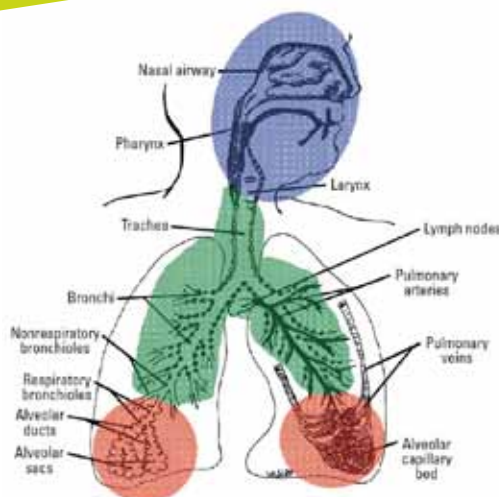


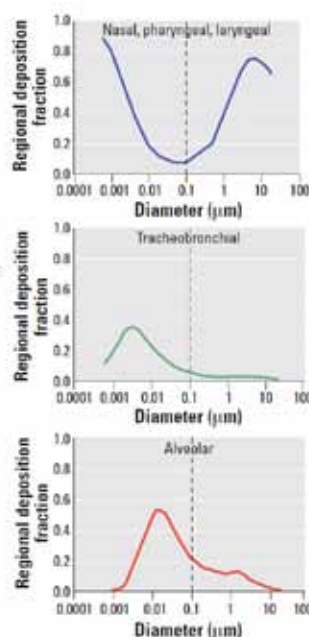
# Reductie van de fijn- en ultrafijnstof in een kinderdagverblijf

Voldoende frisse lucht in gebouwen is belangrijk. Professionals in de gezondheidszorg adviseren ventilatie om bijvoorbeeld luchtwegklachten te verminderen. Tevens is aangetoond dat productiviteit en welbevinden bevorderd worden naarmate er voldoende frisse lucht aanwezig is. Maar zomaar buitenlucht direct naar binnen blazen om te ventileren kan in veel gevallen ook negatieve gevolgen hebben, aangezien met de ventilatielucht ook fijnstof naar binnenkomt. In de VS is aangetoond dat in gebouwen waarin minder geventileerd werd, mensen minder blootgesteld werden aan fijnstof. Bij deze mensen traden ook minder COPD, hartklachten en longontsteking op [1]. Met name het ultrafijnstof (< 0,1 micrometer) is schadelijk. In stedelijke omgeving is dit vooral afkomstig van (diesel) verkeer.

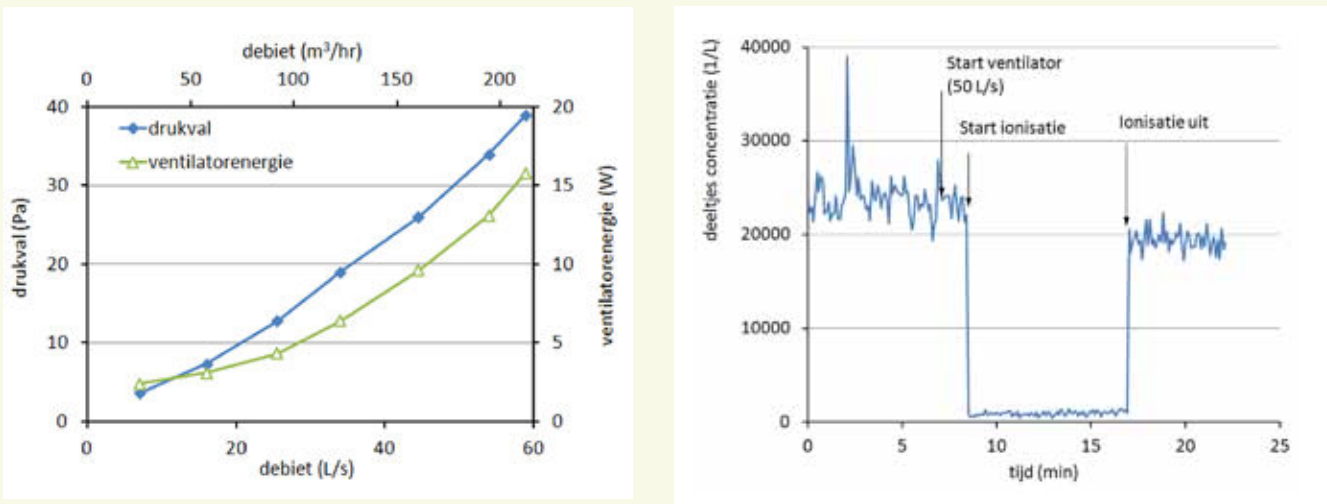
R. (Raphael) Broek, VirusFreeAir B.V.; ir. P. (Piet) Jacobs, TNO, afdeling Energy & Comfort Systems; dr.ir. V. (Vincent) Vons, VirusFreeAir B.V.



-Figuur 1- Depositie van deeltjes van verschillende grootten in de longen [15]



Al langere tijd is bekend dat hoge concentraties fijnstof schadelijk zijn voor de gezondheid. Epidemiologische studies [2-5] geven inzicht in verbanden tussen blootstelling aan fijnstof en effecten op korte en langere termijn. Ook komen uit studies aanwijzingen naar voren dat met name deeltjes die afkomstig zijn van verbrandingsprocessen, zoals van wegverkeer, serieus schadelijk voor de gezondheid zijn [6-9]. Recentelijk heeft de World Health Organisation (WHO) dieseluitletgasen zelfs als een Group 1 carcinogeen geclassificeerd, hetgeen betekent dat er voldoende bewijs is dat deze stoffen kanker veroorzaken [10]. Grof gesproken zijn deeltjes groter dan 2,5 micrometer (dus PM10-PM2,5) veelal afkomstig van mechanische processen, zoals slijtage, grondbewerking, constructiewerkzaamheden, stof uit de Saharawoestijn of van zee



-Figuur 2- Prestaties van het filter in het TNO- laboratorium. Links: drukval over filter en door fan gebruikte energie vs. het debiet. Rechts: Totale deeltjesconcentratie (0.25  $\mu\text{m}$  tot 34  $\mu\text{m}$ ) versus tijd tijdens de meting.

(zeezout aerosol). Beneden de 2,5 micrometer (dus PM<sub>2,5</sub>) zijn de deeltjes voornamelijk afkomstig van verbrandingsprocessen, zowel direct (elementair koolstof, roet) als indirect, door reactie en condensatie van gasvormige componenten die bij verbrandingsprocessen vrijkomen, zoals SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en vluchtige koolwaterstoffen [11,12]. Met name ultrafijnstof (<0.1 micrometer) is voor het overgrote deel van verbrandingsprocessen afkomstig [13,14]. Juist deze qua samenstelling meest schadelijke stof komt het diepst in de longen terecht, zoals weergegeven in figuur 1 [15].

Fijnstof is echter geen reden om niet te ventileren, zeker gezien de eerder genoemde voordelen van goede ventilatie. Fijnstof is echter wel een reden om inlaatlucht niet zomaar naar binnen te leiden, maar eerst te zuiveren. In de praktijk worden al filters toegepast in ventilatiesystemen; in kantoren zijn dit meestal F7-klasse filters of beter. De Vereniging Leveranciers Luchttechnische Apparaten (VLA) heeft hiervoor onlangs richtlijnen opgesteld [16]. In scholen, kinderdagverblijven of woningen wordt filtratie niet of nauwelijks toegepast.

Het verwijderen van ultrafijnstof uit ventilatielucht brengt een aantal problemen met zich mee. Naarmate de deeltjes kleiner worden, zijn er dichtere filters nodig om de deeltjes af te kunnen vangen. Hierbij geldt dat des te dichter het filter des te meer drukverlies er optreedt, wat resulteert in meer energiegebruik of lagere capaciteit en geluidshinder. Geluidhinder blijkt met name bij decentrale toepassing, zoals in bijvoorbeeld bestaande scholen of kinderdagverblijven, een probleem. In essentie wordt

men dus gedwongen om te kiezen tussen geluid en hogere kosten (filtervervangings- en energiegebruik) en de gezondheid (infiltratie van fijnstof). Hiermee wordt bedoeld dat er vrijwel geen opties zijn om kostenefficiënt (energie/onderhoud) een significant deel van de fijnstofdeeltjes uit ventilatielucht te verwijderen. Dit geldt voornamelijk voor de schadelijke ultrafijnstofdeeltjes (<0,1 micrometer).

### ■ LAGE DRUK FIJNSTOFFILTER

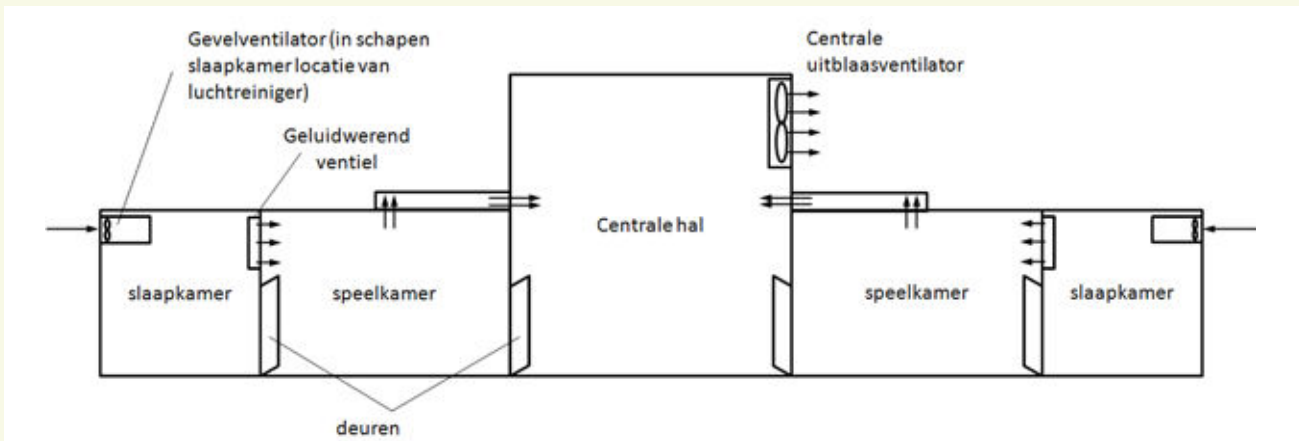
Om te onderzoeken in welke mate het in de praktijk van een kinderdagverblijf mogelijk is om de luchtkwaliteit te verbeteren, is in het kader van het TNO Technologiecluster 'Frisse kinderdagverblijven' een innovatief lage druk fijnstoffilter (VFA Aspra XS) in een kinderdagverblijf in Delft beproefd [17]. Deze luchtreiniger verbetert door middel van ionisatie het rendement van een zeer open electret filter. Door middel van hoogspanning worden in een buis ionen genereerd, die zich aan stofdeeltjes hechten. De lucht passeert vervolgens een speciaal zeer open filter, waarin de deeltjes door de aangebrachte lading sneller neerslaan. Doordat het filter zeer open is, resulteert het in een zeer lage drukval, wat er voor zorgt dat stille, zuinige ventilatoren gebruikt kunnen worden. Dit is niet alleen gunstig voor het energiegebruik, maar maakt het ook mogelijk om een decentrale luchttoevoer te realiseren, wat vaak in bestaande situaties een voordeel is. De drukval van het fijnstoffilter bedraagt 30 Pa. Dit is ten opzichte van F9 filters (200-450 Pa) en HEPA (500+ Pa) zeer laag. De combinatie Aspra luchtreiniger-ventilator is eerst in het TNO laboratorium getest. De drukval over de luchtreiniger vs. het debiet is

gemeten met een Acin flowfinder en een standaard drukmeter. Tevens is het energiegebruik van de ventilator bij verschillende snelheden gemeten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 2. De drukval over de luchtreiniger is klein te noemen, alsook het energiegebruik van de ventilator.

Ten slotte is indicatief de deeltjesreductie bepaald door een Grimm 1.109 Aerosol Spectrometer direct in de uitlaat van het filter te plaatsen. Deze meet deeltjes met een grootte van 0.25  $\mu\text{m}$  tot 34  $\mu\text{m}$  door middel van scattering van licht. Het luchtdebiet door de zuiveraar bedroeg ongeveer 50 dm<sup>3</sup>/s. In figuur 2 is het verloop van de deeltjesconcentratie weergegeven als functie van de tijd gedurende deze meting. Aanvankelijk (tot 8 minuten) staat zowel de fan als de ionisatie uit. Hierdoor is het mogelijk de achtergrondconcentratie in het laboratorium te bepalen (~24.000 deeltjes/liter). Als de fan en ionisatie kort achter elkaar aangaan, daalt de deeltjesconcentratie drastisch (met 96 % tot 900). Als vervolgens de ionisatie uitgedaan wordt maar de ventilator aanblijft, stijgt de concentratie weer flink, alhoewel niet tot de oude waarde (19.000 i.p.v. 24.000, ofwel 19 % reductie). Een klein gedeelte van de deeltjes wordt dus nog door het zeer open filter gevangen, maar het mag duidelijk zijn dat de ionisatie noodzakelijk is om een echt hoge filterefficiëntie te verkrijgen.

### ■ REINIGING OP LUCHTTOEVOER

Luchtreiniging kan in principe op twee manieren worden toegepast: reiniging van de



-Figuur 3- Schematische weergave van de luchtstromen in het kinderdagverblijf. In totaal komt de lucht van tien slaapkamerventilatoren samen in de centrale hal.



-Figuur 4- Plaatsing van ventilator en filter. Het witte deel is de Aspra luchtreiniger; het filter (met dezelfde diameter als de buis, en een lengte van ~4 cm) wordt in het einde van de buis ingeschoven

toevoerlucht of reiniging op basis van recirculatie van de binnenlucht. Kinderdagverblijven, maar ook scholen worden gekenmerkt door een hoge personenbezetting. Hierdoor zijn relatief hoge ventilatievouden noodzakelijk, hetgeen een nog veel hoger recirculatie-debiet vereist om de lucht binnen voldoende schoon te kunnen houden. Daarnaast zijn interne bronnen van (ultra)fijnstof, ten gevolge van verbrandingsprocessen zoals koken, gering. Om deze reden lag het voor de hand om lucht-reiniging op de luchttoevoer toe te passen. Later in het onderzoek is ter aanvulling van het luchttoevoerfilter ook een fijnstoffilter voor recirculatielucht toegepast in de speelkamer. Het kinderdagverblijf is uitgerust met een ventilatiesysteem waarbij in de slaapkamers verse lucht van buiten ingeblazen wordt door een ventilator in de gevel. Deze lucht stroomt vervolgens van de slaapkamers over naar de speelkamers via een geluidwerend rooster.

Vandaar stroomt het vervolgens naar de centrale hal van het verblijf, waar de lucht van alle slaapkamers samenkomt en centraal naar buiten afgevoerd wordt door één grotere ventilator. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3. De verschillende ventilatoren worden d.m.v. een centraal regelsysteem aangestuurd. De uitvoering en werking van het ventilatiesysteem is in meer detail beschreven in [18].

De combinatie ventilator-luchtreiniger is aan de binnenkant van de gevel geplaatst, ter vervanging van één van de bestaande gevelventilatoren. Figuur 4 is een foto genomen tijdens de installatie van de combinatie ventilator-luchtreiniger, boven het systeemplafond. Op dezelfde gevel bevindt zich ook de aanzuig van de ventilator van een andere slaapkamer waar geen luchtreiniger geplaatst wordt. Omdat de gevelventilatoren van beide op dezelfde gevel geplaatst zijn, is de invloed van wind en verkeer

op de deeltjesconcentratie in beide groepen zoveel mogelijk hetzelfde.

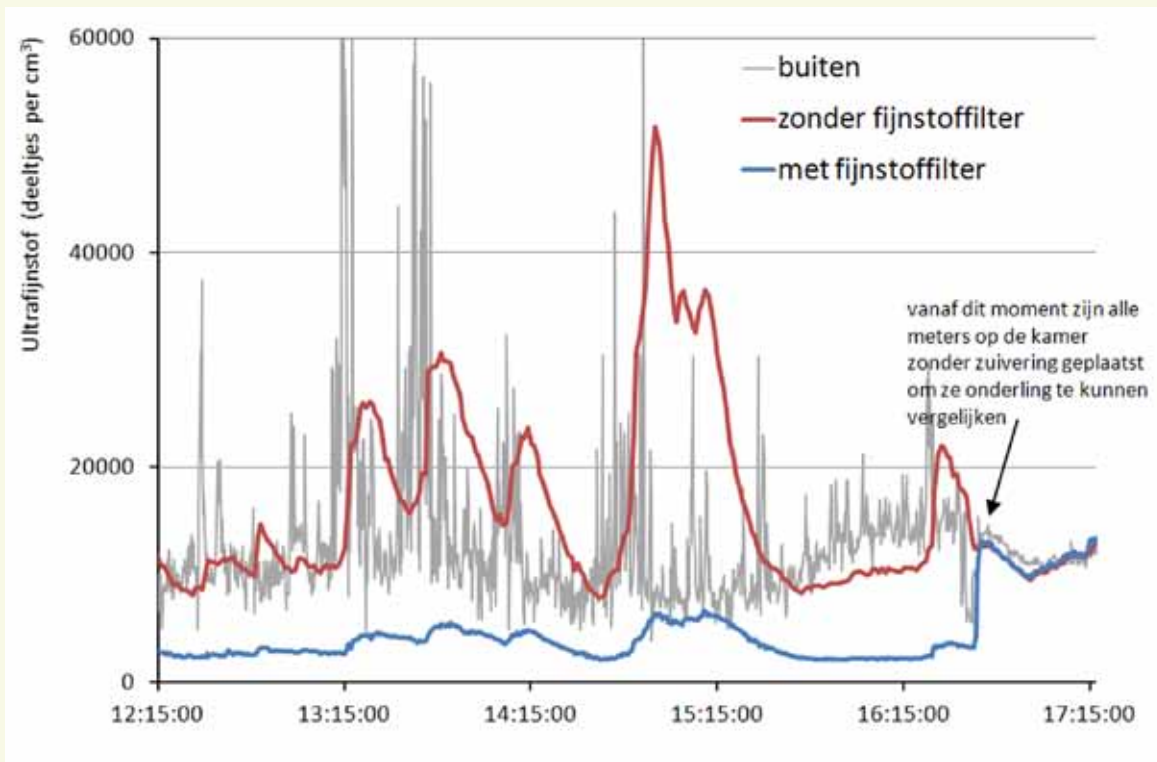
Via het centrale regelsysteem zijn beide ventilatoren met behulp van een Acin Flowfinder zo afgesteld dat er overdag  $35 \text{ dm}^3/\text{s}$  ( $126 \text{ m}^3/\text{h}$ ) ingeblazen wordt. Het ventilatievoud in de speel- en slaapkamer bedraagt hiermee respectievelijk 1,3 en 5 ACH. Alle boven de ramen aanwezige ventilatiesleuven werden gesloten. Van 18 uur 's avonds tot 7 uur 's ochtends staat de ventilatie uit. De ionisatie van de luchtreiniger is door middel van een tijd klok zo afgesteld dat deze gelijk met de ventilator aangaat. Het energiegebruik van het elektrostatisch filter bedroeg 5 W, dat van de ventilator 8 W, tezamen dus 13 W.

Op vrijdag 11 november 2011, een week na de installatie van het filter, zijn in de twee slaapkamers metingen verricht aan de concentratie ultrafijnstof (deeltjesgrootte  $<0.1$  micrometer). Hiervoor zijn twee TSI 3007 condensation particle counters (CPCs) en twee Aerasense Nanotracers ingezet. Vervolgens is gedurende twee weken het effect van het filter op de concentraties grovere fijnstof (PM<sub>20</sub>-PM<sub>1</sub>) gemeten met zgn. Osiris meters. Deze meters meten veel grotere deeltjes (0.5-20 micrometer) via licht verstrooiing. De meters zijn op verschillende locaties in het kinderdagverblijf geplaatst, om gedurende twee weken elke vijf minuten de concentraties (via GPRS) door te geven.

Gedurende de metingen zijn de normale activiteiten in het kinderdagverblijf doorgegaan; de randvoorwaarden zoals het aantal aanwezige personen, eventueel openstaande ramen en deuren en andere bijzonderheden, zijn door het personeel van het kinderdagverblijf in een logboek bijgehouden.

## RESULTATEN

Figuur 5 geeft de ultrafijnstofconcentratie buiten, in de slaapkamer zonder, en in de slaap-



-Figuur 5- Ultrafijnstof buiten (grijze lijn), in een slaapkamer zonder luchtzuivering (rood) en in een kamer met luchtzuivering (blauw). Vanaf ~16:30 uur zijn de meters allemaal op de slaapkamer zonder zuivering geplaatst. Daar geven alle meters zeer vergelijkbare resultaten, hetgeen aangeeft dat de meters onderling goed te vergelijken zijn.

kamer met fijnstoffilter. Wat direct in deze figuur opvalt zijn de zeer hoge maar kortduurende pieken buiten. Deze komen waarschijnlijk door passerende voertuigen op de weg voor het kinderdagverblijf. Binnen in de slaapkamer zonder fijnstoffilter komen de buiten gemeten pieken al snel terug. Een momentane piek buiten leidt tot een in absolute zin minder hoge, maar wel veel langer durende piek binnen. De blootstelling aan ultrafijnstof in de kamer zonder fijnstoffilter is hierdoor van dezelfde orde grootte als de blootstelling buiten. Waarschijnlijk worden schadelijke deeltjes buiten snel weggeblazen, terwijl ze binnen langer blijven hangen. De installatie van het fijnstoffilter op de luchtverseringsinlaat resulteerde in een verlaging van de concentratie ultrafijnstof in de ruimte direct achter de ventilatieopening van 85% ten opzichte van de concentratie buiten en 80% ten opzichte van de controlekamer. Dit verlaagt de blootstelling aan ultrafijnstof significant.

Gedurende de lange-termijnmeting werd voor de  $PM_1$  en  $PM_{2,5}$  deeltjes ten opzichte van de buitenlucht een reductie van 77% verkregen, in vergelijking met de referentiekamer een reductie van 66% resp. 68%. Van het grovere stof ( $PM_{20} - PM_{2,5}$ ) dat van buiten naar binnen getransporteerd kan worden werd 90% afgevangen, oftewel een reductie van 87% ten opzichte van de controlekamer. In

Reductie [%]	< 0.1 micrometer	$PM_1$	$PM_{2,5} - PM_1$
t.o.v. buiten	85	77	77
t.o.v. referentie kamer	80	66	68

-Tabel 1-

tegenstelling tot alle andere meetwaarden is dit gemeten zonder dat de kinderen aanwezig waren. Als de kinderen aanwezig zijn is de concentratie grofstof binnen vele malen hoger dan buiten. De zeer actieve kinderen produceren veel stof (bijvoorbeeld huidschilfers en textielvezels in/op beddengoed) en wervelen dit gedurende activiteiten weer op. Zoals in de inleiding al gemeld is stof groter dan 2,5 micrometer in mindere mate afkomstig van verbrandingsprocessen en dringt het minder diep in de longen door, gezondheidsschade is hierdoor bij deze grote deeltjes veel minder. Wel kunnen dergelijke deeltjes leiden tot allergieën en/of ziekten overbrengen. Plaatsing van een recirculerende stand alone eenheid in het kinderdagverblijf kan het binnen geproduceerde grove stof wel verlagen: door een tijdelijk geplaatste stand alone luchtreiniger werd een reductie van circa 32% behaald. Dit kan nog verbeterd worden door een betere en meer permanente opstelling van deze zuiveraar.

Ten slotte is (onbedoeld) ook het effect van het openen van een buitendeur op de binnenlucht kwaliteit gebleken. Gedurende

het onderzoek heeft namelijk op één dag gedurende enkele uren de buitendeur in de speelkamer open gestaan. De concentratie  $PM_{2,5}$  in de speelkamer, die eerst slechts 23% van de buitenconcentratie bedroeg, nam hierdoor toe tot 80% van de buitenconcentratie. Het openen van een deur of raam leidt dus niet altijd tot frisse lucht binnen, in ieder geval wat fijnstof betreft.

De 68% reductie in  $PM_{2,5}$  in onderhavige studie is beduidend hoger dan de 11% tot 30% die de GGD Amsterdam in een eerdere studie, waarbij ventilatiesystemen werden getest met F7 tot F9 filters [19], heeft gevonden. Hierbij moet wel gezegd worden dat in dat onderzoek niet alleen de filterefficiëntie, maar mogelijk ook infiltratie van vervuilde lucht via andere routes dan het ventilatiesysteem een rol kan spelen. Over de efficiëntie van F-klasse filters bij ultrafijnstof is weinig bekend. Wel kwam naar voren uit hetzelfde onderzoek door de GGD Amsterdam [19] dat het F9 filter een efficiëntie ten opzichte van de controlesituatie van ~50% behaalt voor ultrafijnstof. Met 80% reductie t.o.v. de controlekamer presteert het VFA Aspra XS systeem in een praktijksituatie



dus significant beter dan een ventilatiesysteem met F9 filter, en dit bij een drukval van 30 Pa in plaats van 100-450 Pa.

## CONCLUSIE

Deze praktijkproef laat zien dat goede afvangstpercentages mogelijk zijn voor fijn- en ultrafijnstof bij een relatief lage drukval. Dit is niet alleen gunstig voor het energiegebruik, maar maakt het ook mogelijk om decentrale luchttoevoer te realiseren, wat vooral in renovatiesituaties een voordeel kan zijn. De mogelijkheid om de luchttoevoer te vergroten zonder grote aanpassingen aan- of totale vervanging van een ventilatiesysteem kan in veel bestaande situaties gewenst zijn in verband met aan de ene kant strengere normen voor binnenmilieu en aan de andere kant beperkte budgetten voor huisvesting.

Het project is uitgevoerd in het kader van het technologiecluster 'Frisse Kinderdagverblijven' van TNO. Virus Free Air BV heeft tijdens het project het filtersysteem (Aspra XS) ter beschikking gesteld.

## LITERATUUR

1. N.A.H. Janssen, J. Schwartz, A. Zanobetti, H.H. Suh. Air Conditioning and Source-Specific Particles as Modifiers of the Effect of PM10 on Hospital Admissions for Heart and Lung Disease. *Environm. Health Perspect.* 110 (2002) p. 43
2. D.W. Dockery, C.A. Pope III, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B.G. Ferris Jr, F.E. Speizer. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.* 329 (1993) p. 1753-1759.
3. C.A. Pope III, M.J. Thun, M.M. Namboodiri, D.W. Dockery, J.S. Evans, F.E. Speizer, J.C.W. Heath. Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults; *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 151 (1995) p. 669-674.
4. C.A. Pope III, R.T. Burnett, M.J. Thun, E.E. Calle, D. Krewski, K. Ito, G.D. Thurston. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*, 287 (2002) p. 1132.
5. J.M. Samet, F. Dominici, F.C. Curriero, I. Coursac, S.L. Zeger. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. Cities 1987-1994. *N. Engl. J. Med.* 343 (2000) p. 1742.
6. F. Laden, L. M. Neas, D. W. Dockery, J. Schwartz. Association of Fine Particulate Matter from Different Sources with Daily Mortality in Six U.S. Cities. *Environm. Health Perspect.* 108 (2000) p. 941
7. G. Hoek, B. Brunekreef, S. Goldbohm, P. Fischer, P.A. van den Brandt. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 360 (2002) p. 1203.
8. V. Morgenstern, A. Zutavern, J. Cyrys, I. Brockow, S. Koletzko, U. Krämer, H. Behrendt, O. Herbarth, A von Berg, C.P. Bauer, H.-E. Wichmann, J. Heinrich. Atopic Diseases, Allergic Sensitization, and Exposure to Traffic-related Air Pollution in Children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 177 (2008) p. 1331.
9. N.A.H. Janssen, B. Brunekreef, P. van Vliet, F. Aarts, K. Meliefste, H. Harssema, P. Fischer. The Relationship between Air Pollution from Heavy Traffic and Allergic Sensitization, Bronchial Hyperresponsiveness, and Respiratory Symptoms in Dutch Schoolchildren. *Environm. Health Perspect.* 111 (2003) p. 1512.
10. WHO, Diesel engine exhaust carcinogenic, persbericht IARC, 12 juni 2012. [http://press.iarc.fr/pr213\\_E.pdf](http://press.iarc.fr/pr213_E.pdf)
11. M. Schaap, E.P. Weijers, D. Mooibroek, L. Nguyen, R. Hoogerbrugge. Composition and origin of Particulate Matter in the Netherlands. Results from the Dutch Research Programme on Particulate Matter. (2010) <http://www.pbl.nl/en/dossiers/Transboundaryairpollution/content/Netherlands-Research-Program-on-Particulate-Matter>
12. G.J.M. Velders, J. Matthijssen, J.M.M. Aben, W.J. de Vries. Grootchalige PM2,5-concentratiekaarten van Nederland. Milieu en Natuur planbureau (nu Planbureau voor de leefomgeving), MNP rapport 500088003/2007. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500088003.pdf>
13. "Nationaal Kompas Volksgezondheid, Wat zijn de mogelijke gezondheidsgevolgen van grootchalige luchtverontreiniging". RIVM (2010). <http://www.nationaal-kompas.nl/gezondheidsdeterminanten/omgeving/milieu/luchtverontreiniging/wat-zijn-de-mogelijke-gezondheidsgevolgen-van-grootchalige-luchtverontreiniging/>
14. G.R. Cass, L.A. Hughes, P. Bhave, M.J. Kleeman, J.O. Allen, L.G. Salmon. The chemical composition of atmospheric ultrafine particles. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 358 (2000) p. 2581-2592.
15. G. Oberdörster, E. Oberdörster, J. Oberdörster. Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. *Environm. Health Perspect.* 113 (2005), p. 823
16. VLA Kring Luchtfilters, Specificatie luchtfilters voor luchtbehandelingsystemen, 2011 [http://www.vla.nu/Publicaties/Publicatie\\_luchtfilters](http://www.vla.nu/Publicaties/Publicatie_luchtfilters)
17. Jacobs P., Voogt M.H., Vons V.A., Reductie van de fijn- en ultrafijnstof concentratie in een kinderdagverblijf, TNO rapport 2012 – R10195 [http://www.tno.nl/downloads/reductie\\_fijn\\_ultrafijnstof\\_kinderdagverblijf\\_tno\\_rapport\\_r10195.pdf](http://www.tno.nl/downloads/reductie_fijn_ultrafijnstof_kinderdagverblijf_tno_rapport_r10195.pdf)
18. P. Jacobs, Improved Ventilation And Temperature Control In A Nursery, Proceedings Indoor Air 2011, 5-10 juni 2011, Austin (VS).
19. M. Dijkema et al, Effectiviteit van mechanische ventilatie met filtertoepassing in een klaslokaal, GGD Amsterdam, juni 2009.