

Kształtowanie zdrowego i bezpiecznego środowiska
w obiektach ochrony zdrowia

TechMedis

Uwarunkowania projektowania instalacji HVAC w pracowniach diagnostyki obrazowej i medycyny nuklearnej

Sylwia Szczęśniak



Politechnika Wroclawska

Wydział Inżynierii Środowiska



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



**NAUKA DLA
SPOŁECZEŃSTWA**



Metody wykorzystywane w diagnostyce obrazowej

Promieniowanie X



Radiografia (RTG klasyczne)

Fluoroskopia

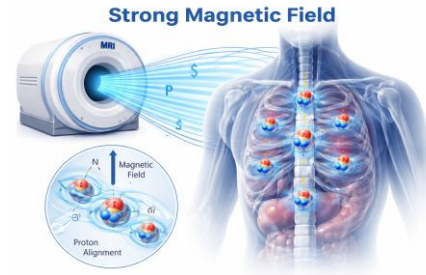
Tomografia komputerowa (CT)

Angiografia (DSA)

Mammografia

Densytometria (DXA)

Silne pole magnetyczne i fale radiowe



Rezonans magnetyczny (MRI)

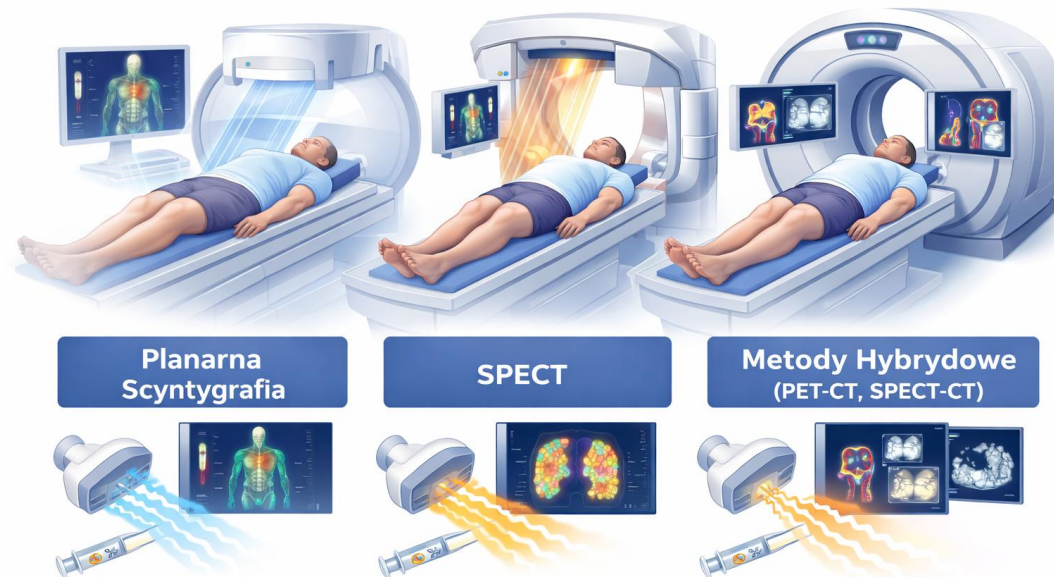
Fale ultradźwiękowe



Ultrasonografia (USG)

Metody wykorzystywane w medycynie nuklearnej

Radiofarmaceutyki (izotopy promieniotwórcze)



Scyntygrafia (planarna) – obraz 2D z użyciem gamma-kamery

SPECT – obrazowanie tomograficzne (3D) emisji gamma

PET – obrazowanie z użyciem pozytonów (wysoka czułość)

PET-CT / SPECT-CT – metody hybrydowe (funkcjonalne + anatomiczne)

Polski krajobraz regulacyjny

| Akt prawny | Konsekwencja dla projektowania HVAC | Konsekwencja dla eksploatacji |
|---|--|---|
| Dz.U. 2024 poz. 1277 <i>Prawo atomowe</i> | Konieczność projektowania systemów ograniczających rozprzestrzenianie skażeń i emisji promieniotwórczych | Stały nadzór nad parametrami wentylacji w strefach kontrolowanych |
| Dz.U. 2021 poz. 1725 diagnostyka obrazowa, radiologia i medycyna nuklearna | Dobór systemów nawiewno-wywiewnych adekwatnych do funkcji pomieszczenia (podciśnienie, separacja stref) | Utrzymanie parametrów zgodnych z przeznaczeniem pomieszczenia |
| Dz.U. 2022 poz. 722 w sprawie terenów kontrolowanych i nadzorowanych | Projektowanie stref wentylacyjnych z kontrolą przepływów między obszarami | Monitoring różnic ciśnień i szczelności stref |
| Dz.U. 2022 poz. 2759 w sprawie testów eksploatacyjnych urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych | Zaprojektowanie stabilnych warunków temperaturowo-wilgotnościowych i systemów chłodzenia | Utrzymanie stałości parametrów środowiskowych wpływających na jakość obrazu |
| Dz.U. 2023 poz. 195 w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej | Projektowanie kontrolowanych kierunków przepływu powietrza, utrzymanie wymaganych gradientów ciśnień | Okresowa weryfikacja skuteczności wentylacji i filtracji |
| Dz.U. 2024 poz. 267 W sprawie formy i szczegółowego zakresu wzorcowych medycznych procedur radiologicznych | Uwzględnienie w projekcie wymagań aseptycznych w procedurach zabiegowych (np. przepływ laminarny) | Kontrola czystości powietrza i skuteczności filtrów |



Fundamentem jest **Prawo atomowe** które definiuje odpowiedzialność, lecz paradoksalnie nie podaje konkretnych parametrów liczbowych dla systemów HVAC. Inżynier musi operować na „wymaganiach opisowych”, co przenosi całe ryzyko projektowe na jego barki.



Nowelizacja Dz.U. 2024 poz. 267 wprowadza standardy wykonywania badań, które są "brakującym ogniwem" między radiologią a chirurgią. **Wymusza to na projektantach HVAC implementację rozwiązań znanych z sal operacyjnych** (np. nawiewy laminarne) w pomieszczeniach o ciężkich ostonach otwieranych, co rodzi potężne konflikty przestrzenne pod stropem.

Wymagania związane z zastosowaną metodą obrazowania

Promieniowanie X

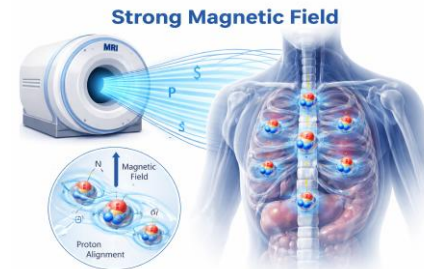


Wymaga nie tylko osłon stałych (ołów, beton barytowy), ale przede wszystkim asymilacji potężnych zysków ciepła generowanych przez lampy rentgenowskie.



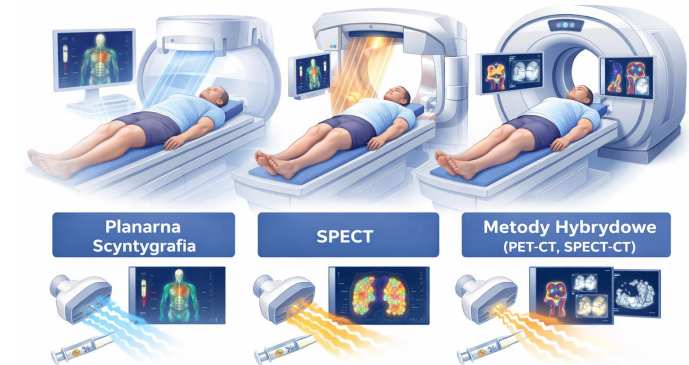
Kumulacja ryzyka radiologicznego, wymuszająca integrację osłon stałych z systemami wentylacji kontrolowanej typowymi dla medycyny nuklearnej.

Silne pole magnetyczne i fale radiowe



Generuje konieczność zachowania rygoru elektromagnetycznego (klatka Faradaya) oraz zaprojektowania systemów bezpieczeństwa dla kriogenów (wyrzut helu – quench).

Izotopy promieniotwórcze



Wymusza rygorystyczną kontrolę emisji, stosowanie śluz powietrznych, powierzchni dekontaminowalnych oraz precyzyjne utrzymywanie gradientów ciśnień.



Co wiemy o dokładności badań?



Fluktuacje termiczne, które przekraczają dopuszczalne progi, powodują rozkalibrowanie detektorów i gantr. W konsekwencji zauważalny jest spadek czułości diagnostycznej (w rekonstrukcji obrazu pojawiają się artefakty) oraz przyspieszone zużycie aparatury.



Stabilność parametrów HVAC to fundament wiarygodności wyniku medycznego.



Czy standardowa klimatyzacja komfortu jest w tych obszarach wystarczająca?

Co to oznacza w praktyce projektowej i eksploatacji?

Projekt

odpowiednie kierunki przepływu powietrza

zachowanie stref ciśnień (nad i podciśnienie)

stosowanie filtracji o różnym stopniu w tym o wysokiej skuteczności (HEPA) oraz filtracji fali radiowych

zapewnienie stabilnych parametrów (T, RH)

ciągłość chłodzenia aparatury

integrację HVAC ze strefami funkcjonalnymi



Bezpieczeństwo

HVAC jest element bezpieczeństwa radiologicznego

poprawna praca systemu HVAC jest warunkiem zgodności prawnej i wiarygodności badań

Eksploatacja

HVAC wymaga **ciągłego monitoringu pracy instalacji**

Polski krajobraz regulacyjny



Są akty prawne, które definiują bezpieczeństwo, ale nie definiują konkretnych parametrów i wymagań








Brak norm określających parametry wymagane dla systemów HVAC (T, RH, ACH, gradacja ciśnienia, filtracja)



Istniejące wymagania techniczne są pośrednie i rozproszone

Zestawienie wytycznych polskich i standardów międzynarodowych

| Kraj | Oznaczenie | Źródło |
|---|-----------------------------|--|
|  | Wytyczne PL (2018) | Charkowska, A., Różycki, A., Sobierajska, A. i Lenarski, R. (2018). Wytyczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji dla podmiotów wykonujących działalność leczniczą. Warszawa: Pracodawcy Rzeczypospolitej Polskiej. |
|  | ASHRAE 170 (2021) | ASHRAE. (2021). ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021: Ventilation of Health Care Facilities. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. |
|  | DIN 1946-4 (2018) | Deutsches Institut für Normung (DIN). (2018). DIN 1946-4:2018-09: Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care. Berlin: Beuth Verlag GmbH. |
|  | SWKI VA105-01 (2015) | SWKI VA105-01. (2015). Lüftungstechnische Anlagen in Gebäuden des im Gesundheitswesen (Ventilation and air conditioning systems in healthcare buildings). Olten: Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren. |
|  | NF S90-351 (2013) | Association Française de Normalisation (AFNOR). (2013). NF S90-351:2013-04: Health care establishments - Controlled environment areas - Requirements for airborne contamination control. Saint-Denis: AFNOR. |

Porównanie klasyfikacji czystości w pomieszczeniach medycznych




















| Norma / Wytyczne | Charakterystyka podziału i klasy czystości |
|-----------------------------|--|
| Wytyczne PL (2018) | Podział obejmuje cztery klasy (S1–S4): S1 (S1a–S1c) – sale operacyjne według inwazyjności i przepływu powietrza; S2 – obszary o podwyższonym rygorze (przygotowanie, izolatki ochronne); S3 – sale izolacji zakaźnej; S4 – standardowe pomieszczenia diagnostyczne i gabinety. |
| ASHRAE 170 (2021) | Klasyfikacja opiera się na funkcji medycznej i przypisanych parametrach wentylacyjnych: w diagnostyce obrazowej wyróżnia się Class 1–3 Imaging (Class 3 – najwyższy rygor, np. sale hybrydowe), a dodatkowo klasy powietrza Air Classes 1–4 (od najczystszego – Class 1, np. sale PE, do skażonego – Class 3/4, np. All lub Hot Lab). |
| DIN 1946-4 (2018) | Podział obejmuje dwie główne klasy: Klasa I (wysoki rygor) – Ia z przepływem jednokierunkowym (UDF) i Ib z przepływem mieszającym dla mniej ryzykownych operacji, oraz Klasa II – standardowe obszary szpitalne, w tym diagnostyka i sale chorych. |
| SWKI VA105-01 (2015) | Podział opiera się na koncepcjach wentylacyjnych (LK): LK 1a–1b dla sal operacyjnych (UDF vs przepływ mieszający) oraz LK 2a–2d dla pozostałych stref – 2a izolacja ochronna, 2b izolacja zakaźna, 2c obszary skażone, 2d standardowa diagnostyka. |
| NF S90-351 (2013) | Podział określa poziomy ryzyka (Risk 2–4) powiązane z klasami ISO: Risk 4 – ISO 5, Risk 3 – ISO 7, Risk 2 – ISO 8, natomiast Risk 1 (niskie ryzyko) pozostaje poza strefami kontrolowanymi. |

Przypisanie pomieszczeń diagnostyki obrazowej i medycyny nuklearnej do klas czystości

| Norma / Wytyczne | Charakterystyka podziału i klasy czystości |
|----------------------|--|
| Wytyczne PL (2018) | Wymienia „pomieszczenia diagnostyki obrazowej” jako element zakresu wytycznych oraz przypisuje je do Klasy S4 (diagnostyka standardowa) lub Klasy S2 (radiologia zabiegowa). Podaje konkretne wymagania dla RTG, CT i MRI. |
| ASHRAE 170 (2021) | najbardziej precyzyjna klasyfikacja procesowa (Class 1–3 Imaging) |
| DIN 1946-4 (2018) | Bazuje na DIN 13080 (2016), która definiuje obszary funkcjonalne 1.07 Diagnostic imaging oraz 1.08 Nuclear medicine. Wymienia podsekcje takie jak Tomografia Komputerowa (1.07.02), Rezonans Magnetyczny (1.07.03) oraz przygotowanie izotopów i cyklotron (1.08.03) |
| SWKI VA105-01 (2015) | Bazuje na DIN 13080 (2016). Zawiera szczegółowe parametry HVAC przypisanych do konkretnych typów pomieszczeń |
| NF S90-351 (2013) | Wymienia wprost Radiofarmację (Radio pharmacie) i przypisuje jej Risk Level 2. Zaznacza przy tym, że jest to obszar podlegający dodatkowym regulacjom dotyczącym radionuklidów. Przyjmuje zasadę, że każda strefa, w której analiza ryzyka wykaże potrzebę kontroli środowiska powietrznego, musi zostać przypisana do jednego z poziomów ryzyka (Risk 2, 3 lub 4). |

Klasyfikacja pomieszczeń diagnostyki i medycyny nuklearnej pod względem przypisania klas czystości pyłowej

| Nazwa pomieszczenia | Wytyczne PL (2018) | ASHRAE 170 (2021) | DIN 1946-4 (2018) | SWKI VA105-01 | NF S90-351 |
|---|--------------------|-------------------|-----------------------|---------------|----------------------|
| Diagnostyka standardowa (RTG, USG, Mammografia) | Klasa S4 | Class 1 Imaging | Klasa II | LK 2d | Risk Level 2 (ISO 8) |
| Tomografia (CT) i Rezonans (MRI) | Klasa S4 | Class 1 Imaging | Klasa II | LK 2d | Risk Level 2 (ISO 8) |
| Skanery PET, SPECT (nieinwazyjne) | Klasa S4 | Class 1 Imaging | Klasa II | LK 2d | Risk Level 2 (ISO 8) |
| Radiologia zabiegowa (Angiografia, Cath Lab) | Klasa S2 | Class 2 Imaging | Klasa Ib (laminarny) | LK 2d lub 2b | Risk Level 3 (ISO 7) |
| Salę Hybrydowe (interwencje złożone) | Klasa S1c | Class 3 Imaging | Klasa Ia (mieszający) | LK 2a | Risk Level 4 (ISO 5) |
| Laboratorium gorące (Hot Lab) / Radiofarmacja | Klasa S2 | Hot Lab | Klasa II | LK 2c | Risk Level 2 |
| Salę terapii izotopowej (pobyt pacjenta) | Klasa S2 | NM Treatment | Klasa II | LK 2c | Risk Level 2 |

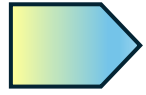
| | | | | |
|--|---|--|---|--|
|  S1 |  Class 3 Imaging rooms |  Klasa I |  Lk 1a i 1b |  Risk Level 4 i 3 |
|  S2 |  Class 2 Imaging rooms |  Klasa II |  LK 2d lub 2b lub 2c |  Risk Level 2 lub 3 lub 4 |
|  S3 |  All/PE |  Klasa II |  LK 2b lub 2c |  Risk Level 2 |
|  S4 |  Class 1 Imaging rooms |  Klasa II |  Lk 2d |  Risk Level 2 lub 1 |

Zestawienie wymagań dotyczących filtracji powietrza

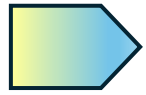
| Pomieszczenie / Obszar | Wytyczne PL (2018) | ASHRAE 170 (2021) | DIN 1946-4 (2018) | SWKI VA105-01 | NF S90-351 |
|--|--------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|
| Diagnostyka standardowa (RTG, CT, MRI, USG) | F7 + F9 | MERV 8 + MERV 14 | (F7 + F9)* | M6 + F9 (LK 2d) | 2-3 stopnie (zależnie od ISO 8) |
| Radiologia zabiegowa (Angiografia, Cath Lab) | F7 + F9 + E11 | MERV 14 (min.) | F7 + F9 + H13 (Klasa Ib) | F9 lub H13 (LK 2b) | 3 stopnie (H13 terminal - Risk 3) |
| Salony Hybrydowe (interwencje złożone) | F7 + F9 + H13 | MERV 16 lub MERV 14 + HEPA | F7 + F9 + H13 (Klasa Ia) | M6 + F9 + H13 (LK 1a) | 3 stopnie (H13/H14 terminal - Risk 4) |
| Medycyna nuklearna (Hot Lab / Radiofarmacja) | F7 + F9 + E11 | MERV 8 | (F7 + F9)* | M6 + F9 (LK 2c) | 2-3 stopnie (zależnie od ISO 8) |
| Salony terapii izotopowej (pobyt pacjenta) | F7 + F9 + E11 | MERV 8 + MERV 14 | (F7 + F9)* | M6 + F9 (LK 2c) | 2-3 stopnie (Risk 2) |

* W normie DIN 1946-4 dla Klasy II stopnie filtracji nie są podane sztywno literowo w tabeli głównej, lecz wynikają z wymogu stosowania filtracji dwustopniowej o skutecznościach odpowiadających ePM1 wg ISO 16890 (dawne F7+F9)

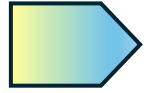
Zestawienie wymagań dotyczących filtracji powietrza - podsumowanie



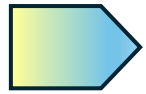
Dla klasy S2 (zabiegowa, Hot Lab) wymagane jest zastosowanie trzeciego stopnia filtracji (minimum E11), co podnosi standard czystości względem typowych pomieszczeń ogólnomedycznych.



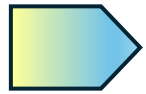
Zaskakująco liberalny jest ASHRAE dla Hot Labu medycyny nuklearnej (MERV 8), który zakłada, że ochrona polega głównie na 100% wyrzucie powietrza na zewnątrz i podciśnieniu, a nie na wysokiej czystości nawiewu.



Norma szwajcarska precyzuje, że w medycynie nuklearnej (LK 2c) filtracja F9 na nawiewie jest wystarczająca, ale priorytetem jest ochrona środowiska zewnętrznego przed izotopami (częsty wymóg filtrów węglowych lub HEPA na wyciągu w specyficznych instalacjach).



Norma francuska uzależnia filtrację od osiągnięcia docelowej klasy czystości ISO. Dla stref Risk 4 (ISO 5) i Risk 3 (ISO 7) bezwzględnie wymagane są filtry HEPA (H13/H14) montowane terminalnie (bezpośrednio w nawiewniku)



W normie VDI 6022 zapisano, że wszystkie systemy muszą spełniać **wymogi odporności na dezynfekcję**, a **materiały filtracyjne nie mogą stanowić pożywki dla drobnoustrojów.**

Możliwość zastosowania recyrkulacji

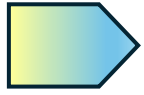
| Pomieszczenie / Obszar | Wytyczne PL (2018) | ASHRAE 170 (2021) | DIN 1946-4 (2018) | SWKI VA105-01 | NF S90-351 |
|---|------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Diagnostyka standardowa (RTG, CT, MRI) | Tak (wymaga zgody PPIS) | Tak | Tak | Tak | Tak |
| Radiologia zabiegowa (Angiografia, Cath Lab) | Tak (wymaga zgody PPIS) | Tak | Tak | Tak | Tak |
| Salę Hybrydowe (Inwazyjne) | Tak (jako moduły recyrk. w S1) | Nie | Tak | Tak (moduły REC w LK 1a) | Tak (Risk 4 – o ile filtry H13) |
| Laboratorium gorące (Hot Lab) | Nie (zalecany 100% wyrzut) | Nie | Nie (zalecany 100% wyrzut) | Nie | Nie |
| Salę terapii izotopowej (pobyt pacjenta) | Nie (ryzyko skażenia otoczenia) | Nie | Nie | Nie | Nie |

Wymagania dotyczące temperatury i wilgotności względnej powietrza

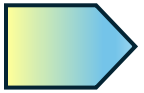
| Pomieszczenie / Obszar | Wytyczne PL (2018) | ASHRAE 170 (2021) | DIN 1946-4 (2018) | SWKI VA105-01 (2015) | NF S90-351 (2013) |
|--|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Diagnostyka standardowa (RTG, CT*, MRI*, USG) | 20 – 24°C 30 – 65% | 22 – 26°C max. 60 % | 22 – 26°C 30 – 65 % | 22 – 28°C 30 – 50% | 19 – 26 °C zależnie od potrzeb |
| Radiologia zabiegowa / Interwencyjna | 19 – 23°C 30 – 65% | (20) 21 – 24°C 20 – 60% | 22 – 26°C 30 – 65% | 22 – 26°C 30 – 50% | 19 – 26°C zależnie od potrzeb |
| Medycyna nuklearna (Skanery PET, SPECT) | 19 – 23°C 30 – 65% | 21 – 24°C max. 60% | 22 – 26°C 30 – 65% | 20 – 26°C 30 – 50% | 19 – 26°C brak |
| Laboratorium gorące (Hot Lab) / Radiofarmacja | 19 – 23°C 30 – 65% | 21 – 24°C brak | 22 – 26°C 30 – 65% | 20 – 26°C wg technologii | 19 – 26°C brak |
| Sale terapii izotopowej (pobyt pacjenta) | 19 – 23°C 30 – 65% | 21 – 24°C brak | 22 – 26°C 30 – 65% | 22 – 26°C wg technologii | 19 – 26°C brak |

* W przypadku CT i MRI nadrzędne są zawsze wymagania producenta aparatury (często wymagające utrzymania temperatury z dokładnością do ± 1 K).

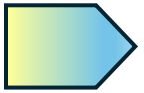
Wymagania dotyczące temperatury i wilgotności względnej powietrza - wnioski



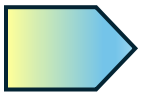
Dla pomieszczeń klasy S4 wytyczne polskie zalecają 21°C w zimie oraz 23 °C w lecie. W przypadku CT i MRI nadrzędne są zawsze wymagania producenta aparatury (często wymagające utrzymania temperatury z dokładnością do ± 1 K).



ASHRAE dopuszcza obniżenie temperatury dla sal radiologii inwazyjnej do 20 °C w celu zapewnienia komfortu personelowi pracującemu w ciężkiej odzieży ochronnej.



Norma szwajcarska dopuszcza temperaturę do 28 °C w pracowniach RTG czy CT, o ile wynika to z wysokich zysków ciepła od aparatury, przy założeniu zachowania komfortu personelu.

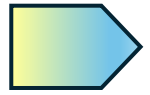


Niemiecka norma dla sal klasy Ia i Ib (np. sale hybrydowe) nakazuje utrzymywanie stałej temperatury w zakresie 19–26 °C z możliwością indywidualnego wyboru przez użytkownika.

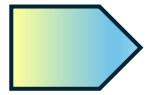
Dopuszczalny poziom hałasu [dB(A)] wg standardów krajowych i międzynarodowych

| Nazwa pomieszczenia | Wytyczne PL (2018) | ASHRAE 170 (2021) | DIN 1946-4 (2018) | SWKI VA105-01 | NF S90-351 |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------|------------|
| Radiologia (RTG, Mammo.) | 35 | 40 – 45 | 40 – 45 | 40 / 35 | ≤ 45 |
| Tomografia (CT) | 35 | wg użytkownika | wg użytkownika | 50 | ≤ 45 |
| Rezonans (MRI) | 35 | wg użytkownika | wg użytkownika | 50 | ≤ 45 |
| Sonografia (USG) | 35 | 40 – 45 | 40 – 45 | 40 / 35 | ≤ 45 |
| Diagnostyka fizjologiczna | 35 | 40 – 45 | 40 – 45 | 40 / 35 | ≤ 45 |
| Medycyna nuklearna (skanery) | 35 | 40 – 45 | 40 – 45 | 40 / 35 | ≤ 45 |
| Laboratorium gorące (Hot Lab) | 35 | 40 – 45 | 40 – 45 | 45 | ≤ 45 |
| Gabinety / Konsultacyjne | 35 | 40 | 40 | 40 | ≤ 45 |
| Endoskopia (diagnostyczna) | 35 | 40 – 45 | 40 – 45 | 40 / 35 | ≤ 45 |
| Sale terapii (pobyt) | 30 | 35 – 40 | 35 – 40 | 35 / 30 | ≤ 40 |

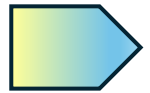
Dopuszczalny poziom hałasu [dB(A)] wg standardów krajowych i międzynarodowych - wnioski



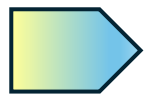
Normy **DIN 1946-4** i **ASHRAE 170** wykazują pełną zgodność w kwestii limitów hałasu, określając je zazwyczaj w przedziale **40–45 dB(A)** dla obszarów diagnostycznych.



Polskie wytyczne branżowe nakładają reżim akustyczny (**30–35 dB(A)**), który jest **znacznie bardziej restrykcyjny** niż wymagania obowiązujące w Niemczech, USA, Szwajcarii czy Francji.

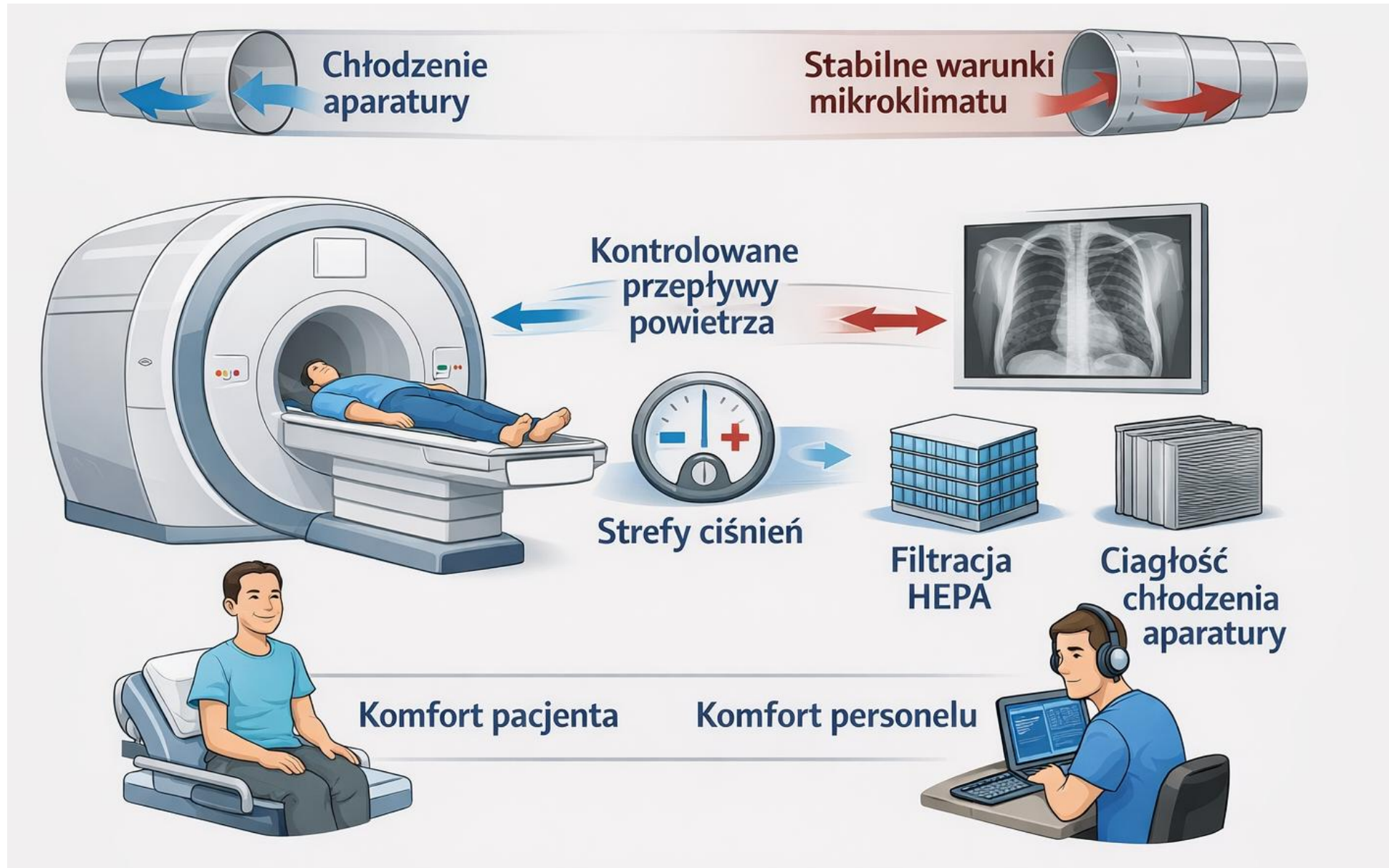


Osiągnięcie tak niskich wartości jak w Polsce wymaga ograniczania prędkości powietrza w kanałach do minimum, co może skutkować nienaturalnie dużymi gabarytami instalacji.



Źródła wskazują, że sam pracujący sprzęt medyczny (nawet w trybie podtrzymania) często generuje hałas na poziomie **30 dB(A)** i więcej, co czyni polskie normy dla systemów HVAC wyjątkowo trudnymi do spełnienia w praktyce.

Podsumowanie



Kształtowanie zdrowego i bezpiecznego środowiska w obiektach ochrony zdrowia

TechMedis



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





Dziękuję za uwagę

