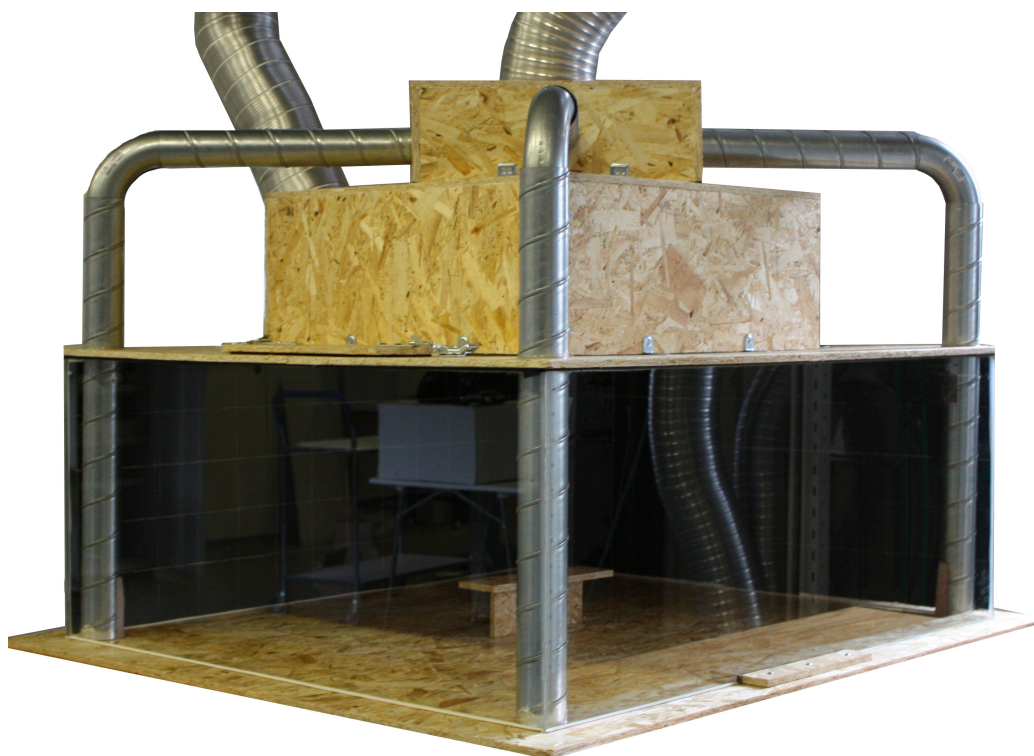




Luftföring i operationsrum

-Visualisering av olika luftförlingsprinciper i modellskala

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

LINUS APPELGREN
HENRIK ERLANDSSON

Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för Installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012
Kandidatarbete ENMX02-12-13

Luftföring i operationsrum
Visualisering av olika luftföringsprinciper i modellskala

Airflow in operating theatres
Visualization of different air distribution principles in model scale

LINUS APPELGREN, 1990
HENRIK ERLANDSSON, 1987

© LINUS APPELGREN, HENRIK ERLANDSSON 2012

Kandidatarbete ENMX02-12-13
Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Tel. 031-772 10 00

Omslag:
Foto på modellen som använts vid laborationsförsök taget av Henrik Erlandsson 2012

Förord

Detta kandidatarbete omfattar 15 högskolepoäng och ingår i civilingenjörsutbildningen för Väg- och Vattenbyggnad 300 hp, vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Arbetet är utfört på Institutionen för Energi och Miljö, avdelningen för installationsteknik.

Vår förhoppning är att denna rapport ska ge läsaren en bättre förståelse för hur luften rör sig vid olika ventilationsprinciper i ett operationsrum.

Tack

Vi vill inleda rapporten med att tacka alla inblandade personer på institutionen för Energi och Miljö. Ett speciellt tack till Jan Gustén och Håkan Larsson som genom ett stort engagemang och skicklig vägledning har bidragit till slutresultatet.

Vi vill även rikta ett stort tack till Anders Rehn, CRC Medical, vars bidrag, information och erfarenhet gjort laborationsförsöket möjligt.

Linus Appelgren och Henrik Erlandsson
Göteborg, maj 2012.

Sammanfattning

Kandidatarbetet har som syfte att med hjälp av en fysisk modell, utformad för att på ett enkelt sätt, kunna visualisera och dokumentera luftrörelserna i ett operationsrum med olika ventilationsprinciper, konfigurering av frånluft och lufthastigheter. Modellen och dokumentationen ska kunna användas i utbildningssyfte och vara enkel att använda.

Undersökningen baseras på de två vanligaste luftföringsprinciperna som idag används i operationsrum. Den första är så kallad undanträngande deplacerande ventilation där tilluften tillförs i låg hastighet längs golvet. Den andra principen är parallellströmning med vertikalt laminärt luftflöde där luften pressas likt en kolv från tak till golv.

Modellen av operationsrummet skapas efter förutsättningar hämtade från en litteraturstudie som resulterat i val av storlek, utformning, skalfaktor på modellen, ventilationsprinciper och luftflöden. I den färdigutvecklade och funktionsdugliga modellen visualiseras luftrörelserna med hjälp av rök som tillförs luften samtidigt som förloppet filmas.

Försöksserien med vertikal parallellströmning ger ett resultat av luftrörelser som ser snarlikt ut för de olika testade hastigheterna på tilluften. Luften pressas ner över operationsbordet och bildar en steril zon i form av en cylinder runt omkring och över bordet. Mellan ytterkant av den sterila zonen och väggarna ackumuleras röken i virvlar.

Försöken med undanträngande deplacerande ventilation ger en bild över luftrörelser som sprider sig från donen i hörnen mot operationsbordet via golvet, för att sedan stiga i ett mer turbulent rörelsemönster upp mot frånluftsdonet i taket.

Visualiseringen av dem två luftföringsprinciperna i modellen leder till att följande slutsatser kan dras:

Modellen lämpar sig för att visualisera luftrörelserna som uppstår vid principen med vertikal parallellströmning. För att visualiseringen av luftrörelserna med deplacerande ventilation ska bli mer verklighetstroga bör försök där hastigheten sänks, tilluften undertempereras och värmekällor placeras i rummet utföras.

Modellen kan på ett enkelt och lättförståeligt sätt användas för att visualisera luftrörelserna i ett operationsrum. Modellen kan till exempel användas för att ge sjukhuspersonal en bättre bild av hur viktig ventilationens funktion är vid infektionsskänliga operationer.

Virvlar i luftströmmen är ett problem vid samtliga försök. Tendenser till mindre virvelbildningar har uppfattats vid högre lufthastigheter och med delvis frånluft i takhöjd. För att reda ut virvlarnas inverkan på skyddsventilationen krävs fler studier med fokus just på detta.

Genom fortsatt utveckling av modellen kan den på ett mer verklighetstroget sätt användas för att visualisera luftrörelser i ett operationsrum.

Abstract

This bachelor thesis has the purpose to visualize and document the air movements provided by different ventilation principles in an operating theatre. The visualization will be made as simple as possible in a physical model. The model and the documentation should be able to use in educational purposes.

The study is based on the two most common systems for airflow, currently used in operating theatres. The first principle is displacement ventilation in which the air is supplied at low velocity along the floor. The second principle is vertical parallel laminar airflow in which the air is compressed like a piston from ceiling to the floor.

A review of literature resulted in the choice of size, design, and scale factor for the model, as well as choices of ventilation principles and airflows. When the model was completely built and ready to use the air movement were made visible with smoke. The visualization of the air movements was documented with videos.

The series of experiments with vertical parallel airflow give a result of air movements, which looks reasonably the same for the different tested velocities of the supply air. The air is forced down over the operating table, and forming a sterile zone, obtaining the form of a cylinder around and over the table. Between the outer edge of the sterile zone and the walls the smoke accumulates in air eddies.

The experiments with displacement ventilation provides a visualization of the air movements that spreads from the diffusers in the corners to the operating table via the floor, and then rise in a more turbulent pattern of movement towards the exhaust diffuser in the ceiling.

The visualization of the two air supply principles in the model leads to the following conclusions:

The model is suitable to visualize the air movement arising from the principle of vertical parallel airflow. The visualization of air movements with displacement ventilation will be more realistic if the experiments were made with lowered velocity of the supply air, if the supply air is colder than the air in the operating theatre and if heat sources are placed in the room.

The model can be easily understood and used to visualize air movements in an operating theatre. The model can be used to give hospital staff a better idea of the importance of the ventilation in operation theatres.

Eddies in the air movements are a problem in all experiments. Less eddies are detected at higher air velocities and with partial exhaust at roof height. To sort out what impact eddies have on protection ventilation requires more studies focusing on this factor.

A continued development of the model will make the visualizations of the air movements in the model more realistic.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Avgränsning	1
1.3 Metod	1
1.4 Läsanvisningar	2
2 Ventilation – Ingående komponenter och luftföringsprinciper	3
2.1 Tekniska komponenter	3
2.1.1 Uteluftsintag	3
2.1.2 Spjäll	3
2.1.3 Luftfilter	4
2.1.4 Luftvärmare	4
2.1.5 Luftkylare	4
2.1.6 Fläktar	4
2.1.7 Värmeåtervinnare	4
2.1.8 Ljuddämpare	4
2.1.9 Avfuktare	4
2.1.10 Fuktare	5
2.1.11 Tilluftsdon	5
2.1.12 Frånluftsdon	5
2.2 Luftföringsprinciper	5
2.2.1 Deplacerande ventilation	5
2.2.2 Parallellströmning	6
2.2.3 Omblandande ventilation	8
3 Skyddsventilation	9
3.1 Renrum	9
3.2 Utsug	9
3.2.1 Infångande utsug	9
3.2.2 Omslutande utsug	9
4 Operationsrummets förutsättningar	10
4.1 Postoperativa infektioner	10
4.1.1 Smittspridning under operation	10
4.1.2 Rekommendationer och regler för att undvika infektioner	10
4.3 Systemuppbyggnad för operationsrum med vertikal parallellströmning	11
4.3.1 Tilluftsdon	11
4.3.2 Frånluftsdon	11
4.3.3 Recirkulationssystem	12
5 Laborationsförsök	13
5.1 Systemuppbyggnad	13
5.1.1 Modellen	13
5.1.2 Operationssalen	13
5.1.3 Fläktar	14
5.1.4 Uppbyggnad av operationsrumstak för laminär luftströmning	14
5.1.5 Tilluftsdon – Deplacerande ventilation	15

5.2 Visualisering	16
5.3 Metod	16
5.3.1 Referensförsök	16
5.3.2 Vertikal parallellströmning	16
5.3.3 Deplacerande ventilation	16
5.3.4 Rökfyllt rum	17
5.3.5 Mätvärden	17
6 Resultat	18
6.1 Referensförsök – Utan ventilation	18
6.2 Vertikal parallellströmning	19
6.2.1 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,2 m/s	19
6.2.2 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,3 m/s	20
6.2.3 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,4 m/s	21
6.2.4 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,5 m/s	22
6.2.5 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,2 m/s	23
6.2.6 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,3 m/s	24
6.2.7 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,4 m/s	25
6.2.8 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,5 m/s	26
6.2.9 Frånluftsdonet i takhöjd halvt övertäckt	26
6.2.10 Försök med rökfyllt rum	26
6.3 Deplacerande ventilation	28
6.3.1 Utspridning av rök vid tilluftsdon	28
6.3.2 Utspridning av rök vid operationsbordet	29
6.3.3 Utspridning av rök mellan tilluftsdonet och operationsbordet	29
6.3.4 Försök med rökfyllt rum	29
7 Diskussion	31
7.1 Vertikal parallellströmning	31
7.1.1 Virvlar	31
7.1.2 Hastighet	31
7.1.3 Felkällor	31
7.2 Deplacerande ventilation	32
7.3 Verklighetsanknytning	32
7.4 Ventilationens inverkan på infektionsrisken	32
7.5 Vidare arbete	33
7.5.1 Utrustning	33
7.5.2 Termiska effekter	33
7.5.3 Frånluft vid vertikal parallellströmning	33
7.5.4 Undertempererad tilluft	33
8 Slutsatser	34
Litteraturförteckning	35
Bilaga 1 Videofilmer från laborationsförsök	

1 Inledning

Ett stort problem inom sjukvården är risken för infektioner under och efter en omfattande operation. En av anledningarna till problemet är dålig luftkvalitet och felaktig ventilation, vilket resulterar i att partiklar och bakterier sprids på ett okontrollerat sätt.

Ventilationen i operationsrum måste utformas noggrant för att undvika den ovannämnda infektionsrisken. Tidigare forskning inom området skyddsventilation har lett fram till rekommenderade ventilationsprinciper, flöden och luftrening. Rekommendationerna är baserade på tester och teorier om luftens rörelse. I detta projekt ska lufttrörelserna studeras och visualiseras i modellskala för att lättare få en förståelse för inverkan av val av luftföringsprincip.

1.1 Syfte

Syftet med projektet är att med hjälp av en fysisk modell, utformad för att på ett enkelt sätt, kunna visualisera och dokumentera lufttrörelserna i ett operationsrum med olika ventilationsprinciper, konfigurerings av frånluft och lufthastigheter. Modellen och dokumentationen ska kunna användas i utbildningssyfte och vara enkel att använda.

1.2 Avgränsning

Projektet är begränsat till att undersöka luftens rörelser i operationsrum påverkat enbart av ventilationen, inte på grund ut av termiska effekter.

Det finns olika typer, utformning och storlek på operationsrum, dock kommer projektet att begränsas till att undersöka ett "modernt" operationsrum, vilket är något större än genomsnittet. Undersökningen baseras på de två vanligaste luftföringsprinciperna som idag används i operationsrum. Det första är så kallad undanträngande deplacerande ventilation, där tilluften tillförs med låg hastighet längs golvet. Den andra principen är parallellströmning med vertikalt laminärt luftflöde, där luften pressas likt en kolv från tak till golv.

1.3 Metod

Modellen av operationsrummet skapas efter förutsättningar hämtade från en litteraturstudie som resulterat i val av storlek, utformning, skalfaktor på modellen, ventilationsprinciper och luftflöden. Material till litteraturstudien hämtas främst från tekniska rapporter, artiklar och bygghandlingar.

Då modellen är färdigutvecklad och funktionsduglig kommer lufttrörelserna dokumenteras och visualiseras med hjälp av rök som tillförs luften samtidigt som förloppet filmas. Efter tester och visualisering kan med hjälp av resultatanalys slutsatser dras.

1.4 Läsanvisningar

Rapporten inleds med kapitel 2 där tekniska komponenter och olika luftföringsprinciper beskrivs. I kapitel 3 beskrivs begreppet skyddsventilation och dess användningsområden. Kapitel 4 behandlar operationsrummets förutsättningar med avseende på smittorisk, regler och rekommendationer samt systemtekniska lösningar för operationsrum med parallellströmningstak. Uppbyggnaden av modellen till laborationsförsöket samt resultatet från detta redovisas i kapitel 5 och 6 för att sedan analyseras och diskuteras i kapitel 7. I kapitel 8 dras slutligen slutsatser utifrån resultat och diskussion.

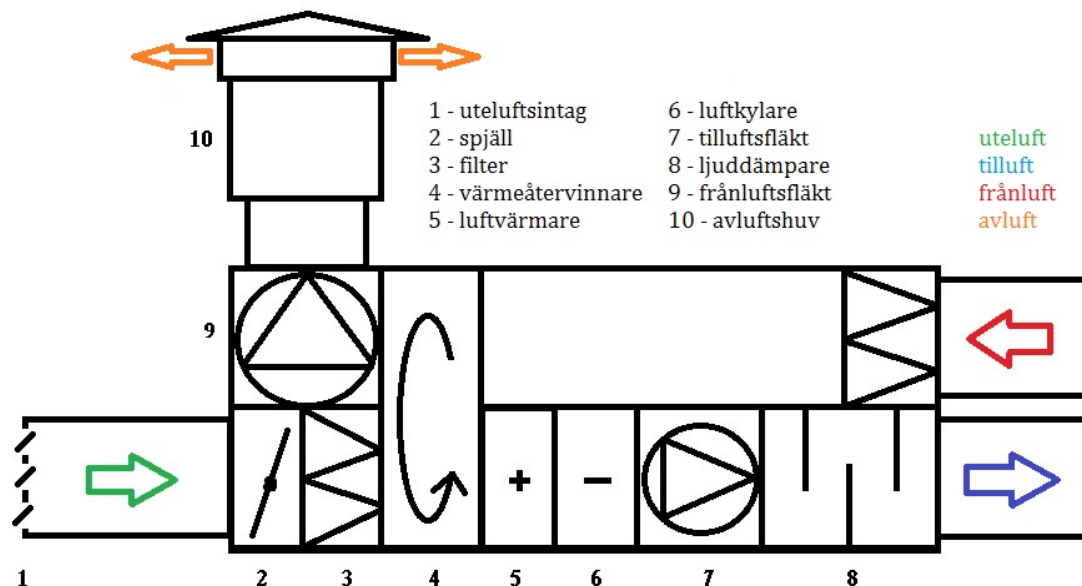
Kapitel 2-4 kan ses som en introduktion till ämnet med grundläggande teori och riktar sig till den som är mindre insatt i ämnet. I Kapitel 5-8 läggs fokus på laborationsförsöket vilket utgör rapportens tyngdpunkt.

2 Ventilation – Ingående komponenter och luftförlingsprinciper

I följande kapitel kommer komponenter som ingår i ventilationssystem samt olika luftförlingsprinciper som används i operationsrum att beskrivas.

2.1 Tekniska komponenter

De komponenter som används i ett ventilationssystem beror på verksamheten som ska bedrivas i byggnaden. Olika typer av verksamheter har olika krav på till exempel luftkvalitet och temperatur. Kapitlet kommer ta upp de vanliga komponenter som luften passerar på sin väg genom byggnaden, det vill säga vilka komponenter som kan ingå i ett ventilationssystem. En principskiss på hur ett luftbehandlingssystem samt hur ingående komponenter kan se ut visas i figur 1 nedan.



Figur 1. Principskiss på hur ett luftbehandlingssystem samt hur ingående komponenter kan se ut.

2.1.1 Uteluftsintag

Den första komponenten i ventilationssystemet är uteluftsintaget som fungerar som en första rening av luften. Placeringen av intaget spelar stor roll för luftkvaliteten. Det gäller att undvika placeringar där det finns risk att dra in redan förorenad luft. Det ska även ses till att regn och vatten inte kommer in i systemet. Komponenten kan vara utformad som ett galler på väggen eller som en huv placerad på taket.

2.1.2 Spjäll

Spjäll finns i olika typer och har också olika funktion. Ett intagsspjäll förhindrar uteluft från att komma in i systemet när fläktarna är avstängda. För att fördela luftflöden på rätt sätt i ett system finns injusteringspjäll som stryker luftflödet i vissa delar för att skapa rätt balans. Brandspjäll stänger av luftflödet vid brand och förhindrar på så vis att branden sprids via kanalerna till andra delar av byggnaden.

2.1.3 Luftfilter

För att hålla en god luftkvalitet krävs att luften filtreras med hjälp av luftfilter. Utformningen av dessa varierar beroende på vilken typ av föroreningar de ska rena och hur höga krav som ställs på luftkvalitén. Filtren ska inte enbart se till att luften renas, utan även för att skydda känslig utrustning i systemet, så som värmeväxlare, luftvärmare och luftkylare.

2.1.4 Luftvärmare

För att värma luften till önskvärd temperatur används luftvärmare. Den vanligaste typen av luftvärmare är vattenburen. Med en vattenburen luftvärmare värms luften genom att den passerar genom lameller som genomströmmas av varmvattenslingor. Genom att ha många lameller placerade tätt intill varandra kan temperaturen på luften höjas avsevärt. Luften kan även värmas upp med hjälp av luftvärmare med elslingor.

2.1.5 Luftkylare

Behov av att kyla luften finns precis som att värma den, därför finns det oftast en luftkylare installerad i systemet. Denna är utformad på samma sätt som en vattenburen luftvärmare, men med en lägre temperaturnivå än luftens. Vattentemperaturen är vanligtvis så låg att kondens bildas och därför är det viktigt att kylaren förses med ett avrinningssystem för kondensvattnet. Luftkylare avfuktar av ovan nämnd orsak även luften.

2.1.6 Fläktar

En fläkt har som funktion att upprätthålla det tryck och luftflöde som behövs i systemet. Antalet fläktar beror på vad för ventilationssystem som används. Fläktarna kan vara utformade efter tre olika principer: axial-, radial- och kammarfläkt.

2.1.7 Värmeåtervinnare

Frånluften från byggnaden kan blåsas rakt ut ur byggnaden, men de flesta system idag har en värmeåtervinnare som kan ta tillvara på värmen i frånluften. Att ha en värmeåtervinnare i systemet kan spara mycket tillförd energi, som annars hade krävts för att värma luften. De vanligaste typerna är roterande värmeväxlare, vätskekopplade batterier och plattvärmeväxlare.

2.1.8 Ljuddämpare

För att undvika att ljud sprids i kanalerna finns ljuddämpare i systemen. Fläktarna är en av de komponenter som skapar mest ljud, och därför brukar ljuddämpare vara placerade i direkt anslutning till dessa för att reducera ljudnivån. Ljuddämpare placeras också ofta vid don för att dämpa ljudet som uppkommer i ventilationskanalerna på grund av turbulens och på så sätt dämpa ljudet innan det går in i rummet.

2.1.9 Avfuktare

Om krav på luftfuktighet ställs i verksamheten kan luften behövas fuktas eller avfuktas. För att avfukta luften låter man den passera en luftkylare vars ytemperatur är lägre än luftens daggpunktstemperatur. På så sätt kondenserar fukt från luften på ytorna som sedan leds bort. Därefter kan luften värmas till önskad temperatur. En annan metod är att låta luften passera en yta med kemisk beläggning som kan binda till sig fukten i tilluften och avge den till frånluften. Denna fungerar i princip som en roterande värmeväxlare.

2.1.10 Fuktare

Det är ovanligare att fukta luft, men om verksamheten kräver fuktig luft går detta att lösa med en fuktare. Luften kan antingen fuktas genom att vatten pressas genom dysor så att vattnet finfördelas eller genom kontaktbefuktning där luften passerar en fuktig yta och på så sätt befuktas.

2.1.11 Tilluftsdon

Tilluftsdonet är den komponent som förser ett rum med dess tilluft. utformningen av donen varierar kraftigt beroende på luftföringsprincip, luftflöden med mera. Donens placering i rummet beror likväl på vad för ventilationsprincip som används. Det är viktigt att tilluftsdonet inte placeras så att personer i rummet kan uppleva drag från ventilationen. Placeringen är också avgörande för att ventilationen ska fungera korrekt.

2.1.12 Frånluftsdon

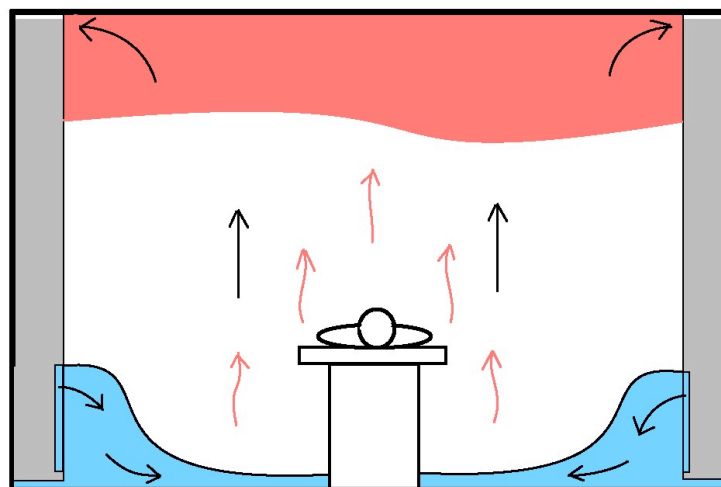
Frånluftsdonet har som uppgift att föra bort förorenad luft från rummet. Utformningen av frånluftsdon är inte lika känslig som ett tilluftsdon. Frånluftsdon åstadkommer normalt inga komfortproblem, även vid stora flöden, då sugeffekten som uppstår inte upplevs som störande på samma sätt som ett drag från ett tilluftsdon. Donens placering är viktig för att ventilationen ska ge önskad effekt.

2.2 Luftföringsprinciper

I det följande kapitlet kommer olika luftföringsprinciper att beskrivas. Det finns totalt tre olika principer som används i operationsrum; deplacerande ventilation, parallellströmning samt omblandande ventilation, där de två första är de vanligaste. Det är också för att det är de två vanligaste som vi har valt att försöka visualisera just dessa principer i vårt arbete.

2.2.1 Deplacerande ventilation

Deplacerande ventilation fungerar genom att undertempererad luft tillförs i låg hastighet längs golvet. Luften flyter ut över golvet i rummet där den kommer i kontakt med varma ytor och på så sätt värms upp. När den kalla luften värms upp får termiska krafter, på grund av densitetsskillnader på varm och kall luft, luften att stiga mot taket där den pressas ut genom frånluftskanaler. Detta illustreras i figur 2 nedan. (Lindström & Sundin, 2005)



Figur 2. Illustration av luft rörelser vid deplacerande ventilation.

Med den uppåtriktade luftströmmen förs diverse föroreningar med och samlas då i rummets övre del. Detta ger upphov till att två zoner i rummets höjdd bildas, en övre zon med mer förorenad luft och en nedre zon med renare luft. Gränsen mellan zonerna vill man i ett operationsrum hålla så högt upp som möjlig och gärna över andningszonen då minst föroreningar kommer i kontakt med patienten på detta sätt. En nackdel med deplacerande ventilation i operationsrum är att luften som strömmar ut över golvet kan föra med sig bakterier och partiklar upp över patienten. (Lindström & Sundin, 2005)

Deplacerande don är ofta relativt stora eftersom luft hastigheten måste hållas låg, då det annars finns stor risk för drag. Detta innebär också goda förutsättningar att tillföra stora luftflöden. En vanlig typ av deplacerande don visas i figur 3.



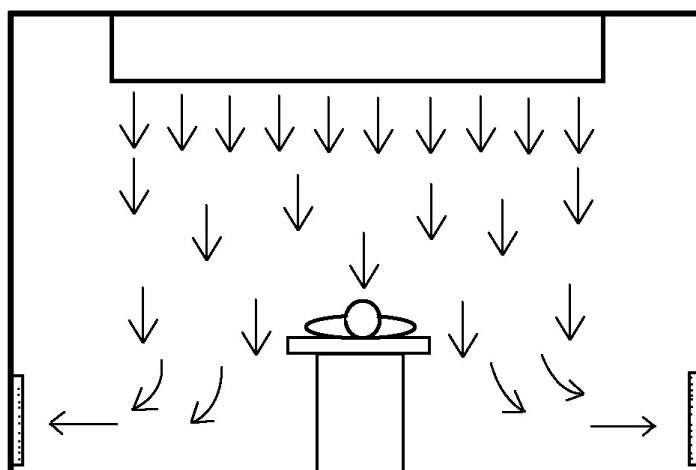
Figur 3. Tilluftsdon för deplacerande ventilation

Denna typ av ventilation är relativt störningskänslig vid fysiska aktiviteter på grund av den låga tilluftshastigheten vilket kan ge både en mekanisk störning av luftströmmarna samtidigt som det bidrar till värmeutveckling, som i sin tur stör den termiska lufrörelsen. Enligt tidigare studier har det påvisats att vid fysisk rörelse i ett operationsrum antar luften en omblandande strömningsform vid deplacerande ventilation. (Nordenadler, 2010)

2.2.2 Parallellströmning

Parallellströmning används då det ställs höga krav på luftkvalitet, till exempel i renrum för känsliga laboratoriearbeten och operationsrum för operationer med hög infektionsrisk. (Sundbeck & Värmsjö, 2005)

Principen kan liknas vid att en kolv av luft förs genom rummet, antingen vertikalt eller horisontellt, och tar med sig föroreningar samtidigt som det pressas in ren luft (Sundbeck & Värmsjö, 2005). För att uppnå denna typ av strömning krävs det stora mängder luft med hastigheter mellan 0,2 - 0,5 m/s beroende på systemets uppbyggnad. Principen där luften pressas genom rummet vertikalt från tak till golv visas i figur 4. (Lindström & Sundin, 2005)



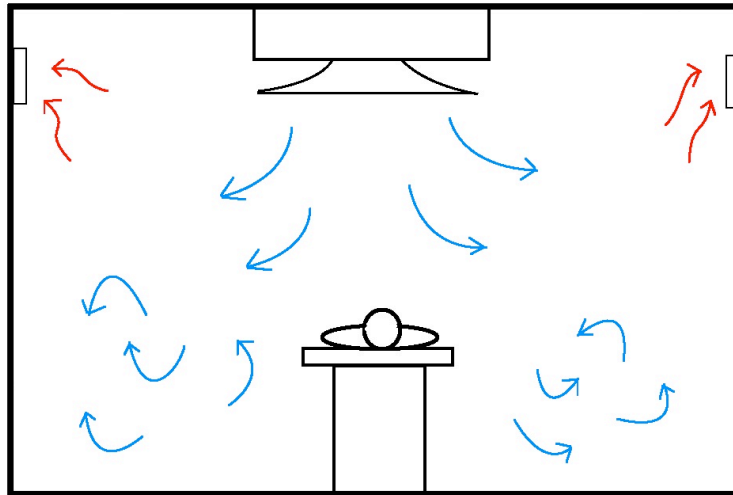
Figur 4. Illustration av luft rörelser vid vertikal parallellströmning.

I ett operationsrum är parallellströmning vertikalt från tak till golv att föredra då ren luft trycks ner över patienten och för med sig föroreningar ut i höjd med golvet. Den största risken att störa denna strömningsbild är då lampor eller annan utrustning placeras ovanför patienten som kan orsaka virvlar och lägre lufthastighet i området över patienten. Även fysisk aktivitet och rörelse i rummet stör strömningsbilden, men på grund av den höga lufthastigheten är dessa störningar små. (Nordenadler, 2010)

Idag installeras vanligen system med vertikal parallellströmning vid nybyggnationer av operationsrum. Systemet är uppbyggt kring det speciella undertaket där tilluften pressas genom ett material som har till uppgift att fördela luften jämnt och skapa ett laminärt luftflöde. Tidigare har takens material främst bestått av en perforerad plåt med små hål i. För att få denna typ av konstruktion att fungera krävs att luftstrålen riktas med hjälp av ett nedhäng längs med undertakets sidor. Idag byggs undertaken nästan uteslutande med speciella fördelningsdukar som, enligt tillverkarna, skapar ett stabilt laminärt luftflöde utan de nedhängande sidorna. De nya fördelningsdukarna ger också möjligheten att montera in belysning i undertaket då de är ljusgenomsläppliga. Den nedåtriktade luft rörelsen förstärks ofta genom att undertemperera tilluften (Sundbeck & Värmsjö, 2005).

2.2.3 Omblandande ventilation

Vid omblandande ventilation tillförs luften oftast i takhöjd med en relativt hög hastighet. Tilluftsdonen är konstruerade på ett sådant sätt att luften tillförs med en turbulent luftström, vilket gör att luften i rummet blandas på ett effektivt sätt. På grund av den kraftiga omblandningen hålls både temperaturvariationer små och luftföroreningar jämt spridda i hela rummet. Till följd av detta späds luftföroreningarna succesivt ut. Principen visas i figur 5.



Figur 5. Illustration av lufrörelser vid omblandande ventilation.

Operationsrum projekteras normalt inte utifrån principen med omblandande ventilation på grund av den jämnt utspridda föroreningshalten den ger upphov till. Istället väljs antingen parallellströmning eller deplacerande ventilation då de båda skapar en mer eller mindre ren zon kring patienten.

En stor fördel med omblandande ventilation är att temperaturskillnader i rummet blir väldigt små även om undertempererad luft med relativt hög hastighet tillförs. Detta gör också att man får en hög upplevd komfort i rummet. En annan fördel med systemet är att luftströmmen inte är speciellt känslig för varken termiska eller fysiska störningar.

3 Skyddsventilation

Vid utformning av ventilationssystem i en normal lokal så som kontor, skolor och bostäder är det viktigaste att uppnå ett komfortabelt klimat samtidigt som luftföroreningarna ska hållas på en acceptabel nivå. Denna typ av ventilation benämns oftast som komfortventilation. I ett operationsrum utformas ventilationssystemet i första hand för att skydda patienten mot luftburna föroreningar och i andra hand för att uppfylla ett komfortabelt klimat för patient och sjukvårdspersonalen. Det är denna typ av ventilation som här kallas skyddsventilation.

Skyddsventilation används inte bara i operationsrum utan på många olika platser med olika förutsättningar och krav. Nedan beskrivs renrum och punktutsug, vilket precis som ventilation i operationsrum är typer av skyddsventilation.

3.1 Renrum

Ett renrum är per definition ett rum där föroreningar i form av partiklar är kontrollerat på ett sådant sätt att tillförsel, alstring och kvarhållning av partiklar görs minimal. Många verksamheter kan också behöva kontrollerad temperatur, tryck och luftfuktighet. I ISO 14644-1 definieras renrumsstandarden med klasserna 1-9 där klass 1 är renast. Klasserna är indelade med hänsyn till antalet partiklar och storleken på dessa som får finnas i rummet (ISO, 1999). Renrum används för flera olika verksamheter så som vid tillverkning av läkemedel, elektronik, kemikalier och optik.

Det finns två olika sätt att ventilerat ett renrum. Det första genom omblandande ventilation, som har beskrivits i kapitel 2, där man helt förlitar sig på utspädningsprincipen. Principen bygger på att föroreningarna i rummet succesivt späds ut genom att tillföra ren luft kontinuerligt. Det andra sättet att ventilerat renrummet på är med parallellströmning, även detta beskrivet i kapitel 2.

3.2 Utsug

Vid arbeten eller processer där föroreningar sprids i hög koncentration kan det vara en god idé att komplettera ventilationen med ett punktutsug för att begränsa spridningen. Denna åtgärd är oftast mycket kostnads- och energieffektiv om det jämförs med fallet då den primära ventilationen skulle ta hand om alla föroreningar. Punktutsugets effektivitet blir högre ju bättre det innesluter föroreningskällan, ju högre hastighet och luftflöde utsuget har samt ju närmre det är föroreningskällan.

3.2.1 Infångande utsug

I operationsrum används så kallad infångande utsug som placeras så nära föroreningskällan som möjligt och kan av praktiska skäl inte innesluta föroreningskällan. Främsta användningsområdet av utsug i ett operationsrum är för att ta hand om den rök som alstras då man skär med laser i vävnad, så kallad diatermirök.

3.2.2 Omslutande utsug

Omslutande utsug används då det är tillräckligt att komma åt arbetet eller processen från ett enda håll och via en mycket begränsad öppning. Den har en hög effektivitet och används ofta då det bildas giftiga föroreningar. Det vanligaste typen av omslutande utsug är dragskåp i laboriemiljö där det ofta handskas med kemikalier som ger ifrån sig hälsovådliga luftburna föroreningar.

4 Operationsrummets förutsättningar

Följande kapitel behandlar de förutsättningar som påverkar infektionsrisken i ett operationsrum samt hur risken kan minimeras. Mer ingående kommer ventilationssystemets uppbyggnad för att minimera infektionsrisken beskrivas.

4.1 Postoperativa infektioner

Postoperativa infektioner kan uppkomma i sår efter en operation där patienten har utsatts för någon typ av smitta. Denna typ av infektion är en de vanligaste som sker inom sjukvården och uppkommer i ca 7 % av alla operationer. Den typ av kirurgi som är känsligast för infektioner är ingrepp där kroppsfrämmande föremål opereras in i patienten, så som höftproteskirurgi. (Swedish Standards Institute, 2011)

4.1.1 Smittspridning under operation

Vid operationer finns det risk att patienten utsätts för smitta. Smittspridningen kan ske på olika sätt och benämns med två olika begrepp.

Endogen kallas den smittspridning där bakterierna kommer från patientens egen kropp och orsakar infektion i operationsområdet. Bakterierna kommer vanligtvis från patientens hud. Operationer i organ som normalt innehåller bakterier, som vid tarm- och magoperationer, har högre infektionsrisk än andra. (Lindblom, 2008)

Exogen kallas smittspridningen som orsakas av omgivningen, vanligtvis från personalen i operationssalen. Den exogena smittspridningen kan delas upp i droppsmitta, kontaktsmitta och luftburna smitta. (Lindblom, 2008)

Kontaktsmittan och droppsmittan överförs direkt av personalen till patienten vid operationsbordet. Orsaken kan vara trasiga eller blöta arbetskläder och vid nysningar, hosta och tal kan personalens saliv smitta patienten. (Lindblom, 2008)

Den luftburna smittan överförs via luften i operationssalen. Vanligtvis är det partiklar från huden som för med sig bakterier och smittar patienten. (Lindblom, 2008)

4.1.2 Rekommendationer och regler för att undvika infektioner

För att undvika smittspridning under operation finns det vissa kriterier som bör ses över för att skapa en god operationsmiljö. Personalen ska bära arbetskläder, patienterna och rummet ska tvättas, instrumenten steriliseras och rummet ska vara väl projekterat.

Arbetskläderna kan ge en minskad smittspridning av luftburna bakteriella hudpartiklar om de bärs av all personal i operationsrummet och är tillräckligt täta. Den typ av arbetskläder som kan ha en sådan effekt är en specialdräkt som är extra tät. Regler finns för vilka material som är godkända i specialarbetsdräkterna och för hur den ska bäras för att ge önskad effekt. (Swedish Standards Institute, 2011)

Patienten skall tvättas före operation. Vad som bör göras under tvättningen beror på vilken typ av operation som sker. Vid känsliga operationer bör patienten duschas med klorhexidintvål minst två gånger före operationen. Vid operationen skall huden omkring operationsområdet desinficeras. (Socialstyrelsen, 2006)

Instrument och artiklar som används då instrumenten penetrerar hud eller slemhinnor skall var steriliserade. De instrument som kommer i kontakt men inte penetrerar huden skall vara desinficerade. (Socialstyrelsen, 2006)

Vid utformning av operationsrum och intilliggande lokaler är det viktigt att tänka på hur lokalerna kommer att användas. En ordentligt utförd projektering kan ge renare och därmed säkrare operationsmiljö. Det kan handla om utformningen av dörrar och luckor i operationssalen som vid öppning och stängning kan orsaka störningar och tillförsel av föroreningar. (Nordenadler, 2010)

Kirurgiska ingrepp som är känsliga för infektioner ställer högre krav på luftkvaliteten och därmed också på ventilationssystemet. Olika ventilationstyper påverkar antalet bakteriebärande partiklar i luften. Ultraren luft med vertikalt laminärt flöde har vid försök visat sig vara den metod som bibehåller renast luft. (Nordenadler, 2010)

4.3 Systemuppbyggnad för operationsrum med vertikal parallellströmning

Till skillnad mot ett system för komfortventilation är det av mycket stor vikt att frambringa en kontrollerad luftströmningsbild vid skyddsventilation i operationsrum. Detta har till följd att bland annat mycket stora luftflöden krävs. För att åstadkomma detta är det vanligast att använda ett system med vertikalt laminärt luftflöde, vilket betyder att luften pressas likt en kolv genom rummet från tak till golv. (Sundbeck & Värmsjö, 2005)

4.3.1 Tilluftsdon

Den viktigaste komponenten i denna typ av operationsrumsventilation är tilluftsdonet, även kallad parallellströmningstak, som har till uppgift att fördela luftflödet samtidigt som luften efter donet ska anta en laminär strömningsbild. Parallellströmningstaket är oftast uppbyggt som en cylinder eller box där luften samlas för att sedan pressas ner genom ett HEPA-filter. Filtret har som främsta uppgift att rena luften från föroreningar men hjälper även till att fördela luften.

Efter filtret förs luften ut genom botten av lådan som består antingen av en perforerad plåt eller en fördelningsduk av syntetiskt material. Fördelen med fördelningsduken är att lufthastigheten kan hållas lägre än vid användning av perforerad plåt vilket minskar energiåtgången och sänker risken för komfortproblem i form av drag för patient och sjukvårdspersonal. Fördelningsduken är dock relativt skör och har därför en kortare livslängd.

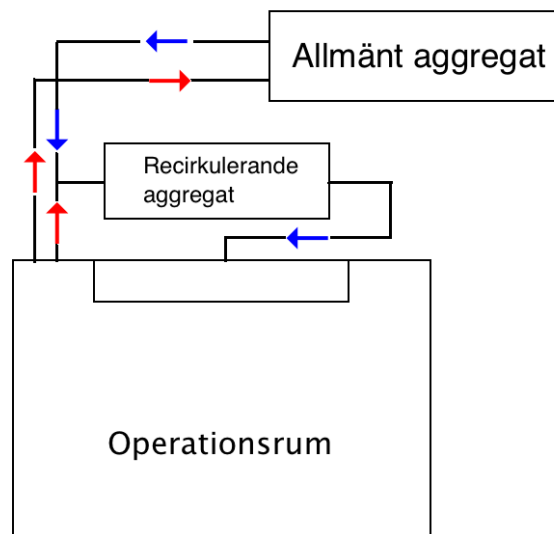
4.3.2 Frånluftsdon

När luften har förts ner över patienten är det viktigt att föra ut luften ur rummet utan eller med så lite virvlar som möjligt. Virvlar uppkommer då luftströmmen hindras eller störs av exempelvis personal och utrustning. Virvlarna har en negativ inverkan på skyddsventilationen, då oförutsägbara luft rörelser ger upphov till okontrollerad spridning av föroreningar i rummet.

För att minska uppkomsten av virvlar, och därmed ackumulation av föroreningar som följd, placeras frånluftsdonen i rummets hörn både i golv- och takhöjd. Den största delen av luften förs dock ut i golvhöjd. (Lindström & Sundin, 2005)

4.3.3 Recirkulationssystem

I ett luftbehandlingssystem med vertikalt laminärt luftflöde och parallellströmningstak används oftast ett recirkulationssystem. Det recirkulerande aggregatet blandar upp till 80 % av frånluften, som också filtreras, med tilluften innan den förs in i rummet. En enkel skiss över ett recirkulationssystem visas i figur 6. Genom att använda recirkulationssystem så sparas stora mängder energi jämfört med ett system utan. Energin sparas främst genom att luften inte behöver tempereras ytterligare. Aggregatet placeras med fördel i anslutning till operationsrummet för att begränsa längre kanaldragningar med antingen stora dimensioner eller stora tryckfall. (Lindström & Sundin, 2005)



Figur 6. System med recirkulerande aggregat. Blå pilar visar tilluft och röda frånluft.

5 Laborationsförsök

Följande kapitel beskriver hur modellen av operationsrummet är uppbyggd, vilka komponenter som ingår, hur laborationen är genomförd samt hur lufrörelserna har visualiserats.

5.1 Systemuppbyggnad

Med hjälp av en modell av en operationssal och dess ventilationssystem, genomförs en laboration som ska visualisera lufrörelserna i operationssalar. Denna modell är skapad så att två olika typer av ventilation kan testas.

5.1.1 Modellen

Modellen är centrerad runt den mest vitala delen; operationssalen. På taket till denna har två trycklådor byggts, en till varje del av systemet. Dessa kan båda användas för att utjämna trycket antingen för tilluft eller för frånluft, beroende på vilken princip som testas. Till varje trycklåda har en fläkt monterats som används för tilluft- respektive frånluft.

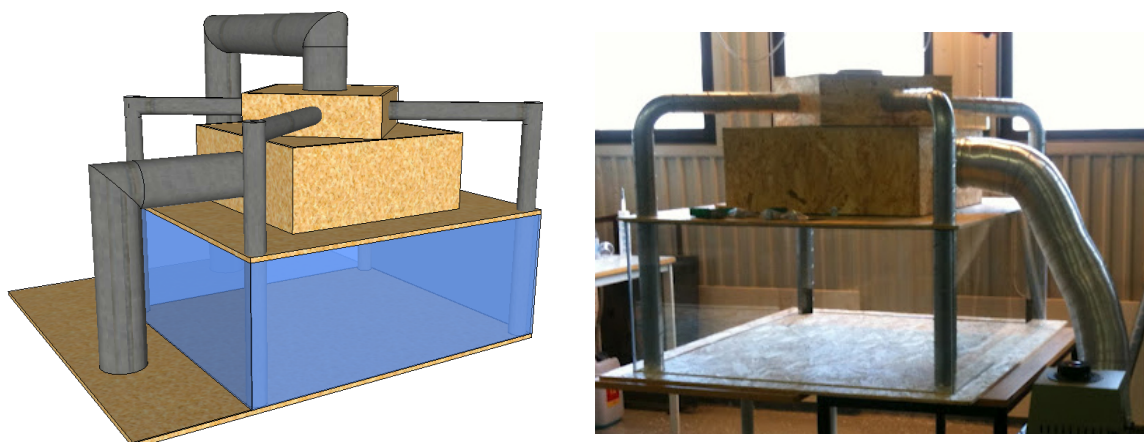
5.1.2 Operationssalen

Modellen är baserad på en nybyggd operationssal med dimensionerna $7 \times 8 \text{ m}^2$ med en innertakshöjd på 3,1m. Operationssalen har skalats ner till 3:20, vilket ger modellen dimensionerna $1.05 \times 1.20 \text{ m}^2$ med en innertakshöjd på 0,465m.

Då hänsyn till termiska förluster genom klimatskalet inte tas i beaktning i detta projekt har valet av material grundas på att materialen ska vara lätthanterliga och i bästa mån underlätta visualiseringen. Väggar är av glas för att underlätta visualiseringen av försöken. Golv och tak är uppbyggda av OSB-skivor som är lätta att bearbeta.

Inredningen i modellen är sparsam och endast ett operationsbord har valts att placeras in. Naturligtvis finns det mycket mer utrustning i en operationssal, men för att underlätta och förenkla visualiseringen har denna utrustning utelämnats.

I modellen finns fem stycken ventilationsdon, ett i varje hörn av rummet i nivå med golvet och ett centrerat i nivå med taket. De fyra golvplacerade donen syns tydligt i figur 7 som visar hur systemet är uppbyggt i sin helhet.



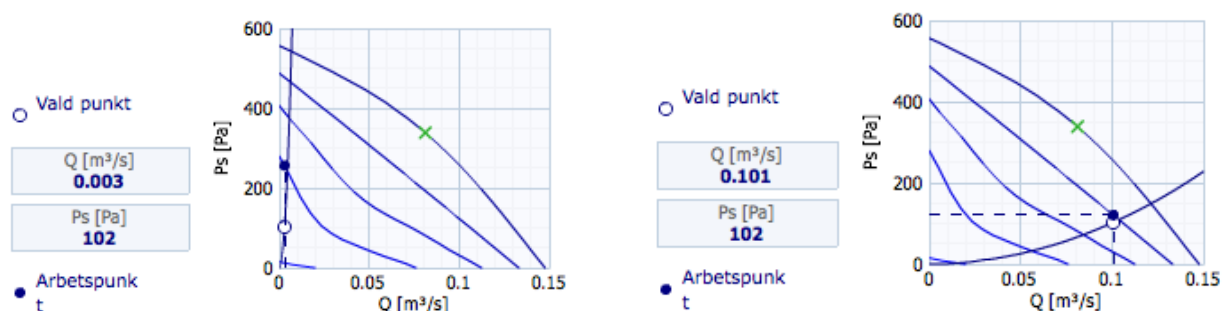
Figur 7. Till vänster en 3D-ritning och till höger ett fotografi av modellen under uppbyggnad.

5.1.3 Fläktar

För att modellen ska kunna ventileras på ett önskat sätt är det nödvändigt med både en tillufts- och frånluftsfläkt som båda går att reglera till de luftflöden som krävs för deplacerande ventilation samt för vertikal parallellströmning. Eftersom skillnaderna är stora mellan principerna och det faktum att tryckfallet i systemet är okänt finns kravet på ett stort arbetsområde för fläkten.

Tryckfallet i systemet uppskattas till cirka 100 Pa på grund av till- och frånluftsdon med filter. Tryckfallet i kanaler, kanalböjor och övergångar kan försummas då de i förhållande är mycket små. Spannet för luftflöde som fläkten behöver klara är 3,2 till 100 liter per sekund.

Då det fanns två stycken identiska fläktar att tillgå, Systemair KVKE 160 Kanalfläkt, kontrollerades deras intervall och kapacitet med avseende på luftflöde och tryckfall. Det kan med hjälp av fläktkurvor som visas i figur 8 konstateras att fläktarna uppfyller kraven med goda marginaler.



Figur 8. Fläktkurvor för fläkten med tryckfall på 102 Pa. (Systemair AB, 2012)

Fläktarnas funktion och identiska beteende testas genom att mäta lufthastigheten vid in och utlopp samt använda båda som från- respektive tilluftsfläkt vid samma försök.

5.1.4 Uppbyggnad av operationsrumstak för laminär luftströmning

Vid uppbyggnaden av operationsrumstaket användes en fördelningsduk av den typ som ofta monteras i verkliga operationssalar, tillverkad av syntetiskt material. Duken är uppspänd runt en rund ram av aluminium med en diameter på 500 mm och bildar alltså två lager av duk med cirka en centimeters mellanrum. Duken släpper igenom luften genom minimala hål och har till uppgift att reducera turbulensen i luften till ett störningsfritt laminärt flöde.

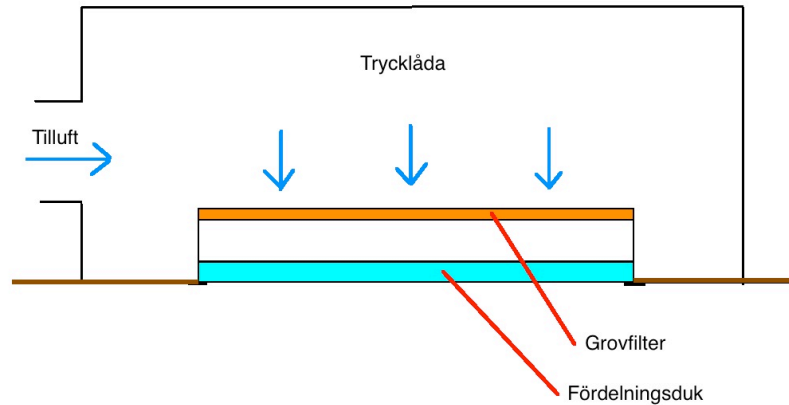
Ramen med duken är i sin tur fäst i ett avstick för ventilationskanaler för att lätt kunna anslutas mot taket. Över avsticket, som består av en cirka fem centimeter hög kant, är ett grovfilter spänt. Filtrets uppgift är främst att fördela luftströmmen jämt över duken och sekundärt att skydda duken mot smuts och mindre föremål som förs med luftströmmen.

Ovanför avsticket med fördelningsduk och filter sitter en trycklåda vars uppgift är att omfördela luftflödet från tilluftsfläkten till en jämn tryckfördelning över duken och där med en jämn lufthastighet.

Måtten på operationsrumstaket är nerskalat och avrundat till närmaste standardstorlek för kanaldelar och motsvarar ett vekligt operationsrumstak med en diameter på 3,3 meter.

Volymen på trycklådan är baserat på ritningar från moderna operationsrum och måtten är valda av praktiska skäl.

En skiss över uppbyggnaden kan ses i figur 9 nedan.



Figur 9. Uppbyggnad av operationsrumstak för vertikal parallellströmning.

Vid försöken med deplacerande ventilation används samma don fast med omvänt luftflöde, vilket betyder att samma don används som frånluftsdon.

5.1.5 Tilluftsdon – Deplacerande ventilation

Tilluftsdonen för deplacerande ventilation fungerar även som frånluftsdon vid laminär parallellströmning, men donen är i första hand designade för att ge rätt spridningsbild och lufthastighet för den deplacerande ventilationen.

Utgångspunkten var att skapa en luftomsättning på cirka 20 omsättningar per timme i rummet samtidigt som lufthastigheten utanför donets närzon maximalt fick uppgå till 0,2 m/s. Luftomsättningen valdes på grund av krav på hygienventilation och lufthastigheten på grund av komfortkrav i form av drag. 20 oms/h motsvarar i vår modell med volymen V ett luftflöde Q på ca 2,5 l/s vilket i sin tur ger oss en area A på 107 cm² med en lufthastighet v på 0,3 m/s. 107 cm² uppdelat på fyra don ger måtten 6*4,5 cm² per don, uträknat med hjälp av formlerna nedan. Lufthastigheten antas sjunka ner till 0,2 m/s utanför närzonen.

$$A = Q/v \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Q = (\frac{oms}{h} * V)/3600 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Donen är placerade i de fyra hörnen av modellen och består av ventilationsrör med diametern 63 mm och med en öppning på 6*4,5 cm². För att likna ett verkligt don för deplacerande ventilation har ett grovfilter placerats i öppningen som har till uppgift att sprida luften jämt över arean.

Samma don används som frånluftsdon för laminär parallellströmning. I takhöjd har även öppningar i form av borrarade hål gjorts för att kunna ta ut en del av frånluften där. Detta för att undersöka om det har någon inverkan på virvelbildning i rummet. Grovfiltret används även i denna applikation för att likna frånluftsdon i operationsrum av verklig skala.

5.2 Visualisering

För att kunna visualisera luft rörelserna i operationssalen har rök tillförts inne i modellen. Tester har utförts med olika variabler som påverkar rörelserna i luften och sedan dokumenterats med en filmkamera.

Röken som tillförs har samma temperatur som tilluften och som rumsluften i operationsrummet. Detta medför att röken följer luftens rörelsemönster utan att termiska effekter påverkar resultatet. Den vita rumstempererade röken bildas med hjälp av en oljebaserad rökgenerator, RG-100.

Visualiseringen har spelats in med hjälp av en filmkamera. På detta sätt har jämförelser mellan de olika försöken kunnat utföras. Samma försök har delvis dokumenterats från två olika vinklar för ge en bättre bild av försöket. För att ytterligare underlätta jämförelserna av de olika försöken filmas försöken mot en svart bakgrund med ett vitt rutnät.

5.3 Metod

Försöken har utförts med två olika ventilationsprinciper med olika variabler som påverkar luftens rörelser. Variablerna är hastighet på tilluften, ventilationsprincip och placering av frånluftsdon.

Testerna har delats in i två huvudgrupper, en för varje luftföringsprincip. I försöket med den vertikala parallellströmningen har hastigheten på tilluften, placeringen av och mängden frånluftsdon varierats.

Genom att jämföra de olika testerna med varandra och ett referensförsök, utan ventilation, kan slutsatser om de olika ventilationsprinciperna dras.

5.3.1 Referensförsök

Ett referensförsök genomförs för att kunna jämföra de andra försöken och visa hur röken sprider sig i rummet utan ventilation. Röken tillförs mitt i operationssalen ovanför operationsbordet.

5.3.2 Vertikal parallellströmning

Försöket med vertikal parallellströmning delas in i tre olika grupper, där frånluftsdonens placering och mängd varierar. Denna variation är: Ett försök med endast don i golvnivå, ett med don både i golvnivå och i takhöjd, sist ett försök med don i golvnivå och halva donen övertäckta i taknivå. För dessa tre olika varianter körs fyra olika försök med hastigheterna 0.2 m/s, 0.3m/s, 0.4m/s och 0.5m/s. Dessa hastigheter ligger inom fördelningsdukens bruksområde.

Vid denna princip tillförs röken mitt i operationssalen ovanför operationsbordet i anslutning till tilluftsdonet. Röken tillförs dock inte i direkt anslutning till donet, utan en bit ifrån. Detta så att eventuella störningar i luft rörelsen direkt vid donet har hunnit stabiliseras.

5.3.3 Deplacerande ventilation

Försöket med deplacerande ventilation genomförs utan variationer när det gäller hur luften tillförs. För att visa hur luften rör sig har dock röken tillsatts i tre olika platser i salen. Vid ett av försöken tillförs röken i anslutning till ett av de fyra tilluftsdonen, på så vis fås en bild av hur luften rör sig mot operationssalens mitt. Vid försök nummer två tillsätts röken lite närmare mitten och därmed visualiseras luftens rörelser mot operationsbordet. I det sista

försöket tillförs luften ovanför operationsbordet för att visa luftens rörelser från bordet mot frånluftsdonet i taket.

5.3.4 Rökfyllt rum

För de två olika luftföringsprinciperna har ett försök utförts där hela operationsrummet fyllts med rök innan ventilationen startades. Detta försök visar inte enbart hur luften rör sig i rummet ur ett annat perspektiv än de övriga försöken, utan också hur stor omblandningen är. Försöket avslutas när all rök har lämnat salen, vilket ger en bra bild över hur utspädningen av luften sker.

5.3.5 Mätvärden

För att säkerställa rätt hastighet och därmed också tänkt flöde, har mätningar med lufthastighetsmätare utförts. Hastigheten varierar med hjälp av en spänningsregulator som reglerar fläktarnas varvtal. Genom att utföra mätningar av luftens hastighet i flertalet punkter vid tilluftsdonet kan hastigheter kopplas samman med spänningsregulatorns procentuella inställning. På detta sätt kan hastigheten lätt regleras för de olika testerna. Denna noggranna testning och sedan enklare kontroller av hastigheten säkerställer att rätt hastighet erhålls vid varje försök.

De framtagna hastigheterna vid den vertikala parallellströmningen är valda efter fördelningsdukens bruksområde, uppgett av tillverkaren. Hastigheten vid tilluftsdonen och luftflödet för deplacerande ventilation har valts utifrån komfort- och hygienkrav. Tabell 1 och 2 nedan visar de hastigheter som kopplas till en viss procentinställning av reglaget till fläkten.

Tabell 1. Vertikal parallellströmning.

Spänning [%]	Hastighet [m/s]	Avstånd från don [cm]
30	0.2	3
38	0.3	3
47	0.4	3
54	0.5	3

Tabell 2. Deplacerande ventilation.

Spänning [%]	Hastighet [m/s]	Avstånd från don [cm]
14	0.2	5
14	0.3	0

6 Resultat

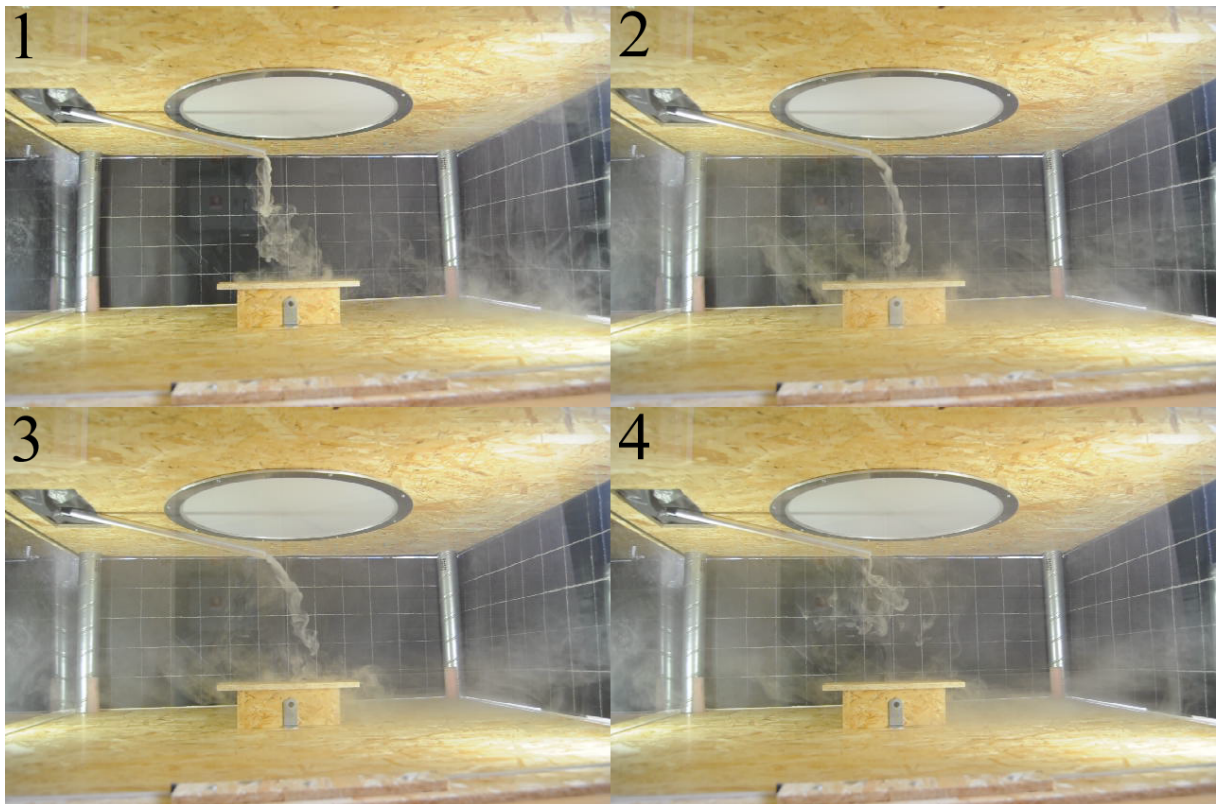
Resultatet presenterats i form av figurer med bildserier från de filmer som spelats in under försöken. Bildserierna är numrerade i förloppens tidsordning. I den löpande texten beskrivs vad som kunde observeras under försöken och det som syns på bilderna.

Till varje försök finns även videofilmer bifogade i bilaga 1 indelade efter rubrikerna.

Under försöken har rökmängden anpassats till luftflödet för att kunna se hur luften rör sig även vid höga lufthastigheter. Detta innebär att mängden rök inte kan jämföras mellan försöken.

6.1 Referensförsök – Utan ventilation

För att förstå hur röken påverkas av luftrörelserna då modellen ventileras är det nödvändigt att ha en referens att jämföra med då ventilationen är avstängd. I figur 10 ser vi att röken initialt sjunker eftersom röken måste tillföras med en hastighet. Efter att röken har bromsats in, ungefär i höjd med operationsbordet, sprider den sig sakta i rummet med en något högre koncentration runt bordet.



Figur 10. Bildserie från referensförsök utan ventilation.

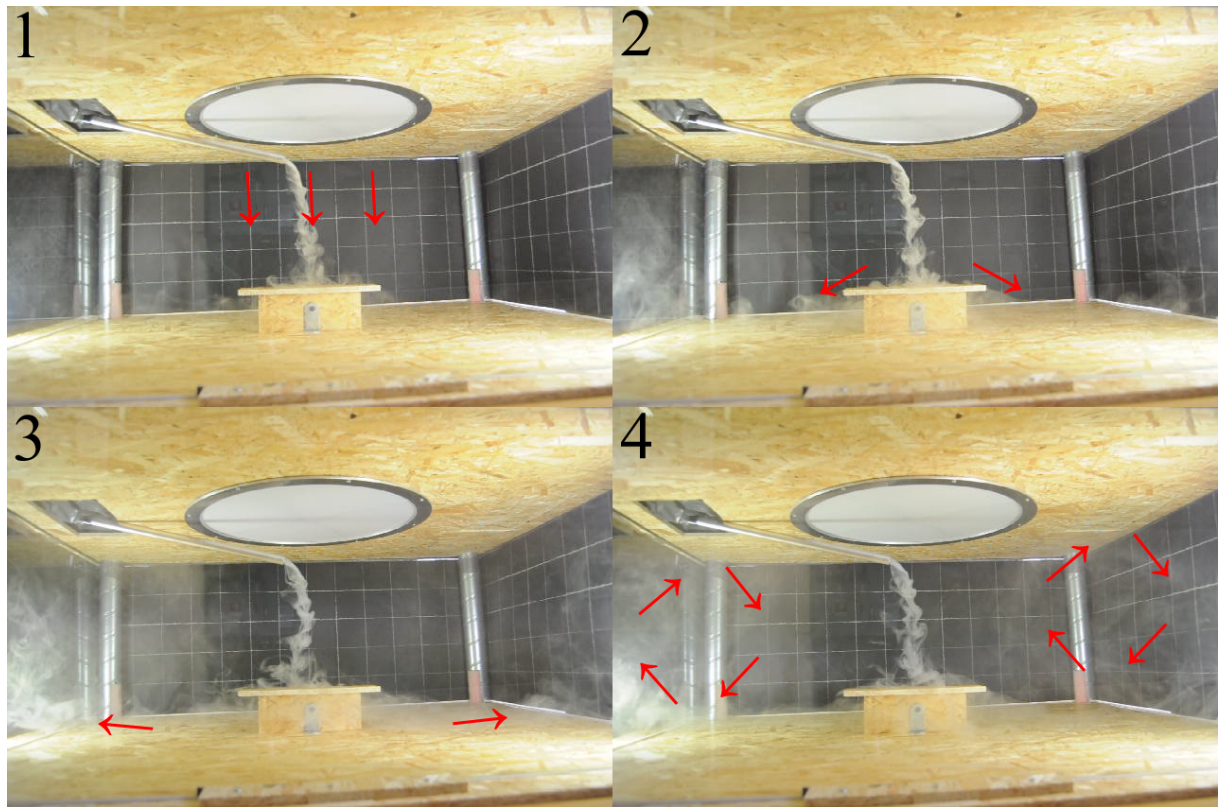
6.2 Vertikal parallellströmning

Försöken med vertikal parallellströmning är uppdelade i tre försöksserier. I den första serien försök har enbart frånluft i golvnivå används. Den andra har kompletterats med frånluftsdon i taknivå och den tredje även den med frånluft i taknivå men med en mindre del.

I försöksserien med delvis frånluft i taknivå har försöken även filmats från en alternativ vinkel, se bilaga 1, vilket visar virvlar som skapas under operationsbordet. Dessa virvlar kunde observeras för samtliga försök med vertikal parallellströmning.

6.2.1 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,2 m/s

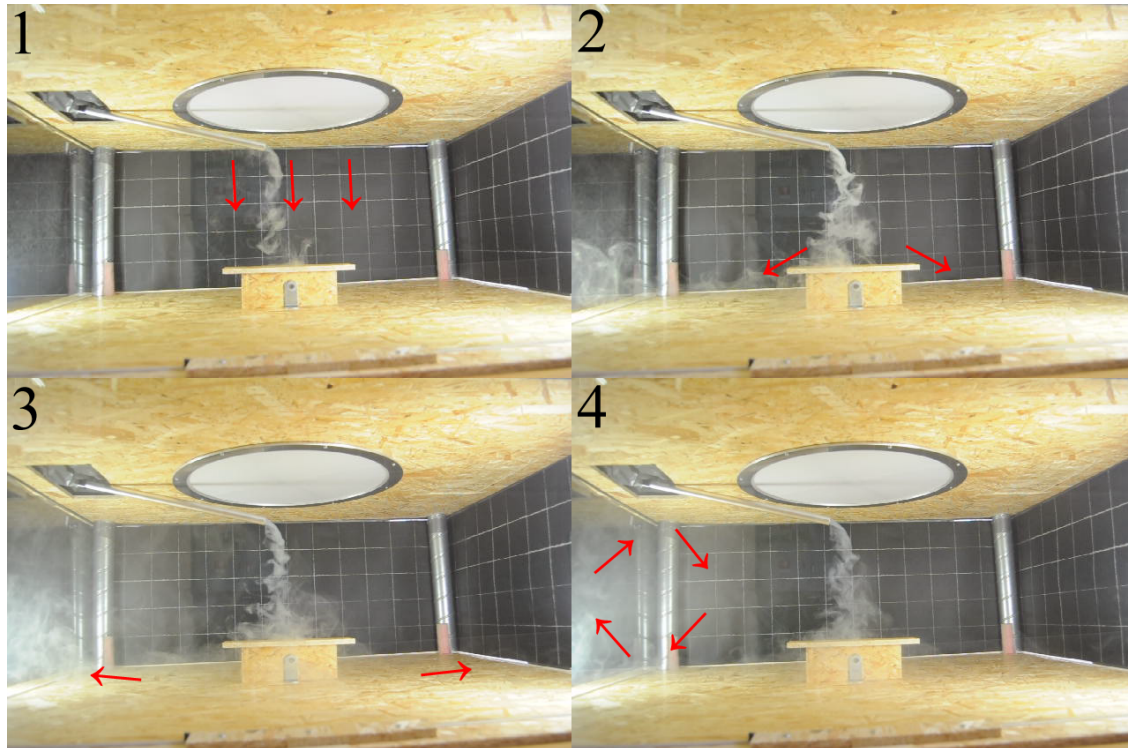
I Figur 11, bildruta 1 syns att luften trycks ner över operationsbordet för att sedan, i bildruta 2 och 3 leta sig ut längs golvet mot frånluftsdonen i hörnen. I bildruta 3 och 4 kan också virvlar, illustrerade med pilar i bildruta 4, observeras mellan den sterila zonens ytterkant och hörnen. Virvlarna gör att rök ackumuleras i detta område. Luften rör sig förhållande vis långsamt och det är relativt lätt att störningar av luftströmmen letar sig in i den sterila zonen.



Figur 11. Bildserie från försök med frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,2 m/s.

6.2.2 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,3 m/s

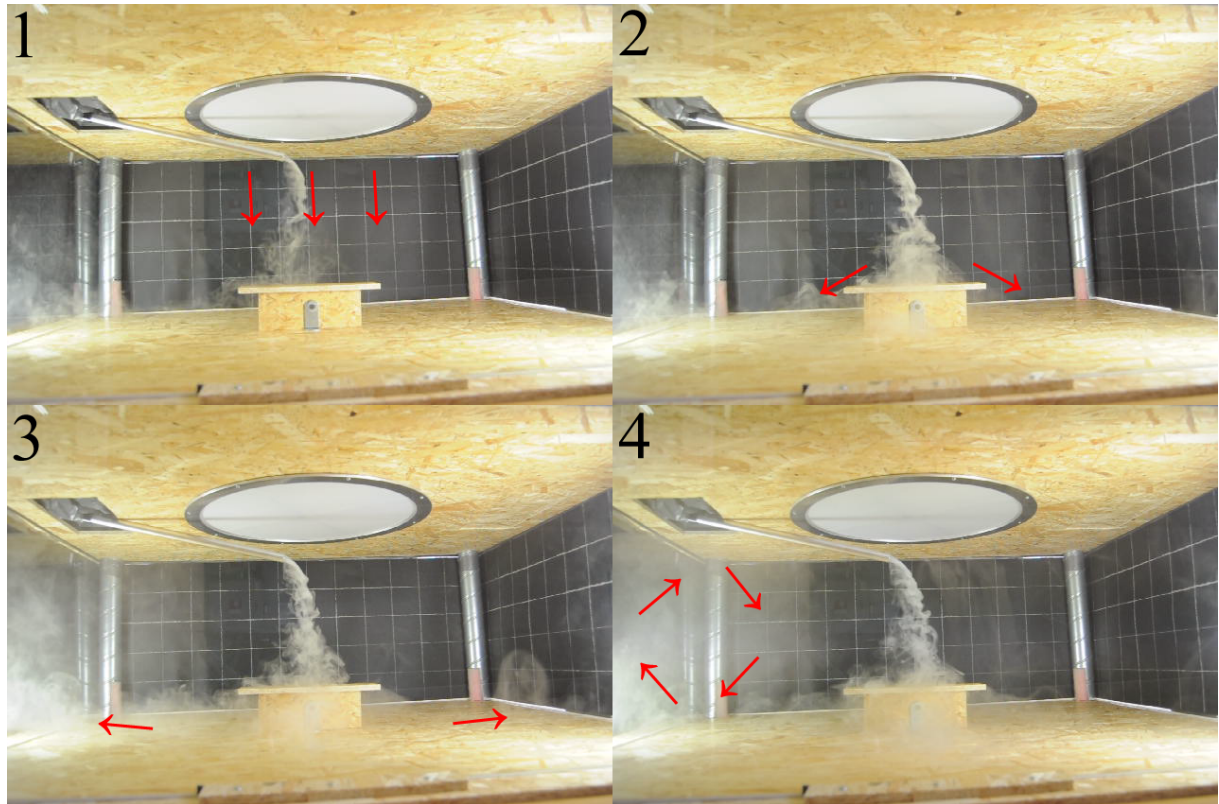
I figur 12 rör sig luften med samma mönster som i det tidigare försöket men med en påtagligt högre hastighet. Här syns också att rök ackumuleras i områdena mellan yttre delen av den sterila zonen och hörnen, dock i mindre utsträckning än vid en lufthastighet på 0,2 m/s. Den sterila zonen blir stabilare och där med mindre känslig för störningar.



Figur 12. Bildserie från försök med frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,3 m/s.

6.2.3 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,4 m/s

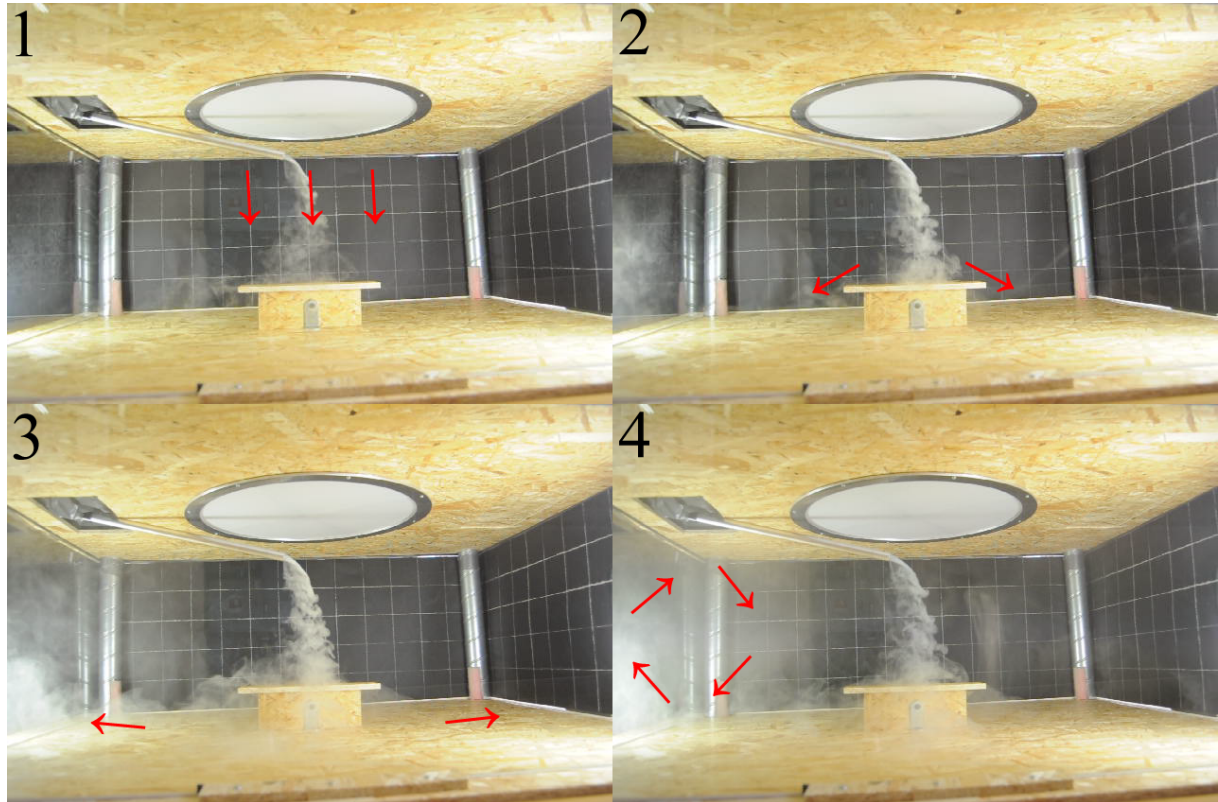
Försöket visualiseras i figur 13 där luften får samma rörelsemönster som vid lufthastigheter på 0,2 och 0,3 m/s med en något högre hastighet än vid 0,3 m/s. Rök ackumuleras i samma område som innan men i mindre utsträckning och med en högre omsättning av luften. Luftströmmen över den sterila zonen blir även något stabilare .



Figur 13. . Bildserie från försök med frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,4 m/s.

6.2.4 Frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,5 m/s

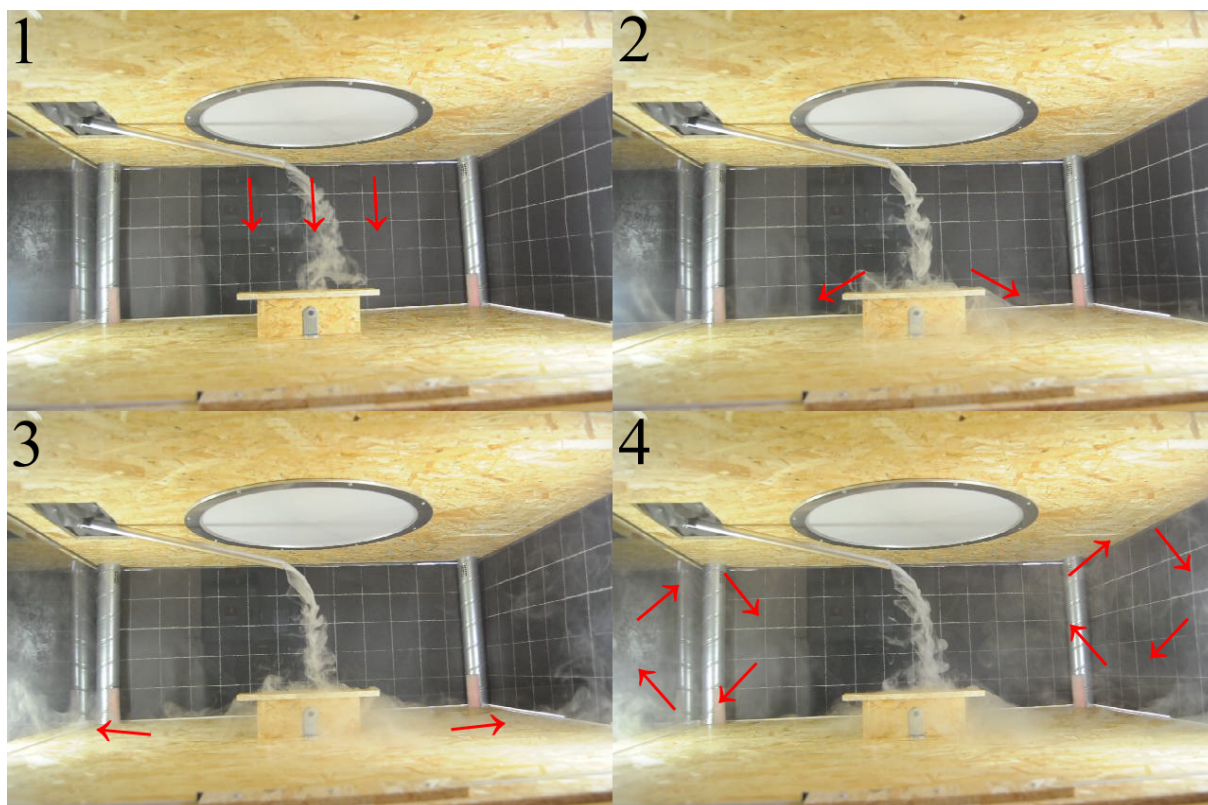
Försöken med lufthastigheter på 0,5 m/s, figur 14 och 0,4 m/s, figur 13 är svåra att se skillnader på och de enda som kan observeras är att luftomsättningen blir större samt att rökens spridning och rörelse går snabbare.



Figur 14. Bildserie från försök med frånluft enbart i golvnivå med lufthastighet på 0,5 m/s.

6.2.5 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,2 m/s

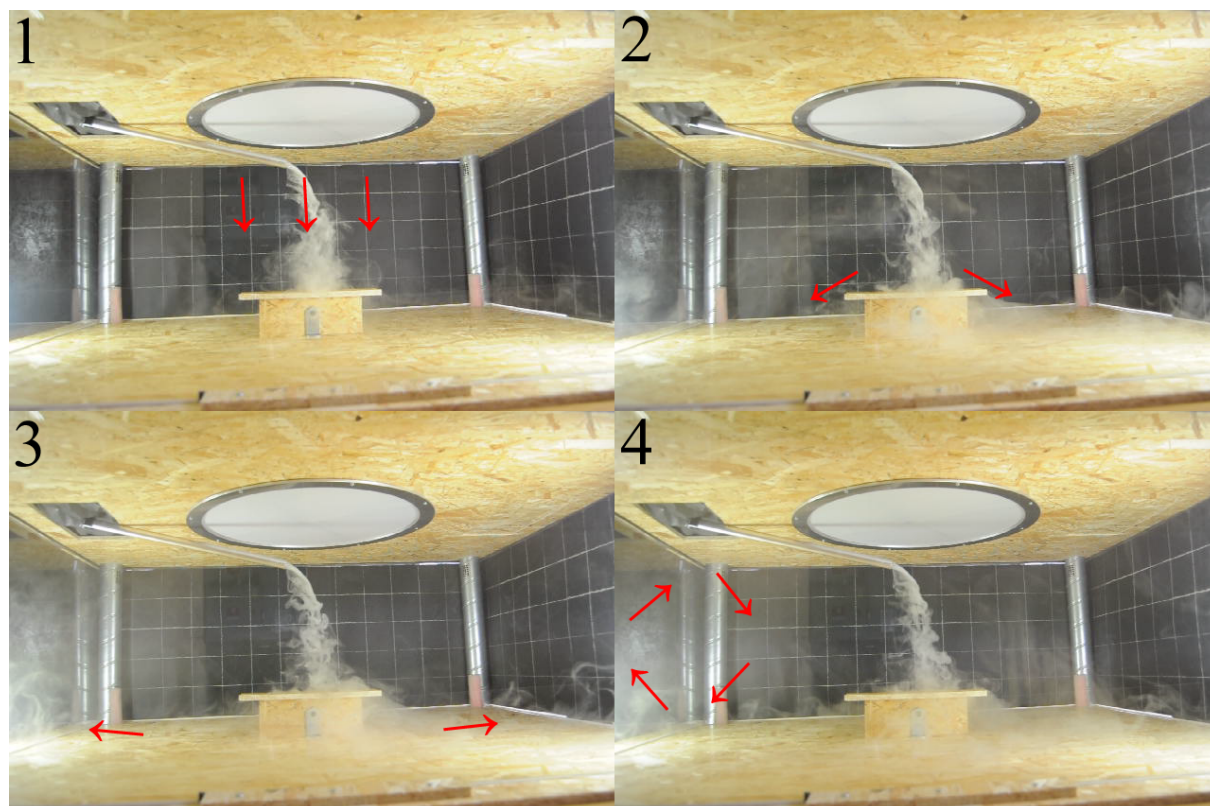
I figur 15, bildruta 1 och 2 syns inga förändringar jämfört med försöken med frånluft endast i golvnivå. Däremot kan en mindre ackumulation av rök samt mindre virvelbildning observeras i bildruta 3 och 4. I filmklippet i bilaga 1 syns på ett tydligare sätt att evakueringen av röken blir effektivare med minde virvelbildning i de övre hörnen. I övrigt syns ingen skillnad i luftströmmens stabilitet.



Figur 15. Bildserie från försök med frånluft i takhöjd med lufthastighet på 0,2 m/s.

6.2.6 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,3 m/s

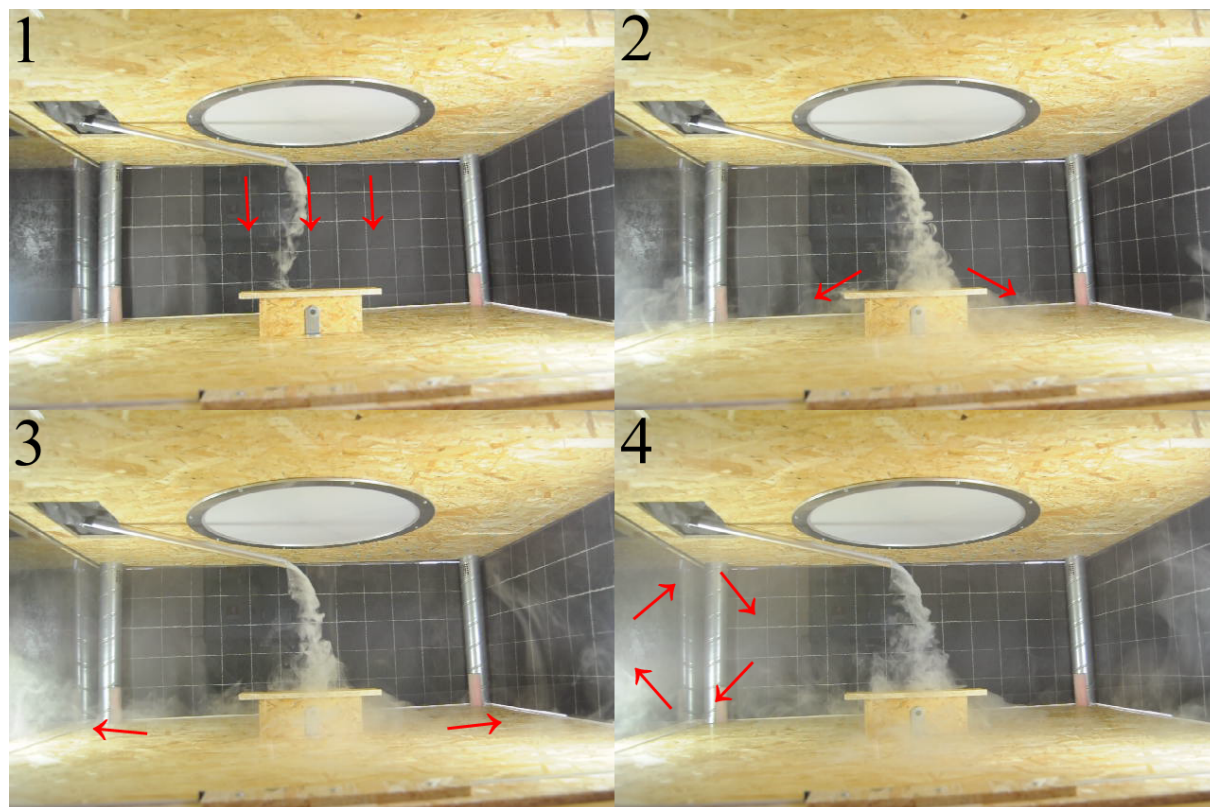
Även vid 0,3 m/s ackumuleras mindre rök och det går att se en minskad tendens till virvelbildning. Se figur 16 samt filmklipp i bilaga 1.



Figur 16. Bildserie från försök med frånluft i takhöjd med lufthastighet på 0,3 m/s.

6.2.7 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,4 m/s

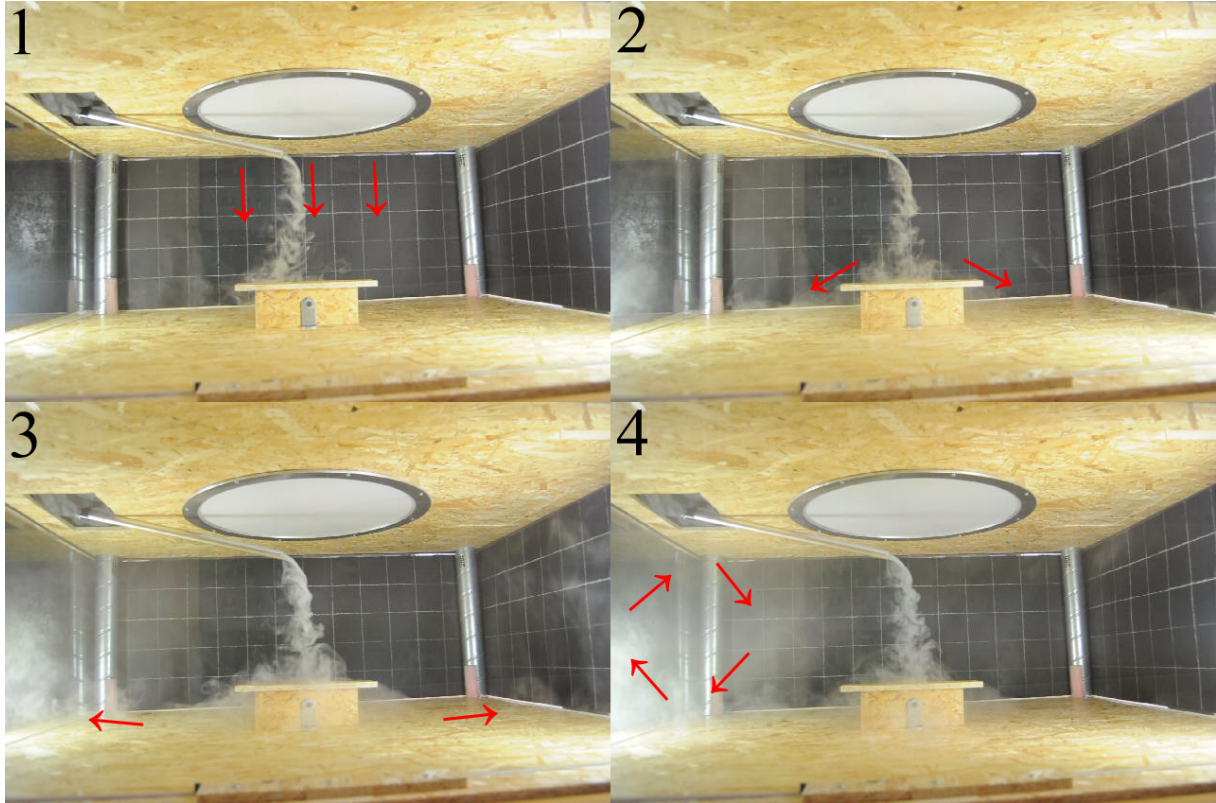
När hastigheten ökas till 0,4 m/s är det svårare att urskilja hur vidare ackumulation av rök samt virvelbildning skiljer sig mot försöken utan frånluft i takhöjd. Bara mycket små tendenser till detta kan urskiljas. Ingen förändring i luftens övriga rörelsemönster kan observeras. Bildserien från försöket visas i figur 17.



Figur 17. Bildserie från försök med frånluft i takhöjd med lufthastighet på 0,4 m/s.

6.2.8 Frånluft delvis i takhöjd med lufthastighet på 0,5 m/s

Precis som försöket med 0,4 m/s kan endast mycket små tendenser till minskad virvelbildning urskiljas då lufthastigheten ökas till 0,5 m/s. Ingen förändring i luftens övriga rörelsemönster kan observeras. Se figur 18.



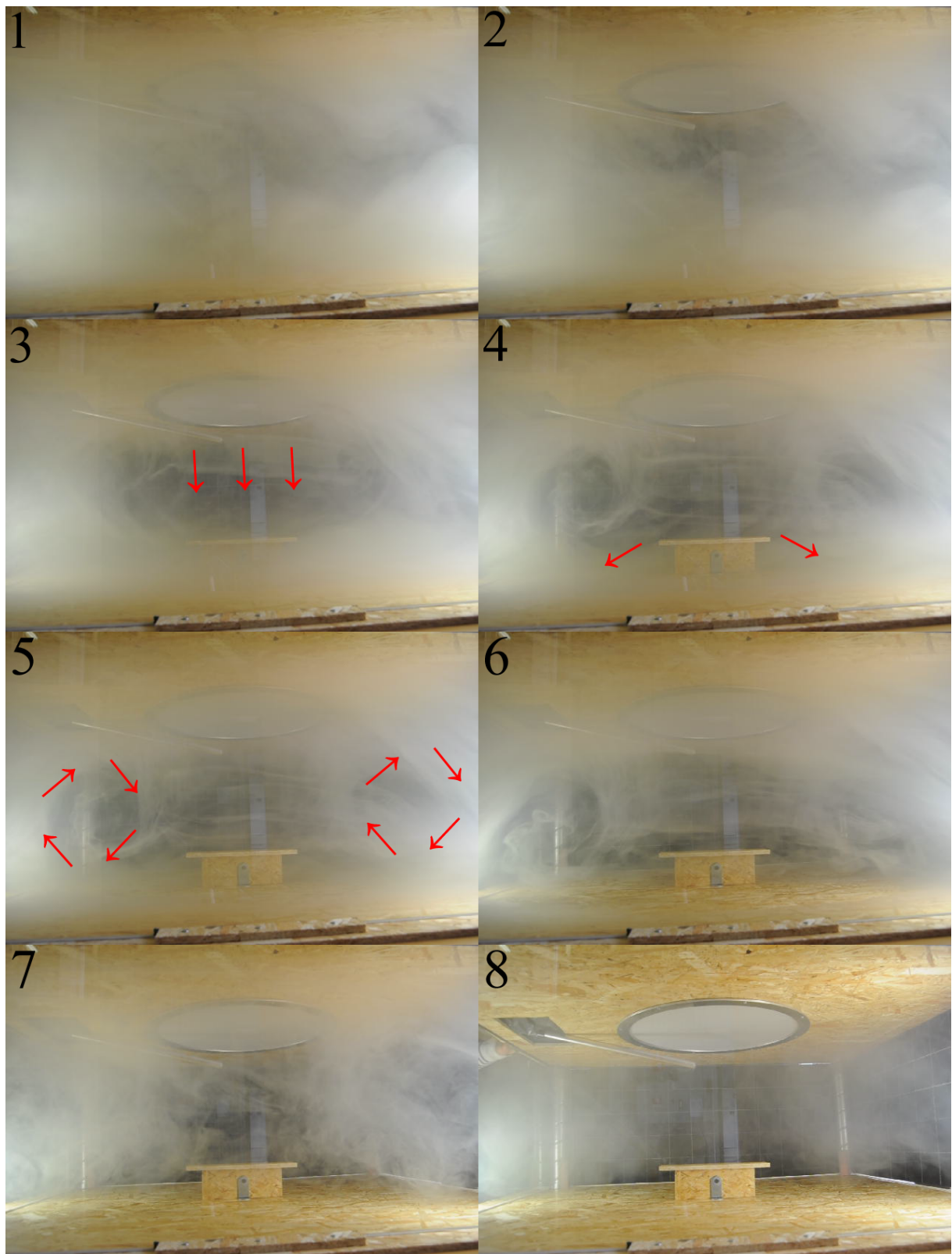
Figur 18. Bildserie från försök med frånluft i takhöjd med lufthastighet på 0,5 m/s.

6.2.9 Frånluftsdonet i takhöjd halvt övertäckt

Försök med frånluftsdonen i takhöjd halvt övertäckta har utförts men bilder från dessa utelämnas i resultatet. Detta har valts eftersom resultatet är mycket likt försöket där frånluftsdonen i takhöjd är helt öppna. Filmer från försöken finns i bilaga 1.

6.2.10 Försök med rökfyllt rum

Försöket är utfört med en lufthastighet på 0,35 m/s och med frånluft även i takhöjd. I figur 19 syns väldigt tydligt hur effektivt luften från tilluftsdonet pressas ner över operationsbordet. Luften pressas likt en kolv genom rummet och skapar därmed en ren zon. I bildruta 4 till 6 syns tydligt hur virvlar skapas mellan vägg och den rena zonens yttre del. I bildruta 8 syns att röken endast finns kvar där virvlarna uppstår, vilket bekräftar att det ackumuleras föroreningar i detta område.



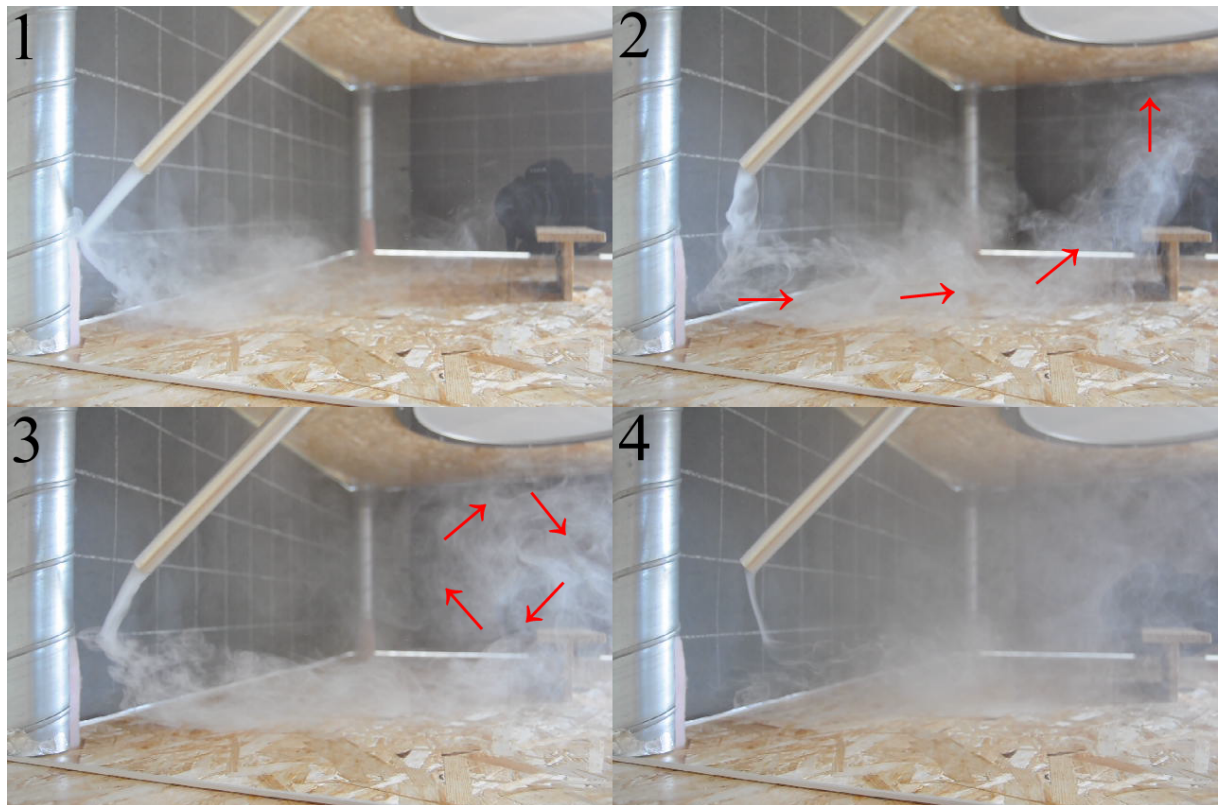
Figur 19. Bildserie från försök med rökfyllt rum.

6.3 Deplacerande ventilation

Försöken har gjorts med cirka 25 luftomsättningar per timme och består av fyra försök. Det första med utspridning av rök vid tilluftsdonet, det andra med utspridning vid operationsbordet, det tredje med utspridning mellan tilluftsdonet och operationsbordet och det sista med ett rökfyllt rum vartefter ventilationen startas.

6.3.1 Utspridning av rök vid tilluftsdon

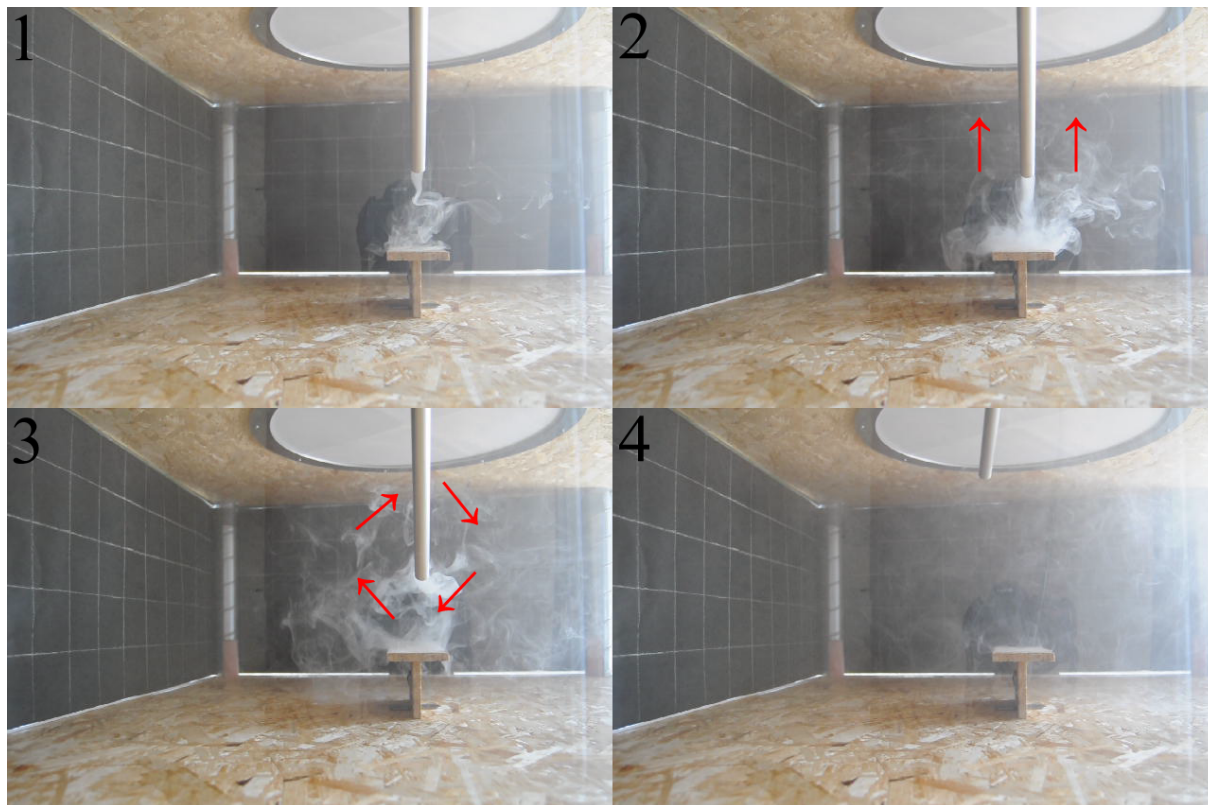
I figur 20, bildruta 1 syns hur luften sprids vid tilluftsdonet och längs golvet. Pilarna i bildruta 2 visar luftens riktning och hur luften stiger upp mot taket. I bildruta 3 och 4 syns hur luften antar en turbulent strömningsbild likt omblandande ventilation.



Figur 20. Bildserie från försök med utspridning av rök vid tilluftsdon.

6.3.2 Utspridning av rök vid operationsbordet

Figur 21, bildruta 1 och 2 visar hur röken sprids genom att först stiga mot frånluftsdonet i taket för att senare i bildruta 3 och 4 anta en turbulent strömningsbild där röken sprids jämt över den sterila zonen.



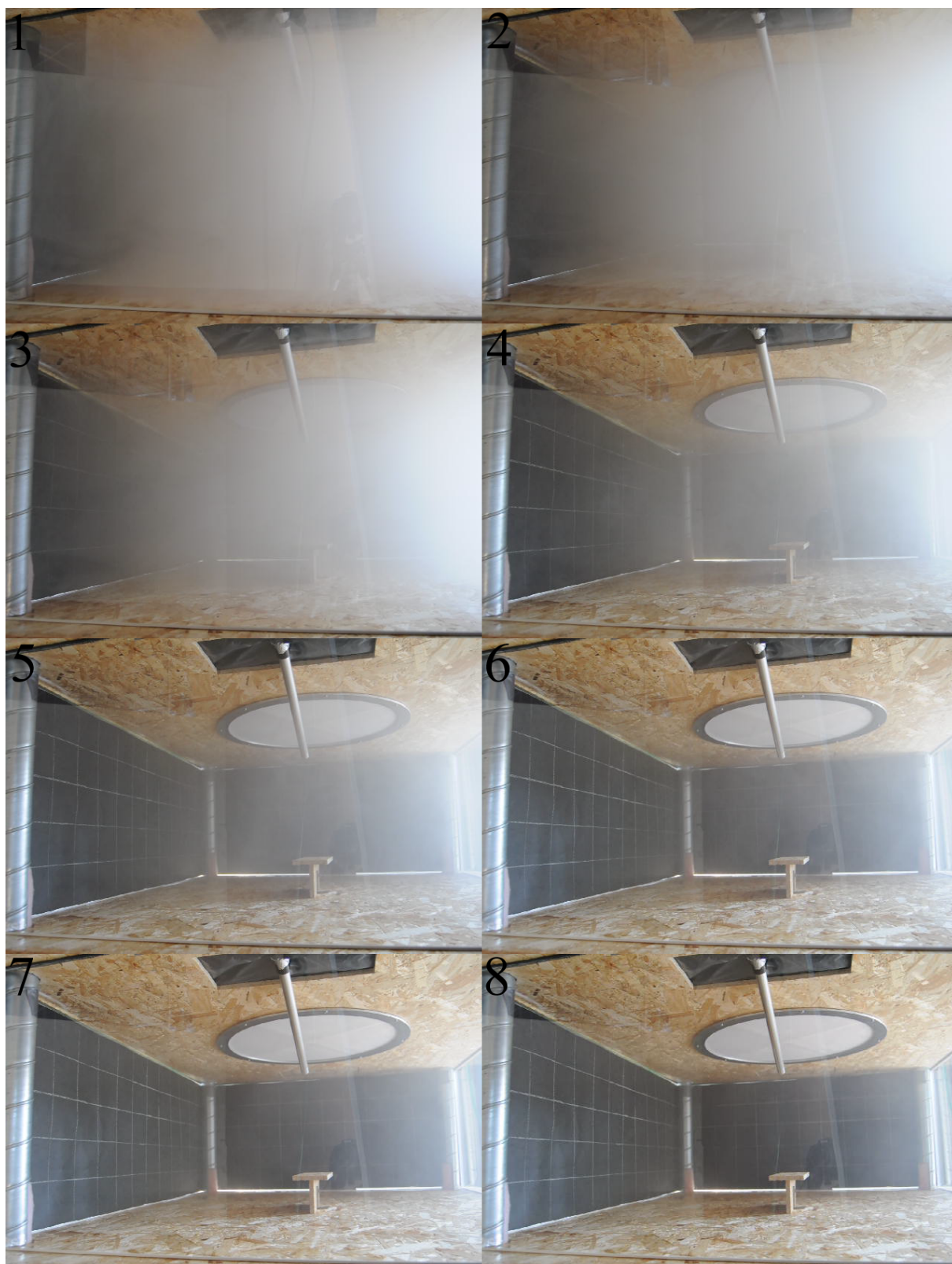
Figur 21. Bildserie från försök med utspridning av rök vid operationsbordet.

6.3.3 Utspridning av rök mellan tilluftsdonet och operationsbordet

Bilder från försöket där rök sprids ut mellan tilluftsdon och operationsbord har utelämnats i resultatet då det inte tillför något som inte framgår från försöken med utspridning av rök vid tilluftsdon och operationsbord. Film från försöket finns i bilaga 1.

6.3.4 Försök med rökfyllt rum

I bildserien i figur 22 syns hur luften trycks från hörnet in mot mitten av rummet för att succesivt spädas ut. Förloppet går långsamt och visar att föroreningar sprids relativt jämt över rummet enligt utspädningsprincipen.



Figur 22. Bildserie från försök med rökfyllt rum.

7 Diskussion

I kapitlet utvärderas de resultat som framkommit av laborationsförsöken. De olika luftföringsprinciperna diskuteras var för sig och jämförs mot de teorier som ligger bakom. Vidare diskuteras ytterligare utveckling och förbättring av modellen, felkällor vid försöken samt fler försök som kan vara intressanta.

7.1 Vertikal parallellströmning

Laborationsförsöken ger en tydlig bild över hur parallellströmningsprincipen fungerar. Visualiseringen visar hur luften pressas ner över operationsbordet och att luften sedan trycks ut från den rena zonen. Luft rörelsen stämmer bra överens med den teoretiska bilden över hur principen för vertikal parallellströmning fungerar, som beskrivs i kapitel 2 och figur 4. Observera att den tillförda luften har samma temperatur som rumsluften.

7.1.1 Virvlar

Det uppstår virvlar mellan ytterkanten av den sterila zonen och operationsrummets väggar. Virvlarna påvisas genom att rök ackumuleras i området med en cirkelformad rörelse. Dessa virvlar framgår inte av den teoretiska modellen av parallellströmningsprincipen, vilket är en betydande skillnad mellan de teoretiska bilderna och de dokumenterade luft rörelserna. Virvlarna ser inte ut att påverka luft rörelserna i den sterila zonen över och runt operationsbordet, men dock kan de orsaka problem utanför den sterila zonen. Personal som vistas i området utanför den sterila zonen blir på så sätt utsatta för en möjligt högre koncentration luftföroreningar.

Under operationsbordet uppstår också virvlar som kan föra med sig föroreningar från golvet upp mot patienten. Troligast kommer dessa virvlar enbart påverka luft rörelserna under bordet. Risken är alltså liten för att föroreningarna skulle kunna komma i kontakt med patienten.

7.1.2 Hastighet

De olika hastigheterna vid försöken med vertikal parallellströmning ger i princip samma rörelsemönster, förloppet sker dock olika snabbt. Inga större variationer kan urskiljas om hastigheten hålls inom det testade intervallet 0,2-0,5 m/s. Rörelsemönstret antas därför vara oberoende av hastigheten.

Vid de lägre hastigheterna inom intervallet uppehåller sig luften längre tid i rummet, vilket leder till att en större mängd rök ackumuleras i virvlar utanför den sterila zonen. Detta beror på att drivkraften att föra bort luften är lägre.

Vid de högre hastigheterna inom intervallet blir den sterila zonen runt operationsbordet stabilare. Detta förklaras av att den stora mängden luft som pressas rakt ner över operationsbordet, vilket hindrar luften i rummet att ta sig in i området. Den sterila zonen blir följaktligen stabilare och mindre känslig för störningar vid högre hastigheter.

7.1.3 Felkällor

Modellen har tätats för att undvika oönskat luftläckage, men av praktiska skäl går det inte att få den helt tät. Samma sak gäller också för ett verkligt operationsrum, kanske i ännu större utsträckning. På grund av högre tryck i rummet vid högre lufthastigheter har luftläckaget blivit mer påtagligt. Detta ger en liten missvisning av luft rörelserna då luften kan läcka ut och inte ta den normala vägen genom frånluftsdonen. Rökens temperatur och hastighet har inte påverkat resultaten.

För att kunna dokumentera visualiseringen när det har varit mörkt har lampor placerats utanför modellen. Dessa lyser upp operationsrummet, men medför också att temperaturen i anslutning till lamporna kan ha höjts en aning. Om temperaturen stiger i de belysta delarna, leder detta till termiska effekter som ger luften en uppåtriktad rörelse. Detta påverkar därmed luftens rörelsemönster på ett oönskat sätt. Idealiskt hade varit om ingen belysning eller belysning som inte alstrar någon värme hade använts.

7.2 Deplacerande ventilation

De dokumenterade luftströmlarna vid deplacerande ventilation stämmer till en början bra överens med hur det ser ut i teorin. Visualiseringarna visar hur luften rör sig från donen mot centrum av rummet via golvet och för att sedan stiga och anta en mer turbulent strömningsbild, likt omblandande ventilation. En anledning till att det inte stämmer helt med teorin kan förklaras av att tilluften inte är undertempererad samt att luften rör sig för snabbt i förhållande till rummets storlek.

Luftströmlen som uppstår kan föra med sig föroreningar från golvet upp till patienten på operationsbordet. Därför krävs det att hela golvytan i rummet hålls ren vid deplacerande ventilation, så att inga föroreningar kommer i kontakt med patienten. Att hålla golvytan i ett operationsrum fri från föroreningar är i praktiken mycket svårt vilket gör att den deplacerande ventilationsprincipen inte lämpar sig för infektionskänslig kirurgi.

7.3 Verklighetsanknytning

Försöken har utförts i modellskala vilket medför att luftströmlarna kan se annorlunda ut jämfört med i ett verkligt operationsrum. Modellen är skapad för att enkelt visa hur det kan se ut i verkligheten och att utföra olika tester i modellen är både lättare och billigare än om det skulle utföras i en riktig operationssal. Resultat som skiljer sig från teori och tidigare dokumenterade försök bör verifieras med ytterligare försök i ett verkligt operationsrum.

Modellens systemuppbyggnad är en förenkling av systemet i ett verkligt operationsrum. Systemlösningen har kunnat förenklas då avgränsningar gällande renhets- och komfortkrav, mätning av partiklar och termiska effekter gjorts. Förenklingen påverkar inte nämnvärt resultatet jämfört med de verkliga rörelsebilderna.

Personalens rörelser vid arbete i ett operationsrum borde leda till störning av den önskade luftströmlen. Detta är en faktor som påverkar resultatet och bör testas på ett mer verklighetstroget sätt.

7.4 Ventilationens inverkan på infektionsrisken

Valet av ventilationsprincip och systemlösning kan i stor utsträckning påverka föroreningshalten i operationsrummet. För att uppnå tillräcklig luftkvalitet och en god operationsmiljö krävs dock ett samspel mellan flera faktorer. Ett bra utformat ventilationssystem kombinerat med rätt typ av arbetskläder, som dessutom bärs på rätt sätt, sterila instrument och ett praktiskt utformat operationsrum kan minska infektionsrisken avsevärt.

7.5 Vidare arbete

Under projektets gång har idéer på utveckling av modellen samt ytterligare intressanta försök uppkommit. Modellen kan vid eventuellt vidare arbete användas för att utföra följande tester som berör luft rörelser i ett operationsrum.

7.5.1 Utrustning

I operationsrum finns olika typer av utrustning som kan störa luft rörelserna, genom att bygga modeller av sådan utrustning kan man visualisera hur dessa påverkar luftens rörelser i rummet. Med utrustning skulle en mer verklighetstrogen bild av luftens rörelser troligen kunna redovisas.

7.5.2 Termiska effekter

Genom att placera in värmekällor i modellen skulle de termiska effekterna kunna tas i beaktning. Värmekällorna i verkligheten motsvaras av lampor, personal, patienter och vissa typer av operationsutrustning. I modellen skulle man förslagsvis kunna ersätta de verkliga värmekällorna med små lampor med lämplig värmeeffekt.

7.5.3 Frånluft vid vertikal parallellströmning

Frånluften i ett modernt operationsrum med vertikal parallellströmning brukar vara uppdelad ungefär så att 70 procent av luften sugas ut via donen vid golvet och resterande 30 procent genom donen vid taket. Uppdelning används för att reducera virvelbildningen i rummet. I våra tester varierar mängden frånluft i de olika donen, men för att hitta en lämplig uppdelning mellan tak- och golvutsug skulle vidare försök behöva göras där fokus läggs just på detta.

Vanligtvis brukar frånluftsdonen vara placerade i rummets hörn, men det skulle vara intressant att se hur det skulle se ut om donen placerades på andra ställen i rummet. Möjligtvis skulle donen kunna placeras vid väggarnas fjärdedelspunkter. Kan detta ge ett annat rörelsemönster för luften i operationsrummet, där oönskade virvlar möjligtvis kan undvikas?

7.5.4 Undertempererad tilluft

Vanligtvis är tilluften som förs in i operationsrummet undertempererad i förhållande till rumsluften. De termiska effekterna som sker till följd av detta medför i teorin en stabilare luft rörelse. Detta beskrivs mer ingående för de olika luftföringsprinciperna i kapitel 2. I laborationen som utförts har avgränsning från undertempererad tilluft gjorts. Detta ger på så sätt ett värsta fall, motsvarande det driftsfall då det inte är möjligt att undertemperera tilluften.

Om tilluften undertempereras vid försöken då parallellströmningsprincipen används skulle möjligtvis en lägre hastighet kunna användas för att ge samma rörelsemönster. Därför vore ett försök med undertempererad tilluft intressant.

8 Slutsatser

Efter utförd laboration där luftströrelserna i ett operationsrum, i modellskala, visualiserats kan slutsatser dras. En jämförelse av tidigare studier och de teoretiska modellerna av luftströrelser i operationsrum med resultaten i laborationsförsöket leder till dessa slutsatser.

- Modellen avspeglar både verkligheten och teori på ett bra sätt när det gäller vertikal parallellströmning med lufthastigheter mellan 0,2-0,5 m/s. Det finns en hel del systemtekniska förenklingar men dessa påverkar inte luftströrelserna i så stor omfattning att det påverkar resultatet.
- För deplacerande ventilation speglas inte verkligheten och framför allt inte teori på ett lika bra sätt som för vertikal parallellströmning. Försöksserien med denna ventilationsprincip är därmed inte helt tillförlitlig. Utveckling och förbättring av modellen genom att undertemperera tilluften, använda någon form av värmekälla i rummet samt sänka tilluftshastigheten tror vi är åtgärder som kan bättra på resultatet.
- Modellen kan på ett enkelt och lättförståeligt sätt användas för att visualisera luftströrelserna i ett operationsrum. Modellen kan till exempel användas för att ge sjukhuspersonal en bättre bild av hur viktig ventilationens funktion är vid infektionskänsliga operationer. Visualiseringen i modellen med hjälp av rök ger en större förståelse av luftens rörelsemönster än med de bilder som har ritats utgående från teori.
- Virvlar i luftströmmen är ett problem vid samtliga försök. Tendenser till mindre virvelbildningar har uppfattats vid högre lufthastigheter och med delvis frånluft i takhöjd. För att reda ut virvlarnas inverkan på skyddsventilationen krävs fler studier med fokus på just detta.
- Genom att fortsätta utveckla modellen enligt rekommendationerna från diskussionsdelen kan den på ett mer verklighetstroget sätt användas för att visualisera luftströrelser i ett operationsrum.

Litteraturförteckning

Dellgar, U., Häggbom, S. & Lindqvist, C. (2002) *Ventilation ur vårdhygieniskt perspektiv*. Järfälla: Uno Dellgar Rådgivning AB.

ISO (1999). *ISO 14644-1*. [Hämtat: 2012-04-26]. Tillgänglig: <http://acquisition.jpl.nasa.gov/rfp/JSL-52404/ISO14644-11999.pdf>.

Lindblom, A. (2008) *Ventilation med ultraren luft jämfört med konventionell ventilation på operationssalar. Mätning av bakteriehalt (cfu/m³) före och efter installation av operationstak med laminärt flöde på Falu lasarett*. Smittskyddsinstitutet.

Lindström, M. & Sundin, D. (2005) *Uppbyggnad av luftbehandlingssystem för operationsrum. Dokumentation och mätningar*. Examensarbete. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, Energi och Miljö.

Nordenadler, J. (2010) *Något om skyddsventilation i operationsrum*. Doktorsavhandling. Stockholm: KTH Installationsteknik.

Sundbeck, P. & Värmsjö, P. (2005) *Luftförling i operationsrum. Systemuppbyggnad för och utvärdering av parallellströmning genom visualisering*. Examensarbete. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola Byggnadsteknologi.

Systemair AB (2012) *KVKE 160 Kanalfläkt*. [Hämtat: 2012-05-15]. Tillgänglig: <http://www.systemair.com/KVKE-160-Circular-duct-fan-sv-1409.aspx>.

Swedish Standards Institute (2011) *Vägledning och grundläggande krav för mikrobiologisk renhet i operationsrum. Att förebygga luftburen smitta i operationsrum*. Remissutgåva. Stockholm: Swedish Standards Institute.

Socialstyrelsen (2006) *Att förebygga vårdrelaterade infektioner - ett kunskapsunderlag*. Lindesberg: Socialstyrelsen.

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

Bilaga 1 Videofilmer från laborationsförsök

Finns för nedladdning på: www.dropbox.com/sh/a5gnud01uumtzbc/n4XxO1ALLm