



# Energieeffektiv ventilation för sjukhus



# Energieffektiv ventilation för sjukhus och renrumsmiljöer inom industrin

Jakob Löndahl, tekn. dr. Lunds universitet

Peter Ekolind, VD Avidicare

Ann Tammelin, med. dr., KI och Stockholms läns landsting

Matts Ramstorp, adj. prof., BioTekPro AB och Lund universitet

Anette Civilis, operationssjuksköterska, Helsingborgs lasarett

Per-Anders Larsson, forskningschef, Helsingborgs lasarett



## 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 byggtreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknikkonsulter, arkitekter et cetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

*Energieffektiv ventilation för sjukhus* 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.

Rening av luft i operations-salar är viktig för att förebygga smittspridning. Ventilationen är dock väldigt energikrävande eftersom luftomsättningshastigheten är 20–40 gånger högre än i vanliga lokaler. I det här E2B2-projektet undersöktes en ny ventilationstyp som är framtagen för att ge bibehållen renhet med 30 procent lägre energiåtgång. I projektet genomfördes bland annat fältmätningar och laboratoriestudier.

Stockholm, 17 mars 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

Ventilation i lokaler som har höga hygienkrav är extremt energikrävande eftersom luftomsättningshastigheten vanligtvis är 20–40 gånger högre än exempelvis bostadsventilation. Den här typen av anläggningar finns vid många sjukhus och industri inom exempelvis elektronik, livsmedel och läkemedel. Det här projektet har genomfört en experimentell utvärdering av en ny typ av renrumsventilation som bygger på temperaturkontrollerade luftflöden, så kallad TAF-teknologi. TAF har en högre ventilationseffektivitet och lägre energiförbrukning än traditionella laminärflödestak, LAF.

Mätningar genomfördes på olika platser under 45 kirurgiska operationer i salar vid Helsingborgs lasarett. Tre typer av ventilation jämfördes: TAF, LAF och omblandande ventilation, TMA. Luftrenhet mättes vid tre kritiska punkter i rummet: operationssår, instrumentbord och utanför steril zon. Även andra faktorer såsom arbetsmiljö, buller och drag utvärderades. Vi tog också fram ett sammanvägt index för energi och renhet:  $I_{\text{HygieneEfficiency}}$ . Indexet är produkten av energi och mängden luftburna bakterier – det vill säga ju lägre värde desto bättre.

Studien har visat att TAF-tekniken uppfyller gränsvärden för ultraren kirurgi på alla platser i rummet. Rapporterad påverkan för personalens arbete från drag och buller var också betydligt lägre för TAF än för LAF, vilket är en följd av de minskade lufthastigheterna och placeringen av fläktar. Uppskattat  $I_{\text{HygieneEfficiency}}$  för LAF var  $26 \pm 4$ , för TMA  $33 \pm 5$  och för TAF  $18 \pm 10$ .

De olika ventilationssystemen uppvisar olika ventilationseffektivitet på olika platser i lokalerna. Anledningen är skillnader i luftströmningsriktningar. För att bättre förstå detta och för att kunna utnyttja ventilationen optimalt krävs jämförelse av experimentella mätvärden med datorsimuleringar.

*Nyckelord: Ventilation, renrum, luftburna partiklar, energieffektivitet, smittspridning, ultraren luft, temperaturkontrollerat luftflöde*



## Summary

*Ventilation in rooms with high hygiene requirements are extremely energy-intensive, since the air turnover rate usually is 20-40 times higher than, for example, residential ventilation. This type of facilities exists at many hospitals and industries in electronics, food and pharmaceuticals. This project has conducted an experimental evaluation of a new type of clean room ventilation based on temperature-controlled air flows, so-called TAF technology. TAF has a higher ventilation efficiency and lower energy consumption than traditional laminar airflow, LAF.*

*Measurements were performed at different locations during 45 surgical operations in operating theatres at Helsingborg Hospital. Three types of ventilation were compared: TAF, LAF and mixed ventilation, TMA (i.e. turbulent mixed airflow). Air quality was measured at three critical points in the room: at the surgical wound, at the instrument table and outside the sterile zone. Although other factors such as safety, noise and draught were evaluated. We also developed suggested a weighted index of energy and air quality:  $I_{HygieneEfficiency}$ . The index is the product of the energy consumption and number of airborne bacteria – i.e. the lower the better.*

*The study has shown that the TAF technology meets the limit values for ultra-clean surgery in all locations in the room. Reported impact on staff work environment from draught and noise levels were also significantly lower for TAF compared to LAF. This is a consequence of the reduced air speeds and the placement of the fans. Estimated  $I_{HygieneEfficiency}$   $26 \pm 4$ ,  $33 \pm 5$  and  $18 \pm 10$ , for LAF, TMA and TAF, respectively.*

*The various ventilation systems have different ventilation efficiency at various locations in the rooms. The reason is differences in the air flow directions. To better understand this and to be able to utilize the ventilation optimally, comparison of experimental data with computer simulations are needed.*

*Keywords: Ventilation, clean room, airborne particles, energy efficiency, contamination control, transmission of disease, temperature controlled airflow*



## INNEHÅLL

1	BAKGRUND	8
1.1	PROJEKTETS MÅLSÄTTNING	8
1.2	HÖG LUFTRENHET INOM VÅRDEN	9
1.3	METODER FÖR ATT SKAPA ULTRAREN LUFT	9
1.4	ENERGIÅTGÅNG I RENRUMSMILJÖ	10
1.5	ENERGIEFFEKTIV TEKNIK FÖR ULTRAREN VENTILATION: TAF	10
2	METOD OCH PROJEKTPLAN	12
2.1	PROJEKTGRUPP	12
2.2	PROJEKTORGANISATION	12
2.2.1	TIDPUNKTER FÖR GENOMFÖRANDE AV PROJEKTETS DELMÅL	12
2.2.2	STUDIEUPPLÄGG FÖR FÄLTMÄTNINGARNA	12
2.2.3	MÄTMETODIK	13
2.2.4	ARBETSMILJÖUNDERSÖKNING	14
2.2.5	ENERGIBERÄKNING	14
3	RESULTAT OCH DISKUSSION	15
3.1	GENERELLA SLUTSATSER	15
3.2	LUFTRENHET	15
3.3	INSTRUMENTAGAR	17
3.4	ARBETSMILJÖ	18
3.5	ENERGIEFFEKTIVITET	18
4	KOMMUNIKATION AV PROJEKTET	19
4.1	SÄRSKILT UPPMÄRKSAMMAD RAPPORTERING	20
4.2	KONFERENSER FÖR BRANSCH- OCH INTRESSEORGANISATIONER	20
4.3	VETENSKAPLIGA PUBLIKATIONER I GRANSKADE TIDSKRIFTER	20
4.4	VETENSKAPLIGA KONFERENSER	20
4.5	POPULÄRVETENSKAPLIG PUBLICERING	21
4.6	ÖVRIGA AKTIVITETER	21
5	REFERENSER	22
	BILAGA 1, ARBETSMILJÖENKÄT	24



6	BILAGA 2, KOMMUNIKATIONSPLAN	27
1.	MÅLGRUPPER, MÅL OCH STRATEGI	27
1.1.1	MÅLGRUPPER OCH KANALER	27
1.1.2	MÅL MED KOMMUNIKATIONEN	27
1.1.3	STRATEGI FÖR ATT NÅ MÅLEN	28
2.	BUDSKAP	28



# 1 Bakgrund

Ventilation och uppvärmning vid sjukhus och inom många industrisektorer är avgörande för att hålla luften ren och därigenom begränsa smittspridning, minska personals exponering för föroreningar eller skydda tillverkningsprocesser. Den här typen av miljöer använder extremt energikrävande ventilation eftersom antalet luftomsättningar i en lokal är runt 20–40 gånger högre än i exempelvis typiska bostäder.

Den här studien fokuserar på en av de miljöer där ren luft är mest kritisk: operationssalar på sjukhus. Förutom det personliga lidandet, kostar smitta överförd under operationer miljardbelopp bara i Sverige (Socialstyrelsen, 2006). En åldrande befolkning och en ökande andel antibiotikaresistenta bakterier gör att problemet växer. Många sjukhus i Sverige planerar för närvarande ombyggnad eller nybyggnad av sina operationssalar (exempelvis Helsingborgs lasarett, Nya Karolinska Solna m.fl.). Kunskap om hur dessa anläggningar ska designas för att minska smittöverföring är därför närmast akut angelägen. Erfarenheten kan i stor utsträckning tillämpas inom andra områden där ren luft är ett krav. Energiåtgången för dessa lokaler bidrar väsentligt till driftskostnaden och spelar roll för val av ventilationstyp.

## 1.1 Projektets målsättning

I det här projektet utforskas och vidareutvecklas ventilation med TAF-teknik (temperature controlled airflow) för renrumsmiljö. Tekniken ger hög energieffektivitet för ventilation av ultrarena miljöer (se vidare nedan).

Målet med projektet är att 1) undersöka möjligheter till ytterligare energiminskning av TAF-tekniken genom att exempelvis koppla ventilationshastighet till luftkvalitet och 2) vetenskapligt pröva TAF-teknikens förmåga att transportera bort förorenad luft på ett sjukhus i jämförelse med omlandande ventilation (TMA) och laminärflödestak (LAF eller UDF).

Specifika mål är:

- Vetenskaplig publicering som jämför TAF-tekniken med konventionell ventilation. Detta är viktigt både för beställare (ex. Helsingborgs lasarett) och tillverkare (i denna studie Avidicare AB).
- Att skapa underlag för ytterligare energieffektivisering av TAF-tekniken. Den här typen av ventilation går normalt sett dygnet runt vilket är ett stort energislöseri.
- Att hitta enkla indikatorer på luftkvalitet som i framtiden kan kopplas ihop med ventilationsstyrningen.
- Genom en förbättrad ventilation sänka drift- och energikostnader för sjukhus och industri.





## 1.2 Hög luftrenhet inom vården

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). Dessa bakterier kan nå vävnaden genom direkt eller indirekt kontakt eller via luften (samt i princip också via någon vektor). Bakterier sprids kontinuerligt till luften från personer i rummet eller från angränsande rum i händelse av dörröppningar (Andersson et al. 1984; 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).

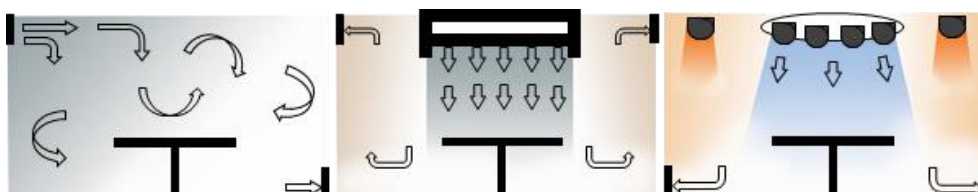
Luften är alltså en av de vanligaste, och förmodligen den snabbaste, spridningsvägen för många smittämnen. Samtidigt är den en spridningsväg som i hög utsträckning går att begränsa genom tekniska metoder och kunskap. Ventilation är en kritisk faktor för att få bort smittbärande ämnen och föroreningar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

## 1.3 Metoder för att skapa ultraren luft

Effektiv luftrening bygger på en kombination av luftflödes hastighet, flödesriktning och temperaturbalans. För att transportera bort bakterier ur luften har många operationssalar avancerade laminärflödestak (LAF-tak, eller UDF, unidirectional airflow) ovanför operationsområdet (se figur 1 nedan). Flera studier under de senaste åren har visat att dessa dyra ventilationstak inte nämnvärt minskar, eller till och med ökar, infektionsrisken (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). Den ventilation som används är extremt energikrävande, men har samtidigt en effekt som 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 operationsmiljö. Möjligheterna att tillföra ny kunskap inom fältet är lyckligtvis goda tack vare senare års utveckling inom mätteknik och datormodeller för strömningsberäkningar.

I det här projektet jämförs tre typer av ventilation: 1) omblandande ventilation (TMA, turbulent mixed airflow), 2) LAF-tak och 3) TAF (temperature controlled airflow), en nyutvecklad mer energieffektiv ventilationsmetod som har gett mycket låga bakteriehalter enligt företagets egna mätningar (figur 1).



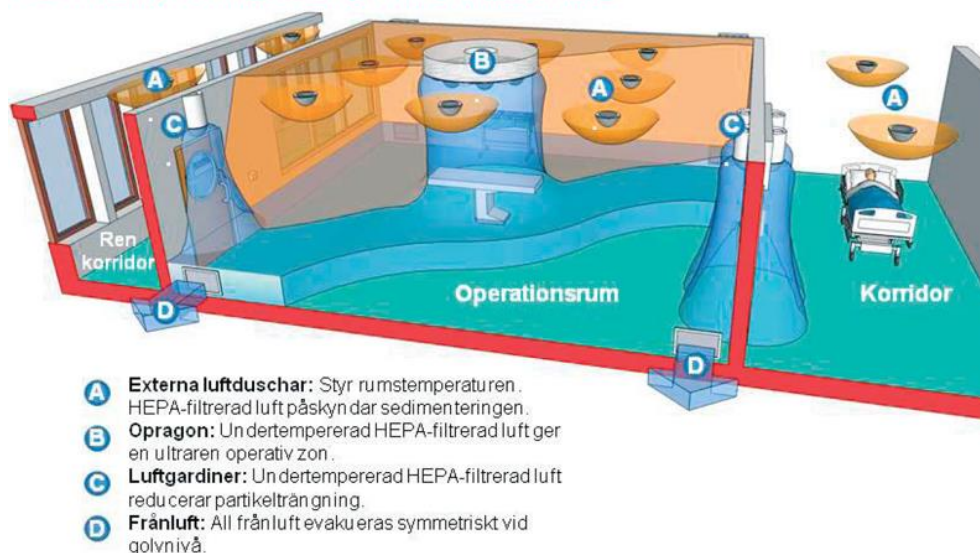
Figur 1. Vänster: Ombländande ventilation. Mitten: LAF-tak. Höger: TAF.

#### 1.4 Energiåtgång i renrumsmiljö

Ventilationen i miljöer som kräver hög luftrenhet är extremt energikrävande. Hög luftrenhet är nödvändigt inom bland annat sjukhus, livsmedelsföretag, elektronikindustri och vid läkemedelstillverkning. Exempelvis är energiåtgången för ventilation i en operationssal med höga renhetskrav är 25 000 till 35 000 kWh/år (d.v.s. mer än den totala energiförbrukningen för en genomsnittlig svensk villa). Ett normalstort sjukhus har i allmänhet 20–40 sådana rum och dessutom angränsande utrymmen som också kräver hög renhet. Här finns alltså stora möjligheter till energibesparing.

#### 1.5 Energieffektiv teknik för ultraren ventilation: TAF

##### EXEMPEL PÅ TAF-INSTALLATION I OPERATIONS MILJÖ



Figur 2. TAF-teknik för operationssalar.

Principen för TAF-teknik (Temperature controlled AirFlow) i en operationssal visas i figur 1, höger och figur 2 ovan. 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 sterillklädda personalen. Tekniken ger också möjlighet att hålla balansen mellan tillräckligt hög hastighet för att bryta kroppskonvektionen hos personal och patient samtidigt som man undviker onödig turbulens och drag.

Istället för att introducera ett nytt LAF-tak som tar ännu större takareal i anspråk och som brukar ännu högre luftflöden än tidigare versioner av LAF-tak fokuserar metoden på ventilationseffektiviteten. TAF-tekniken utvecklad av Avidicare använder 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.

Till skillnad från traditionella LAF-tak som behöver höga lufthastigheter för att motverka konvektionsströmmarna från personal, operationslampor etc. bryter TAF konvektionsströmmarna mer effektivt och energisnålt. TAF har en energiförbrukning som är 30% lägre än konventionell operationssalsventilation med samma renhetsgrad. TAF är ekonomiskt lönsamt för sjukhus eftersom den högre investeringskostnaden kompenseras av en sänkt driftkostnad (genom lägre energiförbrukning).

TAF har kontrollerats och godkänts enligt den tyska standarden DIN1946-4 som gäller ventilation i operationssalar samt den svenska SIS-TS39:2015. TAF-systemet framtaget av Avidicare fokuserar på sjukhusmarknaden, men motsvarande system utvecklas också för andra typer av lokaler där hög renhet är ett krav såsom exempelvis inom elektronikindustri, livsmedelsföretag och läkemedelstillverkning.



## 2 Metod och projektplan

### 2.1 Projektgrupp

De huvudsakliga samarbetsparterna i det här projektet är Lunds universitet, Helsingborgs lasarett och företaget Avidicare. Projektet leds från Lunds universitet vid avd. för ergonomi- och aerosolteknologi (EAT). Vid EAT finns erfarenhet från renrumsteknologi sedan årtionden tillbaka. Avidicare har utvecklat TAF-teknologi för sjukhus.

Projektet har samlat experter inom de nyckelområden som krävs för att nå målsättningen: utveckling av ventilation (Peter Ekolind m kollegor vid Avidicare), mätning av luftkvalitet (tekn. dr. Jakob Löndahl, Lunds tekniska högskola), vårdhygien (med. dr. Ann Tammelin), renrums- och hygien teknik (prof. Matts Ramstorp), samt kirurgi och design av operationssalar (med. dr. Per-Anders Larsson, forskningschef vid Helsingborgs lasarett).

### 2.2 Projektorganisation

Den experimentella delen av projektet bestod av 1) fältmätningar på sjukhus samt 2) kontrollerade tester i ett operationssalslaboratorium. Fältmätningarna, som var projektets huvudfokus, har genomförts vid operationsavdelningen på Helsingborgs lasarett (Skånes universitetssjukhus). Här finns operationsrum som är i princip identiska i alla avseenden utom i valet av ventilationstyp. De två konventionella ventilationsmetoderna (LAF-tak och omblandad ventilation) är redan installerade. TAF-ventilation monterades i början av projektet in i en av operationssalarna.

Avidicare har byggt en artificiell operationssal vid Medicon Village i Lund för att efterlikna en operationssal (70 m<sup>2</sup> med stor flexibilitet i utformning). Denna har använts för metodutveckling.

#### 2.2.1 Tidpunkter för genomförande av projektets delmål

Installation av TAF i operationssal (klart dec 2014); test av utrustning och pilotmätningar (sep 2014-jan 2015); mätkampanj under operation (jan 2015-dec 2015, kompletteringar jan-mar 2016); analys av data och preliminär rapport (apr 2015-pågående); sammanställning av forskningsmanuskript (påbörjat apr 2015, doktorand anställd sep 2015 som nu arbetar med slutförande av manuskript); vidareutveckling av TAF baserat på mätresultat (apr 2015). Fältmätningarna tog längre tid än planerat på grund av schemalaggnings vid Helsingborgs lasarett.

#### 2.2.2 Studieupplägg för fältmätningarna

Tre typer av ventilation undersöktes: LAF-tak, omblandande ventilation (TMA) och TAF. Före studien genomfördes funktionskontroll enl. SIS 39/2012 för att verifiera luftflöden, filtertäthet, tryck och uppreningstid. I varje sal gjordes mätningar vid 15 ortopediska operationer med en knivtid på minst 45 minuter. Samma typ av



operationer (i samma antal) mättes i varje sal för få giltig jämförelse. Personalens klädsel var enligt praxis vid operation. Avvikelser protokollfördes. Mätningar genomfördes endast under dagtid av en och samma, för ändamålet utbildad, person med lång erfarenhet av sterilt arbete. Mätinstrument kontrollerades och data arkiverades regelbundet av personal från LTH. Årlig ventilationskontroll av operationssalar enligt protokoll utfördes av Regionservice.

**Kompletterande mätningar:** Under jan-mars 2016 genomfördes nödvändiga kompletterande mätningar för att vid alla tillfällen uppfylla knivtid över 45 minuter utan signifikanta avvikelser bland personal. Mätningar gjordes också för att undersöka skillnad mellan steril och icke-steril zon för LAF-tak eftersom instrumentbordet inte alltid befunnit sig i steril zon.

### 2.2.3 Mätmetodik

Flera olika parametrar mättes för att kontrollera luftrenhet och ventilation under operationerna:

- Aktiv provtagning av antal kolonibildande bakterier per kubikmeter luft (CFU/m<sup>3</sup>) vid sår, instrumentbord och perifert i rummet.
- Passiv provtagning av kolonibildande bakterier vid instrumentbord.
- Realtidsmätning av "viabla" bakterier och partiklar.
- Partikelkoncentration (antal/cm<sup>3</sup>)
- Koldioxidhalt (vid instrumentbord och perifert)
- Temperatur
- Luftfuktighet
- Differentialtryck mot omgivande rum
- Buller

Bakteriehalten mättes vid sår genom insamling på gelatinfiler som sedan överfördes till agar (Sartorius, MD8 Air Sampler). Vid instrumentbord och perifert i rummet gjordes samlades bakterier direkt på agar med roterande slit-samplers (Klotz, FH6). Vid provtagningen samlades 1000 L luft på 10 minuter. Vid varje operation togs 15–30 luftprover för bakterieanalys. Agarplattorna analyserades vid medicinsk mikrobiologi enligt sjukhusets ordinarie rutiner.

En helt ny metodik för att analysera bakterier vid instrumentbordet togs också fram: "Instrumentagar". För att efterlikna instrumentbordets geometri tillverkades en agar med liknande struktur. Strukturen påverkar luftflöden och därmed ansamlingsplats för bakterier.

Under slutet av mätkampanjen genomfördes några mätningar av bakterier med en ny fluorescenssteknik (BioTrak, TSI/Brookhaven). Metoden analyserar bakterier



och partiklar i realtid med en tidsupplösning på 1 minut och kan alltså ge snabb återkoppling mellan aktivitet och luftrenhet.

Partikkelkoncentration och genomsnittlig partikelstorlek under 0,5 µm diameter mättes med en tidsupplösning på ca 30 s med en NanoTracer (Phillips). Temperatur, luftfuktighet och koldioxidhalt loggades med 20 s mellanrum med två Rotronic CL11. Tryck på sal relativt transportkorridor detekterades med 5 s intervall för att kunna fånga effekter av dörröppningar (Kimo MP 200 P). Buller mättes både under operation och i tom sal, dels för att registrera aktivitet och dels för information om buller ur arbetsmiljösynpunkt (ljudmätare, Swema SL 322).

#### 2.2.4 Arbetsmiljöundersökning

Det är väl känt att ventilationen i högrena miljöer påverkar personalens arbetsmiljö. Höga luftflöden resulterar i drag och buller och därmed muskelspänningar och koncentrationssvårigheter. I operationsmiljö är problem med smärta särskilt i nackmuskulatur vanligt på grund av höga vertikala luftflöden, inte minst från LAF-tak. Av denna anledning fick personalen fylla i enkät om upplevd arbetsmiljö efter genomförd operation. Antalet svarande var 25 personer för TMA, 28 personer för LAF och 29 personer för TAF. Totalt arbetar 130 personer på avdelningen, varav drygt hälften heltid. Enkät finns bifogad i Bilaga 1.

#### 2.2.5 Energiberäkning

Energiåtgång för de tre ventilationssystemen uppskattades enligt en modell framtagen av WSP (Rapport: LCC Analys OP-sal ventilation Opragon 8 jämfört med olika ventilationssystem av Erwin Spjiker). Ingående mängd utomhusluft (18°C) i samtliga salar var 560 L/s (2000 m<sup>3</sup>/h). Resterande luftmängd recirkulerades och energiåtgången för uppvärmning och nedkylning beräknades med utgångspunkt från detta. I LAF och TAF krävs en temperaturskillnad mellan den ingående luften (kallare) och den omgivande rumsluften (varmare), vilket ökar energiåtgången.

Det saknas ett mått som anger luftrenhet i förhållande till energiåtgång. Vi har därför tagit fram ett förslag på ett energi-renhetsindex,  $I_{HygieneEfficiency}$ , som är ett sammanvägt mått på luftreningsgrad i förhållande till energiåtgång. Ett sådant mått skulle göra det enklare att jämföra renrumsventilation ur energisynpunkt. Reningseffektiviteten,  $I_{HygieneEfficiency}$ , är baserad på det genomsnittliga antalet CFU<sub>medel</sub> (i hela rummet) under en operation och energiåtgången per timme drift E (kWh/h):

$$I_{Hygiene\ Efficiency} = CFU_{medel} * E$$

Indexet ökar alltså både med ökat antal CFU och med ökad energiåtgång, vilket resulterar i att det mest fördelaktiga ventilationssystemet har det lägsta värdet.



## 3 Resultat och diskussion

### 3.1 Generella slutsatser

Både LAF och TAF håller en nivå nära eller under 5 CFU/m<sup>3</sup> vid sår och instrumentbord. LAF har låga värden vid sår och instrumentbord när detta är placerat i steril zon (vilket inte alltid är fallet), men högre perifert i rummet. TAF ger låga värden i hela rummet.

Omblandande ventilation är underlägsen vad gäller att hålla operationsområdet rent, vilket både beror på skillnader i utformning och luftflöden. LAF och TAF ger båda betydligt renare luft.

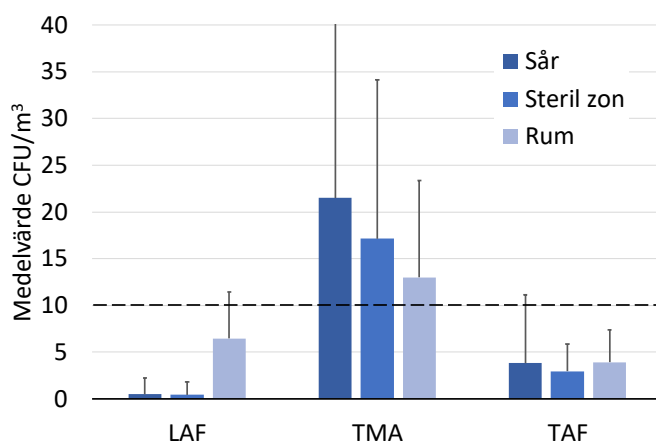
LAF använder dubbelt så högt luftflöde som TAF och sex gånger högre flöde än omblandande ventilation, vilket betyder högre energiåtgång samt mer drag och buller.

### 3.2 Luftrenhet

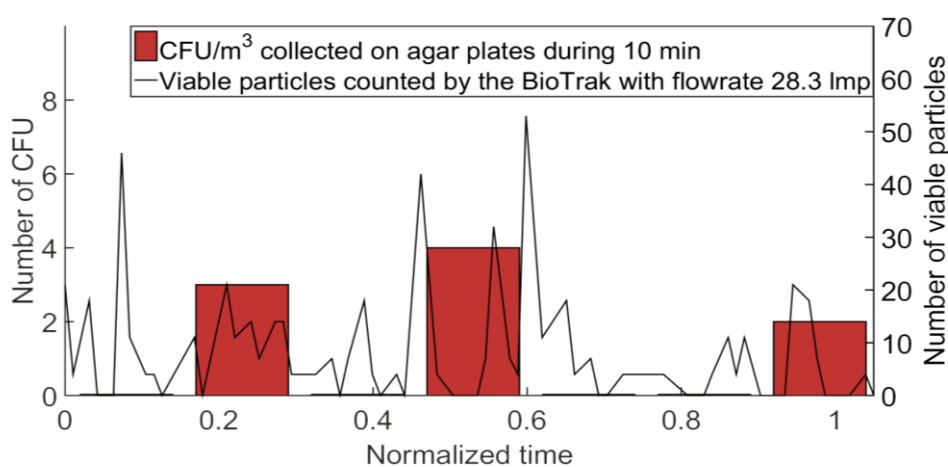
Från våra resultat ser vi tydligt att det är skillnad på luftrenheten i de olika operationssalarna. I stapeldiagrammet nedan, figur 3, ser man att CFU-värdena är lägst inom den sterila zonen i LAF (sår och bakom personal) och att TAF har något högre värden i den sterila zonen men lägre utanför i rummet. Omblandande (TMA) har höga värden på alla platser i operationssalen och ligger över det rekommenderade värdet 10 CFU/m<sup>3</sup> som gäller för känslig kirurgi med normalarbetsdräkt.

Standardavvikelserna är relativt stora. CFU-värdena har varierat mycket från operation till operation, och trots noggrann dokumentering av händelser och luftkvalitet har få indikatorer gått att koppla till ökad kontaminering av luften.

Eftersom två olika instrument använts för att mäta CFU-värden (filter och roterande slit-samplers) gjordes bakgrundsmätningar för att utvärdera om de gav samma resultat vid ekvivalenta mätningar. Två metoder var oundvikligt eftersom endast filter fungerade nära såret. Slit-samplers visade sig ge nästan dubbelt så höga värden och därför gjordes en normalisering av data mot filtermetoden, som är standard vid sår.



Figur 3: CFU-värden för de tre ventilationssystemen uppmätt på tre platser i operationssalarna (preliminära data). Gränsvärde för ren kirurgi markerat vid 10 CFU/m<sup>3</sup>.



Figur 4: Jämförelse av två mätmetoder av antalet viabla partiklar under operation

För att få en uppfattning om förhållandet mellan antalet viabla och potentiellt infektiösa bakterier i luften och antalet CFU (alla viabla bakterier kan inte växa på agarplattor) gjordes mätningar med en partikelräknare som använder fluorescensspektrometri, se figur 4. Med fluorescens kan man optiskt avgöra om en partikel är viabel eller inte med hjälp av levande organismers höga autofluorescens. Fluorescensspektrometern kördes parallellt med roterande slit-samplers som mätte CFU-värden under 10 min, se staplar i figur 4. Resultatet visar att antalet viabla partiklar i luften är betydligt fler (höger y-axel) än antalet CFU (vänster y-axel). Diskussioner pågår inom renrumsbranschen kring om CFU eller viabla partiklar via flourescens är mest relevant.





### 3.3 Instrumenttagar

Nedfall av luftburna bakterier på de sterila instrumenten har de senaste åren allt mer uppmärksamats. I ett arbete från Tyskland lät man kirurgiska instrument ligga uppdukade under autentiska kirurgiska ingrepp och efteråt sköljde man av instrumenten i steril lösning samt filtrerade lösningen och odlade ut antalet bakterier som hamnat på de sterila instrumenten. Besvärande många bakterier visade sig fastna på instrumenten under operationsarbetet. Metoden med att undersöka sterila instrument på detta sätt är omständlig och behäftad med många potentiella felkällor.

För att undersöka om man kan förenkla detta sätt att undersöka renheten på kirurgiska instrument tog Avidicare fram en tredimensionell agarstruktur som efterliknar kirurgiska instrument som, efter exponering, direkt kan inkuberas varpå antalet CFU räknas (figur 5). Syftet var att se om detta var möjligt under kliniska förutsättningar och mätningar genomfördes under ca 30 operationer. Metoden fungerade väl och får eventuellt bredare spridning för kontroll av luftrenhet. Vilka gränsvärden som kan accepteras i framtiden återstår att se. Resultaten är inte färdiganalyserade.

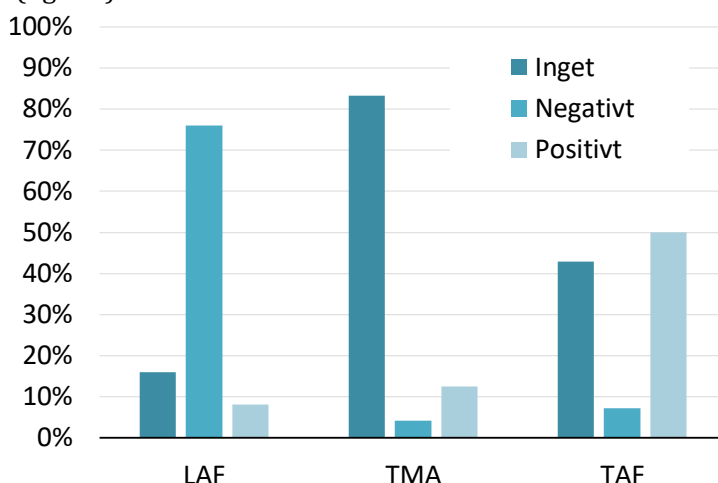


Figur 5. Vänster: Agarplatta i form av instrumentbord. Höger: Tillväxt av bakteriekolonier.



### 3.4 Arbetsmiljö

Skillnaderna var stora i upplevd arbetsmiljö i de tre operationsrummen med olika ventilation (figur 6).



Figur 6. Svar på frågan "Hur upplever du att ventilationen påverkar dig?"

Arbetsmiljön är viktig i operationsrum. Kirurg och övrigt operationsteam samt anestesipersonal förväntas under sitt arbete med patienten prestera maximalt och med hög koncentration. Kända miljöfaktorer inne i operationsrummet som påverkar personalens koncentrationsförmåga negativt är belysning (ej analyserat här), ljudnivå och luftdrag. Rum med LAF har höga luftflöden som skapar buller och drag som påverkar personalens koncentrationsförmåga negativt. I operationsrummet med LAF rapporterade 75% av personalen störande ljud eller drag från ventilationen medan under 10% upplevde motsvarande för TAF-rummet. Ca 50% av personalen i TAF rummet upplevde ventilationen positivt med hänsyn till ljud och drag.

### 3.5 Energieffektivitet

I tabellen nedan finns en jämförelse av energiförbrukningen av de olika ventilationssystemen. LAF och TAF har båda en hög energiåtgång, främst på grund av sina höga luftflöden. Omblandande ventilation, TMA, har både ett lägre luftflöde och en lägre energikonsumtion, men får ett högt index-värde på grund av sina höga CFU-värden. Trots att energiförbrukningen per m<sup>3</sup> luft i LAF är lägre än i TAF gör det höga luftflödet i LAF att index-värdet ligger högre än det för TAF.

Tabell 1: Tabell över ventilationssystemens energieffektivitet.

	LAF	TMA	TAF
Luftflöde (m <sup>3</sup> /h)	11950	3200	6300
Energiförbrukning (kWh/år)	36202	14432	25943
HygieneEfficiency (CFU* Energi)	26 ± 4	33 ± 5	18 ± 10



### 3.6 Slutsats

Huvudmålet med det här projektet var att undersöka om TAF kunde leverera bibehållen renhet med 30% lägre energiåtgång. Vi har visat att TAF gav bakterienivåer som var signifikant under gränsvärdet för ultraren kirurgi vid samtliga tre områden i operationssalen: nära såret, vid instrumentbordet och perifert. Också LAF levererade bakterienivåer under gränsvärdet vid sår och instrumentbord medan luften från den omblandande ventilationen, TMA, var över gränsvärdet. TAF-systemet i den här studien hade enligt våra beräkningar 28% lägre energiförbrukning än den LAF-ventilation som undersöktes.

Till viss del beror skillnaderna i renhet och energiåtgång på skillnader i luftflöde, men även ventilationseffektiviteten spelar stor roll. Exempelvis hade TAF-systemet bara dubbelt så högt flöde som TMA, men gav samtidigt tio gånger renare luft vid sårområdet, åtta gånger renare vid instrumentbordet och tre gånger renare perifert (räknat på medianvärden i bakteriehalt). Även LAF hade en förhållandevis hög ventilationseffektivitet i den sterila zonen, men sämre perifert. Studien har alltså kunnat bekräfta att TAF kan producera en luftrenhet under gränsvärdet för ultraren kirurgi, fast med sänkt energiförbrukning. Vi har också identifierat metoder för ytterligare effektivisering och avser att gå vidare med detta i kommande projekt.



## 4 Kommunikation av projektet

Projektet har till stor del redan offentliggjorts enligt tidigare skriven kommunikationsplan (bilaga 2). Den huvudsakliga rapportering som kvarstår är publicering av vetenskapligt manuskript, vilket i allmänhet tar 6–12 månader på grund av den tidskrävande review-processen.

### 4.1 Särskilt uppmärksamrad rapportering

**Sveriges television, SVT:** Ett reportage om vår forskning på luftburen smittspridning sändes 30 dec 2015, se <http://www.svt.se/nyheter/lokalt/skane/vinterkraksjukan-skapar-stora-problem>. De har efterfrågat att få göra ett uppföljande reportage om ventilationsprojektet när resultaten från våra mätningar i operationssalar är klara.

**Pris för bästa poster:** Malin Alsved, doktorand som arbetar inom projektet, fick pris om 5000 kr för "Bästa poster" när hon presenterade resultaten vid NDPIA (National Doctoral Programme in Infection and Antibiotics).

### 4.2 Konferenser för bransch- och intresseorganisationer

Tema Renrum. Branschmöte för renrum (industri och sjukvård, ca 200 deltagare). Föreläsning: "Högre operationsrum, Hur rent och till vilket pris?", Jakob Löndahl, november 2015, Stockholm

Framtidens Operationsavdelning. Konferens kring operationsavdelningar (ca 200 deltagare), Föreläsning: "Erfarenheter från en aktuell forskningsstudie: Så skapas högre luft och god arbetsmiljö i operationssalen", Jakob Löndahl, april 2016, Stockholm

Framtidens Operationsavdelning, Föreläsning: "Framtidens operationsavdelning – rent som industriella renrum, eller?", Matts Ramstorp, maj 2015, Stockholm

Fortbildning för operationspersonal. Föreläsning: "Ventilation och Hygien på op-sal", Jakob Löndahl, september 2014, Helsingborg

### 4.3 Vetenskapliga publikationer i granskade tidskrifter

Alsved, Civilis, Ekolind, Tammelin, Erichsen Andersson, Jakobsson, Svensson, Ramstorp, Larsson, Bohgard, Löndahl, "Operating room ventilation by temperature controlled airflow (TAF) in comparison with laminar airflow and turbulent mixed airflow", *To be submitted to American Journal of Infection Control*

### 4.4 Vetenskapliga konferenser

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. "Uptake of Semi-volatile Organic Compounds onto Ammonium Sulfate Particles", Conference Proceedings European Aerosol Conference, EAC, September 2016, Tours, France

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 during surgery in hospital operating rooms with different ventilation systems", Conference Proceedings Nordic Aerosol Conference, NOSA, 4-6 April 2016, Aarhus, Denmark

#### **4.5 Populärvetenskaplig publicering**

Planerad medverkan i tidningen Uppdukat på Helsingborgs lasarett i augusti 2016.

#### **4.6 Övriga aktiviteter**

Seminarium/personalfortbildning: Medverkan vid Helsingborgs operations-sjuksköterskors studiedagar med seminarium och diskussion om luftrenhet, samt demonstration av fluorescensinstrument som kan detektera viabla partiklar i luften. 22 och 29 januari 2016.

Seminarium: Presentation av studiens resultat vid Helsingborgs operations-avdelning, 7 juni 2016.



## 5 Referenser

- Andersson, B. M., et al. (1984), 'Contamination of Irrigation Solutions in an Operating-Theater', *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 5 (7), 339-41.
- 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.

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



## Bilaga 1, Arbetsmiljöenkät

### Ventilationssystem i Operationsrum 11,15,16

Datum: \_\_\_\_\_ OP-Rum 11  OP-Rum 15

OP-Rum 16

Man  Kvinna

Initialer: \_\_\_\_\_

Ålder: 20-30  31-40  41-50  51-60  61+

Yrkesroll: Operationssjuksköterska

Anestesisjuksköterska  Anestesi­läkare

Undersköterska  Kirurg / ortoped

Annan: \_\_\_\_\_

#### 1. Upplever du ett kalldrag ifrån ventilationen i rummet?

1                      2                      3                      4                      5                      6                      7

Inte alls

Väldigt mycket

**Om du upplever det som ett problem, på vilket sätt påverkar det dig? (Flera alternativ är valbara)**

Fryser/drag om axlar/nacke

Ont i nacke/axlar





Kalla händer

Huvudvärk

Annat: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**2. Hur upplever du regleringen av rumstemperaturen?**

1              2              3              4              5              6              7

Mycket dålig Mycket bra

**3. Hur upplever du ljudet ifrån ventilationen?**

1              2              3              4              5              6              7

Mycket tyst Mycket högt

**4. Hur upplever du ventilationen som helhet i operationsrummet?**

1              2              3              4              5              6              7

Mycket dålig Mycket bra

**5. Hur upplever du att ventilationen påverkar dig? (Ex. om du blir piggare och mer alert eller om du upplever det som att den gör dig trött och ofokuserad)**

Positivt

Negativt

Inget alls

**Om du känner en påverkan, hur stor skulle du uppskatta den till?**

1              2              3              4              5              6              7

Mycket liten Mycket stor

\_\_\_\_\_





## 6 Bilaga 2, Kommunikationsplan

Förkortad version.

### 1. Målgrupper, mål och strategi

#### 1.1.1 Målgrupper och kanaler

Viktiga målgrupper som vi vill nå är personer som arbetar specifikt med vårdhygien, men också olika typer av användare och leverantörer inom industriell renhetsteknik: Arkitekter, Byggherrar, Entreprenörer, Installatörer, Fastighetsförvaltare, Fastighetsägare (ex. Locum – "värden för vården"), Brukare av operationssalar och industriella renrum, Andra forskare inom luftrenhet.

De personer som har intresse inom renhetsteknik finns samlade inom olika organisationer och nås effektivt genom medverkan i deras konferenser och andra engagemang. Viktiga grupper inom sjukhusrenhet är Svensk förening för vårdhygien och SEORNA's [intresseorganisationen för svenska operationssjuksköterskor]). Bredare grupper inom industriell renhet nås via:

- Tema RenRum: Nordens ledande fortbildningsdagar inom renrumsteknik. Projektledare (Löndahl), talade 2012 och har blivit inbjuden att berätta om projektet igen när resultaten är klara.
- Nordic Hygien Expo: Nordens största mässa inom renhet och hygien. Arrangeras av Rentforum (vars VD Matts Ramstorp är deltagare i det här projektet).
- RenaRum: Nordens främsta branschtidning inom renhetsteknik (Matts Ramstorp ansvarig utgivare).

Som säljare av ventilation för rena miljöer arbetar Avidicare också aktivt med informations spridning och kontaktskapande med ett stort antal sjukhus nationellt och globalt.

#### 1.1.2 Mål med kommunikationen

- *Kunskapsmål:* Uppmärksamma energiåtgång och potential för förbättringar. Förklara TAF-tekniken och dess potentiella fördelar.
- *Attitydmål:* Yttre variabler (renhet, energieffektivitet etc.) borde vara till fördel för TAF i flertalet situationer. Under projektet har vi också upptäckt att sjukhuspersonalen upplever andra fördelar – mindre buller, inget besvärdrag.



- *Motivationsmål:* Användare (personal i rena miljöer) ska efterfråga TAF istället för nuvarande föråldrad teknik. Beställare bör kunna se fördelarna vid en analys.
- *Beteendemål:* Pröva och fortsätta.

### 1.1.3 Strategi för att nå målen

Ansvara för projektets kommunikation: Avidicare som leverantör, BioTekPro som utbildare inom renhetsteknik, Avd. för Ergonomi och Aerosolteknologi (LU) spridning av forskningsresultat.

Dialog med olika målgrupper pågår fortlöpande sedan årtionden.

Kommunikation sker:

- Vid projektstart för personal vid Helsingborgs lasarett.
- När det finns resultat att gå ut med för användare, kunder och forskare

Projektet involverar flera professionella kommunikatörer som arbetar med detta på heltid (BioTekPro, Avidicare och kommunikationspersonal vid LU). Hur mycket resultaten sprids beror givetvis också på utfallet av forskningen.

## 2. Budskap

Med unik TAF-teknik (Temperature controlled AirFlow), kombinerar vi en säker funktion med komfortabel arbetsmiljö. Istället för att introducera ett nytt LAF-tak som tar ännu större takareal i anspråk och som brukar ännu högre luftflöden än tidigare versioner av LAF-tak fokuserar vi på ventilationseffektiviteten.

I stället för att använda HEPA-filter som både filter och luftfördelare så skiljer vi på dessa funktioner. Vid installation av TAF placeras filter i anslutning till operationsrummet och inne i operationsrummet återfinns endast ändamålsenliga luftfördelare (luftduschar) med en mycket hög verkningsgrad.

Medan traditionella LAF-tak behöver höga lufthastigheter för att motverka konvektionsströmmarna från personalen, operationslampor etc. introducerar vi ett ventilationssystem som följer grundläggande naturlagar och som bryter konvektionsströmmarna på ett effektivt och energisnålt sätt.



*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](http://www.E2B2.se).*