

Förbättrad luftkvalité inomhus - medicinska aspekter

Dr Per Gustafsson, docent, överläkare, specialist barn- och ungdomsallergologi, Barn -och ungdomsmedicin, Skaraborgs Sjukhus, 541 85 Skövde

Dr Karl G Rosén, docent i fysiologi, barnläkare, prof. Medicinsk teknik (ret), Neoventor Medicinsk Innovation AB, Karantängsgatan 13, 44235 Kungälv

2019-03-11

Inledning

Fokus på god inomhusmiljö är alltför ofta, och även i nu aktuella förslaget, baserat på tekniska aspekter som t ex mängden luftväxlingar. Behovet av att byta fokus har påtalats och därmed behovet av ett mer tvärvetenskapligt tankesätt (*Ref 1. Corsi RL. Connect or stagnate: the future of indoor air sciences. Indoor air. 2015*).

Den dominerande föroreningskällan är människor och deras aktiviteter. Vi har länge antagit att vi haft tillgång till "ren" utomhusluft, medan medicinska och epidemiologiska fakta visar att detta i många miljöer inte är fallet. Följaktligen måste andra miljöförbättrande och energieffektiva åtgärder övervägas än enbart en bullergenererande mekanisk ventilation.

Miljörelaterade komfort- och hälsoaspekter måste vara utgångspunkten när standard för byggnader och lokaler uppställs. Sambandet mellan förhöjda halter av finpartikulära föroreningar i utomhusluften och uppkomsten av allvarig sjukdom i de flesta organsystem och förtida död är nu väl etablerat. Vi tillbringar merparten av dygnets timmar inomhus där vi exponeras för de finpartikulära, utifrån kommande luftföroreningarna och därutöver andra föroreningar som alstras i lokalen. Lyckligtvis erbjuder inomhusmiljön till skillnad från utomhusmiljön möjlighet till enkla och framgångsrika samt kostnadseffektiva luftrenande åtgärder.

Ett speciellt ansvar åligger dem som utfärdar råd och riktlinjer avseende utsatta miljöer där extra känsliga individer måste vistas förutom arbetstagare, t ex i skolor och sjukhus. Detta innebär fokus på förebyggande åtgärder som skall baseras på det aktuella kunskapsläget. Riktade förebyggande åtgärder är dessutom oftast kostnadseffektiva eftersom de angriper själva källan till problemet. Som ett exempel kan nämnas åtgärder för att skapa miljöer via specifik partikelreducerande teknologi där individer med astma och allergi fungerar trots sin funktionsnedsättning. Utformningen av regler och riktlinjer för inomhusmiljön bör vara en kontinuerlig process som möjliggör att vårt samhälle får tillgång till ett multidisciplinärt kunnande. Inriktningen på utformningen av regler ska därför inte vara fokuserad på komfortaspekter för yrkesutövande i den höga grad som det uttrycks i det nuvarande förslaget.

Vårt nordiska klimat (uppvärmning av utomhusluft och låg relativ fuktighet inomhus) och sociala mönster (barn som redan i 1-års åldern startar i förskola) utgör här en speciell hälsomässig utmaning. De råd och riktlinjer som ges från Arbetsmiljöverket (AV) kommer att få stor betydelse för vårt samhälle och speciellt för individers hälsa.

Dagens situation

Mot bakgrund av att nya råd och riktlinjer från AV kommer att bestå under en lång tid framöver är det viktigt att involvera en bred kompetens och ett övergripande perspektiv. När AV nu uppdaterar de föreskrifter som ligger till grund för inomhusluftens kvalitet är det också angeläget att dessa lämnar utrymme för vetenskapligt baserade fältstudier avseende kompletterande möjligheter till förbättrande åtgärder. I en bilaga (Behov av förbättrad luftkvalité i förskolor – medicinska och ventilationstekniska aspekter) presenteras resultatet av en analys av förskolemiljön i västra Göteborg. I sammanställningen ingår även en presentation av vår fältstudie omfattande sju förskolor. Huvudsyftet med arbetet har varit att undersöka möjligheten att med energisnål modern luftreningsteknologi reducera inomhusluftens partikelhalt, dagtid med minst 50% i en förskola byggd 1977. Detta sker samtidigt som ventilationen mer än halveras, den relativa luftfuktigheten höjs och via en sänkt inomhustemperatur, lokalens energibehov blir hälften jämfört med en nybyggd förskola. En viktig aspekt av vårt arbete var att nyttja andra mått på inomhusluftens kvalitet än de standardmässigt utnyttjade, dvs luftflöden och CO₂-halten i inomhusluften.

Inomhusluftens kvalitet

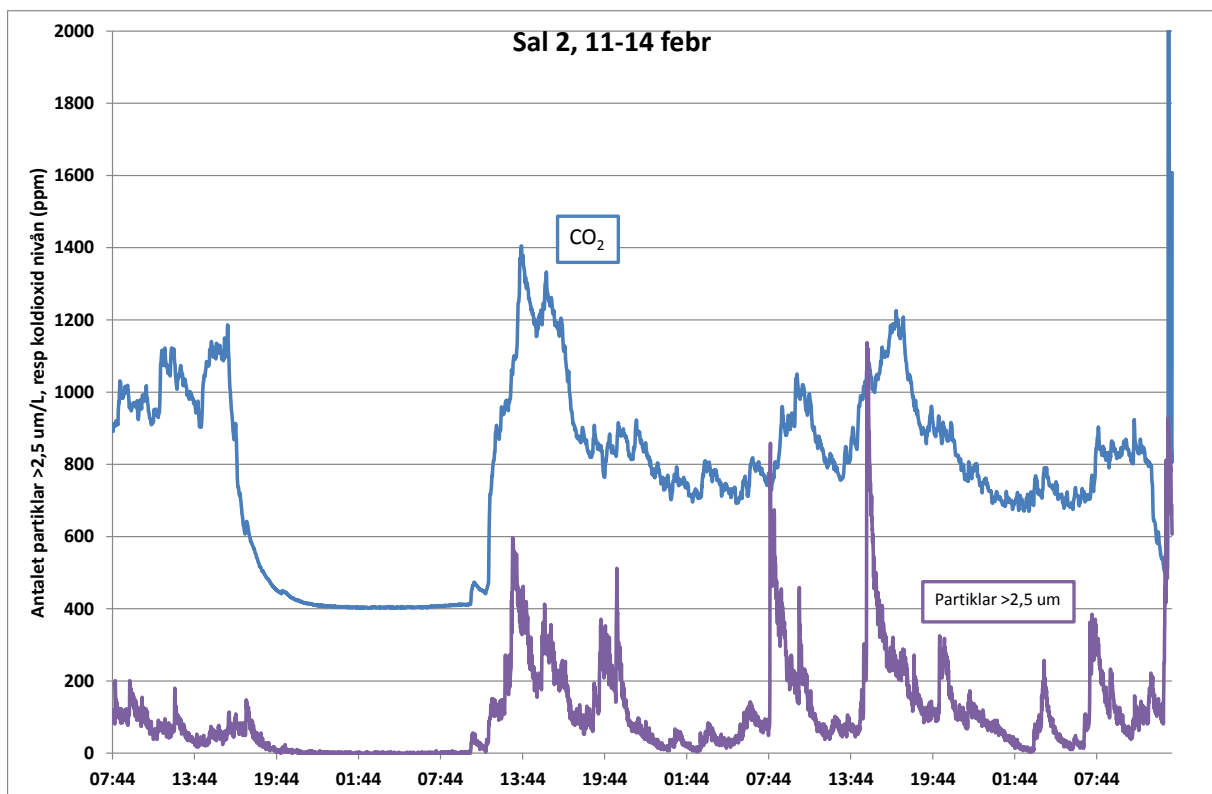
Aktuella riktlinjer för kontroll och styrning av ventilationssystem baseras på att de människor som vistas i lokalen andas ut CO₂ (koldioxid) som bildas i förbränningen av näringsämnen i kroppen (metabolismen). Mängden CO₂ som tillförs luften i lokalen beror av antalet individer som vistas, där, deras kroppsstorlek och aktivitetsgrad. Halten av CO₂ i lokalens luft beror på dess volym i relation till mängden tillförd CO₂ och lokalens effektiva ventilation. CO₂ är i sig ingen luftförorening. CO₂ i koncentrationer understigande 10 000 ppm (1.0%) är en luktfri och ofarlig gas. En halt av <1000 ppm har i gällande föreskrifter angetts som ett riktvärde, men utgör inte ett gränsvärde och halter som överstiger 1000 ppm flera gånger (exv 5 -10 000 ppm) innebär inte en hälsorisk.

Bakgrunden till 1000 ppm CO₂ som riktvärde går tillbaka till den tyske professorn i hygien Max von Pettenkofers skrift "Über de Luftwechsel in Wohngebäuden" (3). Baserat på odören (dålig lukt) från individer tillrådde han en CO₂-halt av 1000 ppm som hygienisk gräns. Pettenkofers stora genomslag kan förstås mot bakgrund av hans titrimetriska metod att bestämma CO₂ (4), vilken utgjorde standard från 1857 till 1958 när det gäller att bestämma atmosfärens CO₂-halt. Gränsen 1000 ppm har sedan dess kallats "Pettenkofer-zahl". Insikten att partiklar i luften är av betydelse för hälsan och speciell för lungsjukdomar fanns redan på 1800-talet (5). Medan man insåg att det var luftens partikelhalt som var problemet (3) så saknade man andra metoder att mäta partikelhalter än att observera dem i infallande solljus (3).

För 100 år sedan började man utveckla teknik för att mäta sothalten i utomhusluften (6). Den teknik som utvecklades bestod i att luft sögs in genom ett filterpapper vars färg sedan bedömdes. Så småningom utvecklades tekniken och kom att bli den standard som vi idag använder i form av *Particulate Matter* <2,5 µm (PM_{2,5}) och *Particulate Matter* <10 µm (PM₁₀), där man nu vägde de partiklar som fastnat i filter och graderade mängden i µg/m³.

Först med utvecklingen av diodlasrar gavs möjligheten att mäta antalet partiklar i olika storleksklasser >0,3 µm. Under 2000-talet har vi även fått en allmän tillgång till mätare som registrerar mängden nano-partiklar (<0,3 µm). Möjligheten att mäta dessa ultrafina partiklar har inneburit en helt ny insikt i den partikulära lastens inverkan via en "oxidativ stress" som leder till inflammatoriska processer inte enbart i lungan utan generellt i kroppen, inkl. hjärnan.

Hur ser då relationen ut mellan halten aktivitetsgenererade partiklar och CO₂-nivån? Figur 1 illustrerar detta samband (data från en Barnavdelningen, Skaraborgs sjukhus, Skövde, februari 2019). Hälsomässigt är det viktigt att eliminera exponering för mycket höga halter skadliga ämnen. I det aktuella exemplet illustrerat av de partikeltoppar som uppkommer vid aktivitet i rummet. Dessa är relaterade till mängden luftburna allergen och mikroorganismer, något som CO₂ inte har möjlighet att fånga. I våra bifogade data från förskolemiljön visar vi hur basal ventilation kombinerat med elektrostatisk luftrening minskar exponering för dessa höga partikelnivåer med 87%! Således finns fascinerande möjlighet att med energibesparande åtgärder rena inomhusluften från faktorer som kan påverka individen hälsomässigt.



Figur 1. Kontinuerlig mätning av koldioxid- och partikelhalter i inomhusluften över tre dygn. Data från en nybyggd vårdenhet.

Idag är kunskapen om vad i luften som skapar ohälsa god och det är på tiden att **inte** låta surrogatmarkören CO₂ ensamt tjäna som indikator på luftkvalitén inomhus.

Hur kan vi utveckla ett alternativ till styrd ventilation när vi måste ta hänsyn till att även utomhusluften är i behov av renande åtgärder samtidigt som vi skall förebygga låg luftfuktighet vintertid och tillse att åtgärderna är energieffektiva?

Det alternativ som utvärderats i vår förskolestudie är att acceptera kunskapen kring de partikulära luftföroreningarnas betydelse, utnyttja specifik partikelrenande teknologi (elektrostatisk luftrening, EAC) och under kontrollerade former minska mängden tillförd utomhusluft. Tidigare utvärdering av EAC-teknologin och dess luftrenande kapacitet visade att kombinationen basal ventilation och EAC kan utvärderas i standardmässiga former inom konceptet **"funktionellt" luftflöde**.

Funktionellt luftflöde - definition och applikationsexempel

Förmågan att producera ren luft fri från partiklar betecknas CADR (*clean air delivery rate*) eller ECR (*equivalent cleaning ratio*) dvs. ekvivalent luftflöde. Enheten är m^3/s men anges ofta i litteraturen i l/s eller m^3/h . Det finns två metoder som kan användas för att bestämma ECR.

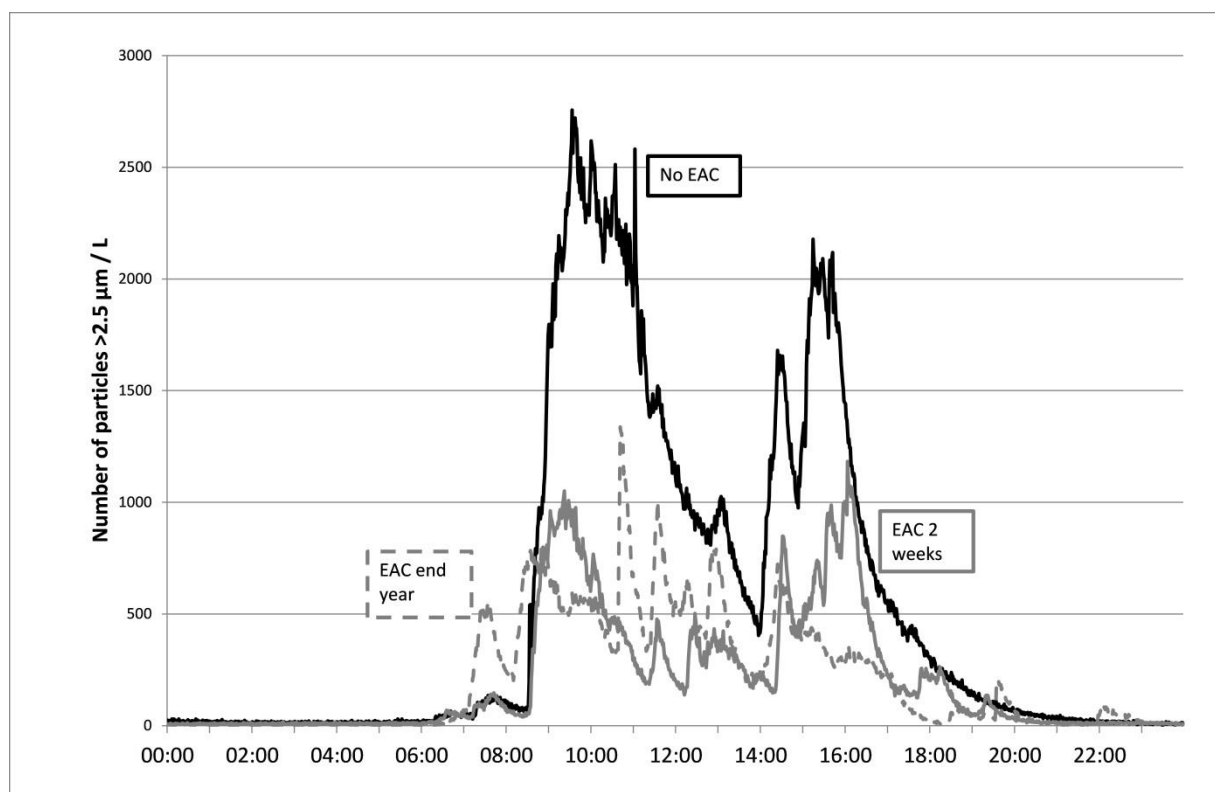
Vid utvärderingen detta test användes "Avklingning av partiklar" Mätförfarandet görs på följande sätt. Partiklar alstras med hjälp av rök. En fläkt hjälper till att blanda om luften. Antalet partiklar räknas med hjälp av partikelräknare i jämna tidssteg under tiden. Mätresultaten från tester när luftrenaren arbetar jämförs med när den avstängd. ECR beräknas sedan med hjälp av följande formel:

$$\text{Lambda} = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C(t)}\right)}{\Delta t}$$

ECR= Lambda* Rumsvolymen, C_0 = partikelkoncentration vid tidpunkt 0, C_t = partikelkoncentration vid tidpunkt t, t = tidpunkt.

Exemplet Solrosens förskola, Kode

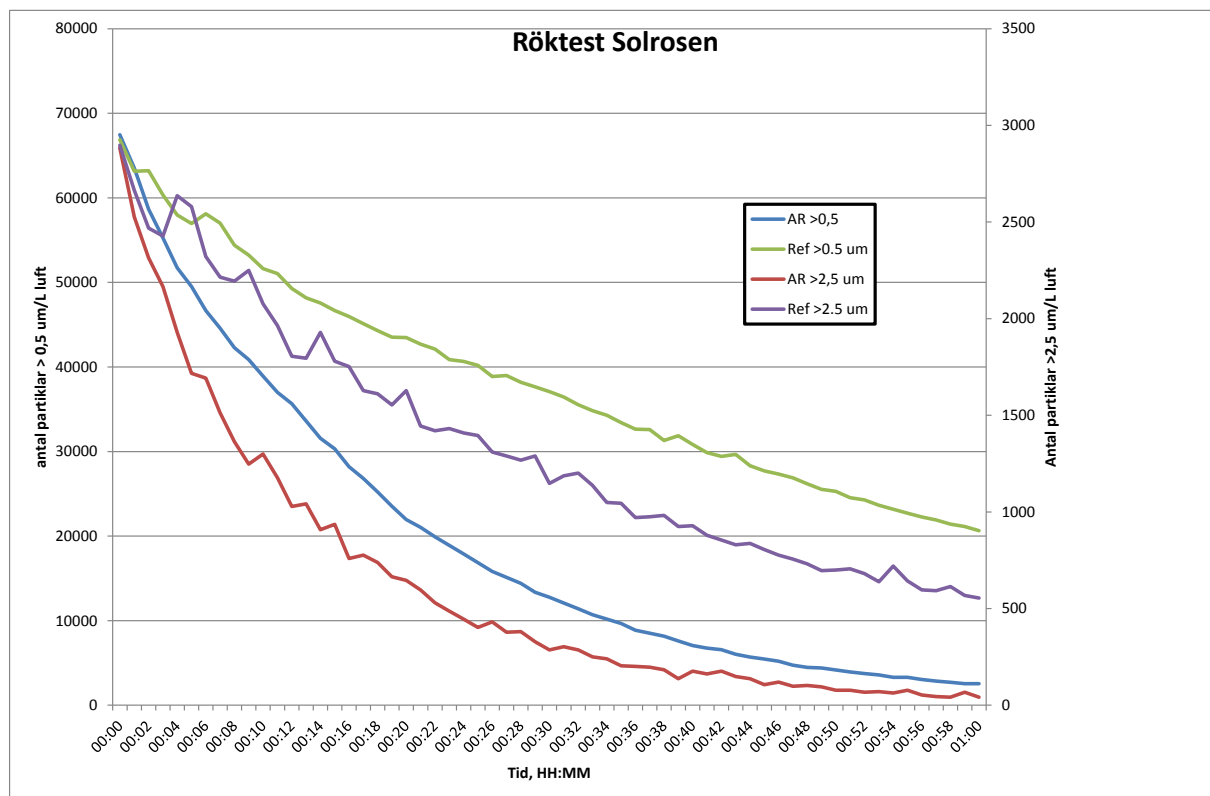
Förskolan är inhytt i en äldre villa byggd på 1930-talet med kombinationen självdrag och begränsat frånluftsflöde i kök och belägen utanför Kode och är en indexförskola där elektrostatiske luftrening (EAC) utvärderats.



Figur 2. Koncentrationen av aktivitetsgenererade partiklar (>2,5 µm) med och utan elektrostatiske luftrening (EAC) i ett 35 m² lekrum utrustat med fem AirRevival N7-hem enheter + en takfläkt med

uppåtriktat luftflöde. Medelvärden av tre dygns mätningar genomförda innan (No EAC), två veckor efter (EAC 2 weeks) samt efter ett år (EAC end year).

Till följd av den markanta minskningen av aktivitetsgenererade partiklar av installerad EAC förelåg ett intresse att närmare studera hur denna effekt uppnåtts och relationen till andra mått på luftrenande åtgärd. Figur 3 visar avklingningen av rökpartiklar där två partikelklasser mätts samtidigt som en takfläkt säkerställt en jämn fördelning av partiklarna i rummet.



Figur 3. Data från två röktester, en med avstängt rum (Ref, grön och lila linje) och en med elektrostatisk luftrening (AR (EAC), blå och röd linje). Vid båda testerna mättes två partikelklasser, dels antalet fina partiklar definierat som partiklar $>0,5\mu\text{m}$, dels antalet större partiklar ($>2,5\mu\text{m}$).

Dessa data har sedan legat till grund för beräkning av ECR-värdet i det 84m^3 stora samlingsrummet på entréplanet.

Tabell 1

Partikelstorlek	$>0,5\mu\text{m}$	$>2,5\mu\text{m}$
ECR m^3/timme	196	257

Tabell 1. Uppmätt luftreningskapacitet baserat data från röktest illustrerad i Figur 3.

CADR- eller ECR-värdet är här angivet i m^3 per timme. Om man överför dessa data till antalet luftväxlingar med partikelfri luft i det 84m^3 stora samlingsrummet så motsvarar de 2,3 respektive 3,1 luftväxlingar per timma relaterat till respektive partikelklass, $>0,5\mu\text{m}$ och $>2,5\mu\text{m}$. Effekten är således störst när det gäller de aktivitetsgenererade partiklarna ($>2,5\mu\text{m}$). Detta beror på att en takfläkt gav en ökad luftblandning och därmed ökad effektivitet avseende de större partiklarna.

Om man uttrycker effekten av luftreningen i liter per sekund så skapade EAC systemet 71 liter luft fri från partiklar >2,5 µm per sekund, dvs luft som partikelmässigt motsvarar utomhusluftens innehåll. Det bör noteras att dessa data enbart är relaterade till AirRevivalsystemets funktion och ej inkluderar den normala ventilationen som var avstängd under röktesten. Följaktligen är den faktiska luftomsättningen då CADR inkluderas i analysen högre då såväl EAC som normal ventilation sker.

Självdrag + EAC - analys avseende funktionellt luftflöde

Lokalen är i det aktuella exemplet är utrustad med tre tilluftsdon VST-12 med luftriktare vilket ger 78 l/s vid ett ej hörbart luftflöde (<https://www.soliduct.se/tilluftsdon-vst-100-riktbar-plast/p-1733.htm>). Neutralt lufttryck i lokalen talar för att luftflödet är i balans.

AirRevival åstadkommer 257 m³/timme, dvs 71 liter/s.

Således kommer det att föreligga ett kombinerat "luftflöde" från självdrag plus partikelrening motsvarande 78 + 71 l/s = 149 l/s. Detta luftflöde är att betrakta som ett **funktionellt luftflöde** eftersom det inkluderar ett mer funktionellt mått på luftrening, dvs den partikelrenade effekten.

Relation till gällande rekommendationer

Samlingsrummet är på 35 m². Denna yta bör ventileras med 12 L/s (0,35 L/s x m²). Således föreligger 149 – 12 = 137 l/s för att hantera individernas behov á 7 L/s vilket innebär att 19 personer kan vistas i lokalen, allt inom ramen för gällande rekommendation.

Introduktion av **funktionellt luftflöde** som mått på luftrening skapar en förutsättning att introducera specifik partikelrening samtidigt som riktvärden för aktivitetsrelaterad ventilation kvarstår. En förutsättning är dock att den koldioxidbaserade rekommendationen inte längre gäller, helt enligt målsättning med föreslagna rekommendationer att upphäva riktlinjen för maximal koldioxidhalt.

Synpunkter på AMV:s förslag

Om att förebygga ohälsa

AV:s förslag till råd och riktlinjer har som målsättning att förebygga ohälsa och omfattar alla former av arbetsmiljöer. En frisk individ anpassar sig i allmänhet till olika inomhusmiljöer utan omedelbara besvär eller funktionsnedsättningar, trots att miljön kan medföra betydande framtida hälsorisker. Detta har visats framför allt i aktuell forskning avseende utomhusluftens kvalitet, tex det inflammatoriska sjukdomsalstrande svaret på inandning av förhöjda halter av fina och ultrafina partiklar, ett problem som ventilation inte kan hantera.

När föreskrifter styr en arbetsplats utformning där barn och sjuka vistas är det än mer väsentligt att tänka på luftkvaliteten utgående från hälsoaspekten. AV betonar i dokumentet allas rätt till en arbetsmiljö som inte utesluter utan tar hänsyn till de extra behov som uppstår i samband med olika former av funktionsnedsättning. Jämfört med en vuxen individ är barn, speciellt i förskoleåldern, en särskilt sårbar grupp med ökad risk för kortsiktiga och långsiktiga luftvägsproblem. Astma förekommer idag hos omkring 10% av svenska barn och allergiska besvär i någon form ses hos 20-30% av barn och ungdomar (*Allergier största sjukdomsgrupp hos svenska barn och unga vuxna. Eva Rönmark. Helena Backman, Linnea Hedman. Läkartidningen nr 14, 2016*)

Kunskap om och faktiskt utnyttjande av relevanta markörer på inomhusluftens kvalitet utgör förutsättningar för framgångsrikt förebyggande av ohälsa. Mängden tillförd utomhusluft och koldioxidnivåer i lokalen utgör uppenbarligen inga omedelbara markörer kopplade till ohälsa. Exempel på relevanta markörer på luftkvalité i skol- och sjukhusmiljö är partikulär last och relativ luftfuktighet.

Vi har i studien funnit att trots tillämpning av aktuella råd och riktlinjer samt ventilationsbaserad modern teknologi så är förskolemiljön belastad avseende både aktivitetsgenererade och utifrån kommande partiklar samt karakteriserad av låg relativ luftfuktighet under vinterhalvåret. Vidare har tester med kompletterande åtgärder genomförts. Dessa bygger på en kombination av anpassad ventilation, vilket innebär en dryg halvering av tillförd utomhusluft om man ser till tidigare och nu aktuella föreskrifter/rekommendationer såsom de presenteras i AV:s förslag till föreskrift; Arbetsplatsens utformning. Detta möjliggör en lägre temperatur och en högre relativ luftfuktighet. Samtidigt har den partikulära lasten hanterats med hjälp av nyutvecklad elektrostatiske partikelrenande teknologi. Slutresultatet blev en såväl energi- som miljömässig vinst utan klagomål från verksamheten och som enkelt kan anpassas till ett äldre fastighetsbestånd.

Sammanfattning och slutsatser

Målsättningen med AV:s nu aktuella dokument är att skapa förutsättningar för en inomhusmiljö som minskar risken för ohälsa, ger förutsättningar för funktionshindrade att närvara samt är energieffektiv.

De hälsorisker som inte hanteras i det aktuella förslaget är luftburen partikellast och den låga luftfuktigheten vintertid. En hög halt inandade fina och ultra-fina partiklar kräver ett immunologiskt svar med en kronisk inflammatorisk process som reducerar förmågan att hantera en virusbetingad infektion via vårt barriärskydd. Den torra luften adderar via uttorkade slemhinnor och förbättrad virusöverlevnad (7). Höga tilluftsflöden är inte lösningen utan kan ytterligare accentuera problemen. Filter i ventilationsanläggningen har inte någon väsentlig effekt på dessa mycket små partiklar liksom de som genereras av aktiviteten i rummet.

Således står vi inför en hälsomässig utmaning samtidigt som inomhusluften bevisligen är kontrollerbar.

I den aktuella mångåriga fältstudien omfattande sju förskolor i västra Göteborg har vi påvisat möjligheten att utveckla en ny standard för inomhusluftens kvalitet. Denna bygger på en kombination av anpassad ventilation vilket innebär en dryg halvering av tillförd utomhusluft och som möjliggör en lägre temperatur och en högre luftfuktighet samtidigt som den partikulära lasten hanteras med hjälp av nyutvecklad elektrostatiske partikelrenande teknologi. Slutresultatet blir en såväl energi- som miljömässig vinst som enkelt kan anpassas till ett äldre fastighetsbestånd. Dagens kunskap påvisar stora möjligheter att åtgärda de viktigaste hälsoriskerna på ett energibesparande sätt. Konceptet "funktionellt" luftflöde bör anses som ett alternativ när det gäller en utvecklad standard baserad på multidisciplinär kunskap inriktad på att förebygga riskfaktorer för ohälsa.

Referenser

1. Corsi RL. Connect or stagnate: the future of indoor air sciences. *Indoor air*. 2015; 25: 231-234.
2. Every breath we take: the lifelong impact of air pollution. Report of a working party. February 2016. Royal College of Physicians. (<https://www.rcplondon.ac.uk/projects/outputs/every-breath-we-take-lifelong-impact-air-pollution>).
3. Pettenkofers M.S. "Über de Luftwechsel in Wohngebuden" . Cotta'sche Buchhandlung. München 1858.
4. Pettenkofer M. "Über eine Methode die Kohlensäure in der atmosphärischen Luft zu bestimmen," *Chem. Soc. Journ. Transp.* 10 (1858), P. 292 und *Journ. Prakt. Chem.* 85, 1862, p. 165.
5. Berg H. Om lungsot. Dess orsaker, kännetecken, förebyggande och botande. N.J. Schedins förlag , Stockholm, 1897, s 208-219.
6. Owens, J.S. (1926) *Measuring the smoke pollution of city air. The Analyst, vol 51, 2-18.*
7. Gustafsson P, Abbas M, Alm M, Andersson JE, Bengtsson M, Blad S, Dahl Å, Melkstam J, Olin AC, Wetterlund H, Rosén KG. Dålig inomhusluft kan ligga bakom hög sjukfrånvaro i förskolan. *Läkartidningen* 30-32/2017.