

Beställt av

Program för teknisk standard (PTS)

Utfört av

Peter Filipsson, Lars Ekberg & Daniel Olsson

Datum

2024-05-06

Version

Slutrapport

Luftföring och luftrening

Kompletterande mätningar till rapporten

Luftflöde i vårdlokaler – Med ett fastighetstekniskt perspektiv

Förord

Mätningarna som redovisas i den här rapporten hör ihop med rapporten *Luftflöde i vårdlokaler – Med ett fastighetstekniskt perspektiv* men rapporterna är fristående och kan läsas oberoende av varandra. Rapportens innehåll knyter an till Formasprojektet Buildings Post Corona (<https://www.buildingspostcorona.se/>). Mätningarna genomfördes i ett nybyggt vådrum och i ett äldre väntrum på Kungälv's sjukhus den 13-15 mars 2024. Mätningarna genomfördes av Peter Filipsson, Lars Ekberg, Daniel Olsson och studenten Rasha Alasmi som skriver ett examensarbete om ventilation och luftburen smittspridning. Behjälpliga på plats från Västfastigheter var Jonna Olsson (teknisk förvaltare) och André Glader (driftkoordinator).

Göteborg, april 2024

Peter Filipsson

Innehåll

1	Introduktion	4
2	Metod	4
2.1	Luftföring	4
2.2	Luftrening	5
3	Resultat	7
3.1	Luftföring	7
3.2	Luftrening	10
4	Slutsatser	11
	Om CIT Renergy	14



1 Introduktion

Mätningar genomfördes i två rum, dels i ett nybyggt vådrum och dels i ett äldre väntrum. Koldioxid mättes i vådrummet med syfte att undersöka ventilationens effektivitet med avseende på luftföring, dvs. hur luften rör sig i rummet. Genom att mäta hur en förhöjd koldioxidhalt klingade av i olika punkter kunde slutsatser dras om luftföringen i rummet.

Partiklar och bakterier mättes i bägge rummen med syfte att undersöka inverkan av en rumsluftrenare. Luftrenaren som användes var i ett utvecklingskede (prototyp), men bygger på beprövad teknik med filtrering genom elektrostatisk laddning. Prototypen har ett innovativt nyhetsvärde som ligger i dess utformning för tyst drift och hög kapacitet samt att filtren är tvättbara i vatten. Genom att mäta partikel- och bakteriehalt i de bägge rummen då luftrenaren växelvis var avstängd, växelvis aktiverad, erhöles en god indikation om dess inverkan på bakteriehalt och renluftsflöde, vilket står i relation till smittspridningsrisk.

2 Metod

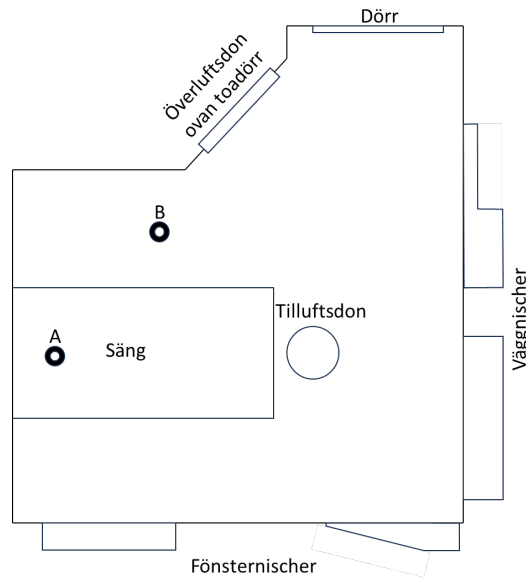
2.1 Luftföring

Syftet med koldioxidmätningarna var att bestämma hur effektivt rummet ventileras i olika punkter och vid olika luftflöden. Koldioxidkoncentrationen i rummet höjdes till cirka 2000 ppm innan avklingningsförloppet mättes. I samtliga fall blandades luften om före avklingningsförloppet. I vissa fall blandades luften om även under avklingningsförloppet (fortsättningsvis kallat *omblandad*) och i andra fall inte (*normal*). Mät punkt A (se Figur 1) var cirka 0,1 m ovanför sängen och mät punkt B på en höjd 1,7 m över golvet. Dessa punkter kallas fortsättningsvis *patient* och *personal*. Mätningar gjordes vid tre olika luftflöden, med börvärde inställt på 15 l/s (*låg*), 30 l/s (*mellan*) och 45 l/s (*hög*). Detta motsvarar 1,1, 2,3 och 3,4 luftomsättningar per timme.

Eftersom avklingningen sker exponentiellt (med Eulers tal som bas) kan man utifrån avklingningsförloppet beräkna luftomsättningen. Avklingningen vid omblandad luft representerar rummets faktiska luftomsättning. Genom att mäta avklingningen i en punkt vid normala luftrörelser och jämföra denna med rummets faktiska luftomsättning fås ett mått på hur effektiv luftföringen är i den specifika punkten.

Tre luftflöden, två mätpunkter och omblandad/normala luftrörelser borde innebära tolv avklingningsförlopp. Dock mättes bara i en punkt vid omblandade luftrörelser vid det låga flödet vilket innebär att det totalt blev elva avklingningsförlopp. Koldioxid-koncentration mättes med två exemplar av mätinstrumentet Rotronic CP11.

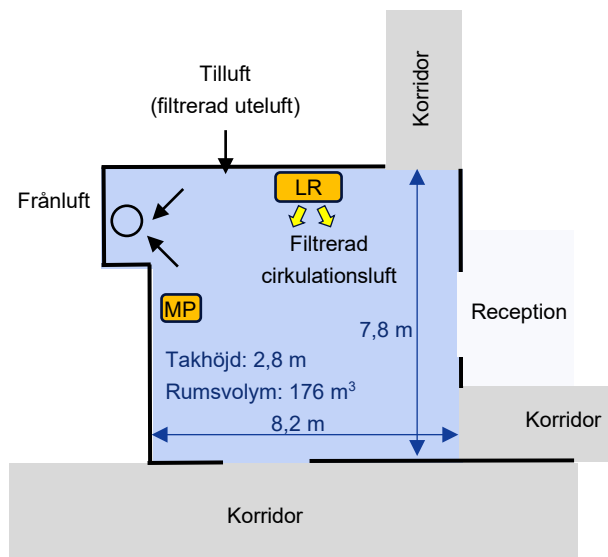
En skiss över vådrummet visas i Figur 1. Rummets totala volym inklusive nischer är 47,0 m³. Denna volym har använts för att räkna om antal luftomsättningar till luftflöde uttryckt i liter per sekund. Luften tillförs rummet genom ett centralt placerat aktivt tilluftsdon och lämnar rummet genom ett överluftsdon ovanför toalettdörren.



Figur 1 Skiss över vådrummet.

2.2 Luftrening

Luftrenarprototypen testades dels i ett väntrum, dels i vådrummet. Se Figur 1 och 2.



Figur 2 Skiss över det väntrum där mätningar genomfördes. MP = mätpunkt, LR = luftrenare. Korridorerna är betydligt längre än ritat.

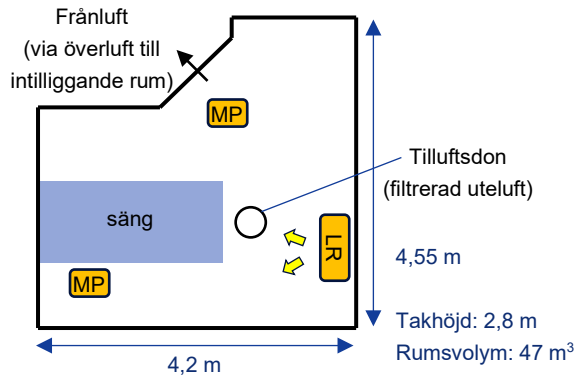
Tilluftsflödet till väntrummet mättes med hastighetssensor (Swema 3000 md + SWA31) till ca 1 200 m³/h över ett gallerföretsett luftdon. Inkommande ventilationsflöde filtrerades med filter av klass ISO ePM1 50% (benämndes klass F7 enligt tidigare standard), vilket kan betraktas som praxis i sammanhanget. Frånluftsflödet mättes till ca 880 m³/h på samma sätt. Frånluft evakuerades dessutom från toaletter belägna i den korridor som ligger närmast receptionen, enligt Figur 2. Som framgår av figuren står väntrummet i förbindelse med ytterligare två långa korridorer. Rökvisualisering visade att väntrummet kontinuerligt tillfördes luft från dessa. Luftvolymen är således avsevärt större än den rumsvolym om 176 m³ som anges i figuren, vilket innebär att luftrenaren behövde rena en mycket stor luftvolym.

För att kvantifiera renluftsflödet i de bägge rummen gjordes s.k. avklingningsmätningar, där en finfördelad förorening (i detta fall kalkpulver) tillfördes rumsluften vid enskilda tillfällen, varefter partikelkoncentrationens utspädning i rumsluften uppmättes med partikelräknare (TSI - AeroTrak 9303). Utöver luftrenarens inverkan på avklingningsförloppet påverkas det även av luftläckage, att partiklar faller till golvet av sin egen tyngd samt av att den ordinarie ventilationen kontinuerligt tillför ny luft och bortför förorenad luft. Genom att jämföra resultaten från mätningar med och utan luftrenaren aktiv (allt annat lika) kunde dess inverkans kvantifieras.

Förekomsten av luftburna bakterier mättes med en aktiv mikrobiell provtagare (Klotz – Impaktor FH6). Att den benämns aktiv beror på att den suger in ett bestämt luftflöde som spolas över en roterande s.k. agarplatta med näring för bakteriell odling. Efter mätning placerades plattorna i en inkubator under en bestämd tid. Därefter räknades antalet bakteriekolonier (CFU), vilka framträder som prickar.

Luftrenarens flöde (kapacitet) justerades manuellt och valdes utifrån en subjektiv bedömning av acceptabla ljud- och luftdragnivåer. Tidigare mätningar i laboratoriemiljö på samma luftrenare visade att den valda flödesinställningen i väntrummet motsvarade ca 1 780 m³/h, och i vådrummet ca 1 410 m³/h. Dessa flöden motsvarar ca 495 l/s respektive ca 390 l/s.

I skissen över vådrummet i Figur 3 visas mätpunkter och luftrenarens placering. Förutom att det är avsevärt mindre än väntrummet är det dessutom stängt mot intilliggande rum och korridor.



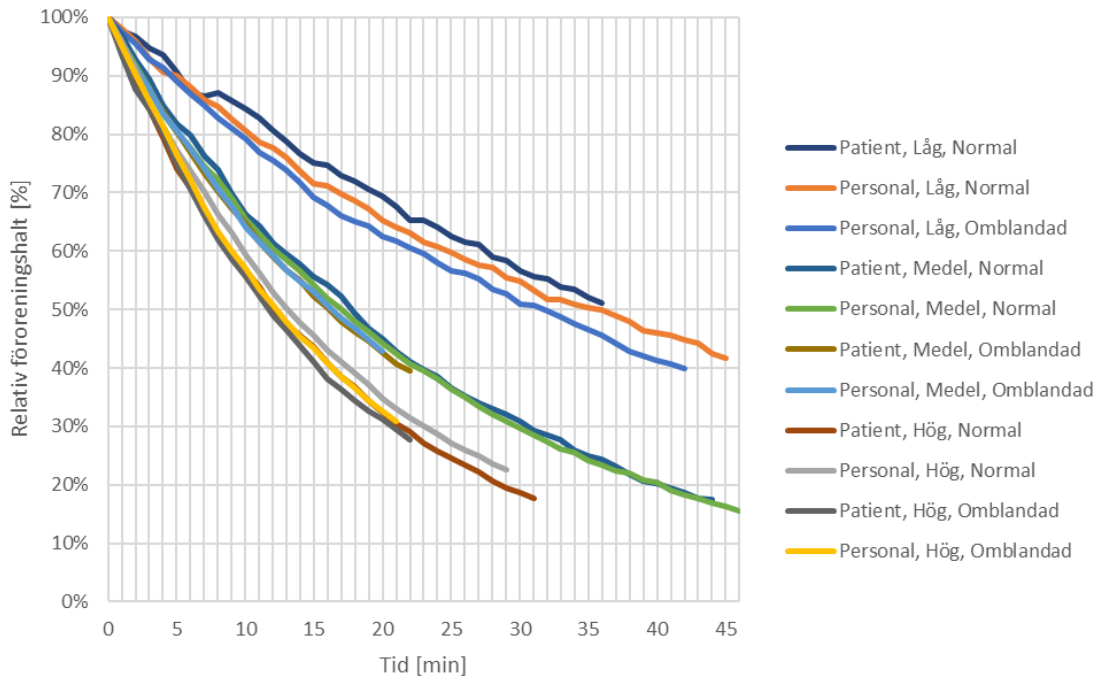
Figur 3 Skiss över vådrummet med mätpunkter (MP) och luftrenare (LR) markerade.

Tilluftflödet justerades centralt av sjukhusets fastighetstekniker. Vid mätningarna som resultatredovisas i Tabell 2 och 3 nedan var flödena 15, 30 respektive 45 l/s. Även här var tilluftfiltret av klass ISO ePM1 50% (F7). Rökvisualisering visade att luftriktningen var ut från rummet. Dels via visst läckage till en intilliggande korridor, men framför allt via frånluft från en angränsande toalett.

3 Resultat

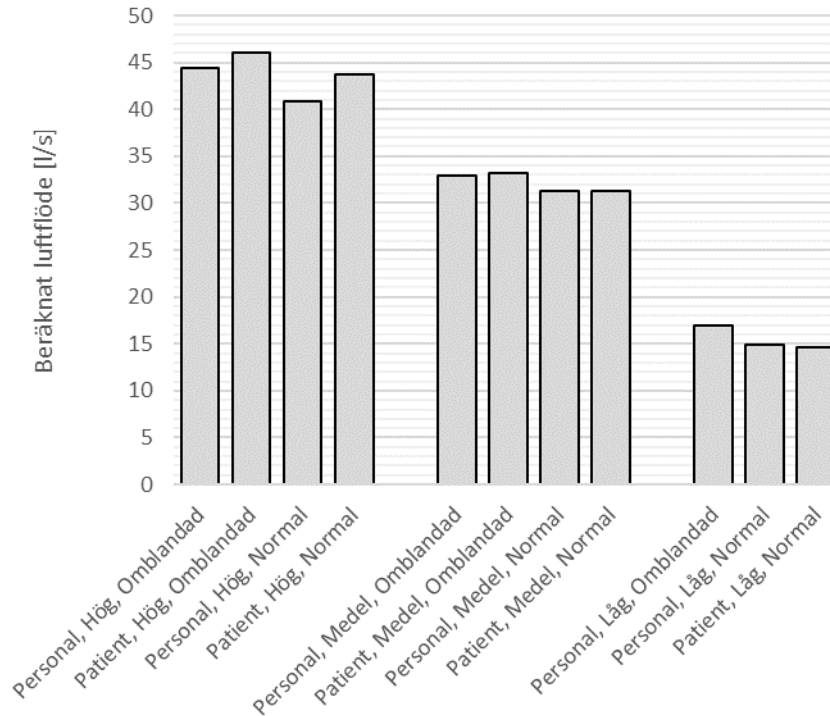
3.1 Luftföring

Resultatet av koldioxidavklingningsmätningarna redovisas i Figur 4. Y-axeln (*Relativ föroreningshalt*) representerar koldioxidkoncentrationen där 100 % motsvarar ursprungskoncentrationen (i början av förloppet) och 0 % motsvarar tilluftens koncentration (den som hade nåtts efter oändligt lång tid).



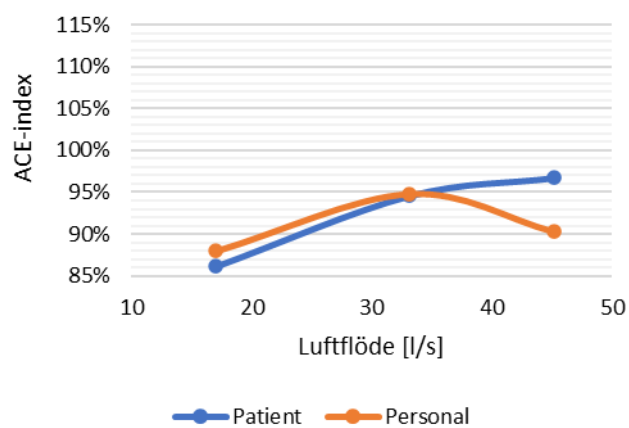
Figur 4 Koldioxidhaltens avklingningsförlopp

Avklingningsförloppen i Figur 4 motsvarar luftflödena presenterade i Figur 5. Observera att det endast är luftflödena vid omblandning som representerar det faktiska luftflödet i rummet. De beräknade luftflödena vid normala luftförelser visar hur stort det faktiska luftflödet skulle ha varit om hela rummet var lika effektivt ventilerat som den specifika mätpunkten.



Figur 5 Luftflöde beräknat utifrån avklingningsförlöppen.

Genom att dividera det utifrån en punkt beräknade luftflödet med det under oblandade förhållanden beräknade luftflödet fås ett mått här kallat ACE-index (air change effectiveness). I Figur 6 visas ACE-index för de två punkterna som funktion av det beräknade luftflödet.



Figur 6 ACE-index som funktion av luftflöde.

Resultatet visar att rummet ventileras effektivare ju högre luftflödet är, med undantag för punkten *Personal* vars ACE-index är högre vid det mellersta än vid det högsta luftflödet.

3.2 Luftrening

Här redovisas resultat från avklingningsmätningarna baserade på partikelhalten för partikeldiametrarna 0,3 µm och 1,0 µm. För vådrummet, som hade två mätplatser, avses medelvärden för dessa. Även luftens bakteriehalt redovisas, uttryckt som antal bakteriekolonier (CFU) per m³ rumsluft.

I tabellerna används begreppen ”uppmätt avklingning” och ”förändringsfaktor”, vilka här beskrivs som kortast:

Uppmätt avklingning Ett totalt mått på luftens uppreningshastighet, uttryckt som renluftflöde (m³/h). Detta inkluderar inverkan av ordinarie ventilation, luftläckage och sedimentation av partiklar. När luftrenaren är aktiv ingår även dess inverkan i begreppet.

Förändringsfaktor En kvot som beskriver luftrenarens proportionella inverkan. Den grundas på att resultat då luftrenaren är aktiv divideras med resultat då luftrenaren är inaktiv. Det innebär att om ursprungsvärdet (luftrenare av) multipliceras med förändringsfaktorn, så erhålls ett resultat som avser fallet med luftrenaren aktiv.

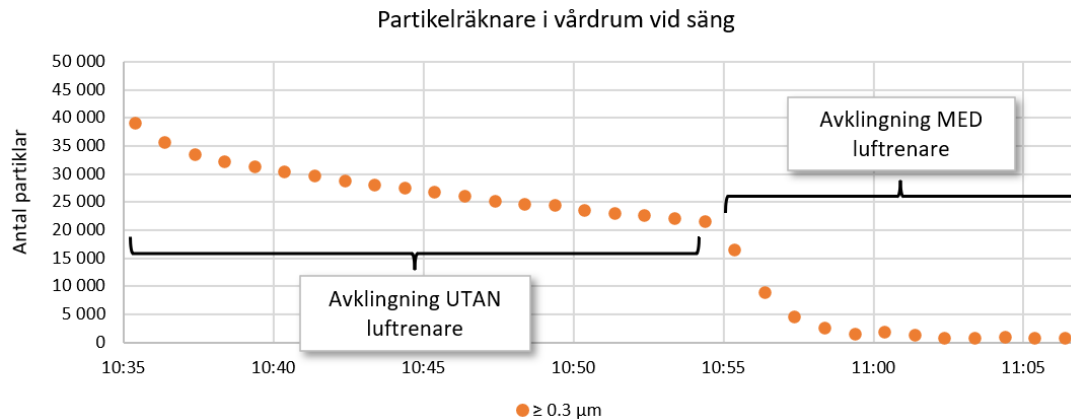
Notera att tabellernas utformning skiljer sig något. Detta beror på att det allmänna ventilationsflödet i väntrummet var det samma under mätperioden, medan vådrummet gavs tre olika ventilationsflöden.

Tabell 1 Resultat från mätningar av partiklar och bakterier i sjukhusets mest centrala väntrum, näst efter det i anslutning till entrén.

Väntrum	Luftrenare AV	Luftrenare PÅ	Luftrenarens inverkan	Förändringsfaktor	Personer
Uppmätt avklingning	4 570 [m ³ /h]	6 310 [m ³ /h]	1 740 [m ³ /h]	1,4 [-]	3 – 5 [st]
Uppmätt bakteriehalt	240 [CFU/m ³]	170 [CFU/m ³]	- 70 [CFU/m ³]	0,7 [-]	

Tabell 2 Resultat från mätningar av luftburna partiklar, i ett nybyggt oanvänt vådrum för en person

Vådrum	Enhet	Allmänventilation		
		15 [l/s]	30 [l/s]	45 [l/s]
Uppmätt avklingning - luftrenare AV	[m ³ /h]	90	110	205
Uppmätt avklingning – luftrenare PÅ	[m ³ /h]	1 620	1 785	1 740
Inverkan av luftrenare	[m ³ /h]	+ 1 530	+ 1 675	+ 1 535
Inverkan av luftrenare	[l/s]	425	465	425
Förändringsfaktor	[-]	17,8	16,5	8,6
Personer i rummet	[st]	2	2	2



Figur 7 Avklingningsförlopp, med och utan luftrenare, för partiklar med diameter $\geq 0,3 \mu\text{m}$. Uppmätt vid säng i samma vårdrum som Tabell 2. Rummet tillfördes finfördelade kalkpartiklar strax innan kl. 10:35. Rummets allmänventilation var hela tiden 30 l/s.

Tabell 3 Resultat från mätningar av luftburna bakteriekolonier. Samma nybyggda vårdrum som Tabell 2.

Vårdrum	Sort	Allmänventilation		
		15 [l/s]	30 [l/s]	45 [l/s]
Bakteriehalt - luftrenare AV	CFU/m ³	310	345	195
Bakteriehalt - luftrenare PÅ	CFU/m ³	30	35	15
Inverkan av luftrenare	CFU/m ³	- 290	- 310	- 180
Förändringsfaktor	[-]	0,1	0,1	0,1
Personer i rummet	st	2	2	2

4 Slutsatser

Luftföringen

Koldioxidmätningarna visar att luftföringen var minst effektiv vid det lägsta luftflödet, i bägge mätpunkterna. I punkten vid patienten var den effektivast vid det högsta luftflödet och i punkten vid personalen var den högst vid det mellersta luftflödet.

Slutsatserna gäller endast under de aktuella förutsättningarna och kan inte generaliseras till andra typer av tilluftsdon eller andra typer av rum med annan utformning och annan placering av tilluftsdon, överluftsdon, patient och personal.

Luftreningen

Luftrenaren har en avsevärd inverkan på mängden luftburna partiklar och bakterier, särskilt i det slutna vårdrummet där bakteriehalten minskade till en tiondel jämfört med innan, och renluftflödet ökade med ca 9 - 18 gånger avhängigt det allmänna ventilationsflödets storlek.

Att de uppmätta renluftsflödena inte förhåller sig linjärt till de allmänna ventilationsflödena beror sannolikt på att avklingningsmetoden, som används för att fastställa luftflöden, innehåller vissa faktorer som kan påverka resultaten. Med fler mätningar under samma förutsättningar i rummen och med mer tid för avklingningsförloppen hade mätresultaten säkerställts i högre grad. Men slutsatsen om att luftrenarens inverkan i vådrummen är mycket stor skulle inte rubbas.

Risken för att bli smittad i ett vådrum av en luftburen smitta beror på flera faktorer såsom exponeringstid, antal personer, rumsvolym och luftflöde. Luftrenare påverkar den senare faktorn, och dess inverkan kan kvantifieras genom att tillämpa en beräkningsmodell framtagen av Aganovic m.fl.¹ Det är en utvecklad variant av den i sammanhanget mer kända Wells-Riley-modellen som togs fram redan på 1950-talet, då för mässling och tuberkulos. Om mätresultaten från Kungälvss sjukhus används i Aganovic beräkningsmodell för smittriskbedömning av t.ex. Corona (Delta), visar resultaten att smittrisken reduceras till cirka en sextondel jämfört med om rummet endast hade allmänventilation (15 l/s, vilket får anses vara i nivå med praxis i sammanhanget). Reduktionen ligger i paritet med luftrenarens uppmätta inverkan på antalet bakterier i rumsluften, se Tabell 3 där bakteriehalten reducerades till en tiondel.

Att inverkan i väntrummet var lägre än i vådrummet, beror på att väntrummet stod i direkt förbindelse med angränsade korridorer och en reception. Väntrummet tillfördes kontinuerligt luft från dessa angränsande utrymmen. Den totala luftvolymen som luftrenaren skulle rena i det aktuella fallet var således betydligt större än själva väntrummet. Även om inverkan i själva väntrummet var beskedligare än i vådrummet, så renades å andra sidan en större luftvolym, dvs. även luften i receptionen och i delar av korridorerna.

¹ Aganovic, A., Cao, G., Kurnitski, J., & Wargocki, P. (2023). New dose-response model and SARS-CoV-2 quanta emission rates for calculating the long-range airborne infection risk. *Building and Environment*, 228, 109924



Om CIT Renergy

CIT Renergy AB är ett helägt dotterbolag till Stiftelsen Chalmers Industriteknik. Bolaget bildades vid årsskiftet 2022/2023 genom en sammanslagning av CIT Energy Management och CIT Industriell Energi AB.

Vår unika kompetens består av att kombinera detaljerad teknisk kunskap med ett övergripande energisystemsperspektiv. Vi är specialiserade på analyser och utredningar av energisystem och energitekniker samt energieffektivisering. Vi har lång erfarenhet av att arbeta med den energiintensiva industrin såväl som med bebyggelsens energibehov. Vi har också stor vana vid att arbeta med uppdrag från olika myndigheter samt offentligfinansierade projekt. En stor andel av våra medarbetare har disputerat. Vi är certifierade enligt ISO 9001 för kvalitet och ISO 14001 för miljö