

Recyrkulacja powietrza w salach operacyjnych – przegląd wytycznych i danych naukowych

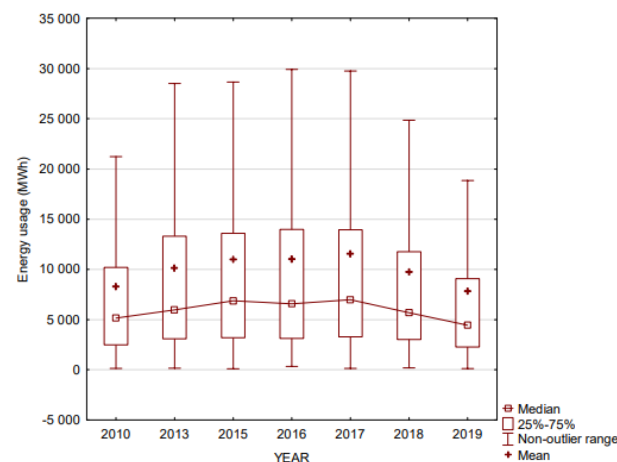
Dr hab. inż. Anna Bogdan



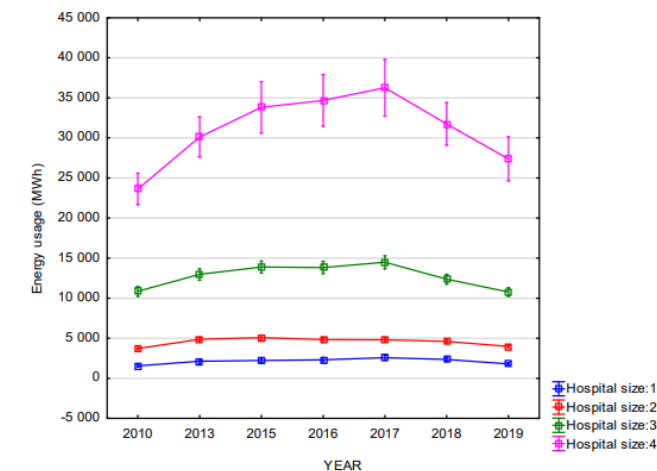
ZUŻYCIE ENERGII



Country	Annual Energy Intensity (kWh/m ²)
Greece [29]	-
Hospitals, health centers, and clinics, 1980	235
Hospitals, health centers, and clinics, 2001	233
Hospitals, health centers, and clinics, 2010 (projected)	236
Scotland: small health buildings, 2001 [29]	310
Poland [29]	-
University hospital, heat/hot water only, 2005–2008	268
Provincial hospital, heat/hot water only, 2005–2008	327
Malaysia: public hospital, 2008 [29]	234
Spain: [29]	-
Hospital, total energy use, ~2005	494
Hospital, electricity only, ~2005	169
Thailand: an average of 79 hospitals, electricity only, 1996–2006 [29]	149
Bulgaria [27]	656.5
Estonia [27]	147.8
France [27]	228.2
Germany [27]	317.2
Netherlands [27]	237.8
Sweden [27]	230.6
UK [27]	516.2



(a)



(b)

Figure 1. Energy consumption in 2010–2019 by hospitals: (a) in total; (b) by size.

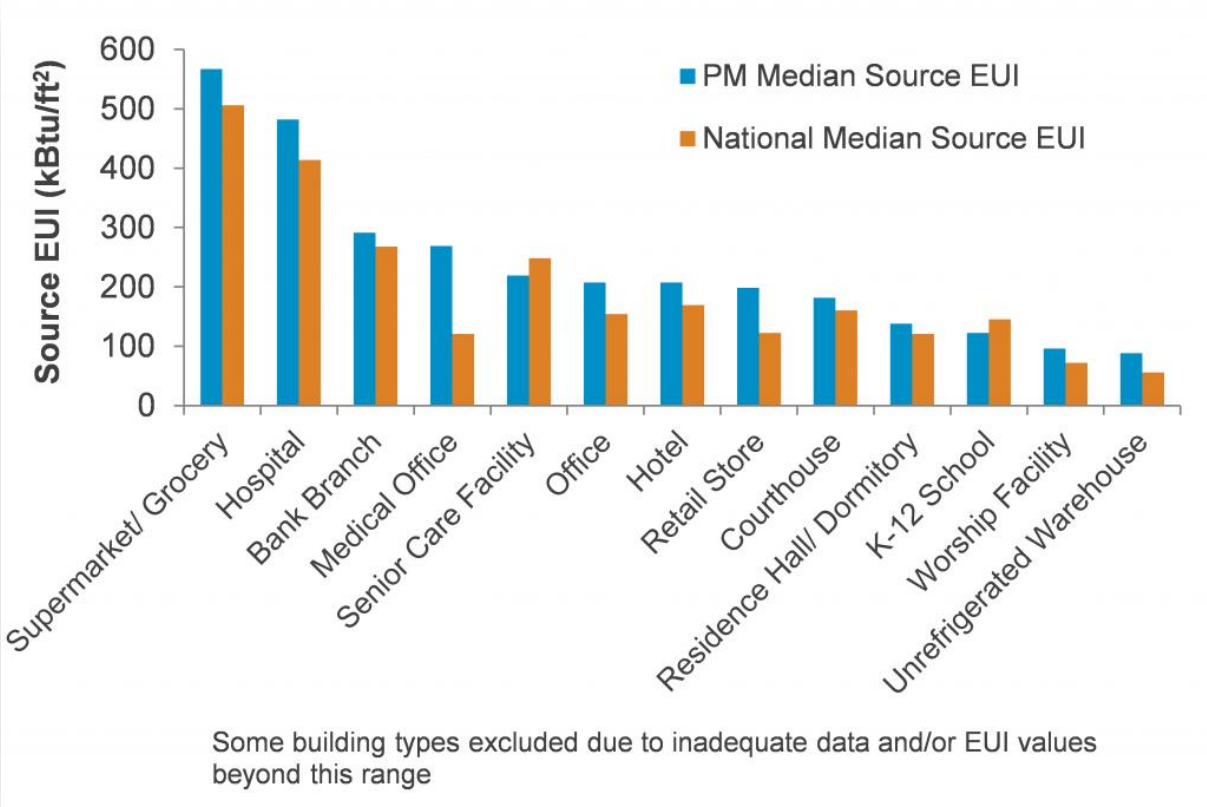
Bawaneh, K., Ghazi Nezami, F., Rasheduzzaman, M., & Deken, B. (2019). Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States. *Energies*, 12(19), 3775. <https://doi.org/10.3390/en12193775>

Cygańska, M., & Kludacz-Alessandri, M. (2024). Energy Consumption Trends and Determinants in Polish Hospitals: Implications for Energy Efficiency Strategies. *Sustainability*, 16(21), 9153. <https://doi.org/10.3390/su16219153>

ZUŻYCIE ENERGII



- Szpitaly są jednymi z najbardziej energochłonnych obiektów w sektorze budownictwa. Średnio kompleks szpitalny zużywa 2,5 razy więcej energii niż typowy budynek użyteczności publicznej.



Z danych zawartych w ww. wykazie wynika, że 30% najbardziej efektywnych energetycznie budynków wybudowanych przed 31 grudnia 2020 r., dla których sporządzono świadectwo charakterystyki energetycznej cechuje się zapotrzebowaniem na energię pierwotną mniejszym niż wartości podane w tabeli 2.

Rodzaj budynku	Wartość EP [kWh/(m²·rok)]
	Najlepsze 30%*
mieszkalny jednorodzinny	105,47
mieszkalny wielorodzinny	99,08
zamieszkania zbiorowego	157,24
użyteczności publicznej - opieki zdrowotnej	237,27
użyteczności publicznej - inny	148,57
rekreacji indywidualnej	104,95
gospodarczy, magazynowy, produkcyjny	147,13

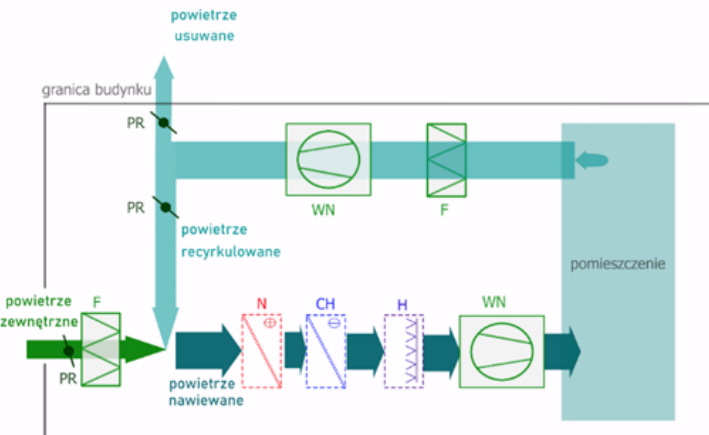
Tabela 2. Wartości zapotrzebowania na energię odpowiadające 30% najbardziej efektywnym energetycznie budynkom.

- W zależności od kraju, systemy HVAC zużywają od ok 30% do ok 70% całkowitego zużycia energii szpitala

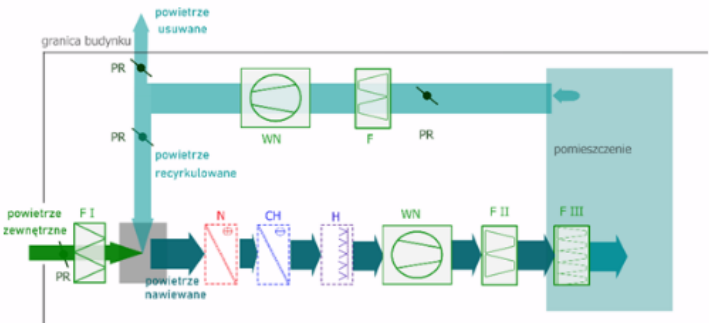
UKŁAD Z RECYRKULACJĄ vs. Z ODZYSKIEM CIEPŁA



Tab.2. Porównanie układów klimatyzacji: recyrkulacja vs. odzysk ciepła



Rysunek 2. Schemat prostego układu klimatyzacyjnego z recyrkulacją powietrza usuwanego z pomieszczenia. Oznaczenia: F – filtr, N-nagrzewnica, Ch- chłodnica, H – nawilżacz, WN, WW – wentylator odpowiednio nawiewny i wywiewny, PR – przepustnica regulacyjna/odcinająca



Rysunek 3. Schemat prostego układu klimatyzacyjnego z recyrkulacją powietrza usuwanego z pomieszczenia oraz trzystopniową filtracją wymaganą dla pomieszczeń o wysokim standardzie czystości. Oznaczenia: F – filtr, N-nagrzewnica, Ch- chłodnica, H – nawilżacz, WN, WW – wentylator odpowiednio nawiewny i wywiewny, PR – przepustnica regulacyjna/odcinająca

Układ z recyrkulacją		Układ z odzyskiem ciepła	
Parametry mieszaniny		Parametry powietrza za wymiennikiem do odzysku ciepła	
t [°C]	28	t [°C]	26,8
φ [°C]	49	φ [°C]	60
x [g/kgps]	11,6	x [g/kgps]	12
i [kJ/kgps]	57,75	i [kJ/kgps]	57,5
ρ [kg/m3]	1,16	ρ [kg/m3]	1,18
Parametry powietrza za chłodnicą			
t [°C]	17	t [°C]	15,9
φ [°C]	74,7	φ [°C]	80,3
x [g/kgps]	9	x [g/kgps]	9
i [kJ/kgps]	39,9	i [kJ/kgps]	38,7
ρ [kg/m3]	1,21	ρ [kg/m3]	1,21
Parametry powietrza za nagrzewnicą			
praca nie wymagana		t [°C]	17
		φ [°C]	74,7
		x [g/kgps]	9
		i [kJ/kgps]	39,9
		ρ [kg/m3]	1,21
Wymagane procesy uzdatniania			
Ochładzanie i osuszanie realizowane bezpośrednio w chłodnicy		Ochładzanie i osuszanie realizowane bezpośrednio w chłodnicy + Ogrzewanie powietrza do wymaganej temperatury powietrza nawiewanego	
Moc chłodnicy [kW/m³/s]		Moc chłodnicy [kW/m³/s]	
21,598		22,748	
Moc nagrzewnicy [kW/m³/s]		Moc nagrzewnicy [kW/m³/s]	
0		1,338	

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie



§ 150. 3. **W instalacjach wentylacji i klimatyzacji nie należy łączyć ze sobą przewodów z pomieszczeń o różnych wymaganiach użytkowych i sanitarno-zdrowotnych.** Nie dotyczy to budynków jednorodzinnych i rekreacji indywidualnej oraz wydzielonych lokali mieszkalnych lub użytkowych z indywidualną zorganizowaną wentylacją nawiewno-wywiewną.

§ 151. 1. **W instalacjach wentylacji mechanicznej ogólnej nawiewno-wywiewnej lub klimatyzacji komfortowej o wydajności 500 m³ /h i więcej należy stosować** urządzenia do odzyskiwania ciepła z powietrza wywiewanego o sprawności temperaturowej co najmniej 50% **lub recyrkulację**, gdy jest to dopuszczalne. **W przypadku zastosowania recyrkulacji strumień powietrza zewnętrznego nie może być mniejszy niż wynika to z wymagań higienicznych.** Dla wentylacji technologicznej zastosowanie odzysku ciepła powinno wynikać z uwarunkowań technologicznych i rachunku ekonomicznego.

3. Recyrkulację powietrza można stosować wówczas, gdy przeznaczenie wentylowanych pomieszczeń nie wiąże się z występowaniem bakterii chorobotwórczych, z emisją substancji szkodliwych dla zdrowia, uciążliwych zapachów, przy zachowaniu wymagań § 149 ust. 1 oraz wymagań dotyczących ochrony przeciwpożarowej.

4. W budynku opieki zdrowotnej recyrkulacja powietrza może być stosowana tylko za zgodą i na warunkach określonych przez właściwego państwowego inspektora sanitarnego.

5. 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%.

6. Przepisu ust. 5 nie stosuje się w przypadkach, gdy zwiększanie strumienia powietrza wentylacyjnego uniemożliwiłoby dotrzymanie poziomu czystości powietrza wymaganego przez względy technologiczne.

7. Wymagań ust. 1 można nie stosować w przypadku instalacji używanych krócej niż przez 1000 godzin w roku.

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ZDROWIA z dnia 26 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia podmiotu wykonującego działalność leczniczą



§ 38. W blokach operacyjnych, izolatkach oraz pomieszczeniach dla pacjentów o obniżonej odporności stosuje się wentylację nawiewno-wywiewną lub klimatyzację zapewniającą parametry jakości powietrza dostosowane do funkcji tych pomieszczeń.

§ 39. W salach operacyjnych oraz innych pomieszczeniach, w których podtlenek azotu jest stosowany do znieczulenia, nawiew powietrza odbywa się górną, a wyciąg powietrza w 20% górną i w 80% dołową i zapewnia nadciśnienie w stosunku do korytarza; rozmieszczenie punktów nawiewu nie może powodować przepływu powietrza od strony głowy pacjenta przez pole operacyjne.

§ 40.

1. Instalacje i urządzenia wentylacji mechanicznej i klimatyzacji podlegają okresowemu przeglądowi, czyszczeniu lub dezynfekcji, lub wymianie elementów instalacji zgodnie z zaleceniami producenta, nie rzadziej niż co 12 miesięcy.
2. Dokonanie czynności, o których mowa w ust. 1, wymaga udokumentowania.

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA PRACY I POLITYKI SOCJALNEJ z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.



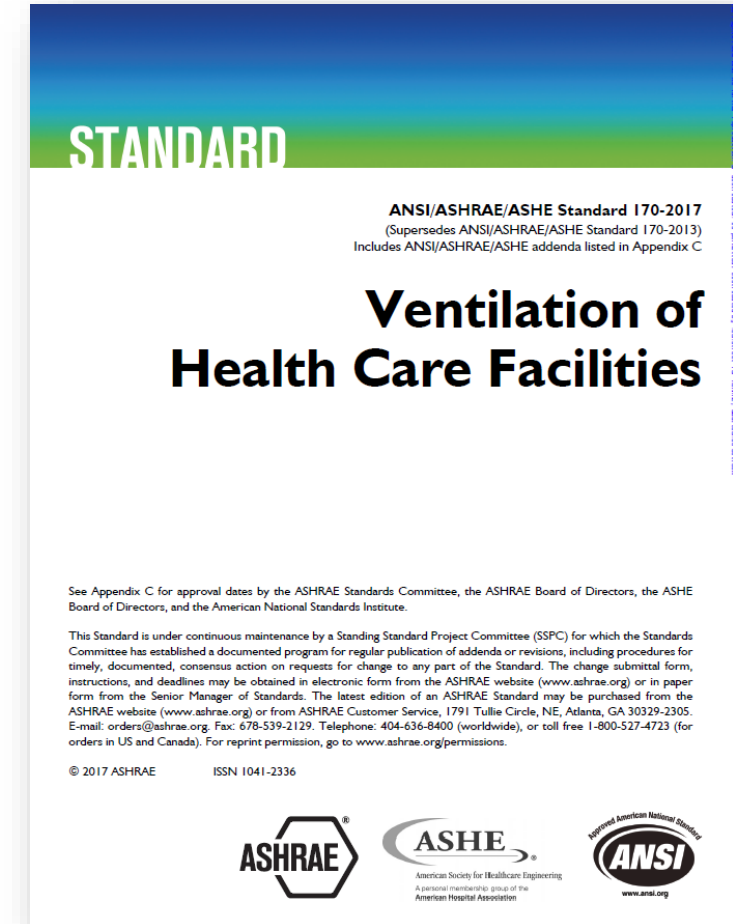
§ 38.

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 występuje narażenie na mikroorganizmy chorobotwórcze lub znajdują się substancje trujące, cuchnące albo możliwe jest nagłe zwiększenie stężenia szkodliwych substancji, a także w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017

Recyrkulacja jest dopuszczalna, ale kluczowe jest spełnienie wymagań dodatkowych:

- powietrze może powracać wyłącznie w obrębie jednej sali
- sale operacyjne muszą być utrzymywane w nadciśnieniu względem przestrzeni przyległych
- min ilość powietrza świeżego – 4 ACH, minimalna całkowita ilość powietrza 20 ACH
- całe powietrze recyrkulowane przechodzi przez odpowiednie filtry HEPA (o skuteczności min. 99,97% dla cząstek o wielkości $0,3 \mu\text{m}$) zanim zostanie ponownie wprowadzone do sali
- należy spełnić wymagania National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) dotyczące narażenia zawodowego na gazy i opary znieczulające oraz kontroli narażenia zawodowego na podtlenek azotu, tj. należy zapewnić lokalne systemy wyciągowe (oczyszczających), jak i ogólnej wentylacji obszarów, w których stosowane są odpowiednie gazy



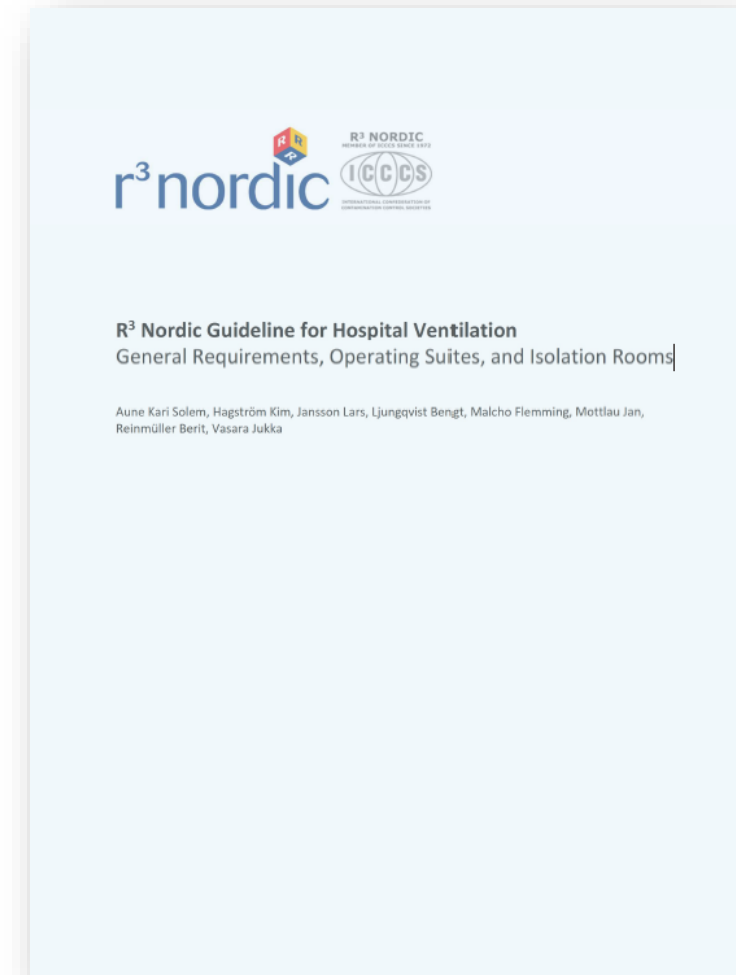
R3 Nordic Guideline for Hospital Ventilation

General Requirements, Operating Suites, and Isolation Rooms



Recyrkulacja jest dopuszczalna, ale kluczowe jest spełnienie wymagań dodatkowych:

- powietrze recyrkulowane spełnia te same wymagania jakościowe co powietrze pierwotne
- niedozwolona jest recyrkulacja między różnymi pomieszczeniami lub strefami
- należy upewnić się, że do sali operacyjnej nie jest dostarczane powietrze, które nie przeszło przez filtry HEPA
- filtry HEPA powinny być zainstalowane jak najbliżej końcowego punktu nawiewu (np. przy nawiewnikach), każdorazowo należy przeprowadzać test integralności zgodnie z normą EN ISO 14644-3
- zastosowanie wężownic chłodzących powietrze w powietrzu recyrkulacyjnym powinno być zaprojektowane jako suche, a kondensacja jest niedopuszczalna i kontrolowana
- niezbędne jest zapewnienie lokalnego odciągu powietrza zanieczyszczonego gazami znieczulającymi



R3 Nordic Guideline for Hospital Ventilation

General Requirements, Operating Suites, and Isolation Rooms



Parametr	CL1 – Sala operacyjna (UDF)	CL2 – Sala operacyjna (DMF)	SUP1 – Standardowe pomieszczenia
Przeznaczenie	Operacje wysokiego ryzyka (ortopedia, implanty)	Operacje standardowe	Gabinety, pokoje pacjentów, biura personelu
System wentylacji	UDF – laminarny przepływ powietrza	DMF – mieszanie objętościowe	Dowolny system spełniający wymagania SUP1
Wymagana klasa czystości ISO (0,5 µm)	ISO 5 w strefie operacyjnej	ISO 7	Brak wymagań ISO – ogólna jakość świeżego powietrza
Wymagana czystość mikrobiologiczna	≤ 10 CFU/m ³ w strefie operacyjnej ≤ 30 CFU/m ³ na peryferiach	≤ 50 CFU/m ³	Brak konkretnych wymagań mikrobiologicznych
Filtracja końcowa	HEPA ISO 35H (H13) – obowiązkowa	HEPA ISO 35H (H13) – obowiązkowa	2-stopniowa filtracja (min. ISO ePM1 80%)
Test integralności filtrów	Wymagany (EN ISO 14644-3)	Wymagany	Nie wymagany dla SUP1
Recyrkulacja powietrza	Dopuszczalna lokalnie, pod warunkiem filtracji HEPA	Jak wyżej	Dopuszczalna tylko lokalnie w obrębie jednego pomieszczenia , nie między strefami

Table 3 Thermal, ventilation and air quality requirements for operating suites

Room Type	Ventilation Class (See Table 2)	Amount of outdoor air (ODA)	Relative Humidity	Temperature
			%	°C
Operating room	CL1, CL2	≥0,275 m ³ /s *) **)	<60 (at 21 °C) Air humidification is not required	18-26
Instrument lay-up room	As associated operating room	0,007m ³ /s/person and 0,0007 m ³ /s,m ²	<60 (at 21 °C) Air humidification is not required	
Other rooms	CL3			

*Additional ventilation may be required by local regulations or for microbiological and chemical dilution and heat gains and losses etc. The maximum number of people in the OR should be decided by the client.

** Minimum total value per room

Note 1: The presented minimum ventilation airflow rate is based on a situation where operating rooms are equipped with local exhaust systems for anesthetic gases and surgical smoke. If this is not the case, it is recommended to use higher airflow rate.

Note 2: Bold indicates the range over which the parameter may float.

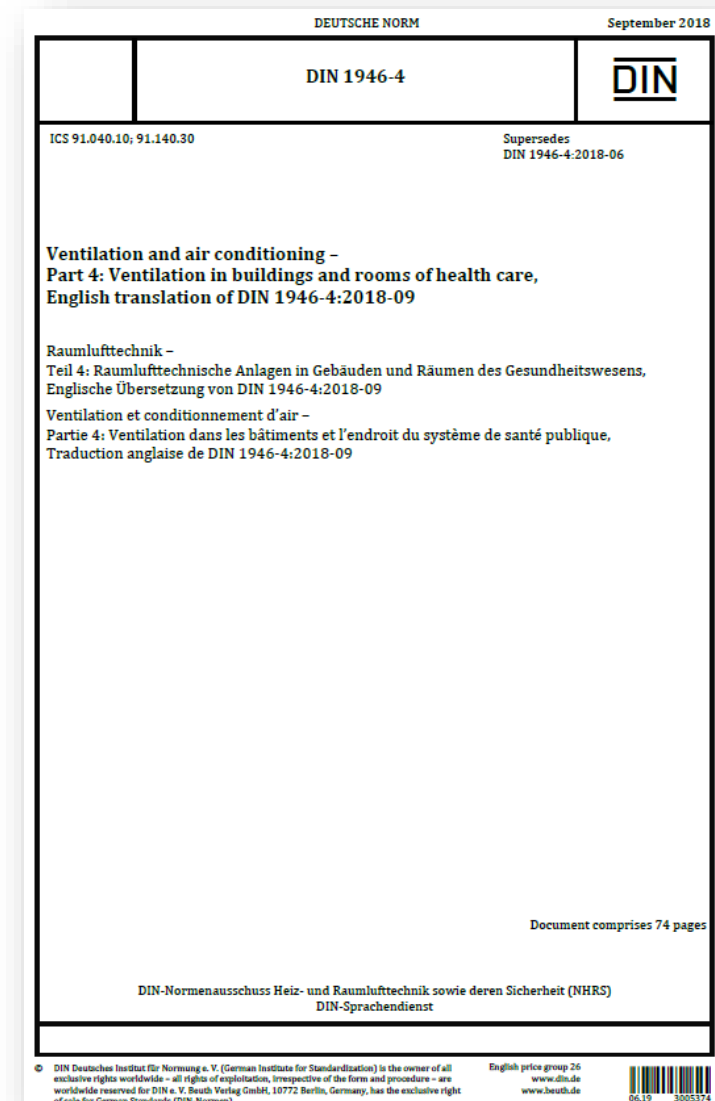
Note 3: Patient temperature control is taken care of by medical thermal devices.

DIN 1946-4 Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care



Recyrkulacja jest dopuszczalna, ale kluczowe jest spełnienie wymagań dodatkowych:

- sale operacyjne/przygotowanie narzędzi: pomieszczenia klasy I z trzystopniową filtracją powietrza
- powietrze może powracać wyłącznie w obrębie jednej sali
- należy zachować dodatni bilans powietrza: suma wszystkich strumieni powietrza nawiewanego > suma wszystkich strumieni powietrza wywiewanego
- należy wziąć pod uwagę zagrożenia zdrowotne spowodowane promieniowaniem rentgenowskim/laserami, dymem chirurgicznym oraz gazami anestetycznymi przed zaprojektowaniem wywiewnych
- przepływ powietrza zewnętrznego $\geq 1200 \text{ m}^3/\text{h}$, przy czym strumień powietrza zewnętrznego powinien być taki, aby wyeliminować zagrożenia zdrowotne spowodowane szkodliwymi gazami (gazami anestetycznymi, gazami z środków dezynfekujących, dymem chirurgicznym itp.)
- wywiewy należy wyposażyć w separatory kłaczków



Health Technical Memorandum 03-01: Specialised ventilation for healthcare premises

Recyrkulacja jest dopuszczalna, ale kluczowe jest spełnienie wymagań dodatkowych:

- niezbędne jest zastosowanie filtrów HEPA na nawiewie

Figure 7 UCV theatre with modular system

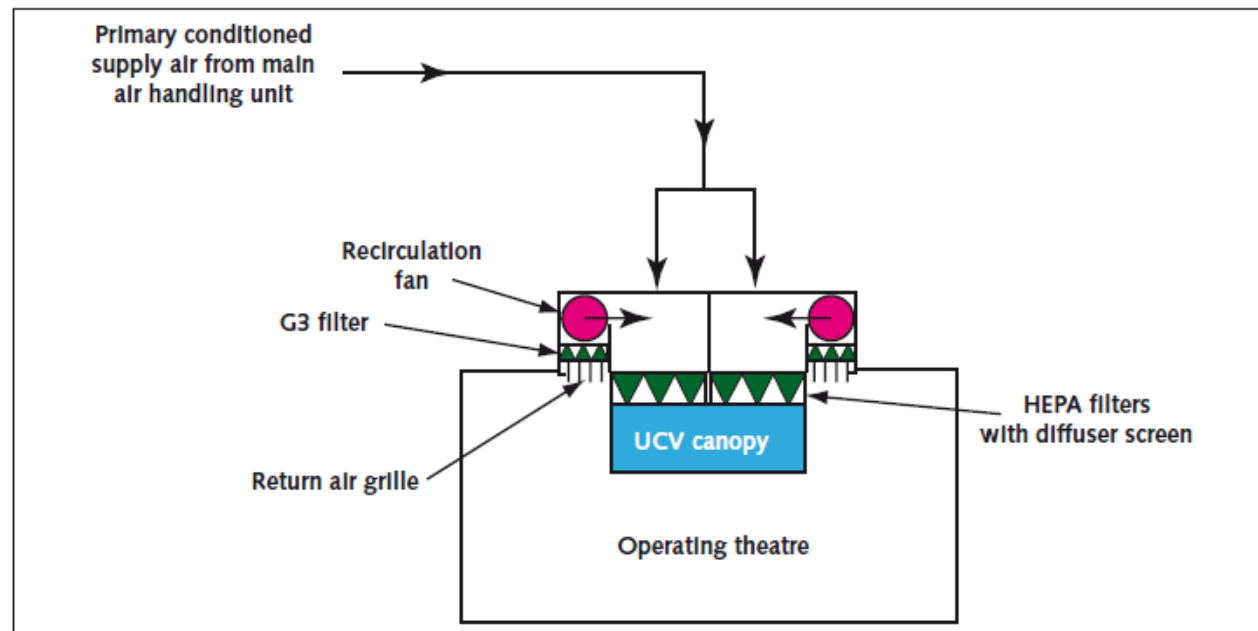
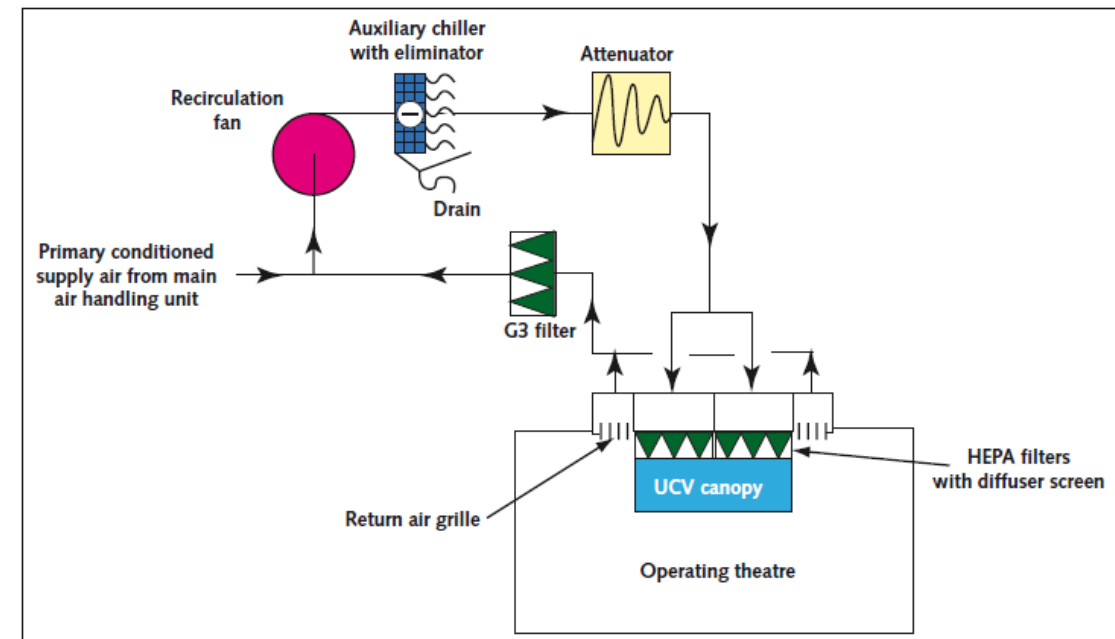


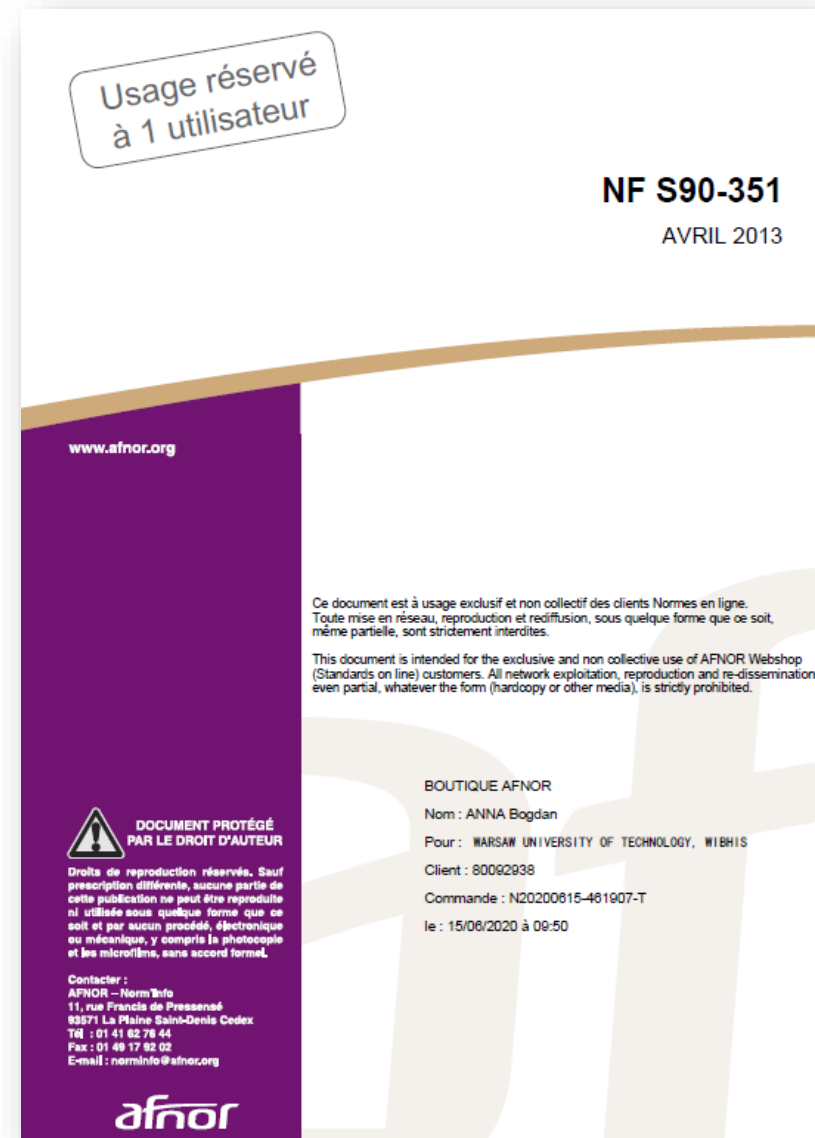
Figure 6 UCV theatre with remote air recirculation



AFNOR SPEC S99-120:2019-04 -> S90-351 Health care institutions — Controlled environment areas — Requirements for airborne contamination control

Recyrkulacja jest dopuszczalna, ale kluczowe jest spełnienie wymagań dodatkowych:

- powietrze musi być recyrkulowane do tej samej strefy
- część powietrza musi być świeża – co najmniej 6 ACH
- powietrze powracające musi być odpowiednio oczyszczone (filtracja HEPA)
- w trybie czuwania system nawiewa powietrze świeże, a recyrkulacja jest wyłączona lub ograniczona



Wytyczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji dla podmiotów wykonujących działalność leczniczą



W pomieszczeniach klasy S1 w celu zrealizowania bezpośredniego odzysku ciepła (recyrkulacji powietrza) dopuszcza się stosowanie:

- stropów laminarnych z funkcją mieszania (moduły recyrkulacyjne w przestrzeni stropu podwieszanego)
- ściennych modułów recyrkulacyjnych (instalowanych w ścianie sali operacyjnej lub bezpośrednio za nią w obszarze sąsiadującym z salą operacyjną)

Wytyczne projektowania,
wykonania, odbioru i eksploatacji
systemów wentylacji i klimatyzacji
dla podmiotów wykonujących
działalność leczniczą

Wytyczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji dla podmiotów wykonujących działalność leczniczą



W przypadku stosowania rozwiązań realizujących recyrkulację powietrza wymaga się, aby:

- powietrze recyrkulacyjne pobierane z sali operacyjnej poddane było filtracji o klasie minimum F7, a przed ponownym wprowadzeniem do sali operacyjnej filtracji o klasie minimum H13 bezpośrednio w nawiewniku,
- kratki wywiewne zasysające powietrze recyrkulacyjne z pomieszczenia były wyposażone w separatory kłaczek o oczkach $< 0,8 \text{ mm}$ [15],
- w przypadku zastosowania rozwiązań z chłodzeniem, w modułach recyrkulacyjnych stosowane były chłodnice pracujące powyżej temperatury punktu rosy dla powietrza recyrkulacyjnego (chłodnice stosuje się w przypadku, kiedy zaprojektowany strumień powietrza zewnętrznego nie jest w stanie usunąć wewnętrznych zysków ciepła i wymagane jest dochłodzenie powietrza),
- system recyrkulacji posiadał możliwość płynnego regulowania prędkości obrotowej wentylatorów recyrkulacyjnych,
- moduły recyrkulacyjne były równomiernie rozłożone wokół nawiewnika,
- w module recyrkulacyjnym przed i za wentylatorem zastosowane były tłumiki w wykonaniu higienicznym,
- konstrukcja systemu nawiewnego spełniała warunek, że nawet w razie awarii, powietrze nawiewane do sali operacyjnej będzie poddane filtracji na wysokoskutecznym filtrze powietrza (np. poprzez zastosowanie przepustnic zwrotnych)
- niedopuszczalny jest przepływ wsteczny przez wentylatory recyrkulacyjne.

Wytyczne projektowania,
wykonania, odbioru i eksploatacji
systemów wentylacji i klimatyzacji
dla podmiotów wykonujących
działalność leczniczą

PODSUMOWANIE



*Istnieje generalnie międzynarodowy konsensus techniczny, że recyrkulacja powietrza w salach operacyjnych powinna być dopuszczalna ze względów ograniczenia zużycia energii **ale wyłącznie po spełnieniu wymagań uwzględniających zapewnienie wysokiej jakości powietrza doprowadzanego ponownie do sali operacyjnej.***

Wymagania powinny obejmować m.in.:

- każda sala operacyjna ma osobny system recyrkulacji powietrza, realizowany w formie higienicznej („suchej”), z płynną regulacją umożliwiającą dopływ wyłącznie powietrza zewnętrznego jeżeli przekroczone zostaną normy higieniczne, uniemożliwiający powrót nieoczyszczonego powietrza do sali operacyjnej,
- powietrze usuwane z sali operacyjnej powinno być przefiltrowane min F7 a następnie przed wprowadzeniem do sali ponownie oczyszczone min H13 / H14
- minimalna ilość powietrza świeżego powinna wynosić 4 ACH / 6 ACH / 1200 m³/h;
- strumień powietrza powinien umożliwić spełnienie wymagań dot. nieprzekroczenia najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy
- należy zachować nadciśnienie w sali operacyjnej
- należy zapewnić lokalny odciąg powietrza zanieczyszczonego gazami znieczulającymi (można np. uzupełnić go czujnikami)

Więcej informacji

BAZA WIEDZY – INŻYNIEROWIE – WENTYLACJA I KLIMATYZACJA



**PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ
SYSTEMÓW WENTYLACJI W
SALACH OPERACYJNYCH –
DONIESIENIA NAUKOWE**

2025-03-12



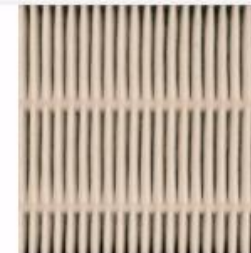
**RECYRKULACJA POWIETRZA
WYWIEWANEGO Z
POMIESZCZENIA**

2025-03-03



**TECHNIKI OCZYSZCZANIA
POWIETRZA NA POTRZEBY
INSTALACJI WENTYLACJI I
KLIMATYZACJI W OBIEKTACH
SZPITALNYCH**

2025-02-28



**FILTRY STOSOWANE W
UKŁADACH OCZYSZCZANIA
POWIETRZA NA POTRZEBY
PLACÓWEK OCHRONY
ZDROWIA**

2025-02-21



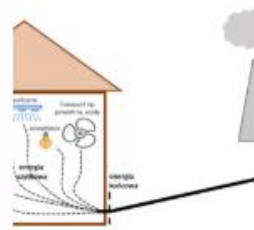
**PRZEGLĄD POSZCZEGÓLNYCH
PARAMETRÓW INSTALACJI
WENTYLACJI DLA SAL
OPERACYJNYCH W ŚWIEŁLE
OBOWIĄZUJĄCYCH W EUROPIE
I USA NORM I WYTYCZNYCH**

2024-12-05



**WYTYCZNE DOTYCZĄCE
WARUNKÓW ŚRODOWISKA
CIEPLNEGO W SALACH
OPERACYJNYCH W KRAJACH
EUROPEJSKICH**

2024-10-04



**CZY MOŻNA POPRAWIĆ
EFEKTYWNOŚĆ
ENERGETYCZNĄ W SZPITALACH
I BUDYNKACH SŁUŻBY
ZDROWIA?**

2024-09-27

Kształtowanie zdrowego i bezpiecznego środowiska w obiektach ochrony zdrowia **TechMedis**

<https://techmedis.pl/>



*Projekt finansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra
Edukacji i Nauki w ramach Programu „Nauka dla Społeczeństwa II”*

