
Paulina Cholota*

CLEANROOM – ISTOTA WENTYLACJI I KLIMATYZACJI W POMIESZCZENIACH CZYSTYCH I STERYLNYCH

Cleanroom, czyli pomieszczenie czyste, to rodzaj pomieszczenia o kontrolowanych parametrach środowiskowych. Są one używane m.in. w badaniach naukowych, przemyśle medycznym i farmaceutycznym, biotechnologicznym, elektronicznym, pirotechnicznym, wojskowym oraz kosmicznym. Ważne jest to, aby zapewnić powietrze najlepszej jakości, którą określa odpowiednia norma czystości. Główną rolę odgrywa instalacja wentylacji i klimatyzacji. Dostarczone powietrze musi zostać odpowiednio przefiltrowane. Tłoczone jest ono do wnętrza przez specjalny układ filtrów eliminujących kolejne frakcje zanieczyszczeń. Powietrze wewnątrz pomieszczenia jest ciągle filtrowane przez zestaw filtrów EPA, HEPA i ULPA w celu usuwania zanieczyszczeń powstałych wewnątrz.

CLEANROOM – THE ESSENCE OF VENTILATION AND AIR CONDITIONING IN CLEAN AND STERILE ROOMS

Cleanroom is a type of room with controlled environmental parameters. They are used, among others, in scientific research, medical and pharmaceutical, biotechnological, electronic, pyrotechnic, military and space industries. It is important to ensure the best quality air, which is defined by the appropriate purity standard. The installation of ventilation and air conditioning plays a major role here. The supplied air must be properly filtered. The air is pumped inside through a special system of filters that eliminate subsequent fractions of impurities. The air inside the room is constantly filtered by a set of EPA, HEPA, ULPA filters to remove impurities generated inside.

1. WSTĘP

Cleanroom jest pomieszczeniem, w którym liczba cząsteczek i drobnoustrojów znajdujących się w powietrzu, a także wilgotność powietrza, jego temperatura, oświetlenie, różnica ciśnień czy poziom elektryczności statycznej są pod ścisłą kontrolą, a także są cały czas

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami, Koło Naukowe „Kliwent”.

monitorowane, tak aby nie przekraczać dopuszczalnych wartości, które są określone w normie ISO 14644 [1]. Pomieszczenia czyste chronią znajdujące się w danym obszarze produkty przed kontaktem z cząsteczkami stałymi. Powietrze to nie tylko mieszanka gazów – przenosi ono także bakterie i cząsteczki różnych substancji wpływające na jego parametry. Działania i procesy realizowane w cleanroomach odbywają się w bezpiecznych i wolnych od zanieczyszczeń warunkach.

Historia cleanroomów sięga XIX wieku. Joseph Lister (1827–1912) zaobserwował, że zastosowanie środka dezynfekcyjnego zapobiega infekcjom. Stwierdził, że dezynfektant zmniejsza odsetek zakażeń pooperacyjnych. To właśnie on jest uważany za pomysłodawcę metody dekontaminacji powietrza sali operacyjnej z wykorzystaniem roztworu kwasu karbolowego, czyli fenolu. Początek XX wieku to pierwsze próby stosowania środków ochrony osobistej, takich jak fartuchy, rękawice czy też maski ochronne. Materiały te mają zastosowanie zarówno w przemyśle farmaceutycznym, jak i w branżach, które nie mają nic wspólnego z farmacją.

W przypadku pomieszczeń sterylnych istotna jest instalacja wentylacji i klimatyzacji, a także nowoczesnych systemów automatyki kontrolujących stan zanieczyszczeń na filtrach oraz proces obiegu powietrza. Rozwinięte systemy techniczne BMS [2] i RMS [3] umożliwiają zarządzanie całym procesem i rejestrowanie parametrów wewnątrz pomieszczeń. Instalacje oparte są na sterownikach swobodnie programowalnych, które pozwalają na zdalne zarządzanie pomieszczeniami z każdego miejsca na świecie, zbieranie informacji dotyczących parametrów oraz rejestrację błędów. Dzięki bieżącej kontroli i możliwości szybkiego reagowania zwiększa się efektywność pracy.

Zachowanie adekwatnego poziomu czystości zależy od wielu czynników, jednak to właśnie wentylacja jest podstawowym systemem, który wykonuje najważniejsze zadania. Jeżeli do wnętrza przedostaną się niepożądane ciała stałe, to dzięki wysokiej wydajności wentylacji pomieszczeń czystych szybko zostanie dokonana wymiana powietrza. System podtrzymania odpowiednio dobrego stanu powietrza to zespół naczyń połączonych. Wentylacja, a także klimatyzacja, stanowi pewnego rodzaju spoiwo dla innych jego elementów oraz procesu oczyszczania i obiegu powietrza o pożądanym parametrach.

Wyposażenie pomieszczeń czystych musi być wykonane z materiałów łatwych do sterylizacji. Większość mebli laboratoryjnych zrobiona jest z polipropylenu i innych tworzyw sztucznych, które są łatwe do czyszczenia i wolne od zarazków. Stal nierdzewna również jest powszechnie stosowana do produkcji mebli do pomieszczeń czystych. Podobnie jak polipropylen stal nierdzewna jest materiałem nieporowatym, co jest idealną cechą do stosowania w pomieszczeniach czystych. Niektóre gatunki stali nierdzewnej mogą jednak korodować podczas czyszczenia agresywnymi środkami sterylizującymi, natomiast tworzywa sztuczne lepiej wytrzymują codzienne warunki sanitarne. Warto pamiętać, że mimo wykonanych ze odpowiedniego materiału mebli pracujący w cleanroomie ludzie muszą zastosować specjalne ubranie robocze – w ten sposób można spełniać najwyższe wymagania mikrobiologiczne. Proces czyszczenia odzieży roboczej musi także odbywać się w pomieszczeniach typu cleanroom zgodnie z GMP (*good manufacturing practice* – dobra praktyka produkcyjna), czyli zbiorem międzynarodowych przepisów regulujących produkcję farmaceutyków.

Mikroorganizmy przeniesione na produkty mogą je całkowicie eliminować z użycia oraz być szkodliwe dla ich odbiorcy.

Dostęp do pomieszczeń czystych powinien mieć tylko upoważniony personel, ponieważ zapobiega to narażaniu na działanie czynników mogących prowadzić do zanieczyszczenia wytwarzanych produktów bądź też zaburzenia utrzymywanego klimatu. Pomieszczenie typu cleanroom to miejsce, w którym czystość jest nadrzędną wytyczną. Utrzymanie wyznaczonego jej poziomu za pomocą odpowiednich technologii może okazać się niewystarczające bez właściwie przygotowanych pracowników.

2. KLASYFIKACJA FILTRÓW

Pomieszczenia czyste (cleanroom) zostały stworzone z myślą o ograniczeniu zanieczyszczeń w obrębie danej przestrzeni. Nie wystarczy jednak oczyszczenie powietrza z niepożądanych substancji. Należy zadbać także o wysokiej klasy filtry EPA, HEPA i ULPA, które minimalizują liczby obecnych w nim cząstek. Ich zadaniem jest tworzenie szczególnej ochrony produktów, procesów, pracowników oraz środowiska zewnętrznego przed emisją szkodliwych czynników, które mogą być generowane podczas czynności wykonywanych w pomieszczeniach. Ważnym pojęciem jest frakcja respirabilna, czyli frakcja aerozolu wnikażąca do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej, określona zgodnie z normą PN-EN 481 [4].

Filtry klasy ≤ 12 oznaczane są jako EPA (*efficiency particulate air*). Wyłapują one cząstki o wielkości nawet $0,1 \mu\text{m}$ (ale nie $0,3 \mu\text{m}$), natomiast filtry od klasy 13 określane są mianem HEPA. Litera „H” w akronimie „HEPA” odnosi się do słowa *high* [5]. Oznacza to, że filtry te są wyższej klasy, co w rezultacie prowadzi do skuteczniejszej redukcji zanieczyszczeń. Akronim „ULPA” pochodzi od nazwy *ultra low penetration air*. W języku polskim tego rodzaju filtry określane są często jako filtry absolutne. Zostały wykonane w celu zapewnienia doskonałej jakości powietrza i niemal sterylnych warunków. Należy pamiętać również o konieczności monitorowania stanu zabrudzenia filtrów, a także o systematycznej ich wymianie. Żywotność filtrów określa producent, natomiast wszystko zależy od lokalizacji, intensywności użytkowania oraz składu powietrza i jego stanu. Dłużej powinny posłużyć filtry zawierające węgiel aktywny. Uzupełniają one pracę innych filtrów przez usuwanie zanieczyszczeń gazowych.

Nie można pominąć filtracji molekularnej oraz wysokotemperaturowej. Może ona być konieczna w zależności od wymaganej klasy czystości oraz mikroklimatu utrzymywanego w danym pomieszczeniu. W przypadku instalacji doprowadzającej i uzdatniającej powietrze ważne jest to, aby wziąć pod uwagę, że niektóre związki chemiczne i molekuly gazów zawarte w powietrzu są tak toksyczne, że mogą przyczynić się do obniżenia klasyfikacji cleanroomu, choć pozostają całkowicie niewidoczne i niewyczuwalne. Tego rodzaju niebezpieczne zanieczyszczenia w procesach produkcyjnych odbywających się w pomieszczeniach czystych mogą powodować rozmaite problemy, takie jak zmniejszenie wydajności produktu lub korozja cennych mikroelementów elektronicznych. Procesy te stają się coraz bardziej skomplikowane. Dodatkowo stosowane są również filtry wstępne. W tabelach 1 i 2 zamieszczono klasyfikację filtrów zaproponowaną przez Eurovent [6].

Tabela 1. Porównanie klasyfikacji filtrów przeciwpyłowych dla wentylacji ogólnej

Klasa filtra PN-EN 779:2012E	Skuteczność filtracji dla klas filtrów od M5 do F9 na podstawie testów opisanych w PN-EN ISO 16890-1:2017E [%]		
	test dla cząstek ePM ₁ (0,3–1,0 μm)	test dla cząstek ePM _{2,5} (0,3–2,5 μm)	test dla cząstek ePM ₁₀ (0,3–10 μm)
M5	5–35	10–45	40–70
M6	10–40	20–50	60–80
F7	40–65	65–75	80–90
F8	65–90	75–95	90–100
F9	80–90	85–95	90–100

Źródło: [7]

Tabela 2. Klasyfikacja skutecznych i wysoko skutecznych filtrów powietrza

Grupa filtrów	Klasa filtra				Wartość całkowita [%]		Wartość miejscowa [%]	
	PN-EN 1822-1: 2009		ISO 29463-1		skuteczność dla cząstek MPPS	penetracja dla cząstek MPPS	skuteczność dla cząstek MPPS	penetracja dla cząstek MPPS
	klasa	test	klasa	test	ISO 29463-1			
EPA	E10	–	–	–	≥85	≤15	–	–
	E11	–	ISO 15E	MPPS	≥95	≤5	–	–
	–	–	ISO 20E	MPPS	≥99	≤1	–	–
	E12	–	ISO 25E	MPPS	≥95,5	≤0,5	–	–
	–	–	ISO 30E	MPPS	≥95,9	≤0,1	–	–
HEPA	H13	MPPS	ISO 35E	MPPS	≥99,95	≤0,05	≥99,5	≤0,25
	–	MPPS	ISO 40E	MPPS	≥99,99	≤0,01	≥99,95	≤0,05
	H14	MPPS	ISO 45E	MPPS	≥99,995	≤0,005	≥99,975	≤0,025
	–	MPPS	ISO 50E	MPPS	≥99,999	≤0,001	≥99,995	≤0,005
ULPA	U15	MPPS	ISO 55E	MPPS	≥99,9995	≤0,0005	≥99,9975	≤0,0025
	–	MPPS	ISO 60E	MPPS	≥99,9999	≤0,0001	≥99,9995	≤0,0005
	U16	MPPS	ISO 65E	MPPS	≥99,99995	≤0,00005	≥99,99975	≤0,00025
	–	MPPS	ISO 70E	MPPS	≥99,99999	≤0,00001	≥99,9999	≤0,0001
	U17	MPPS	ISO 75E	MPPS	≥99,999995	≤0,000005	≥99,9999	≤0,0001

Źródło: [7]

3. PODSTAWY PRAWNE DOTYCZĄCE CLEANROOMÓW

Tematyka prawna związana z projektowaniem, budową, działaniem oraz kontrolowaniem i minimalizacją poziomu zanieczyszczeń w pomieszczeniach czystych jest bardzo szeroka. Tworzenie funkcjonalnego pomieszczenia czystego na bazie wielu obowiązujących praw i norm nie jest łatwym zadaniem i wymaga współpracy kilku osób. Należy wziąć pod uwagę wiele aspektów, zaczynając od specyfikacji technicznych regulujących prawidłowe działanie urządzeń. Jednymi z ważniejszych dokumentów są:

- GMP – międzynarodowe przepisy regulujące produkcję farmaceutyków oraz produktów wytwarzanych w optymalnych warunkach środowiskowych [8];
- ISO 14644 – międzynarodowa norma opracowana przez ISO (Międzynarodową Organizację Normalizacyjną) dotycząca higieny powietrza w pomieszczeniach czystych i sterylnych [1];
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań Dobrej Praktyki Wytwarzania [9];
- aktualne rozporządzenie ministra pracy i polityki społecznej w sprawie najwyższych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [10].

W tabelach 3 i 4 przedstawiono parametry opisane w normie PN-EN ISO 14644 dotyczące klasyfikacji czystości pomieszczeń.

Tabela 3. Klasyfikacja czystości pomieszczeń ze względu na liczbę cząstek o określonej wielkości

Klasa czystości	Maksymalna dopuszczalna liczba cząstek w 1 m ³ powietrza			
	stan spoczynku		stan pracy	
	≥0,5 μm	≥5 μm	≥0,5 μm	≥5 μm
A	3500	0	3500	0
B	3500	0	350 000	2000
C	350 000	2000	3 500 000	20 000
D	3 500 000	20 000	nieokreślona	nieokreślona

Źródło: [1]

Tabela 4. Klasy czystości względem liczby wymian powietrza

Klasa czystości	Liczba wymian powietrza
ISO 6	70–160/h
ISO 7	30–70/h
ISO 8	20–30/h
ISO 9	10–20/h

Źródło: [1]

4. ZASTOSOWANIE I FUNKCJONALNOŚĆ

Pomieszczenia czyste są niezbędne do realizacji procesów wymagających utrzymania określonego poziomu czystości atmosfery w obszarach produkcyjnych, badawczych czy laboratoryjnych. Z tego względu są szeroko wykorzystywane, przede wszystkim w badaniach naukowych, w przemyśle medycznym i farmaceutycznym (rys. 1), biotechnologicznym, elektronicznym, pirotechnicznym, wojskowym oraz kosmicznym. Cała idea wywodzi się głównie z medycyny, a konkretnie z sal operacyjnych.

W następnych akapitach przedstawione zostaną różne zastosowania cleanroomów.



Rys. 1. Stanowisko do wytwarzania antybiotyków

Źródło: [11]

Firma Bardusch Polska Sp. z o.o. zajmuje się dostawą oraz serwisem odzieży pracowników pomieszczeń czystych. Odzież jest wolna od zanieczyszczeń pyłowych oraz mikrobiologicznych. Jest ona regularnie badana na obecność cząstek i mikroorganizmów, aby utrzymać najwyższą jakość (rys. 2).



Rys. 2. Pracownicy na stanowisku do sterylizowania odzieży medycznej (firma Bardusch)

Źródło: [12]

Przykładem zastosowania pomieszczeń czystych w przemyśle kosmicznym jest cleanroom znajdujący się w Laboratorium Fizyki Stosowanej Uniwersytetu Johnsa Hopkinsa (rys. 3), gdzie zbudowany został statek kosmiczny DART NASA, który następnie przeniesiono do specjalistycznego kontenera transportowego dostarczonego do miejsca startu w Vandenberg Space Force Base w Kalifornii.



Rys. 3. Cleanroom Uniwersytetu Johnsa Hopkinsa

Źródło: [13]

W elektronice cleanroomy wykorzystuje przedsiębiorstwo Seagate Technology, które zajmuje się produkcją nośników danych, głównie dysków twardych. Do wytworzenia elementów używanych w mikroelektronice zastosowane zostały pomieszczenia czyste (rys. 4). Inaczej produkowane urządzenia nie trafiłyby do sprzedaży, ponieważ nie spełniłyby wymagań ani oczekiwań użytkowników. Pierwszym produktem firmy Seagate był dysk ST-506 o pojemności 5 MB.



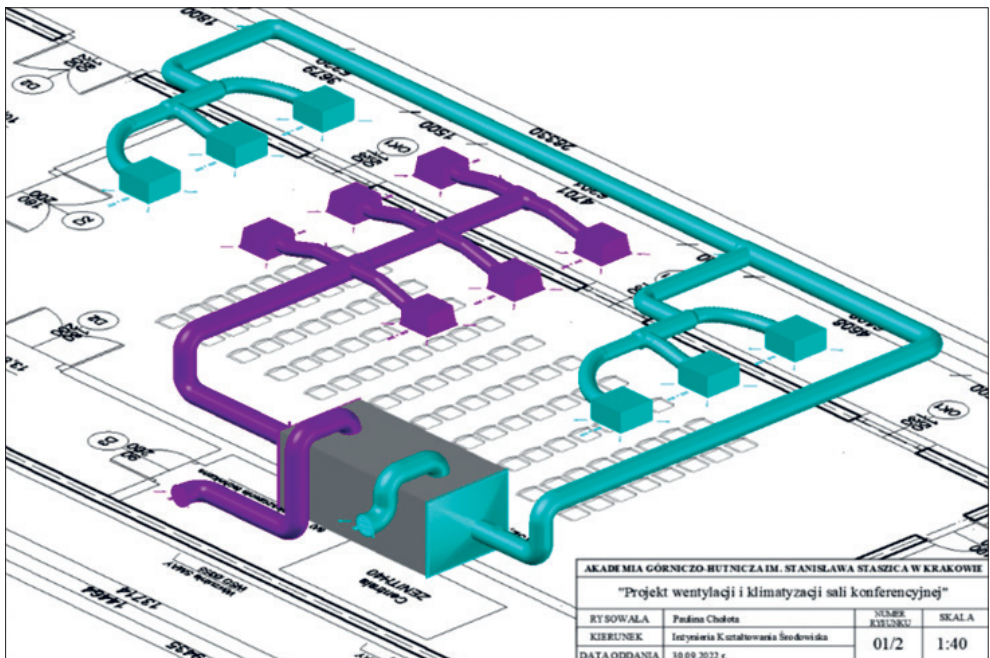
Rys. 4. Stanowisko do produkcji mikroelementów

Źródło: [14]

5. PROJEKTOWANIE INSTALACJI WENTYLACJI I KLIMATYZACJI W POMIESZCZENIACH CZYSTYCH

Projektowanie instalacji dla pomieszczeń czystych nie jest schematyczne. Do każdego przypadku trzeba podejść indywidualnie, co stanowi klucz do stworzenia projektu pomieszczenia czystego, które znakomicie spełni oczekiwania inwestora. W toku prac nad planem konieczne jest nie tylko dobranie wyposażenia i metod zabezpieczenia pomieszczenia czystego przed zanieczyszczeniami, ale także sporządzenie szczegółowego projektu, który uwzględni np. ulokowanie cleanroomu w budynku. Można również tworzyć tzw. cleanroom w cleanroomie. W tak skomplikowanych i kluczowych dla zachowania parametrów produktu projektach ważne jest określenie ryzyka, stworzenie skutecznego kosztorysu, a także dopracowanie każdego elementu. Projektowanie pomieszczeń czystych to czasochłonna procedura, wymagająca zaangażowania wielu osób w celu spełnienia restrykcyjnych wymagań stawianych cleanroomom.

Do projektowania instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych używa się zazwyczaj specjalistycznych programów dostępnych na rynku, takich jak Ventpack czy coraz powszechniejszy Revit MEP, które przejrzysto przedstawiają rysunek i ułatwiają wykonanie instalacji, a także minimalizują ryzyko nałożenia się elementów na siebie. Ułatwiają one wizualizację (rys. 5) oraz tworzenie tabelarycznych zestawień potrzebnych do dokumentacji wykonawczej i powykonawczej.



Rys. 5. Wizualizacja 3D instalacji nawiewno-wywiewnej

Wielu producentów branży HVAC udostępnia biblioteki oraz rodziny poszczególnych produktów, więc do projektu można wstawiać konkretne modele, które w rzeczywistości będą usytuowane w danej instalacji. Jeżeli chodzi natomiast o parametry techniczne oraz wymiarowanie, korzystając z programu, zawsze warto sprawdzić je samodzielnie, gdyż są to tylko programy ułatwiające pracę, a nie zastępujące projektanta.

6. STRONA WYKONAWCZA CLEANROOMÓW

Ważnym aspektem jest również wykonanie całej instalacji. To, co zostało narysowane na kartce papieru, powinno mieć odzwierciedlenie w rzeczywistości. O ile trzeba zadać sobie trud, aby ustalić i poprawnie zaprojektować instalację, to na etapie wykonawczym należy wszystkie parametry uzyskać zgodnie z wytycznymi. Do najistotniejszych zadań należą:

- sprawdzenie, czy wszystkie elementy systemu są na swoim miejscu;
- sprawdzenie, czy są poprawnie zamontowane;
- sprawdzenie zgodności wykonanej instalacji z dokumentacją projektową;
- testy działania poszczególnych elementów systemu wentylacyjnego;
- pomiary skuteczności i wydajności wentylacji;
- pomiary jakościowe, np. integralności filtrów oraz liczby cząstek;
- pomiar czasu regeneracji, czyli ilości czasu, jaką pomieszczenie potrzebuje, by powrócić do stanu początkowego po jego zanieczyszczeniu;
- sprawdzenie dokumentacji materiałowej, atestów higienicznych i deklaracji;
- sprawdzenie systemów automatyki typu BMS, RMS;
- pomiary akustyczne.

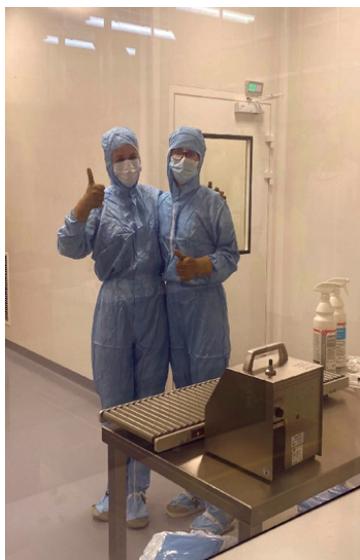
Pomiary wykonuje się specjalistycznym urządzeniem – balometrem (rys. 6). Jest to przyrząd służący do mierzenia prędkości przepływu powietrza w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych.



Rys. 6. Balometr Testo

Warto zwrócić uwagę na to, że wejście do cleanroomu i praca w nim wymaga specjalnego ubioru przeznaczonego dla danej klasy czystości. Przed oddaniem cleanroomu do użytku przedmiary cząstek oraz przepływu powietrza najczęściej robi jedna wyznaczona osoba, która po kolei wykonuje każdy krok w instrukcji dezynfekcji ciała. Aby się dostać do cleanroomu z odpowiednią klasą czystości, najczęściej należy przejść przez szatnię brudną, szatnię czystą, służę osobową i służę materiałową – wszystko zależy od klasy czystości. Warto wspomnieć również o materiałach. Niektóre ubrania robocze mogą być przeznaczone do ponownego użytku po praniu chemicznym, jednak w większości stosuje się jednorazowe kombinezony.

Klasa A jest bardzo trudna do utrzymania w pomieszczeniach o dużej powierzchni. Wymagany zakres liczby wymian dla klasy A (ISO 6) określa się wartościami od 70 do 165 wymian na godzinę. Często stosowana jest w dygestoriach o stosunkowo małych kubaturach. Klasa B jest szczególnie wymagająca. Pierwszą czynnością podczas wchodzenia do takiego pomieszczenia jest umycie i dezynfekcja ciała w poszczególnych śluzach. Ubiór klasy B (rys. 7) jest skomplikowany, kilkuwarstwowy oraz istnieje specjalna instrukcja zakładania rękawiczek, ponieważ przy zakładaniu stroną sterylną rękawiczki nie można dotknąć swojej dłoni. Natomiast ubiór klasy D jest mniej restrykcyjny (rys. 8).



Rys. 7. Ubiór w klasie czystości B

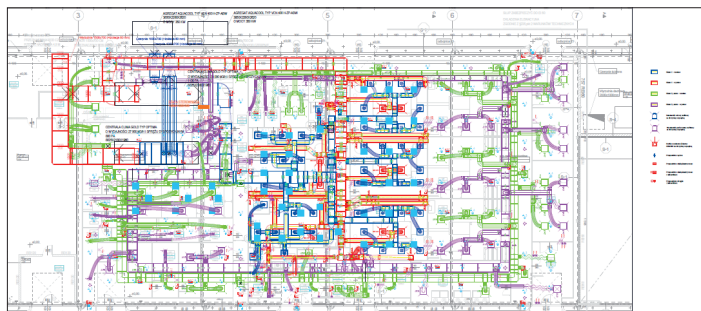


Rys. 8. Ubiór w klasie czystości D

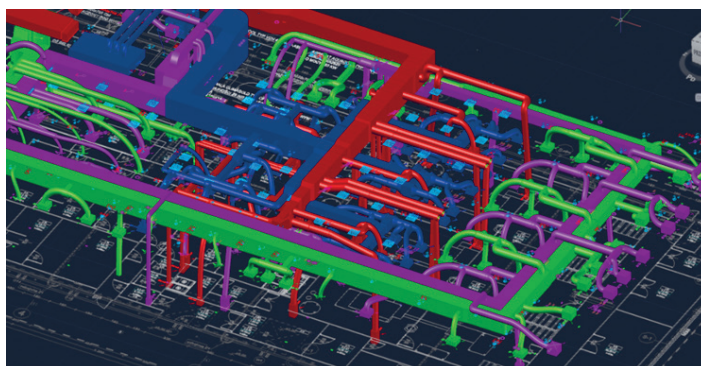
7. PRZYKŁAD INSTALACJI WENTYLACJI I KLIMATYZACJI W POMIESZCZENIACH CZYSTYCH

Rozwiązania w zakresie kontroli zanieczyszczeń w pomieszczeniach czystych są bardzo istotne dla samej koncepcji i przyjętych założeń. Etapem pierwszym można nazwać rozmowy i dyskusje nad wstępnym projektem. Później należy przejść do obliczeń. Trzeci etap to sporządzenie

rysunku (rys. 9), następnie wizualizacja (rys. 10). Na tej podstawie wykonywana jest wstępna wycena z kosztorysem. Później odbywają się prace wykonawcze, których efekt pokazano na rysunku 11. Końcowym etapem są pomiary. Tak, w dużym skrócie, powstaje cleanroom.



Rys. 9. Projekt instalacji cleanroomu, klasa C i D



Rys. 10. Wizualizacja instalacji cleanroomu, klasa C i D



Rys. 11. Widok wykonanej instalacji

8. PODSUMOWANIE

Zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami regulującymi budowę i funkcjonowanie cleanroomów w zależności od poszczególnych klas czystości wymagane są różne parametry, które należy spełnić, aby powstało dane pomieszczenie. Istotne są przede wszystkim filtry EPA, HEPA i ULPA, ponieważ są bardzo efektywne. Same filtry to jednak nie wszystko – kluczowe znaczenie dla skuteczności filtracji ma ich regularna wymiana. Jeżeli filtry nie są regularnie wymieniane, wówczas znacząco spada ciśnienie za filtrem, czyli ilość powietrza, które przez filtr przepływa. Obniża się również skuteczność procesu filtracji.

Czystość powietrza w pomieszczeniach typu cleanroom kontrolowana jest zgodnie z wytycznymi ISO 14644. W zależności od wymogów inwestora dotyczących dopuszczalnej maksymalnej liczby cząstek w pomieszczeniu projektuje się cleanroom o stosownej klasie czystości. W przypadku przemysłu farmaceutycznego i biotechnologicznego wykorzystuje się klasyfikację pomieszczeń według GMP, która zawiera klasy od A do D.

Za cały proces obiegu powietrza, cząstek i wszystkich zanieczyszczeń odpowiada instalacja wentylacji i klimatyzacji. Centrala wentylacyjna jest sercem całego układu. Wydajność wentylacji, określana jako ilość powietrza nawiewanego do pomieszczenia i liczba wymian powietrza w pomieszczeniu, wprost wpływa na skuteczność usuwania cząstek wnoszonych do pomieszczenia lub generowanych w pomieszczeniu. Każdy projektowany cleanroom musi być rozpatrywany indywidualnie. Jest to klucz do stworzenia pomieszczenia czystego spełniającego postawione przed nim wymagania.

LITERATURA

- [1] PN-EN ISO 14644-1:2016-03. *Pomieszczenia czyste i związane z nimi środowiska kontrolowane – Część 1: Klasyfikacja czystości powietrza na podstawie stężenia cząstek.*
- [2] Nowak M., Szymczak A., *Wykorzystanie technologii mobilnych do sterowania instalacjami w inteligentnym budynku*, Napędy i Sterowanie, r. 13, nr 12, 2011, s. 82–86.
- [3] Zawada B., *Układy sterowania w systemach wentylacji i klimatyzacji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [4] PN-EN 481:1998. *Atmosfera miejsca pracy – Określenie składu ziarnowego dla pomiaru cząstek zawieszonych w powietrzu.*
- [5] LoveAir, *Rodzaje filtrów – EPA, HEPA, ULPA*, <https://loveair.pl/poradnik/filtry-hepa-epa-czy-ulpa> [dostęp: 29.01.2023].
- [6] EUROVENT, *EUROVENT REC 4-23. Selection of EN ISO 16890 rated air filter classes for general ventilation applications*, Second ed., 1.10.2018, <https://www.scribd.com/document/503387918/Eurovent-REC-4-23-Selection-of-EN-ISO-16890-rated-air-filter-classes-2018-English-Web> [dostęp: 29.01.2023].
- [7] Charkowska A., *Nowa klasyfikacja wysokoskutecznych filtrów powietrza*, 4.12.2018, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/centrale-wentylacyjno-klimatyzacyjne/37488,nowa-klasyfikacja-wysokoskutecznych-filtrow-powietrza> [dostęp: 2.03.2023].

- [8] Jackiewicz B., *Dokumentacja sanitarna według zasad dobrej praktyki produkcyjnej (GMP) i dobrej praktyki higienicznej (GHP). Instrukcje, zapisy. Zakłady żywienia zbiorowego*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk.
- [9] *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań Dobrej Praktyki Wytwarzania*, Dz.U. 2015, poz. 1979.
- [10] *Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*, Dz.U. 2018, poz. 1286.
- [11] Dagard, *Cleanroom: our expertise from design to instalation*, <https://www.dagard.com/en/our-solutions/cleanrooms/> [dostęp: 31.01.2023].
- [12] PCI Days, *Galeria Innowacji 2022*, <https://pcidays.pl/galeria-innowacji-2022/> [dostęp: 15.02.2023].
- [13] Alaska Public Media, *In a clean room at Johns Hopkins APL, NASA's DART spacecraft is moved into a specialized shipping container bound for its launch site at Vandenberg Space Force Base in California*, <https://alaskapublic.org/2021/11/22/in-a-first-test-of-its-planetary-defense-efforts-nasas-going-to-shove-an-asteroid/in-a-clean-room-at-johns-hopkins-apl-nasas-dart-spacecraft-is-moved-into-a-specialized-shipping-container-bound-for-its-launch-site-at-vandenberg-space-force-base-in-california/> [dostęp: 18.01.2023].
- [14] Seagate, *Photography*, <https://branding.seagate.com/productpage/6acc1855-07fb-4bcb-8b0a-c216764df0a3> [dostęp: 15.02.2023].

