



1. Wentylacyjna płyta pomiarowa Minneapolis BlowerDoor o zakresie pomiarowym od 35 m³/h do 7200 m³/h wykorzystywana do celów pomiarów budynków pasywnych i energooszczędnych oraz budynków starych i przemysłowych

Badanie szczelności obudowy budynku metodą ciśnieniową

Staranne uszczelnienie całej zewnętrznej obudowy budynku stanowi, w połączeniu z różnymi metodami izolacji cieplnej, podstawowy warunek jego sprawności energetycznej – dopiero usunięcie wszelkich niepożądanych nieszczelności pozwala osiągnąć redukcję zużycia energii oczekiwaną zarówno przez organy ustawodawcze, jak i inwestorów oraz właścicieli budynków. Ponadto już na etapie prac budowlanych można eliminować groźbę powstawania szkód, które mogłyby być powodowane zawilgoceniem budynku. Komfort zamieszkiwania w budynku można również w znacznym stopniu poprawić dzięki zapobieganiu przeciągom oraz eliminacji możliwości przenikania do jego wnętrza cząsteczek kurzu i pyłu.

Przepisy rozporządzenia w sprawie oszczędnej gospodarki energią z 2002 r. (niemieckie przepisy EnEV) narzucają wymóg, zgodnie z którym budynki nowe mają być wyposażone w ściany stanowiące hermetyczne, nieprzepuszczające powietrza przegrody, przy czym obowiązek ten odnosi się do wszystkich rodzajów budynków, w równym stopniu dotycząc budynków jedno- i wielorodzinnych, hal przemysłowych czy też biurów.

Jednakże szczelność powietrzno-wiatrowa obudowy budynku uzyskiwana przy użyciu folii izolacyjnych, dodatkowych uszczelnień w postaci taśm samoprzylepnych itp. jest częstokroć pozbawiona ciągłości przez różnego rodzaju elementy budowlane (okna, drzwi) oraz przechodzące przez nią różne elementy przelotowe

– jak np.: przewody instalacji elektrycznych lub sanitarnych. Dlatego też jedynie działanie „ręka w rękę” i ścisła współpraca projektantów z wykonawcami może zapewnić optymalną jakość wykonania budynku.

Usytuowanie warstw izolacyjnych

Zarówno lokalizację, jak i sposób ułożenia warstwy izolacyjnej, nieprzepuszczającej powietrza ani pary wodnej, należy zaprojektować w najdrobniejszych szczegółach; nie wolno bowiem zapominać, że warstwę tę układa się po wewnętrznej, ciepłej stronie przegrody termoizolacyjnej, w miarę możliwości na zwróconej do wnętrza powierzchni konstrukcji nośnej budynku. Dlatego też warstwa ta musi być wykonana w taki sposób, aby zapobiegała przedostawaniu się cie-

plego powietrza pochodzącego z wewnętrznej przestrzeni budynku do nieuszczelnności występujących w jego elementach konstrukcyjnych lub pomiędzy nimi.

Ponadto budynek należy chronić przed zewnętrznymi podmuchami wiatru. Służąca do tego warstwa wiatroizolacyjna budynku ułożona będzie po jego stronie zewnętrznej. Należy odróżniać tę wiatroszczelną i paroprzepuszczalną warstwę zewnętrzną od wewnętrznej warstwy uszczelniającej, nieprzepuszczającej powietrza i paroszczelnej.

Przejście od dotychczas stosowanej koncepcji projektowania pokryć nieprzepuszczających powietrza w postaci określenia ich ogólnej charakterystyki do koncepcji szczegółowego projektowania tych pokryć znacznie ułatwia późniejsze wykonawstwo prac budowlanych. Ilość przepustów umożliwiających doprowadzenie kabli i przewodów rurowych ulega ograniczeniu do niezbędnego minimum, szczegółowo projektuje się również same przyłącza. Warunkiem minimalizacji przepustów kablowych wykonywanych w pokryciu dachowym jest przystąpienie do wykonywania robót elektrycznych dopiero po zakończeniu prac związanych z układaniem folii paroszczelnej i warstw termoizolacyjnych; kolejnym zaś etapem jest montaż paneli wykończeniowych wykonanych w technologii suchej.

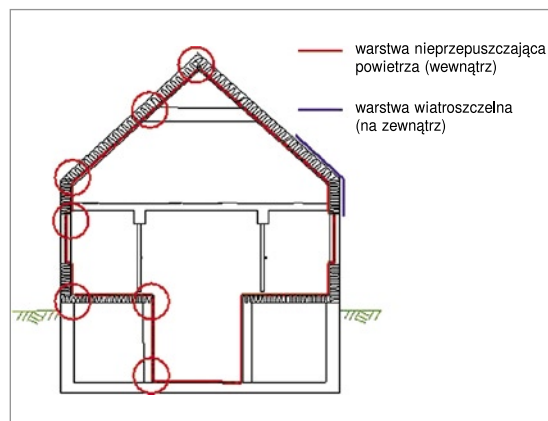
Zarówno ekonomiczność warstw izolacyjnych (wewnętrznych i zewnętrznych), jak i ich funkcjonalność są w dużej mierze uzależnione od jakości projektowania. A zatem – z punktu widzenia późniejszych prac wykończeniowych strychu – korzystniejszym rozwiązaniem może okazać się wykonanie kompletnej, zintegrowanej z konstrukcją dachową warstwy izolacyjnej, zamiast podejmowania prób ułożenia nieprzepuszczającej powietrza warstwy na płaszczyźnie utworzonej przez jętki.

Na rysunku 4 przedstawiono nową warstwę izolującą górną część strychu, wykonaną na już istniejących elementach konstrukcji dachowej przez ułożenie na dolnej powierzchni istniejących jętek elementów izolacyjnych (np.: lekkich drewnianych paneli izolacyjnych wykonanych ze sprasowanej wełny drzewnej). Prostsze jest jednak rozwiązanie przedstawione na rysunku 5 – górną, położoną nad belkowaniem stropu poddasza część strychu odizolowano od części dolnej poprzez wykonanie pełnej, zintegrowanej z konstrukcją dachową warstwy nieprzepuszczającej powietrza. Przy zastosowaniu takiego rozwiązania konieczne jest jednak wypełnienie przestrzeni wewnętrznej jętek wiązarów dachowych materiałem izolacyjnym (np. celulozą) tak, aby wyeliminować możliwość przepływu strumienia powietrza otoczenia przez wewnętrzną przestrzeń jętek, wywołanego podmuchami zimnego wiatru i zapobiec w ten sposób wychładzaniu konstrukcji.

W przypadku starych budynków problemy związane z modernizacją istniejących w tych budynkach pokryć zapewniających szczelność powietrzną mogą stwarzać istniejące w takich budynkach i pełniące rolę łączników belki stropowe, których ręczna obróbka częstokroć wymaga zatrudnienia doświadczonego rzemieślnika. W takich sytuacjach racjonalnym rozwiązaniem jest wypróbowanie zaprojektowanej konstrukcji w ramach „poligonu doświadczalnego” i sprawdzenie jej zdolności adaptacyjnej. Zalecane jest dodatkowe, zewnętrzne ocieplenie twarde belek dachu na całej płaszczyźnie.

Warstwy nieprzepuszczające powietrza

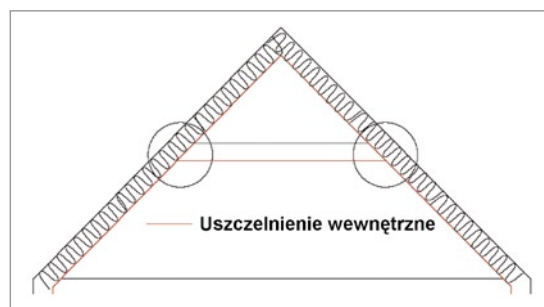
W konsekwencji zmiennych w czasie cykli nagrzewania i wychładzania budynku oraz zmienności temperatur panujących w różnych jego miejscach, powietrze zgromadzone w tym budynku znajduje się w ciągłym ruchu. Siłami napędowymi tego ruchu są: termika budynku oraz wpływ podmuchów wiatru, który oddziałuje na budynek od strony zewnętrznej. Termikę budynku determinuje zróżnicowanie gęstości zgromadzonego w nim powietrza. Powietrze ciepłe ma mniejszą gęstość i w związku z tym jest lżejsze od powietrza zimnego, dlatego też unosi się ku górze (zjawisko konwekcji). Przemieszczające się do góry ogrzane powietrze styka się z ciepłą powierzchnią przegrody budowlanej i poprzez różne szczeliny, złącza i innego rodzaju nieuszczelnienia przenika przez tę przegrodę przedostając się na jej zimną stronę. Tam następuje kondensacja zawartej w ogrzonym powietrzu pary wodnej, która osiada na powierzchni przegrody w postaci kondensatu, co z kolei może spowodować szkody wsku-



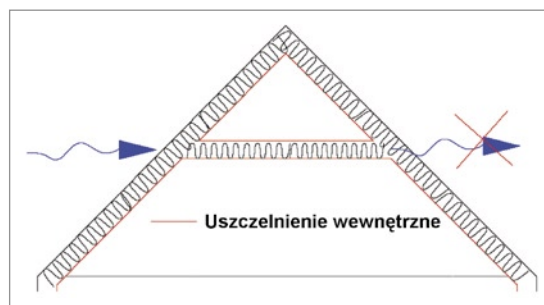
2. Rozmieszczenie nieprzepuszczających powietrza warstw uszczelniających: warstwy wewnętrznej chroniącej przed ucieczką ciepłego powietrza do otoczenia i warstwy zewnętrznej chroniącej przed przepływem chłodnego powietrza otoczenia do wnętrza budynku



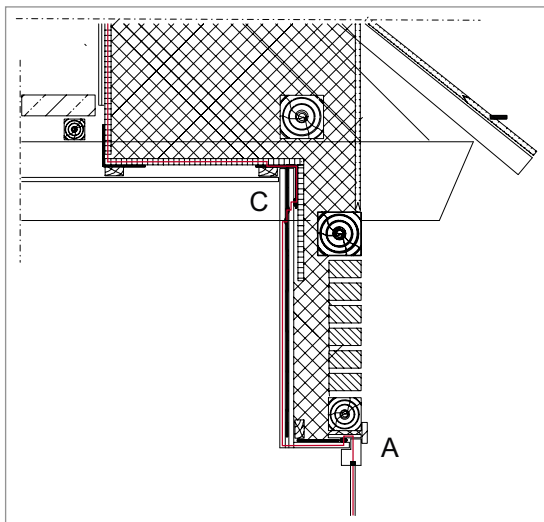
3. Instalację elektryczną układa się przed przystąpieniem do montażu paneli wykończeniowych



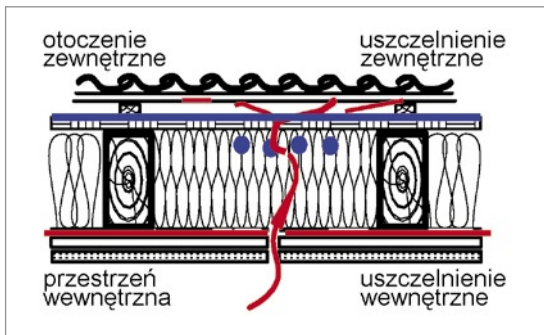
4. Warstwa nieprzepuszczająca powietrza izolująca nadjętkową część strychu, ułożona na dolnej powierzchni jętek



5. Warstwa nieprzepuszczająca powietrza zintegrowana z konstrukcją dachu



6 i 7. Projekt i wykonanie prac modernizacyjnych w przypadku pełniących rolę łączników belek stropowych



8. Strumień powietrza przepływający przez nieszczelności przegrody budowlanej i kondensacja wilgoci na zimnej powierzchni przegrody



9. W tym przypadku należy sprawdzić szczelność trójkątnej przegrody zamontowanej w technologii suchej

tek zawilgocenia elementów budowlanych. Z drugiej zaś strony wywołany podmuchami wiatru strumień zimnego powietrza przedostający się do wewnętrznej przestrzeni budynku może spowodować niepożądane przeciągi i doprowadzić do wytworzenia się tzw. zastoisk zimnego powietrza.

Test szczelności w trakcie budowy

Po zamontowaniu warstwy nieprzepuszczającej powietrza należy przed położeniem na niej pokrycia (oblicowaniem) sprawdzić jej szczelność metodą pomiaru ciśnieniowego (patrz np.: norma PN-EN 13829). Odpowiednie urządzenia pomiarowe zostały opracowane i są oferowane m.in. przez wywodzącą się z Minneapolis firmę BlowerDoor. Dzięki takiemu pomiarowi można bez większego nakładu pracy wykryć zawczasu i usunąć nieszczelności istniejące w budynku. Pomiar należy przeprowadzić w trakcie budowy, bowiem tylko taki pomiar zapewnia właściwą jakość warstw i przegród, charakteryzujących się szczelnością powietrzną.

Zdjęcie 9 pokazuje, na jakim etapie budowy należy sprawdzić szczelność przegrody budowlanej wykonanej w technologii suchej. Pomiar szczelności należy przeprowadzić po wykonaniu tynków zewnętrznych oraz po zamontowaniu okien i drzwi. Praktyczna wskazówka dotycząca drzwi wejściowych: można rozciąć prefabrykowaną osłonę izolacyjną do rur i wykorzystać ją do osłony krawędzi drzwi.

Pomiar szczelności budynku przeprowadza się w następujący sposób: najpierw w drzwiach zewnętrznych budynku zlokalizowanych na poziomie parteru zabudowuje się zespół wentylacyjnej płyty drzwiowej Minneapolis BlowerDoor (fot. 1). Wszystkie inne drzwi i okna zostają zamknięte. Następnie uruchamia się wentylator zasysający powietrze z przestrzeni wewnętrznej badanego budynku, w wyniku czego w jego pomieszczeniach powstaje podciśnienie. Dzięki wytworzeniu podciśnienia w przestrzeni wewnętrznej budynku strumień powietrza zewnętrznego przepływa do wnętrza budynku przez istniejące w nim szczeliny, spoiny i innego rodzaju nieszczelności. Ów dopływający do wnętrza budynku strumień powietrza można zmierzyć przy użyciu miernika prędkości przepływu powietrza; można go również wizualizować za pomocą mgły bądź dymu. Do celów lokalizacji, oceny i dokumentacji istniejących nieszczelności szczególnie przydatne okazuje się zastosowanie termograficznej kamery przeznaczonej do pomiarów w budownictwie.

Krotność wymiany powietrza

Pomiar natężenia przepływu powietrza przenikającego z otoczenia zewnętrznego do wnętrza budynku pozwala ocenić ilość powietrza, jaka będzie przepływać przez wszystkie istniejące w budynku nieszczelności przy ciśnieniu próbnym wynoszącym 50 Pa (co odpowiada naporowi wywołanemu parciem wiatru, rzędu 5 kG/m²). Wskaźnik krotności wymiany powietrza z kolei informuje o tym, ile razy w ciągu jednej godziny powietrze jest wymieniane w budynku przy ciśnieniu 50 Pa i pozwala w ten sposób ocenić jakość szczelności pokryć i ścian budynku. Zarówno przepisy niemieckiego rozporządzenia w sprawie oszczędnej gospodarki energią, jak i norma DIN 4108-7 określają wymagania, które muszą być spełnione w wypadku pomiaru przeprowadzanego przy wykorzystaniu metody pomiaru ciśnieniowego i urządzeń takich, jakie oferuje np. firma BlowerDoor. Stosownie do tych wymagań, w wypadku budynków, które nie są wyposażone w techniczne urządzenia i instalacje wentylacyjno-klimatyzacyjne wskaźnik krotności wymiany powietrza powinien wynosić $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$, natomiast w wypadku budynków wyposażonych w takie urządzenia i instalacje wartość graniczna tegoż wskaźnika wynosi 1,5 h⁻¹. Dla domów energooszczędnych i pasywnych wymagany wskaźnik < 0,6 h⁻¹. Warto dodać, że każdy szczelny budynek charakteryzuje się wyższą sprawnością wentylacji z odzyskiem ciepła niż jego gorzej uszczelniony odpowiednik.

Pomiar szczelności budynku znajdującego się w fazie eksploatacji

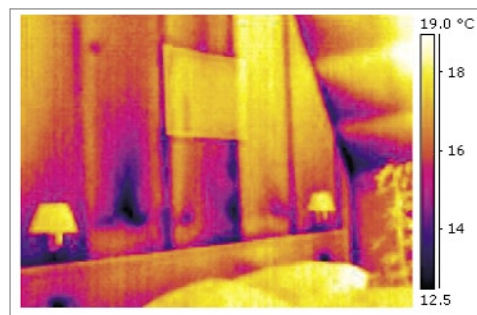
Oprócz pomiaru przeprowadzanego w celu zapewnienia odpowiedniej jakości budynku, na etapie jego budowy przepisy rozporządzenia w sprawie

oszczędnej gospodarki energią narzucają również wymóg przeprowadzenia drugiego pomiaru, który powinien być wykonany zgodnie z normą DIN EN 13829 (polski odpowiednik – PN-EN 13829) i który wykonuje się po wykonaniu obudowy zewnętrznej budynku w celu określenia wskaźnika krotności wymiany powietrza w budynku znajdującym się w trakcie eksploatacji (badanie metodą A). Jednakże pomiar wykonywany na tym etapie nie daje praktycznie żadnych możliwości późniejszego usunięcia istniejących jeszcze nieszczelności, co wynika z braku dostępu do nieprzepuszczających powietrza warstw obudowy obiektu, które przesądzają o jego szczelności. Ilustracja 10 przedstawia zdjęcie termograficzne, które wskazuje na istnienie typowych wad i usterek budowlanych – widać rozmieszczenie lokalnych ognisk wychłodzenia ścian budynku znajdujących się za płytą gipsowo-kartonową. Usunięcie tych usterek bez zerwania zewnętrznej war-

stwy tynku i przedostania się do warstwy nieprzepuszczającej powietrza (a w konsekwencji przy utrzymaniu kosztów remontu na niskim poziomie) jest oczywiście w tej sytuacji niemożliwe.

Podsumowanie

Dzięki dokładnemu projektowaniu oraz staranności robót budowlanych, a także dzięki wykorzystaniu metody ciśnieniowej i urządzeń takich jak opracowane przez firmę Blower-Door, można uzyskać wysoką jakość oddawanych do użytku obiektów. Wykonawca może już na etapie budowy sprawdzić jakość wykonania warstw izolacyjnych i całej obudowy zewnętrznej budynku i zagwarantować jego właściwą szczelność i efektywność energetyczną. Bez tej szczelności nie osiąga się dobrego ocieplenia budynku.



10. Wady szczelności budynku; lokalne wychłodzenia są widoczne na obrazie termograficznym w postaci ciemnoniebieskich plam



INFO

Zagadnieniem opisywanym w artykule zajmuje się w Polsce m.in. Dipl. Ing. Günter Schlagowski, twórca Polskiego Instytutu Budownictwa Pasywnego. Placówka ta wydała m.in. „Pakiet do projektowania budynków pasywnych i energooszczędnych” (książka i płyta CD). Informacje na jej temat można znaleźć na stronie internetowej pibp@pibp.pl. Informacje nt. badania obudów budynków metodą ciśnieniową można też uzyskać pod adresem mailowym: ekopassive@ekopassive.pl.

*Dipl. Ing. Stefanie Rolfsmeier, Dipl. Ing. Paul Simons,
Spółka Ingenieurgesellschaft Bau + Energie
+ Umwelt GmbH (Wspólnota Inżynierów Budownictwo
+ Energia + Środowisko Sp. z o.o.)*

*Tłumaczenie z jęz. niem. Mariusz Krysiak,
Biuro Tłumaczeń Kontakt*

*Redakcja dziękuje prof. Leszkowi Laskowskiemu
i Dipl. Ing. Günterowi Schlagowskiemu za konsultacje
dotyczące tematyki powyższego artykułu.*