

STRATY CIEPŁA PRZEZ OKNA I WENTYLACJA POMIESZCZEŃ W BUDYNKACH EDUKACYJNYCH

Piotr LIS*

* Politechnika Częstochowska, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ochrony Atmosfery
Ul. J. H. Dąbrowskiego 71, 42-200 Częstochowa, e-mail: piolis@is.pcz.czyst.pl

Streszczenie: W referacie scharakteryzowano problematykę strat ciepła przez okna w budynkach edukacyjnych wraz z omówieniem podstawowych czynników związanych z tym zagadnieniem. Uwzględniono rolę okien w zapewnieniu odpowiednich warunków wentylacji grawitacyjnej i przebywania osób w tych obiektach.

Słowa kluczowe: straty ciepła, okna, infiltracja powietrza, ogrzewanie pomieszczeń, budynki edukacyjne.

1. WPROWADZENIE

Zaprezentowana analiza obejmuje 50 budynków szkół tworzących miejską zbiorowość tego typu obiektów mieszczących Szkoły Podstawowe i Gimnazja. Dane wyjściowe wykorzystywane w prezentowanej analizie pochodzą z prowadzonych w latach 90-tych i obecnie badań statystycznych pełnych.

Ogólną charakterystykę statystyczną badanej grupy obiektów przedstawiono w tab. 1.

Okna w budynkach edukacyjnych są elementem ważnym i to przynajmniej dla trzech grup zagadnień powiązanych między sobą i związanych z eksploatacją pomieszczeń szkolnych, a mianowicie:

- dla specyfiki funkcjonalnej obiektów związanej z zapewnieniem odpowiednich warunków oświetlenia;
- dla sezonowego zużycia ciepła do ogrzewania pomieszczeń szkolnych, z uwagi na zazwyczaj znacznie gorszą od ścian zewnętrznych termoizolacyjność okien;
- dla wentylacji grawitacyjnej pomieszczeń, gdzie napływ powietrza odbywa się przez okna o określonym współczynniku infiltracji, zapewniającym dostarczenie wymaganych ilości powietrza z zewnątrz do pomieszczenia nawet przy zamkniętych oknach..

Mając na uwadze powyższe przedstawiono wybraną problematykę dotyczącą okien w budynkach edukacyjnych w

aspekcie ich wpływu zarówno na sezonowe zużycie ciepła do ogrzewania szkół Q , jak i na warunki pracy i nauki zależne w dużym stopniu od poprawnie funkcjonującej wentylacji.

Tabela 1. Wybrane miary opisu statystycznego dla budynków edukacyjnych.

Table 1. Selected statistical indexes for educational buildings.

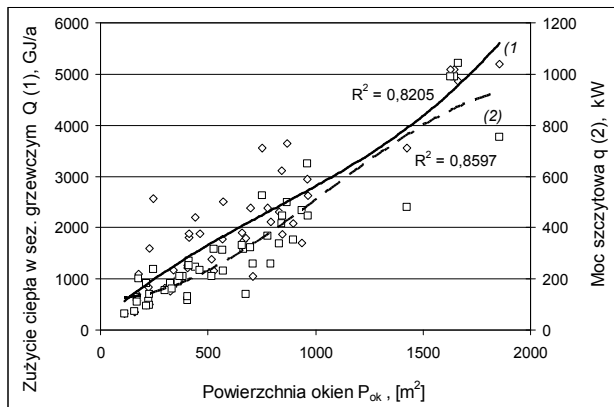
Wielkość x	Wybrane miary opisu statystycznego		
	Wartość średnia \bar{x}_{sr}	Odchylenie stand. $s(x)$	Wsp. zmienności $V_k(x)$
Kubatura ogrzewana V, m^3	21485	10968	51,1%
Powierzchnia ogrzewana P_o, m^2	4609	2494	54,4%
Moc szczytowa q, kW	492,68	263,98	53,6%
$q/V, W/(m^3a)$	23,19	5,33	23,0%
$Q, GJ/a$	3099,19	1214,86	24,97%
$Q/V, MJ/(m^3a)$	152,80	33,20	16,29%

2. ZWIĄZEK OKIEN ZE STRATAMI CIEPŁA I FUNKCJONOWANIEM WENTYLACJI GRAWITACYJNEJ POMIESZCZEŃ

Głównymi przyczynami znaczących strat ciepła związanych z oknami jest przenikanie ciepła i nadmierna, niekontrolowana infiltracja chłodnego powietrza z zewnątrz. Mając na uwadze znaczne powierzchnie okien występujące w szkołach, zazwyczaj większe niż w przypadku przegród zewnętrznych nieprzezroczystych wartości współczynników przenikania ciepła, nadmierne nieszczelności

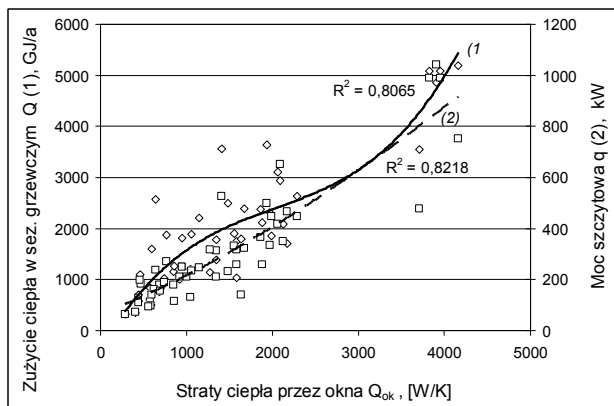
stolarki okiennej, poruszana problematyka nabiera dodatkowego znaczenia. Na rys.1,2 przedstawiono zależność pomiędzy rzeczywistym sezonowym zużyciem ciepła Q do ogrzewania i mocą szczytową q w badanych obiektach, a powierzchnią okien P_{ok} (rys.1) i obliczonymi stratami ciepła przez okna Q_{ok} (rys.2).

Należy dodać, że wielkościami mającymi dominujący wpływ na poziom Q_{ok} były powierzchnia okien P_{ok} i współczynniki przenikania ciepła tych przegród U_{ok} .



Rys.1. Wykres zależności pomiędzy sezonowym zużyciem ciepła do ogrzewania Q i mocą szczytową q a powierzchnią okien P_{ok}

Fig.1. Dependency graph between seasonal consumption of heat Q , heat power q and windows area P_{ok}



Rys.2. Wykres zależności pomiędzy sezonowym zużyciem ciepła do ogrzewania Q i mocą szczytową q a stratami ciepła przez okna Q_{ok}

Fig.2. Dependency graph between seasonal consumption of heat Q , heat power q and heat losses by windows Q_{ok}

Do cech budynku związanych z oknami, a wpływającymi na poziom strat ciepła i pośrednio lub bezpośrednio na funkcjonowanie wentylacji grawitacyjnej, należy zaliczyć: powierzchnię i usytuowanie okien, lokalizację budynku w terenie, kształt i podział powierzchni okien, stan techniczny.

2.1. Wielkość okien i ich usytuowanie na elewacjach

Powierzchnia okien i ich usytuowanie w budynkach edukacyjnych mają znaczenie zarówno dla energochłonności ogrzewania jak i warunków przebywania tam ludzi. Z tego względu analizie poddano pewne charakterystyczne wielkości przedstawione w formie wskaźników. Są to:

- wskaźnik przeszklenia elewacji wyrażony stosunkiem pow. okien P_{ok} do pow. ścian zewnętrznych razem z oknami P_{so} , oznaczany jako P_{ok}/P_{so} (rys.3);
- uproszczony wskaźnik oświetlenia dziennego określony przez stosunek powierzchni okien P_{ok} do powierzchni użytkowej P_u , oznaczany P_{ok}/P_u (rys.4).

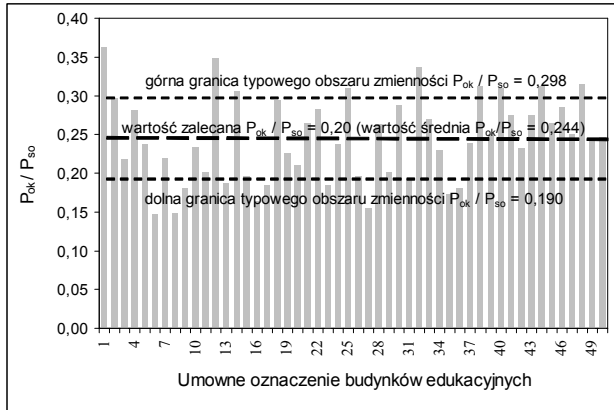
Dla przeciętnego z badanych budynków edukacyjnych $(P_{ok}/P_{so})_{sr}=0,2438$, przy wartościach mieszczących się w przedziale 0,1469-0,3616. Stwierdzono, że tylko 30% szkół posiada wskaźnik P_{ok}/P_{so} mniejszy od wartości 0,2. Wartość tą można przyjąć jako optymalną dla tego typu obiektów, przy kryteriach ograniczania strat ciepła przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiednich warunków oświetlenia dziennego.

Oświetlenieienne sal lekcyjnych i korytarzy w szkołach jest najczęściej oświetleniem bocznym, a wskaźnik P_{ok}/P_u powinien wynosić 0,20 - 0,30. Z uwagi na ograniczanie strat ciepła korzystniejsze jest jednak przyjmowanie $P_{ok}/P_u = 0,20$. Wskaźnik $P_{ok}/P_u = 0,20$ jest przekroczony o 0,01 - 0,11 w 20 z 50 badanych budynków.

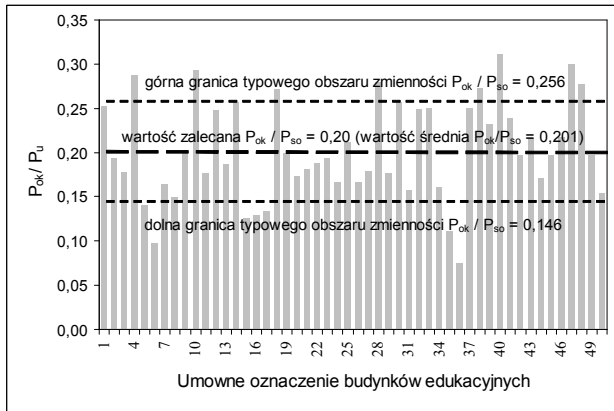
Nawiązując do problematyki strat ciepła powodowanych nadmierną szczelnością okien trzeba pamiętać, że wiatr o odpowiedniej prędkości i kierunku może wpływać na ich zwiększenie. Z kolei odpowiednie nasłonecznienie okien może być źródłem zysków ciepła w ogrzewanym budynku. Usytuowanie budynku, rzeźba terenu i zacinienie mogą ww. efekty minimalizować lub potęgować. Z tego względu analizie poddano także wartości wskaźnika P_{ok}/P_{so} dla poszczególnych elewacji (rys.5). Przeciętnie najmniejsze przeszklenie występuje na elewacjach północnych badanych budynków ($SP_{ok}/P_{so} = 0,1845$). Największe przeszklenia występowały na elewacjach wschodnich $EP_{ok}/P_{so}=0,2471$ i zachodnich $WP_{ok}/P_{so}=0,2401$. W 32 obiektach (64%) największe powierzchnie okien znajdują się na elewacjach wschodnich i zachodnich. Informacje te nabierają szczególnego znaczenia, ponieważ elewacje o orientacjach od południowej do zachodniej, z dużą liczbą okien, będą szczególnie narażone w okresie sezonów grzewczych na działanie wiatru wiejącego w rejonie Częstochowy najczęściej właśnie z kierunków: zachodniego, południowo-zachodniego i południowego. Na rys.5 przedstawiono procentowe sumy udziałów powierzchni okien o ww. zakresie orientacji w łącznej powierzchni okien budynków szkół.

2.2. Kształt i podział powierzchni okien, stan techniczny stolarki okiennej

Procesy starzenia budynku (przeciętny wiek budynku – około 40 lat) wraz z niedostateczną jakością robót budowlanych powodują pogorszenie jego stanu technicznego i występowanie szeregu wad i usterek.



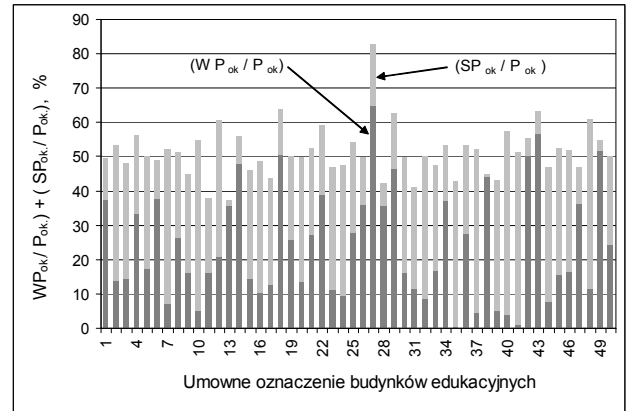
Rys.3. Wartości wskaźnika P_{ok} / P_{so} w budynkach edukacyjnych
Fig.3. Values of index P_{ok} / P_{so} in educational buildings



Rys.4. Wartości wskaźnika P_{ok} / P_u w budynkach edukacyjnych
Fig.4. Values of index P_{ok} / P_u in educational buildings

Najbardziej powszechnymi w analizowanych budynkach są wady i usterki powodujące nadmierne nieszczelności okien (średnio około 91 % powierzchni użytkowej budynków edukacyjnych). Stan techniczny okien oceniono na zły w 49 z 50 badanych obiektów.

W kontekście trwałości i stanu technicznego okien zwrócono również uwagę na kwestię tzw. podziału powierzchni okiennych na części otwierane i nieotwierane. Dość często w tym przypadku forma przeważa nad walorami funkcjonalnymi.



Rys.5. Udziały powierzchni okien o orientacji od południowej SP_{ok} do zachodniej WP_{ok} w powierzchni okien P_{ok} w budynkach edukacyjnych

Fig.5. Graph of participations SP_{ok} and WP_{ok} at windows area P_{ok} in educational buildings

Z przeprowadzonych wizji lokalnych i zebranych uwag wynika, że duże powierzchnie otwieranych skrzydeł okiennych ulegają często uszkodzeniu w trakcie ich użytkowania. Uszkodzenia takie powodują niedostateczne domykanie okien. Skutkiem są nadmierne nieszczelności i zbyt duża infiltracja powietrza, wymagającego w sezonie grzewczym dodatkowego ogrzania.

W wyniku wstępnej analizy stwierdzono, że w każdym z analizowanych budynków większość okien posiada taki sam kształt i wymiary. Okna takie określono mianem typowych dla danego obiektu, a jego wielkość P_{ot} zmienia się od $1,80 \text{ m}^2$, zazwyczaj w budynkach wybudowanych do roku 1959 (zawsze poniżej $4,00 \text{ m}^2$), aż do $19,40 \text{ m}^2$ w obiektach wzniesionych po tym roku (w większości powyżej $5,00 \text{ m}^2$). Wraz ze zwiększaniem powierzchni okien zaobserwowano jeszcze większy wzrost liczby otwieranych części takiego okna. Ponadto, gdy obwód typowego okna O_{ot} wzrasta maksymalnie o 260 % to obwód skrzydeł otwieranych O_{st} wzrasta aż o 680 %. Zauważono także, że wskaźnik odnoszący obwód okna do jego powierzchni O_{ok} / P_{ok} rośnie razem ze zmniejszaniem się powierzchni okien P_{ok} , a duży obwód okien jest przyczyną większych nieszczelności.

3. ZNACZENIE OKIEN DLA WENTYLACJI GRAWITACYJNEJ POMIESZCZEŃ

W Polsce w ostatnich latach widoczna jest tendencja do hermetyzacji budynków, głównie przez zastosowanie zbyt szczelnych okien. Przy najczęściej występujących grawitacyjnych systemach wentylacji stosowanie takich okien ogranicza napływ powietrza z zewnątrz do pomieszczeń, zaburzając funkcjonowanie układu wentylacyjnego. W dłuższej perspektywie nadmierna szczelność powoduje

powstanie tzw. syndromu budynku chorobotwórczego (sick-building syndromes) wywołującego u ludzi różnego rodzaju dolegliwości.

Wszystkie analizowane tutaj budynki edukacyjne posiadały wentylację grawitacyjną, której jednym z elementów umożliwiającym napływ powietrza do pomieszczeń są okna. W miesiącach sezonu grzewczego często unika się ich otwierania, tym samym ograniczając intensywne przewietrzanie pomieszczeń i możliwość zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza wewnątrz. Fakt ten potwierdzają badania innych autorów[3].

W tym kontekście, spodziewana nieodpowiednia jakość powietrza powinna spowodować pogorszenie samopoczucia i dekoncentracje u użytkowników sal lekcyjnych, co jednak nie nastąpiło. Przy tej okazji należy nadmienić, że również odczucia komfortu cieplnego nie budzą, w skali całej badanej zbiorowości budynków, poważniejszych zastrzeżeń z punktu widzenia warunków nauki i pracy. Średnia z ocen punktowych komfortu cieplnego w 50 badanych budynkach wyniosła 3,94 pkt. i mieści się w tzw. strefie komfortu cieplnego.

Jaki jest, zatem powód braku reakcji na wspomnianą wcześniej złą jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń? Można zaryzykować stwierdzenie, że wybrane czynniki związane z oknami, których negatywny wpływ na energochłonność ogrzewania przedstawiono wcześniej, mają z kolei pozytywny wpływ na funkcjonowanie wentylacji grawitacyjnej. Nieszczelności w oknach są tak duże, że umożliwiają napływ względnie wystarczającej ilości powietrza do sal lekcyjnych, jednak prawdopodobnie przy deklarowanym przez ankietowanych otwieraniu okien w czasie przerw pomiędzy zajęciami, w okresie sezonu grzewczego.

Aby w sposób bardziej szczegółowy wyjaśnić wspomniane wątpliwości przeprowadzono teoretyczną analizę funkcjonowania wentylacji w salach lekcyjnych badanych budynków. Dla jej wykonania kluczowe było określenie podstawowych wielkości:

- długości i rozmiarów szczelin w typowych oknach występujących w przeciętnej dla danego budynku szkoły sali lekcyjnej i prawdopodobnej ilości powietrza zewnętrznego infiltrującego do wnętrza, uwzględniając warunki klimatyczne obszaru lokalizacji badanych obiektów i stan techniczny stolarki okiennej,
- niezbędnej ilości powietrza dostarczanego przez system wentylacji do przeciętnej sali lekcyjnej, a wynikającej z obowiązujących wymagań normowych w tym zakresie. Wspomniane wymagania mogą zależeć od kubatury pomieszczenia (krotność wymian powietrza) lub liczby osób przebywających w pomieszczeniu (objętość powietrza na osobę).

W przypadku sal lekcyjnych schemat postępowania zrealizowany dla wykonania zaprezentowanych w dalszej

części wykresów i przeprowadzenia ww. analizy przedstawiono poniżej:

- obliczenie kubatury przeciętnej sali lekcyjnej w danym obiekcie,
- określenie liczby osób przebywających w przeciętnej sali lekcyjnej w danym obiekcie,
- obliczenie normatywnej ilości powietrza wentylacyjnego ze względu na liczbę dzieci przebywających w sali lekcyjnej,
- określenie liczby i lokalizacji okien w szkole, w tym okien uznanych za typowe dla danego budynku,
- określenie liczby okien typowych przypadających na przeciętną salę lekcyjną,
- określenie obwodu okien i skrzydeł otwieranych okien dla sali lekcyjnej,

Wykresy na rys.6,7,8,9,10,11 zawierają informację o stopniu pokrycia zapotrzebowania w badanych budynkach (wg obowiązujących wymagań – wymagana ilość powietrza na osobę) na powietrze do wentylacji przeciętnej sali lekcyjnej, w której przebywa określona liczba osób (dodatkowa krzywa na rys. pokazuje uśrednione zmiany rozpatrywanej wielkości). Analogiczne wymagania w tym zakresie, ale sformułowane jako krotność wymian zazwyczaj pozostają na nieco mniejszym poziomie dla analizowanych budynków.

Przy realizacji ww. schematu założono następujące warunki:

- do obliczeń normowego zapotrzebowania na powietrze zewnętrzne w wentylowanych grawitacyjnie salach lekcyjnych 20 m^3 powietrza zewnętrznego na osobę przebywającą w rozpatrywanym pomieszczeniu,
- na podstawie materiału własnego i danych literaturowych[1,2] przyjęto prędkość wiatru występującą w Częstochowie (lokalizacji badanej zbiorowości budynków) w okresie sezonu grzewczego na orientacyjnym poziomie $4,0 \text{ m/s}$ [1,2]. Wiatr wiejący z taką prędkością „powoduje” różnicę ciśnień około 10 Pa ,
- oszacowano i przyjęto do obliczeń dla stwierdzonego, złego stanu technicznego większości badanych okien współczynniki infiltracji „a” na poziomie $5,0 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})$.

Analizie graficznej poddano przypadki odnoszące się do okien o różnych współczynnikach infiltracji a. Współczynniki a od $3,0$ do $6,0 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})$ odpowiadają oknom w złym stanie technicznym (rys.8,9,10,11). Natomiast współczynniki a $0,3$ i $1,0 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}^{2/3})$ odnoszą się do nowych okien (po ewentualnej wymianie), których szczelność powinna mieścić się w podanych wcześniej granicach.

Ilość powietrza infiltrującego Ψ_a obliczano z zależności:

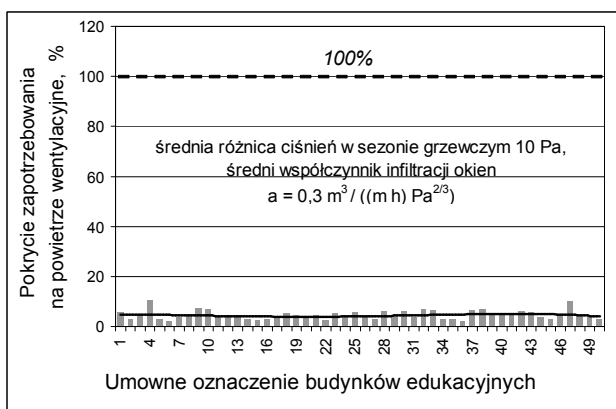
$$\Psi_a = a \sum l \left(\frac{\Delta p_a}{10} \right)^{2/3}, \text{ m}^3/\text{h} [1, \text{ s. } 76] \quad (1)$$

gdzie:

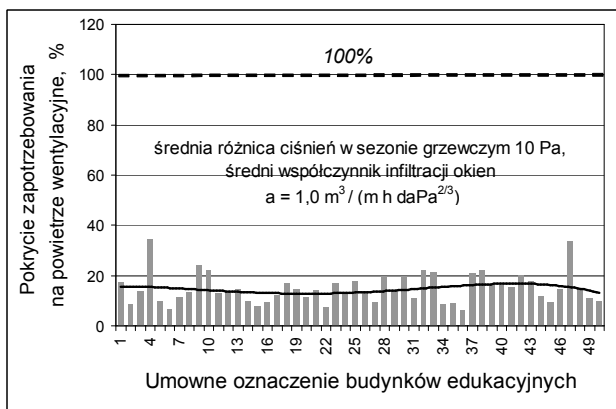
a - oszacowany współczynnik infiltracji powietrza $\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})$;

$\sum l$ - łączna długość wszystkich krawędzi skrzydeł otwierających otwór ościeżnicy okiennej lub drzwiowej wraz z jej obwodem, m;

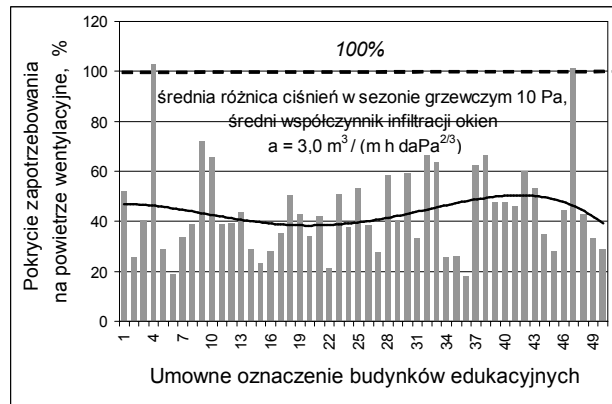
Δp_a - różnica ciśnienia panującego po obu stronach rozpatrywanej przegrody, będąca wynikiem działania wiatru o określonej prędkości, Pa.



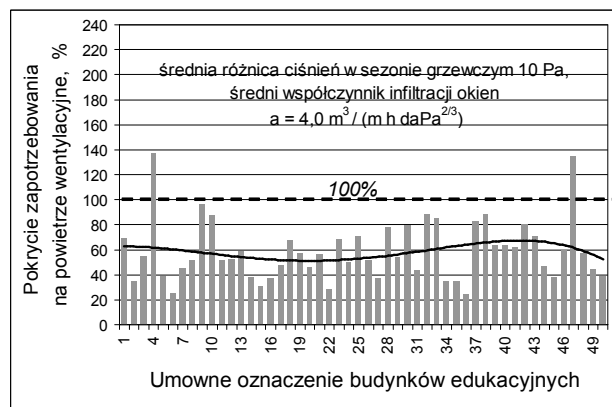
Rys.6. Pokrycie zapotrzebowania powietrza na wentylację przy nowych i szczelnych oknach $a=0,3 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$
Fig.6. Percent ratio of air filtration by new windows to air ventilation demand $a=0,3 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$



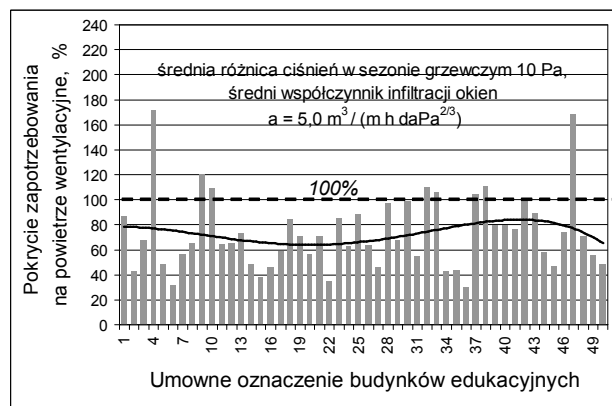
Rys.7. Pokrycie zapotrzebowania powietrza na wentylację przy nowych i szczelnych oknach $a=1,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$
Fig.7. Percent ratio of air filtration by new windows to air ventilation demand $a=1,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$



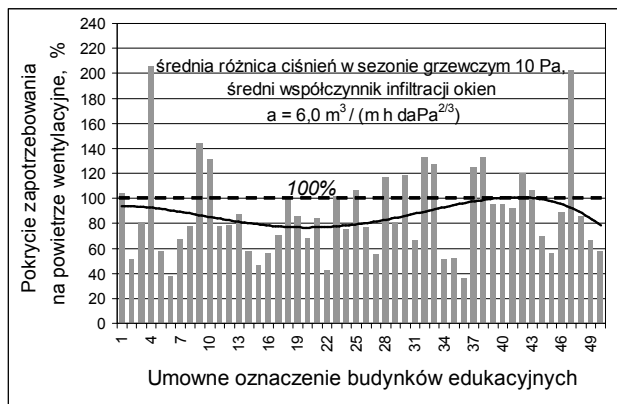
Rys.8. Pokrycie zapotrzebowania powietrza na wentylację przy starych i nieszczelnych oknach $a=3,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$
Fig.8. Percent ratio of air filtration by defective, old windows to air ventilation demand $a=3,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$



Rys.9. Pokrycie zapotrzebowania powietrza na wentylację przy starych i nieszczelnych oknach $a=4,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$
Fig.9. Percent ratio of air filtration by defective, old windows to air ventilation demand $a=4,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$



Rys.10. Pokrycie zapotrzebowania powietrza na wentylację przy starych i nieszczelnych oknach $a=5,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$
Fig.10. Percent ratio of air filtration by defective, old windows to air ventilation demand $a=5,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$



Rys.11. Pokrycie zapotrzebowania powietrza na wentylację przy starych i nieszczelnych oknach $a=6,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$
 Fig.11. Percent ratio of air filtration by defective, old windows to air ventilation demand $a=6,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$

4. PODSUMOWANIE

Wybrane cechy budynku, które pozostają w związku ze stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne, a w szczególności przez okna wpływają zarówno na poziom wspomnianych strat jak i mają pośredni lub bezpośredni wpływ na funkcjonowanie grawitacyjnej wentylacji pomieszczeń.

Przeciętny stan techniczny okien w badanych budynkach edukacyjnych był zły. Właśnie dzięki temu napływ powietrza zewnętrznego do sal lekcyjnych można uznać za lepszy, lecz nadal niewystarczający, od przypadku nowych okien o współczynniku infiltracji o wartościach od 0,3 do 1,0 $\text{m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$ (rys.6,7). Jednak dopiero przy znacznej degradacji technicznej okien, skutkującej wysokim współczynnikiem infiltracji $a=6,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$, czyli przy stanie technicznym okien gorszym niż przeciętny w badanych budynkach, ilość powietrza dopływającego do pomieszczeń przy sprzyjających warunkach atmosferycznych zbliża się do wymagań w tym zakresie (rys.11). Wspomniane wymagania określone na podstawie liczby osób przebywających w salach lekcyjnych, są dla większości analizowanych sal większe od analogicznych wymagań określających ilość powietrza zewnętrznego, która powinna być tam dostarczona z uwagi na kubaturę tych pomieszczeń. W przypadku wymiany okien na nowe o współczynniku $a=0,3 - 1,0 \text{ m}^3/(\text{m h daPa}^{2/3})$, możliwości infiltracji powietrza zewnętrznego ulegają drastycznemu ograniczeniu (rys.6,7). Dostarczana tą drogą do sal lekcyjnych ilość powietrza pozostaje na poziomie od około 15% do około 50% potrzeb wynikających z wymagań prawidłowej wentylacji. Bez wyposażenia okien lub pomieszczeń w dodatkowe nawiewniki spełnienie ww. zaleceń normowych jest niemożliwe. Z przedstawionego materiału i dokonanych analiz wynika, że kształtowanie wspomnianych cech budynków pod

kątem ograniczania strat ciepła z ogrzewanych pomieszczeń zazwyczaj pozostaje w pewnej sprzeczności z ich optymalizacją mającą za cel zapewnienie przebywającym w tych pomieszczeniach ludziom napływu strumienia powietrza zewnętrznego o odpowiedniej objętości i jakości, dostarczanego przez funkcjonującą tam wentylację grawitacyjną. Przedstawiona sprzeczność jest zresztą pozorna. Wynika ona zazwyczaj z braku zrozumienia pewnych priorytetów związanych z „zadaniem pomieszczenia” przeznaczonego do nauki i pracy, jakim jest zapewnienie odpowiedniego mikroklimatu dla uczących się i pracujących tam ludzi. Zapewnienie takich warunków bez poprawnie funkcjonującej wentylacji jest praktycznie niemożliwe. Z całą pewnością głównym zadaniem dla budynku szkoły jest zapewnienie odpowiednich warunków nauczania, a nie minimalizacja za wszelką cenę kosztów ogrzewania szkolnych pomieszczeń, szczególnie gdyby to miało się łączyć z bezkrytycznie realizowaną hermetyzacją budynku.

Mając na uwadze powyższe należy podkreślić, że przy dzisiejszym poziomie techniki i istniejących na rynku - czasami bardzo prostych - rozwiązaniach technicznych można przeprowadzać działania ograniczające zużycie ciepła do ogrzewania pomieszczeń bez szkody dla ich poprawnej wentylacji i warunków przebywania ludzi w pomieszczeniach.

HEAT LOSSES BY WINDOWS AND VENTILATION OF ROOMS IN EDUCATIONAL BUILDINGS

Summary: In this paper showed the characterization of heat losses by windows in educational buildings and discussed basic factors connected with this problem. Presented meaning of windows for suitable gravitational ventilation and occupational conditions in this buildings.

Literatura

- [1] Laskowski L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005
- [2] Lis P. Teoretyczna analiza funkcjonowania wentylacji pomieszczeń w budynkach edukacyjnych. W: Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Red.: Bobko T. i J. Rajczyk. Częstochowa 2007, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, s. 182-189
- [3] Sowa J.: Wentylacja klas szkolnych – efektywność stosowanych rozwiązań oraz możliwość ich usprawnienia. Materiały Konferencyjne VIII Konferencji Naukowo - Technicznej: Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce. Łódź 2001, s. 545 - 554