

Auteurs

Ing. Ad van der Aa^a, ir. Richard Claessen^a, dr. ir. Willem van der Spoel^a, ing. Peter van der Velde^b

a. Adviseur ABT

b. Commercieel directeur Interland Techniek/Inatherm

Downflow ventilatiesysteem zorgt voor gezonde en veilige lucht in liftcabines

Figuur 1: Render van het huidige ontwerp.



De Coronapandemie die in het voorjaar van 2020 zijn intrede gedaan heeft in de westerse wereld heeft een divers aantal kwetsbaarheden blootgelegd in de gebouwde omgeving. Het veilige en onbeperkte gebruik van ruimten in gebouwen blijkt plotseling geen vanzelfsprekendheid meer te zijn, maar een risico op de overdracht van het SARS-CoV-2 virus. Door richtlijnen te volgen als het vermijden van drukke ruimten, een onderlinge afstand van 1,5 m te behouden, met regelmaat de handen te reinigen, de hoeveelheid ventilatie te verhogen en ramen te openen wordt het overdrachtsrisico zo veel mogelijk beperkt. Gebouwen hebben echter diverse ruimten waar deze richtlijnen niet kunnen worden gevolgd. Een van deze hot spots betreft de liften in gebouwen. Deze zijn er op ontworpen dat liftpassagiers kortdurend dicht op elkaar staan en zijn doorgaans beperkt geventileerd. De ontwikkeling van een nieuw uni-directioneel downflow ventilatiesysteem Eleminair door ABT en Interland Techniek biedt hiervoor de oplossing. Het systeem heeft inmiddels zowel de juryprijs als de publieksprijs “De Vernufteling” van de brancheorganisatie NLI ingenieurs, het KIVI NIRIA en het vakblad De Ingenieur mogen ontvangen. Een render van het huidige ontwerp is weergegeven in Figuur 1.

Virustransmissie en risicoanalyse

De verspreiding van virussen via de lucht in gebouwen is al langer onderdeel van wetenschappelijk onderzoek. Reeds in de 19^e eeuw werd begrepen dat een juiste ventilatie van invloed was op de gezondheid van mensen. Rond 1930 werd een meer fundamentele basis gelegd over virusverspreiding via de lucht in ruimten door het werk van

Wells [1]. Door de uitbraak van de SARS-CoV epidemie in China in 2002 is het wetenschappelijk onderzoek naar de mechanismen van virusverspreiding via de lucht in gebouwen duidelijk toegenomen. De huidige uitbraak van het SARS-CoV-2 virus heeft geleid tot een grote versnelling hierin.

Ondanks deze aandacht blijkt het onderwerp weerbarstig en is er nog veel te ontdekken. Duidelijk is dat er een route is via de lucht

waarbij virusdeeltjes van mens op mens worden overgedragen. Wat echter de exacte hoeveelheid schadelijke virusdeeltjes is die wordt uitgestoten door een besmet persoon, wat de grootte van die deeltjes is, hoeveel iemand moet ontvangen om besmet te worden, welke afstand dan veilig is, welke ventilatiehoeveelheid daarbij dan hoort etc. is zeker nog niet tot in detail duidelijk [2]. Desondanks is er wel dringend behoefte aan oplossingen, bijvoorbeeld voor de liften in gebouwen, want die kunnen nu niet of slechts zeer beperkt worden gebruikt. Als uitgangspunt voor een oplossing stellen we daarom vast wat we wel met zekerheid weten:

Virusdeeltjes kunnen worden overgedragen door middel van deeltjes die zich via de lucht verplaatsen en die worden geëmitteerd vanuit de neus en de mond als gevolg van uitademing, spreken, hoesten of niezen. Afhankelijk van de grootte van de deeltjes noemen we dit dan aerosolen of droplets. De emissiesnelheid varieert van tot circa 1 m/s voor uitademing en spreken tot 5 m/s voor luid spreken en zingen tot meer dan 10-15 m/s voor schreeuwen, hoesten en niezen [3].

De hoeveelheid die wordt geëmitteerd en de besmettelijkheid daarvan zijn niet exact bekend, alsook de hoeveelheid die nodig is om iemand te besmetten en de plek van receptie is niet exact bekend en dient daarom (zo dicht mogelijk) bij nul te liggen.

Hiermee zullen we het voorlopig moeten doen, omdat de exacte antwoorden op gedetailleerde vragen nog veel onderzoek en tijd zullen vergen.

Ventilatie

Ventilatie wordt bewerkstelligd door verse lucht aan een ruimte toe te voeren en verontreinigde lucht af te voeren. De toegevoerde lucht mengt zich hierbij met de reeds aanwezige lucht in de ruimte, de zogeheten mengventilatie, of verdringt de vervuilde lucht uit de ruimte, de zogeheten verdringingsventilatie. Bij mengventilatie wordt de concentratie van de verontreiniging verdund, bij verdringingsventilatie wordt de verontreinigde lucht verdrongen door de schone lucht. De verschillende manieren van ventileren geven een verschillend verontreinigingsprofiel in de ruimte.

Mengventilatie: Menging wordt gestimuleerd door natuurlijke turbulentie in de ruimte en (in geval van mechanische ventilatie) door de karakteristiek van de toevoervoorzieningen. Als de menging volledig is, zal de verontreinigingsconcentratie uniform verdeeld zijn in de ruimte. De relatie tussen het ventilatievoud en de verontreinigingsconcentratie (bij een constante bron van verontreiniging) wordt weergegeven door:

$$c = c_0 + \frac{G}{n \cdot V}$$

Waarbij:

c = concentratie van de verontreiniging in de lucht [kg/m^3]

c_0 = concentratie van de verontreiniging in de toevoerlucht [kg/m^3]

G = bronsterkte van de verontreiniging [kg/s]

N = ventilatievoud van de ruimte [-]

V = ruimte-inhoud [m^3]

Onder de aanname dat de toevoerlucht schoon is, is de interne concentratie van de verontreiniging een directe afgeleide van de hoeveelheid ventilatie en benadert theoretisch een waarde van 0 kg/m^3 bij zeer hoge ventilatievouden, maar dit is voor praktische doeleinden nooit haalbaar. Het toepassen van een mengventilatiesysteem in bijvoorbeeld een liftcabine kan daarmee geen garantie bieden op een veilige oplossing tegen virusoverdracht tussen de liftpassagiers.

Verdringingsventilatie: In tegenstelling tot mengventilatie zal de ruimtelijke concentratieverdeling bij verdringingsventilatie nooit uniform zijn in de ruimte. De concentratie "bovenwinds" van de bron zal schoon (of schoner) zijn dan de verontreinigde concentratie "benedenwinds" van de bron. In geval van een overdracht van virusdeeltjes via de lucht, kan verdringingsventilatie daarom een goede strategie zijn om overdracht van virussen van een besmette persoon op een niet-besmette persoon te voorkomen. Dit echter onder de voorwaarde dat de luchtstroming stabiel en betrouwbaar beheerst wordt ten aanzien van snelheid en stromingsrichting. Het principe van verdringingsventilatie in deze specifieke situatie is al langer bekend en wordt toegepast in bijvoorbeeld laboratoriumsituaties (clean rooms) en in operatiekamers van ziekenhuizen.

Huidige ventilatie in liftcabines

Een globale inventarisatie van de huidige ventilatie in liftcabines leert al snel dat er doorgaans geen of slechts zeer beperkte ventilatievoorzieningen aanwezig zijn om verse lucht toe te voeren naar de cabine. Indien aanwezig, dan betreft dit veelal kleine fans die handmatig geschakeld kunnen worden om tot circa 50-100 m^3/h lucht vanuit de liftschaft naar de cabine toe te voeren. De luchtafvoer vindt plaats via overstroomvoorzieningen naar de liftschaft. De liftschaft zelf wordt doorgaans door middel

van een uitmonding in het plafond beperkt met buitenlucht geventileerd. In de meeste gevallen kan er echter niet gesproken worden over serieuze ventilatievoorzieningen. Blijkbaar wordt dit gedekt door de luchtuitwisseling met de aansluitende ruimten die plaatsvindt als de deuren van de liftcabine openen om liftpassagiers in en uit te laten. In het Bouwbesluit van 1992 was nog een bepaling opgenomen van 6 dm³/s per m² vrije vloeroppervlakte van een liftkooi. Deze is in het Bouwbesluit 2003 echter komen te vervallen. Overigens heeft dit tot op heden niet geleid tot serieuze klachten over de luchtkwaliteit in liftcabines. Ook in de incidentele situatie dat de luchtkwaliteit als slecht wordt ervaren (denk hierbij aan de overvolle lift op een regenachtige dag) dan nog is de verblijfstijd van de liftpassagiers kort en heeft dat tot op heden niet geleid tot serieuze klachten. De uitbraak van de Covid-19 pandemie heeft de kijk op de luchtkwaliteit in de liftcabine drastisch gewijzigd en de ogen geopend: liftcabines kunnen een hoog niveau met virusdeeltjes verontreinigde lucht bevatten die daar nog lange tijd nadat een besmet persoon van de lift gebruik heeft gemaakt, in de lucht blijven hangen. Recent onderzoek van de Universiteit van Amsterdam toont aan dat dit tot 20 minuten na gebruik het geval is [4]. Daarbij komt dat liften ontworpen zijn op basis van de veronderstelling dat liftpassagiers tijdelijk best "veilig" op zeer korte afstand van elkaar in de liftcabine kunnen verblijven. Een misvatting zo blijkt nu.

Conceptuele oplossing

De beschreven tekortkomingen aan de liftventilatie hebben er toe geleid dat momenteel het gebruik sterk gelimiteerd is, dan wel dat liften volledig buiten gebruik zijn gesteld. Zeker in hoogbouwsituaties is dit niet wenselijk, omdat daarmee feitelijk het gebruik van de hoger gelegen verdiepingen geblokkeerd wordt. Het dagelijks vele verdiepingen overbruggen met de trap is zelfs voor mensen met een goede conditie een opgave. Een oplossing voor dit probleem dient invulling te geven aan tenminste de volgende condities:

1. Verontreinigde (virusdeeltjes bevattende) lucht dient zo goed en zo snel mogelijk te worden afgevoerd uit de liftcabine.
2. Het luchtstromingspatroon moet waarborgen dat liftpassagiers altijd voorzien worden van schone en veilige lucht, ook als zij op relatief korte afstand van elkaar staan gepositioneerd.

Aan deze condities kan invulling worden gegeven door de toepassing van een vorm van verdringsventilatie. In de situatie van een liftcabine betekent dit dat de lucht wordt toegevoerd vanuit het plafond en afgevoerd nabij vloerniveau, en wel op een zodanige wijze dat voor iedere liftpassagier op iedere plaats in de liftcabine veilige condities worden gewaarborgd. De toevoerlucht wordt hierbij gelijkmatig verdeeld over het hele plafond ingebracht en drukt hierbij de uitgeademde en verontreinigde lucht langs het lichaam naar vloerniveau. Het principe is bekend vanuit bijvoorbeeld de laboratorium- en cleanroomomgeving en vanuit de toepassing bij operatiekamers boven de operatietafel. Onderzoeksvragen waren echter of dat ook inpasbaar en inbouwbaar is in een liftcabine waar de beschikbare hoogte en breedte/diepte veel geringer is, welke luchtsnelheid dan noodzakelijk is om een veilige situatie te kunnen waarborgen, hoe groot vervolgens het effect is op het comfort en geluidniveau, en of nog voldaan kan worden aan de voorschriften vanuit de liftnormering.

Eisen en randvoorwaarden

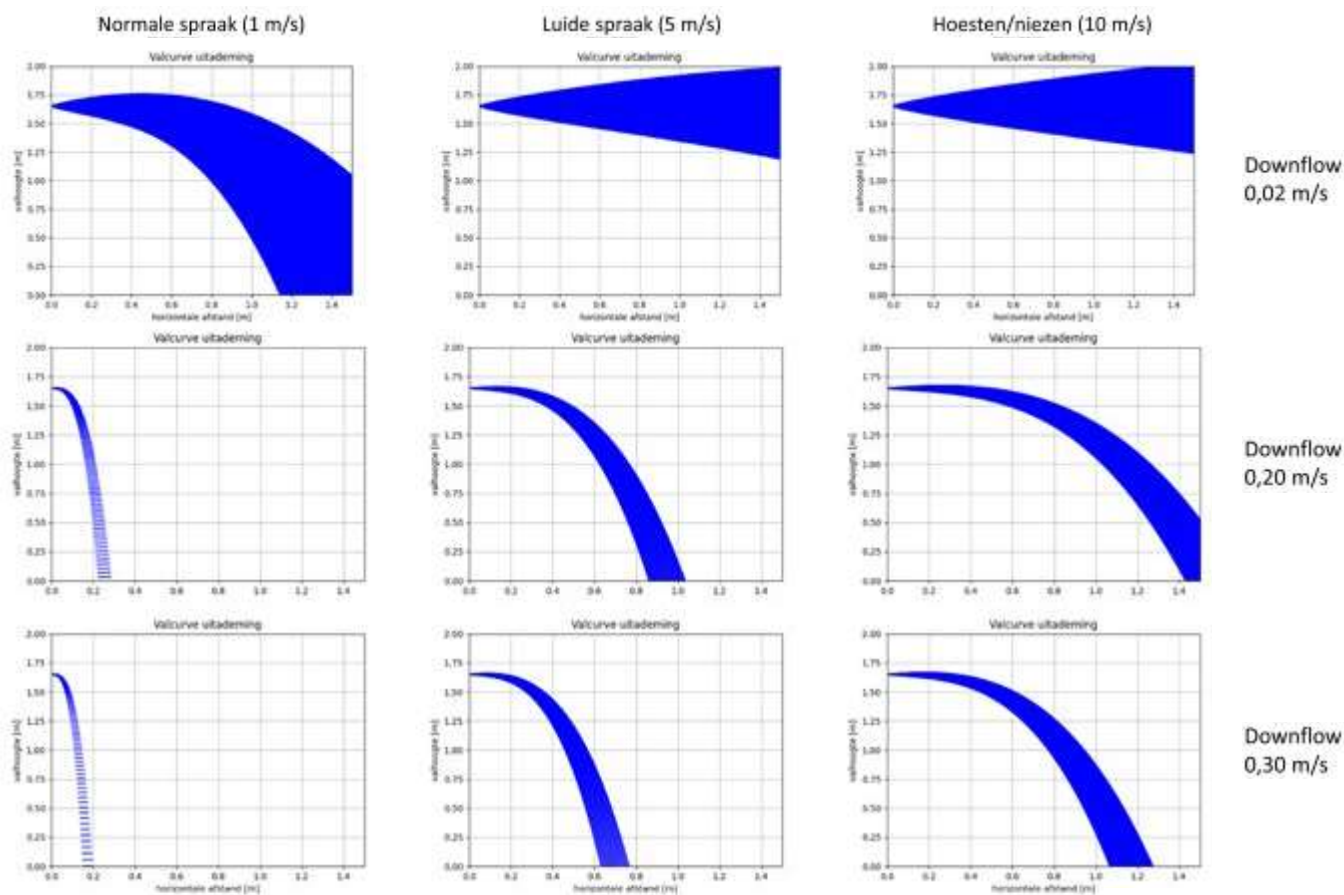
Nielsen [5] beschrijft naar aanleiding van metingen in de klimaatkamer naar de luchtstroming rond thermal manikins dat een thermische pluim rond een persoon een opwaartse snelheid heeft van circa 0,25 m/s. Dit impliceert dat een neerwaartse snelheid van 0,30 m/s voldoende zou moeten zijn om een stabiele neerwaarts gerichte luchtstroming te realiseren. Voor cleanrooms worden doorgaans waarden gehanteerd tussen 0,20 en 0,45 m/s, afhankelijk van het specifieke proces dat daarin plaatsvindt. Onderzoek van Yang [6] naar deeltjesoverdracht in isolatiekamers met downflow beveelt een snelheid aan tussen 0,20 en 0,25 m/s, afhankelijk van de positie van de manikin.

Daarnaast is uiteraard de vraag wat een veilige afstand is tussen de liftpassagiers in relatie tot de neerwaartse snelheid. Om hier een eerste gevoel voor te krijgen is met een eenvoudig pluimmodel berekend hoe de geëmitteerde luchtstroming uit de mond/neus bij verschillende condities (rustig uitademen 1,0 m/s, luide spraak 5,0 m/s en schreeuwen of hoesten 15,0 m/s) wordt afgebogen in relatie tot de neerwaarts gerichte luchtstroming (0,05 m/s, 0,2 m/s en 0,3 m/s). De rekenresultaten worden grafisch weergegeven in figuur 2.

Op basis van deze indicatieve berekeningen is vastgesteld dat een veilige onderlinge afstand kan worden bereikt van circa 0,5 m tussen personen voor een situatie met luide spraak (5,0 m/s) bij een downflow luchtsnelheid van circa 0,3 m/s. Op basis van deze eerste dimensionering is dit als vertrekpunt voor het ontwerp gehanteerd. Overigens wordt opgemerkt dat door het dragen van mondkapjes door de liftpassagiers (de exhalatiesnelheid vermindert hierdoor sterk tot beneden de 1,0 m/s) een extra veiligheid wordt verkregen.

Ontwerp

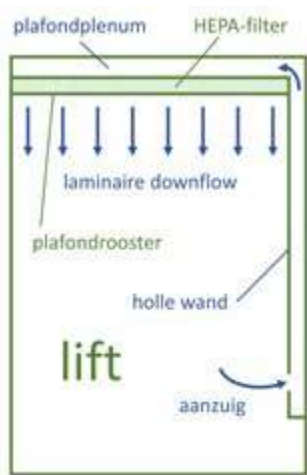
De oplossing moet worden ingebouwd in bestaande liftcabines. De beschikbare ruimte is daarbij gelimiteerd. Zo is de hoogte veelal beperkt en is ook in



Figuur 2: Berekende valcurven voor verschillende combinaties van exhalatiesnelheid en downflowsnelheid.

de lengte en breedte van de liftcabine vaak niet veel ruimte te verliezen. Daarbij komt dat liftinstallaties onderworpen zijn aan de voorschriften volgens de NEN-EN 81-20 en de NEN-EN 81-50, die voornamelijk geschreven zijn uit het oogpunt van het veilig gebruik en onderhoud van liftinstallaties. Liftinstallaties worden daarbij periodiek gekeurd en zijn daarvoor aan certificering gebonden voor een veilig

gebruik. Bij voorkeur dient er dus een oplossing gerealiseerd te worden die geen uitgebreide herkeuring of hercertificering met zich meebrengt. Dit betekent dat aan de constructieve elementen en veiligheidscomponenten geen wijzigingen mogen worden aangebracht en dat een nieuw te implementeren systeem alleen een toevoeging en wijziging mag zijn ten aanzien van het interieur van de cabine, waarbij ook de gewichtstoename beperkt is. Daarnaast bevindt het toetsentableau voor de bediening zich doorgaans in de liftcabine en dient dit ongemoeid gelaten te worden. De conclusie was daarom dat de oplossing één wandvlak mocht bedekken en de plafondhoogte zo weinig mogelijk mag reduceren.



Figuur 3: Schematische weergave liftkooi met het Eleminair systeem.

Het principe van het systeem is weergegeven in figuur 3. Om een uniforme verdeling van de neerwaartse luchtstroming in de liftcabine tot stand te brengen, dient de lucht gelijkmatig verdeeld en met een gelijke richtingscomponent vanuit het plafond de ruimte in te worden gebracht. De daartoe benodigde lucht wordt door middel van centrifugaalventilatoren ter plaatse van één van de wanden uit de liftkooi zelf onttrokken. Dit gebeurt op een hoogte van circa 0,5 m boven de vloer, waarna de circulatielucht via het wandkanaal naar het plafondplenum stroomt. Het toevoerrooster in het plafond bestaat uit een metalen geperforeerde plaat met aansluitend aan

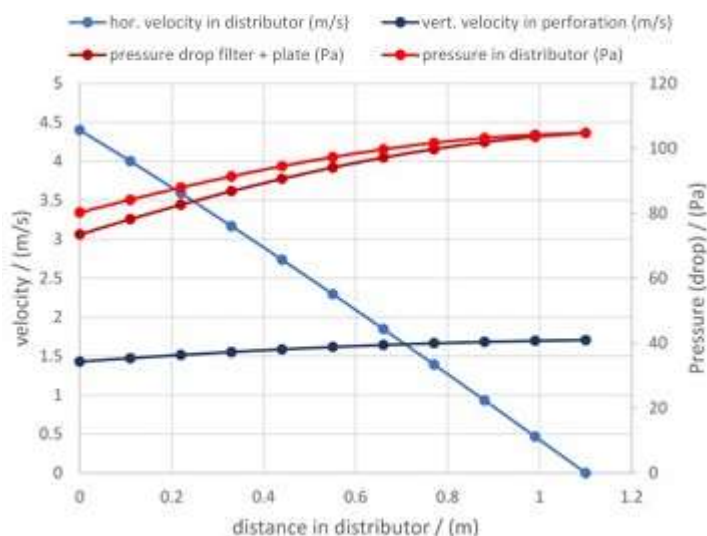
Figuur 4: Berekening van de drukverdeling, horizontale

luchtsnelheid in het plafondplenum, en verticale uitstroomsnelheid.

de bovenzijde een vlak HEPA-filter. Filterklasse en -dikte worden afgestemd op de eisen en mogelijkheden. Voor de prototype liftkooi waaraan metingen zijn verricht is gekozen voor een E12 filter (afvangst van 99,5%).

Als gevolg van hoogterestricties in de cabine, dient de plenumhoogte zo gering mogelijk te zijn. Whitfield [7] beveelt hiervoor een plenumverhouding van 4:1 (breedte t.o.v. hoogte) aan wanneer de lucht wordt ingebracht vanaf één zijde. Bij een liftcabinebreedte van 1100 mm, betekent dit een plenumhoogte van 275 mm. Hierbij komt dan nog de dikte van het filter, beplating en omranding. Duidelijk mag zijn dat deze verhoudingen niet haalbaar zijn in een liftcabine.

Door Wang [8] is de theoretische achtergrond van luchtstromingen in een verdeler nader uitgewerkt en onderbouwd. Op basis van deze theorie is door ons een rekenmodel vervaardigd waarmee de luchtstroming en drukverdeling in het plenum nauwkeurig kan worden berekend. Dit rekenmodel is vervolgens gevalideerd aan de hand van metingen aan een mockup en bleek daarmee goed in overeenstemming. Met deze tool kan de verdeling van de uittredesnelheid van de lucht over het plafondoppervlak worden berekend. Figuur 4 laat bijvoorbeeld het resultaat zien voor een plenumhoogte van 100 mm, perforatiegraad van 25% van de plafondplaat en een gemiddelde



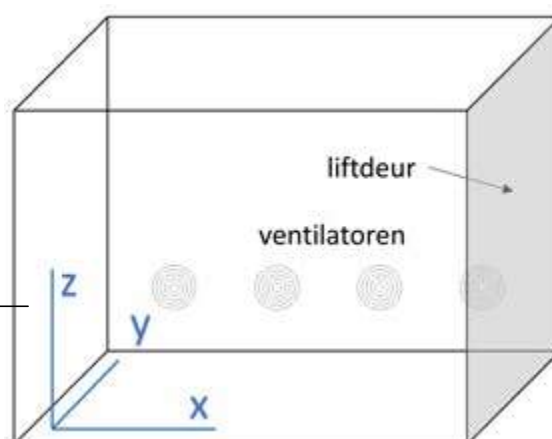
verticale luchtsnelheid van 1,5 m/s in de gaatjes van de geperforeerde plafondplaat, wat zich vertaalt in een downflowsnelheid over het hele plafond van 0,40 m/s. We zien dat aan de toestroomzijde van het plenum de verticale neerwaartse luchtsnelheid iets lager ligt, en aan het uiteinde iets hoger. Deze verdeling is echter naar verwachting voldoende uniform voor het beoogde doel.

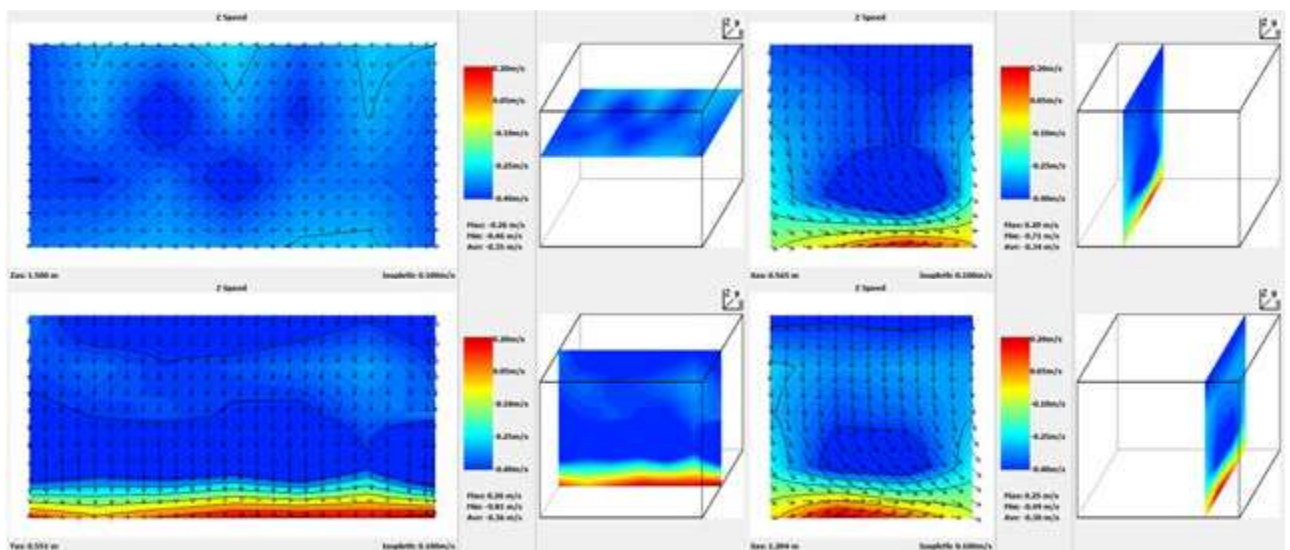
Metingen aan de luchtsnelheid

Met behulp van de akoestische meettechniek van Innovation Handling, zie figuur 5, is het stromingsveld in de lift ruimtelijk in kaart gebracht. Voor de presentatie van de meetresultaten is een cartesisch xyz-coördinatenstelsel gedefinieerd als weergegeven in Figuur 6. De liftdeur bevindt zich rechts in de figuur. Meetresultaten voor de verticale luchtsnelheid zijn weergegeven in het XY-vlak op 1,5 m hoogte, in het XZ-vlak in het midden van de lift ($y = 0,55$ m) en in het YZ-vlak op twee posities ($x = 0,6$ m en $x = 1,2$ m). Met de liftdeur gesloten, zie figuur 7, laten deze metingen een uniform en

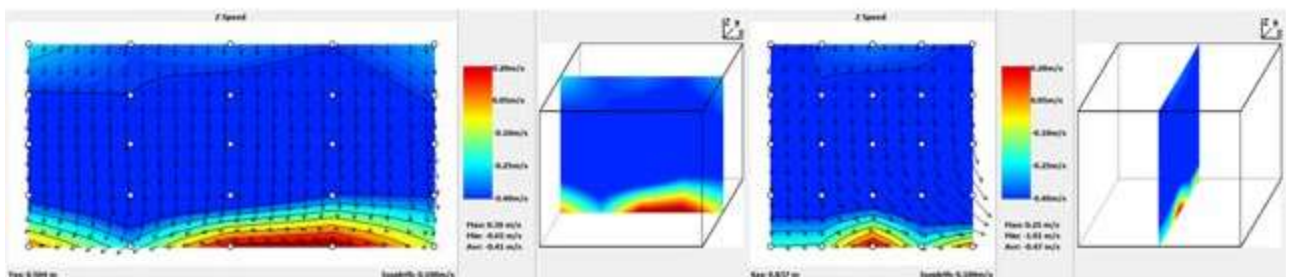
**Figuur 5:** Liftkooi met meetopstelling voor luchtsnelheidsmetingen.

Rechts in beeld zijn vier centrifugaal aanzuigventilatoren in de holle wand.

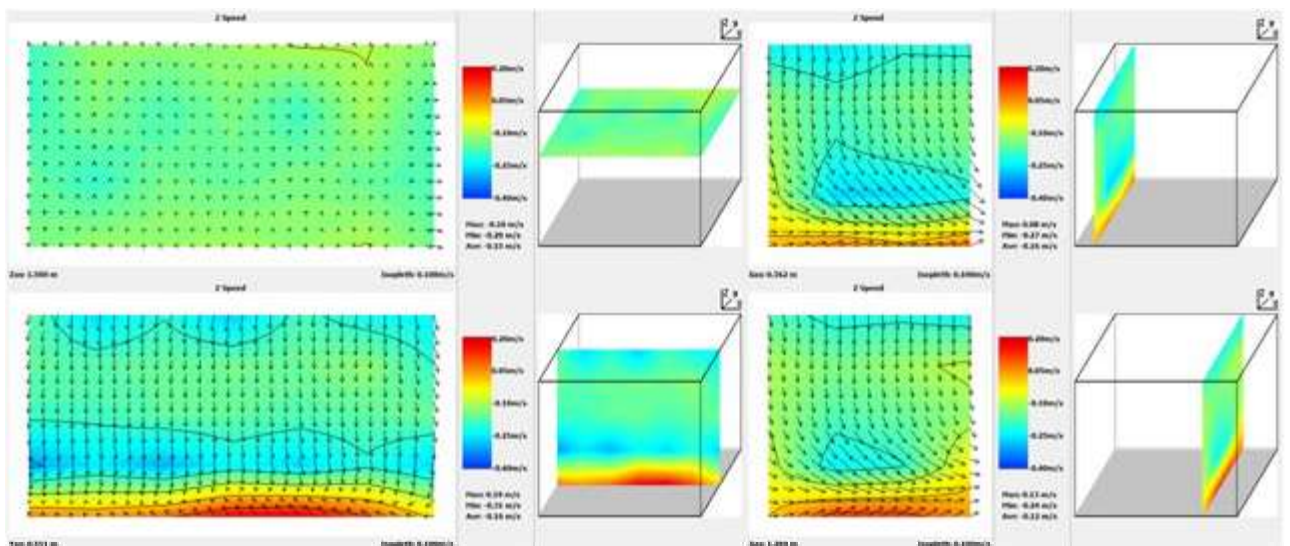
Figuur 6: Schematische weergave liftkooi en opgelegd coördinatenstelsel (oorsprong ligt feitelijk in de hoek).



Figuur 7: Gemeten verticale luchtsnelheid in de lift bij gesloten deur.



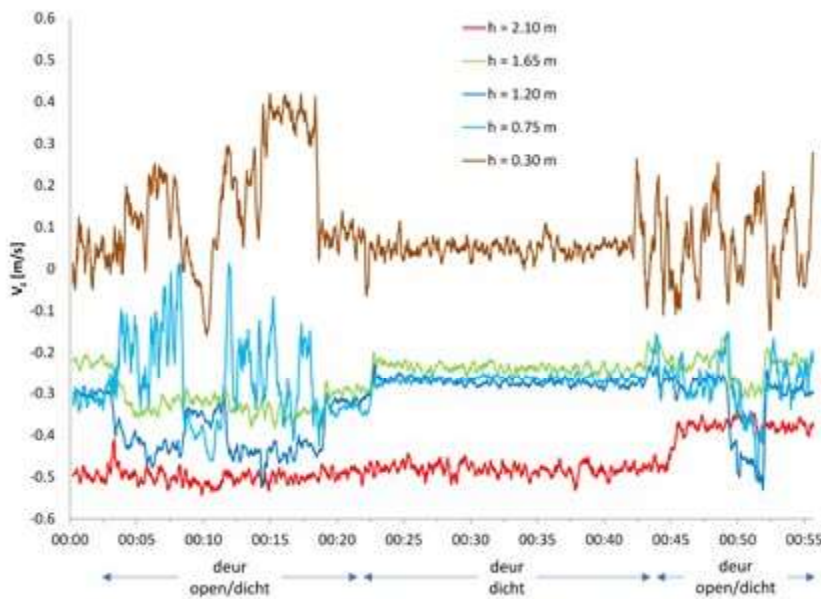
Figuur 8: Gemeten verticale luchtsnelheid in de lift bij bezetting met 4 personen.



Figuur 9: Gemeten verticale luchtsnelheid in de lift bij geopende deur.

neerwaarts gericht snelheidsveld zien vanaf circa 0,6 m boven de vloer. De verticale luchtsnelheid ligt tussen circa 0,25 m/s en 0,40 m/s. Als de lift wordt bezet met in elk kwadrant een persoon, is de luchtsnelheid hoger als gevolg van het kleinere doorstroomoppervlak, zie figuur 8. Met een open liftdeur is de luchtsnelheid nog steeds neerwaarts gericht maar door uitwisseling

via de deuropening, liggen de waarden duidelijk lager dan bij een gesloten deur, zie figuur 9. Ten slotte is een duurmeting verricht met de sensoren op een vaste hoogtepositie in het midden van de lift. De meting is opgedeeld in drie perioden: 1) activiteit met ingaande/uitgaande mensen en de liftdeur regelmatig open/dicht, 2) liftdeur gesloten met



Figuur 10: Gemeten verticale luchtsnelheid in de lift als functie van de tijd bij verschillende activiteiten.

twee personen binnen, en 3) activiteit als in de eerste periode met gemiddeld vier personen in de lift. De resultaten in figuur 10 laten de verticale luchtsnelheid als functie van de tijd zien op verschillende hoogte.

Uit deze metingen volgt dat de luchtsnelheid en de richting van de stroming op een hoogte > 0,7 m boven de vloer in alle gevallen naar beneden gericht en een snelheid heeft van minimaal 0,25 m/s. Met de gerealiseerde oplossing wordt schone lucht voor de liftpassagiers dus "gegarandeerd". Dit wordt daarnaast bevestigd aan de hand van de luchtstromingen door middel van rookproeven, zie figuur 11.

Metingen aan aerosolen

Er is tevens een aantal metingen uitgevoerd met kunstmatig gegenereerde aerosolen om te valideren dat het systeem in staat is om door personen uitgestoten aerosolen te verwijderen en zo het risico op besmetting via lucht te verlagen. De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Metingen persistentie aerosolen.
- Metingen 'valcurve' aerosolen.

Beide typen metingen worden hieronder toegelicht.

Metingen persistentie aerosolen

De metingen aan de persistentie van aerosolen geven antwoord op de vraag hoeveel tijd er nodig is om door personen uitgestoten aerosolen uit de lucht te filteren. Hiertoe wordt bij aanvang van een meting een grote hoeveelheid aerosolen in de liftcabine gecreëerd.

Vervolgens wordt gemeten hoelang het duurt totdat deze aerosolen zijn afgevangen door het HEPA filter. De metingen zijn uitgevoerd door prof. Daniel Bonn van het Institute of Physics van de Universiteit van Amsterdam (UvA).

De aerosolen worden gegenereerd met behulp van een verstuiver/sprayflacon gevuld met een ethanol-glycerol-mengsel en voorzien van een speciale sproei nozzle, zodat aerosolen ontstaan die bij praten en hoesten vrijkomen. Bij aanvang van een meting wordt een hoeveelheid aerosolen gegenereerd, welke overeenkomt met meerdere pratende en hoestende mensen.

De aerosolen worden gemeten/geteld op twee manieren:

- **Laserdiffractietechniek:** met een lasersheet (laserstraal in frame) worden de aerosolen getrackt. Aerosolen die door het frame vallen, lichten op ten gevolge van het laserlicht. Het aantal oplichtende pixels is een maat voor het



Figuur 11: Luchtstromingsmetingen door middel van rook.

aantal en het volume van de aerosolen. Met behulp van een CCD-camera en beeldanalysesoftware kunnen er afbeeldingen gemaakt worden.

- **Draagbare deeltjesteller (particle counter):** Het apparaat zuigt middels een probe een kleine hoeveelheid lucht uit de cabine. Het aantal aerosolen in deze lucht wordt geteld. Tevens wordt de aerosolgrootte bepaald, waarbij aerosolen ingedeeld worden in 6 categorieën (kanalen): 0,3 μm , 0,5 μm , 1,0 μm , 2,0 μm , 5,0 μm en 10,0 μm . Figuur 12 geeft een foto van de meetopstelling.

Figuur 13 geeft een visualisatie van de belangrijkste resultaten. De bovenste grafiek en foto tonen de afname van aerosolen in de tijd van de testlift zonder Eleminair. De onderste grafiek en foto tonen de afname van aerosolen in de tijd van de testlift met Eleminair 'aan'.

In de grafieken zijn de volgende periodes aangegeven:

- Rood: meten achtergrondconcentratie.
- Groen: genereren aerosolen met verstuiver/sprayflacon.
- Oranje: meten afname aerosolen. Bij testlift zonder Eleminair neemt het aantal aerosolen af ten gevolge van depositie, verdamping, etc. Bij de testlift met Eleminair is de afname voornamelijk

het gevolg van het afvangen van aerosolen door het HEPA filter.

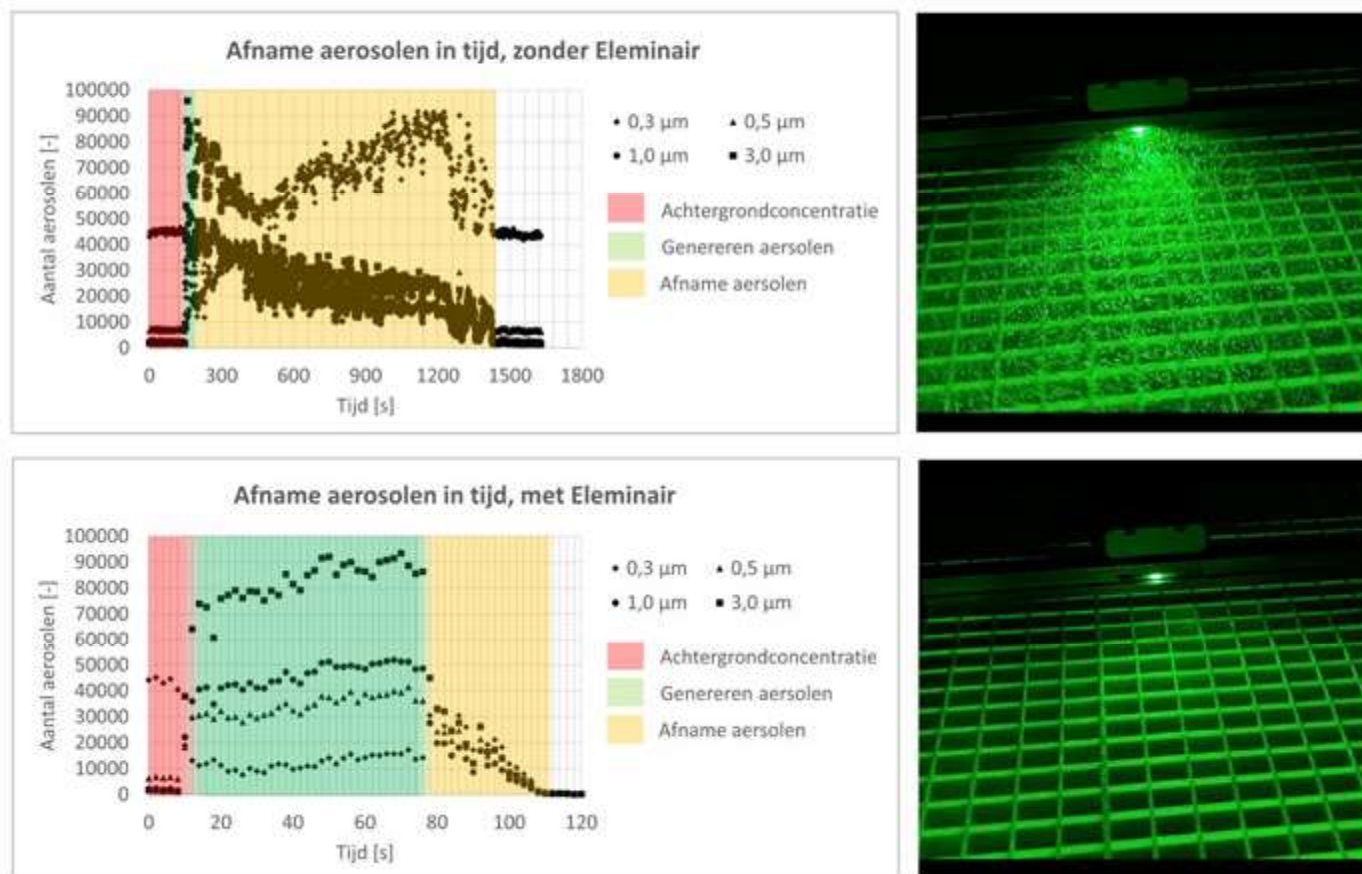
Aan de hand van de metingen is door de UvA een karakteristieke tijd voor de afname van aerosolen bepaald. Deze bedraagt 333 seconden bij de testlift zonder Eleminair en 11 seconden bij de testlift met Eleminair [9].

Metingen valcurve aerosolen

De metingen aan de valcurve aerosolen bieden inzicht in de valcurve en de horizontale afstand die door personen uitgestoten aerosolen kunnen afleggen. Meer specifiek geven de metingen antwoord op de vraag in welke mate het systeem in staat is om uitgestoten aerosolen direct naar beneden af te voeren, met de downflow ventilatiestroom, zodat deze niet in ademzone van andere personen terecht kunnen komen. De metingen bieden inzicht in de afstand die er tussen personen in de lift moet zijn om een eventuele besmetting via lucht tegen te gaan. Hiertoe is een aerosolbron geplaatst in de lift en is op verschillende afstanden van de bron gemeten hoeveel aerosolen er nog aanwezig zijn. Deze hoeveelheden zijn vervolgens vergeleken met de hoeveelheid bij de bron.



Figuur 12: Links: meetopstelling metingen persistentie aerosolen door UvA. Rechts: meetopstelling metingen thermisch comfort met B&K 1213.



Figuur 13: Visualisatie resultaten metingen persistentie aerosolen door UvA. Boven links: afname aerosolen in tijd, testlift zonder Eleminair. Boven rechts: foto lasersheet met aerosolen zichtbaar. Onder links: afname aerosolen in tijd, testlift met Eleminair. Onder rechts: foto lasersheet met geen aerosolen zichtbaar.

De aerosolen worden gegenereerd met behulp van een aerosol generator. Hiertoe vernevelt de generator een NaCl 0,9% oplossing. De generator produceert aerosolen kleiner dan 1,0 µm.

De generator is ingesteld op zijn maximale stand, staat continu aan en voert de aerosolen aan de lift toe middels een slang, waarvan de uitstroomopening zich bevindt op hoogte $h = 1,5$ m. De hoeveelheid gegenereerde aerosolen komt overeen met meerdere pratende en hoestende mensen.

De aerosolen worden gemeten/geteld met behulp van een draagbare deeltjesteller en gesorteerd in 6 kanalen zijnde 0,3 µm, 0,5 µm, 1,0 µm, 2,0 µm, 5,0 µm en 10,0 µm.

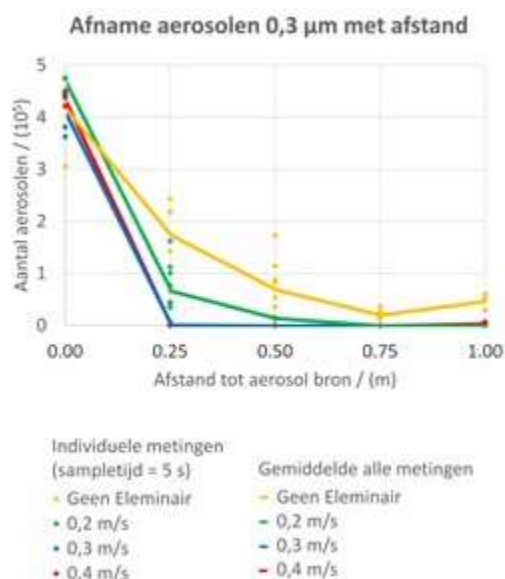
Figuur 14 geeft een visualisatie van de belangrijkste resultaten. De grafiek toont metingen van het aantal aerosolen van 0,3 µm bij de bron en op 25, 50, 75 en 100 cm vanaf de bron. Metingen zijn uitgevoerd op hoogte $h = 1,5$ m (ademzone). Er zijn metingen uitgevoerd bij verschillende downflow ventilatie luchtsnelheid: 0,2 m/s, 0,3 m/s en 0,4 m/s. In de grafiek zijn alle individuele metingen opgenomen (scatter). Daarnaast zijn metingen met dezelfde

downflow ventilatie luchtsnelheid, waarna het gemiddelde is opgenomen (lijn).

Uit de grafiek volgt dat bij een downflow ventilatie luchtsnelheid van 0,3 m/s of hoger de hoeveelheid aerosolen daalt van ca. 500000 aerosolen bij de bron tot (nagenoeg) nul bij 25 cm. Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij een afstand tussen personen van meer dan 25 cm er een sterk lagere kans is op besmetting via de lucht. Dit betekent dat er meer personen in de lift kunnen dan dat op basis van de afstandsregel '1,5 meter afstand houden' mogelijk zou zijn.

Metingen aan comfort

De impact van de downflow ventilatie (snelheid) op het ervaren comfort in de lift is onderzocht middels comfortmetingen. Hiertoe werden de parameters die comfort definiëren zoals luchttemperatuur, luchtsnelheid, etc. gemeten in de testlift met behulp van de Brüel & Kjaer 1213 Indoor Climate Analyzer (klimaatboom). Uit de metingen volgt dat de Draught Rate (DR) conform NEN EN ISO 7730 13% bedraagt bij een downflow luchtsnelheid van 0,2 m/s,



Figuur 14: Links: meetopstelling metingen aerosolen. Rechts: resultaten metingen valcurve.

19% bedraagt bij 0,3 m/s en 23% bedraagt bij 0,4 m/s. Ter vergelijking: bij klimaatklasse B (standaard marktconform kantoor) hoort een DR < 20%.

Conclusie en vervolg

Op basis van de meetresultaten die zijn uitgevoerd door de verschillende partijen wordt geconcludeerd dat met het gerealiseerde systeem voldaan wordt aan de gestelde eisen en op veilige wijze weer gebruik kan worden gemaakt van de liftcabine als een onderlinge afstand van circa 0,5 m tussen de liftpassagiers in acht wordt genomen.

Door ABT en Interland Techniek is in de afgelopen maanden hard gewerkt om het systeem ontwikkeld te krijgen. Inmiddels heeft het team het zevende en definitieve prototype ontwikkeld dat de basis is voor de fabrieksmatige productie. Doelstelling van de ontwikkeling was, naast onderzoek van de haalbaarheid van de functionele eisen, ook te kijken naar de maakbaarheid en de inpasbaarheid van het systeem in bestaande liften. Naast de eisen ten aanzien van de luchtstromingen en comfort komen er ook eisen ten aanzien van geluid, inpasbaarheid, maakbaarheid en montage en vanuit onderhoud en beheer bij kijken. Er is

daarom gekozen voor een modulaire opzet van het systeem waarbij de modules een diepte hebben van circa 0,5 m en in de lengterichting van de liftcabine naast elkaar kunnen worden ingebouwd. De modules zijn schaalbaar en snel aanpasbaar op andere liftafmetingen als de testopstelling. In de modules zit ook de verlichting geïntegreerd. De modules zijn uitgerust met sensoren die de flow bewaken en de vervuiling van de filters controleren. Een van de modules is voorzien van een centraal paneel waar de werking van het systeem wordt getoond en waar een alarmmelding wordt gegeven, mocht het systeem in storing gaan. Daarnaast kan er een centrale melding door worden gegeven naar het GBS en kan de installatie vanaf afstand worden bewaakt en beheerd, bijvoorbeeld om tijdig filtervervanging te signaleren. Het grovere voorfilter kan eenvoudig door de gebruiker zelf worden vervangen. De HEPA-filters zullen door een professionele partij periodiek worden gewisseld. Op het systeem is inmiddels een patentaanvraag gedaan.

Momenteel wordt daarnaast gewerkt aan het opstellen van een beoordelingsrichtlijn (BRL), zodat het systeem op gewaarborgde wijze zal worden gefabriceerd, gemonteerd en gecontroleerd bij oplevering. De bedoeling is het systeem te gaan leveren onder een KOMO-innovatiecertificaat, zodat afnemers zeker zijn van de goede werking. De eerste installatie zal naar verwachting eind maart worden gemonteerd in het gebouw The Edge van Deloitte in Amsterdam.

Referenties

- W.F. Wells (1934). On air-borne infection. American Journal of Epidemiology 20(3).
- W.H. van der Spoel et al (2020). Een 1,5 meter-samenleving: kan dit naar 1 meter-samenleving of moet het juist meer zijn? TVVL Magazine februari 2021.
- J. W. Tang et al (2013). Airflow Dynamics of Human Jets: Sneezing and Breathing - Potential Sources of Infectious Aerosols. PLOS ONE, April 2013.
- C. van Rijn et al (2020). Reducing aerosol transmission of SARS-CoV-2 in hospital Elevators, Indoor Air 30(6).
- Peter V. Nielsen (2009). Control of airborne infectious diseases in ventilated spaces, Journal of The Royal Society Interface, Vol. 6.
- C. Yang et al (2015). The ventilation needed to control thermal plume and particle dispersion from manikins in a unidirectional ventilated protective isolation room. Building Simulation, 8: 551-565.
- W.J. Whitfield et al (1964). Basic design requirements for laminar air flow dust control devices. Sandia Corporation, SC-R-64-145A.
- J. Wang (2011). Theory of flow distribution in manifolds. Chemical Engineering Journal, 168(3).
- D. Bonn (2020). Rapport van de metingen in een liftcabine (Interland Techniek/ABT, Waalwijk).