

Test szczelności Blower Door

gwarancją skutecznego odzysku ciepła w rekuperatorach

Na pytanie jak zmniejszyć straty ciepła w budynku najczęstszą odpowiedzią jest: dodać izolację i ocieplić ściany! Zapomina się jednak o stratach wentylacyjnych. Oczywiście najlepszym sposobem na ich zmniejszenie jest odzysk ciepła w rekuperatorze, ale czy wystarczy zaprojektować i wykonać odpowiedni rekuperator o wysokiej sprawności, żeby jego praca była skuteczna?



fot. Wiktor Szala

Błażej Szala

O tym, w jakim stopniu sprawność rekuperatora zostanie wykorzystana decydują jeszcze inne czynniki, takie jak szczelność instalacji wentylacyjnej, wielkość i rodzaj izolacji cieplnej przewodów oraz szczelność powietrzna budynku a w zasadzie... jej brak. Jeżeli poprzez nieszczelności w powłoce budynku do wnętrza zacznie napływać powietrze zewnętrzne (poza rekuperatorem), to w efekcie będziemy musieli dostarczyć dodatkową ilość energii, aby je podgrzać, a to zwiększy koszty eksploatacyjne. Ponieważ szczelność powietrzna budynku zależy od jakości i dokładności jego wykonania, dlatego w celu uniknięcia tych dodatkowych kosztów należałoby zweryfikować założenia projektowe, porównując je ze stanem faktycznym. Do tego celu służy „Blower Door Test”.

Szczelność budynku a powietrze wentylacyjne

Szczelność powietrzna budynku jest często błędnie mylona z ograniczeniem dostępu do powietrza dla celów higienicznych. Dodatkowo powszechnie uważa się, że szczelny budynek uniemożliwia tzw. „oddychaniu ścian” i jest przyczyną rozwoju grzybów pleśniowych w miejscach wykrapiania się pary wodnej zawartej w powietrzu. Otóż zjawisko szczelności budynku dotyczy jego powłoki a nie systemu wentylacji zarówno grawitacyjnej, jak i mechanicznej, natomiast

pojęcie „oddychania ścian” odnosi się do problematyki poprawności budowy przegród budowlanych (ścian, stropów, dachów, itd.) pod względem zapobiegania niekorzystnym dla tych przegród zjawiskom kondensowania wilgoci w ich wnętrzu. Wilgotne powietrze (wilgoć) powstające we wnętrzach budynków w trakcie ich użytkowania może być skutecznie usuwane jedynie przez sprawnie działający system wentylacji – nigdy skuteczności takiej nie zapewnią nieszczelności w obudowie zewnętrznej budynków, a tym bardziej nie zapewni jej fałszywie rozumiane „oddychanie ścian”!

Zasady przeprowadzania pomiaru szczelności

Badanie szczelności tzw. „Blower Door Test” polega na wytworzeniu wewnątrz obiektu nadciśnienia lub podciśnienia za pomocą specjalnego zestawu, w skład którego wchodzi:

- wentylator z czujnikami przepływu powietrza,



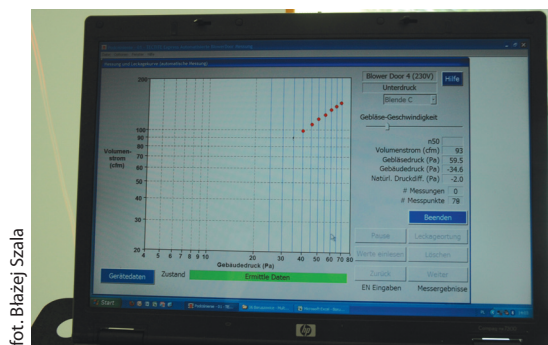
fot. Błażej Szala

Urządzenie Blower Door w miejscu drzwi tarasowych w domu pasywnym w Boruszowicach koło Tarnowskich Gór

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 06.11.2008 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie: „w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego oraz budynkach użyteczności publicznej, a także w budynkach produkcyjnych przegrody zewnętrzne nieprzeźroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród oraz połączenia okien z ościeżkami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza”.

„Zaleca się przeprowadzenie sprawdzenia szczelności powietrznej budynku. Wymagana szczelność wynosi:

- budynki z wentylacją grawitacyjną $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$
- budynki z wentylacją mechaniczną $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ ”



fot. Błażej Szala

Program czytuje dane z urządzenia wielofunkcyjnego i przedstawia je w formie wykresu. Linia łącząca punkty wyznaczy przebieg charakterystyki szczelności badanego obiektu

- aluminiowa regulowana rama z plandeką,
- wielofunkcyjne urządzenie pomiarowe,
- komputer,
- zestaw rurek i przewodów.

Wentylator pomiarowy montuje się w otworze plandeki, po wcześniejszym jej założeniu na aluminiową ramę i osadzeniu w miejscu drzwi zewnętrznych lub okna.

Podciśnienie w budynku powstaje wskutek wysysania powietrza z jego wnętrza przy zamkniętych lub zaślepionych otworach (drzwi, okien, kratki wentylacyjnych itp.) oddzielających środowisko wewnętrzne od zewnętrznego.

Test szczelności Blower Door przebiega w myśl zasady: **ile powietrza zostanie wysane z budynku przy stałej różnicy ciśnień, tyle powietrza z zewnątrz napłynie do budynku przez nieszczelności.** Wystarczy zmierzyć tylko strumień powietrza przepływającego przez wentylator przy zachowaniu stałej różnicy ciśnień między środowiskami zewnętrznym i wewnętrznym i odnieść to do badanej kubatury. Aby dokładnie określić poziom nieszczelności badanego obiektu, pomiar przepływu powietrza przez wentylator, przeprowadza się dla co najmniej pięciu różnych różnic ciśnień i w ten sposób wykreśla się „charakterystykę nieszczelności”. Dokładne wytyczne przeprowadzenia pomiaru i opracowania wyników określa norma PN-EN13829: 2002. Procedurę analogicznie powtarza się dla nadciśnienia.

Wynikiem badania jest wyznaczony doświadczalnie współczynnik szczelności powietrznej budynku n_{50} , jako średnia pomiarów na nadciśnienie i podciśnienie.

Oprócz samego wyznaczania współczynnika n_{50} badanie umożliwia wykrycie miejsc niekontrolowanych przecieków powietrza przez obudowę budynku. Do tego celu służą specjalne pisaki dymne, wytwornice dymu, termooanemometry a także kamery termowizyjne (w przypadku wystąpienia odpowiedniej różnicy temperatur między środowiskami). Wykonanie pomiaru na



fot. Błażej Szala

odpowiednim etapie budowy daje możliwość eliminacji niewłaściwych miejsc i tym samym skorygowania poziomu nieszczelności do wartości oczekiwanej.

Szczelność powietrzna zewnętrznej powłoki budynku w szczególności zależy od jakości i dokładności jej wykonania, dlatego nie jest możliwe założenie współczynnika n_{50} jako słusznego i prawdziwego bez jego weryfikacji.

Wpływ nieszczelności na skuteczność odzysku ciepła

Kluczowym elementem do obliczeń strat ciepła na drodze wentylacji jest wyznaczenie strumienia powietrza wentylującego. Zakładając, że nasz modelowy budynek wyposażony jest w wentylację mechaniczną, nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła w rekuperatorze, to wzór na całkowity strumień powietrza zgodnie z PN-EN ISO 13789:2008 ma postać:

$$\dot{V} = \dot{V}_f(1 - \eta_w) + \dot{V}_x$$

gdzie:

\dot{V} – całkowity strumień powietrza [m^3/h],

\dot{V}_f – strumień powietrza wentylacyjnego [m^3/h],

\dot{V}_x – dodatkowy strumień powietrza infiltrującego [m^3/h],

η_w – całkowita sprawność odzysku ciepła [-].

Dla takiego modelu wentylacji wzór na strumień powietrza infiltrującego ma postać:

$$\dot{V}_x = \frac{V_e \cdot n_{50}}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left[\frac{(\dot{V}_{su} - \dot{V}_{ex})^2}{V \cdot n_{50}} \right]} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Urządzenie Blower Door w miejscu okna – widoczne wszystkie elementy zestawu do pomiaru szczelności powietrznej budynków



fot. Błażej Szala

Nieszczelność w wyprowadzeniu przewodów elektrycznych w suficie



fot. Błażej Szala

Nieszczelność w drzwiach zewnętrznych

gdzie:

V – kubatura budynku [m^3],

\dot{V}_{su} – strumień powietrza nawiewanego [m^3/h],

\dot{V}_{ex} – strumień powietrza wywiewanego [m^3/h],

e, f – współczynniki osłonięcia budynku [-]

n_{50} – współczynnik szczelności powietrznej budynku [h^{-1}].

Zakładając, że strumień powietrza nawiewanego i wywiewanego w budynku jest taki sam to wzór przyjmie postać:

$$\dot{V}_x = V \cdot e \cdot n_{50} \quad [m^3/h]$$

Zamieniając powyższe wzory na krotności wymian (dzieląc obie strony przez kubaturę V), otrzymamy następujące zależności:

$$n = n_f(1 - \eta_v) + n_x \quad [h^{-1}]$$

$$\eta_x = e \cdot n_{50} \quad [h^{-1}]$$

gdzie:

n – energetyczny współczynnik całkowitej wymiany powietrza [h^{-1}],

n_f – krotność wymiany powietrza wentylacyjnego [h^{-1}],

n_x – krotność wymiany powietrza na skutek infiltracji [h^{-1}].

Z powyższego wynika, że przy zrównoważonej instalacji wentylacyjnej przy równych strumieniach nawiewu i wywiewu krotność wymiany powietrza przez nie szczelności zależy tylko i wyłącznie od współczynnika osłonięcia e i współczynnika szczelności n_{50} .

Posługując się wyłącznie krotnością wymian, można określić całkowitą ilość powietrza, która ma bezpośredni wpływ na współczynnik strat ciepła i odnosi się do dowolnie zadanej kubatury.

Posługując się powyższymi wzorami, można przeprowadzić serię obliczeń dla różnych wariantów odzysku ciepła przy różnych współczynnikach n_{50} .

Aby wyniki obliczeń były bardziej czytelne, zastosowano następujące przekształcenia:

$$n = n_f(1 - \eta_v) + n_x$$

$$n_{1-\eta} = n_f(1 - \eta_v)$$

$$n = n_{1-\eta} + n_x$$

gdzie:

$n_{1-\eta}$ – krotność wymiany powietrza niepodlegającego rekuperacji (pozostała ilość powietrza wynikająca bezpośrednio ze sprawności odzysku ciepła w systemie) [h^{-1}]

Przyjęto następujące warunki brzegowe:

■ współczynnik osłonięcia $e=0,07$

■ krotność powietrza wentylacyjnego $n_f=0,4 h^{-1}$

Obliczenia przeprowadzono dla następujących sprawności odzysku ciepła η_v : **50%; 60%; 70%; 80%** a wyniki przedstawiono w formie wykresu. Aby dokładniej zrozumieć wykres, przeanalizujemy dowolny przypadek np. $\eta_v=80\%$ i $n_{50}=1,5 h^{-1}$ Dla takich współrzędnych odczytujemy z wykresu następujące wartości:

$$n_{1-\eta 80\%}=0,08 h^{-1}; n_x=0,105 h^{-1}; n_{80\%}=0,185 h^{-1}$$

Co to oznacza? Otóż nasz system wentylacji z rekuperatorem w ciągu godziny z 0,4 kubatury powietrza (n_f) odzyskał 80% a do pozostałych 20% wynoszących 0,08 ($n_{1-\eta}$) należy dostarczyć energię z systemu grzewczego. Dodatkowo na drodze infiltracji w ciągu godziny dostanie się do budynku powietrze (n_x) w ilości 0,105 kubatury, do którego również należy dostarczyć energię ciepłą. Tak więc mimo wysokiego odzysku ciepła całkowita ilość powietrza (n) do podgrzania w ciągu godziny wynosi 0,185 kubatury, z czego 57% stanowi powietrze infiltrujące. Co ciekawe taki sam efekt energetyczny uzyskalibyśmy dla systemu wentylacji z odzyskiem 70% i szczelnością $n_{50}=0,93 h^{-1}$ lub dla odzysku 60% i $n_{50}=0,36 h^{-1}$

W takim razie jak spada sprawność odzysku w wyniku nie szczelności?

Zakładając, że stosunek strumienia powietrza odzyskanego do całkowitego strumienia powietrza określa skuteczność odzysku można przeprowadzić dodatkowe obliczenia dla przedstawionych wyżej wariantów wg wzoru:

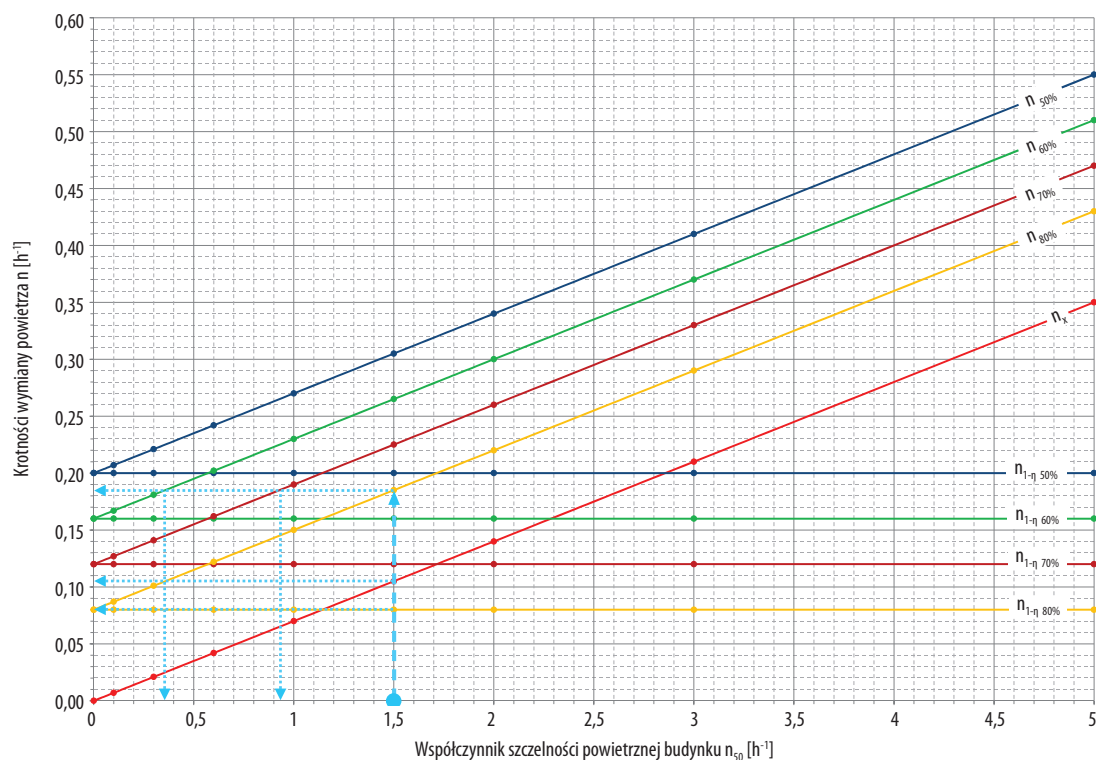
$$\varphi = \frac{n_f \cdot \eta_v}{n_f + n_x}$$

Dla każdego z założonych systemów z odzyskiem ciepła przy braku powietrza infiltrującego jego skuteczność będzie wynosiła dokładnie tyle, co sprawność systemu. W przypadku, gdy strumień powietrza infiltrującego będzie większy od zera, przy stałym odzysku ciepła będzie zwiększał się całkowity strumień powietrza i tym samym skuteczność odzysku spadnie. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w formie graficznej.

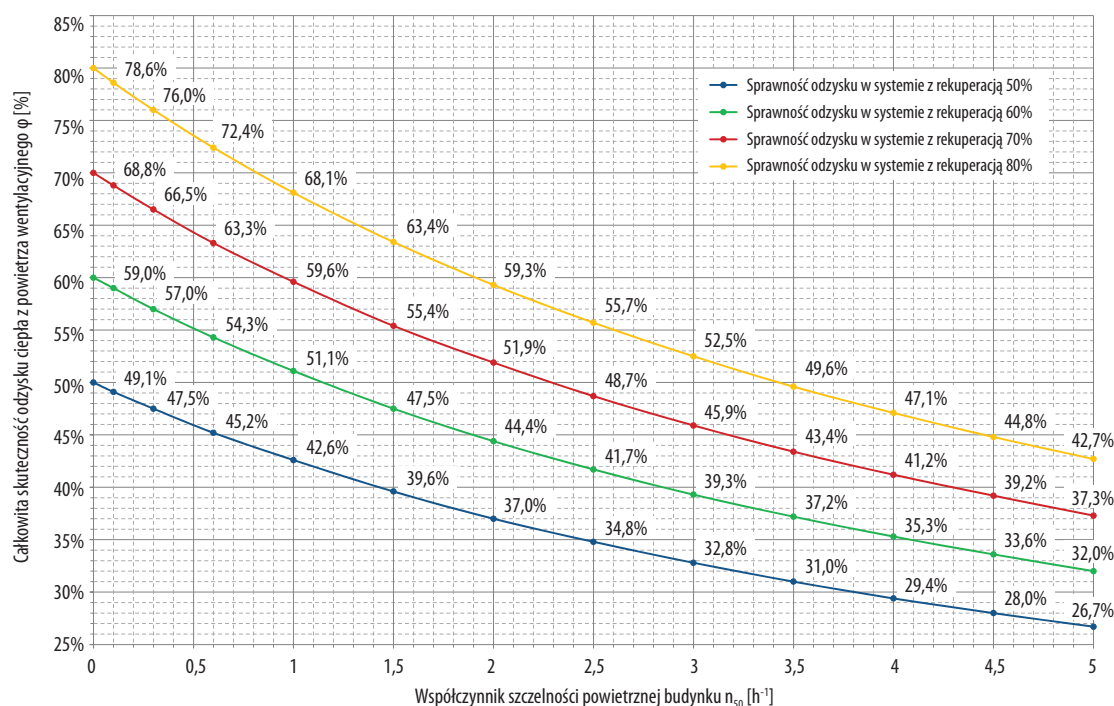
Przy tak zaawansowanych technikach symulacji pracy systemów wentylacyjnych, jakie obecnie są stosowane nie można dopuścić, aby współczynnik szczelności powietrznej n_{50} , którego wartość ma wpływ na efektywność układu został „wyssany z palca” i wpisany do projektu, jako wartość pewna. Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń ma to szczególne znaczenie przy systemie z wysokim stopniem odzysku ciepła, gdzie nie szczelności w obudowie budynku „marnotrawią” efekt rekuperacji i całą ideę, dla której został zaprojektowany.

Patrząc na wykresy, zadajemy sobie pytanie: czy warto inwestować w rekuperator o nadzwyczaj wysokim stopniu odzysku ciepła? Przecież ten sam efekt energetyczny, co w rekuperatorze o odzysku 80% przy dopuszczalnej przez Wymagania Techniczne wartości współczynnika n_{50} uzyskamy stosując odzysk ciepła na poziomie 60% przy zachowaniu wysokiej szczelności. A skoro badanie szczelności nie jest wykonywane obligatoryjnie, to należałoby się wówczas zastanowić, co się bardziej opłaca? Dopłacić za dodatkowe 20% odzysku, czy bardziej skupić się na poprawie jakości wyko-

Wpływ współczynnika n_{50} na poszczególne krotności wymian powietrza w budynku



Wpływ współczynnika n_{50} na zmianę skuteczności odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego dla wybranych sprawności systemów wentylacyjnych z rekuperacją



nia budynku, co bezpośrednio przełoży się na niski współczynnik n_{50} ? A może jedno i drugie? Może warto zapłacić dodatkowe pieniądze za wysoką sprawność i zapewnić jak najlepsze warunki jego pracy, maksymalnie wykorzystując możliwości wymiennika? Odpowiedź pozostawiam Państwu.

malnie wykorzystując możliwości wymiennika? Odpowiedź pozostawiam Państwu.

Błażej Szala
LUFTHAUS energie