

# 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?



fol. 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 wykraplania 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,



fol. Błażej Szala

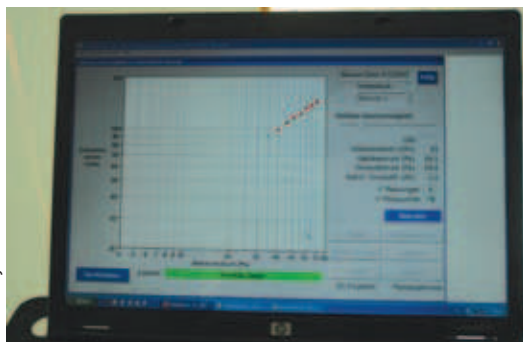
Urządzenie Blower Door w miejscu drzwi tarasowych w domu pasywnym w Boruszowicach koło Tarnowskich Gór

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 nieprzezroczyste, 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 planką,
- wielofunkcyjne urządzenie pomiarowe,
- komputer,
- zestaw rurek i przewodów.

Wentylator pomiarowy montuje się w otworze planki, 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 nadciśnieniu i podciśnieniu.**

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, termoanemometry 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:

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

gdzie:

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

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

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

$\eta_v$  – całkowita sprawność odzysku ciepła [-].

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

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

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:

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

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

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 nieszczelności 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  $\eta_v$ : **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 cieplną. 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 nieszczelności?

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

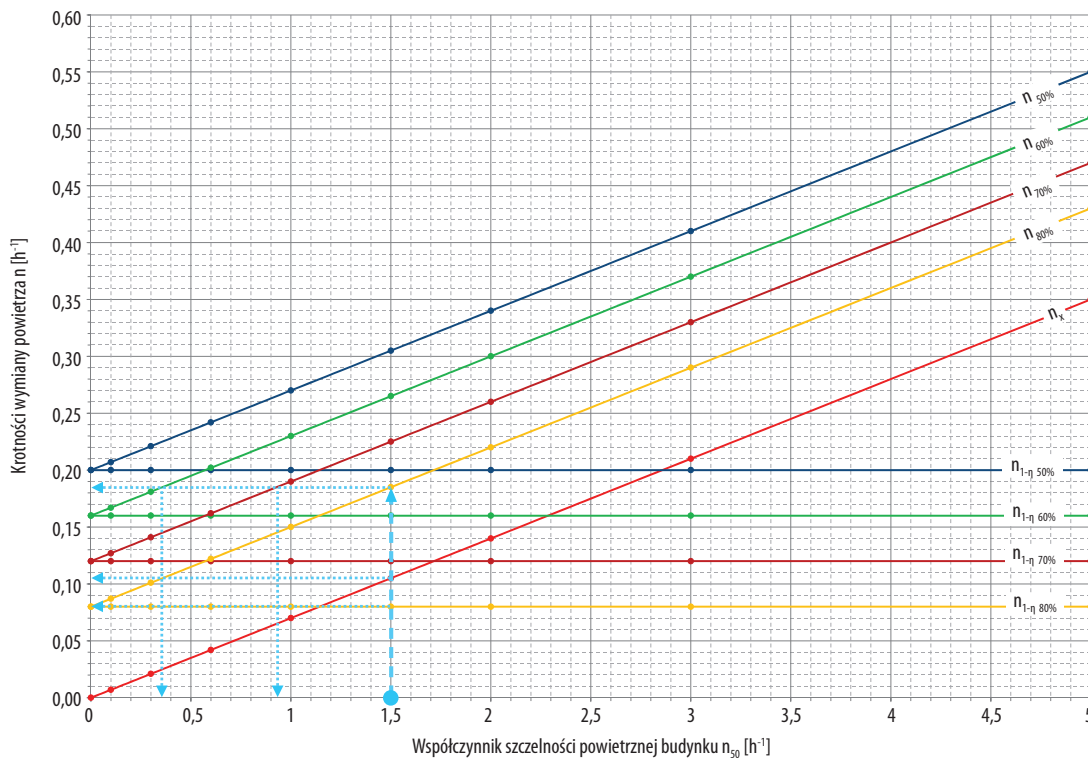
$$\varphi = \frac{n_f \eta_v}{n_f + n_x}$$

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.

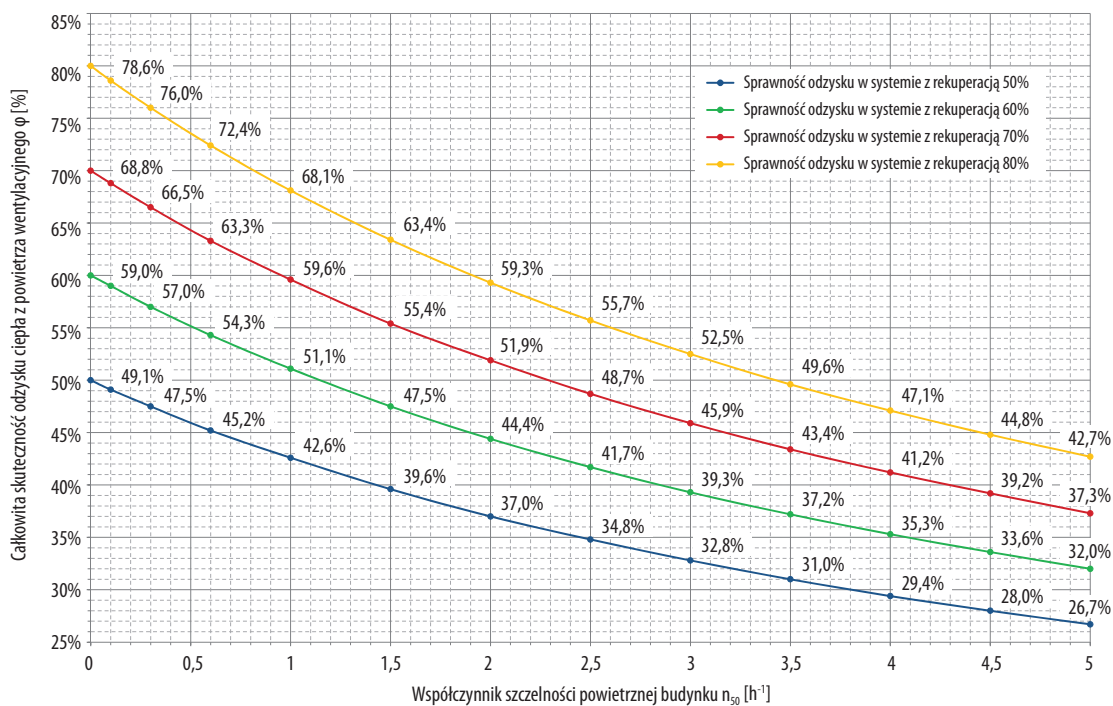
Przy tak zaawansowanych technikach symulacji pracy systemów wentylacyjnych, jakie obecnie są stosowane nie można dopuścić, aby współczynnik szczelności powietrznej  $n_{50}$ , którego wartość ma wpływ na efektywność układu został „wyssany z palca” i wpisany do projektu, jako wartość pewna. Jak wynika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



kania 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.

**Błażej Szala**  
**LUFTHAUS energie**