



Doradca energetyczny na placu budowy

Próba szczelności w praktyce

Próba szczelności jest w naszym kraju stosunkowo mało upowszechnionym i niedocenianym sposobem kontroli jakości robót budowlanych i budynku, tymczasem z jej wykorzystaniem można skutecznie wykryć wady i nieszczelności w przegrodach zewnętrznych.

Trzeba brać przykład z sąsiadów

Próba szczelności budynku pozwala ograniczyć ryzyko pojawienia się w przyszłości szkód budowlanych takich jak np. grzyb, spowodowany wykraplaniem się pary wodnej z powietrza przenikającego do wnętrza ścian czy dachu. Nie bez znaczenia jest też efekt energetyczny występowania wszelkiego rodzaju nieszczelności, gdyż przez nie z budynku ucieka ciepłe powietrze, a tym samym... pieniądze jego użytkowników. Przeprowadzenie próby ciśnieniowej jest obligatoryjne u naszych zachodnich sąsiadów. Niemieckie ustawodawstwo nakłada obowiązek przeprowadzenia takiego pomiaru przed odbiorem budynku przez nadzór budowlany. Wymóg taki wprowadzono w 2002 r.

W niniejszym artykule opiszę zasady przeprowadzania próby ciśnieniowej na przykładzie domu pasywnego realizowanego w Wólce k. Zaborowa, na zachód od Warszawy. Jest to obiekt prototypowy zbudowany przez rodzinną firmę ZRB. Celem przedsięwzięcia było sprawdzenie idei budynku pasywnego w praktyce oraz wypracowanie rozwiązań technologicznych i materiałowych dla realizacji kolejnych podobnych obiektów (fot. 1). Budynek jest poddawany certyfikacji przez Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, a wykonanie próby szczelności było jednym z wymogów w tym

procesie. Przed rozpoczęciem budowy projekt został zweryfikowany pod względem poprawności przyjętych rozwiązań projektowych, a jego zapotrzebowanie na ciepło oraz moc grzewczą zostało wyliczone przy pomocy programu PHPP służącego do projektowania obiektów w standardzie domu pasywnego.

Przedmiot próby

Na wstępie kilka najważniejszych faktów na temat badanego obiektu. Jest to dom trzykondygnacyjny (parter, piętro i strych), niepodpiwniczony, z przylegającym garażem i dwuspadowym dachem. Do konstrukcji dachu zastosowano dwuteowniki OSB z ociepleniem ze styropianu modyfikowanego grafitem (Neopor). Powłokę szczelną dachu stanowi zwyczajna paroizolacja zakupiona w hipermarkecie budowlanym. Została ona przyklejona taśmą dwustronną do dwuteowników OSB i na brzegach przymocowana do muru poprzez pokrycie jej brzegu tynkiem. Ściany mają konstrukcję monolityczną, wylaną na miejscu ze styrobetonu, z zewnątrz ocieplone są styropianem modyfikowanym grafitem o grubości 32 cm i wykończone metodą lekką mokrą. Jak się później okazało to właśnie zastosowanie konstrukcji monolitycznej znacząco przyczyniło się do doskonałego rezultatu uzyskanego podczas próby ciśnieniowej.

Sprzęt do badań

Do przeprowadzenia próby ciśnieniowej w opisywanym domu wykorzystano urządzenie Minneapolis Blowerdoor 4 z zestawem pomiarowym DG700 sterowanym programem Tectite Express. Jest to sprzęt dosyć uniwersalny, pozwalający wykonywać pomiary budynków najróżniejszej wielkości, poczynając od niewielkich obiektów, takich jak domy jednorodzinne czy pojedyncze mieszkania, a kończąc na budynkach pasywnych o powierzchni do 4000 m².

Jak działa takie urządzenie? W futrynę drzwi wstawia się regulowaną aluminiową ramę z rozpiętą płachtą, w której umieszcza się wentylator nawiewający powietrze do budynku (fot. 2). Podczas próby zostaje określona przez osobę wykonującą pomiar różnica ciśnień, np. 50 Pa, pomiędzy powietrzem znajdującym się wewnątrz i na zewnątrz budynku. W tym czasie mierzona jest wielkość strumienia powietrza wtłaczanego, która odpowiada ilości powietrza uciekającego przez nieszczelności. Wielkość strumienia powietrza należy podzielić przez kubaturę netto (ilość powietrza wewnątrz budynku). Otrzymuje się wartość współczynnika n_{50} , określającego ilość wymian powietrza, która zachodzi przy różnicy ciśnień 50 Pa. Czyli inaczej mówiąc uzyskuje się odpowiedź na pytanie, jaka część powietrza ucieka z budynku w ciągu jednej godziny przy danej różnicy ciśnień. W warunkach naturalnych taki efekt ma miejsce np. na skutek oddziaływania na budynek wiatru.

O metodzie

Dla uzyskania precyzyjniejszych wyników przeprowadza się próbe w warunkach nadciśnienia i podciśnienia, następnie uśredniając wyniki z obydwu pomiarów. W przypadku badanego budynku – ze względu na to, że paroizolacja nie była jeszcze dociśnięta latami stanowiącymi konstrukcję dla płyt gipsowo-kartonowych – wykonana została jedynie próba na nadciśnienie. Na tym etapie procesu budowlanego wytworzenie w budynku podciśnienia spowodowałoby wydęcie paroizolacji do wnętrza i jej uszkodzenie, dlatego też zaplanowaliśmy tylko jeden rodzaj pomiarów. Takie rozwiązanie jest zgodne z Normą PN-EN 13829:2002 „Właściwości cieplne budynków. Określanie przepuszczalności powietrznej budynków. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora”, która szczegółowo określa metodologię wykonywania próby ciśnieniowej, sposób przygotowania obiektu oraz warunki przeprowadzenia pomiaru.

Przed przystąpieniem do wykonywania próby ciśnieniowej należy odpowiednio przygotować budynek. W tym celu należy zatkać wszystkie przewody wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej. Dom w Wólce jest budynkiem pasywnym. Zaprojektowano w nim wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła. W dniu wykonania próby nie była jeszcze wykonana instalacja wentylacyjna wewnątrz budynku. Natomiast do budynku był już doprowadzony przewód czerpny z gruntowego wymiennika ciepła, a na dach wyprowadzona była wyrzutnia powietrza. Obydwa powyższe przewody, a także przewody kanalizacji sanitarnej, zostały starannie uszczelnione przed przeprowadzeniem próby. Do tego celu wykorzystano fragmenty folii przyklejone taśmą samoprzylepną. Innym skutecznym sposobem uszczelnienia budynku przed dokonaniem próby jest też umieszczenie w rurach czy kanałach gumowego pęcherza piłki i nadmuchiwanie go.

Próba w praktyce

Po zamontowaniu urządzenia Blowerdoor w drzwiach, przyłączeniu wszystkich kabli oraz przewodów w konfiguracji do badania na nadciśnienie oraz upewnieniu się, że wszystkie okna są zamknięte przystąpiliśmy do wykonywania próby (fot. 3). Po uruchomieniu programu Tectite Express, który steruje działaniem urządzenia Blowerdoor, należy wprowadzić do niego ta-



Fot. 2. Urządzenie Blowerdoor zamontowane w drzwiach. Próba na nadciśnienie – blendy od strony zewnętrznej



Fot. 3. Urządzenie Blowerdoor gotowe do próby



Fot. 4. Instalowanie blendy na wentylatorze urządzenia Blowerdoor



Fot. 5. Sprawdzanie szczelności poddasza za pomocą wytworzycy dymu. Na fotografii widać jak paroizolacja została docisnięta do termoizolacji podczas próby na nadciśnienie

kie dane jak kubatura netto budynku, prędkość wiatru, temperatura wewnątrz i na zewnątrz budynku. Silny wiatr może być czynnikiem utrudniającym lub uniemożliwiającym wykonanie próby ciśnieniowej. Parcie powietrza na budynek może wytworzyć niezamierzoną różnicę ciśnienia, a tym samym spowodować błędny pomiar. Różnica ciśnienia wewnątrz i na zewnątrz budynku zgodnie z normą PN-EN 13829:2002 nie może przekroczyć 5 Pa. W czasie naszej próby pogoda na szczęście dopisała: było słonecznie i bezwietrznie.

Przed przystąpieniem do próby ciśnieniowej należy także sprawdzić, czy iloczyn wysokości budynku i różnicy temperatur wewnątrz i na zewnątrz budynku nie przekracza 500. W naszym przypadku powietrze na zewnątrz budynku miało temperaturę 1°C, a w środku 12,5°C. Wysokość budynku to 8,5 m, co po podstawieniu do wzoru daje $(12,5^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C}) \cdot 8,5 \text{ m} = 97,75$, czyli powyższy warunek był spełniony.

W pierwszej fazie pomiaru, po szczelnym zamknięciu płócienną przesłoną otworu wentylatora, sprawdza

Fot. 6. Poszukiwanie za pomocą anemometru nieszczelności na łączeniu paroizolacji ze ścianą. Przyrząd wykazuje zerowy przepływ powietrza



dzana jest różnicą pomiędzy ciśnieniem zewnętrznym i wewnętrznym. Jeśli różnica ciśnienia nie przekracza 5 Pa, rozpoczyna się druga faza pomiaru. Po zdjęciu płóciennej przesłony uruchamiany jest wentylator. W przypadku wykonywania próby na nadciśnienie rozpoczyna się wtłaczanie powietrza do budynku. W zależności od wielkości nawiewanego strumienia powietrza dobiera się odpowiednie blendy z tworzywa sztucznego ograniczające przepływ powietrza przez wentylator (fot. 4). Zgodnie z normą wykonuje się pomiar wielkości strumienia powietrza przepływającego przez wentylator dla minimum 5 wartości różnicy ciśnienia poniżej i powyżej 50 Pa. Na podstawie uzyskanych wartości zostanie wyliczona zgodnie z normą wielkość przecieku powietrza dla różnicy ciśnienia 50 Pa oraz współczynnik n_{50} . Dla domu w Wólce przeprowadziłem odpowiednio pomiar dla różnicy ciśnienia 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35 i 30 Pa, podczas którego otrzymaliśmy wielkości strumienia powietrza od 65 do 112 m³/s (rys. 1). Dla każdej wartości różnicy ciśnienia zbierane jest po 100 pomiarów, z których wyliczana jest wartość średnia. Czyli w naszym przypadku, gdzie ciśnienie mierzone było dla 9 wartości różnicy ciśnienia, na ostateczny rezultat składa się 900 pomiarów. Na zakończenie zamyka się otwór wentylatora szczelnie płócienną przesłoną i ponownie, tak jak na początku, sprawdza się różnicę ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego.

Nieco szczegółów

Kilka słów o tym, jak wykonywane są same pomiary oraz jakie parametry są badane. Zestaw DG700 zaopatrzone jest w dwa czujniki analizujące różnicę ciśnienia. Do każdego z nich podłącza się po dwie elastyczne rurki z tworzywa sztucznego. Pierwszy z czujników wykorzystywany jest do pomiaru różnicy pomiędzy ciśnieniem zewnętrznym i wewnętrznym. Końcówka jednej z rurek wyprowadzana jest na zewnątrz budynku, a druga pozostaje w budynku. Drugi z czujników bada różnicę pomiędzy ciśnieniem w strudze powietrza wewnątrz wentylatora i ciśnieniem w jej sąsiedztwie. Na podstawie zmierzonej wartości oraz pola powierzchni strugi powietrza, która zależy od średnicy otworu w blendzie, w programie Tectite Expres obliczana jest wielkość strumienia powietrza przepływającego przez urządzenie Blowerdoor. Jeśli przepływ powietrza zostanie zaburzony przez przedmiot lub osobę, która znajdzie się w pobliżu wentylatora, spowoduje to szybki skok ciśnienia wewnątrz budynku, co zostanie zasygnalizowane przez program komunikatem o niestabilnym ciśnieniu. Komunikat taki może pojawić się także podczas porywistych podmuchów wiatru. Natomiast gdyby w budynku pozostało otwarte okno wkrótce po uruchomieniu wentylatora oprogramowanie wyświetli komunikat o tym, że nie udało się uzyskać różnicy ciśnienia pomiędzy powietrzem w budynku a powietrzem zewnętrznym. Podczas pracy w trybie automatycznym program Tectite Expres reguluje prędkość obrotów wentylatora poprzez sterownik DG700.

Możliwy jest też pomiar manualny; wtedy prędkość obrotów wentylatora regulowana jest przy pomocy potencjometru przez użytkownika.

Wyniki badań

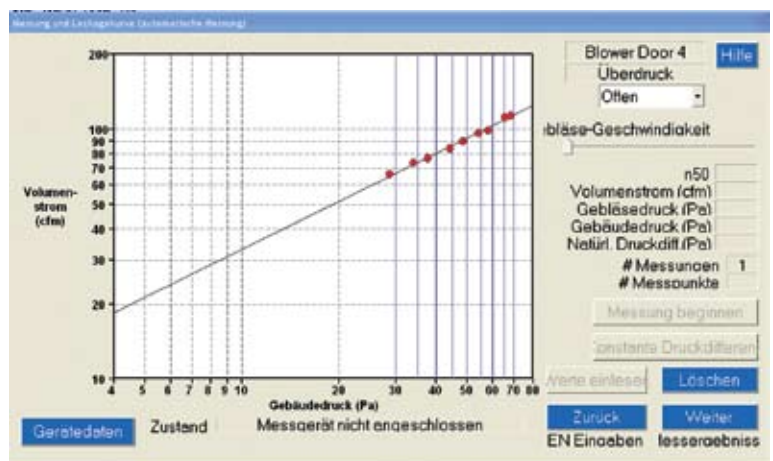
Dane uzyskane podczas pomiaru nagrywa się jako plik, który następnie w celu obliczenia współczynnika n_{50} i sporządzenia raportu importuje się do arkusza kalkulacyjnego dostarczonego przez producenta urządzenia. Po przeliczeniu w arkuszu otrzymałem wartość współczynnika n_{50} równą $0,16 \text{ h}^{-1}$, co stanowi znakomity rezultat, gdyż wartość wymagana dla domów pasywnych wynosi $0,6$ wymiany na godzinę. Dla budynków z wentylacją mechaniczną nowe Warunki Techniczne wprowadzone na początku bieżącego roku zalecają wartość $3,0 \text{ h}^{-1}$ dla budynków z wentylacją grawitacyjną, a dla obiektów wentylowanych mechanicznie współczynnik n_{50} powinien być mniejszy niż $1,5 \text{ h}^{-1}$. Jeśli przeprowadza się próbę na nadciśnienie i podciśnienie dla uzyskania dokładniejszych obliczeń do arkusza importuje się wyniki obydwu pomiarów.

Po przeprowadzeniu próby ciśnieniowej, szczególnie gdy wskaźnik n_{50} jest wyższy niż wymagany, po ustawieniu urządzenia Blowerdoor w trybie stałej różnicy ciśnienia przystępuje się do wyszukiwania nieszczelności. W przypadku omawianego obiektu po uzyskaniu dobrych rezultatów wykonanie tej czynności nie było konieczne, ale przystąpiliśmy do niej z udziałem Pana Konrada Czekalskiego, przedstawiciela firmy ZRB, z czystej ciekawości. Do dyspozycji mieliśmy wytwornicę dymu oraz anemometr służący do pomiaru prędkości przepływu powietrza. Pierwsze urządzenie zastosowaliśmy do sprawdzenia szczelności poddasza (fot. 5). Nie wykazało ono żadnych usterek – sztuczny dym nie ulatniał się na zewnątrz budynku. Rezultaty dało dopiero szczegółowe badanie przy pomocy anemometru (fot. 6), które ujawniło niewielkie nieszczelności przy taśmie uszczelniającej okna. Najszybszy przepływ powietrza jaki zmierzaliśmy wynosił $0,61 \text{ m/s}$. Co ciekawe w miejscach, gdzie występowały nieszczelności były one widoczne gołym okiem od zewnątrz w postaci ciemniejszych, zawilgoconych plam na tynku przy ramie okna, powstałych wskutek wykraplania się wody z powietrza wydostającego się z budynku przez szczelinę.

Do wykrywania nieszczelności w budynkach o wysokich pomieszczeniach, w których nie ma dostępu do wyżej położonych części przegród budowlanych stosuje się kamery termowizyjne, które w warunkach podciśnienia skutecznie ujawniają powierzchnie wychłodzone przez napływające przez nieszczelności powietrze zewnętrzne.

Efekty energetyczne

Jak już było wspomniane na początku artykułu, na etapie projektowania badanego budynku obliczono jego zapotrzebowania na ciepło oraz moc grzewczą przy pomocy programu PHPP, służącego do projektowania



Rys. 1. Wyniki pomiarów dla dziewięciu wartości różnicy ciśnienia na wykres przecieku powietrza w programie Tectite Express. Każdy z punktów reprezentuje średnią ze 100 pomiarów

obiektów w standardzie domu pasywnego. W przypadku domu w Wólce obliczenia te wykonano zakładając współczynnik n_{50} równy $0,5 \text{ h}^{-1}$; dla którego otrzymano wartość sezonowego zapotrzebowania na ciepło na poziomie $14,9 \text{ kWh/m}^2\text{-rok}$. Polepszenie współczynnika n_{50} do wartości $0,16 \text{ h}^{-1}$ zmniejszyło zużycie energii dla celów grzewczych do poziomu $13,0 \text{ kWh/m}^2\text{-rok}$. Natomiast pogorszenie szczelności budynku do n_{50} równego $1,5 \text{ h}^{-1}$ spowodowałoby, że współczynnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło wzrósłby do $20,7 \text{ kWh/m}^2\text{-rok}$, a dla n_{50} na poziomie 3 h^{-1} roczne zapotrzebowanie na ciepło wynosiłoby aż $29,5 \text{ kWh/m}^2\text{-rok}$. Dalszy wzrost współczynnika n_{50} do poziomu 4 wymian na godzinę skutkowałoby tym, że do ogrzania budynku potrzebne byłoby aż $35,4 \text{ kWh/m}^2\text{-rok}$!

Powyższe wyliczenia pokazują, jak ważną rolę w bilansie energetycznym budynków energooszczędnych i pasywnych odgrywa ich szczelność. Aspekt ten jest szczególnie istotny w przypadku stosowania wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, ponieważ niekontrolowana infiltracja powietrza do budynku powodowała by jego przepływ i wymianę poza rekuperatorem bez możliwości odzyskania zawartego w nim ciepła. Należy przypuszczać, że wraz z rozwojem budownictwa o niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania, rama z wentylatorem zamontowana w drzwiach wejściowych będzie się stawała coraz powszechniejszym widokiem na naszych budowach.

Cezary Sankowski
Zdjęcia i rysunki z archiwum Autora.



AUTOR

Mgr inż. arch. Cezary Sankowski – zajmuje się projektowaniem budownictwa pasywnego i energooszczędnego. Ponadto współpracuje z Polskim Instytutem Budownictwa Pasywnego przy wykonywaniu obliczeń i weryfikacji projektów domów pasywnych, a także w zakresie doradztwa i szkoleń.