



CHALMERS



Projekteringsförutsättningar för höghus Varmvattencirkulation och trycksättning av trapphus

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Byggingenjör

ERIK SVENSSON
SIMON SVENSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete BOMX03-17-24
Göteborg, Sverige 2017

EXAMENSARBETE BOMX03-17-24

Projekteringsförutsättningar för höghus

Varmvattencirkulation och trycksättning av trapphus

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

ERIK SVENSSON

SIMON SVENSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2017

Projekteringsförutsättningar för höghus
Varmvattencirkulation och trycksättning av trapphus

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

ERIK SVENSSON

SIMON SVENSSON

© ERIK SVENSSON, SIMON SVENSSON, 2017

Examensarbete BOMX03-17-24 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2017

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

Omslag:
Bilden är tagen på Gothia Towers i Göteborg.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2017

Projekteringsförutsättningar för höghus

Varmvattencirkulation och trycksättning av trapphus

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

ERIK SVENSSON

SIMON SVENSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I Sverige växer städerna och allt fler vill bo centralt. För att möjliggöra den ökade graden av urbanisering blir det allt vanligare att bygga höghus. Det ställer högre krav på projektörer då problemen blir allt mer komplexa. För att lösa de problem som uppstår finns det standarder och föreskrifter att ta hjälp av.

I rapporten har utformningen av varmvattencirkulation och trycksättning av trapphus studerats för tre olika höghus. En energianalys har utförts för att jämföra ett traditionellt varmvattensystem med behovsberedning av varmvatten. För att genomföra projektet har intervjuer och diskussioner förts med VVS-ingenjörer, inblandade projektörer och brandingenjörer.

Syftet med trycksättning av trapphuset är att skapa en säker utrymningsväg genom att förhindra att rök och andra brandgaser kommer in i trapphuset. För att säkerställa brandskyddet i trapphus hänvisar BBR till en svensk standard för utformning av trycksättningssystemet. Standarden täcker inte allt och det är inte alltid som den följs vilket leder till avvikelser som kan försämra funktionen på systemet. Det är enligt de intervjuade ingenjörerna även viktigt att hålla systemet och regleringen så enkel som möjligt.

En annan svårighet är utformningen av varmvattensystemet. För att det ska fungera korrekt måste temperatur, tryck och flöde vara inom tillåtna intervall. Då komponenter är tryckklassade för minst 1 MPa är det trycket, som beror på höjden, som avgör utformningen på systemet. För att hålla trycket inom rätt område sektioneras varmvattensystemet.

Nyckelord: Höghus, VVC, Trycksättning, Tr1-trapphus, Genomströmningsberedare

Design requirements for high-rise buildings

Hot water circulation and pressurization of stairwells

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

ERIK SVENSSON

SIMON SVENSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In Sweden, the cities grow and more and more want to live centrally. To enable the increased degree of urbanization, it is becoming increasingly common to build high-rise buildings. It places higher demands on engineers as problems become increasingly complex. To solve the problems that arise, there are standards and regulations to assist.

In the report, the design of hot water circulation and pressurization of stairwells has been studied for three different high-rise buildings. An energy analysis has been conducted to compare a traditional hot water system with hot water needs preparation. In order to complete the project, interviews and discussions have been conducted with plumbing engineers and fire engineers.

The purpose of pressurized staircases is to create a safe escape route by preventing smoke and other fire gases entering the stairwell. To ensure fire protection in stairwells, BBR refers to a Swedish standard for the design of the pressurization system. The standard does not cover everything and it is not always followed which leads to deviations that may impair the function of the system. According to the interviewed engineers, it is also important to keep the system and regulation as simple as possible.

Another difficulty is the design of the hot water system. In order for it to work properly, temperature, pressure and flow must be within the permitted range. Because components are pressure rated for at least 1 MPa, the pressure depends on the height that determines the design of the system. To keep the pressure in the correct area, the hot water system is sectioned.

Key words: High-rise building, Hot water circulation, Tr1-stairwell, Flow thru heater

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
ORDFÖRKLARING	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.2.1 Frågeställning	1
1.3 Avgränsning	2
2 METOD	3
2.1 Litteraturstudie	3
3 TEORI	5
3.1 Trycksättning	5
3.1.1 ASHRAE	10
3.1.2 Svensk Standard	12
3.1.3 Klass A	13
3.1.4 Klass B	14
3.1.5 Klass C	14
3.1.6 Klass D	14
3.1.7 Klass E	15
3.1.8 Klass F	15
3.2 Varmvattencirkulation	15
3.2.1 Placering av undercentral	16
4 ANALYS	19
4.1 Karlatornet	19
4.1.1 Trycksättning	19
4.1.2 Varmvattencirkulation	23
4.2 Gothia Towers	24
4.2.1 Trycksättning	24
4.2.2 Varmvattencirkulation	27
4.3 KKH Malmö Live	28
4.3.1 Trycksättning	29
4.3.2 Varmvattencirkulation	30

5	BERÄKNINGAR	33
5.1	Ytanspråk	33
5.2	Energianalys	33
5.2.1	Tappvarmvattenförbrukning	34
5.2.2	Energiförbrukning genomströmningsberedare	35
5.2.3	Analys av beräkningar	35
6	SLUTSATS	37
6.1	Förslag på framtida studier	38
7	DISKUSSION	39
7.1	Trycksättning	39
7.2	Varmvattencirkulation	40
8	REFERENSER	42

Förord

I samarbete med Bengt Dahlgren AB och Chalmers tekniska högskola har detta examensarbete om 15 högskolepoäng genomförts som avslutande del på byggingenjörsprogrammet.

Vi vill tacka vår handledare på Chalmers, Anders Trüschel för bra vägledning och för många intressanta idéer till arbetet.

Vi vill också tacka hela Bengt Dahlgrens Göteborgskontor som varit behjälpliga genom att svara på frågor och handleda arbetet. Ett speciellt tack vill vi rikta till Christian Johansson, Johan Petersson, Niklas Grönlund, Anders Sandh, Jan-Olof Johansson, Roger Håkansson, Mattias Svanström, Emma Lindsten och Max Tillberg. Med er kunskap och ert engagemang har vi kunnat slutföra detta examensarbete.

Göteborg juni 2017

Erik Svensson

Simon Svensson

Ordförklaring

Beläggningsgrad	Anger kvoten mellan antal uthyrda rum och totalt antal tillgängliga rum för en tidsperiod (Hogia, 2017).
Statiskt tryck	Det är ett tryck som beror på volymen som verkar på en area. ($\Delta p = \Delta \rho * g * h$)
Stigarledning	En vattenledning som har en anslutning nedtill där räddningstjänsten kan koppla på sina vattenpumpar och en anslutning upptill på varje våning för anslutning till manöverslang (VVS Företagen, 2015).
Tryckstegring	Öka trycket för att kunna nå en högre höjd/högre tryck

1 Inledning

Många aspekter ska beaktas vid byggnationer av höghus. Det ställs dels helt andra krav på utrymningsvägar än vad det gör för lägre byggnader, vilket betyder att projektören har ett större ansvar och ett mer komplext problem att lösa. En annan central aspekt att ta hänsyn till är ekonomin. Det är viktigt att optimera ytan för installationer då varje kvadratmeter som tas i anspråk leder till minskade intäkter.

1.1 Bakgrund

Våra städer växer och invånarantalet ökar ständigt och dessutom vill allt fler bo centralt därför är det väldigt viktigt att utnyttja marken på ett bra sätt. Den tillgängliga ytan är begränsad och tomtpiserna blir allt högre. I och med de stigande tomtpiserna och den ökade graden av urbanisering blir det allt mer ekonomiskt att bygga högre. Höjden på byggnader bestäms utifrån den höjd som är mest ekonomiskt hållbar. Vid byggnation av höghus ställs det höga krav på problemlösning vilket leder till att det blir mer komplext att bygga på höjden. Några problem som uppstår till följd av byggnadshöjden är höga tryck i vattenledningar och svårare utrymning vid brand.

När det byggs på höjden bör även storleken på schakt optimeras då varje cm^2 är viktigt eftersom den ytan som tas i anspråk kommer multipliceras med antal våningar. All onödig yta som tas i anspråk resulterar i förlorade intäkter till följd av bland annat minskad uthyrbar area (J-O. Johansson, 20 februari 2017).

1.2 Syfte

Rapportens syfte är att öka förståelsen hos VVS-ingenjören inom ämnet höghus och belysa problem som uppstår under projekteringen av höga byggnader. Rapporten ska även redogöra för olika lösningar som finns för VVC (varmvattencirkulation) och trycksättning av trapphus i höghus. Till sist är syftet även att redogöra vad det finns för olika standarder och vad de förespråkar.

1.2.1 Frågeställning

Rapporten avser att besvara följande frågeställningar:

- Hur skapas en säker utrymning av höghus vid brand?
- Finns det olika sätt att lösa VVC:n i höghus?
- Vilka lagar, regler och vanligaste standarder finns det för projektering av VVC och trycksättning av trapphus i höghus?
- Hur stor är kunskapen hos VVS-projektörer om de lagar, regler och standarder som finns kring området VVC och trycksättning?
- Hur ska projektören lösa problemen med höga tryck i vattenledningar?
- Vilka är de viktigaste aspekterna att ta hänsyn till vid projektering?

1.3 Avgränsning

Arbetet har inspekterat tre verkliga objekt med hänsyn till arbetets storlek, två färdigställda objekt och ett i systemhandlingsfas.

Objekten som undersökts är belägna i Sverige och projekterade av Bengt Dahlgren AB.

Arbetets storlek har gjort att beräkningarna har utförts överslagsmässigt.

2 Metod

Metoden som har använts är dels en litteraturstudie och dels insamling av data genom intervjuer. Litteraturen samlades in genom sökningar på Chalmers bibliotek och intervjuerna gjordes med sakkunniga brandingenjörer från Bengt Dahlgren AB.

Utöver litteraturen som samlats in och intervjuerna som gjorts har ritningar och beskrivningar studerats för de valda objekten, för att på så sätt kunna svara på rapportens frågeställning och syfte.

En enklare energianalys har utförts och i samband med den utfördes vissa beräkningar.

Till sist har även intervjuer och diskussioner genomförts med olika projektörer från Bengt Dahlgren AB som jobbat med objekten, för att på så sätt få en närmare förståelse hur tankar gått under projekteringsfasen.

2.1 Litteraturstudie

Nedan följer en lista över de, för arbetet, mest relevanta material som gåtts igenom.

Lars Jensen har skrivit rapporten: *Termisk trycksättning av trapphus för utrymning*

Rapporten beskriver vad som händer med trycket i ett trapphus för olika fall av inblåsningstemperatur samt olika typer av sätt att reglera utflödet i toppen av trapphuset. Det finns olika sätt att reglera öppningen i toppen av trapphuset. De olika typerna är storlek på öppning, klimatstyrd öppning som regleras av temperaturen och till sist tryckreglerad öppning i toppen. Den tryckreglerade öppningen släpper ut mer luft desto högre tryck det är i trapphuset.

Vidare problematiseras användandet av en luftrida. Enligt rapporten går det inte att använda det då den endast klarar ett differenstryck på 15 Pa och det behövs 20 Pa som minimum.

Lars Jensen har även skrivit rapporten: *Trycksättning av trapphus för utrymning*

Rapportens syfte är att ta reda på hur luftflöden kan motverka de termiska drivkrafterna som bildas i höga trapphus. L. Jensen har utfört mät försök och beräkningar för att komma fram till resultatet. Ett av resultaten från rapporten visar att om luftflödet kommer underifrån motverkas de termiska drivkrafterna utav tryckfallet som uppstår av luftflödet. På det sättet orsakar inte "skorsstenseffekten" något problem.

ASHRAE har gett ut handboken: *Handbook of Smoke Control Engineering*

Boken ger till en början grundläggande kunskap om ämnet rökbekämpning inom byggnader. Därefter presenteras en djupare problematik kring det och i kapitel 10 och 11 presenteras trycksättning av trapphus och hissar.

C. Hiller, J. Miller och D. Dinse har skrivit rapporten: *Field Test Comparison of Hot Water Recirculation Loop vs. Point-of-Use Water Heaters in a High School*

Studien utfördes för att se hur mycket energi som går att spara i en skola genom att byta ut ett traditionellt system med VVC mot varmvattenberedare vid tappställen. Att just en skola användes i studie var för att de finns många lokaler med liknande utformning vilket gör att resultatet kan generaliseras.

Som en del av litteraturstudien har det utförts intervjuer med sakkunniga brandingenjörer. Det har även hämtats information från böckerna *Projektering av VVS-installationer* (Dahlbom och Warfvinge 2014) och *VVS Företagens Teknikhandbok* (2016).

3 Teori

Till höghus räknas en byggnad som har mer än 5 våningar (Svenska Akademien, 2017). Vid byggnation av höghus infinner sig flertalet problem som inte existerar vid byggnation av lägre byggnader. Ett väsentligt problem som finns är hur en säker utrymning ska kunna ske då kraven på trapphusets utformning ökar när höjden på byggnaden ökar.

Den ytan som är tillgänglig för schakt är ofta begränsad då schaktyta inte genererar intäkter. Det är därför viktigt att hålla ner storleken på schakten då varje kvadratmeter som tas i anspråk multipliceras med antal våningar vilket resulterar i en stor förlust av användbar golvarea.

Höga tryck i vattenledningar kan leda till problem då det krävs högre tryck än normalt för att få upp vattnet till de önskade höjderna. Ett för högt tryck kan leda till att komponenter går sönder och det kan få stora vattenskador som följd. Det är också viktigt att spara energi genom att minimera energiförlusterna från varmvattenkretsen.

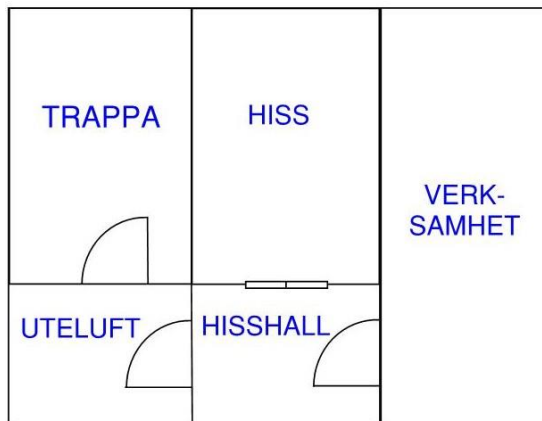
I Boverkets byggregler, även kallat BBR, finns det föreskrifter och allmänna råd som grundas i plan- och bygglagen samt plan- och byggförordningen. Föreskrifterna är en tolkning av det som står i lagen och gäller därför vid uppförandet av nya byggnader i Sverige (BBR, 2013). I de allmänna råden står det hur byggnaden kan utformas för att uppfylla dessa krav.

Om det projekteras enligt de allmänna råden kallas det för förenklad dimensionering. Ifall det istället väljs att användas en annan lösning för att uppfylla kraven som ställs i föreskriften kallas det för analytisk dimensionering (BBR, 2013). Vid analytisk dimensionering måste projektören visa på ett vetenskapligt sätt med beräkningar att lösningen är tillräckligt god (M. Svanström, personlig kommunikation, 7 februari 2017).

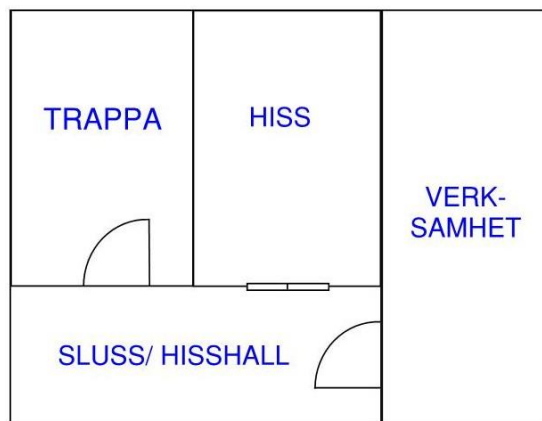
3.1 Trycksättning

Trycksättning av trapphus varierar beroende på typ av trapphus och vilka krav som ställs på det. Kraven återfinns i BBR och för att skapa en förståelse för de kommer en förklaring nedan.

Kapitel 5 i BBR (2013) berör brandskyddet i byggnader. I kapitlet beskrivs två olika typer av trapphus, dessa delas in i trapphusklasser som benämns Tr1 (se Figur 1) och Tr2 (se Figur 2). Vid en förenklad dimensionering ska Tr1-trapphus enligt BBR (2013) ansluta till verksamheten via en sluss som är en egen brandcell samt en sluss som är öppen mot det fria. Om det ska kunna genomföras menar Svanström (7 februari 2017) att trapphuset måste placeras i anslutning till byggnadens fasad.



Figur 1 Principskiss över ett Tr1-trapphus som inte behöver trycksättas



Figur 2 Principskiss över ett Tr2-trapphus

Kraven på Tr2-trapphus är att det ska vara ett utrymme i egen brandcell mellan trappan och verksamheten. Det finns dock inget krav på en sluss mot det fria eller att det ska vara trycksatt men det ska finnas en brandlucka för utvädring av trappan (BBR 2013).

Om byggnaden inte är högre än åtta våningar och ligger inom en tio minuters radie för räddningstjänstens stegbil ställs det inga krav på att varken Tr1 eller Tr2 ska användas. Ligger byggnaden däremot utanför den radien får inte stegbilen räknas som en utrymningsväg och byggnaden behöver då ett Tr2-trapphus (M. Svanström, 7 februari 2017).

I BBR (2013) förklaras att ifall en byggnad är högre än åtta våningar men inte högre än 16 ska det finnas tillgång till minst ett Tr2-trapphus. Består byggnaden av fler än 16 våningsplan ska det finnas tillgång till minst ett Tr1-trapphus.

M. Svanström (7 februari 2017) menar att trycksättning av trapphus blir det alternativ som används om inte systemet klarar att uppfylla föreskrifterna som gäller för Tr1-trapphus. Det vill säga, om inte luftslussen till det fria går att uppfylla används alternativet med trycksättning.

Principen för trycksättning är att skapa ett övertryck i trapphuset som gör att det bildas ett flöde genom dörrar och springor in till verksamheterna. På så sätt hålls trapphuset rökfritt. När personer ska springa ut vid brand finns det ett riktvärde enligt

Lars Jensen (Termisk trycksättning av trapphus för utrymning, 2008) att trycket inte bör vara över 80 Pa på dörren. Det är ett värde för vad en normalperson maximalt kan ha i tryck över en dörr för att kunna öppna den.

Ett problem som finns är de termiska drivkrafterna som uppstår i schakt då schaktet antingen är otätt eller har en öppning som binder ihop luften i schaktet med uteluft. Det gör att det bildas en tryckskillnad (ekv 1) som beror på höjden och temperaturskillnaden inne i schaktet jämfört med uteluften som den kommer i kontakt med (se Figur 3). Det försvårar dimensioneringen av trycksättningen som påverkar brandskyddet.

$$\Delta p = \Delta \rho \times g \times h \quad (\text{ekv 1})$$

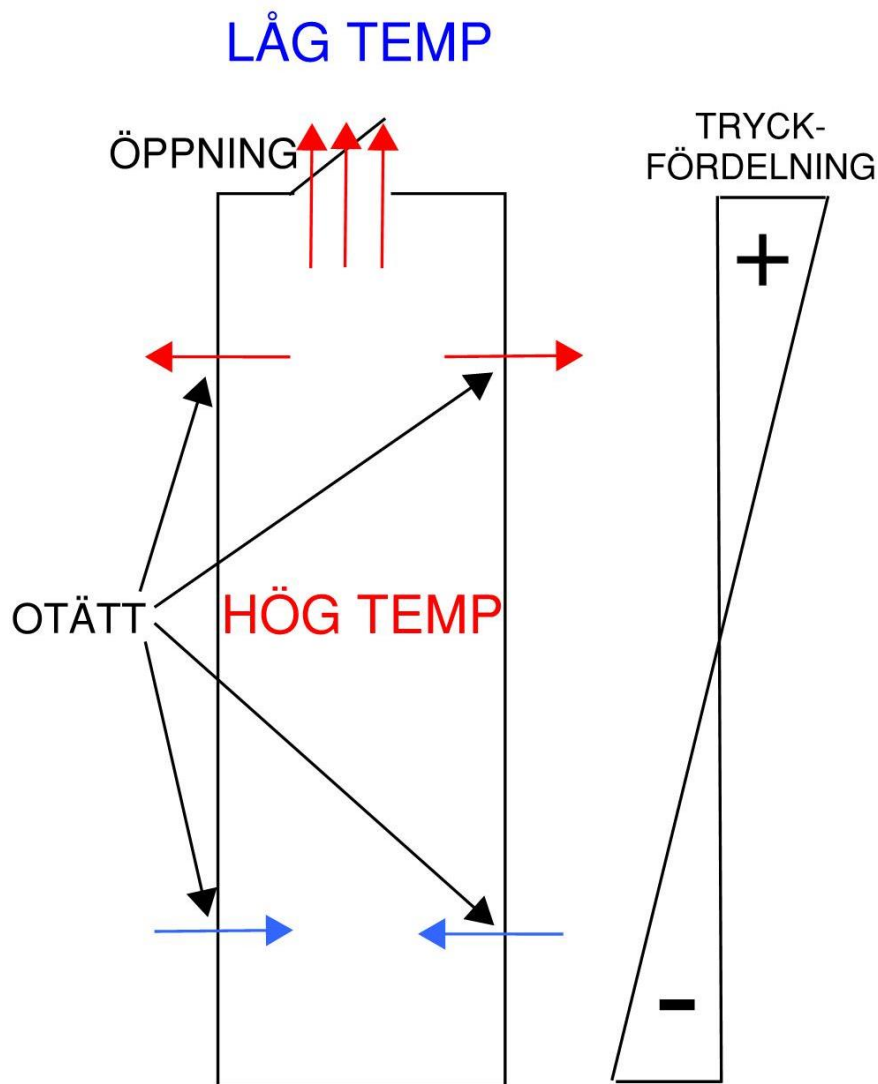
Där

Δp , skillnaden i tryck [Pa]

$\Delta \rho$, skillnaden i densitet [kg/m^3]

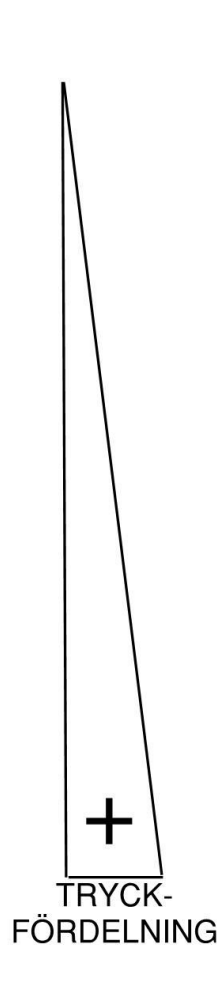
g , tyngdaccelerationen [N/kg]

h , höjden [m]



Figur 3 Termiska drivkrafter i schakt med tryckfördelning

Det går att motverka de termiska drivkrafterna med ett konstant flöde av luft uppåt i schaktet (Jensen, Trycksättning av trapphus för utrymning, 2005). Det för att fläkten skapar högst tryckskillnad i botten och lägst i toppen p.g.a. tryckfallet som uppstår till följd av flödet (se Figur 4).



Figur 4 Luftflöde i trapphus med tryckfall

När trapphuset ska trycksättas måste det finnas en sluss som ger luften en svårare väg att ta sig in till verksamheten, det är vanligtvis en hisshall. Då blir det två dörrar som ska passeras mellan verksamheten och utrymningsvägen. Om alternativet med trycksättning av trapphuset väljs finns det en europeisk standard för trycksättning av trapphus, EN 12101-6:2005, den gäller även som en svensk standard, SS-EN 12101-6:2006 (M. Svanström 7 februari 2017).

Standarder är frivilliga att följa men tanken är att det ska underlätta att uppfylla lagkraven (Swedish standards institute, 2017). När en EN-standard blir godkänd och publicerad blir den en gällande nationell standard och alla eventuella standarder som motsäger EN-standarderna ska upphävas (European Committee for Standardization, 2017).

3.1.1 ASHRAE

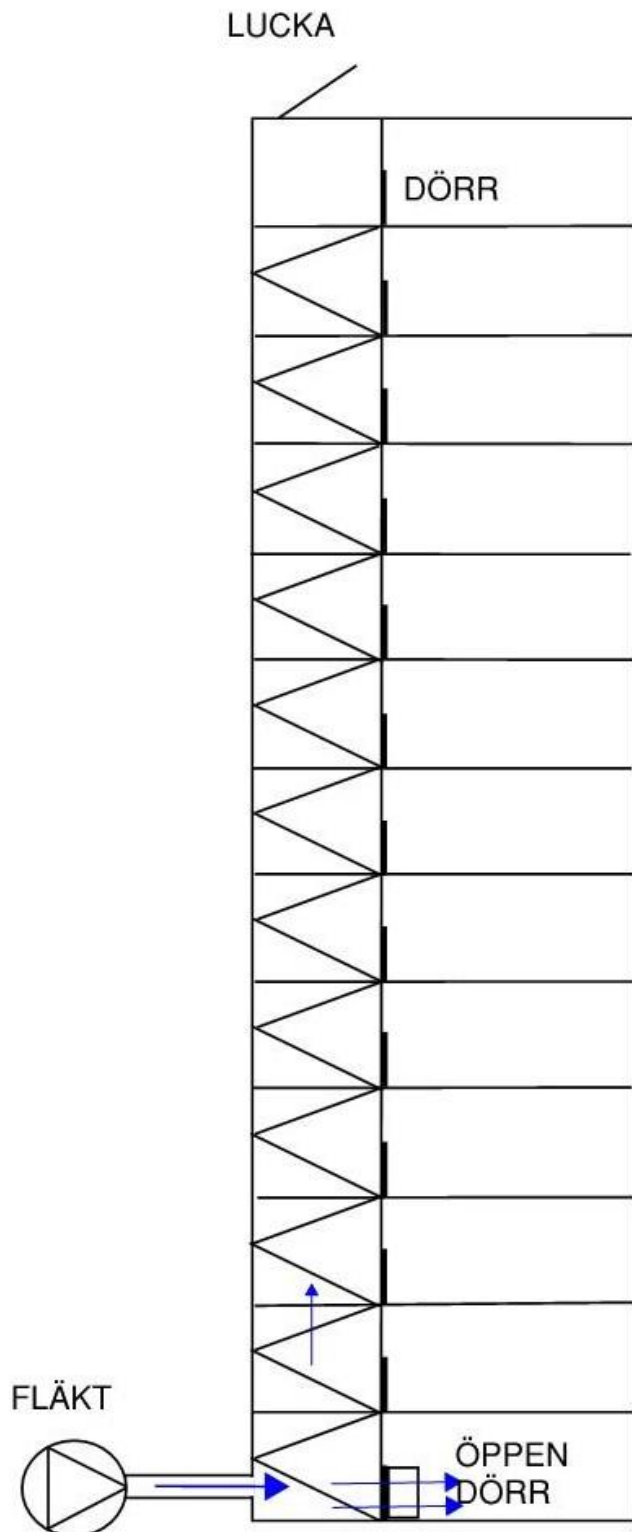
ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) är en Amerikansk organisation med stor slagkraft världen över som utvecklar sättet att utforma byggnader genom att ta fram handböcker, standarder, bedriva forskning och utbildning. Föreningens fokus ligger på byggnadssystem, energieffektivisering, luftkvalité inomhus, kyla och hållbarhet i byggbranschen (ASHRAE, 2017).

M. Tillberg (personlig kommunikation, 7 april 2017) säger att det vanligtvis finns flera sätt att lösa problemen på och det är inte säkert att den metod som ASHRAE väljer att förespråka är den bästa. Dock har organisationen så pass stor slagkraft inom ämnet att det är deras lösning som kommer att användas (M. Tillberg, 7 april 2017).

I ASHRAE's *Handbook of smoke control* nämns olika parametrar som påverkar utformningen av systemet. Några av de mest avgörande parametrarna är höjden på byggnaden, höjden på trapphuset, planlösningen, maximal tryckskillnad, atmosfärstryck, temperatur i byggnaden och vilken typ av trycksättningssystem som valts. De parametrarna kan användas för att utföra en analys av hur luften rör sig och hur dessa luft rörelser transporterar föroreningar. Det kan vara svårt att utföra handberäkningar för analysen då trycksättningssystem ska samarbeta med rökgasventilation och därför rekommenderas projektören att ta hjälp av beräkningsprogram (ASHRAE, 2012). Ett vanligt förekommande beräkningsprogram som används i branschen är Contam. Programmet används för att kontrollera om systemet kommer att fungera med byggnadens förutsättningar. I Contam går det även att beräkna tryckskillnader mellan zoner i byggnaden vilket är användbart vid just dimensionering av trycksättningssystemet (Walton & Dols, 2006).

På grund av en stor variation i vindlast och i antal öppna fönster kan det bli svårt att hålla tryckskillnaden över dörrar på en acceptabel nivå vilket också kommer påverka utformningen. Klarar inte det tänkta systemet en simulering går det att använda automatiska dörröppnare eller ett spjäll som öppnar automatiskt på våningen där tryckskillnaden är för stor för att lösa problemet (ASHRAE, 2012).

Olika alternativ för var i höjddled luften ska tillföras behandlas också av ASHRAE. Ifall luften ska tillföras i den nedre delen av trapphuset är det viktigt att göra en simulering på hur mycket luft som kommer att läcka ut via ytterdörren. För att undvika den uppkomna kortslutning genom ytterdörren (se Figur 5) kan luften tillföras på annan våning än den där ytterdörren finns. Om det endast tillförs luft på ett ställe i trapphuset är risken stor att systemet inte lyckas upprätthålla trycket då flera dörrar är öppna i närheten av tilluftsdonet. Det kan avvärjas om tilluften istället sprids ut med flera don utmed trapphuset. Att tilluftsdonen förses med luft ifrån samma fläkt påverkar inte risken för kortslutning då det är donens placering som avgör (ASHRAE, 2012).



Figur 5 Kortslutning av trycksättningen i ett trapphus

Ett sätt att lösa trycksättningen när trapphuset är för högt är enligt ASHRAE (2012) att dela in trapphuset i sektioner som är helt separerade i olika brandceller. Varje sektion kommer då att trycksättas var för sig. Nackdelen med den lösningen är att det går åt mer golvyta för att sektionera trapphuset. Vinsten på att sektionera trapphuset

förloras om dörrar mellan sektionerna är öppna. Därför är det inte lämpligt att använda denna lösning i en byggnad där en stor andel människor kommer att utrymma samtidigt. Däremot är det en lämplig lösning om byggnaden är utformad för att endast brandplanet och de två angränsande planen ska utrymmas, en så kallad "defend in place" strategi. "Defend in place" strategin medför att majoriteten av de som vistas i byggnaden inte kommer att utrymmas vilket leder till att dörrarna mellan sektionerna inte hålls öppna för länge som gör att systemet kan upprätthålla trycket i sektionerna (ASHRAE, 2012).

Det går att höja säkerheten genom att använda en sluss mellan trapphus och verksamheten då det blir som en extra barriär. Vid projektering behöver sannolikheten för att båda dörrarna är öppna samtidigt beräknas då slussen kommer att tappa sin funktion om båda dörrarna är öppna samtidigt. Om byggnaden rymmer många människor samtidigt är det högst sannolikt att det scenariot kommer att inträffa (ASHRAE, 2012).

3.1.2 Svensk Standard

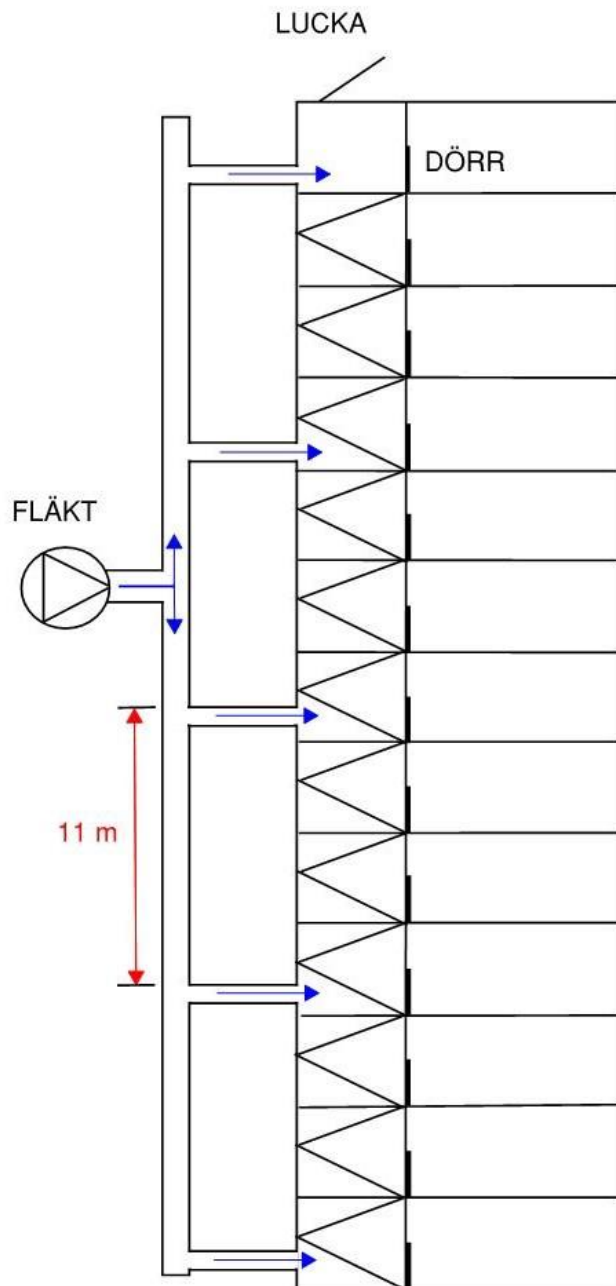
Det finns flertalet svenska standarder som kan användas för att uppfylla föreskrifterna som finns i BBR.

Swedish standards institutes (2017) egna ord om standardisering:

"En standard är en gemensam lösning på ett återkommande problem. Syftet med standarder är att skapa enhetliga och transparenta rutiner som vi kan enas kring. Det ligger ju i allas intresse att höja kvaliteten, undvika missförstånd och slippa uppfinna hjulet på nytt varje gång."

Finns det ett nationellt behov av att lösa ett specifikt problem beslutar SIS (Swedish standards institute) om att ta fram en standard för det. För att ta fram standarden tillsätter SIS en kommitté bestående av olika experter inom området. När kommittén tagit fram en standard skickas den på remiss och olika intressenter inom marknaden får möjlighet att kommentera innehållet före publicering. (Swedish standards institute, 2017).

En svensk standard som berör trycksättning av trapphus är SS-EN 12106-6:2006. Den tar upp olika klassificeringar av byggnader samt hur trycksättningssystemet ska utföras. Det finns sex olika klasser A, B, C, D, E och F. Klasserna talar om hur systemet ska utformas vid olika typer av verksamhet men ingen klass är bättre än den andra utan de har olika användningsområden. Gemensamt för alla klasserna är att den kraft som maximalt behövs för att öppna en dörr till trapphuset ej får överstiga 100 N. Standarden säger även att tilluftsdonen i trapphuset ska vara placerade på ett minimalt avstånd av elva meter (se Figur 6).



Figur 6 Principskiss över trycksättning med tilluft var elfte meter

3.1.3 Klass A

Klass A innebär att dimensioneringen baseras på att utrymning av byggnaden endast sker vid direkt kontakt med branden. Alltså kommer endast brandplanet och planen över och under att utrymmas, en så kallad “defend in place” strategi. Det betyder att personerna ska stanna kvar i samma brandcell tills dess att räddningstjänsten har bekämpat branden eller uppmanar till något annat. Av den anledningen är det osannolikt att mer än en dörr är öppen samtidigt till den sluss som finns på varje våning mellan verksamhet och trapphus. Enligt standarden bör byggnader med många olika typer av verksamheter ej utformas enligt klass A (SS-EN 121 06-6:2006).

3.1.4 Klass B

Ett klass B system kan enligt standarden användas för att minimera den potentiella risken för brandgasspridning till trapphuset som används för utrymning och för brandbekämpning (SS-EN 121 06-6:2006).

Vid ett utförande av en släckinsats kommer det vara nödvändigt att öppna dörren mellan slussen och verksamhetsplanet. Det kan också i vissa fall vara nödvändigt att ansluta slangar till stigarledningen på våningen under brandplanet. Eftersom slangen då måste gå via trapphuset kommer det under släckarbetet inte vara möjligt att ha dessa dörrar stängda (SS-EN 121 06-6:2006).

Det är viktigt att säkerställa att inga brandgaser tar sig in i trapphuset. För att lyckas med det krävs en lufthastighet om minst 2 m/s genom dörröppningen till brandplanet. Det krävs också att våningsplanet har ett visst godtyckligt läckage ut till det fria för att möjliggöra flödet som krävs genom dörröppningen (SS-EN 121 06-6:2006).

Förutom flödet ställs det krav på differenstrycket mellan utrymmen. Mellan hiss och verksamhet ska det vara 50 Pa, mellan trapphus och verksamhet gäller också ett differenstryck på 50 Pa och mellan sluss och verksamhet 45 Pa. Det gäller då att dörrar till hissen, trapphuset, slussen och dörren mot de fria är stängda samtidigt som tryckavlastningsspjället på våningen är öppet. Systemet ska utformas så att hisschakt, slussar och trapphus hålls fria från brandgaser. Om brandgas skulle ta sig in i slussen ska den inte sprida sig till vare sig trapphuset eller hisschaktet p.g.a. deras respektive övertryck, vilket uppfylls om det används separata trycksättningssystem för hisschaktet och trapphuset (SS-EN 121 06-6:2006).

3.1.5 Klass C

Utformningen av ett klass C system baseras på antagandet att alla som vistas i byggnaden kommer evakueras samtidigt vid aktiverat brandlarm. Det medför att trappan kommer vara fylld under den nominella utrymningstiden och därefter ska byggnaden vara helt evakuerad. Tiden som personerna befinner sig i byggnaden kommer minimeras då de antas vara medvetna och bekanta med sin omgivning. Kontorslokaler skulle kunna projekteras efter klass C (SS-EN 121 06-6:2006).

Ett litet läckage av brandgas till trapphuset tillåts då branden är i ett tidigt stadie och trycksättningen kommer att skapa ett visst flöde som gör att brandgasen kommer ventileras ut (SS-EN 121 06-6:2006).

3.1.6 Klass D

Klass D system utformas utifrån att de som vistas i byggnaden sover såsom hotell och vandrarhem. Personerna i byggnaden är inte bekanta med omgivningen och det kommer därför behövas betydligt längre tid för utrymning än om personerna hade varit bekanta med byggnaden och det ska systemet utformas för (SS-EN 121 06-6:2006).

3.1.7 Klass E

Klass E system utformas utifrån att evakueringen sker i olika faser. Flertalet människor kommer att befinna sig i byggnaden och de kommer evakueras i olika faser. Under den något utdragna evakueringen kommer branden att hinna utvecklas mer än vid exempelvis ett klass C system. Den ökade tiden för utrymning medför att brandgaserna hinner utveckla ett högre tryck och att trapphuset måste hållas rökfritt under en längre tid än de tidigare klasserna (SS-EN 121 06-6:2006).

3.1.8 Klass F

Klass F system används för att begränsa spridningen av rök till trapphuset som räddningstjänsten kommer att använda under sin insats. Vid en sådan insats kommer dörren mellan brandplanet och slussen som leder till trapphuset att vara öppen. Det kan i vissa fall också vara nödvändigt att ansluta slangar till stigarledningar på våningen under vilket medför att dörren mellan slussen och trapphuset inte alltid kommer att vara stängd. Om anslutningen för brandslangarna finns i verksamheten kan de tidigare nämnda dörrarna antas vara stängda (SS-EN 121 06-6:2006).

För att säkerställa att trapphuset inte blir helt rökfyllt under en insats krävs det en lufthastighet på minst 2 m/s genom dörröppningen mellan trapphuset och slussen. För att uppnå ett flöde genom dörröppningarna är det viktigt att tillräckligt mycket luft kan ta sig ut ur byggnaden på verksamhetsplanet. Det sker antingen via läckage i byggnadens fasad, via ventilationskanaler eller via kanaler för tryckavlastning. Då kravet inte gäller för dörren mellan slussen och verksamheten kan lufthastigheten understiga 2 m/s och det finns då risk att rök kommer in i slussen. Därför är det viktigt att luftomsättningen är tillräckligt hög i slussen för att eventuell rök ska kunna ventileras bort (SS-EN 121 06-6:2006).

3.2 Varmvattencirkulation

Förutom problemet att få säkra utrymningsvägar i höga byggnader skapar även höjden problem i vattenledningar då det bildas ett statiskt tryck som beror på höjden (ekv 2). Desto högre byggnaden är desto högre blir trycket i botten av vattenledningarna, trycket minskar sedan med höjden högre upp i byggnaden. Ett annat problem är att när varmvatten står still i ledningar kommer temperaturen att sjunka. Till följd av temperatursänkningen finns det risk för mikrobiell tillväxt i ledningarna. Det medför att varmvattnet behöver cirkuleras via en värmekälla för att upprätthålla temperaturen i kretsen.

$$p = \rho \times g \times h \quad (\text{ekv 2})$$

Där

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

BBR (2013) behandlar i kapitel 6 området tappvatten. I det kapitlet framgår det att en temperatur på minst 50 °C ska gå att uppnå efter ett tappställe. Det bör inte heller ta längre tid än tio sekunder att få varmt vatten vid ett tappställe (Dahlblom & Warfvinge, 2014). För att klara dessa rekommendationer samt för att förhindra mikrobiell tillväxt i form av legionellabakterier cirkuleras varmvattnet. Vid en temperatur på 40 °C är tillväxten av legionellabakterier som störst. Ifall temperaturen överstiger 50 °C i systemet kommer antalet bakterier att minska (Dahlblom & Warfvinge 2014). BBR (2013) har därför ett krav på att temperaturen inte får understiga 50 °C någonstans i varmvattensystemet.

I höghus kan uppföringshöjden (h , i ekv 2) bli väldigt hög och det krävs därför ett högt tryck i rören. Då rör och komponenter är klassade för att klara ett visst maximalt tryck kommer det att påverka utformningen av systemet. Det finns olika sätt att placera tappvattensystemets teknikrum, även kallad undercentral, för att inte få för höga tryck vilket beskrivs nedan.

3.2.1 Placering av undercentral

Två sätt att förlägga undercentraler i höghus är i källaren eller högre upp i byggnaden. Ytan är väldigt värdefull och det är därför viktigt att systemet utformas så att ytan används på ett effektivt sätt (J-O. Johansson, personlig kommunikation, 20 februari 2017). I studien har två olika typer av utformningar förekommit.

Den första lösningen är att allt varmvatten värms i en och samma undercentral i källaren sen fördelas vattnet uppåt i byggnaden i olika stammar. Enligt J. Petersson (personlig kommunikation, 11 maj 2017) är en fördel med den här typen av lösning att alla installationer samlas i ett och samma teknikrum. Ytan i källaren är även billigare och lättare att ta i anspråk än vad den är högre upp vilket också är fördelaktigt. En negativ aspekt är att byggnaden kan komma att sektioneras i olika bostadsrättsföreningar och det kan då vara önskvärt att ha separata stammar till de olika sektionerna. Det medför att det behövs mer rör än vad det teoretiskt sett hade behövts vilket leder till större schakt (J. Petersson, 11 maj 2017).

Enligt BBR (2013) ska tappvattensystem dimensioneras för att klara ett tryck om minst 1 MPa. Standardiserade pressdelar är tryckklassade för minst 16 bar enligt uppgifter från flertalet tillverkare¹. 10 bar motsvarar 1 MPa som i sin tur vid en vattentemperatur på 10 °C motsvarar 101,97 meter vattenpelare. Pressdelar klarar då det statiska trycket som 160 meter vattenpelare ger upphov till (VVS Företagen, 2015). Enligt SS-EN 806-3:2006 är ett lägsta tryck på 100 kPa ett måste för att tappstället ska fungera korrekt. Det gör att höjden på byggnaden blir begränsad till ungefär 150 meter.

¹ Två av tillverkarna:

Geberit Sverige, http://catalog.geberit.com/public/chapter.aspx?cat=SE_SE-sv_1&ch=CH1_132310

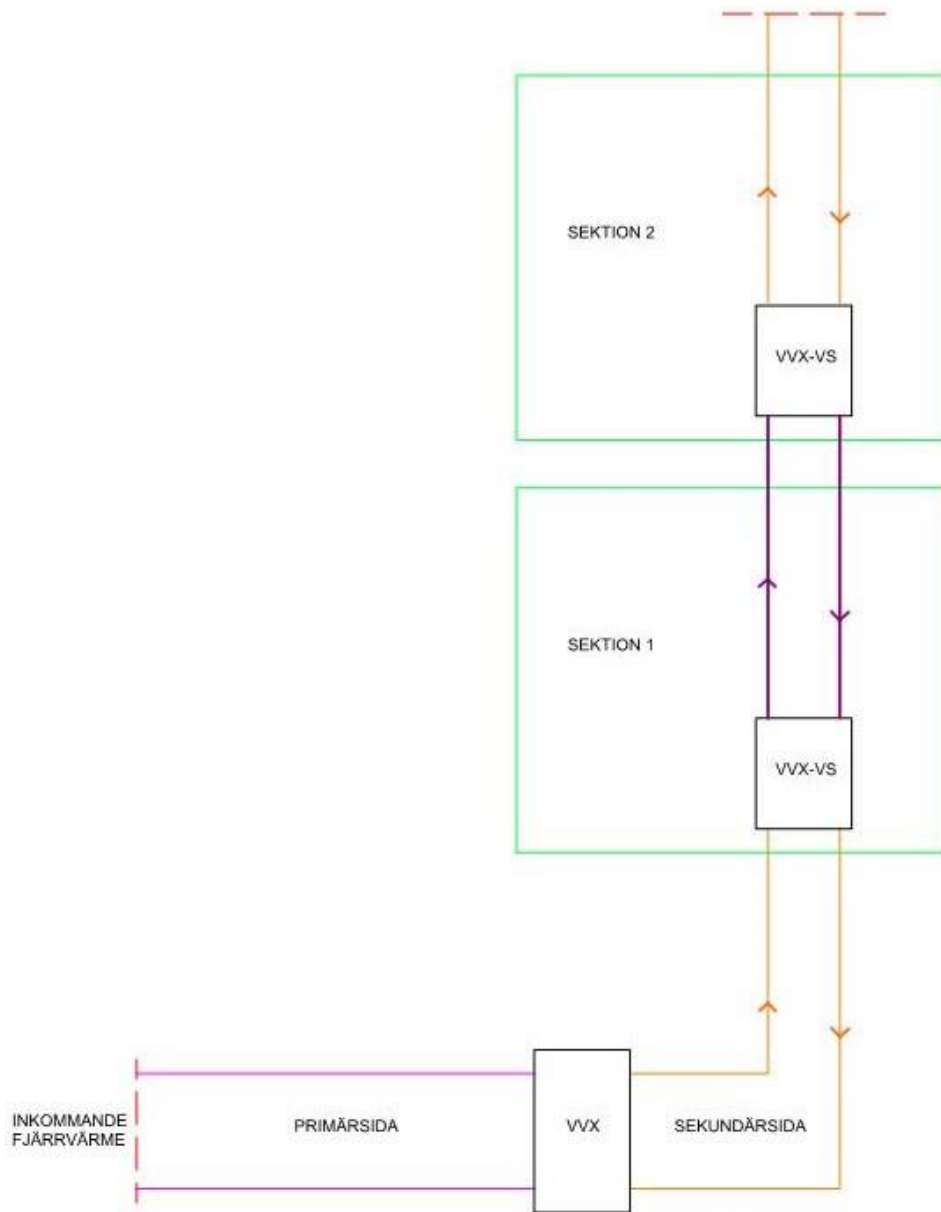
BROEN Valve technologies,

<http://www.broen.se/Tappvatten/Installations/Presssystem-VSH/XPress-Cu.aspx>

Tappställen är sällan tryckklassade för högre tryck än 1 MPa (J-O. Johansson, 20 februari 2017). För att klara lägsta kravet som BBR (2013) ställer även när byggnadshöjden blir så hög att det statiska trycket överskrider gränsen på 1 MPa måste stammarna delas av. I byggnaden kan en stam teoretiskt sätt försörja en sektion på maximalt 90 meter med hänsyn till kravet på lägst 100 kPa över tappstället. Standarden anger även ett högsta tryck vid ett tappställe på 500 kPa vilket begränsar höjden på sektionen till 40 meter (SS-EN 806-3:2006).

Ett alternativ för att kunna bygga högre är att använda rör och komponenter som har högre tryckklasser. Nackdelen med det är att anläggningen då behöver utföras av licenssvetsare och enligt J. Petersson (11 maj 2017) är det inte att föredra. Det blir både billigare och enklare att använda standard tryckklassade rör och komponenter då även VVS-montörer utan extra certifikat får arbeta med anläggningen.

En annan lösning är att placera undercentraler högre upp i byggnaden. J. Johansson (20 februari 2017) menar att på så sätt begränsas inte systemet av höjden på huset. Nackdelen med den utformningen blir att det behöver ske flera växlingar av sekundärsidan som bidrar till energiförluster (A. Sandh, personlig kommunikation, 23 februari 2017). I Figur 7 visas principen för växling mellan sektionerna. Sekundärsidan delas upp i ett antal mindre kretsar åtskilda av en värmeväxlare för att hålla trycket inom det för komponenterna godkända intervallet.



Figur 7 Sektionering för UC i höghus

4 Analys

I detta kapitel tas det upp hur projektörerna har valt att lösa de olika problemen som dykt upp i höghusen inom ämnet trycksättning och VVC.

I rapporten har tre objekt studerats som konsultföretaget Bengt Dahlgren AB har arbetat med. Två av objekten är färdigställda och i det tredje objektet har systemhandlingar tagits fram som är en beskrivning av hur systemet ska byggas upp vid fortsatt detaljprojektering. De färdigställda objekten är Gothia Towers i Göteborg och Malmö Live i Malmö. Objektet där systemhandlingar tagits fram är Karlatornet som ska byggas i Göteborg.

4.1 Karlatornet

Karlatornet kommer att bli Sveriges högsta byggnad med 82 våningar och en höjd på ca 240 meter. Tornet kommer att byggas i området Lindholmen i Göteborg. Bengt Dahlgren AB har tagit fram systemhandlingar för de tekniska lösningarna inom VVS (J-O. Johansson, personlig kommunikation, 20 februari 2017). Byggstart är planerad att ske under hösten 2017.

4.1.1 Trycksättning

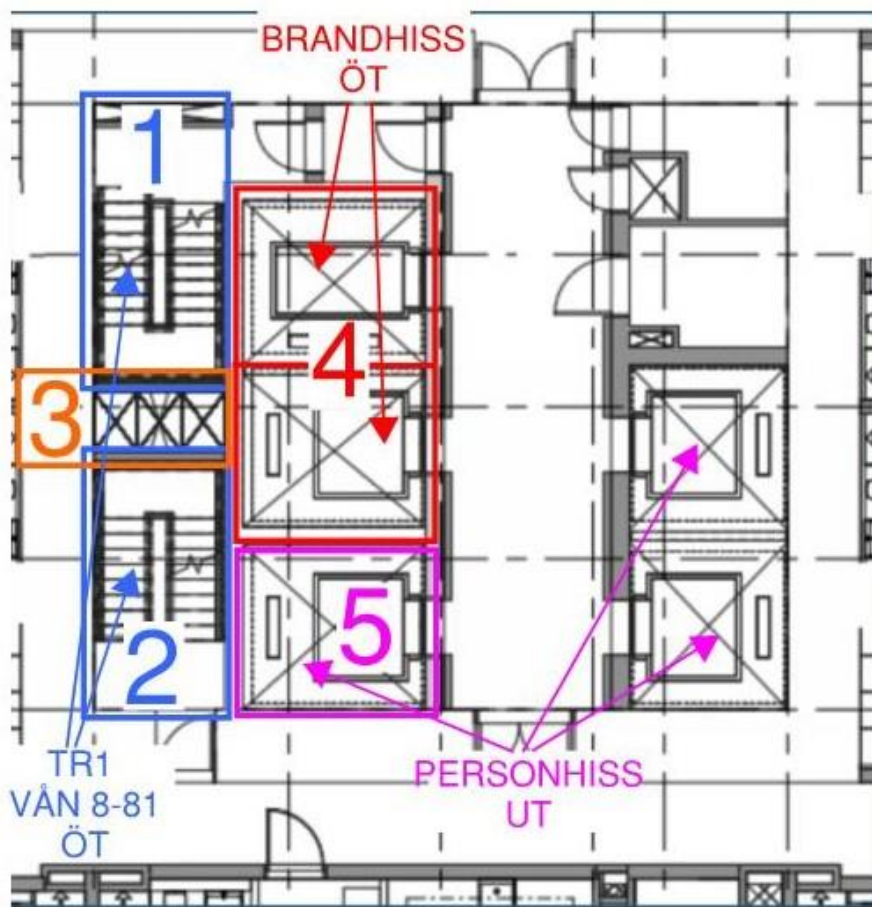
Nedan kommer två förklaringar till figurer som kommer användas för att beskriva trycksättningen.

ÖT-övertrycksatt vilket menas att lufttrycket i det utrymmet har ett positivt tryck i relation till intilliggande utrymmen. Det leder till att luft kommer att transporteras ut från utrymmet genom diverse otätheter som finns.

UT-undertrycksatt vilket menas att lufttrycket i det utrymmet har ett negativt tryck i relation till intilliggande utrymmen. Det leder istället till att luft kommer att transporteras in till utrymmet genom diverse otätheter som finns.

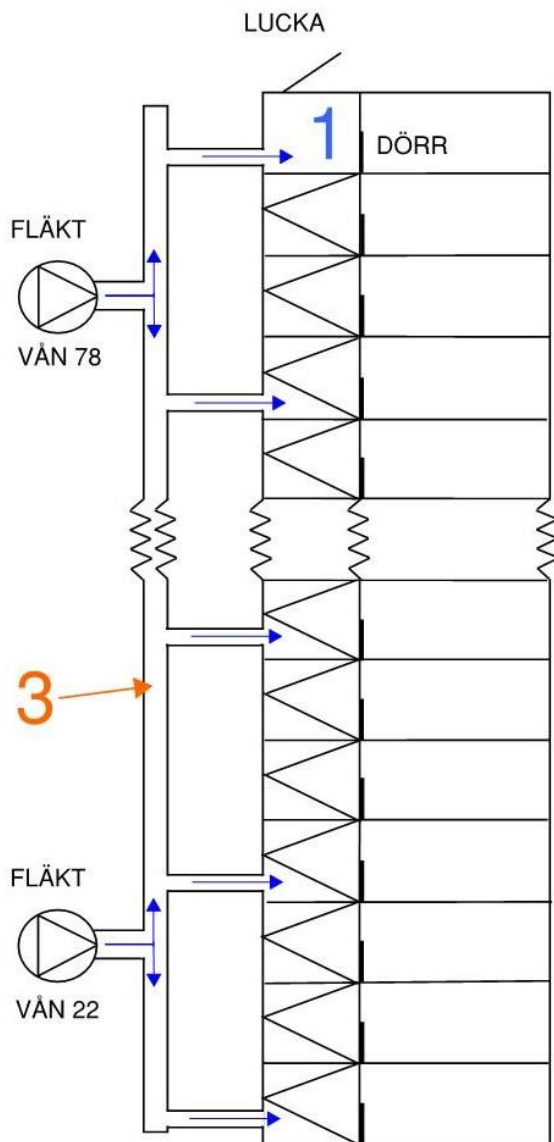
J-O. Johansson (20 februari 2017) har valt att följa den europeiska normen EN 12101–6:2005 som även finns som den svenska standarden SS-EN 12101–6:2006. Byggnaden är projekterad efter klass B och D ur normen. Enligt Johansson (20 februari 2017) finns det inga särskilda krav på så här höga hus i BBR.

Enligt systemhandlingarna kommer det att bli två Tr1-trapphus där den ena är till för räddningstjänsten (se punkt 1 i Figur 8) och den andra är för att allmänheten ska kunna ta sig ut (se punkt 2 i Figur 8). Johansson (20 februari 2017) menar att inget av trapphusen är sektionerade. Insatstrapphuset blir trycksatt av två fläktar på våning 22 och 78 (se Figur 9) vilket kan ses i systemhandlingarna. Johansson (20 februari 2017) förklarar att luften trycks in i ett av de vertikala schakten (se punkt 3 i Figur 8) där luften senare transporteras vidare in till trapphuset via kanaler enligt SS-EN 12101–6:2006 på var tredje våning.



Figur 8 Kärnan på Karlatornet enligt systemhandlingar

1. Tr1-trapphus för räddningstjänsten
2. Tr1-för civilpersoner
3. Schakt för luftkanaler
4. Brandhissar
5. Personhiss som blir schakt vid brand

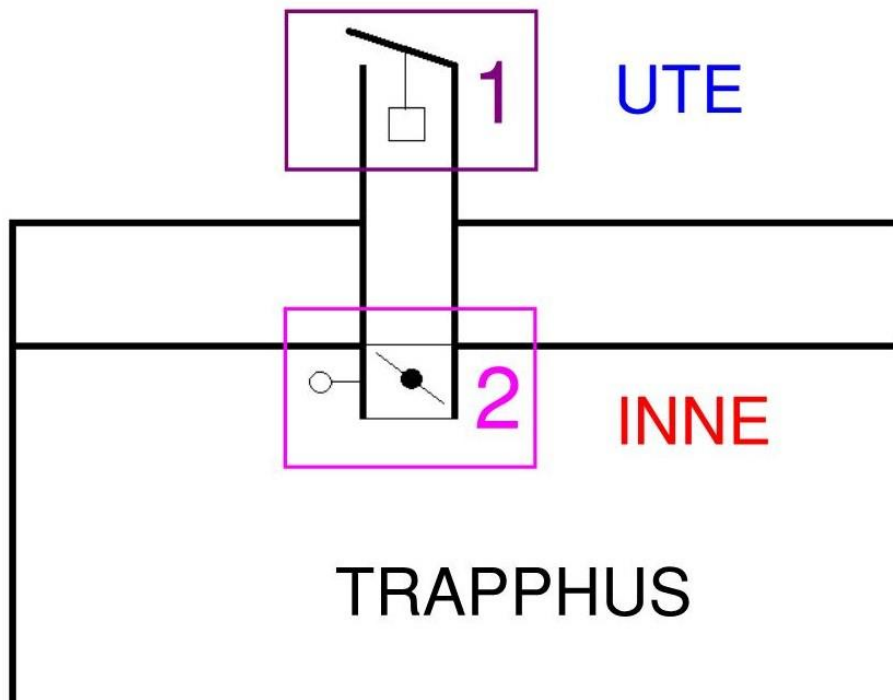


Figur 9 Fläktar, schakt och insatstrapphusplacering i Karlatornet

Johansson (20 februari 2017) berättar vidare att när brandmännen öppnar en dörr på bottenvåningen och en dörr på brandplanet bildas ett övertryck i lobbyn. Luften som strömmar in genom trapphuset måste ha någonstans att ta vägen och därför åker Hiss 3 (se punkt 5 i Figur 8) ner till bottenvåningen för att bilda ett schakt. Samtidigt öppnas två luckor på $0,9\text{m}^2$ vardera mot det öppna schaktet som sträcker sig genom hela byggnaden. Luckorna öppnas på både brandplanet och våningen som befinner sig under branden. I det schaktet transporteras luften ut genom en frånluftsfläkt i taket på schaktet. För att veta hur stor den fläkten behöver vara dimensioneras trycket efter att en dörr är öppen på bottenplan, en dörr är öppen på brandplanet och en halvöppen dörr på våningen under planet där det brinner. Det gör att det behöver vara en hastighet på 2 m/s över dörröppningarna vilket bestämmer flödet på fläkten.

Evakueringstrapphuset för civilpersoner har en likadan princip som trapphuset för insatsstyrkan men blir trycksatt av tre fläktar istället för två. De trycksatta trapphusen har ett tryckavlastningsspjäll i toppen (se punkt 1 i Figur 10).

Spjällets funktion är att släppa ut luft när trycket enligt standarden blir för stort mellan trapphus och sluss då det inte ska krävas mer än 100 N för att öppna en dörr. Avlastningsspjället ska vara så säkert som möjligt, därför är det i detta fall gravitationen som används som reglering (J-O. Johansson 20 februari 2017). Spjället är inställt på att vara stängt tills trycket når ett inställt maxvärde. Blir trycket över det kan inte luckan hållas stängd utan öppnas, vilket gör att det inte krävs någon komplicerad reglering av funktionen.



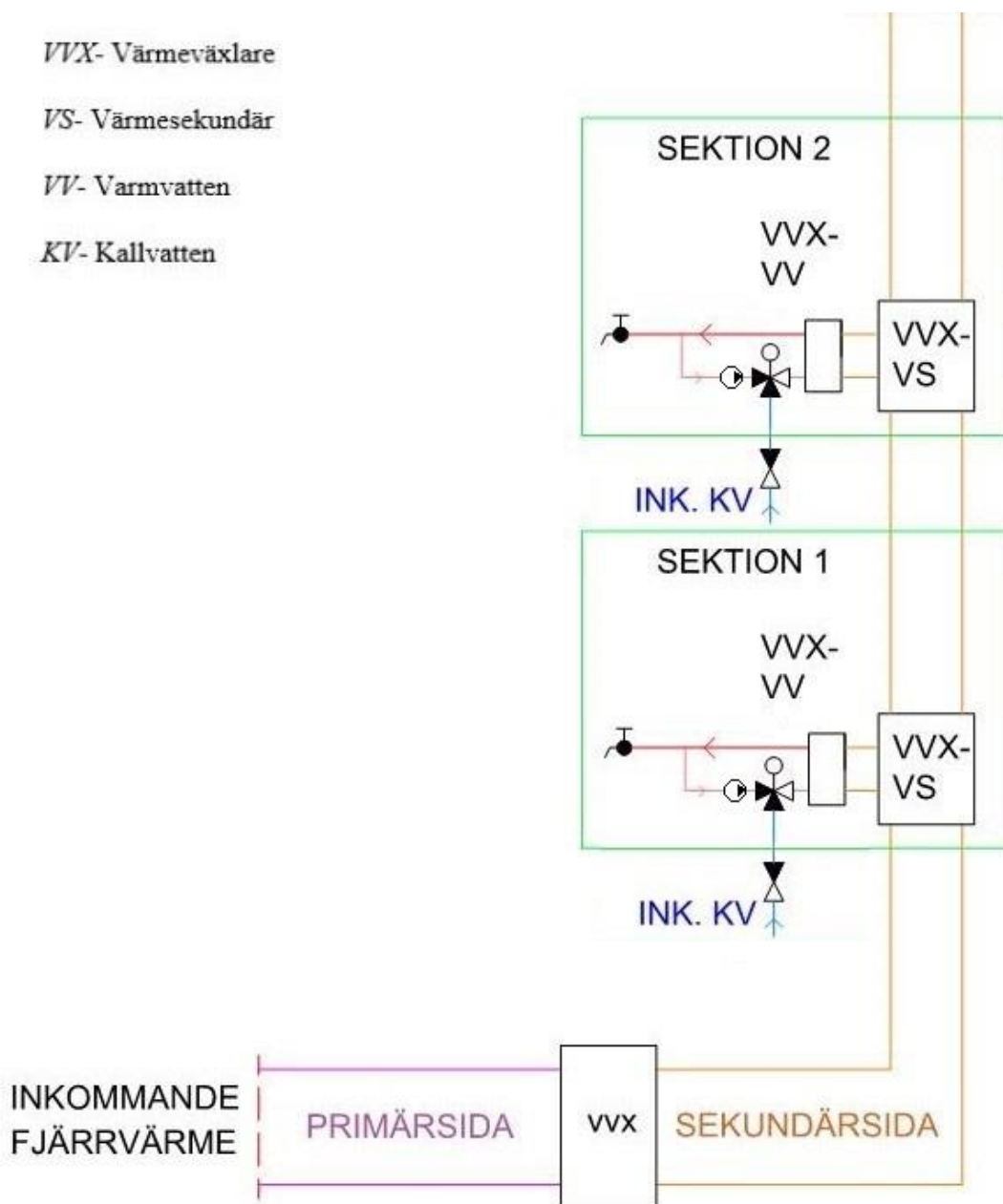
Figur 10 Principskiss över ett tryckavlastningsspjäll i trapphus

Johansson (20 februari 2017) säger att det kommer bildas ett oönskat ljud när tryckavlastningsspjället öppnas och stängs vilket gjort att ett extra spjäll placeras före luckan (se punkt 2 i Figur 10). Det spjället är stängt i vanlig drift och öppnas vid brand. Spjället är ett strömlöst öppet spjäll vilket betyder att om strömmen bryts öppnas spjället. Denna funktion behöver finnas, för om det skulle uppstå något fel måste avlastningsspjällets funktion alltid fungera då den finns för människors säkerhet.

Det finns två brandhissar (se punkt 4 i Figur 8) som kommer skickas ner vid brand till entréplan där brandmännen kan styra dem med hjälp av nyckel. Brandhissarna som används blir övertrycksatta av egna fläktar och ett annat schakt än trapphusen. Här trycks luften in på var tionde våning. Det finns ett tryckavlastningsspjäll i toppen även här som fungerar på samma sätt som för trapphusen. För att kompensera för övertrycket som bildas finns det ett annat tryckavlastningsschakt som transporterar ut luften. Det schaktet kopplas ihop med hjälp av en lucka som öppnas på brandplanet och en på våningen under branden (J-O. Johansson, 20 februari 2017).

4.1.2 Varmvattencirkulation

Karlatornet kommer enligt systemhandlingarna att ha en VVC-lösning som är uppdelad på flera undercentraler som är placerade på olika våningsplan. Hela huset blir på så vis tryckmässigt uppdelade i olika sektioner där varje sektion består av ett visst antal våningar som försörjs av en undercentral (se Figur 11). Det gör att sektionerna blir oberoende av varandra. Det som är gemensamt för sektionerna är tappkallvattnet som tryckstegras för att få trycken som behövs i byggnaden. Tanken med uppdelningen är att systemet ska bli så simpelt och enkelt som möjligt (J-O. Johansson, 20 februari 2017). Uppdelningen på olika undercentraler gör att trycket inte blir för högt och det går därför att använda delar och komponenter som har tryckklasser som används i mindre hus. Principen blir sådan att mindre system staplas på varandra. Sektionering på det sättet eliminerar behovet att ha högre tryckklassning på systemet än vanligt. (J-O. Johansson, 20 februari 2017).



Figur 11 VVC-princip i Karlatornet

Byggnaden får värme från Göteborg energis fjärrvärme som växlas över till en intern primärkrets vilken i sin tur försörjer alla sektioners undercentraler (J-O. Johansson, 20 februari 2017).

4.2 Gothia Towers

I anslutning till korsvägen i Göteborg hittas Gothia Towers (se Figur 12) som är tre hotelltorn som färdigställdes vid olika årtal. Mittenornet som byggdes först stod klart år 1984 och hade då en höjd på 63 meter men byggdes om år 2013. Under ombyggnationen ökades höjden till 82 meter och antalet våningar ökade från 20 till 25. Torn 1 stod klar år 2001 med 24 våningar och 77 meter högt. Slutligen år 2014 stod Torn 3 klart med 29 våningar och en höjd på 100 meter (Gothia Towers, 2017). Projektering av brand och risk, sprinkler och VVS utfördes av Bengt Dahlgren AB.



Figur 12 Översikt över Gothia Towers från Google maps

4.2.1 Trycksättning

Mittenornet och östra tornet är utförda enligt SS-EN 12101–6:2006 och byggnaden är projekterad som klass D. När det västra tornet byggdes fanns inte den standarden vilket gjorde att det inte har samma lösningar som de andra två tornen (A. Sandh personlig kommunikation, 23 februari 2017). Det västra tornet har försetts med en lösning där trycksättningen ersätts mot två automatiskt öppningsbara fönster (E. Lindsten, personlig kommunikation 23 mars 2017). Fönstren är placerade i korridoren på varje våningsplan där ett fönster vetter mot väst och ett mot öst. Det görs för att vinden inte ska kunna hålla röken kvar i byggnaden. Fönstren förses med hållmagneter vilka är kopplade till brandlarmet (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2001).

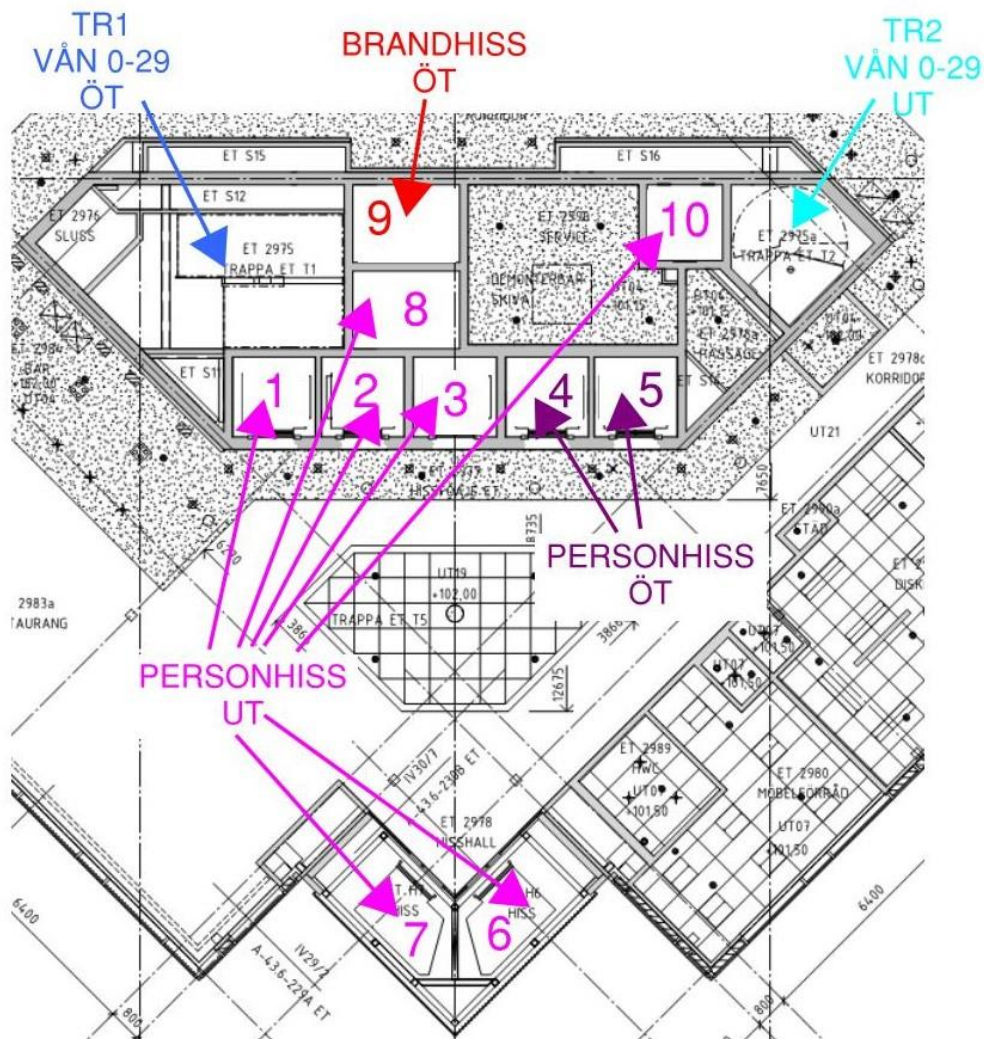
Hiss 7 (se Figur 13) är en brandhiss och därför måste det vara ett övertryck i det schaktet för att få en rökfri miljö för brandmännen. Fläkten är i det fallet placerad på lägsta våningen. Hiss 6 (se Figur 13) har ett undertryck och en huv i toppen på schaktet där luften transporteras ut.

Både hiss 4 och 5 (se Figur 13) har ett undertryck som ventileras ut genom en gemensam huv. Huvens betjänares båda schakten då en öppning sammankopplar schakten. Öppningen är placerad ovanför det översta planet där hissen stannar och har en area på 1 m^2 (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2014).

Hiss 1,2 och 3 (se Figur 13) är alla övertrycksatta med hjälp av en gemensam övertrycksfläkt som är placerad i toppen på ett av schakten. Likadant är de sammankopplade med en öppning som är placerad ovanför det översta stannplanet och har en area på minst 1 m^2 . De hissarna behöver vara övertrycksatta för att kompensera det undertrycket som Hiss 4 och 5 skapar. Hissarna har inte behovet av att hålla schaktet rökfritt men behövs för att hålla rätt tryckbalans (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2014).

Alla fläktar är kopplade så att de aktiveras när brandlarmet utlöser. Det finns dock av säkerhetsskäl en prioriterad ordning som fläktarna ska starta på om det uppstår något problem. Först ska övertrycksfläktarna till Tr1 starta och därefter ska övertrycksfläktarna för hissarna starta och till sist evakueringsfläktarna i Tr2 och hissarna som har det (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2014).

Det östra tornet har samma lösningsprincip som det mittersta tornet. Det finns ett Tr1-trapphus (se Figur 14) och en brandhiss (se Figur 14) som är övertrycksatt med varsin fläkt som är placerad i de båda schaktens botten. Skillnaden i det västra tornet från mittersta tornet är att fläkten i Tr1-trapphuset styrs mot en maxtryckskillnad på 100 Pa istället för 140 Pa. Den minimala tryckskillnaden i tornet är 20 Pa istället för 50 Pa som det är i mittentornets Tr1-trapphus (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2014).



Figur 14 Trapphus och hissar i Östra tornet från ritning

Östra tornet har även den en brandhiss som är övertrycksatt med hjälp av en fläkt som är lokaliserad i hisschaktets botten. Det finns ett Tr2-trapphus som har en evakuerande brandgasfläkt som är lokaliserad i trapphusets topp. Sju hissar är undertryckta och har en huv lokaliserad i toppen och två hissar utöver brandhissen är övertrycksatta (se figur 14) (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2014).

Vid testkörning av färdigt system uppnåddes endast 70 procent av beräknad kapacitet. Gränsen för godtagbar funktion gick vid 80 procent men i detta fall ansågs det vara tillräckligt med 70 procent (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2014).

4.2.2 Varmvattencirkulation

Gothia får värme från stadens fjärrvärmenät. VVC-lösningen på Gothia är att varje hus har delats upp i flera sektioner i höjdled som försörjer ett visst antal våningar. A. Sandh (23 februari 2017) förklarar att det är liknande princip som Karlatornet nämligen att alla sektioner blir fränkopplad från varandra och kan likna en vanlig byggnad med lägre antal våningar. Huset kan därför ses som tre 8-våningshus som är placerade ovanpå varandra.

Varje sektion har en egen växlare som är lokaliserad på källarplan. Det gör att det kommer bli fler rör som måste schaktas upp i byggnaden. Ett annat alternativ är att göra som i Karlatornet och placera växlaren på en våning i sektionen. Då kan det även vara fördelaktigt att placera växlaren i anslutning till ventilationsutrustning som ofta måste placeras högre upp i byggnaden. Det blir då lättare att motivera ytanspråket än om växlaren skulle placerats i ett eget utrymme (A. Sandh, 23 februari 2017).

4.3 KKH Malmö Live

Malmö Live är lokaliserad på Universitetsholmen i Malmö. Det är ett byggnadskomplex som består av flera olika huskroppar där den högsta är Torn 1 (se Figur 15) som har 25 våningar och en höjd på 85 meter. Invigningen av anläggningen ägde rum under sommaren 2015 (Västra Hamnen i Malmö, 2017).

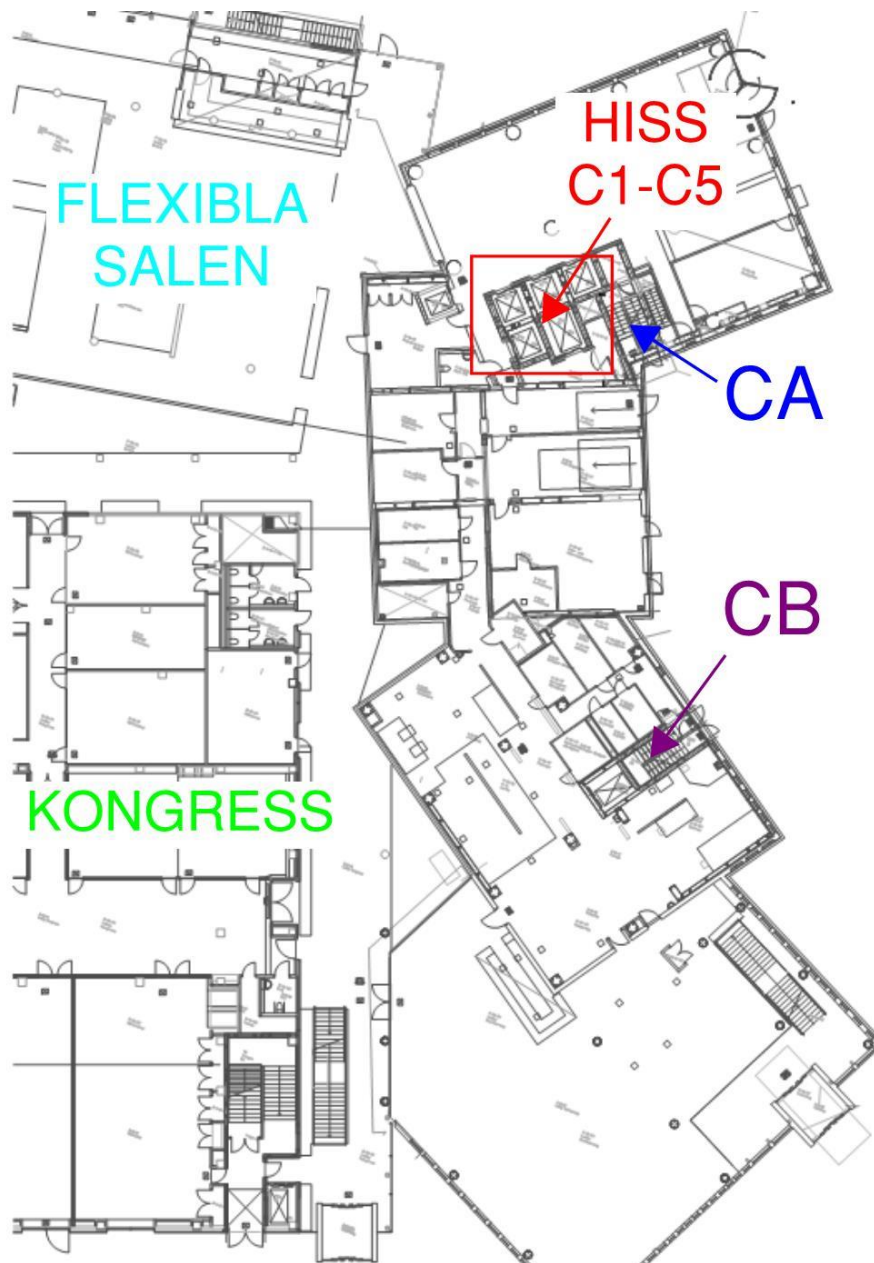


Figur 15 Översikt över alla byggnader av KKH Malmö Live taget från Google maps

Projektering av brand och risk, sprinkler och VVS utfördes av Bengt Dahlgren AB. Under arbetet är det Hus C, vilket är hotell, som är av intresse då den tillhör klassen höghus.

4.3.1 Trycksättning

I torn 1 (se Figur 16) finns det ett trapphus av klassen Tr1 (CA se Figur 16) som betjänar våningarna 0-24 i alla tre torn. För att uppfylla de ställda kraven gällande utrymningsvägar övertrycksätts det trapphuset. Det finns även ett annat trapphus av klassen Tr2 (CB se Figur 16) som betjänar våningarna 0-13. Det finns fem hissar C1-C5 (se Figur 16) som är lokaliserade i torn 1 som har olika användningsområden i en brandsituation.

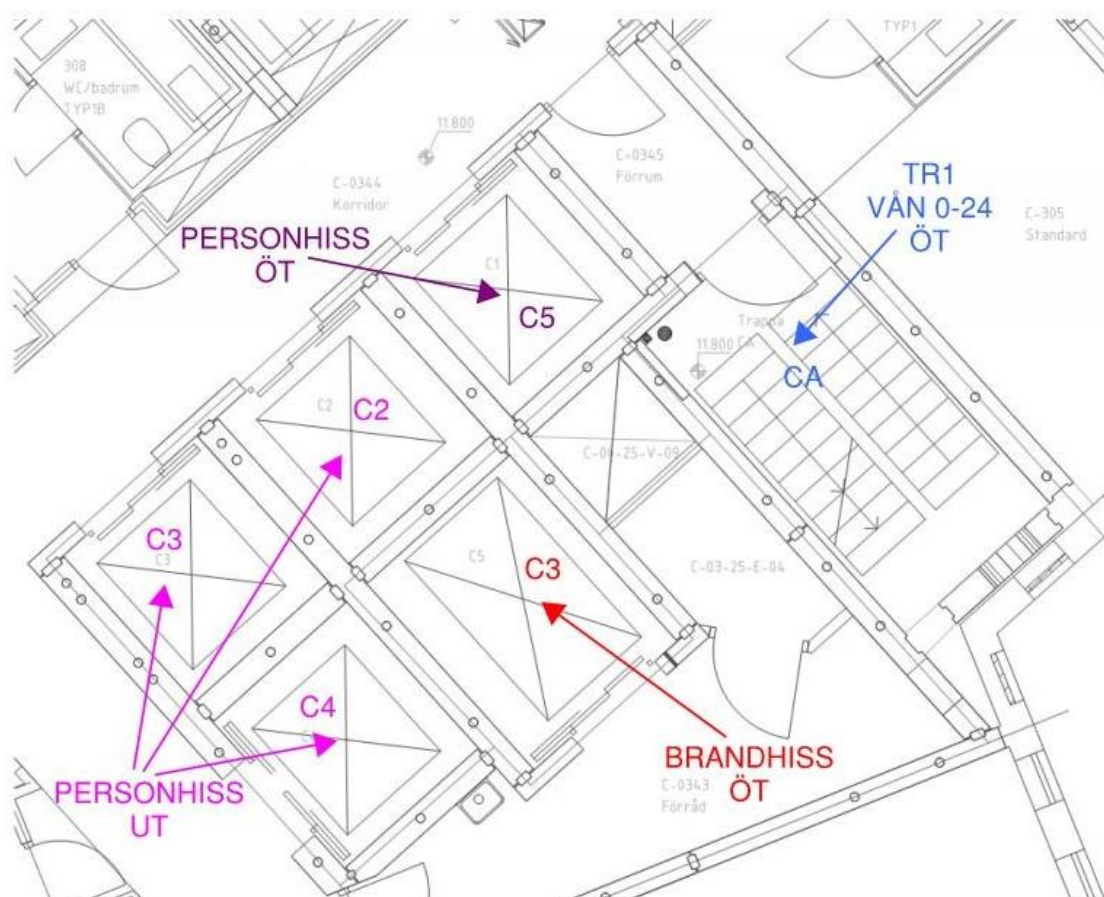


Figur 16 Placering av trapphus och hissar i KKH Malmö Live från ritning

Det finns fyra gästhisar i byggnaden som alla tillhör samma brandcell (se Figur 17). Tre av hissarna är försedda med avluftsspjäll vilket gör att det bildas ett undertryck. Den fjärde är trycksatt i toppen av en fläkt. Det är för att tillföra den mängd luft som inte kan tillföras från korridoren. Hade inte hisschaktet trycksatts och fungerat som en ventilationskanal hade ett extra ventilationschakt varit nödvändigt för att kompensera

för undertrycket som finns i de tre andra hissarna (R. Håkansson, Personlig kommunikation, 21 februari 2017).

I byggnaden finns en brandhiss C5 (se Figur 17) som vanliga hotellgäster inte kan använda. Den är övertrycksatt som alla brandhissar ska vara. Trapphuset CA (se Figur 17) trycksätts med en fläkt som är belägen på tredje våningen. För att förhindra luftflöden som uppstår på grund av de termiska drivkrafterna sitter det före fläkten ett brandgasspjäll som är strömlöst öppet (Principschema brandgasfläktar hotell, 2015).

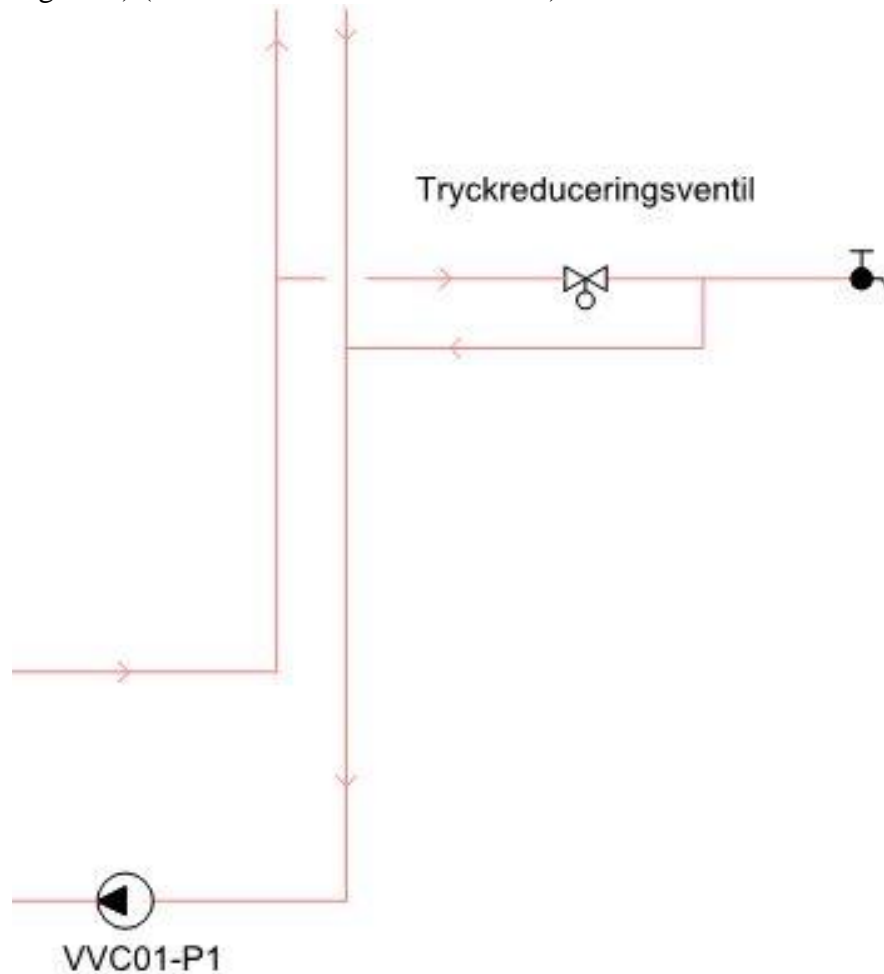


Figur 17 Översikt över hissar och trapphus i hus C Torn 1 från ritning

4.3.2 Varmvattencirkulation

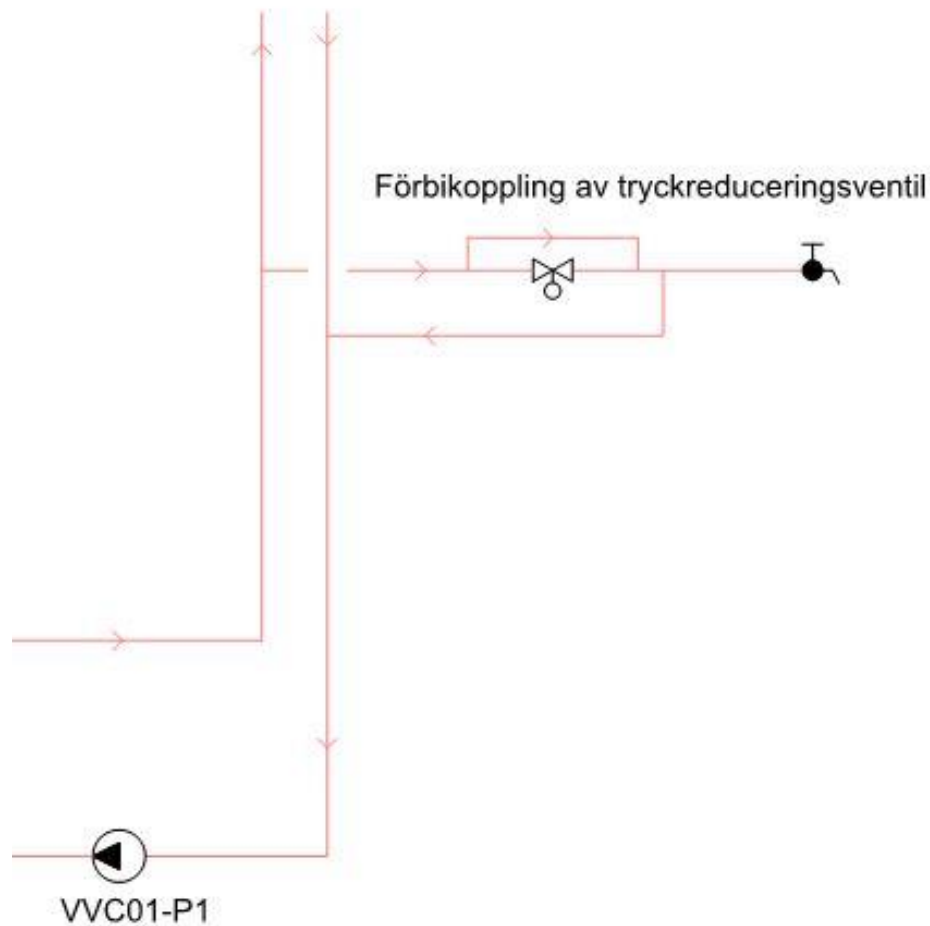
R. Håkansson (21 februari 2017) berättar att i projektet delades byggnaden upp i tre sektioner i höjdlängd där det finns en stam upp från varje sektionens undercentral. Alla stammar är kopplade till en och samma växlare innan de delar på sig. Problemet blir att höja vattentrycket som behövs högst upp i byggnaden. Eftersom trycket avtar med höjden uppstår den största belastningen på ledningar och komponenter längst ner i byggnaden. För att dessa ledningar och komponenter inte skulle ta skada av trycket testades en ny typ av lösning där det installerades tryckreduceringsventiler på de två lägre belägna stammarna (R. Håkansson 21 februari 2017). Tryckreduceringsventiler fungerar som så att när trycket efter ventilen når ett visst förinställt värde kommer den att stänga för att trycket inte ska bli för högt. När sedan trycket sjunker kommer ventilen att öppna för att öka trycket igen och på så sätt kommer trycket att hållas inom ett bestämt intervall. Den nytänkande lösningen gav upphov till vissa problem

med VVC:n eftersom tryckreduceringsventilen stänger helt när inget vatten tappas och därför kunde inte VVC:n cirkulera vattnet som fördelas ut från stammarna (se Figur 18) (R. Håkansson 21 februari 2017).



Figur 18 Principskiss för tryckreduceringsventil

För att lösa problemet med cirkulationen installerades en förbikoppling för att skapa ett grundflöde för VVC:n. Problemet med det var dock att trycket följde med genom förbikopplingen vilket gjorde att tryckreduceringsventilen tappade sin funktion och komponenter såsom blandare fick ett högre tryck än vad som var tänkt (se Figur 19) (R. Håkansson 21 februari 2017).



Figur 19 Tryckreduceringsventil med förbikoppling

För att få systemet att fungera monterades alla tryckreduceringsventiler bort, det var möjligt tack vare höjden på huset. För att pumpa upp vatten en meter behövs det ett tryck på 0,1 bar vilket motsvarar 1 mvp. Då huset är 85 meter högt behövs det ett grundtryck på 8,5 bar för att få upp vattnet till de högst belägna tappställena. Ett tappställe behöver generellt sett ha ett tryck på minst 1 bar för att fungera tillfredsställande. Det högsta trycket som då behövdes i byggnaden var 9,5 bar. Alla ledningar och komponenter som är installerade är tryckklassade för minst 10 bar och därför kunde tryckreduceringsventilerna avlägsnas (R. Håkansson, 21 februari 2017).

5 Beräkningar

För att lättare kunna relatera till vad en kvadratmeter är värd i kronor följer nedan överslagsberäkningar i olika typer av verksamheter. Därefter utförs en energianalys av tappvarmvattenanvändning för ett kontor.

5.1 Ytanspråk

För ett kontor i centrala Göteborg är månadshyran på mellan 3000 till 4200 kr/m² (Corporate Classifieds AB, 2017). På ett år har varje kvadratmeter en potentiell lägsta intäkt på 36 000 svenska kronor.

Enligt Gothias hotellbokning ligger priset för en natt på ca 1500 kronor. Enligt uppgifter från hotellet är ett standardrum cirka 20-25 kvadratmeter stort. I en artikel publicerad av Gothia Towers från 2013 berättade den dåvarande VD:n Petter Ullberg att belägningsgraden för hotellet varit 74 procent de senaste åren (Gothia Towers, 2017). Hotellet var alltså fullbelagt under drygt 74 procent av året. Det medför att den uppskattade intäkten per kvadratmeter och år blir cirka 18000 kronor (ekv 3).

$$\frac{Pris \times dagar \times belägningsgrad}{Area[kvm]} = Pris \left[\frac{kr}{\frac{kvm}{år}} \right] \quad (\text{ekv 3})$$

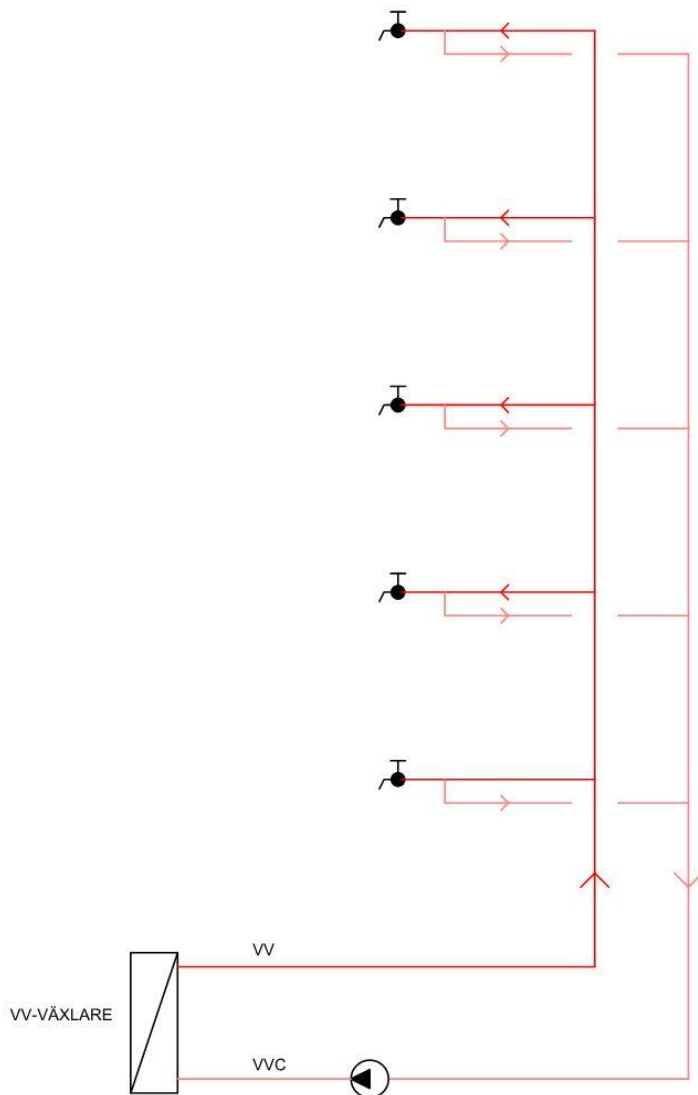
För bostäder går det istället att se till vad kvadratmeterpriset blir. Enligt preliminära siffror från Sernekes egna bostadsförmedling kommer en enrumslägenhet på 24 kvadratmeter i Karlatornet att kosta 1 700 000 kronor vilket resulterar i ett kvadratmeterpris på drygt 70 000 kronor. Även hyran ökar intäkterna då den baseras på antal kvadratmeter.

Med tanke på vad varje kvadratmeter är värd och att det blir många våningar i ett höghus finns det stor anledning att vara rädd om varje kvadratmeter som tas i anspråk (J-O. Johansson, 20 februari 2017).

5.2 Energianalys

Hiller, Miller och Dinse (2002) kom i sin studie fram till att det kan finnas potential att spara energi om VVC:n byts ut mot varmvattenberedare i byggnader där tappvarmvattenanvändningen är låg. I kontorsbyggnader används en betydligt mindre mängd tappvarmvatten än vad exempelvis bostadshus gör.

Det alternativet som kommer ställas mot VVC-systemet är behovsberedning av varmvattnet med en genomströmningsberedare. För att kunna jämföra de två alternativen kommer energiåtgången för respektive lösningar att beräknas. För beräkningarna har ett system utformats utifrån en befintlig kontorsbyggnad (se Figur 20).



Figur 20 Princip över tappvarmvattensystem

5.2.1 Tappvarmvattenförbrukning

Enligt energimätningar gjorda för Bengt Dahlgrens kontor i Mölndal är energianvändningen för tappvarmvatten 3,5 kWh/m², år (Skarrie & Cottman, 2014). Våningsarean som används i beräkningarna är uppmätt i kontoret.

Tabell 1 Uppmätt data

Våningsarea	A=368 m ²
Energianvändning	Q=3,5 kWh/m ² , år
Total energianvändning per tappställe	$(A*Q)/(\text{antal tappställen per våning})=736 \text{ kWh/år}$

För att komma fram till en rimlig varmvattenanvändning gjordes en uppskattning i samråd med J. Petersson (9 maj 2017) att varje person tvättar händerna i snitt tre gånger per dag och att kranen spolrar i cirka 15 sekunder varje gång. Det sitter 24

personer på varje våning och det finns två toaletter per plan. Normflödet för varmvatten vid ett tvättställ är 0,2 l/s vilket motsvara 12 l/min (BBR 2013).

Antal personer= 24
Antal toalettbesök= 3 st/dag
Spoltid= 3*15= 45 s/person, dag
Antal arbetsdagar per vecka= 5 st

5.2.2 Energiförbrukning genomströmningsberedare

För beräkningar används Metrotherms genomströmningsberedare Minex 11 E² som har en effekt på 11 kW.

Tabell 2 Maximal temperaturhöjning för genomströmningsberedaren

2 l/min	-
2,5 l/min	$\Delta T > 60^{\circ}\text{C}$
3 l/min	$\Delta T = 53^{\circ}\text{C}$
3,5 l/min	$\Delta T = 45^{\circ}\text{C}$
4,8 l/min	$\Delta T = 33^{\circ}\text{C}$
6,8 l/min	-
9,2 l/min	-

Våningens totala spoltid=45*24=1080 s
På en vecka arbetar de två beredarna i totalt 1080s * 5 dagar= 5400 s =1,5 h/vecka
Energianvändningen blir då 1,5*11=16,5 kWh/vecka

För att kunna jämföra det med den uppmätta energianvändningen måste årsförbrukningen per kvadratmeter beräknas.

Energianvändning per år (ekv 4) = (16,5*52)/368=2,33 kWh/m²,år.

$$\text{Energianvändning per år} = \frac{\text{Veckoförbrukning} \times \text{Veckor}}{\text{Våningsarea}} \quad (\text{ekv 4})$$

5.2.3 Analys av beräkningar

Enligt de grova beräkningarna finns det möjlighet att spara energi i de fall då varmvattnet används under korta och begränsade perioder. Energianvändningen för varmvatten var i verkligheten 3,5 kWh/m²,år. För en genomströmningsberedare beräknades energianvändningen till 2,33 kWh/m²,år.

Det ska dock poängteras att det krav som ställs i BBR (2013) om att en temperatur på 50 °C ska uppnås efter tappställe inte alltid kan uppfyllas.

Genomströmningsberedaren som använts för beräkningar klarar inte av att värma upp vattnet tillräckligt högt vid höga flöden. Flödet begränsas i beredaren för att nå

² Beredaren har hämtats ifrån:

<http://www.metrotherm.se/produkter/genomstroemningsvaermare/minex-11-e/>

tillräckliga temperaturer och det leder till att normflödet för varmvatten inte uppfylls. Det medför att genomströmningsberedare inte kan användas enligt BBR.

Det har även gjorts antaganden och förenklingar som kan påverka resultatet. Med det sagt finns det anledning att göra mer exakta beräkningar och gå in djupare på vilka alternativ som kan användas för att uppfylla kraven då det finns en stor möjlighet att spara energi.

6 Slutsats

De lagar och regler som finns för ämnet VVC och trycksättning beskrivs i form av föreskrifter som återfinns i BBR. Föreskrifterna gällande VVC är utformade för att förhindra tillväxt av legionella genom att hålla varmvattnet på rätt temperatur. BBR ställer också krav på att alla ingående komponenter i systemet ska tryckklassas för minst 1 MPa.

För att hantera de höga trycken i VVC-ledningarna till följd av höjden går det att sektionera systemet. En möjlig placering av undercentraler är i källaren för att sedan förse varje sektion med rätt tryckintervall. En annan lösning är att placera undercentraler i respektive sektion och på så vis hålls trycket på rätt nivå. Det negativa är att det behöver ske växlingar mellan varje sektion där varje växling medför energiförluster.

BBR ställer även krav på utformningen av trapphus för att säkerställa en säker utrymning. För att uppfylla det ska trapphus bland annat hållas fritt från brandgaser (Tr1-trapphus) och det kan ske genom att trapphuset ansluter till verksamheten via en sluss som är öppen mot de fria. Med tanke på att trapphuset vanligtvis placeras i kärnan av huset är det svårt att uppnå BBRs råd om den öppna slussen. BBR anger därför trycksättning som ett komplement för att uppfylla föreskriften för ett Tr1-trapphus med en hänvisning till den svenska standarden SS-EN 12101:6 som behandlar trycksättning av trapphus.

ASHRAE behandlar också, likt den svenska standarden, trycksättning av trapphus. ASHRAE har dock en större bredd än den svenska standarden då de tar upp mer än bara en typ av utformning. De ger även ut en handbok om trycksättning av trapphus som förklarar och beskriver ämnet djupare till skillnad från standarden som inte är lika förklarande.

De viktigaste aspekterna att tänka på vid projektering av höghus är:

- Tillförsel av luft i ett trycksatt trapphus ska helst ske på var tredje våning enligt SS-EN 12101-6:2006.
- Håll systemet så simpelt som möjligt med en enkel styrning. Det viktigaste är att säkerställa funktionen.
- Att höjden på byggnaden är avgörande i varmvattensystemets utformning. Det är viktigt att ha koll på hur det statiska trycket är i systemet. Går det att ha UC i källaren så är det möjligt att spara yta. Går inte det p.g.a. det statiska trycket kommer uppdelade sektioner oftast vara ett bättre alternativ. Om UC:n kan kombineras med fläktrum går det att minimera ytanspråket vilket är önskvärt.

6.1 Förslag på framtida studier

- Undersöka syftet med att anta standarder som inte är anpassade efter nationella förutsättningar.
- Utföra praktiska försök med genomströmningsberedare och vidare utreda temperaturkraven som ställs för varmvattensystem i BBR.
- Undersöka hur det tänkta utrymningsscenarioet är jämfört med hur en verklig utrymning sker i ett fall med ”defend in place”-strategi.

7 Diskussion

I följande kapitel diskuteras rapportens teori och analys och det reflekteras kring olika lösningar och svårigheter som upptäckts under studien.

7.1 Trycksättning

Den största skillnaden mellan ASHRAE och den svenska standarden är att ASHRAE inte explicit säger att det ska utföras på ett specifikt sätt utan snarare rekommenderar en lösning. ASHRAE tar även upp mer än ett sätt att lösa problemet på till skillnad från den svenska standarden som exempelvis är väldigt strikt med hur tillförseln av luft ska ske.

I vissa projekt har standarden frångåtts, t. ex har trapphuset i KKH bara ett tilluftsdon trots att standarden säger att de ska vara fördelade på var tredje våning. När provkörningen av Gothias trycksättningssystem utfördes nådde systemet endast 70 procent effekt, trots att gränsen var 80 procent ansågs systemet ändå som tillräckligt bra för att ge fullgott skydd. Det gör att det blir oklart hur projektören ska förhålla sig till de standarder och riktlinjer som finns. Vad de olika avsteg som gjorts från standarder har för effekter är något som arbetet inte kunde komma fram till.

Det som är ett genomgående tankesätt hos alla projektörer är att göra alla system så enkla som möjligt för att de ska bli så driftsäkra som möjligt. Det lönar sig inte att använda avancerad reglerteknik då det bidrar till fler potentiella felkällor.

Beräkningsprogram kan vara bra att ha som hjälpmedel men en nackdel med det som iakttagits är att projektören kan tappa förståelsen för varför lösningen fungerar. Det har gjort att det blivit svårt för oss att få svar på varför t.ex. vissa lösningar kan hålla ett godkänt tryck i hela trapphuset med endast ett inblås av luft.

Utifrån de studerade objekten har lösningen på var lufttillförseln ska ske varit olika. I Gothia Towers tillförs luften vid bottenvåningen. KKH har olika lösningar där luften tillförs i ett fall underifrån och något annat ovanifrån och Karlatornet har lösningen att tillföra luften på var tredje våning. Den sistnämnda lösningen är den som förespråkas både av ASHRAE och den svenska standarden SS-EN 12101-6:2006.

I Gothia gjordes ett tappert försök till att styra fläkten mot tryckgivare. Det fungerade inte då det blev snabba svängningar i trycket och systemet blev helt enkelt för långsamt vilket ledde till att systemet lätt hamnade i svängning. Det är en god tanke att optimera systemet men i det här fallet var systemets dödtid för lång och för den här tillämpningen där det är viktigt med kort responstid är inte den styrningen särskilt bra. Resultatet är att det är fördelaktigt att göra systemet så enkelt och i förlängningen så funktionssäkert som möjligt.

En iakttagelse som gjorts visar på att det finns brist i kunskapsutbyte mellan VVS-projektörer och brandingenjörer. Det är brandingenjörerna som har kunskapen varför saker ska göras på ett visst vis men kunskapen förmedlas inte alltid till VVS-projektörerna. Det kan medföra att projektören gör ändringar utan att veta konsekvenserna.

För att förstå varför saker utförs på ett visst sätt krävs det en viss brandteknisk förståelse. I början av arbetet förklarades brandområdet men efter en tid in i rapportens skrivande upplevdes det svårt att få frågor besvarade av brandkonsulterna utifrån tid och saknad av kunskap. Dessutom besvarades inte syftet och frågeställningen genom denna brandtekniska förståelse vilket resulterade i att ämnet bortprioriterades. Det fanns även en avhandling som det inte sällan hänvisades till i de studerade objekten vilken var svår att få tag i (L. Jensen, Konstant trycksättning av trapphus för utrymning, 1999).

7.2 Varmvattencirkulation

Det kravet som ställs i svensk standard på ett maximalt tryck om 500 kPa på tappvattnet var det ingen av de intervjuade som visste om. De flesta försöker hålla nere trycken ändå på grund av erfarenhet. Det är dock intressant att ett sådant krav finns i en nationell standard. Eftersom BBR (2013) ställer krav på att alla ingående delar i ett tappvattensystem ska vara tryckklassat för minst 1 MPa (1000 kPa) är det en låg gräns med 500 kPa. Som nämnts tidigare måste en europeisk norm antas av alla medlemsländer. Då den här standarden är en europeisk norm kan gränsen vara satt för att normen ska kunna implementeras i länder där det inte ställs lika höga krav som i Sverige på tryckklassning. I BBR (2013) står det inget om ett högsta tryck och med tanke på att vattentrycket behöver stegras i höghus skulle de, om standarden ska följas, behövas nästan dubbelt så många tryckhöjningspumpar. Vissa projektörer vill inte ha för höga tryck i systemen och begränsar därför trycket till cirka sex bar.

Det är inte alla projektörer som har koll på vilka standarder som finns. Det kan ha att göra med att det finns för många standarder och att de inte är anpassade efter Sveriges normer. En bidragande faktor är också att alla europeiska normer måste antas i landet även om de inte är kompatibla med landets egna bestämmelser. Det blir inget problem då det inte finns något krav på att standarderna måste följas men då försvinner också hela poängen med att ha nationella och europeiska standarder. Det här är något som hade varit intressant att gå in på djupare om tiden hade funnits.

I KKH projektet valdes det att allt varmvatten skulle komma från samma värmeväxlare. Fördelarna med det är att det blir billigare med en växlare än flera, det är också mindre värdefull yta i källaren vilket också kan påverka valet. Alltså är det mycket ekonomi inblandat när systemets lösningar ska tas fram. Det medför att projektörerna behöver ha belägg för att utforma systemet på ett visst sätt framför ett annat. I det här fallet var det en tankekurva som gjorde att det blev fel. För att möjliggöra en tryckreducering i en varmvattenkrets måste reduceringsventilen placeras efter varmvattencirkulationens knutpunkt. På så sätt påverkar inte reduceringen VVC-funktionen. Det negativa är att det då kommer att krävas fler reduceringsventiler eftersom det inte räcker att reducera våningsvis utan det behöver ske närmare tappstället och på flera ställen på varje våning.

Enligt specifikationer från tillverkaren kommer inte beredaren att klara av att leverera normflödet och samtidigt tillgodose kravet på minst 50 °C efter tappstället. Frågan är dock om den lösningen ses som ett tappvattensystem och då inte faller under den kategorin. Det gör att vattnet endast behöver värmas till en lämplig temperatur för ändamålet som i det här fallet var att tvätta händerna. Då tillverkaren bara har data för

möjlig temperaturhöjning för ett maximalt flöde på 9 l/s och normflödet är 12 l/s är det svårt att säga vilken temperatur som uppnås då kranen står fullt öppen. Men det krävs heller inte ett så stort flöde för att tvätta händerna det bör därför inte vara något problem. I beräkningarna användes en beredare vars effekt låg på 11 kW och den bör ha tillräckligt stor effekt för att tillgodose tvätt av händer i en kontorsbyggnad. Återförsäljaren av beredaren kontaktades för att höra hur de ställer sig till BBR (2013) kravet men det visste inte att det fanns ett sådant krav. Frågan kvarstår fortfarande om det är tillåtet att göra på det sättet. Anledningen till temperaturkrav i BBR grundar sig i risken för legionella men med en genomströmningsberedare under tvättstället föreligger det inte större risk än vad det gör i ett vanligt varmvattensystem. Därför bör det inte vara några problem att frångå BBR rent funktionsmässigt.

I Karlatornet sker det flera värmeväxlingar för att trycken ska hållas på tillåtna nivåer. Något som talar emot den typen av lösning är att det blir förluster vid varje växling. Det är något som framtida rapporter kan se närmare på.

8 Referenser

- ASHRAE. (Mars 2017). Hämtat från ASHRAE: <https://www.ashrae.org/about-ashrae>
- Bengt Dahlgren. (den 11 April 2017). Hämtat från bengtdahlgren.se:
<http://bengtdahlgren.se/project/konserthuset-malmo-live/>
- Bengt Dahlgren AB. (den 01 05 2015). Principschema brandgasfläktar hotell. Bengt Dahlgren AB.
- Bengt Dahlgren Brand & Risk AB. (2001). *Brandskyddsdocumentation relationshandling Svenska mässan, Gothia Twin Tower 2001*.
- Bengt Dahlgren Brand & Risk AB. (2014). *Dimensionering av brandgasventilation av hisschakt och trapphus, Gothia Towers*. Malmö: Bengt Dahlgren Brand & Risk AB.
- Boverket. (2013). Boverkets byggregler, BBR (BFS 2011:6). Karlskrona.
- Corporate Classifieds AB. (2017). Hämtat från Lokaler.nu:
<http://www.lokalerna.se/hyra-lokal/kontor/hyresnivaer-for-kontorslokaler/>
- Dahlblom, M., & Warfvinge, C. (2014). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur.
- European Committee for Standardization. (den 22 maj 2017). Hämtat från [cen.eu](http://www.cen.eu): <https://www.cen.eu/work/ENdev/how/Pages/default.aspx>
- Gothia Towers. (Maj 2017). Hämtat från gothiatowers.com:
<http://gothiatowers.com/daniel-stenback-pa-plats-pa-gothia-towers/>
- Gothia Towers. (den 20 Mars 2017). Hämtat från gothiatowers.com:
<http://gothiatowers.com/om-gothia-towers/nu-bygger-vi/fakta/>
- Hiller, C. C., Miller, J., & Dinse, D. R. (2002). Field test comparison of hot water recirculation loop vs. point-of-use water heaters in a high school. *ASHRAE Transactions*, 108, 771-779.
- Hogia. (Maj 2017). Hämtat från [hogia.se](http://www.hogia.se):
http://www.hogia.se/hotell/belagningsgrad_7873.asp
- Jensen, L. (2005). *Trycksättning av trapphus för utrymning*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Jensen, L. (2008). *Termisk trycksättning av trapphus för utrymning*. LTH, Installationsteknik. Lund: Lunds universitet.
- Klote, J. H., Milke, J. A., Turnbull, P. G., Kashef, A., & Ferreira, M. J. (2012). *Handbook of Smoke Control Engineering*. Atlanta, USA: ASHRAE.
- Skarrie, M., & Cottman, P. (2014). *Energiuppföljning avkängurun 18*. Göteborg: Lågan.
- Swedish standards institute. (2006). SS-EN 12101-6:2006 Brand och räddning – System och komponenter för rök- och brandgaser- Del 6: Tryckskillnadssystem – Byggsats. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Swedish standards institute. (2006). SS-EN 806-3:2006 Vattenförsörjning - Tappvattensystem för dricksvatten - Del 3 Tappvattenrör - Förenklad metod.
- Swedish standards institute. (April 2017). Hämtat från Swedish standards institute: <http://www.sis.se/omstandardisering>
- Svenska Akademien. (den 29 5 2017). Hämtat från [saob.se](http://www.saob.se): <http://www.saob.se>

Västra Hamnen i Malmö. (2017). Hämtat från Västra Hamnen i Malmö:
<https://vhamnen.com/index.php/tag/kkh/>

Walton, G. N., & Dols, S. W. (den 2 Oktober 2006). CONTAM 2.4b User Guide and Program Documentation. USA: NISTIR.

Wikipedia. (2017). Hämtat från Wikipedia:
https://sv.wikipedia.org/wiki/Gothia_Towers

VVS Företagen. (2015). *VVS Företagens Teknikhandbok 2016*. Stockholm: VVS Företagen.