



Fot. 1. Centralna zabudowa zespołu pomiarowego (Źródło: IngBEU)

Pomiary szczelności powietrznej dużych budynków, cz. 1

Dobra szczelność powietrzna pokryć zewnętrznych oraz przegród wewnętrznych budynków wpływa na poprawę ich jakości energetycznej. W Niemczech już od połowy lat 90. szczelność powietrzna pokryć i przegród budynków jest uwzględniana w systemie normalizacji. Pomiary prowadzi się nie tylko w domach jednorodzinnych.

Od kilku lat coraz większą wagę przykładają się również do pomiarów dużych budynków: biurowców, hal, szkół, domów spokojnej starości, przemysłowych budynków produkcyjnych oraz magazynów. W coraz większym stopniu dotyczy to dużych obiektów o kubaturze przekraczającej 4 000 m³.

By uzyskać miarodajne wyniki, wykonanie pomiarów szczelności powietrznej dużych budynków musi być starannie zaplanowane i dobrze zorganizowane.

Duże budynki

Przed wszystkim pojawia się pytanie, jaką kubaturę musi mieć budynek, by można go było zaliczyć do budynków dużych. Rozstrzyga to norma DIN EN 13829 (Określanie przepuszczalności powietrza budynków). Zgodnie z jej postanowieniami budynki, których kubatura jest większa niż ok. 4 000 m³ są klasyfikowane jako budynki duże. Aby pomiar szczelności powietrznej budynku spełniał wymagania określone normą i mógł być uznany za miarodajny, podczas jego wykonywania układ pomiarowy musi wytworzyć różnicę ciśnień wynoszącą co najmniej 25 Pa. W wypadku mniejszych budynków obowiązująca różnica ciśnień wynosi 50 Pa. Jednak zgodnie z zaleceniami normy wskazane jest, by pomiary szczelności powietrznej dużych budynków przeprowadzać również przy różnicy ciśnień wynoszącej 50 Pa, ponieważ ułatwi to wykrycie nieszczelności.

Szczelność powietrzna budynków – wymagania

Wymagania dotyczące szczelności powietrznej dużych budynków są obecnie w Niemczech takie same, jak wymagania stawiane budynkom małym. Najbardziej znaną i powszechnie stosowaną wielkością charakteryzującą szczelność powietrzną budynków, przy określonej i wynoszącej 50 Pa różnicy między ciśnieniem panującym wewnątrz budynku oraz ciśnieniem panującym na zewnątrz, jest współczynnik godzinowy wymiany powietrza wypełniającego budynek. Współczynnik ten oznacza się symbolem n_{50} (jednostka: h⁻¹). Określa on, ile razy w ciągu godziny może nastąpić wymiana powietrza wypełniającego budynek przy różnicy ciśnień wynoszącej 50 Pa. Dopuszczalne wartości tego współczynnika, jakich nie powinien on przekraczać, określa rozporządzenie w sprawie oszczędnej gospodarki energią (EnEV – niem. Energieeinsparverordnung) oraz norma DIN 4108-7. Są one następujące:

$n_{50} \leq 3,0$ [h⁻¹] dla budynków, które nie mają technicznych instalacji cyrkulacji powietrza (instalacji wentylacji wymuszonej i/lub urządzeń klimatyzacyjnych)

oraz

$n_{50} \leq 1,5$ [h⁻¹] dla budynków wyposażonych w techniczne instalacje cyrkulacji powietrza.

Nieco rzadziej stosowany jest zalecany przed normę

DIN 4108-7 współczynnik q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]; współczynnik ten określa, jaka objętość powietrza w przeliczeniu na 1 m^2 powierzchni pokrycia zewnętrznego budynku [m^2] może być w ciągu godziny [m^3/h] wprowadzona do budynku w warunkach zachowania różnicy ciśnień wynoszącej 50 Pa. Wartość dopuszczalna tego współczynnika wynosi:

$q_{50} \leq 3,0$ [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$] (objętościowe natężenie przepływu strumienia powietrza przenikającego przez istniejące nieszczelności, wyrażone w przeliczeniu na 1 godzinę oraz 1 m^2 powierzchni pokrycia zewnętrznego lub przegrody budynku).

Rozporządzenie EnEV mówi ponadto, by cała powierzchnia zewnętrzna budynku, przez którą może następować wymiana ciepła, wraz ze spojeniami i dyflatacjami, była uszczelniona trwale i w sposób eliminujący możliwość przepływu powietrza (by cechowała się szczelnością powietrzną). Odpowiednie wartości dopuszczalne dotyczące spójień poszczególnych elementów konstrukcyjnych budynków określa norma DIN 4108-2.

Obecnie w Niemczech respektowane są szczególne wymagania w zakresie szczelności powietrznej pokryć zewnętrznych budynków. W przypadku budynków pasywnych obowiązuje wymóg utrzymania współczynnika krotności wymiany powietrza na poziomie niższym od $0,6$ [h^{-1}]. Jeśli chodzi o ochronę przeciwpożarową wykorzystującą instalacje służące do eliminacji bądź ograniczania ryzyka wybuchu pożaru względnie rozprzestrzeniania się ognia w dużych halach magazynowych (systemy zabezpieczeń metodą inertyzacji¹ atmosfery) oraz o tzw. „czyste pomieszczenia” stosowany jest w niektórych sytuacjach wymóg utrzymania współczynnika krotności wymiany powietrza na poziomie daleko niższym niż $0,1$ [h^{-1}].

Ustalenie zakresu badań

W wypadku dużych budynków często dyskutuje się o tym, czy zakres pomiarów powinien ograniczać się wyłącznie do budynku jako całości, czy też pomiarami można objąć poszczególne części budynku (na przykład przestrzenie ograniczone przegrodami ogniochronnymi lub ognioszczelnymi). W zasadzie obydwa te warianty można stosować w praktyce.

Zgodnie z normą DIN EN 13829 (Określanie przepuszczalności powietrza budynków) do tej części budynku, która powinna zostać objęta pomiarami, zalicza się wszystkie pomieszczenia, które zostały celowo wyposażone w urządzenia grzewcze, klimatyzacyjne lub instalację wentylacji wymuszanej. Norma jednak do-

puszcza również taką możliwość, aby – w uzgodnieniu ze zleceniodawcą – poszczególne części budynku objąć odrębnymi pomiarami.

Określona w EnEV dopuszczalna wartość współczynnika krotności wymiany powietrza (n_{50}) dotyczy ogrzewanych lub klimatyzowanych pomieszczeń budynków.

Jeżeli pomiary obejmują poszczególne pomieszczenia składowe (sekcje) budynku, to przy ocenie wyników pomiarów należy bezwzględnie wziąć pod uwagę fakt, że zmierzona tą metodą przepuszczalność powietrza może również obejmować przepływy spowodowane nieszczelnościami występującymi pomiędzy sąsiadującymi ze sobą, ogrzewanymi pomieszczeniami składowymi budynku (nieszczelności wewnętrzne – patrz fot. 2).

Ocena strumienia powietrza przepływającego przez duże otwory występujące w pokryciach lub przegrodach budynku.

Jeżeli w pokryciach zewnętrznych lub przegrodach budynku znajdują się duże otwory, takie jak np. otwór kanału dymowego w szybie windy budynku (patrz fot. 3), albo też – przy pomiarze obejmującym sekcje składowe budynku – jeśli występują w nich duże nieszczelności wewnętrzne, to natężenie przepływu strumienia powietrza przez takie otwory, przy założeniu różnicy ciśnień wynoszącej 50 Pa, można z grubsza ocenić stosując następujący wzór:

$$V_{50} (\text{m}^3/\text{h}) \approx \text{Powierzchnia nieszczelności (cm}^2) \times 2$$

Wzór ten ma charakter przybliżony, a określono go na podstawie badania przepływu strumienia powietrza przez wykonany w cienkiej płytce okrągły otwór o ostrych krawędziach przy założeniu różnicy ciśnień wynoszącej 50 Pa; gęstość powietrza określono przy założeniu, że jego temperatura wynosi 20°C .

Przykład:

Przy różnicy ciśnień równej 50 Pa przez otwór kanału dymowego o wymiarach wynoszących $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ przepływa strumień powietrza o natężeniu wynoszącym około $1\,250 \text{ m}^3/\text{h}$ ($V_{50} \approx 25 \text{ cm} \cdot 25 \text{ cm} \cdot 2 \approx 1\,250 \text{ m}^3/\text{h}$).

Określenie liczby wentylatorów nadmuchowo-wyciągowych

Liczba wentylatorów nadmuchowo-wyciągowych potrzebnych do wykonania pomiaru przepuszczalności powietrza budynku jest uzależniona od wymaganej szczelności powietrznej oraz charakteryzującej budynek wielkości odniesienia, którą może być: kubatura pomieszczeń (V), powierzchnia netto rzutu poziomego budynku (A_F) lub powierzchnia pokrycia zewnętrznego



Fot. 2: Nieszczelność wewnętrzna: przepust kablowy pomiędzy sąsiadującymi ze sobą pomieszczeniami składowymi budynku (Źródło: IngBEU).



Fot. 3: Otwór kanału dymowego w szybie windy (Źródło: IngBEU)

¹ (niem.: Intertisierung), metoda zubożniania atmosfery wypełniającej pomieszczenia wewnętrzne budynku polegająca na wprowadzaniu do nich gazów obojętnych, których obecność – zależnie od okoliczności – zapobiega wybuchowi pożaru, tłumi go lub przeciwdziała rozprzestrzenianiu się ognia.

budynku (A_E). Wymaganą liczbę wentylatorów można określić w następujący sposób:

1. określając **wymagania dotyczące** szczelności powietrznej budynku przy użyciu współczynnika n_{50} , q_{50} lub w_{50} ;
2. ustalając opistującą dany budynek charakterystyczną **wielkość odniesienia** (V , A_E lub A_T);
3. określając **wymagane objętościowe natężenie przepływu strumienia powietrza** ($V_{50,wym}$), tzn. minimalną objętość powietrza, jaka w jednostce czasu [h] musi zostać przetłoczona przez wentylatory nadmuchowo-wyciągowe układu pomiarowego w celu zapewnienia możliwości dokonania miarodajnego pomiaru szczelności powietrznej budynku. Natężenie to można bez trudu obliczyć, znając wartości współczynnika krotności wymiany powietrza oraz wybranej wielkości odniesienia budynku.
4. obliczając **liczbę wentylatorów nadmuchowo-wyciągowych**.

Znając wartość wymaganego objętościowego natężenia przepływu strumienia powietrza ($V_{50,wym}$) oraz wynoszącą około 7200 m³/h wydajność tłoczenia układu pomiarowego Minneapolis BlowerDoor można określić minimalną liczbę wentylatorów nadmuchowo-wyciągowych, jakie należy koniecznie zastosować w celu zapewnienia możliwości przeprowadzenia miarodajnego pomiaru.

Przykład:

W wypadku budynku o wymaganym współczynniku szczelności powietrznej $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ oraz kubaturze wewnętrznej wynoszącej $V = 25\,000 \text{ m}^3$ wymagane objętościowe natężenie przepływu strumienia powietrza przy różnicy ciśnienia wynoszącej 50 Pa ($V_{50,wym}$) obliczamy w sposób następujący:

$$V_{50,wym} = n_{50} \cdot V = 1,5 \text{ h}^{-1} \cdot 25\,000 \text{ m}^3 = 37\,500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aby przeprowadzić miarodajny pomiar szczelności powietrznej i omawianego budynku, należy dostarczyć do niego strumień powietrza w ilości 37 500 m³/h.

Znając wydajność tłoczenia wentylatorów układu pomiarowego Minneapolis BlowerDoor wynoszącą około 7200 m³/h przy różnicy ciśnień wynoszącej 50 Pa, określamy liczbę wentylatorów nadmuchowo-wyciągowych:

$$\begin{aligned} \text{Liczba wentylatorów} &= V_{50,wym} / V_{50,weni} = \\ &= 37\,500 \text{ m}^3/\text{h} / 7\,200 \text{ m}^3/\text{h} \approx 5 \end{aligned}$$

Aby przeprowadzić miarodajny pomiar szczelności powietrznej omawianego budynku należy zastosować układ pomiarowy Minneapolis BlowerDoor wyposażony w 5 wentylatorów.

Jeżeli w pokryciu zewnętrznym budynku lub jego przegrodach znajdują się duże otwory (np. otwór kanału dymowego w szybie windy), to przy ustalaniu liczby



Fot. 4: Odkryty kanał instalacyjny w pokryciu budynku (Źródło: IngBEU)



Rys. 5: Uszczelnienie przewodu instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej (Źródło: IngBEU)

wentylatorów nadmuchowo-wyciągowych należy również uwzględnić dodatkowy przepływ strumienia powietrza przez takie otwory.

Ogłędziny budynku przed wykonaniem pomiarów

Aby wyeliminować ewentualne trudności, które mogłyby zakłócić przebieg pomiaru szczelności powietrznej budynku, zaleca się przeprowadzenie ogłędzin badanego obiektu na 1 do 2 tygodni przed planowanym terminem pomiaru – ogłędziny takie należy przeprowadzić z osobą odpowiedzialną za plac budowy. W trakcie ogłędzin należy zwrócić uwagę:

- Czy prace prowadzone przy pokryciach charakteryzujących się szczelnością powietrzną lub przegrodach budynku zostały zakończone? Często jest tak, że w badanym budynku można się natknąć na duże odkryte otwory – np. otwory kanałów instalacyjnych (patrz fot. 4) – które uniemożliwiają przeprowadzenie miarodajnego pomiaru.
- Czy jest konieczne przeprowadzenie wstępnych prac przygotowawczych, umożliwiających zabudowę urządzeń pomiarowych? W tym wypadku należy się upewnić, czy budynek ma otwory wystarczająco duże, by można było w nich zabudować urządzenia pomiarowe. Przy okazji dobrze będzie się upewnić, czy w celu zabudowy urządzeń pomiarowych konieczne będzie wykonanie odpowiedniej konstrukcji pomocniczej.
- Czy badany obiekt wyposażony jest w instalację wentylacyjno-klimatyzacyjną i czy w związku z wykonywanymi pomiarami można będzie ją uszczelnić lub zaślepić?

Często jest wskazane, by przed wykonaniem pomiaru szczelności powietrznej budynku odpowiedni personel specjalistyczny uszczelnił względnie zaślepił poszczególne elementy instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej, nierzadko bowiem instalacje te mają duże wymiary, zaś dokonanie ich ogłędzin jest niemożliwe. Jeżeli zachodzi potrzeba podzielenia badanego budynku na kilka sekcji pomiarowych, zaś przewody instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej wychodzą poza takie sekcje, to wówczas konieczne będzie zaślepienie przewodów instalacyjnych w miejscu

ich przejścia do sąsiedniej sekcji budynku (patrz fot. 5). W przeciwnym wypadku wyniki pomiarów mogą ulec zafałszowaniu i nie będą miarodajne.

- Czy zachodzi potrzeba uszczelnienia lub zaślepienia otworów znajdujących się w pokryciu lub przegrodach budynku?

Podczas oględzin budynku można również napotkać istniejące w jego pokryciu lub przegrodach otwory (np. otwory drzwiowe bez drzwi). W razie obecności tak dużych otworów wskazane jest, by zostały zaślepione za pomocą odpowiednich płyt i należyce uszczelnione. Z uwagi na czas trwania pomiaru zaślepienie takich otworów za pomocą różnego rodzaju folii oraz taśm klejących jest często niewystarczające dla zapewnienia jego miarodajności.

Miejsce zabudowy zespołu pomiarowego

Zespół pomiarowy powinien być w miarę możliwości zlokalizowany i zabudowany centralnie – na przykład w głównej klatce schodowej budynku. Taka lokalizacja ułatwi sterowanie pracą zespołu pomiarowego i jego kontrolę. Przy zastosowaniu wielu wentylatorów należy zwrócić uwagę na potrzebę zapewnienia wystarczającego natężenia przepływu strumienia powietrza.

Przed przystąpieniem do pomiarów budynku lub jego poszczególnych sekcji należy zapewnić pneumatyczne sprzężenie wszystkich sekcji budynku, aby obiekt mógł być traktowany jako jedna strefa. Strumień doprowadzanego powietrza musi się równomiernie rozprzestrzeniać we wszystkich sekcjach budynku, a przepływające powietrze nie może napotykać na żadne przeszkody (drzwi prowadzące do korytarzy, pomieszczeń, itp. powinny być otwarte i w razie potrzeby unieruchomione).

Przygotowanie budynku do pomiarów

Należy pamiętać, że przygotowanie budynku do pomiarów – np. otwarcie drzwi wewnętrznych, zamknięcie okien oraz drzwi zewnętrznych, a także wykonanie okresowych zaślepek i uszczelnień (kratki ściekowe

umiejscowione w posadzkach, kratki odpływowe w pomieszczeniach sanitarnych, itd.) – jest bardzo czasochłonne. Im więcej budynek ma pięter oraz pojedynczych pomieszczeń, tym dłużej będzie trwało właściwe przygotowanie go do pomiaru. Potrzebny czas można skrócić zatrudniając większą liczbę właściwie przeszkolonych osób, które będą wykonywać konieczne prace.

Zapewnienie we wszystkich sekcjach budynku różnicy ciśnień wynoszącej 50 Pa +/- 10 %.

Bezpośrednio po zakończeniu prac związanych z przygotowaniem budynku do pomiaru należy sprawdzić, czy po wytworzeniu przez układ pomiarowy stałej różnicy ciśnień (wynoszącej w miarę możliwości 50 Pa) rozkład ciśnienia w całym budynku jest równomierny. Różnice ciśnienia występujące we wnętrzu budynku powinny być mniejsze niż 10% wartości zmierzonej różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniem panującym wewnątrz budynku a ciśnieniem otoczenia zewnętrznego. Spełnienie tego wymogu sprawdza się przez wzajemne porównanie różnic ciśnień występujących pomiędzy poszczególnymi pomieszczeniami albo też przy użyciu urządzenia pomiarowego, które mierzy różnicę ciśnienia występującą pomiędzy przestrzenią wewnętrzną i otoczeniem zewnętrznym. W celu dokonania takiego pomiaru jako element łączący przestrzeń wewnętrzną z zewnętrzną zaciska się w oknie wykonaną z miedzi rurkę kapilarną.

Jeżeli spadek ciśnienia w którejś z sekcji budynku jest tak duży, że przekracza dopuszczalną 10-procentową odchyłkę, to wówczas trzeba zamontować w takiej sekcji jeden z wentylatorów nadmuchowowyciągowych. Przyczyną wysokiego spadku ciśnienia jest stosunkowo duża ilość lub duże rozmiary nieszczelności występujących w tej sekcji budynku. Inną przyczyną mogą być również zbyt krótkie odcinki, przez które przepływa strumień powietrza.

Tekst i ilustracje: Dipl. Ing. Stefanie Rolfsmeier, Dipl. Ing. Paul Simons

Tłumaczenie z języka niemieckiego Mariusz Krysiak, Biuro Tłumaczeń Kontakt

Praktyczne aspekty pomiarów szczelności powietrznej dużych budynków omówimy w drugiej części artykułu.



Poświęćcie swoją energię na co innego!

Próbę szczelności pozostawcie nam!

Minneapolis BlowerDoor

Wiodące na rynku systemy pomiarowe szczelności powietrznej

Uniwersalne zastosowanie w:

- domach pasywnych
- domach o niskim zapotrzebowaniu na energię
- budynkach eksploatowanych
- budynkach wielorodzinnych
- budynkach użyteczności publicznej i komercyjnych

EWFE-G.S.

Chętnie służymy pomocą:

Biuro Doradcze technologii budownictwa pasywnego
80-299 Gdańsk
ul. Homera 57
Tel. +48 58 / 524 12 06
Fax +48 58 / 522 98 50