



**KTH Industrial Engineering
and Management**

Kandidatexamensarbete

Variabel Ventilation

Patrik Bengtsson

Joel Blomfelt

Kandidatexamensarbete

KTH – Skolan för Industriell Teknik och Management

Energiteknik EGI-2016

SE-100 44 STOCKHOLM

Kandidatexamensarbete EGI-2016



**KTH Industrial Engineering
and Management**

Variabel Ventilation

Patrik Bengtsson

Joel Blomfelt

Godkänd

Examinator

Per Lundqvist

Handledare

Jonas Anund Vogel

Peter T Kjaerboe

Abstract

A lot of people today spend most of their lives indoors. Both at home and at work time is spent in areas where the climate is not governed by the weather but by ventilation systems meant to create a suitable indoor climate. Despite having such a central part in society the subject of ventilation seldom gets very much attention, and in the current situation it is not a foregone conclusion that indoor air quality and climate is satisfactory.

Those who build the homes and premises normally explain this as a result of cost considerations, but essentially the situation originates from other issues. A more accurate explanation is that there are some problems concerning the planning stage of ventilation systems, which implies both a highly simplified designing approach and the price, not the function and quality, being decisive.

The problems have been confirmed by several sources and research is in progress within the area in order to address the underlying issues. Among other things, various types of test-bed housing is constructed in several parts of the world, designed for measurement and data collection in a real living environment. Such projects can both verify different system's function and promote the development of new innovations, but also help in creating well-justified research material regarding, among other things, different ventilation solutions such as for example variable ventilation. One of these projects, called *KTH Live-in Lab*, is located at KTH in Stockholm.

This report presents a work regarding comparisons of different ventilation solutions for such a student apartment as constructed in the ongoing research project *KTH Live-in Lab*. The work focuses on both finding a suitable system and then link the results to an adequate combination for use with variable ventilation. In order to deal with today's problems within the area, the work is focused on deviating from the current conventional approach and ventilation design.

The result is illustrated digitally in the form of computer simulations of air flow in a virtual model of the apartment, and comparisons led both to a number of conclusions, and proposals of suitable and unconventional solutions. For non-variable ventilation systems, a suitable system consisted of one ventilation inlet placed at ceiling level and two outlets whereof one at ceiling level and one at floor level. For variable ventilation, the results showed that the system solution should suitably be combined with the ability to switch to an inlet at floor level at nights and other scenarios without activity and movement in the apartment. Other conclusions are mainly about findings regarding how certain design variations affect the characteristics of the ventilation system.

Sammanfattning

Många människor spenderar idag större delen av sitt liv inomhus. Det är vanligt att man både hemma och på jobbet vistas i utrymmen där klimatet inte styrs av väder och vind utan av ventilationssystem som är tänkta att skapa ett lämpligt inomhusklimat. Trots ventilationens centrala del av samhället hamnar ämnet dock ofta i skymundan, och i dagens läge är det ingen självklarhet att inomhusklimaten och dess luftkvalité är tillfredställande.

Av dem som bygger bostäderna och lokalerna förklaras detta ofta bero på kostnadsaspekter, men i grund och botten är det annat som ligger till grund för dagens situation. En bättre förklaring är att det finns viss problematik kring ventilationens planeringsskede, vilket innebär ett väldigt förenklat arbetssätt och att kostnad prioriteras framför funktion och kvalité.

Problemen har bekräftats från flera håll och forskning pågår inom området i syfte att möta de bakomliggande orsakerna. Bland annat uppförs på flera håll i världen olika typer av testbädd-bostäder utformade för mätning och datainsamling i en verklig boendemiljö. Med hjälp av dessa kan man både verifiera olika systems funktion och gynna framtagning av nya innovationer och välgrundat forskningsmaterial gällande bland annat olika ventilationslösningar som exempelvis variabel ventilation. Ett av dessa projekt, med namnet *KTH Live-in Lab*, utförs på KTH i Stockholm.

I denna rapport presenteras ett arbete gällande jämförelser av olika ventilationslösningar för en sådan studentlägenhet som uppförs i det pågående bygg- och forskningsprojektet *KTH Live-in Lab*. Arbetet fokuseras på att dels hitta en lämplig ventilationslösning och sedan även koppla resultatet till en möjlig kombination att använda för variabel ventilation. I syfte att möta dagens problematik fokuserades på att frångå dagens konventionella arbetssätt och ventilationsdesign.

Resultatet illustreras digitalt i form av datorsimuleringar av luftflöden i en virtuell modell av bostaden, och jämförelserna ledde till ett antal slutsatser och förslag på lämpliga okonventionella lösningar. För icke-variabel ventilation var det lämpligt att placera ett inlopp i taknivå, samt två utlopp varav ett i taknivå och ett i golvnivå. För variabel ventilation visade det sig att denna systemlösning bör kombineras med möjlighet att växla inloppet till lågt inlopp på nätter och andra scenarion utan aktivitet och rörelse i bostaden. Övriga slutsatser gäller vilka egenskaper som bör varieras beroende på vad man vill uppnå med ventilationen.

Innehållsförteckning

Abstract	3
Sammanfattning	4
Teckenförklaring	7
1 Introduktion	8
1.1 Problematiken	8
1.2 En möjlig lösning	10
2 Teori	11
2.1 De verkliga behoven	11
2.1.1 Temperatur och lufthastighet	11
2.1.2 Förorenande ämnen och luftflöde	12
2.1.3 Luftfuktighet och tryck	13
2.2 Ventilationsmetoder	13
2.3 Dagens regelverk.....	14
3 Problemformulering och Mål	16
4 Avgränsningar	17
4.1 Inlopp och utlopp.....	17
4.2 Värmekällor	18
4.3 Kylning	18
4.4 Interiör.....	18
4.5 Övrigt.....	19
5 Metod	20
5.1 Star CCM+	21
5.1.1 Experimentuppställning och geometri	21
5.1.3 Villkor.....	23
5.2 Scenarion	26
5.3 Utvärdering	26
6 Resultat	27
6.1 Jämförelse 1: H/H, H/L, L/H, L/L.....	27

6.1.1	Luftströmning	27
6.1.2	Lufthastigheter	29
6.1.3	Temperatur	30
6.2	Jämförelse 2: H/HL, L/HL.....	30
6.2.1	Luftströmning	31
6.2.2	Lufthastigheter	32
6.2.3	Temperatur	33
6.3	Jämförelse 3: H/HL: Ökad hastighet till 0,2 m/s.	33
6.3.1	Luftströmning	33
6.3.2	Lufthastigheter	34
6.3.3	Temperatur	34
7	Diskussion	35
7.1	Jämförelse 1.....	35
7.2	Jämförelse 2.....	36
7.3	Jämförelse 3.....	36
8	Slutsatser och framtida arbete.....	37
8.1	Icke-variabel ventilation	37
8.2	Variabel ventilation	37
8.3	Brister i dagens regelverk	39
8.4	Framtida arbete	40
9	Referenser	41
	Bilaga 1 - Beräkningar för gränsvillkor	43
	Bilaga 2 – 2 D CAD ritning.....	45

Teckenförklaring

H=Högt

L=Lågt

H/H= Högt inlopp/Högt utlopp

H/HL=Högt inlopp/Högt & Lågt utlopp

1 Introduktion

Människan behöver speciella luftkvalitetsmässiga förhållanden för hälsa och välmående. Först och främst bör luften ha en lämplig koncentration av ingående ämnen så som syre och koldioxid. Den bör även vara tillräckligt fri från förorenande ämnen i form av mikroorganismer, flyktiga organiska ämnen och andra för människan potentiellt skadliga partiklar. Förutom den direkta hälsoaspekten av luftkvalitén påverkas även hjärnans prestationsförmåga av otillräckligt luftombyte. Då människan är i behov av syre och avger koldioxid kan ett otillräckligt luftombyte inomhus medföra förhöjda halter av koldioxid. Detta har i undersökningar i klassrumsmiljöer visat sig ha en negativ påverkan på elevernas studieresultat och man har bland annat kunnat visa på ett linjärt samband mellan ventilationsflödesnivåer och elevers prestation på standardiserade test (Haverinen-Shaughnessy U m.fl., 2010). Förutom hälsoaspekten av luftkvalitén brukar man även tala om termisk komfort, det vill säga ett mått på hur behagligt inomhusklimatet upplevs av människan. En otillräcklig termisk komfort kan, förutom att försämra välmående och skapa obehag, även det i sig medföra försämrade prestationsförmåga och produktivitet (Nilsson, 2000). Vid sidan av hälso- och komfortaspekten medför ofta även själva byggnaden och dess material vissa krav på inomhusklimatet, främst gällande luftfuktigheten eftersom det annars kan bildas mögel och röta som kan skada byggnaden och därmed skapa en ohälsosam miljö för människan.

Omständigheterna innebär att inomhusklimat i de flesta fall på något sätt behöver regleras till att uppfylla lämpliga förhållanden, vilket innebär att det i regel krävs någon form av ventilationslösning i bostäder. Ventilationens direkta dagliga påverkan på oss människor kan tyckas utgöra en tillräcklig anledning till att förverkligandet av lämpliga inomhusklimat ska vara en central och viktig del av alla nybyggen idag, men i praktiken är detta ingen självklarhet i dagens läge.

Som ett inledande exempel kan nämnas att dagens system för från- och tilluftsventilation i flerbostadshus ofta innebär att både inloppet och utloppet placeras nära taknivå (Kjaerboe, 2016). Detta kan bland annat medföra att luftombytet begränsas till övre delen av rummet. Ofta inkluderar ett från- och tilluftssystem även återvinning och förvärmad tilluft, då kallat FTX-system, vilket innebär att in- och utloppens placering även kan vara av betydelse ur en energiaspekt (Svensk Ventilation, 2016).

1.1 Problematiken

Planering och dimensionering av ventilationssystem vid byggnationer utförs idag vanligtvis genom ett förenklat arbetssätt där hänsyn endast tas till exempelvis minimikrav för uteluftsflöde och temperatur (Thomson, 2016). Situationen innebär ofta även att inte de bästa och mest energisnåla systemen används och att nästan inga byggaktörer på marknaden anlitar en CFD (Computational Fluid Dynamics)-konsult (Thomson, 2016). Vid samtal med aktörerna förklaras

arbetssättet ofta bero på kostnadsaspekter och utrymmesbrist (Thomson, 2016), men problemen som ligger till grund för detta är flera. Nedan följer några av dessa.

- Vikten och betydelsen av inomhusklimatet kan vara svårt att förstå och ta till sig för gemene man eftersom luften och dess rörelser inte syns. Osynligheten gör det svårare att visa på konkreta skillnader mellan olika lösningar och det försvårar att föra en diskussion om saken inom exempelvis byggprojekt. Kombinationen av osynlighet och svårförståelighet leder lätt till att ventilationssystemens design- och dimensioneringsstadiet får mindre uppmärksamhet i allmänhet och kostnad prioriteras framför funktion och kvalitet (Cehlin, 2006).
- Tekniska byggnadsinstallationer, varav bland annat ventilationssystem, har ofta en låg popularitet inom arkitekturutbildningar (Den Hartog, 2004).
- Brist på väl verifierat material som fungerar övertygande för alla parter i byggnadsfasen. Bland annat kan arkitekter och andra involverade ha svårt att relatera till och dra viktiga slutsatser ur den tekniska information om ventilationen som idag ofta är illustrerad som Tabeller och grafer över olika system (Cehlin, 2006).
- Långa ledtider mellan forskningsresultat och implementering.

I kombination med detta kan även vissa omständigheter gällande dagens regler inom området anses bidra till problematiken. Dagens krav, riktlinjer och allmänna råd gällande ventilation i Sverige grundar sig huvudsakligen på författningar i miljöbalken och finns bland annat att hitta i dokument utgivna av Boverket och Folkhälsomyndigheten. Utöver myndigheternas information finns även mycket annat publicerat gällande de faktorer som påverkar inomhusklimatet, men tydliga och kompletta sammanfattningar av området är svårt att hitta. De krav och råd som publicerats av myndigheter gällande inomhusmiljön fungerar förvisso i någon mån som en sammanställning men dessa dokument är ofta väldigt allmänt formulerade och saknar en del specifika kravnivåer och värden att gå efter. En av orsakerna till detta allmänna angreppssätt har varit att kunskapen ansetts otillräcklig gällande betydelsen av vissa faktorer, så som exempelvis halter av luftburna partiklar, ur en hälsoaspekt (Nilsson, 2000). Vidare anges inte heller specifika förklaringar av hur uppfyllandet av de önskvärda inomhusförhållandena ska möjliggöras i praktiken. Då det uteslutande är myndigheternas krav som idag ligger till grund även för planering och dimensionering av ventilationssystem vid byggnationer kan alltså även dagens situation vad gäller lagar och regler inom området anses bidra till det schematiska och förenklade arbetssättet.

Det finns alltså flera möjliga bidragande anledningar till att nyttan och betydelsen av väldimensionerad och energisnål ventilation får liten plats i byggprocessen och att bostäders

ventilationssystem vanligtvis dimensioneras på ett förenklat sätt utifrån några få riktvärden eller utifrån tidigare erfarenhet av liknande byggen. Även om ett förenklat arbetssätt kan fungera i många fall blir lösningen inte optimal vare sig ur en hälsoaspekt, komfortaspekt eller en energiaspekt.

Forskning görs idag i syfte att möta de bakomliggande problemen. Bland annat är de långa ledtiderna mellan forskningsresultat och implementering ett välkänt problem som det pågående forskningsprojektet *KTH Live-in Lab* har som syfte att möta. Utifrån mätningar, undersökningar och tester i verklig miljö i speciella studentbostäder ska man ta fram material som kan verifiera olika systems funktion och nytta. Syftet med detta är att inom snar framtid ta fram välgrundat material som kan bidra till att förkorta ledtiden mellan nya forskningsresultat och praktiskt införande.

1.2 En möjlig lösning

En möjlig strategi för att bättre nå ut till arkitekter och andra inblandade och möta den bakomliggande problematiken skulle kunna vara att, i samarbete med forskningsprojekt så som *KTH Live-in Lab*, ta fram tydligt, lättförståeligt och väl verifierat material för moderna ventilationslösningar samt hur dessa system bör styras på bästa sätt beroende på situation när variabel ventilation tillämpas. En tydlig visualisering av skillnader mellan olika lösningar skulle eventuellt kunna möjliggöras genom att utnyttja dagens många moderna CFD-verktyg för simulering av strömningsförlopp. Verifierande tester i form av fysiska mätningar skulle kunna utföras i sådana bostäder som uppförs i forskningsprojektet.

Även om liknande strategier idag inte är något nytt påfund tyder den rådande situationen, med bland annat all pågående relaterad forskning, på att mer arbete och utredning fortfarande behövs. Detta för att slutligen kunna använda resultaten vid upprättande av nya bostäder samt optimering av gamla.

2 Teori

Den teori som ligger till grund för de fysikaliska fenomen som styr luftens rörelse och temperatur vid ett ventilationsförlopp utgörs av ett flertal områden inom strömningslära och värmeöverföring. Större delen av sådan sedan länge allmänt erkänd fysikalisk teori utelämnas här och presenteras vid behov i mer lämpade avsnitt av denna rapport. I detta avsnitt introduceras istället främst en tolkning av den särskilda information och forskningsgrundade fakta vilken legat till grund för de resonemang, tester och avgränsningar som gjorts under arbetets gång. Därefter följer en kort sammanfattning av relevanta regler och föreskrifter utgivna av Boverket och Folkhälsomyndigheten.

2.1 De verkliga behoven

Djupare beskrivning av de bakomliggande biologiska fenomenen som ligger till grund för de behov som ska uppfyllas genom ventilation utelämnas i denna rapport och det relevanta kan sägas vara att människan är i behov av syre och avger koldioxid, vattenånga och värme. Vidare kan människans termiska komfort sägas bero på temperaturen, relativa luftfuktigheten samt luftens rörelse (Cengel m.fl., 2015).

De faktorer som är av betydelse då man talar om ventilation kan sammanfattningsvis sägas vara luftens temperatur, flöde och hastighet, fuktighet, innehåll av förorenande ämnen och i viss mån även tryck. För att uppnå ett optimalt inomhusklimat för människan bör alla dessa faktorer hållas inom lämpliga nivåer. Vad som anses vara en lämplig nivå kan vara en följd av både hälsoaspekter och komfortaspekter men alla nämnda faktorer har på ett eller annat sätt betydelse ur en komfortaspekt. Ur en hälsoaspekt är det koncentrationen av förorenande ämnen som brukar anses vara av störst betydelse, så länge de övriga faktorerna hålls inom rimliga gränser.

Behoven gällande inomhusklimatet kan även skilja sig för olika områden i bostaden. Vissa områden vistas man väldigt mycket i och vissa vistas man aldrig i. I dagens regler gällande inomhusklimat används begreppet vistelsezon för att ta hänsyn till detta, vilket beskrivs närmare i avsnitt 2.3. Även lokala skillnader i uppkomst av förorenande ämnen och fukt förekommer i bostäder, exempelvis vid matlagning i kök och användning av dusch i våtrum.

2.1.1 Temperatur och lufthastighet

När det gäller temperaturen finns välgrundade belägg för att en optimal operativ omgivningstemperatur ur en komfortaspekt är mellan 23 och 27 grader Celsius (Cengel m.fl., 2015). Detta förutsätter normal inomhusklädsel och att aktivitetsnivån motsvarar vila eller lätt arbete. I praktiken tas även hänsyn till andra faktorer och då rekommenderas ofta en lägre temperatur. Bland annat rekommenderar Svenska Folkhälsomyndigheten en inomhustemperatur på 20-23 grader Celsius (FoHMFS, 2014).

Hur komfortabel en optimal temperatur upplevs av människan beror även på luftens hastighet och dess relativa fuktighet. Anledningen till detta är att båda dessa faktorer påverkar hur mycket värme som avges från kroppen (Cengel m.fl., 2015). Det bör även poängteras att den operativa temperaturen inkluderar både lufttemperaturen och strålningstemperaturen. Obehag kan alltså även uppstå av temperaturskillnader till en följd av variationer i strålning, det vill säga lokal nedkyllning av någon kroppsdel.

Luftens hastighet bör vara tillräcklig för att på ett komfortabelt sätt förflytta varm och fuktig luft som bildas runt kroppen och byta ut denna mot ny luft (Cengel m.fl., 2015). Det har visat sig att hastigheter under ungefär 0,25 m/s är lämpligt för att undvika det obehag som kan upplevas av luftdraget, men beroende på luftens temperatur kan hastigheter ända ner till ungefär 0,15 m/s ge upphov till obehag (Cengel m.fl., 2015).

2.1.2 Förorenande ämnen och luftflöde

När det gäller förorenande ämnen i inomhusluften finns det många olika typer av ämnen och partiklar man kan fokusera på, och som tidigare nämnt är forskningsunderlaget om detta delvis begränsat. I byggreglerna, som i viss mån kan anses beskriva det aktuella forskningsläget, finns i stort sett endast regler gällande halter av radongas. Utöver det finns rekommendationer i form av riktvärden för andra föroreningar att tillgå från ett flertal olika källor. De konkreta byggregler som finns är tänkta att föreskriva luftflöden som ger en så pass liten risk för att problem med luftkvalitén ska uppstå så att några specifika föreskrifter gällande halter av luftburna föroreningar inte ska behövas (Nilsson, 2000). För att verkligen uppfylla de mer allmänt formulerade byggreglerna, vilka bland annat förespråkar en ”tillfredställande luftkvalité”, bör man däremot tolka dessa med hjälp av riktlinjer uppsatta av andra källor så som exempelvis Arbetarskyddsstyrelsen, Socialstyrelsen och Statens Naturvårdsverk. Den forskning som ligger till grund för sådana källors publicerade information gällande luftburna föroreningar utelämnas i denna rapport. Istället grundas resonemang på att en höjning av luftflödet och luftväxlingen i hela bostaden även medför en förbättrad luftkvalité i bostaden. Resonemanget är en idealisering av verkligheten men en för de flesta vanliga tillämpningar rimlig och accepterad sådan. Exempelvis brukar halten av koldioxid ofta betraktas som en indikator på halten av andra föroreningar som uppkommer i inomhusmiljön (Nilsson, 2000) och då en god luftväxling av allt att döma motverkar förhöjda halter av koldioxid motverkar det mer eller mindre även förhöjda halter av de andra föroreningarna. En djupare analys av inverkan av olika halter av olika föroreningar betraktas som överflödigt i detta arbete med hänsyn taget till arbetets begränsade omfattning både vad gäller tid och resurser.

Ett lämpligt volymflöde av uteluft kan resoneras fram utifrån teorin om att halten av koldioxid kan fungera som en indikator på luftkvalitén. En maximal lämplig koldioxidhalt för bostäder, bland annat enligt den amerikanska standarden ASHRAE 62-1989, är 1000ppm. För att hålla

koldioxidhalten vid den nivå krävs ett uteluftsflöde av ca 7-8 l/s och person (Nilsson, 2000). Volymflödet 7 l/s och person är även det som byggreglerna rekommenderar för bland annat samlingsalar (Nilsson, 2000). För att ha negativ påverkan på människan krävs dock högre halter av koldioxidhalter än 1000ppm och för vanliga bostäder brukar kraven för uteluftsflödet vara lägre än 7 l/s och person. För information om dagens krav gällande detta hänvisas till den sammanfattning av dagens regler inom området som återfinns i avsnitt 2.3.

2.1.3 Luftfuktighet och tryck

Luftens relativa fuktighet är ett mått på luftens förmåga att absorbera fukt. Detta innebär att vid högre temperaturer påverkar fuktigheten hur mycket värme kroppen kan avge genom avdunstning. Det vill säga en hög fuktighet minskar den mängd avdunstning som kan ske från kroppen, och därmed minskas även värmeavgivningen. På samma sätt ökar istället möjligheten till värmeavgivning vid lägre fuktighet. Vid lägre temperaturer eller högre lufthastigheter ger lufthastighetens kyleffekt en allt större påverkan på den upplevda temperaturen, och vid normala inomhusförhållanden kan ofta luftfuktighetens effekt på klimatupplevelsen vara av låg betydelse. Önskvärda relativa luftfuktigheter har efter undersökningar visat sig vara allt mellan ungefär 30 till 70 procent, varav ungefär 50 procent är det vanligast önskvärda (Cengel m.fl., 2015). Förutom komfortaspekten kan luftens fuktighet även ha betydelse ur hälsoaspekter så som påverkan på luftvägar (Nilsson, 2000) men även ur aspekter gällande mögelbildning i byggnaden, eventuellt även med efterföljande hälsopåverkan.

Överskottsfukt måste ofta transporteras ut ur bostaden med hjälp av ventilationen. Riskerna med fukt är även främsta anledningen till att man är intresserad av hur tryckfördelningen ser ut i inomhusmiljön. Man vill undvika att fukt i luften sipprar ut i byggnadskonstruktionen istället för ut via ventilationen och därför strävar man efter att skapa ett litet undertryck i bostaden. Denna aspekt är särskilt betydelsefull för våtrum och det är även därför man brukar placera ventilationssystemets utlopp i sådana utrymmen.

2.2 Ventilationsmetoder

Det finns flera olika typer av ventilationsmetoder. Den som är vanligast i bland annat kontorshus kallas omblandande ventilation, vilket innebär att inloppet är placerat antingen lågt eller högt och utloppet är placerat högt. Syftet är att skapa en omblandning av luften och på så sätt föra ut föroreningar. Denna typ av ventilation är den som främst benämns som konventionell i denna rapport och den kan medföra en nästan homogen omblandning av luften, vilket ofta kan vara fördelaktigt eftersom det ger en jämnare temperatur och en utbredning av koncentration av föroreningar som sedan kan tas ut via utloppet (Cehlin, 2006).

Det finns även en särskilt intressant ventilationsmetod som kallas deplacerande ventilation. Denna kan ge flera fördelar varav bland annat effektiv användning av energi samt förenklad

energiåtervinning, men även en god luftkvalité (Cehlin, 2006). Vid denna metod tas tilluften in på en låg nivå och ges en låg inloppshastighet kombinerat med en anpassad temperatur. Detta leder till att luften värms upp längs med golvet och stiger till en följd av densitetskillnader. Den varmare luften hamnar högre upp i rummet och frånluften tas sedan ut taknivå. Luften strömmar alltså till stor del via naturlig konvektion. Metoden ger då den fungerar en fördelaktig skiktning av frisk och förorenad luft, med den förorenade luften i taknivå som sedan enkelt tas ut i taknivå (Cehlin, 2006). Denna effekt kan dock försvinna av människors rörelse i rummet (Cehlin, 2006).

Vid sidan av de olika ventilationsmetoderna finns begreppet variabel ventilation, vilket kortfattat handlar om så kallad behovsstyrd ventilation. Systemet kan både spara energi och ge en bättre luftkvalité jämfört med icke-variabel ventilation (Svensk Ventilation, 2016). Man brukar tala om olika styrsystem för ventilationen som styr luftflödet utifrån rådande situation vad gäller exempelvis lufttemperatur, personnärvaro och koldioxidhalt. Man använder olika typer av sensorer för att ge information till systemet. Någon fördjupad teori gällande detta ges inte i denna rapport eftersom ytterligare information om saken anses vara av mindre betydelse inom ramen för rapportens innehåll och målsättning (se avsnitt 3 gällande problemformulering och mål). För ytterligare information gällande dagsaktuella konventionella variabla ventilationssystem, exempelvis för jämförelser med slutsatser i detta arbete, hänvisas till det aktuella forskningsläget samt aktuell information från aktörer på marknaden.

2.3 Dagens regelverk

Nedan följer avslutningsvis en sammanfattning av dagens gällande regler inom området. Texten har många likheter med övrig information i detta teoriavsnitt och bör betraktas som en kompletterande men fristående del av rapporten. Syftet är att sakligt beskriva dagens situation för att möjliggöra jämförelser med övrig information inom ämnet.

De byggregler som gäller i Sverige idag anger bland annat att *”byggnader och deras installationer ska utformas så att de kan ge förutsättningar för en god luftkvalitet i rum där människor vistas mer än tillfälligt”* (Boverket, 6:21, 2011).

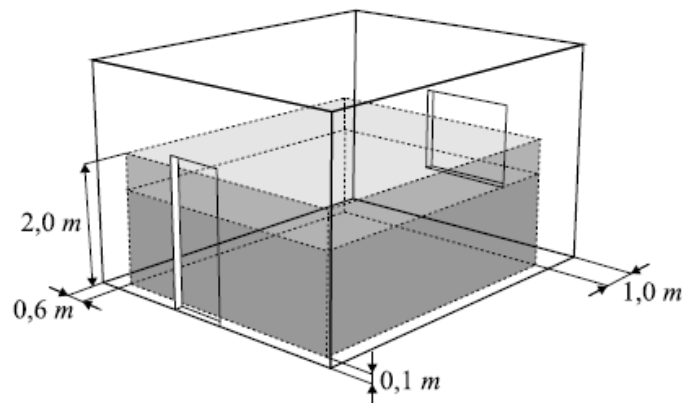
Gällande ventilation anges att *”ventilationssystem ska utformas så att erforderligt uteluftsflöde kan tillföras byggnaden. Ventilationssystem ska också kunna föra bort hälsofarliga ämnen, fukt, besvärande lukt, utsöndringsprodukter från personer och byggmaterial samt föroreningar från verksamheter i byggnaden i den utsträckning sådana olägenheter inte förs bort på annat sätt.”* (Boverket, 6:25, 2011).

Bland tillhörande allmänna råd anges även att *”vid projektering av byggnaders ventilationsflöden bör hänsyn tas till påverkan av personbelastning, verksamhet, fuktillskott, materialemmissioner samt emissioner från mark och vatten”*.

Vidare finns vissa uppsatta krav på ventilationens funktion. Enligt Boverkets byggregler ska rum kunna ha kontinuerlig luftväxling med ett lägsta uteluftsflöde motsvarande 0,35 l/s per kvm golv-area då någon vistas i bostaden och 0,10 l/s per kvm golv-area då ingen är i bostaden. Folkhälsomyndigheten anger även ett alternativt krav på 4 l/s per person som vistas i bostaden.

När det gäller vistelsezonen anges att *“Vistelsezonen begränsas i rummet av två horisontella plan, ett på 0,1 meter höjd över golv och ett annat på 2,0 meter höjd över golv, samt vertikala plan 0,6 meter från yttervägg eller annan yttre begränsning, dock vid fönster och dörr 1,0 meter.”* (Boverket, 6:21, 2011.)

Vistelsezon:



Figur 1. Definition av vistelsezon enligt Boverket.

I byggreglerna anges att *”ventilationssystemet ska utformas så att hela vistelsezonen ventileras vid avsedda luftflöden”* (Boverket, 6:25, 2011). Tillhörande allmänna råd hänvisar till minimumvärden på lokala ventilationsindexet samt luftutbyteseffektiviteten vid användande av Nordtestmetod NT VVS. Folkhälsomyndigheten anger 0,5 rumsvolymer per timme som ett minimikrav för luftomsättningen (FoHMFS, 2014).

Byggreglerna anger vidare att *”ett tillfredställande termiskt klimat”* ska kunna erhållas i hela byggnaden, samt att *”termisk komfort”* ska erhållas i *”rum eller avskiljbara delar av rum där människor vistas mer än tillfälligt”* (Boverket, 6:41, 2011). Därtill följer en mängd beskrivningar av dessa krav, och hänvisning görs även till regler uppsatta av Arbetsmiljöverket och Folkhälsomyndigheten. Denna information finns att återfinna i en mängd dokument på organisationernas respektive hemsida.

3 Problemformulering och Mål

Arbetet som presenteras i denna rapport gäller framtagning av ett förslag på en lämplig ventilationslösning för en sådan studentlägenhet som i det pågående bygg- och forskningsprojektet *KTH Live-in Lab*. Detta ska göras genom att med hjälp av modern simuleringsmjukvara jämföra ett antal olika ventilationslösningar och hur väl de uppfyller de verkliga behov som finns i inomhusmiljön. För utförligare beskrivning av de behov som ska uppfyllas för detta hänvisas till avsnitt 2.1 av denna rapport. Utifrån resultatet av jämförelserna ska en slutsats dras gällande huruvida lösningarna kan användas i ett system för variabel ventilation. Arbetet bör varken begränsas eller styras av dagens situation vad gäller konventionella lösningar för variabel ventilation och liknande. Detta för att främja nytänkande och därmed eventuellt möjliggöra innovativa slutsatser.

För att resultat av arbetet eventuellt ska kunna bidra till att möta den problematik som finns inom området tas även följande i beaktande (problematiken återfinns beskriven i avsnitt 1):

- De olika fall som jämförs ska vara praktiskt möjliga att testas och verifieras i *Live-in Lab* - projektet. Detta för att möjliggöra en koppling till aktuella relevanta forskningsprojekt inom området.
- Resultatet ska presenteras på ett sådant sätt att de jämförda lösningarnas fördelar och nytta framgår på ett intuitivt sätt. Vidare ska resonemang kring resultatet främst föras visuellt och slutsatser ska kunna dras utan djupare fysikaliska förklaringar. Detta för att resultatet ska ge en indikation på huruvida liknande material kan bidra till att underlätta diskussioner och planering i byggprojekt där det råder en blandad och oenhetlig kunskapsnivå inom ämnet.
- Lagar och regler inom området ska inte fungera begränsande. Fokus ska istället läggas på de av forskningen definierade bakomliggande behoven så som luftombyte och termisk komfort för de boende, vilket återfinns beskrivet i avsnitt 2. Detta för att även göra det möjligt att upptäcka eventuella brister i dagens regler inom området.

4 Avgränsningar

Då situationen vid ett ventilationsförlopp innebär att flera faktorer inverkar på många olika sätt skulle det krävas ofantligt omfattande analyser och nästintill oändligt många experiment för att ta fram ett fullständigt verklighetstroget resultat. Eftersom ett sådant tillvägagångssätt inte är praktiskt möjligt med detta arbetes begränsade omfattning och resurstillgång har ett antal avgränsningar konsulterats fram under arbetets gång, bland annat med hjälp av arbetets handledare Peter T Kjaerboe och Jonas Anund Vogel. Avgränsningarna som presenteras i detta avsnitt ligger, tillsammans med den teori som presenterats i avsnitt 2, till grund för valet av de scenarion som analyseras och jämförs i resultatdelen av denna rapport.

Den övergripande avgränsningen är bostadens utformning som för forskningsprojektet *KTH Live-in Lab* skiljer sig för olika lägenheter beroende på deras placering i huset. Arbetet är avgränsat till att gälla bostadshusets mest förekommande lägenhetsutformning, d.v.s. inte en hörnlägenhet. Se bilaga 2 för ritning över lägenheten.

4.1 Inlopp och utlopp

- Endast ett inlopp används, med möjlighet till placering på två ställen men på samma vägg. En placering ovanför sängen och en under sängen.
- Två utloppstyper används, en fast och en variabel. Den fasta sitter ovanför spisen i köket. Den rörliga utloppstypen är placerad i badrummet, på samma vägg som ligger parallellt med inloppet. Denna avgränsning gällande placeringen motiveras av att värmeåtervinning med värmeväxlare då kan påbörjas snabbt med minimerade förluster. Areal, antalet och placeringen (längs väggen) av denna typ av utlopp kan varieras.
- Väggar för placering av utlopp har utöver aspekten värmeåtervinning även valts för att möjliggöra längsta möjliga luftväg mellan inlopp och utlopp.
- Till- och frånluft kommer att programmeras utifrån ett slutet system, vilket innebär att all massa som kommer in i systemet även passerar ut ur den stängda volymen.
- Inlopps- och utloppsarea kommer att byggas så stort som möjligt utifrån logisk geometri, för att kunna motsvara ett deplacerande don. Den sammanlagda utloppsarean och inloppsarea kommer ändå vara densamma för att underlätta.

- Endast förvärmad inloppsluft med temperaturen 21,5 grader kommer att testas. Detta eftersom medeltemperaturen för Stockholm över hela året är 8 grader (SMHI, 2016) vilket betyder att uppvärmning utgör det största behovet för att upprätthålla optimal inomhustemperatur. Inloppstemperaturen har även valts med målsättningen att inloppstemperaturen ska vara densamma som den önskade inomhustemperaturen.
- Inloppshastigheten valdes till ett lågt värde om 0,075 m/s som ett startvärde för experimenten. Detta med syftet att i de första testade fallen, oavsett geometri, erhålla hastigheter som inte upplevs dragiga för människan, men samtidigt en avvägning mot volymsflödet. Volymsflödet valdes genom en avvägning mellan luftflödet 7 l/s/person som enligt teorin ska ge en låg koldioxidhalt, 1000ppm, och luftflödet 4l/s/person som vanligtvis rekommenderas för bostäder.

4.2 Värmekällor

- De 5 människorna i modellen har en fast placering och genererar värme genom en konstant yttemperatur, homogent fördelad över hela kroppen. Yttemperaturen 31 grader Celsius ansågs rimlig (Cengel m.fl., 2015).
- Spisplattorna i modellen har en konstant yttemperatur för att symbolisera exempelvis kokning av vatten. Värdet på detta uppskattas till cirka 150 grader Celsius.

4.3 Kylning

- Ytterväggen med fönstret är det enda som kyler ner rummet.
- Ett välisolerat fönster, vilket antas användas vid byggnationen, har ett u-värde på omkring 0.9 om det har energiklass A (Energifönster, 2016). En välisolerad yttervägg, i form av ett förtillverkat byggelement, har ett u-värde på omkring 0.25 (Träguiden, 2016).

4.4 Interiör

- Förutom det som nämnts specifikt ovan, anses interiör och innerväggar vara adiabatiska, alltså sker varken någon värmegenerering eller något utbyte av värme mellan interiör och fluid.
- Analysen gjordes för en modell av lägenheten utan möblemang och annan inredning.

4.5 Övrigt

- Geometrin och interiörplacering var densamma under samtliga simuleringar.
- Förutom ventilationens inlopp och utlopp utgör bostaden och dess interiör i modellen ett slutet system, vilket innebär att scenarion då luft kan förflyttas genom otätheter i konstruktionen inte beaktas i simuleringarna. Detta innebär även att det i verkligheten föredragna undertrycket inte konstrueras i programmet. Det antas att undertryck enkelt kan åstadkommas i en verklig situation genom inställning av en skillnad i luftflödena på inlopp och utlopp.
- Inga särskilda beräkningar görs gällande luftfuktighet.
- Liknande avgränsning gällande beräkningar för luftfuktighet gäller även för andra föroreningar såsom koldioxid. Med hänvisning till teorin i avsnitt 2 görs istället förenklingen att bra luftflöde och luftväxling i hela bostaden medför en bra luftkvalité och motverkar en för hög luftfuktighet i bostaden.
- Lägenheten är utformad utifrån en given ritning över lägenheten. Se bilaga 2.
- Ingen hänsyn tas till strålning. Med temperaturer avses endast lufttemperaturer och inte strålningstemperaturer. Inga beräkningar av operativa temperaturer görs.

5 Metod

För att möta problemformuleringen användes en analytisk metod i form numerisk simulation med programvaran Star CCM+. Förutom att simuleringsprogrammet ansågs kunna utgöra ett bra verktyg för att uppfylla arbetets mål, så som ett intuitivt resultat med möjlighet till visuell tolkning, har metoden även andra passande fördelar. Den möjliggör bland annat förhållandevis enkel och snabb ändring mellan olika fall, samt modifiering av dessa. En noggrann simulering tar flertalet timmar för datorn att beräkna, men tidsåtgången är ändå mindre än alternativet som hade varit att bygga en verklig modell och göra mätningar i denna. Metoden ger även en bra överblicksbild av händelseförloppet och gör det enkelt att upptäcka brister för olika ventilationslösningar. En experimentell metod med byggande av en verklig modell av bostaden hade krävt omfattande mätningar med olika typer av instrument och metoder. Det hade dessutom handlat om punktmätning och insamlande av stora mängder data. Stora resurser skulle krävas för att erhålla ett resultat för hela bostadsvolymen. En numerisk simulation i Star CCM+ ger däremot både ett över rumsvolymen heltäckande resultat och kräver avsevärt mindre resurser. Detta gör den valda analytiska metoden väl passande för det specifika ändamålet i detta arbete.

För att bygga modellen och dess miljö i det digitala systemet användes programversion 11 av Star CCM+, vilket består av CFD-algoritmer (Computational Fluid Dynamic) och dess olika verktyg. Programmet ger möjlighet att bland annat visualisera luft rörelser genom att numeriskt lösa olika ekvationer för volymceller. Beräkningar i programmet grundar sig huvudsakligen på Navier-Stokes-ekvationerna, vilka är grunden i beskrivningen av fluiders rörelse och beteende beroende av olika variabler. Den modell som användes i programmet utformades med hänsyn taget till att simuleringarna ska kunna ge en uppfattning om vilka egenskaper ventilationen bör ha för att klara av ett extremfall av personbelastning. Detta gjordes dels med tanke på att om ventilationssystemet klarar av ett extremfall klarar det även av en normalbelastning, och dels för att resultatet ska kunna vara till nytta för diskussioner kring variabel ventilation. Ett rimligt extremfall ansågs vara 5 personer, efter konsultation med projektets handledare.

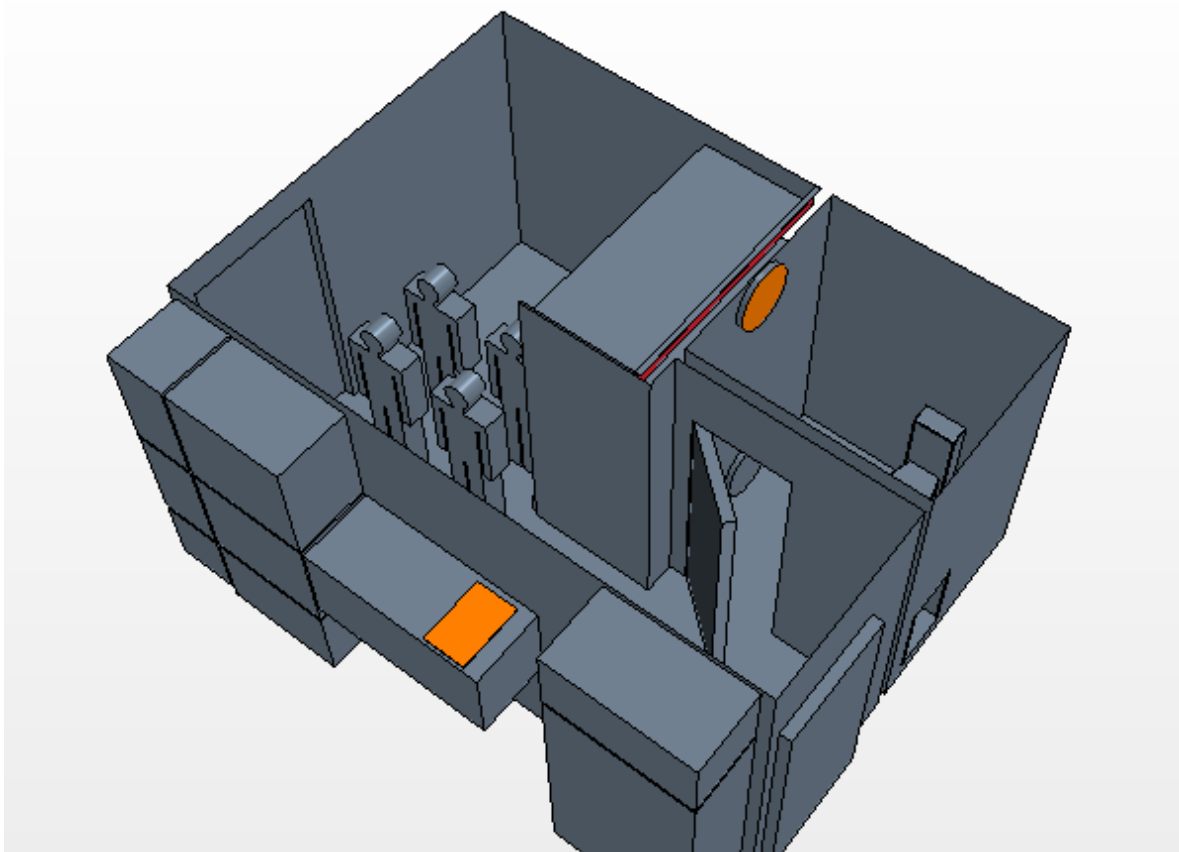
Utifrån presenterad teori och arbetets avgränsningar togs 4 intressanta grundscenarion fram i form av möjliga kombinationer av inlopps- och utloppsplacering. Dessa fall analyserades sedan med hjälp av en modell av bostaden i simuleringsprogrammet. Utifrån uppnådda resultat modifierades därefter grundfallen vilket gav ett antal nya fall för undersökning. De olika grundkombinationerna presenteras i Tabell 2 i avsnitt 5.3 i metod-delen. Där beskrivs även modifieringarna. Utifrån detta drogs avslutningsvis en slutsats gällande huruvida olika testade fall skulle kunna kombineras vid användning för ett variabelt ventilationssystem.

5.1 Star CCM+

I Star CCM+-mjukvaran måste geometri över massans utformning, start-, gräns-, bearbetnings- och slutvillkor definieras för att kunna bearbeta strömningsrörelserna inom volymen. Utöver detta finns det många olika alternativ gällande exempelvis *meshen* av volymen. *Mesh* beskrivs närmare i avsnitt 5.1.2.

5.1.1 Experimentuppställning och geometri

Modellen av bostaden skapades utifrån en given CAD-ritning i 2-D över studentbostaden, och geometrin hölls sedan konstant under alla simuleringar. Se bilaga 2 för ritning, se Figur 2 för 3-D-volymmodell i Star CCM+. Utöver denna ritning konstruerades även 5 människor, för att symbolisera personbelastningen. I övrigt strävades efter att skapa en så realistisk miljö som möjligt med till exempel en halvöppen badrumsdörr. Detta gjordes även med hänsyn till att fluidens volym måste vara sammanhängande i Star CCM+ (Fakhari, 2016).

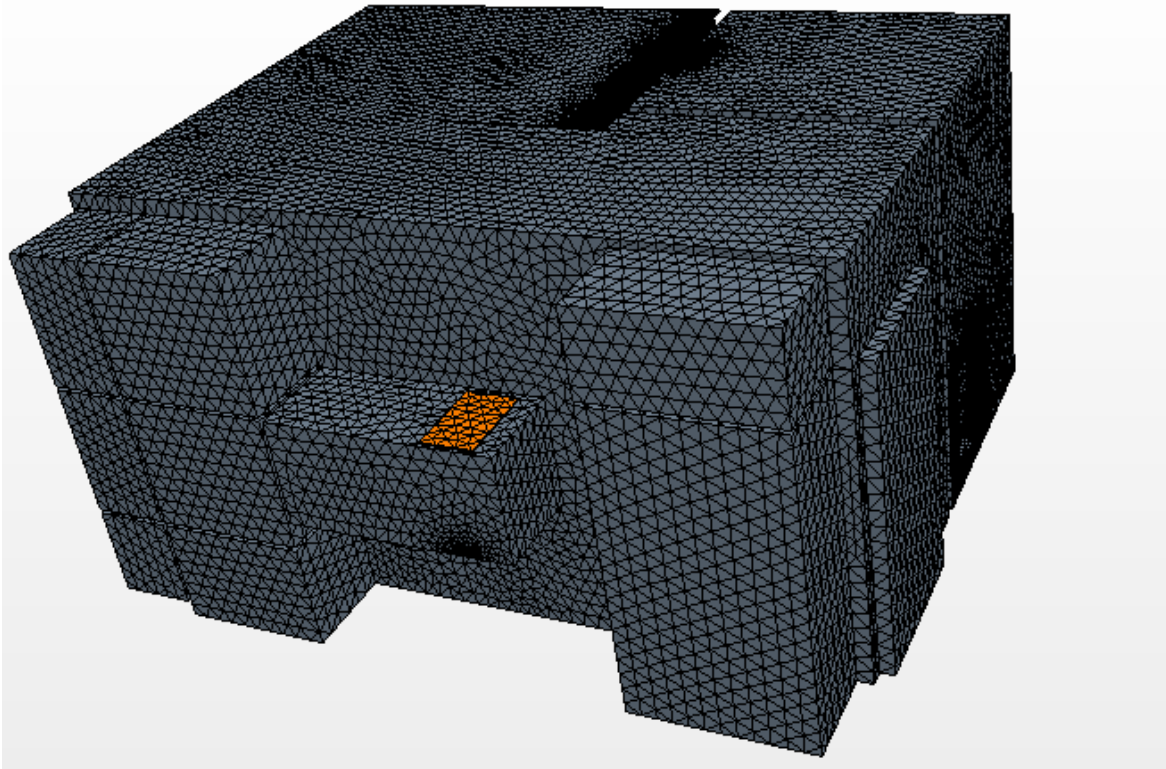


Figur 2. Geomtrimodell av volymen.

5.1.2 Mesh

Mesh kan kortfattat beskrivas som ett nätverk av volymceller som bildas utifrån den skapta geometrin med hjälp av olika verktyg i Star CCM+. Denna inställning i Star CCM+ är väldigt viktig eftersom den har en stor effekt på noggrannheten av simuleringen och dess resultat. Detta beror på att mjukvaran kommer att applicera de olika ekvationerna utifrån de genererade cellerna. Mindre, och därmed fler, volymceller ger noggrannare resultat, men också större tidsåtgång och vice versa. Noggrannheten beror även av vilken typ av *mesh* som appliceras på geometrin. Den *mesh* med störst noggrannhet som kräver minst antal celler är *polyhedral-meshen*, medan de två andra vanliga *mesh*:arna, *tetrahedral* (tresidig ”pyramidform”) och *hexahedral* (”tegelstensform”), kräver fler celler men ger ändå inte samma noggrannhet som de ”golfbollsformade” *polyhedral*-cellerna (Simscape, 2016).

Polyhedral-funktionen i Star CCM+ skapade med hjälp av verktyget *surface remesher* omkring 500 000 volymceller med en största tillåtna cellstorlek om 0.1 m. Antalet celler är olika från fall till fall, främst beroende på geometriska ändringar i modellen. *Surface remesher*-funktionen trimmar utsatta positioner, såsom rundade ytor, hörn, etcetera. Denna funktion skapar ett mer precist volymcells nät, vilket ger ökad noggrannhet i slutändan. Se Figur 3 för exempel på en *mesh*-scen.



Figur 3. *Mesh*-resultat av geometrin.

5.1.3 Villkor

I detta avsnitt om villkor beskrivs olika parametrar i simuleringsprogrammet. Beroende på val i så kallade villkorssektioner löser mjukvaran olika antal ekvationer.

5.1.3.1 Startvillkor

För att simulera en så realistisk miljö som möjligt tilldelades rummets volymceller 3 viktiga variabler utöver Star CCM+’s standardvärden. Detta ger en realistisk startmiljö som inte påverkats av ventilation och luft rörelser tidigare. Generellt sett strävas efter att startvärdet för temperatur och tryck ska ligga så nära slutresultatet som möjligt. Detta för att minimera antalet iterationer och därmed minska tidsåtgång för beräkningar. Det enda startvärdet som inte går att förutspå för programmet är hastigheten och därför sätts denna initialt till 0 m/s, vilket motsvarar vindstilla.

Den andra konstanta variabeln, vilket är initialtemperaturen för alla befintliga celler i rummet, sattes (enligt avgränsningen i avsnitt 4) till 21,5 grader Celsius.

Tryckets startkonstant gavs värdet 1,01325 bar vilket motsvarar 1atm, det vill säga atmosfärstrycket.

5.1.3.2 Gränsvillkor

Gränsvillkoren består av 7 olika gränser varav två olika varianter tillåter att luft passerar över gränsen. Dessa symboliserar inlopp och utlopp för systemet. De sista gränstyperna tillåter inte att luft passerar över gränsen. Detta motsvarar väggar och annan interiör och får villkoret *wall* med olika inställningar. För inlopp och utlopp kan gränsfunktionerna fungera på flertalet sätt, men för enkelhetens skull användes funktionen *pressure outlet* för utloppet, med inställningen *target mass flow rate*. Detta innebär att luft tas ut via utloppet till en följd av tryckskillnad i rummet, vilket motsvarar att det finns en frånluftsfläkt igång vid utloppet som skapar denna tryckskillnad. För att få massa att komma in i fluidmodellen ges inloppet villkoret *velocity inlet*. Alla dessa gränser måste ställas in manuellt. Se Tabell 1 nedan för en sammanställning av intervall för gränsparametrar och egenskaper för samtliga testade fall. Intervallet visar värden för de olika fall som testades.

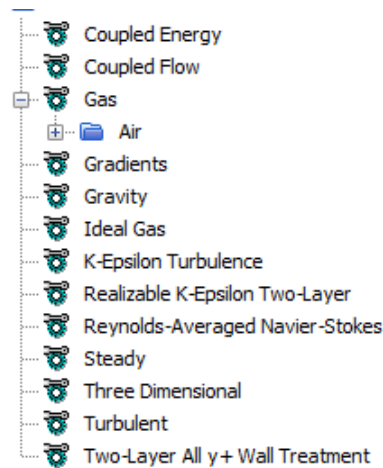
Tabell 1. Tabell över gränsvillkor.

Beskrivning	Inlopp	Utlopp badrum	Utlopp kök	Människa	Yttervägg	Fönster	Spis	Resterande yta (interiör etc.)
Gränsvillkor	velocity inlet	pressure outlet	pressure outlet	wall	wall	wall	wall	wall
Temperatur (°C)	21,5	-	-	31	-	-	150	adiabatisk
Hastighet (m/s)	0,075-0,2	-	-	-	-	-	-	-
Turbulent Length Scale (m)	0,0243	0,0366	0,0289	-	-	-	-	-
Turbulence Intensity (-)	0,0558-0,0631	0,0531-0,0600	0,0547-0,0618	-	-	-	-	-
Heat Flux (W/m ²)	-	-	-	-	-2,025	-12,15	-	adiabatisk

För beräkningar bakom värdena i Tabell 1 gällande inloppskonstanter samt yttervägg/fönster, se Bilaga 1.

5.1.3.3 Bearbetningsvillkor

Bearbetningsvillkor och modeller som programmet löser ekvationer efter är konstruerade efter *Star CCM+ tutorial* (ett hjälpmedel inbyggt i Star CCM+). Figur 4 nedan visar en bild ur programmet vilken visar de ekvationsmodeller som använts.



Figur 4. Använda bearbetningsmodeller i Star CCM+.

5.1.3.4 Stoppvillkor

Utan någon stoppgräns fortsätter iterationerna i Star CCM+ utan stopp, förutsatt att de ser ut att konvergera i programmets *iteration-residual*-diagram. Det finns 7 linjer i diagrammet som visar rester i lika många kategorier. Dessa kategorier är: *energy*, *x-momentum*, *y-momentum*, *z-momentum*, *continuity*, *turbulence dissipation rate* och *turbulence kinetic energy*. Beräkningarna kommer att stoppas då 4 av de 7 *residuals*-kategorierna når en satisfierad nivå om 10^{-4} , dessa är *continuity* samt hastighetskomponentskategorierna *momentum* (Fakhari, 2016).

5.2 Scenarion

Utifrån det som beskrivits i avsnittet avgränsningar konstruerades 4 grundfall för undersökningen. Se Tabell 2.

Tabell 2. Placeringsvillkor för experiment.

Experiment	Inlopp	Utlopp
1	Upptill	Upptill
2	Upptill	Nertill
3	Nertill	Upptill
4	Nertill	Nertill

Utifrån resultatet av dessa fall konstruerades sedan ytterligare två fall. I dessa fall ingick ett extra utlopp, vilket innebär att luft tilläts passera ut både upptill och nedtill samtidigt. Tanken var att detta kunde ha en inverkan på luftvägen och därför undersöktes om detta påverkar systemet positivt eller negativt. Detta testades både med inlopp upptill och nedtill.

Även lufthastighetens påverkan på luftvägen och temperaturen undersöktes. Utifrån det bästa fallet av föregående jämförelse ledde detta till ytterligare två nya fall för jämförelse.

5.3 Utvärdering

Beroende på huruvida *residuals*-värdet godkändes och konvergerade togs tre olika geometriska vyer på luftströmmarna i rummet fram med hjälp av Star CCM+. Två sorters scener kan med hjälp av programmet användas för att visualisera resultatet av beräkningarna. Temperatur- och hastighetsdistributionen kan bland annat presenteras som skalärscener och i denna simulering användes endast sådana. Utöver detta finns även vektorscener som visar riktning och magnitud men dessa ansågs opassande för syftet att presentera resultatet på ett tydligt sätt. En strömlinjeanimation simulerades även för varje experiment i syfte att se hur luften rör sig i rummet, men även dessa utelämnades i denna rapport eftersom de är i videoförmåt. Vidare ansågs de skalära och geometriska scenerna utgöra tillräckligt material både för analys samt presentation.

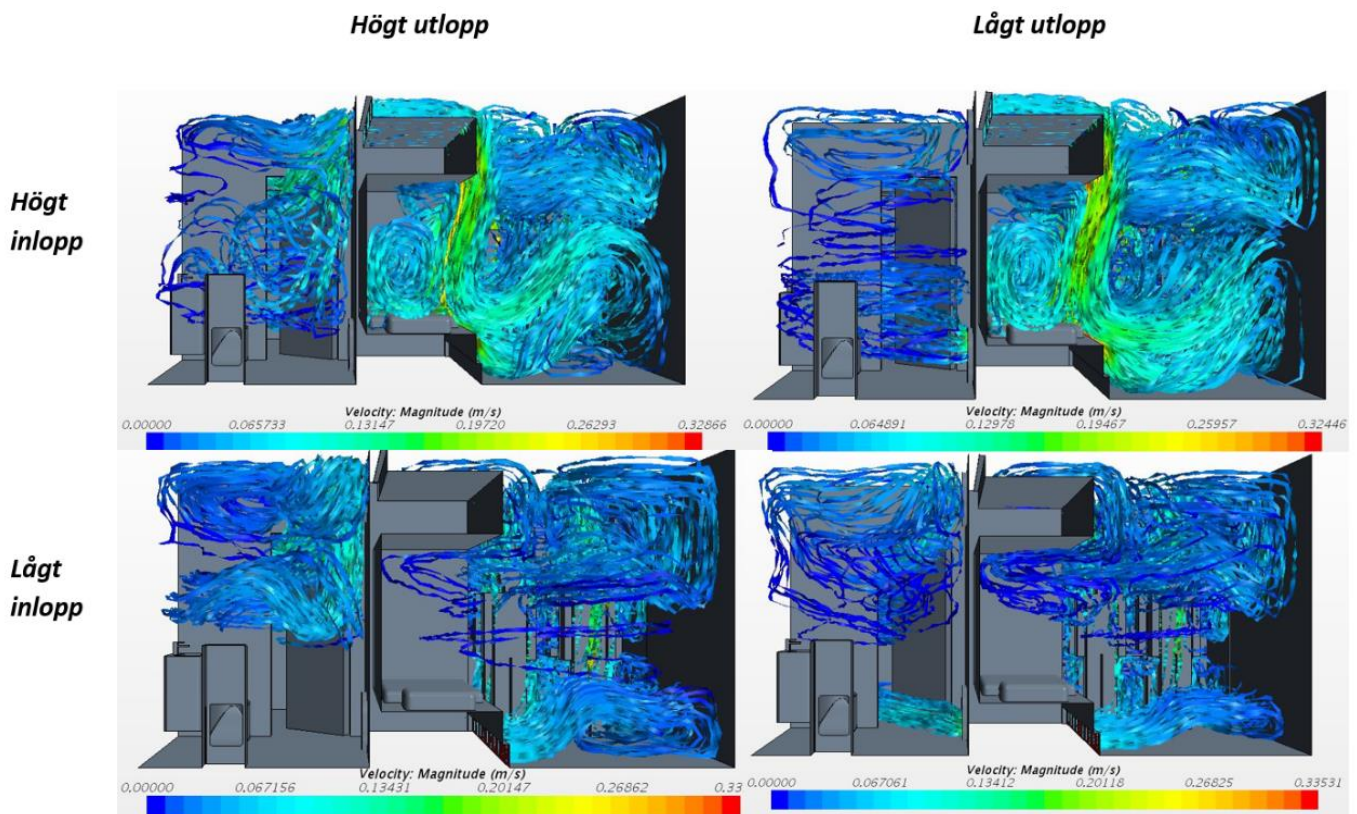
6 Resultat

I följande avsnitt visas bilder på luftströmmarna, hastigheterna och temperaturerna för fallen i alla jämförelser. De Figurer som visas i resultatavsnittet presenterar resultatet i sin helhet. Stora skillnader som upptäcktes vid den visuella undersökningen kommenteras även. Resultatet delas upp i kategorier för olika relevanta egenskaper.

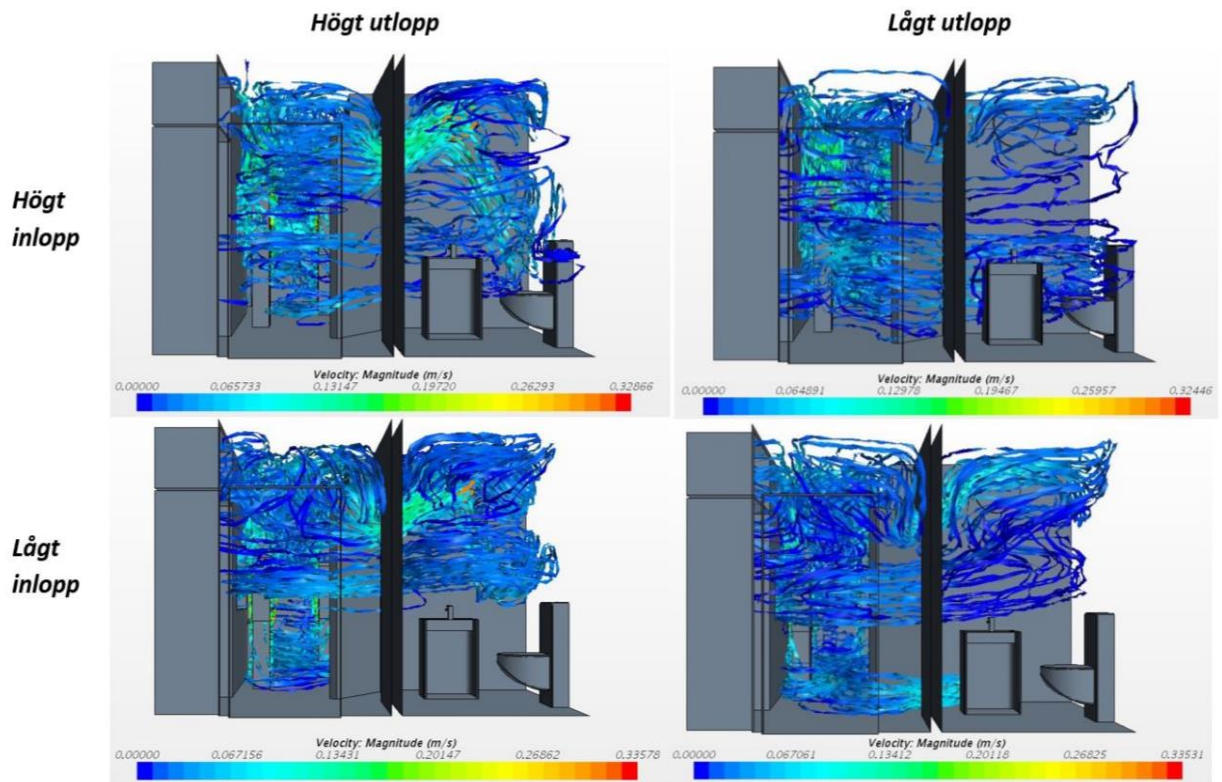
6.1 Jämförelse 1: H/H, H/L, L/H, L/L

6.1.1 Luftströmning

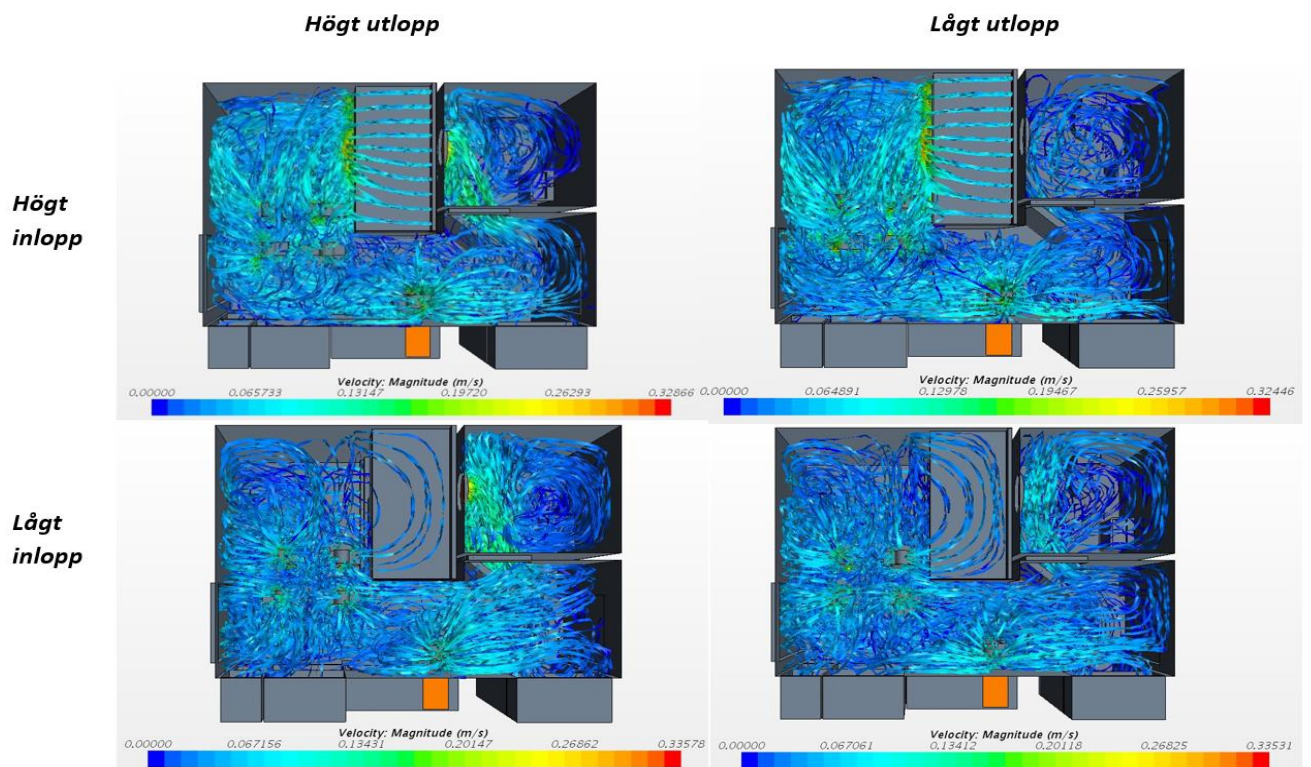
Luftströmningar undersöktes utifrån dess utbredning i horisontal- och vertikalplanet, se Figur 5-7.



Figur 5. Luftströmning för samtliga vanliga fall, vy från badrums- och vardagsrumsvägg.



Figur 6. Luftströmning för samtliga vanliga fall, vy från badrumsvägg och ytterdörr.



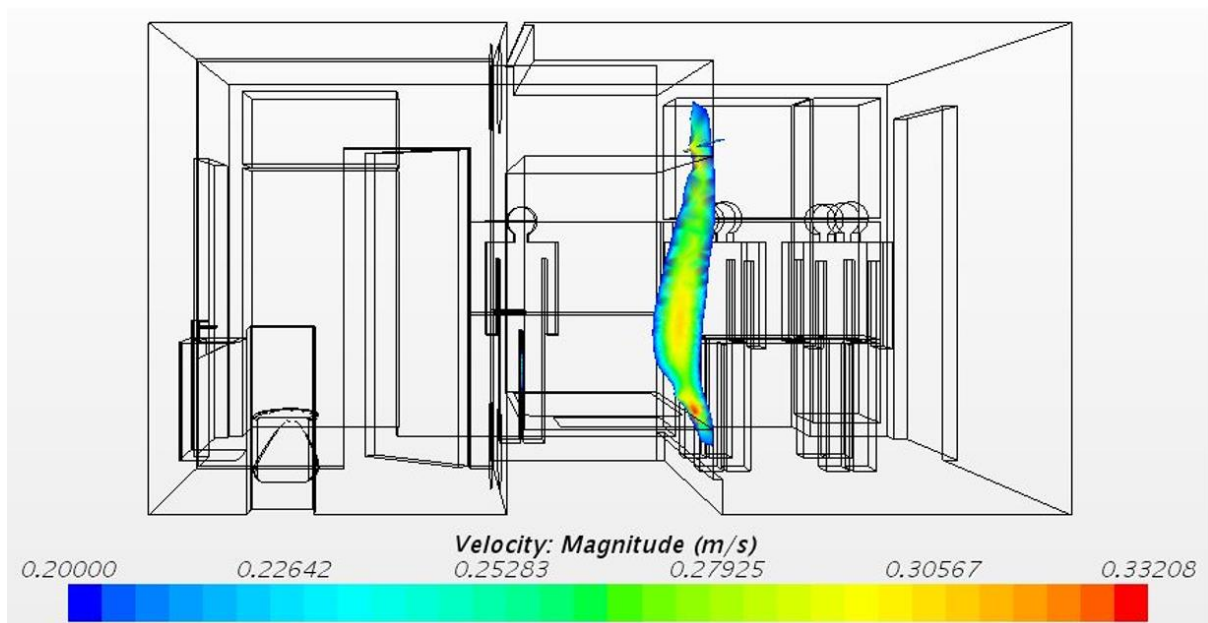
Figur 7. Luftströmning för samtliga vanliga fall, vy från ovan.

I Figur 5 och 6 ses tydliga likheter mellan båda fall för respektive inloppsplacering. Utloppets placering ser ut att inte ha lika stor påverkan på luftströmningen. De största skillnaderna ses alltså mellan fallen med olika inloppsplaceringar. Dels ses en avsaknad av luftströmning i nedersta partiet av badrummet för fallen med lågt inlopp. Även i vardagsrummets mellersta parti och sängutrymmet ses skillnader i luftströmning mellan fallen. Lågt inlopp ger överlag mindre utbredning av luftströmning i det vertikala planet. Vidare visar Figur 5 och 7 en större omblandning av luften för fallen med högt inlopp, speciellt för fallet H/H. Via animationen i programmet (redovisas ej i resultatdelen) sågs även att för fallet L/L gick en stor del av luften ut kortaste vägen. Enligt animationen syntes även att när luften kommer i kontakt med människorna stiger den mot taket, medan när luften möttes av yttervägg/fönster sjönk den. En någorlunda indikation på detta ges av Figur 5.

I Figur 7 ses att samtliga experiment har bra luftspridning i det horisontella planet, med undantag för fallet med högt inlopp och lågt utlopp där det finns en avsaknad av luftströmmar vid badrumsdörren. I Figur 7 ses även att en luftvirvel bildas i badrummet för samtliga fall.

6.1.2 Lufthastigheter

Lufthastigheterna undersöktes för samtliga fall för att kontrollera i vilken mån dessa eventuellt översteg värdet 0,2 m/s.

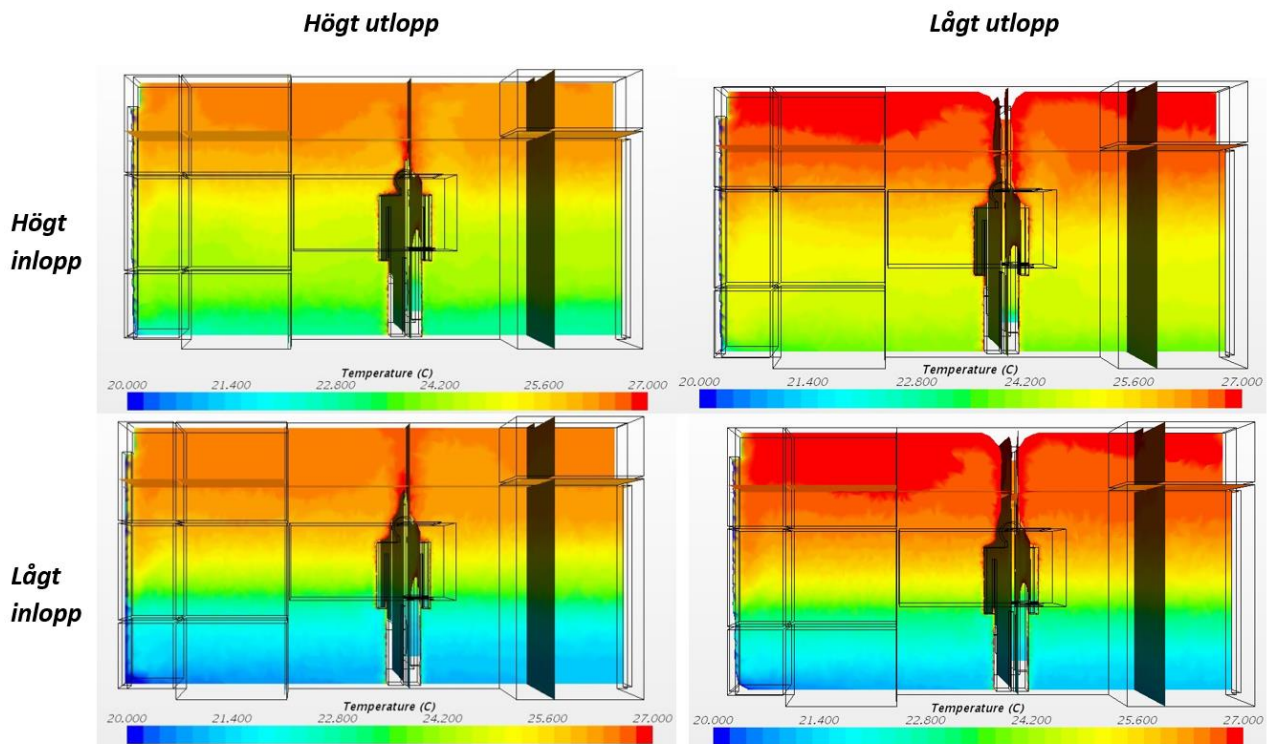


Figur 8. Höga hastigheter i fallen med högt inlopp, vy från badrums- och vardagsrumsvägg.

Gällande hastigheter i rummet för fallen med lågt inlopp fanns inga hastigheter över 0,2 m/s men för fallen med högt inlopp uppgick hastigheterna till drygt 0,33 m/s. Detta visas av det färgade området i Figur 8 där alla hastigheter över 0,2 m/s är illustrerade i färg.

6.1.3 Temperatur

Temperaturvariationer i lägenheten undersöktes genom att se till mängden skiktningar och storleken på dessa för de olika fallen.



Figur 9. Temperaturskillnad samtliga vanliga fall, vy från köksväggen.

I Figur 9 ses på liknande sätt som tidigare likheter mellan båda utloppsfall av respektive inloppsplacering men nu istället vad gäller temperaturvariationer. För fallen med lågt inlopp ses en större temperaturvariation som ett större antal färgskikt i bilderna. Granskas fallet med högt inlopp och högt utlopp, som är det fall med jämnast temperatur, syns endast tre stora markanta skikt. Dessa tre skikt ger en temperaturskillnad på cirka 3 grader C.

6.2 Jämförelse 2: H/HL, L/HL

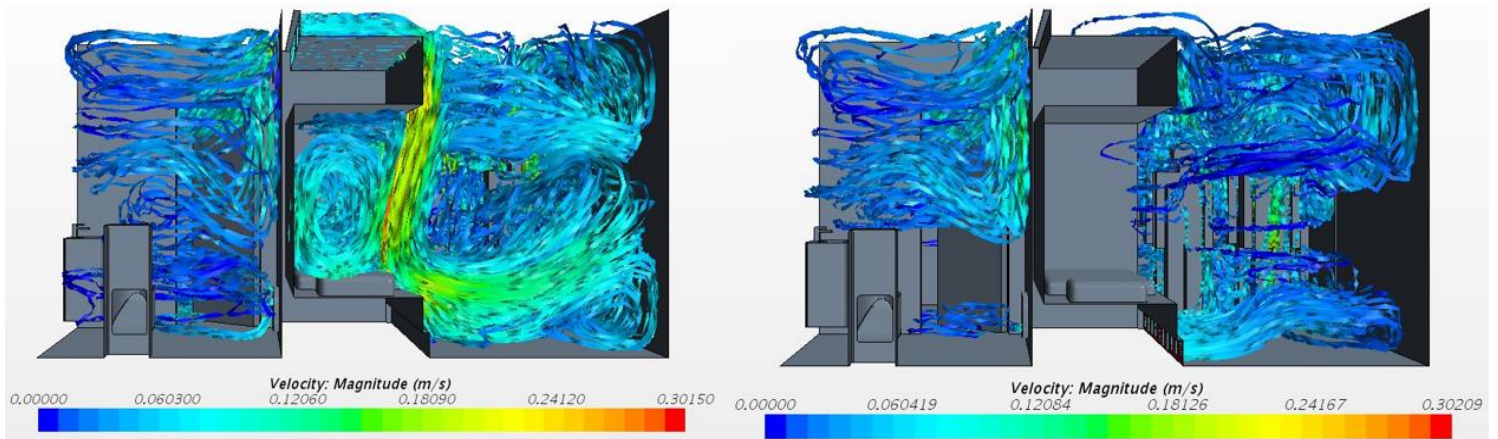
Då det strävades efter att uppnå en bättre lösning utökades jämförelsen till två utlopp i badrummet, vilket beskrivits tidigare i metodavsnittet. Följande Figurer, Figur 10-14, illustrerar resultatet av dessa nya fall.

6.2.1 Luftströmning

Resultatfigurerna 10, 11 och 12 speglar mycket av resultatet från luftströmningen i Jämförelse 1 beroende på inloppets placering. Granskas speciellt Figur 11 och 12 noggrannare syns att båda fallen har en bättre utbredning av luftströmmarna än liknande fall i Jämförelse 1.

Högt inlopp

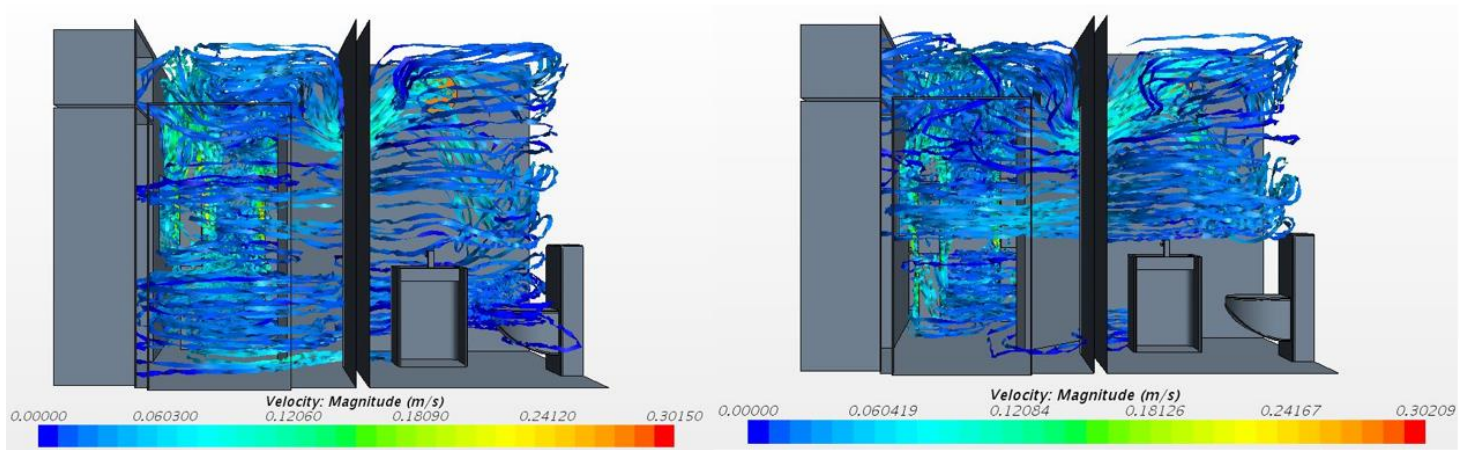
Lågt inlopp



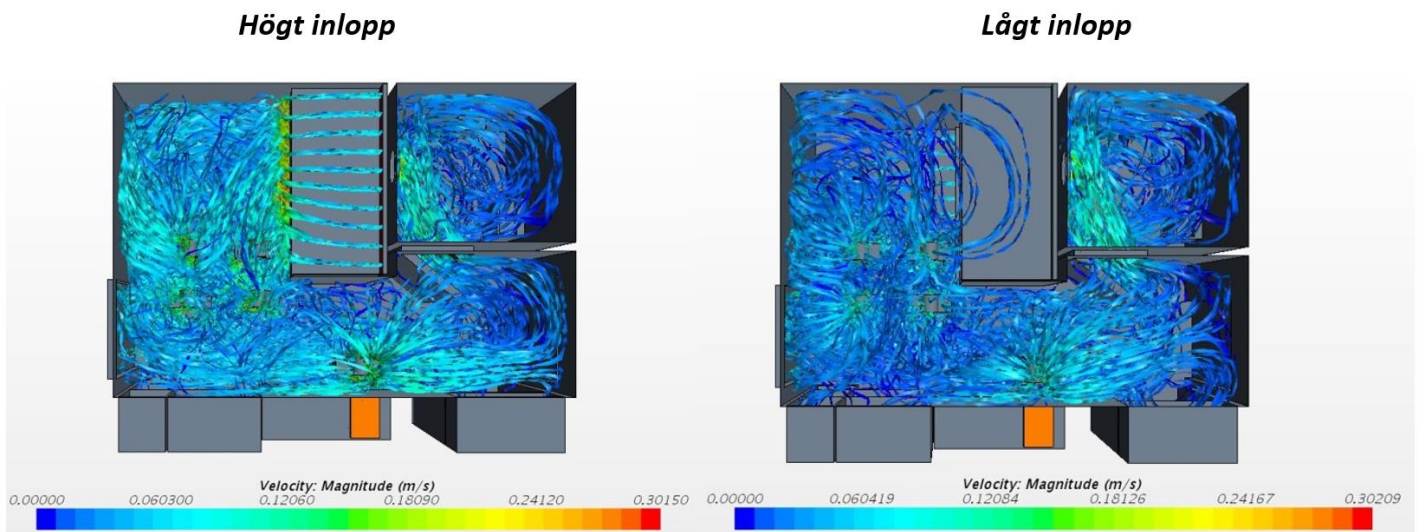
Figur 10. Luftströmning för fallen med två utlopp i badrummet, vy från badrums- och vardagsrumsvägg.

Högt inlopp

Lågt inlopp



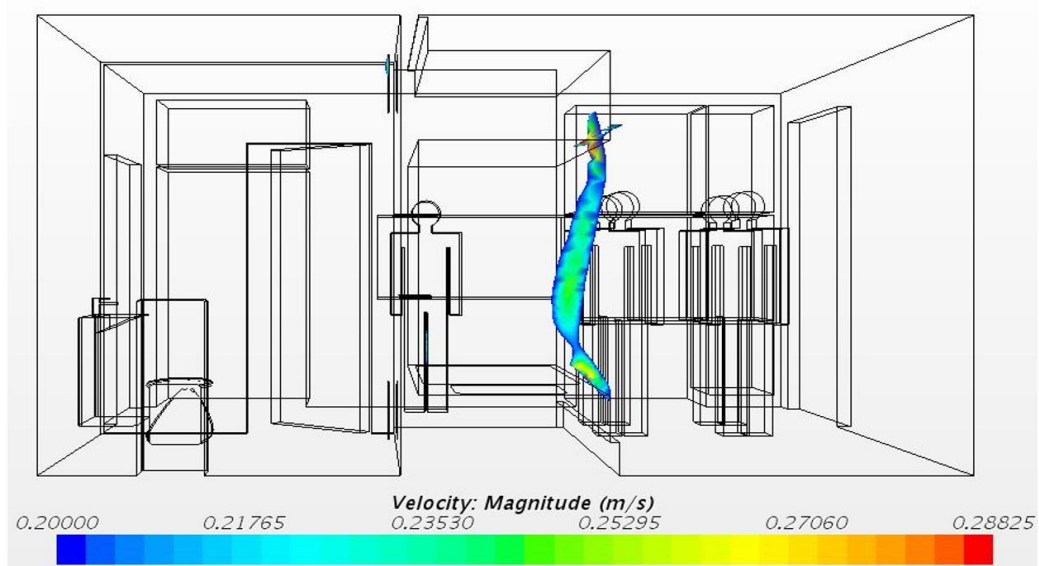
Figur 11. Luftströmning för fallen med två utlopp i badrummet, vy från badrumsvägg och ytterdörr.



Figur 12. Luftströmning för fallen med två utlopp i badrummet, vy från ovan.

6.2.2 Lufthastigheter

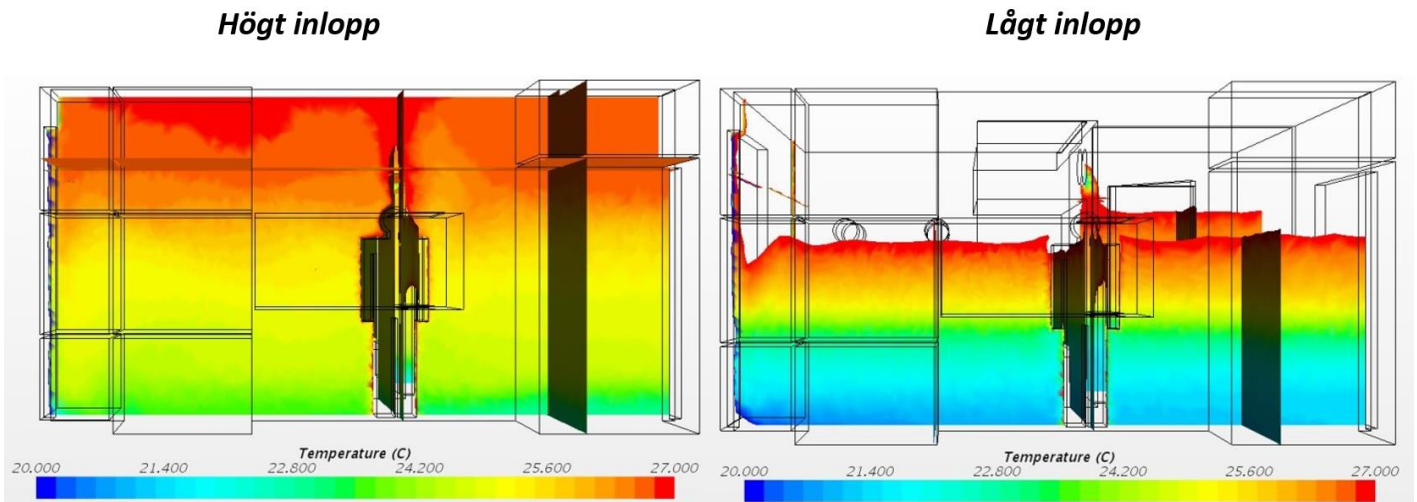
Likt Jämförelse 1 råder det även större hastigheter för fallet med högt inlopp. Detta område återfinns på samma ställe som tidigare, fast i en mindre utbredning. På samma sätt som för Jämförelse 1 råder inga höga hastigheter för lågt inlopp.



Figur 13. Höga hastigheter i fallen med högt inlopp, vy från badrums- och vardagsrumsvägg.

6.2.3 Temperatur

I Figur 14 syns att i fallet med högt inlopp och två utlopp råder en liknande temperaturskiktning som för fallen med högt utlopp i Jämförelse 1. Dock ses nu ett extra temperaturskikt vilket ger att den totala temperatur differensen i lägenheten är omkring 4 grader C. I Figur 14 syns för fallet med lågt inlopp även en avsaknad av skikt på den övre halvan av rummet på grund av att temperaturerna i detta område överstiger 27 grader C. Ses till den nedre halvan av lägenheten är temperaturskillnaden 7 grader i detta fall.



Figur 14. Temperaturskillnad för fallen med två utlopp i badrummet, vy från köksväggen.

6.3 Jämförelse 3: H/HL: Ökad hastighet till 0,2 m/s.

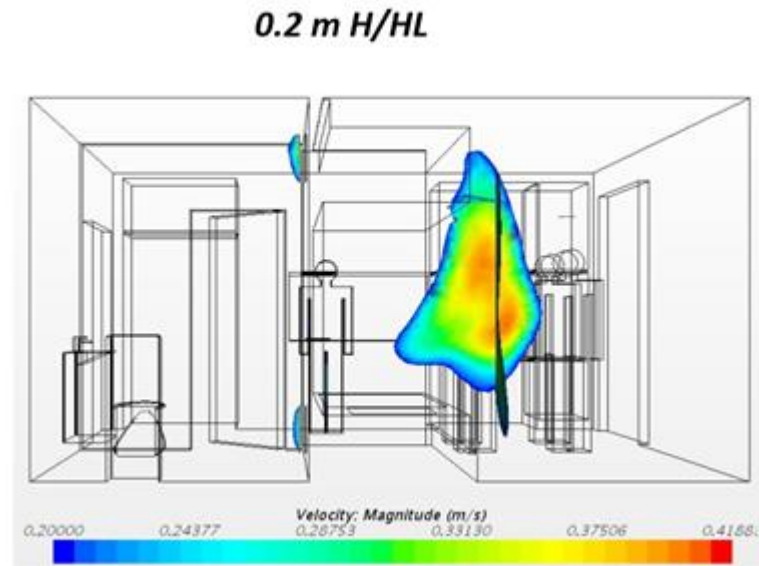
Ytterligare en jämförelse gjordes för undersökning av lufthastighetens (massflödets) inverkan på ventilationssystemet.

6.3.1 Luftströmning

Då luftströmningens bildresultat för Jämförelse 3 var likt resultatet för Jämförelse 2 för H/HL visas ej detta här. Hänvisning görs istället till Jämförelse 2 gällande detta.

6.3.2 Lufthastigheter

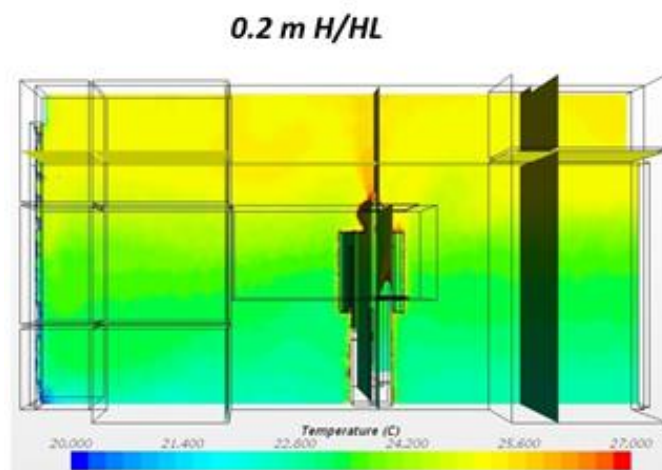
Jämfört med de tidigare jämförelserna fås ett större område med höga hastigheter, och samtidigt hastigheter med en större magnitud.



Figur 15. Höga hastigheter för fallet med två utlopp i badrummet & ökad hastighet in, vy från badrums- och vardagsrumsvägg.

6.3.3 Temperatur

I Figur 16, syns endast två markanta skikt och en svag färgskiftning på ytterligare ett skikt. Dessa skikt resulterar i att temperaturdifferensen i lägenheten är mindre än tre grader C.



Figur 16. Temperaturskillnad för fallen med två utlopp i badrummet & ökad hastighet in, vy köksväggen.

7 Diskussion

Nedan följer diskussion kring de olika jämförelserna, men mycket av den för arbetet mest relevanta diskussionen presenteras i anslutning till slutsatserna i avsnitt 8.

7.1 Jämförelse 1

Sammanfattningsvis för Jämförelse 1 är fortfarande det konventionella fallet med högt inlopp och högt utlopp det bästa enligt kategorierna luftströmningar, jämn temperatur och låga hastigheter med undantag för vid sängen där hastigheterna i viss mån överstiger 0.2 m/s.

I de fallen med högt inlopp faller luften ner från ovanför sängen. Detta beror på att människorna och spisplattan höjer temperaturen i rummet vilket innebär att den nya luften som är kallare faller ner mot golvet. Under fallet mot golvet accelererar luftströmmen till hastigheter som kan ha en inverkan på den termiska komforten. Den värme som människorna avger leder till att även den luft som fallit ner till golvet och strömmar i anslutning till dem dras med av detta och förs upp mot taket. Situationen blir som sådan att luften först faller och sedan stiger, vilket bäst illustreras av Figureerna för detta.

I fallet med lågt inlopp sker ett liknande förlopp men luften från inloppet har då en tillräcklig hastighet rakt mot den motstående väggen för att inte stiga på samma sätt som i fallet med högt inlopp. Simuleringen visar att detta istället sker på ett sådant sätt att en avsaknad av luftströmning medförs i undre halvan av lägenheten för det fallet.

En anledning till att H/L var ett så fördelaktigt fall enligt Figur 5 och 6 är troligtvis att i dessa experiment genererades mer värme i lägenheten till följd av de avgränsningar som gjorts. Det vill säga att med både personbelastningen 5 personer och värmealstrande spis behöver lägenheten kylas av via ventilation och det är då fallet H/L ger längst luftväg och då är det bästa fallet.

Utifrån de givna egenskaperna för fallen är fortfarande det konventionella högt inlopp/högt utlopp det bästa. Eftersom det strävades efter ett bättre resultat i samtliga egenskapskategorier gjordes nästa jämförelse med 2 nya experiment. Dessa nya fall är en kombination av föregående experiment, men med två utlopp istället. Detta eftersom det strävades efter luftströmning i både övre och undre halvan av badrummet i badrummet. Luftrörelse ansågs även särskilt viktigt för just badrummet eftersom det är ett våtrum där mycket fukt bildas.

En annan intressant skillnad mellan fallen är att vissa har tydliga varmare skikt högst upp. Detta skulle kunna vara fördelaktigt ur en värmeåtervinningsaspekt på liknande sätt som deplacerande ventilation utgör. Problemet i detta är att människorna står still i detta modell-fall, vilket innebär att nyttan med den effekten kan avta i ett verkligt fall av personbelastning.

7.2 Jämförelse 2

Fallet där luften kommer in lågt men har två utlopp i badrummet speglas väldigt mycket i Jämförelse 1 angående luftströmmar, se Figurerna 5 och 6 för fallen med lågt inlopp. Vad gäller fallet där luften kommer in högt och har två utlopp, syns en markant skillnad gällande luftströmmarna in i badrummet. Det vill säga det råder en högre vertikal utbredning av luftströmmarna i hallen och badrummet, vilket var ett av de större problemen i Jämförelse 1. På grund av detta samt att den även har en bra temperaturfördelning i jämförelse med lågt inlopp, valdes detta experiment att gå vidare för att se effekten av ökat massflöde in i lägenheten. Anledningen till ökat massflöde är att temperaturer eventuellt kommer att bli jämnare, eftersom den rådande temperaturskillnaden i både Jämförelse 1 och 2 anses vara för stor.

7.3 Jämförelse 3

Undersöks temperaturskillnaden mellan Jämförelse 3 (se Figur 16) och de tidigare jämförelserna (se Figur 9, 14) kan slutsatsen dras att ökat flöde i lägenheten ger en jämnare temperatur. Dock är den nuvarande temperaturen i lägenheten en aning hög, och därför borde luften in vara lägre än nuvarande 21.5 grader C för att uppnå målet om en rumstemperatur omkring 21.5 grader C.

Utifrån de tidigare jämförelsernas respektive bilder kan en slutsats dras att ju högre massflöde som strömmar genom lägenheten, desto jämnare temperatur blir det i lägenheten. Detta resulterar även i ökad hastighet, som kan upplevas dragigt.

8 Slutsatser och framtida arbete

Att arbeta med denna typ av problem i ett CFD-program så som Star CCM+ gav stora möjligheter att testa olika varianter av ventilationssystem resultat man fick fram kunde visualiseras på ett tydligt och lättförståeligt sätt. För att göra fallen som testas mer verklighetstroga krävs mer arbete på flera punkter, men det väsentliga i detta läge är att även då många avgränsningar görs kan en bra uppskattning fås av resultatet. Simuleringarna ser både snygga och rimliga ut även utan någon djupare analys av dem och materialet bör med fördel kunna användas för att göra presentationer av ventilationslösningar intressant för en bred publik.

8.1 Icke-variabel ventilation

När det gäller sökandet efter en lämplig ventilationslösning för lägenheten kan viktiga resultat sammanfattas i några punkter.

- Ska studentlägenheten med de givna förhållandena uppnå målet med termisk komfort i form av låga lufthastigheter kan en låg placering av inloppet vara fördelaktigt. Detta för att undvika sådana höga hastigheter som uppkom vid luftens ras vid sängen.
- Ska en jämn temperatur i lägenheten uppnås, måste massflödet ökas för att minska temperaturskillnader, på bekostnad av ökade hastigheter.
- Ska den bästa möjliga utspridningen av luftströmningen uppnås för denna belastning i studentlägenheten ska inloppets placering vara högt.

Dessa punkter innebär att en avvägning mellan olika för och nackdelarna måste göras i någon mån. Sammanfattningsvis kan dock slutsatsen dras att fallet med högt inlopp och två utlopp i badrummet (både högt och lågt) var det fall av de testade som gav överlag bäst resultat för den specifika modellen och simuleringen.

8.2 Variabel ventilation

När det gäller sökandet efter en kombination för användning i variabla ventilationssystem bör först poängteras att resultatet i detta arbete delvis grundat sig på målet att skapa en så jämn temperatur som möjligt i hela lägenheten. Detta skapas främst genom omblandande ventilation. Alltså har fallen med tydliga varmare luftskikt i takhöjd ansetts som mindre fördelaktiga för den specifika situation som modellerats.

Om man fokuserar på fallen i Jämförelse 2 kan man se att fallet med lågt inlopp dels gav ett tydligt varmare skikt i övre delen av rummet och dels medförde mer luftrörelse i taknivå och mindre på lägre nivå. Detta fenomen ses även tydligt i fallet lågt inlopp och högt utlopp i Jämförelse 1. Fenomenet kan jämföras med hur deplacerande ventilation fungerar, vilket finns beskrivet i avsnitt 2.2.

När man inför aspekten av variabel ventilation bör man även komma ihåg att simuleringarna grundat sig på ett slags extremfall i form av personbelastning. Minskad personbelastning innebär mindre uppvärmning, och i detta simuleringsfall en lokal påverkan just där människorna är placerade. Simuleringarna visar att den varma luft som bildas vid människorna stiger uppåt och påverkar ventilationsmetoden nämnvärt. Bland annat gynnas de varma skikten i taknivå av detta vilket kan få situationen att mer se ut som deplacerande ventilation. Även luftströmmarnas utspridning samt temperaturfördelningarna för motsvarande fall visar karaktäristiska drag för deplacerande ventilation (se exempelvis Figur 14 för lågt inlopp). Fenomenet ses även tydligt i Figur 5 och 6 där inloppsluften hastighet är ännu lägre, vilket då i ännu större grad kan visa deplacerande effekt.

Temperaturskikten och luftspridningen är dock inget bevis på att ventilationen fungerar på ett deplacerande sätt. För att garantera ett deplacerande flöde, och skapa bästa förutsättningar för de fördelar som kan fås av en sådan ventilationsmetod, ska luften föras in ostört med låg hastighet för att successivt värmas upp längs med golvet och stiga genom naturlig konvektion. De människor som placerats i simuleringen skapar en störning av det ideala förloppet vilket kan minska fördelarna med ventilationsmetoden och även göra andra metoder mer lämpade.

I ett verkligt scenario skulle människorna antagligen även röra sig och förflytta sig i bostaden och ett extremfall av detta kan innebära väldigt mycket aktivitet och rörelse, exempelvis under en fest med dans etc. I ett sådant fall påverkar personbelastningen förloppet ännu mer då människornas rörelser även sätter luften i rörelse och skapar omblandning, och ju mer omblandning desto sämre fungerar deplacerade ventilation.

Effekterna av deplacerande ventilation kan alltså inte garanteras vid ökad personbelastning, och speciellt inte vid ökad aktivitetsnivå. Deplacerande ventilation skulle däremot kunna vara fördelaktigt om färre eller inga personer vistas i lägenheten, och speciellt vid låg eller ingen aktivitetsnivå. Detta eftersom ventilationsmetoden medför många fördelar och därmed bör utnyttjas i största möjliga mån.

De fall som skapar bästa förutsättningar för deplacerande effekt skulle därför kunna vara lämpliga för ett fall då ingen betydande personbelastning och rörelse sker. Den varmare luften i bostaden skulle alltid hamna i taknivå oavsett uppvärmningssituation men för att optimera det deplacerande förloppet skulle inloppsluftens temperatur och hastighet kunna styras beroende på situation.

Slutsatsen av detta är att det skulle vara fördelaktigt att kunna variera inloppsnivå, inloppshastighet och temperatur av inloppsluften beroende på aktivitetsnivå i bostaden. På natten är aktivitetsnivån obetydlig varför man då med fördel skulle kunna använda ett system med lågt inlopp där man tar in luft med låg hastighet och lägre temperatur och sedan tar ut den via ett högt utlopp. På så sätt skulle man dels kunna skapa en god luftkvalité på den nivå där man sover och dels kunna spara energi och återvinna värme effektivt. På motsvarande sätt kan detta användas då

ingen vistas i lägenheten då man eventuellt även kan sänka inloppsluftens temperatur ännu mer och samtidigt effektivt bidra till en god luftkvalité tills att de boende kommer hem igen.

Då aktivitet pågår i lägenheten får man dock i större grad förlita sig på omblandande ventilation. Då simuleringarna har gjorts med fast placering på människorna medförs att luftrörelser och ventilationens beteende i aktivitetsfall är omöjligt att förutsäga med de resultat som erhållits. Däremot kan människornas rörelser som tidigare nämnt förstöra den fördelaktiga skiktningen av frisk och förorenad luft i lägenheten som ges av deplacerande ventilation, och då inloppshastigheten även är låg leder situationen sannolikt i större grad till otillräckligt luftombyte i utrymmet. Utifrån resultaten kan man även bland annat se att luftspridningen i badrummet är begränsad till övre delen rummet då inloppet placeras lågt (se Figur 10 och 11) och på andra sätt motsvarande deplacerande ventilation. Detta kan innebära att fukt vid duschning inte ventileras ut lika bra som vid mer omblandande ventilation. Slutsatsen är att systeminställning för deplacerande ventilation inte är att föredra i ett fall då aktivitet pågår i bostaden, och att omblandande ventilation då kan behövas.

Sammanfattningsvis skulle en möjlig lämplig kombination för ett variabelt ventilationssystem innebära att man möjliggör växling mellan deplacerande och omblandande ventilation genom exempelvis två inlopp, varav ett är i golvnivå och ett i taknivå. Det kan även vara fördelaktigt att kunna växla mellan två utlopp på liknande sätt. De dubbla inloppen och utloppen skulle även kunna användas simultant, men resultaten i denna rapport visar endast på fördelen med att kunna göra detta för utloppet.

Med hänsyn taget till energimässiga och utrymmesmässiga aspekter bör följande konfiguration av ett variabelt ventilationssystem vara lämplig och tillräcklig för den specifika lägenhet som arbetet gäller:

Två inlopp (ett i taknivå och ett i golvnivå) med möjlighet att växla mellan dessa två, och två utlopp (ett i taknivå och ett i golvnivå). Inloppsluftens temperatur och inloppshastighet bör även kunna styras.

Det skulle alltså kunna vara fördelaktigt att vid variabel ventilation inte bara styra luftflödet utan även inloppets höjdnivå.

8.3 Brister i dagens regelverk

Som en slutsats av arbetet kan även nämnas att vissa delar av dagens regler inom området kan ifrågasättas. Dels är definitionen av vistelsezonen något som kan anses vilseledande, eftersom denna kan medföra att stora delar av de områden i rummet man vistas i hamnar utanför den definierade zonen (se avsnitt 2.3 för definitionen och jämför med bostaden som behandlas i denna rapport). Vidare kan det definierade luftflödet per person för vanliga bostäder anses vara för lågt, speciellt då förvärmad tilluft används. Det definierade värdet på 4 liter per sekund och person kan

jämföras med det värde på 7 liter per sekund och person som anges för samlings-salar och dylikt. Detta kan diskuteras eftersom även ännu högre luftflöden rekommenderas för vissa speciella avseenden, och då koldioxidhalten har en så tydlig påverkan på hjärnans prestationsförmåga. I en studentlägenhet och liknande kan detta vara av särskild betydelse eftersom hjärnan då bör ges möjlighet att fungera optimalt. Förslagsvis bör det rekommenderade luftflödet höjas och fokus istället läggas på sådant som att placera inlopp med större inloppsarea, med lämpliga inloppstemperaturer och på lämpliga ställen för att undvika aspekter av drag. Vidare bör energiaspekten tas i beaktande genom att använda variabel ventilation och i detta utnyttja fördelarna med deplacerande ventilation

8.4 Framtida arbete

Verifiering av resultatet bör göras med verkliga tester för att skapa välgrundat underlag. Eftersom simuleringarna i detta arbete gjorts för en slags ögonblicksbild av en boendesituation kan det dock även vara av betydelse att först kontrollera hur systemet fungerar vid andra vanliga boendesituationer. Exempelvis kan andra relevanta ögonblicksbilder undersökas med samma metod som använts i detta arbete.

Exakt hur det variabla system ska styras automatiskt med olika sensorer etcetera utelämnas i denna rapport och lämnas som en punkt för eventuellt fortsatt arbete gällande detta. Det kan även vara relevant att undersöka vidare huruvida fler än två nivåer för inloppet, och möjlighet till växling mellan dessa, kan medföra ett bättre resultat. Utifrån de resultat som erhållits dras även slutsatsen att den geometriska variabeln för utloppet är en variabel som kan vara givande att fokusera på vid fortsatt arbete med att hitta en ännu bättre ventilationslösning. Denna slutsats grundar sig på det resultat som erhöles av att ha två utlopp i badrummet, det vill säga då utloppen gavs en större spridning i rummet. Variabeln tycks inte ha någon negativ inverkan enligt jämförelserna utan ger endast en ökad utbredning av luftströmningen, vilket är att föredra. Rekommendationen benämns som den breda betydelsen av ”geometrisk variabel” eftersom resultaten tyder på att sådana typer av variationer ger skillnader. I vilken grad även andra liknande (geometriska) variationer av utloppen kan vara av betydelse för resultatet har dock inte vidare utretts i denna rapport och kan därför lämnas som ett eventuellt fortsatt arbete.

Då ingen fördjupad fysikalisk tolkning gjorts av resultatet i undersökningarna kan även en sådan fördjupad analys, med hjälp av teori inom strömningsmekanik och värmeöverföring, vara av betydelse. Det skulle kunna fungera som verifiering och för att eventuellt underlätta sökandet efter möjliga förbättringsområden.

9 Referenser

- (Haverinen-Shaughnessy U m.fl., 2010)** Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D. J., Shaughnessy, R. J., 2010, “*Association between substandard classroom ventilation rates and students’ academic achievement*”, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2010.00686.x/abstract;jsessionid=CF5715D629E85FB3E6F668DCF9A1171F.f02t01> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].
- (Nilsson, 2000)** Nilsson, P.-E., 2000, “*God inomhusmiljö*” <https://www.sp.se/sv/index/research/effektiv/publikationer/Documents/Temarapporter/Rapport%2000-02.pdf> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].
- (Kjaerboe, 2016)** Kjaerboe, P. T., Forskningsledare & handledare Kungliga Tekniska Högskolan, Möten 26/1-31/5-2016.
- (Svensk Ventilation, 2016)** Svensk Ventilation, S.V., 2016, “*Svensk Ventilation*”. <http://www.svenskventilation.se/ventilation/> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].
- (Thomson, 2016)** Thomson, P., Civilingenjör & Projektledare Stockholms stad, Möte 15/4 - 2016.
- (Cehlin, 2006)** Cehlin, M., 2006, “*Visualization of Airflow, Temperature and Concentration Indoors*”, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:10080/FULLTEXT01.pdf> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].
- (Den Hartog, 2004)** Den Hartog, J.P., 2004, “*Designing indoor climate*”, <http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:26d7865f-3a1d-4e38-b9c8-072d4f59417e/?collection=research> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].
- (Cengel m.fl., 2015)** Cengel, Y. A., Ghajar, A. J., 2015. “*Heat and Mass Transfer: Fundamentals and applications*”, 5 upplagan, ISBN-13: 978-0073398181.
- (FoHMFS, 2014)** Folkhälsomyndigheten, FoHMFS, 2014, “*Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*” - *FoHMFS 2014:17*, <http://www.folkhalsomyndigheten.se/documents/publicerat-material/foreskrifter1/fohmfs-2014-17.pdf> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].
- (Boverket, 2011)** Boverket, B., 2011, “*Boverkets Författningssamling*”, <https://rinfo.boverket.se/BBR%5CPDF%5CBFS2011-6-BBR18.pdf> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].
- (SMHI, 2016)** Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI, 2015, “*Årsmedeltemperatur*”, <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?month=13&par=tmpYr> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].

(Energifönster, 2016) Energifönster, EQ., 2016, "*Vad säger etiketten?*", <http://www.energifonster.nu/sv/fakta/vad-sager-etiketten.aspx> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].

(Träguiden, 2016) Träguiden, T.G., 2003, "*Ytterväggar*", <http://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/vaggar/yttervaggar/> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].

(Symscape, 2016) Symscape, S., 2013, "*Polyhedral, Tetrahedral, and Hexahedral Mesh Comparison*", <http://www.symscape.com/polyhedral-tetrahedral-hexahedral-mesh-comparison> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].

(Fakhari, 2016) Fakhari, R., Forskare & Examinator CFD Kungliga Tekniska Högskolan, Möte 30/3-2016

(NASA, 2016) National Aeronautics and Space Administration, NASA, 2016, "*Reynolds Number*", <http://www.grc.nasa.gov/WWW/BGH/reynolds.html> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].

(Engineeringtoolbox, 2016) The Engineering Toolbox, T. E. T., 2016, "*Dry Air Properties*" / "*Hydraulic Diameter*", <http://www.engineeringtoolbox.com/> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].

(CFD-Online, 2016) CFD-Online, CFD, 2016, "*Turbulence intensity*" / "*Hydraulic diameter*" <http://www.cfd-online.com/Wiki/> [Åtkomst verifierad 12/6-2016].

Bilaga 1 - Beräkningar för gränsvillkor

Inlopp och utlopp

För att definiera turbulensen för inloppet behövs två parametrar: turbulensintensitet och turbulent längdskala. För att bestämma dessa värden måste först Reynolds tal, Re , beräknas.

Reynolds tal beräknas utifrån ekvationen:

$$Re = \frac{D_h * u}{\nu} \text{ (NASA, 2016)}$$

u = {hastighet inlopp} = 0.075-0.2 m/s

ν = {kinematisk viskositet} = vid 275 K $1.343 * 10^{-5}$ (Engineeringtoolbox, 2016)

ν = {kinematisk viskositet} = vid 300 K $1.568 * 10^{-5}$ (Engineeringtoolbox, 2016)

ν = {kinematisk viskositet} = vid 325 K $1.807 * 10^{-5}$ (Engineeringtoolbox, 2016)

Utifrån dessa kinematiska viskositeter och temperaturer skapades en linjär interpolation för att bestämma viskositeten utifrån en given temperatur. Resultatet av interpolation: $\nu = (0.0093 * K - 1.2113) * 10^{-5}$

Hydrauliska diametern, D_h , definieras enligt följande för en kvadrat:

$$D_h = \frac{4ab}{2a+2b} \text{ (Engineeringtoolbox, 2016)}$$

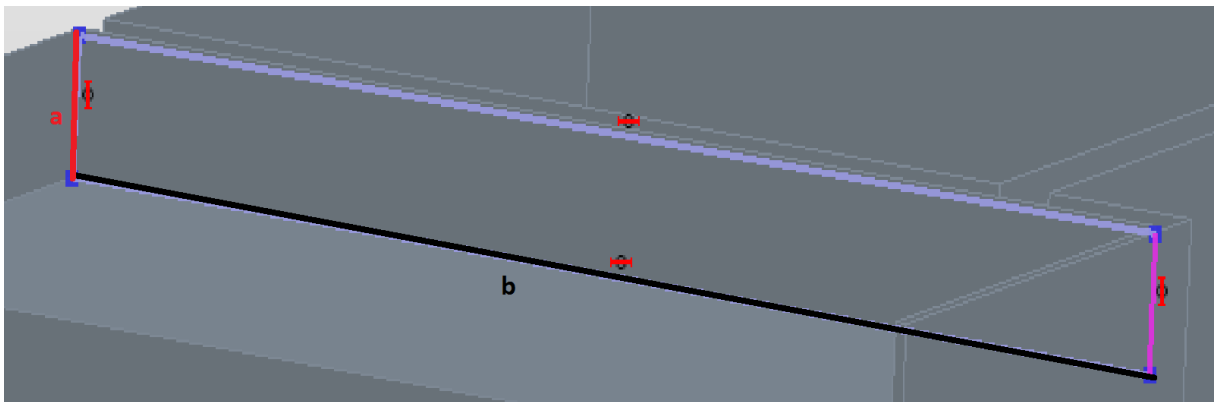
Där:

a = inloppets höjd (samma för båda uppe o nere) = 0.19m

b = inloppets bredd (samma för båda uppe o nere) = 2.05m

Dessa två längder ger den hydrauliska diametern, $D_h = 0.3478$

Se Figur B1,1, för förtydligande av inloppets utseende.



Figur B1,1. Inloppets övre placerings utseende.

Den hydrauliska diametern definieras för en cirkel enligt följande:

$$D_h = D \text{ (Engineeringtoolbox, 2016)}$$

Där D, är den vanliga diametern.

Med hjälp av alla beräknade parametrar från Engineeringtoolbox, kan Reynolds tal beräknas enligt den första ekvationen.

Den turbulenta intensiteten beräknas sedan med hjälp av formeln:

$$I=0.16*Re^{-1/8} \text{ (CFD-Online, 2016)}$$

Även den turbulenta längd skalan kan beräknas när den hydrauliska diametern är bestämd genom ekvation:

$$l=0.07*D_h \text{ (CFD-Online, 2016)}$$

Fönster och yttervägg

För fönster och ytterväggen - gränsvillkor behövs heat flux beräknas, det vill säga W/m^2 som är värmeförluster.

För en nybyggd yttervägg, som är ett förtillverkad väggelement, så är u-värdet cirka $0.25 W/m^2$ (Träguiden, 2016).

Ett nytt fönster med energiklass A, vilket troligtvis kommer användas vid byggnationen av dessa lägenheter, har ett u-värde om minst $0.9 W/m^2$ (Energifönster, 2016).

Gällande innertemperatur så är medelvärde av det rekommenderade temperaturintervallet 21,5 grader Celsius (FoHMFS, 2014). Medan årsmedel temperaturen för Stockholm är cirka 8 grader Celsius (SMHI, 2016). Vilket ger en temperaturdifferens om 13,5 Celsius.

U-värdet multipliceras med u-värdet för de bägge fallen för att få heat flux värdena.

$$\text{Heat flux Yttervägg}=3,375 W/m^2$$

$$\text{Heat flux Fönster}=12.15 W/m^2$$

Heat flux värdena får ett negativt värde i gränsvillkoren, eftersom värme transporteras från varmt till kallt.

Bilaga 2 – 2 D CAD ritning

