



CHALMERS



# Förslag på ventilationsåtgärder för skolor vid luftburen smitta

En studie om hur komponenter i  
ventilationssystemet kan minimera smittspridning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

KAJSA ALTE  
FANNY FRIDÉN

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2021  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE ACEX20

# Förslag på ventilationsåtgärder för skolor vid luftburen smitta

En studie om hur komponenter i ventilationssystemet kan minimera smittspridning

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

KAJSA ALTE

FANNY FRIDÉN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Installationsteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2021

Förslag på ventilationsåtgärder för skolor vid luftburen smitta

En studie om hur komponenter i ventilationssystemet kan minimera smittspridning

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

KAJSA ALTE

FANNY FRIDÉN

© KAJSA ALTE, FANNY FRIDÉN, 2021

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers tekniska högskola 2021

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:.

Ikoner av (Freepik, u.å) [bild] <http://www.flaticon.com/>

Tryckeriets namn/Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2021

Förslag på ventilationsåtgärder för skolor vid luftburen smitta

En studie om hur komponenter i ventilationssystemet kan minimera smittspridning

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

KAJSA ALTE

FANNY FRIDÉN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola

## **SAMMANFATTNING**

Covid-19 pandemin har drabbat hela världen hårt då sjukvården överbelastats och samhällen stängts ner. Ovissheten om sjukdomen och dess smittspridning är stor och nya forskningsresultat publiceras ständigt. I flera länder har barn och studenter tvingats till distansundervisning hemifrån. Konsekvenserna av detta, så väl sociala som kunskapsmässiga, bedöms bli stora men är samtidigt svåra att helt avgöra än. Vårt syfte är att undersöka huruvida utformningen av inneklimatsystemet i skolor kan minimera sannolikheten för smittspridningen.

Resultatet baseras på en omfattande sammanställning av publicerade studier om vilka faktorer som påverkar smittspridning och vilka ventilationskomponenter som påverkar dessa faktorer. I rapporten sammanställs nuvarande rekommendationer från organisationer och myndigheter för att vidare diskuteras. Metoden innefattar även modellering med två olika beräkningsverktyg för smittspridning av partiklar i ett klassrum. Detta för att se vilka komponenter som påverkar partikelkoncentrationen mest samt hur länge vistelse i klassrum bör vara. Resultatet tyder på att ventilation har inverkan på mängden virus i ett rum. Livslängden för virus påverkas av bland annat temperatur och fukt, vilka är komplicerade att reglera. Smittspridningen är beroende av koncentrationen av virus i luften, vilket kan minskas genom luftutbyte, olika reningsmetoder, drifttid och behovsstyrning. Detta projekt resulterar i åtgärder för skolor att tillämpa på ventilationssystem i situationer då luftburen smitta har upptäckts i samhället.

Nyckelord: Covid-19, SARS-CoV-2, pandemi, ventilation, inneklimat, skola, smittspridning, beräkning, åtgärdsförslag, luftburen smitta, fukt

Proposed action about HVAC regarding schools against airborne transmitted disease

A research about how components in the HVAC system can minimize spread of infection

*Degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering*

KAJSA ALTE

FANNY FRIDÉN

Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Building Services Engineering  
Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

The Covid-19 pandemic has affected the world as healthcare has collapsed and authorities has imposed forced look down in several countries. The uncertainty about the disease and transmission is high and new research results are constantly being published. In several countries children and students has been forced to study from home. The consequences of this, both socially and in terms of knowledge, are estimated to be substantial but are difficult to determine completely. Our purpose is to investigate whether the design of the indoor climate system in schools can minimize the risk of infection.

The results are based on a comprehensive compilation of published studies on which factors affect the spread of infection and the ventilation components affecting these factors. The report compiles current recommendations from organizations and authorities for further discussion. The method includes modelling with two different calculation tools for the spread of particles in a classroom. This leads to which components affect the particle concentration the most and how long a lesson should take place. It is clear that ventilation has an affect on the concentration of virus in confined spaces. The viability of virus is affected by temperature and humidity among other things, but these are more difficult to regulate. The spread of infection is dependent on concentration of virus in the air which can be reduced by air exchange, various cleaning methods, operating time and demand controlled ventilation. This project results in measures for schools to apply to ventilation systems in situations where an airborne infection is detected in the community.

Key words: Covid-19, SARS-CoV-2, pandemic, ventilation, indoor climate, school, transmission, calculation, spread of infection, draft measures, airborne transmitted disease, humidity.

# Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Syfte	2
1.2	Frågeställning	2
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Metod	3
1.5	Disposition av rapporten	3
2	AEROSOLER OCH SMITTSPRIDNING	5
2.1	Människans immunförsvar	6
2.2	Spridning av SARS-CoV-2	7
2.3	Hierarki för infektionskontroll	9
2.4	Beräkning av smittspridning	9
3	UTFORMNING AV VENTILATIONSSYSTEM OCH KLASSRUM	11
3.1	Lagstiftning och allmänna råd	11
3.1.1	Boverket	11
3.1.2	Arbetsmiljöverket	12
3.1.3	Folkhälsomyndigheten	12
3.2	Tekniska Krav och Anvisningar för skolor i Göteborg	12
3.2.1	Utformning enligt gällande TKA	12
3.2.2	Äldre utformningar i skolor	13
4	FAKTORER I LUFTEN SOM PÅVERKAR SPRIDNING AV VIRUS	14
4.1	Luftkvalitet	14
4.2	Temperatur och termisk komfort	15
4.3	Temperatur och smittspridning	15
4.4	Har luftfuktighet inverkan på virus och människor?	16
4.5	Samband mellan luftföroreningar och Covid-19	17
4.6	Luftföringsprinciper och luftomsättning	18
5	KOMPONENTER I DET CENTRALA INNEKLIMATSYSTEMET	21
5.1	Fuktöverförande värmeväxlare	21
5.1.1	Luftläckage i luftbehandlingsaggregat	22

5.2	Reningsmetoder för tilluft	23
5.2.1	Luftfilter	23
5.2.2	UV-ljus	26
5.2.3	Ozon	26
6	RUMSKOMPONENTER	28
6.1	Luftrenare	28
6.1.1	Luftreningstekniker	29
6.1.2	Placering	30
6.2	Behovsstyrd ventilation	31
7	REKOMMENDATIONER FRÅN ORGANISATIONER OCH MYNDIGHETER	32
7.1	REHVA	32
7.2	ASHRAE	33
7.3	WHO	34
7.4	ECDC	34
7.5	CDC	35
7.6	Folkhälsomyndigheten	36
7.7	Arbetsmiljöverket	36
7.8	Sammanställning av rekommendationer	37
8	BERÄKNINGSMODELLER	38
8.1	Introduktion av Wells - Riley	38
8.2	REHVA beräkningsverktyg för smittspridning	39
8.3	NIST beräkningsverktyg för smittspridning	44
8.3.1	Test 1 – 3,5 oms/h	46
8.3.2	Test 2 – 5,3 oms/h	49
8.3.3	Test 3 – 3,5 oms/h med luftrenare	52
8.3.4	Test 4 – 1 oms/h med och utan luftrenare	55
9	SAMMANFATTNING, ANALYS OCH DISKUSSION	58
9.1	Inneklimat	59
9.1.1	Temperatur	59
9.1.2	Lufttorrhet snarare än luftfuktighet	60



9.2	Komponenter och metoder för luftrening mot Covid-19	61
9.2.1	Luftrenare i rummet	61
9.2.2	Luftläckage i luftbehandlingsaggregat	62
9.2.3	Forceringstid och överventilation	63
9.2.4	Vädning	64
9.2.5	Behovsstyrd ventilation	65
9.3	Analys beräkningsresultat	66
9.3.1	REHVA	66
9.3.2	NIST	67
9.3.3	Resultat från beräkningsmodeller	68
9.4	Bristande kunskap och myndigheternas ansvar	68
9.5	Diskussion kring övriga utrymmen i skolbyggnaden	70
10	SLUTSATS OCH FÖRSLAG PÅ ÅTGÄRDER	72
10.1	Förenklade åtgärder	72
10.2	Avancerade åtgärder	73
10.2.1	Verktyg för tillämpning av avancerade åtgärder	73
10.3	Förebyggande åtgärder	76
10.4	Vidare forskning	76
11	REFERENSER	77
	APPENDIX A – MOLLIERDIAGRAM	
	APPENDIX C – SAMMANSTÄLLNINGSMATRIS AV NUVARANDE REKOMMENDATIONER	
	APPENDIX B – FILTERKLASSER	
	APPENDIX D – BERÄKNINGAR INPUT REHVA	
	APPENDIX E – BERÄKNINGAR INPUT NIST, FATIMA	
	APPENDIX F – VERKTYG FÖR TILLÄMPNINGAR AV ÅTGÄRDER	



## Förord

Detta examensarbete har utförts på Chalmers tekniska högskola under institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, under avdelningen installationsteknik. Vi som skrivit detta arbete studerar samhällsbyggnadsteknik, högskoleingenjör.

Arbetets grundidé startade som en naturlig reaktion på den pågående pandemin vi lever i idag. Vi båda blev introducerade till varandra av anledningen att vi hade en liknande idé om att undersöka ventilation och dess koppling till smittspridning. Arbetet har pågått regelbundet från december 2020 fram till juni 2021. Under arbetets gång har långsiktiga och kortsiktiga veckomål satts upp och en loggbok med antal timmar och kortfattad beskrivning av utfört arbete har använts. Detta för att effektivt driva arbetet framåt och för att säkerställa att arbetsfördelningen varit någorlunda jämn. Eftersom vi fortsatt befunnit oss i en pandemi vi bevakat uppdateringar av organisationers och myndigheters rekommendationer, försökt hitta de senaste forskningsartiklarna och deltagit i flertalet digitala möten som diskuterat frågor om ventilation och/eller smittspridning. Detta har varit en stimulerande och motiverande utmaning för oss.

Vi vill tacka vår handledare Anders Nilsson, Tyréns, för intressanta diskussioner och motiverande handledning samt för möjligheten att sitta på Tyréns kontor i Göteborg, vilket har varit väldigt givande när resterande undervisning har pågått på distans.

Vi vill även tacka vår handledare Lars Ekberg, Chalmers, för experthandledning inom relevant område. Vi är tacksamma för din kunskap och att du tagit dig tid och hjälpt oss med alla olika frågor vilket har gett arbetet mer tyngd.

Fortsättningsvis vill vi tacka Charlotta Dahlberg och Gicon för handledning och framför allt vägledning i att skriva examensarbete. Du har varit ett stort stöd genom hela processen och din feedback har varit mycket uppskattad och gjort att vi har kommit framåt.

Slutligen riktar vi ett tack till Göteborgs Stad Lokalförvaltningen som bidragit med relevant information samt många givande möten med intressanta diskussioner. Vi vill även tacka Swegon för intressanta samtal samt erbjuden möjlighet för användning av ert labb som tyvärr inte blev genomförbart på grund av pandemin.

Göteborg juni 2021

Kajsa Alte, Fanny Fridén



## Beteckningar

AH	Absolut fuktighet	[g/kg]
E	Alstring av quanta	[q/h]
$K_{br}$	Andningsvolym	[m <sup>3</sup> /h]
oms/h	Luftomsättning per timme	[1/h]
P	Sannolikheten för smittspridning	[-]
R	Reproduktionstal	[%]
RH	Relativ fuktighet	[%]
t	Exponeringstiden	[h]
V	Rumsvolym	[m <sup>3</sup> ]
$\Sigma k$	Summan av alla sänkor som motverkar koncentration av virus	[h <sup>-1</sup> ]
AMV	Arbetsmiljöverket	
ASHRAE	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers	
BBR	Boverkets byggregler	
CADR	Clean air delivery rate	
CDC	Centers for Diseases Control and Prevention, USA:s smittskyddsmyndighet	
CFD	Computational Fluid Dynamics	
DCV	Demand Controlled Ventilation eller Behovsstyrt system	
ECDC	European Center for Disease Prevention and Control, EU:s smittskyddsmyndighet	
FoHM	Folkhälsomyndigheten	
HEPA	High Efficiency Particulate Arresting filter	
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning	
MPPS	Most Penetrating Particle Size	
NIST	National Institute of Standards and Technology	
PM	Particulate Matter	
PM <sub>x</sub>	Partiklar mindre än x mikrometer	
ppm	Parts Per Million	

REHVA	The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning associations
TKA	Tekniska Krav och Anvisningar
VAV	Variable Air Volume eller Variabelflödessystem
VOC	Volatile Organic Compounds, Lättflyktiga organiska föreningar
WHO	World Health Organization, Världshälsoorganisationen

# 1 INLEDNING

I slutet av 2019 påvisades en sjukdom från virusgruppen coronavirus i Wuhan, Kina som tros ha överförts från fladdermöss till människor (Xu et al., 2020). Viruset orsakade luftvägsinfektioner och spreds snabbt över hela världen. Den 12 mars 2020, när över 118 000 personer blivit smittade och över 4000 dödsfall, gick World Health Organisation (WHO, 2020b) ut med att "Covid-19" klassas som en pandemi. Strax därefter började land efter land stänga ner och sjukvården blev alltmer belastad.

Pandemier har inträffat kontinuerligt i historien och några av de senaste är Spanska sjukan år 1918, Asiaten år 1957, HIV/AIDS år 1981 och den första varianten av coronavirus år 2003 (History Editors, 2020). Coronaviruset från 2003, också kallat SARS, upptäcktes i Kina och tros även detta ha kommit från fladdermöss (Xu et al., 2020). Till skillnad från SARS som bara spred sig i Asien har Covid-19 spridit sig över hela världen.

Under våren 2020 stängde flera länder ner helt och pandemistategier diskuterades. I Sverige implementerades en strategi som skiljde sig från majoriteten för att slippa stänga ner samhället helt. Målet med strategin var att minska takten på smittspridningen så att sjukvården inte skulle överbelastas samt att noga överväga samhälleliga och sociala effekter av åtgärder innan de implementerades. Konkret sett innebar detta ingen nedstängning utan endast rekommendationer att följa. Ambitionen var att uppnå flockimmunitet (Regeringskansliet, 2020). Initialt framfördes många åsikter om den svenska strategin då den skiljde sig från andra länder. Huruvida den fungerade bra eller inte är svårt att säga då vi, i skrivande stund, befinner oss i pandemin och att avgöra konsekvenserna är omöjligt.

I mars började Sveriges universitet stänga ner och övergick till distansundervisning. Även gymnasieskolor uppmanades att övergå till distansundervisning. Hösten 2020 fick gymnasieskolorna lov att öppna för att sedan i december återgå till distansundervisning på grund av den ökade smittspridningen. Fortsättningsvis under våren 2021 fick gymnasieskolor, i begränsad omfattning, bedriva undervisning på plats (Folkhälsomyndigheten, 2020d). Gällande grund- och förskolor menar Folkhälsomyndigheten att barn inte sprider smitta i lika stor utsträckning som vuxna samt att man är överens om att skolan bör hållas öppen då konsekvenserna av stängda skolor kan bli stora. Folkhälsomyndigheten hänvisar istället till att utbildningen ska utformas så att de allmänna råden uppfylls (2021a). De allmänna råden handlar bland annat om att minska trängsel, möjliggöra god handhygien, undvika att samla personer från olika klasser/lärlag men även att se över ventilationen. Det fanns möjlighet till distansundervisning och i januari 2021 utökades den möjligheten för grundskolor.

Huruvida undervisningen i grundskolan har fungerat i Sverige varierar från skola till skola. I samtal med Paula Palmdahl, verksamhetschef för grundskolor i Härryda kommun, berättar hon att grundskolorna i Härryda kommun bedrivit undervisning som vanligt, i stort sett, under hela pandemin (15 april, 2021). Några skolor har tvingats stänga tillfälligt under hösten 2020 då smittspridningen ökat lokalt. Under våren 2021 har undervisningen i Härryda kommun bedrivits på delvis på distans för årskurs 7-9, då cirka två tredjedelar av undervisning är i skolan och en tredjedel hemifrån. Vid tillfällig

nedstängning i lågstadielklasser har undervisningen behövts tas igen i efterhand. Detta för att distansundervisning inte går att bedriva med så unga elever. Palmdahl betonar att arbetsbelastningen har varit hög för all inblandad personal under pandemin. Vidare berättar hon att arbetet med samordning, information, hitta lokaler samt planera schema har tagit mycket tid. En viss oro har funnits bland personalen och hon berättar att rektorer har fått hantera många frågor från olika håll.

Utifrån en enkät som Lärarnas Riksförbund har skickat ut till sina medlemmar har de kunnat konstatera att situationen i skolan på grund av pandemin kommer leda till ett kunskapsstapp. Resultatet från underökningen var bland annat att 30 % av lärare som svarat på enkäten misstänker att de inte hinner med hela kursinnehållet på grund av pandemin. Tre av fyra lärare tror att pandemin kommer ha en negativ påverkan på kunskapsutvecklingen. De som drabbas värst är elever med särskilda behov och elever med annat modersmål än svenska. De direkta förlusterna på grund av förlorad undervisning kan kosta upp till 5,5 miljoner kronor (Lärarnas Riksförbund, 2020).

Förutom de fysiska konsekvenserna för en person som smittats av Covid-19, har pandemin lett till ökning av psykisk ohälsa. Detta är främst en konsekvens av de restriktioner och rekommendationer som tillämpats då människors sociala umgänge har begränsats. Utifrån en rapport Folkhälsomyndigheten gjort visade det sig att fler personer uppges att de lider av lätta psykiska besvär (Folkhälsomyndigheten, 2021b).

Pandemier har drabbat människan kontinuerligt i historien och kommer troligtvis inträffa i framtiden. Att bedriva undervisning, som är en av samhällets viktigaste funktioner, är essentiellt ur flera perspektiv. När transmissionsvägar inte är säkerställda bör försiktighetsprinciper tillämpas. Gällande potentiellt luftburna smittor är ventilation ett verktyg som skapar bättre förutsättningar för att minska smittspridning. Av den anledningen är det intressant att undersöka i vilken utsträckning ventilation påverkar smittspridning.

## **1.1 Syfte**

Syftet är att undersöka huruvida utformning av inneklimatsystem i skolor kan påverka och begränsa smittspridningen av virus, samt hur skolor kan använda denna kunskap för att agera för att minska smittspridning under en pandemi.

## **1.2 Frågeställning**

- Hur kan risken för smittspridning inomhus minskas utifrån nuvarande forskning om vad som gynnar och hämmar virus?
- Vilka indikatorer är viktigast ur smittspridningssynpunkt och vilka går att kontrollera i rumsmiljön?
- Vilken inverkan på risken för smittspridning har ventilationsflödets storlek, ventilationens drifttider, reglering och principen för luftföring i rummet?
- Vilka komponenter kan minska koncentrationen av virus i lokalen?



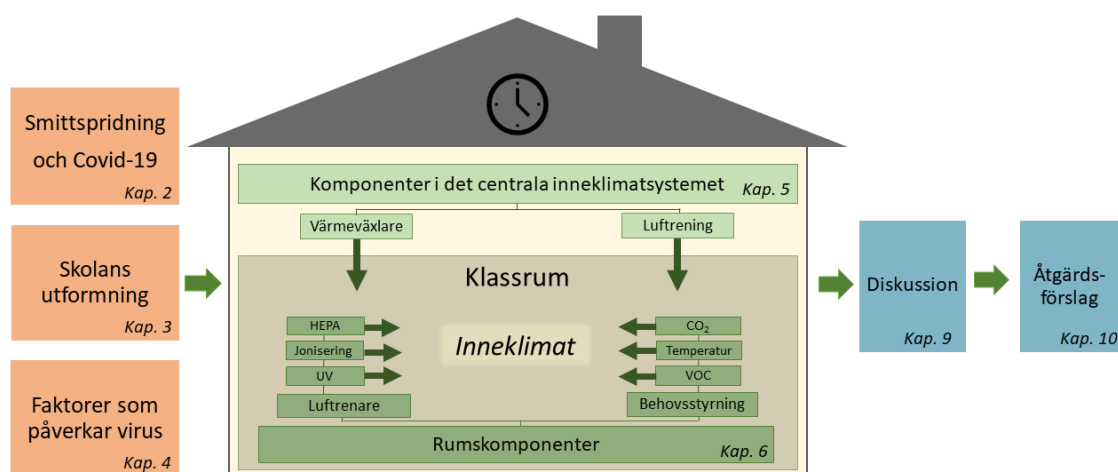
## 1.3 Avgränsningar

- De resulterande rekommenderade åtgärderna avgränsas till endast skolor i Sverige.
- I skolan är främst klassrummet i fokus, hur smittspridning sker i korridorer och matsal är inte vidare undersökt.
- I rapporten används begreppet ”skola” där endast grund- och gymnasieskola ingår. Alltså inte förskola eller högskola.

## 1.4 Metod

Detta arbete är huvudsakligen en litteraturstudie där forskning har tagits in, utvärderas och jämförts. Eftersom ämnet är aktuellt och forskning ständigt pågår behövs en sammanställning och tolkning av resultat för att skolor ska ha möjlighet att vidta rätt åtgärder. Information tas in kontinuerligt under hela arbetstiden för att hålla rapporten aktuell. Informationssökning sker genom diverse databaser och sökning via internet samt genom lämplig bakgrundlitteratur. Litteraturgenomgång utförs allt eftersom i uppsatsens teoridel. Uppsatsen består även av en mindre del beräkningar kopplat till smittspridning och tid.

## 1.5 Disposition av rapporten



Figur 1 Översikt över rapportens struktur och innehåll

I stora drag kan rapportens struktur beskrivas med hjälp av figur 1. Till en början presenteras fakta som utgör förutsättningarna för problematiken, vilka illustreras i orange färg. I dessa kapitel ingår information om hur smittspridning sker, hur vårt immunförsvar agerar och hierarki för infektionskontroll. Vidare presenteras utformning av inneklimatsystem i skolor samt vilka faktorer som kan påverka virus och smittspridning, vilket i sin tur inkluderar inneklimat utifrån kvalitet- och komfortkriterier. Efter det rör vi oss in i skolbyggnaden och presenterar de komponenter i skolans inneklimatsystem som har betydelse för att påverka smittspridning och bidra till ett inneklimat med bästa möjliga förutsättningar utifrån tidigare nämnda faktorer. Teoridelen avslutas med myndigheters och organisationers rekommendationer och förslag på åtgärder avseende Covid-19. Därefter presenteras beräkningar av

smittspridning i skolmiljöer utifrån aktuella beräkningsmodeller. Uppsatsen resulterar i en diskussion om vad som är bra med avseende på att minska smittspridning generellt och även specifikt Covid-19. Vidare diskuteras vad som är praktiskt tillämpligt på skolor. Avslutningsvis presenteras konkreta åtgärder som kan vara möjliga att genomföra i skolor för att ge bästa möjliga förutsättningar för att minska smittspridning under en pandemi.

## 2 AEROSOLER OCH SMITTSPRIDNING

För att förstå hur ventilation kan påverka smittspridning behöver vi först förstå hur smittspridning sker. När droppar med virus utsöndras i luften kan de, på grund av att luften innehåller lite fukt, torka ut och bli så kallade aerosoler. Aerosoler är luftburna partiklar av vätska eller i fast form som rör sig i luften. Mitten på partikeln, partikelns kärna, kan bestå av en vätska eller vara fast och omges av molekyler som adsorberats på kärnan. Storleken på en luftburna aerosolpartikel kan variera från några enstaka nanometer (nm) till något hundratal mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) ( $10^{-9}$  till  $10^{-6}$  m). Det finns olika yttre krafter som påverkar en aerosols spridningsmönster. Den kan påverkas av gravitation, elektrostatisk kraft, kraftfält eller luftströmmar. Exempelvis påverkas mindre partiklars rörelsemönster mer av elektrostatiska krafter och gravitationen bli mer avgörande för större partiklars mönster (Kulkarni et al., 2011).

Aerosoler som innehåller något från en levande organism kallas för bioaerosoler. Virus som orsakar en smitta hos människor kan spridas via aerosoler och tenderar då ha en högre infektionshastighet. Exempelvis spanska sjukan eller tuberkulos är sjukdomar som kan spridas via aerosoler och har orsakat pandemier (Alsved, 2020). Ett samlingsord för bakterier och virus som orsakat sjukdomar är patogener (Gentekniknämnden, u.å). Storleken på SARS-CoV-2 varierar mellan  $0,02 \mu\text{m}$  till  $0,4 \mu\text{m}$  i diameter (Camfil, 2021b), se jämförelse med andra partiklar och virus i figur 2. Patogener finns sällan enskilt i luften utan omges av vattenmolekyler tillsammans med andra patogener, organiskt och oorganiskt material (Alsved, 2020). Dessa sammansatta partiklars storlek kan variera mellan  $1-50 \mu\text{m}$  (Seppänen, 2021).

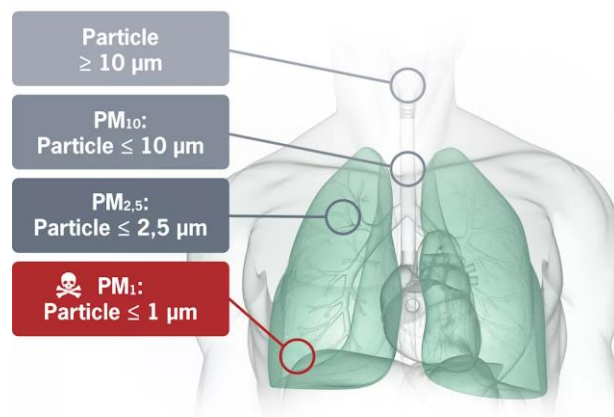


Figur 2 Storleken av olika partiklar och virus. Från (Camfil, 2021b) <https://www.camfil.com/sv-se/insights/luftkvalitet/kallt-vader-okar-risken-for-infektion>. Använd med tillstånd

## 2.1 Människans immunförsvar

Immunförsvaret är indelat i två olika delar. Dels det ospecifika, medfödda immunförsvaret, som reagerar på och angriper okända bakterier och virus när de kommer in i kroppen, dels det adaptiva, specifika immunförsvaret, som agerar mer avancerat. Det medfödda immunförsvaret är i sin tur indelat i två delar; det yttre- och inre immunförsvaret. Det yttre immunförsvaret är det som i första hand ska skydda oss från att virus tar sig in i vår kropp och skapar infektion. I näsan finns slemhinna och flimmerhår som virus, bakterier och partiklar fastnar i och sedan hostas, nyses eller snyts ut (1177 Vårdguiden, 2019). I bihålorna, svalg och luftstrupe finns samma typ av slemhinna som i näsan. Om virus tränger förbi det yttre immunförsvaret tar de vita blodkropparna i det inre immunförsvaret över genom att bland annat angripa det främmande ämnet samt skicka ut signaler till andra delar av immunförsvaret. Det specifika immunförsvaret bildar B-lymfocyter, som i sin tur bildar antikroppar, och T-lymfocyter som kommer ihåg och förstår en specifik angripare (LloydsApotek, 2021).

När en smitta vi inte utsatts för tidigare påverkar oss reagerar det medfödda immunförsvaret och skapar ett protein, interferon, som ska bekämpa smittan och vi upplever lindriga symptom. Forskning visar att detta protein inte producerats lika bra vid SARS-CoV-2 som exempelvis vid en enkel förkylning. Det gör att viruset kan föröka sig och skapa influensaliknande symptom. Om viruset tar sig hela vägen ner till lungorna orsakar det allvarliga problem och kan påverka bland annat syreupptagningen (Fagerström, 2020). Större partiklar fångas lättare upp av yttre immunförsvaret medan de mindre partiklarna är de som kan ta sig hela vägen ner i lungorna. SARS-CoV-2 och förbränningsgaser är exempel på partiklar tillräckligt små för att ta sig ner i lungorna och resultera i farliga hälsoeffekter (Camfil, 2021c).



Figur 3 Partikelstorlekens betydelse för penetrationsförmåga i lungorna. Från (Camfil, 2021c) <https://www.camfil.com/sv-se/insights/standards-och-f%C3%B6reskrifter/vi-f%C3%B6rklarar-iso-16890>. Använd med tillstånd

## 2.2 Spridning av SARS-CoV-2

Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, mer känt som SARS-CoV-2, är det virus som orsakar den sjukdom som upptäcktes i slutet av 2019 i den kinesiska staden Wuhan och som orsakat en pandemi. Sjukdomen har fått namnet Covid-19 (corona virus disease – 19, står för 2019 då den observerades första gången). Genom vilka transmissionsvägar Covid-19 sprids har diskuterats av många sedan smittan först uppstod. World Health Organization (WHO, 2020a) menar att den främst sprids genom nära kontakt med en smittad person, då den sprids genom droppar från den smittades mun eller näsa i form av nysning, hosta eller bara genom att prata eller andas tungt. WHO menar att virusdropparna varierar från ”respiratory droplets to smaller aerosols” och att denna typ av smittväg troligtvis sker inom 1-2 meter från källan. Den kan också smitta genom indirekt kontakt då två personer tar på samma yta där den första personen burit på smittan. Den andra personen får smittan på sina händer som den sedan för till sitt ansikte. Den 9 juni 2020 (2020a) gjorde WHO ett vetenskapligt uttalande där de lyfter möjligheten att Covid-19 sprids via luften men att mer forskning behövs. Flertalet så kallade spridningseven har skett där misstanke om luftburen smitta är stor. Nedan följer några av dessa:

- Ett fall på en restaurang i den kinesiska staden Guangzhou dit en familj som bar på Covid-19 hade rest direkt från Wuhan. Restaurangen hade återluft samt en väggplacerad fläktkonvektor. Ytterligare två sällskap smittades och dessa satt, tillsammans med den smittade familjen, i luftströmmen från fläktkonvektorn. När smittvägarna undersökts har det konstaterats att viruset troligtvis spridits i luften från ena sällskapet till de andra på grund av placeringen av fläktkonvektorn (Lu et al., 2020).
- Den 10 mars 2020 sjöng 61 personer tillsammans i en kör i Washington. Kören var samlade under 2,5 timmar och innan eventet hade en person symptom av Covid-19. Sju dagar senare hade 24 personer uppvisat liknande symptom och ytterligare några dagar senare visade 52 av de 60 kördeltagarna symptom. Tre av deltagarna blev inlagda på sjukhus och två personer omkom (Hamner et al., 2020). Forskare vid Lund universitet har studerat hur olika andning, tal och sång påverkar utsöndringen och spridning av aerosoler. Studien visar att sång, särskilt med mycket artikulering, utsöndrar stort antal aerosoler med hög hastighet och därmed längre spridning (Alsved, 2020).
- Den 14 mars 2020 publicerade Liu et al. (2020) en studie där de hade mätt koncentrationen av SARS-CoV-2 i ett sjukhus i Wuhan. De uppmätte SARS-CoV-2 längre bort än 2 meter från en patients säng på intensivavdelningen och kunde även se att koncentrationen var lägre i väl ventilerade rum.

Den 6 juli 2020 publicerades ett öppet brev, undertecknat av 239 forskare från hela världen, till WHO där de vädjar om att WHO ska erkänna luftburen smitta som en möjlig smittväg för Covid-19 (Morawska & Milton, 2020). De menar att det finns studier som utom rimligt tvivel visar att viruset är luftburet och att det kan spridas betydligt längre än 1-2 meter. Trots denna vädjan ändrade inte WHO sitt uttalande från 9 juni; att spridning via aerosoler i luften kan ske vid ”vissa specifika förhållanden”

som exempelvis påverkan av mängden människor, exponeringstid, typ av aktivitet men också i inomhusmiljön med undermålig ventilation.

Det finns även studier på att SARS-CoV-2 kan överleva på en yta upp till 72 timmar likt SARS-CoV-1 (Rabenau et al., 2005; van Doremalen et al., 2020). CDC, Centers for Disease Control and Prevention är USA:s motsvarighet till Folkhälsomyndigheten, var den första organisationen som reviderade sitt ställningstagande om i vilken utsträckning spridningen sker via ytor. Tidigare har CDC uttryckt följande ”Spread from touching surfaces is not thought to be the main way the virus spreads”. I april 2021 anger de istället

“In public spaces and community settings, available epidemiological data and QMRA studies indicate that the risk of SARS-CoV-2 transmission from fomites is low - compared with risks from direct contact, droplet transmission or airborne transmission” (CDC, 2021b).

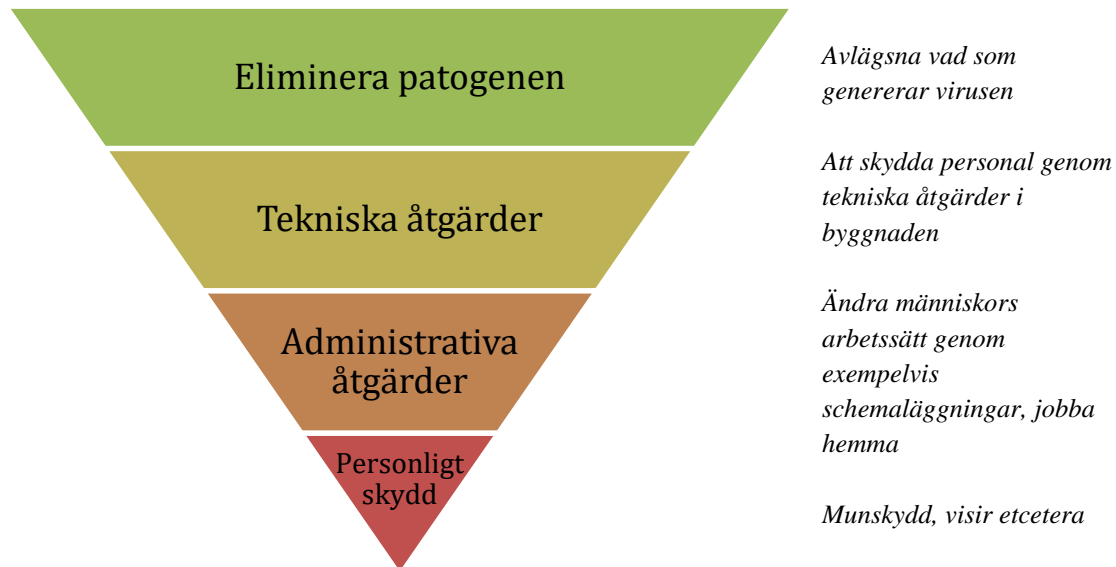
I januari 2021 publicerade tidskriften Nature (Lewis, 2021) en artikel där forskningen om hur smittan sprids via ytor sammanställts. De fortsätter också med uttalanden från experter som menar att virus inte behöver vara smittsamt bara för att de hittats på en yta. Linsey Marr är expert på luftburna virus och i en intervju med New York Times menar hon att det inte finns några konkreta bevis på att Covid-19 har spridits via en yta (Anthes, 2021). Svenska Dagbladet har pratat med Agnes Wold, professor vid Sahlgrenska Universitet och överläkare vid Sahlgrenska universitetssjukhuset, som säger följande ”Det är ju självklart att man inte får i sig ett luftvägsvirus genom ytor. Snacket om ytor är ett villospår.” samt ”För övrigt finns ingen sjukdom som det hjälper att städa mot” (Forsberg, 2021). I samma artikel citeras Björn Olsen, professor vid Uppsala universitet och infektionsöverläkare vid Akademiska sjukhuset, och menar följande ”Handsmitta är klart överskattad jämfört med luftsmitta. Det här är ett luftvägsvirus. Det handlar om att du andas på någon, sjunger på någon eller hostar på någon.”

Det råder allt större konsensus bland forskare att SARS-CoV-2 kan spridas i luften men det råder osäkerhet i hur långt den kan spridas samt vilka faktorer som påverkar. Det finns studier som pekar på att det kan spridas via luften i form av mindre aerosolpartiklar (CDC, 2021a) (Bourouiba, 2020) (Lu et al., 2020). Exempelvis beskriver Malin Alsved i sin rapport *Transmission of infectious bioaerosols* (2020) att aerosoler tenderar att torka ut i luften, vilket genererar mindre partiklar som har lättare för att transporteras. Alsved menar att sannolikheten för att SARS-CoV-2 agerar på samma sätt är stor. Linsey Marr säger även följande i intervjun med Nature; ”It has become clear that transmission by inhalation of aerosols - the microscopic droplets - is an important if not dominant mode of transmission” (Lewis, 2021).

Som försiktighetsåtgärd är det alltså rimligt att anta att SARS-CoV-2 kan spridas i vår inomhusmiljö och utifrån det hitta sätt att minimera den typen av spridning.

## 2.3 Hierarki för infektionskontroll

Inom sjukdomar och smittspridning finns det en strategi gällande vad som är mest effektivt när det kommer till olika typer av åtgärder. Dessa presenteras i figur 4 nedan där det som är störst är mest effektivt.



Figur 4 *Infektionskontrollpyramiden. Omarbetad efter CDC (2015)*  
<https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>

Ett tydligt mönster som syns i figur 4 är att den åtgärd som har mest effektivitet är den som är svårast att implementera. Exempelvis att eliminera källan kan innebära att vaccinera, vilket är en effektiv lösning men det tar tid att forska fram, producera och genomföra vaccinationer. Därav behöver de andra delarna tillämpas för att motverka spridning så effektivt som möjligt. Ingen av de resterande delarna kan dock stoppa spridningen på egen hand utan alla delar är viktiga. I denna rapport utreds hur tekniska åtgärder, som nämns i figur 4, kan skydda människor i en inomhusmiljö med den teknik och de system som finns tillgängliga idag.

## 2.4 Beräkning av smittspridning

För att beräkna smittspridning i ett rum kan man använda sig av Wells - Riley modellen framtagen utav William Firth Wells och Richard L. Riley. Modellen publicerades under 50-talet och används fortfarande idag för att uppskatta hur luftburna sjukdomar sprids i ett rum (Nardell, 2016). Ekvationen kan formuleras på lite olika sätt och beskriver antalet smittade personer eller sannolikheten för att en person smittas. Buonanno, Stabile, et al. (2020) tillämpade Wells-Rileys modell och påvisade att ventilationen spelar en stor roll för koncentrationen av SARS-CoV-2 i inomhusmiljön.

En beräkningsmodell för smittspridning har tagits fram av The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning associations, REHVA, som är en europeisk organisation med ingenjörer och experter inom bland annat ventilation. Även National Institute of Standards and Technology, NIST, har tagit fram en beräkningsmodell för

smittspridning. REHVAs beräkningsmodell är baserad på Wells - Rileys ekvationen och NIST's beräkningsmodell är baserad på en balansekvation mellan det som hämmar och gynnar partikelkoncentrationen samt hur mycket som avlägsnas på ytor efter en viss tid. (NIST, 2020; REHVA, 2020b). I denna rapport presenteras Wells-Rileys ekvationen i kapitel 8 tillsammans med beräkningsmodellerna från REHVA och NIST som används för att ta reda på hur stor påverkan olika faktorer kan ha samt hur lång en lektion bör vara med tanke på smittspridning.



## **3 UTFORMNING AV VENTILATIONSSYSTEM OCH KLASSRUM**

Under år 2013-2016 gjorde Arbetsmiljöverket en tillsyn på ca 30 % av alla skolor i Sverige med syfte att initiera systematiskt arbete med arbetsmiljö. Granskningen ledde till att var femte skola fick anmärkning avseende ventilation och luftkvalitet. Vid samma tid, år 2015, gjorde Folkhälsomyndigheten en tillsyn av inomhusmiljön i skolan vilket visade att 15 % hade undermålig luftkvalitet som påverkade elevernas hälsa negativt. Upprustningsbidrag från Boverket, där de bidrog med en del av kostnaden, har funnits tillgängligt från 2015 till 2018. En sammanställning av Svensk Ventilation visar att endast en tredjedel av landets kommuner har utnyttjat denna möjlighet (Svensk Ventilation, 2017). Dålig luftkvalitet kan vara avgörande för kvaliteten på utbildning genom negativ påverkan på koncentrationssvårigheter och inlärningsförmåga (Wargocki & Wyon, 2011).

### **3.1 Lagstiftning och allmänna råd**

Allmänventilation regleras av Boverket, Arbetsmiljöverket och Folkhälsomyndigheten. Boverket och Arbetsmiljöverket anger både tvingande krav och allmänna råd medan Folkhälsomyndigheten endast ger allmänna råd och vägledningar.

#### **3.1.1 Boverket**

Boverkets byggregler, sammanfattas i BBR-BFS 2011:6 och uppdateras kontinuerligt. Senast gällande ändring är BFS 2020:4, även omnämnd som BBR 29 (Boverket, 2020a).

BFS 2011:6 med ändring till och med BFS 2020:4 anger följande krav:

- Byggnaden och dess system ska skapa förutsättningar för att kunna upprätthålla god luftkvalitet. Detta gäller i utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt.
- I luft som tillförs rum ska halten av föroreningar inte överstiga gällande gränsvärden för luften utomhus.
- Vid kylning eller fuktning av luft ska det säkerställas att det inte avges skadlig mängd mikroorganismer.
- Ventilationen ska ha tillräckligt högt uteluftsflöde samt föra bort hälsofarliga ämnen, besvärande lukt och fukt samt föroreningar som utsöndras av människor och byggnadsmaterial.
- Ventilationsflödet ska vara minst 0,35 l/s och m<sup>2</sup> uteluft vid närvaro.
- Överluft får endast ske från ett rum till ett annat rum med samma eller lägre krav på luftkvalitet. Det får inte bidra till spridning av illaluktande eller ohälsosamma gaser eller partiklar mellan rum.
- Återluft ska utformas så att det inte har negativa hälsoeffekter, det får inte ske med frånluft från kök, hygienrum eller liknande.
- Byggnadens system ska utformas för att ge tillfredställande termiskt klimat.

### **3.1.2 Arbetsmiljöverket**

Arbetsmiljöverkets föreskrift för arbetsplatsens utformning uppdaterades under 2020, AFS 2020:1 (Arbetsmiljöverket, 2020). För en arbetsplats är arbetsgivaren ansvarig för att uppfylla krav på arbetsmiljö. För kommunala skolor faller detta ansvar således på kommunen.

AFS 2020:1 anger följande krav och allmänna råd:

- Rumshöjd för undervisningslokaler och andra lokaler avsedda för större antal personer bör vara minst 2,70 meter.
- Luftkvaliteten ska vara tillfredställande i vistelsezonen och rumsluften ska vara ”fri från föroreningar som kan vara skadliga för hälsan eller ge besvärande lukt”.
- Ventilationssystemet ska bidra till ett bra inomhusklimat som tillför tillräckligt med uteluft, för bort luftföroreningar och utformas för att förhindra spridning av luftföroreningar mellan rum.
- Vid stillasittande arbete ska ventilationsflödet vara minst 7 l/s och person samt 0,35 l/s och m<sup>2</sup> uteluft.

### **3.1.3 Folkhälsomyndigheten**

Sedan 2014 har Folkhälsomyndigheten tagit över Socialstyrelsens vägledning om ventilation och de presenteras i FoHMFS 2014:18 Ventilation (Folkhälsomyndigheten, 2020c). De har även publicerat förtydliganden av angivna riktvärden. Detta är allmänna vägledande råd, inte tvingande krav, med syfte att upprätthålla god luftkvalitet och minska risk för olägenhet för människors hälsa (Folkhälsomyndigheten, 2014).

FoHMFS 2014:18 anger följande allmänna råd för skolor:

- Uteluftsflödet bör inte understiga 7 l/s och person samt 0,35 l/s och m<sup>2</sup>.
- För verksamhetens normala användning bör inte koldioxidhalten överstiga 1000 ppm.
- Vid utformning av ventilation ska följande beaktas; antal personer i lokalen, möjligheter att vädra, verksamhet, tid för vistelse samt rutiner för vädning.

## **3.2 Tekniska Krav och Anvisningar för skolor i Göteborg**

Denna rapport utgår från Göteborgs skolor och förvaltning med antagandet att dessa kan spegla motsvarande byggnadsbestånd i resterande delar av landet. De förutsättningar som anges är baserade på den typiskt utformade skolan i Göteborgsområdet.

### **3.2.1 Utformning enligt gällande TKA**

Vid nybyggnad av grund- och gymnasieskolor i Göteborg gäller Tekniska Krav och Anvisningar, TKA, utformade av Lokalförvaltningen som är en del av Göteborgs Stad (Lokalförvaltningen, 2021). Nuvarande TKA har varit gällande i ca 3-4 år och en uppskattning av Lokalförvaltningens enhet för Energi, Innemiljö och Installationer är att nuvarande TKA omfattar ungefär 3 procent av deras egenägda fastigheter (i antal).

I underlag från Lokalförvaltningen uppges att ett typiskt klassrum har en area på cirka 60 m<sup>2</sup> och är dimensionerat för 30 elever.

Skolor som ägs och förvaltas av Lokalförvaltningen, vilka följer gällande TKA, förses med variabelflödessystem, VAV, se Kapitel 6.2 Behovsstyrd ventilation. Systemet är utformat för att bibehålla luftflödesbalans inom zoner med flera rum. Tilluft tillförs i lektionssalar och frånluft tas, via överluftsdon, med central frånluft i korridor och andra mindre utrymmen. Rum med särskild risk för luktöverföring eller hög föroreningsalstring som naturkunskaps-, hemkunskaps-, slöjdsalar etcetera ska utformas med balanserad till- och frånluft i rummet. Slöjdsalar ska dessutom förses med luftrenare i rummet för att säkerställa att partikelhalten inte blir för hög. Toaletter förses med konstantflödesdon. Tilluften ska vara undertempererad och utformas för omblandande ventilation. I VAV-system ska tilluftstemperaturen ha en inblåsningstemperatur på +14°C och i kombinerade system, med både VAV och CAV, ska den vara +18°C. Då TKA inte har något krav på kylbatteri kan inblåsningstemperaturen komma att vara högre när utemperaturen överstiger +14°C respektive +18°C. Luftflödet styrs av temperatur och koldioxid i rummet med ett grundflöde på 80 l/s och möjlighet att forcera upp till 240 l/s, vilket motsvarar ca 5 oms/h, luftomsättningar per timme. Värme och ventilation styrs i sekvens på rumsnivå med ställdon på radiatorer. Luftbehandlingsaggregat med roterande värmeväxlare ska användas. För allmänventilation ska den vara sorptionsbehandlad vilket innebär att den återvinner både fukt och värme, se Kapitel 5.1 Fuktöverförande värmeväxlare.

### 3.2.2 Äldre utformningar i skolor

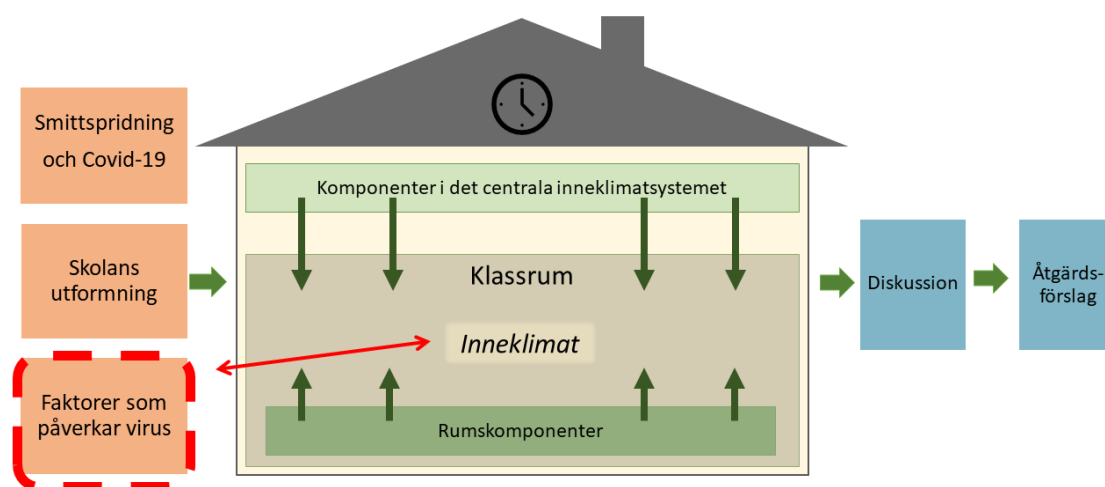
Enligt en uppskattning av Lokalförvaltningens enhet för Energi, Innemiljö och Installationer är fördelningen av ventilationssystem utformning samt tidigare ventilationslösningar, angivet i procent, av lokalförvaltningens egenägda byggnadsbestånd följande:

- Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX) cirka 80-85 %
- Frånluftssystem (F) cirka 10 %
- Självdrag (S) mindre än 1 %
- Mellan år 2010-2018 projekterades och byggdes skolor med VAV-system med balanserad till- och frånluft i respektive rum. Byggnader med denna utformning motsvarar ca 5 % av lokalförvaltningens byggnadsbestånd. Detta skiljer sig från aktuell TKA som har balans inom olika zoner bestående av ett flertal rum.
- Skolor som byggdes och projekterades före år 2010 är utformade med konstantflödessystem, CAV, varav vissa med utetemperaturkompensering för att undvika överventilering.
- Fuktöverförande, sorptionsbehandlad, rotor har endast använts i senaste TKA. Äldre skolor har endast värmeöverförande växlare.

Ekberg & Sarka gjorde 2020 en inventering av inneklimat på 21 skolor i Göteborgsområdet. Det visades att i skolor med självdrag eller mekanisk frånluft, CAV och Demand Controlled Ventilation (DCV) varierade luftomsättningen mellan 0-2 oms/h, 2-3,8 oms/h respektive 3-5 oms/h (Personlig kommunikation Ekberg, 26 mars 2021).

## 4 FAKTORER I LUFTEN SOM PÅVERKAR SPRIDNING AV VIRUS

För inneklimatet ska luftkvalitet, termiskt klimat och luftrenhet beaktas utifrån verksamhet och dess aktivitet med människans välbefinnande i fokus. Luftkvalitet är viktigt för att människor ska trivas och det påverkar även vår prestationsförmåga (Abel & Elmroth, 2016). I dagens läge, med utbredd samhällsspridning, har innemiljöer hamnat i fokus i och med att risken att smittas där är betydligt högre än utomhus. I detta kapitel beskrivs hur inneklimatets olika faktorer påverkar både människor, virus och smittspridning.



Figur 5 Flödesschema – Faktorer som påverkar virus

### 4.1 Luftkvalitet

Kvaliteten på luften i innemiljön är viktig då vi spenderar 90 % av vår tid inomhus (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Att fastställa vad bra luftkvalitet innefattar är ett omdebatterat ämne. Exempelvis anger Arbetsmiljöverket att ”luftkvaliteten ska vara tillfredställande” men följer upp med att det inte finns någon officiell definition för vad det innebär (Arbetsmiljöverket, 2020).

Ett vanligt sätt att mäta luftkvalitet är att mäta koldioxidhalt i rummet. Det finns andra föroreningar som vi människor släpper ifrån oss i inomhusluften men som ökar proportionellt med koldioxidhalten (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Folkhälsomyndigheten anger gränsvärdet 1000 ppm för skolor (Folkhälsomyndigheten, 2020c). Luftföroreningar kan även uppstå från matlagning, husdjur samt frigöras från ytor. Exempelvis kan en nybyggnation alstra mer föroreningar från nya material eller nymålade ytor och då kan det vara värt att överväga inredning som innehåller mindre skadliga ämnen (Camfil, 2018). Enligt Boverkets byggregler, BBR, ska luften inte innehålla koncentration av föroreningar som kan ha negativ inverkan på människors hälsa (Boverket, 2020a). Vidare anger BBR att installationer ska utformas så att olägenhet för människors hälsa kan undvikas. Folkhälsomyndigheten uttrycker på liknande sätt, med hänvisning till kap 2. 3§ miljöbalken, att den som är ansvarig för

verksamhetens lokaler ska säkerställa luftkvaliteten enligt försiktighetsprincip vid ”en risk för olägenhet för människors hälsa” (Folkhälsomyndigheten, 2020c).

Sammanfattningsvis kan luftkvaliteten uttryckas som koncentrationen av föroreningar i inomhusmiljön och en bra luftkvalitet ska vara ”tillfredsställande”. Koldioxidhalten i inomhusmiljön blir sällan farlig för oss människor utan vad man dimensionerar utifrån då, enligt Arbetsmiljöverket, är att undvika besvärande lukt som bildas när flera människor sitter i samma rum under en längre period (Arbetsmiljöverket, 2020). Människorna i rummet märker oftast inte av den unkna lukten utan det är först när en ny person kommer in i rummet som det är noterbart.

## 4.2 Temperatur och termisk komfort

När man ska beskriva inneklimat är termisk komfort ett viktigt begrepp. Termisk komfort är då en person är nöjd med det rådande termiska klimatet. Alltså då personen tycker att det varken är för varmt eller för kallt. Eftersom upplevelsen är individuell är det omöjligt att få alla att uppleva termisk komfort samtidigt, även om de skulle ha på sig samma kläder och upprätthålla samma aktivitetsnivå (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

De faktorer som påverkar uppfattningen om det termiska klimatet är luftens temperatur, lufthastighet i rummet, omgivande ytors temperatur och luftens fuktighet. Utöver detta påverkar klädsel samt aktivitetsnivå. Upplevd termisk komfort bidrar till andra fördelar som kan vara viktiga, speciellt i en skolmiljö. I en fältstudie 2006 undersökte två forskare från Danmarks Tekniska Universitet hur temperatur och luftutbyte påverkade elevers prestationsförmåga i skolan. De genomfördes vid upprepade tillfällen och i olika kombinationer av lufttemperatur och tilluftsflöde. Studien visade att en lägre lufttemperatur och högre luftutbyte ökade elevernas prestationsförmåga med avseende på hur snabbt de genomförde uppgifterna och antal fel. Prestationshöjningen var större än vad som studerats vid kontor för vuxna, vilket indikerar att barn möjligtvis skulle vara mer mottagliga för variation av inneklimatet (Wargocki & Wyon, 2006).

## 4.3 Temperatur och smittspridning

Lufttemperatur har visats ha effekt på aerosolers tid i luften och virus förmåga att överleva (Ehrlich et al., 1969). Lowen et al. (2007) genomförde en undersökning på marsvin för att se hur luftens fukthåll och temperatur kan påverka en influensa. De använde sig av influensavirus A som är vanligt förekommande under vinterhalvåret vilket var den virustyp som orsakade bland annat Spanska sjukan (Folkhälsomyndigheten, 2020e). Lowen et al. kunde dra slutsatsen att lufttemperatur inte påverkar vårt immunsystem på något sätt utan det påverkar bara det faktiska viruset. De kunde se att en lägre lufttemperatur på 5°C ökade utsöndringen av viruspartiklar från ett smittat marsvin samt att varaktigheten för utsöndringen var högre jämfört med vid 20°C. De menar att detta kan vara en av faktorerna till varför smittor sprids snabbare i kallare klimat.

Gällande SARS-CoV-2 har Huang et al. (2020) undersökt hur utetemperatur påverkar spridningen i sin rapport *Optimal temperature zone for the dispersal of COVID-19*.

Utifrån jämförelser av antalet spridningar, utomhustemperatur och plats har de kunnat dra följande slutsatser. Huang et al konstaterar att 60 % av smittade fall har skett då utetemperaturen är mellan 5-15°C. Utifrån resultaten av rapporten kunde Hung et al, i maj 2020, konstatera att en andra våg troligen skulle komma under hösten då utetemperaturen sjunker. De drog även slutsatsen att flest fall inträffar på lägre breddgrader där temperaturvariansen var runt 8 °C under en dag. Deras resultat tyder på att sannolikheten för att någon blir smittad sjunker avsevärt när temperaturen är under 5 °C och över 30 °C. Sannolikheten för att någon blir smittad är som störst vid 12°C.

**Onödigt men oh så intressant:**

Insjukna i Covid-19 har haft olika kroppstemperaturer under insjuknandet vilket har visats påverka antalet dödsfall. Zhou et al. (2021) undersöker temperaturen kopplat till våra lungor och konstaterat att vid dödsfall har kroppstemperaturen legat under 37°C och vid de fall där en person överlever har temperaturen varit något över 37°C. Detta beror på att vid temperatur mot 40°C har SARS-CoV-2 svårare att regera med enzymerna i våra lungor. Detta är dessvärre inget som går att påverka med hjälp av inomhusklimatsystemet.

#### 4.4 Har luftfuktighet inverkan på virus och människor?

Ett sätt att beskriva luftfuktighet är med relativ fuktighet, RH, eftersom mängden vattenånga som luften kan innehålla, mättnadsånghalten, varierar med temperatur. I nordiskt klimat ligger RH i utomhusluften omkring 65-90 % året om medan det absoluta fukttinnehållet, AH, varierar. När den kalla uteluften värms är AH i luften konstant men RH i tilluften kan bli mycket låg vilket illustreras i molliardiagram i appendix A. Det leder till att RH kan vara mindre än 20 % i luften inomhus när det är som kallast ute. Mängden fukt i inomhusluften är summan av fukttinnehållet i utomhusluften samt fuktillskott, från människor och deras aktiviteter, i byggnaden (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Peder Wolkoff har studerat hur fuktighet i inomhusklimatet påverkar luftkvalitet och hälsa. För människor anses ett optimalt spann ligga mellan 40-60 % RH (Wolkoff, 2018, Warfvinge & Dahlbom, 2010). REHVA menar att en luftfuktighet mellan 20-30 % RH kan vara fördelaktig men att högre luftfuktighet medför risk för kondensering och inga ytterligare fördelar. Låg RH torkar ut våra slemhinnor och hud vilket i sin tur gör människan mer mottaglig för infektion (Seppänen, 2021). Virus som torkat ut till aerosoler är mer stabila och överlever bättre vid låg RH. Wolkoff betonar i sin studie komplexiteten i virus och att detta måste analyseras för varje specifikt virus.

Lowen et al. (2007), som nämndes i kapitel 4.3 Temperatur och smittspridning, beaktade även fuktens inverkan på smittspridning hos marsvin med influensavirustyp A. Lowen et al. kunde dra slutsatsen att fukt inte påverkar utsöndringen av viruspartiklar hos ett smittat marsvin. Däremot påverkade fukten marsvinens

motståndskraft till att bli smittade. Vid låga fukthalter så som 20-35 % RH smittades tre eller fyra av fyra marsvin och vid fuktighet över 50 % RH smittades endast en av fyra marsvin. Över 80 % RH smittades inget marsvin alls. Slutsats som kunde konstateras var att smittan ökar vid lägre fukthalter.

Lin och Marr beskriver i sin studie, *Humidity - Dependent Decay of Viruses, but Not Bacteria, in Aerosols and Droplets Follows Disinfection Kinetics* (2020), de generella sambanden mellan luftfuktighet och spridning av virus samt hur virus påverkas av den relativa fuktigheten. Studien visar att RH har en tydlig inverkan på virus och att när RH är lägre än 33 % och vid mycket hög RH ökar virus möjlighet att spridas och överleva exponentiellt medan dess livskraft är betydligt lägre i spannet däremellan. Samband har också setts mellan låg AH utomhus och ökat antal fall av SARS-CoV-2 under en period med uppvärmningsbehov. 73,8 % av bekräftade fall var i regioner med AH mellan 3-10 g/m<sup>3</sup> (Huang et al., 2020). Med bland annat studien av Lin och Marr samt Huang et al. som grund har tre forskare från Libniz och New Deli studerat hur RH påverkar SARS-CoV-2 (Wiedensohler et al., 2020). Deras slutsats är att en minimigräns på 40 % RH bör standardiseras i inomhusmiljön, på samma sätt som vid reglering av temperatur och partikelhalter. Detta är särskilt viktigt i regioner med kallare klimat.

En annan aspekt som måste beaktas är hur fukt rör sig från och in i byggnadsmaterial. Fukttillskott i byggnaden leder till en ökad differens i ångtryck över dess yttre konstruktionsdelar vilket, vid höga mängder och längre tidsperioder, kan leda till att fukt tränger djupare in i konstruktionen. Det kan orsaka fuktskador, tillväxt av kvalster och mögel samt ökade emissioner från byggnadsmaterial (Abel & Elmroth, 2016). Detta aktualiserades särskilt i samband med sjuka hus-sjukan på 80-talet där bland annat dålig ventilation och hög fuktighet tros ligga bakom många av de hälsoproblem som kopplades till fenomenet. Enligt flera undersökningar är detta mer förekommande på arbetsplatser än i bostäder och drabbar oftare kvinnor och personer med allergiska besvär (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Idag kallas det ospecifik byggnadsrelaterad ohälsa. Flera teorier om allergier som orsakades av detta dementerades under 90-talet men rädslan för fukt i byggnader är fortfarande stor (Wold, 2017).

I samtal med Timo Schreck, Business Development Director Systems and Technology på Swegon, presenterades resultat från fuktstyrning i kontor (*Personlig kommunikation* Schreck, 2021). Syftet var att, genom enkla medel, testa vilken nivå av relativ fuktighet som kunde bibehållas i rummet vid kall väderlek (från 10°C ner till -15°C). De använde sig av befuktning i rum samt fuktöverförande roterande värmeväxlare vilket implementerades på kontor i både norra och södra Sverige. I kontor beläget i norra Sverige kunde fuktighet mellan 20-30 % RH uppnås men inte 40 % RH. Detta kan bero på kapacitet i befuktaren men även att fukt i större utsträckning trängt in i konstruktionen. I södra Sverige kunde 40 % RH bibehållas.

## **4.5 Samband mellan luftföroreningar och Covid-19**

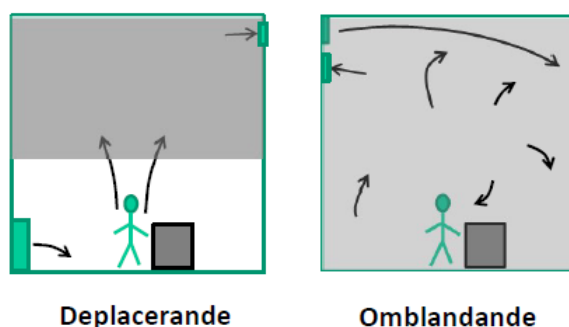
Flera forskare runt om i världen har undersökt om det finns ett samband mellan luftföroreningar och insjuknande i Covid-19. De har fokuserat på partiklar med diameter 2.5 och 10 mikrometer, även kallat PM2.5 och PM10, och förorening av bland

annat kvävedioxid och svaveldioxid. Långvarig exponering av dessa kan påverka lungor och leda till andningsbesvär och lungsjukdomar. Forskare i Toronto tittade på rapporterade fall av Covid-19 i Tyskland i kombination med luftföroreningar, temperatur och befolkningstäthet. De hittade samband mellan långvarig exponering för kvävedioxid och ökat antal fall av Covid-19 med flera beräkningsmodeller. De kunde inte fastställa samma samband mellan svaveldioxid, PM2.5 och PM10 (Haug & Brown, 2021). Samma slutsats drogs av forskare i England som undersökte kvävedioxid och PM2.5 (Konstantinoudis et al., 2021). Konstantinoudis et al. hittade en viss ökad risk vid långvarig exponering för PM2.5 och påvisade att flera liknande studier hittat samma samband med men det var stor variation i hur mycket risken ökade. De menar att sambandet är svagt och att det råder stor osäkerhet kring resultaten. Studien i England samt en liknande studie i Italien (Fiasca et al., 2020) utfördes under ett senare skede av pandemin och omfattade ett längre tidsspann, mars till oktober. Resultatet från dessa studier skiljer sig något från den tidigare nämnda studien i Tyskland samt en liknande i Kina (Zhu et al., 2020) som utfördes i det initiala skedet av första vågen, april 2020. Exempelvis påvisade studien i Kina samband mellan både de olika partikelstorlekarna samt en rad föroreningar medan detta dementerades av de studier som utfördes under ett längre tidsspann.

Sammanfattningsvis råder konsensus att långvarig exponering av kvävedioxid kan bidra till insjuknande, större antal sjukhusvistelser och ökad dödlighet av Covid-19. Huruvida PM2.5 bidrar till Covid-19 är inte lika tydligt och studierna har dragit olika, motsatta, slutsatser kring det. Forskare i Italien menar att riktade åtgärder i områden med dålig luftkvalitet kan ha en avgörande inverkan på antal fall av svårt sjuka i Covid-19 (Fiasca et al., 2020).

## 4.6 Luftföringsprinciper och luftomsättning

I kommersiella byggnader används två luftföringsprinciper, omblandande ventilation eller deplacerande ventilation, se figur 6. I dag är omblandande ventilation dominerande i skolor men historiskt har även deplacerande varit vanligt förekommande.



Figur 6 Princip för deplacerande och omblandande ventilation (Personlig kommunikation Ekberg, 26 mars 2021)

I rum med omblandande ventilation, där tilluften tillförs som en stråle med hög hastighet och blandas med rumsluften, kan partikel- och viruskoncentration antas homogen. Vid beräkning av sannolikhet för smittspridning utifrån antal luftomsättningar tas det hänsyn till partiklars faktiska uppehållstid vid fullständigt



omblandande ventilation. På grund av den omblandande effekten så byts endast 63 % av luften ut för varje luftomsättning (Abel & Elmroth, 2016). Det betyder att ett rum med 2 oms/h så är  $0,37^2 = 13\%$  av den ursprungliga luften och partiklar kvar i rummet efter en timme. I Diagram 1 nedan visas hur stor andel av luften som byts ut efter tid beroende på tilluftsflödet, angivet i luftomsättningar per timme. Efter att 95 % av luften byts ut i rummet planar kurvan ut vilket betyder att ytterligare tid inte kommer ha någon ytterligare effekt för minskad risk för smittspridning.

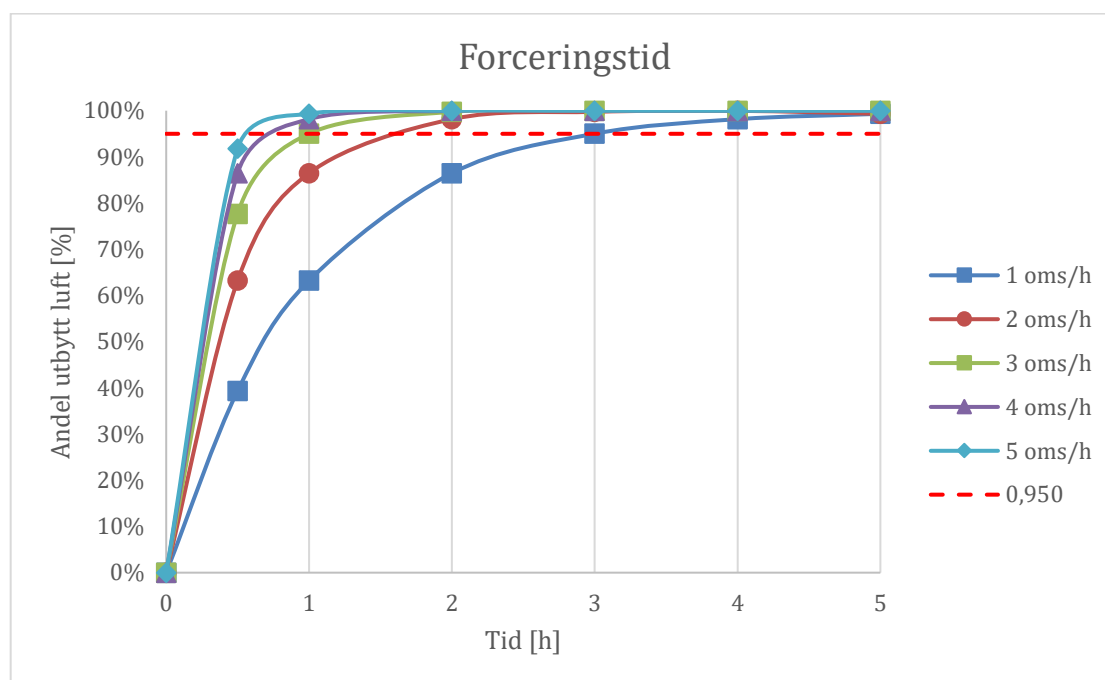


Diagram 1 Luftutbyte efter tid

Vid deplacerande ventilation tillförs undertempererad tilluft med låg hastighet nere vid golvet i rummet. När luften möter en värmekälla värms den upp och stiger mot taket där frånluften är placerad (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Värmeconvektion från en människa skapar en luftrörelse med en hastighet på cirka 0,3 m/s. Teoretiskt sett innebär det att virus som utsöndras av en person inte kommer spridas mellan människor eftersom luften endast flödar vertikalt. I verkligheten skapas luftrörelser inte bara av människors värmeconvektion utan även när de pratar och rör sig samt att luftströmmen störs av inredning i rummet vilket innebär att omblandning kommer att ske (Bhagat et al., 2020). För att värme och föroreningar ska stanna vid taket krävs att ventilationsflödet är tillräckligt stort, se figur 7. Annars kommer den termiska plymen att vända neråt igen. Utrymmet ovanför personer i rummet behöver vara tillräckligt stort för att rymma skiktet med föroreningar så att de inte hamnar i den höjd där inandning sker (Personlig kommunikation Ekberg, 26 mars 2021).

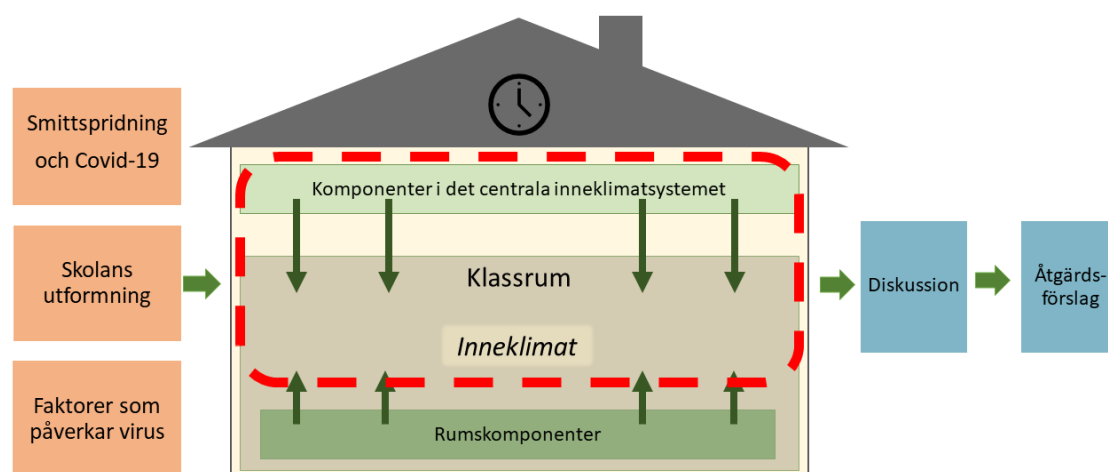


*Figur 7 Den termiska plymen vid deplacerande ventilation (Personlig kommunikation Ekberg, 26 mars 2021)*

Vid lägre luftomsättning kan vädring vara ett bra komplement till luftombyte. Hur stor effekt vädring har på den totala luftomsättningen är svårt att mäta då det beror på storleken på öppningen, temperaturskillnaden mellan inne- och utomhusluften, vindriktning och frånluftsfläktens kapacitet etcetera. Ett effektivt sätt att vädra är genom att skapa tvärdrag. Nackdelen med vädring är att det inte alltid går att göra. I Sverige är klimatet generellt för kallt för att vädra och av den anledningen går det bara att vädra korta stunder. I andra länder kan det vara tvärt om, att det är för varmt utomhus. Ett annat problem är pollensäsongen som varar under våren i Sverige och enligt Astma och Allergiförbundet påverkas cirka 30 % av befolkningen av detta (u.å).

## 5 KOMPONENTER I DET CENTRALA INNEKLIMATSYSTEMET

I detta kapitel kopplas faktorer som kan påverka smittspridning av virus och människors hälsa till komponenter i det centrala inneklimatsystemet. Vidare kommer även komponenter i rummet diskuteras men detta kapitel fokuserar endast på centrala komponenter.



Figur 8 Flödesschema – Komponenter i det centrala inneklimatsystemet

### 5.1 Fuktöverförande värmeväxlare

En fuktöverförande värmeväxlare, även kallad hygroskopisk eller entalpiväxlare, återvinner både fukt och värme (Persson & Håkansson, 2019). Den totala mängden energi som återvinns ökar väsentligt och fuktåtervinningen bidrar till en högre luftfuktighet i inomhusklimatet vilket är gynnsamt för människors slemhinnor och luftvägar, se kapitel 4.4 Luftfuktighet. En fuktöverförande värmeväxlare kan höja mängden fukt i inomhusmiljön och därmed avsevärt minska antalet timmar då den relativa fuktigheten är lägre än 20 % (Seppänen, 2021). På sommaren återvinner värmeväxlaren kyla och minskar fukten i tilluften. På så sätt minskar behovet av installerad kyleffekt (Persson & Håkansson, 2019).

I en roterande värmeväxlare behandlas rotorns yta kemiskt för att möjliggöra fuktöverföring, så kallad sorptionsbehandling. Ytbehandlingen skapar små porer där vattenånga fäster genom adsorption och drivkraften är differensen i ångtryck mellan frånluften, ytbehandlingen och tilluften (Fläktgroup, 2018). I beräkningsexempel från Fläkt Group (2018), med deras hygroskopiska rotor RegAsorp, anges att den relativa fuktigheten inomhus kan öka från 15 % till 30 % under vinterförhållanden genom fuktåtervinning. Detta baseras på beräkning med Fläkt Group produktvalsprogram Acon med en temperaturverkningsgrad på 80 % och fuktverkningsgrad på 75 % (FläktGroup, 2021) och illustreras i Mollierdiagram nedan, diagram 2. När luft värms i en värmeväxlare utan fuktåtervinning kommer dess tillstånd att förändras från punkt 1 till punkt 2. Den absoluta fuktigheten är konstant på cirka 2 g/kg medan den relativa

fuktigheten sänks från cirka 90 % RH till 10 % RH. Med en fuktöverförande värmeväxlare sker motsvarande tillståndsförändring från punkt 1 till punkt 3 vilket resulterar i en ökad absolut fuktighet på cirka 4,5 g/kg och en relativ fuktighet på 30 % RH i punkt 3.

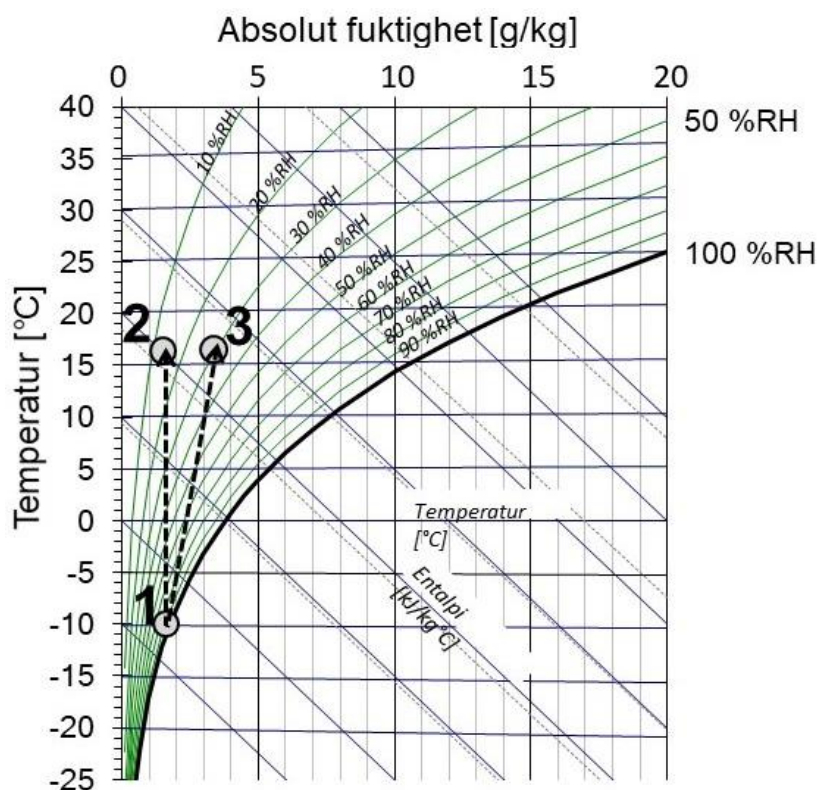


Diagram 2 Mollierdiagram – jämförelse mellan värmeförande växlare samt fuktöverförande värmeväxlare. Omarbetad efter personlig kommunikation Ekberg (16 april 2021)

I platt- eller motströmsvärmewäxlare med fuktöverföring består det luftskiljande lagret av aluminiumplattor, på samma sätt som i växlare med endast värmeöverföring, och ett fuktöverförande membran. Detta membran läggs som ett lager på perforerade aluminiumplattor. Dessa kan ha en fuktverkningsgrad på 60-80 % och torr temperaturverkningsgrad över 73 % (Polybloc, 2019).

Den kemiska ytbehandlingen i roterande värmeväxlare och membranet i platt- och motströmsvärmewäxlare är särskilt utformade för att endast möjliggöra att små vattenmolekyler överförs. Teoretiskt innebär detta att virus och flyktiga organiska föreningar, även kallat VOC, inte ska kunna överföras.

### 5.1.1 Luftläckage i luftbehandlingsaggregat

I luftbehandlingsaggregat finns det risk för internt luftläckage mellan luftflödena. Genom att säkerställa rätt tryckdifferens, fläktposition samt tätningar, exempelvis vid filter och mellan aggregatdelar, kan denna risk minimeras. I roterande värmeväxlare finns det dessutom risk för läckage över växlaren vilket enligt tillverkare anges vara cirka 2-5 % (Jensen, 2008). Mätningar utförda av Lars Ekberg, adjungerade professor i inneklimateknik vid Chalmers tekniska högskola, visade att luftläckaget i ett nyinstallerat aggregat var mindre än en procent medan det kunde vara cirka 2,5 % i

äldre aggregat (*Personlig kommunikation* Ekberg, 23 april 2021). För att minimera detta flöde används en renblåsningssektor som ställs in utifrån luftflöde, djup på rotorn samt rotorns högsta varvtal (Lawrence & Schreck, 2020). Lawrence och Schreck menar att med en korrekt inställd renblåsningssektor vid den roterande värmeväxlaren kan denna risk elimineras. Renblåsningsflödet motsvarar cirka 5 % av ventilationsflödet.

REHVA har, i samband med utbrottet av Covid-19, publicerat ett kompletterande dokument, *Limiting internal air leakages across the rotary heat exchanger*, och menar att risken för att potentiellt smittade patogener överförs till tilluften är mycket låg och i praktiken försumbar. En viktig faktor för att uppnå detta är att det är ett övertryck om minst 20 Pa mellan till- och frånluftsdel i luftbehandlingsaggregatet (REHVA, u.å.).

## 5.2 Reningsmetoder för tilluft

Det finns flera olika metoder för att rena och säkerställa rätt luftkvalitet på tilluften. Vanligt är något typ av filter men det finns även reningsmetoder på marknaden som varit omtalade i samband med Covid-19. Detta delkapitel börjar med en bakgrund på filter, innefattande teorin bakom filter samt olika typer och dess användning. Vidare tas andra reningsmetoder upp.

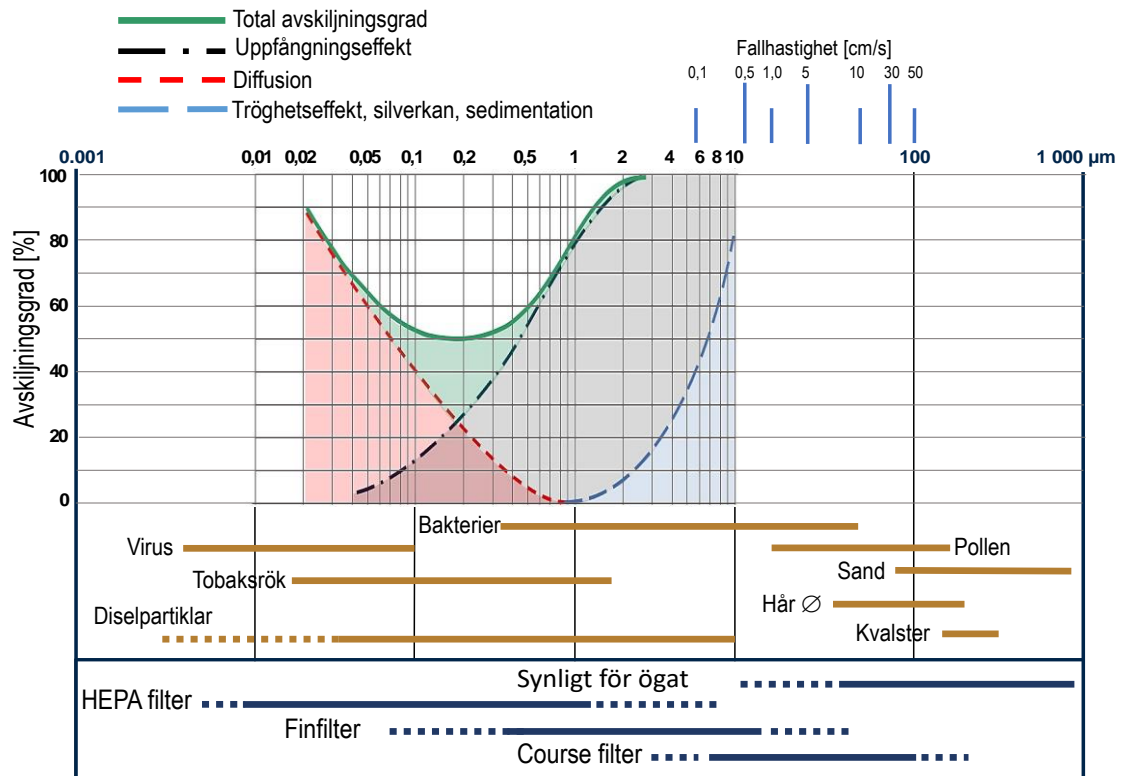
### 5.2.1 Luftfilter

För att säkerställa luftkvalitet i tilluft samt skydda komponenter i luftbehandlingsaggregatet används filter på både till- och frånluft men även i luftrenare i rummet. Filtertyp och klass väljs utifrån luftföroreningar i utomhusluften samt krav på luftkvalitet i inomhusmiljön (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Enligt Persson och Håkansson kan filtrering ske mekaniskt, genom (Persson & Håkansson):

- Silningseffekt – *Partiklar fastnar mellan fiber i filtermaterialet (större partiklar).*
- Tröghetseffekt – *Partikeln följer inte luftströmmen runt fiber utan kolliderar och fastnar på det (större partiklar).*
- Uppfångningseffekt – *Små partiklar fastnar på fiber genom van der Waals-kraft när de passerar med luftströmmen.*
- Diffusionseffekt – *På grund av små partiklars slumpmässiga rörelse, Bowenskö rörelse, attraheras de av fiber och fastnar med van der Waals-kraft.*

De olika filtreringsmekanismernas verkningsområde och total avskiljningsgrad, ett urval av partikelstorlekar, fallhastighet samt vilken typ av filter som är lämpligt visas i figur 9 nedan.



Figur 9 Storlek och fallhastighet för olika partiklar samt inom vilken storlek respektive filtreringsmekanism och filtertyp verkar. Omarbetad efter personlig kommunikation Ekberg, (26 mars 2021) och Camfil (21 april 2021). Använd med tillstånd

Utöver de mekaniska filtreringarna finns även elektrostatiske filtrering vilket exempelvis kan innebära att filtermediet har en elektrostatiske laddning och attraherar joniserade partiklar (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Laddningen påverkas av fukt och smuts vilket gör att dess filtreringseffekt avtar med tiden, från cirka 90 % till 20 % (Shi & Ekberg, 2015). Den totala partikelavskiljningsgraden är resultatet av dessa filtermekanismer vilket visas i figur 9 ovan. Större partiklar filtreras bättre av silning- och tröghetseffekt medan mindre partiklar filtreras bättre av diffusionseffekt. Beteckningar för klassificering av filter skiljer sig mellan olika standarder och uppdatering av dessa. I detta kapitel benämns olika filterklasser och översättningstabell av dessa finns i Appendix B.

### 5.2.1.1 Finfilter

Finfilter används vanligtvis på till- och frånluft i kommersiell verksamhet, exempelvis skola och kontor, samt bostäder. Finfilter klassas enligt ISO 16890 och delas in i tre klasser, ePM10, ePM2.5 och ePM1. För att bestämma vilken filterklass ett finfilter har mäts hur stor massa av partiklar, Particulate Matter, i olika storlekar det kan filtrera bort. För att få klassas som ett ePM1 filter krävs det att minst 50 % av partikelmassan av storleksfraktion 0,3-1 µm filtreras bort, samt att avskiljningen för de lägre filterklasserna ePM10 och ePM2,5 uppfylls. För att specificera ytterligare anges procentsatsen, avrundat neråt i 5 % intervall, för den aktuella klassen (Camfil, 2021c).

### **5.2.1.2 HEPA-filter**

High Efficiency Particulate Arresting filter, även kallat HEPA-filter, används normalt där krav på luftrenhet är hög, såsom sjukhus eller labbmiljöer, där det är viktigt att eliminera snarare än minimera partiklar. HEPA-filter används även i rumsrenare och om det finns återluft eller recirkulation (Warfvinge & Dahlblom, 2010). De klassificeras, enligt SS-EN 1822-1:2019, utifrån hur effektivt de kan filtrera bort den mest penetrerande partikelstorleken, så kallad Most Penetrating Particle Size, MPPS. Denna partikelstorlek hamnar i ett spann där effektiviteten av de olika filtreringsmekanismerna är som lägst och är därmed särskilt svåra att filtrera bort. Partiklar som är mindre och större än MPPS har således en högre avskiljningsgrad än den som angivits vid klassificeringen. För HEPA-filter ska avskiljningsgraden vara högre än 99,95 % (SiS, 2019).

### **5.2.1.3 Elektrostatfilter**

I elektrostatfilter laddas partiklarna positivt innan de attraheras av plattor med varannan negativt och positivt laddad. De positivt laddade plattorna repellerar de positivt laddade partiklarna mot de negativt laddade plattorna. Elektrostatiska filter har ett stort partikelavskiljningsspann, från 0,01 µm till 10 µm och lågt tryckfall men sämre filtreringseffektivitet än mekaniska filter. Elektrostatiska filter har en lång livstid och i kommersiella fastigheter rengörs de en eller ett par gånger om året beroende på nedsmutsning (Persson & Håkansson, 2019). När den elektriska spänningen i elektrostatfilter är för hög kan ozon genereras vilket är skadligt för människors hälsa vid för höga halter (Xiang et al., 2016).

### **5.2.1.4 Jonisering**

Jonisering fungerar likt elektrostatisk filtrering genom att skicka ut positivt och negativt laddade joner före filter i luftbehandlingsaggregatet. Dessa joner har potential att inaktivera virus. Filtrering med jonisering innebär att joner attraherar partiklar och aerosoler i luften som klumpas ihop för att filtreras bort (William Bahnfleth & Michael Kaiser, 2020). Att de klumpas ihop gör att ett filter med lägre filterklass kan användas vilket ger ett lägre tryckfall. I långtidstest utförd av Shi och Ekberg (2015) konstaterades att filtereffektiviteten kunde höjas med 20 procentenheter i jämförelse med ett syntetiskt M6 filter som endast har en initial laddning. Detta motsvarar kravet för ett F7 filter men med 25-33 % lägre tryckfall över filtret. De kunde se att filtreringseffektiviteten minskade med ökad fukthalt, lufthastighet över filtret samt filtrerad smuts i filtret. Vidare kunde de konstatera att mängden ozon som genererades av joniseringen var mycket liten. I dagsläget finns begränsad mängd information om huruvida jonisering har effekt mot Covid-19 samt att ozon kan alstras då den elektriska spänningen blir för hög, vilket är en fara för hälsan (EPA, 2021).

### **5.2.1.5 Luftfilter och smittspridning**

I en fallstudie har det visat sig att ökad filterklass i luftbehandlingsaggregat med återluft minskar risken för luftburen smitta av influensa. Det mest kostnadseffektiva uppnåddes med MERV 13 vilket motsvarar ePM1 50 % (ECDC, 2020). I luftbehandlingsaggregatet anses standardfilter, ePM2.5 50 % eller ePM1 50 %, ge ett

tillräcklig skydd då det är ovanligt med virushalter i uteluften (REHVA, 2020a). Avseende filtrering av SARS-CoV-2 och virus över lag är det främst aktuellt i rumsrenare och om återluft inte kan undvikas eftersom viruset avges av människor i rummet. I dessa applikationer krävs HEPA-filer. Rumsrenare diskuteras vidare i kapitel 6.1 Luftrenare.

### **5.2.2 UV-ljus**

Kortvågigt ultraviolett ljus kan desinficera patogener (bakterier och virus) vilket innebär desinficera SARS-CoV-2 (Bierman et al., 2020). UV-ljus har en våglängd på under 300 nanometer som absorberas av patogener, vilka i sin tur skadas av den mängd energi som upptas från ljuset. Detta gör att patogener inte kan föröka sig eller orsaka en infektion. Olika typer av patogener kräver olika lång exponeringstid för att förstöras. UV-ljus kan desinficera ytor som människor har tagit på och motverkar att patogener sprids vidare till nästa person som rör ytan. Detta har använts inom exempelvis sjukvården. UV-ljus kan också desinficera luften. Ofta fungerar det så att UV-ljuset installeras vid undertaket och riktas uppåt där luften cirkulerar. Att ha det riktat direkt mot människor under en längre period skulle skada våra hudceller. Det går också att desinficera luften inne i luftaggregatet genom att UV-ljus installeras i tilluften (Linden, 2020).

Jon Rumohr från The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, berättade i ett webinar (2020) att UV-ljus har bra effekt mot SARS-CoV-2 och att det är möjligt att ta in portabla UV-renare i ett rum när ingen är där för att desinficera ytor. Rumohr fick ett prisförslag på att installera UV i tilluften på deras kontor vilket skulle kosta runt 50 kr per kvadratmeter. Han fortsätter berätta om drift och underhåll av UV-ljus, där lysrören har en livslängd på cirka två år och effektiviteten minskar efter det första året.

Noakes et al. (2015) har gjort en studie på effekten av UV-ljus i taket i en lokal. Detta innebär att UV-lampor placeras ovanför brukarens huvuden och riktas uppåt mot taket för att desinficera patogener som svävar uppåt. I studien har slutsatsen kunnat dras att UV kan vara mer energieffektivt än att öka ventilationen och samtidigt få lika bra minskning av virus i luften.

### **5.2.3 Ozon**

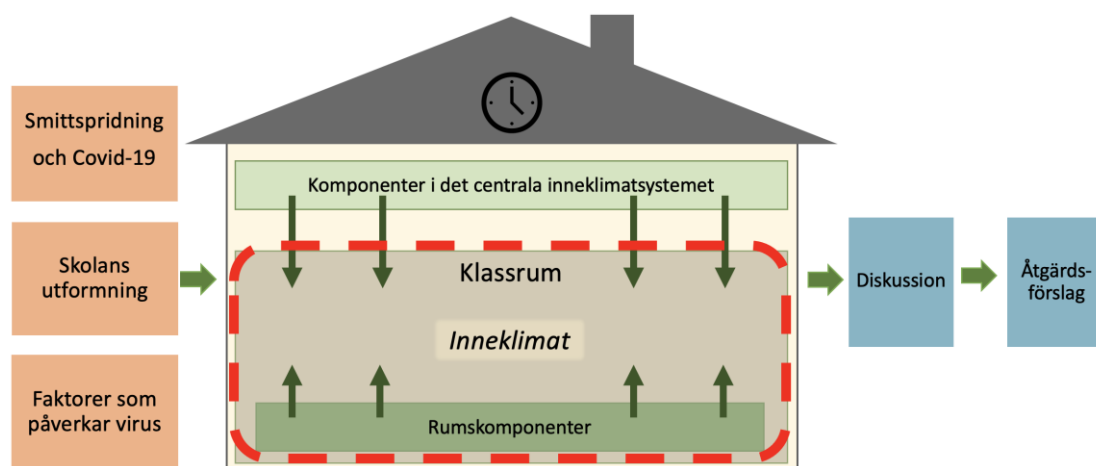
Ozon har en förmåga att dela sönder partiklar i luften genom att kollidera med dem. På så sätt kan luften renas från exempelvis besvärade lukt eller fett. Den typen av luftrening kan användas inom storkök (Ozonventilation, u.å). Det finns dock inga vetenskapliga belägg för att ozon har effekt på SARS-CoV-2 ännu. Ozon är känt för att vara en farlig växthusgas som kan skada vår hälsa genom bland annat inflammation i luftvägarna, nedsatt lungfunktion och slemhinneirritation (Järup et al., 2001). Leverantörer av ozonprodukter garanterar att mängden ozon aldrig är farlig för hälsan så länge produkten blivit installerad på korrekt sätt. Trots detta framgår det ur en enkät, som Annika Brännmark berättar om i tidningen Energi & Miljö (Brännmark, 2020), att ett flertal blivit oönskat utsatta för ozon. Brännmark förklarar också att annat vanligt förekommande problem är att ozonanläggningarna ofta är dåligt uppmärskta. Vidare är



ozon en reaktiv växthusgas som är farlig för miljön i högre halter. Boverket (2020a) säger följande ”Luft som tillförs rum får inte behandlas på ett sätt som medför att luften efter behandlingen är av sämre kvalitet än den uteluft som tillförs i ventilationssystemet” samt att installation av ozonaggregat är en väsentlig ändring och måste anmälas till kommunens byggnadsnämnd (Boverket, 2020b).

## 6 RUMSKOMPONENTER

Som nämnt tidigare så avges virus av människor som befinner sig i rumsmiljön. Detta kapitel fokuserar på rumskomponenter som kan påverka koncentration av viruspartiklar i luften, påverkan på smittspridning samt hur detta ska styras med givare i rummet.



Figur 10 Flödesschema – Rumskomponenter

### 6.1 Luftrenare

Luftrenare kan användas i rum för att minska koncentrationen av partiklar. Det finns många olika typer av portabla luftrenare att placera där människor vistas för att få bättre inomhusmiljö och luftkvalitet. Luftrenare rensar luften från bakterier och virus genom att luften cirkulerar genom ett filter eller något som kan desinficera luften. Vanligt förekommande reningsmetoder är HEPA-filter eller genom jonisering, men det finns också produkter på marknaden som rengör med ozon och UV-ljus. Ett sätt att mäta luftrenares effektivitet är genom "Clean air delivery rate" (CADR), vilket är ett mått på volymen luft som renas utifrån rumsytan. Det anger också hur effektivt vissa specifika föroreningar har avlägsnats. CADR mäts i  $\text{m}^3/\text{h}$  det vill säga att det är bättre med ett högre CADR-värde. Det finns flera kriterier att se till vid val av luftrenare, exempelvis buller, energieffektivitet, underhåll samt ifall det avger farliga restprodukter. Det är också viktigt att se till så luftrenaren placeras på rätt ställe och installation sker enligt anvisningar (Nordic Ventilation Group, 2021). Placering diskuteras mer utförligt i kapitlet 6.1.2.

Gällande luftrenare i klassrum finns det vissa specifika kriterier som är extra viktiga. Luftrenaren måste ha kapacitet för hela rumsarean samt kan inte orsaka för mycket buller. I och med att undervisning ska ske får inte luftrenaren störa eller göra det svårt för elever att koncentrera sig (ASHRAE, 2021b).

Lars Ekberg, adjungerade professor i inneklimatteknik vid Chalmers tekniska högskola, berättar i samtal (8 april, 2021) om uppmätning av luftrenares effekt i skolor. Under 90-talet genomfördes mätningar på fem lågstadieskolor före och efter att luftrenare implementerades. Målsättningen var att minska partikelhalten med 50 % och luftrenarna var utrustade med elektrostatisk luftrening. Mängden partiklar större än 0,3

mikrometer mättes med en optisk partikelräknare. CADR för luftrenarna var ungefär lika stort som ventilationsflödet. Resultatet från de olika skolorna A, B, C, D, E redovisas i diagram 3.

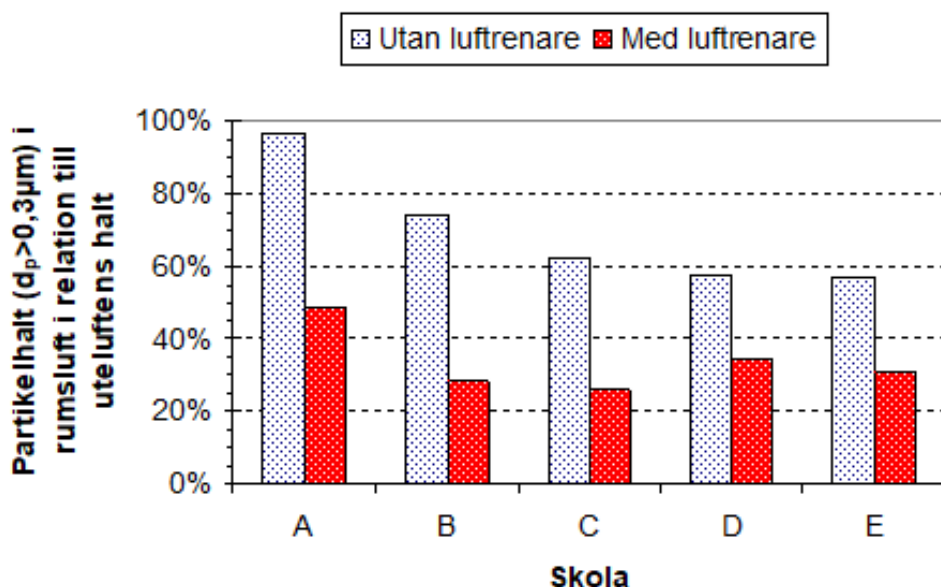


Diagram 3 Partikelhalt med och utan luftrenare (Personlig kommunikation Ekberg, 26 mars 2021)

Utifrån resultatet av mätningen har en förbättring med runt 50 % skett på samtliga skolor. Luftrenare kan alltså ha en betydande stor effekt på partikelkoncentrationen, men det krävs en luftrenare med CADR i ungefär samma storlek som ventilationsflödet i lokalen.

### 6.1.1 Luftreningstekniker

Vanligt är att ha HEPA-filer i luftrenare och med hjälp av en fläkt cirkulera luften genom filtret. HEPA-filer beskrivs mer utförligt i kapitel 5.2.1.2. Att tänka på gällande luftrenare är att det krävs en fläkt, och med tanke på smittspridning kan fläkten bilda luftströmmar som sprider partiklar mellan människor. Detta sker då hastigheten är för hög och kan motverkas genom en luftrenare med stor area på inblåsningsytan.

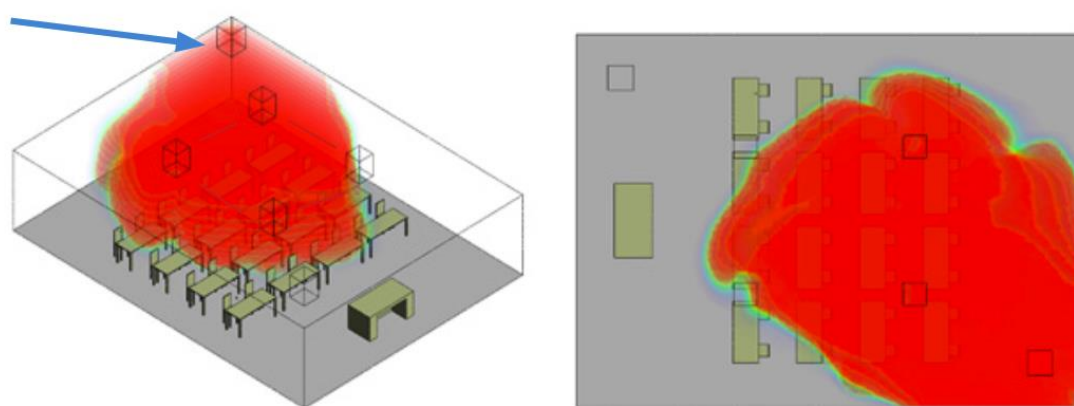
UV-ljusets effekt på virus och bakterier beskrivs i kapitel 5.2.2 UV. Kortfattat desinficerar UV-strålningen patogener på en yta eller i luften. UV i en rumsrenare är möjligt men kräver oftast någon ytterligare reningsteknik för att uppnå tillräckligt hög effektivitet. Exempelvis är det vanligt att kombinera UV-ljus med ett HEPA-filer. Som tidigare nämnt är en nackdel att lampan kan behöva bytas efter 1-2 år (Kerins, 2018).

Luftrenare som använder sig av jonisering/elektrostatisk filtrering fungerar på liknande sätt som beskrivet i kapitel 5.2.1.3 och 5.2.1.4. Luftrenaren skickar ut laddade joner som i sin tur attraherar andra partiklar och på så sätt skapar en större partikel. Den större partikeln inaktiveras av jonerna och faller till golv, attraheras av närliggande ytor eller förs bort av frånluften (ISO-Aire, 2020).

## 6.1.2 Placering

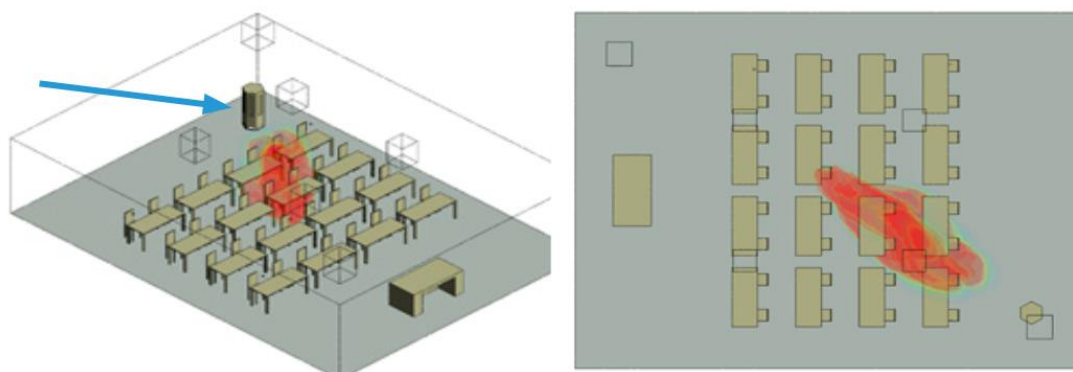
Utifrån bland annat spridningseventet på restaurangen i Guangzhou (Lu et al., 2020) har luftströmmar fått en annan betydelse. Luftrenare har generellt sett en fläkt som cirkulerar luften och kan skapa luftrörelser, vilket kan vara gynnsamt för spridningen av virus. Därför är det viktigt att luftrenaren placeras och utformas så att det förstärker de flöde som redan finns i rummet och inte skapar ”egna” luftströmmar.

Halton presenterar ett exempel på ett klassrum med 25 elever där ventilationsflödet är cirka 120 l/s och en av deras luftrenare med UV-ljus och HEPA-filter samt en CADR på 472 l/s. I figur 11 visas CFD (Computational Fluid Dynamics) – simuleringar av ett klassrum med fyra tilluftsdon i mitten och ett frånluftsdon i bakre hörnet. En person på den näst främre raden bär på någon typ av förorening som sprids likt det röda molnet (Halton, 2020a, 2020b).



Figur 11 *CFD-simulering av ett klassrum utan luftrenare. Från (Halton, 2020a). Använd med tillstånd*

I figur 12 visas samma simulering fast med en rumsrenare placerat vid frånluften. Fläkten i luftrenaren får luften att dras ytterligare mot frånluftsdonet och samtidigt rena luften. Luften rör sig samma väg som i simuleringen utan luftrenare men utbredningen av kontaminerad luft är avsevärt mindre i volym och koncentration. Halton konstaterar, baserat på beräkningar, att risken för smitta minskar med 4,4 gånger med en luftrenare.



Figur 12 *CFD simulering av ett klassrum med luftrenare. Från (Halton, 2020a). Använd med tillstånd*

Santarpia et al. (2020) gjorde en studie baserat på CFD-simuleringar där de kunde se att den mest optimala placeringen av luftrenare var vid den smittade personen. Problematiken de såg var att det är okänt vem som är smittad och då anses den bästa placeringen vara vid frånluften i rummet. De kunde även påvisa att luftrenare har bättre effekt mot partikelkoncentrationen än att öka ventilationsflödet från 2 till 5 oms/h.

Luftrenare kan kosta från några tusen till flera tio tusentals kronor beroende på leverantör och effekt. I samtal med Maria Alm, Lokalförvaltningen på Göteborgs Stad (12 mars, 2021) meddelar hon att de använder luftrenare idag, oftast i slöjdsalar eller som tillfällig lösning i väntan på planerad åtgärd. I några fall där klagomål kopplade till inneklimat har inkommit men problemet varit odefinierbart har de sett att luftrenare åtgärdat problemet och i dessa fall låtit det bli en permanent lösning.

## 6.2 Behovsstyrd ventilation

I skolor varierar användningen av lokalerna stort över dygnet. Studier visar att användningen av skollokaler kan vara så låg som ca 30 %. För att inte ventilera tomma lokaler och använda onödigt mycket energi är behovsstyrd ventilation, DCV, eller variabelstyrd ventilation, VAV, fördelaktigt. Ventilationsflödet anpassas utifrån när rummet används och styrs utifrån givare i rummet, exempelvis för närvaro, temperatur, partiklar, koldioxid, och/eller VOC. Givarna i rummet mäter det faktiska värdet i rummet, ärvärdet, vilket regleras mot det som eftersträvas, börvärdet. En lösning med VAV är att justera ventilationsflödet utifrån skolans schema (Maripuu, 2011). Flera av de ledande organisationerna för ventilation och hälsa (REHVA, ASHRAE, WHO etcetra) förespråkar att ventilera ut lokaler före och efter användning, se kapitel 7. ASHRAE anger att luften i rummet ska omsättas minst tre gånger mellan användning (ASHRAE, 2021a). Beroende på tillgängligt ventilationsflöde kan tid för detta beräknas.

Föroreningar som avges av människor kallas bioeffluenter och ökar proportionellt mot ökning av koldioxid i rummet. Att mäta koldioxid är en kostnadseffektiv indikator på den upplevda luftkvaliteten och vanligt förekommande i DCV system (Merema et al., 2018). Om aktiviteten i rummet ökar kommer tillskottet av koldioxid att öka proportionellt men med en viss fördröjning. Avseende smittspridning av virus och främst SARS-CoV-2 är aktivitetens intensitet och andningsfrekvens, vilka följer kurvan för koldioxid, återkommande i flera beräkningsmodeller. Hur mycket virus som utsöndras beror även på röstläge; mindre mängd avges vid lågmält samtal och betydligt mer avges vid sång och tydlig artikulering (Alsved, 2020). Att bestämma ett fast börvärde för koldioxid i skola är, enligt Z. Peng och J. L. Jimenez, inte möjligt utan måste anpassas utifrån just aktivitetens intensitet, andningsfrekvens och typ av samtal (2020).

# 7 REKOMMENDATIONER FRÅN ORGANISATIONER OCH MYNDIGHETER

Olika myndigheter och andra organisationer har uttalat sig mer eller mindre utförligt om rekommendationer och åtgärder kopplat till inneklimatsystemet för att minska smittspridningen av Covid-19. Dessa rekommendationer och förslag till åtgärder sammanfattas nedan. Samtliga myndigheter och organisationer är överens om att Covid-19 sprids via närkontakt och droppsmitta men de är inte enade över hur eller om det sprids längre sträckor i luften. I inledning för respektive myndighet eller organisation redovisas deras syn på huruvida SARS-CoV-2 är luftburet eller inte. I respektive sammanfattning nedan benämns filterklasser olika eftersom detta skiljer sig i olika delar av världen. En konverteringstabell för olika filterklasser finnes i appendix B. Kapitlet avslutas med en sammanställning för att ge en överblick över vilka rekommendationer som är gemensamma hos nämnda myndigheter och organisationer.

## 7.1 REHVA

REHVA, The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning associations, är en samling ingenjörer och experter inom bland annat ventilation som verkar i Europa. Gällande spridningsvägar menar REHVA att det, enligt nuvarande forskning, finns bevis på att mindre partiklar av SARS-CoV-2 kan spridas längre sträckor med luftströmmarna i rummet och i ventilationssystemet. Nedan sammanfattas REHVA's senaste rekommendationer vilka är från *REHVA Covid-19 Guidance version 4.0*, utgiven den 17 november (2020a).

- Gällande ventilationsflöden anger REHVA att ”mer ventilation är alltid bättre”. Vidare betonar de vikten av att kolla på luftrörelser så att virus inte transporteras ogynnsamma vägar innan de filtreras bort.
- Drifttiden för en kommersiell byggnad bör ökas och vara i gång minst två timmar innan och efter att sista personen lämnat byggnaden. Mellan dessa två timmar, då ingen vistas i byggnaden, går det bra att sänka ventilationen men aldrig stänga av helt. Ventilera med 2-3 oms/h vid närvaro.
- Fönster bör vara öppna i 15 minuter innan man går in i ett nytt rum. I badrum ska inte fönster öppnas då risk finns för patogener att spridas från badrummet ut till andra rum i byggnaden.
- Att tillföra fukt hjälper inte mot Covid-19 då det krävs över 80 % RH för att få effekt. De säger att fukt kan inaktivera en del virus över lag, men detta gäller inte för SARS-CoV-2. Vintertid kan det vara bra att eftersträva 20-30% RH.
- Justera eller stäng av DCV för att ha kontinuerligt flöde.
- Kontrollera aggregat så att läckage över värmeväxlare inte överstiger gällande krav.
- Vid återluft krävs HEPA-filter, annars bör återluft stängas av. Vid tilluften är det inte nödvändigt med bättre filter, utan moderna system har tillräckligt bra filter (F7, F8 eller ISO ePM1, ePM2.5). Det är inte heller nödvändigt att byta filter oftare än enligt instruktioner.

- UV kan installeras i systemet eller i ett rum för att inaktivera virus och bakterier. Det krävs så en undersökning så det är rätt utformat utefter utrymmet, installeras och underhålls korrekt.
- För att luftrenare i rummet ska vara effektivt krävs det HEPA-filter. De flesta rumsrenare (till rimligt pris) är inte tillräckligt effektiva. Elektrostatisk filtration fungerar ungefär lika bra som HEPA-filter. Det är viktigt att de placeras på en öppen yta i rummet och inte i ett hörn.
- Undvik att luften färdas från en person till en annan. Omblandande ventilation kan lokalt reducera respektive öka koncentrationen av virus. Koncentrationen av smittan kommer då spädas ut.

Den 15 april 2021 publicerade REHVA en uppdatering, 4.1, om Covid-19 och ventilation. De huvudsakliga uppdateringarna går att hitta på deras hemsida (REHVA, 2021) och innefattar följande.

- Drifftiden för en kommersiell byggnad med mekanisk ventilation bör vara en timma innan och efterarbetsdagen om byggnaden uppnår tre luftomsättningar.
- Minska inställt börvärde på koldioxidgivare till 550 ppm i ventilationssystem med DCV.
- Platt – och fuktöverförande värmeväxlare är inte en orsak till ökad smittspridning.

## 7.2 ASHRAE

ASHRAE, The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, är en expertgrupp i USA med ingenjörer och forskare inom bland annat ventilation. ASHRAE hänvisar till WHO och CDC som menar att i nuläget finns det potential för att Covid-19 är luftburet. Deras rekommendationer kring Covid-19 sammanfattas i ett antal dokument som sammanfattningsvis säger följande (ASHRAE, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b).

- Reducera partikelkoncentrationen med 95 %, vilket innebär minst tre luftomsättningar. I stället för att beräkna luftomsättningen på den aktuella lokalen kan forcering i två timmar innan och efter användning tillämpas. Denna förenkling bygger på antagande om att minimikrav för ventilation uppfylls.
- Stäng av Demand Controlled Ventilation (DCV) och ha maximalt flöde.
- Överväg att öppna alla fönster två timmar minst innan användning av lokalen, om förhållandena utomhus tillåter det.
- ASHRAE nämner att forskning visar på att fuktighet mellan 40-60 % motverkar virus i luften, men rekommenderar ingen åtgärd.
- Filter bör vara minst klass MERV 13, gärna MERV 14 eller bättre.
- Gällande UV saknas tillräcklig forskning för att se påverkan på SARS-CoV-2.
- Minska inställt börvärde på koldioxidgivare till ca 400-500 ppm, vilket är ungefärlig nivå i uteluften. Börvärdet ska alltså vara samma som i uteluften och anpassas efter den aktuella platsen.
- Öka mängden uteluft och minimera recirkulation. Om möjligt är 90 % eller mer uteluft en rekommendation.

- Rumsrenare ska användas då ventilationen inte uppfyller standardrekommendationerna. Filterklass bör vara HEPA eller minst MERV 13.
- Omblandande ventilation med låga hastigheter rekommenderas för att minska risken för smitta mellan personer.

### 7.3 WHO

WHO, World Health Organization, är en organisation som jobbar för att upprätthålla god hälsa hos människor i hela världen. Förutom via droppar från nysningar eller liknande, menar WHO att Covid-19 kan spridas via aerosoler under vissa specifika förhållanden. WHOs rekommenderade åtgärder gällande ventilationen sammanfattas i dokumentet *Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19* (2021). De huvudsakliga rekommendationerna redovisas nedan.

- Säkerställ att ventilationsflödet uppfyller minimikraven.
- Stäng av DCV och tillämpa maximalt ventilationsflöde under hela brukstiden.
- Vid mekanisk ventilation ska den köras på max i två timmar före och två timmar efter att lokalen är i bruk.
- Vid naturlig ventilation, vädra lokalen 15 minuter innan och efter användning, speciellt om en större grupp människor lämnar ett rum.
- Kontrollera att läckage över värmeväxlare inte överstiger gällande krav.
- Se till att underhåll sker kontinuerligt enligt instruktioner.
- Säkerställ att filter av typen MERV 14 / F8 används. Annars kontrollera, i samråd med sakkunnig, om möjligheten till byte finns.
- Öka mängden uteluft så mycket som möjligt. Går inte det bör HEPA-filter användas för återluft.
- Använd luftrenare i rummet om flödet inte möter minimikraven eller om återluft utan HEPA-filter används. Luftrenare bör ha HEPA-filter.
- Luftföringen bör vara så nära fullständig omblandande som möjligt för att utbyte ska ske i så stor utsträckning som möjligt. Om luften inte är omblandande kan fläktar eller liknande användas. Båda lösningarna kräver att minimikraven för ventilationsflöde är uppfyllt.

### 7.4 ECDC

ECDC, European Center for Disease Prevention and Control, är en europeisk organisation vars syfte är att stärka Europas skydd mot infektionssjukdomar. ECDC menar att Covid-19 kan spridas genom aerosolpartiklar men att det är oklart i hur stor utsträckning detta sker. Deras rekommendationer gällande ventilation (ECDC, 2020), som hänvisar till både ASHRAE och REHVA, sammanfattas nedan:

- Det är viktigt att se över, underhålla och kontrollera ventilationssystem så att det funkar enligt tillverkarens anvisningar. Avseende filter i ventilationssystem är det viktigt att säkerställa att filterbyte görs enligt de angivna bytesintervallen. Där det är möjligt ska filterklass uppgraderas.
- Minimiflöden för ventilation ska säkerställas enligt gällande regler. Ökad luftomsättning minskar sannolikheten för smitta.



- För byggnader med naturlig ventilation bör rutiner för vädring tas fram vilka anpassas utifrån rummets volym, area och persontäthet samt klimat- och väderförhållanden, energisystem, komfort och typ av aktivitet.
- Om ventilationsflöde inte kan mätas är koldioxid ett lämpligt alternativ för att säkerställa tillräcklig ventilation. Koldioxidhalten i rummet bör inte överstiga 800-1000 ppm.
- Behovsstyrd ventilation ska ses över med avseende på hur det påverkar risk för smittspridning. Ventilation före och efter användning bör övervägas.
- För att minska risk för smitta mellan människor bör luftströmmar riktas från dessa. Vid situationer där enskilda personer har mindre möjlighet att förflytta sig bör särskild hänsyn tas till dessa.
- Recirkulation bör undvikas i största möjliga mån.
- Börvärde för värme, kyla och befuktning bör inte justeras med avseende på SARS-CoV-2.
- I rum med otillräcklig ventilation och där recirkulation inte kan undvikas kan luftrenare med HEPA-filter användas. Luftrenare med UVGI ska placeras och avskärmas från direkt syn.

## 7.5 CDC

CDC, Centers for Diseases Control and Prevention, är den amerikanska motsvarigheten till ECDC. De menar att Covid-19 främst sprids via större droppar från nysning eller liknande med spridning via luft kan ske under vissa specifika förhållanden. CDC har sammanställt rekommendationer specifikt för skola och barnomsorg (CDC, 2021c). Sammanfattningsvis rekommenderar de:

- Öka mängden uteluft, stäng av eller minska recirkulation så mycket som möjligt.
- Vädra lokalerna underförutsättning att det inte skapar risk för ohälsa.
- Säkerställ att ventilationssystem uppfyller gällande minimikrav för luftväxling.
- Öka luftflödet i rum med närvaro.
- Stäng av DCV och ändra till kontinuerlig drift.
- Överväg att ventileras två timmar före och efter användning.
- Öka filterklass där det är möjligt men säkerställ att det inte orsakar betydande minskning av luftflöde.
- Säkerställ att filter är rätt anpassade, installerade och att filterbyte sker enligt angivna instruktioner.
- Överväg att använda luftrenare med HEPA-filter där det är möjligt.
- Luftrenare med UVGI kan användas som komplement där övriga åtgärder är begränsade.
- Säkerställ att frånluftsventilation i toaletter och kök körs kontinuerligt vid verksamhet och 2 timmar efter.

## 7.6 Folkhälsomyndigheten

Folkhälsomyndigheten är en myndighet med ansvar för folkhälsofrågor i Sverige. De säger följande angående smittspridningen av Covid-19.

”Spridning av covid-19 sker framför allt vid nära kontakter mellan personer genom så kallad droppsmitta. När en infekterad person nyser, hostar, talar eller andas ut sprids små droppar till omgivningen. Smittan kan ta sig in i kroppen både via inandning eller genom att man rör med orena händer i ögon eller på slemhinnor i näsa och mun.”

Folkhälsomyndigheten har samlat sina rekommendationer gällande ventilation kopplat till Covid-19 under *Smittskydd och beredskap* på deras hemsida (2020f). Folkhälsomyndigheten rekommenderar enligt nedan.

- Det är viktigt att säkerställa att ventilationssystemet fungerar som det ska och att underhåll och rengöring utförs kontinuerligt enligt anvisningar. Kontroll och filterbyten behöver inte göras oftare på grund av Covid-19
- Kontrollera att systemet är rätt dimensionerat utefter minimikraven.
- Vädring i ett klassrum kan vara en komplimenterande funktion. Detta ska då ske mellan lektioner.

## 7.7 Arbetsmiljöverket

Arbetsmiljöverket är en myndighet som ansvarar för arbetsmiljöfrågor i Sverige. De menar, liksom övriga, att droppsmitta är det främsta sättet Covid-19 sprids. Vidare beskriver de kunskapsläget som osäkert och hänvisar till det som WHO och ECDC med flera säger om att små droppar, aerosoler, kan spridas längre avstånd och kan vara svävande en längre tid. Arbetsmiljöverkets rekommendationer gällande ventilation kopplat till Covid-19 går att finna på deras hemsida (Arbetsmiljöverket, 2021a). Deras sammanfattade rekommendationer ser ut som följande:

- Ventilationen bör vara påslagen minst en timma innan arbetsdagen börjar. Med hänvisning till WHO och ECDC kan det vara bra att ventilera två timmar innan och efter arbetsdagen.
- Ventilationen måste vara dimensionerad korrekt utefter antalet personer som kan komma att vistas i lokalen. Kontrollera att ventilationssystemet fungerar som det ska.
- Ta korta pauser och vädra ut rummet ofta.
- Arbeta i mindre grupper och överskrid inte ventilationens maxantal på personer.
- Avstånd om minst två meter ska hållas mellan varandra.

Den 7 maj 2021 publicerade arbetsmiljöverket en ny sida om smittspridning och ventilation med följande uppdatering (Arbetsmiljöverket, 2021b):

- Ventilationen bör vara påslagen minst en timma innan och efter arbetsdagen om ventilationen lever upp till Arbetsmiljöverkets krav, annars kan tiden behöva anpassas.
- Maximalt personantal i rum ska anpassas utifrån tillgängligt ventilationsflöde.

- Öppna fönster och vädra snabbt om det är möjligt. Lämna inte fönstret på glänt då det kan störa ventilationssystemets funktion.
- Om möjligt ska ventilation i undervisningslokaler, mötesrum och vård- och omsorgslokaler etcetera forceras.

## 7.8 Sammanställning av rekommendationer

I stora drag kan huvudrekommendationerna avläsas ur tabell 1 nedan. Där framgår vilka rekommendationer som är gemensamma för flera av myndigheter och organisationer för att snabbt få en uppfattning av vad som är viktigt. I första kolumn sammanfattas en rekommendation och i övriga kolumner visas vilka myndigheter och organisationer som håller med om denna genom ett "X" eller relevant kommentar.

Tabell 1 Sammanställning av rekommendationer från myndigheter och organisationer

	REHVA	ASHRAE	WHO	ECDC	CDC	FoHM	AMV
<b>Rekommenderad drifttid innan och efter lokalens bruk [h]</b>	2	2	2				1-2
<b>Stäng av behovsstyrning</b>	X	X	X		X		
<b>Öka luftomsättning eller rekommenderad luftomsättning per timme</b>	2-3	3	X	2-3	X		
<b>Ta pauser och vädra ut lokalen [min]</b>	15	X	X		X	X	X
<b>Säkerställ att filterklass MERV14/ePM1 75% används i luftbehandlingsaggregat</b>	X	X	X	X	X		
<b>Justera värden på koldioxidgivare</b>	X	X		X			
<b>Luftrenare bör användas om ventilationsflödet inte möter minimikraven</b>	X	X	X	X			
<b>Ventilationen bör vara omblandande</b>	X	X	X	X			
<b>Diskuterar att fukt kan ha påverkan på Covid-19 men rekommenderar ingen åtgärd</b>	X	X		X			

## 8 BERÄKNINGSMODELLER

Ett sätt att uppskatta utfallet av spridningen av en smitta är att utföra beräkningar. Gällande virus och sjukdomar är Wells - Riley en känd metod som används sedan 1950-talet (Nardell, 2016). Nackdelen med Wells - Riley är att den inte tar hänsyn till fuktigheten eller temperaturen i omgivningen vilket kan ha en potentiellt betydande effekt avseende virus vitalitet. Modellering med Wells - Rileys ekvation förväntas ge en resulterande exponeringstid innan risken blir för stor att smitta sker. I praktiken innebär detta hur länge en lektion kan förväntas vara.

### 8.1 Introduktion av Wells - Riley

Wells - Riley modellen används för att uppskatta sannolikheten för att luftburna sjukdomar sprids. Ekvationen kan formuleras på lite olika sätt och beskriver antalet smittade personer eller sannolikheten för att en person smittas efter en viss tid. Ekvationen antar alltid omblandande luft. Wells - Riley ekvationen ser ut som följande (Ekberg, 2020):

$$P = 1 - e^{-\frac{E k_{br} t}{V \Sigma k}} \quad \text{Ekvation 1}$$

Där:

P – sannolikheten för smittspridning [-]

E – alstring av quanta [q/h]

$K_{br}$  – andningsvolym [ $m^3/h$ ]

t – exponeringstiden [h]

V – rumsvolym [ $m^3$ ]

$\Sigma k$  – summan av alla sänkor som motverkar koncentrationen av virus [ $h^{-1}$ ]

Quanta eller quantum (latin för mängd) är ett begrepp som Wells införde, vilket är ett mått på den dos som krävs för att orsaka infektion hos 63 % av de mottagliga personerna. Wells beskriver det som att antalet smittade har en Poissonfördelning till antalet smittsamma partiklar, vilket formuleras som  $1 - e^{-1}$  som är lika med 63%. Det innebär att 63 % kommer att smittas om alla personer andas in en smittsam partikel (Nardell, 2016) och ligger till grund för ekvationens utformning. Quanta skiljer sig alltså för olika virus. Om det exempelvis krävs en viruspartikel för en viss sjukdom att bryta ut hos 63% av mottagare är quanta = 1 [q]. Detta är sällan fallet utan uppskattningen av quanta bygger på sannolikhet utifrån utvärderade smittspridningshändelser. Ett högre värde på quanta skulle kräva fler viruspartiklar för sjukdomen att bryta ut. Ett mindre värde på quanta skulle innebära att viruset är mer smittsamt. I dagsläget bedöms quanta för SARS-CoV-2 variera mellan 10-1000, alltså att det krävs 10 till 1000 virus för att 63% av mottagare ska bli smittade (Hussein et al., 2021).

Alstringen av quanta,  $E$ , är hur snabbt koncentrationen av virus ökar, vilket baserats på det uppskattade värdet på quanta samt alstringen från människan. Alstringen varierar också beroende på vilken typ av aktivitet den smittsamma personen utövar. För SARS-CoV-2 har REHVA bedömt att alstringen av quanta kan variera från 3-300 [q/h] beroende på aktivitet. Att sitta still och endast andas genererar 3,1 [q/h] och att hålla sig aktiv eller sjunga/prata högt genererar runt 270 [q/h]. Även andningsvolymen,  $K_{br}$ , varierar beroende på aktiveringsgrad (REHVA, 2020b). För att avgöra alstringen av quanta utgår man även från hur många som är smittade vid tidens början. Sun and Zhai (2020) förklarar i sin rapport *The efficacy of social distance and ventilation effectiveness in preventing COVID-19 transmission* att istället för att ange ett fastställt antal smittade personer från start har de infört den initiala infektionshastigheten. Infektionshastigheten eller reproduktionstal,  $R$ , definieras som antalet personer som smittas av en person sjuk i Covid-19 och det går att beräkna för varje stad under en viss tidsperiod. Folkhälsomyndigheten gör en skattning av detta kontinuerligt för varje län (Folkhälsomyndigheten, 2020a). Värdet på reproduktionstalet har bedömts variera från 1.47 % till 8.33 % vilket tyder på en stor osäkerhet (Sun & Zhai, 2020).

$\Sigma k$  är summan av de sänkor som späder ut mängden partiklar i rummet exempelvis ventilation, luftrenare eller vädring, och därmed minskar mängden quanta. Ökad rumsvolym motverkar också koncentration av virus i luften genom att partiklar späds ut i en större volym, vilket gör att det tar längre tid för koncentrationen att öka.

Båda smittspridningsberäkningarna är baserade på dagens information om virus spridning i ett rum, viruspartiklars påverkan av luftföringen i rummet samt nuvarande information om Covid-19. Det finns stora osäkerheter kring värdet på quanta samt hur det skiljer sig individuellt mellan personer där vissa kan vara immuna och vissa smittas lättare. Det finns även olika typer av mutationer av SARS-CoV-2 där vissa sägs leda till flera dödsfall (Roberts, 2021). Detta är ett område som saknar mycket forskning och beräkningarna tar inte hänsyn till variationer av Covid-19, så kallade mutationer. Ingen av beräkningsmodellerna kan heller ta hänsyn till vädring genom att öppna ett fönster.

## 8.2 REHVA beräkningsverktyg för smittspridning

REHVA's beräkningsverktyg för smittspridning utgår ifrån Wells - Rileys modell och går att hitta här: <https://www.rehva.eu/covid19-ventilation-calculator>

Två lektionsfall har modellerats med hjälp av REHVA's smittspridningsberäknare och indata om skolans nuvarande utformning från kapitel 3, vilket utgör cirka 80-85 % av nuvarande skolor. Värdet på quanta är baserat på två studier från Buonanno, Stabile, et al. (2020) och Buonanno, Morawska, et al. (2020). REHVAs smittspridningsberäknare utgår från SARS-CoV-2 och uppskattade värden för bland annat mängd utsöndring, halveringstid och inaktivering. Fallen definieras enligt följande.

- Fall 1: En lektion med genomgång, vilket innebär att en person pratar högt majoriteten av tiden.
- Fall 2: En lektion med övningspass och eget arbete, vilket definieras som att en fjärdedel av eleverna pratar med vanlig samtalston, en lärare pratar med högre samtalston och resterande sitter tysta.

I båda fallen antas en person vara smittad och alla elever håller 1,5 meter avstånd. Sannolikheten för smittspridning efter en till tre timmar redovisas i diagram 4.

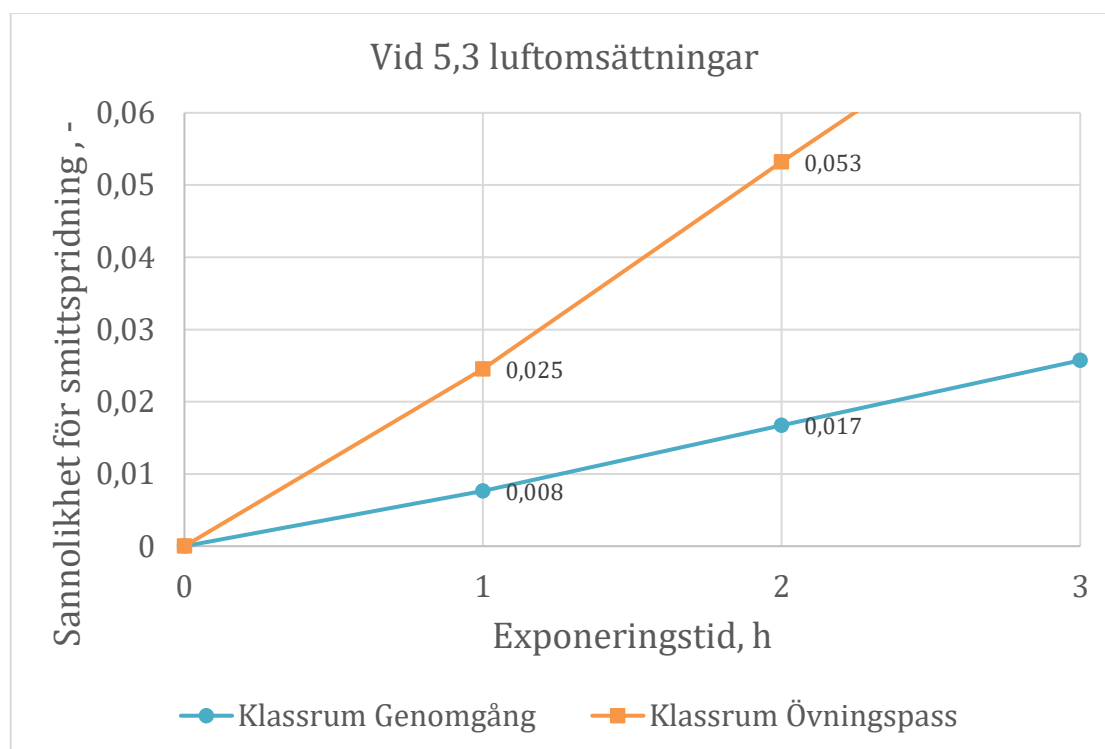


Diagram 4 Sannolikheten för smittspridning vid 5,3 luftomsättningar, två fall

Sannolikheten för smitta varierar ganska stort beroende på vilken typ av aktivitet som utförts samt hur många som pratar. Samtidigt är skalan relativt liten. För en timme rör sig sannolikheten för smitta från 0,8 % till 2,5 % i dessa fall. Vid två timmar har sannolikheten fördubblats. Högstadieklasser kan självklart prata betydligt mer än vad som definierats ovan. Därav kan det vara värt att jämföra dessa fall med värsta tänkbara fall kopplat till aerosolutsöndring. I diagram 5 visas lektion med genomgång och övning jämfört med ett klassrum där den smittade är väldigt aktiv rörelsemässigt, samt pratar högt eller sjunger. Ett fall som detta sker troligtvis sällan i ett klassrum utan denna beräkning är till för att se vilket spann sannolikheten för smittspridning kan variera mellan.

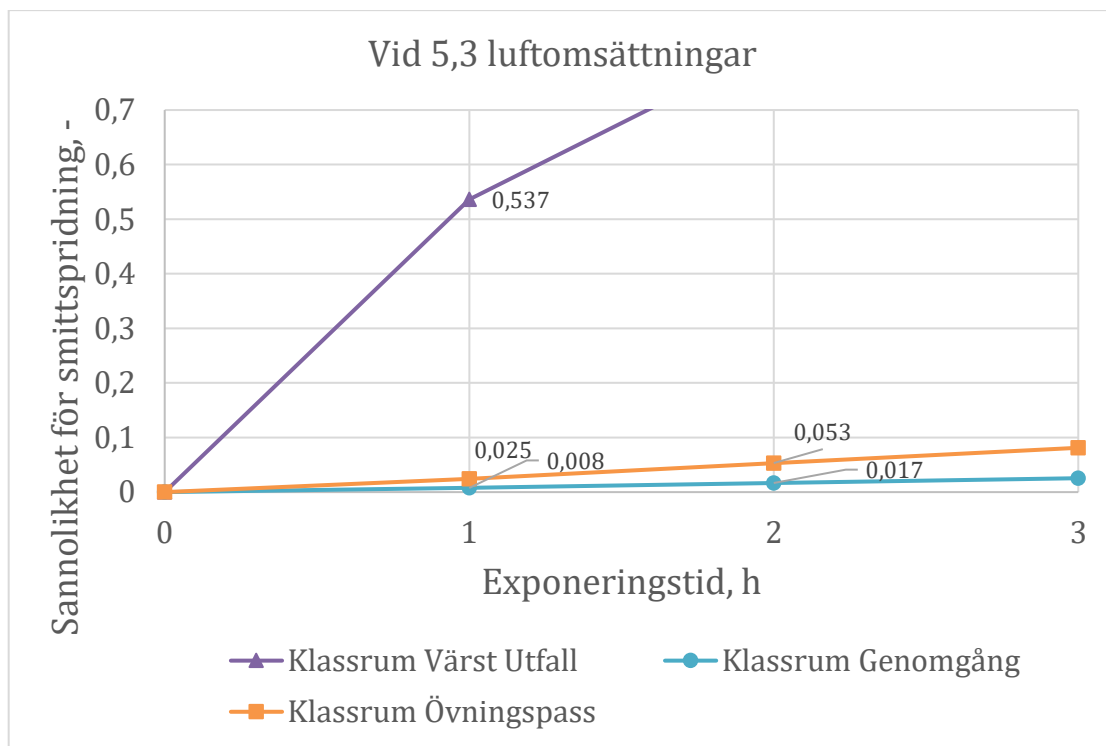


Diagram 5 Sannolikheten för smittspridning vid 5,3 luftomsättningar, tre fall

Det blir tydligt att aktivitet och samtalsnivå har stor inverkan då sannolikheten för att någon smittas är 54 % efter en timme, vilket är betydligt mer än vid de vanliga lektionsfallen. Det är högst osannolikt att denna mängd aktivitet och samtalsnivå skulle inträffa men det kan likna den korta stunden efter att lektionen är slut, då alla börjar prata och reser sig upp för att gå ut. Det är tydligt att sannolikheten för smittspridning accelererar markant efter endast några minuter. Notera att utgångsvärdena för luftombyte och volym är samma som tidigare, endast alstring av partiklar har ökat. Inputs till dessa beräkningar finns i Appendix D.

Luftomsättningen i denna modellering utgår ifrån en nybyggd skola. För att se hur stor effekt ventilation har, sänks luftomsättningen till endast 60 % i diagram 6. Detta kan vara möjligt i fall där ventilationen inte fungerar som den ska eller i äldre skolor utformade utifrån tidigare krav.

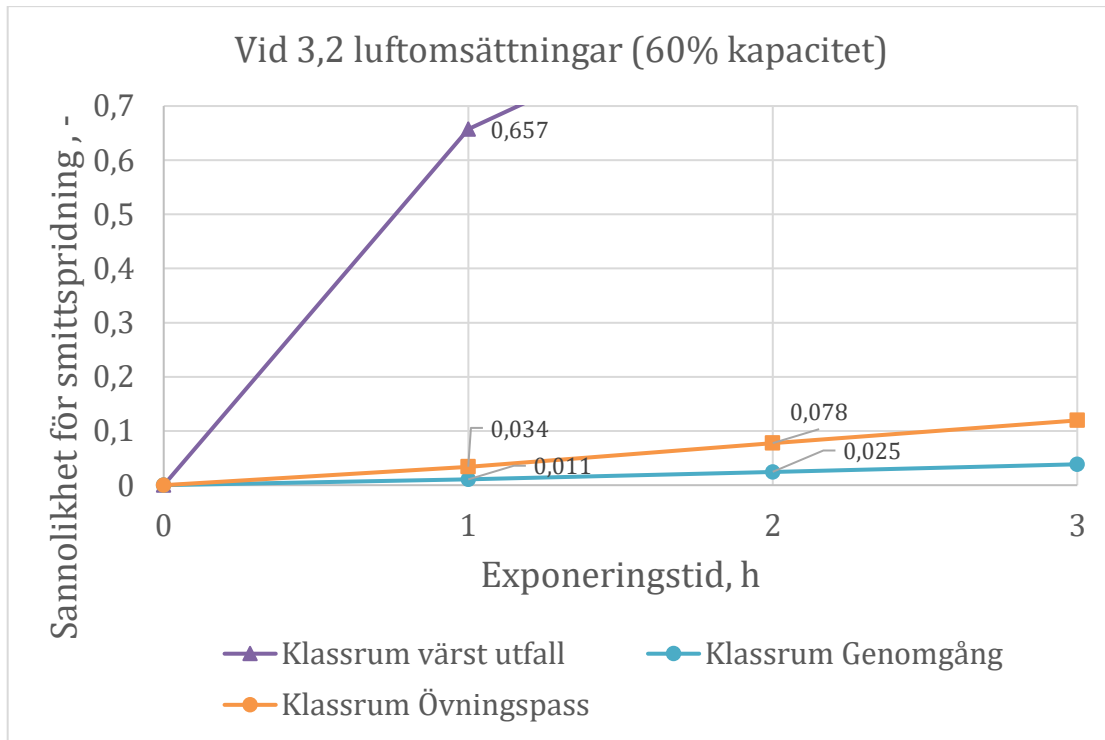


Diagram 6 Sannolikheten för smittspridning vid 3,2 luftomsättningar, tre fall

Vid jämförelse av diagram 6, när ventilationen endast har 60 % kapacitet, och diagram 5 avläses att sannolikheten ökar för att någon blir smittad. I det värsta fallet, då alla i rummet är aktiverade och pratar högt, ökar sannolikheten med ca 10 procentenheter. För fall med genomgång och övningspass är motsvarande ökning 0,3 respektive 1 procentenheter efter en timme och 0,8 respektive 2,5 procentenheter efter två timmar, jämfört med diagram 5. Ventilationen har alltså en effekt på sannolikheten för smittspridning men betydligt mindre än vad aktivitetsnivån har.

Nästa beräkning utfördes för olika luftomsättningar där ett övningspass, identifierat enligt ovan, användes som utgångspunkt.



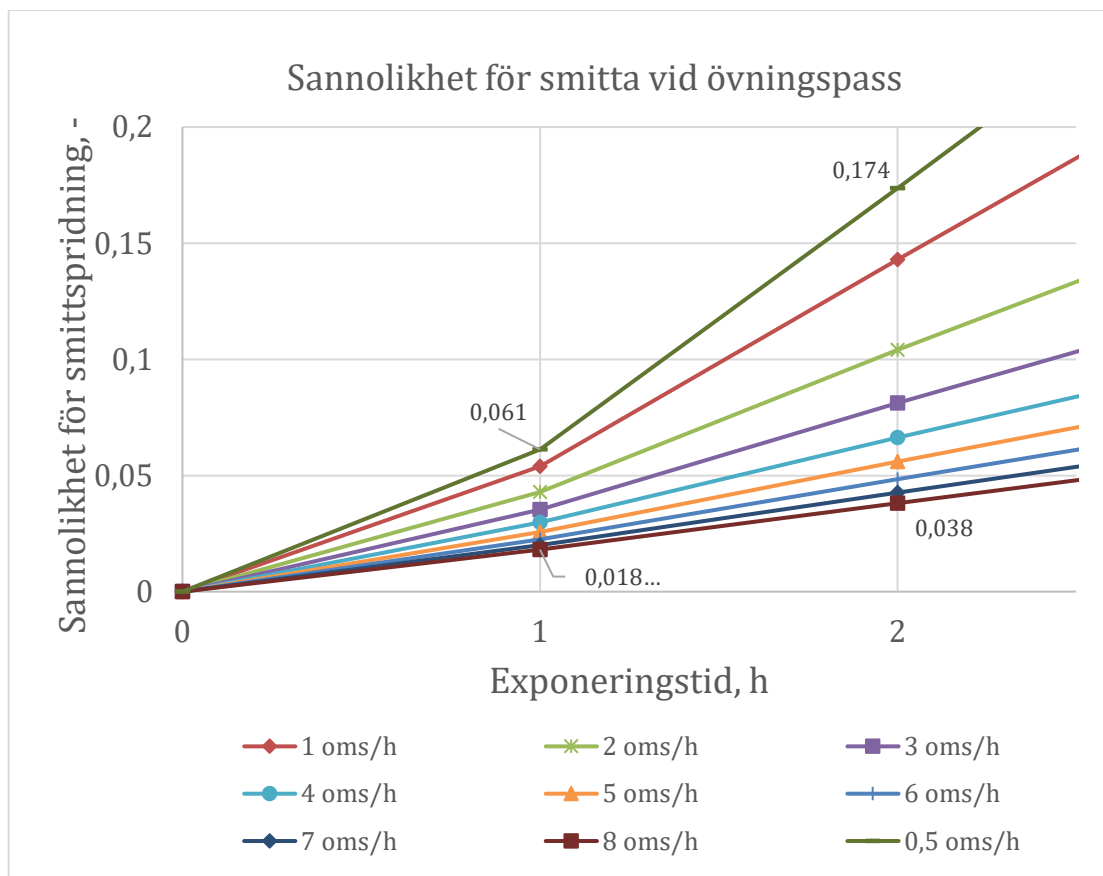


Diagram 7 Sannolikhet för smitta vid övningspass för olika luftomsättningar

Mellan 1, 2 och 3 luftomsättningar skiljer sig sannolikheten för smitta runt 1 procentenhet efter en timmas exponering. För mer än 3 omsättningar är skillnaden mindre än 0,5 procentenheter. I diagram 7 visas även hur sannolikhet för smittspridning ser ut i skolor utan FTX. Cirka 10 % av skolorna har endast frånluftssystem, vilket motsvarar upp till en luftomsättning per timme. Vid ett övningspass innebär detta att sannolikhet för smittspridning är 5,4 % efter en timme. För de få skolor som endast har självdrag (cirka 1 % av beståndet) motsvarar det en luftomsättning på ungefär 0,5/h, vilket skulle öka sannolikheten för smittspridning till 6,1 %.

I REHVA's användarmanual för smittspridningsberäknaren betonas det att osäkerheten är stor kring värdet på quanta samt att resultatet visar endast sannolikheten för smittspridning via luften, inte via ytor. Detta är viktigt att ha i beaktning när man tolkar resultatet.

### 8.3 NIST beräkningsverktyg för smittspridning

NIST's smittspridningsberäknare, också kallad FaTIMA, går att hitta här: <https://pages.nist.gov/CONTAM-apps/webapps/FaTIMA/index.html>

Enligt NISTs användarmanual (2020) baseras FaTIMA på en modell av en zon med en enhetlig partikelkoncentration. Detta beräkningsverktyg tar hänsyn till infiltration och luftläckage genom att till- och frånluftsflöden anges i en balansekvation. Hastighet för förändring av partikelkoncentration beror på generering av nya partiklar samt avlägsnande av partiklar genom ventilation, vädring eller liknande. I FaTIMA uttrycks detta som en balansekvation mellan det som hämmar och gynnar partikelkoncentration.

Till skillnad från REHVAS modell behöver parametrar för SARS-CoV-2 fyllas i vilket innebär att FaTIMA dels går att använda för virus där dessa parametrar är kända men kräver också mer förkunskap och fakta då den är mer komplicerad. I FaTIMA går utsöndring, halveringstid, inaktivering samt partikelstorlek att reglera. Det innebär att en beräkning endast tar en partikelstorlek i beaktning. Därmed behöver beräkningen upprepas för att ta hänsyn till hur variation av partikelstorlek påverkar hur de transporteras som en aerosol. Storleken på SARS-CoV-2 varierar från 0,02  $\mu\text{m}$  till 0,4  $\mu\text{m}$  i diameter, men kan även anta större storlekar då den färdas som en aerosol. Detta är viktigt att ta i beaktning vid tolkning av resultat. I denna modellering har tre partikelstorlekar använts, 0,5  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  och 50  $\mu\text{m}$ , för att se hur olika partikelstorlekar beter sig i ett rum samt hur stor effekt en luftrenare har på respektive storlek.

Nuvarande forskning om värden för indata är fortfarande relativt osäker. Exempelvis hur många aerosoler som utsöndras mer sekundär är ett osäkert tal och kan variera från människa till människa. Även halveringstiden för virus varierar med fuktighet, temperatur och UV-strålning. Det finns ett bra verktyg för att beräkna halveringstiden på Homeland Security's hemsida, "Estimated Surface Decay of SARS-CoV-2" som går att hitta här: <https://www.dhs.gov/science-and-technology/sars-calculator>

I följande mollierdiagram kan halveringstiden utläsas beroende på fukthalt och temperatur.

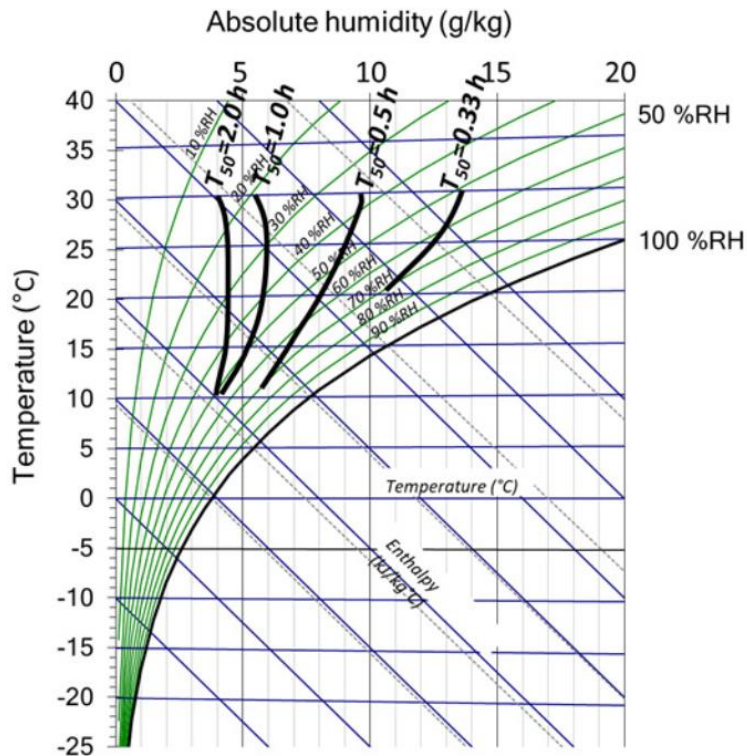


Diagram 8 Mollierdigram, visar halveringstid för SARS-CoV-2 beroende på fukthalt och temperatur (Personlig kommunikation Ekberg, 4 maj 2021)

I följande test har halveringstid 1,1 h använts, vilket är ett vanligt defaultvärde för SARS-CoV-2. Alla modelleringar utfördes i ett rum utformat som ett klassrum, definierat enligt kapitel 3. Utifrån beräkning av sannolikhet för smittspridning med REHVA begränsas lektionstid till en timme. Utifrån diagram 1 antas rast till 30 minuter då det motsvarar ungefär den tid det tar att byta ut 95 % av luften vid 5,3 oms/h. Det råder stor osäkerhet kring utsöndringshastighet och det varierar baserat på aktivitet och samtalsnivå. I följande beräkningar har defaultvärde använts för utsöndringshastighet, vilket varierar med partikelstorlek. Fallningshastigheten för respektive partikelstorlek baseras på figur 2 i Lars Ekbergs rapport, *Nordic collaboratino to reduce transmission of viral disease in indoor air* (2020). Där avläses att fallhastigheten för 0,5  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  och 50  $\mu\text{m}$  är 0,001 cm/s, 0,08 cm/s respektive 8 cm/s. I beräkning fördelades deponerade partiklar på ett ungefär mellan golv och väggar, se appendix E för detaljerad input. För att få en uppfattning om fallhastighet i rummet visas hur lång tid det tar för respektive storlek att falla 2 meter i diagram 9.

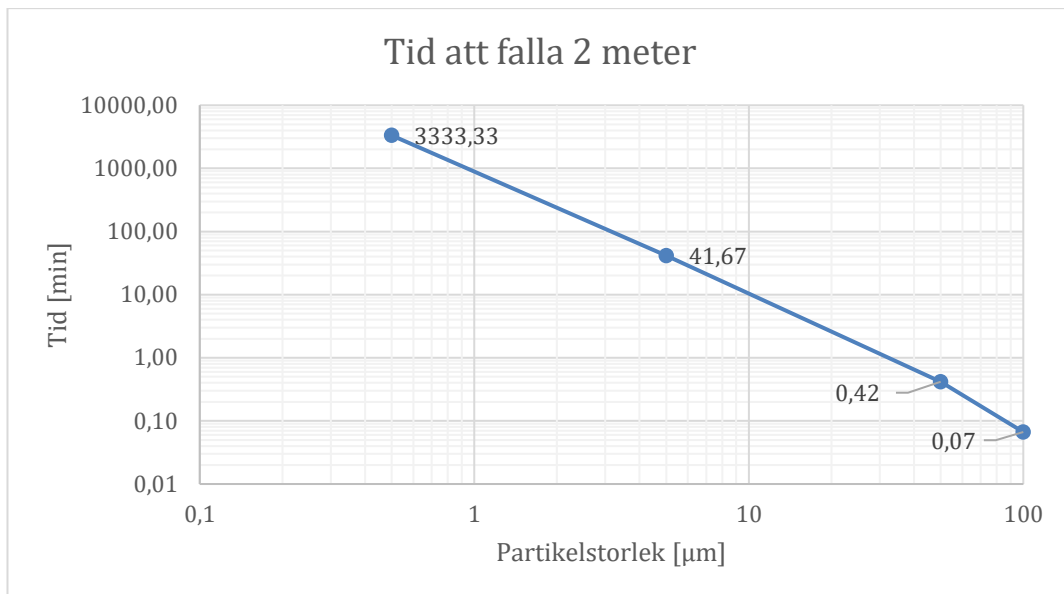


Diagram 9 Diagram för hur lång tid det tar för olika partikelstorlekar att falla 2 meter. Omarbetad efter Ekberg (2020)

Totalt genomfördes fyra olika testkörningar. Först gjordes ett test för att se de olika partikelstorlekarnas utfall och koncentrationer i luften vid 3,5 oms/h. I det andra testet ökas luftomsättningen till 5,3 för att jämföra med föregående test. I test tre används en luftrenare i ett rum med 3,5 oms/h. Slutligen genomförs ett test med 1 oms/h, med och utan luftrenare.

### 8.3.1 Test 1 – 3,5 oms/h

Luftomsättning bestämdes till 3,5 oms/h för att senare se vad skillnaden blir vid ökning till 5,3 oms/h samt minskning till 1 oms/h. Ett sammanställt resultat av utfall för de olika partikelstorlekarna redovisas i diagram 10.

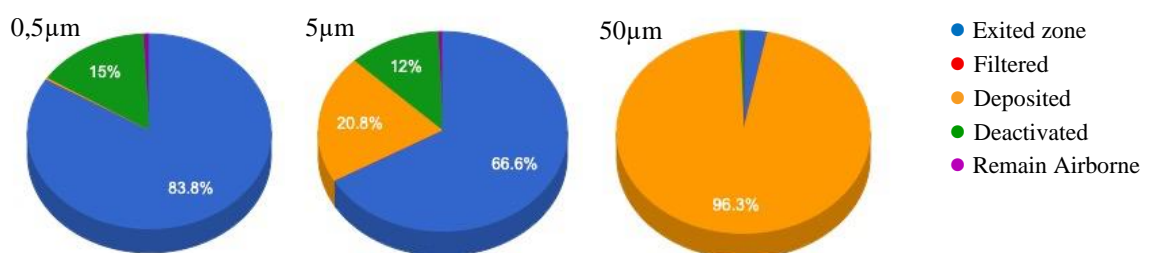


Diagram 10 Utfall för SARS-CoV-2 partiklar med storlek 0,5 µm, 5 µm och 50 µm vid 3,5 oms/h

Den största andelen av de mindre partiklarna ventileras ut (exited zone) medan de större partiklarna faller till golv eller övriga ytor (deposited). De två mindre storlekarna har även en andel som inaktiveras (deactivated). I mer ingående resultat kan medelkoncentration av partiklar i luften läsas av. Diagram 11-13 visar partikelkoncentrationen för det första testet.

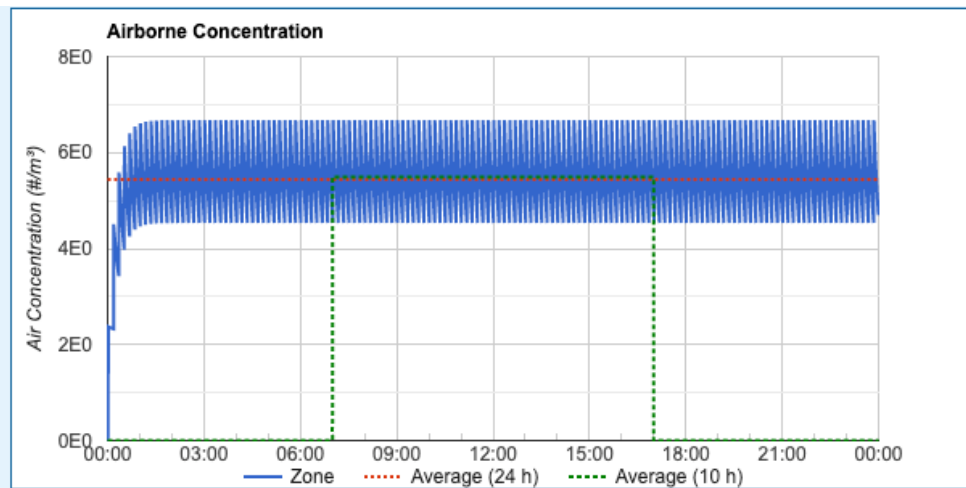


Diagram 11 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $0,5 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms/h}$

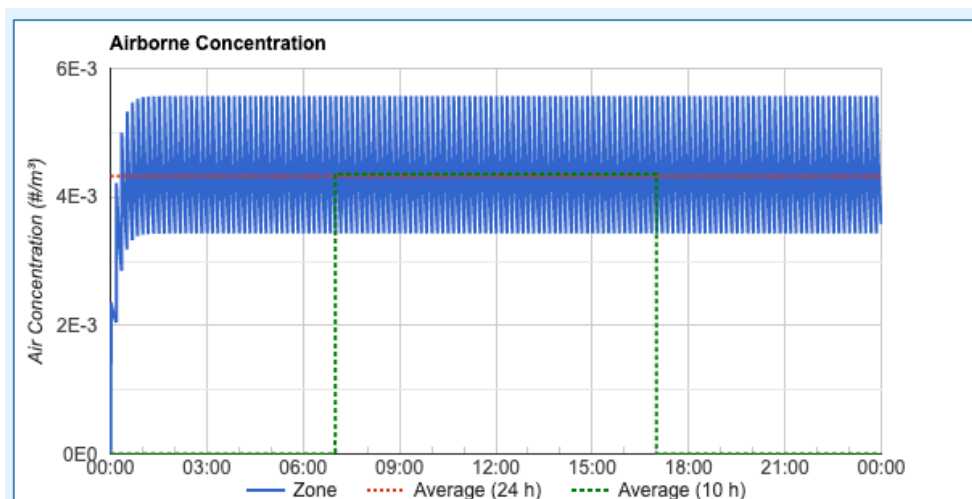


Diagram 12 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $5 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms/h}$

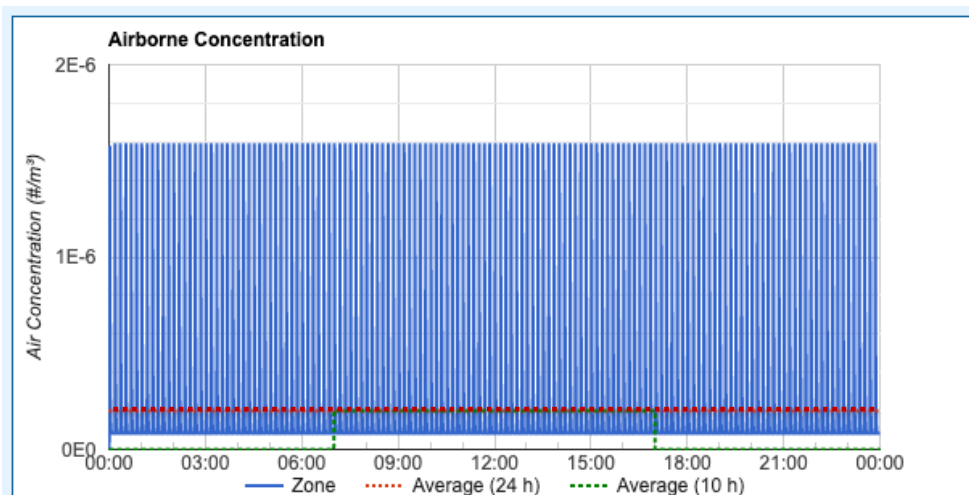


Diagram 13 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $50 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms/h}$

Genom att jämföra diagram 11-13 avläses att mängden partiklar i luften är betydligt fler för de mindre storlekarna. Partiklar med storleken  $0,5 \mu\text{m}$  har en medelkoncentration av cirka  $5,5\text{E}0 = 5,5$  partiklar per kubikmeter ( $\#/m^3$ ) och partiklar av storleken  $50 \mu\text{m}$  har en medelkoncentration på cirka  $0,2\text{E}-6 = 0,0000002 \#/m^3$ .

Utifrån testresultat kan exponering för luftburna partiklar utläsas. Modellen utgår från ett intervall med en timmes lektion och sedan 30 minuters rast. Det syns som toppar och dalar i diagram 14-16 där exponeringen går upp när elever vistas en timme i klassrummet. Den integrerade exponeringen går att avläsa till höger i diagrammen och ökar naturligt med tiden.

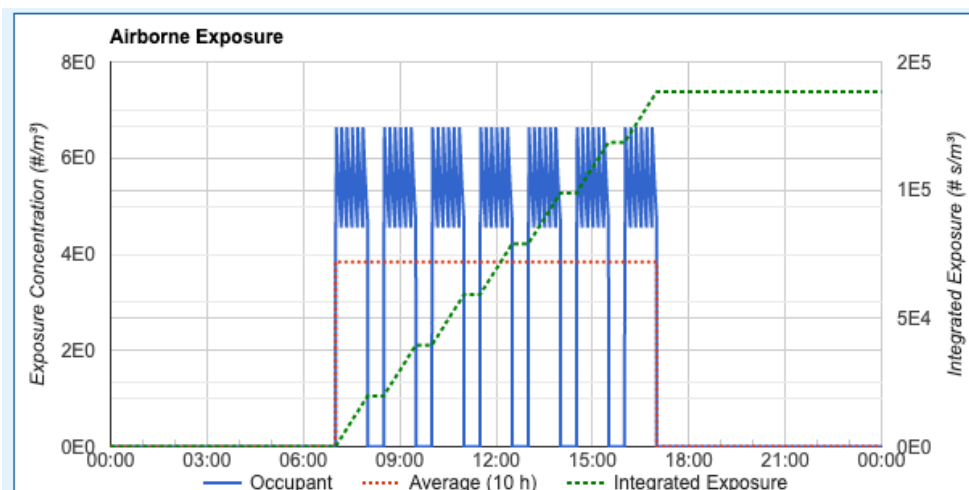


Diagram 14 Exponering för luftburna partiklar av storleken  $0,5 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms/h}$

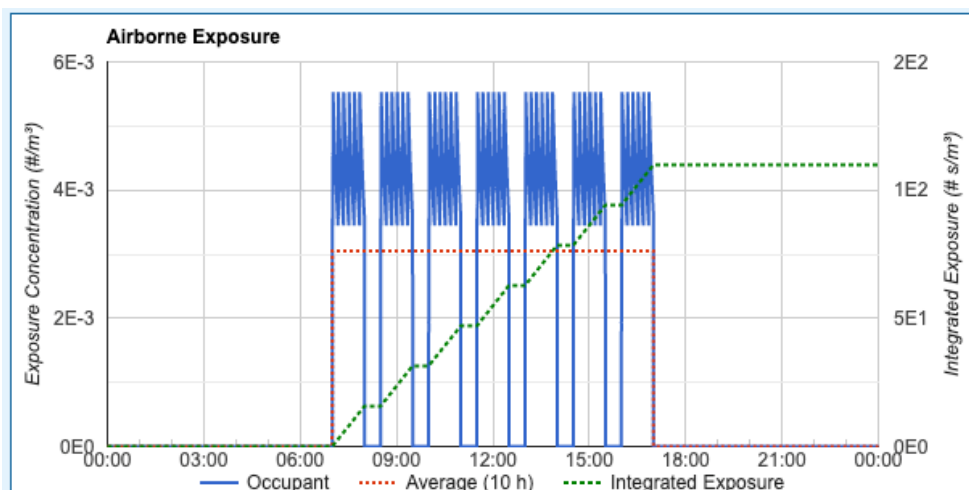


Diagram 15 Exponering för luftburna partiklar av storleken  $5 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms}$

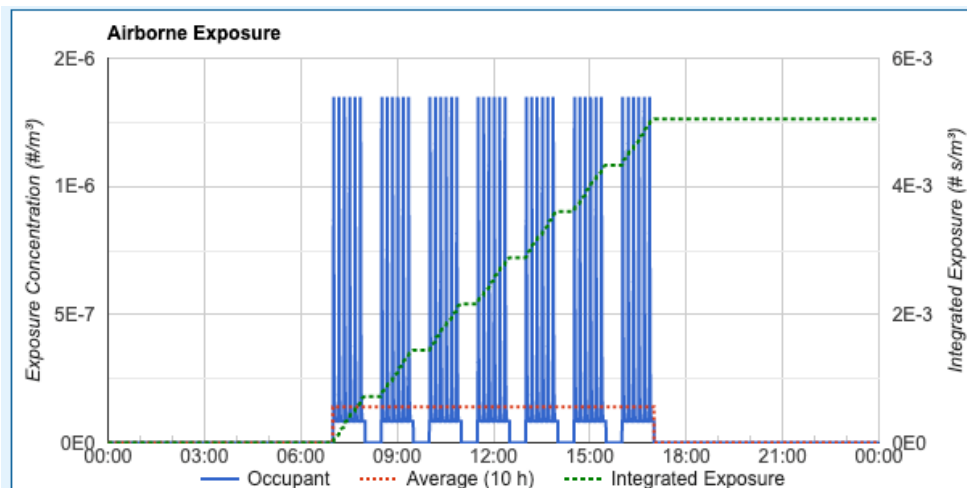


Diagram 16 Exponering för luftburna partiklar av storleken  $50 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms/h}$

Exponering för luftburna partiklar är större för mindre partikelstorlekar och ökar succesivt med tiden, se grönt streck.

### 8.3.2 Test 2 – $5,3 \text{ oms/h}$

I nästa test ändrades luftomsättningen från  $3,5$  till  $5,3$  per timme, likt den typiska skolan som presenterats i kapitel 3. Detta för att se effekten av ökat ventilationsflöde. I diagram 17 visas utfallet för partiklar i ett klassrum med  $5,3 \text{ oms/h}$ . Skillnaden från  $3,5 \text{ oms/h}$  är att något större andel partiklar filtreras bort av systemet. Störst skillnad syns vid mindre partikelstorlekar.

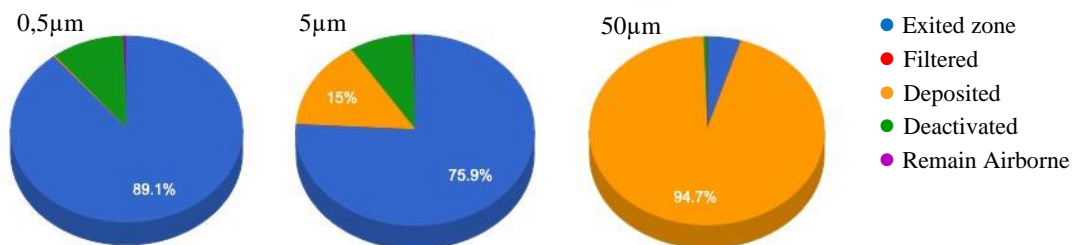


Diagram 17 Utfall för SARS-CoV-2 partiklar med storlek  $0,5 \mu\text{m}$ ,  $5 \mu\text{m}$  och  $50 \mu\text{m}$  vid  $5,3 \text{ oms/h}$

Även här avläses partikelkoncentration och jämförs med  $3,5 \text{ oms/h}$ . Tidigare medelkoncentration redovisas med orange streck i diagram 19-20. I diagram 18, partikelstorlek  $0,5 \mu\text{m}$ , redovisas detta inte då den tidigare medelkoncentrationen, som var cirka  $5,5E0$ , är högre än den skala som visas i diagrammet.

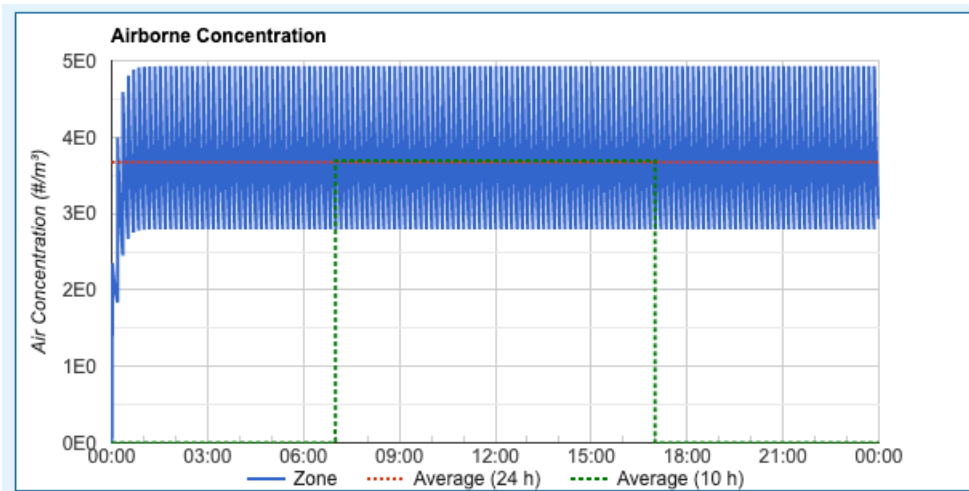


Diagram 18 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $0,5 \mu\text{m}$  vid  $5,3 \text{ oms/h}$ .

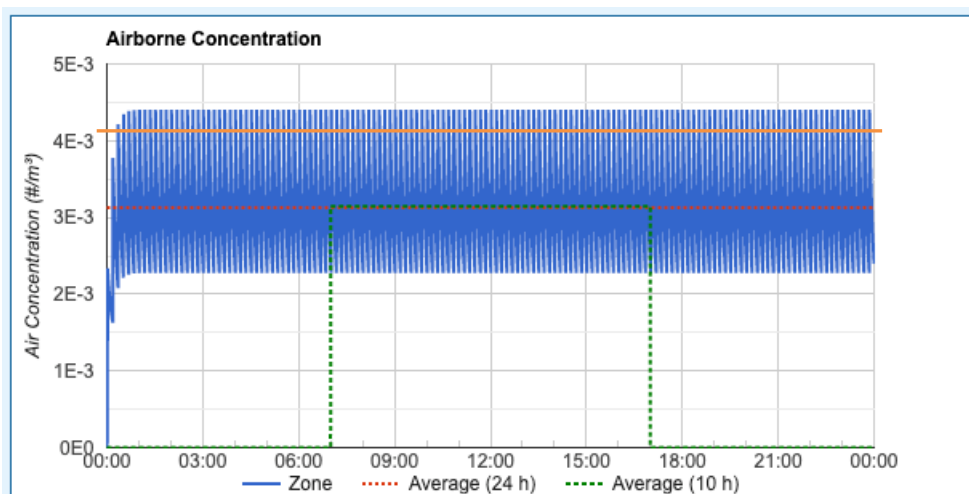


Diagram 19 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $5 \mu\text{m}$  vid  $5,3 \text{ oms/h}$ . Medelkoncentration för  $3,5 \text{ oms/h}$  redovisas i orange

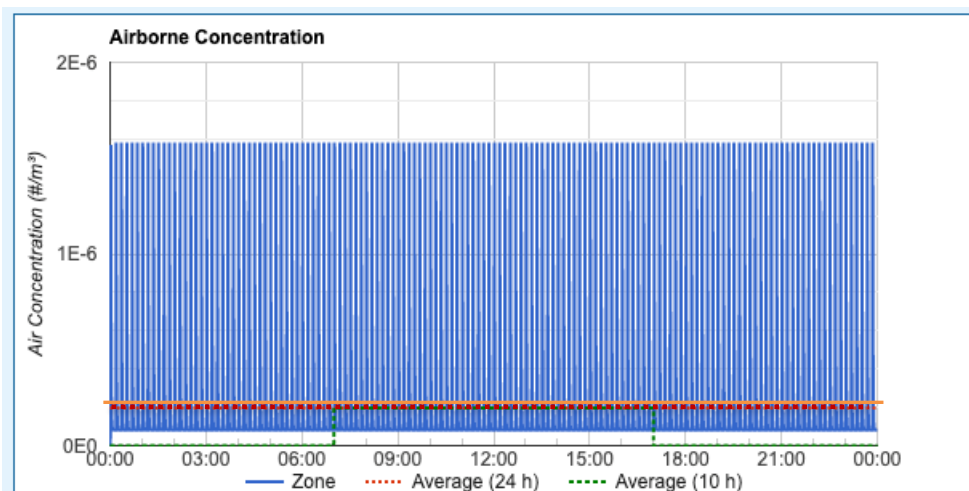


Diagram 20 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $50 \mu\text{m}$  vid  $5,3 \text{ oms/h}$ . Medelkoncentration för  $3,5 \text{ oms/h}$  redovisas i orange



Ökad ventilation från 3,5 till 5,3 oms/h ger 32% färre partiklar av storlek 0,5  $\mu\text{m}$ , och 25% minskning för partiklar av storlek 5  $\mu\text{m}$ . För partiklar av storlek 50  $\mu\text{m}$  syns ingen större skillnad. Den luftburna exponeringen går även här att avläsa i diagram 21-23. Jämfört med exponeringen för 3,5 oms/h är exponeringen för luftburna partiklar av storleken 0,5  $\mu\text{m}$  och 5  $\mu\text{m}$  mindre. Ingen större skillnad syns för partikelstorlek 50  $\mu\text{m}$ .

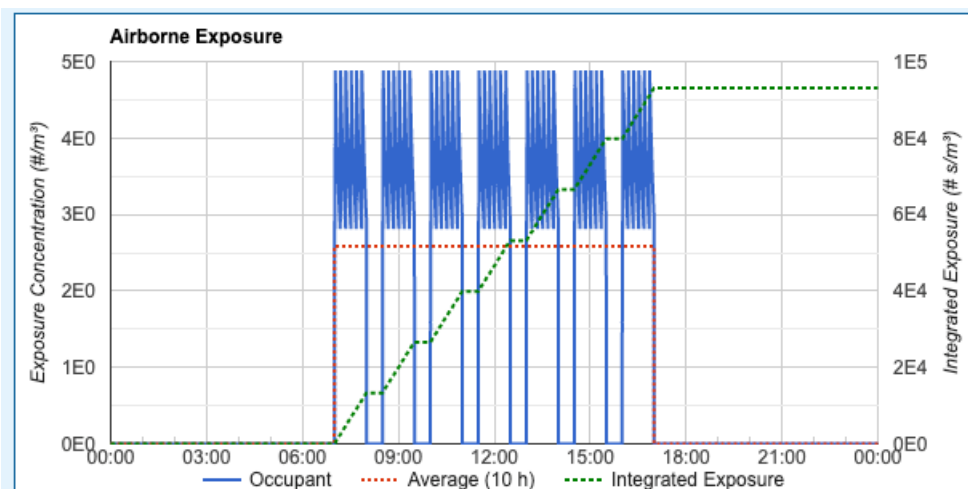


Diagram 21 Exponering för luftburna partiklar av storleken 0,5  $\mu\text{m}$  vid 5,3 oms/h

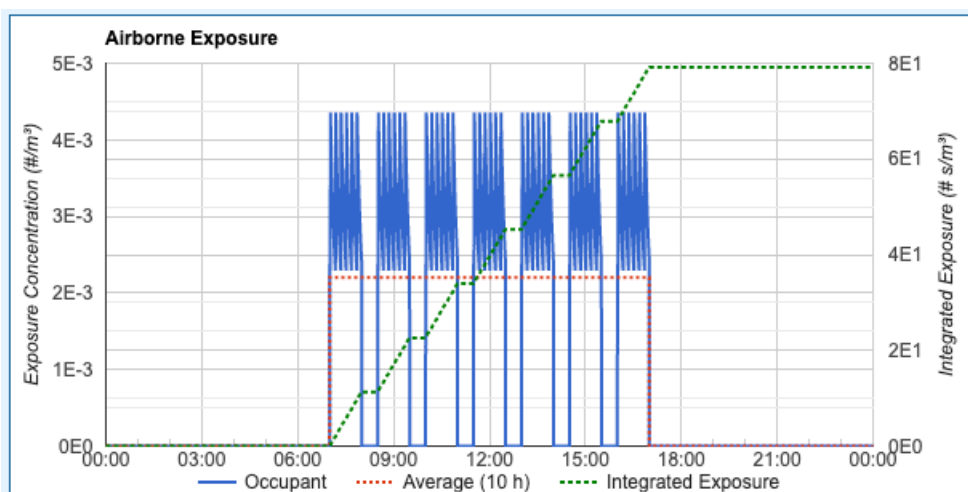


Diagram 22 Exponering för luftburna partiklar av storleken 5  $\mu\text{m}$  vid 5,3 oms/h

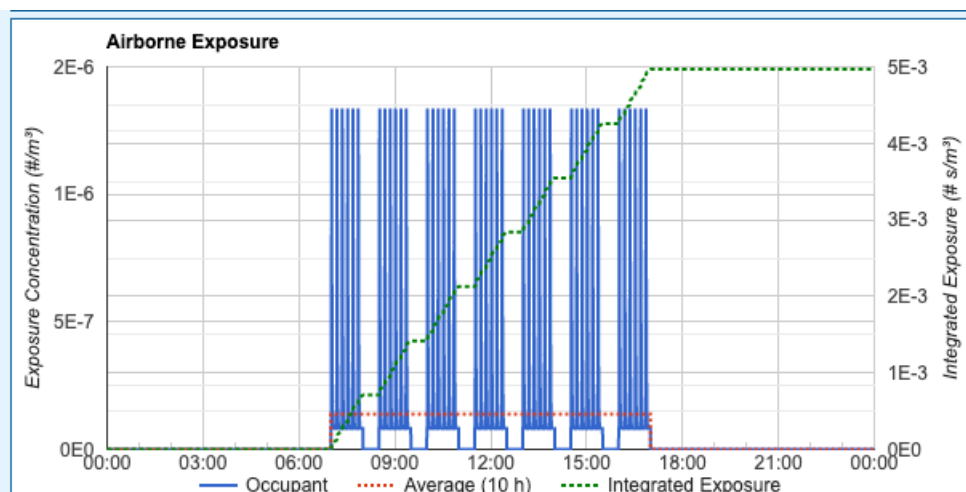


Diagram 23 Exponering för luftburna partiklar av storleken 50  $\mu\text{m}$  vid 5,3 oms/h

Partikelkoncentrationen är generellt lägre när luftomsättningen ökas från 3,5 till 5,3 oms/h. För de mindre storlekarna sker en minskning av mängden partiklar i luften medan ingen större skillnad sker för partiklar med storleken 50  $\mu\text{m}$ . Den luftburna exponeringen är betydligt lägre för större partikelstorlekar då dessa deponerar snabbare, vilket innebär att ventilationen verkar på de partiklar som har betydelse med avseende på luftburen smitta.

### 8.3.3 Test 3 – 3,5 oms/h med luftrenare

Nästa test utfördes med en luftrenare implementerat i ett klassrum med 3,5 oms/h för att se hur stor effekten blev. I diagram 24 visas hur utfallet för partiklar blir men denna gång med en luftrenare med CADR av samma storlek som ventilationsflödet för 3,5 oms/h. Indata för luftrenaren går att hitta i appendix D. I diagram 24 syns en ny kategori som visar hur stor andel av partiklar som blivit filtrerade med luftrenare (Filtered). För partikelstorlek 0,5  $\mu\text{m}$  och 5  $\mu\text{m}$  filtrerar luftrenaren bort cirka 40 %. För partikelstorlek 50  $\mu\text{m}$  har luftrenaren betydligt mindre effekt.

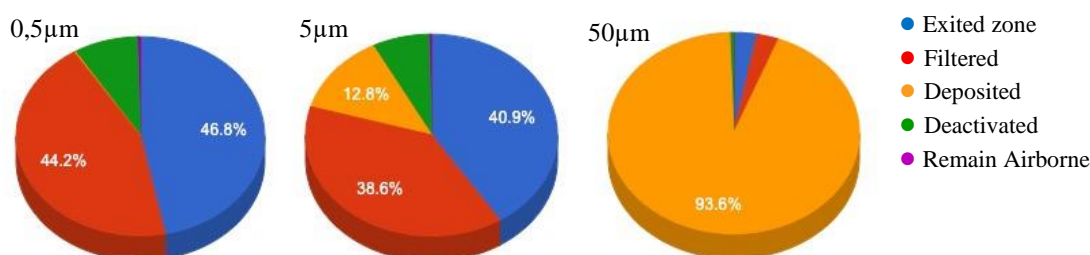


Diagram 24 Utfall för SARS-CoV-2 partiklar med storlek 0,5  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  och 50  $\mu\text{m}$  vid 3,5 oms/h med luftrenare

Medelkoncentration för partiklar går att avläsa i diagram 25-27 och för att jämföra med tidigare har referensstreck lagts in även här. Orange streck visar medelkoncentration vid 3,5 oms/h och grönt streck visar medelkoncentration för 5,3 oms/h. I diagram 25 syns dock inte medelkoncentration i vid 3,5 oms/h då skalan inte räcker till.

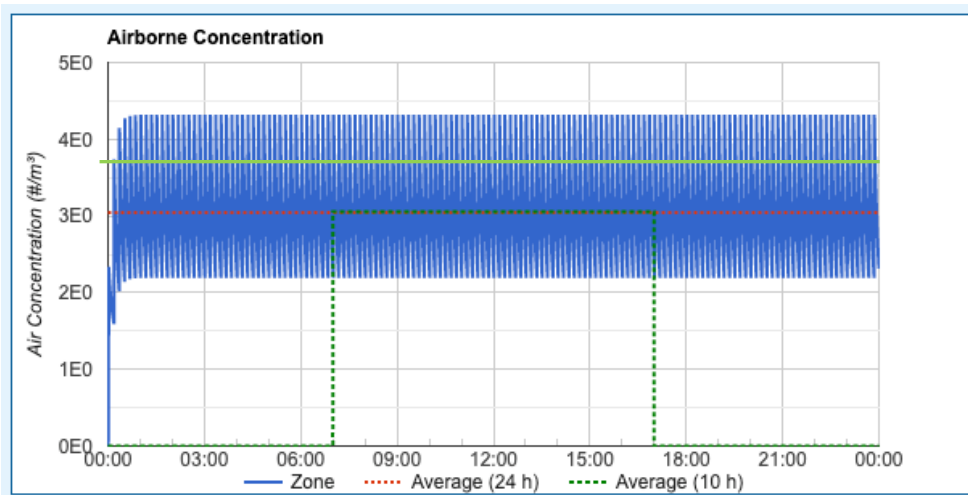


Diagram 25 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $0,5 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms/h}$  med luftrenare. Medelkoncentrationen för  $5,3 \text{ oms/h}$  redovisas i grönt

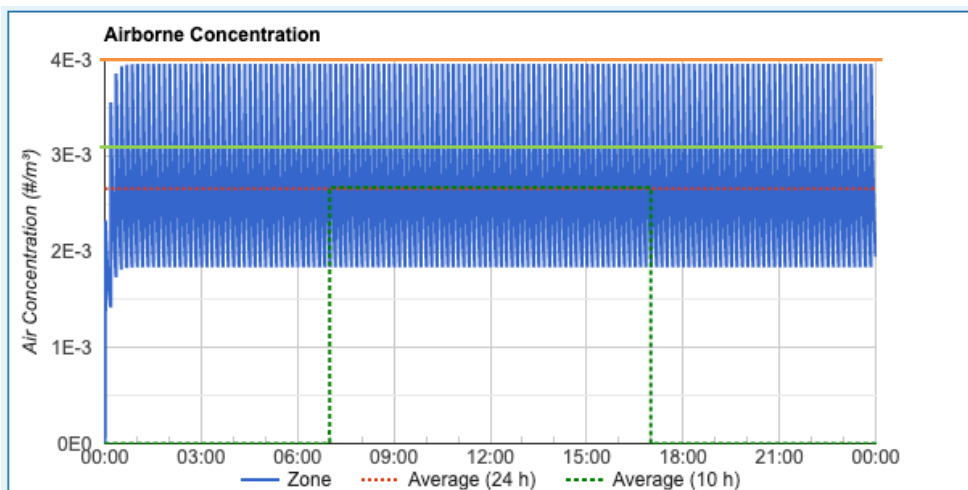


Diagram 26 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $5 \mu\text{m}$  vid  $3,5 \text{ oms/h}$  med luftrenare. Medelkoncentration för  $3,5 \text{ oms/h}$  redovisas i orange. Medelkoncentrationen för  $5,3 \text{ oms/h}$  redovisas i grönt

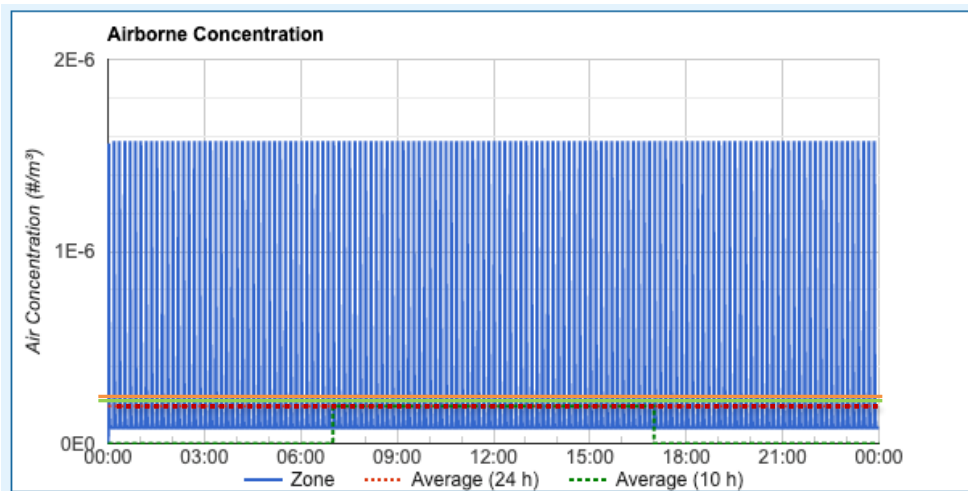


Diagram 27 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $50\ \mu\text{m}$  vid 3,5 oms/h med luftrenare. Medelkoncentration för 3,5 oms/h redovisas i orange. Medelkoncentrationen för 5,3 oms/h redovisas i grönt

Med hjälp av referenssträcken kan effekten av luftrenare och att öka luftomsättningen jämföras. Att öka luftomsättningen från 3,5 oms/h till 5,3 oms/h har sämre effekt än luftrenaren i detta test. I diagram 25 avläses att ökad ventilation från 3,5 oms/h till 5,3 oms/h ger 32 % minskning av partiklar och att luftrenare ger 45 % minskning, jämfört med endast ventilation med 3,5 oms/h. Diagram 26 ger oss att ventilation med 5,3 oms/h ger en minskning med 25 % och luftrenare ger 38 % minskning. I diagram 27 är skillnaden inte betydande stor.

Den luftburna exponeringen vid 3,5 oms/h med luftrenare redovisas i diagram 28-30.

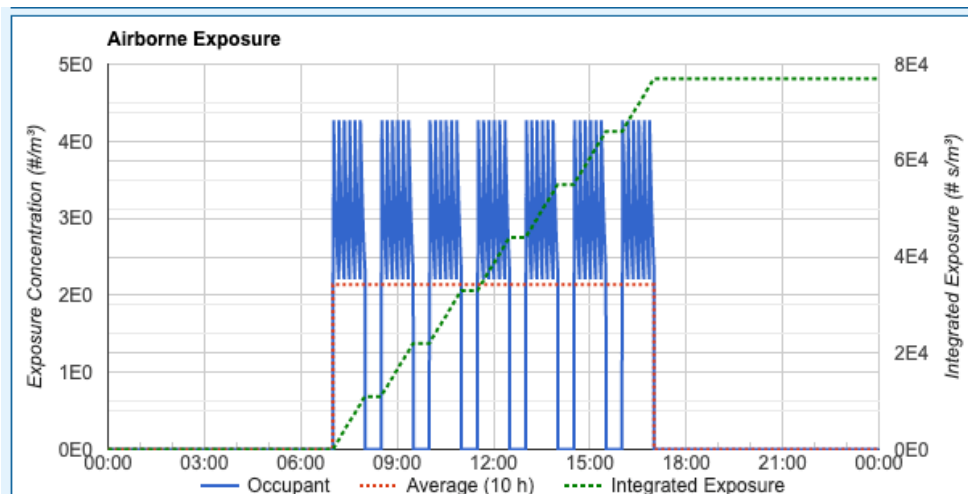


Diagram 28 Exponering för luftburna partiklar av storleken  $0,5\ \mu\text{m}$  vid 3,5 oms/h med luftrenare

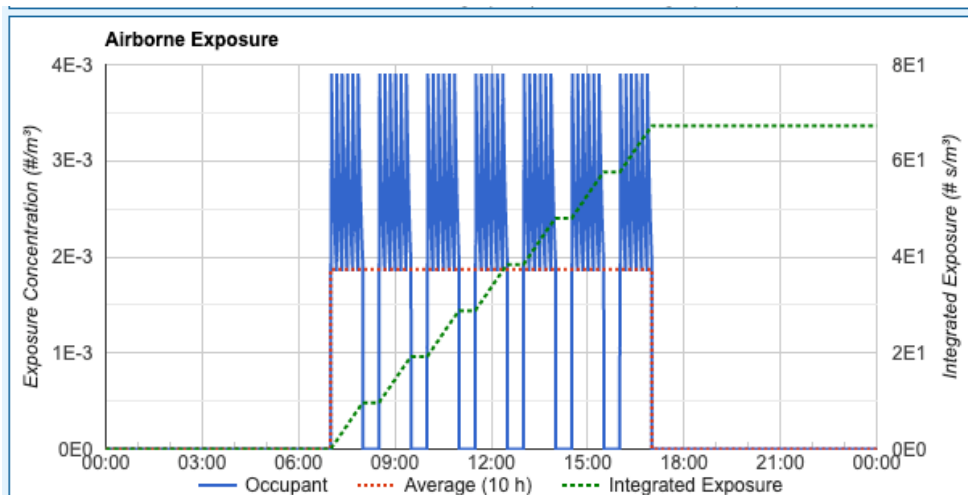


Diagram 29 Exponering för luftburna partiklar av storleken 5 µm vid 3,5 oms/h med luftrenare

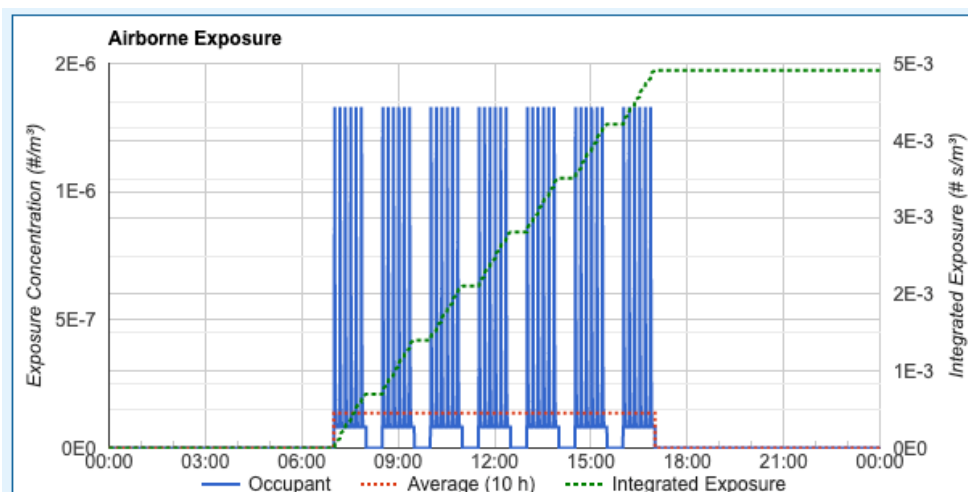


Diagram 30 Exponering för luftburna partiklar av storleken 50 µm vid 3,5 oms/h med luftrenare

Generellt syns en förbättring i form av minskad partikelkoncentration vid användning av luftrenare jämfört med endast ventilations med 3,5 oms/h (test 1). Partikelkoncentrationen vid luftrenare är även cirka 13 procentenheter bättre än vid 5,3 oms/h (test 2), när det kommer till de mindre partikelstorlekarna. Förbättringen ökar alltså vid mindre partikelstorlekar.

### 8.3.4 Test 4 – 1 oms/h med och utan luftrenare

Nästa test utformades efter ett klassrum med sämre ventilation, i detta fall användes 1 oms/h för att se effekten av luftrenare. Utifrån tidigare test syns luftrenarens effekt på de mindre partikelstorlekarna och bedöms ge relevant resultat i detta test. Därför genomfördes nästa test med endast den minsta partikelstorleken, 0,5 µm. Luftrenaren har en CADR som motsvarar mellanskillnaden mellan 1 oms/h till 3,5 oms/h, alltså 2,5 oms/h, för att jämföra med tidigare partikelkoncentrationer vid 3,5 oms/h. Input för luftrenaren hittas i Appendix E. I diagram 31 redovisas utfall för

partiklar av storleken  $0,5 \mu\text{m}$  i ett klassrum med 1 oms/h. Till vänster är utan luftrenare och till högre, med luftrenare.

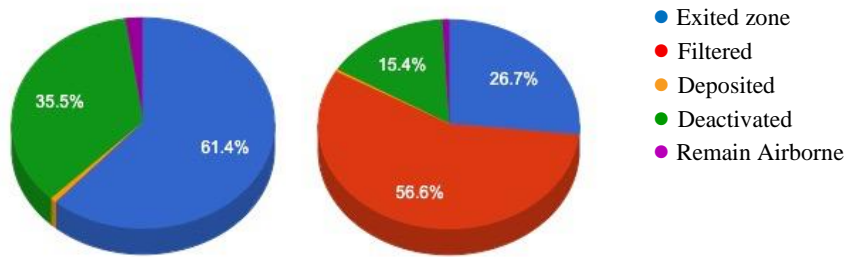


Diagram 31 Utfall för SARS-CoV-2 partiklar med storlek  $0,5 \mu\text{m}$ , vid 1 oms/h. Utan luftrenare till vänster. Med luftrenare till höger

Resultatet av partikelkoncentrationen för klassrum med 1 oms/h utan luftrenare redovisas i diagram 32 och med luftrenare i diagram 33.

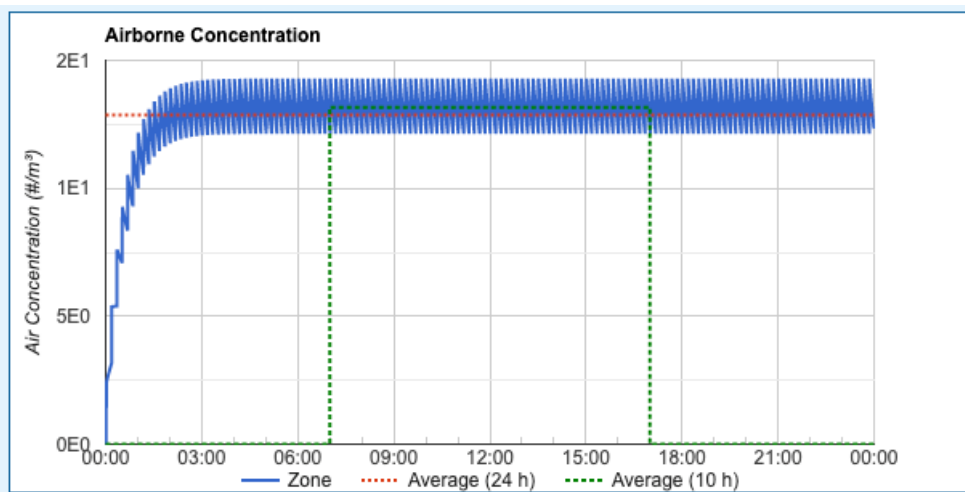


Diagram 32 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $0,5 \mu\text{m}$  vid 1 oms/h utan luftrenare

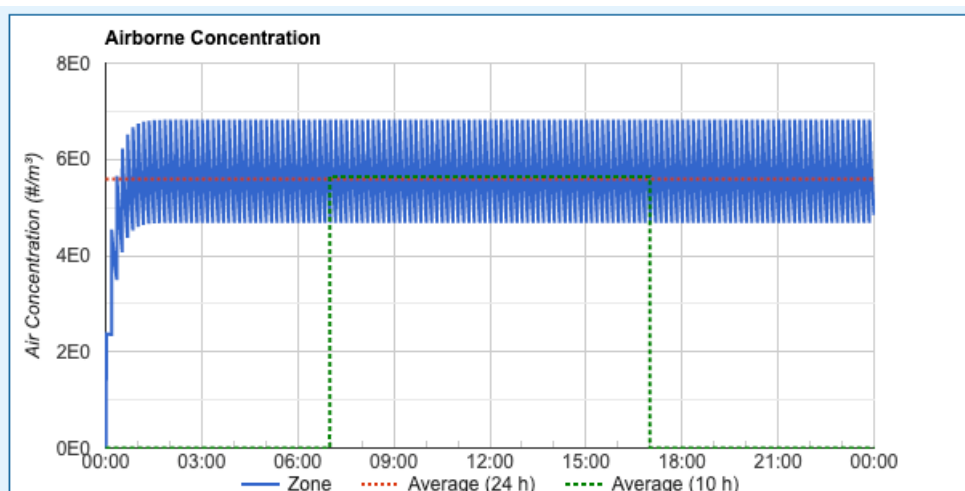


Diagram 33 Koncentrationen av luftburna partiklar av storleken  $0,5 \mu\text{m}$  vid 1 oms/h med luftrenare

Medelkoncentrationen för ett klassrum med 1 oms/h, utan luftrenare, är cirka  $1,5E1$ , alltså 15 partiklar per kubikmeter ( $\#/m^3$ ). För ett klassrum med 1 oms/h och luftrenare avläses medelkoncentrationen till  $5,5E0$  vilket motsvarar  $5,5 \#/m^3$ . Detta innebär en minskning av partiklar med 63%.

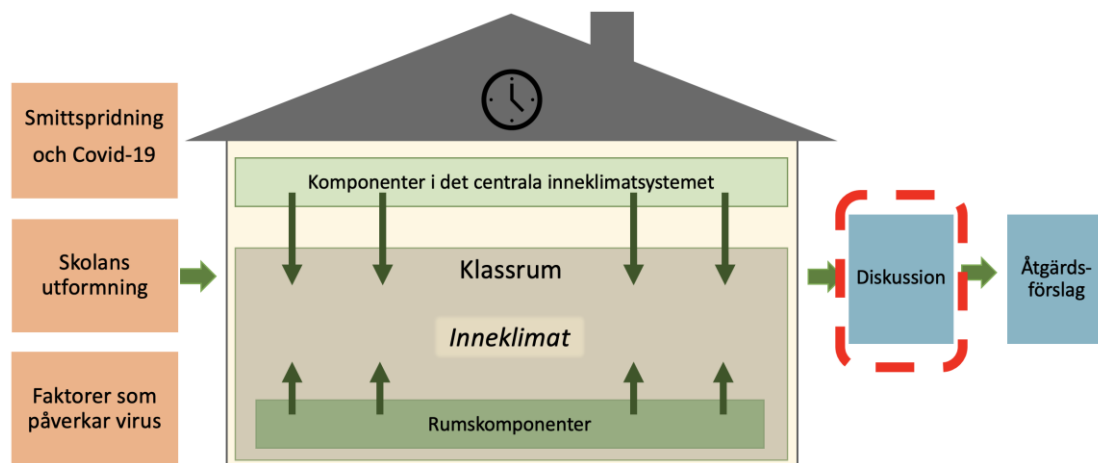
## 9 SAMMANFATTNING, ANALYS OCH DISKUSSION

Nedan följer en sammanfattning av de kärnpunkter som presenterats tidigare i texten för att underlätta för läsaren i den fortsatta diskussionen.

- Virus påverkas av ett flertal faktorer. Dess livslängd påverkas av fukt, temperatur och UV-ljus. Avseende temperatur är det dessvärre svårt att påverka med inneklimatet då temperatur över 35 °C krävs för att få effekt mot SARS-CoV-2. För att förkorta virus livslängd bör fukthalten i inneklimatet vara mellan 40-60 % RH. Spridningen av virus beror även på luftströmmar i rummet, detta gäller främst de mindre partiklarna och det är framför allt här ventilationen har betydelse.
- För att behålla fukten i inneklimatet är fuktöverförande värmeväxlare ett bra alternativ.
- I luftbehandlingsaggregat finns det risk för internt luftläckage mellan luftflödena. Detta kan innebära att virus inte ventileras ut utan kommer tillbaka in i rummet genom värmeväxlaren.
- Det finns ett flertal olika reningsmetoder som har olika bra effekt mot SARS-CoV-2 och virus över lag. HEPA-filter, UV-ljus och elektrostatfilter är några av dem. Viktigt att tänka på är att ökad rening behövs i rummet under en pandemi, inte i luftbehandlingsaggregatet. Av den anledningen blir luftrenare mer aktuellt.
- Behovsstyrd ventilation kan anpassas för att öka drifttid och forcering av ventilation.
- Diverse myndigheter och organisationer har yttrat sig om pandemin och formulerat rekommendationer att följa. Några kärnrekommendationer som ett flertal nämner är:
  - Öka drifttiden på ventilationen och ha på den två timmar innan och efter att byggnaden är i bruk
  - Ta pauser och vädra ut lokalen
  - Stäng av behovsstyrning
  - Används luftrenare om ventilationen inte möter minimikraven
  - Luften bör vara omblandande
- Genom två olika beräkningsmodeller demonstrerades vilken inverkan aktivitet och samtalsnivå, luftomsättning samt luftrenare har på sannolikhet för smittspridning.

Nedan diskuteras tidigare forskningsresultat och hur det tillämpas vid pandemi-situationer, Covid-19 samt i skolor. Diskussionen innefattar bland annat tillämpning av olika komponenter i ventilationssystemet för att minimera smittspridningen, jämfört med nuvarande rekommendationer, analys om kunskapsläget i branschen samt tolkning av resultatet från smittspridningsberäkningen.





Figur 13 Flödesschema – Diskussion

## 9.1 Inneklimat

Vid utformning av inneklimat har komfort fått stor fokus och prioritering. Det är givetvis relevant att människor ska trivas och det påverkar även prestation till viss del. Ur komfortsynpunkt föredras en högre operativ temperatur medan människan presterar bättre vid en något lägre rumstemperatur. Den operativa temperaturen påverkas även av fukthalten i rummet. Vid en högre fukthalt avdunstar inte lika mycket fukt från vår hud och därför kan en lägre temperatur med högre fukthalt upplevs behaglig. Vidare menar vi att hälsoperspektivet bör lyftas och prioriteras högre än komfortperspektivet i inomhusklimat.

### 9.1.1 Temperatur

I studien av Hung et al (2020) om hur Covid-19 förhåller sig till temperatur kommer de fram till att smittspridningen ökar när utomhustemperaturen är mellan 5°C till 15°C. De hade helt rätt i sitt konstaterande om att en andra våg skulle komma, efter sommaren, när temperaturen blev lägre igen. I studien som Lowen et al. (2007) genomfört kom de fram till att lägre temperaturer gör att fler viruspartiklar utsöndras från ett smittat marsvin. Utifrån dessa två studier kan en teori vara att SARS-CoV-2 agerar på samma sätt som influensavirus A, att vid lägre temperaturer smittar en smittbärare i högre grad.

Att ha i åtanke gällande spridning är att orsaken till att fler människor smittats inte nödvändigtvis beror på utomhustemperaturen. Under 15°C tycker vi människor att det är relativt kallt och tenderar att hålla oss inomhus. En annan bidragande faktor kan vara att solljuset och UV-index blir mindre på hösten vilket då inte kan desinficera virus lika bra. Den största spridningsrisken, som varar vid lägre temperaturer, är svår att undvika helt. För att vara på den säkra sidan bör innetemperaturen vara under -5°C eller över 35°C, men att ändra temperaturen för att minska smittspridning utifrån resultatet av dessa studier är inte praktiskt genomförbart. Att höja temperaturen endast några grader skulle minska sannolikheten ytterligare för smittspridning men då uppstår andra problem som lägre relativ luftfuktighet, högre energikostnader samt inlärnings- och koncentrationssvårigheter (Wargocki & Wyon, 2011).

## 9.1.2 Lufttorrhet snarare än luftfuktighet

Vi vill bemöta lufttorrhet som en viktig faktor i inneklimat. Torr luft har negativ inverkan på människors hälsa och upplevelse samt gynnar virus förmåga att överleva. Det är svårt att mäta effekten av hur mycket luftfuktighet påverkar smittspridning men det är en viktig aspekt i ett större perspektiv. I diskussion om termisk komfort har temperatur stor fokus. Klagomål om att hyresgäster tycker det är för kallt är inte ovanligt och en enkel åtgärd är att höja temperaturen. Luftfuktighet påverkar upplevelsen av temperaturen på så sätt att luften upplevs varmare i ett fuktigare klimat (SMHI, 2020). I samtal med Maria Alm, från Göteborgs Stad Lokalförvaltningen (12 mars, 2021), förklarar hon att några av de vanligaste klagomålen Lokalförvaltningen får från sina hyresgäster är torra ögon, kliande hud, huvudvärk etcetera, vilka är vanliga torrhetssymptom. Att öka fukthalten i luften, i stället för att höja temperaturen, skulle göra den operativa temperaturen behagligare, färre klagomål orsakade av torrhetssymptom och att immunförsvaret förbättras.

REHVA, ASHRAE och ECDC tar upp det faktum att en fukthalt mellan 40-60 % RH kan inaktivera virus, men fortsätter med att det är för lite forskning gällande detta i samband med Covid-19. Samtliga kommer fram till att ingen åtgärd bör göras och rekommendationen är att bibehålla tidigare inställning. Samtidigt skriver REHVA att det bra att eftersträva en lägsta fukthalt 20-30 % RH, särskilt vintertid

Att installera en fuktöverförande värmeväxlare är den enklaste åtgärden för att höja fukthalten inomhus och är främst aktuellt vid nybyggnation då det är en relativt dyr och stor åtgärd att byta ut i ett befintligt system. Med en fuktöverförande roterande värmeväxlare kan den lägsta nivån för luftfuktighet inomhus höjas från 15 % till 30 % vid dimensionerande utetemperatur i Göteborg. Detta är lägre än den rekommenderade gräns på 40 % RH som Wiedensohler et al. (2020) anger i sin studie men inom gränsen, 20-30 % RH, som REHVA anger i sina rekommendationer. Virus möjlighet att spridas och överleva ökar exponentiellt vid luftfuktighet lägre än 33 % vilket kan ha en betydande inverkan på smittspridning i inomhusklimat. På sommaren när kylåtervinning sänker fukthalten kan givare för att mäta luftfuktigheten vara bra för att säkerställa att fukthalten inte blir för låg.

Några gräns- eller riktvärden för relativ fuktighet i luft med avseende på inneklimat beaktas generellt inte vid projektering av nyproduktion idag. Dels då det inte finns något krav på detta, dels då det finns stor oro för fukt i konstruktion med efterföljande problem vilket kan härledas till ospecifik byggnadsrelaterad ohälsa. Nordiska Ventilations Gruppen, en grupp akademiker vars syfte är att utveckla ventilationsteknik för ett bra inneklimat, har nyligen belyst frågan om fukt i innemiljöer i hopp om att skapa diskussion kring fuktens betydelse för människor och dess inverkan på konstruktioner (Seppänen, 2021). Vi hoppas att denna rapport och diskussioner kring SARS-CoV-2 och luftfuktighet kan bidra till att frågan lyfts ytterligare.

## 9.2 Komponenter och metoder för luftrening mot Covid-19

Det finns ett flertal komponenter som går att använda mot Covid-19 men då vi fortsatt befinner oss i pandemin är forskningen om hur reningsmetodernas påverkan på just SARS-CoV-2 ännu inte slutförd. Generellt behövs ingen förbättring av rening i det centrala inneklimatsystemet då virus sprids i rummet och inte i luften utifrån. Därav diskuteras reningsmetoder i rummet samt hur luftombytet kan ske. Diskussionen kompletteras med rekommendationer gällande dessa komponenter och reningsmetoder från tidigare nämnda myndigheter och organisationer. Nedan diskuteras några av de rekommendationer som är återkommande och några som sticker ut.

### 9.2.1 Luftrenare i rummet

Luftrenare är praktiskt tillämpligt i ett klassrum och har bra effekt mot att minska partikelkoncentrationen men det krävs att driften sköts på rätt sätt. Den lämpar sig bäst i ett rum med omblandade ventilation, så som skolor, då luftrenaren skapar luftströmlar i rummet. Vid deplacerande ventilation stör luftrenaren den termiska plymen och riskerar att föra den förorenade luften ner i vistelsezonen. En nackdel med luftrenare är att den kan kräva manuell hantering, exempelvis att den startas vid skoldagens början samt vid rengöring och filterbyte. Optimalt hade varit om luftrenaren kunde kopplas in till styrningen i ventilationssystemet, men det skulle bli en betydligt mer komplicerad installation. Ett annat problem som framför allt stör verksamheter med undervisning är ljudalstring. Vid val av luftrenare måste ljudalstring tas i beaktning då det skiljer sig från olika fabrikat och produkter. Att välja en luftrenare med högre kapacitet än behovet gör att fläkten inte behöver köras på maximal kapacitet och därmed alstrar mindre ljud. Risken med för hög ljudalstring är att luftrenaren stängs av. Placering av luftrenare kan påverka hur effektivt den renar luften. För bästa reningsförmåga ska luftrenaren stå nära källan som släpper ut partiklar, vilket innebär bland eleverna i ett klassrum. Att placera den mitt i ett klassrum mellan alla elever kan göra att fler upplever den som ett störande moment och det kan leda till att den flyttas eller stängs av. För att undvika detta kan det vara bättre att avsiktligt placera den avsides i anslutning till frånluftdon. Nackdelen är att den placeringen sannolikt är längre bort från källan och därmed inte filtrerar bort viruspartiklarna lika snabbt.

Gällande reningsmetod är HEPA-filter, UV-ljus och elektrostatiskt filter vanliga metoder som alla kan ha bra effekt mot partiklar. I samtal med Maria Alm (12 mars 2021) från Göteborgs Stad Lokalförvaltningen berättar hon hur de använt elektrostatiska filter i vissa luftrenare men att problem ofta uppstår vid diskussion om underhåll. Luftrenare med elektrostatiska filter är generellt svårare att underhålla, jämfört med luftrenare med HEPA-filter, då de måste rengöras med kemikalier. De behöver inte rengöras lika ofta men ett elektrostatiskt filter kan väga upp till 20 kg och leverantörer tenderar att vilja sköta underhållet. Samtidigt har Lokalförvaltningen sin egen driftavdelning som sköter resterande luftrenare i deras bestånd. Leverantören menar då att om kunden vill sköta underhållet avser de sig garantiansvar. Flera myndigheter och organisationer rekommenderar luftrenare till de lokaler där ventilationen inte möter minimikraven men poängterar hur viktigt det är med kapacitet, placering och reningsmetoder. REHVA, ASHRAE och WHO trycker på att luftrenaren bör ha

HEPA-filtrer för bästa resultat. Ingen av de svenska myndigheterna rekommenderar luftrenare i rummet.

#### **9.2.1.1 HEPA-filtrer**

Att använda HEPA-filtrer för att säkerställa låg partikelkoncentration i inomhusmiljö är vanligt förekommande och väletablerat inom sjukhusmiljöer och renrum såväl som luftrenare. De är relativt enkla att installera, kräver inte så mycket underhåll och medför ingen tillkommande risk för ohälsa. En nackdel är att det blir ett relativt stort tryckfall över filtret vilket kan generera ljud. Vid val och utformning av rumsrenare med HEPA-filtrer måste detta tas i beaktning.

#### **9.2.1.2 Elektrostatisk filtrering och jonisering**

Elektrostatisk filtrering har funnits länge i branschen men det finns ett visst motstånd med tanke på risken för alstring av ozon. Generellt garanterar tillverkare av elektrostatfilter att alstringen av ozon är under gränsvärden och därmed inte påverkar människors hälsa negativt. Elektrostatfilter i luftrenare är mer relevant och praktisk tillämpbart på skolor. Eftersom elektrostatfilter och jonisering klumpar ihop partiklarna kan ett filter med lägre filterklass användas. Lägre filterklass genererar ett lägre tryckfall vilket kan innebära att de har en något lägre ljudalstring än luftrenare med HEPA-filtrer. Detta är fördelaktigt för att kunna ha luftrenare i drift under lektionstid.

#### **9.2.1.3 UV-ljus**

Att implementera UV-ljus på skolor är möjligt, i det korta perspektivet, för att hålla nere smittspridningen. Portabla UV-renare är ett bättre alternativ att tillfälligt sätta in i situationer som en pandemi. De används då mellan raster och innan eller efter skoldagen. Att lysrören håller 1-2 år borde inte vara ett problem då pandemi historiskt generellt har varat inom det tidsspannet. REHVA och CDC rekommendationer anger att UV-ljus kan installeras som komplement till nuvarande reningssystem. ASHRAE och ECDC menar att forskning om huruvida UV har effekt på Covid-19 saknas och således rekommenderar inte denna åtgärd.

#### **9.2.1.4 Ozon**

Det finns risker kopplat till rening med hjälp av ozon om hanteringen av den inte sköts på rätt sätt. Själva installationen är dessutom en väsentlig ändring enligt Boverkets regler så att tillämpa ozonrening på befintliga skolor vore troligtvis svårt att genomföra samt en mindre lönsam åtgärd (Boverket, 2020b). Dessutom är det ännu osäkert vilken effekt ozon har på SARS-CoV-2. I och med riskerna som finns med ozon är det inte den främsta åtgärden mot smittspridning på en skola under en pandemi.

### **9.2.2 Luftläckage i luftbehandlingsaggregat**

Som nämns, i kapitel 5.1.1, menar flera källor att luftläckage över växlaren är i stort sett försumbart. Detta förutsätter dock att luftbehandlingsaggregat och dess komponenter är installerade på rätt sätt, särskilt med avseende på tryckförhållanden, tätningar och renblåsningssektor. REHVA har tagit fram ett kompletterande dokument om hur detta kontrolleras med avseende på SARS-CoV-2. REHVA anger 10-20 % som ett högt läckage vilket betyder att den luft och de partiklar som överförs via läckage kommer att spädas ut väsentligt. (REHVA, u.å). Ett luftbehandlingsaggregat förser

dessutom vanligtvis flera zoner och rum vilket innebär att frånluften har späts ut och antar en låg koncentration av virus när den når värmeväxlaren. I miljöer där överföring av partiklar och gaser inte accepteras, exempelvis sjukhus, väljs roterande värmeväxlare ofta bort för att eliminera denna risk. I skolan handlar det om att minimera snarare än att eliminera risk. Genom att kontrollera och säkerställa att eventuellt läckage i luftbehandlingsaggregat går från tilluften till frånluften utgör roterande värmeväxlare inte någon ökad risk för smittspridning.

### **9.2.3 Forceringstid och överventilation**

En generell rekommendation som alla myndigheter tagit upp är att forcera ett antal timmar innan och efter arbetsdagen. REHVA (2020a) och ASHRAE (2020b) förklarar denna rekommendation mer utförligt. REHVA rekommenderar att ventileras med 2-3 oms/h samt att ventileras två timmar innan och efter arbetsdagen. ASHRAE förklarar att 95 % av partiklarna i luften ska filtreras bort och för det krävs cirka 3 oms/h. I stället för att beräkna luftomsättningen på den aktuella lokalen menar ASHRAE att forcering i två timmar innan och efter användning (totalt fyra timmar) kan tillämpas med antagandet att minimikravet för byggnaden är uppfyllt. Detta är en tydligt formulerad rekommendation där teorin förklaras och presenteras så man som fastighetsägare kan göra beräkningar på vilken tid som skulle passa för just sin lokal. De tar även med en förenklad rekommendation för att inte alla ska behöva räkna på det och utgår då från minimikraven i USA. Andra myndigheter anger endast en eller två timmar utan att ange teorin bakom vilket gör rekommendationen till ogrundad och tolkas som att maximalt ventilationsflöde måste vara i drift två timmar innan och efter. Här blir det fel då grundteorin inte säger något om tid utan två timmar-rekommendationen kommer endast ifrån ASHRAE och REHVA som gjort en beräkning utifrån minimikravet för ventilation generellt i USA och Europa. För byggnader i Sverige som uppfyller gällande minimikrav på luftomsättning är denna rekommendation inte relevant då det tar betydligt kortare tid att ventileras ut 95% av luften. I diagram 1, kapitel 4.6, redovisades hur lång tid det skulle ta att byta ut 95 % av luften beroende på vilken luftomsättning klassrummet har. Denna redovisning har även gjorts för typiskt utformade skolor i Göteborgsregionen, se Diagram 34.

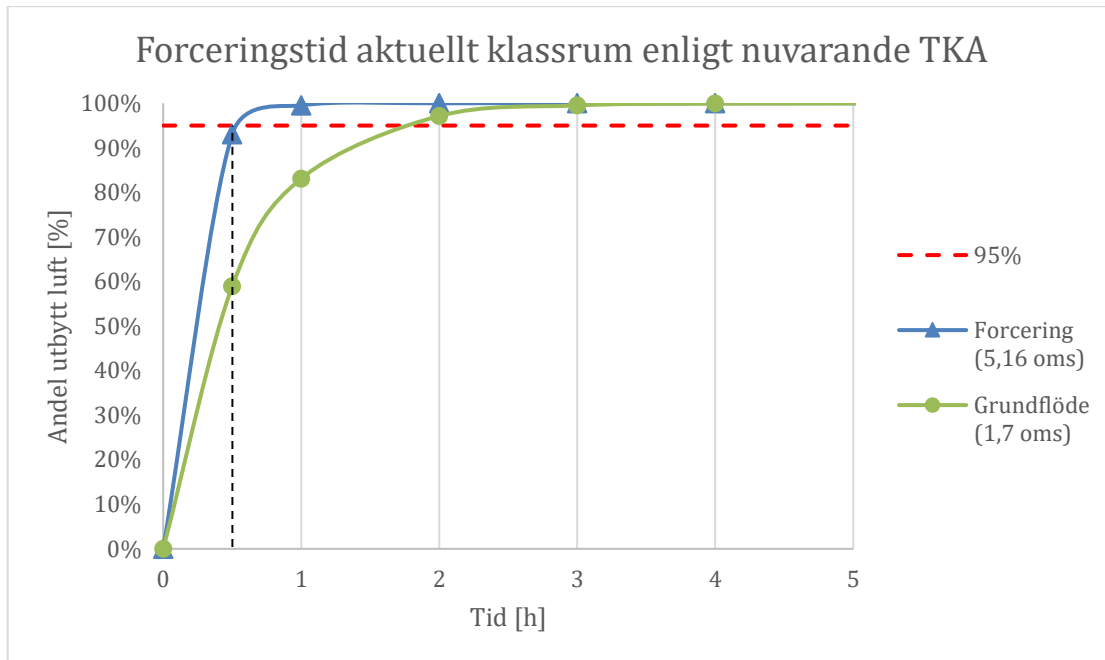


Diagram 34 Tid för luftombyte svenskt klassrum

För att uppfylla kraven om 95 % utbyte räcker det att ha ventilationen på forcering i cirka 35 minuter i klassrummet. Detta är även rimligt att utgå från när vi diskuterar längd på raster, alltså hur lång tid det krävs för att ventileras ut tillräckligt med partiklar mellan lektioner.

Generellt har vi relativt hög luftomsättning i kommersiella fastigheter i Sverige vilket innebär att två timmar är många gånger mycket längre tid än vad som behövs för att byta ut 95 % av luften. I äldre bestånd kan forcering i två timmar komma att bli aktuellt men för det mesta kommer det leda till överventilation och onödig energiförbrukning om alla skulle följa denna rekommendation. Fram till den 7 maj 2021 rekommenderade Arbetsmiljöverket två timmar forcering, med hänvisning till WHO och ECDC. Då, över ett år efter att Covid-19 brutit ut, sänkte Arbetsmiljöverket denna rekommendation till en timme, med tillägg att tiden ska anpassas till hur effektivt luften i rummet byts ut. Detta tolkar vi som att det ska vara en timme eller längre. Justeringen är en klar förbättring av rekommendationen men kan förtydligas ytterligare då det är lätt att tolka detta som att mer ventilation alltid är bättre medan vi menar att det kan finnas en brytpunkt då det inte medför ytterligare fördelar.

## 9.2.4 Vädring

Vädring är en kompletterande åtgärd som majoriteten av nämnda myndigheter och organisationer är enade om och rekommenderar. 15 minuters vädring är en återkommande rekommendation från flera myndigheter medan ASHRAE sticker ut och menar att om vädret tillåter bör man överväga att vädra 2 timmar mellan arbetsdagar. I en skolmiljö kan vädring vara aktuellt mellan lektioner. Det är svårt att ange exakt vilken effekt vädring har då det beror på bland annat storleken på rummet, storleken på fönster och dörrar, temperatur och vindriktning. För ventilationssystem med lägre luftomsättning än 3,5 oms/h är vädring ett bra komplement mellan lektioner men vid avancerade system är det inte lika gynnsamt. Vädring är enkelt att utföra men innefattar

viss problematik. I byggnader med FTX-system kan balansen rubbas i andra zoner än där vädring sker. Det kan leda till att frånluftsflödet blir större än tilluftsflödet och därmed skapar okontrollerat undertryck i rummet vilket i sin tur kan leda till att det blir tungt att öppna dörrar. Det vore då bättre att låta FTX-systemet sköta luftutbytet, även om det krävs längre tid än 15 minuter, då effekten blir säkrare. Vädring kan även påverka funktionen i frånluftssystem då det bygger på undertryck. Om ett fönster öppnas i en del av systemet kan det leda till att ventilationen minskar i övriga utrymmen. Vidare innebär vädring att uteluft tas direkt in i lokalen utan förbehandling. Troligtvis är uteluften bättre med avseende på viruskoncentration men kan föra med sig föroreningar och andra partiklar. I Sverige är ett av dessa problem att majoriteten av året är utomhusluften kall vilket skulle innebära att energikostnaden ökar och den termiska komforten minskar. Ett annat problem är pollensäsongen som skapar problem för allergiker. I storstäder kan det även finnas problematik med avgaser och andra farliga partiklar i luften.

### **9.2.5 Behovsstyrd ventilation**

En viktig aspekt vid behovsstyrning av skolor är att klassrummens användning ofta pendlar mellan 0 % närvaro till 100 % närvaro, tillskillnad från kontor där användningen kan vara mer varierande däremellan (ASHRAE, 2009). Vanligtvis dimensioneras system med behovsstyrd ventilation inte för att klara forcering i alla rum samtidigt utan för cirka 70 % av motsvarande flöde. Att helt koppla bort behovsstyrning kan därför leda till att tomma rum ventileras och att luftflödet inte är tillräckligt i de rum där människor vistas. Med avseende på variation i närvaro och att koncentrationen av koldioxid eller temperatur ökar med en viss fördröjning måste inställda flöden anpassas för att säkerställa att smittrisen inte blir för hög. För att kunna ha behovsstyrning under en pandemi måste minimiflöde för närvaro säkerställa att koncentrationen av partiklar i luften är låg. Enligt beräkningar skulle minimikravet motsvara cirka 3,5 oms/h. För att säkerställa att forcering sker i rätt tid kan gränsvärde för koldioxid sänkas eller temperatur på tilluften höjas för att göra systemet mer känsligt för partikelalstring respektive temperaturhöjning vid närvaro.

Ventilationen måste även fortsätta att vara i drift en tid efter det att lektionen är slut. I praktiken innebär detta en justering av inställda tider i det överordnade systemet. På så sätt kan behovsstyrd ventilation fortsatt vara i drift under en pandemi och energi sparas. Detta kräver dock att de som ansvarar för driften är väl insatta i ventilationssystemets funktioner och att justera dessa värden kan vara ett omfattande jobb i ett stort system med många givare vilket troligen är anledningen till att flertalet myndigheter och organisationer rekommenderar att DCV stängs av under en pandemi.

I kapitel 4 Inneklimat belyses hur temperatur och luftfuktighet påverkar människors immunförsvar och virusets förmåga att överleva och spridas. Att kontrollera och till viss del anpassa tilluftstemperatur utifrån aktuell luftfuktighet i rummet kan ha en positiv inverkan för att minska risken för smittspridning och dessutom bidra till ökad prestationsförmåga för de som vistas i rummet.

## 9.3 Analys beräkningsresultat

Önskat resultat av beräkningsmodellerna är lämplig exponeringstid i skolmiljön. Från REHVAS smittspridningsberäknare kan vi resonera kring hur lång en lektion bör vara ur smittspridningssynpunkt och med NISTs smittspridningsberäknare kan vi bland annat resonera kring hur lång en skoldag ska vara samt effekten av en luftrenare.

### 9.3.1 REHVA

Utifrån resultaten från REHVAs smittspridningsberäknare kan vi se att det som har störst påverkan på sannolikheten för smittspridning är hur mycket partikelalstring som pågår i rummet. Partikelalstringen är direkt beroende av vilken typ av aktivitet elever och lärare utför. När vi avläser resultat ser vi endast till den första timman då lektioner i grundskolor sällan är längre än en timma. Effekten som ökad luftomsättning har på sannolikheten för smittspridning minskar med ökad luftomsättning, se diagram 5 i kapitel 8.2. Mellan 1-3 oms/h skiljer det sig drygt 1 procentenhet och mellan 4-8 oms/h skiljer det sig mindre än 0,5 procentenheter. Alltså blir effekten av ökad ventilation, med tanke på smittspridning, mindre betydande vid högre luftomsättningar. REHVA har en rekommendation som säger "Regarding the airflow rates, more ventilation is always better" vilket stämmer till en viss grad. Att överventilera en lokal drar mycket energi samtidigt som det sänker fukthalten i byggnaden. Fukt i luft har konstaterats ha bra effekt för komfort och immunförsvar och därmed skulle en ökad fukthalt kunna vara mer effektiv än att överventilera. Här saknas forskning på vad som är mest effektivt i pandemisammanhang och vad som är viktigast i "normala" situationer. Om syftet är att minska smittspridning, det vill säga partikelkoncentration, kan andra åtgärder väga tyngre, exempelvis luftrenare som också påvisades i studien av Santarpia et al. (2020), kan ha bättre effekt än att öka ventilationsflödet.

Diskussionen kring hur stor sannolikhet för smittspridning som kan anses acceptabel är desto svårare. För en skola utformad, enligt dagens TKA och där elever och lärare pratar enligt ett övningspass, definierat enligt kapitel 8.2, fås en sannolikhet för smittspridning på 2,6 % efter en timma. För en klass med 30 elever innebär det att efter en timme är det sannolikt att 0,78 elever smittas. Samtliga luftomsättningar och deras inverkan på sannolikheten för smittspridning redovisas i diagram 35.



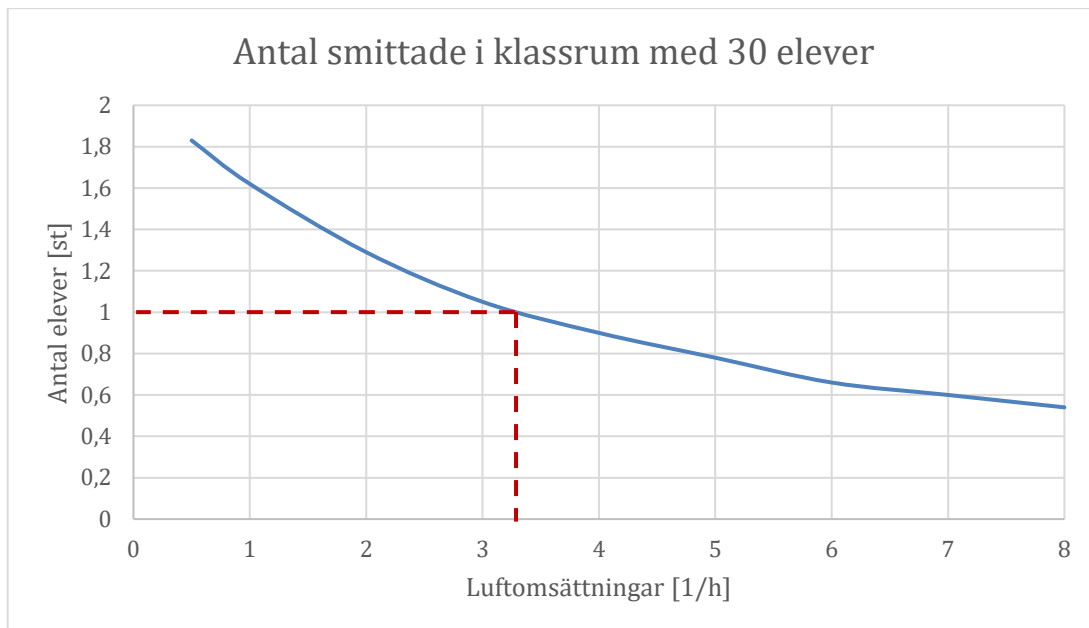


Diagram 35 Antal smittade av 30 elever vid olika luftomsättningar efter en timme

Utifrån fallet med ett klassrum med 30 elever anser vi att en rimlig gräns för accepterad smittspridning är under en elev. Alltså att en smittad person smittar färre än en person, då det innebär att smittan avtar. Detta resulterar i att luftomsättning i skolor bör vara minst 3,5 oms/h. Som tidigare nämnt finns det många felkällor gällande beräkningarna då det saknas mycket kunskap. Exempelvis är värdet på quanta och reproduktionstal olika för olika typer av mutationer av viruset. Vissa mutationer kan ha högre dödlighet än det ursprungliga viruset (Roberts, 2021). Att ha en luftomsättning på 3,5 oms/h är bra och behövs ytterligare åtgärd mot mutationer med högre dödlighet kan luftrenare ha bättre effekt än att öka luftomsättningen.

Det visar sig även tydligt i beräkningsresultaten att mängden aktivitet och samtalsnivå har stor inverkan på mängden virus som utsöndras i luften. I diagram 5 och 6 kunde vi se att sannolikheten för smittspridning gick från cirka 3% till över 50% på grund av ökad aktivering och samtalsnivå.

### 9.3.2 NIST

Utifrån respektive tårtdiagram i testerna med NIST, FaTIMA, ser vi att de mindre partikelstorlekarna, 0,5  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ , håller sig i luften längre än den större partikelstorleken, 50  $\mu\text{m}$ . Detta gör också att de mindre partikelstorlekarna är farligare i smittspridningssynpunkt då de sprids längre och är svårare för vårt immunförsvar att hantera. Samtidigt är det också de mindre partiklarna som ventilationen har störst effekt på. Viktigt att tänka på gällande följande beräkningar är att tolkning av exakta värden bör göras med försiktighet då det är ett virus där många parametrar är osäkra. I dagsläget vet vi exempelvis inte exakt hur många aerosoler som utsöndras per sekund, hur snabbt virus inaktiveras eller dess fallhastighet till marken. Ifrån tidigare modellering med REHVA såg vi att aktivitetsnivå och röstläge har stor inverkan på sannolikhet för smittspridning. Känslighetsanalys gjordes inte på samma sätt för NIST FaTIMA. Val av halveringstid bör också spela roll i virus livslängd. Baserat på tidigare studier i

rapporten bör exempelvis virus livslängd förkortas vid högre temperatur (över 35°C) och högre fukthalt (över 40 % RH).

Exakta värden och koncentrationer i följande beräkningar bör inte tas för absoluta utan det huvudsakliga resultatet visar hur olika test och modelleringar förhåller sig till varandra.

I test 1 där ventilationen var inställd på 3,5 oms/h ventilerades cirka 75% av de mindre partikelstorlekarna bort (medelvärdet mellan 0,5 µm, 5 µm). I test 2 där ventilationen var inställd på 5,3 oms/h ventilerades cirka 82 % bort av de mindre partiklarna. Vi ser en förbättring av att höja ventilationen och medelkoncentrationen för den minsta partikelstorleken går från 5,5 partiklar per kubikmeter (#/m<sup>3</sup>) till cirka 3,5 #/m<sup>3</sup>. I nästa test används en luftrenare som, enligt tidigare riktlinjer, har ett värde på CADR som är lika stort som ventilationsflödet in i klassrummet, alltså motsvarar 3,5 oms/h. Medelkoncentrationen för den minsta partikelstorleken är då cirka 3 #/m<sup>3</sup>. Detta visar på att en lämplig luftrenare har lite bättre effekt än att höja ventilationen med cirka 2 oms/h.

I test 4 påvisas att luftrenare kan användas som komplement till ventilation som ej uppfyller krav och inte kan justera ventilationsflöden. Ventilationen var inställd på 1 oms/h och en luftrenare med CADR som motsvarar mellanskillnaden mellan nuvarande luftomsättning och 3,5 oms/h tillämpades. Koncentrationen går från 15 #/m<sup>3</sup>, utan luftrenare, till 5,5 #/m<sup>3</sup>, med luftrenare, vilket är samma koncentration som vid test 1. Luftrenaren i test 4 hade även avsevärt låg CADR så med en bättre luftrenare går ytterligare lägre koncentration att uppnå.

NIST ger oss också värden för den summerade exponeringen under en skoldag, vilket ökar med tiden. Beroende på hur smittspridningsläget är i samhället kan skoldagen behöva kortas ner. Det är svårt att säga något om när den summerade exponeringen är för hög då de exakta värdena i resultatet är osäkra. Önskat resultat om lämplig längd av skoldag är därmed svårt att avgöra på grund av bristande kunskap.

### **9.3.3 Resultat från beräkningsmodeller**

Utifrån både REHVA och NIST beräkningsmodeller ser vi att luftomsättning högre än 3-4 oms/h inte har så stor effekt på partikelkoncentrationen. I REHVAS beräkningsmodell kan vi se att den procentuella ökningen blir betydande liten vid högre luftomsättningar. I NIST beräkningsmodell avläser vi att effekten av en luftrenare är större än ökad luftomsättning. Luftrenaren i beräkningen är dimensionerad utifrån en godtycklig och praktiskt tillämpbar luftrenare på marknaden. Luftrenare har framför allt stor effekt i lokaler med lägre luftomsättning och är en relativt billig investering jämfört med att dimensionera om ventilationssystemet.

## **9.4 Bristande kunskap och myndigheternas ansvar**

Problematik som denna rapport hanterar berör olika kunskapsområden. Dels är det kunskap om ventilation, luftföringsprinciper, reningsteknik med flera, dels är det kunskap om virus, pandemier och smittspridning. Två kunskapsområden som i vanliga fall är ganska frånkopplade men som nu kräver tvärvetenskaplig forskning. Thomas Olofsson från Umeå universitet har utfört en studie, *Energirelaterade konsekvenser i*

*bebyggelsen orsakad av Coronapandemin (2020)*, baserat på intervjuer med olika berörda parter. Studien innefattar ett antal intervjuer med offentliga myndigheter så som Folkhälsomyndigheten, föreningar exempelvis Svensk Ventilation och Energi och miljötekniska föreningen, konsulter/leverantörer, bland andra Tyréns AB och Camfil AB, och till sist fastighetsförvaltare exempelvis Riksbyggen. Studien undersöker hur kunskap och tvärvetenskap ser ut i branschen idag, då det visade sig att kunskap inom det luftbehandlingstekniska området är bristande, speciellt hos de förvaltande företagen. Flera föreningar menar att tvärkunskapen mellan ventilationsflöden och smittspridning är för dålig och behov av kompetenshöjning och forskning är stort. Majoriteten av intervjuade personer lägger en stor tillit hos Folkhälsomyndighet och deras råd. Det gör att dessa myndigheter har ett stort ansvar att adressera diskussionen med rekommenderade åtgärder för att minska potentiell smittspridning. De rekommenderade åtgärderna bör vara specifika och baserade på tydliga argument.

Ett exempel på otydlighet var angående diskussionen om hur smittan sprids. Det var först den 13 oktober 2020 som Folkhälsomyndigheten gick ut med att Covid-19 kan smittas via luft under särskilda omständigheter och vid denna tid fanns rapporter på situationer där SARS-CoV-2 hade spridits i en restaurang, vid körsång och i ett flygplan. Folkhälsomyndigheten har ansvar att sprida vetenskapligt grundad fakta (Folkhälsomyndigheten, 2020b), men detta blir problematiskt i och med att kunskapen om nya virus initialt är bristfällig. Många förlitar sig på Folkhälsomyndighetens rekommendationer och agerar därefter. I situationer som denna bör försiktighetsprincip övervägas att tillämpas, trots att det saknas vetenskaplig grund, för att inte utsätta människor för risk.

I april 2021 ändrade CDC sin formulering om risken att smittas via ytor. De menar nu att risken för spridning via ytor bedöms vara mindre än 1 på 10 000 (CDC, 2021b). Som nämnt i kapitel 2.2 Spridning av SARS-CoV-2, har flera forskare yttrat sig om detta och välkomnar CDC ställningstagande. Ganska snabbt under våren 2020 uppkom det flera fall där smittspridning via luften sågs som trolig och samtidigt fanns inga bevis för att Covid-19 spridits via ytor. Trots detta har man på flera ställen satt in betydligt mer omfattande rutiner för städning och den generella attityden mot smittspridning är att undvika att ta på allmänna ytor. En luftburen smitta är betydligt svårare att kontrollera och att se effekterna av. Den största och viktigaste åtgärden är att hålla socialt avstånd i alla lägen. Trots att det inte fanns bevis för varken luftburen smittspridning eller smittspridning via ytor så rekommenderades inte åtgärder för ventilation i samma utsträckning som för att hålla ytor rena. Vi menar att försiktighetsprincip bör applicerats för även för luftburen smitta i initiala skeden av en pandemi.

Förutom detta är även kunskapen inom just ventilation sämre än vad den hade behövt vara i branschen, enligt Thomas Olofsson tidigare nämnda studie. Det finns expertkunskap inom det luftbehandlingstekniska området men kunskapen är bristande främst hos de förvaltande företagen som ska implementera åtgärder mot smittspridning. Detta kan vara en anledning till att de rekommendationer som myndigheter och organisationer delgett, där åtgärdsförslagen är brett formulerade och ibland lite

överdrivna för att vara på den säkra sidan. Hade kunskapen varit bättre bland förvaltare hade rekommendationerna kunnat varit mer specifika.

## 9.5 Diskussion kring övriga utrymmen i skolbyggnaden

Förutom klassrummet finns det flera lokaler där eleverna vistas i som är problematiska ur smittspridningssynpunkt. Korridoren är ett område som är svårt att tillämpa åtgärder på men som måste användas av elever för att ta sig mellan lektioner. I samtal med Emma Holm (12 mars, 2021), lärarstudent som nyligen varit ute på praktik på flera skolor i Göteborg, framgick det att hon upplevde det speciellt problematiskt i korridorsutrymmen, då elever står i klungor och samtalar eller väntar på att lärare ska låsa upp dörren till klassrum. Ytan i korridoren är betydligt mindre samtidigt som antalet människor stundtals kan vara många. Majoriteten av korridorer har överluft från klassrum, vilket gör att korridoren riskerar att ha en mängd virus redan innan den fylls med människor. Det är en omfattande åtgärd att bygga om ventilationssystemet för att minska denna risk men som kan tas i beaktning vid projektering av ny- och ombyggnad av skolor. En lösning är att ha balans mellan till- och frånluft i respektive klassrum och korridor, i stället för överluft till korridor. Förutom åtgärder i ventilationssystemet är det bra att arbeta med administrativa och personliga åtgärder som Paula Palmdahl (15 april, 2021), verksamhetschef för grundskolor i Härryda kommun, tidigare nämnt. En generell åtgärd är att arbeta för att varje klass får ett hemklassrum och därmed minimerar risken att klasser träffar varandra genom många byten av klassrum. Detta skulle även förbättra situationen för lärare.

Då det påvisats att fysisk aktivitet utsöndrar väldigt mycket mer aerosoler än vid vanlig utandning, kan det vara bra att överväga att inomhusidrott ställs in helt. Det finns även flera idrottshallar som använder återluft vilket inte är optimalt ur smittspridningssynpunkt. Ett förslag till utformning av idrottslektion är att endast vistas utomhus eller lägga mer tid på teori.

Justeringar i scheman har också gjorts för att undvika trängsel i matsal och uppehållsrum. Scheman har anpassats för att avlasta matsalen och kunna hålla avstånd. Palmdahl berättar i samtal om deras åtgärder gällande lokaler och schemaläggningar att flera klasser har ätit i sina klassrum, utomhus eller i idrottssalen under pandemin. Om det är möjligt att servera mat i hemklassrummet vore det bättre än att hela skolan ska samlas i samma matsal. Detta anser vi vara ett viktigt arbete och om smittspridningen blir ännu värre kan det även bli aktuellt att avsluta skoldagen vid lunchtid.

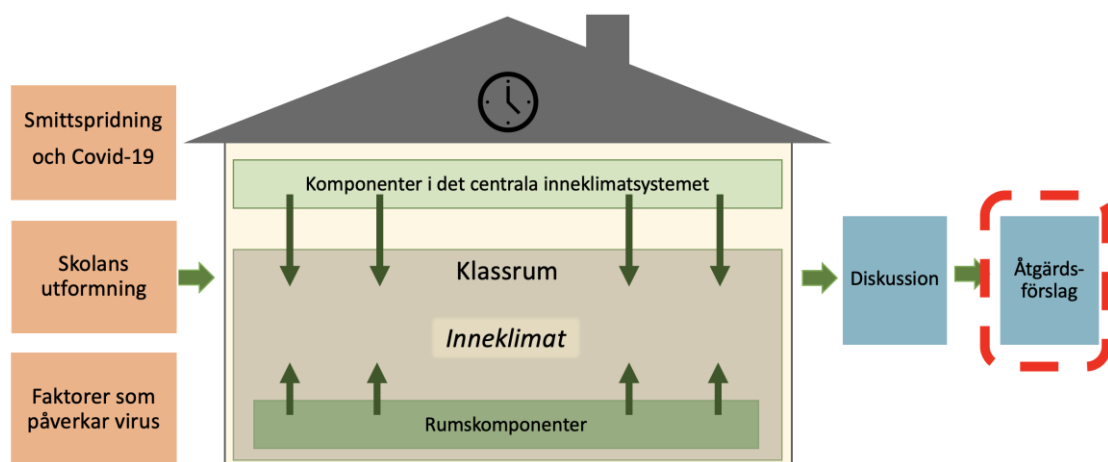
Munskydd kan även användas i klassrum för bästa effekt men Folkhälsomyndigheten anger exempelvis att barn undgår rekommendationen om munskydd i kollektivtrafiken samt att "Bred munskyddsanvändning i skolmiljön bedöms inte heller vara en verkningsfull åtgärd" (Folkhälsomyndigheten, 2021c). Palmdahl berättar att kommunen inte kan tillhandahålla munskydd och visir till medarbetare och elever, dels för att det är svårt att hålla i ett lager, dels för att det krävs noggranna säkerhetsföreskrifter så inte utrustningen hanteras fel. Skolor har dock köpt in visir och munskydd för egen del till exempelvis personal som behöver träffa många elever. Administrativa åtgärder i kombination med att fler bär munskydd på väg in och ut ur klassrum skulle leda till att mängden utsöndrande aerosoler i luften minskar. Effekten

av munskydd beskrivs i ett webinar med Malin Alsved, doktorand inom ergonomi och aerosolteknik vid Lund Tekniska Högskola, (Designvetenskaper, 2020) och ett annat med Mattias Utby från Camfil tillsammans Jakob Löndahl, universitetslektor inom ergonomi och aerosolteknik vid Lund Tekniska Högskola, (Camfil, 2021a).

# 10 SLUTSATS OCH FÖRSLAG PÅ ÅTGÄRDER

För att återkoppla till frågeställningen kan vi nu konstatera att virus påverkas av olika faktorer som regleras i inomhusklimatet. Fukt och temperatur är typiska faktorer som påverkar virus men är dessvärre svåra att reglera i inomhusmiljön på grund av termisk komfort och nuvarande krav. Smittspridningen påverkas också av mängden virus i luften vilket ger ventilationen och rening av luften en viktig roll. Risken för smittspridning går att minimera med hjälp av drifttider, reglering, luftföringsprincip och mängden luftomsättning men påverkan är begränsad, även luftrenare i rummet har visats ha bra effekt mot partikelkoncentrationen. Det är viktigt att vara medveten om att ventilation endast innefattar ett steg i infektionskontrollpyramiden, vilket innebär att enbart dessa åtgärder inte kan eliminera risken för smittspridning. Risken kommer alltid att finnas där men med ventilation och/eller rening i rummet kan vi skapa goda förutsättningar för barn och ungdomar att vistas i skolan.

Förslag på konkreta ventilationsåtgärder som skolor kan ta till i en pandemi har delats in i tre olika åtgärds-kategorier, förenklade, avancerade och förebyggande. Detta för att enklare kunna skrädarsy åtgärder för en specifik skola, men samtidigt inte försvåra det för de som ej har tillräcklig förkunskap. Till de avancerade åtgärderna presenteras även ett antal verktyg som hjälpmedel för att förstå och tillämpa åtgärderna.



Figur 14 Flödesschema - Åtgärdsförslag

## 10.1 Förenklade åtgärder

De förenklade åtgärderna riktar sig till förvaltare med lägre kunskap eller i situationer där förhållandena är osäkra alternativt snabba åtgärder krävs.

- Kontrollera att filter byts enligt anvisningar. Ytterligare rengöring av ventilationskanaler eller byte av filter är inte nödvändigt.
- Ventilera med högsta möjliga flöde i en timma efter att lokalen varit i bruk.
- Använd luftrenare som komplement, även under raster. Vid val av luftrenare se rekommenderade produkter på Astma och Allergiförbundets hemsida.
- Vid system med självdrag eller frånluft, vädra mellan lektioner om möjligt.

- Låt behovsstyrd ventilation vara i drift. Säkerställ inställda luftflöden och funktion om möjligt.

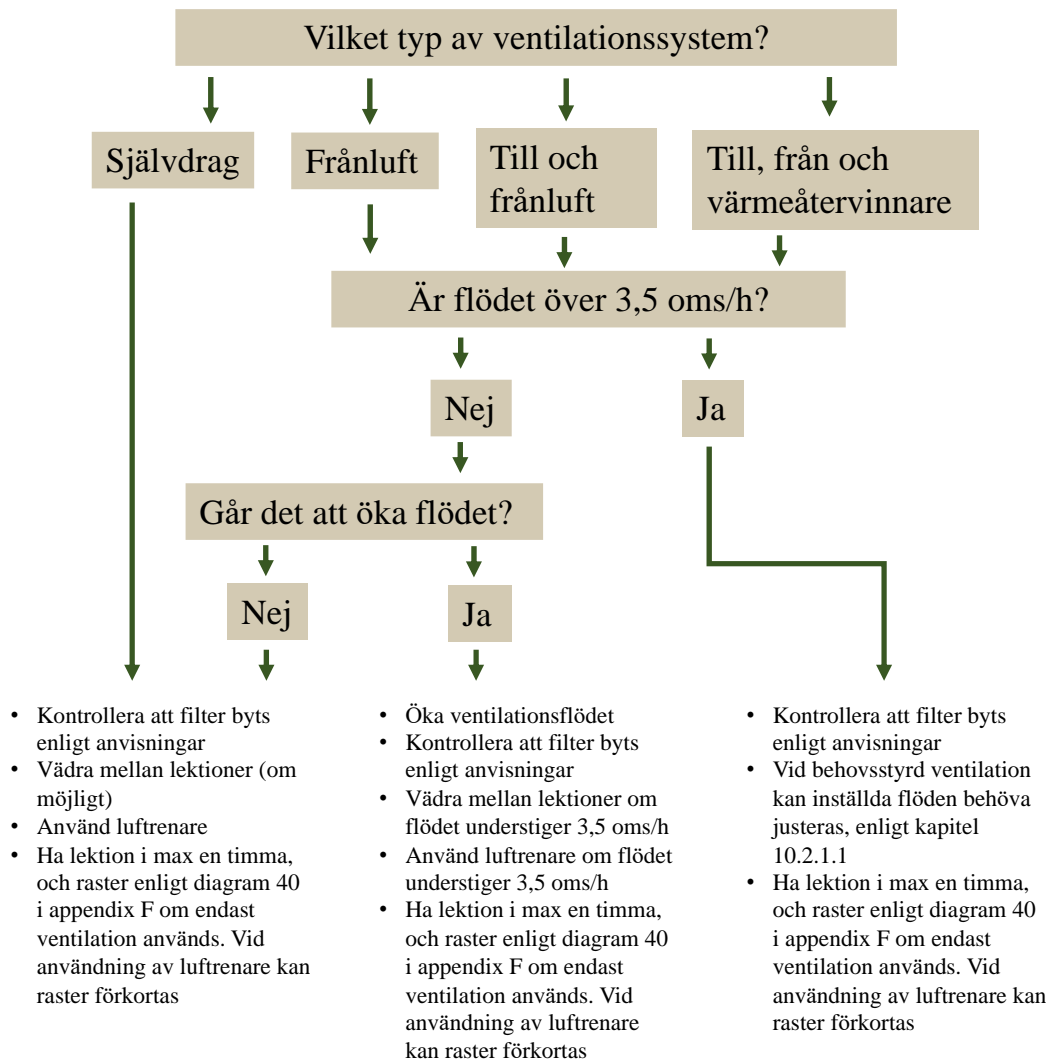
## 10.2 Avancerade åtgärder

De avancerade åtgärderna är utformade för långvarigt bruk (1-3år) i syfte att skraddarsy åtgärderna utefter det specifika ventilationssystemet.

- Säkerställ att klassrummet har en luftomsättning på 3,5 oms/h och uppfyller Arbetsmiljöverkets krav. Mer ventilation än så krävs inte och kan göra att luften blir torrare än nödvändigt vilket minskar vår motståndskraft mot infektion.
- Kontrollera att filterbyte görs enligt anvisningar. Ytterligare rengöring eller byte av filter är inte nödvändigt.
- Använd luftrenare i klassrum, matsal eller liknande uppehållsrum. Viktigt är då att se till att luftrenaren har tillräcklig kapacitet (CADR på minst samma värde som tilluftsflödet), placeras rätt och inte alstrar för mycket ljud. Luftrenare ska stå nära frånluften men också nära människor. HEPA-filter och elektrostat filter är exempel på bra reningsmetoder. Vid val av luftrenare, se rekommenderade produkter på Astma och Allergiförbundets hemsida.
- Vid behovsstyrd ventilation kan inställda flöden justeras enligt kapitel 10.2.1.1.
- Vädra mellan lektioner ifall luftomsättningen understiger 3,5 oms/h.
- Ha inte lektioner längre än en timma, och ha raster enligt diagram 40 om endast ventilation används. Vid användning av luftrenare kan raster förkortas.

### 10.2.1 Verktyg för tillämpning av avancerade åtgärder

För att underlätta för läsaren har detta flödesschema utformats med tillhörande diagram för att enkelt omvandla flödet i lokalen som är aktuell för åtgärder. Alla verktyg i detta kapitel används till de avancerade åtgärderna och återfinns i ett större format i Appendix F.



Figur 15 Verktyg 1 - Flödesschema för åtgärder utformat åt respektive ventilationssystem

För att omvandla ventilationsflödet till antal omsättningar kan följande diagram användas. Luftflödet in i lokalen avläses på x-axeln och volymen på lokalen avläses från y-axeln. Därefter går det att avläsa hur många luftomsättningar lokalen har på ett ungefär. Detta används sedan för att bestämma vilka åtgärder som lämpar sig bäst.



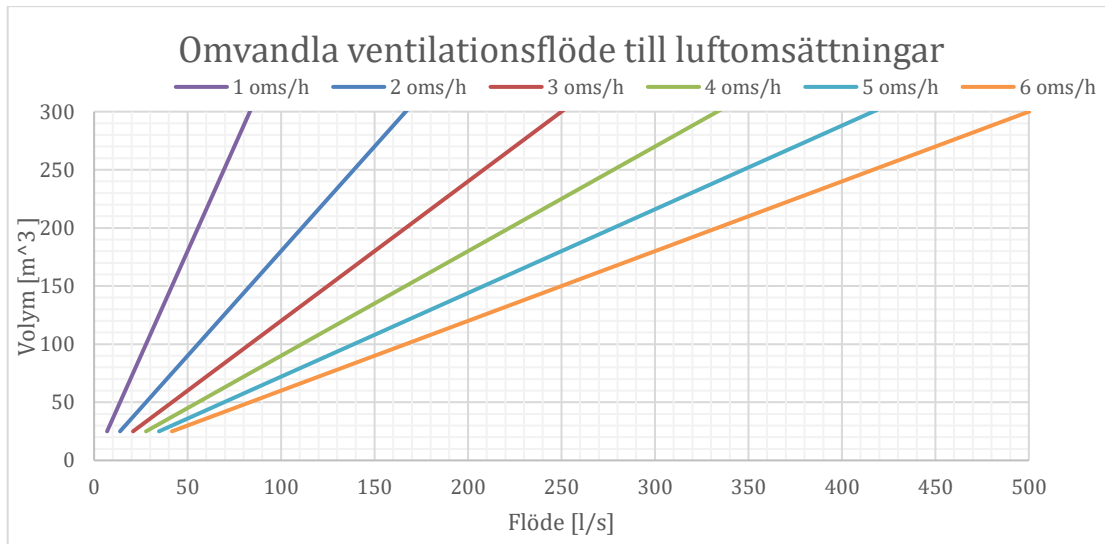


Diagram 36 Verktøy 2 - Omvandla ventilationsflöde till luftomsättningar

Utifrån vilken luftomsättning lokalen har hjälper diagram 37 med att bestämma hur lång tid som krävs för att ventilera ut 95 % av luften.

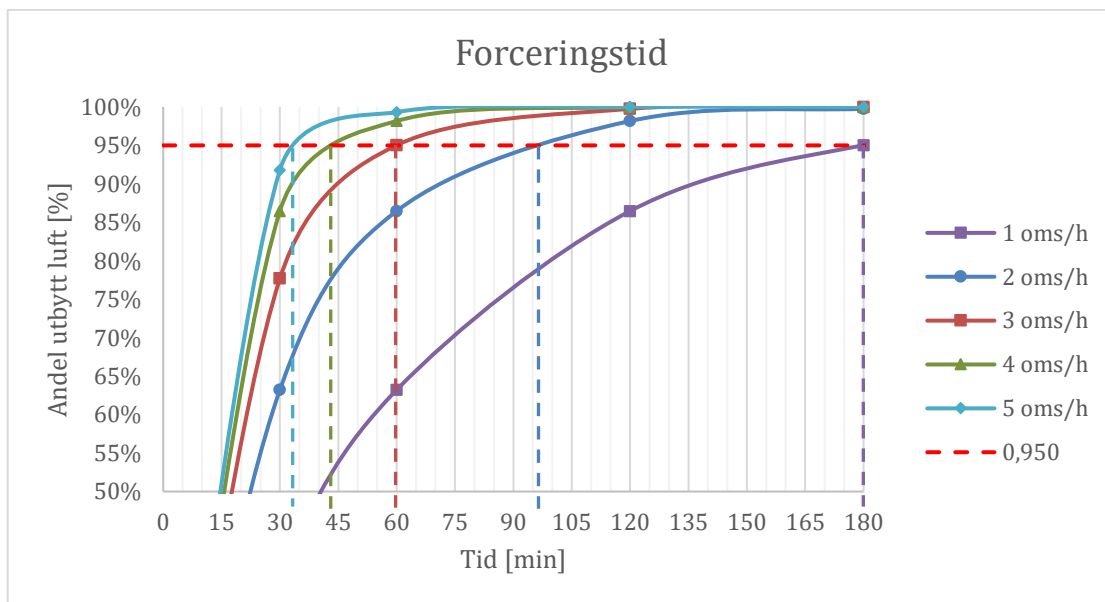


Diagram 37 Verktøy 3 - Forceringstid efter bruk baserat på luftomsättning

### 10.2.1.1 Justering av behovsstyrd ventilasjon

Närvaro: Lägg in fördröjning så att ventilasjonen fortsätter vara i drift efter avslutad lektion. Tid anpassas beroende på luftflödes storlek i lokalen enligt diagram 37, verktøy 3.

Närvaro med forcering via koldioxidgivare: För att säkerställa att koncentrationen partiklar inte uppnår en hög halt bör minsta ventilationsflöde vid närvaro justeras till minst 3,5 oms/h. Därefter kan ventilasjonen regleras på koldioxid upp till maximalt ventilationsflöde. För att säkerställa att forcering sker i rätt tid kan gränsvärde för koldioxid sänkas eller temperatur på tilluften höjas för att göra systemet mer känsligt för partikelalstring respektive temperaturhöjning vid närvaro.

### 10.3 Förebyggande åtgärder

Ventilationssystemet kan dimensioneras för att bättre hantera en pandemi i framtida scenarion. Följande punkter är åtgärder som kan implementeras i form av nybyggnation eller ombyggnation.

- Undersök möjligheten med fuktöverförande värmeväxlare
- Ställa krav på fuktighet och anpassa material och klimatskal
- Ha tryckbalans mellan till- och frånluft i klassrum för att virus inte ska spridas mellan rum

### 10.4 Vidare forskning

Kunskapen kring Covid-19 är mycket bristfällig i nuläget och det finns många områden som behöver vidare forskning.

- Mer exakt data på utsöndringshastighet, inaktivering, fallhastighet och dos för infektion
- Virus och partiklar i luften kan minimeras genom att överventilera eller att skapa en fuktig miljö, men att överventilera en byggnad minskar mängden fukt. Vad har bäst effekt? Finns det någon optimal medelpunkt?
- En högre fukthalt, över 20 %, har visats ha positiv inverkan på oss människor. Bör det finnas kravställning för fukthalt i inneklimatet? Är rädslan för det befogad? Kan fuktigare inomhusmiljöer leda till andra positiva konsekvenser i det långa loppet?
- Vi människor avger fukt som går att ta vara på genom fuktöverförande värmeväxlare. Vilken fukthalt går att uppnå med det? Är det en tillräcklig åtgärd för att skapa fuktigare inomhusmiljö eller behöver fukt tillsättas?
- Skolan innefattas inte enbart av klassrum utan elever visas i korridorer, matsal, idrottssal och diverse uppehållsrum. Vilka åtgärder kan tillämpas här?
- Kan utformning av lokalers planlösning påverka brukares rörelsemönster på ett sätt som minskar smittspridning?
- Kunskapen bland olika parter i branschen bedöms vara relativt låg. Hur kan kunskapen förbättras inom branschen?
- Hur kan val av material i lokalen påverka partiklars rörelse och spridning?

# 11 REFERENSER

- 1177 Vårdguiden. (2019, 9 november). *Så fungerar luftvägar och lungor*.  
<https://www.1177.se/liv--halsa/sa-fungerar-kroppen/luftvagar-och-lungor/>
- Abel, E., & Elmroth, A. (2016). *Byggnaden som system*. Studentlitteratur AB.
- Alsved, M. (2020). *Transmission of Infectious Bioaerosols*.
- Anthes, E. (2021). Has the Era of Overzealous Cleaning Finally Come to an End? *The New York Time*.
- AFS 2020:1 Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om arbetsplatsens utformning, (2020).
- Arbetsmiljöverket. (2021a, 17 februari). *God ventilation vid det nya coronaviruset*.  
<https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/>
- Arbetsmiljöverket. (2021b, 7 maj). *Smittspridning och ventilation*.  
<https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/smittspridning-och-ventilation/>
- ASHRAE. (2009). *Indoor Air Quality Guide - Best Practices for Design, Construction and Commissioning*.
- ASHRAE. (2020a). *ASHRAE epidemic task force schools and universities*
- ASHRAE. (2020b). Building Readiness. <https://www.ashrae.org/technical-resources/building-readiness>
- ASHRAE. (2021a). Core Recommendations for Reducing Airborne Infectious Aerosol Exposure
- ASHRAE. (2021b). In-room air cleaner guidance for reducing covid19 in air in your space/room.
- Astma och Allergiförbundet. (u.å). *Pollenallergi*.  
<https://astmaoallergiforbundet.se/information-rad/allergi/pollenallergi/>
- Bhagat, R. K., Wykes, M. S. D., Dalziel, S. B., & Linden, P. F. (2020). Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. *Journal of Fluid Mechanics* 903.  
<https://doi.org/doi:10.1017/jfm.2020.720>
- Bierman, A., Brons, J., & Rea, M. (2020). *UV Disinfection Products*.
- Bourouiba, L. (2020). Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions. *jamanetwork.com*. <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2763852>
- Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd, (2020a).
- Boverket. (2020b). *Köksventilation*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ventilation/koksventilation/>
- Brännmark, A. (2020). Ozon - hur farligt är det? *Energi & miljö*.
- Buonanno, G., Morawska, L., & Stabile, L. (2020). Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. *Environment International*, 145, 106112.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106112>
- Buonanno, G., Stabile, L., & Morawska, L. (2020). Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment International*, 141, 105794.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794>
- Camfil. (2018). *FÖRORENINGAR INOMHUS OCH UTOMHUS I VARDAGEN*. Retrieved 27 november from <https://www.camfil.com/sv-se/insights/luftkvalitet/fororeningar-inomhus-och-utomhus-i-vardagen>

- Camfil. (2021a, 26 januari). *Smittspridning i luften med Jakob Löndahl*. <https://www.camfil.com/sv-se/insights/expertis-och-utbildning/webbinar-och-utbildningar>
- Camfil. (2021b, 14 januari). *Varför blir vi sjukare på vintern och hur sprids virus och bakterier?* <https://www.camfil.com/sv-se/insights/luftkvalitet/kallt-vader-okar-risken-for-infektion>
- Camfil. (2021c, 1 februari). *Vi förklarar ISO 16890*. <https://www.camfil.com/sv-se/insights/standarder-och-f%C3%B6reskrifter/vi-f%C3%B6rklarar-iso-16890>
- Camfil. (u.å). *ISO CONVERTER*. <https://www.camfil.com/sv-se/support-och-service/support/iso-converter>
- CDC. (2015). *Hierarchy of Controls*. Retrieved 15 januari from <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>
- CDC. (2021a, 5 oktober). *Science Brief: SARS-CoV-2 and Potential Airborne Transmission*. CDC. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/scientific-brief-sars-cov-2.html>
- CDC. (2021b, 5 april). *Science Brief: SARS-CoV-2 and Surface (Fomite) Transmission for Indoor Community Environments*. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/more/science-and-research/surface-transmission.html>
- CDC. (2021c). *Ventilation in Schools and Childcare Programs*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/ventilation.html>
- Designvetenskaper, L. (2020, 9 december). *Luftburna virus i inomhusluft och hur man kan förhindra spridning*. <https://www.youtube.com/watch?v=wTn3kCbSdME>
- Dols, W. S., Polidoro, B. J., Poppendieck, D., & Emmerich, S. J. (2020). *A Tool to Model the Fate and Transport of Indoor Microbiological Aerosols (FaTIMA)*.
- ECDC. (2020). *Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19: first update*.
- Ehrlich, R., Miller, S., & Walker, R. L. (1969). *Relationship Between Atmospheric Temperature and Survival of Airborne Bacteria*.
- Ekberg, L. (2020). Nordic collaboration to reduce transmission of viral disease in indoor air.
- EMW. (u.å). *Comparison of Filter Classes*. <https://www.emw.de/en/filter-campus/comparison-of-filter-classes.html>
- EPA. (2021, 17 mars). *Can air cleaning devices that use bipolar ionization, including portable air cleaners and in-duct air cleaners used in HVAC systems, protect me from COVID-19?* <https://www.epa.gov/coronavirus/can-air-cleaning-devices-use-bipolar-ionization-including-portable-air-cleaners-and-duct>
- Fagerström, N. (2020). Så här angriper coronaviruset kroppen – forskare förstår hela tiden mer om det, och om hur immunförsvaret reagerar på viruset. <https://svenska.yle.fi/artikel/2020/05/23/sa-har-angriper-coronaviruset-kroppen-forskare-forstar-hela-tiden-mer-om-det-och>
- Fiasca, F., Minelli, M., Maio, D., Minelli, M., Vergallo, I., Necozone, S., & Mattei, A. (2020). Associations between COVID-19 Incidence Rates and the Exposure to PM2.5 and NO2: A Nationwide Observational Study in Italy. *Environmental Research and Public Health*, 17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph17249318>
- Fläktgroup. (2018). *LUFTBEHANDLINGSSAGGREGAT*. eQ.
- FläktGroup. (2021). *Produktvalsprogram Acon*. In <https://acon.flaktgroup.com>
- Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation (FoHMFS 2014:18), (2014).
- Folkhälsomyndigheten. (2020a). Beteende, oro och informationsbehov.

- Folkhälsomyndigheten. (2020b, 6 februari). *Folkhälsomyndighetens uppgift*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/om-folkhalsomyndigheten/vart-uppdrag/>
- Folkhälsomyndigheten. (2020c, 20 oktober). *Kompletterande vägledning om ventilation*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/kompletterande-vagledning-om-ventilation/>
- Folkhälsomyndigheten. (2020d). *Nyhetsarkiv*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/>
- Folkhälsomyndigheten. (2020e). *Pandemisk influensa*. Retrieved 17 november from <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/krisberedskap/pandemiberedskap/pandemisk-influensa/>
- Folkhälsomyndigheten. (2020f). *Ventilation*. Retrieved 13 november from <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/utbrott/aktuella-utbrott/covid-19/om-sjukdomen-och-smittspridning/smittspridning/ventilation/>
- Folkhälsomyndigheten. (2021a, 4 april). *Grundskolor och övriga obligatoriska skolformer*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/utbrott/aktuella-utbrott/covid-19/verksamheter/information-till-skola-och-forskola-om-den-nya-sjukdomen-covid-19/grundskolor-och-ovriga-obligatoriska-skolformer/>
- Folkhälsomyndigheten. (2021b, 15 april). *Hur har folkhälsan påverkats av covid-19-pandemin?* <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/h/hur-har-folkhalsan-paverkats-av-covid-19-pandemin/>
- Folkhälsomyndigheten. (2021c). *Rekommendation om munskydd i samhället*. Retrieved 25 mars from <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/utbrott/aktuella-utbrott/covid-19/om-sjukdomen-och-smittspridning/smittspridning/munskydd/>
- Forsberg, B. (2021). CDC: Risken att smittas via beröring av ytor är minimal. *Svenska Dagbladet*.
- Freepik. (u.å). *Flaticon*. [www.flaticon.com](http://www.flaticon.com)
- Gentekniknämnden. (u.å). *Patogen*. <https://www.genteknik.se/ordlista/patogen-2/>
- Halton. (2020a). *Creating a Clean Environment for the Health and Safety of Students, Staff and Teachers*.
- Halton. (2020b). Halton Sentinel - UVGI-SA Mobile Filtration Unit. In: Hamner, L., Dubbel, P., Capron, I., Ross, A., Jordan, A., Lee, J., Lynn, J., Ball, A., Narwal, S., Russell, S., Patrick, D., & Leibrand, H. (2020). *High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice — Skagit County, Washington, March 2020*.
- Haug, G., & Brown, P. E. (2021). Population-weighted exposure to air pollution and COVID-19 incidence in Germany. *Spatial Statistics*, 41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spasta.2020.100480>
- History Editors. (2020, 21 december). *Pandemics That Changed History*. A&E Television Networks. <https://www.history.com/topics/middle-ages/pandemics-timeline>
- Huang, J., Huang, Z., Gu, Q., Du, P., Liang, H., & Dong, Q. (2020). Optimal temperature zone for dispersal of COVID-19. *Science of the Total Environment*, 736.
- Hussein, T., Löndahl, J., Thuresson, S., Alsved, M., Al-Hunaiti, A., Saksela, K., Aqel, H., Junninen, H., Mahura, A., & Kulmala, M. (2021). Indoor Model Simulation

- for COVID-19 Transport and Exposure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 2927. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/6/2927>
- ISO-Aire. (2020). *How does bipolar ionization work?* <https://www.iso-aire.com/blog/how-does-bipolar-ionization-work>
- Jensen, L. (2008). *Roterande värmväxlare och läckage*.
- Järup, L., Bellander, T., & Staxler, L. N. (2001). *Hälsoeffekter av luftföroreningar*.
- Kerins, I. (2018). *How Do UV-Light Air Purifiers Work?* Retrieved 5 november from <https://molekule.science/how-do-uv-light-air-purifiers-work/>
- Konstantinoudis, G., Padellini, T., Bennett, J., Davies, B., Ezzati, M., & Blangiardo, M. (2021). Long-term exposure to air-pollution and COVID-19 mortality in England: A hierarchical spatial analysis. *Environment International*, 146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106316>
- Kulkarni, P., Baron, P. A., & Willeke, K. (2011). *Aerosol Measurement Principles Techniques and Applications - Third Edition*. Wiley.
- Lawrence, W., & Schreck, T. (2020). Rotary heat exchangers save energy and prevent a need for recirculation which contributes to the decrease the risk of COVID-19 transfer. *REHVA Journal*, 5; 65-68.
- Lewis, D. (2021). COVID-19 rarely spreads through surfaces. So why are we still deep cleaning? *Nature*. <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00251-4>
- Lin, K. M., C Lindsey. (2020). Humidity-Dependent Decay of Viruses, but Not Bacteria, in Aerosols and Droplets Follows Disinfection Kinetics. *Environment scient Technology*, 54, 21024-21032.
- Linden, K. (2020). theconversation.com. *Ultraviolet light can make indoor spaces safer during the pandemic – if it's used the right way*. <https://theconversation.com/ultraviolet-light-can-make-indoor-spaces-safer-during-the-pandemic-if-its-used-the-right-way-141512>
- Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y., Guo, M., Liu, Y., Gali, N. K., Sun, L., Duan, Y., Cai, J., Westerdahl, D., Liu, X., Xu, K., Ho, K.-f., Kan, H., Fu, Q., & Lan, K. (2020). Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*, 582(7813), 557-560. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>
- LloydsApotek. (2021). *Immunförsvaret*. <https://www.lloydsapotek.se/c/immunf%C3%B6rsvaret/a/A231051>
- Lokalförvaltningen. (2021). *Tekniska krav och anvisningar (Luftbehandlingssystem, Issue*.
- Lowen, A. C., Mubareka, S., Steel, J., & Palese, P. (2007). *Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature*.
- Lu, J., Gu, J., Li, K., Xu, C., Su, W., Lai, Z., Zhou, D., Yu, C., Xu, B., & Yang, Z. (2020). COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 1628-1631.
- Lärarnas Riksförbund. (2020). *Så påverkar coronapandemin skolan*.
- Maripuu, M.-L. (2011). Demand controlled ventilation (DCV) for better IAQ and Energy Efficiency. *REHVA Journal*, 02. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/demand-controlled-ventilation-dcv-for-better-iaq-and-energy-efficiency>
- Merema, B., Delwati, M., Sourbron, M., & Breesch, H. (2018). Demand controlled ventilation (DCV) in school and office buildings: Lessons learnt from case studies. *Energy & Buildings*, 172.
- Morawska, L., & Milton, D. K. (2020). *It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*.

- Nardell, E. A. (2016). *Wells Revisited: Infectious Particles vs. Quanta of Mycobacterium tuberculosis Infection—Don't Get Them Confused*.
- NIST. (2020). NIST Airflow Model Could Help Reduce Indoor Exposure to Aerosols Carrying Coronavirus. *nist.gov*. <https://www.nist.gov/news-events/news/2020/06/nist-airflow-model-could-help-reduce-indoor-exposure-aerosols-carrying>
- Noakes, C., Khan, A., & Gilkeson, C. A. (2015). Modeling infection risk and energy use of upper-room Ultraviolet Germicidal Irradiation systems in multi-room environments. *Science and Technology for the Built Environment*, 99-111.
- Nordic Ventilation Group. (2021). *Criteria of room air cleaners for particulate matter*.
- Olofsson, T. (2020). *Energirelaterade konsekvenser i bebyggelsen orsakad av Coronapandemin*.
- Ozonventilation. (u.å). Ozonets funktion. <http://ozonventilation.se/for-projektorer/>
- Peng, Z., & Jumenez, J. L. (2020). *Exhaled CO2 as COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities*.
- Persson, P.-G., & Håkansson, L. (2019). *Reglerhandboken: VVS-system/inneklimat*. Schneider Electric.
- Polybloc. (2019). *Enthalpy Plate Heat Exchanger VAPOBLOC*.
- Rabenau, H. F., Cinatl, J., Morgenstern, B., Bauer, G., Preiser, W., & Doerr, H. W. (2005). Stability and inactivation of SARS coronavirus. *Medical Microbiology and Immunology*, 194(1), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s00430-004-0219-0>
- Regeringskansliet. (2020). *Strategi med anledning av det nya coronaviruset* <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/regeringens-arbete-med-coronapandemin/strategi-med-anledning-av-det-nya-coronaviruset/>
- REHVA. (2020a). *REHVA COVID-19 Guidance v4*.
- REHVA. (2020b). *REHVA COVID-19 Ventilation Calculator*. <https://www.rehva.eu/covid19-ventilation-calculator>
- REHVA. (2021). *REHVA COVID 19 GUIDANCE*. Retrieved 15 april from <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>
- REHVA. (u.å). *Limiting internal air leakages across the rotary heat exchanger* (REHVA Covid-19 Guidance, Issue).
- Roberts, M. (2021). What are the Indian, Brazil, South Africa and UK variants? *BBC News Online*.
- Rumohr, J. (2020). *Covid-19 and solutions for improving indoor air quality* (Covid-19 and solutions for improving indoor air quality, Issue).
- Santarpia, J. L., Rivera, D. N., Herrera, V. L., Morwitzer, M. J., Creager, H. M., Santarpia, G. W., Crown, K. K., Brett-Major, D. M., Schnaubelt, E. R., Broadhurst, M. J., Lawler, J. V., Reid, S. P., & Lowe, J. J. (2020). Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care. *Scientific Reports*, 10(1), 12732. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69286-3>
- Seppänen, O. (2021, 9 februari). *Effects of indoor air humidity*. <http://www.scanvac.eu/effects-of-indoor-air-humidity.html>
- Shi, B., & Ekberg, L. (2015). Ionizer Assisted Air Filtration for Collection of Submicron and Ultrafine Particles - Evaluation of Long-Term Performance and Influencing Factors. *Environmental Science & Technology*, 49(11), 6891–6898. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00974>
- SiS. (2019). Högeffektiva luftfilter (EPA, HEPA och ULPA) - Del 1: Klassificering, funktionsprovning, märkning. In (Vol. SS-EN 1822-1:2019).

- SMHI. (2020). *Upplevd temperatur*. Retrieved 20 juli from <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/upplevd-temperatur-1.4613>
- Sun, C., & Zhai, Z. (2020). The efficacy of social distance and ventilation effectiveness in preventing COVID-19 transmission. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102390. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102390>
- Svensk Ventilation. (2017). *Dålig luft vanligt i skolor*.
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med*, 382(16), 1564-1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Studentlitteratur.
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2006). Effects of HVAC on student performance *ASHRAE Journal*, 48. [https://www.researchgate.net/publication/283837937\\_Effects\\_of\\_HVAC\\_on\\_student\\_performance](https://www.researchgate.net/publication/283837937_Effects_of_HVAC_on_student_performance)
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2011). The Effects of Moderately Raised Classroom Temperatures and Classroom Ventilation Rate on the Performance of Schoolwork by Children (RP-1257). *HVAC&R Research*, 13:12, 192-220.
- WHO. (2020a). How does COVID-19 spread between people? Retrieved Oktober 20, from <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>
- WHO. (2020b). *WHO announces COVID-19 outbreak a pandemic*
- WHO. (2021). *Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19*.
- Wiedensohler, A., Ahlawat, A., & Mishra, S. K. (2020). An Overview on the Role of Relative Humidity in Airborne Transmission of SARS-CoV-2 in Indoor Environments. *Aerosol and Air Quality Research*, 20: 1856–1861.
- William Bahnfleth, & Michael Kaiser. (2020). *ing Bipolar Ionization in a COVID-19 Environment*. Retrieved 5 oktober from <https://www.tetrattech.com/en/markets/high-performance-buildings/insights/technology/understanding-bipolar-ionization-in-a-covid-19-environment>
- Wold, A. (2017). När »sjuka hus« ansågs ligga bakom mängder av våra hälsoproblem. *FOKUS*, 15 september.
- Xiang, J., Weschler, C. J., Mo, J., Day, D., Zhang, J., & Zhang, Y. (2016). Ozone, Electrostatic Precipitators, and Particle Number Concentrations: Correlations Observed in a Real Office during Working Hours. *Environmental Science & Technology*, 50. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03069>
- Xu, X., Chen, P., Wang, J., Feng, J., Zhou, H., Li, X., Zhong, W., & Hao, P. (2020). Evolution of the novel coronavirus from the ongoing Wuhan outbreak and modeling of its spike protein for risk of human transmission. *Science China Life Sciences*, 63(3), 457-460. <https://doi.org/10.1007/s11427-020-1637-5>
- Zhou, Z., Yang, Z., Ou, J., Zhang, H., Zhang, Q., Dong, M., & Zhang, G. (2021). Temperature dependence of the SARS-CoV-2 affinity to human ACE2 determines COVID-19 progression and clinical outcome. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 19, 161 - 167.



Zhu, Y., Xie, J., Huang, F., & Cao, L. (2020). Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of the Total Environment*, 727. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>

## APPENDIX A – MOLLIERDIAGRAM

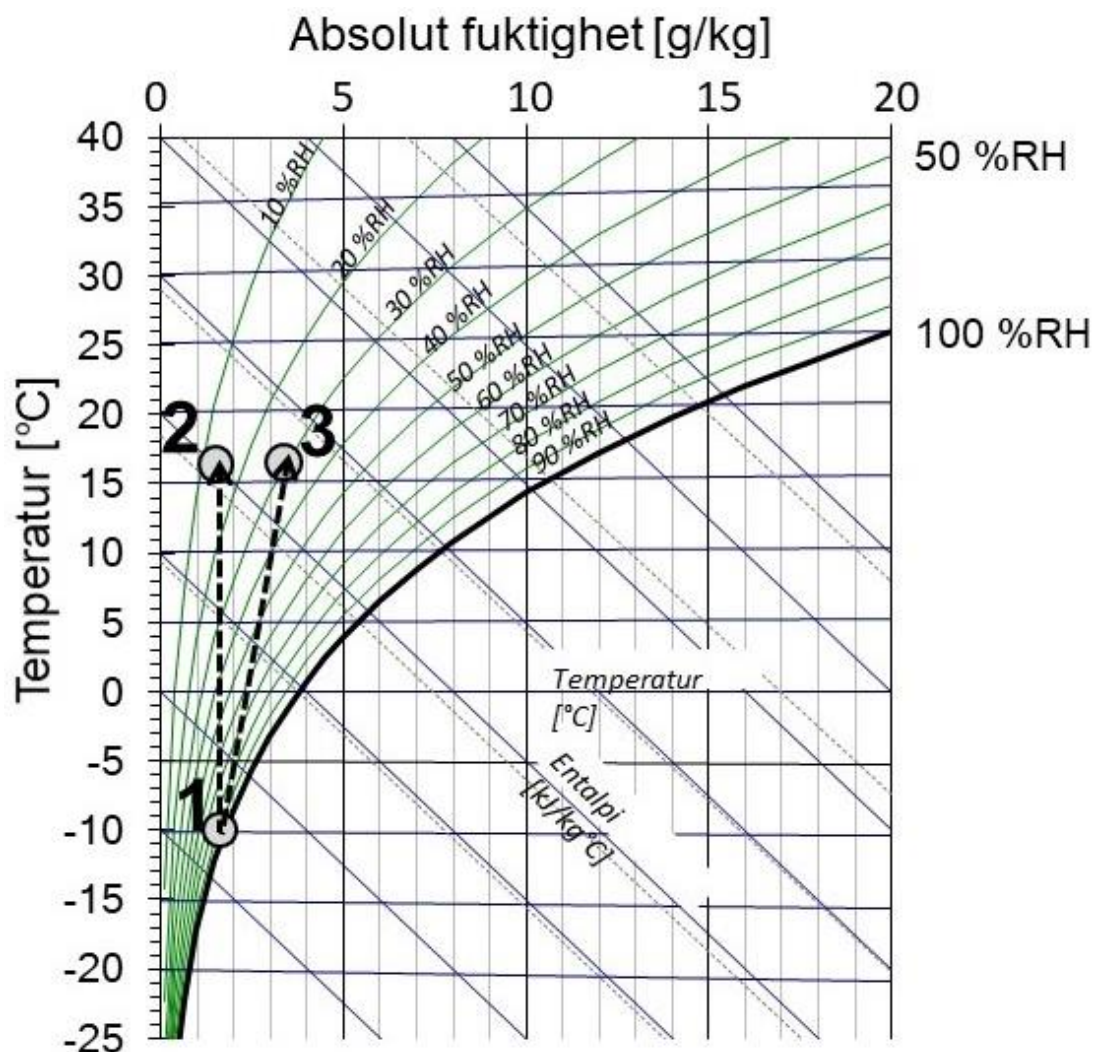


Diagram 38 Mollierdiagram, fuktöverförande värmeväxling, punkt 1-3, jämfört med värmeöverförande växlare, punkt 1-2

Mollierdiagrammet är framtaget av Richard Mollier år 1923 och dess syfte är att beskriva samband mellan fuktighet och temperatur. I diagrammet kan luftens temperatur avläsas till vågrätt och absolut fuktinnehåll lodrätt. De streckade diagonala linjerna beskriver entalpi vilket är luftens värmeinnehåll och nästan parallellt ligger heldragna streck för luftens våta temperatur. Den bågformade gröna linjen beskriver luftens relativa fuktighet och vid 100 % nås mättnadslinjen, då kondensutfällning sker.

I diagram ovan illustreras tillståndsförändring för tilluft med dels värmeöverförande växlare, punkt 1-2, dels fukt- och värmeöverförande växlare, punkt 1-3. Avståndet mellan punkt 2 och 3 motsvarar den ökade mängd energi återvinns med fukt, entalpin ökar, samt ökning av relativ fuktighet.

## APPENDIX C – SAMMANSTÄLLNINGSMATRIS AV NUVARANDE REKOMMENDATIONER

	AMV	FoHM	USA CDC	Europa CDC	WHO	ASHRAE	REHVA
Tidsoffset innan och efter arbetsdag	Min. 1 h, anpassas		Kontinuerlig drift		2h		2h
Flöde		Säkerställ flöden	Öka flödet	Hänvisar till ASHRAE och REVHA	Öka flödet (främst uteluft)	Ta bort 95% av partiklarna i luften, 3 oms/h	2-3 oms/h
Behovsstyrd vent			Koppla från		Koppla från	Koppla från	Koppla från
Vädring	Uppmuntrar	Uppmuntrar	Uppmuntrar		Uppmuntrar		15 min, ej WC
Fuktighet				Ingen åtgärd		Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
Värmeväxlare					Kontrollera läckage	Kontrollera läckage	Kontrollera läckage
Filter i luftbehandlingsaggregat			Överväg HEPA	Ingen anpassning	Om möjligt hög filterklass		Minst MERV-13
UV-ljus			Uppmuntrar	Skeptiska, saknas forskning		Skeptiska, saknas forskning	Uppmuntrar
Rengöring av ventilationskanaler							Påverkar inte
Gränsvärde för koldioxid				800-1000 ppm		400-500 ppm, anpassas till uteluften	800-1000 ppm
Recirkulation			Undvik	Undvik		Undvik	Minimera + HEPA/Undvik
Luftrenare vid otillräcklig ventilation				Uppmuntrar		Risk för luftströmmar Minst MERV 13	Skeptiska till effektivitet, använd HEPA
Luftförsringsprincip				Omblandande högre risk än deplacerande		Omblandande ventilation med låga hastigheter	Vidare forskning behövs.

## APPENDIX B – FILTERKLASSER

Tabell 2 Konverteringstabell för olika filterklasser [tabell] Omarbetad efter EMW (u.å) <https://www.emw.de/en/filter-campus/comparison-of-filter-classes.html> och (Camfil, u.å) <https://www.camfil.com/sv-se/support-och-service/support/iso-converter>.

Grofilter	Finfilter	HEPA/UPA	ISO	USA
G1			ePM Course	MERV1-4
G2			ePM Course	MERV1-4
G3			ePM Course	MERV5
G4			ePM Course	MERV6-8
	M5		ePM10 60%	MERV8-10
	M6		ePM2,5 50%	MERV9-13
	F7		ePM1 60%	MERV13-14
	F8		ePM1 75%	MERV14-15
	F9		ePM1 85%	MERV16
		E10		MERV16
		E11		MERV16
		H13		
		H14		
		U15		

## APPENDIX D – BERÄKNINGAR INPUT REHVA

REHVAs smittspridningsberäknare. De gulmarkerade fält är de som ändras. Resterande fält är kopplade och justeras utifrån värden i de gula fälten.

Case Specific Input Parameters							
	Floor area A (m <sup>2</sup> )	Height h (m)	Ventilation rate per floor area L/(s m <sup>2</sup> )	Quanta emission rate quanta/h	Breathing rate m <sup>3</sup> /h	Occupancy time Δt (h)	Air change rate k <sub>ven</sub> (h <sup>-1</sup> )
Klassrum värst utfall	60	2,7		4	270,0	3,3	8
Klassrum Genomgång	60	2,7		4	16,4	0,54	8
Klassrum Övningspass	60	2,7		4	26,2	1,1	8
Total first order loss rate k <sub>tot</sub> (h <sup>-1</sup> )	Room volume V (m <sup>3</sup> )	x steady state concentration []	Average concentration quanta/m <sup>3</sup>	Quanta inhaled (dose) quanta	Probability of infection		
5,953333333	162	0,98	0,27	7,24	-		
5,953333333	162	0,98	0,02	0,07	0,999		
5,953333333	162	0,98	0,03	0,23	0,070		
					0,208		

Figur 16 Input vid 5,3 oms/h

Case Specific Input Parameters							
	Floor area A (m <sup>2</sup> )	Height h (m)	Ventilation rate per floor area L/(s m <sup>2</sup> )	Quanta emission rate quanta/h	Breathing rate m <sup>3</sup> /h	Occupancy time Δt (h)	Air change rate k <sub>ven</sub> (h <sup>-1</sup> )
Klassrum värst utfall	60	2,7		2,4	270,0	3,3	8
Klassrum Genomgång	60	2,7		2,4	16,4	0,54	8
Klassrum Övningspass	60	2,7		2,4	26,2	1,1	8
Total first order loss rate k <sub>tot</sub> (h <sup>-1</sup> )	Room volume V (m <sup>3</sup> )	x steady state concentration []	Average concentration quanta/m <sup>3</sup>	Quanta inhaled (dose) quanta	Probability of infection		
3,82	162	0,97	0,42	11,14	-		
3,82	162	0,97	0,03	0,11	1,000		
3,82	162	0,97	0,04	0,36	0,105		
					0,302		

Figur 17 Input vid 60% kapacitet 3,2 oms/h

Case Specific Input Parameters							
	Floor area A (m <sup>2</sup> )	Height h (m)	Ventilation rate per floor area L/(s m <sup>2</sup> )	Quanta emission rate quanta/h	Breathing rate m <sup>3</sup> /h	Occupancy time Δt (h)	Air change rate k <sub>ven</sub> (h <sup>-1</sup> )
0,5 oms	60	2,7		0,375	26,2	1,1	4
1 oms	60	2,7		0,75	26,2	1,1	4
2 oms	60	2,7		1,5	26,2	1,1	4
3 oms	60	2,7		2,25	26,2	1,1	4
4 oms	60	2,7		3	26,2	1,1	4
5 oms	60	2,7		3,75	26,2	1,1	4
6 oms	60	2,7		4,5	26,2	1,1	8
7 oms	60	2,7		5,25	26,2	1,1	8
8 oms	60	2,7		6	26,2	1,1	8
Total first order loss rate k <sub>tot</sub> (h <sup>-1</sup> )	Room volume V (m <sup>3</sup> )	x steady state concentration []	Average concentration quanta/m <sup>3</sup>	Quanta inhaled (dose) quanta	Probability of infection		
1,12	162	0,78	0,11	0,49	-		
1,62	162	0,85	0,08	0,37	0,390		
2,62	162	0,90	0,06	0,25	0,310		
3,62	162	0,93	0,04	0,18	0,218		
4,62	162	0,95	0,03	0,15	0,167		
5,62	162	0,96	0,03	0,12	0,135		
6,62	162	0,98	0,02	0,21	0,114		
7,62	162	0,98	0,02	0,18	0,190		
8,62	162	0,99	0,02	0,16	0,168		
					0,150		

Figur 18 Input olika oms/h

## APPENDIX E – BERÄKNINGAR INPUT NIST, FaTIMA

<b>Zone Geometry</b>			
Volume	162 m <sup>3</sup>	Floor Area	60 m <sup>2</sup>
Wall Area	83,5 m <sup>2</sup>	Ceiling Area	60 m <sup>2</sup>
Other Surface Area	15 m <sup>2</sup>	Surface to Volume Ratio	1,3
<b>Infiltration</b>			
Infiltration	0,2 1 / h	Particle Penetration Coefficient	0,76
<b>Ventilation System</b>			
Supply Airflow Rate	149 sL/s	Outdoor Air Intake Fraction	1
Local Exhaust Airflow Rate	149 sL/s	Return Airflow Rate	0 sL/s
<b>System Filters</b>			
Outdoor Air Filter	MERV 13	Recirculation Air Filter	MERV 8
<b>Calculated Airflows</b>			
Total Outdoor Air Change Rate	3,5111 1/h	Outdoor Air Intake Rate	149 sL/s
		Recirculation Airflow Rate	0 sL/s

Figur 19 Standardinput 3,5 oms/h

<b>Zone Geometry</b>			
Volume	162 m <sup>3</sup>	Floor Area	60 m <sup>2</sup>
Wall Area	83,5 m <sup>2</sup>	Ceiling Area	60 m <sup>2</sup>
Other Surface Area	15 m <sup>2</sup>	Surface to Volume Ratio	1,3
<b>Infiltration</b>			
Infiltration	0,2 1 / h	Particle Penetration Coefficient	0,76
<b>Ventilation System</b>			
Supply Airflow Rate	240 sL/s	Outdoor Air Intake Fraction	1
Local Exhaust Airflow Rate	240 sL/s	Return Airflow Rate	0 sL/s
<b>System Filters</b>			
Outdoor Air Filter	MERV 13	Recirculation Air Filter	MERV 8
<b>Calculated Airflows</b>			
Total Outdoor Air Change Rate	5,5333 1/h	Outdoor Air Intake Rate	240 sL/s
		Recirculation Airflow Rate	0 sL/s

Figur 20 Standardinput vid 5,3 luftomsättningar

<b>Zone Geometry</b>			
Volume	162 m <sup>3</sup>	Floor Area	60 m <sup>2</sup>
Wall Area	83,5 m <sup>2</sup>	Ceiling Area	60 m <sup>2</sup>
Other Surface Area	15 m <sup>2</sup>	Surface to Volume Ratio	1,3
<b>Infiltration</b>			
Infiltration	0,2 1 / h	Particle Penetration Coefficient	0,76
<b>Ventilation System</b>			
Supply Airflow Rate	40 sL/s	Outdoor Air Intake Fraction	1
Local Exhaust Airflow Rate	40 sL/s	Return Airflow Rate	0 sL/s
<b>System Filters</b>			
Outdoor Air Filter	MERV 13	Recirculation Air Filter	MERV 8
<b>Calculated Airflows</b>			
Total Outdoor Air Change Rate	1,0889 1/h	Outdoor Air Intake Rate	40 sL/s
		Recirculation Airflow Rate	0 sL/s

Figur 21 Standardinput vid 1 luftomsättning

<b>Particle Properties</b>		Name Covid19	Diameter 0,5 $\mu\text{m}$	Density 1 $\text{g/cm}^3$
Particle Deactivation On	Half-life 1,1 h	Decay Rate 0,63014 1/h		
<b>Continuous Source</b>		Source On	Generation Rate 25,6 #/min	Generation Time Period Start 00:00 / End 24:00
<b>Burst Source</b>		Source On	Burst Type Intermittent	Amount per Burst 360 #
Generation Time Period Start 00:01 / End 24:00	Burst Interval 10 min			
<b>Particle Deposition Velocities</b>		Floor 0,00084 $\text{cm/s}$	Walls 0,00016 $\text{cm/s}$	Ceiling 4.33e-8 $\text{cm/s}$
Other Surface 0 $\text{cm/s}$	Effective Deposition Rate 0,014169 1/h			
<b>Initial Concentrations</b>		Outdoor Air 0 #/m <sup>3</sup>	Zone Air 0 #/m <sup>3</sup>	
<b>Occupant Exposure</b>		Occupancy Time Period Start 07:00 / End 17:00	Occupancy Type Intermittent	Intermittent Occupancy Interval 90 min
Intermittent Occupancy Duration 60 min				

Figur 22 Input partikelstorlek 0,5  $\mu\text{m}$

<b>Particle Properties</b>		Name Covid19	Diameter 5 $\mu\text{m}$	Density 1 $\text{g/cm}^3$
Particle Deactivation On	Half-life 1,1 h	Decay Rate 0,63014 1/h		
<b>Continuous Source</b>		Source On	Generation Rate 0,0256 #/min	Generation Time Period Start 00:00 / End 24:00
<b>Burst Source</b>		Source On	Burst Type Intermittent	Amount per Burst 0,36 #
Generation Time Period Start 00:01 / End 24:00	Burst Interval 10 min			
<b>Particle Deposition Velocities</b>		Floor 0,0744 $\text{cm/s}$	Walls 0,0056 $\text{cm/s}$	Ceiling 4.33e-8 $\text{cm/s}$
Other Surface 0 $\text{cm/s}$	Effective Deposition Rate 1,0959 1/h			
<b>Initial Concentrations</b>		Outdoor Air 0 #/m <sup>3</sup>	Zone Air 0 #/m <sup>3</sup>	
<b>Occupant Exposure</b>		Occupancy Time Period Start 07:00 / End 17:00	Occupancy Type Intermittent	Intermittent Occupancy Interval 90 min
Intermittent Occupancy Duration 60 min				

Figur 23 Input partikelstorlek 5  $\mu\text{m}$

<b>Particle Properties</b>			
Name	Covid19	Diameter	50 $\mu\text{m}$
Particle Deactivation	On	Density	1 $\text{g/cm}^3$
Half-life	1,1 h	Decay Rate	0,63014 1/h
<b>Continuous Source</b>			
Source	On	Generation Rate	0,0000256 #/min
Generation Time Period	Start 00:00 / End 24:00	Generation Time Period	Start 00:00 / End 24:00
<b>Burst Source</b>			
Source	On	Burst Type	Intermittent
Generation Time Period	Start 00:01 / End 24:00	Amount per Burst	0,00036 #
Burst Interval	10 min		
<b>Particle Deposition Velocities</b>			
Floor	7,44 cm/s	Walls	0,56 cm/s
Other Surface	0 cm/s	Ceiling	4,33e-8 cm/s
Effective Deposition Rate	109,59 1/h		
<b>Initial Concentrations</b>			
Outdoor Air	0 #/m <sup>3</sup>	Zone Air	0 #/m <sup>3</sup>
<b>Occupant Exposure</b>			
Occupancy Time Period	Start 07:00 / End 17:00	Occupancy Type	Intermittent
Intermittent Occupancy Duration	60 min	Intermittent Occupancy Interval	90 min

Figur 24 Input partikelstorlek 50  $\mu\text{m}$

<b>Room Air Cleaner</b>		
Maximum Airflow Rate	149 sL/s	Fan Flow Fraction
Filter Efficiency	1	
CADR	149 sL/s	

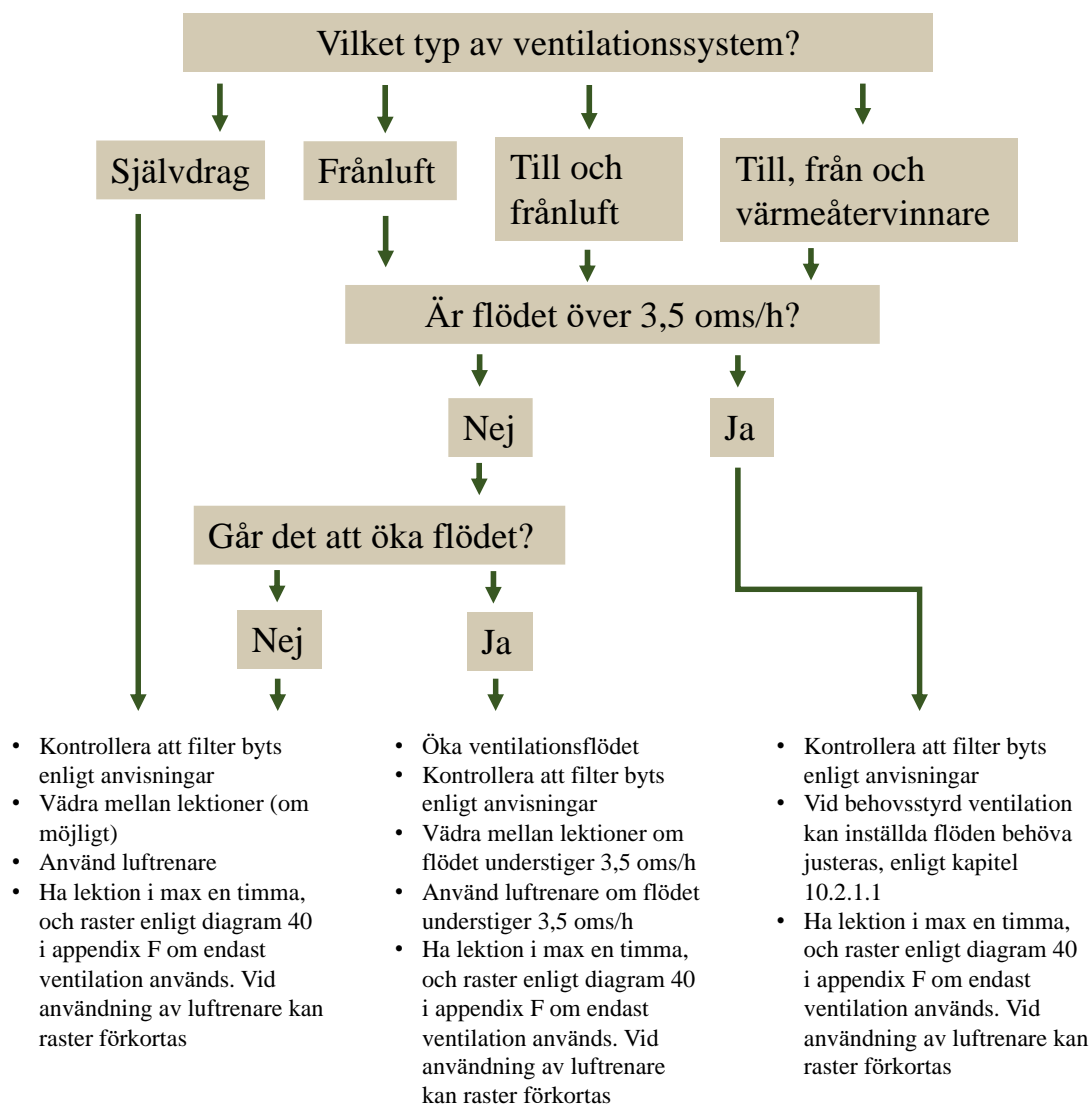
Figur 25 Input luftrenare CADR 149 l/s motsvarande 3,5 oms/h

<b>Room Air Cleaner</b>		
Maximum Airflow Rate	104 sL/s	Fan Flow Fraction
Filter Efficiency	1	
CADR	104 sL/s	

Figur 26 Input luftrenare CADR 104 l/s motsvarande 2,5 oms/h



## APPENDIX F – VERKTYG FÖR TILLÄMPNINGAR AV ÅTGÄRDER



Figur 27 Verktåg 1 – Flödesschema för åtgärder utformat åt respektive ventilationssystem

## Omvandla flöde till luftomsättningar

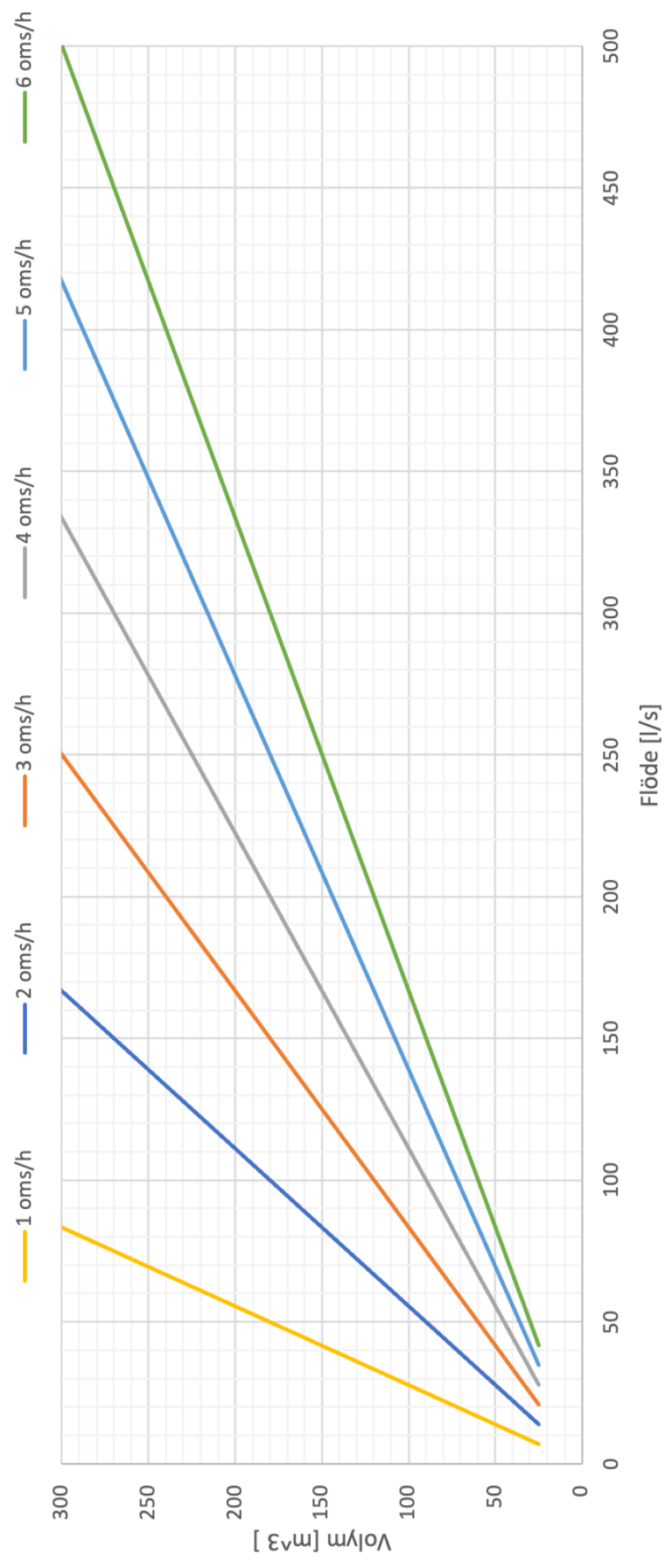


Diagram 39 Verktyg 2 - Omvandla ventilationsflöde till luftomsättningar

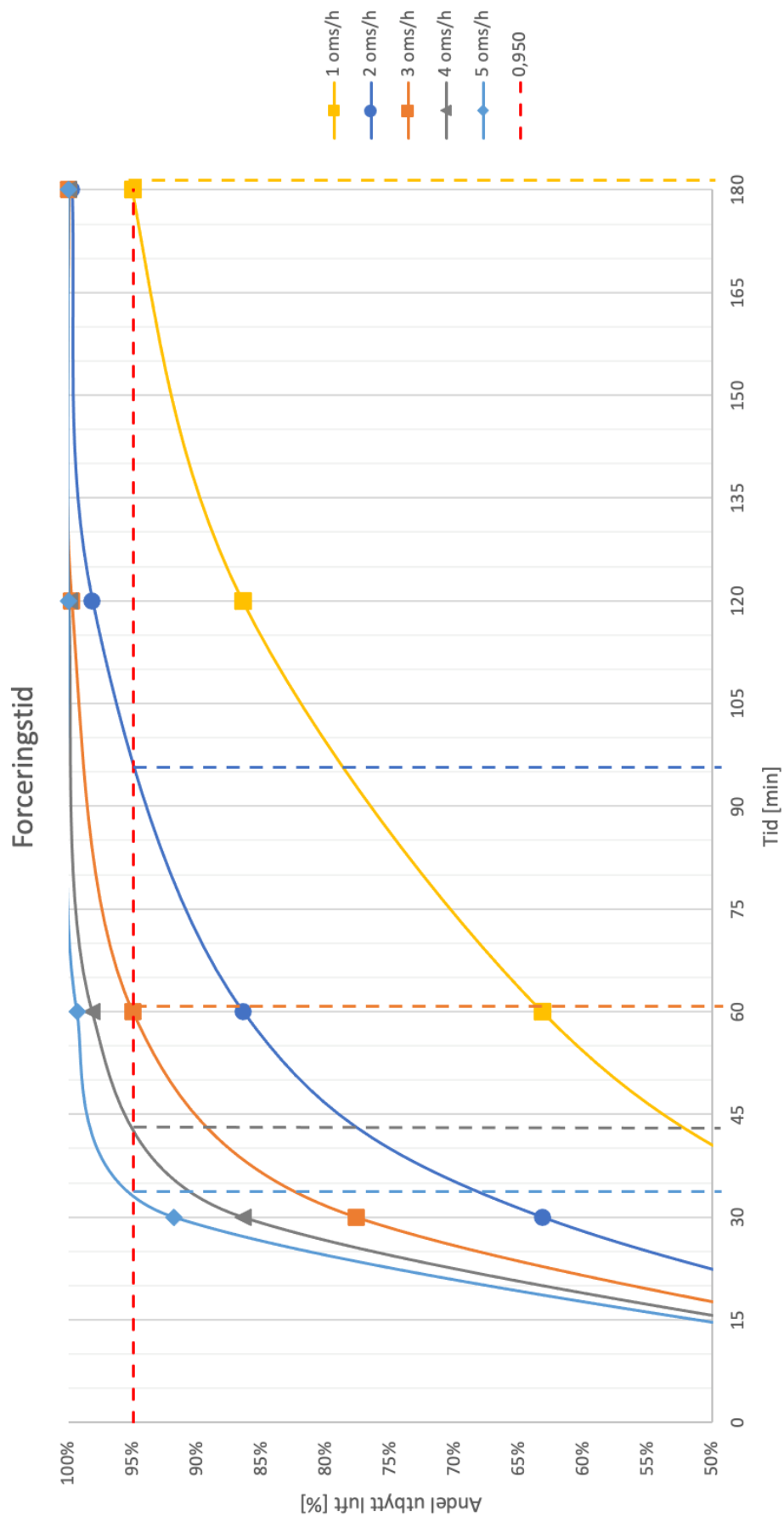


Diagram 40

Verktøy 3 - Forcingstid efter bruk baserat på luftomsättning

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH  
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2021  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**