



CHALMERS

Luftflöde i vårdlokaler Med ett fastighetstekniskt perspektiv

PETER FILIPSSON
LARS EKBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Rapport ACE 2024:2
Göteborg, Sverige 2024

RAPPORT ACE 2024:2

Luftflöde i vårdlokaler

Med ett fastighetstekniskt perspektiv

PETER FILIPSSON

LARS EKBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Luftflöde i vårdlokaler

Med ett fastighetstekniskt perspektiv

PETER FILIPSSON

LARS EKBERG

© PETER FILIPSSON, LARS EKBERG, 2024

Rapport ACE 2024:2

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2024

Luftflöde i vårdlokaler

Med ett fastighetstekniskt perspektiv

PETER FILIPSSON

LARS EKBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Denna rapport rör ventilation för begränsning av risken för luftburen smittspridning i vårdlokaler. Arbetet är begränsat till tre specifika rumstyper: vårdrum, undersökningsrum och väntrum.

Ökat ventilationsluftflöde innebär generellt en minskad risk för luftburen smittspridning. Rapporten tar avstamp från detta centrala samband men gräver dessutom djupare i andra aspekter som också bör tas hänsyn till vid framtagande av rekommendationer och riktlinjer. Dessa aspekter är:

- Det finns negativa konsekvenser förknippade med ökat luftflöde.
- Vedertagna teoretiska samband mellan luftflöde och smittrisk är i många avseenden förenklingar, ofta till fördel för fördelarna med ökat luftflöde.
- Det finns andra, varav vissa mer effektiva, sätt att reducera smittrisk.
- Fördelen med högre luftflöde beror på mängden smittämnen som genereras i rummet.

Den första punkten handlar primärt om kostnader och miljöpåverkan orsakade av energibehov, utrymmesbehov och behov av tekniska installationer, men även konsekvenser för inomhusmiljön.

Exempel på de förenklingar som avses i den andra punkten är att den ursprungliga s.k. Wells-Rileymodellen inte tar hänsyn till andra smittrisksänkande fenomen än just ventilation samt att ventilationseffektiviteten normalt antas vara oberoende av luftflödet.

Den tredje punkten är viktig eftersom nyttan av olika smittrisksänkande åtgärder inte går att addera med varandra. Nyttan av ökat luftflöde är väldigt stor i fall där alla andra parametrar gynnar smittspridning, men om andra åtgärder vidtas parallellt (t.ex. munskydd) så sjunker nyttan med ökat luftflöde drastiskt. Eftersom de negativa konsekvenserna av ökat luftflöde är oförändrade så blir de andra åtgärderna väldigt avgörande för vad som är ett optimalt luftflöde.

Den fjärde punkten innebär att det i rum utan smittsamma personer inte finns några smittsänkande fördelar alls med ett högre luftflöde. Tvärtom, om ett centralt återluftssystem har varit nödvändigt för att ha råd med det högre luftflödet så innebär ventilationen i stället en ökad smittrisk. I rum där det genereras mycket smitta finns det däremot desto större fördel med ett högt luftflöde (oavsett om det är uteluft eller väl filtrerad återluft). Förutom att detta motiverar olika luftflöden i olika rumstyper så

motiverar det tillfälligt högre luftflöden vid händelse av pandemiutbrott, vilket t.ex. har anammats i amerikanska standarder.

Beräkningarna i rapporten visar till exempel att en ökning av uteluftflödet från 2 till 4 luftomsättningar per timme reducerar risken för luftburen smitta med 40 % till en kostnad av 2 080 kr/m² (inklusive nuvärdet av framtida energikostnader). 25 % av kostnaden hänförs till ökat energibehov, drygt 40 % till ökat behov av tekniska installationer och drygt 30 % till ökat utrymmesbehov. Utöver detta medför luftflödesökningen utsläpp av 16,5 kgCO₂e/m² vid uppförandet av byggnaden och 1,4 kgCO₂e/m²år till följd av ökad energianvändning. Därtill kommer betydande risk för försämrade inomhusmiljö. I ett realistiskt scenario ökar ljudnivån med 3 dB och andelen personer som kan förväntas besväras av drag med 7 procentenheter. Inomhusluften kommer bli torrare, men i hur hög grad beror på ventilationsaggregatets fuktåtervinnande egenskaper och har inte uppskattats i den här studien.

Exempel på andra sätt att sänka smittrisen är att installera en rumsluftrenare, installera desinficerande UV-ljus, använda munskydd och att förbättra luftföringen.

Värdet av att reducera risken för luftburen smitta (på avstånd >1.0 m) i de aktuella rummen beror helt och hållet på hur många fall av överförd smitta detta i praktiken motsvarar. Rekommendationer om smittrisksänkande åtgärder bör därför föregås av en, åtminstone grov, uppskattning av den faktiska incidensen (dvs. antal fall av överförd smitta).

Nyckelord: Vård, ventilation, luftburen smittspridning

Innehåll

1	INTRODUKTION	1
1.1	Avgränsningar	1
2	NÅGRA INTERNATIONELLA RIKTLINJER	2
3	SAMMANFATTNING AV ÖVERSIKTSARTIKLAR	7
4	HUR PÅVERKAR LUFTFLÖDET SMITTRISKEN	10
5	YTTERLIGARE KONSEKVENSER AV ÖKAT LUFTFLÖDE	14
5.1	Energi	15
5.2	Tekniska installationer och utrymme för dessa	18
5.3	Inomhusmiljö	21
5.3.1	Drag	21
5.3.2	Buller	22
5.3.3	Luftfuktighet	22
5.4	Klimatpåverkan	24
6	NÅGRA ALTERNATIV TILL ÖKAT UTELUFTFLÖDE	26
6.1	Återluft	26
6.2	Rumsluftrenare	28
6.3	Förbättrad luftförling	28
6.4	Desinficerande UV-ljus	29
6.5	Munskydd	31
6.6	Tillfälligt ökat luftflöde	31
7	ÖVERGRIPANDE BERÄKNINGAR	32
8	REFERENSER	34
	APPENDIX A – TYPRUM	37
	APPENDIX B – LUFTFLÖDESENHETER	38

Förord

Denna rapport har tagits fram i ett samarbete mellan Avdelningen för installationsteknik vid Chalmers tekniska högskola och teknikkonsultföretaget CIT Renergy. Arbetet har genomförts på uppdrag av brukarråden för VVS och Hållbarhet inom Program för teknisk standard (PTS). PTS är en samverkansorganisation mellan landets regioner med syfte att ta fram enhetliga kravställningar för vårdlokaler.

Svensk Förening för Vårdhygien (SFVH) publicerar skriften Bygghälsa och Vårdhygien (BOV) vars syfte är att behandla de aspekter på vårdlokaler som kan ha betydelse för att förebygga smittspridning och uppkomst av vårdrelaterade infektioner. Däribland rekommendationer om ventilationsluftflöden. En ny version av BOV är under arbete.

Denna rapportens övergripande syfte är att ge ett fastighetstekniskt perspektiv på de nya rekommendationerna om luftflöden i allmänna vårdlokaler, dvs. lokaler utan särskilda krav på luftrenhet. Projektet knyter an till Formasprojektet Buildings Post Corona (<https://www.buildingspostcorona.se/>).

Arbetet har i huvudsak genomförts av Peter Filipsson (CIT Renergy) och Lars Ekberg (Chalmers). Regelbundna avstämningar har skett med projektgruppen bestående av Daniel Olsson (CIT Renergy), Veronique Maussier (Locum, Region Stockholm), Cajsa Lindström (Västfastigheter), Ulf Andersson (Västfastigheter), Oscar Andersson (Regionfastigheter, Region Östergötland) samt Hans Bjurbäck (Regionfastigheter, Region Jönköpings län) som också varit beställarens kontaktperson.

Göran Andersson (GICON AB) har uppskattat kostnader för tekniska installationer och Amar Aganovic (Universitetet i Tromsø) har varit behjälplig vid smittriskberäkningar.

Göteborg, mars 2024

Peter Filipsson, CIT Renergy

Förkortningar

ACH	Air changes per hour
ACR	Air change rate
AGP	Aerosol-generating procedures
AIA	American Institute of Architects
AII	Airborne infection isolation
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BOV	Bygghälsa och vårdhygien
CADR	Clean Air Delivery Rate
CDC	Centers for Disease Control and Prevention (USA)
CFD	Computational fluid dynamics
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control
FTX	Till- och frånluft med värmeåtervinning
HEPA	High efficiency particulate air
IRMM	Infection Risk Management Mode
LOA	Lokalarea
NADR	Non-Infectious Air Delivery Rate
NHS	National health service (Storbritannien)
PTS	Program för teknisk standard
REHVA	Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations
SFP	Specific fan power
SFVH	Svensk Förening för vårdhygien
UVGI	Ultraviolet germicidal irradiation
VAV	Variable air volume
VE	Ventilationseffektivitet
WHO	World Health Organization
WR	Wells-Riley

1 Introduktion

Svensk Förening för Vårdhygien (SFVH) publicerar skriften Bygghälsa och Vårdhygien (BOV) vars syfte är att behandla de aspekter i vårdlokaler som kan ha betydelse för att förebygga smittspridning och uppkomst av vårdrelaterade infektioner.

Syftet med den här rapporten är dels att kvantifiera nyttan av förhöjda luftflöden, dels att tillföra ett fastighetstekniskt perspektiv inklusive inverkan på inomhusmiljö. Rapporten inleds med en presentation av vad som står i några av de dokument som refereras till i det senaste utkastet av BOV (avsnitt 2) följt av en sammanfattning av artiklar som kartlagt forskningen om luftflöde och smittspridning på sjukhus (avsnitt 3). Därefter redovisas beräkningar av hur smittrisk påverkas av luftflöde (avsnitt 4) vilket följs av ett resonemang om negativa konsekvenser kopplade till ökade luftflöden (avsnitt 5). Efter en genomgång av några alternativ till ökat luftflöde (avsnitt 6) följer ett avsnitt med konkluderande beräkningar (avsnitt 7).

1.1 Avgränsningar

Rapporten handlar om mekaniskt ventilerade rum där luftföringen är av principen omblandande. Den typ av vårdlokaler som omfattas är vådrum för en patient, undersökningsrum samt väntrum (se detaljer i Appendix A). Lokaler med särskilda krav på luftrenhet eller isolering, till exempel operationsrum och rum där man vet att luftburen smitta förekommer, omfattas alltså inte. All smittrisk som diskuteras i denna rapport avser luftburen smitta mellan personer med minst en meters avstånd. Smittrisk mellan personer närmare varandra än så och via andra smittvägar, påverkas avsevärt mindre av luftflödet.

2 Några internationella riktlinjer

I det senaste utkastet av Bygghälsa och Vårdhygien (BOV), daterat 2024-01-07, står:

”I de flesta internationella riktlinjer eftersträvas i vårdrum cirka 4-6 luftomsättningar per timme”

och

”I de flesta internationella riktlinjer eftersträvas i vårdrum ca 6 luftomsättningar per timme, vilket kan vara en målsättning även i Sverige där så är praktiskt möjligt”

Vid dessa meningar refereras till ett antal olika riktlinjer och rekommendationer. Nedan förklaras vad som står i de dokument som refereras till, med fokus på de rumstyper som är aktuella i denna rapport. Eftersom förklaringarna hålls kortfattade så hänvisas den intresserade läsaren till referenslistan där det finns länkar till samtliga dokument. De behandlade referenserna är:

- WHO (2009) Natural ventilation for infection control in health-care settings [1]
- WHO (2021) Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19 [6]
- CDC (2003), Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, [7]
- ASHRAE (2021) ASHRAE Standard 170 [9]
- ASHRAE (2022) ASHRAE Standard 62.1 [10]
- NHS (2021) Health technical memorandum 03-01: Specialised Ventilation for Healthcare Premises: Part A - Design and Validation [11]
- REHVA (2021) REHVA COVID-19 guidance document, Version 4.1 [13]

WHO, Natural ventilation for infection control in health-care settings. 2009

Denna rapport [1] publicerades av Världshälsoorganisationen 2009. Den handlar om självdragsventilation vilket gör att man kan ifrågasätta dess relevans i en svensk kontext. I rapporten ges endast en stark rekommendation, nämligen att adekvat ventilation är nödvändig.

“To help prevent airborne infections, adequate ventilation in health-care facilities in all patient-care areas is necessary.”

Dessutom ges följande villkorliga (*conditional*) rekommendation.

“For natural ventilation, the following minimum hourly averaged ventilation rates should be provided:

- *160 l/s/patient (hourly average ventilation rate) for airborne precaution rooms (with a minimum of 80 l/s/patient) (note that this only applies to new health-care facilities and major renovations);*
- *60 l/s/patient for general wards and outpatient departments; and*
- *2.5 l/s/m³ for corridors and other transient spaces (...)*”

Man skriver att rekommendationerna främst baseras på studier av Menzies et al. [2] och Bloch et al. [3]. Den senare är en fallstudie där man drar slutsatsen att mässling med stor sannolikhet kan smitta via luften. Hur smittrisen påverkas av luftflödet behandlas inte. Menzies et al. [2] handlar däremot om samband mellan luftflöde och tuberkulossmitta på 17 kanadensiska sjukhus. Man visar att smittrisen är avsevärt högre (3,4 gånger högre) i rum ("nonisolation rooms") med luftflöde lägre än 2 ACH än i rum med luftflöde högre än 2 ACH. För rum särskilda för att minimera risken för luftburen smitta "isolation rooms" testas istället gränsen 6 ACH och visar att smittrisen är försumbart högre (2 %) i rum med lägre luftflöden än så. Man drar slutsatsen att "general patient rooms (nonisolation)" bör ha ett luftflöde på minst 2 ACH, att personalen ska testas regelbundet samt att patienter med misstänkt smitta snabbt ska isoleras.

I ett appendix till WHO-rapporten ges en förklaring till hur luftflödet påverkar risken för luftburen smitta. Förklaringen är en beskrivning av den klassiska Wells-Rileymodellen (WR). I beräkningarna används smittsamheter på 60 - 1200 kvanta/h¹. Vägledning från REHVA [4] anger intervallet 0,13-1,5 kvanta/h som exempel på medianvärden för en på sjukhus vilande patient med covid-19, beroende på vilken variant av viruset det är fråga om. Motsvarande värde för säsongsinfluensa, förkylning och mässling anges till 0,035, 0,21 och 3,1 kvanta/h [4]. En så kallad superspidare är dock avsevärt mer smittsam, men ovanlig, och kan ligga i linje med smittsamheten som WHO använder i sina simuleringar, dvs. uppåt 1200 kvanta/h. Det bör tilläggas att andra källor redovisar betydligt högre smittsamheter [5], vilket indikerar att den parametern är väldigt osäker.

I ett annat appendix till rapporten finns fotografier från för rapporten relevanta sjukhusmiljöer (i Myanmar, Hong Kong, Sydafrika, Nepal och Peru). Fotografierna visar stora självdragsventilerade sjukhussalar med öppna fönster och med plats för många patienter och väntrum med hundratals patienter. Dessa miljöer skiljer sig avsevärt, inte minst vad gäller nyttan av höga luftflöden, från svenska vårdrum, undersökningsrum och väntrum.

Det finns alltså skäl att ifrågasätta rekommendationerna i sig men framför allt huruvida de är relevanta för svenska sjukhus.

WHO, Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19, 2021

Världshälsoorganisationen ger här rekommendationer [6] specifikt med hänsyn till covid-19 men är kopierade från föregående rapport [1], översatta till:

*"-160 l/s-patient or 12 ACH where AGP are performed
- 60 l/s-patient or 6 ACH other"*

I detta dokument appliceras dock samma krav även på byggnader med mekanisk ventilation. Detta trots att man i tidigare nämnda rapport ([1]) skrev:

"We also suggest that if natural ventilation is used for infection control, the minimum ventilation rate should be higher than the existing requirement for mechanical ventilation to compensate for the expected fluctuations in ventilation rate and difficulties in controlling airflow direction."

¹ En kvantum är den mängd smittsamma partiklar/droppkärnor som motsvarar en smittrisk på 63 %.

och

“Other documents recommend 12 ACH for an airborne precaution room, which is equivalent to, for example, 80 l/s/patient in a 4×2×3 m³ room. This guideline recommends double this ventilation rate for naturally ventilated airborne precaution rooms.”

Följande text i [6] kan dessutom tolkas som att rekommendationerna gäller rum där man vet att luftburen smitta förekommer, vilket inte är fallet i de rum som ingår i denna rapport.

“Adequate ventilation in all patient care areas plays a key role to help prevent and reduce infections. Nevertheless, this document specifically targets COVID-19 structures such as COVID-19 treatment centres and wards including quarantine, community facilities and long-term care facilities.”

I rapporten är man öppen med att man inte tagit någon hänsyn till de kostnader (och den arbetstid) som krävs för att implementera rekommendationerna.

“However, it is worth highlighting that neither the cost nor the time required for implementation were considered.”

CDC, Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, 2003 (Uppdaterad 2019)

Detta är en publikation där *Centers for Disease Control and Prevention* i USA [7] ger rekommendationer om luftflöden i ”*Airborne infection isolation rooms*”, ”*Protective environment rooms*” och operationsrum. Att man stavat fel i rubriken ”*Infection-Control and Ventilation Requirements for All Rooms*” lurar dock läsaren att man avser samtliga rum istället för *All Rooms* (Airborne Infection Isolation Rooms). I ett appendix presenteras dock en tabell med rekommenderade luftflöden för andra rumstyper (t.ex. ”*Patient room*” och ”*Examination room*”). Tabellen är kopierad från 2001 års upplaga av riktlinjer från American Institute of Architects, AIA: *Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities* [8]. Där rekommenderades för ”*Nursing - Patient Room*” att luftflödet skulle vara minst 6 ACH varav minst 2 ACH uteluft. Samtidigt fanns en fotnot som sa att det räckte med ett totalluftflöde på 4 ACH om man hade ett vattenburet system för att värma och/eller kyla rummet, vilket är mycket vanligt i Sverige.

Även för ”*Examination room*” var rekommendationen att luftflödet skulle vara minst 6 ACH varav minst 2 ACH uteluft, men utan fotnoten om lägre luftflöde med vattenburet system. Riktlinjerna från AIA är som sagt från 2001 och har vid flera tillfällen ersatts av nyare upplagor och sedan 2010 hänvisas istället till ASHRAE Standard 170 [9]. Där rekommenderas för ”*General examination rooms*” lägre luftflöden än ovan nämnda riktlinjer från 2001 (se nästa stycke), vilket innebär att AIA har ett lägre rekommenderat luftflöde idag än 2001. Även för patientrummet (utan vattenburen värme/kyla) har kravet ändrats från 6 till 4 ACH. Dock med en ny fotnot, se nästa stycke.

ASHRAE Standard 170, 2021

Denna standard [9], utgiven av den amerikanska VVS-branschens organisation ASHRAE, behandlar ventilation i vårdbyggnader. För rumskategorin ”*Patient Room*”

rekommenderas minst 4 ACH varav minst 2 ska utgöras av uteluft. Vid siffran 4 finns en fotnot som lyder:

”For single-bed patient rooms using Group D diffusers, a minimum of six total ach shall be provided and calculated based on the volume from finished floor to 6 ft (1.83 m) above the floor.”

“Group D diffusers” innebär:

“Outlets mounted in or near the floor that discharge air horizontally (...). When used in fully stratified systems (TDV), these outlets use low discharge velocities; in mixed systems, they use higher discharge velocities.”

Att beräkna luftomsättningen baserat på endast 1,83 m innebär att det beräknade luftomsättningstalet blir högre än det verkliga. Med en takhöjd på 2,75 m räcker det med ett faktiskt luftomsättningstal på 4 ACH för att det, med höjden 1,83 m, beräknade luftomsättningstalet ska bli 6 ACH. Fotnoten antyder dessutom att dessa vårdrum kan vara avsedda för fler än en patient, vilket givetvis motiverar högre luftflöden än i vårdrum för en patient.

För ”General examination rooms” ges olika rekommendationer beroende på om det är öppenvård eller slutenvård. För slutenvård rekommenderas som sagt minst 4 ACH varav minst 2 ska utgöras av uteluft. För öppenvård rekommenderas minst 2 ACH varav minst 2 ska utgöras av uteluft.

ASHRAE Standard 62.1, 2022

Denna standard [10] behandlar ventilation, men inte i vårdrum, undersökningsrum och väntrum och berörs därför inte i denna rapport.

NHS, Health technical memorandum 03-01: Specialised Ventilation for Healthcare Premises: Part A - Design and Validation, 2021

National Health Service i England arbetar brett med vårdfrågor i England. Den rubricerade rapportserien [11] ger vägledning beträffande ventilation i vårdlokaler. I rapporten rekommenderas “Single rooms” ha ett luftflöde på minst 6 ACH varav uteluftflödet ska vara minst 20 % och inte mindre än 10 l/s/person. I dokumentet står även:

“In order to reduce energy costs and provide a more sustainable healthcare estate and support the declared zero-carbon target, ventilation selection should be as follows:

- *first choice – natural ventilation*
- *second choice – mixed mode ventilation*
- *final option – mechanical ventilation.”*

samt

*“The documents give comprehensive advice and guidance on the legal requirements, design implications, maintenance and operation of specialised ventilation in healthcare premises providing **acute care**. The use of these premises is very intense, the occupancy level high and the patients may be particularly susceptible to airborne infection risks.”*

I dokumentet motiveras inte varför man valt just 6 ACH men en tänkbar, visserligen spekulativ, förklaring är att man inspirerats av de amerikanska rekommendationerna och medvetet eller omedvetet utelämnat fotnoterna som medför att rekommendationen i praktiken innebär 4 ACH. Detsamma (misstag eller förenkling) gjorde Beggs et al [12], i en jämförelse mellan nu inaktuella amerikanska och brittiska rekommendationer, som i sin tur låg till grund för rekommendationerna i den nu gällande (3:e) upplagan av Bygghälsa och Vårdhygien.

REHVA COVID-19 guidance document, Version 4.1, 2021

Nätverket REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations) har publicerat den rubricerade vägledningen [13]. För vanliga patientrum (*“normal areas/patient rooms”*) rekommenderas minst 4 ACH. För rum med särskilt skydd mot luftburen smitta (*“airborne precaution rooms”*) rekommenderas minst 6 ACH (*“equivalent to 40 L/s/patient for a 4x2x3 m³ room”*).

Sammanfattande kommentar

Av sammanställningen ovan framgår att den mest relevanta vetenskapliga studien som hänvisas till är Menzies et al. [2], som visade en tydlig ökad risk för tuberkulosmitta vid luftflöde lägre än 2 ACH. En slutsats av sammanställningen är att det finns många förutsättningar (t.ex. huruvida det är uteluft eller återluft som avses) att ta hänsyn till när man översätter rekommendationerna till den typ av rum som är aktuella i denna rapport, dvs. vådrum, undersökningsrum och väntrum.

3 Sammanfattning av översiktsartiklar

Detta avsnitt är inte en systematisk litteraturöversikt som sammanfattar alla relevanta studier inom området. I stället är det en sammanfattning av fem artiklar som i sin tur har skrivits med ambitionen att sammanfatta alla relevanta studier inom området. Området i fråga är ventilation och luftburen smittspridning på sjukhus. Artiklarna har lite olika infallsvinkel men viss överlappning förekommer givetvis.

Li et al. [14] granskade artiklar publicerade mellan 1960 och 2005 och konstaterade att det finns en tydlig koppling mellan ventilation (luftflöde), luftriktningar (mellan rum) och spridning av luftburna sjukdomar såsom mässling, tuberkulos, vattkoppor, smittkoppor, influensa och SARS. De drog dock slutsatsen att det saknades vetenskapligt underlag för att kunna ge kvantitativa rekommendationer kring luftflöden med hänsyn till detta (generellt för samtliga byggnadstyper och särskilt för sjukhus). Däremot fanns tillräckligt vetenskapligt underlag för att kunna rekommendera att personer med ovan nämnda sjukdomar på sjukhus ska placeras i isoleringsrum med undertryck.

För sambandet mellan luftflöde och smittspridning på sjukhus visar Li et al. [14] att tidigare nämnd studie av Menzies [2] är den enda som skulle kunna användas som underlag för rekommendationer. Att ökat luftflöde innebär minskad smittrisk finns dock även visat i flera andra studier, då bland annat på marsvin, möss, flygplanspassagerare och intagna på fängelse.

Li et al. [14] hänvisar till tydligt vetenskapligt underlag för luftriktningars betydelse för smittrisen, men man nämner även att detta kan vara lättare sagt än gjort, vilket visades i en studie från 1993 där 45 % av alla undersökta rum som skulle ha undertryck på sju sjukhus i Missouri i praktiken hade övertryck mot korridoren [15].

Å ena sidan kan denna översiktsartikel anses vara av mycket hög kvalitet, å andra sidan är den från 2007, och omfattar därmed inte de senaste 20 årens forskning inom området.

En nyare översiktsartikel av Shajahan et al. [16], som sammanställer hur inomhusmiljöparametrar påverkar patienter på sjukhus, omfattar i stället artiklar publicerade mellan 1998 och 2018. Den är inte avgränsad till luftflöde och luftriktning utan omfattar även t.ex. temperatur, luftfuktighet och filter. I artikeln finns mycket matnyttig information om vid vilka temperaturnivåer och relativ luftfuktighet som olika bakterier och virus trivs bäst. Man nämner en artikel av English [17] från 2016 där det fastslås att det saknas studier som visar samband mellan ventilationsriktlinjer på amerikanska sjukhus och ”general infection rates” på dessa. Detta fanns dock för operationsrum och isoleringsrum (”airborne isolation room”). Man skriver också att trots att det finns många studier som visat att låga luftflöden kan öka risken för luftburen smitta så är det inte säkert att förhöjda luftflöden är fördelaktigt för patienternas välmående i ett smittriskperspektiv.

”Although many studies observed that lower ventilation rates could increase the risk of airborne cross-infection,^{154,160,174-176} increasing the ACH only may not always be advantageous for the patients’ well-being from the infection risk perspective.^{164,173,177-182}”

En orsak till detta är enligt författarna att det ökade luftflödet kan ha en negativ inverkan på ventilationseffektiviteten. Istället för att bara fokusera på luftflöde poängterar man vikten av andra angelägna aspekter såsom luftförlust, lufthastighet och personernas

(både de smittsamma och de friska) placering i rummet i förhållande till varandra och till ventilationsdonens placering.

Stockwell et al [18] skrev en översiktsartikel om samband mellan ventilation och förekomst av olika sorters bioaerosoler i sjukhus. De inkluderade studierna delades upp i de tre kategorierna självdrag, mekanisk ventilation och avancerad ("enhanced") mekanisk ventilation. Den sistnämnda kategorin omfattar riktat flöde, laminärflöde, förhöjt flöde, luftdesinficering samt HEPA-filtrering². Sammanlagd genomsnittlig förekomst av luftburna patogener var 201 cfu/m³ i självdragsfallen, 20 cfu/m³ i fallen med mekanisk ventilation och 9 cfu/m³ i fallen med avancerad mekanisk ventilation. Resultatet är inte så förvånande med tanke på att de avancerade ventilationssystem i högre grad fanns i t.ex. operationsrum medan självdragssystemen i högre grad fanns i lokaler utan särskilda renhetskrav. Författarna drar slutsatsen att avancerade mekaniska ventilationssystem på sjukhus bidrar till förbättrad luftkvalitet och minskad risk för luftburen smittspridning.

Kek et al. [19] publicerade en översiktsartikel om "ventilationsstrategier" för att reducera risken för luftburen smitta i sjukvårdslokaler. Artikeln omfattar studier publicerade 1993-2022 men är mer en bibliometrisk analys med syfte att beskriva vilken riktning forskningen tagit (metoder, fokusområden, länder etc.) snarare än att sammanfatta forskningsresultat. Man identifierar tre forskningstrender, smittriskreducerande "ventilationsstrategier" (inkl. ökat luftflöde), CFD-simuleringar för att bestämma luftrörelser i rum samt karakterisering av luftburna partiklar.

I artikelns inledning pekar man på de uppenbara fördelarna med ett högre luftflöde snabbare späder ut eventuella föroreningar. Senare i artikeln kommer man in på att det kanske inte är så enkelt. Man hänvisar till en artikel av Bolashikov et al. [20] där det fastslås att vårdpersonal utsattes för mer smittrisk vid 12 ACH än vid 3 och 6 ACH. (Observera att detta är en av de åtta artiklar som Shajahan et al. [16] refererade till). Mot bakgrund av detta skriver man att resultaten indikerar att ett högre luftflöde inte garanterar lägre smittrisk och att forskare därför fortfarande arbetar med att bestämma optimalt luftflöde för olika ventilationssystem i vårdlokaler.

En systematisk översiktsartikel av Nourozi et al. [21] handlar om ventilationslösningar för minskad smittspridning i vårdrum (enbädds-, tvåbädds och flerbäddsrum). Utöver smittrisk riktas fokus på termisk komfort och förutom det vanliga ventilationssystemets egenskaper presenteras ett omfattande avsnitt om rumsluftrenare. I en jämförelse mellan mekanisk ventilation och självdrag pekas dyr installation, dyr drift, risk för feldrift och buller ut som nackdelar med mekanisk ventilation. Även om fördelarna överväger så är nackdelarna värda att nämna här eftersom de till hög grad påverkas av luftflödet (eller lösningar som krävs för att ha råd med högt luftflöde).

Nourozi et al. [21] kategoriserar åtta olika ventilationsstrategier som används för att reducera smittrisk i vårdrum: självdrag, omblandande ventilation, undertryck, parallell strömning, deplacerande ventilation, stratumventilation, personlig ventilation, samt skyddad vistelsezon³. Även denna artikel lyfter fram Bolashikov et al. [20] och skriver att ett högre luftflöde, 12 ACH, innebar både högre dragrisk och högre smittrisk jämfört med 6 ACH och 3 ACH. (Det bör förstås nämnas att det är oklart huruvida denna artikel

² De engelska benämningarna var *directional flow*, *laminar flow*, *increased air changes per hour*, *disinfection treatment of air* och *HEPA-filtration system*.

³ De engelska benämningarna är *Natural ventilation*, *Negative pressure isolation*, *Mixing ventilation*, *Unidirectional airflow ventilation*, *Displacement ventilation*, *Stratum ventilation*, *Personalized ventilation system* och *Protected occupied zone ventilation*.

ofta lyfts fram för dess kontraintuitiva resultat eller om resultatet faktiskt är representativt.) En generell slutsats är dock att högre luftflöde leder till lägre smittrisk, givet att allt annat är oförändrat. Man hänvisar till en artikel som fastslår att för att hålla coronasmittrisen lägre än 1 % så krävs 100-350 m³/h per smittsam person om exponeringstiden är 15 min och 1200-1400 m³/h per smittsam person om exponeringstiden är 3 timmar. I ett rum på 20 m² med en smittsam person och en takhöjd på 2,7 m motsvarar det 1,9-6,5 resp. 22,2-25,9 ACH. Vidare påpekar man att dessa luftflöden kan reduceras till en fjärdedel om munskydd används.

Precis som Shajahan et al. [16], refererar Nourozi et al. [21] till inte mindre än åtta vetenskapliga artiklar som explicit framhåller att andra parametrar är viktigare än luftflödet. Fyra av artiklarna refereras till i bägge översiktsartiklarna vilket innebär att det totalt finns tolv artiklar med denna slutsats. En av dessa visade att ökat luftflöde kan ge lägre ventilationseffektivitet och en annan att smittrisen kan reduceras med 95 % genom ”optimering” utan att höja luftflödet. Nourozi et al. [21] drar slutsatsen att inte bara luftflöde är en viktig parameter för smittrisen, utan andra parametrar såsom luft rörelser, luftdistribution och placering av till- och frånluftsdon har en avgörande roll.

Sammanfattning

Av denna sammanställning framgår bland annat att det för rekommendationer om luftflöden i vårdlokaler inte finns någon tydlig vetenskaplig grund att vila på.

Mycket lite i den genomgångna litteraturen handlar om kostnader för energi och installationer förknippade med högt luftflöde. På sin höjd nämns det i förbifarten. En delförklaring kan vara att man i många delar av världen i högre grad använder återluftssystem, att man inte har samma kalla klimat som i Sverige och/eller att man inte har samma höga inomhusmiljökrav. Desto oftare nämns att mekanisk ventilation är avsevärt mycket dyrare än självdrag.

4 Hur påverkar luftflödet smittrisen

Ett ökat luftflöde innebär att risken för luftburen smitta minskar. Detta resultat av utspädning förutsätter dock följande:

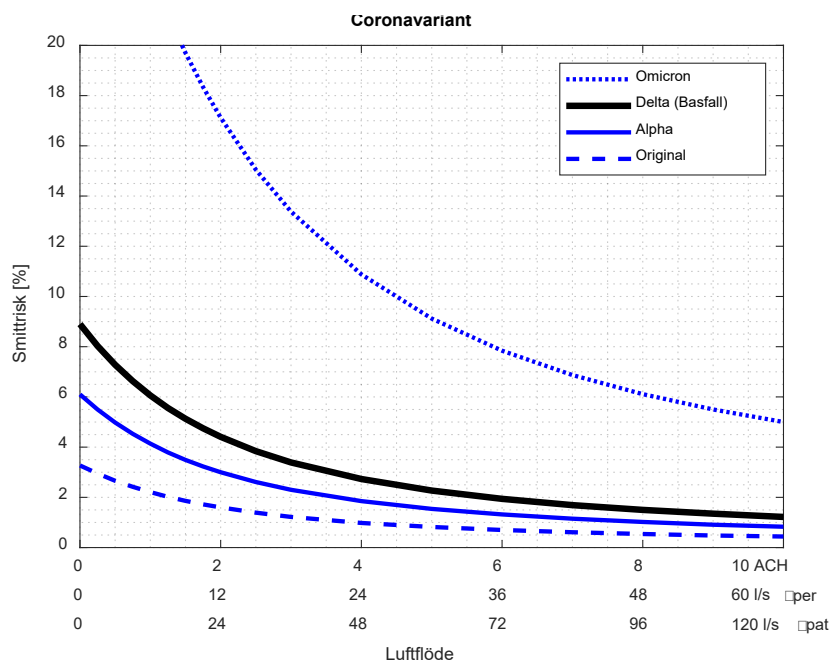
- Att det finns eller nyligen funnits en smittsam person i rummet.
- Att tilluften är mindre smittsam än rumsluften.
- Att ökningen av luftflöde inte försämrar luftföring och luftfuktighet för mycket.

Ett korrekt påstående är alltså: I ett rum med en smittkälla så leder ökat flöde av mindre smittsam luft, med lämplig fuktighet och tillförd på lämpligt sätt, till att smittrisen i rummet minskar.

Smittrisksimuleringarna som redovisas i den här rapporten har gjorts med en modifierad variant av den modell som i detalj beskrivs i Aganovic et al. [24]. Modellen som beskrivs i Aganovic et al. [24] är i sin tur en modifiering av den klassiska Wells-Rileymodellen (WR). WR räknar med konstant smittsamhet i rummet, dvs. att den smittsamma personen kommer in i rummet långt före den mottagliga personen. Modellen som redogörs för i Aganovic et al. [24] räknar med att den smittsamma och den mottagliga kommer in i rummet samtidigt. Skillnaden mellan modellen som beskrivs i Aganovic et al. [24] och den som använts i denna rapport är att man fritt kan välja hur länge den smittsamma har varit i rummet innan den mottagliga kommer in. Medan WR räknar med ventilationen som den enda smittriskreducerande faktorn så tar de modifierade varianterna hänsyn till att smittbärande partiklar sedimenterar och modellerna kan användas för att simulera inverkan av ventilationseffektivitet och luftfuktighet samt simulera användning av rumsluftrenare, munskydd och luftdesinficerande UV-lampor.

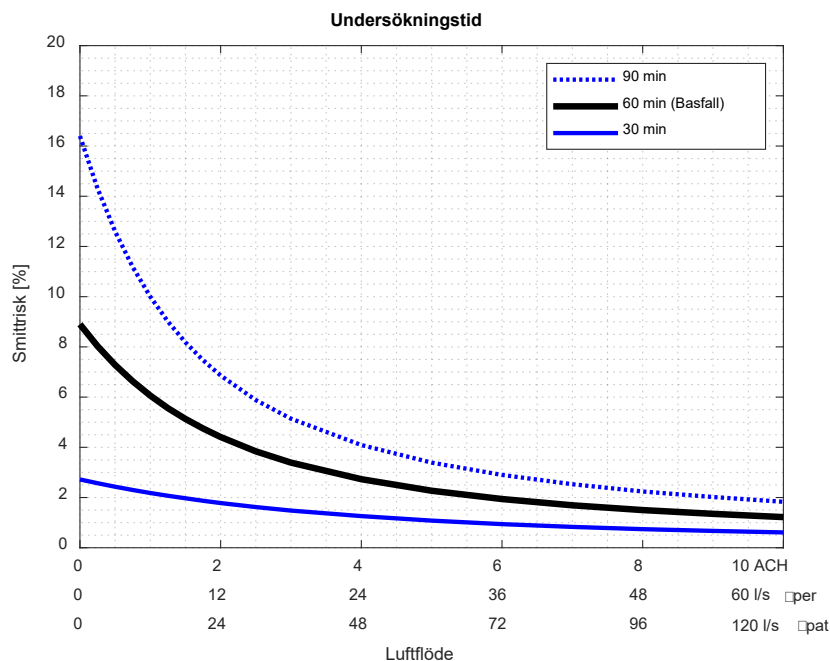
Resultatet av smittrisksimuleringarna som redovisas i denna rapport ska i första hand användas för att bestämma relativ smittriskreduktion. De absoluta värdena är behäftade med stor osäkerhet på grund av stora individuella skillnader i både smittsamhet och mottaglighet. Till exempel är en så kallad superspridare i storleksordningen tusen gånger mer smittsam än en medianspridare.

I Figur 1 visas smittrisk som funktion av luftflöde vid de förutsättningar som gäller för ett specifikt undersökningsrum. Se redovisning i Appendix A. Vidare visar figuren skillnader mellan olika coronavarianter. För samtliga fall som redogörs för i denna rapport gäller att både den smittsamma och den mottagliga personen är ovaccinerade och om inte annat anges så avses deltavarianten. Luftflödesenheter på x-axeln är baserade på att två personer (per) är i undersökningsrummet varav en är patient (pat).



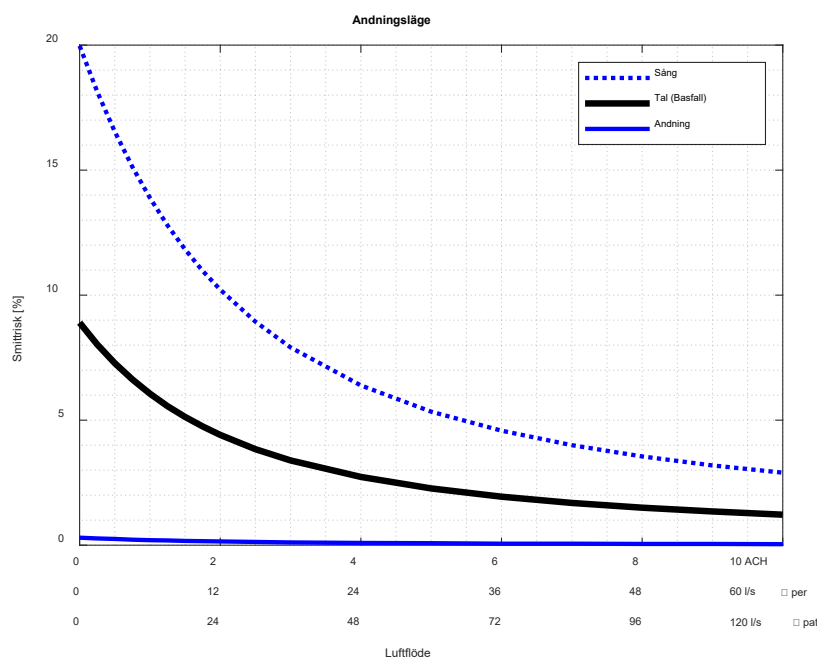
Figur 1 Smittrisk som funktion av luftflöde i undersökningsrum, olika coronavirusvarianter.

I figuren syns tydligt hur avgörande smittsamheten är för luftflödets nytta, i absoluta termer. I Omicron-fallet sjunker smittrisken med 6 procentenheter om luftflödets ändras från 2 till 4 ACH. Motsvarande reduktion är bara 0,6 procentenheter för originalvarianten. Den relativa reduktionen är däremot lika stor i bägge fallen, knappt 40 %. Den relativa reduktionen av ökat luftflöde är oberoende av smittsamheten (smittkällstyrkan). I Figur 2 visas att denna ”minnesregel” däremot inte gäller andra parametrar. För till exempel en kortare undersökningstid, är nyttan av ökat luftflöde lägre både i absoluta och relativa termer.



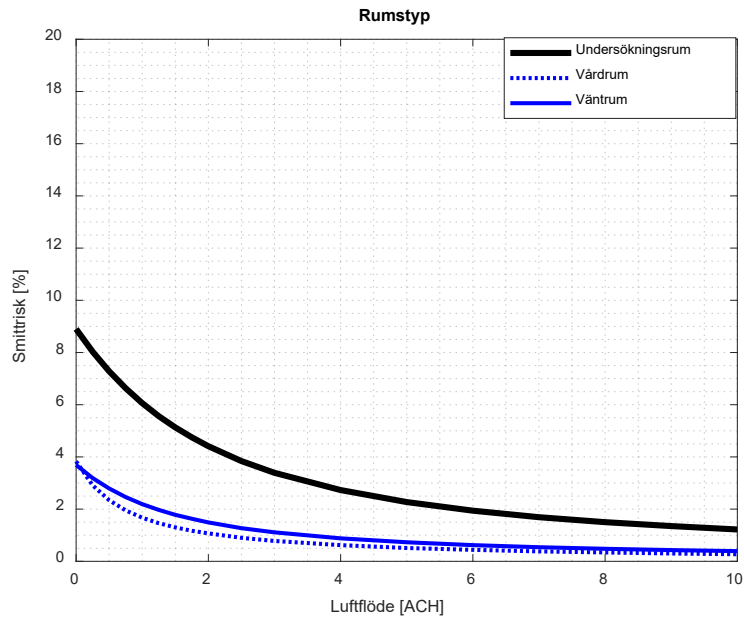
Figur 2 Smittrisk som funktion av luftflöde i undersökningsrum, olika undersökningstider.

I Figur 3 visas hur extremt avgörande det är om den smittsamma personen sjunger, talar eller bara andas. Denna parameter ingår dock i ”smittkällstyrkan” vilket alltså innebär att oavsett om den smittsamma sjunger eller bara andas, så är den relativa nyttan av ökat luftflöde exakt lika stor.



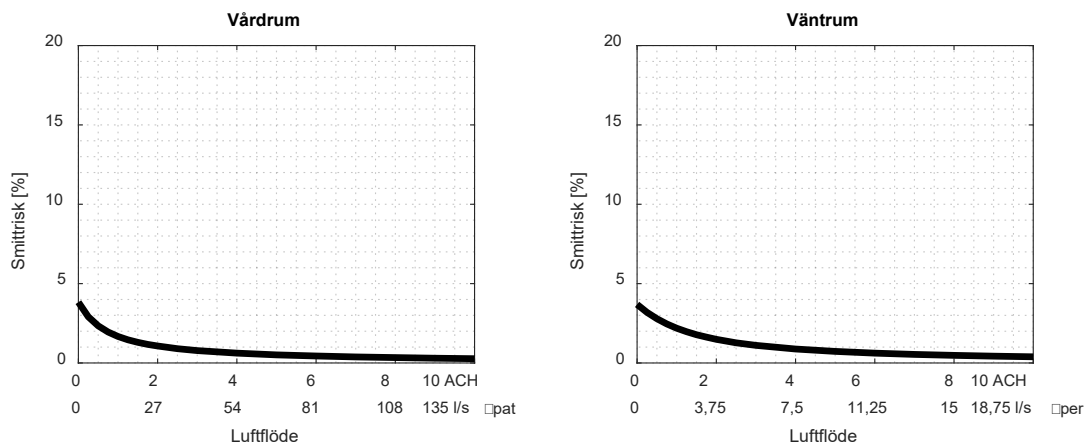
Figur 3 Smittrisk som funktion av luftflöde i undersökningsrum, beroende på om den smittsamma sjunger, talar eller bara andas.

I Figur 4 redovisas smittrisk som funktion av luftflöde i de tre olika typerna rum. Vårdrummet och väntrummet har betydligt lägre smittrisk än undersökningsrummet. Anledningen till den lägre smittrisken i vårdrummet är att exponeringstiden är 15 i stället för 60 minuter. Smittrisken gäller per besök i vårdrummet, besöker man vårdrummet många gånger löper man förstås större risk att smittas. Anledningen till den lägre smittrisken i väntrummet är dels den kortare exponeringstiden, dels att rummets storlek (och därmed luftflöde) i förhållande till antal smittade är mycket större. Smittrisken gäller en specifik individ, risken att någon i väntrummet ska smittas är förstås större.



Figur 4 Smittrisk som funktion av luftflöde i olika typer av rum.

Kurvorna för vådrum och väntrum är särredovisade i Figur 5 för att få med andra enheter för luftflödet. Vårdrummet är till för en patient, smittriskberäkningarna avser ett fall där ytterligare en person är i rummet. Enheten liter per sekund och patient går inte att misstolka. Enheten för väntrummet, liter per sekund och person, avser antal personer som rummet är dimensionerat för, det vill säga 10 personer.



Figur 5 Smittrisk som funktion av luftflöde i vådrum och väntrum.

Sammanfattningsvis kan sägas att resultatet visar ett tydligt samband mellan ökat luftflöde och minskad smittrisk, att effekten avtar ju högre luftflödet är samt att den relativa smittriskreduktionen av ökat luftflöde är oberoende av smittkällstyrkan. Att resultatet är mer entydigt än i de artiklar som refererades till i avsnitt 3 beror på att modellen i många avseenden är en förenkling av verkligheten. Alla detaljer i modellen finns redovisade i Aganovic et al. [24].

5 Ytterligare konsekvenser av ökat luftflöde

I föregående avsnitt behandlades hur ett ökat luftflöde kan reducera risken för smittspridning. Ett ökat luftflöde innebär också andra konsekvenser, vilket behandlas i detta avsnitt. Avsnittet behandlar i tur och ordning konsekvenser relaterat till:

- Byggnadens energianvändning
- Tekniska installationer och behovet av utrymme för dessa
- Inomhusmiljöns kvalitet
- Klimatpåverkan

Klimatpåverkan är inte en direkt konsekvens utan bara en följd av det ökade energibehovet och behov av tekniska installationer och utrymme för dessa.

Fördelningen av de negativa konsekvenserna är i många fall inte självklar, utan beror på hur man väljer att dimensionera och ”drifta” systemet med hänsyn till det högre luftflödet. Ett extremfall är att ha ett kraftigt underdimensionerat system, vilket skulle få stora konsekvenser för energibehov (till exempel på grund av ökade tryckfall och sämre värmeåtervinning) och inomhusmiljö (till exempel på grund av mer buller, större dragrisk och att installerad värmeeffekt inte räcker till).

En central princip i beräkningarna i det här avsnittet är att de tekniska installationerna antas dimensioneras för det aktuella luftflödet. Konsekvenserna för inomhusmiljön och energibehov hålls därmed så små som möjligt (inom rimliga gränser).

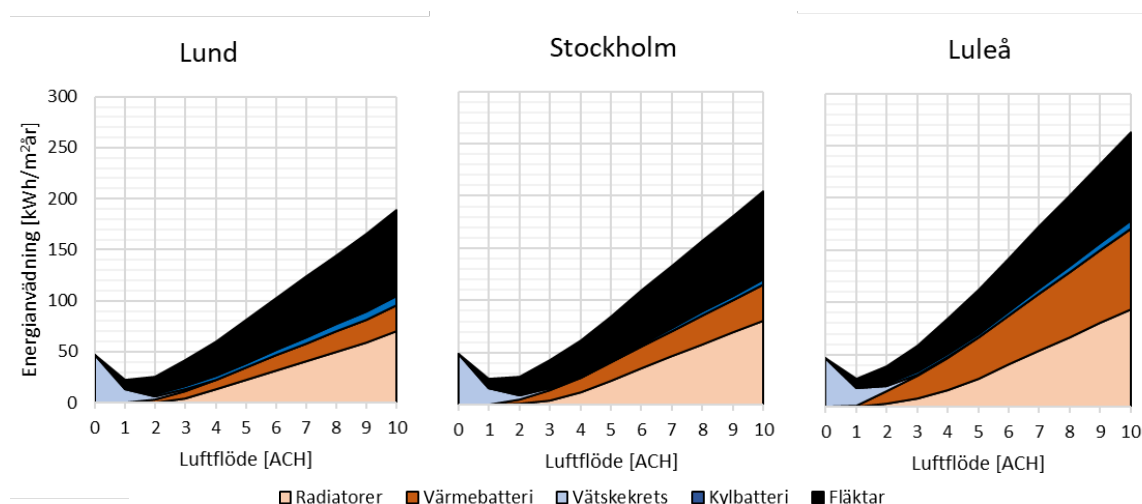
Dock görs undantag för luftfuktighet, eftersom det i Bygghälsa och Vårdhygien explicit står att befuktning bör undvikas:

”Befuktning av inomhusluften innebär risker, praktiska problem och kostnader, och bör därför om möjligt undvikas.

I detta fall är det alltså inte behovet av tekniska installationer som påverkas, utan inomhusmiljön.

5.1 Energi

I detta avsnitt redovisas hur energibehovet för var och en av de tre rumstyperna påverkas av luftflödet. Eftersom resultatet beror på uteklimatet så redovisas det för de tre städerna Lund, Stockholm och Luleå. All indata till energiberäkningarna redovisas i Appendix A. Den redovisade energianvändningen avser byggnadens behov av energi. I fall med värmepumpar och kylmaskiner skiljer detta sig från mängden köpt energi, men i fall med fjärrvärme och fjärrkyla (vilket många sjukhus har) stämmer siffrorna i diagrammen även med mängden köpt energi. Posterna Radiatorer och Värmebatteri motsvarar alltså fjärrvärmebehovet, Vätskekrets och Kylbatteri motsvarar fjärrkylabehovet och Fläktar motsvarar elbehovet. Den del av energianvändningen som påverkas av luftflödet i ett vådrum med ventilationen i drift vid konstant luftflöde (CAV) dygnet runt redovisas i Figur 6.



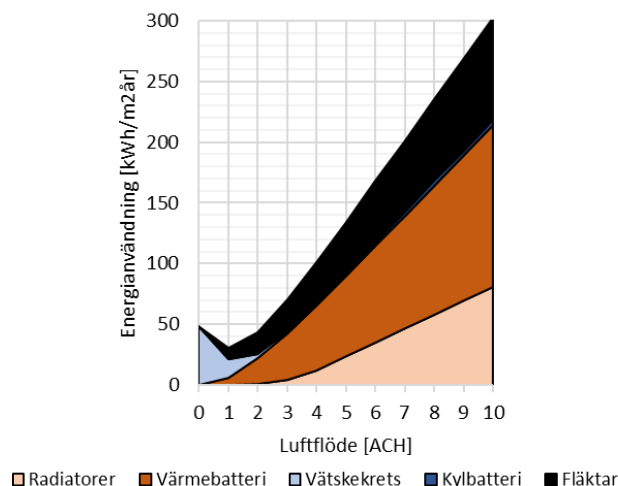
Figur 6 Samband mellan luftflöde och energianvändning i Vårdrum.

Hur mycket energi som behövs per ACH i intervallet 3-6 ACH redovisas dessutom i Tabell 1.

Tabell 1 Luftflödesspecifikt energibehov (i intervallet 3-6 ACH) [$kWh/m^2\text{år}\cdot\text{ACH}$]

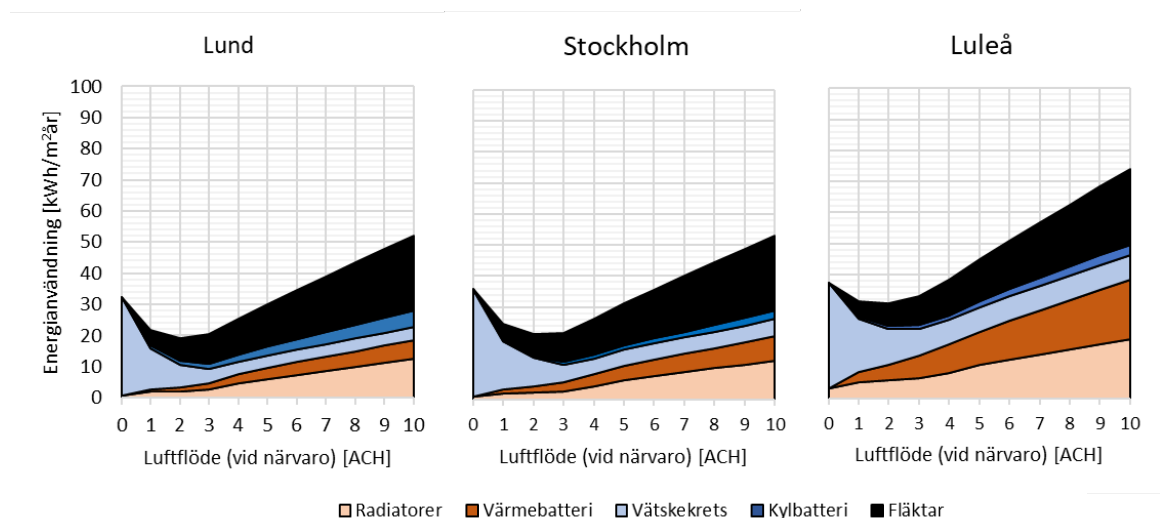
	Lund	Stockholm	Luleå
Fjärrvärme	11,7	13,9	19,0
Fjärrkyla	0,3	-0,2	0,3
El	8,4	8,4	8,4

I grundfallet ovan antas att värmeåtervinningens temperaturverkningsgrad är 85 % i enlighet med Västfastigheters tekniska krav och riktlinjer för aggregat i normal vårdverksamhet. För aggregat i verksamhet med särskilda krav på att tilluft och frånluft hålls åtskilda är kravet istället 75 %. Eftersom temperaturverkningsgraden är den enskilt mest avgörande parametern för sambandet mellan luftflöde och energibehov så visas i Figur 7 hur energianvändningen i Stockholmsfallet blir med 75 % temperaturverkningsgrad. Då blir det luftflödesspecifika fjärrvärmevärmebehovet i stället 24,2 $kWh/(m^2\text{år}\cdot\text{ACH})$, vilket är 75 % högre än i fallet med 85 % temperaturverkningsgrad.



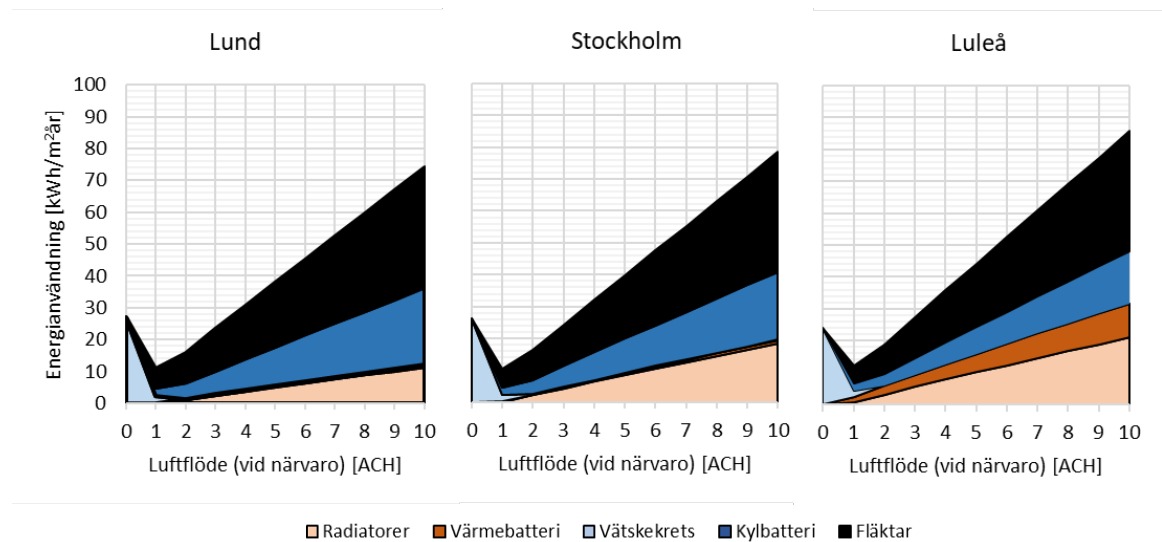
Figur 7 Samband mellan luftflöde och energianvändning i Vårdrum i Stockholm med 75 % temperaturverkningsgrad

I Figur 8 visas resultatet från grundfallet för ett undersökningsrum. Observera att skalan i diagrammen skiljer sig från den i Figur 6. Anledningen till den stora skillnaden är att undersökningsrummet har ett behovsstyrt ventilationssystem som tillser att det höga luftflödet bara är aktuellt vid närvaro (6 timmar per dag), medan vårdrummet har konstant luftflöde dygnet runt.



Figur 8 Samband mellan luftflöde (vid närvaro) och energianvändning i Undersökningsrum.

I Figur 9 visas motsvarande resultat för väntrummet. På grund av det relativt höga kylbehovet har väntrummet en lägre tilluftstemperatur än de andra rummen. Det ska nämnas att energibehovet hade kunnat reduceras generellt genom att optimera tilluftstemperatur för respektive rumstyp. En icke-optimal tilluftstemperatur är dock sannolikt mer verklighetstroget eftersom många olika rumstyper försörjs av samma luftbehandlingsaggregat, i vilket tilluftstemperaturen bestäms.

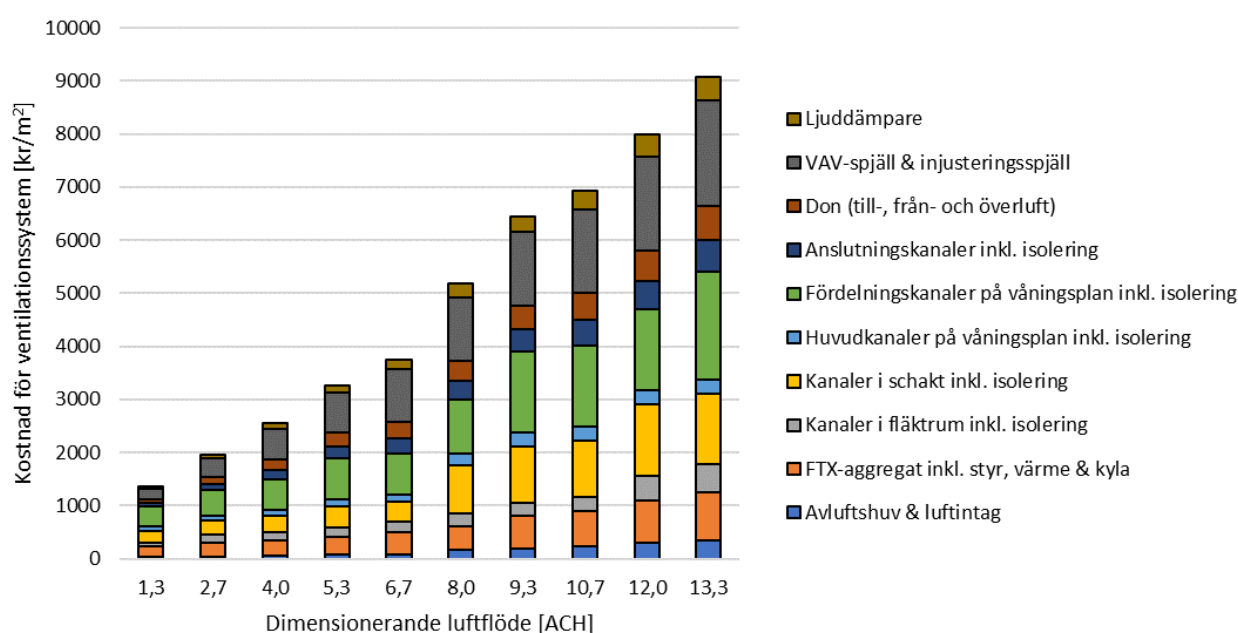


Figur 9 Samband mellan luftflöde (vid närvaro) och energianvändning i Väntrum.

För att ge en förståelse för energibehovens storleksordning kan nämnas att Västfastigheters energimål för all nyproduktion är 60 kWh/m²år vilket till skillnad från diagrammen ovan även inkluderar verksamhetsel (t.ex. belysning och röntgenkameror) och all fastighetsel utöver fläktelen (t.ex. pumpar och hissar). Detta mål nås dock normalt inte i byggnader med verksamhet dygnet runt.

5.2 Tekniska installationer och utrymme för dessa

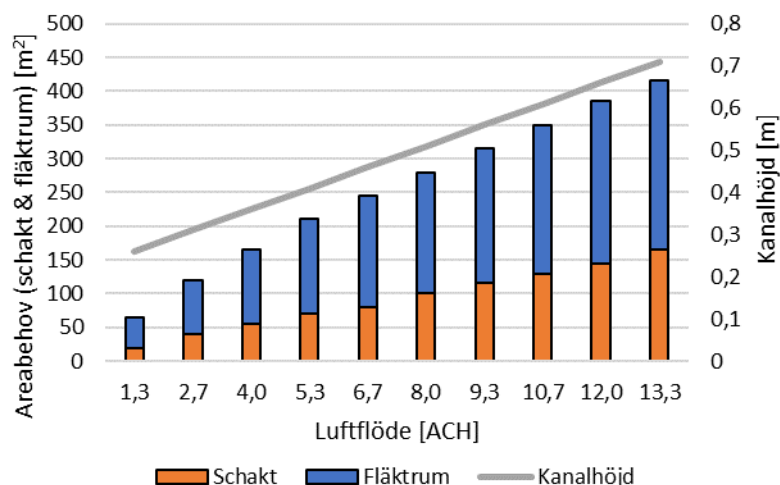
Om man vill kunna upprätthålla ett acceptabelt inomhusklimat någorlunda energieffektivt så måste de tekniska installationerna och deras utrymmen anpassas till luftflödet. I detta kapitel redovisas uppskattade kostnader för detta. Kostnaderna har tagits fram med hjälp av Wikells byggberäkningar och prisläget motsvarar september 2023. De tekniska installationer som medräknats omfattar avluftshuv, luftintag, kanaler (i fläktrum, i schakt och på våningsplan) inkl. isolering och ljuddämpare, VAV-spjäll, injusteringspjäll, luftbehandlingsaggregat inkl. styr, värme och kyla samt till-, från- och överluftsdon. Kostnaderna gäller för ett fem våningar högt sjukhus med totalt 5 000 m² lokalarea (LOA) och presenteras i Figur 10.



Figur 10 Kostnad för ventilationssystemet fördelat på delposter vid olika dimensionerande luftflöden.

Tekniska installationer kräver utrymme. För att undvika för höga lufthastigheter så avgör det dimensionerande luftflödet fläktrumets storlek, hur stora schakt som krävs och hur högt det måste vara mellan bjälklagen för att rymma horisontella kanaler som löper mellan schakt och don.

I Figur 11 visas erforderlig storlek för fläktrum och schakt samt dimensionerande kanalhöjd, som funktion av luftflöde. Precis som tidigare antas ett fem våningar högt sjukhus med totalt 5 000 m² (LOA) och att luften distribueras genom två vertikala schakt. För fläktrummet förutsätter den angivna arean att även höjden påverkas. Det lägsta luftflödet kräver ett 3,0 m högt fläktrum och det högsta luftflödet kräver ett 4,3 m högt fläktrum. Storleken som anges för schakt avser den totala arean (inklusive schaktväggar) för samtliga våningsplan. Redovisad kanalhöjd avser höjden för den dimensionerande tilluftskanalen (inklusive isolering), alltså den som är avgörande för den totala byggnadshöjden.



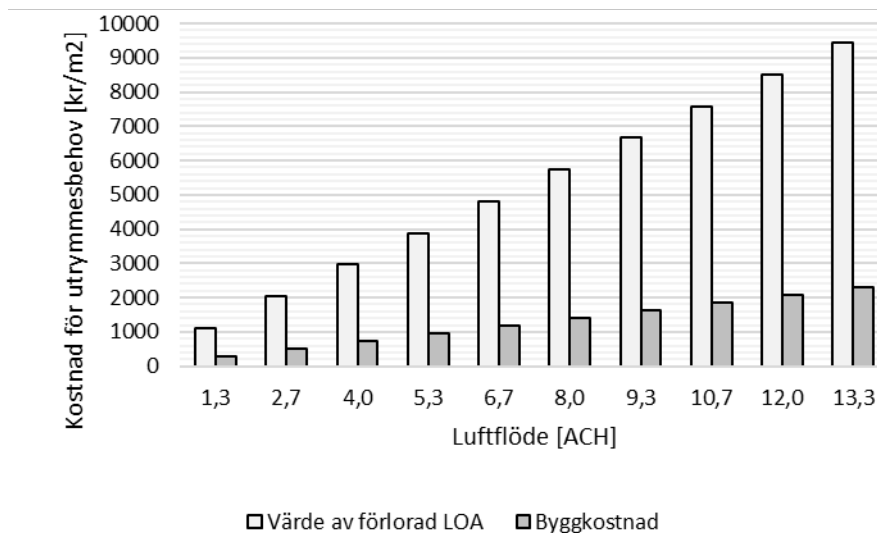
Figur 11 Utrymmesbehov för fläktrum, schakt och dimensionerande horisontell tilluftskanal

Det finns två, principiellt väldigt olika, sätt att uppskatta kostnaderna förknippade med utrymmesbehovet. Det kostar att bygga, både på grund av material och arbete. Men en ofta mycket viktigare aspekt är att det inkräktar på värdefull LOA. Byggrätter i detaljplan anger hur stor en byggnad får vara, och att ett utrymme måste användas till tekniska installationer i stället för att husera vårdverksamhet medför större ekonomiska konsekvenser än byggkostnaden i sig. I dessa beräkningar har fläktrummet antagits kosta 10 000 kr/m² och inte inkräkta på LOA, men schakt har antagits inkräkta på LOA till ett värde av 50 000 kr/m².

För den merkostnad som beror på kanalhöjden redovisas resultatet av bägge beräkningsprinciperna. Vad gäller inkräktandet på LOA blir inverkan i praktiken väldigt diskontinuerlig. Det kanske är möjligt att öka bygghöjden till en viss gräns utan att lokalarean påverkas, men ytterligare kanalhöjd medför att man måste ta bort ett helt våningsplan. I den här beräkningen har dock antagits en kontinuerlig inverkan och värdet på LOA (50 000 kr/m²) har översatts till 18 500 kr/m² per meter rumshöjd.

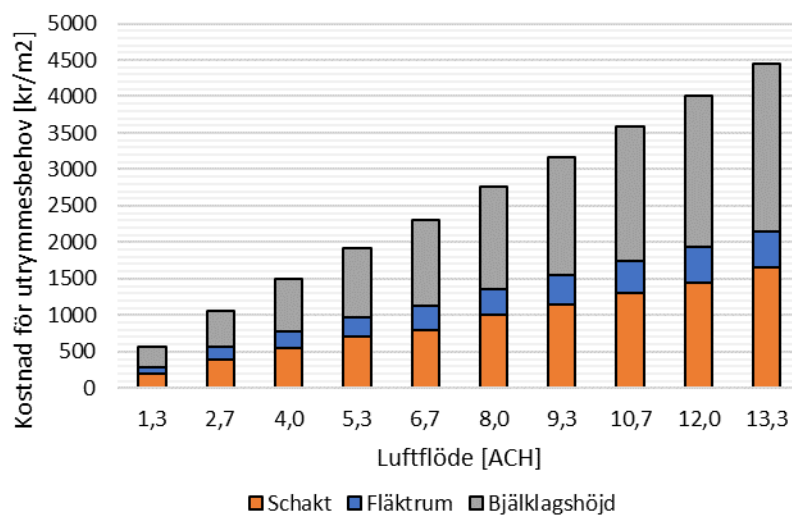
Om byggnadshöjden inte är begränsad av någon detaljplan så medför de högre kanalerna bara en ökad byggkostnad. Här har antagits att byggkostnaden ökar med 45 kr/m² för varje extra centimeter bjälklagshöjd.

Resultatet av bägge beräkningsprinciperna visas i Figur 12. Kostnaderna utgår från att det hade räckt med 20 cm höjd mellan undertak och bjälklag om det inte vore för ventilationskanalerna.



Figur 12 Kostnad för utrymmesbehov på grund av att horisontella kanaler bygger på höjden. Redovisat dels för ett fall där utrymmet ersätter LOA och dels för ett fall där det inte gör det.

I fortsatta beräkningar, redovisade i avsnitt 7, inräknas bara byggkostnaden. Resultatet gäller därmed under förutsättning att detaljplanen tillåter ökad byggnadshöjd. I Figur 13 visas de totala kostnaderna som beror på ökat utrymmesbehov.



Figur 13 Kostnader för ökat utrymmesbehov för tekniska installationer

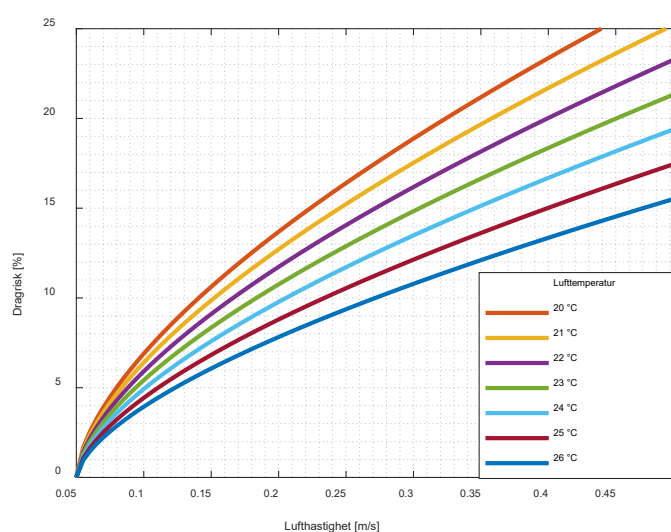
5.3 Inomhusmiljö

Flera inomhusmiljöaspekter påverkas i någon grad av luftflödet. Graden beror på hur omsorgsfullt man kompenserar för det högre luftflödet. Exempel på kompensation är installation av befuktningssystem som säkerställer att inomhusluften inte blir för torr, luftföringsdesign för låg dragrisk samt don och kanaler som kan hantera det högre luftflödet utan att orsaka buller. Nedan beskrivs i mer detalj hur luftflöde kan påverka dragrisk, buller och luftfuktighet.

5.3.1 Drag

Ökat luftflöde innebär ökad lufthastighet i rummet, precis vid tilluftsdonet är det lätt att förutse sambandet eftersom hastigheten är lika med flödet dividerat med utloppsarean. I vistelsezonen är det mer komplext. Om det ökade luftflödet innebär att luften tar en kortare väg mellan till- och frånluftsdon så är sambandet svagare än linjärt men å andra sidan kan ökad turbulens leda till motsatsen och att lufthastigheten ökar mer än luftflödet. I brist på bättre kunskap om detta kan man anta att lufthastigheten är proportionerlig mot luftflödet.

Dragrisk är ett vedertaget mått som representerar hur stor andel av en större grupp människor som kan förväntas uppleva obehag på grund av drag. Dragrisk som funktion av lufthastighet och lufttemperatur visas i Figur 14. Inom vissa gränser kan man säga att även detta samband är linjärt. Om till exempel 5 % upplever drag så kommer en dubbling av lufthastighet leda till att dubbelt så många upplever obehag på grund av drag. Sambandet är svagare vid högre lufttemperaturer och vid högre lufthastigheter.

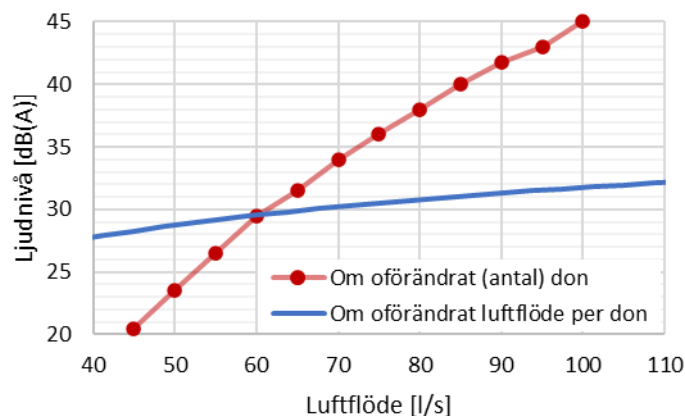


Figur 14 Dragrisk som funktion av lufthastighet vid olika lufttemperaturer.

5.3.2 Buller

Buller (oönskat ljud) är svårt att helt och hållet undvika i mekaniska ventilationssystem. De främsta bullerkällorna i ventilationssystem är fläktar, spjäll, kanaler och don och ljudnivån är starkt beroende av luftens hastighet genom dessa komponenter.

Om man vid en dubblering av luftflödet dubblar antalet tilluftsdon, så ökar ljudnivån från donen med 3 dB. Detta representeras av den blå linjen i Figur 15.



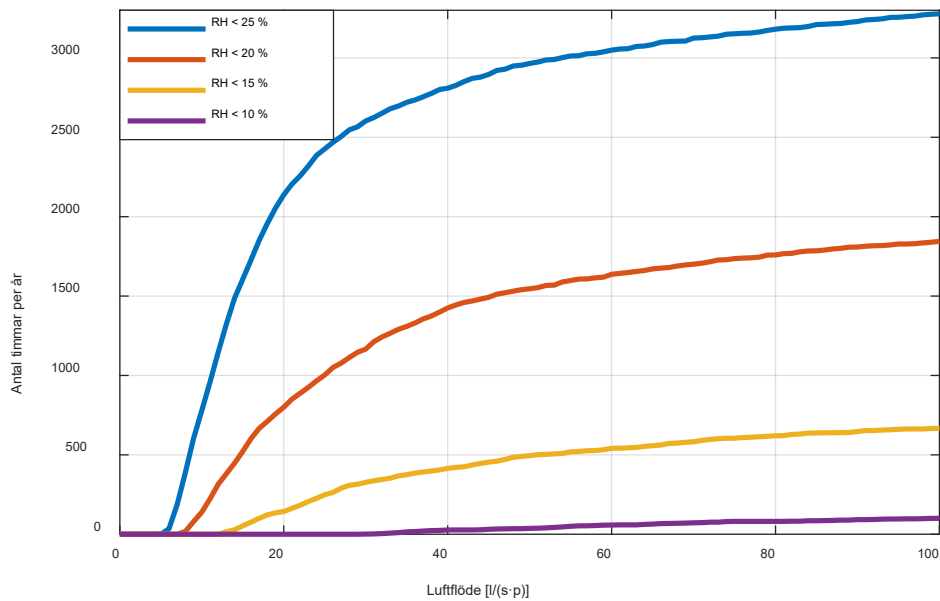
Figur 15 Ljudnivå från tilluftsdon som funktion av luftflöde vid två olika dimensioneringsscenarier.

Den röda linjen visar istället ett scenario där man inte dimensionerar donet för det aktuella luftflödet utan för 60 l/s i det här fallet. En ökning med 10 dB upplevs som en fördubbling av ljudnivån.

5.3.3 Luftfuktighet

Inomhusluftens relativa fuktighet påverkar den upplevda inomhusmiljön. För torr luft innebär dessutom ökad risk för irriterade slemhinnor i näsa, hals och ögon. Smittrisk påverkas av luftfuktighet på flera olika sätt. Dels mottagligheten (torrare slemhinnor ökar smittrisen), dels hur snabbt de smittbärande partiklarna sedimenterar (i torrare luft dröjer sig partiklarna kvar längre). Vidare trivs virus med lipidhölje (såsom coronavirus, mässlingvirus, influensavirus m.fl.) bättre i torr luft. Virus utan lipidhölje, till exempel adenovirus, rhinovirus och poliovirus trivs däremot bättre i fuktig luft. Även bland bakterier skiljer sig preferenserna och vissa föredrar torr och andra fuktig luft.

Den relativa luftfuktigheten går ner vid uppvärmning av inkommande uteluft, men fuktillskott från verksamheten i byggnaden gör att luftfuktigheten höjs igen. Vid ett ökat luftflöde blir det förhållandevis lägre fuktillskott, vilket resulterar i torrare inomhusluft. En person avger ungefär 50 g fukt per timme. Om man räknar med att detta är det enda fuktillskottet, att inomhustemperaturen är 22 °C och att uteklimatet är som ett normalår i Stockholm så kan man räkna ut den relativa luftfuktigheten som funktion av luftflöde. I Figur 16 visas antal timmar med relativ luftfuktighet under 25, 20, 15 och 10 %, som funktion av luftflöde per person.



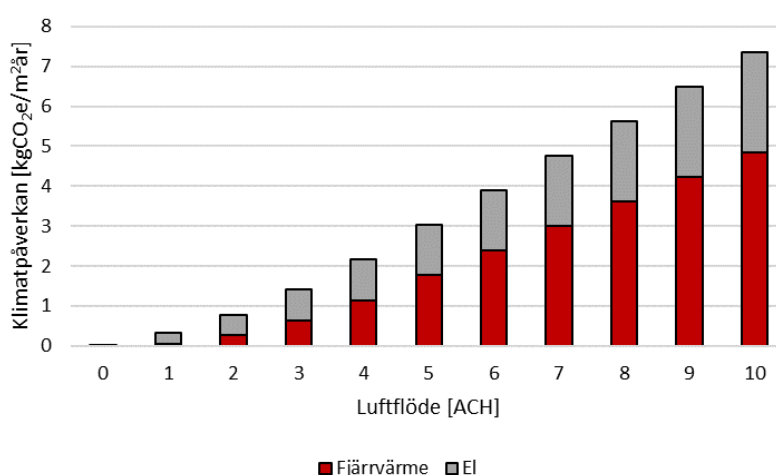
Figur 16 Antal timmar per år med torr inomhusluft, som funktion av luftflöde per person (Stockholmsklimat).

Ett sätt att undvika för torr luft inomhus är att använda befuktning, vilket enligt tidigare är förknippat med en rad nackdelar och potentiella problem. Ett i många fall bättre sätt är att använda värmeåtervinningssystem som också återvinner fukt, t.ex. en hygroskopisk rotor. Detta är dock uteslutet i fall där man inte kan acceptera något läckage mellan från- och tilluft.

5.4 Klimatpåverkan

I det här avsnittet redovisas en grov uppskattning av hur luftflödet påverkar utsläpp av växthusgaser. Utsläpp av växthusgaser är inte en direkt konsekvens av luftflödet utan en följd av tidigare beskrivna konsekvenser (energibehov, behov av tekniska installationer och utrymme för dessa).

För klimatpåverkan från elanvändning och fjärrvärmeanvändning har indata tagits från Boverkets klimatdatabas. Elen antas motsvara svensk elmix med en klimatpåverkan på 0,037 kgCO₂e/kWh och fjärrvärmens ett svenskt medelvärde på 0,056 kgCO₂e/kWh. För fjärrkylan antas ingen klimatpåverkan, i enlighet med miljönyckeltal från Göteborg Energi och Stockholm Exergi. För en byggnad i Stockholmsklimat som till 70 % består av vådrum, till 20 % av undersökningsrum och 10 % väntrum blir energianvändningens klimatpåverkan vid olika luftflöde enligt Figur 17.



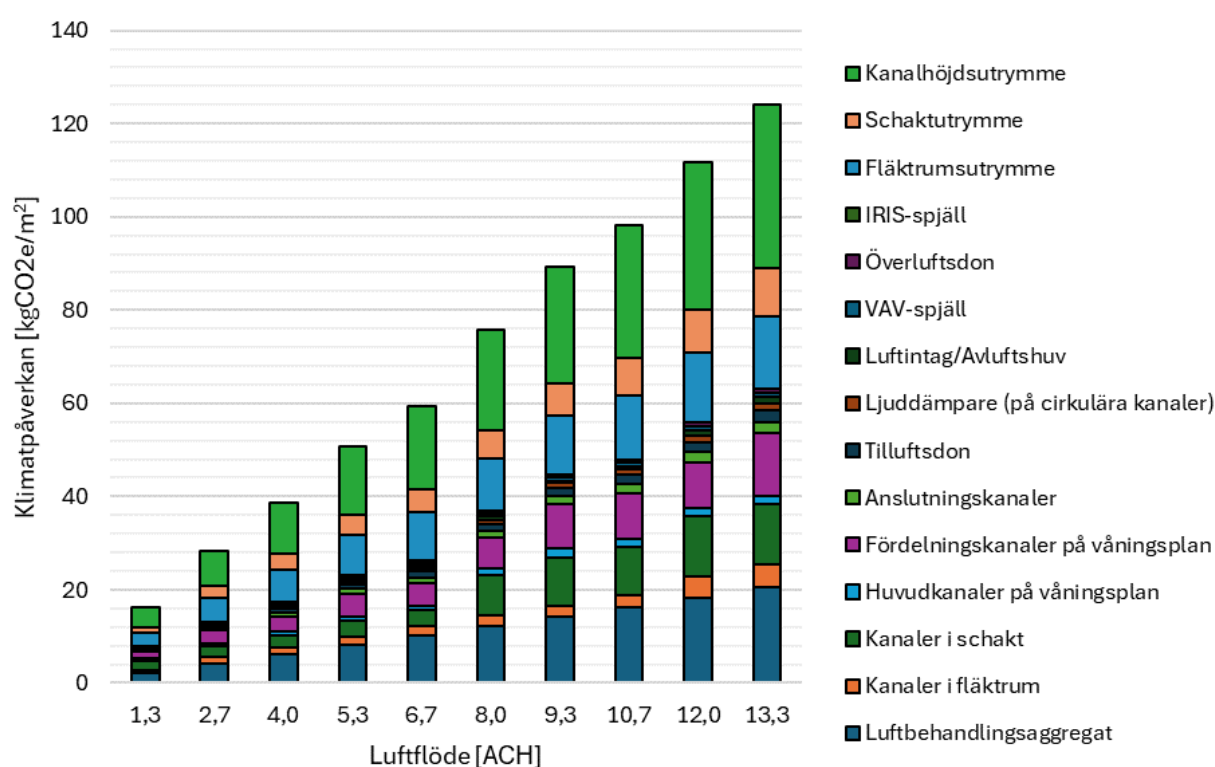
Figur 17 Klimatpåverkan från den energianvändning som påverkas av luftflödet (dvs. exkl. verksamhetsel, hissar, pumpar etc.)

Uppskattningen av klimatpåverkan från tekniska installationer omfattar luftbehandlingsaggregat, kanaler, tilluftsdon, ljuddämpare på cirkulära kanaler, luftintag/avluftshuv, VAV-spjäll, överluftsdon och IRIS-spjäll. Klimatpåverkan från isolering, frånluftsdon och ljuddämpare på rektangulära kanaler har inte beräknats men kan antas ha en liten inverkan på resultatet. Redovisad klimatpåverkan för installationer och utrymme avser produktskedet (modul A1-A3 enligt SS-EN 15978). Klimatpåverkan från övriga delar av livscykelns ingår inte.

För luftbehandlingsaggregat har klimatpåverkan uppskattats med hjälp av miljövarudeklaration för Swegon Gold RX012. Samband mellan luftflöde och aggregatvikt har därefter erhållits från datablad och samband mellan aggregatvikt och klimatpåverkan har antagits vara linjärt. Klimatpåverkan från cirkulära kanaler har tagits från Lindabs miljövarudeklarationer. För rektangulära kanaler har antagits att klimatpåverkan per kilogram kanal är samma som för de cirkulära samt att priset per kilogram kanal är 30 % högre för rektangulära än för cirkulära kanaler. För tilluftsdon och ljuddämpare på cirkulära kanaler har miljövarudeklarationer från Swegon använts. För luftintag/avluftshuv, VAV-spjäll, överluftsdon och IRIS-spjäll har vikten från datablad multiplicerats med 3,1 kgCO₂e/kg.

Västfastigheter har tillhandahållit klimatdeklarationer för ett par nybyggda sjukhus (redovisade livscyklifaser är A1-A5⁴ och inkluderade byggnadsdelar är enligt lagen om klimatdeklaration för byggnader⁵). Deklaterade värden för livscyklifaserna A1-A3 ligger inom intervallet 301-323 kgCO₂e/m². Värdet 312 kgCO₂e/m² har använts för att uppskatta klimatpåverkan från ökad schaktstorlek, större fläktrum och högre bjälklagshöjd. För schaktstorlek och fläktrum har det ökade areabehovet multiplicerats direkt med ovan angivet värde. För den ökade bjälklagshöjden har en omräkning gjorts baserat på en tumregel om att 10 % högre bjälklagshöjd ger 7-8 % högre byggkostnad. Samma förhållande har antagits gälla för klimatpåverkan som därmed blir 0,69 kgCO₂e/m² per centimeter ökad bjälklagshöjd.

Den sammanlagda klimatpåverkan från tekniska installationer och utrymme för dessa presenteras i Figur 18.



Figur 18 Klimatpåverkan från tekniska installationer och utrymmesbehov

I figuren syns att cirka hälften av den klimatpåverkan som beror på luftflödets storlek kan härledas till de tekniska installationerna och den andra hälften till deras utrymmesbehov.

⁴ Utvinning av råvara, transport till tillverkning, tillverkning, transport till byggarbetsplats och bygg- och installationsprocess.

⁵ Ytterväggar inkl. fasader, fasadfönster, fundament, golvbeläggning inkl. golvregelsystem, stomme, bjälklag, källare inkl. stödmurar, grundplatta, innerväggar och tak inkl. beklädnad.

6 Några alternativ till ökat uteluftflöde

Uteluftflödet påverkar smittriskerna, vilket tydligt visades i kapitel 4. I detta kapitel presenteras och kvantifieras några andra alternativ eller komplement till ökat luftflöde. Men först och främst ska nämnas vikten av administrativa åtgärder (till skillnad från fastighetstekniska).

WHO kategoriserar åtgärder i tre steg: administrativa åtgärder, miljö- och teknikåtgärder samt personliga åtgärder [1].

WHO skriver att det första stegets åtgärder är:

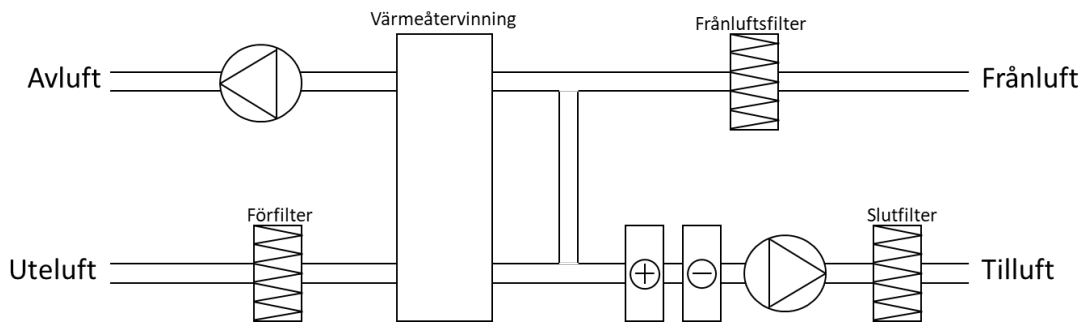
- Ändamålsenlig triagering av patienter.
- Att tidigt identifiera smittsamma patienter.
- Att separera smittsamma patienter från andra.
- Bra transporter av patienter.
- Att utbilda personal och patienter.
- Tydlig och korrekt ansvarsfördelning.
- Bra kommunikation med alla relevanta parter.

Det andra steget omfattar till exempel städning och ventilation, och det tredje steget till exempel munskydd och handsprit.

En ytterligare liknande aspekt som ofta framhålls som minst lika viktig som ventilationen i sig är korrekt luftriktning mellan rum. Oavsett om det är medveten överluft eller ofrivilligt läckage så bör man med korrekta tryckförhållanden se till att luften rör sig från rum med högre krav till rum med lägre krav på luftens renhet, vilket t.ex. varit praxis i svenska bostäder sedan snart 100 år.

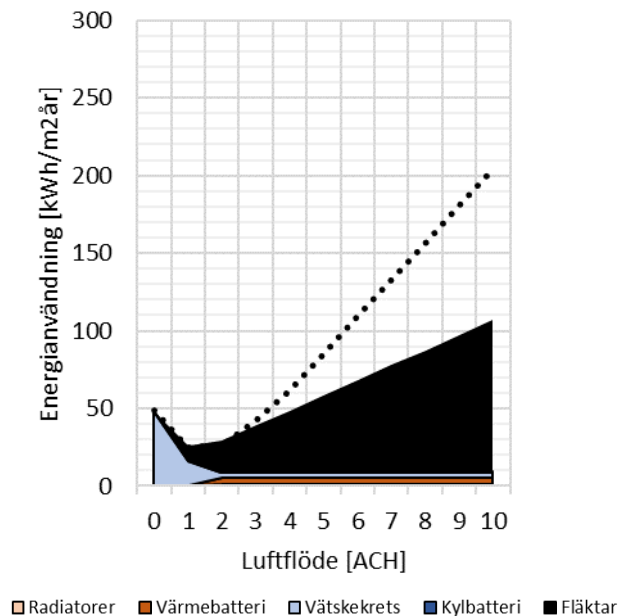
6.1 Återluft

I beräkningarna i kapitel 4 antogs hela luftflödet utgöras av uteluft. För att undvika det stora värmebehov som detta medför kan man i stället återanvända filtrerad frånluft. Återluftssystem är mycket vanligt i många delar av världen och jämförelsevis mycket ovanligt i Sverige. I den mån det förekommer i Sverige är det i rum med mycket höga renhetskrav och luftflöden (t.ex. operationsrum) och i rum där värme/kyla distribueras uteslutande luftburet. Eftersom det i Sverige inte finns någon tradition att använda centrala återluftssystem i vanliga sjukvårdslokaler så är det inte självklart vilken designprincip som skulle kunna bli aktuell. Figur 19 visar ett tänkbart alternativ. En grov uppskattning är att de finare filter som skulle krävas innebär att SFP ökar till 1,5 kW/(m³/s) (från 1,3 i ett fall med enbart uteluft). Uppskattningen har gjorts för ett fall då aggregatet kompletteras med en ny filterbank med slutfilter av klass ISO ePM1 85%. Filtrens medeltryckfall har antagits till 140 Pa och fläktens verkningsgrad till 70%. Om tilluften dessutom skulle filtreras med HEPA-filter ökar förstås SFP ytterligare.



Figur 19 Principskiss av tänkbart återluftssystem.

Energibehovet som funktion av luftflöde för ett vådrum med återluft i Stockholm presenteras i Figur 20. Jämfört med grundfallet blir elbehovet 15 % högre samtidigt som värmebehovet inte påverkas av luftflödet.



Figur 20 Samband mellan luftflöde och energianvändning i Vårdrum i Stockholm där återluft tillåts utgöra maximalt den del av luftflödet som överskrider än 2 ACH. Den prickade linjen motsvarar energianvändningen med 100 % uteluft, som till övervägande del istället utgörs av värme (se Figur 6).

Förutsatt att man uppfyller minimikravet på tillförd mängd uteluft, så tillåter ASHRAE återluft till samtliga rumstyper [9]. Däremot är det inte tillåtet att ta återluft från alla rumstyper. Från rum med ”potential contamination” och/eller odörer, är återluft inte tillåtet. Exempel på sådana är laboratorier, ”airborne infection isolation”-rum och toaletter. Från de rumstyper som är aktuella i denna rapport är det principiellt tillåtet att ta återluft, men då svenska vådrum för en patient normalt har ett eget toaletterum som ventileras med vådrummetts frånluft, diskvalificeras denna lösning. Detsamma gäller ofta även väntrum och undersökningsrum.

En uppenbar nackdel med återluft är att det innebär en smittrisk mellan olika delar av byggnaden, det vill säga en plötslig smittrisk även i rum utan egen smittkälla.

I samband med covid-19-pandemin kom många rekommendationer om ventilationsåtgärder att vidta för att reducera smittspridningen i alla typer av byggnader. *European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) sammanställde rekommendationerna från 17 olika länder och organisationer [25]. I en övervägande majoritet av rekommendationerna ingick att minimera, eller helt och hållet stänga all återluft. I de irländska rekommendationerna ingick att HEPA-filtrera återluften och i de cypriotiska att öka både uteluftflöde och återluftflöde. De italienska, norska, kanadensiska och amerikanska (USA) rekommendationerna sa inget om återluft. Däremot sa de norska rekommendationerna att luftflödet inte ska ökas i redan välventilerade rum samt att rekommendationer från WHO och CDC inte är tillämpliga under nordiska förutsättningar.

För att inte begränsa rekommendationerna till att bara använda uteluft används ibland begreppen CADR (clean air delivery rate) eller NADR (non-infectious air delivery rate). Detta förhållningssätt kan förstås vara användbart, men haltar en del eftersom t.ex. 1 000 l/s icke-infektiös uteluft är mycket bättre än 1 000 l/s icke-infektiös återluft om den sistnämnda tillförs tillsammans med 1 l/s infektiös luft. När man jämför svenska och utländska luftflödeskrav är det bra att ha i åtanke att de utländska tillåter en stor del återluft och att denna inte räknas om till CADR/NADR utan faktiskt likställs med uteluften.

Med tillräckligt bra filterteknik kan dock återluft sannolikt vara en bra lösning. Azimi & Stephens [5] gjorde en simuleringsstudie för kontor i USA och fastslog att återluft är mer kostnadseffektivt än uteluft för att reducera risk för influensaspridning.

För att ett återluftssystem ska fungera på ett säkert och robust sätt över tid krävs att driftpersonal har tillräckliga resurser för att säkerställa detta.

6.2 Rumsluftrenare

Ett sätt att åtnjuta fördelarna med ett centralt återluftssystem utan att riskera spridning av smitta mellan olika rum är att använda rumsluftrenare. ASHRAE Standard 170 förbjuder användning av rumsluftrenare i många rumstyper på grund av eventuella svårigheter med att hålla dem rena [9]. I de rum de får användas (till exempel vårdrum, undersökningsrum och väntrum) ska man se till att de inte försämrar luftföringen i rummet (inte medför stagnation eller kortslutning) och de måste vara enkla att rengöra och utföra preventivt underhåll på. Ytterligare betänkligheter är att de kräver el och genererar ljud. För rumsluftrenare är det mycket lämpligt att uttrycka sig i termer av CADR/NADR. För att uppskatta hur mycket en rumsluftrenare påverkar smittrisen kan man inräkna dess CADR/NADR i luftflödet i figuren i avsnitt 4.

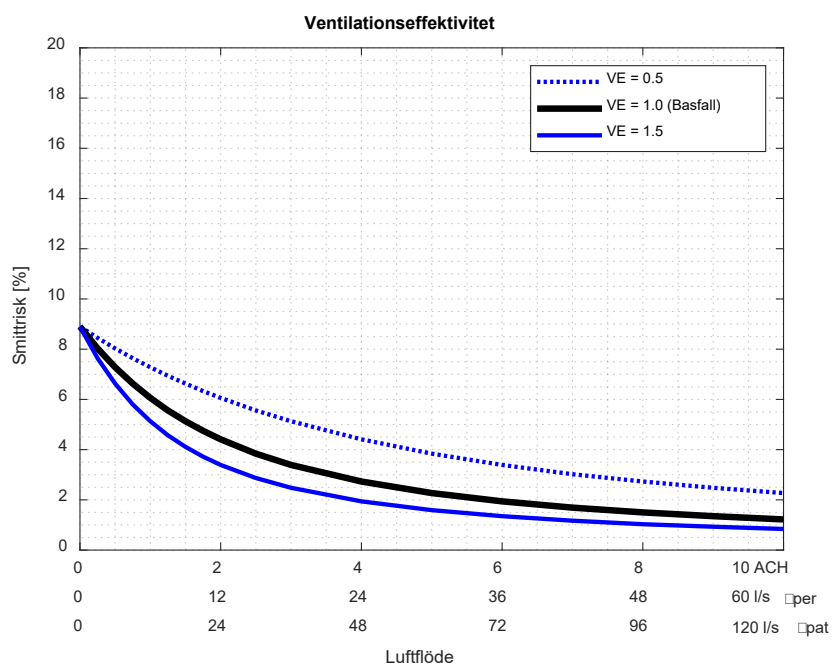
6.3 Förbättrad luftföring

I avsnitt 3 presenterades att mycket forskning framhåller hur viktigt det är med bra luftföring för att undvika smittspridning. Det framhölls också att det finns studier som visar att ökat luftflöde ibland kan ske på bekostnad av försämrad luftföring och effekten därmed inte blir lika bra som förväntat. Luftflöde är en förutsättning för att späda ut föroreningar från en källa i rummet men det är luftföringen som avger hur effektivt det givna luftflödet ventilerar rummet. I denna rapport används uteslutande begreppet ventilationseffektivitet för att beskriva luftföringen (andra mått på luftföringen, t.ex. luftutbyteseffektivitet och lokalt ventilationsindex, behandlas inte). Ventilations-effektivitet definieras som kvoten mellan frånluftens föroreningskoncentration och rummets genomsnittliga föroreningskoncentration. Notera att detta innebär att det inte bara är luftens rörelse i rummet, utan i hög grad även föroreningskällans placering som

påverkar ventilationseffektiviteten. Om föroreningskällan t.ex. är vid tilluftsdonet blir ventilationseffektiviteten 100 %, men om den är vid frånluftsdonet så blir ventilationseffektiviteten oändligt hög. All form av kortslutning innebär en reducerad ventilationseffektivitet.

Utöver detta är det en avsevärd skillnad i smittrisk mellan en person som befinner sig upp- respektive nedströms en smittkälla, trots att rummets ventilationseffektivitet är densamma. Detta innebär att det är lämpligt att personer med misstänkt smitta placeras nära frånluftsdon medan särskilt smittkänsliga personer bör placeras nära tilluftsdon. För att göra det enkelt för sig antas i simuleringar ofta fullt omblandande ventilation, så även i grundfallet i denna rapport, vilket innebär en ventilationseffektivitet på 100 %.

I Figur 21 presenteras hur smittrisen påverkas av ventilationseffektiviteten. Resultatet i diagrammet kan även användas för att uppskatta smittrisen lokalt i olika delar av rummet. Om den mottagliga personen sitter precis vid frånluftsdonet så är smittrisen som i ett fullt omblandat rum med ventilationseffektivitet 100 %, oavsett luftföringen i rummet. Om den mottagliga istället sitter precis vid tilluftsdonet så är smittrisen som i ett rum med oändlig ventilationseffektivitet. Sitter den mottagliga i ett hörn med stagnerad luft så beror smittrisen i väldigt hög grad på var den smittsamma personen befinner sig.



Figur 21 Smittrisk som funktion av luftflöde vid olika ventilationseffektivitet. (diagrammet avser deltavarianten av covid-19 för ovaccinerade personer i undersökningsrummet).

Figur 21 visar till exempel att smittrisen kan sänkas lika mycket genom dubbling av ventilationseffektivitet som genom att dubbling av luftflödet. Detta gäller den genomsnittliga smittrisen i ett rum. Därutöver kan det finnas möjlighet till förbättring genom planerad placering av stolar, sängar och till- och frånluftsdon.

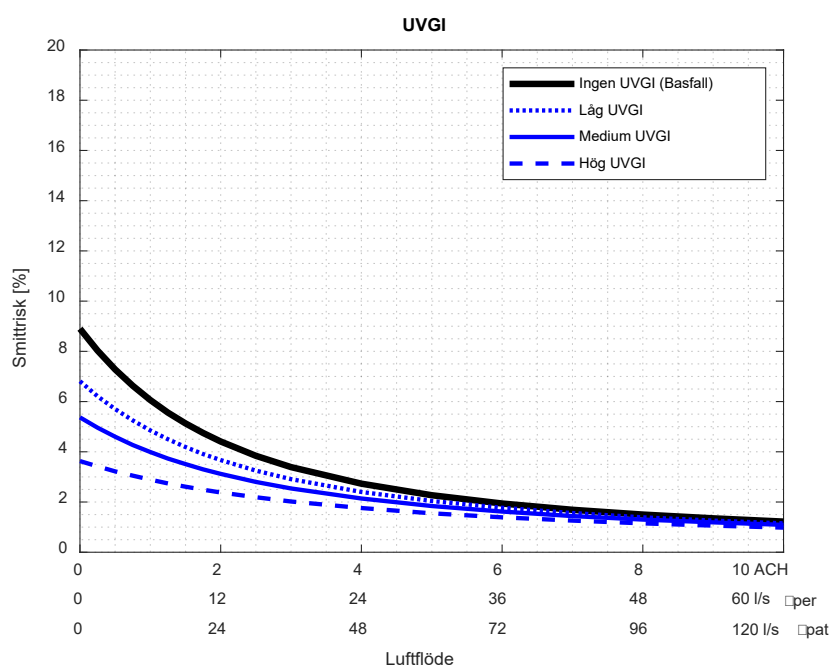
6.4 Desinficerande UV-ljus

UV-ljus kan användas för att inaktivera virus, bakterier, mögel och andra bioaerosoler. Detta har varit känt sedan förra sekelskiftet men fick spridning först på 1950-talet, då i

syfte att bekämpa spridning av mässling och tuberkulos. Det blev även ett uppsving runt 2020 med anledning av covid-19-pandemin.

UV-ljuskällorna kan monteras i tilluftskanaler och i särskilda lokala cirkulationsaggregat, men eftersom inaktiveringen kräver exponeringstid så är det vanligaste sättet att ha UV-ljuskällorna monterade i en armatur i taket (Upper-room UVGI). Armaturen ser till att inga UV-strålar direkt kan träffa människorna i rummet och för att erhålla hög effektivitet krävs att rumsluften är väl omblandad.

Vid mycket högt luftflöde i rummet hinner inte UV-ljuset göra så stor nytta, men vid lägre luftflöden kan det vara effektivt, vilket syns tydligt i Figur 22. Där framgår t.ex. att i rum med 2 ACH, kan desinficerande UV-ljus åstadkomma samma smittriskreduktion som att öka luftflödet till nästan 5 ACH. Indata för beräkning av UV-ljusets inverkan beskrivs i Aganovic et al. [24].



Figur 22 Smittrisk som funktion av luftflöde med desinficerande UV-ljus av olika styrka (diagrammet avser deltavarianten av covid-19 för ovaccinerade personer i undersökningsrummet).

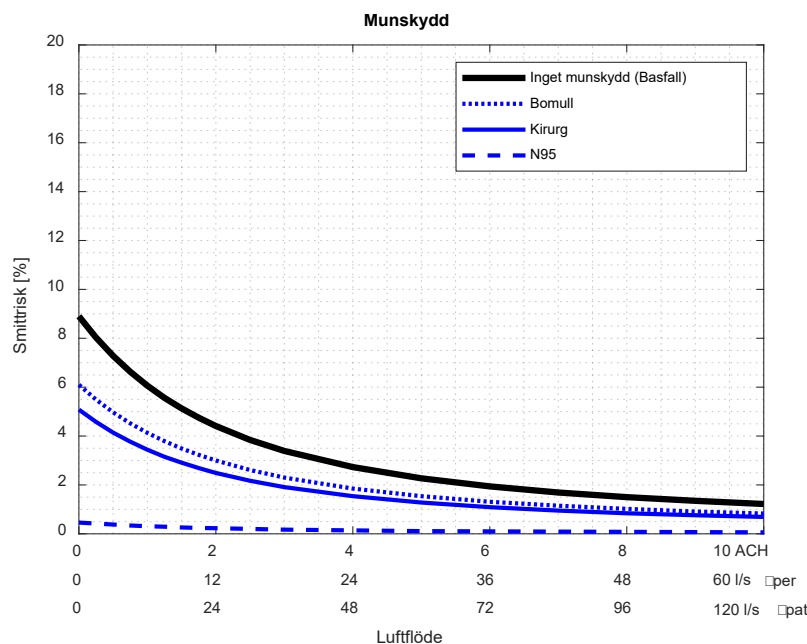
Skador som kan uppstå om UV-strålarna träffar hud eller ögon samt eventuell ozongenerering lyfts ibland fram som nackdelar med tekniken. Andra menar att dessa faror enkelt undviks genom att använda LED-ljuskällor (som inte kan generera ozon) och hålla sig till en våglängd på 222 nm (som inte penetrerar huden).

Nämnvärt är dock att Graeffe et al. [26] vid Helsingfors universitets aerosolfysiklaboratorium nyligen visade en påtaglig ökning av småpartiklar och gaser vid användning av UVGI (populärvetenskapligt sammanfattat av Lönnqvist [27]). Enligt författarna var detta den första experimentella studie som undersökte detta.

Relevanta myndigheter, (CDC [28] & NHS [29]) och organisationer (REHVA [30] & ASHRAE [31]), framhåller UVGI som ett bra och effektivt sätt att reducera smittspridning.

6.5 Munskydd

Användning av munskydd kan vara en effektiv åtgärd för att minska spridning av luftburen smitta. Figur 23 visar hur smittrisken i basfallet påverkas av luftflöde och typ av munskydd. Till exempel kan utläsas att vid ett luftflöde på 2 ACH sänks smittrisken lika mycket av ett enkelt bomullsmunskydd som om man fördubblar luftflödet. Indata för beräkning av munskyddens inverkan beskrivs i Aganovic et al. [24].



Figur 23 Smittrisk som funktion av luftflöde med munskydd av olika typ.

Figur 23 visar också att med ett mer avancerat munskydd (det som i figuren betecknas N95) så kan smittrisken sänkas till nära noll. Användning av munskydd är dock förknippat med nackdelar, något som Folkhälsomyndigheten varit noga med att ta hänsyn till i sina rekommendationer. Resultatet från en studie av Lang et al. [33] visar att användning av munskydd reducerar den kognitiva förmågan, gör att man snabbare blir trött, försämrar den upplevda luftkvaliteten m.m.

6.6 Tillfälligt ökat luftflöde

Ett alternativ till generellt ökade luftflöden är att ta höjd för tillfälligt ökat luftflöde och aktivera detta när det anses extra viktigt att reducera smittspridning.

I kölvattnet av covid-19-pandemin publicerade ASHRAE en standard med namnet *ASHRAE 241 Control of infectious aerosols* [32] där de lanserade begreppet IRMM (*Infection Risk Management Mode*) som är ett driftläge (med bl.a. högre luftflöden) som aktiveras t.ex. i händelse av pandemiutbrott. De negativa konsekvenserna av det ökade luftflödet fördelas förstås annorlunda (mellan tekniska installationer, energibehov och inomhusmiljö) än när man dimensionerar för generellt ökade luftflöden. Under IRMM kanske man kan acceptera lite sämre inomhusmiljö och lite högre energianvändning, vilket lindrar dimensioneringen av de tekniska installationerna. En annan tänkbar kompromiss är att dedikera vissa lokaler för tillfälligt ökade luftflöden för att slippa dimensionera alla system för detta.

7 Övergripande beräkningar

För att göra energibehovet jämförbart med investeringskostnaderna (för tekniska installationer och utrymme) så behöver det nuvärdesberäknas. Följande indata har använts i beräkningarna:

Elpris: 1,5 kr/kWh

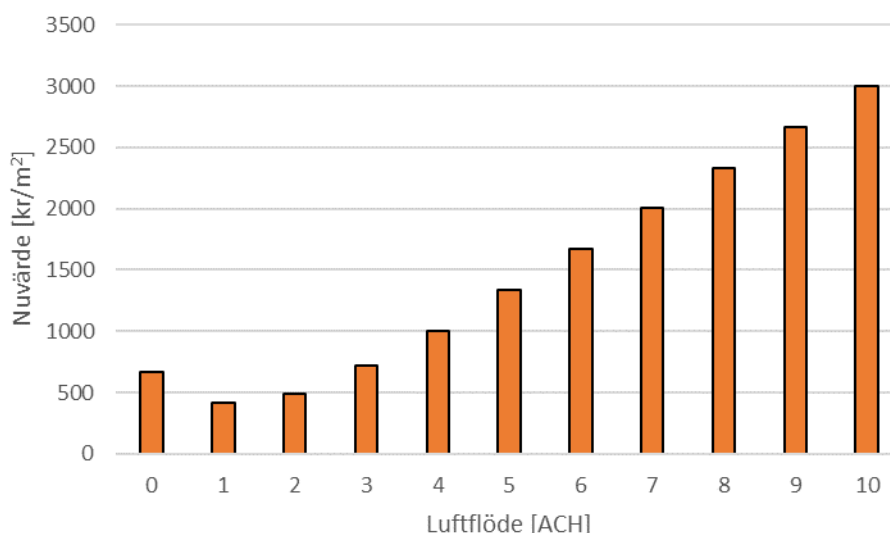
Fjärrvärmepris: 1,0 kr/kWh

Fjärrkylapris; 1,0 kr/kWh

Real kalkylränta: 3 %

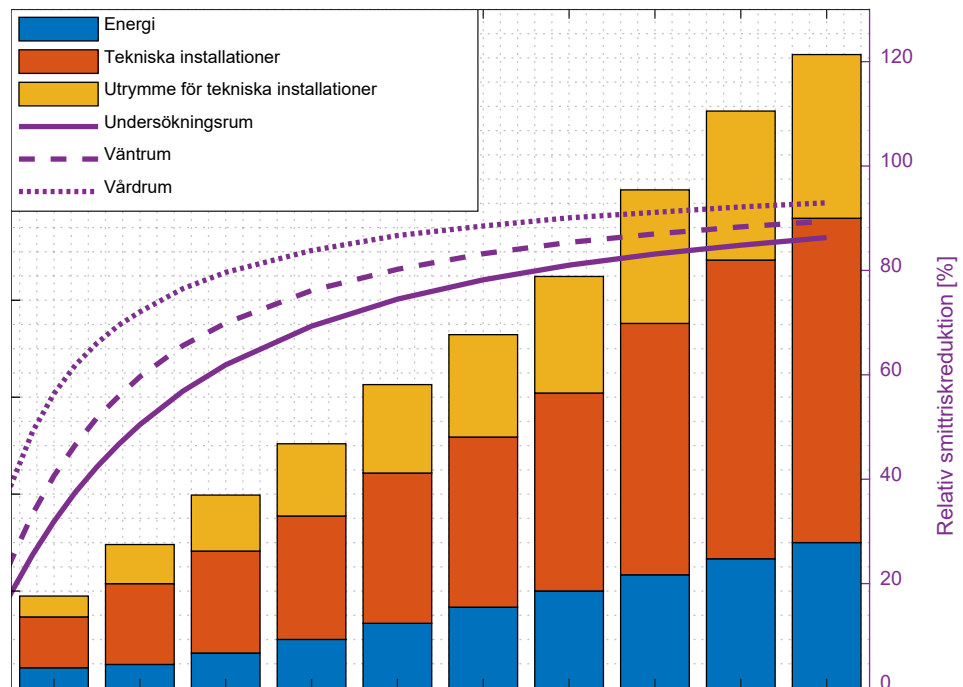
Kalkyltid: 30 år

Energipriserna har antagits följa inflationen. Vidare antas ett stockholmsklimat samt att byggnadens area till 10 % utgörs av väntrum, 20 % av undersökningsrum och 70 % av vådrum. Med dessa antaganden blir nuvärdet av de totala energikostnaderna enligt Figur 24.



Figur 24 Nuvärde av 30 års energikostnader

För att få en bild av den totala summan av alla kostnader som påverkas av luftflödet så redovisas alla i samma bild Figur 25. I samma bild visas också den relativa smittriskreduktionen för de tre typerna rummen. Ett exempel för att förklara begreppet relativ smittriskreduktion är att med ett luftflöde på 2 ACH är risken för luftburen smitta i undersökningsrum 50 % lägre än vid inget luftflöde alls. Vid 4 ACH är samma smittriskreduktion i stället 70 %.



Figur 25 Nuvärde av summan av alla kostnader som påverkas av luftflödet samt relativ smittriskreduktion

Ur figuren kan utläsas att risken för luftburen smitta är cirka 40 % lägre i ett rum med ett luftflöde på 4 ACH än i ett rum med 2 ACH och skillnaden kostar 2 080 kr/m² uttryckt som kostnadernas nuvärde beräknat enligt de förutsättningar som anges i avsnittets inledning.

8 Referenser

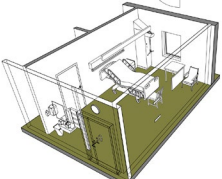
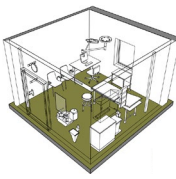
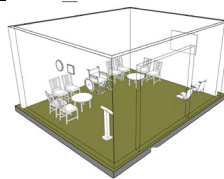
1. Atkinson, J. et al. (Ed.). (2009). Natural ventilation for infection control in health-care settings. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547857>
2. Menzies, D., Fanning, A., Yuan, L., FitzGerald, J. M., & Canadian Collaborative Group in Nosocomial Transmission of TB. (2000). Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in Canadian health care workers. *Annals of Internal Medicine*, 133(10), 779-789. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-133-10-200011210-00010>
3. Bloch, A. B., Orenstein, W. A., Ewing, W. M., Spain, W. H., Mallison, G. F., Herrmann, K. L., & Hinman, A. R. (1985). Measles outbreak in a pediatric practice: airborne transmission in an office setting. *Pediatrics*, 75(4), 676-683. <https://doi.org/10.1542/peds.75.4.676>
4. REHVA. Health-based target ventilation rates and design method for reducing exposure to airborne respiratory infectious diseases, 2022. https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/2022/Health_based_target_ventilation_09012023.pdf
5. Azimi, P., & Stephens, B. (2013). HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs. *Building and environment*, 70, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.025>
6. World Health Organization. (2021). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>
7. Sehulster LM, Chinn RYW, Arduino MJ, Carpenter J, Donlan R, Ashford D, Besser R, Fields B, McNeil MM, Whitney C, Wong S, Juraneck D, Cleveland J. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations from CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Chicago IL; American Society for Healthcare Engineering/American Hospital Association, 2003. <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/environmental-guidelines-P.pdf>
8. AIA Academy of Architecture for Health, & Facilities Guidelines Institute. (2001). *Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities*. American Institute of Architects.
9. ASHRAE Standard 170 - 2021. Ventilation of Health Care Facilities. <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>
10. ASHRAE Standard 62.1- 2022. Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality. <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>
11. NHS, HTM 03-01: Specialised Ventilation for Healthcare Premises: Part A - Design and Validation. 2021: <https://www.england.nhs.uk/publication/specialised-ventilation-for-healthcare-buildings/>.
12. Beggs, C. B., Kerr, K. G., Noakes, C. J., Hathway, E. A., & Sleigh, P. A. (2008). The ventilation of multiple-bed hospital wards: review and analysis. *American journal of infection control*, 36(4), 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2007.07.012>

13. REHVA COVID-19 guidance document, Version 4.1, 2021, https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4.1_15042021.pdf
14. Li, Y., Leung, G. M., Tang, J. W., Yang, X., Chao, C. Y., Lin, J. Z., Lu, J. W., Nielsen, P. W., Niu, J., Qian, H., Sleight, A. C., Su, H. J. J., Sundell, J., Wong, T. W. & Yuen, P. L. (2007). Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment-a multidisciplinary systematic review. *Indoor air*, 17(1), 2-18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x>
15. Fraser, V. J., Johnson, K., Primack, J., Jones, M., Medoff, G., & Dunagan, W. C. (1993). Evaluation of rooms with negative pressure ventilation used for respiratory isolation in seven midwestern hospitals. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 14(11), 623-628. <https://doi.org/10.2307/30149744>
16. Shajahan, A., Culp, C. H., & Williamson, B. (2019). Effects of indoor environmental parameters related to building heating, ventilation, and air conditioning systems on patients' medical outcomes: A review of scientific research on hospital buildings. *Indoor Air*, 29(2), 161-176. <https://doi.org/10.1111/ina.12531>
17. English, T. R. (2016). A Brief History Of Health-Care Ventilation. *ASHRAE Journal*, 58(6), 52-60.
18. Stockwell, R. E., Ballard, E. L., O'Rourke, P., Knibbs, L. D., Morawska, L., & Bell, S. C. (2019). Indoor hospital air and the impact of ventilation on bioaerosols: a systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 103(2), 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.06.016>
19. Kek, H. Y., Saupi, S. B. M., Tan, H., Othman, M. H. D., Nyakuma, B. B., Goh, P. S., Altowayti, W. A. H., Qaid, A., Wahab, N. H. A., Lee, C. H., Lubis, A., Wong, S. L. & Wong, K. Y. (2023). Ventilation Strategies for Mitigating Airborne Infection in Healthcare Facilities: A Review and Bibliometric Analysis (1993 to 2022). *Energy and Buildings*, 113323. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113323>
20. Bolashikov, Z. D., Melikov, A. K., Kierat, W., Popiołek, Z., & Brand, M. (2012). Exposure of health care workers and occupants to coughed airborne pathogens in a double-bed hospital patient room with overhead mixing ventilation. *Hvac&R Research*, 18(4), 602-615. <https://doi.org/10.1080/10789669.2012.682692>
21. Nourozi, B., Wierzbicka, A., Yao, R., & Sadrizadeh, S. (2023). A systematic review of ventilation solutions for hospital wards: Addressing cross-infection and patient safety. *Building and Environment*, 110954. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110954>
22. Memarzadeh, F., & Xu, W. (2012, March). Role of air changes per hour (ACH) in possible transmission of airborne infections. In *Building simulation* (Vol. 5, pp. 15-28). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s12273-011-0053-4>
23. Svensk Förening för Vårdhygien. (2016). Bygghälsa och vårdhygien. 3:e upplagan.
24. 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. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109924>

25. ECDC. (2020). Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19. *European Centre for Disease Prevention and Control: Stockholm, Sweden*.
<https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Heating-ventilation-air-conditioning-systems-in-the-context-of-COVID-19-first-update.pdf>
26. Graeffe, F., Luo, Y., Guo, Y., & Ehn, M. (2023). Unwanted indoor air quality effects from using ultraviolet C lamps for disinfection. *Environmental Science & Technology Letters*, 10(2), 172-178.
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00807>
27. Lönnqvist, S. (2023). Desinficerande UV-lampor kontaminerar inomhusluften med småpartiklar. *VVS värme-och sanitetsteknikern*, (3), s. 28.
28. CDC, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation/UVGI.html>
29. NHS, <https://www.england.nhs.uk/long-read/application-of-ultraviolet-uvc-devices-for-air-cleaning-in-occupied-healthcare-spaces-guidance-and-standards/>
30. REHVA, <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/upper-room-ultraviolet-germicidal-irradiation-uvgi>
31. ASHRAE, https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/i-p_a19_ch62_uvairandsurfacetreatment.pdf
32. ASHRAE Standard 241. Control of infectious aerosols (2023).
<https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>
33. Lang, X., Vasquez, N. G., Liu, W., Wyon, D. P., & Wargocki, P. (2024). Effects of wearing masks indoors on the cognitive performance and physiological and subjective responses of healthy young adults. *Building and Environment*, 111248. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111248>

Appendix A – Typrum

	Vårdrum för en patient	Undersökningsrum	Väntrum
Takhöjd [m]	2,7	2,7	2,7
Golvarea [m ²]	18	16	25
Ytterväggsarea [m ²]	10	11	0
Fönsterarea [m ²]	1,5	1,5	0
Luftflöde vid frånvaro [l/sm ²]	-	0,35	0,35
Yttervägg, U-värde [W/m ² K]	0,15	0,15	-
Fönster, U-värde [W/m ² K]	0,9	0,9	-
Fönster, g-värde [-]	0,3	0,3	-
Solavskärmning	Nej	Nej	-
SFP [kW/(m ³ /s)]	1,3	1,3	1,3
Lufttäthet vid 50 Pa [l/sm ²]	0,3	0,3	-
Temperaturverkningsgrad [%]	85	85	85
Ventilationstyp	CAV	VAV	VAV
Tilluftstemperatur [°C]	20	20	17
Personnärvaro	Alltid en person, Ytterligare en person 10 % av tiden 8-18.	Två personer 6 h per dygn.	I genomsnitt 4 personer kl. 8-18.
Belysning (dag/natt) [W/m ²]	5 / 1	5 / 1	2 / 1
Apparater [W/m ²]	2 / 2	4 / 1	4 / 0
Rumstemperatur, vinter [°C]	21 - 23	21 - 23	19 - 23
Rumstemperatur, sommar [°C]	22 - 25	22 - 26	21 - 26
Värme	Fjärrvärme, radiatorer	Fjärrvärme, radiatorer	Fjärrvärme, radiatorer
Kyla	Fjärrkyla, kylbafflar	Fjärrkyla, kylbafflar	Fjärrkyla, kylbafflar
Ytterligare indata för smittriskberäkningar			
Relativ luftfuktighet [%]	53	53	53
Antal smittade	1	1	1
Antal mottagliga	1	1	9
Exponeringstid [min]	15	60	30
Hur lång tid den smittsamma varit i rummet innan den mottagliga kom in [min]	300	0	60
Andningsläge [tyst/tal/sång]	Tal	Tal	Tal

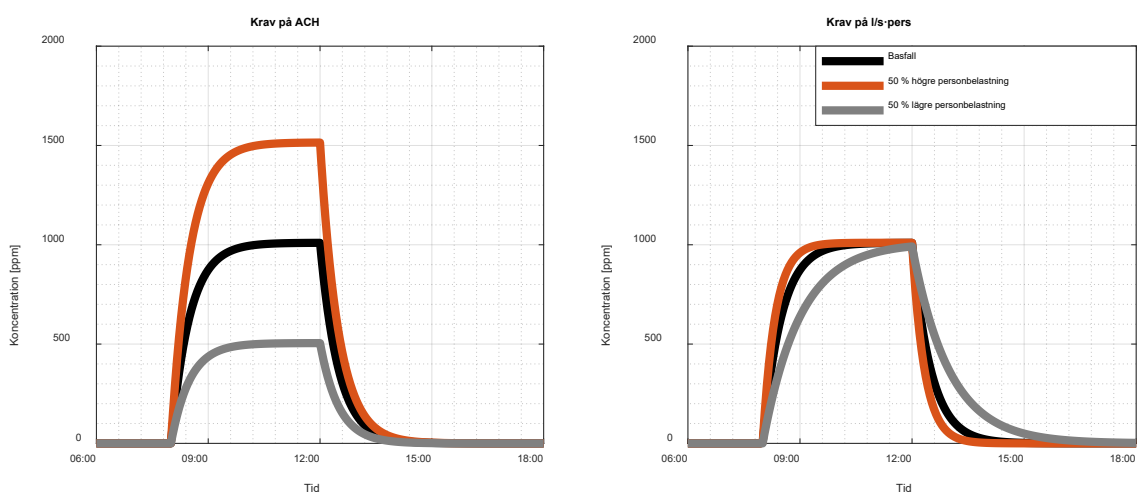
Skisser tillhandahållna av PTS			
--------------------------------	---	--	---

Appendix B – Luftflödesenheter

Luftflöde kan uttryckas med många olika enheter. Förutom att olika enheter för både volym och tid används så varierar också vad man sätter volymflödet i förhållande till. Tre vanliga alternativ är golvyta, rumsvolym och antal personer. Sambandet mellan luftomsättning (ACR) och luftflöde per person framgår av följande ekvation.

$$ACR = \frac{q \cdot 3,6}{h \cdot a}$$

Där q är luftflödet uttryckt i l/s pers, h är takhöjden [m] och a är area per person [m^2 /pers]. Om man sätter krav på luftomsättningstal så blir jämviktsskoncentrationen väldigt hög i rum med hög personbelastning. Om man sätter krav på luftflöde per person så blir uppreningstiden lång i rum med låg personbelastning. Detta illustreras i figuren nedan.



Figur B1. Beräknad koncentration i rumsluften som funktion av tid. I diagrammet till vänster har luftflödet dimensionerats med hänsyn till krav på luftomsättningens storlek. I diagrammet till höger har dimensioneringen skett med hänsyn till krav på luftflöde specifikt per person.