

Auteur

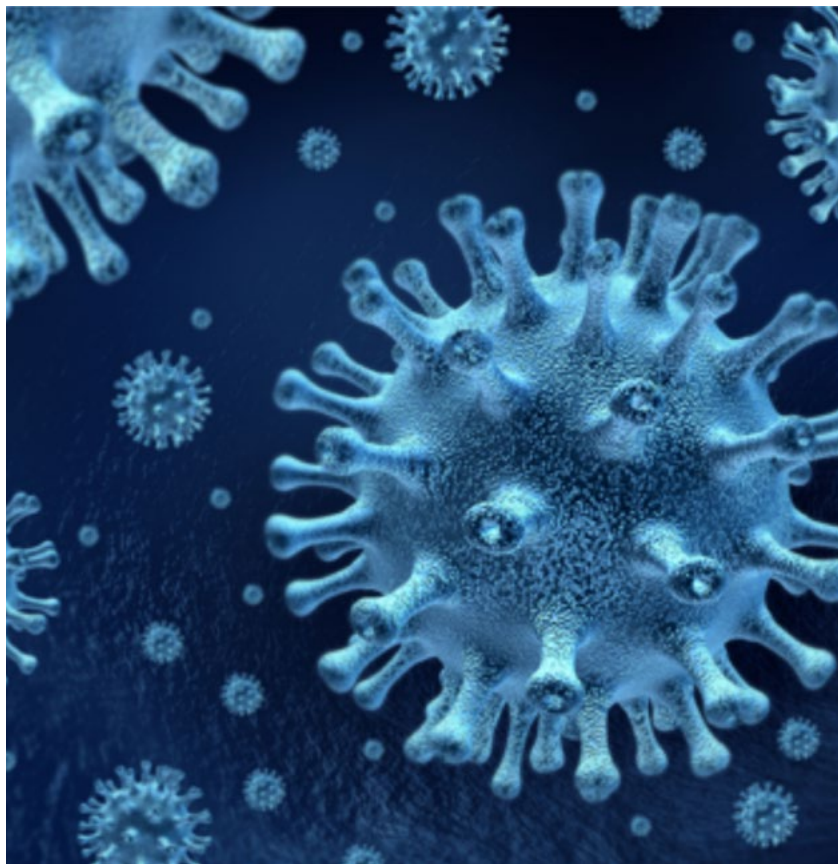
Dr. ir. F. (Francesco) Franchimon, eigenaar Franchimon ICM, (*)

COVID-19 in relatie tot gebouwen

De wereld wordt geconfronteerd met een pandemie met immense implicaties. Nationale en internationale volksgezondheidsautoriteiten doen er alles aan om de impact op de samenleving te beperken. Belangrijk voor elke uitbraak zijn de transmissieroutes van infectieuze agentia. Momenteel wordt aangenomen dat de overdracht via druppels en contacten de twee dominerende transmissieroute zijn. Een derde transmissieroute die aandacht krijgt, is de fecaal-orale route.

Vanuit een binnenmilieuperspectief hebben we de transmissieroute via de lucht vaak bestudeerd voor verschillende infectieuze agentia, zoals mazelen, pokken, griep en ook SARS. Dit betreft zowel gebouwen als cruiseschepen en vliegtuigen. Deze bijdrage behandelt de gebouw gerelateerde voorzorgsmaatregelen in commercieel en maatschappelijk vastgoed. Ziekenhuizen en zorginstellingen vallen buiten de scope van deze bijdrage. Het betreft maatregelen voor ventilatie- en luchtbehandelingssystemen en sanitaire installaties, maar ook het omgaan met spuien.

Omdat men de infectieuze dosis nog niet kent voor SARS-CoV-2 - zoals het corona-virus officieel heet dat leidt tot de ziekte COVID-19 - is het moeilijk om bij het treffen van voorzorgsmaatregelen het belang van de overdracht via de lucht te bepalen. Een druppel bevat een hoge dosis corona-virusdeeltjes. Druppels kunnen op een oppervlak terecht komen en minimaal urenlang besmettelijk blijven. Ook als de besmettingsdosis via de lucht klein en kortdurend is, zal enige transmissie optreden. Omdat voor de beheersing van de huidige pandemie alle inspanningen nodig zijn, wordt het ALARA-Principe (As Low As Reasonable Achievable) gehanteerd. Om die reden wordt de besmettingsroute via de lucht in gebouwen bij de voorzorgsmaatregelen betrokken.



Overdracht van SARS-CoV-2

De voornaamste vormen hoe een virus wordt overgedragen zijn via:

- druppels (hoesten of niezen van een besmet persoon);
- direct en indirect contact (aanraken van mensen of besmette oppervlakten);
- fecaal-oraal (doorspoelen van ontlasting bij een toilet);
- lucht (verdamping van druppels waardoor lichte druppelkernen ontstaan).

Vooralsnog wordt bij de COVID-19 pandemie overdracht via druppels (i) en contact (ii) als voornaamste overdrachtsvormen erkend. Indirect heeft de Wereldgezondheidsorganisatie onderkend dat fecaal-oraal (iii) ook een overdrachtsvorm kan zijn, door de voorzorgsmaatregel te benoemen als 'spoelen van toilet met gesloten deksel'. Conform het ALARA-principe wordt de aandacht ook gevestigd op overdracht via de lucht (iv), ondanks dat hiervoor nog beperkte evidentie is. Figuur 1 laat de verschillende overdrachtsvormen zien.

Toelichting overdrachtsvormen bij SARS-CoV-2

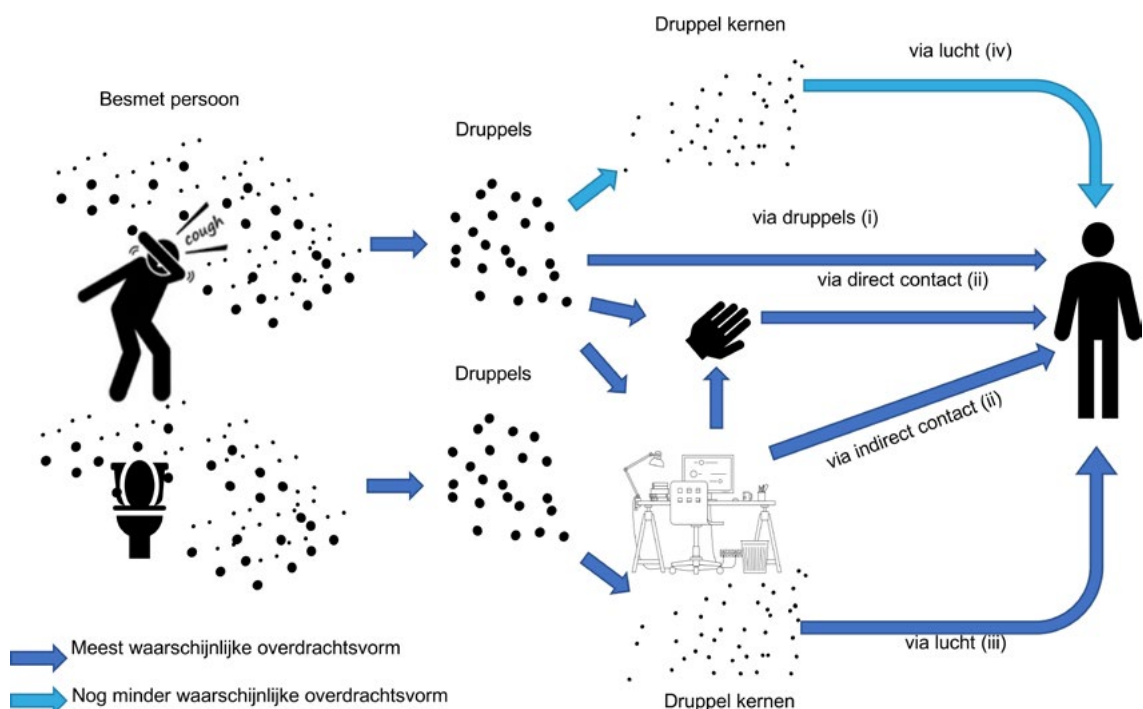
De erkende overdrachtsvormen (mens-op-mens) van SARS-CoV-2 zijn via druppels in de lucht veroorzaakt door spraak, hoesten en niezen en via direct contact (Yang et al, 2020). Er zijn aanwijzingen dat een derde transmissieroute bestaat - namelijk fecaal-oraal (Zhang et al, 2020; WHO, 2020a) - welke inmiddels in een Technical Briefing d.d. 2 maart 2020 door Wereldgezondheidsorganisatie is onderkend (WHO, 2020b). In vier van de 62 fecale monsters (6,5%) bij 1.099 opgenomen patiënten in Chinese ziekenhuizen tot en met 31 januari 2020 is SARS-CoV-2 aangetroffen (Guan W-J et al, 2020).

In Hong Kong zijn bewoners van het appartementencomplex Hong Mei House besmet geraakt door een bewoner van een ander appartement waarmee geen contact is geweest (CNN, 2020). Autoriteiten hebben daar vastgesteld dat het rioleringsysteem door een bewoner onjuist is aangepast, waardoor de beluchting van het rioleringsysteem in open verbinding heeft gestaan met de andere appartementen. Er bestaat daarmee een kans dat de verspreiding van het virus via de defecte riolering heeft plaatsgevonden. Hiernaar wordt verder onderzoek uitgevoerd. Tijdens de SARS-uitbraak in 2002-2003 was er een soortgelijke situatie in Hong Kong, waarbij in het appartementencomplex Amoy Gardens een niet goed

functionerende riolering tot 321 besmettingen heeft geleid (Hung, 2003). Beide incidenten geven een inzicht dat dit een mogelijke transmissieroute kan zijn voor SARS-CoV-2.

Er zijn veel studies verricht naar het verspreiden van virussen via de lucht (Luongo et al, 2016; Li et al, 2007) in gebouwen, ook specifiek naar de SARS-uitbraak 2002-2003 (Li et al, 2005a; Li et al, 2005b). Tevens zijn er veel studies verricht naar verspreiding van virussen in cruiseschepen (Browne et al, 2016) en vliegtuigen (Mangili, 2005; Leitmeyer, 2016). Een recentelijke studie heeft laten zien dat SARS-CoV-2 en SARS-CoV-1 met betrekking tot de levensvatbaarheid in de lucht en op oppervlakte in dezelfde orde van grootte ligt bij een relatieve vochtigheid van 65% en 21-23°C (Doremalen van et al, 2020). In al deze studies lijkt het verspreiden van virussen via de lucht een belangrijke overdrachtsvorm te zijn geweest.

Een relevant criterium voor de overdraagbaarheid via de lucht is het aantal virusdeeltjes dat nodig is voordat iemand geïnfecteerd wordt. In druppels is het aantal virusdeeltjes relatief hoog ten opzichte



Figuur 1: Verschillende vormen van overdracht van het virus.

van de virusdeeltjes in druppelkernen die in de lucht zweven of landen op oppervlakten. Druppelkernen kunnen uit elkaar vallen om vervolgens uren in de lucht te (blijven) zweven. Voor SARS-CoV-2 is de dosis waarbij mensen ziek worden nog niet vastgesteld. Hierdoor zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat de overdracht via de lucht plaatsvindt, maar kan het ook niet volledig worden uitgesloten.

Focus op remmen van verspreiding van het SARS-CoV-2

Het algemeen doel van de huidige voorzorgsmaatregelen in de werkomgeving is om de mens-op-mens overdracht te vertragen. Dan treedt de piek van het verzuim later op en is de hoogte van de verzuimpiek afgevlakt, doordat het verzuim over een langere periode is uitgesmeerd (figuur 2).

In figuur 2 is duidelijk te zien dat vertragsmaatregelen alleen zinvol zijn kort nadat de eerste ziektegevallen zijn geconstateerd (het nog langzaam oplopende deel van de curve), wanneer de pandemie nog niet op of over het hoogtepunt is. Daarna lost het personeelsprobleem zich langzaam vanzelf op, doordat de eerste patiënten zich beter melden en waarschijnlijk daarna immuun zijn voor SARS-CoV-2.

pandemie. Extra maatregelen die om grootschalige aanpassingen vragen zoals bijvoorbeeld UV-C verlichting, zijn hierin niet meegenomen.

Deksel dicht tijdens doortrekken

In Nederland functioneren de rioleringsystemen over het algemeen goed. Echter, bij het doortrekken met open toiletdeksel ontstaan er aerosolen die lang in de lucht blijven zweven en virusdeeltjes bevatten. (Johnson et al, 2013; Knowton et al, 2018; Barker & Jones, 2005). Het doortrekken met gesloten deksel daarentegen zorgt voor een tienvoudige reductie (Best et al, 2012). De reductie hangt vooral af van de kiergrootte tussen de toiletbril en de toiletpot en tussen de deksel en toiletbril. In de technische briefing van de Wereldgezondheidsorganisatie d.d. 2 maart 2020 wordt het spoelen van het toilet met een gesloten deksel dan ook geadviseerd (WHO, 2020b).

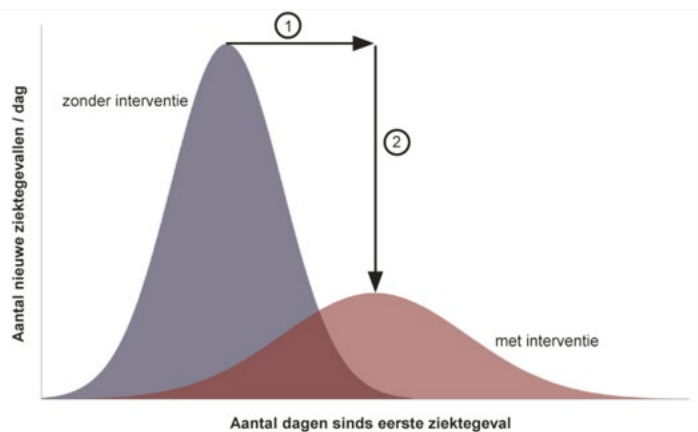
Dit pleit voor een extra beschermende maatregel in alle protocollen om naast onder andere handen wassen en afstand houden, het doortrekken van het toilet altijd met een gesloten deksel te doen. Bij voorkeur zonder kieren door een deksel die over de toiletbril en bovenrand van de toiletpot heen valt of in ieder geval met zo'n klein mogelijke kiergrootte.

Controle droge vloerputten, watersloten en sifons

Uitgedroogde droge vloerputten, watersloten en sifons leiden tot een open verbinding met het rioleringsstelsel. Tijdens de SARS-uitbraak (2002-2003) is geconcludeerd dat een aantal sifons waren uitgedroogd en daarmee in een open verbinding stonden met het besmette rioleringsstelsel. Dit bleek een belangrijke transmissieroute te zijn (Hung, 2003). Vooral uitgedroogde vloerputten bleken daar veel voor te komen omdat bewoners meer dweilen dan schrobben. Het nagaan van alle vloerputten, watersloten en sifons in gebouwen - vooral op plaatsen waar weinig activiteit plaatsvindt - is daarom zinvol.

Meer ventileren

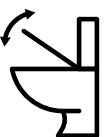
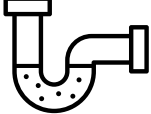


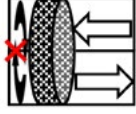
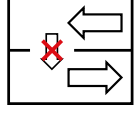
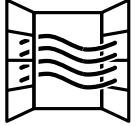
Over het algemeen zal meer ventilatie het aantal infecties verminderen maar hangt dit af van de dosis die nodig is om iemand te infecteren met de infectieuze agentia. Het doel van ventileren is luchtreiniging door het verdunnen of verdringen van vervuiling (luchttoevoer) en het verwijderen van die vervuiling (luchtafvoer). Bij een hoger ventilatievoud (aantal malen dat er een hoeveelheid verse lucht wordt toegevoerd die gelijk is aan kubieke inhoud van de ruimte) kan meer vuile lucht



Figuur 2: Aantal zieke mensen in de tijd uitgezet met en zonder interventies.

Technische voorzorgsmaatregelen van gebouwen

Indien wij de verschillende overdrachtvormen als uitgangspunt nemen vanuit het ALARA-principe, zijn er verschillende technische voorzorgsmaatregelen die bij de COVID-19 pandemie genomen kunnen worden. Enkele zijn gericht op het gebruik van de installatietechnische voorzieningen door medewerkers; enkele maatregelen zijn gericht op de instellingen van installaties en een aantal is meer gericht op gebouwbeheer. Ze worden als proportioneel beschouwd ten tijde van een

						
Deksel dicht tijdens doortrekken	Controle droge vloerputten, watersloten en sifons	Meer ventileren	Geen bevochtiging	Uitzetten warmtewielen	Geen recirculatie	Spuiten
Gebruik	Gebouwbeheer	Instelling	Instelling	Instelling	Instelling	Gebouwbeheer

Figuur 3: Overzicht Voorzorgsmaatregelen

verwijderd worden. Er is brede consensus dat ventilatie en luchtstromingen in gebouwen de overdracht van infectieziekten reduceert. Er zijn echter onvoldoende gegevens om te specificeren en te kwantificeren wat de minimale vereisten zijn om verspreiding tegen te gaan (Li et al, 2007; Luongo 2016). Wel laten de verschillende studies een aantal casussen zien wat het effect van verschillende ventilatiesystemen en ventilatie-regimes zijn.

De aard van het ventilatiesysteem speelt een rol bij de effectiviteit van de luchtreiniging. Meestal hebben gebouwen mengventilatie (met of zonder warmteterugwinning), soms verdringingsventilatie. Ook als de frisse lucht binnen komt via ramen en roosters en mechanisch wordt afgezogen, is er sprake van mengventilatie. Het doorspoelen van ruimten met open ramen is een mogelijkheid, wanneer er geen personen in de ruimten aanwezig zijn.

Het 24/7 ventileren in de nominale of hoogste stand wordt aanbevolen om de zwevende deeltjes in de lucht te verwijderen alsook om losgelaten deeltjes van oppervlakken te verwijderen. Het controleren hoe de bedrijfstijden staan ingesteld en op welke stand het systeem staat is hier dan ook relevant. Indien er meerdere ventilatiestanden ingesteld kunnen worden, kan er 's nachts op een lagere stand geventileerd worden om 's ochtends weer op maximale stand te ventileren.

De 24/7 afzuigventilatie van toiletten wordt aanbevolen om de fecaal-orale transmissie te bestrijden. Het controleren hoe de bedrijfstijden staan ingesteld en op welke stand het systeem staat is ook hier relevant. Ramen in de toiletten moeten gesloten zijn om lucht uit toiletten af te zuigen door de afzuigventilatie. Zodoende wordt voorkomen dat andere ruimtes in het gebouw besmet raken door een verkeerde richting van de luchtstroom. Als er geen mechanische ventilatie is, dienen ramen (indien aanwezig) overdag wel te worden geopend.

Geen bevochtiging

Er zijn drie redenen om de relatieve vochtigheid te beheersen in gebouwen:

- (i) het kan voorkomen dat slijmvliezen uitdrogen onder lage luchtvochtigheden (Salah et al, 1988; Kudo et al, 2019);
- (ii) druppels zullen sneller verdampen bij het hoesten en niezen onder lagere relatieve vochtigheden (Morawska, 2006);
- (iii) de afname van de levensvatbaarheid van coronavirusdeeltjes in de lucht of op oppervlakken bij hogere relatieve vochtigheden, vindt pas plaats boven de 70%. Het verschil van inactivatie bij een relatieve vochtigheid van 30% en bij 50% is zeer beperkt en er bestaat geen lineair verband. De inactivatie tussen 30% relatieve vochtigheid en 50% ligt veel dichter bij elkaar dan tussen 50% en 70-80%. (Tang, 2009; Casanova et al, 2010; Memarzadeh, 2012; Doremalen van et al, 2013; Ijaz et al, 1985; Luo, 2020).

Ad (i) De slijmvliezen in keel- en neusholte zijn gevoelig voor een zeer lage relatieve vochtigheid van 10-20%, maar vanaf maart mag verwacht worden dat zonder bevochtiging de relatieve vochtigheid in het binnenmilieu hoger dan 30% zal zijn.

Ad (ii) Kleine druppels (<10 micron) verdampen snel onder elke relatieve vochtigheid, dus hiervoor is bevochtiging niet nodig, alleen grotere druppels (>100 micron) verdampen relatief sneller onder lagere relatieve vochtigheden.

Ad (iii) Het is bekend dat bij een lage relatieve vochtigheid van 50% de levensvatbaarheid van veel RNA-virussen (bijvoorbeeld influenza) beperkt is, maar dit geldt niet voor het coronavirus. Het coronavirus is levensvatbaar tot een veel hogere relatieve vochtigheid van 70-80%.

Geconcludeerd mag worden dat om al deze redenen het effect van bevochtigen voor lente, zomer en herfst nihil is. Het advies is dan ook om bevochtigingsinstallaties uit te zetten.

Uitzetten warmtewielen en geen recirculatie

Onbedoelde recirculatie komt voor bij toepassing van een warmtewiel om warmte uit de vuile afvoerlucht te halen en daarmee de koude invoerlucht te verwarmen, zoals bij gebalanceerde ventilatie. Lekkage die veroorzaakt wordt door het drukverschil tussen aanvoer en retourlucht, en lekkage die veroorzaakt wordt door de draaisnelheid van het warmtewiel, zorgen ervoor dat de recirculatie kan liggen tussen 25-50% van het ventilatie-debiet (afhankelijk van ventilatie-debiet over het warmtewiel en de rotatiesnelheid). Hoe hoger het ventilatie-debiet, hoe lager de lekkage. En hoe hoger de rotatiesnelheid van het warmtewiel, hoe hoger de lekkage (Han et al, 2005).

Het wordt daarom aanbevolen om de warmtewisselaars van het warmtewiel, indien aanwezig, tijdelijk uit te schakelen, omdat de virusdeeltjes kunnen lekken van de afvoerlucht naar de toevoerlucht. Tevens wordt het aanbevolen om de luchtdruk in de warmteterugwinningsecties te controleren en indien nodig aan te passen om een situatie te voorkomen waarin een hogere druk aan de afvoerszijde, lucht lekt naar de toevoerszijde, ook bij stilstaande warmtewielen.

Diverse soorten ventilatiesystemen werken met recirculatie, dat wil zeggen dat de frisse buitenlucht wordt gemengd met een deel van de vuile afgevoerde lucht voordat het in de ruimten wordt geblazen. Ondanks een filter dat de lucht moet zuiveren, is het afvang-effect voor virusdeeltjes beperkt. De grootte van een coronavirusdeeltje is 80-160 nm (Monto, 1974), een standaardluchtfILTER (FP7) heeft voor deze deeltjesgrootte zijn minste opvangrendement (Fisk et al, 2002).

Het wordt aanbevolen om recirculatie te vermijden, omdat er geen of standaardluchtfilters, in de meeste gevallen geen HEPA-filters, in deze systemen zitten die een laag afvangrendement hebben in het bereik van de grootte van virusdeeltjes. Daarom moeten recirculatiesecties worden gesloten vanuit het gebouwbeheersysteem of handmatig. Voor decentrale recirculatie bijvoorbeeld bij inductie-units, fancoil-units en lokale airco-installaties, waar geen frisse lucht wordt ingeblazen en vuile lucht wordt afgezogen, dient enige voorzichtigheid betracht te worden. Indien het geen functie van ventileren heeft en uitsluitend bedoeld is voor het conditioneren van de ruimte (warmte/koude), is het advies om vanuit het voorzichtigheidsbeginsel deze systemen uit te zetten. Bij mengventilatiesystemen wordt de lucht ook in beweging gebracht en gemengd maar wordt er ook frisse lucht toegevoerd en vervuilde lucht afgevoerd. Dit is niet het geval bij

inductie-units, fancoil-units en lokale airco-installaties (uitgaande dat deze geen HEPA-filters hebben) Daardoor lijkt het vooral een negatieve invloed te hebben op de verspreiding. Natuurlijk dit kan betekenen dat er thermisch discomfort zal ontstaan.

Spuien

In gebouwen waar geen mechanische toevoer- en afvoerventilatie is of waar de ventilatiesystemen ondermaats zijn, is ventileren met te openen ramen de enige manier om een voldoende luchtverversing te bereiken.

Voor gebouwen die zijn uitgerust met mechanische ventilatie- of luchtbehandelingssystemen (uitgaande van voldoende capaciteit), is spuien nog steeds een goede voorzorgsmaatregel omdat in slechts 5 minuten de ruimte grotendeels doorspoeld is.

Voor spuien wordt gebruik gemaakt van de windrichting en de winddruk op de gevel. Het kan alleen worden uitgevoerd in gebouwen met te openen ramen. Met het openzetten van die ramen en alle binnendeuren kan bij relatief oude gebouwen (voor 1970) 26-52 maal per uur de vuile lucht uit de ruimten verdrongen worden en voor meer nieuwere gebouwen (1970-1990) 12-23 maal per uur. Het verschil tussen de hier relatief oude gebouwen en nieuwere gebouwen zit in de hoogte van de ruimte en de grootte van het raam, de plafondhoogte was 4,2 meter bij de relatief oudere gebouwen en 3,0 meter bij de modernere gebouwen. De bandbreedte van de veelvouden aan ventilatie heeft vooral te maken met de windsnelheid op de gevel (Escombe et al, 2007).

Vanwege tocht en koude in het stookseizoen is dit alleen acceptabel bij afwezigheid van de gebruikers van de ruimte, bijvoorbeeld tijdens lunchtijd. Het is vooral effectief voor het verwijderen van de virusdeeltjes die in de lucht zweven en minder voor virusdeeltjes die gehecht zijn aan oppervlakten, ook als besmette personen niet meer aanwezig zijn maar de geproduceerde druppelkernen nog wel in de lucht aanwezig zijn.

Een doordacht schema is vereist om overslag van de vervuilde lucht naar andere verdiepingen te voorkomen. Daarom is het voor gebouwexploitanten en HVAC-professionals belangrijk om de invloed van de gebouw lay-out op de overslag te begrijpen.

Samenwerking Facilitaire dienst – Bedrijfsarts - Installatietechnische onderhoudsdienst

Gebouwweggebonden maatregelen inzetten als voorbereiding op een COVID-19 pandemie vraagt om samenwerking

tussen de facilitaire dienst, de bedrijfsarts en de installatietechnische onderhoudsdienst. Het ankerpunt hierbij is de risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) als een onderdeel van de Arbowet. Voor een adequate RI&E werken de preventiemedewerkers van het bedrijf samen met de bedrijfsarts aan een veilige en gezonde werkomgeving voor alle medewerkers.

Als het gaat over biologische agentia, wordt vaak gebruik gemaakt van een bio-arbeidshygiënische (BAH) strategie. Deze strategie is vooral van belang in geval van infectieziekten. Dit sluit daarom goed aan bij het beschermen van medewerkers tegen SARS-CoV-2.

Nawoord

Dit document is voor het laatst herzien op 13 maart 2020. De inhoud van dit advies is gebaseerd op de beschikbare informatie op bovenstaande datum.

Deze uitgave is geriefwd door em. prof. dr. J.E.M.H. van Bronswijk, Technische Universiteit Eindhoven, ir. C.E.E. Pernot (Cor Pernot Consulting), drs. J.J. Maas (Nederlands Centrum voor

Beroepsziekten) en dr. Ir. A.C. Boerstra (BBA). Hierdoor is deze bijdrage vanuit microbiologisch, klinisch arbeidsgeneeskundig, bouwfysisch en installatietechnisch perspectief bekeken. Daarnaast heeft ook de redactieraad van TVVL Magazine dit artikel gerevied.

Deze bijdrage dient als hulpmiddel voor het opstellen van voorzorgsmaatregelen in gebouwen op basis van de meest recente beschikbare wetenschappelijke kennis. U kunt aan deze bijdrage geen rechten ontleen, de auteur aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor eventuele schade die ontstaat door het gebruik van de geleverde informatie in deze bijdrage.

(*Over de auteur

Francesco Franchimon is gepromoveerd aan TU Eindhoven op het gebied van Public Health Engineering (2009). In het proefschrift *Healthy Building Services for the 21st Century* onder andere aandacht geschonken wat te doen bij een pandemie in gebouwen. Tijdens de Mexicaanse Griep is hiervoor een protocol uitgegeven door Facility Management Nederland. Dit protocol is inmiddels ge-update naar het coronavirus.

Referenties

- Barker J & Jones MV, 2005. The potential spread of infection caused by aerosol contamination of surfaces after flushing a domestic toilet. *Journal of Applied Microbiology* 99(2): 339-347.
- Best EL, Sandoe JAT, Wilcox MH, 2012. Potential for aerosolization of *Clostridium difficile* after flushing toilets: the role of toilet lids in reducing environmental contamination risk. *The Journal of Hospital Infection* 80(1): 1-5.
- Bronswijk van JEMH, Pauli G, 1996. An update on long-lasting mite avoidance: dwelling construction humidity management cleaning. *GuT, Aachen*.
- Brown A, St-Onge Ahmad S, BeckCR, Nguyen-Van-Tam JS, 2016. The roles of transportation and transportation hubs in the propagation of influenza and coronaviruses: a systematic review. *Journal of Travel Medicine* 23(1): 1-7.
- Casanova LM, Jeon S, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD, 2010. Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Coronavirus Survival on Surfaces. *Applied and Environmental Microbiology* 76(9): 2712-2717
- CNN, 2020. How can the coronavirus spread through bathroom pipes? Experts are investigating in Hong Kong. Door Helen Regan, gepubliceerd op 12 februari 2020.
- Doremalen van N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI, Lloyd-Smith JO, Wit de E, Munster VJ, 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine* 382(12): 1177-1179.
- Doremalen van N, Bushmaker T, Munster VJ, 2013. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *European communicable disease bulletin* 18(38): 1-4.
- Escombe AR, Oeser CC, Gilman RH, Navincopa M, Ticona E, Pan W, Martinez C, Chacaltana J, Rodriguez R, Moore DAJ, Friedland JS, Carlton A, Evans CA, 2007. Natural Ventilation for the Prevention of Airborne Contagion. *Plos Medicine* 4(2): 309-317.
- Fisk WJ, Faulkner D, Palonen J, Seppanen O, 2002. Performance and costs of particle air filtration technologies. *Indoor Air* 12(4): 223-234.
- Guan W-J, Ni Z-Y, Hu Y, Liang W-H, Ou C-Q, He J-X, Liu L, Shan H, Lei C-L, Hui DSC, Du B, Li L-J, Zeng G, Yuen K-Y, Chen R-C, Tang C-L, Wang T, Chen P-Y, Xiang J, Li S-Y, Wang J-L, Liang L-J, Peng Y-X, Wei L, Liu Y, Hu Y-H, 2020. Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China. Nog niet peer reviewed.
- Han H, Kim M-K, 2005. An Experimental Study on Air Leakage and Heat Transfer Characteristics of a Rotary-type Heat Recovery Ventilator. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration* 13(2): 83-88.
- Hung LS, 2003. The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned? *Journal of the Royal Society of Medicine* 96(8): 374-378.
- Ijaz MK, Brunner AH, Sattar SA, Nair RC, Johnson-Lussenburg CM, 1985. Survival Characteristics of Airborne Human Coronavirus 229E. *Journal of General Virology* 66(12): 2743-2748.
- Johnson DL, Mead KR, Lynch RA, Hirst DVL, 2013. Lifting the lid on toilet plume aerosol: A literature review with suggestions for future research. *American Journal of Infection Control* 41(3): 254-258.
- Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E, 2020. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection* 104(3): 246-251.
- Knowlton SD, Boles CL, Perencevich EN, Diekema DJ, Nonnenmann MW, 2018. Bioaerosol concentrations generated from toilet flushing in a hospital-based patient care setting. *Antimicrobial Resistance and Infection Control* 7(16): 1-8.
- Kudo E, Song E, Yockey LJ, Rakib T, Wong PW, Homer RJ, Iwasaki A, 2019. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *PNAS*: 1-6
- Leitmeyer K & Adlhoeh C, 2016. Influenza Transmission on Aircraft - A Systematic Literature Review *Epidemiology* 27(5): 743-751.
- Li Y, Huang X, Yu ITS, Wong TW, Qian H, 2005a. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. *Indoor Air* 15(2): 83-95.
- Li Y, Duan S, Yu ITS, Wong TW, 2005b. Multi-zone modeling of probable SARS virus transmission by airflow between flats in Block E, Amoy Gardens. *Indoor Air* 15(2): 96-111.
- Li Y, Leung GM, Tang JM, Yang X, Chao CYH, Lin JZ, Lu JW, Nielsen PV, Niu J, Qian H, Sleight AC, Su H-JJ, Sundell J, Wong TW, Yuen PL, 2007. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment – a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air* 17(1): 2-18.
- Luo W, 2020. The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak. Nog niet peer reviewed.
- Luong JC, Fennelly KP, Keen JA, Zhai ZJ, Jones BW, Miller SL, 2016. Role of mechanical ventilation in the airborne transmission of infectious agents in buildings. *Indoor Air* 25(6): 666-678.
- Mangili A, Gendreau MA, 2005. Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *The Lancet* 365(March 12): 989-996.
- Memaradeh F, 2012. Literature Review of the Effect of Temperature and Humidity on Viruses. *ASHRAE Transactions* 118(1): 1049-1060.
- Monto AS, 1974. Medical reviews. Coronaviruses. *The Yale Journal of Biology and Medicine* 47(4): 234-251.
- Morawska L, 2006. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air* 16(2): 335-347.
- Mui KW, Wong LT, Wu C, Lai ACK, 2009. Numerical modeling of exhaled droplet nuclei dispersion and mixing in indoor environments. *Journal of Hazardous Materials* 167(1-3): 736-744.
- Salah B, Dinh Xuan AT, Fouilladiou JL, Lockhart A, Regnard J, 1988. Nasal mucociliary transport in healthy subjects is slower when breathing dry air. *European Respiratory Journal* 1(9): 852-855.
- Tang JW, 2009. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *Journal of The Royal Society Interface* 6(suppl 6): S737-S746.
- Yang Y, Weilong Shang W, Rao X, 2020. Facing the COVID-19 outbreak: What should we know and what could we do? *Journal of Medical Virology* (accepted paper).
- Zhang W, Du R-H, Li B, Zheng X-S, Yang X-, Hu B, Wang Y-Y, Xiao G-F, Yan B, Shi Z-L, Zhou P, 2020. Molecular and serological investigation of 2019-nCoV infected patients: implication of multiple shedding routes. *Emerging Microbes & Infections* 9(1): 386-389.
- WHO, 2020a. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2020b. Water, sanitation, hygiene and waste management for COVID-19. World Health Organization, Geneva.