

## POMIARY SKUTECZNOŚCI WENTYLACJI W POMIESZCZENIU RENTGENA W SZPITALU POWIATOWYM

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK\*, Andrzej GAJEWSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Przedmiotem opracowania jest zbadanie skuteczności wentylacji mechanicznej w pomieszczeniu rentgena. Pomieszczenie rentgena znajduje się na pierwszym piętrze szpitala w mieście powiatowym. Jest ono świeżo wyremontowane z nowoczesną, niedawno zakupioną aparaturą rentgenowską i z zainstalowaną nową instalacją wentylacyjną. Układy wentylacyjne są układami autonomicznymi. Strumień odciąganego powietrza powinien wynosić  $1,5 \text{ h}^{-1}$  krotności wykonano pomiary i obliczenia i wykazano, że obecnie jest zapewnionych  $1,34 \text{ h}^{-1}$ . Strumień powietrza nawiewanego jest mniejszy niż strumień powietrza usuwanego i wynosi  $0,77 \text{ h}^{-1}$ . Wentylacja mechaniczna zainstalowana w pomieszczeniu gabinetu rentgenowskiego obecnie nie spełnia stawianych jej wymagań.

*Słowa kluczowe:* wentylacja, skuteczność wentylacji.

### 1. Wprowadzenie

#### 1.1. Uwagi ogólne

Warunki, jakim powinny odpowiadać gabinety lekarskie reguluje Rozporządzenie Ministra Zdrowia (Dz. U. z 21.09.2006, Nr 180 poz. 1325) w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać pod względem fachowym i sanitarnym pomieszczenia i urządzenia zakładu opieki zdrowotnej. Rozporządzenie to określa, że każde pomieszczenie zakładu opieki zdrowotnej powinno być wyposażone w wentylację zgodnie z wymaganiami prawa budowlanego (Dz. U. Nr 75 z 15.06.2002). Wentylacja powinna zapewniać co najmniej 1,5-krotną wymianę powietrza na godzinę, a w pomieszczeniach, w których konieczna jest zwiększona wymiana powietrza przekraczająca 2-krotną wymianę na godzinę, powinna być zainstalowana wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna.

Ustawa mówi również, że wentylacja mechaniczna i klimatyzacja powinna być grupowana w zespoły nawiewno-wywiewne, każdy z zespołów może obsługiwać pomieszczenia o porównywalnym poziomie wymagań sanitarnych i zbliżonej funkcji oraz że wentylacja mechaniczna, jak i klimatyzacja ma być poddawana okresowemu czyszczeniu, a w przypadku klimatyzacji dodatkowo dezynfekcji. W rozporządzeniu nie wspomniano o czyszczeniu kanałów wentylacji grawitacyjnej.

Minimum higieniczne w pomieszczeniach gabinetów lekarskich, podobnie jak w innych pomieszczeniach

użyteczności publicznej jest to minimalna ilość powietrza wentylacyjnego przypadająca na jedną osobę w ciągu godziny, zapewniająca godziwe warunki do przebywania w pomieszczeniu. W różnych normach i wytycznych postrzegane jest to inaczej. Wymóg minimum higienicznego o zastrzonym rygorze według DIN 1946-2 (2010) *Ventilation and air conditioning; technical health requirements* zakłada  $50 \text{ m}^3$  na jedną osobę w ciągu godziny, według ASHRAE Standard 62-1989 *Ventilation for acceptable Indoor Air Quality* jest to  $36 \text{ m}^3$ , PN-83/B-03430 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania ze zmianami* podaje  $20 \text{ m}^3$ . Parametry powietrza wewnętrznego jakim powinno odpowiadać powietrze w pomieszczeniach użyteczności publicznej podaje norma PN-78/B-03421 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt stały ludzi*.

#### 1.2. Badane pomieszczenie

Gabinet składa się z następujących pomieszczeń: gabinet rentgena, sterownia, WC, przebieralnia kobiet i mężczyzn, poczekalnia. We wszystkich pomieszczeniach znajdują się kratki wentylacji grawitacyjnej. Sterownia ma okna usytuowane po przeciwnej stronie w stosunku do drzwi wejściowych. Na ścianie pomiędzy drzwiami i oknami, na wysokości około 2,5 m od podłogi zainstalowane są dwie kratki wyciągowe (rys. 1). Kratki te umieszczone są na kanale murowanym. Po przeciwległej stronie pomieszczenia, tuż nad podłogą znajduje się kratka

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska@pb.edu.pl

nawiewna, również zainstalowana na kanale murowanym. Osłony kratki nawiewnych i wyciągowych są bardzo gęste.

Wentylacja mechaniczna włączana jest przez dwa autonomiczne włączniki usytuowane w różnych miejscach gabinetu. Jeden włącznik znajduje się na ścianie z kratkami wyciągowymi, drugi w pomieszczeniu obok – pomieszczeniu sterowni aparatury (pomieszczenie oddzielone jest ścianką działową). Układy wentylacyjne, jak stwierdzono podczas inwentaryzacji, są układami autonomicznymi. Zlokalizowano dwa wentylatory – jeden nawiewny, drugi wyciągowy wyciągający powietrze przez dwie kratki. Usytuowanie kratki zamieszczono na rys. 1. Średnia wysokość pomieszczenia wynosi 3 m.

## 2. Pomiary i obliczenia

### 2.1. Pomiary wentylacji wyciągowej

Wykonano pomiary średniej prędkości powietrza wyciąganego przez kratki wyciągowe oraz średniej prędkości powietrza nawiewanego przez kratkę nawiewną oraz zmierzono wymiary badanych kratki (Makowiecki, 1973; Recknagel i in., 1999). Wykonano również pomiary głównych wymiarów badanego pomieszczenia w celu

określenia kubatury. Do pomiarów prędkości zastosowano anemometr skrzydełkowy Testo o dokładności pomiaru 0,2 m/s

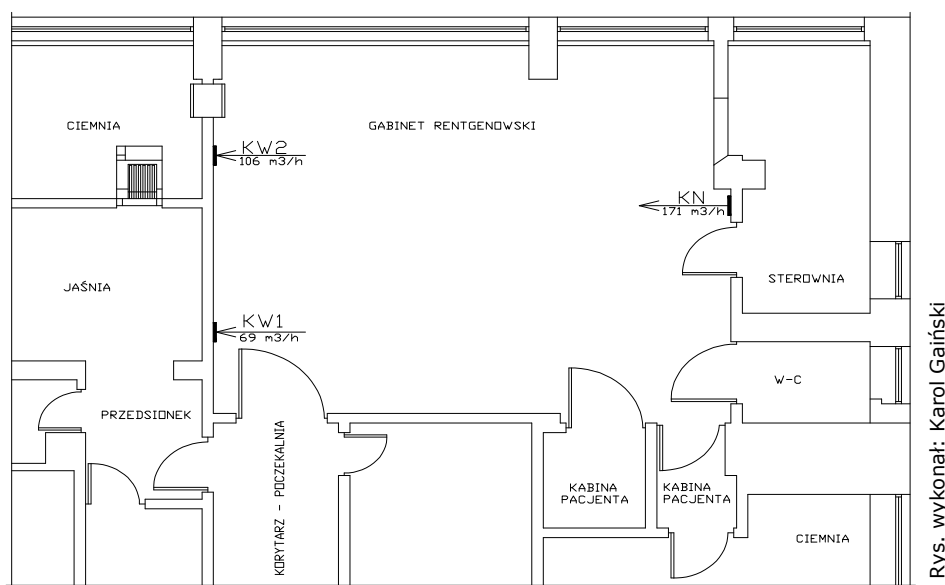
Wyniki pomiarów wentylacji wyciągowej prezentuje tab. 1. Prędkość na kratkach wyciągowych wyznaczono jako średnią arytmetyczną prędkości zmierzonych w określonych punktach pomiarowych (Makowiecki, 1973). Wymiary pomieszczenia –  $5,8 \times 6,6 \times 3,0$  m, kubatura –  $114,84 \text{ m}^3$ .

### 2.2. Pomiary wentylacji nawiewnej

Nawiew do gabinetu rentgenowskiego realizowany jest przez kratkę usytuowaną po przeciwległej stronie w stosunku do kratki wyciągowej. Wyniki pomiarów wentylacji mechanicznej nawiewnej prezentowane są w tab. 2. Prędkość średnią na kratce nawiewnej wyznaczono jako średnią arytmetyczną prędkości zmierzonych w określonych punktach pomiarowych otworu (Makowiecki, 1973; Recknagel i in., 1999).

### 2.3. Pomiary parametrów powietrza wewnętrznego

Zmierzono parametry powietrza wewnętrznego, które wyniosły: temperatura –  $24,1^\circ\text{C}$ ; wilgotność –  $69,9\%$ ;



Rys. 1. Badane pomieszczenie

Tab. 1. Pomiary skuteczności wentylacji mechanicznej wyciągowej

Odciąg	Wymiary odciaгу mm x mm	Zmierzona prędkość m/s	Wydatek wyznaczony w pomiarach $\text{m}^3/\text{h}$	Krotność wymian	
				projektowana $\text{h}^{-1}$	z pomiarów $\text{h}^{-1}$
Kratka I	200x140	0,93	93,74		
Kratka II	200x140	0,60	60,48	1,5	1,34

Tab. 2. Pomiary wydajności wentylacji nawiewnej

Odciąg	Wymiary otworu mm	Zmierzona prędkość m/s	Wydatek wyznaczony w pomiarach $\text{m}^3/\text{h}$	Krotność wymian	
				projektowana $\text{h}^{-1}$	z pomiarów $\text{h}^{-1}$
Kratka	300x220	0,37	87,91	1,5	0,77

stężenie CO<sub>2</sub> – 571 ppm. Wilgotność w pomieszczeniu podczas badań była wysoka, spowodowana dużą wilgotnością powietrza zewnętrznego (86,3%) oraz pracami wykończeniowymi w pomieszczeniu.

#### 2.4. Bilans ciepła w pomieszczeniu

Ponieważ wielkość krotności wymian jest niezgodna z wytycznymi zawartymi w literaturze wykonano bilans ciepła w pomieszczeniu.

##### Obliczenie zysków ciepła od ludzi

$$Q = \varphi \cdot \eta \cdot n \cdot q_l \quad [\text{W}] \quad (1)$$

gdzie  $n$  oznacza liczbę osób,  $q_l$  jest to ciepło jawne oddawane do otoczenia przez jedną osobę przy określonej aktywności fizycznej i temperaturze powietrza w W,  $\varphi$  jest współczynnikiem jednoczesności przebywania ludzi,  $\eta$  jest współczynnikiem uwzględniający wiek i płeć osób przebywających w pomieszczeniu.

Przewidywana jest obecność dwóch osób  $n = 2$ , pacjent – praca lekka leżąca  $q_l = 74 \text{ W}$ , technik – praca lekka stojąca  $q_l = 80 \text{ W}$ , brak danych odnośnie wieku i płci  $\varphi = 0,9$ ; współczynnik jednoczesności przebywania ludzi  $\eta = 1$ . Temperatura w pomieszczeniu wynosi 23 °C. Ciepło oddawane przez ludzi do otoczenia w pomieszczeniu rentgena wynosi  $Q = 139 \text{ W}$ .

##### Zyski ciepła od oświetlenia

$$Q_o = N \cdot \varphi \cdot \beta \cdot F \quad [\text{W}] \quad (2)$$

gdzie  $N$  jest mocą zainstalowanego oświetlenia w W,  $\varphi$  jest to współczynnik jednoczesności wykorzystania mocy oświetlenia,  $\beta$  jest to współczynnik przejmowania ciepła przez powietrze;  $F$  oznacza powierzchnię pomieszczenia w m<sup>2</sup>.

Przyjęto oświetlenie pełne:  $N = 32 \text{ W/m}^2$ ,  $\varphi = 1$ ,  $\beta = 0,15$ ,  $F = 38,28 \text{ m}^2$ . Zyski ciepła od oświetlenia wynoszą 184 W.

##### Zyski ciepła od nasłonecznienia

$$Q_{ok} = F[\phi_1 \phi_2 \phi_3 (k_c R_s I_c + k_r R_c I_r) + U(t_z - t_n)] \quad [\text{W}] \quad (3)$$

gdzie  $F$  oznacza powierzchnia okien w świetle muru w m<sup>2</sup>,  $\phi_1$  jest to współczynnik uwzględniający udział powierzchni szkła w całkowitej powierzchni okna,  $\phi_2$  jest to współczynnik uwzględniający wysokość pomieszczenia nad poziomem morza,  $\phi_3$  jest to współczynnik uwzględniający rodzaj szkła, ilość szyb oraz obecność ewentualnych zasłon przeciwsłonecznych,  $k_c$ ,  $k_r$  są to współczynniki akumulacji ciepła w przegrodach,  $R_s$  oznacza stosunek powierzchni nasłonecznionej do całkowitej powierzchni okna,  $R_c$  oznacza stosunek powierzchni zacienionej do całkowitej powierzchni okna,  $U$  jest to współczynnik przenikania ciepła przez okno w W/m<sup>2</sup>K,  $t_z$ ,  $t_n$  oznaczają temperaturę powietrza zewnętrznego i wewnętrznego w rozpatrywanym pomieszczeniu w °C,  $I_c$ ,  $I_r$  są to natężenia promieniowania słonecznego i rozproszonego w W/m<sup>2</sup>.

Okna plastikowe:  $\phi_1 = 0,9$ , o powierzchni  $F = 8 \text{ m}^2$ , położenie około 400 m nad poziomem morza  $\phi_2 = 1,02$ ,

z żaluzjami wewnętrznymi od strony pomieszczenia  $\phi_3 = 0,59$ , budynek o wadze konstrukcji średniej, okna od strony północno-zachodniej  $k_r = 0,65$ ,  $k_c = 0,99$ , okna zagłębione w murze na 20 cm  $R_s = 0,73$ ,  $R_c = 0,27$ , o godzinie 17.00 następuje kumulacja zysków ciepła przez okna dla średniej przezroczystości atmosfery  $I_c = 55$ ,  $I_r = 279$ . Ponieważ  $(t_z - t_n) > 3^\circ\text{C}$  dla trzech wewnętrznych ścian to wyrażenie  $U(t_z - t_n)$  pomijamy w obliczeniach. Pomieszczenie rentgena ma tylko jedną ścianę zewnętrzną, warunek ten jest więc spełniony. Zyski ciepła od nasłonecznienia wynoszą 143 W.

##### Zyski ciepła od urządzenia – aparatu rentgena

$$Q_r = N \cdot \varphi \cdot \beta \quad [\text{W}] \quad (4)$$

gdzie  $N$  jest to moc zainstalowanej aparatury w W,  $\varphi$  oznacza współczynnik jednoczesności wykorzystania mocy oświetlenia,  $\beta$  jest to współczynnik przejmowania ciepła przez powietrze.

Przyjęto za producentem:  $N = 60 \text{ kW}$ ,  $\varphi = 0,1$ ,  $\beta = 0,05$ . Zyski ciepła od aparatu rentgena wynoszą 300 W.

Sumaryczne zyski ciepła w pomieszczeniu rentgena są sumą zysków ciepła od ludzi, zysków ciepła od oświetlenia, zysków ciepła od nasłonecznienia, zysków ciepła od urządzenia i wynoszą 766 W.

#### 2.5. Obciążenie cieplne pomieszczenia

Obciążenie cieplne pomieszczenia określamy z zależności:

$$q = \frac{\Sigma Q}{F} \quad [\text{W/m}^2] \quad (5)$$

gdzie  $\Sigma Q$  jest sumą zysków ciepła w pomieszczeniu w W,  $F$  oznacza powierzchnię pomieszczenia w m<sup>2</sup>.

Obciążenie cieplne wynosi 20 W/m<sup>2</sup>K i zaliczane jest do małych obciążeń cieplnych pomieszczenia.

#### 2.6. Ilość powietrza wentylacyjnego potrzebna do usunięcia zysków ciepła

Ilość powietrza wentylacyjnego potrzebna do usunięcia zysków ciepła obliczamy z zależności:

$$V_Q^* = \frac{\Sigma Q \cdot 10^{-3}}{c_p \cdot \rho \cdot (t_u - t_n)} \quad [\text{W/m}^2] \quad (6)$$

gdzie  $\Sigma Q$  jest sumą zysków ciepła w W,  $c_p$  jest to ciepło właściwe powietrza, które wynosi 1 kJ/kgK,  $\rho$  oznacza gęstość powietrza przy temperaturze +23 °C i wynosi 1,2 kg/m<sup>3</sup>,  $(t_u - t_n)$  jest różnicą temperatur powietrza usuwanego i powietrza nawiewanego w deg.

W pomieszczeniach z małymi zyskami ciepła i w pomieszczeniach niskich, o wysokości do 4 m  $(t_u - t_n)$  wynosi 2–4 K. Przyjęto 4 K. Ilość powietrza wentylacyjnego potrzebna do usunięcia zysków ciepła wynosi 0,16 m<sup>3</sup>/s.

## 2.7. Krotność wymian na podstawie bilansu ciepła

Krotność wymian na podstawie bilansu ciepła w pomieszczeniu obliczamy z zależności:

$$n = \frac{V^*}{V} [\text{h}^{-1}] \quad (7)$$

gdzie  $V^*$  oznacza ilość powietrza wentylacyjnego potrzebną do usunięcia zysków ciepła w  $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $V$  jest kubaturą pomieszczenia w  $\text{m}^3$ .

Biorąc pod uwagę bilans ciepła pomieszczenia rentgena krotność wymian wynosi  $5 \text{ h}^{-1}$ .

## 3. Podsumowanie

W pomieszczeniu gabinetu warunek krotności wymian nie jest obecnie spełniony. Krotność, którą określono w dniu pomiarów wynosi  $1,34 \text{ h}^{-1}$  dla kratki wyciągowych. W pomieszczeniu panuje podciśnienie wytworzone przez wentylację mechaniczną wyciągową, ponieważ krotność wymian określona dla kratki nawiewnej wynosi  $0,77 \text{ h}^{-1}$ .

Kanały murowane mają bardzo duże opory związane z chropowatością przewodu, a tym samym duże straty miejscowe. Zachodzi tu też zjawisko zasysania powietrza na drodze kanału, co zmniejsza strumień zasysanego lub doprowadzanego powietrza. W kanałach tych szybkiej osadzają się zanieczyszczenia i trudno je oczyścić. W myśl Rozporządzenia Ministra Zdrowia (Dz. U. z 21.08.2006) kanały te trzeba będzie okresowo czyścić. Osłony kratki nawiewnych i wyciągowych są bardzo gęste co dodatkowo zwiększa opory przepływu.

Niefortunnym jest zainstalowanie wentylacji mechanicznej pracującej podciśnieniowo i pozostawienie wentylacji grawitacyjnej. Podciśnienie spowoduje zassanie powietrza nie tylko przez nieszczelności stolarki budowlanej z otaczających pomieszczeń, co w szpitalu ze wszech miar jest niepożądanym efektem, ale też przez kanały wentylacji grawitacyjnej, które powinny służyć do odprowadzania powietrza z pomieszczenia.

Krotność wymian obliczona na podstawie bilansu cieplnego wynosi 5 i jest zdecydowanie większa niż podają Rozporządzenia (Dz. U. Nr 75 z 15.06.2002, Dz. U. z 21.08.2006, MP nr 19 z 12.03.1996), które nakazują co najmniej 1,5-krotną wymianę powietrza na godzinę. Pomimo, że krotność wymian jest niewystarczająca wymóg minimum higienicznego jest spełniony zgodnie z PN-83/B-03430.

## 4. Wnioski końcowe i zalecenia

- Skuteczność wentylacji mechanicznej wyciągowej i nawiewnej nie jest obecnie prawidłowa, ani nie zapewnia usunięcia zysków ciepła z pomieszczenia, ani nie jest zgodna z wytycznymi (Makowiecki, 1973; Recknagel i in., 1999; Dz. U. z 21.08.2006).

- Należy zwiększyć wydajność wentylatorów nawiewnego i wyciągowego.
- W kanały murowane, wstawić przewody blaszane by doprowadzić do zmniejszenia oporów przepływu i poprawić czystość transportowanego powietrza

## Literatura

- Makowiecki J. (1973). Montaż i eksploatacja urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, *Arkady*, Warszawa.
- Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E. R. (1999). *Poradnik Ogrzewnictwo + Klimatyzacja z uwzględnieniem chłodnictwa i zaopatrzenia w ciepłą wodę*, *EWFE*, Gdańsk.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przemysłowej i Budownictwa z 12.04.2002 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*; Dz. U. Nr 75 z 15.06.2002.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać pod względem fachowym i sanitarnym pomieszczenia i urządzenia zakładu opieki zdrowotnej*, *Dziennik Ustaw* Nr 180 poz. 1325.
- Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 12.03.1996 w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi*, *MP* nr 19 z 1996 poz. 231.

## MEASUREMENTS OF THE EFFECTIVENESS OF THE VENTILATION SYSTEM IN AN X-RAY ROOM IN A COUNTY HOSPITAL

**Abstract:** This study seeks to examine the effectiveness of mechanical ventilation systems in an X-ray room. The X-ray room is situated on the first floor of a hospital in a county town. The facilities have recently undergone thorough renovation and the room was equipped with a modern X-ray apparatus. Also, a new ventilation system was installed. Both ventilation systems work independently. Supply and exhaust grilles are fitted into brick ducts. The air exchange rate for the exhausted air should amount to  $1.5 \text{ h}^{-1}$ , yet upon examination it turned out that the actual value was  $1.34 \text{ h}^{-1}$ . The incoming airflow is smaller than the amount of air drawn out of the room and amounts to  $0.77 \text{ h}^{-1}$ . The mechanical ventilation systems do not meet the required standards..

Praca naukowa sfinansowana przez Politechnikę Białostocką w ramach prac własnych W/WBiŚ/3/10 i W/WBiŚ/16/10