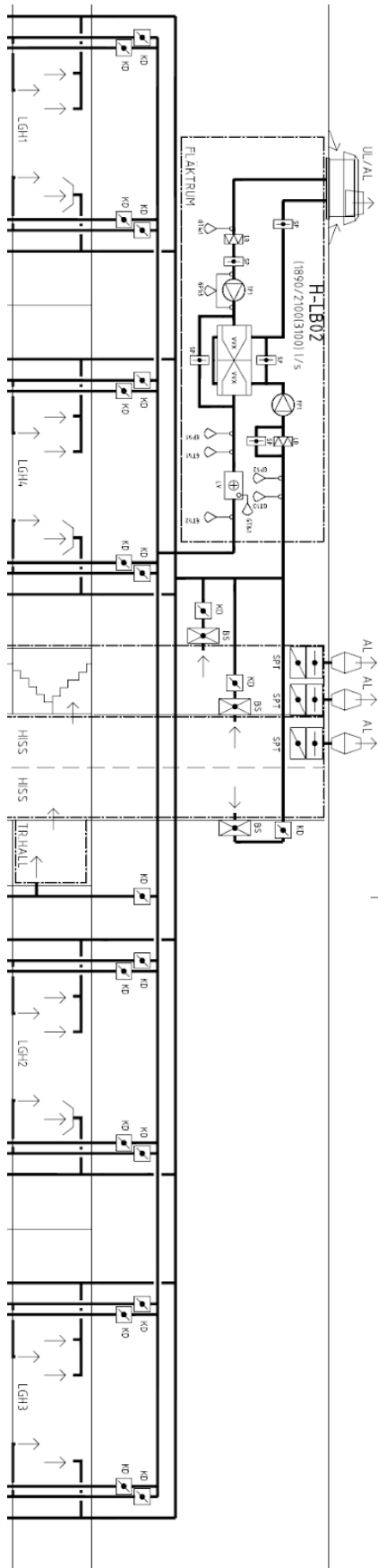
Källarvåningens teknikplan som figur 7 visar rymmer fyra aggregat. Ett huvudaggregat som främst försörjer lägenheter men även trapphus och vissa serviceutrymmen samt tre mindre aggregat som försörjer förrådsutrymmen och föreningslokaler. Två fläktar tillför trapphus respektive brandhiss med luft och trycksätter dem vid brand. Figur 8 visar takets teknikrum som rymmer ett aggregat vars syfte är att försörja lägenheter nedåt i byggnaden samt frånluft från hiss och trapp.

I Kajen 5 används gemensamma tilluftskanaler och separata frånluftskanaler (M. Kulling, 2019). Det sparar yta genom ett mindre antal kanaler samtidigt som denna lösning, efter hjälp av brandkonsulter, klarar brandfallet utan extra spjäll då tilluftsdonen i huset är placerade i golv. Tilluftsdon och kanaler är ingjutna i bjälklag vilket medför en lokalt, där det annars behöver vara takbeklädning, ökad takhöjd med omkring 250 mm. Funktionsmässigt är det ej en stor vinst men det medför estetiskt renare lägenheter.

Det finns inget kylsystem i Kajen 5. De aggregat som finns har dock möjlighet att nyttja indirekt evaporativ kyla. Det innebär att luften befuktas på frånluftssidan vilket ger en lägre temperatur på tilluften via värmeväxlaren för värmeåtervinning. Effekten är ganska svag och kyler ej särskilt mycket, tanken med den evaporativa kylan är att skapa en bättre komfort för hyresgästerna. Vid varma dagar är det en psykologisk faktor om tilluften känns svalare.



Figur 7 Utklipp från Relationshandling av Kajen 5 (Kulling, 2017).

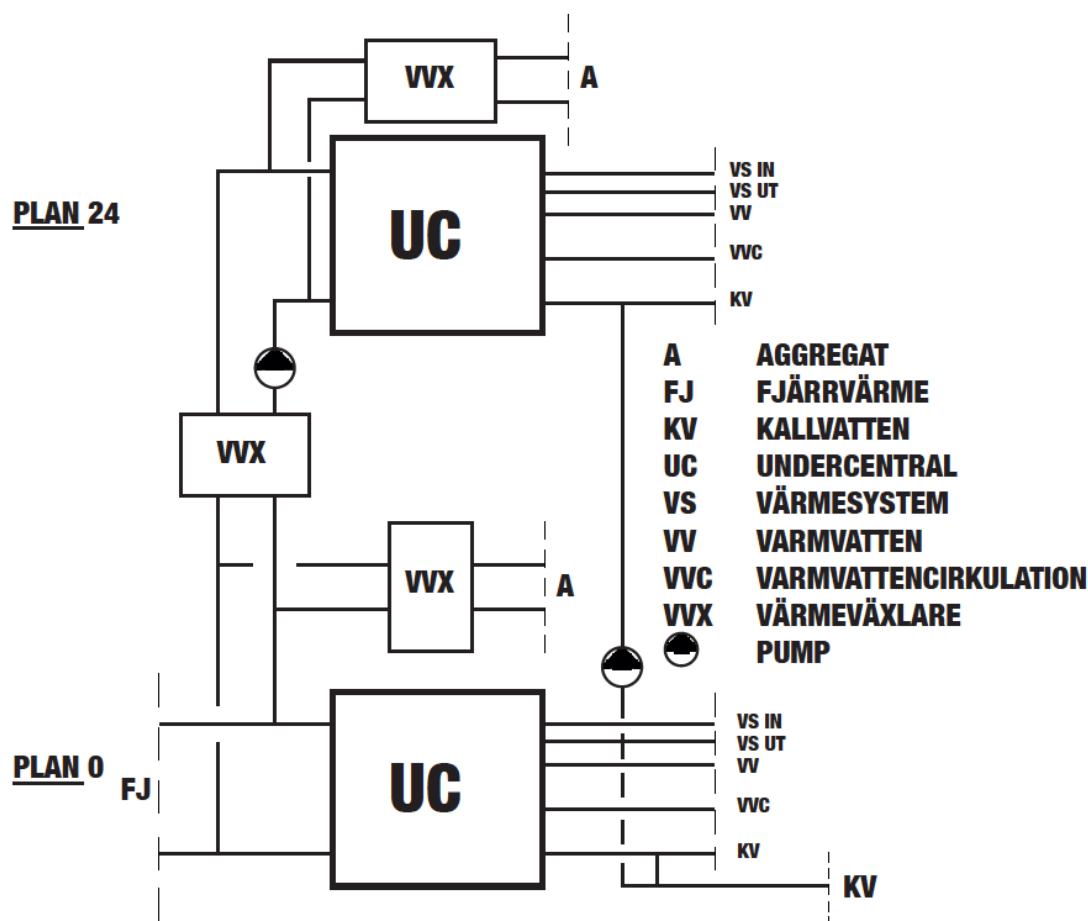


Figur 8 Utlipp från Relationshandling av Kajen 5 (Kulling, 2017).

6.2.2 Vattensystem

Värmesystemet i Kajen 5 är likt ventilationssystemet uppdelat i två separata system på grund av det tryck höjden medför. En undercentral är placerad i källarvåningen medan en annan är placerad i teknikrummet på taket (M. Kulling, 2019). Värme hämtas via stadens fjärrvärmenät och uppdelas till två system. Därmed behöver endast huvudledningen i det system som försörjer den övre delen av byggnaden tryckstegras. Detta medför att det system som försörjer den nedre delen av byggnaden klarar sig på det tryck fjärrvärmenätet har och ej behöver tryckreduceras (M. Kulling, 2019). När vattnet växlas används rör av tryckklass PN10 för att klara det statiska trycket.

Tappvatten är även ett delat system. Tryckstegring sker med samma princip som för värme för att undvika tryckreducering på de lägre våningarna. Tappvattnet tryckklassas för PN10.



Figur 9 Princip över vattensystem i Kajen 5

6.3 Citygate

I Gårda i Göteborg bygger Skanska kontorshuset Citygate som kommer att ha 36 våningar och vara 144 meter högt. Detta innebär att huset kommer vara nordens högsta kontorshus när det är färdigställt 2022. Bengt Dahlgren ansvarar för

projektering av VVS-system i byggnaden (P. Cottman, personlig kommunikation, 20 mars 2019).

6.3.1 Ventilationssystem

Citygate inkluderar förutom den 144 meter höga byggnaden en lågdel om 10 våningar. Lågdelen har ett teknikplan på sin översta våning (P. Cottman, 2019). För att skapa en enhet mellan byggnaderna placeras även ett teknikplan i högdelen på våning 10. Det teknikplanet försörjer nedåt i byggnaden samt ett par våningar uppåt. Nästa teknikplan placeras högst upp i byggnaden på våning 36 och försörjer byggnaden nedåt, detta eftersom ett teknikplan ej kan försörja hela byggnaden. Två teknikplan används delvis på grund av tryckfall i kanaler som är långa samt kanalernas storlek om ett stort flöde ej delas upp. Luft hämtas via fasad, detta är en av fördelarna med att teknikplan ej placeras i källarvåningar. Schakt och kanaler behövs ej för att hämta luft vilket ger en mer yteffektiv byggnad.

Ventilationssystemet består av tilluftsbaflar för komfortkyla. Byggherrens ramhandling för Citygate är bestämmande angående kylbaflar. Denna lösning kräver ej höga luftflöden vilket reducerar kanaldimensioner och minskar byggnadshöjden per våningsplan.

Teknikplanet på våning 36 försörjer majoriteten av byggnadens våningar med ventilation via fyra aggregat. På grund av byggnadens rombiska geometri tar vanliga aggregat upp två våningsplan då hela våningsplan ej kan nyttjas optimalt. Cottman förklarar vidare att de installerar ett platsbyggt aggregat. Det är en dyrare och mer ovanlig lösning samt har en längre montagetid men kräver en mindre yta. Hela våningsplan 35 frigörs från installationer och blir uthyrningsbar vilket berättigar investeringen.

6.3.2 Vattensystem

Vattensystemet i Citygate är uppdelat i tre zoner. Uppdelningen är mellan våning 0 till 10, 11 till 22 och 23 till 36. Tre boosterpumpar trycker upp vattnet till respektive zon där trycket till de två första zonerna reduceras men ej till den högsta. Varmvatten bereds via växlare i varje zon, detta på grund av tidigare erfarenheter hos projektörerna då problem med varmvattencirkulation uppkommit i fall där en växlare och sedan reduceringsventiler använts för att minska trycket. Till en början planerades fyra tryckzoner där stadsvatten används så högt som möjligt för att sedan ha tre zoner ovan. Den lösningen resulterade i stora mängder rör och genom att trycka vattnet direkt från nollplan sparas en zon in.

Tappvatten-, värme- och kylsystemen fungerar alla snarlikt. Ingående komponenter som radiatorer och kylbaflar klarar ej det höga trycket i primärledningarna, därför har de sekundära systemen en tryckklass om PN10 medan huvudledningar har PN16. Citygates 144 meter ger upphov till en hög tryckklass på primärledningen hur systemet än projekteras. Om primärledningen bryts för att växlas och sedan fortsätta förloras temperatur i växlaren och systemet tappar sin effektivitet.

För spillvattensystemet är två böjar efter varandra planerade till var femte våning samt luftare för avloppsvatten. Dessa böjar används för att minska hastigheten på avloppsvattnet. Ett problem som de kan innebära är att baksug kan förstöra vattenlås vid fyllda ledningar, det förekommer i hotell då många enheter används samtidigt. En separat luftare monteras vid sidan om avloppsledningen för att undvika detta. Spill- och avloppsvattensystemet är fortsatt under utredning för Citygate.

6.4 Karlatornet

Karlatornet är ett kommande höghus i den nya stadsdelen Karlastaden på Lindholmen i Göteborg. När projektet är färdigt kommer byggnaden att vara 245 hög och ha 73 våningar vilket gör Karlatornet till Nordens högsta byggnad. Majoriteten av Karlatornet kommer att vara bostäder men en liten del kommer att nyttjas till hotell. Arbetet har påbörjats och tornet planeras stå klart 2021 (Karlastaden, u.å.). Bengt Dahlgren har utfört en förstudie för de tekniska lösningarna gällande VVS (J-O. Johansson, personlig kommunikation, 5 april 2019).

6.4.1 Ventilationssystem

Under projekteringen av Karlatornet delades byggnaden i sektioner. Detta gäller både ventilation och vatten. I Karlatornet finns fyra teknikrum på väg upp i tornet där luftbehandlingsaggregaten levererar både luft både uppåt och nedåt (J-O. Johansson, 2019).

Ventilationssystemet är ett till- och frånluftssystem med värmeåtervinning och konstant flöde, dvs. ett CAV-system. Tilluftsflödet motsvarar minimumflödet enligt BBR och enligt Johansson vore det svårt att ha ett högre flöde och klara de energikrav som finns. Det relativt låga tilluftsflödet som används i CAV-systemet i kombination med att aggregaten har spridits ut på flera våningar i byggnaden gör det att schaktytorna minskas. I Karlatornet är det på vissa ställen endast 12 mm till godo i schakt och mellan olika installationstekniska system. Johansson menar att det är nödvändigt att utnyttja utrymmena till fullo och minimera marginalerna på grund av kvadratmeterpriset som kan fås från hyra och försäljning.

Med hjälp av ventilationssystemet trycksätts även trapphusen i byggnaden. Varje sektion i byggnaden tar in uteluft i trapphuset där det finns fläktar som skapar ett övertryck i trapphuset med tryckavlastning i toppen för att undvika problem med dörrar som inte går att öppna och liknande. I Karlatornet används balanseringsspjäll för att lösa tryckavlastningen.

Karlatornet använder sig av fjärrkyla för att tillgodose byggnadens kylbehov. Efter beräkningar visade det sig att det finns rum där kylbehovet är konstant, oberoende av utetemperatur. Maskinrum till hissarna och datahallar i byggnaden är exempel på utrymmen där kyla alltid behövs. Stadsdelen Karlastaden där Karlatornet är beläget har ett stort kylbehov och på grund av detta köps inte all kyla från en leverantör utan istället produceras egen kyla med hjälp av kyl-/värmepumpar. I varje central finns fyra kyl-/värmepumpar som skapar en baslast tillräcklig för att tillfredsställa behovet av kyla under dagar då utemperaturen inte är alltför hög.

6.4.2 Vattensystem

Johansson menar att det är byggnadens vattenburna system som är det som styr uppdelningen då trycket i dessa system är en begränsande faktor. För en hög byggnad blir det ett mycket högt tryck om vattnet ska transporteras hela vägen upp till toppen av byggnaden, därför delas byggnaden upp i olika sektioner. Dessutom finns det undercentraler placerade i källaren. Johansson tillägger att det är optimalt att placera övriga system på samma våningar som vattensystemen för att inte sprida ut de övriga installationstekniska systemen på våningar som används till bostäder. Om bostäder och installationstekniska system kombineras på samma våningsplan finns en risk att det trasas sönder och försvårar arbetet med att åstadkomma bra planlösningar.

Genom att dela upp systemet kan vattnet pumpas en bit upp i byggnaden, där det magasineras i tankar och sedan pumpas vidare. Trycket som beror av höjden nollställs varje gång vattnet magasineras och kan därför hållas nere i systemet vilket gör att det går att använda sig av standardkomponenter med tryckklass PN10. Detta ser Johansson som en fördel då det minskar risken för att det ska bli fel vid montering eller framtida utbyte av komponenter.

I Karlatornet tillgodoses värmebehovet via fjärrvärme. Fjärrvärmen kommer in i byggnaden och växlas över till byggnadens egna system. På primärsidan i byggnaden används ett system som klarar 10 bar och till sekundärsidan växlar man över till ett system som klarar 6 bar. Det resulterar i ett tryck som fungerar för golvvärme och radiatorer utan risk att systemen går sönder menar Johansson.

Lägenheterna i Karlatornet värms upp via golvvärme. Fördelen är att golvvärmen är osynlig men det blir enligt Johansson något högre installationskostnad. Dessutom måste temperaturen höjas på vintern med 1,5–2°C för att kompensera för kallstrålningen som fönstren orsakar. Det medför även att energiförbrukningen går upp något jämfört med ett radiatorsystem.

Spillvattensystemet i Karlatornet använder inte två böjar efter varandra för att minska hastigheten på spillvattnet. Johansson menar att de inte är nödvändiga. Vattnets maximala hastighet nås redan efter några våningar så om ett hus är tio eller hundra våningar spelar ingen roll. Istället är problemet att det kan skapas ett för stort undertryck vilket kan leda till baksug som tömmer vattenlåsen. I Karlatornet används istället luftningsventiler som är monterade i vattenlåsen för att släppa in luft i system och därmed motverka baksug.

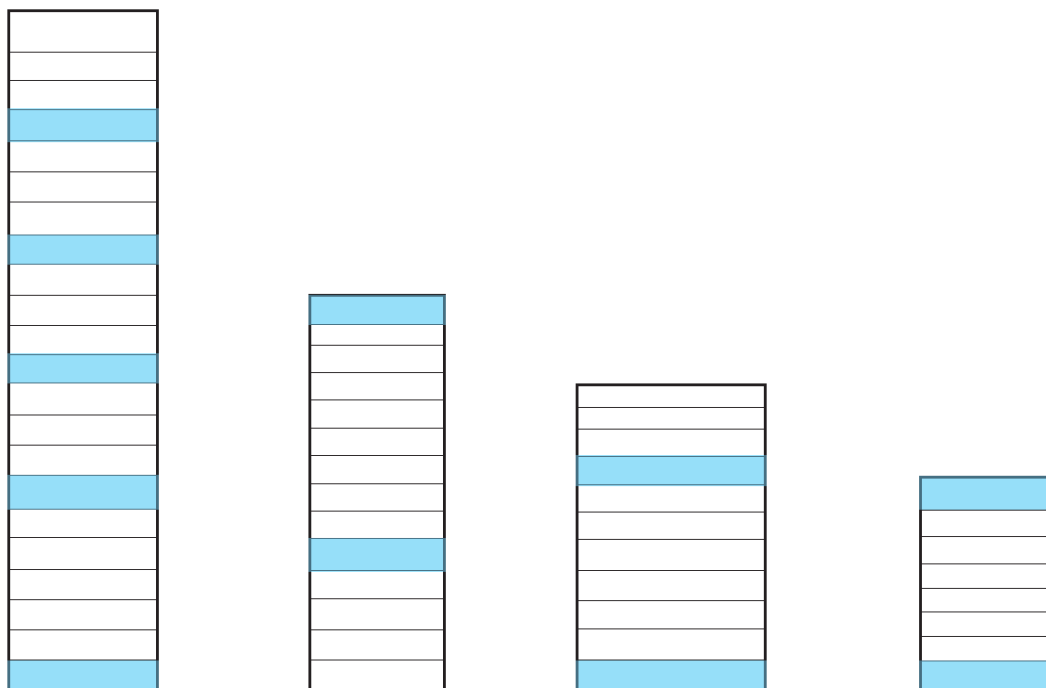
6.5 Placering av teknik

Valet av placering och antal teknikplan eller teknikrum som finns i en byggnad ska utformas så systemet på ett så effektivt vis som möjligt kan transportera luft och vatten mellan våningsplanen (S. Heidmark, 2019). Optimala trycknivåer och minimerade schaktytor är två aspekter som avgör hur effektivt ett system är. Om ett decentraliserat system används och teknikrum finns på varje våning måste transport ske horisontellt, detta medför att byggnadshöjden minskar till förmån för nedsänkning av tak då fler kanaler behövs. Transport vertikalt genom byggnaden frigör yta och möjliggör gemensam transport för att sedan fördelas ut på respektive våningsplan. Detta koncept innebär att ett centraliserat system används.

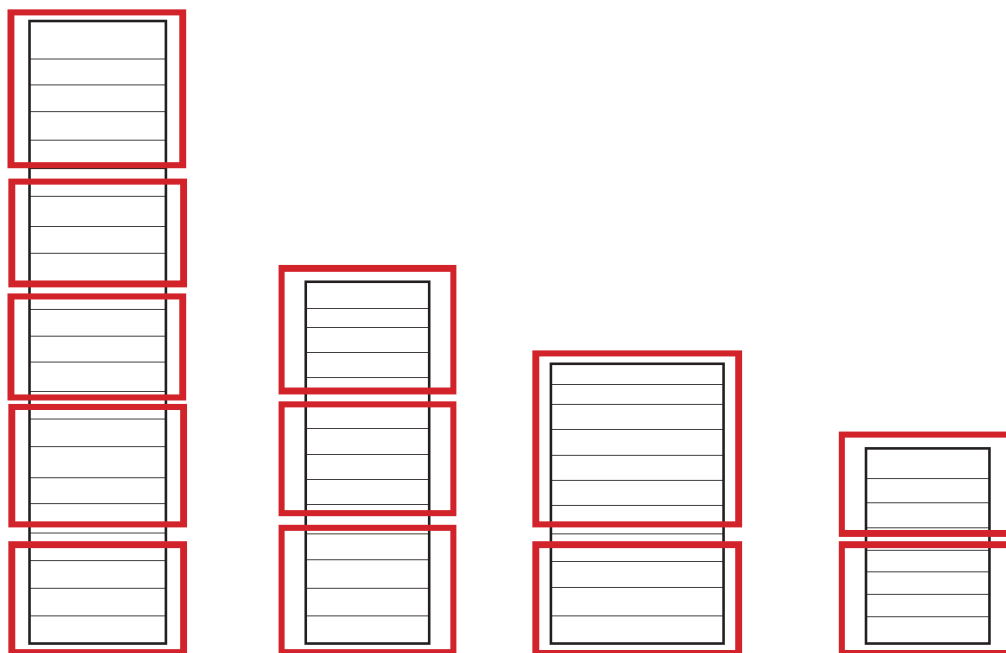
Cottman (2019) förklarar att idéer om teknikrum på varje våning dyker upp när nya projekt planeras men att centraliserade system är den vanligaste designen i Sverige. Studier om skillnader mellan de två alternativen har gjorts inom företaget vilket har klargjort att både installationskostnader och underhållspunkter ökar när teknikrum placeras på varje våning.

Johansson (2019) menar att trycket på vattenburna system ofta får styra placeringen av all teknik. Där ett teknikrum för ventilation eller där en undercentral placeras påverkar det våningsplanet så pass mycket att hela våningsplanet ofta används för all teknik. Detta sparar yta och underlättar en enhetlig indelning av våningsplanen.

Figur 10 och figur 11 illustrerar hur ventilationsplanens och vattensystemens uppdelning ser ut i Karlatornet, Citygate, Kista torn och Kajen 5.



Figur 10 Illustration över ventilationsplanens placeringar. Från vänster: Karlatornet, Citygate, Kista torn och Kajen 5.



Figur 11 Illustration över vattensystemets zonuppdelning. Från vänster: Karlatornet, Citygate, Kista torn och Kajen 5.

6.6 Problem/utmaningar

Med avseende på schakt- och kanalstorlek skiljer sig ett höghus inte sig avsevärt mycket från ett vanligt hus (P. Cottman, 2019). Liknande utmaningar som förståelse för arkitektens vision samt konstruktörens idéer finns för bägge typer av byggnader. Cottman (2019) förklarar att den stora utmaningen är skalfaktorn på ett höghus, allt blir mycket större och det blir mer komplext att hålla det samman. Olika discipliner inom ett projekt har olika tidslinjer, det medför att frågor som en arkitekt kan ha först är relevanta för en VVS-projektör ett antal månader senare. Den administrativa tiden sådana frågor ger upphov till är en stor utmaning.

Johansson (2019) berättar att en stor utmaning är att hitta den optimala placeringen av teknikplan. Relationen mellan andelen teknikyta som behövs och den totala ytan ger ett svar på hur många teknikplan som krävs. Utöver det ska placeringen ta hänsyn till brand och utrymningsregler samt arkitektens gestaltning. Schaktstorleken påverkas av hur många våningsplan varje teknikplan ska försörja. Vid ett stort antal våningsplan skapar det stora schakt och även det måste vägas in i placeringen. Johansson (2019) fortsätter förklara vikten av samordning, vid stora komplexa projekt där många är involverade är det viktigt att alla inblandade är uppdaterade på projektet. För att undvika problem rekommenderar Johansson (2019) att alltid börja med de stora frågorna först, hur systemen ska byggas upp samt ta tag i de problem som dyker upp så snabbt som möjligt.

Projektörer har olika lösningar när ett system projekteras. Johansson (2019) förklarar att en del projektörer placerar alla undercentraler i en källare och sedan trycker upp vatten. Till en början används ledningar som klarar 10 bar för att sedan gå över till ledningar som klarar 6 bar. Detta menar Johansson (2019) kan få förödande

konsekvenser då de fysiska ledningarna liknar varandra och montörer lätt kan ta fel på dem. Det är viktigt att projektera ett tydligt och lättförståeligt system där risk för mänskliga fel minimeras.

Den största skillnaden mellan höga hus mot vanliga hus är de tryck som höjden innebär (M. Kulling, 2019). Det är även trycket som kan ge upphov till problem om projektörer inte är noggranna. Beräkningsmodeller som används tar inte hänsyn till de termiska krafterna som uppstår vid en ökande byggnadshöjd och därför kan ett system som ser ut att fungera i teorin inte göra det i praktiken (M. Kulling, 2019).

Heidmark (2019) förklarar att trycket är det viktigaste att tänka på vid projektering av höghus. Trycket gör inte projekteringen svårare men det medför att andra lösningar måste tillämpas. Logistiken i ett höghus är utmanande, transporter upp och ner i byggnaden och nyttjandet av hissar och kranar. Heidmark (2019) fortsätter och belyser skalfaktorn, allting är av högre kvantitet och de val som görs får en stor påverkan på slutprodukten.

6.7 Underlag

Ett höghus kan projekteras på många olika sätt och varje byggnad är unik (J. Johansson, 2019). Byggnadens design och aktuella verksamhet påverkar vilka lösningar som är lämpligast. Specifika brandregler finns för byggnader över ett visst antal våningar, för höghus gäller alltid dessa regler. Utöver brandregler gäller samma komfortkrav som för ett lågt hus, (M. Kulling, 2019). Inomhusklimatet ska ej vara annorlunda i ett höghus jämfört med ett lågt hus, men en annan teknik och projekteringsmetodik krävs för att uppfylla det. Företag lär sig från egna och andras misstag men företag som är nya i branschen gör ofta samma misstag ett erfaret företag gjort långt innan (P. Cottman, 2019).

S. Heidmark (2019) menar att ett underlag där idéer och lösningsförslag finns kan vara av intresse. Riktlinjer för hur problem kan undvikas. Heidmark (2019) fortsätter och påpekar att illustrationer där byggnadsuppdelning och hur system är sammankopplade skulle vara bra för alla.

Kulling (2019) anser att ett underlag likt en lathund för hur ett höghus bör projekteras är av nytta. Viktiga punkter där risker identifieras och eventuellt lösningsförslag. Han poängterar att ett underlags lösningsförslag ej ska vara tvingande, detta för att inte hämma innovationen hos projektörer samt då en lösning som fungerar till en byggnad inte behöver fungera för en annan.

Sitter projektörer med ett blankt papper så kan ett underlag absolut vara till hjälp (Johansson, 2019). Johansson förklarar att han varit delaktig i projekteringen av Turning Torso, som är ett höghus i Malmö. Från Turning Torso har ungefär 30 procent av lösningarna applicerats på Karlstad. Johansson (2019) fortsätter förklara att allt har minst fem alternativa lösningar, därför måste alla lösningar vara representerade om ett underlag ska vara funktionellt.

Cottman (2019) berättar att när nyanställda ska lära sig projektering är det principscheman av systemen som hjälper personen att förstå. Likt det kan ett underlag

förenkla för den mer erfarne projektören angående höghus. Principsscheman som visar hur många system som används vid olika våningsantal och hur lösningarna ser ut. Cottman klargör att erfarenhet är en nyckel till välprojekterade byggnader och har inte företaget den så kan ett underlag vara till stor hjälp.

7 Diskussion

Intervjuer

Innan vi hade genomfört den första intervjun var det svårt att veta exakt vilka frågor som skulle ställas och resultera i intressanta och givande svar. Utan tidigare erfarenhet från att hålla intervjuer upplevde vi även problem med att få ett bra flyt och ställa relevanta följdfrågor som en semistrukturerad intervjustudie kräver. På grund av detta hade det varit bra att hålla mer än en intervju mer varje person. På en efterföljande intervju hade frågor som tidigare missats kunnat ställas alternativt frågor som uppkommit vid analysen av materialet från den tidigare intervjun.

Intervjuer med personer från fler projekt än de som har beaktats hade förbättrat fallstudien eftersom starkare samband kan hittas i ett resultat där urvalet är större. Det hade varit av intresse att intervjua personer som inte arbetar som projektörer inom VVS. Exempelvis brandingenjörer, byggherrar och arkitekter för att få en inblick i hur olika intressenter ser på höghus samt för att få en ökad förståelse för hur samspelet mellan dessa fungerar.

För fallstudien hade det varit intressant att undersöka byggnader som används till andra ändamål än bostäder. Citygate är det enda höghuset i studien som kommer att användas som kontor. Därmed är det svårt att se ett samband och dra några slutsatser generellt kring projekteringen och eventuella problem som kan vara unika för kontorshus.

Litteratur

En stor del av litteraturen som studerades i litteraturstudien kommer från andra länder än Sverige, framförallt från USA och organisationer likt ASHRAE. Detta var väntat då grunden till arbetet är att erfarenheten i Sverige gällande projektering av installationssystemen i höghus inte är särskilt stor. Det hade dock varit hjälpsamt för arbetet med litteratur som har en större förankring i Sverige och är skapad med den svenska marknaden och svenska regler i åtanke. Det finns sannolikt ett antal skillnader mellan Sverige och USA i standarder och praxis gällande hur man bygger vilket gör att det riskerar att finnas vissa avvikelser i resultaten som fås fram av att analysera utländsk litteratur.

Samband mellan projekten

Baserat på fallstudien är det möjligt att se ett tydligt samband mellan hur de olika projekten har projekterats. Att dela upp byggnaden i sektioner med flera teknikplan som förser olika delar av byggnaden är en lösning som används i alla projekten som har studerats. Antalet sektioner och hur många våningar varje sektion består av varierar dock. Det är rimligt att anta att detta är det generella sättet man projekterar på när det kommer till installationssystem i höghus i Sverige.

Decentraliserade system används inte i något av projekten från fallstudien och de fördelar som finns enligt Ross (2004) är inte tillräckligt betydande för att den typen av system ska användas. Alla de fyra höghus som studeras använder sig av någon form av centraliserat system.

I samtliga projekt har det varit relevant att minska schakt- och installationsytor och på så sätt maximera den tillgängliga arean i byggnaden. Det finns ett stort intresse för

detta med tanke på byggkostnaden och hur mycket pengar hyran kan inbringa. Varje kvadratmeter är av intresse. Med tanke på att Ross (2004) hävdar att decentraliserade system totalt sett tar upp en mindre yta kan det tyckas konstigt att dessa system inte används. Troligtvis beror det på vad som prioriteras. Då ett decentraliserat system innehåller fler komponenter som kräver underhåll kan detta vara avskräckande när det kommer till att implementera ett decentraliserat system. Likaså är det relevant att under projekteringen reflektera över om maximal golvarea totalt sett i byggnaden eller så stora och öppna våningsplan som möjligt ska prioriteras. Då det sistnämnda åstadkoms genom att samla installationerna på enstaka plan kan det vara en orsak till varför de centraliserade system överlag föredras.

I projekten som har undersökts förekommer både kylbafflar och luftburna kylsystem. Kylbafflar är passande i kontor där kylbehovet är mycket större än i bostäder på grund av att fler människor vistas där samt att mer internvärme genereras från apparater. Vid projekteringen av kontorsbyggnader är det rimligt att överväga att använda kylbafflar eftersom luftflödet blir lägre än för luftburen kyla. Detta leder i sin tur till mindre kanaldimensioner och lägre våningshöjder. Om höghuset är tillräckligt högt kan höjden som besparas på varje plan leda till att ett extra våningsplan får plats i byggnaden. Detta leder till ökade intäkter i form av mer uthyrbar area. Fler kontorshus hade dock behövt studeras för att kunnat dra en tydlig slutsats kring vilket typ av kylsystem som är att föredra i kontor.

Skillnader mellan höghus och lägre hus

Intervjustudien visar att svårigheterna som kan uppstå i projekteringen av de installationstekniska systemen i ett höghus beror på husens storlek. Systemen i sig skiljer sig inte särskilt mycket från systemen som används i lägre hus men skal faktorn gör att problem kan uppstå. Framförallt är det trycket som måste beaktas då detta ökar med höjden och ett högt tryck krävs för att kunna pumpa upp vatten hela vägen upp i byggnaden. Detta är huvudanledning till att höghus generellt delas upp i sektioner som behandlas separat. Utöver dessa tillkommande problem beroende av byggnadshöjden är skillnaden mot lägre hus ett utökat regelverk i BBR med avseende på brand och utrymning. Dessa regler är dock förhållandevis fria då analytisk dimensionering gör att kraven kan uppfyllas med olika lösningsmetoder.

Synen på underlag

Ur intervjustudien går det att utläsa att synen på ett underlag delvis avgörs av personens erfarenhet. För de som arbetat länge med projektering av installationstekniska system och har tidigare erfarenheter från höghus är behovet av ett underlag inte lika stort. Då höghusen projekteras på liknande sätt kan kunskaper om lösningsförslag och vilka problem som behöver tas hänsyn till föras över från ett projekt till ett annat, åtminstone till viss del. För de personer som är nya i branschen hade däremot ett underlag varit mer till hjälp.

Få företag har projekterat merparten av höghusen

Detta kan även tillämpas på företag. Ser man till höghus byggda i Sverige är det relativt få olika företag som varit involverade i projekteringen av installationssystemen. För dessa företag är det enklare att ta sig an nya projekt då mycket kunskap och handlingar från tidigare projekt finns att tillgå. Däremot för att företag som ska projektera sitt första höghus hade ett underlag kunnat vara till hjälp.

Ett framtida underlag bör resultera i att misstag som tidigare begåtts av andra projektörer kan undvikas.

8 Slutsats

Installationssystem projekteras i grunden liknande för alla byggnader oavsett höjd. Med en ökad höjd sektioneras huset upp och i praktiken staplas flertalet mindre hus på varandra och det tryck höjden ger upphov till elimineras. Ett högre hus innebär fler sektioner. Ett höghus ventilationssystem sektioneras för att minimera storleken på schakt till följd av kanaldimensioner och för att minska det tryckfall långa kanaler skapar. För vattensystem är tryck den viktigaste faktorn att projektera efter. Undercentraler sektioneras för att minska systemets tryck då komponenter som radiatorer ofta ej är klassade för ett högre tryck än 10 bar. Funktionen för varmvattencirkulation påverkar även det valet av att sektionera vattensystemet då cirkulationen ej fungerar om endast tryckreducering används.

Regler och lagar som berör höghus är brand- och utrymningsregler. För ventilation och vattensystem gäller samma regler som för övriga byggnader.

Varje höghus är unikt och hur installationer optimeras sett till yta beror på byggnadens förutsättningar. Ventilationsaggregat och undercentraler placeras ofta tillsammans för att minska installationsyta. Platsbyggda aggregat kan reducera ytbehovet avsevärt men bör undersökas för varje enskild byggnad. En byggnad kylv främst av luftkylning via VAV eller kylbafflar. Kylbafflar kräver ett mindre luftflöde vilket ger en lägre våningshöjd, en minskad våningshöjd om 10 cm per kan med ett höghus skalfaktor ge ett extra våningsplan. Källare nyttjas ofta för teknik, ytan är lättare att ta i anspråk än högre upp i byggnaden.

Idag finns det inget generellt underlag vid projektering av höghus i Sverige. Företag byter främst erfarenheter internt vilket skapar en barriär för nya aktörer. Ett underlag kan vara till nytta för projektörer utan tidigare erfarenhet. Innehållet i ett underlag gör mest nytta om det är illustrativt, har idéer på flertalet lösningar och är utan krav.

Förslag till framtida studier:

- Utföra beräkningar och ta fram en optimal sektionsindelning för installationstekniska system med avseende på tryck och minimerade schaktytor.
- Ta fram ett underlag som kan fungera som vägledning vid projekteringen av installationstekniska system i höghus.

9 Referenser

9.1 Litteratur

Arbetsmiljöverket. (2009). *Arbetsplatsens utformning* (AFS 2009:2). Hämtad från <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-foreskrifter-afs2009-2.pdf>

Arnold, D. (1999a). The Evolution of Modern Office Buildings and Air Conditioning. *Ashrae Journal*, June 1999. s. 40-54. Hämtad från <https://pdfs.semanticscholar.org/5062/61eb662088009282d62ae1db3d230ee7b60c.pdf>

Arnold, D. (1999b). The Evolution of Modern Office Buildings and Air Conditioning. *Ashrae Journal*, July 1999. s. 33-41. Hämtad från <https://www.ashrae.org/File%20Library/About/Mission%20and%20Vision/ASHRAE%20and%20Industry%20History/Air-Conditioning-in-Office-Buildings-After-World-War-II.pdf>

Bhatia, A. (2011). Centralized Vs Decentralized Air Conditioning Systems. *Course No: M05-012, Continuing Education and Development, Inc., NY*, info@cedengineering.com. Hämtad från <http://webmail.seedengr.com/Cent%20Vs%20Decent%20AC%20Systems.pdf>

Boverket (2017). *Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/byggnadsklass-och-verksamhetsklasser/> Hämtad 2019-03-06.

Boverket (2017). *Verifiering av analytisk dimensionering med BBRAD*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/analytisk-dimensionering-med-bbrad/> Hämtad 2019-03-27

Boverket (2018). *Brandskyddade trapphus, Tr1 och Tr2*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/trapphus/> Hämtad 2019-03-06.

Boverket (2018). *Räddningshissar*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/raddningshiss/> Hämtad 2019-03-25.

Boverket. (2011). *Föreskrifter och allmänna råd, BBR*. (BFS 2011:6). Hämtad från https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf

Bryman, A. (2012). *Social research methods*. (4). New York: Oxford University Press Inc.

Cammelli, S., & Mijorski, S. (2016). Stack Effect in High-Rise Buildings: A Review. *International Journal of High-Rise Buildings*, 5(4), 327-338. doi.org/10.21022/IJHRB.2016.5.4.327

Corgnati, Stefano Paolo Gameiro da Silva, Manuel Ansaldi, Roberta Asadi, Ehsan Costa, José Joaquim Filippi, Marco Kaczmarczyk, Jan Melikov, Arsen Krikor Olesen, Bjarne W. Popiolek, Zbigniew Wargocki, Pawel. (2011). *REHVA Guidebook No. 14 - Indoor Climate Quality Assessment*. REHVA. Hämtad från <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpREHVAGB2/rehva-guidebook-no-14/rehva-guidebook-no-14>

Council on Tall Buildings and Urban Habitat. (2019). CTBUH Height Criteria. Hämtad 2019-02-20 från <http://www.ctbuh.org/criteria/>

Dahlblom, M., & Warfvinge, C. (2016). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur

Ekberg, L. E. (2003). Sound. I A. Nilsson, P. E. (Red.), *Achieving the desired indoor climate: Energy efficiency aspects of system design*. (s. 170-195). Lund: Studentlitteratur

EMPORIS. (2019). High-rise building. Hämtad 2019-03-05 från <https://www.emporis.com/building/standard/3/high-rise-building>

EMPORIS. (2019). Skyscraper. Hämtad 2019-03-05 från <https://www.emporis.com/building/standard/3/high-rise-building>

Esaiasson, P., Gilljam, M., Oscarsson, H., & Wängnerud, L. (2012). *Metodpraktikan: Konsten att studera samhälle, individ och marknad*. (4:2). Stockholm: Norstedts Juridik AB.

Fläkt Woods (2009). *Projekteringshandledning Kylbafflar*. Hämtad från <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=82af80b9-bd71-4dcc-b6cc-4b53100e0b30>

FN. (2017). *World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100*. Hämtad från: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>

FN. (2018) *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN*. Hämtad från: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

Gunnarsen, L. (2003). Thermal Climate. I A. Nilsson, P. E. (Red.), *Achieving the desired indoor climate: Energy efficiency aspects of system design*. (s. 170-195). Lund: Studentlitteratur

JM. (2015). *Sky Living - Läge för dig med höga krav*. Hämtad 2019-04-29 från <https://www.jm.se/globalassets/jmse/bostader/stockholm/stockholm/kista/kista-torn/pdf/kista-torn-folder-april2015.pdf>

Karlstaden. (u.å.). *Karlatornet*. Hämtad 2019-05-15 från <https://karlstaden.se/om-karlstaden/karlatornet/>

Karolinska Institutet. (2019). Buller. Hämtad 2019-02-27 från <https://ki.se/imm/buller>

Litiu, Andrei Brook, Bonnie Corgnati, Stefano D'Oca, Simona Fabi, Valentina Keel, Markus Kranz, Hans Kurnitski, Jarek Schoenenberger, Peter Ullmann, Roland. (2017). *REHVA Guidebook No. 22 - Introduction to Building Automation, Controls and Technical Building Management*. REHVA. Hämtad från: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpREHVAGI1/rehva-guidebook-no-22/rehva-guidebook-no-22>

Marshall, C. (2015, 2 april). The world's first skyscraper: a history of cities in 50 buildings, day 9. *The Guardian*. Hämtad från <https://www.theguardian.com/cities/2015/apr/02/worlds-first-skyscraper-chicago-home-insurance-building-history>

Myndigheten för särskild beredskap (MSB). (2015). *Svåra skador och dödsfall till följd av brand*. Hämtad från <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26317.pdf>

Persson, C., & Runefors, M. (2017). *Trycksättning av trapphus*. Mölndal: Bengt Dahlgren Brand & Risk AB. Hämtad från <http://lup.lub.lu.se/record/d577abf5-0bf0-4c44-854e-977e1f691ec8>

PQR. (2014). *Kajen 5, Stockholm*. Hämtad 2019-04-01 från <http://pqr.se/sv/kajen-5-stockholm-2/>

Ross, D. (2004). *HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings*. Atlanta: ASHRAE.

Sev, A., & Aslan, G. (2014). Natural Ventilation for the Sustainable Tall Office Buildings of the Future. *International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 8(8), 897-909. <https://waset.org/publications/9999096/natural-ventilation-for-the-sustainable-tall-office-buildings-of-the-future>

Siesjö, B., Olshammar, G., & Olsson, K. (2018). Inledning. I A. Siesjö, B., Olshammar, G., & Olsson, K. (Red.), *Hus mot himlen - Hållbar hybris?*. (s. 8-16). Malmö: Bokförlaget Arena.

Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall, and Megatall Building Systems*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). Hämtad från <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASHRAEJ2/ashrae-design-guide-tall/ashrae-design-guide-tall>

Svenska Akademien. (2009). *Svensk ordbok*. Hämtad 2019-03-05 från <https://svenska.se/om/om-ordbockerna/>

Swedish standards institute. (2006). SS-EN 806-3:2006 Vattenförsörjning - Tappvattensystem för dricksvatten - Del 3 Tappvattenrör – Förenklad metod.

9.2 Figurer

- Figur 1:* Till vänster: "HOME INSURANCE BUILDING CHICAGO" (CC BY 2.0) av Jason Woodhead
<https://www.flickr.com/photos/woodhead/15305233828>
Till Höger: "San Antonio Building" (CC BY 2.0) av Ling Li Yeoh
<https://www.flickr.com/photos/92235872@N00/223320020/>
- Figur 2* Till vänster: "Milam Building" (1929)
<https://pdfs.semanticscholar.org/5062/61eb662088009282d62ae1db3d230ee7b60c.pdf>
Till Höger: "Straus Building" (1924)
<https://pdfs.semanticscholar.org/5062/61eb662088009282d62ae1db3d230ee7b60c.pdf>
- Figur 5* S, Heidmark. (2012). Relationshandling, Kista torn [Ritning]. Stockholm: Incoord
- Figur 6* S, Heidmark. (2012). Relationshandling, Kista torn [Ritning]. Stockholm: Incoord
- Figur 7* M, Kulling. (2017). Relationshandling, Kajen 5 [Ritning]. Stockholm: PQR
- Figur 8* M, Kulling. (2017). Relationshandling, Kajen 5 [Ritning]. Stockholm: PQR
- Figur 9* Principskiss baserad på: M, Kulling. (2017). Relationshandling, Kajen 5 [Ritning]. Stockholm: PQR

Bilaga 1 - Intervjumall

Formalia

- Vilken är din huvudsakliga sysselsättning?
- Vad har du för erfarenhet från vvs-branschen?
- Har du varit med i projektering eller utformning av vvs-system i höga hus?
- Hur tänker du att framtiden för höga hus ser ut?

Ditt projekt

- Berätta lite kort om de höga hus du arbetat med
- Vad har varit din arbetsuppgift i projektet?
 - Har du varit delaktig i designen av ventilationssystemet?
- Berätta om designen för systemet?
 - Vent, kyla, värme
 - Varför gjorde ni på det sättet?
 - Vad för kriterier och vilka krav prioriteras?
- Stötte ni på några problem under projekteringen? Vilka?
 - På vilket sätt kan ni undvika dessa problem vid nästa projekt?
- Har det varit av vikt att skapa så hög grad av tillgänglig area som möjligt?
 - Hur har ni gjort? Varför inte?
- Vad har ni använt er av för underlag vid projektering?
 - Vad för underlag?

Skillnader mellan höga hus och andra bostads- och kontorsprojekt

- Vilka skillnader ser du mellan höga hus och vanliga hus?
- Finns det andra lagar eller regler att följa för höga hus?
- Är det någon skillnad i vad som efterfrågas?
- Efterfrågas andra funktioner/kvaliteter för höga hus?

Problem/utmaningar

- Vilka svårigheter ser du vid projektering av höga hus?
- Vad är den största utmaningen vid arbete med höga hus?

Framtida underlag

- Skulle det underlätta ditt arbete om ett underlag specifikt för höghus fanns?
- Vad skulle du vilja se i ett sådant underlag?

46



Bilaga 3 – Relationshandling Kajen 5

