

Redukcja rozprzestrzeniania koronawirusa SARS-CoV-2 i choroby COVID-19 poprzez instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne

Reduction of the spread of SARS-CoV-2 coronavirus and COVID-19 disease through ventilation and air conditioning systems

WOJCIECH CEPIŃSKI, PAWEŁ SZALAŃSKI, JACEK MISIŃSKI

DOI 10.36119/15.2020.6.3

W artykule przeanalizowano potencjalne drogi rozprzestrzeniania się wirusa SARS-CoV-2 w typowych rozwiązaniach istniejących układów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych w budynkach niebędących obiektami służby zdrowia. Posiłkowano się zaleceniami przedstawionymi przez ASHRAE, REHVA, EUROVENT MIDDLE EAST i NIZP-PZH. Oprócz pomieszczeń, pod uwagę wzięto poszczególne elementy systemu wentylacji: przebieg i szczelność przewodów wentylacyjnych, centrale przetwarzające i uzdatniające powietrze oraz lokalizację czepni i wyrzutni powietrza. Dokonano analizy układów ciśnienia w instalacjach przewodowych i dla różnych konfiguracji central wentylacyjnych. Zaproponowano szereg działań ograniczających ryzyko rozprzestrzeniania się choroby COVID-19 w instalacjach wentylacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem możliwych przecieków powietrza. Sformułowano procedurę postępowania umożliwiającą realizację tego celu.

Słowa kluczowe: koronawirus, SARS-CoV-2, COVID-19, wentylacja, HVAC

The article analyses potential ways of spreading the SARS-CoV-2 virus in typical existing ventilation and air-conditioning systems in non-health facilities. The recommendations presented by ASHRAE, REHVA, EUROVENT MIDDLE EAST and Polish National Institute of Public Health (NIZP-PZH) have been used. Ventilated rooms and particular elements of the ventilation system: route and tightness of ventilation ducts, air handling units, as well as the location of the fresh air intake and exhaust air outlet were taken into account. The analysis of pressure distribution profiles in duct systems and for various air handling units types was made. A number of methods of reducing the risk of spreading COVID-19 in ventilation systems were proposed, with particular emphasis on reduction of possible air leaks. A procedure was formulated to enable the achievement of this objective.

Keywords: coronavirus, SARS-CoV-2, COVID-19, ventilation, HVAC

Wprowadzenie

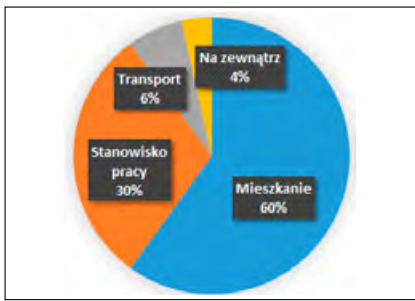
W obecnej sytuacji na świecie należy poszukiwać, na wszelkich możliwych poziomach, szybkich i skutecznych sposobów ograniczenia rozprzestrzeniania się koronawirusa SARS-CoV-2 i ilości zakażeń. Od dawna wiadomo, że cząsteczki różnych patogenów (wirusy, bakterie np.: legionella pneumophila, grzyby, pierwotniaki, pleśnie) mogą być transportowane i krążyć w powietrzu wentylacyjnym. O ile ta kwestia rozwiązywana jest w obiektach służby zdrowia, o tyle w systemach wentylacji pozostałych budynków nie zwraca się na to szczególnej uwagi. Według Światowej Organizacji Zdrowia koronawirus SARS-CoV-2 rozprzestrzenia się głównie drogą kropelkową zwłaszcza podczas kaszlu

lub kichania, stąd zasada dwumetrowego dystansu społecznego i nacisk na konieczność mycia rąk po dotknięciu powierzchni, na których wirus mógł się osadzić. Bazując na wcześniejszych doświadczeniach z innymi patogenami np.: wirusem grypy i SARS wydaje się również prawdopodobne, że wirus SARS-CoV-2 może rozprzestrzeniać się drogą powietrzną [1, 2], co sugerować mogą dodatkowo przypadki zachorowania pasażerów zamkniętych w kabinach statków wycieczkowych, które połączone były wspólną siecią przewodów wentylacyjnych. Na możliwość taką zwracają również uwagę organizacje zajmujące się wentylacją, klimatyzacją i ogrzewaniem: ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Amerykańskie Sto-

warzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji) [3], REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning - Federacja Europejskich Stowarzyszeń Ogrzewania, Wentylacji i Klimatyzacji) [4], a także organizacje takie jak NIZP-PZH (Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny) [5]. W publikacjach tych sugeruje się, że wirusy mogą pozostać w powietrzu wystarczająco długo, aby przejść przez system i wrócić do pomieszczeń, jeśli tylko istnieje taka możliwość. Czas przepływu powietrza od wywiewnika do nawiewnika może wynosić od kilku do kilkudziesięciu sekund. Zatem, jednym z potencjalnych mechanizmów przenoszenia wirusa może być unoszenie go wraz z powietrzem. Mechanizm ten ma szczególne

dr inż. Wojciech Cepiński, <https://orcid/0000-0003-4294-0431>; dr inż. Paweł Szalański, <https://orcid/0000-0001-9263-3486>;

dr inż. Jacek Misiński, <https://orcid/0000-0002-9038-7469> - Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław. Adres do korespondencji/Corresponding author: pawel.szalanski@pwr.edu.pl



Rys. 1. Podział czasu przebywania człowieka w poszczególnych środowiskach, na podstawie [6]
Fig. 1. The distribution of human time spent in different environments, based on [6]

wysoki potencjał w budynkach, ponieważ stanowią one przestrzeń zamkniętą, a dorośli ludzie przebywają większość czasu w pomieszczeniach (rys. 1) [6, 7].

Dotyczy to zarówno mieszkań, miejsc pracy, obiektów handlowych, sportowych, urzędów, szkół, przedszkoli itp. Skuteczne zwiększenie dystansu społecznego wymusza konieczność spędzania większej ilości czasu w budynkach, a to rodzi możliwość przebywania ludzi chorych i zdrowych w jednym pomieszczeniu, bądź w obrębie działania danej instalacji wentylacyjnej lub klimatyzacyjnej. Zgodnie z polskimi przepisami wszystkie pomieszczenia powinny być wentylowane [8]. Wentylacja może odbywać się na różne sposoby. Zakładając możliwość transportu wirusa z powietrzem, należy przyjąć, że istnieje potencjał transmisji patogenu za pośrednictwem systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Właściwości tych systemów mogą mieć istotny wpływ na ryzyko rozprzestrzeniania się wirusów po obiekcie. Możliwości migracji wirusów mogą zależeć od sposobu organizacji wymiany powietrza w pomieszczeniach oraz konfiguracji układu wentylacyjnego lub klimatyzacyjnego obsługującego jedno bądź grupę pomieszczeń. Jedne rozwiązania mogą nasilać, a inne ograniczać ryzyko transmisji. Wpływ na to mogą mieć także parametry powietrza.

Opublikowane dotychczas zalecenia wspomnianych powyżej organizacji, takich jak ASHRAE [3], REHVA [4], EUROVENT MIDDLE EAST [9], NIZP-PZH [5] mają charakter ogólny. Przegląd tych zaleceń przedstawiono w [10]. Według autorów część poruszanych zagadnień wymaga uszczegółowienia, w celu ich skutecznego wdrożenia przez personel techniczny i zarządców budynków. W dalszej części artykułu podjęto próbę doprecyzowania wybranego zakresu zaleceń. Przedstawiono szereg konfiguracji systemów odzysku ciepła w centralach wentylacyjnych, wraz z potencjalnymi rozkładami ciśnienia w warunkach projektowych. Wskazano rozwiązania szczególnie sprzyjające powstawaniu przecieków z powietrza

wywiewanego do powietrza nawiewanego i tym samym tworzące możliwość skierowania patogenów z powrotem do pomieszczeń.

System wentylacyjny a rozprzestrzenianie się patogenu

Nieskuteczne oddzielenie powietrza usuwanego od powietrza nawiewanego w instalacji wentylacyjnej powoduje w rezultacie możliwość zawrócenia patogenów do pomieszczenia. Ryzyko to należy rozważać począwszy od wzajemnej lokalizacji czerpni i wyrzutni, uwzględniając między innymi ich wzajemną odległość, rozkład ciśnienia w bryle budynku, itp. Również prowadzenie przewodów wentylacyjnych przez pomieszczenia, gdy występuje różnica wartości ciśnienia pomiędzy pomieszczeniem a wnętrzem przewodu, może nieść za sobą ryzyko przedostawania się powietrza zanieczyszczonego do lub z przewodu. W celu jego ograniczenia należy zapewnić odpowiednią klasę szczelności przewodów wentylacyjnych, zwłaszcza wyrzutowego i czerpalnego.

Szczególnie należy zwrócić uwagę na trzy główne drogi przecieku w instalacji wentylacyjnej:

- w systemie odzysku ciepła,
- przez obudowę centrali,
- nieszczelności instalacji przewodów.

Zgodnie z przepisem [11]: „§ 38. Wentylacja mechaniczna z recyrkulacją powietrza:

1. Przy stosowaniu w pomieszczeniach pracy wentylacji mechanicznej z recyrkulacją powietrza ilość powietrza świeżego nie powinna być mniejsza niż 10% ogólnej ilości wymienianego powietrza.
2. W powietrzu wprowadzanym do pomieszczeń pracy przy stosowaniu recyrkulacji zanieczyszczenie czynnikami szkodliwymi dla zdrowia nie powinno przekraczać poziomu, przy którym suma stosunków stężeń poszczególnych substancji do odpowiadających im wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń przekracza 0,3.
3. Recyrkulacja powietrza nie powinna być stosowana w pomieszczeniach pracy, w których występują szkodliwe czynniki biologiczne, czynniki chemiczne stwarzające zagrożenia określone w przepisach w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy związanej z występowaniem w miejscu pracy czynników chemicznych, materiały wydzielające nieprzyjemne lub uciążliwe zapachy albo możliwe jest nagłe zwiększenie stężenia niebezpiecznych substancji chemicznych, a także w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.”

Przecieki można by zatem traktować jako formę „niechcianej recyrkulacji”. Efekt

przecieku może być negatywny lub neutralny z punktu widzenia zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniu. Przyjęta strategia działania powinna być dostosowana do sytuacji. Jeżeli występuje przeciek do przewodów i stref, gdzie nie tworzy zagrożenia, to można go zignorować. W przypadku przecieku zanieczyszczonego powietrza do pomieszczeń, z powietrzem wentylującym lub przez nieszczelności instalacji, należy podjąć odpowiednie działania. Najkorzystniejszą sytuacją byłoby całkowite jego wyeliminowanie. Gdy jest to niemożliwe, bądź nieracjonalne, biorąc pod uwagę uwarunkowania techniczne i finansowe, należy podjąć działania możliwie najefektywniejsze i trwałe, ograniczające przeciek zagrażający skażeniem powietrza nawiewanego lub wewnętrznego. Kwestie te poruszono w dalszej części artykułu.

Na rys. 2 przedstawiono schematycznie drogi prawdopodobnego rozprzestrzeniania się patogenu w pomieszczeniu i układzie wentylacyjnym z niekorzystnym układem ciśnienia w centrali wentylacyjnej. Strzałkami czarnymi pokazano możliwy przepływ przez nieszczelności w obudowie i pomiędzy sekcjami. Strzałkami fioletowymi - możliwą ucieczkę powietrza z przewodów bądź zasysanie powietrza do przewodów. Wskazano również miejsca, w których można rozważyć sens zainstalowania dodatkowych urządzeń oczyszczających powietrze.

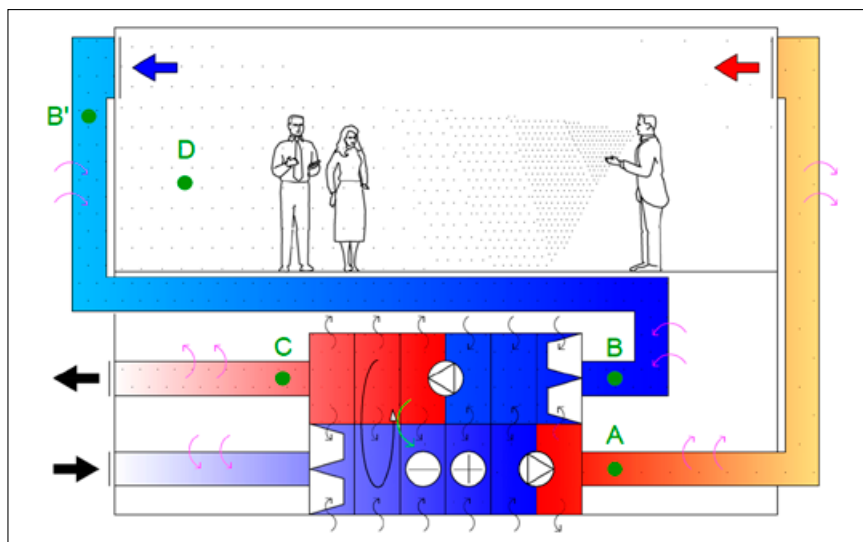
Pod uwagę wzięto kolejne odcinki przebiegu powietrza wentylującego pokazane na rysunku 2, tj.: pomieszczenie, trasa i szczelność przewodów wentylacyjnych, centrale przetłaczające i uzdatniające powietrze oraz lokalizację czerpni i wyrzutni powietrza.

2.1 Pomieszczenie

Na rys. 2 widać, że przepływ powietrza pomiędzy ludźmi wymuszony przez wentylację może być niekorzystny z punktu widzenia rozprzestrzeniania się wirusa. Istotną jest zatem wzajemna lokalizacja osób w pomieszczeniu w powiązaniu ze sposobem organizacji wymiany powietrza. Niekorzystne kształtowanie rozprzysków powietrza w stosunku do rozmieszczenia osób może wpływać na łatwiejsze rozprzestrzenianie się wirusa w pomieszczeniu i większą ekspozycję na patogen.

Poprawę istniejącej sytuacji można osiągnąć poprzez:

- zmianę lokalizacji miejsc przebywania ludzi przy istniejącym sposobie organizacji wymiany powietrza. Należy wówczas unikać sytuowania ludzi w pobliżu wywiewników i starać się, aby przebywali tam, gdzie świeże powietrze jest nawiewane do pomieszczenia. Należy tak rozmieszczać stanowiska pracy w pomieszczeniach i tak kierować



Rys. 2. Potencjalne rozprzestrzenianie się patogenu i miejsca rozważanych lokalizacji dodatkowych urządzeń oczyszczających powietrze (A, B, B', C, D).

Fig. 2. Potential spread of the pathogen and locations of additional air purifying devices under consideration (A, B, B', C, D).

strugi, aby powietrze nie mogło przepływać od jednych osób do kolejnych, tylko w miarę możliwości było usuwane z danego stanowiska, do którego doptywa powietrze świeże;

- zmianę sposobu organizacji wymiany powietrza przy istniejących miejscach przebywania ludzi.

W istniejących instalacjach można to osiągnąć na przykład przesuwając nawiewniki lub wymieniając je na inny typ, zmieniając profil wypływu powietrza z nawiewnika, a nawet jeżeli to możliwe poprzez wymianę maskownic nawiewników o znacznej indukcyjności na umożliwiające skupienie i właściwe ukierunkowanie strug nawiewnych.

- obu powyższych jednocześnie.

Pewne zagrożenie może stanowić niewentylowana przestrzeń międzysufitowa. Warto rozważyć zapewnienie tam choć minimalnej wentylacji zrównoważonej lub podciśnieniowej. Typowe konstrukcje sufitów podwieszanych nie zapewniają jej szczelności.

2.2 Przewody i ich przebieg

Wymagania dotyczące przewodów i urządzeń wentylacji mechanicznej i klimatyzacji podają [8]:

"1. Przewody i urządzenia wentylacji mechanicznej i klimatyzacji powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby zminimalizować odkładanie się zanieczyszczeń na ich powierzchniach wewnętrznych kontaktujących się z powietrzem wentylacyjnym.

2. Przewody powinny mieć przekrój poprzeczny właściwy dla przewidywanych przepływów powietrza oraz konstrukcję przystosowaną do maksymalnego ciśnienia

i wymaganej szczelności instalacji, z uwzględnieniem Polskich Norm dotyczących wytrzymałości i szczelności przewodów."

Mowa tu o normach: PN-EN 1507:2007 Wentylacja budynków - Przewody wentylacyjne z blachy o przekroju prostokątnym - Wymagania dotyczące wytrzymałości i szczelności [12] oraz PN-EN 12237:2005 Wentylacja budynków - Sieć przewodów - Wytrzymałość i szczelność przewodów z blachy o przekroju kołowym [13].

Nieszczelne instalacje stanowią potencjalne zagrożenie, w sytuacji, gdy panuje w nich podciśnienie i przebiegają przez pomieszczenia zanieczyszczone lub gdy w przewodach z zanieczyszczonym powietrzem przebiegających przez inne pomieszczenia panuje nadciśnienie. Dlatego zaleca się sprawdzić, czy na etapie odbiorów instalacji szczelność przewodów wentylacyjnych była badana i czy potwierdzono wymaganą jej klasę oraz wyeliminować ewentualne uszkodzenia powstałe podczas eksploatacji. Warto się również zastanowić nad poprawieniem ich klasy szczelności [14].

2.3 Lokalizacja czepni i wyrzutni

Wymagania co do lokalizowania czepni i wyrzutni powietrza określają dokładnie polskie przepisy [8]. Odległości pomiędzy nimi i do innych elementów wyposażenia i konstrukcji budynków są dla typowych układów jasno sprecyzowane. Dodatkowe, warte rozważenia wytyczne lokalizowania względem siebie czepni i wyrzutni zawarte są również w wycofanej normie PN-EN 13779:2008 Wentylacja budynków niemieszkalnych - Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji

[15]. Przepisy [8] rozstrzygają również sytuacje wyjątkowe tj. "W przypadku usuwania przez wyrzutnię dachową powietrza zawierającego zanieczyszczenia szkodliwe dla zdrowia lub uciążliwe zapachy, (...), odległości (...) należy zwiększyć o 100%.". Skoro powietrze wywiewane praktycznie z każdego budynku może zawierać niebezpieczne wirusy, należałoby je traktować jako zanieczyszczone i szkodliwe dla zdrowia. Jednakże, spełnienie powyższego przepisu, jak i kolejnych, przytoczonych poniżej, w większości istniejących budynków byłoby trudne do zrealizowania. Warto chociażby spróbować realizacji postulatów normy [15] zapewniających odpowiednie rozcieńczenie zanieczyszczeń w powietrzu czepnym. Problematyczna staje się również sytuacja w przypadku zastosowania zablokowanych urządzeń wentylacyjnych, gdyż w myśl przepisu [8]: "Odległość, o której mowa w ust. 10, może nie być zachowana w przypadku zastosowania zablokowanych urządzeń wentylacyjnych, obejmujących czepnię i wyrzutnię powietrza, zapewniających skuteczny rozdział strumienia powietrza świeżego od wywiewanego z urządzenia wentylacyjnego. Nie dotyczy to przypadku usuwania powietrza zawierającego zanieczyszczenia szkodliwe "dla zdrowia, uciążliwe zapachy lub substancje palne". Następną kwestią jest wymóg podany w [8] w punkcie "5. Powietrze wywiewane z budynków lub pomieszczeń, zanieczyszczone w stopniu przekraczającym wymagania określone w przepisach odrębnych, dotyczących dopuszczalnych rodzajów i ilości substancji zanieczyszczających powietrze zewnętrzne, powinno być oczyszczone przed wprowadzeniem do atmosfery.". W sprawie wyrzutni ściennych [8] podają: "Dopuszcza się sytuowanie wyrzutni powietrza w ścianie budynku, pod warunkiem, że: 1a) powietrze wywiewane nie zawiera zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia".

Można założyć, że wprowadzenie modyfikacji w celu spełnienia powyższych przepisów w większości istniejących budynków jest praktycznie niemożliwe, albo wiązałoby się z ogromnymi kosztami inwestycyjnymi. Dlatego zaleca się racjonalizację działań. W sytuacji, kiedy istnieje wysokie ryzyko zawracania powietrza (np. zablokowane czepnia z wyrzutnią), należy rozważyć:

- rozwiązania umożliwiające oczyszczenie powietrza usuwanego,
- modyfikacje polegające na zwiększeniu odległości czepni i wyrzutni w obrębie jednego oraz sąsiadujących układów wentylacyjnych, najlepiej do zgodnych z przepisami, jeśli istnieją takie możliwości techniczne.

Przy wykonywaniu ewentualnych modyfikacji zaleca się uwzględnić dodatkowo

dominujące kierunki wiatrów, tak aby powietrze wywiewane nawet w przepisowej odległości nie mogło zostać porwane i skierowane do czepni powietrza.

2.4 Centrale wentylacyjne

Szczególnie istotny wpływ na możliwość powstania przecieku zanieczyszczonego powietrza do czystego, nawiewnego do pomieszczeń ma konfiguracja centrali wentylacyjnej. Niektóre z nich wyraźnie sprzyjają ryzyku skierowania drobnoustrojów bądź różnego rodzaju innych zanieczyszczeń z powrotem do pomieszczenia – rysunek 3.

Na rys. 3 przedstawiono i przeanalizowano poszczególne konfiguracje bloków central wentylacyjnych z różnymi rozwiązaniami odzysku ciepła i układu wentylatorów. Zaprezentowane układy bloków mogą odpowiadać ułożeniu poziomemu lub piętrowemu central. Warto przy tym zwrócić uwagę na kierunek przepływu kondensatu w wymienniku krzyżowym. W niektórych konfiguracjach dochodzi do przepływu kondensatu w przeciwnym kierunku do powietrza i pojawiania się wody poza tacami ociekowymi. Wśród przedstawionych znajdują się również konfiguracje urządzeń niezalecane do stosowania, ze względu na niekorzystny układ ciśnień, zwiększający ryzyko przecieku powietrza wywiewanego do nawiewanego oraz powstawania naprężeń mechanicznych wywołanych dużą różnicą ciśnień, co sprzyja powstawaniu nieszczelności. Mimo tych wad rozwiązania te są często spotykane w istniejących instalacjach.

Zgodnie z polskimi przepisami [6], urządzenia do odzyskiwania ciepła muszą spełniać wymagania określające maksymalny przeciek między wymieniającymi ciepło strumieniami powietrza:

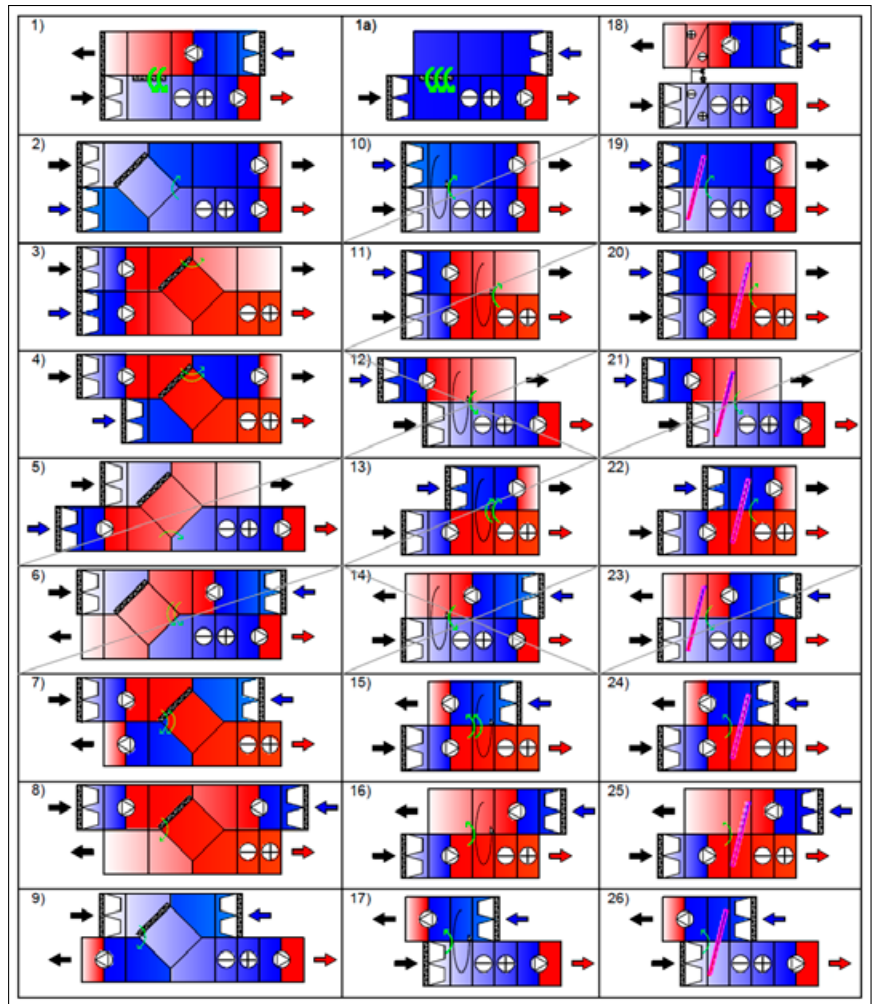
- 0,25% objętości strumienia powietrza wywiewanego z pomieszczenia - w przypadku wymiennika płytowego oraz wymiennika z rurek ciepłych,
- 5% objętości strumienia powietrza wywiewanego z pomieszczenia - w przypadku wymiennika obrotowego,
- przy różnicy ciśnienia 400 Pa.

Wymagania dotyczące szczelności central wentylacyjnych zawarte są również w PN-EN 308:2001 [16], PN-EN-13141-7:2010 [17], PN-EN 1886: 2008E [18] i EN 16798-3:2017 [19].

Konieczność realnego spełnienia powyższych wymagań ma niebagatelne znaczenie dla dalszych rozważań.

2.4.1 Typowe konfiguracje central wentylacyjnych

Na rysunku 3 przedstawiono w uproszczeniu spodziewane rozkłady ciśnienia, w warunkach projektowych, z obliczeniowymi oporami filtrów, przy stosowanych



Rys. 3. Rozkład ciśnienia wewnątrz central dla różnych konfiguracji
Fig. 3. Pressure distribution inside the AHUs for different configurations

powszechnie konfiguracjach central wentylacyjnych. Zaprezentowane konfiguracje zawierają jedynie najbardziej popularne sekcje (filtry, wentylatory, wymienniki ciepła). Wyposażenie w dodatkowe elementy (np. nawilżacz) nie zmieniłoby istotnie przedstawionych przypadków. W rozpatrywanym kontekście decydującą kwestią jest wzajemna lokalizacja wentylatorów - nawiewnego i wywiewnego, w stosunku do wymiennika do odzysku ciepła.

Kolory sekcji obrazują zmiany ciśnienia w centralach, a zmienność odcieni symbolizuje zmienność jego wartości (im kolor bardziej intensywny tym wyższa bezwzględna wartość ciśnienia). Kolorem niebieskim oznaczono podciśnienie, kolorem czerwonym nadciśnienie, natomiast kolorem białym ciśnienie atmosferyczne. Kolor wymiennika dotyczy strumienia powietrza o wyższym ciśnieniu. Strzałka czerwona oznacza kierunek nawiewu do pomieszczenia, niebieska - kierunek wywiewu z pomieszczenia, strzałki czarne - z zewnątrz i na zewnątrz. Przekreślono konfiguracje niezalecane ze względu na niekorzystny układ ciśnienia na wymienni-

ku lub inne względy (np.: nieprawidłowe działanie służby czyszczącej, obniżona sprawność wymiany ciepła). Podwójnym przekreśleniem oznaczono konfiguracje szczególnie niezalecane. Rozważania dotyczą rozkładu ciśnienia w stanie projektowym central (opory obliczeniowe filtrów). Należy zatem uwzględnić dopuszczalną zmienność oporów filtrów w trakcie eksploatacji. Może to spowodować zmianę układu ciśnienia z korzystnego nawet na niekorzystny. Przeciwdziałać można temu zjawisku odpowiednio zmieniając nastawione na presostatach graniczne wartości spadków ciśnienia na filtrach, uwzględniając ewentualne zmiany w algorytmie układu automatycznej regulacji. W niektórych konfiguracjach central przydatny byłby dodatkowy pomiar różnicy ciśnienia pomiędzy nawiewem i wywiewem na wymienniku do odzysku ciepła, sygnalizujący niekorzystny układ ciśnienia.

Na rysunku 3, jako konfigurację 1, pokazano typową centralę wentylacyjną z komorą mieszania. Pod numerami od 2 do 9 przedstawiono różne konfiguracje central z wymiennikiem krzyżowym. Ponadto, uwagi

o konfiguracjach od 6 do 9 obowiązują także dla rozwiązań z wymiennikiem przeciwprądowym. Konfiguracje od 10 do 17 dotyczą układów wykorzystujących regeneracyjny wymiennik obrotowy bądź akumulacyjny (przełączeniowy). Konfiguracja 18 to układ rozdzielony z wymiennikami z czynnikiem pośredniczącym. Konfiguracje od 19 do 26 to rozwiązania z wymiennikiem typu rurka ciepła (heat pipe) bądź z pompą ciepła. Dla każdej konfiguracji, zielonymi strzałkami, pokazano kierunek możliwych przecieków. Celem zobrazowania i porównania szacunkowej ilości przeciekającego powietrza, strzałkom nadano różne grubości oraz narysowano różne ich ilości. Intensywność przecieku oszacowano na podstawie przewidywanych układów ciśnienia oraz dopuszczalnych przepisami nieszczelności. Należy rozważyć również sytuację, w której dochodzi do przecieku wynikającego z awarii lub rozszczelnienia układu odzysku ciepła, np.: w konsekwencji odształceń, uszkodzeń w transporcie lub niewłaściwego serwisowania i użytkowania.

2.4.2 Centrale z recyrkulacją i komorą mieszania

W przypadku układów recyrkulacyjnych (konfiguracja 1), gdzie podczas normalnej pracy centrali część powietrza jest stale kierowana z powrotem do pomieszczenia, zawracanie zanieczyszczeń, o ile znajdują się one w powietrzu wywiewanym, jest nieuniknione.

W układach takich zaleca się szczelne zaślepienie gniazda przepustnicy (zamknięcie nie wystarczy, ze względu na standardową nieszczelność przepustnicy) w komorze mieszania i zapewnienie pracy układu ze 100% udziałem powietrza zewnętrznego. Obecnie, zapewnienie takiej możliwości wymagane jest w Polsce przepisami prawa [8]: *“W przypadku stosowania recyrkulacji powietrza w instalacjach wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej lub klimatyzacji należy stosować układy regulacji umożliwiające w korzystnych warunkach pogodowych zwiększanie udziału powietrza zewnętrznego do 100%.”*

Dla układów pracujących z dużym udziałem powietrza recyrkulowanego, w praktyce można spotkać błędne rozwiązania, polegające na zastosowaniu przewodów powietrza zewnętrznego i usuwanego mniejszych niż przewody nawiewne i wywiewne. W takich układach próba zwiększenia strumienia powietrza zewnętrznego będzie się wiązała ze wzrostem oporów przepływu w tych przewodach i zmniejszeniem się strumienia powietrza nawiewanego i wywiewanego, a nawet zmianą układu ciśnień.

Szczególnym przypadkiem rozwiązania centrali recyrkulacyjnej jest układ z jednym

wentylatorem (konfiguracja 1a). Jest to typowa konfiguracja dla klimatyzatorów typu rooftop i central spełniających rolę aparatów grzewczo-wentylacyjnych. W takim przypadku istnieją dwa możliwe sposoby działania. Pierwszym jest zainstalowanie skutecznego oczyszczacza powietrza recyrkulowanego. Drugim jest, trudna do realizacji, generalna przebudowa systemu wentylacyjnego.

Należy również rozważyć działania dodatkowe opisane w punkcie 2.4.9.

2.4.3 Centrale z wymiennikiem krzyżowym

W przypadku wymienników krzyżowych, strumienie powietrza nawiewanego i wywiewnego są odseparowane od siebie (wymiana ciepła zachodzi przez przepone pośredniczącą, rozdzielającą oba strumienie) i przepływają względem siebie krzyżowo, nie mieszając się. W wyniku nieszczelności mogą pojawić się przecieki powietrza wywiewanego do nawiewanego, które nie powinny przekraczać 0,25% przy różnicy ciśnienia 400 Pa. Stąd istotną kwestią jest lokalizacja wentylatorów nawiewnego i wywiewnego względem takiego wymiennika i będący tego konsekwencją układ ciśnień w urządzeniu.

Ze względów konstrukcyjnych nie powinno się projektować układów, w których wymiennik po jednej stronie znajduje się w części ssawnej, a po drugiej, w części tłocznej wentylatora ze względu na duże obciążenia mechaniczne zależne od wytworzonej różnicy ciśnienia (konfiguracje 4, 5, 6, 7).

Z punktu widzenia ograniczenia ryzyka przedostawania się powietrza wywiewanego do nawiewanego, preferowanymi konfiguracjami central są rozwiązania, w których ciśnienie w sekcji wymiennika w centrali nawiewnej jest wyższe od ciśnienia po stronie powietrza wywiewanego. Sytuacja taka występuje w konfiguracjach 2, 3, 4, 7 i 8. Jednakże nadmierna różnica ciśnienia pomiędzy nawiewem i wywiewem nie jest pożądana. Wywołane nią obciążenie mechaniczne wymiennika, szczególnie gdy wentylatory pracują na wysokich sprężach, może go z czasem uszkodzić i rozszczelnić. Stąd konfiguracje 4 i 7 są mniej pożądane, choć rozszczelnienie takie nie spowoduje przepływu zanieczyszczeń z wywiewu do nawiewu, z uwagi na korzystny układ ciśnień. Najmniej problematyczne są konfiguracje 2, 3, 8, z uwagi na umiarkowane nadciśnienie po stronie nawiewu.

Natomiast najbardziej problematycznymi konfiguracjami są takie, w których ciśnienie jest wyższe po stronie wywiewu (konfiguracje 5, 6), a duża różnica ciśnień sprzyja uszkodzeniom i w konsekwencji rozszczelnieniu wymiennika. Można wówczas czę-

ściowo poprawić sytuację, otwierając przepływ powietrza zewnętrznego jednocześnie przez wymiennik krzyżowy (jeżeli to możliwe) i przez jego obejście. By-pass pozwala na częściowe ominięcie wymiennika przez strumień powietrza nawiewanego. Dzięki temu możliwe są dwa scenariusze:

a. Zachowanie strumienia powietrza nawiewanego przy mniejszych spadkach ciśnienia na wymienniku krzyżowym. W efekcie zmniejszy się podciśnienie po stronie nawiewu, a także niekorzystna różnica ciśnienia pomiędzy nawiewem i wywiewem i potencjalny przeciek zmaleje. Ponadto obniżenie obrotów wentylatora nawiewnego spowoduje zmniejszenie zużycia energii elektrycznej przez centralę.

b. Dzięki mniejszym spadkom ciśnienia na wymienniku krzyżowym, możliwe będzie osiągnięcie większego strumienia powietrza zewnętrznego, przy tych samych obrotach wentylatora. Zwiększenie strumienia powietrza zewnętrznego spowoduje większe rozcieńczenie zanieczyszczeń pochodzących z przecieku z wywiewu. Przy zwiększeniu ilości powietrza nawiewanego w stosunku do wywiewanego, w pomieszczeniu zostanie wytworzone nadciśnienie.

Oba scenariusze mogą wymagać zmian konfiguracji układu automatycznej regulacji.

Należy również rozważyć działania dodatkowe opisane w punkcie 2.4.9.

2.4.4 Centrale z wymiennikiem krzyżowym przeciwprądowym

Konfiguracje od 6 do 9, opisane w odniesieniu do wymiennika krzyżowego, są tożsame dla wymiennika krzyżowego przeciwprądowego i zalecane są analogiczne działania, jak opisane w punkcie 2.4.3.

2.4.5 Centrale z obrotowym lub akumulacyjnym wymiennikiem regeneracyjnym

W przypadku wymienników obrotowych pełne odseparowanie strumieni powietrza wywiewanego i nawiewanego nie jest zapewnione. Zgodnie z przepisami, dopuszczalne przecieki powietrza wywiewanego do nawiewanego wynoszą 5% przy różnicy ciśnienia 400 Pa. Nieszczelności te wynikają głównie z niedoskonałości uszczelnienia pomiędzy częścią nawiewną i wywiewną na styku z powierzchnią wymiennika (np. na uszczelce wargowej). Ryzyko to można zniwelować, zapewniając właściwy układ ciśnień i wentylatorów.

Natomiast wymienniki akumulacyjne (przełączanie strumieni powietrza) narażone są na pojawiające się z czasem uszkodzenia układów przełączających i ich znaczne

rozszczelnienie. Ponadto świeże powietrze zewnętrzne przepływa przez te same kanałki, co zanieczyszczone powietrze usuwane. W obrotowym (bądź akumulacyjnym) wymienniku zawsze zostaje jakaś porcja powietrza. Groźne zanieczyszczenia tj. wirusy, bakterie, pierwotniaki i grzyby mogą osiadać w wymienniku lub zbierać się na materiale higroskopijnym i w rezultacie wrócić z powietrzem nawiewanym do pomieszczeń. Powyższe zjawisko można ograniczyć w wymiennikach obrotowych, poprzez zainstalowanie tzw. śluzu czyszczącej, w której część strumienia świeżego powietrza przepływa kanałkami i odprowadza zużyte powietrze na zewnątrz wraz z powietrzem usuwanym. W efekcie kanałki opuszczające sekcję czyszczącą nie przenoszą powietrza wywiewanego, a wypełnia je świeże powietrze zewnętrzne. Śluza czyszcząca powinna się znaleźć w każdej konstrukcji rotora i zapewnić blokadę przepływu powietrza w wypełnieniu wymiennika z wywiewu do nawiewu. Zdarza się jednak, że nie jest montowana w niektórych centralach. Stosowanie śluzu ma sens tylko wtedy, kiedy układ ciśnienia jest prawidłowy – wyższe ciśnienie po stronie powietrza zewnętrznego. W takiej sytuacji, jeżeli dodatkowo śluza ma regulowaną przepustowość, to należy pozostawić ją w stanie maksymalnego otwarcia. Przy niewłaściwym układzie ciśnienia trzeba zadbać o to, żeby śluza nie było lub by była zaślepią.

Ponadto w wymienniku akumulacyjnym już sam moment przełączania umożliwia, szczególnie w niekorzystnym usytuowaniu wentylatorów, znaczne przepływy powietrza pomiędzy nawiewem i wywiewem. Tych zjawisk nie wyeliminuje nawet korzystny układ ciśnienia (wyższe ciśnienie po stronie nawiewu).

Ze względu na nawet dwudziestokrotnie większą dopuszczalną nieszczelność wymienników obrotowych, w porównaniu do wymienników krzyżowych, konsekwencje niekorzystnych układów ciśnienia będą potencjalnie bardziej niebezpieczne. W tym przypadku preferowane i niezalecane konfiguracje układu wentylatorów względem wymiennika ciepła są analogiczne jak dla wymienników krzyżowych.

Z punktu widzenia ograniczenia ryzyka przedostawania się powietrza wywiewanego do nawiewanego, preferowanymi układami są rozwiązania, w których ciśnienie po stronie nawiewanego powietrza jest wyższe od ciśnienia po stronie powietrza wywiewanego. Sytuacja taka występuje w konfiguracjach 10, 11, 13, 15, 16 i 17. Jednakże tu również nadmierna różnica ciśnienia między nawiewem i wywiewem jest niekorzystna. Gdy wentylatory pracują z wysokimi sprężami, może z czasem dojść do uszkodzenia uszczelnienia na styku sekcji nawiewu

i wywiewu i na obwodzie wymiennika. Stąd konfiguracje 13 i 15 są mniej pożądane, pomimo tego, że rozszczelnienie takie nie spowoduje przepływu zanieczyszczeń z wywiewu do nawiewu, z uwagi na korzystny rozkład ciśnień.

Najmniej problematycznymi konfiguracjami z punktu widzenia rozpatrywanych zagadnień są 16 i 17, ze względu na umiarkowane nadciśnienie na rotorze po stronie nawiewu.

Ze względu na gorszą wymianę ciepła w przepływie współprądowym niezalecane są spotykane sporadycznie konfiguracje 10, 11, 12, 13, choć konfiguracje 10 i 11 charakteryzują się korzystnym układem ciśnień.

Natomiast najbardziej niekorzystnymi konfiguracjami są takie, w których ciśnienie jest wyższe po stronie wywiewu (konfiguracje 12, 14), ponieważ powoduje to zawrót do pomieszczenia zanieczyszczonego powietrza z przecieku.

W przypadku tego typu układów zaleca się zatrzymać rotor lub układ przełączający w wymienniku akumulacyjnym. Ponadto powinno się sprawdzić i zapewnić szczelność pomiędzy sekcjami nawiewu i wywiewu.

W obrotowym wymienniku kondensacyjnym wirusy mogą być również przenoszone wraz z kondensatem pojawiającym na masie rotora i przemieszczającym się pomiędzy strumieniami powietrza.

W przypadku wymienników z właściwym układem ciśnienia oraz wyposażonych w śluzę czyszczącą powinno się zmienić jej nastawę na maksymalne otwarcie i pozostawić wymiennik włączony.

Należy również rozważyć działania dodatkowe opisane w punkcie 2.4.9.

2.4.6 Centrale z wymiennikiem typu rurka ciepła (heat pipe) i pompą ciepła

W tego typu układach, w założeniu, powietrze wywiewane nie ma kontaktu z powietrzem nawiewanym. Ponieważ jednak całość zamknięta jest w jednej obudowie, konieczne jest zapewnienie szczelności poszczególnych sekcji oraz uszczelnienie wymiennika na styku części nawiewnej i wywiewnej. Odpowiedni układ ciśnienia w przypadku możliwych nieszczelności konstrukcyjnych też tu nie jest bez znaczenia. Zatem preferowane są konfiguracje 19, 20, 22, 24, 25, 26.

W przypadku pojawienia się nieszczelności niekorzystne mogą okazać się konfiguracje 21, 23.

2.4.7 Centrale z wymiennikiem z czynnikiem pośredniczącym

W tego typu układach (konfiguracja 18) powietrze wywiewane nie ma możliwości kontaktu z powietrzem nawiewanym, stąd

nie są konieczne jakiegokolwiek zmiany w funkcjonowaniu takiego układu. Dlatego tego typu rozwiązania spotyka się często w obiektach służby zdrowia i wszędzie tam, gdzie powietrze usuwane niesie ze sobą niebezpieczne zanieczyszczenia. Niestety układy tego typu mają względnie małe sprawności odzysku ciepła.

W tego typu układach powinno się wziąć pod uwagę możliwość zwiększenia strumienia powietrza nawiewanego i wywiewanego celem skuteczniejszego rozcieńczenia potencjalnych zanieczyszczeń.

2.4.8 Instalacje z klimakonwektorami

W instalacjach z dwustopniową obróbką powietrza (klimakonwektory w pomieszczeniach) mamy do czynienia z minimalnym przepływem powietrza świeżego (minimalny strumień higieniczny) przez pomieszczenie i dużą wewnętrzną cyrkulacją powietrza przez klimakonwektory. Ze względu na niewielki strumień powietrza zewnętrznego trudny do zwiększenia, poprawę jakości powietrza mogą zapewnić autonomiczne oczyszczacze powietrza wewnątrz pomieszczeń. W klimakonwektorach, jeżeli to możliwe, można rozważyć wymianę zwykłych filtrów na elementy skuteczniej oczyszczające lub/i sterylizujące powietrze (lampy UV, jonizatory plazmowe, filtry węglowe, filtry elektrostatyczne, filtry nasycone wyciągami roślinnymi - biofiltry, filtry fotokatalityczne, filtry antybakteryjne z jonami srebra itp.). W przypadku braku takich opcji, poza okresami występowania istotnych potrzeb chłodniczych czy grzewczych, zaleca się ograniczyć bądź wstrzymać ich pracę. W sytuacji takiej zaleca się rozważyć intensyfikację wentylacji poprzez otwieranie okien i wietrzenie, nawet kosztem niedotrzymania w pełni parametrów komfortu cieplnego.

Dodatkowo należy czyścić i odkażać na bieżąco wymienniki pracujących klimakonwektorów.

Ponadto, zaleca się właściwie ukierunkować strugi powietrza z klimakonwektora, unikając bezpośredniego kierowania ich na ludzi (wyłączyć funkcję swing).

Natomiast do instalacji powietrza świeżego, będącej częścią składową tych systemów, mają zastosowanie zasady opisane w punktach od 2.4.1 do 2.4.7 oraz 2.4.9.

2.4.9 Działania dodatkowe i uzupełniające

Zgodnie z zaleceniami ASHRAE [3], REHVA [4], NIZP-PZH [5], w warunkach ryzyka zakażeniem koronawirusem, strumień powietrza wentylującego, a w szczególności powietrza świeżego nie powinny być zmniejszane, a wręcz należy dążyć do intensyfikacji wentylacji. Dlatego żadne działania

nie powinny powodować zmniejszenia strumienia powietrza.

Niezależnie od konfiguracji centrali, w razie zwiększenia strumienia powietrza zewnętrznego, wyeliminowania recyrkulacji lub odzysku ciepła, wzrośnie wymagana moc nagrzewnicy i moc chłodnicy powietrza w centrali. Podejmując tego rodzaju działania, należy zatem sprawdzić zależną od źródła ciepła możliwość zwiększenia przepływu lub/i temperatury zasilania czynnika grzewczego (podwyższenie parametru). Analogicznie należy postąpić w przypadku czynnika chłodniczego. Jednak przy zwiększonym strumieniu powietrza zewnętrznego nagrzewnica i chłodnica, w zależności od chwilowych warunków atmosferycznych, mogą nie zapewnić parametrów powietrza nawiewanego, umożliwiających utrzymanie komfortu cieplnego w pomieszczeniach. W takiej sytuacji zaleca się rozważyć dwa poniższe scenariusze, w zależności od reżimu technologicznego oraz warunków atmosferycznych.

a. Pierwszy scenariusz to bezwzględne zapewnienie maksymalnego strumienia powietrza zewnętrznego w celu maksymalnego rozcieńczenia zanieczyszczeń, nawet kosztem nie utrzymania parametrów powietrza w pomieszczeniu. Realizacja tego scenariusza może powodować znaczne przekroczenia zalecanych parametrów mikroklimatu.

b. Drugi scenariusz to zwiększanie strumienia powietrza zewnętrznego tylko do poziomu umożliwiającego osiągnięcie jeszcze akceptowalnych parametrów mikroklimatu. W porównaniu ze scenariuszem opisanym w a), może się to wiązać z mniejszym rozcieńczeniem zanieczyszczeń.

W punktach od 2.4.3 do 2.4.7 wskazano konfiguracje central, w których nie ma możliwości zmiany układu ciśnienia na korzystny, bez ingerencji w konfigurację systemu, a więc bez dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Istnieje w tej sytuacji kilka sposobów zmniejszenia ryzyka wtórnego zanieczyszczenia powietrza nawiewanego:

a. W przypadku konfiguracji 5, 6, 12, 14, 21 i 23, problem można rozwiązać poprzez modyfikację centrali wentylacyjnej, kosztem rezygnacji z odzysku ciepła. Powietrze z sekcji wentylatora wywiewnego należałoby skierować bezpośrednio na zewnątrz, zaslepiając szczelnie drogę przepływu przez wymiennik do odzysku ciepła. Rozwiązanie takie najłatwiej zastosować dla central zamontowanych na zewnątrz, gdyż nie wywołuje to konieczności rozbudowy sieci przewodów. Należy jednak wtedy pamiętać o właściwym uzbrojeniu nowego otworu wyrzutowego.

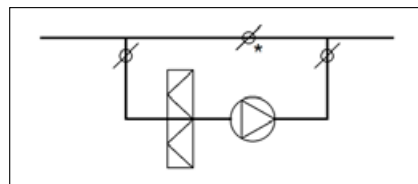
b. W sytuacji, kiedy nie można wyeliminować obecności wirusa w powietrzu nawiewanym albo wywiewanym, jako pierwsze rozwiązanie nasuwa się zastosowanie wysokosprawnych filtrów na odpowiednim strumieniu powietrza. Jednakże należy pamiętać, że im wyższa klasa filtra, tym większe jego opory przepływu powietrza. Klasyczne filtry, które są w stanie zatrzymać wirusy ze sprawnością bliską 100% powodują duże straty ciśnienia, które w normalnych instalacjach znacznie ograniczą strumień powietrza. Zastosowane działania nie powinny zmniejszać tego strumienia. Dlatego rozwiązanie takie jest zasadniczo niezalecane, chyba, że istnieje nadmiar sprężu wentylatorów, a wzrost hałasu będzie akceptowalny. Można także wziąć pod uwagę ewentualność wymiany wentylatorów lub ich silników na wydajniejsze, tak aby zachować wielkość strumienia powietrza. Alternatywą mogą okazać się rozwiązania powodujące mniejsze spadki ciśnienia:

- przewodowe filtry elektrostatyczne,
- urządzenia przewodowe z lampami UVc, w szczególności wytwarzające H_2O_2 do dezaktywacji wirusa,
- przewodowe jonizatory powietrza.

Stosując tego typu urządzenia, należy uwzględnić fakt, że mogą one generować niebezpieczne dla ludzi substancje (np.: H_2O_2 , O_3) lub czynniki (promieniowanie UV). Dlatego należy je stosować w sposób uniemożliwiający ekspozycję ludzi na te czynniki w stopniu im zagrażającym.

Filtry oraz powyższe urządzenia mogą być również zamontowane na przewodzie bocznikowym, z dodatkowym wentylatorem wspomagającym (rys. 4). Powietrze zasysane z głównego przewodu, po filtracji lub dezynfekcji wracałoby do niego z powrotem. W ten sposób pewna część powietrza płynącego przewodem zostanie oczyszczona, w efekcie zmniejszona zostanie ilość drobnoustrojów w powietrzu w przewodzie głównym.

Kwestią, którą należy rozstrzygnąć jest miejsce usytuowania elementu, bądź urządzenia oczyszczającego powietrze w systemie wentylacyjnym. Istnieje możliwość zain-



Rys. 4. Idea urządzenia oczyszczającego w przewodzie bocznikowym, * - przepustnica dodatkowa
Fig. 4. The idea of a cleaning device in the by-pass duct, * - additional damper

stalowania go w przewodzie nawiewnym - za centralą (rysunek 3 lokalizacja A), w przewodzie wywiewnym - przed centralą (rysunek 3 lokalizacja B) lub tuż przy pomieszczeniu (rysunek 3 lokalizacja B'), w przewodzie powietrza usuwanego (rysunek 3 lokalizacja C) lub w samym pomieszczeniu (rysunek 3 lokalizacja D).

- Umieszczenie takiego urządzenia w przewodzie wywiewnym (rysunek 3 lokalizacja B lub B') wiąże się z oczyszczaniem powietrza bardziej zanieczyszczonego. Przy danej sprawności ilość niezatrzymanych wirusów przez filtr umieszczony w przewodzie wywiewnym będzie znacznie większa niż w przypadku umieszczenia go w przewodzie nawiewnym.
- Z punktu widzenia potencjalnych nieszczelności instalacji, lokalizacja filtra powietrza wywiewanego blisko pomieszczenia zapobiega przepływowi zanieczyszczonego powietrza w całym układzie wywiewnym. Jednocześnie osiąga się znaczne zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza usuwanego na zewnątrz budynku i brak ewentualnej konieczności zmiany lokalizacji czerpni i/lub wyrzutni; opisano w punkcie 2.3.
- Dodatkowo, element oczyszczający w przewodzie wywiewnym (rysunek 3, lokalizacja B lub B') umieszczony jest w strefie podciśnienia, a więc unika się w ten sposób wycieku powietrza zanieczyszczonego na zewnątrz instalacji.
- Z drugiej strony, umieszczenie urządzenia oczyszczającego o znacznym oporze przepływu powietrza (np.: filtr) na przewodzie wywiewnym bezpośrednio za pomieszczeniem (rysunek 3 lokalizacja B') powoduje zwiększenie podciśnienia w całej instalacji wywiewnej i potęguje zasysanie powietrza przez nieszczelności do przewodów prowadzonych przez pomieszczenia i strefy zanieczyszczone.
- W przypadku potencjalnego przecieku z wywiewu do nawiewu, umiejscowienie elementu oczyszczającego w przewodzie nawiewnym w strefie dużego nadciśnienia zwiększa ryzyko wydostania się powietrza zanieczyszczonego sprzed tego urządzenia na zewnątrz.
- Argumentem przemawiającym za montażem urządzenia oczyszczającego w przewodzie nawiewnym jest zapewnienie filtracji powietrza skażonego czerpanego z zewnątrz przy niekorzystnym wzajemnym położeniu czerpni i wyrzutni (np.: urządzenia zblokowane).
- Czynnikiem decydującym o lokalizacji dodatkowego urządzenia oczyszczającego jest też dostępny nadmiar sprężu

dyspozycyjnego wentylatorów nawiewnego i wywiewnego. Może się okazać, że korzystne będzie umieszczenie takiego elementu tam, gdzie jeszcze jest odpowiedni zapas, albo istnieje techniczna możliwość jego zwiększenia np.: poprzez zwiększenie prędkości obrotowej silnika wentylatora lub wymianę kół pasowych (o ile moc silnika na to pozwala).

Niezależnie od konfiguracji centrali, należy zwrócić uwagę na to, że:

1. Alternatywą do filtracji powietrza w instalacji, a także działaniem uzupełniającym do wszelkich innych powyższych zaleceń jest uzdatnianie powietrza w pomieszczeniu oczyszczaczami z wysokosprawnymi filtrami (np.: HEPA lub elektrostatycznymi) lub dezaktywowanie wirusa jonizowaniem tego powietrza (rysunek 3 lokalizacja D).
2. Należy zapewnić szczelność wszystkich zamknięć wodnych (syfonów) w centrali lub zastępujących je innych rozwiązań technicznych (np.: PUE).
3. Należy też sprawdzić szczelność i ewentualnie doszczelnąć obudowy central wentylacyjnych (np.: połączenia między sekcjami, dławikowe przejścia instalacyjne i osadzenia drzwi rewizyjnych). Powietrze z patogenami z sekcji nadciśnieniowych może dostawać się do maszynowni, a z maszynowni może być zasysane przez sekcje podciśnieniowe. Istotne jest zatem również zapewnienie skutecznej, niezależnej wentylacji maszynowni.

Wskazane jest podjęcie działań zapewniających utrzymanie właściwego układu ciśnienia pomiędzy pomieszczeniami i układami oraz prowadzenie jego systematycznej kontroli.

W sytuacjach, kiedy nie można zaakceptować jakiegokolwiek zawrócenia zanieczyszczeń, istnieje opcja utrzymania pracy samego nawiewu, przez co uzyskuje się nadciśnienie w pomieszczeniach. Rozwiązanie takie pozwala na wykorzystanie potencjału rozcieńczania powietrzem świeżym, nawiewanym w sposób uporządkowany do pomieszczeń (poprzez do tego celu zaprojektowane nawiewniki) i kształtującym tam odpowiedni mikroklimat. Zużyte powietrze wypływać będzie na zewnątrz przez nieuszczelności, odpowiednio wybrane okna i drzwi oraz wywiew z sanitariatów. Wentylatory w toaletach powinny w takim przypadku działać w trybie ciągłym. Tak skonfigurowany układ ciśnienia dodatkowo zabezpieczy pomieszczenia bytowe przed niekontrolowanym napływem zanieczyszczonego powietrza z otoczenia i innych instalacji.

Z tych samych powodów co powyżej, w niektórych przypadkach można zastosować tylko wywiew mechaniczny i zapewnić odpowiedni dopływ powietrza do pomieszczeń poprzez wybrane otwarte okna i drzwi (do stref pracy), jeśli w tej sytuacji nie ma zagrożenia napływu powietrza z toalet. Ponadto należy skutecznie uniemożliwić dopływ powietrza z innych układów i pomieszczeń nieobsługiwanych przez dany system.

Zaleca się pracę całodobową układów wentylacyjnych, z ewentualnym obniżeniem nocnym, ale skróconym – instalacja startuje z pełną wydajnością z odpowiednim wyprzedzeniem i wyłącza się z odpowiednim opóźnieniem.

W obu powyższych przypadkach wentylatory w toaletach załączane z włączeniem światła powinny być przestawione na tryb pracy ciągłej. Źródłem zakaźnego aerozolu mogą być także niezamknięte przy sfluikiwaniu miski ustępowe, pisuary, bidety i odświeżacze powietrza [1].

Należy zwrócić uwagę na potencjalne zagrożenie powstające w przypadku stosowania wywiewu powietrza z pomieszczenia do pomieszczenia, na przykład: z pomieszczenia biurowego poprzez kratki kontaktowe do korytarza lub innych sąsiednich pomieszczeń, z szatni pracowniczej do hali produkcyjnej, itp.

W układach wentylacyjnych bez odzysku ciepła powinno się wziąć pod uwagę możliwość zwiększenia strumienia powietrza nawiewanego i wywiewanego, celem skutoczniejszego rozcieńczenia potencjalnych zanieczyszczeń. Powyższe należy również rozważyć w przypadku urządzeń mechanicznych tylko nawiewnych lub tylko wywiewnych.

Do intensyfikacji wentylacji różnego rodzaju pomieszczeń (np. klatek schodowych), można rozważyć wykorzystanie instalacji wentylacji oddymiającej lub/i napowietrzającej.

Na podstawie informacji o właściwościach wirusa i jego wrażliwości na wysoką temperaturę i wilgotność należałoby się zastanowić nad możliwościami wykorzystania klimatyzacji do dezaktywacji wirusa. Na przykład system wykorzystujący wysokotemperaturowe elementy grzewcze (okresowy prze-grzew), lokalne zwiększanie wilgotności. Być może montaż dodatkowych lamp UVc i skierowanie ich światła na wymienniki, bądź filtry od strony napływu, bądź odpływu powietrza pomoże w jakiś sposób. Na chwilę obecną nie ma o tym informacji w publikacjach branżowych. Skuteczność tego typu metod powinna być przedmiotem przyszłych badań.

Procedury postępowania

Zaleca się następujący tok postępowania:

- I. **Działania wstępne – rozpoznanie zagrożenia.**
 1. Zapoznanie się z dokumentacją pod kątem:
 - strumieni powietrza,
 - organizacji wymiany powietrza,
 - układów ciśnienia w centrali i w obszarze wentylowanym,
 - klas filtracji powietrza,
 - tras prowadzenia przewodów (pod kątem emisji zanieczyszczonego powietrza),
 - lokalizacji czerpni i wyrzutni.
 2. Weryfikacja dokumentacji obiektu z uwzględnieniem:
 - zgodności wykonania instalacji z dokumentacją (urządzenia, elementy regulacyjne, rodzaj i oprzyrządowanie nawiewników),
 - rozmieszczenia i zagęszczenia stanowisk pracy i miejsc gromadzenia się ludzi,
 3. Przegląd stanu instalacji:
 - Kontrola stanu czystości instalacji (filtry, przewody).
 - Kontrola rozkładów ciśnienia w instalacji (centrala, kanały, pomieszczenia) - metodami pomiarowymi.
 - Rozpoznanie ustawień i możliwości zmiany kierunków nawiewu powietrza w stosunku do miejsc przebywania ludzi.
 - Kontrola ciągłości i prawidłowości pracy wentylacji wywiewnej węzłów sanitarnych.
 - Sprawdzenie szczelności central oraz przewodu czerpalnego i wyrzutowego na odcinkach biegnących wewnątrz budynku.
 4. Wskazanie miejsc wymagających podjęcia i ustalenia metod działań zabezpieczających.
- II. **Wybór środków zaradczych**
 5. Wymiana nadmiernie zabrudzonych filtrów, z zachowaniem bezpiecznych procedur (Uwaga na właściwe nastawy graniczne presostatów!).
 6. Maksymalne możliwe zwiększenie strumienia powietrza zewnętrznego.
 7. Likwidacja recyrkulacji centralnej i wewnętrznej zgodnie z zaleceniami [3 i 4] i punktem 2.4.9.
 8. W miarę możliwości, zapewnienie korzystnych układów ciśnień.
 9. Likwidacja groźnych przecieków i nieuszczelności, niejednokrotnie będących efektem niedbałego wykonania instalacji oraz zużywania się lub zniszczenia elementów uszczelniających.

10. Dobór i lokalizacja dodatkowych elementów oczyszczających powietrze (w instalacji i w pomieszczeniach), w razie braku możliwości likwidacji groźnych przecieków, w zależności od lokalnych uwarunkowań.
11. Dostosowanie organizacji wymiany powietrza (głównie nawiewu) do rozmieszczenia miejsc przebywania ludzi, względnie reorganizacji aranżacji pomieszczenia. Zmiana profilu strug nawiewnych może polegać na zmianie ustawienia kierownic nawiewnika (jeśli są) lub w ostateczności na wymianie płyty czołowej (maskownicy).
12. Dostosowanie częstości, zakresu i procedur okresowych kontroli układów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych do ryzyka występowania mikrobiologicznego skażenia powietrza w danej instalacji i budynku.

III. Doraźne działania uzupełniające

13. Intensyfikacja wentylacji przez wietrzenie.
14. Wykorzystanie elementów instalacji wentylacji pożarowej.
15. Zapewnienie właściwego układu ciśnienia poprzez wykorzystanie tylko nawiewu lub tylko wywiewu, w zależności od potrzeb.

Podsumowanie

W obecnej sytuacji dużej niepewności wielu, często sprzecznych ze sobą informacji, należy podejmować działania zakładające najgorsze scenariusze. Konieczność przebywania w domach oraz stopniowego powrotu do pracy i powolnego ożywiania gospodarki wiąże się również z potrzebą powrotu na stanowiska pracy znajdujące się w pomieszczeniach zamkniętych, obsługiwanych przez różnego rodzaju systemy wentylacyjne. Do podstawowych obowiązków pracodawcy należy w szczególności organizacja pracy w sposób zapewniający bezpieczne i higieniczne jej warunki [11]. Wymaga to podjęcia odpowiednich działań. Dlatego, zakładając, że system wentylacyjny potencjalnie może rozprzestrzenić wirusa SARS-CoV-2, koniecznym staje się przeciwdziałanie temu zjawisku. Ponadto, zakładając powietrzną drogę rozprzestrzeniania wirusa, istotną staje się właściwa lokalizacja stanowisk pracy względem elementów nawiewnych i wywiewnych, zależnie od zastosowanego systemu organizacji wymiany powietrza.

W warunkach aktualnej wiedzy bardzo trudno jest oszacować jaką ilość wirusów w powietrzu i jakie wielkości ewentualnych przecieków są niebezpieczne. Zagrożenie

zakażeniem może być zależne od wielu czynników: cech osobniczych, stopnia rozcieńczenia w trakcie przepływu przez system wentylacyjny i pomieszczenie, warunki temperaturowe i wilgotnościowe. Dlatego ocena tego ryzyka i podjęcie decyzji o rodzaju, zakresie i kosztach działań w konkretnym budynku i instalacji powinna być dokonana przez służby techniczne lub zarządców budynku, z pełną świadomością ryzyka powstania szkód przy niewłaściwym wyborze lub implementacji zmian.

Przedstawione powyżej rozważania pokazują jednak, że właściwe obsługiwanie i ewentualne zmodyfikowanie istniejących układów wentylacyjnych może w znacznym stopniu zmniejszyć ryzyko rozprzestrzeniania się choroby COVID-19 i innych przez systemy wentylacyjne. Wszystko to przeważnie niedużym nakładem pracy i środków, związanych na przykład z przełączaniem trybów pracy, ewentualnie doposażaniem instalacji w dodatkowe elementy oczyszczające, niskokosztowe prace związane z doszczelnieniem i przeregulowaniem instalacji.

Takie działania spowodują również ograniczenie możliwości rozprzestrzeniania się innych patogenów (bakterie, wirusy, pierwotniaki, grzyby, pleśnie) i innych zanieczyszczeń biologicznych (pyłków powodujących alergię, astmę itp.), fizycznych lub chemicznych zarówno pochodzenia wewnętrznego jak i zewnętrznego. Efekty tych działań mogą się przydać w przyszłości, na wypadek nowych epidemii, bądź innych niecodziennych zdarzeń. Zmianom mogłyby ulegać jedynie lokalizacja albo rodzaj elementu filtracyjnego/neutralizującego dany czynnik szkodliwy, ponieważ reszta zależności i mechanizmów pozostaje podobna.

Dlatego, projektując wszystkie nowe układy wentylacyjne, warto już dzisiaj zwracać uwagę na możliwe wystąpienie tego typu zagrożeń w przyszłości i tak kształtować systemy organizacji wymiany powietrza, przebieg przewodów, możliwości oczyszczania powietrza, lokalizację czerpni i wyrzutni powietrza i wybierać takie konfiguracje central wentylacyjnych, aby w możliwie największym stopniu ograniczyć negatywne skutki ewentualnego funkcjonowania układu w niekorzystnych warunkach jakie dziś napotkał świat i może napotkać w przyszłości ponownie.

Konieczne jest również położenie naciśku na zwiększenie świadomości niebezpieczeństw u służb technicznych odpowiedzialnych za prawidłowy montaż, uruchomienia i eksploatację systemów wentylacyjnych.

LITERATURA:

- [1] Bhagat R. K., Linden P. F., Displacement ventilation: a viable ventilation strategy for make-shift hospitals and public buildings to contain

COVID-19 and other airborne diseases, medRxiv preprint, 22 April 2020, <https://doi.org/10.1101/2020.04.22.20075648>

- [2] McDermott C. V., Alicic R. Z., Harden N., Cox E. J., Scanlan J. M., Put a lid on it: Are faecal bio-aerosols a route of transmission for SARS-CoV-2, *Journal of Hospital Infection*, journal pre-proof, 15 April 2020, [https://DOI.org/10.1016/j.jhin.2020.04.024](https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.024)
- [3] ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols, April 14, 2020.
- [4] REHVA COVID-19 guidance document, April 3, 2020
- [5] Opinia NIZP-PZH z dnia 19 marca 2020r. dotycząca koniecznego zakresu mycia i dezynfekcji instalacji wentylacyjnej i klimatyzacyjnej w obiektach użyteczności publicznej w związku z rozprzestrzenianiem się COVID-19, 14.04.2020r.
- [6] Zabiegała B., Partyka M., Namieśnik J., Jakość powietrza wewnętrznego - Analityka i monitoring - Politechnika Gdańska
- [7] WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould, World Health Organization Regional Office for Europe, 2009.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowani z późniejszymi zmianami
- [9] EUROVENT MIDDLE EAST, COVID-19 Recommendations for Air Filtration and Ventilation, March 19, 2020.
- [10] Szałański P., Cepiński W., Misiński J., Przegląd zaleceń dla instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych w związku z zagrożeniem koronawirusem SARS-CoV-2 i chorobą COVID-19, *INSTAL* 5/2020, s. 26-30, doi 10.36119/15.2020.5.3
- [11] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy z późniejszymi zmianami
- [12] PN-EN 1507:2007 Wentylacja budynków - Przewody wentylacyjne z blachy o przekroju prostokątnym - Wymagania dotyczące wytrzymałości i szczelności.
- [13] PN-EN 12237:2005 Wentylacja budynków - Sieć przewodów - Wytrzymałość i szczelność przewodów z blachy o przekroju kołowym.
- [14] <https://www.airwaysystems.com/aeroseal-duct-sealing>, 05.05.2020r.
- [15] PN-EN 13779:2008 Wentylacja budynków niemieszkalnych - Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji
- [16] PN-EN 308:2001 Wymienniki ciepła -- Procedury badawcze wyznaczania wydajności urządzeń do odzyskiwania ciepła w układzie powietrze-powietrze i powietrze-gazy spaliny
- [17] PN-EN-13141-7:2010 Wentylacja budynków -- Badanie właściwości elementów/wyrobów do wentylacji budynków mieszkalnych -- Część 7: Badanie właściwości urządzeń wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej (z odzyskiwaniem ciepła) do wentylacji mechanicznej budynków jednorodzinnych
- [18] PN-EN 1886: 2008E Wentylacja budynków. Centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne. Właściwości mechaniczne.
- [19] EN 16798-3:2017 Charakterystyka energetyczna budynków -- Wentylacja budynków -- Część 3: Wentylacja budynków niemieszkalnych -- Wymagania dotyczące właściwości systemów wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń (Moduł M5-1, M5-4).