Rapport 2017:21

Energieffektiv ventilation för ultraren luft

Energieffektiv ventilation för ultraren luft

Jakob Löndahl, Lunds universitet
Peter Ekolind, Avidicare
Peter Höjerback, Avidicare
Malin Alsved, Lunds universitet
Sture K Holmberg, KTH

Energimyndighetens projektnummer: 38862–2

E2B2

Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggentreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknikkonsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Energieffektiv ventilation för ultraren luft är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av *Lunds universitet* och har genomförts i samverkan med *Avidicare AB*.

TAF-ventilation (Temperature controlled Air Flow) är en ny teknik för ventilation i rum med höga renhetskrav exempelvis inom sjukhus eller industri. Tekniken har hög energieffektivitet tack vare att luftflödet styrs med hjälp av temperaturgradienter och riktade luftintag. Projektet är en fortsättning på ett tidigare E2B2-projekt och har genomfört en vetenskaplig undersökning och vidareutveckla TAF-tekniken med hjälp av simulering och olika driftfall. Målet är att med hjälp av temperaturstyrning av ventilationen uppnå 30 procent lägre energianvändning med bibehållen renhet.

Stockholm, 29 december 2017

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Infektionskänsliga salar vid sjukhus såväl som industriella renrum kräver extremt energikrävande ventilation eftersom luftomsättningshastigheten i regel är 20–40 gånger högre än i vanliga lokaler. Därför har det här projektet undersökt en typ av ventilationsteknik, så kallad TAF-teknologi (temperature controlled airflow), som använder sig av temperaturgradienter för att få hög reningseffektivitet. TAF för operationssalar har utvecklats av företaget Avidicare som produkten Opragon. Våra experimentella resultat har visat att TAF-ventilationen ger en låg bakteriehalt i förhållande till använd luftmängd och därför använder luften mer energibesparande än traditionell omblandande ventilation. Modellberäkningar som utförts bekräftar bilden.

För närvarande finns en stor vetenskaplig osäkerhet kring val av ventilation, särskilt i operationsmiljö: mätningar visar att så kallade laminärflödestak ger lägst bakteriehalt, samtidigt som statistiska data visar att de inte minskar infektionsrisken jämfört med omblandande ventilation. En möjlig förklaring är att laminärflödestak förutsätter att all verksamhet sker inom den relativt begränsade sterila zonen, vilket långt ifrån alltid är fallet. TAF-teknologin som undersökts i det här projektet ger hög renhet kring patienten, men har också visats rena luften effektivt även perifert i rummet. Därmed är det inte lika kritiskt att personalen disciplinerat håller sig inom sterilområdet.

Sammanlagt har 934 luftprover tagits under pågående kirurgi för bestämning av bakteriekoncentrationen i luften med TAF-ventilationen Opragon. För jämförelse har också 500 mätningar gjorts vid operationssalar med omblandande ventilation och laminärflödestak. De experimentella resultaten har jämförts med CFD-modelleringar körda vid en superdator på KTH. Totalt innebär detta att vi nu har mycket stort underlag som visar att tekniken fungerar. Opragon-ventilationen gav, till skillnad från de två andra systemen, bakterienivåer under gränsvärdet för ren kirurgi vid alla mätpunkter i operationssalen. Huvudresultaten publicerades nyligen i Journal of Hospital Infection och har under projektets gång kommunicerats i såväl vetenskapliga forum som vid en rad olika branschkonferenser och nyhetsinslag.

Nyckelord: Ultraren luft, renrumsventilation, operationssalar, luftkvalitet, hygien, temperaturkontrollerat luftflöde

Summary

Infection sensitive rooms at hospitals as well as in industry require extremely energy-demanding ventilation as the air velocity usually is 20-40 times higher than in normal indoor environments. Therefore, this project has investigated a new type of ventilation technology, called temperature controlled air flow (TAF), which uses temperature gradients to achieve high cleaning efficiency. Avidicare has developed TAF for operating rooms with the product Opragon. Our experimental results have shown that TAF ventilation gives a low bacterial load relative to the amount of air used, and therefore uses less energy than traditional mixing airflow. Model calculations performed confirm the results.

At present, there is a great scientific uncertainty about the choice of ventilation, especially in the operating environment: measurements show that so-called laminar airflow produce the lowest bacterial content, while statistical data show that they do not reduce the risk of infection compared with mixing ventilation. One possible explanation is that laminar airflow requires that all activities take place within the relatively limited sterile zone, which is far from always the case. The TAF technology investigated in this project provided high cleanliness around the patient, but was also shown to clean the air efficiently peripherally in the room. Thus, it is not as critical that the staff are disciplined to keep everything within a narrow sterile zone.

A total of 934 air samples have been taken during ongoing surgery to determine the bacterial concentration in the air with the TAF ventilation Opragon. For comparison, 500 measurements have also been made at operating rooms with mixed ventilation and laminar airflow. The experimental results were compared with CFD models run by a supercomputer at KTH. Thereby, we now have substantial evidence that the technology works. Opragon ventilation, unlike the other two systems, gave bacterial levels below the limit of clean surgery at all measurement points in the operating room. The main findings were recently published in the Journal of Hospital Infection and have been communicated during the project in scientific forums as well as at a variety of industry conferences and news reports.

Keywords: Ultraclean air, clean room ventilation, operating rooms, air quality, hygiene, temperature controlled airflow

INNEHÅLL

1 INLEDNING OCH BAKGRUND 7
1.1 BAKGRUND 7
1.2 SYFTE 8
1.3 PROJEKTDELTAGARE 8

2 GENOMFÖRANDE 9
2.1 EXPERIMENTELLA MÄTNINGAR OCH MODELLBERÄKNINGAR 9
2.2 SKALMODELL OCH ANDRA UTVECKLINGSPROJEKT 9
2.3 KOMMUNIKATION 9

3 RESULTAT 10
3.1 UTVÄRDERING AV EXPERIMENTELLA DATA 10
3.2 JÄMFÖRELSE AV EXPERIMENTELLA DATA MED MODELLBERÄKNINGAR 11
3.3 SKALMODELL 13
3.4 KOMMUNIKATION 13

4 DISKUSSION 14

5 PUBLIKATIONSLISTA 15
5.1 VETENSKAPLIGA ARTIKLAR 15
5.2 INTERNATIONELLA VETENSKAPLIGA KONFERENSER 15
5.3 SEMINARIER VID BRANSCHKONFERENSER OCH UTBILDNINGSDAGAR 15
5.4 KURS 16
5.5 ÖVRIGA PUBLIKATIONER 16

6 REFERENSER 17

BILAGOR 18
6.1 KOMMUNIKATIONSPLAN (KORTAD VERSION) 18
6.1.1 MÅLGRUPPER 18
6.1.2 VAD SKA HÄNDA HOS MÅLGRUPPERNA? 18
6.1.3 BUDSKAP 18
6.1.4 STRATEGI FÖR ATT NÅ MÅLGRUPPERNA 18

1 Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

Effektiv ventilation med filtrerad luft vid sjukhus och inom många industrisektorer är avgörande för att begränsa smittspridning, minska personalens exponering för föroreningar eller skydda tillverkningsprocesser. Den ventilation som används är extremt energikrävande, men har samtidigt en effektivitet som till stora delar är oklar och svagt underbyggd av vetenskapliga studier. Det finns alltså ett stort behov av forskning för att klargöra på vilket sätt luftburen smitta reduceras mest effektivt, inte minst i kirurgisk operationsmiljö vid sjukhus. Ventilationen i en typisk operationssal drar lika mycket energi som en medelstor svensk villa, och åtgärder för energibesparingsåtgärder är således både ekonomiskt och miljömässigt gynnsamt.

Detta projekt är en fortsättning på projektet ”Energieffektiv ventilation för sjukhus och renrumsmiljöer inom industrin” som påbörjades i augusti 2014 och avslutas i juni 2016. Projekten utforskar en ny typ av ventilation, så kallad TAF-teknik (temperature controlled airflow) som finns både för industriella renrum och sjukhus.

Ventilation med ultraren luft är en kritisk del i hygienarbetet vid sjukhus. Smitta överförd under operationer uppskattas kosta cirka fyra miljarder kronor per år bara i Sverige (Socialstyrelsen, 2006). Därutöver tillkommer det personliga lidandet och många gånger en förkortad livslängd. Det är väl belagt att postoperativa infektioner uppkommer genom att bakterier når operationssåret under den tid det kirurgiska ingreppet pågår (Lidwell et al. 1983; Whyte et al. 1982). Bakterier sprids kontinuerligt till luften från personer i rummet eller från angränsande rum i händelse av dörröppningar (Erichsen Andersson 2013; Ritter et al. 1975). Därigenom kan de via luftströmmar deponeras i operationssåret, eller på någon yta (ex. instrument) som kommer i kontakt med såret, och sedan ge upphov till infektion (Edmiston et al. 2005; Friberg et al. 1999; Lidwell et al. 1983).

Luften är alltså en av de vanligaste, och förmodligen den snabbaste, spridningsvägen för många smittämnen. Samtidigt är den en spridningsväg som i hög utsträckning går att begränsa genom tekniska metoder och kunskap. Ventilation är en kritisk faktor för att få bort smittbärande ämnen och föroreningar ur lokaler. Därför använder sjukhus och industri höga luftflöden med kraftiga fläktar som drar stora mängder energi både för uppvärmning och cirkulation.

Vid många sjukhus i Sverige pågår ombyggnad eller nybyggnad av operationssalar. I Tyskland pågår en stor omvärdering av ventilation i operationsmiljö. Kunskap om hur ventilation ska designas för att effektivt minska smittöverföring är därför närmast akut angelägen. Erfarenheten kan i stor utsträckning tillämpas inom andra områden där ren luft är ett krav. Låg energianvändning innebär kostnadsbesparingar och ingår därför i kalkylen när sjukhus väljer system.

För att transportera bort bakterier ur luften har många operationssalar ventilation med riktat ”laminärt” flöde (laminärflödestak, LAF-tak eller som det numera ofta kallas UDF-tak). Flera studier under de senaste åren har visat att dessa ventilationstak inte nämnvärt minskar, eller till och med ökar, infektionsrisken (Agodi et al. 2015; Breier et al. 2011; Diab-Elschahawi et al. 2011; Gastmeier et al. 2012; Hooper et al. 2011; Iudicello and Fadda 2013; Miner et al. 2007). Världshälsoorganisationen, WHO, skrev därför nyligen i en rapport att LAF inte bör användas för infektionskänslig proteskirurgi

(WHO 2016). Samtidigt har denna typ av ventilation vid mätningar visat hög effektivitet kring såområdet. En möjlig förklaring till att LAF inte gett tydligt sänkt infektionsfrekvens är att tekniken kräver att allt arbete sker inom en avgränsad ”steril” zon – något som ibland är svårt att upprätthålla när både personal och annan utrustning ska få utrymme kring patienten.

Det här projektet studerar TAF-teknologi, som är ett nytt ventilationskoncept i sjukhusmiljö. TAF-teknik innebär att lätt undertempererad luft genom sin högre densitet faller mot golvet med en hastighet som styrs av temperaturskillnaden mellan tillförd luft och omgivande rumsluft (uppmätt i nivå med operationsbordet). Denna teknik ger en mycket stabil och säker styrning av fallhastigheten över patienten och den sterilklädda personalen. Tekniken möjliggör också att kroppskonvektionen runt personal och patient bryts, utan att det känns dragigt. Till skillnad från LAF-tak använder TAF inte HEPA-filter som både filter och luftfördelare, utan skiljer på dessa funktioner. Filter placeras i anslutning till operationsrummet och inne i operationsrummet återfinns endast luftfördelare (luftduschar) med en mycket hög verkningsgrad. Därmed är energiåtgången också lägre än för LAF. TAF har kontrollerats och godkänts enligt den europeiska DIN-standarden 1946 som gäller ventilation i operationssalar. TAF används också för industriella renrum.

1.2 Syfte

Det övergripande målet med projektet är att fördjupa och kommunicera arbetet kring TAF-ventilation för miljöer som kräver ultraren luft. Specifika mål:

1. Ta fram en solid vetenskaplig dokumentation och bättre förståelse av de tre studerade ventilationssystemen genom att de experimentella resultaten (från föregående projekt) knyts till simulerade luftflöden framräknade med superdator vid KTH.
2. Utvärdering av idéer som uppkommit under föregående projektperiod: A) Effekt av totalstopp i ventilation då lokalen är stängd. B) Test av ventilationsutveckling genom tillverkning av skalmodeller i 3D-skrivare.
3. Kommunikation av tidigare erhållna och nya resultat i branschorganisationer och vetenskapliga forum.

1.3 Projektdeltagare

Projektet har genomförts som ett samarbete mellan främst Lunds universitet, företaget Avidicare AB, KTH, företaget BioTekPro AB och KI/Stockholms läns landsting. Vid Lunds universitet medverkade två avdelningar, båda vid institutionen för designvetenskaper: avdelningen för ergonomi- och aerosolteknologi (EAT), som har en lång forskningstradition kring mätning luftburna partiklar och också arbete med renrumsteknik samt avdelningen för produktutveckling som genom prof. Olaf Diegel experimenterar med olika användningsområden för 3D-skrivare. Avidicare AB utvecklade den TAF-ventilation som projektet har undersökt. KTH genomförde simuleringar av luftflöden i operationssalar. BioTekPro AB är Nordens marknadsledande konsult- och utbildningsföretag inom renhetsteknik och har bidragit med expertis. KI/Stockholms läns landsting var representerat genom med. dr. Ann Tammelin och har bidragit med viktig expertkunskap kring smittspridning i vården.

2 Genomförande

2.1 Experimentella mätningar och modellberäkningar

Mätningar av luftburna bakterier mättes i tre olika operationsrum, som endast skilde sig åt genom att olika typer av ventilation var installerad. I samtliga rum genomfördes likadana operationer (i lika antal), med samma antal personer och samma typer av klädsel. Mätningar av bakterienivåer i luft gjordes vid det kirurgiska såret, vid instrumentbordet en bit bort samt perifert i rummet. Detaljerad beskrivning finns i Alsved et al. 2017.

Datorsimuleringar (computational fluid dynamics, CFD) av koncentration luftburna bakterier genomfördes för de tre experimentsituationerna (mjukvara ANSYS). Vid modellberäkningarna antogs att fyra personer genomförde operationerna, samt att bakterier främst frigörs från huvudregionen.

2.2 Skalmodell och andra utvecklingsprojekt

En skalmodell (skala 1:5) av ventilationssystemet tillverkades (se s 13). Idén var att enklare kunna utforska och illustrera hur ventilationsflödena fungerar. Flödena i den mindre modellen antogs likna fullskaliga salar genom att liknande turbulensparametrar uppehölls (konstant Reynolds tal). Vid rökgassimuleringarna blev dock luftflödena allt för otydliga och vi valde därför att inte arbeta vidare med metoden. Skalmodellen hade eventuellt förenklat det experimentella arbetet, men var inte nödvändig för studien i stort.

De experimentella resultaten visade på ett antal parametrar som påverkar luftkvalitén i rummen, såsom dörröppningar, aktivitet och antal personer. Med hjälp av sensorer kan dessa parametrar enkelt mätas och användas för återkoppling och förbättring av luftrenheten. Produktutveckling pågår kring detta, vilket förhindrar publikation på detta stadium.

2.3 Kommunikation

Kommunikation har utgjort en relativt stor del av projektet. Vi har genomfört ett stort antal föreläsningar, seminarier och utbildningstillfällen och publicerat resultaten i centrala forum kring renhet. Mer information finns i appendix med kommunikationsplan och i publikationslistan.

3 Resultat

3.1 Utvärdering av experimentella data

Under detta och föregående projekt har tre typer av ventilation för ultrarena miljöer utvärderats (se tabell 1): TMA (turbulent omblandande luftflöde alt. turbulent mixed airflow), LAF (laminärflöde) och TAF (temperaturkontrollerat luftflöde). Totalt samlades och analyserades 750 luftprover för mätning av bakterier från 45 operationer (i genomsnitt 6 prover per plats och operation). Bakteriekoncentration mättes som kolonibildande enheter per kubikmeter luft (CFU/m³).

Tabell 1. Sammanfattning av mätdata för de tre undersökta ventilationstyperna.

Ventilation	**TMA**		**LAF**		**TAF**	
Luftflöde (m³/h)	3 200		12 000		5 600	
Recirkulation av luft (%)	0		70		45	
Buller i tomt rum (dBA)	45		58		48	
Ventilationseffekt (kW)	2.8		8.0		5.7	
CFU/m³, median (intervall, antal prover)						
Sår	10	(0-162, 71)	0	(0-16, 90)	1	(0-29, 81)
Instrumentbord	22	(2-100, 82)	0	(0-20, 91)	3	(0-25, 81)
Perifert i rummet	17	(3-90, 82)	9	(0-38, 91)	5	(0-37, 81)
Observation av aktivititeter, median (intervall)						
Dörröppningar per operation (normaliserat till antal/timme)	5.6	(0-11)	3.8	(1.4-11) [a]	2.1	(0-10) [a]
Antal personer i rummet	7	(6-8)	7	(5-9) [a]	7	(6-9) [a]

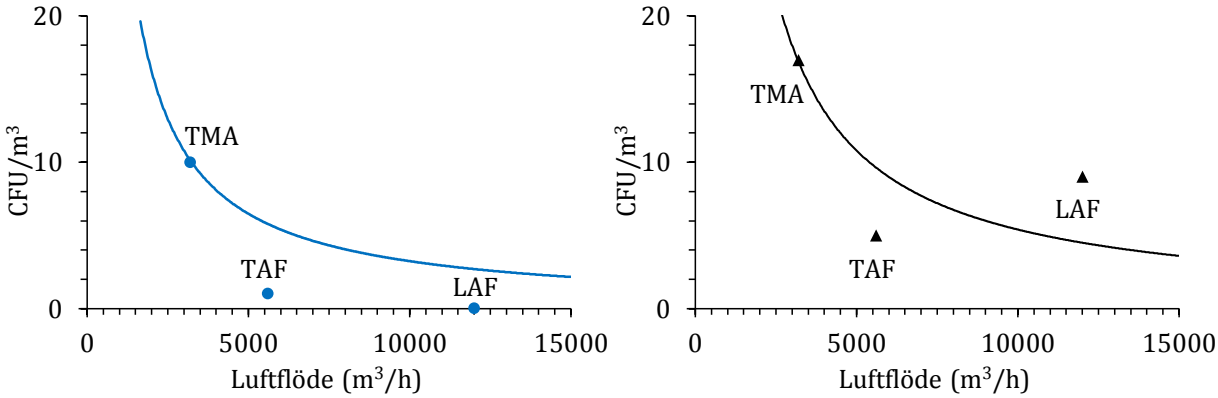
Mätningarna visade att både LAF och TAF hade en mediankoncentration under 10 CFU/m³ vid alla platser i rummet under pågående operation (tabell 1 och figur 3). CFU-koncentrationen för LAF i periferin av rummet var dock inte signifikant lägre än 10 CFU/m³ ($p = 0{,}28$). TMA hade CFU-koncentrationer lika med eller över 10 CFU/m³ på alla ställen under pågående operation.

De tre ventilationssystemen resulterade i väsentligen olika CFU-koncentrationer. Vid såret och instrumentbordet, båda placerade i den ”sterila” zonen i LAF och TAF, hittades de lägsta CFU-koncentrationerna för LAF (median 0 CFU/m³). TAF hade högre CFU-koncentrationer vid dessa ställen (median 1-3 CFU/m³) och TMA hade ännu högre (median 10-22 CFU/m³). TMA hade som förväntat liknande CFU-koncentrationer på alla ställen i rummet, och koncentrationerna på de tre ställena var positivt korrelerade. För LAF och TAF korrelerade CFU-koncentrationerna mellan såret och instrumentbordet, men inte med rummets periferi.

3.2 Jämförelse av experimentella data med modellberäkningar

CFU-koncentrationerna i de olika ventilationssystemen kan inte enbart förklaras av skillnaderna i luftflödeshastigheter (figur 1). Detta framgår tydligt när experimentella data jämförs med det (alltför vanliga) antagandet att bakteriekoncentrationen är omvänt proportionell mot luftflöde, vilket gäller för omblandande ventilation på de ställen i rummet där luften har möjlighet att cirkulera fritt.

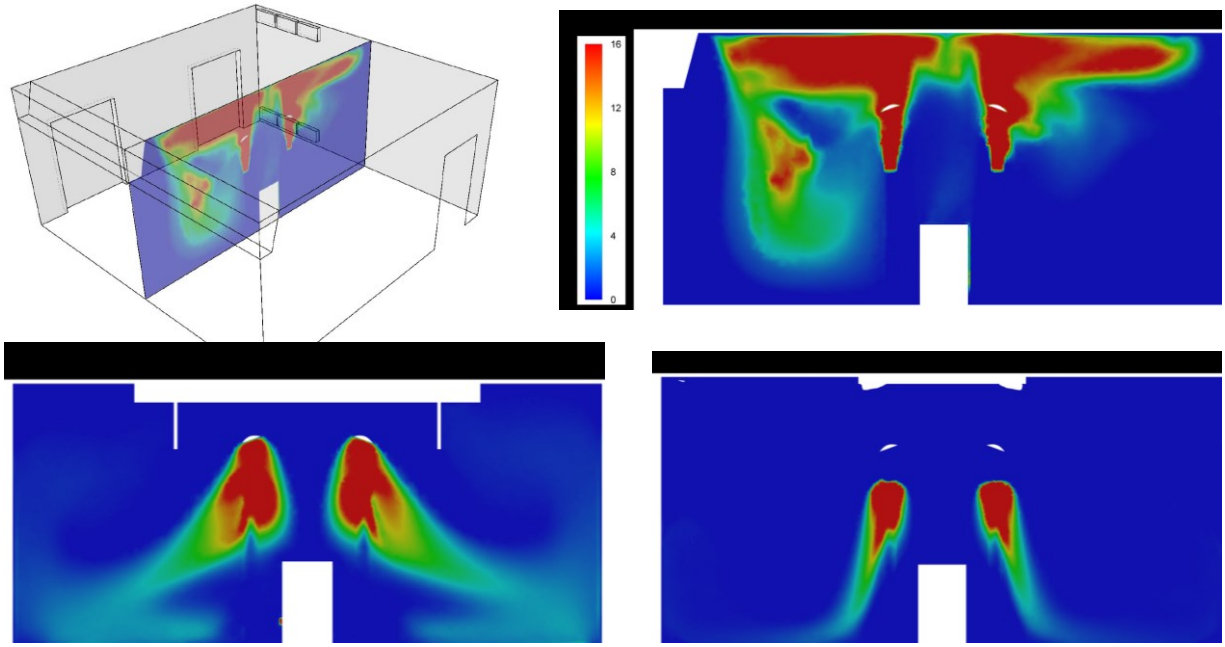
TAF hade t ex endast två gånger luftflödet av TMA, men en tiondel av CFU-koncentrationen vid såret (tabell 1 och figur 1). På samma sätt hade LAF fyra gånger högre luftflöde än TMA, men CFU-värdena var mindre än en tjugondel vid såret. Således använder TAF och LAF luftflödet mer effektivt än TMA för att avlägsna bakterier. Följaktligen var den högre energiförbrukningen av LAF och TAF liten jämfört med sänkning av CFU-koncentrationen: TAF och LAF använde 2 och 3 gånger mer energi än TMA (tabell 1).



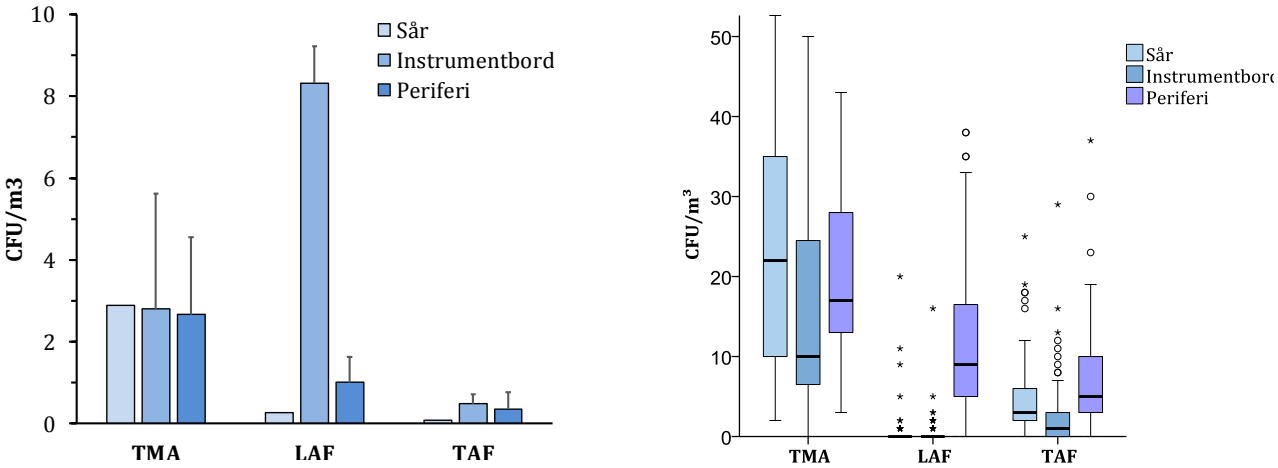
Figur 1. Jämförelse av ventilationseffektivitet för de tre systemen. Heldragna linjer visar bakteriekoncentration som funktion av luftflöde med antagandet att principen om fullständig omblandning gäller, dvs att bakteriehalten är omvänt proportionell mot luftflödet. Vänster bild visar förhållanden vid sårområdet och höger bild visar data perifert i rummet. Som synes har TAF betydligt högre effektivitet än omblandande ventilation, både vid sår och längre ur i rummet. LAF har hög effektivitet vid såret, men är mindre effektiv än omblandande ventilation perifert i rummet.

Eftersom den enkla modellen om fullständigt omblandad ventilationsluft inte kunde förklara skillnaderna i CFU-koncentration genomfördes beräkningar med CFD-modeller (figur 2 och 3). Dessa visade tydligt att vissa delar av salen blir dåligt ventilerade. Exempelvis uppstår zoner under operationsbelysningen där luften inte cirkulerar effektivt, vilket gäller särskilt för LAF. TMA-ventilationen tränger inte in i området kring patienten lika effektivt som LAF och TAF. Bakom operationspersonalen kan CFU-koncentrationerna bli höga, särskilt för LAF. För denna ventilation är det därför viktigt att inte placera instrumentbordet bakom operationspersonal, utan vid sidan.

Figur 3 illustrerar dels modellerade och dels uppmätta värden för CFU-koncentration vid olika platser i salarna. Det höga beräknade CFU-värdet för LAF vid instrumentbordet beror på att beräkningspunkten var placerad bakom kirurgen. Om instrumentbordet flyttas till sidan blir CFU-koncentrationen mycket låg.



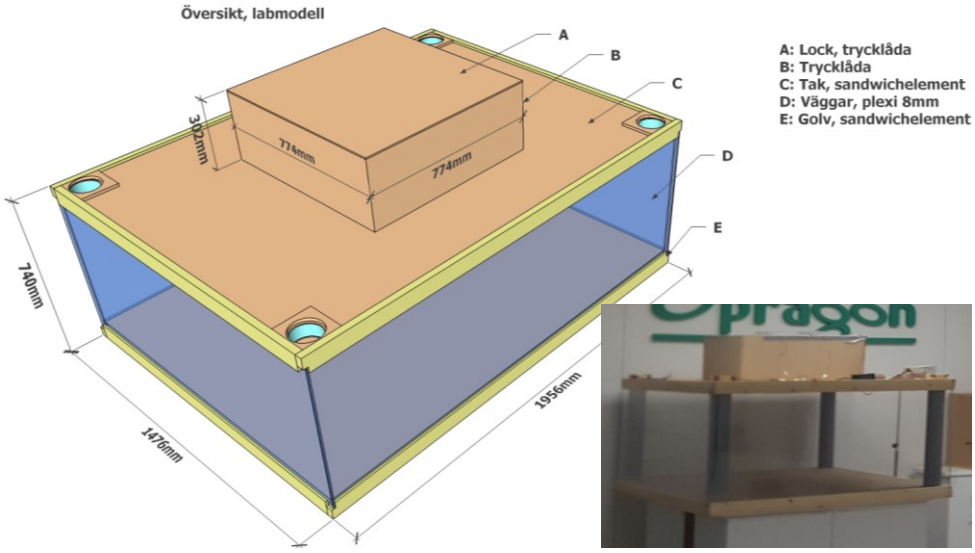
Figur 2. Modellerad CFU-koncentration för de tre salarna. Bilderna illustrerar bakteriekoncentrationen i genomskärning över operationsbordet. Övre bilden, höger: TMA (turbulent omblandande ventilation, med luftinblås från övre vänstra panelen och luftuttag från motsatt vägg). Nedre, vänster: LAF. Nedre, höger: TAF. Bilderna visar också tydligt hur operationsbelysningen förhindrar ventilationsluften över patientbordet, vilket särskilt påverkar LAF-systemet.



Figur 3. Koncentrationen av bakterier i luften för de tre ventilationssystemen. Vänster bild visar modellerade CFU-värden och höger bild uppmätta värden.

3.3 Skalmodell

En skalmodell byggdes av ett rum med högeffektiv ventilation för att undersöka möjligheten att enklare illustrera och utveckla systemet (figur 4). Skillnaderna mot flöden i fullskala blev dock alltför stora för att tekniken skulle vara praktiskt användbar.



Figur 4. Design och konstruktion av skalmodell för ventilationsstudier.

3.4 Kommunikation

En stor del av projektet har utgjorts av analys, publicering och kommunikation av insamlade data. Se vidare information i publikationslistan och i bilaga med (kortad) kommunikationsplan. Särskilt har riktade kommunikationssatsningar gjorts mot främst Tyskland genom samverkan med nyckelpersoner inom ventilation, exempelvis vid Hermann-Rietschel-Institut (Berlin) och Ostbayerische Technische Hochschule, där forskning på effektiv ventilation bedrivs. Anledningen är dels Tysklands inflytande över utformningen av den här typen av högeffektiva ventilationssystem och dels att det för närvarande pågår en intensiv vetenskaplig diskussion kring vilken typ av teknik som bäst renar luften i operationssalar.

4 Diskussion

Ultraren luft, definierad som luft med mindre än 10 CFU/m^3, är ett krav för infektionskänsliga operationer i många länder. Vi fann att LAF och TAF gav luftrenhet under denna gräns i hela salen under operationerna. CFU-koncentrationerna i TMA var högre än den rekommenderade gränsen vid alla positioner i rummet, vilket delvis beror på ett lägre luftflöde men också på en mindre effektiv luftanvändning.

Skillnader i luftflöden för de tre ventilationsteknikerna påverkade CFU-koncentrationerna, men förklarar inte fullständigt skillnaderna mellan de erhållna CFU-värdena. TAF och LAF hade luftflöden som var 2 och 4 gånger högre än för TMA, men gav CFU-koncentrationer som var 4–20 gånger lägre, med undantag för området utanför den ”sterila zonen” för LAF. Det är därför klart att både luftflödeshastigheten och luftflödesriktningen bestämmer CFU-koncentrationerna för ventilationsteknikerna och att TAF och LAF är effektivare vid avlägsnande av bakterier än TMA. Genom att rikta de rena inkommande luftflödena strategiskt finns det potential att sänka luftflödena, vilket leder till betydande energibesparingar och av allt att döma därmed även sänkt infektionsrisk.

En begränsning i vår studie är att det finns många olika varianter för både TMA och LAF ventilation. Till exempel finns det TMA-system med högre luftflöden och LAF-system med lägre. LAF-ventilationen som studerades var utformad som en Charnley-låda med korta gardiner (ett fyrkantigt LAF-tak med korta avgränsande ”väggar” hängande längs kanterna); men det finns många andra versioner där luftutsug placeras annorlunda (delvis för att minska buller), eller där temperaturgradienter används. Ändå producerar de undersökta ventilationssystemen karakteristiska flödesmönster för varje typ och är i viss mån representativa och meningsfulla för jämförelse.

Trots en stor variation i effektiviteten hos olika mättekniker finns det inga tillräckligt tydligt fastställda regler för hur mätningar ska genomföras för kontroll av luftrenhet i ultrarena miljöer. Exempelvis används ibland instrumentinsug med långa slangar och insamlingstekniker med dålig partikelavskiljning. Sådan provtagning blir missvisande och kan i värsta fall leda till en kraftig överskattning av ventilationens effektivitet. Vi har i detta projekt valt mättekniker som ger förhållandevis höga CFU-värden, genom att vi inte har använt slang till mätinstrumenten och samlat direkt på blodagar (med undantag för sårmätningarna där vi av sterilskäl tvingades använda en filtermetod). Vi använde aktiva luftprovtagare för att få volymkoncentrationer, som är mer väldefinierade än exempelvis sedimentationsplattor.

Sammantaget visar både mätningar och modellberäkningar att TAF-ventilationen använder ventilationsenergin jämförelsevis effektivt och ger ren luft i hela rummet. Det är därmed mindre kritiskt att hålla all utrustning inom en liten avgränsad steril zon. TAF-tekniken bör därför kunna användas i många av de miljöer som kräver ultraren luft, vilket förutom operationssalar också innefattar laboratorier, lokaler för läkemedelstillverkning, livsmedelsindustri och mycket teknisk tillverkningsindustri där produkterna måste skyddas från föroreningar.

5 Publikationslista

5.1 Vetenskapliga artiklar

Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Erichsen Andersson, A., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Sadrizadeh, S., Larsson, P-A, Bohgard, M., Šantl-Temkiv, T., Löndahl, J., "Temperature controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow", accepted for publication in *Journal of Hospital Infection*

Cong et al. "Comparison of modelled and measured concentrations of airborne bacteria in operating rooms", *manuscript in preparation*

5.2 Internationella vetenskapliga konferenser

Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Erichsen Andersson, A., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Šantl-Temkiv, T., Larsson, P.A., Bohgard, M., Löndahl, J., "Airborne bacteria in hospital operating rooms during ongoing surgery", DGHM conference, Microbiology and Infection, 2018, Bochum, Germany

Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Erichsen Andersson, A., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Santl Temkiv, T., Larsson, P-A., Bohgard, M., Löndahl, J. "Airborne bacteria in hospital operating theatres during surgery", Ulmer Symposium Krankenhausinfektionen, March 2017, Germany

Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Erichsen Andersson, A., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Santl Temkiv, t., Larsson, P.A., Bohgard, M., Löndahl, J. "Airborne bacteria in hospital operating theatres during surgery", Conference Proceedings European Aerosol Conference, EAC, September 2016, Tours, France

5.3 Seminarier vid branschkonferenser och utbildningsdagar

Alsved, M. och Löndahl, J., "Utvärdering av tre ventilationsmetoder för operationssalar – forskningsstudie vid Helsingborgs lasarett", föredrag vid SFVH, Svensk förening för vårdhygien, konferens, 4-6 april 2017, Västerås

Alsved, M. och Löndahl, J., "Ventilation och andra åtgärder för att minska mängden luftburna mikroorganismer", Ventilationsseminarium SUS, 19 januari 2017, Malmö

Alsved, M. och Löndahl, J., "Temperaturkontrollerat luftflöde i operationssalar – En jämförande studie om energieffektiv och ren luft", konferensen Tema Renrum, 29–30 november 2016, Stockholm

Löndahl, J., "Hur undviker vi spridning av luftburna smittämnen?", föreläsning vid Smittdagarna 27–28 september 2017, Stockholm

5.4 Kurs

I samarbete med National Doctoral Programme in Infection and Antibiotics (NDPIA) genomfördes under april 2017 forskarutbildningskursen ”Airborne transmission of infectious agents”. Syftet var att öka kunskapen kring luftburen smittspridning.

5.5 Övriga publikationer

Energi & Miljö, ventilation för sjukhus, december 2016

Energi & miljö, Luftrenhet vid operation, februari 2017

Forskning.se, ”Rätt ventilation minskar smittspridning under operationer”, 15 december 2017: https://www.forskning.se/2017/12/15/ratt-ventilation-minskar-smittspridning-under-operationer/

Nordiska Projekt (branschtidning inom energi och industri), "Snabba metoder för att konstatera biologiska partiklar i luften", nr 1 2017

SVT Sydnytt, ”Här ska ventilationen blåsa bort operationssmittorna”, 30 november 2017: https://www.svt.se/nyheter/lokalt/helsingborg/har-ska-ventilation-blasa-bort-operationssmittorna

Vårdfokus (”tidningen för vårdförbundet”), ”Bättre arbetsmiljö och mindre bakterier med ny ventilation”, publicerat 8 december 2017: https://www.vardfokus.se/webbnyheter/2017/december/battre-arbetsmiljo-och-mindre-bakterier-med-ny-ventilation/

6 Referenser

Agodi A, Auxilia F, Barchitta M, Cristina ML, D'Alessandro D, Mura I, et al. 2015. Operating theatre ventilation systems and microbial air contamination in total joint replacement surgery: Results of the gisio-ischia study. Journal of Hospital Infection 90:213-219.

Breier, A. C., et al. (2011), 'Laminar Airflow Ceiling Size: No Impact on Infection Rates Following Hip and Knee Prosthesis', Infection Control and Hospital Epidemiology, 32 (11), 1097-102.

Diab-Elschahawi, M., et al. (2011), 'Impact of different-sized laminar air flow versus no laminar air flow on bacterial counts in the operating room during orthopedic surgery', American Journal of Infection Control, 39 (7), E25-E29.

Edmiston, C. E., et al. (2005), 'Molecular epidemiology of microbial contamination in the operating room environment: Is there a risk for infection?', Surgery, 138 (4), 573-79.

Erichsen Andersson, A. (2013), 'Patient Safety in the OR - Focus on Infection Control and Prevention', Doctoral Thesis (University of Gothenburg. Sahlgrenska Academy).

Friberg, B., Friberg, S., and Burman, L. G. (1999), 'Correlation between surface and air counts of particles carrying aerobic bacteria in operating rooms with turbulent ventilation an experimental study', Journal of Hospital Infection, 42 (1), 61-68.

Gastmeier, P., Breier, A. C., and Brandt, C. (2012), 'Influence of laminar airflow on prosthetic joint infections: a systematic review', Journal of Hospital Infection, 81 (2), 73-78.

Hooper, G. J., et al. (2011), 'Does the use of laminar flow and space suits reduce early deep infection after total hip and knee replacement? THE TEN-YEAR RESULTS OF THE NEW ZEALAND JOINT REGISTRY', Journal of Bone and Joint Surgery-British Volume, 93B (1), 85-90.

Iudicello, S. and Fadda, A. (2013), 'A Road Map to a Comprehensive Regulation on Ventilation Technology for Operating Rooms', Infection Control and Hospital Epidemiology, 34 (8), 858-60.

Lidwell, O. M., et al. (1983), 'Airborne contamination of wounds in joint replacement operations: the relationship to sepsis rates', J Hosp Infect, 4 (2), 111-31.

Miner, A. L., et al. (2007), 'Deep infection after total knee replacement: Impact of laminar airflow systems and body exhaust suits in the modern operating room', Infection Control and Hospital Epidemiology, 28 (2), 222-26.

Ritter, M. A., et al. (1975), 'The operating room environment as affected by people and the surgical face mask', Clin Orthop Relat Res, (111), 147-50.

Socialstyrelsen (2006), 'Att förebygga vårdrelaterade infektioner Ett kunskapsunderlag', (Socialstyrelsen), 461.

WHO (2016), Global guidelines on the prevention of surgical site infection

Whyte, W., Hodgson, R., and Tinkler, J. (1982), 'The importance of airborne bacterial contamination of wounds', J Hosp Infect, 3 (2), 123-35.

Bilagor

6.1 Kommunikationsplan (kortad version)

6.1.1 Målgrupper

Viktiga grupper inom sjukhusrenhet är Svensk förening för vårdhygien och SEORNAs (intresseorganisationen för svenska operationssjuksköterskor). Bredare grupper inom industriell renhet nås via:

- Tema RenRum: Nordens ledande fortbildningsdagar inom renrumsteknik.
- RenaRum: Nordens främsta branschtidning inom renhetsteknik (Matts Ramstorp ansvarig utgivare).

Genom projektet försöker vi också nå med information i Europa, främst Tyskland.

6.1.2 Vad ska hända hos målgrupperna?

Målet är att TAF-teknologin blir känd och efterfrågad vid installation av renrum. Högrena flöden av ren luft kräver kunskap hos användare och installatörer. Till personal som arbetar i lokaler med TAF-ventilation vill vi kommunicera hantering av ventilationen. Till installatörer och beslutsfattare vill vi kommunicera våra resultat: låg energiåtgång, luftrenhet enligt gällande normer, rapporterad bättre arbetsmiljö än laminärflödestak.

6.1.3 Budskap

Med unik TAF-teknik (Temperature controlled AirFlow), kombinerar vi en säker funktion med komfortabel arbetsmiljö. TAF introducerar ett ventilationssystem som använder gravitation för att bryta konvektionsströmmarna på ett effektivt och energisnålt sätt.

- *Kunskapsmål:* Uppmärksamma energiåtgång och potential för förbättringar med TAF. Förklara TAF-tekniken och dess potentiella fördelar.
- *Motivation:* Yttre variabler (renhet, energieffektivitet etc.) borde vara till fördel för TAF i flertalet situationer.

6.1.4 Strategi för att nå målgrupperna

En nyckelperson för kommunikation av resultaten är Matts Ramstorp, en av projektdeltagarna. Ramstorp driver två företag som arbetar med informationsspridning kring renrumsteknologi. Han ordnar ett stort antal kurser kring detta och även branschkonferenser. Ramstorp ger även ut tidsskriften ”RenaRum”.

Avidicare AB kommunicerar resultaten vid upphandlingar och i kundkontakter. Projektledaren och doktorander kommunicerar resultat i främst vetenskapliga forum, men även i kontakt med intressenter som har frågor och i samband med utbildningar.

Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.

E2B2 C/O IQ Samhällsbyggnad | Drottninggatan 33 | 111 51 STOCKHOLM | info@E2B2.se | 070-645 16 40 | www.E2B2.se