

# Inventarisatie van ventilatievoorzieningen in 60 zorginstellingen met het oog op pandemische paraatheid

Annemarie Weersink<sup>1</sup>, Frans Koene<sup>2</sup>, Christian Struck<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Lectoraat Sustainable Building Technology, Hogeschool Saxion Enschede

<sup>2</sup> Afdeling Buildings & Energy Systems, TNO, Delft

*In het kader van Pandemische Paraatheid is in opdracht van het ministerie van Volksgezondheid Welzijn en Sport (VWS) de effectiviteit van ventilatiesystemen en het gebruik ervan onderzocht in 111 huiskamers van instellingen voor langdurige zorg [1]. Het doel van dit inventariserende onderzoek in bestaande zorggebouwen, dat onderdeel is van het onderzoeksprogramma P3Venti, is na te gaan hoe zinvol het is om ventilatiesystemen en het gebruik ervan te verbeteren en wat daarbij de risico's zijn op virusoverdracht via aerosolen. Verschillende verbeterpunten zijn geïdentificeerd. Ook dient de ventilatie beter te worden afgestemd op de behoeften van bewoners en personeel.*

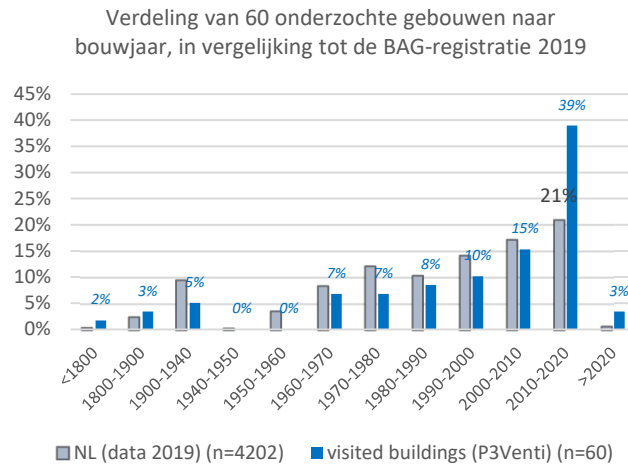
## 1. Inleiding

Bijna de helft van alle COVID-19 gerelateerde sterfgevallen in Nederland en Europa deed zich voor in zorginstellingen [2]. Hiervoor waren verschillende verklaringen, zoals de kwetsbaarheid van de oudere bewoners, groepen bewoners die tijdelijk bijeenkomen in huiskamers en in activiteitenruimtes, maar ook specifieke gebouw/installatiekenmerken. Toch bleek het in pandemietijd lastig de potentiële risico's het hoofd te bieden, mede door gebrek aan kennis en dan in het bijzonder over ventilatie. Daarom startte het Ministerie van VWS het onderzoeksprogramma P3Venti (Pandemische Paraatheid met Ventilatie). Het lectoraat Sustainable Building Technology van Saxion en TNO voerden voor P3Venti in 2023 een inventarisatie uit van ventilatiesystemen in ruim 60 bestaande gebouwen voor langdurige zorg. De focus werd gelegd op bijeenkomstruimten, met name gezamenlijke huiskamers, omdat daar het risico op aerosole overdracht als het hoogst werd ingeschat.

## 2. Onderzoeksaanpak

In het onderzoek werden in totaal 111 huiskamers bezocht. Alle zorginstellingen die positief reageerden op deelname aan het onderzoek werden bezocht, wat uiteindelijk heeft geleid tot relatief meer dan gemiddeld aantal gebouwen uit de periode 2010-2020 (zie figuur 1). De meeste daarvan waren vanwege de actieradius gelegen in Oost-Nederland, acht in de regio Rijnmond. Er waren geen significante regionale verschillen.

Met behulp van een door TNO ontwikkelde taxonomie werden ventilatiesystemen geïnventariseerd en in 36 huiskamers werd gedurende een week elke 5 minuten de CO<sub>2</sub>-concentratie opgeslagen. Uit het verloop van de CO<sub>2</sub>-concentratie en het ruimtevolumen werd het ventilatievoud – het aantal luchtwisselingen in de ruimte per uur - en het gebruikspatroon herleid [3]. Ter controle werd het ventilatiedebiet in enkele kamers ook rechtstreeks gemeten met een balometer. In alle ruimtes werden de posities en afmetingen van luchttoevoer- en afzuigroosters in kaart gebracht. Zorgmedewerkers werden tijdens hun dienst in de huiskamers geïnterviewd op basis van een standaard walkthrough vragenlijst van TNO [1].



*Figuur 1: Verdeling van de betrokken gebouwen in het onderzoek naar bouwjaar in vergelijking tot de verdeling van zorggebouwen uit BAG-registraties van zorggebouwen in 2019 [1]*

### 3. Ventilatieonderzoek in relatie tot aerosole virusoverdracht

Virussen kunnen via aerosolen (kleine uitgedemde druppeltjes) worden overgedragen. Deze deeltjes kunnen verplaatsen via luchtstroming en kunnen lang in de lucht blijven zweven. Het risico op besmetting wordt door veel factoren bepaald. Naast kenmerken van o.a. het virus, virusconcentraties, de duur van blootstelling, en gezondheidskenmerken van de mens, zijn er fysische factoren die invloed hebben op de levensvatbaarheid van virussen in de lucht en daarmee het risico op besmetting. Door uitdroging neemt de levensvatbaarheid van een virus rap af [4]. Ook de CO<sub>2</sub>-concentratie kan mogelijk van invloed zijn op de stabiliteit/infectiviteit van een virus [5]. Daarom zijn temperatuur, luchtvochtigheid, luchtsnelheid en de mate van luchtverversing in een ruimte van belang. Op de verspreiding en verdunningsgraad van de virussen hebben de ventilatiehoeveelheid, het aantal luchtwisselingen per uur en luchtstromingspatronen in een ruimte invloed [4]. Hoewel het risico op aerosole virusoverdracht nog steeds onderwerp van discussie is, kan goede ventilatie dit risico evenwel sterk verkleinen, immers via ventilatie worden virusdeeltjes afgevoerd. Omdat ouderen in de zorginstellingen extra kwetsbaar zijn voor virusinfecties, is effectieve ventilatie van belang. Verdiepend onderzoek naar aerosole virusoverdracht en de dosis-effectrelatie wanneer men ziek wordt van een virus, vindt elders binnen P3Venti en andere onderzoeksprogramma's plaats.

### 4. Bevindingen inventarisaties en resultaten van interviews

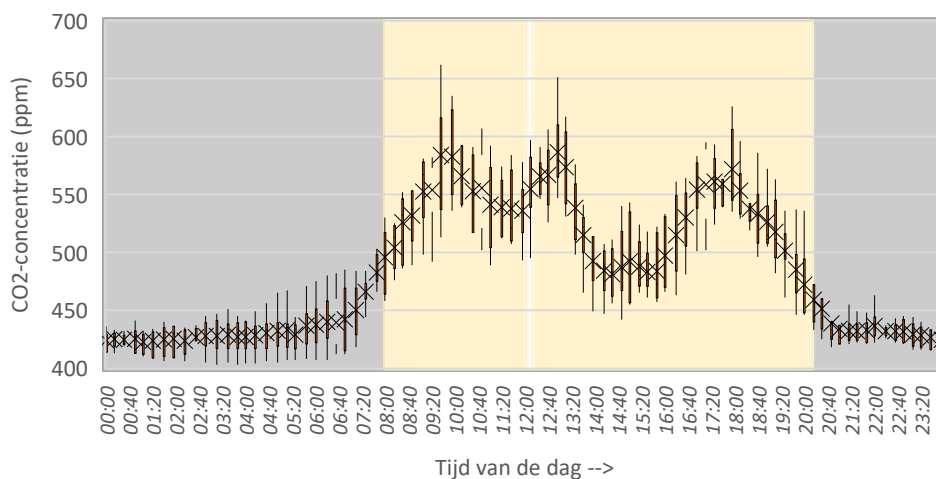
In ruim de helft van de huiskamers waren 7 à 10 bewoners op twee verzorgers aanwezig. De huiskameroppervlakte varieerde daarbij van 52 à 78 m<sup>2</sup> (gemiddeld ca. 8,4 m<sup>2</sup> per persoon). De verhouding van aantallen cliënten/verzorgers en de huiskameroppervlakte was volgens facilitair managers gebaseerd op te leveren zorgkwaliteit, kosten en opbrengsten per cliënt. Bewoners waren niet de hele dag gezamenlijk bijeen in de huiskamers, waardoor de bezettingsgraad van de huiskamers varieerde over de dag (foto 1). Zij waren vrij om naar hun privékamer, voor activiteiten e.d. naar elders in het gebouw, of naar buiten te gaan om te wandelen. Momenten dat bewoners bijna allemaal langere tijd gezamenlijk bijeen waren in huiskamers waren koffietijd, rond 9.30-10:00 uur, lunch rond 12:00 uur en het avondeten rond 17:00-18:00 uur. Een deel van de bewoners was aanwezig bij de theepauze rond 15.00 uur, waarna dan vaak met een aantal bewoners naar de tv werd gekeken tot etenstijd. Na het

avondeten vertrokken veel bewoners naar hun eigen kamer of maakten zich op om kort daarna naar bed te gaan. Daardoor daalde dan de CO<sub>2</sub>-concentratie in de huiskamers gestaag. Soms hingen een paar bewoners nog wat langer rond. Op de genoemde momenten dat bijna iedereen aanwezig was, nam de CO<sub>2</sub>-concentratie in de huiskamer significant toe (figuur 1). In de meeste huiskamers waren daardoor dagelijks de CO<sub>2</sub>-concentraties, als maatstaf voor de luchtkwaliteit, het hoogst rond 10.00-13.00-18.00 uur. Ventilatievoorzieningen in de gangen vormden geen structureel onderdeel van het onderzoek. Gangen naast de huiskamers werden vaak als verlengstuk van huiskamers gebruikt en ingericht met zithoekjes, waarbij deuren naar huiskamers vaak open bleven en luchtstroming tussen ruimtes mogelijk was.



Foto 1: De bezettingsgraad in huiskamers van verzorgingstehuizen voor permanente zorg varieert sterk gedurende de dag. Daardoor wisselt de CO<sub>2</sub>-concentratie (foto Saxion).

Boxplot verloop CO<sub>2</sub>-concentratie gedurende een dag in een huiskamer van een zorginstelling



Figuur 2: Verloop van de CO<sub>2</sub>-concentratie in een van de onderzochte huiskamers voor 8 psychogeriatrische bewoners (ventilatiesysteem D) (meetperiode 1 week) De lagere CO<sub>2</sub>-productie van ouderen in combinatie met wisselende bezettingsgraden temperen de dagelijkse CO<sub>2</sub>-piekniveaus

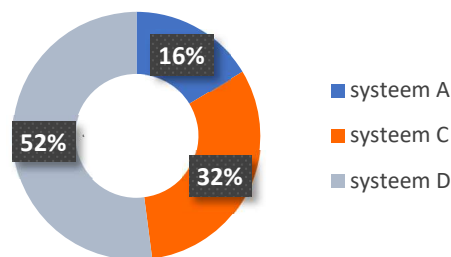
**Ventilatie.** In de zorggebouwen werden drie soorten ventilatiesystemen aangetroffen. Ten eerste type A, volledig natuurlijke ventilatie. Dit systeem kwam alleen voor in bezochte gebouwen van vóór 1990. Ten tweede type C -natuurlijke toevoer en mechanische afvoer- al dan niet met CO<sub>2</sub>-sturing. Ten derde type D, gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning, ook mogelijk met CO<sub>2</sub>-sturing. Dit type kwam veel voor vanaf 1996, na introductie van de wettelijke energieprestatie-eisen.

Alle bezochte zorginstellingen hadden te openen ramen in de gevels van de huiskamers, al dan niet met geïntegreerde ventilatieroosters. Zorgpersoneel sloot die ramen zodra de oudere bewoners binnenkwamen. Gebouwen met ventilatiesysteem D hadden vaak draaikiepramen. Daar waar die vanwege uitvalrisico van bewoners waren vergrendeld, konden die alleen door personeel met een sleutel worden geopend.

Ventilatieroosters voor luchttoevoer en luchtafvoer waren veelal in het plafond geplaatst of in een ventilatiekoof. Het aantal roosters per ruimte varieerde sterk in aantal en positie. De metingen brachten in acht kamers problemen aan het licht met de luchtverdeling. Dit veroorzaakte onbalans en/of tochtklachten. Vaak waren er evenveel roosters voor toevoer en afvoer, maar ook kwam het regelmatig voor dat er veel minder afvoerroosters zijn dan toevoer. Disbalans in de luchttoe- en -afvoerhoeveelheden bleek een aandachtspunt te zijn. Als uit de roosters veel lucht met een hoge snelheid werd ingeblazen, dan leidde dit regelmatig tot tochtklachten van de bewoners. Soms waren roosters om die reden afgeplakt. In grote ruimtes bleken airsocks, textielen luchtkanalen, een goed alternatief, vanwege de lage inblaassnelheid; in een gerenoveerde huiskamer werd een textielen ventilatieplafond aangetroffen en ook die bleek daar geen tochtklachten op te leveren.

Afzuigroosters bevonden zich regelmatig boven de deuropening van de huiskamer naar de gang. Daarbij werd de vraag gesteld of in geopende deurstand lucht uit de huiskamer of de gang werd afgezogen.

Aangetroffen ventilatiesystemen in  
60 zorggebouwen (111 huiskamers)

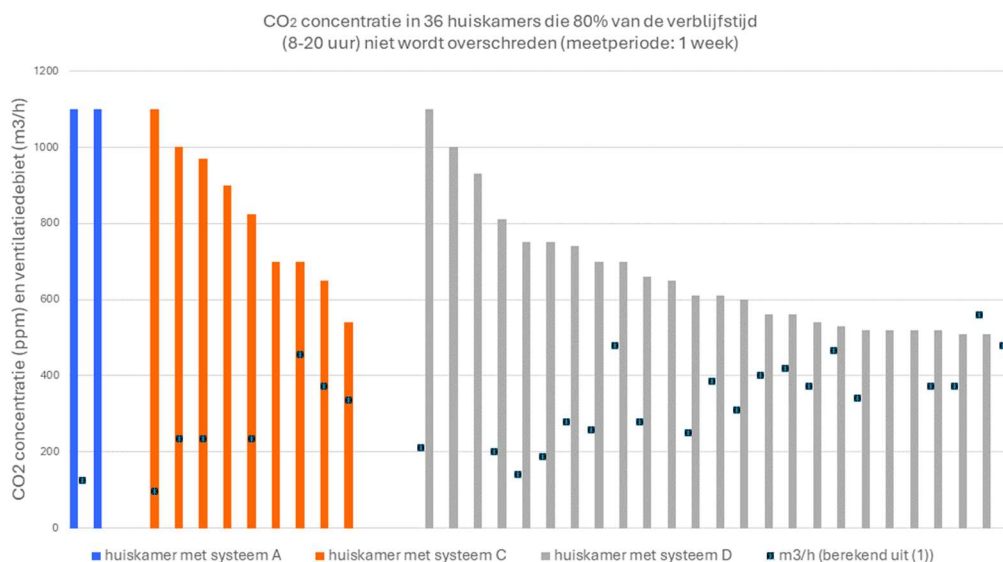


Figuur 3: Soorten ventilatiesystemen aangetroffen in de 60 zorggebouwen [1]

**Ventilatiekwaliteit.** In 36 van de 11 huiskamers werden een weeklang CO<sub>2</sub>-metingen uitgevoerd. CO<sub>2</sub>-concentraties zijn een proxy voor de ventilatiekwaliteit [3]. Over het algemeen bleef de concentratie onder 1000 ppm. Dat wees op voldoende ventilatie volgens de huidige bouwregelgeving voor nieuwbouw.

De CO<sub>2</sub>-concentratie en de daarmee samenhangende ventilatiehoeveelheid in huiskamers met systeem D was over het algemeen het hoogst en met systeem A het laagst. De CO<sub>2</sub>-concentraties in de huiskamers en de ventilatiekwaliteit waren in de regel beter dan vooraf werd verwacht. Verklaringen daarvoor waren de relatief grote ruimtes –vaak voorzien van een keuken-, de open deuren naar gangen, en de lage CO<sub>2</sub>-productie van de beperkt actieve ouderen [6,7,8]. In 75% van de 36 huiskamers werd volgens de CO<sub>2</sub>-analyses voldaan aan de nieuwbouw ventilatie-eis van minimaal 6,5 dm<sup>3</sup>/s per persoon.

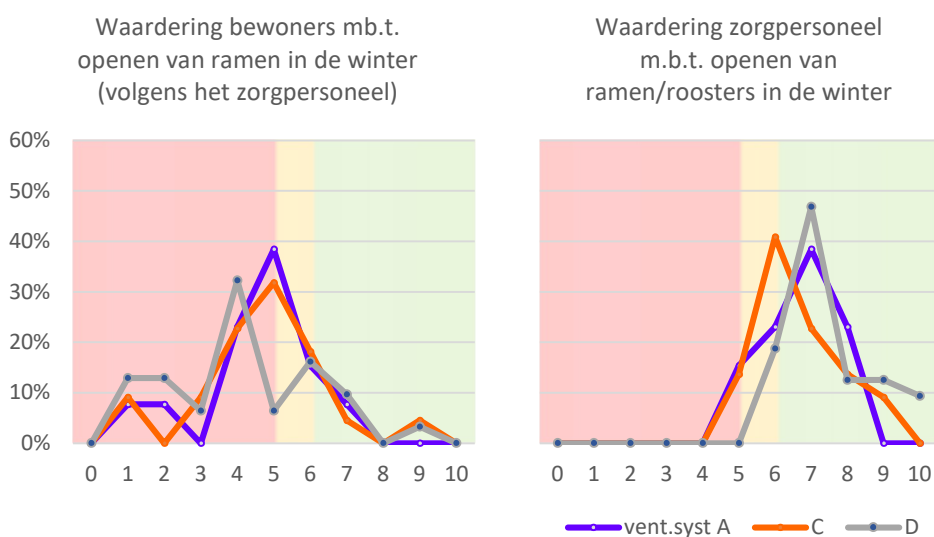
Uit de CO<sub>2</sub>-metingen bleek dat ventilatieregelingen kunnen zorgen voor tijdelijk verlaging van het ventilatievoud. Dat gold o.a. in gebouwen met CO<sub>2</sub>-sturing, maar ook voor installaties met tijdsafhankelijke of temperatuur-gestuurde debietregelingen. Vanuit energiebesparingsperspectief gewenst, maar niet in pandemietijd, waar regelingen gericht zouden moeten zijn op optimale ventilatie.



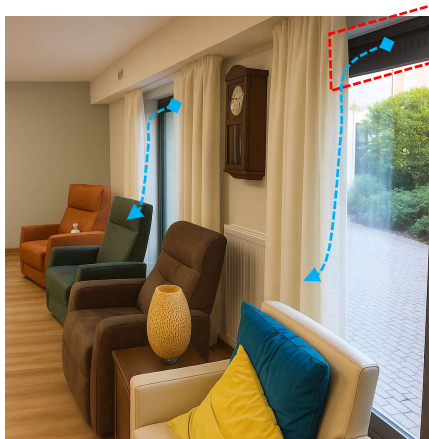
*Figuur 4: De CO<sub>2</sub>-concentratie die in 80% van de tijd tussen 8:00-20:00 uur niet werd overschreden in de 36 huiskamers (x-as) voor langdurige zorg waar de CO<sub>2</sub>-concentratie is gemeten. Het ventilatiedebiet in m<sup>3</sup>/h (y-as) werd herleid uit de CO<sub>2</sub>-concentratie [8]*

**Comfortklachten.** De meeste comfortklachten uitten de oude bewoners over tocht en kou, maar bij personeel was dat de hitte en droogte. Tijdens de inspectiebezoeken (maart–november 2023) was de binnenluchttemperatuur vaak relatief hoog, ca. 22 à 23°C, wat normaal was in de tehuizen, omdat dit voor de oudere bewoners een comfortabele temperatuur was. Het actieve zorgpersoneel vond die temperatuur te hoog, maar paste kleding daar op aan. Met name in de winter vond het personeel de lucht te droog. Dat leidde tot klachten over een droge mond, keel- en hoofdpijn. Zorgpersoneel zou zelf graag vaker ramen willen openen gedurende de dag (figuur 5 rechts), voor verse lucht rechtstreeks van buiten, maar de behoeftes van de cliënten gingen voor. Dus bleven vanwege bewonersklachten over tocht en kou (figuur 5 links) de ramen gesloten.

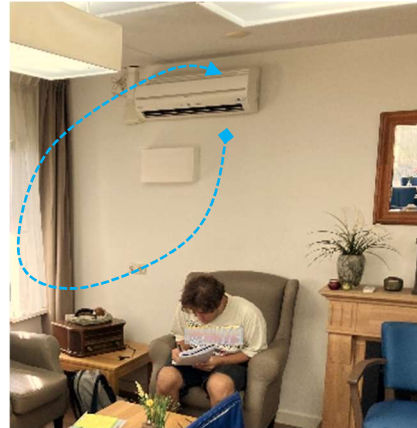
Klachten over tocht en kou uitten bewoners vaker in de winter dan bij gematigde temperaturen, met name als ventilatieroosters en ramen die op een kier open staan. Regelmatig waren in de huiskamers stoelen opgesteld rondom de televisie - die vaak tegen een binnenwand staat-, waarbij dan veel stoelen met hun rugleuning naar het raam waren toegekeerd, onder ventilatieroosters (foto 2a). Dat leverde een aanzienlijk risico op tochtklachten. Ook ten tijde van de Coronapandemie, werden ramen en roosters gesloten in geval van klachten daarover van oude, vaak dementerende bewoners. Zij hadden onvoldoende/geen besef van de Coronagevaren. Dat vormde in de praktijk bij de zorginstellingen regelmatig een belemmerende factor voor extra ventilatie als Coronamaatregel. Het wijd openen van ramen in de huiskamers werd in Coronatijd bijna alleen gedaan bij afwezigheid van bewoners. Het afsluitbaar zijn van een deel van een huiskamer, bijvoorbeeld met schuifdeuren, was soms een uitkomst om extra te ventileren in tehuizen zonder dat bewoners daar last van hadden. Dat behoorde in maar weinig huiskamers tot de mogelijkheden.



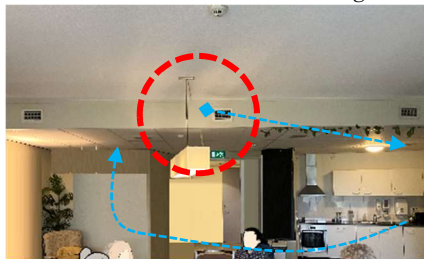
Figuur 5: Waardering van te openen ramen door (het percentage van het) zorgpersoneel en bewoners, m.b.t. het openen van ramen en ventilatieroosters in de winter in huiskamers. De waardering wordt voor vertrekken met ventilatiesystemen A, C en D uitgedrukt in cijfers 1 t/m 10 (zeer slecht (rood)...neutraal (geel)...zeer goed (groen)) [1]



(a) Zitplekken onder ventilatieroosters bij het raam veroorzaken tochtklachten in de nek van ouderen. Roosters worden dichtgezet.



(b) Zitplekken bij de airco bezorgen de oudere bewoners last van tocht en kou in hun nek



(c) Te sterke horizontale luchtinblaas uit roosters in een koef veroorzaakte achter in deze huiskamer tochtklachten.



(d) Inblaasrooster op vensterbank veroorzaakte tochtklachten

Foto 2 a,b,c,d: Comfortklachten door koude luchtinblaas en/of te sterke luchtstroming (foto's Saxion)

**Klimaatregeling.** Personeel kon in de huiskamers in veel gevallen niet zelfstandig het binnenklimaat regelen, of wist niet goed hoe het regelsysteem functioneerde. Vaak werd daarvoor hulp van de facilitaire dienst ingeroepen. Roosters werden slechts één à twee keer per jaar schoongemaakt.

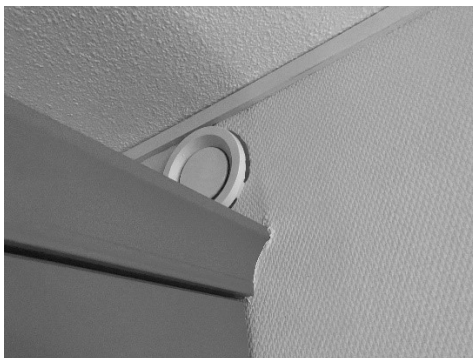
Van de 60 bezochte gebouwen had slechts 23% geen koeling, 22% heeft gekoelde lucht via het gebouw-installatiesysteem, 23% had een airco-unit aan de muur, 9% had een mobiele airco-unit. Van 23% was het type koeling onbekend. Als de airco werd ingeschakeld, werden ramen gesloten om er optimaal koelend effect van te hebben. De verse luchttoevoer was dan gereduceerd, wat in pandemietijd een potentieel risico kon opleveren. De verklaring voor het hoge percentage airco's bleek een zomer van een paar jaar geleden met langdurig aanhoudende hitte. Het personeel vond de koeling in de zomer een verademing, maar veel bewoners waardeerden de koude luchtstroom niet. Daarom koelden de meeste airco's niet op maximaal vermogen.

#### 4. Ventilatiesystemen in pandemietijd

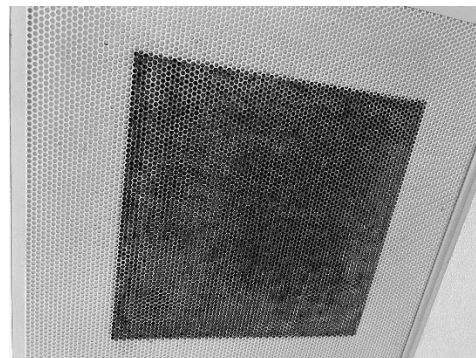
**Risico's gebruik.** De oudere bewoners waren gevoelig voor kou en tocht, en zagen vaak het belang van ventilatie in Coronatijd niet in. Zorgverleners zochten naar een middenweg, maar als de tocht/koude klachten van bewoners aanhielden, werd voorrang gegeven aan comfort voor de bewoners boven extra ventilatie. Ramen bleven dicht bij koud weer. Vaak was het niet goed te zien of roosters open of dicht waren omdat zij vaak hoog in de gevel waren aangebracht. Ramen bleven soms permanent vergrendeld, ook vanwege veiligheid voor de bewoners. Hoewel ten strengste afgeraden door de facilitaire dienst, werden roosters soms afgeplakt als maatregel tegen tocht door te hoge inblaasluchtsnelheid. Vaak trad er dan op een andere plek weer een probleem op.

**Aandachtspunten bij de ventilatiesystemen.** Er zijn verschillende zwaktes geconstateerd tijdens de inspecties. Een greep daaruit:

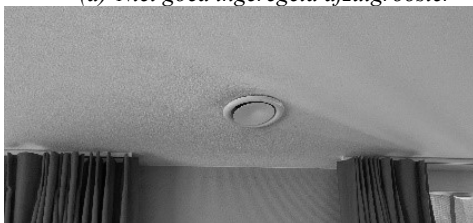
- Onvoldoende luchttoevoer/-afvoer of onevenwicht
- Te hoge lichtsnelheid → tochtklachten
- Opstelling van stoelen bij ramen en onder ventilatieroosters
- Verstopte of vuile roosters → minder luchtdoorlaat
- Kortsluiting tussen toevoer- en afzuigroosters
- Slechte doorspoeling van verse lucht door de ruimte
- Te droge lucht of defecte bevochtiging
- Geluidsoverlast installatie → roosters worden gesloten
- Gebrek aan bewustzijn bij personeel en onduidelijke ventilatierichtlijnen
- Bij interne verbouwingen, bijvoorbeeld van kantoor naar huiskamer, bestaat het risico dat onvoldoende rekenschap is gehouden met de gewijzigde ventilatie-behoefte



(a) Niet goed ingeregeld afzuigrooster



(b) Vervuilde roosters beperken luchtdoorlaat



(c) Dichtgezet toevoerventilatierooster in het plafond om tochtklachten van bewoners tegen te gaan zorgt voor te weinig ventilatie



(d) Toevoer en afvoer direct naast elkaar levert kortsluitingsrisico tussen de toevoer en de afvoer.

Foto 3 a,b,c,d: Problemen met inregeling, luchtdoorlaat door vervuiling (achterstallig onderhoud), tochtvrije inblaas en kortsluiting van toe/afvoer in verschillende huiskamers (foto's Saxion)

**Terugblik.** In 60 zorginstellingen, 111 huiskamers, werden ventilatiesystemen en gebruik onderzocht. Systemen A en C kwamen beide voor in oudere gebouwen, systemen C en D kwamen beide voor in nieuwere gebouwen, waarbij systeem C dan vaak in combinatie met CO<sub>2</sub>-sturing werd aangetroffen. Uit de CO<sub>2</sub>-analyses van 28 huiskamers werd geconcludeerd dat in 75% daarvan werd voldaan aan de nieuwbouw ventilatie-eis volgens de bouwregelgeving. De relatief gunstige CO<sub>2</sub>-concentraties die in de huiskamers werden aangetroffen werden deels verklaard door de lage activiteit van ouderen.

Grote verschillen tussen comforteisen van bewoners en personeel maakten ventilatie-uitdagingen complex. Tijdens de Coronapandemie werd vaak iets beter geventileerd, maar pas bij meer gematigde temperaturen of als bewoners afwezig waren. Personeel had behoefte aan duidelijke ventilatie-instructies in pandemietijd. Ook gaf personeel aan dat betrouwbare (CO<sub>2</sub>)monitoring zou kunnen helpen om tijdig en voldoende te ventileren.

## 7. Aanbevelingen

Uit de gebouwbezoeken volgden o.a. de volgende aanbevelingen:

- Voer periodiek een inspectie uit van het ventilatiesysteem in alle zorginstellingen.
- Stel duidelijke richtlijnen op voor optimale ventilatie en inrichting om klachten te voorkomen.

Ventilatiesystemen die functioneren op basis van hoge inblaasluchtsnelheden hebben een groter risico op tochtklachten, vooral in ruimtes die niet hoog zijn. Meerdere inblaaspunten met lage inblaasluchtsnelheid is te prefereren, evenals verdringingsventilatiesystemen. Airsocks zijn in enkele bijeenkomstruimtes een geschikt alternatief gebleken, om met lage luchtsnelheid de benodigde ventilatiehoeveelheid toe te kunnen voeren zonder dat dit leidt tot tochtklachten van de oudere bewoners. Ook textielplafonds lijken potentie te hebben.

- Voorzie zorgpersoneel van hulpmiddelen zoals CO<sub>2</sub>-sensoren met bijbehorende instructies om een beter beeld van de ventilatiekwaliteit te krijgen.
- Benadruk het belang van onderhoud en reiniging van ventilatiesystemen.
- Voorkom geluidsoverlast: geluid wordt geassocieerd met "te veel lucht".
- Voorzie personeel van een eigen ruimte met instelbaar klimaat en privacy.
- In het kader van pandemische paraatheid biedt het kunnen separeren van ruimtes voordelen om reguliere processen en pandemische maatregelen (bijv. extra ventileren of reinigen) gescheiden van elkaar te kunnen uitvoeren. Een wand met (schuif)deuren in een ruimte maakt het mogelijk om overdag tijdelijk een deel van de ruimte te ventileren zonder dat bewoners hier last van hebben.



*Foto 4: Eigen ruimte voor personeel met zicht op de huiskamer, zoals hier, is zeer gewenst, maar komt zelden voor (foto Saxion)*

## 6. Resumé van de inventarisatie in het kader van pandemische paraatheid

Meer dan de helft van de huiskamers had mechanische toe- en afvoer en te openen ramen al dan niet voorzien van geïntegreerde ventilatieroosters. Ca. 1/6 van de gebouwen werd volledig natuurlijk geventileerd (oudere gebouwen) en ca. 1/3 had natuurlijke toevoer en mechanische afzuiging, al dan niet met CO<sub>2</sub>-sturing. De meeste huiskamers voldeden aan de minimum ventilatie-eisen volgens het Bouwbesluit. Toch werden verschillende verbeterpunten geïdentificeerd betreffende de configuratie en het gebruik van de ventilatiesystemen, maar ook het beter afstemmen van ventilatie op de behoeften van bewoners en personeel. De meest kritische gebouwen hadden natuurlijke ventilatie. Belangrijk aandachtspunt was dat de oudere bewoners aanzienlijk gevoeliger zijn voor kou en tocht dan jongere mensen en daarom eerder discomfort ervaren door koude ventilatielucht en/of hoge luchtsnelheden. Op hun wens werd dan daarom de ventilatie aangepast. Zorgpersoneel klaagde over een te warme omgeving en droge lucht, maar accepteerde dat. Airco was vaak niet populair bij bewoners, wel bij personeel. “Airco-aan” impliceerde vaak ramen dicht, dus minder ventilatie. Zorgpersoneel had behoefte aan duidelijke richtlijnen over hoe te ventileren in pandemietijd en monitoring van de ventilatiekwaliteit. Airsocks bleken tenslotte een veelbelovende techniek te zijn om bij lage inblaasluchtsnelheid zonder tochtklachten te kunnen voorzien in de vereiste luchttoevoer. Separatiewanden met (schuif)deuren in ruimtes konden ventilatie met buitenlucht tijdens delen van de dagperiode mogelijk maken zonder tochtklachten voor bewoners. Tenslotte bleek bij gerenoveerde vertrekken het potentiële risico te bestaan van het onvoldoende of niet aangepast zijn van het ventilatiesysteem aan de gewijzigde ventilatiebehoefte.

*Dit onderzoek werd uitgevoerd binnen het Programma Pandemisch Paraat (P3Venti) [9], met financiering van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, en gecoördineerd door TNO.*

## Referenties

- [1] Weersink A.M.S., Salemink G.A.M., Struck C., Koene F., *Technische en gebruiksinventarisatie ventilatiesystemen in bestaande gebouwen voor langdurige zorg, op basis van een taxonomie en vragenlijst, P<sup>3</sup>Venti Rapport Saxion Lectoraat Sustainable Building Technology, 15 Mei 2024*
- [2] Comas-Herrera A, Zalakaín J, Lemmon E, Henderson D, Litwin C, Hsu AT, Schmidt AE, Arling G and Fernández J. Mortality associated with COVID-19 in care homes: international evidence. Article in LTCcovid.org, International LongTerm Care Policy Network, CPEC-LSE. 2020 April 12. Last updated 14th October 2020
- [3] Ahn, K. U., Kim, D.-W., Cho, K., Cho, D., Cho, H. M., & Chae, C.-U. (2022). Hybrid Model for Forecasting Indoor CO<sub>2</sub> Concentration. *Buildings*, 12(10), 1540. <https://doi.org/10.3390/buildings12101540>
- [4] Paauw A., Hornstra L.M., *Eigenschappen van uitgeademde aerosol deeltjes met Sars-Cov-2 en de effecten van de omgeving daarop – P3Venti rapport TNO 2023 R11579, 13 mei 2024*
- [5] Haddrell A, Oswin H, Otero-Fernandez M, Robinson JF, Cogan T, Alexander R, Mann JFS, Hill D, Finn A, Davidson AD, Reid JP. Ambient carbon dioxide concentration correlates with SARS-CoV-2 aerostability and infection risk. *Nat Commun.* 2024 Apr 25;15(1):3487
- [6] Yang L., Wang X., Li M., Zhou X, Liu S., Zhang H., Arens E., Zhai E., Carbon dioxide generation rates of different age and gender under various activity levels, *Building and Environment, Volume 186, 2020, 107317, ISSN 0360-1323*
- [7] Persily A, de Jonge L., 2017, Carbon dioxide generation rates for building occupants, *Indoor Air.* 27(5), 868-879
- [8] Weersink A.M.S., Koene F.G.H, Caris Y., Struck C., *Ventilatie in zorggebouwen beter in beeld, NVBV BouwFysica 2024/2, December 2024, 14-18*
- [9] [www.p3venti.nl](http://www.p3venti.nl)